

ЗАЩИТА ОТ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Часть 4

**Электрические и электронные системы внутри зданий
и сооружений**

(IEC 62305-1:2006)

Издание неофициальное, предназначенное только для ознакомления

[Ск0чать еще](#)

Введение	IV
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Разработка и установка системы мер защиты от LEMP (LPMS)	4
4.1 Разработка системы мер защиты от электромагнитного импульса от грозовых разрядов	6
4.2 Зоны молниезащиты	7
4.3 Основные меры защиты в LPMS	11
5 Заземление и соединение	11
5.1 Заземление	12
5.2 Соединительная сеть	13
5.3 Замыкатели	17
5.4 Заземление на границе зоны молниезащиты	18
5.5 Материал и размеры компонентов заземления	18
6 Магнитное экранирование и прокладка линий	18
6.1 Пространственное экранирование	18
6.2 Экранирование внутренних линий	19
6.3 Прокладка внутренних линий	19
6.4 Экранирование внешних линий	19
6.5 Материал и размеры магнитных экранов	19
7 Скоординированный защитный ограничитель перенапряжений	19
8 Управление системой мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов	20
8.1 План управления системой мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов	20
8.2 Контроль системы мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов	21
8.3 Техническое обслуживание	22
Приложение А (справочное) Основные элементы для определения электромагнитной среды в зоне молниезащиты	23
Приложение В (справочное) Применение мер защиты от электромагнитных импульсов тока молнии (LEMP) для электронных систем в существующих зданиях и сооружениях	41
Приложение С (справочное) Координарование ограничителя перенапряжений	54
Приложение D (справочное) Выбор и установка скоординированного защитного ограничителя перенапряжений	70
Библиография	74
Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии государственного стандарта ссылочному международному стандарту	75

Введение

Молния как источник повреждения является высокоэнергетическим феноменом. Энергия от удара молнии может достигать сотен мегаджоулей. Если эту энергию сравнивать с миллиджоулями энергии, достаточными для возникновения сбоя восприимчивого электронного оборудования в электрических и электронных системах внутри зданий и сооружений, становится ясным, что необходимы дополнительные меры защиты некоторого из данного оборудования.

Необходимость в настоящем предстандарте возникла ввиду увеличения издержек на повреждение электрических и электронных систем, вызванных электромагнитными воздействиями молнии. Подобные электронные системы используются при обработке информации и хранении, а также в управлении процессом и технологической безопасностью на заводах со значительным капиталовложением, размером и сложностью (для которых, исходя из соображений затрат и безопасности, простой нежелательны).

Молния может вызывать различные типы повреждений в зданиях и сооружениях, как определено в IEC 62305-2:

- D1 – поражение людей из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения;
- D2 – физическое повреждение, вызванное механическими, тепловыми, химическими и взрывными воздействиями;
- D3 – повреждения электрических и электронных систем, вызванные электромагнитными воздействиями.

IEC 62305-3 устанавливает меры защиты по сокращению риска физического повреждения и опасности для жизни, но не распространяется на защиту электрических и электронных систем.

Таким образом, настоящая часть серии стандартов IEC 62305 устанавливает требования к мерам защиты по сокращению постоянных сбоев электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений.

Постоянный сбой электрической и электронной систем может быть вызван электромагнитным импульсом от грозовых разрядов (LEMP) вследствие:

- a) проходящих и индуктированных перенапряжений, передающихся оборудованию через соединительные провода;
- b) воздействий излучаемых электромагнитных полей непосредственно на само оборудование.

Импульсные перенапряжения могут возникать снаружи или внутри зданий и сооружений:

– импульсные перенапряжения снаружи зданий и сооружений образуются за счет ударов молнии во входящие линии или рядом в землю и передаются электрическим и электронным системам через эти линии;

– импульсные перенапряжения внутри зданий и сооружений образуются за счет ударов молнии в здания и сооружения или рядом в землю.

Связь может возникать из различных механизмов:

– резистивная связь (например, сопротивление заземлителя или сопротивление экранированного кабеля);

– связь по магнитному полю (например, образованная с петлями проводки в электрической или электронной системе или индуктивностью соединительных проводов);

– связь по электрическому полю (например, образованная приемом стержневой антенны).

Примечание – Воздействия связи по электрическому полю в общем считаются незначительными по сравнению со связью по магнитному полю и поэтому могут не учитываться.

Излучаемые электромагнитные поля могут образовываться посредством:

– прямого тока молнии, протекающего в канале разряда молнии;

– частичного тока молнии, протекающего в проводниках (например, в вертикальных молниеотводах внешней системы молниезащиты в соответствии с серией стандартов IEC 62305 или в наружном пространственном экране в соответствии с настоящим предстандартом).

1 Область применения

Настоящий государственный предварительный стандарт (далее – предстандарт) устанавливает требования к разработке, установке, контролю, поддержанию и испытанию систем мер по защите от электромагнитного импульса грозовых разрядов (LPMS) для электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений с целью уменьшения риска постоянных сбоев, вызванных электромагнитным импульсом от грозовых разрядов.

Настоящий предстандарт не распространяется на защиту от электромагнитных помех, вызванных грозовым разрядом, который может стать причиной сбоя в работе электронных систем. Тем не менее информация, изложенная в приложении А, может использоваться также для оценки таких помех. Меры по защите от электромагнитных помех установлены в серии стандартов IEC 60364-4-44 и IEC 61000 [1].

В настоящем предстандарте приводятся руководства по взаимодействию между разработчиком электрической и электронной систем, а также разработчиком мер защиты для достижения оптимальной эффективности защиты.

В настоящем предстандарте не описывается подробная разработка электрической и электронной систем как таковых.

2 Нормативные ссылки

При применении настоящего предстандarta необходимо использовать следующие ссылочные стандарты (документы). Для ссылок с указанием даты применяют только ту публикацию, на которую ссылаются. Для ссылок без указания даты применяют последнюю публикацию ссылочного стандарта (документа) (со всеми поправками).

IEC 60364-4-44:2007 Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Защита в целях безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных помех

IEC 60364-5-53:2002 Электроустановки зданий. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрического оборудования. Изоляция, коммутация и контроль

IEC 60664-1:2007 Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 1. Принципы, требования и испытания

IEC 61000-4-5:2005 Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии

IEC 61000-4-9:2001 Электромагнитная совместимость (EMC). Части 4-9. Методы испытаний и измерений. Испытание на помехоустойчивость к импульсному магнитному полю

IEC 61000-4-10:2001 Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 4-10. Методы испытаний и измерений. Испытание на помехоустойчивость к воздействию магнитного поля с затухающими колебаниями

IEC/TR3 61000-5-2:1997 Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 5. Руководства по монтажу и подавлению помех. Раздел 2. Заземление и прокладка кабелей

IEC 61643-1:2005 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным энергораспределительным системам. Требования и испытания

IEC 61643-12:2008 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным энергораспределительным системам. Принципы выбора и применения

IEC 61643-21:2009 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний

IEC 61643-22:2004 Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 22. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Принципы выбора и применения

IEC 62305-1:2006 Защита от атмосферного электричества. Часть 1. Общие принципы

IEC 62305-2:2006 Защита от атмосферного электричества. Часть 2. Управление риском

IEC 62305-3:2006 Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность для жизни

ITU-T RECOMENDATION K.20:2008 Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в телекоммуникационном центре, к перенапряжениям и сверхтокам

ITU-T RECOMENDATION K.21:2008 Устойчивость телекоммуникационного оборудования, установленного в помещениях заказчика, к перенапряжениям и сверхтокам

3 Термины и определения

В настоящем предстандарте применяют термины, установленные в IEC 62305, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 электрическая система (electrical system): Система, содержащая компоненты низковольтного электропитания.

3.2 электронная система (electronic system): Система, содержащая чувствительные электронные компоненты, например аппаратуру связи, компьютер, устройства управления и контрольно-измерительные устройства, радиосистему, электронные силовые устройства.

3.3 внутренние системы (internal systems): Электрические и электронные системы, находящиеся внутри зданий и сооружений.

3.4 электромагнитный импульс от грозовых разрядов (lightning electromagnetic impulse; LEMP): Электромагнитное воздействие тока молнии.

Примечание – Оно проявляется в виде импульсных перенапряжений, а также в виде излучаемых импульсов электромагнитного поля.

3.5 импульсное перенапряжение (surge): Набегающая волна, вызываемая электромагнитными импульсами от грозовых разрядов и представляющая собой бросок напряжения и/или сверхток.

Примечание – Импульсные перенапряжения, вызываемые электромагнитными импульсами от грозовых разрядов (LEMP), могут обуславливаться током (его составляющими) молнии, индукционным эффектом в контурах оборудования и остаточным опасным напряжением в цепях с ограничителями перенапряжения (ОПН).

3.6 номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U_w (rated impulse withstand voltage level U_w): Импульсное выдерживаемое напряжение, установленное изготовителем для оборудования или его части, характеризующее указанную способность его изоляции выдерживать перенапряжения.

Примечание – В настоящем предстандарте рассматривается только выдерживаемое напряжение между токопроводящими проводами и землей.

3.7 уровень молниезащиты; УМЗ (lightning protection level): Показатель совокупности параметров токов молнии, связанный с вероятностью того, что соответствующие максимальные и минимальные расчетные данные не будут превышены при ударе молнии, возникающей в естественной среде.

Примечание – Уровень молниезащиты используется для расчета мер защиты в соответствии с необходимой совокупностью параметров тока молнии.

3.8 зона молниезащиты; ЗМЗ (lightning protection zone): Пространство, в котором определена электромагнитная среда.

Примечание – Границы между зонами молниезащиты не всегда являются физическими границами (например, стены, пол и потолок).

3.9 система мер защиты от электромагнитных импульсов от грозовых разрядов (LEMP protection measures system; LPMS): Полная система мер защиты внутренних систем от электромагнитных импульсов, возникающих от грозовых разрядов.

3.10 решетчатый пространственный экран (grid-like spatial shield): Магнитный экран с отверстиями.

Примечание – Для здания или сооружения предпочтительно он должен быть создан посредством соединенных между собой естественных металлических компонентов здания или сооружения (например, арматуры, металлокаркаса и металлических опор).

3.11 заземление (earth-termination system): Часть внешней системы молниезащиты, предназначенная для отвода тока молнии в землю и его рассеивания в земле.

3.12 система выравнивания потенциалов (bonding network): Система соединения всех проводящих частей здания или сооружения и внутренних систем (исключая токопроводящие провода) с заземлителем.

3.13 система заземления (earthing system): Завершенная система, объединяющая заземлитель и систему выравнивания потенциалов.

3.14 ограничитель перенапряжения; ОПН (surge protective device): Устройство, предназначенное для ограничения динамических перенапряжений и отвода сверхтоков. Оно содержит по крайней мере один нелинейный элемент.

3.15 ОПН, испытанный с I_{imp} (SPD tested with I_{imp}): Ограничитель перенапряжения, выдерживающий неполный ток грозы с типичной формой колебания 10/350 мкс, требующий соответствующий ток с динамическим испытанием I_{imp} .

Примечание – Для питающих линий испытательный ток I_{imp} устанавливается в соответствии с методом испытания класса I IEC 61643-1.

3.16 ОПН, испытанный с I_n (SPD tested with I_n): Ограничитель перенапряжения, выдерживающий индуктированное перенапряжение с типичной формой колебания 10/350 мкс, требующий соответствующий ток с динамическим испытанием I_n .

Примечание – Для питающих линий испытательный ток I_n устанавливается в соответствии с методом испытания класса II IEC 61643-1.

3.17 ОПН, испытываемый с комбинированным колебанием (SPD tested with a combination wave): Ограничитель перенапряжения, выдерживающий индуктированное перенапряжение с типичной формой колебания 10/350 мкс, требующий соответствующий ток с динамическим испытанием I_{SC} .

Примечание – Для питающих линий испытательный ток I_{SC} устанавливается в соответствии с методом испытания класса III IEC 61643-1 с определением напряжения в режиме холостого хода U_{OC} 1,2/50 мкс и напряжения короткого замыкания I_{SC} 8/20 мкс генератора комбинированного колебания 2 Ом.

3.18 ОПН прерывания напряжения (voltage switching type SPD): Ограничитель перенапряжения с высоким электрическим сопротивлением, значение которого скачкообразно уменьшается до минимального при возникновении импульсного перенапряжения.

Примечание 1 – Общими примерами компонентов, используемых в качестве устройств прерывания напряжения, являются разрядники, газоразрядные трубки, тиристоры (кремневые управляемые тиристоры) и симметричные триодные тиристоры. Такие ограничители перенапряжений иногда называют «шунтирующими вентилями».

Примечание 2 – Устройство прерывания напряжения имеет прерывистую вольт-амперную характеристику.

3.19 ОПН ограничения напряжения (voltage-limiting type SPD): Ограничитель перенапряжения с высоким электрическим сопротивлением, значение которого непрерывно уменьшается с ростом импульсного перенапряжения.

Примечание 1 – Общими примерами компонентов, используемых в качестве нелинейных устройств, являются варисторы и устройства защиты от перегрузок. Такие ОПН иногда называют ОПН зажимного типа.

Примечание 2 – ОПН ограничения напряжения имеет непрерывную вольт-амперную характеристику.

3.20 ОПН комбинированного типа (combination type SPD): Ограничитель перенапряжения, представляющий собой комбинацию ОПН прерывания напряжения и ОПН ограничения напряжения, выполняющий функции этих типов ОПН сразу либо по отдельности в зависимости от характеристик приложенного напряжения.

3.21 скоординированный защитный ограничитель перенапряжений (coordinated SPD protection): Совокупность тщательно выбранных устройств защиты от импульсных перенапряжений, скоординированных и установленных для сокращения помех в электрических и электронных системах.

4 Разработка и установка системы мер защиты от LEMP (LPMS)

Электрическая и электронная системы подвергаются повреждению от электромагнитного импульса от грозовых разрядов (LEMP). Поэтому, чтобы избежать сбоя работы внутренних систем, необходимо обеспечить меры защиты от LEMP.

Защита от LEMP основана на концепции ЗМЗ: пространство, в котором имеются защищаемые системы, должно разделяться на ЗМЗ. Данные зоны являются теоретически определенными участками пространства, где интенсивность LEMP совместима с уровнем выдерживания огражденных внутренних систем (см. рисунок 1). Следующие зоны охарактеризованы значительными изменениями в интенсивности LEMP. Граница действия ЗМЗ определяется используемыми мерами защиты (см. рисунок 2).

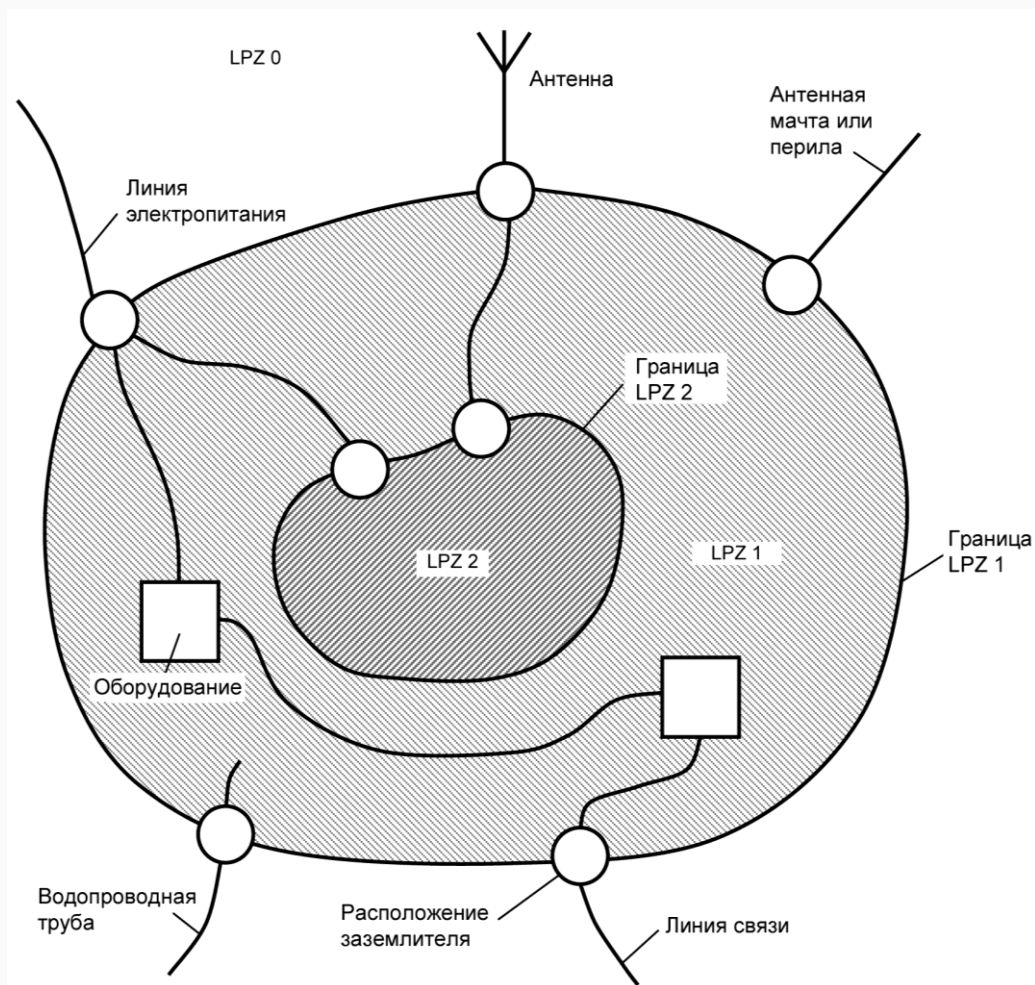


Рисунок 1 – Общий принцип разделения на разные ЗМЗ

○ – заземление входящих устройств напрямую или с помощью соответствующего ОПН

Примечание – Данный рисунок показывает пример разделения структуры на внутренние зоны молниезащиты (ЗМЗ). Все металлические устройства, входящие в сооружение, заземлены посредством замыкателей на границе зоны молниезащиты (ЗМЗ 1). Кроме того, проводящие линии электропередачи, входящие в зону молниезащиты (ЗМЗ 2) (например, компьютерная комната), заземлены посредством замыкателей на границе зоны молниезащиты 2 (ЗМЗ 2).

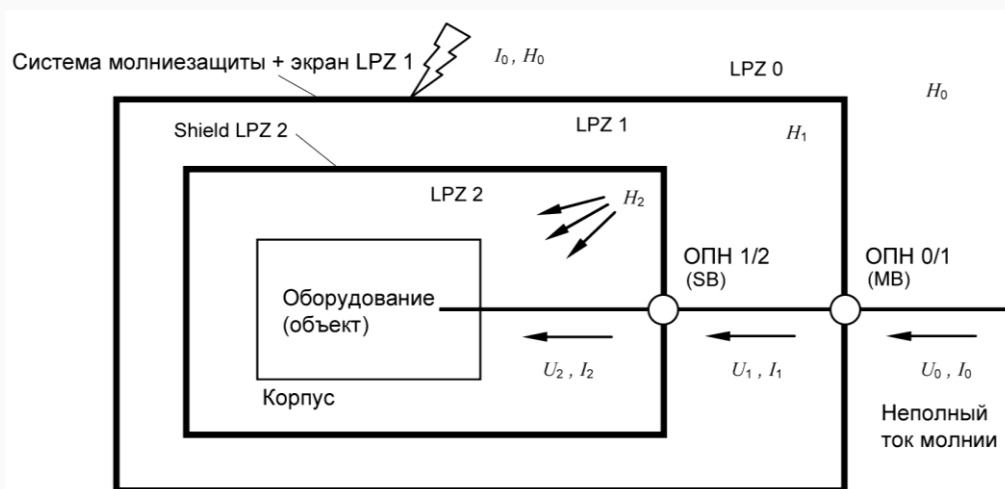


Рисунок 2а – LPMS с применением пространственных экранов и скоординированного защитного ОПН – оборудование, хорошо защищенное от кондуктивных импульсных перенапряжений ($U_2 \ll U_0$ и $I_2 \ll I_0$) и от излучаемых магнитных полей ($H_2 \ll H_0$)

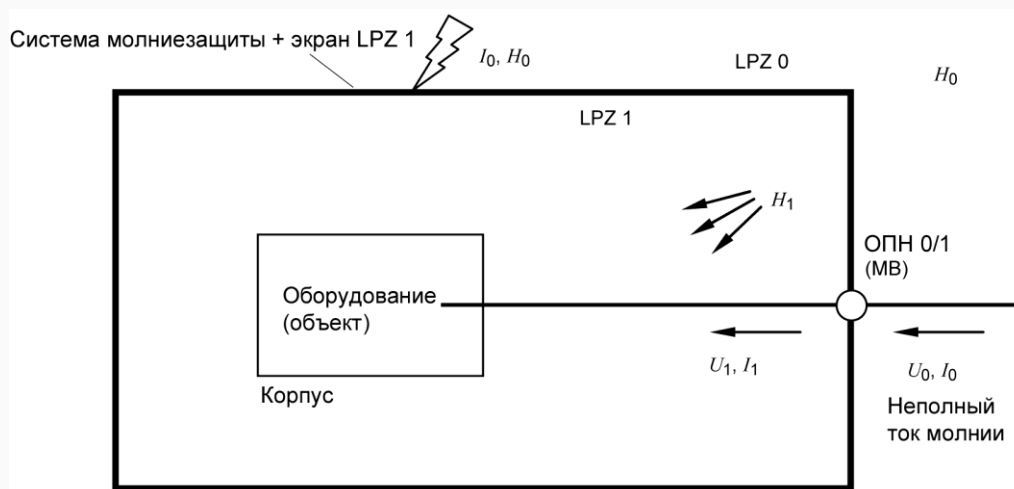


Рисунок 2b – LPMS с применением пространственного экрана ЗМЗ 1 и защиты ОПН на входе ЗМЗ 1 – оборудование, защищенное от кондуктивных импульсных перенапряжений ($U_1 < U_0$ и $I_1 < I_0$) и от излучаемых магнитных полей ($H_1 < H_0$)

Рисунок 2, лист 1 – Защита от LEMP. Примеры возможных LPMS

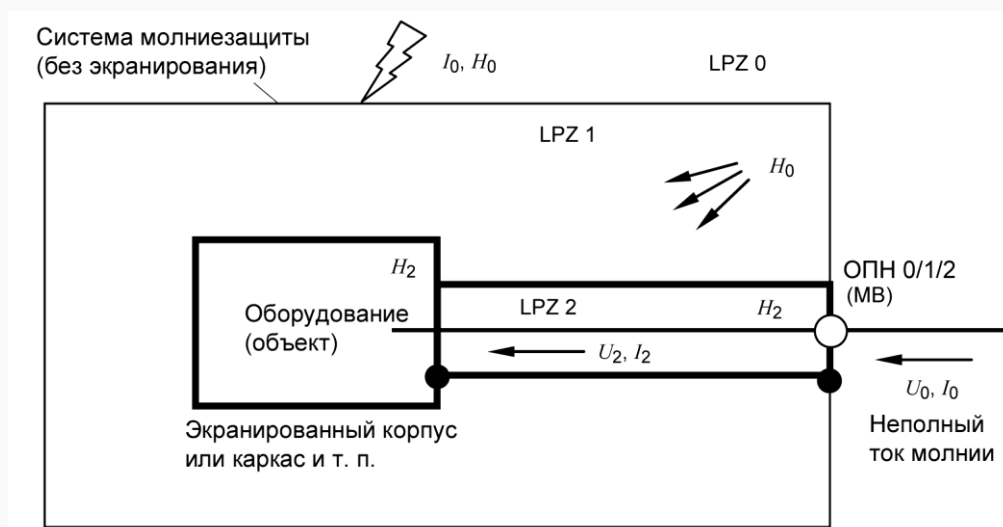


Рисунок 2с – LPMS с применением экранирования внутренней линии и применением защиты ОПН на входе ЗМЗ 1 – оборудование, защищенное от кондуктивных импульсных перенапряжений ($U_2 < U_0$ и $I_2 < I_0$) и от излучаемых магнитных полей ($H_2 < H_0$)

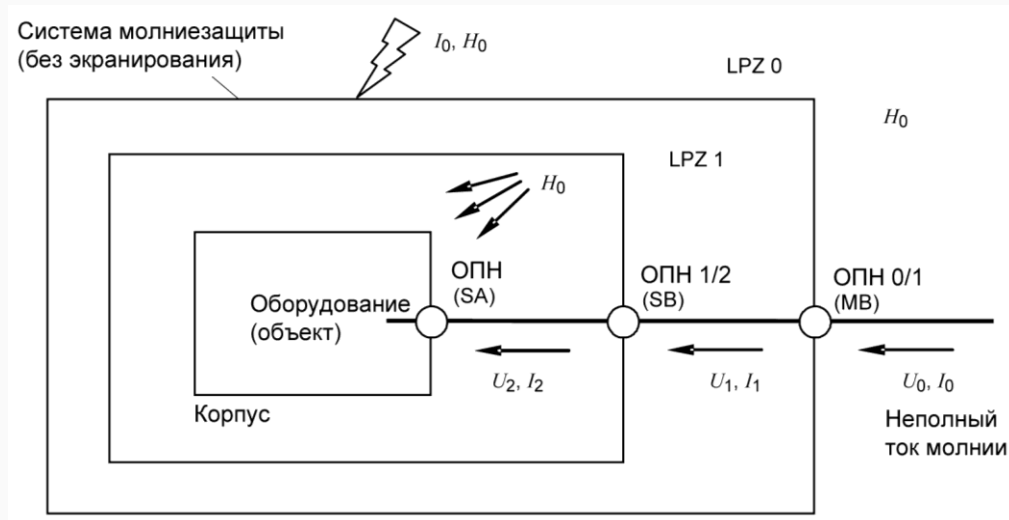


Рисунок 2d – LPMS с применением только скоординированного защитного ОПН – оборудование, защищенное от проходящих импульсных перенапряжений ($U_2 \ll U_0$ и $I_2 \ll I_0$) и не от излучаемых магнитных полей (H_0)

Примечание 1 – ОПН могут располагаться в следующих местах (см. также D.1.2):

- на границе ЗМЗ 1 (например, на вводно-распределительном щите (ВРЩ) (MB);
- на границе ЗМЗ 2 (например, на втором вводно-распределительном щите (ВРЩ) (SB);
- на оборудовании или вблизи него (например, на сетевой розетке).

Примечание 2 – Для изучения правил подробной установки обратитесь также к IEC 60364-5-53.

Примечание 3 – Экранированная (—) и неэкранированная (-----) границы.

Рисунок 2, лист 2

Постоянный сбой электрической и электронной систем вследствие воздействия LEMP может быть вызван:

- кондуктивными и индуктивными перенапряжениями, передающимися оборудованию через соединительный провод;
- воздействиями излучаемых электромагнитных полей непосредственно на само оборудование.

Примечание 1 – Сбои вследствие воздействия лучеобразных электромагнитных полей непосредственно на оборудование будут незначительными, если оборудование соответствует испытаниям на радиоизлучение и испытаниям на устойчивость, определенным в соответствующих стандартах по электромагнитной совместимости.

Примечание 2 – Для оборудования, не соответствующего стандартам по электромагнитной совместимости, в приложении А дается информация о том, как осуществить защиту от электромагнитных полей, воздействующих непосредственно на данное оборудование. Уровень устойчивости оборудования к излучаемым магнитным полям должен быть выбран в соответствии с IEC 61000-4-9 и IEC 61000-4-10.

4.1 Разработка системы мер защиты от электромагнитного импульса от грозовых разрядов

LPMS может быть разработана для защиты оборудования от импульсных перенапряжений и электромагнитных полей. На рисунке 2 приведены примеры:

- LPMS с применением пространственных экранов и скоординированного защитного ОПН обеспечивает защиту от излучаемых магнитных полей и проходящих импульсных перенапряжений (см. рисунок 2a). Каскадные пространственные экраны и скоординированные ОПН могут сократить магнитное поле и импульсные перенапряжения до более низкого уровня опасности;
- LPMS с применением пространственного экрана ЗМЗ 1 и ОПН на входе ЗМЗ 1 способна защитить оборудование от излучаемого магнитного поля и проходящих импульсных перенапряжений (см. рисунок 2b).

Примечание 1 – Защита не будет эффективной, если магнитное поле остается слишком высоким (вследствие низкой эффективности экрана зоны молниезащиты 1 (ЗМЗ 1) или если величина импульсного перенапряжения остается слишком высокой (вследствие высокого уровня защиты от напряжения ОПН и воздействий электромагнитной индукции на проводку на выходе ОПН);

– LPMS, созданная с использованием экранированных линий в сочетании с экранированным корпусом оборудования, защитит от излучаемых магнитных полей. ОНП на входе ЗМЗ 1 обеспечит защиту от проходящих импульсных перенапряжений (см. рисунок 2с). Для получения более низкого уровня опасности импульсного перенапряжения может понадобиться особый ОНП (например, дополнительные скоординированные каскады внутри), чтобы добиться гораздо меньшего уровня защиты от напряжения;

– LPMS, разработанная с использованием системы скоординированного защитного ОНП, пригодна только для защиты оборудования, которое невосприимчиво к воздействию излучаемых магнитных полей, поскольку ОНП могут обеспечить лишь защиту от проходящих импульсных перенапряжений (см. рисунок 2d). Более низкий уровень опасности импульсного перенапряжения может быть достигнут с использованием скоординированных ОНП.

Примечание 2 – Решения в соответствии с рисунками 2а – 2с рекомендованы специально для оборудования, которое не соответствует стандартам на электромагнитную совместимость.

Примечание 3 – Система молниезащиты, соответствующая IEC 62305-3, в которой используются лишь равнозначно соединенные ОНП, не обеспечивает эффективной защиты от сбоя в восприимчивой электрической и электронной системах. Система молниезащиты может быть улучшена путем уменьшения размеров замкнутого контура и выбора соответствующих ОНП, являющихся эффективными компонентами LPMS.

4.2 Зоны молниезащиты

Принимая во внимание опасность молнии, определены следующие ЗМЗ (см. IEC 62305-1):

Внешние зоны:

– ЗМЗ 0 – зона, в которой опасность вызвана неумещающимся электромагнитным полем молнии и где внутренние системы могут быть подвержены полному или неполному току, вызванному грозовым перенапряжением. ЗМЗ подразделяются на:

– ЗМЗ 0_А – зона, в которой опасность заключается в прямом ударе молнии и во всем электромагнитном поле молнии. Внутренние системы могут подвергаться полному току, вызванному грозовым перенапряжением;

– ЗМЗ 0_В – зона, защищенная от прямых вспышек молнии, но где опасность заключается во всем электромагнитном поле молнии. Внутренние системы могут быть подвержены неполным токам, вызванным грозовым перенапряжением.

Внутренние зоны (защищенные от прямых ударов молнии):

– ЗМЗ 1 – зона, в которой выброс тока ограничен за счет перераспределения тока и ОНП на границе. Пространственное экранирование может ослаблять электромагнитное поле молнии;

– ЗМЗ 2 ... n – зона, в которой выброс тока может быть в дальнейшем ограничен перераспределением тока и дополнительными ОНП на границе. Дополнительное пространственное экранирование может быть использовано в дальнейшем для ослабления электромагнитного поля молнии.

Зоны совершенствуются путем установления LPMS, например, путем установки скоординированных ОНП и/или магнитного экрана (см. рисунок 2). В зависимости от количества, типа и уровня сопротивления защищаемого оборудования может быть определена соответствующая зона. Она может включать в себя небольшие локальные зоны (например, корпуса оборудования) или широкие внутренние зоны (например, размер всего сооружения) (см. рисунок В.2).

Объединение ЗМЗ в едином порядке может быть необходимо, если два любых отдельных здания или сооружения соединены электрическими или сигнальными линиями, или для сокращения числа необходимых ОНП (см. рисунок 3).

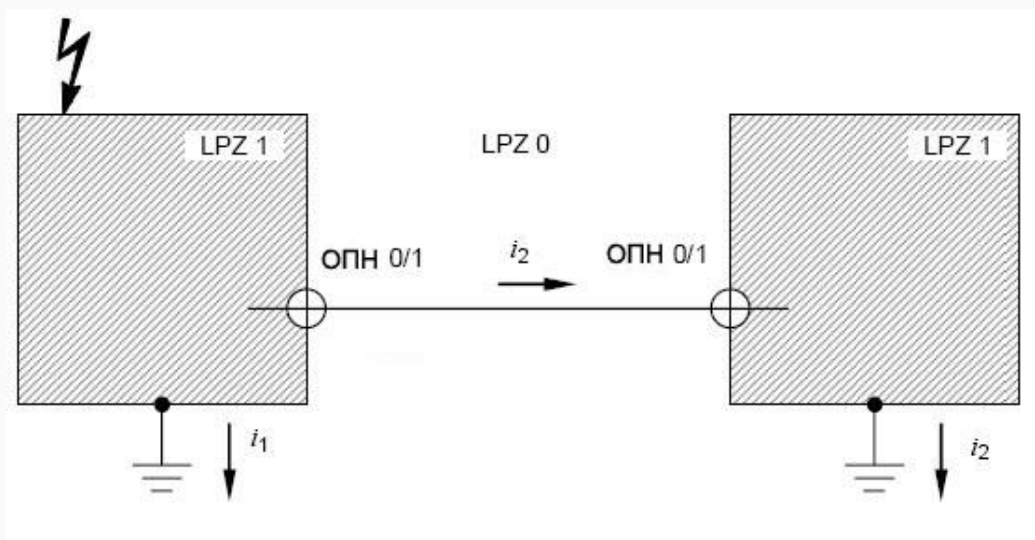


Рисунок 3а – Соединение двух ЗМЗ 1 с использованием ОПН

Примечание – На рисунке 3а показаны две зоны молниезащиты 1 (ЗМЗ 1), соединенные электрическими или сигнальными линиями. Особое внимание следует обратить в том случае, если обе ЗМЗ 1 представляют отдельные сооружения с отдельными системами заземления, расположенными в десятках или сотнях метров друг от друга. В таком случае большая часть тока молнии может пойти по соединительным линиям, которые могут быть не защищены.

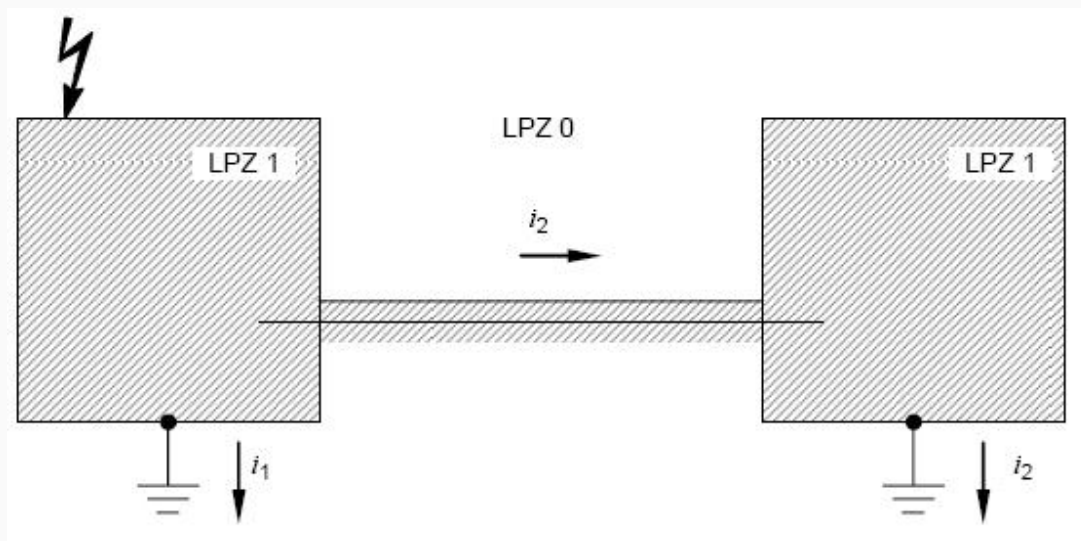


Рисунок 3б – Соединение двух ЗМЗ 1 с использованием экранированных кабелей или кабельных трубопроводов

Примечание – На рисунке 3б показано, что эта проблема может быть решена с использованием экранированных кабелей или кабельных трубопроводов для соединения обеих ЗМЗ 1, гарантируя тем самым, что кабели способны проводить неполный ток молнии. ОПН может не применяться, если перепад напряжения вдоль экрана не слишком высок.

Рисунок 3, лист 1 – Примеры соединенных ЗМЗ

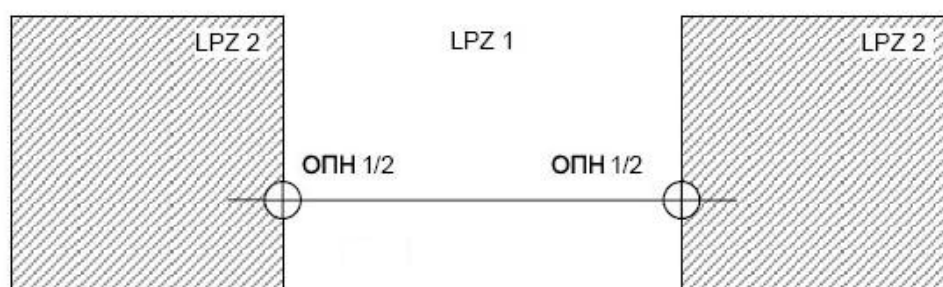


Рисунок 3с – Соединение двух ЗМЗ 2 с использованием ОПН

Примечание – На рисунке 3с показаны две ЗМЗ 2, соединенные электрическими или сигнальными линиями. Ввиду возникновения опасности в ЗМЗ 1 на входе в каждую ЗМЗ 2 необходим ОПН.

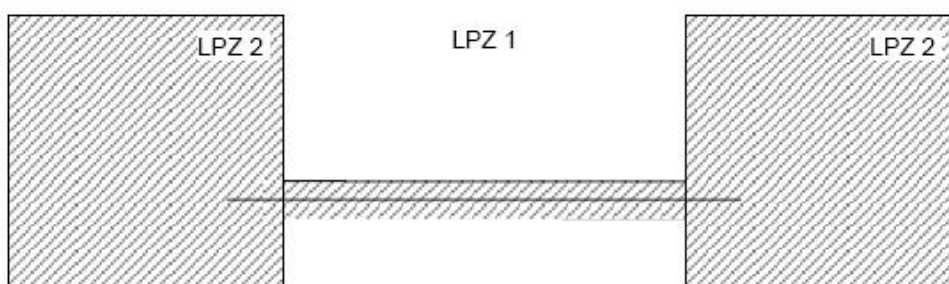


Рисунок 3d – Соединение двух ЗМЗ 2 с использованием экранированных кабелей или кабельных трубопроводов

Примечание – На рисунке 3d показано, что такого сбоя можно избежать и что ОПН можно не применять, если экранированные кабели или кабельные трубопроводы используются для соединения обеих ЗМЗ 2.

Рисунок 3, лист 2

Включение зоны молниезащиты (ЗМЗ) в другую зону молниезащиты (ЗМЗ) может понадобиться в особых случаях или может применяться для уменьшения количества необходимых ОПН (см. рисунок 4). Подробный анализ электромагнитной среды в зоне молниезащиты (ЗМЗ) описан в приложении А.

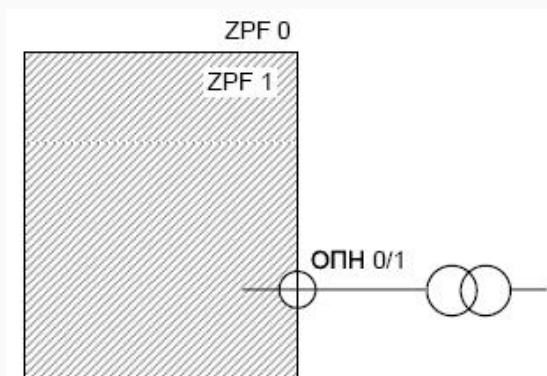
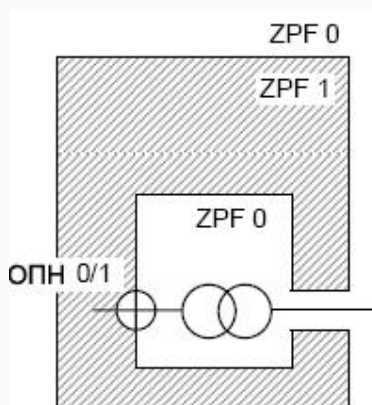


Рисунок 4а – Трансформатор, расположенный вне здания или сооружения

Примечание – На рисунке 4а показано здание (сооружение), питающееся энергией с помощью трансформатора. Если трансформатор расположен вне здания (сооружения), то лишь линии низкого напряжения, входящие в здание (сооружение), нуждаются в защите посредством ОПН. Если трансформатор расположен внутри здания (сооружения), владельцу здания (сооружения) зачастую не разрешается применять меры защиты на стороне высокого напряжения.

Рисунок 4, лист 1 – Примеры включенных зон молниезащиты



**Рисунок 4b – Трансформатор, расположенный внутри здания или сооружения
[зона молниезащиты 0 (ЗМЗ 0) переходит в зону молниезащиты 1 (ЗМЗ 1)]**

Примечание – На рисунке 4b показано, что проблема может быть решена посредством включения зоны молниезащиты 0 (ЗМЗ 0) в зону молниезащиты 1 (ЗМЗ 1), которая требует использования ОПН только на стороне низкого напряжения.

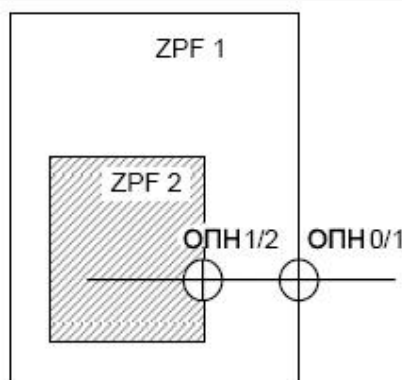


Рисунок 4с – Два необходимых скоординированных ОПН (0/1) и ОПН (1/2)

Примечание – На рисунке 4с показана зона молниезащиты 2 (ЗМЗ 2), оснащенная электрической или сигнальной линией. Для такой линии необходимы два скоординированных ОПН: один – на границе зоны молниезащиты 1 (ЗМЗ 1), а другой – на границе зоны молниезащиты 2 (ЗМЗ 2).

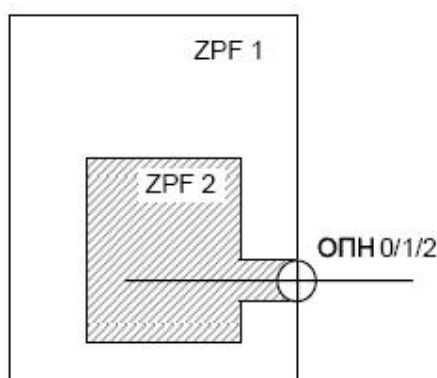


Рисунок 4d – Необходим только один ОПН (0/1/2) (ЗМЗ 2, переходящая в ЗМЗ 1)

Примечание – На рисунке 4d показано, что линия может входить непосредственно в зону молниезащиты 2 (ЗМЗ 2) и может понадобиться только один ОПН, если зона молниезащиты 2 (ЗМЗ 2) переходит в зону молниезащиты 1 (ЗМЗ 1) с использованием экранированных кабелей и кабельных трубопроводов. Тем не менее такой ОПН сразу же снизит опасность на уровне зоны молниезащиты 2 (ЗМЗ 2).

Рисунок 4, лист 2

4.3 Основные меры защиты в LPMS

Основные меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP), включают в себя:

Заземление и соединение (см. раздел 5)

Система заземления проводит и рассеивает ток молнии в земле.

Соединительная сеть сводит к минимуму разность электрических потенциалов и может уменьшить магнитное поле.

Магнитное экранирование и прокладка линии (см. раздел 6)

Пространственное экранирование ослабляет магнитное поле внутри зоны молниезащиты (ЗМЗ), возникающее из прямых ударов молнии на здании или сооружении или рядом с ним, и уменьшает внутренние импульсные перенапряжения.

Экранирование внутренних линий с использованием экранированных кабелей и кабельных трубопроводов сводит к минимуму внутренние индуцированные напряжения.

Прокладка внутренних линий может минимизировать петли индуктивности и уменьшить внутренние импульсные перенапряжения.

Примечание 1 – Пространственное экранирование, экранирование и прокладка внутренних линий могут комбинироваться или использоваться отдельно.

Экранирование внешних линий, входящих в здание или сооружение, уменьшает импульсные перенапряжения, передающиеся внутренним системам.

Скоординированный защитный ОПН (см. раздел 7)

Скоординированный защитный ОПН ограничивает воздействия внешних и внутренних импульсных перенапряжений.

Заземление и соединение должны постоянно обеспечиваться, в особенности соединение каждого проводящего устройства напрямую или посредством эквипотенциального соединения ОПН в точке входа в здание или сооружение.

Примечание 2 – В соответствии с IEC 62305-3 уравнивание грозовых потенциалов сможет обеспечить защиту лишь от опасного дугового разряда. Защита внутренних систем от импульсных перенапряжений требует скоординированных защитных ОПН в соответствии с настоящим предстандартом.

Другие меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP), могут применяться отдельно либо в сочетании.

Меры защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP), должны противостоять действующим ограничениям, предполагаемым в месте установки (например, ограничению по температуре, влажности, атмосфере, способствующей коррозии, колебанию, напряжению и току).

Выбор наиболее подходящих мер защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP), осуществляется с использованием оценки рисков в соответствии с IEC 62305-2, принимая во внимание технические и экономические факторы.

Практические данные об улучшении мер защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP) для электронных систем в существующих зданиях и сооружениях, приведены в приложении В.

Примечание 3 – Дополнительную информацию об улучшении мер защиты от электромагнитного импульса, исходящего от грозовых разрядов (LEMP), можно получить в IEC 60364-4-44.

5 Заземление и соединение

Соответствующее заземление и соединение основаны на замкнутой системе заземления (см. рисунок 5), включающей в себя:

- заземление (рассеивающее ток молнии в земле);
- соединительную сеть (сводящую к минимуму разность электрических потенциалов и уменьшающую магнитное поле).

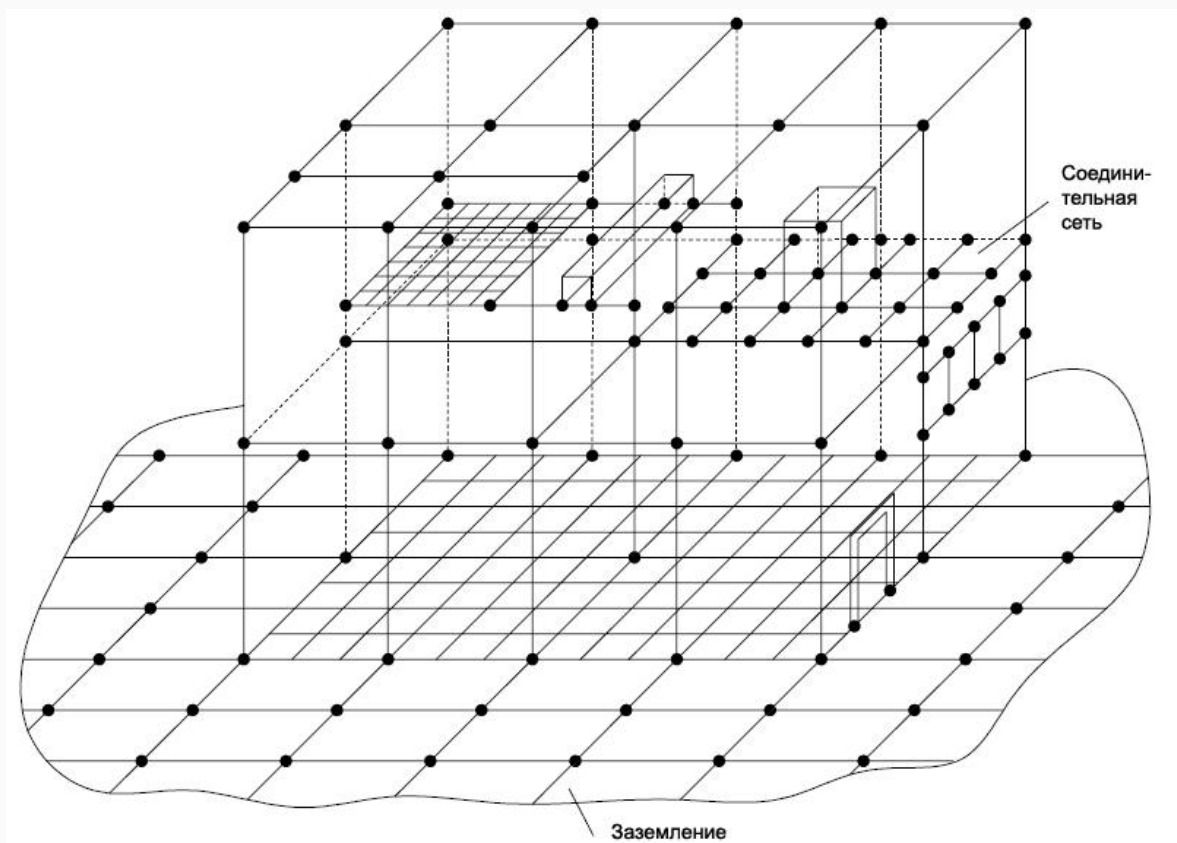


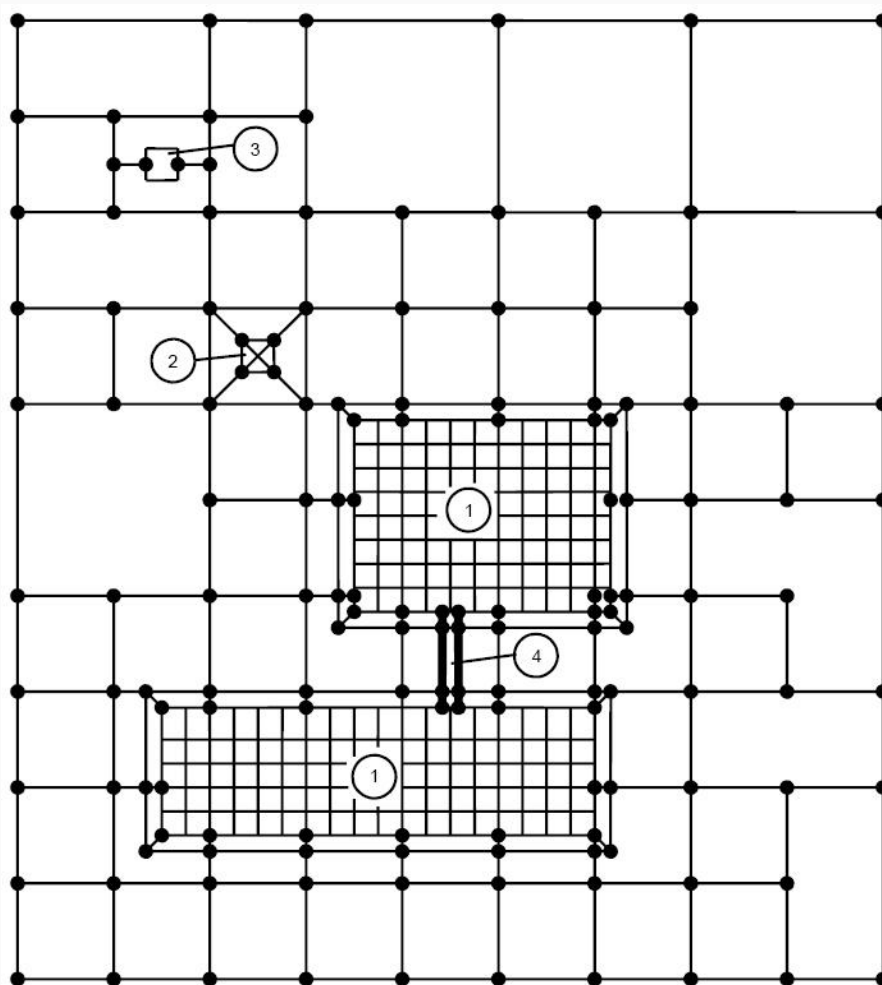
Рисунок 5 – Пример трехмерной системы заземления, заключающийся во взаимодействии соединительной сети и заземления

Примечание – Все соединения являются связующими для элементов металлического сооружения или единой сети. Некоторые из таких соединений способны улавливать, проводить и рассеивать ток молнии в земле.

5.1 Заземление

Заземление зданий и сооружений должно соответствовать IEC 62305-3. В зданиях и сооружениях, где применяются только электрические системы, может использоваться порядок заземления типа А, но предпочтительнее применять порядок заземления типа В. В зданиях и сооружениях с электронными системами рекомендуется использовать порядок заземления типа В.

Кольцевой проводник вокруг здания и сооружения или кольцевой проводник в бетоне по периметру грунтового основания должен быть соединен с сетью ячеек размером ячейки 5 м под зданием или сооружением и вокруг него. Это существенно улучшает эффективность заземления. Допускается вариант, когда бетонная арматура в земле образует взаимосвязанную и четко определенную сеть ячеек через каждые 5 м и она связана с системой заземления. Пример заземления с ячейками показан на рисунке 6.



- 1 – сооружение с арматурным основанием в виде ячеек;
- 2 – башня внутри здания;
- 3 – изолированное оборудование;
- 4 – кабельный лоток

Рисунок 6 – Сетчатое заземляющее устройство здания или сооружения

Для сокращения разности электрических потенциалов между двумя внутренними системами, которые были рассмотрены для разделения систем заземления, можно применять следующие методы:

- несколько параллельных соединительных проводников заземления, расположенных в тех же каналах, что и электрические кабели или кабели, уложенные в железобетонные короба с сетчатой арматурой (или непрерывный металлический трубопровод) и встроенные в обе системы заземления;
- экранированные кабели с экранами соответствующей площади поперечного сечения, соединенные с раздельными системами заземления.

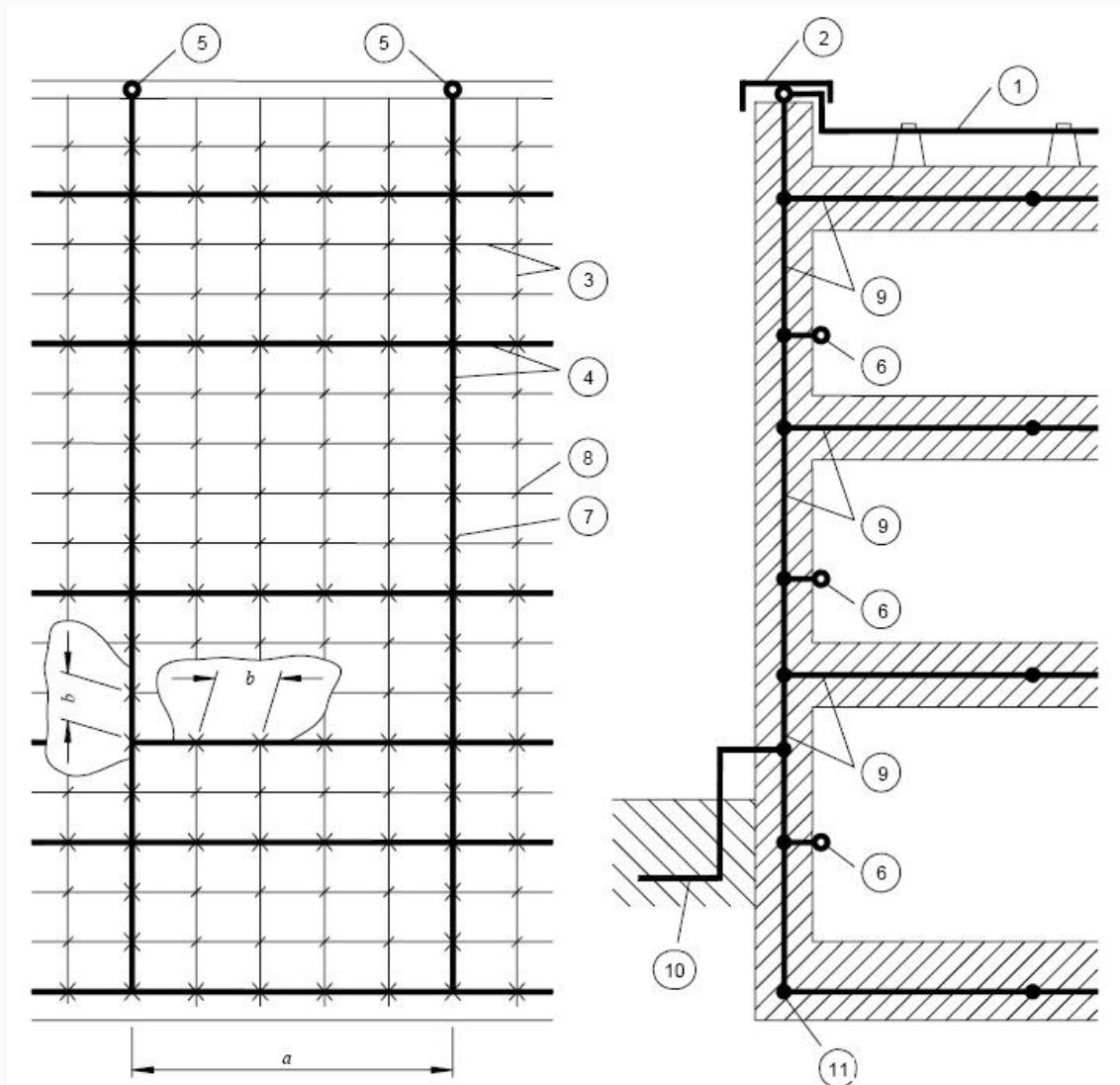
5.2 Соединительная сеть

Соединительная сеть низкого сопротивления необходима для того, чтобы избежать угрозы разности электрических потенциалов между всем оборудованием внутри зоны молниезащиты. Более того, такая соединительная сеть также уменьшает магнитное поле (приложение А).

Она может быть сформирована с помощью ячеистой соединительной сети, включающей в себя токоведущие части зданий и сооружений или части внутренних систем и с помощью заземления металлических частей или токоведущего оборудования на границе каждой ЗМЗ напрямую или путем использования соответствующих ОПН.

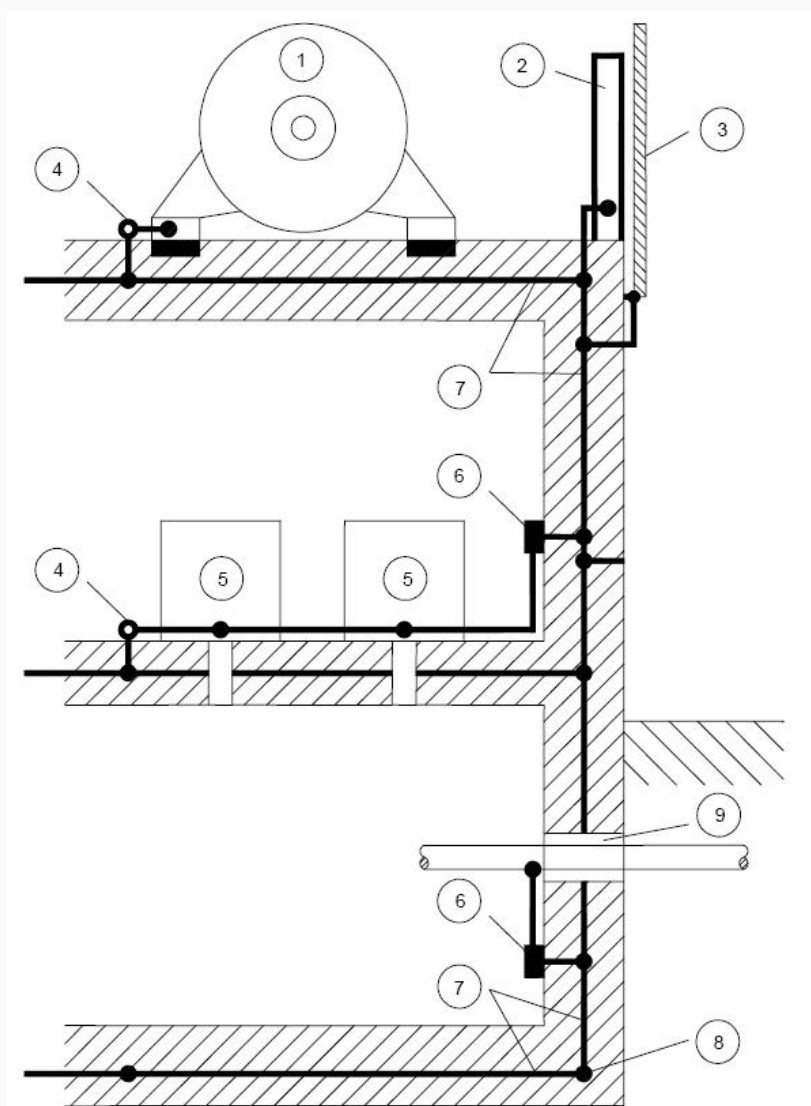
Соединительная сеть может быть сформирована в качестве трехмерного ячеистого сооружения с типичным размером ячейки 5 м (см. рисунок 5). Это потребует многочисленных взаимосоединений металлических компонентов в зданиях или сооружениях и на них (таких как бетонная арматура, направляющие лифта, краны, металлические крыши, металлические фасады, металлические рамы окон и дверей, металлокаркасы пола, трубопроводы и кабельные лотки). Таким же образом объединяются замыкатели (например, кольцевые замыкатели, несколько замыкателей на разных этажах зданий или сооружений) и магнитные экраны зоны молниезащиты.

Примеры соединительных сетей приведены на рисунках 7 и 8.



- 1 – воздушный молниеотвод;
- 2 – металлическое покрытие парапета крыши;
- 3 – стальные укрепляющие пруты;
- 4 – сетчатые проводники в дополнение к арматуре;
- 5 – место соединения сетчатого проводника;
- 6 – место соединения внутреннего замыкателя;
- 7 – соединение с помощью зажимов или пайки;
- 8 – произвольное соединение;
- 9 – стальная арматура в бетоне (с добавленными сетчатыми проводами);
- 10 – кольцевой проводник;
- 11 – основание заземляющего электрода;
- a – типичное расстояние в 5 м для добавленных сетчатых проводов;
- b – типичное расстояние в 1 м для соединения сетчатых проводов с арматурой

Рисунок 7 – Использование арматуры здания или сооружения для уравнивания грозовых потенциалов



- 1 – силовое электрооборудование;
- 2 – стальная балка;
- 3 – металлическое покрытие фасада;
- 4 – место соединения;
- 5 – электрическое или электронное оборудование;
- 6 – замыкатель;
- 7 – стальная арматура в бетоне (с дополнительными сетчатыми проводниками);
- 8 – основание заземляющего электрода;
- 9 – общее входное отверстие для разного оборудования

Рисунок 8 – Уравнивание грозовых потенциалов в зданиях или сооружениях со стальной арматурой

Токоведущие части (например, шкафы, корпуса, стеллажи) и провод защитного заземления (ПЗЗ) внутренних систем присоединяют к соединительной сети в соответствии со следующими схемами:

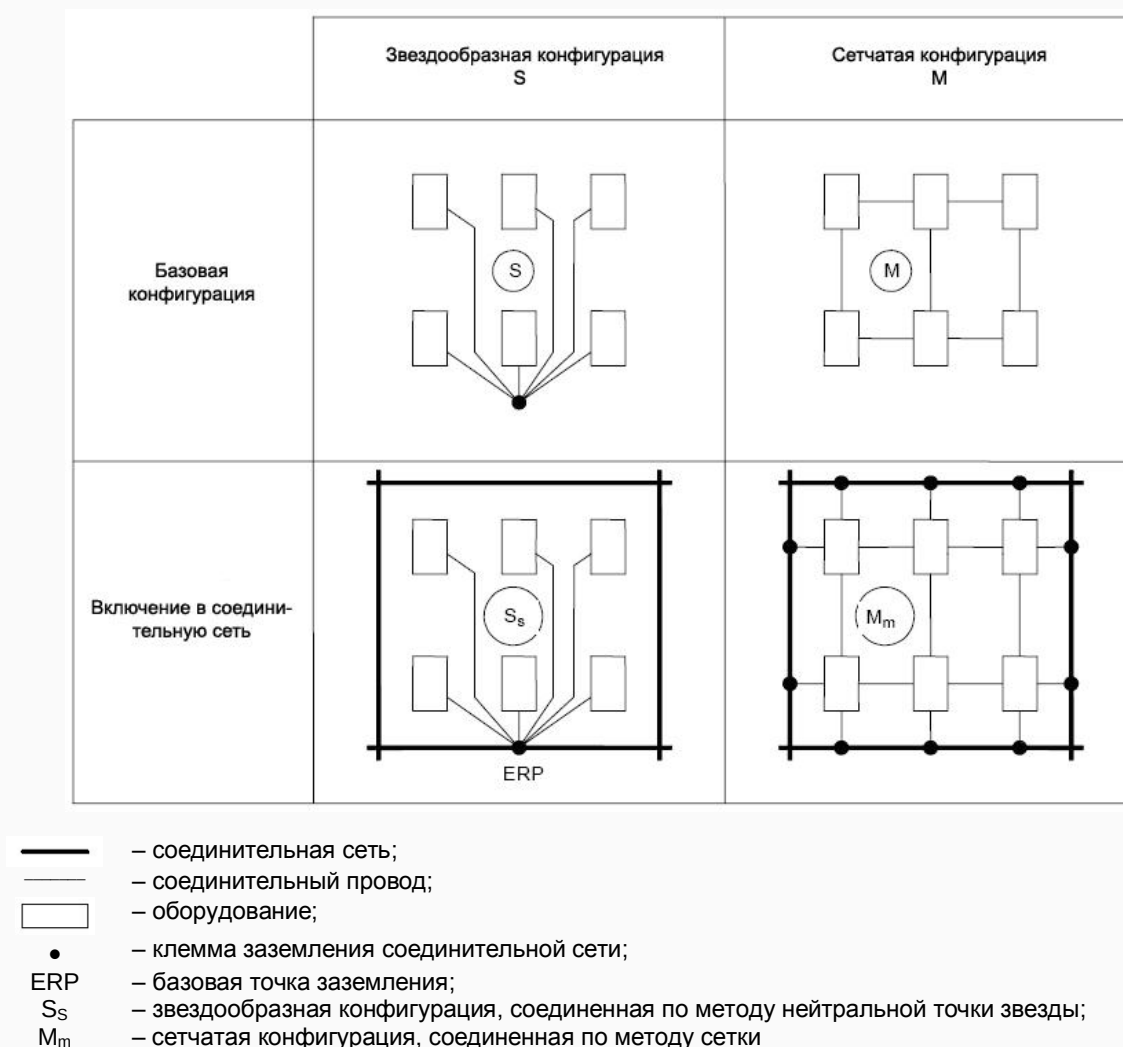
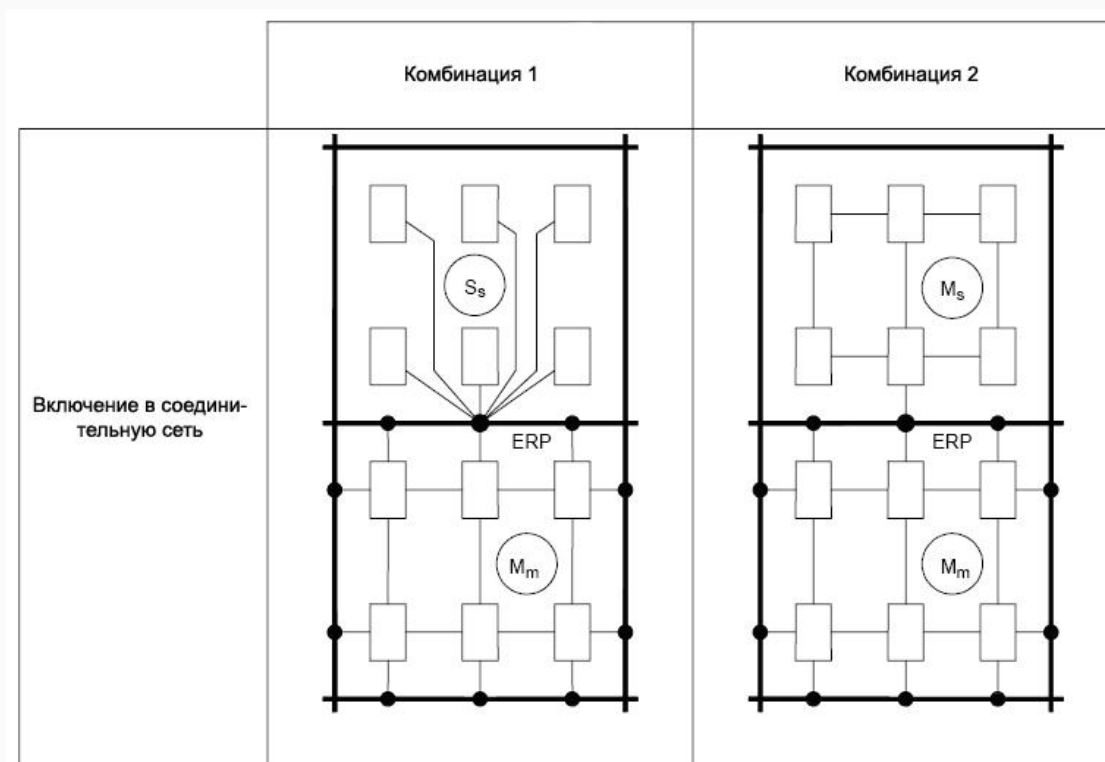


Рисунок 9 – Включение электронных систем в соединительную сеть

При использовании схемы S все металлические компоненты (например, шкафы, корпуса, стеллажи) внутренних систем изолируются от системы заземления. Схема S включается в систему заземления только с единым замыкателем, действуя в качестве земной системы координат (ЗСК), получившейся в схеме S_s. При использовании схемы S все провода между отдельным оборудованием проходят параллельно заземляющим проводам, следуя звездообразной конфигурации для того, чтобы избежать петель индуктивности. Схема S может также применяться когда внутренние системы сосредоточены в относительно небольших зонах и все линии входят в зону только в одной точке.

При использовании схемы M металлические компоненты (например, шкафы, корпуса, стенды) внутренних систем не должны быть изолированы от системы заземления, но соединены с ней клеммами заземления, как указано в схеме M_m. Схема M предпочтительна для внутренних систем, расположенных в относительно широких зонах или в пределах всего здания или сооружения, где множество линий проходят между отдельными частями оборудования и где линии входят в здание или сооружение в нескольких местах.

В комплексных системах преимущества обеих схем (схемы M и S) могут комбинироваться, как это показано на рисунке 10, образуя комбинацию 1 (S_s сочетается с M_m) или комбинацию 2 (M_s сочетается с M_m).



- соединительная сеть;
- соединительный провод;
- — оборудование;
- — клемма заземления соединительной сети;
- ERP — базовая точка заземления;
- S_s — звездообразная конфигурация, соединенная по методу нейтральной точки звезды;
- M_m — сетчатая конфигурация, соединенная по методу сетки;
- M_s — сетчатая конфигурация, соединенная по методу нейтральной точки звезды

Рисунок 10 – Комбинации методов включения электронных систем в соединительную сеть

5.3 Замыкатели

Замыкатели устанавливают для заземления:

– всего токоведущего оборудования, входящего в зону молниезащиты (напрямую или с использованием соответствующих ОПН);

– провода защитного заземления (ПЗЗ);

– металлических составляющих внутренних систем (например, шкафов, корпусов, стенов);

– магнитных полей зоны молниезащиты как за пределами, так и внутри зданий и сооружений.

Для эффективного соединения необходимы следующие правила установки:

– основанием для всех мер соединения является низкое полное сопротивление соединительной сети;

– замыкатели должны соединяться с системой заземления по кратчайшему пути (с использованием соединительного провода длиной не более 0,5 м);

– состав и размеры замыкателей и соединительных проводов должны соответствовать 5.5;

– ОПН должны использовать самые короткие соединения как с замыкателем, так и с действующими проводами, чтобы свести к минимуму индуктивные падения напряжения;

– на защитной стороне цепи (после ОПН) должны быть сведены к минимуму эффекты взаимной индукции либо путем уменьшения размера петли, либо путем использования экранированных кабелей или кабельных каналов.

5.4 Заземление на границе зоны молниезащиты

После того как определена ЗМЗ, заземление должно быть проведено для всех металлических частей и устройств (например, металлических труб, линий электроснабжения или сигнальных линий), входящих в границу зоны молниезащиты.

Примечание – Заземление устройств, входящих в зону молниезащиты 1 (ЗМЗ 1), должно быть согласовано с провайдерами сети энергоснабжения (например, органами по электроэнергии или органами в области телекоммуникации) во избежание противоречивых технических требований.

Заземление должно проводиться с помощью замыкателей, установленных как можно ближе к границе зоны молниезащиты.

По возможности входящие устройства должны входить в зону молниезащиты в одной и той же точке и соединяться одним и тем же замыкателем. Если устройства входят в зону молниезащиты в разных точках, каждое устройство соединяется с замыкателем и данные замыкатели соединяются между собой. С этой целью рекомендуется использовать кольцевой проводник.

Уравнивание грозовых потенциалов ОПН всегда необходимо на входе ЗМЗ для объединения входящих линий, которые соединены с внутренними системами внутри зон молниезащиты, с замыкателем. Использование объединенных или расширенных зон молниезащиты может сократить число необходимых ОПН.

Экранированные кабели или соединенные металлические кабельные трубопроводы, заземленные на каждой границе зоны молниезащиты, могут использоваться для объединения нескольких ОПН, близких по своему уровню, или для расширения ЗМЗ к следующей границе.

5.5 Материал и размеры компонентов заземления

Материал, размеры и условия использования компонентов заземления должны соответствовать IEC 62305-3. Минимальная площадь поперечного сечения для компонентов заземления должна соответствовать таблице 1.

Крепления устанавливаются в соответствии со значениями тока молнии (см. IEC 62305-1) и анализом перераспределения тока (см. положение В, IEC 62305-3).

ОПН устанавливают в соответствии с разделом 7.

Таблица 1 – Минимальная площадь поперечного сечения для компонентов заземления

Компонент заземления		Материал	Площадь поперечного сечения, мм ²
Замыкатели (медь или оцинкованная сталь)		Cu, Fe	50
Соединительные провода от замыкателей к системе заземления или к другим замыкателям		Cu	14
		Al	22
		Fe	50
Соединительные проводники от внутренних металлических устройств к замыкателям		Cu	5
		Al	8
		Fe	16
Соединительные проводники для ОПН	Класс I	Cu	5
	Класс II		3
	Класс III		1
Примечание – Другой используемый материал должен иметь площадь поперечного сечения, обеспечивающую эквивалентное сопротивление.			

6 Магнитное экранирование и прокладка линий

Магнитное экранирование может уменьшить как электромагнитное поле, так и величину внутренних индуцированных перенапряжений. Соответствующая прокладка внутренних линий может также свести к минимуму величину внутренних индуцированных перенапряжений. Обе меры эффективны для устранения постоянного сбоя во внутренних системах.

6.1 Пространственное экранирование

Пространственные экраны определяют защищенные зоны, которые могут покрывать все здание или сооружение, ее часть, отдельное помещение или лишь заграждающее оборудование. Это может быть решетка, или сплошные металлические экраны, или естественные элементы самого здания или сооружения (см. IEC 62305-3).

Пространственные экраны рекомендуется применять там, где они более практичны и пригодны для защиты определенной зоны здания или сооружения вместо применения некоторых отдельных частей оборудования. Пространственные экраны должны быть обеспечены на этапе планирования нового здания или сооружения или новой внутренней системы. Переоснащение существующего оборудования может привести к высоким затратам и большим техническим проблемам.

6.2 Экранирование внутренних линий

Экранирование может ограничиваться проводкой кабелей и системой защищаемого оборудования: с этой целью используются металлические оболочки кабелей, закрытые металлические кабельные каналы и металлические корпуса оборудования.

6.3 Прокладка внутренних линий

Соответствующая прокладка внутренних линий уменьшает петли индуктивности и ограничивает появление внутреннего перенапряжения в здании или сооружении. Размер петли может быть уменьшен за счет прокладки кабелей рядом с естественными компонентами здания или сооружения, которые были заземлены, или за счет смежной прокладки электрических и сигнальных линий.

Примечание – Между линиями питания и неэкранированными сигнальными линиями может потребоваться некоторое расстояние, чтобы избежать помех.

6.4 Экранирование внешних линий

Экранирование внешних проводников, входящих в здание или сооружение, включает в себя защитные оболочки кабелей, закрытые металлические кабельные каналы и бетонные кабельные каналы с межсетевой арматурой. Экранирование внешних линий целесообразно, но зачастую не определяется разработчиком LPMS (поскольку ответственным за внешние линии обычно является провайдер сети энергоснабжения).

6.5 Материал и размеры магнитных экранов

На границе ЗМЗ 0_A и 1 материалы и размеры магнитных полей (например, решетчатые пространственные экраны, защитные оболочки кабеля и корпуса оборудования) должны соответствовать требованиям IEC 62305-3 для воздушных и/или вертикальных молниеотводов. В частности:

- минимальная толщина металлических листов, металлических труб, трубопровода должна соответствовать данным таблицы 3 IEC 62305-3;
- схемы решетчатых пространственных экранов и минимальная площадь поперечного сечения их проводов должны соответствовать данным таблицы 6 IEC 62305-3.

Для магнитных экранов, не предназначенных для переноса токов молнии, определение размеров данных экранов в соответствии с таблицами 3 и 6 IEC 62305-3 не обязательно:

- на границе ЗМЗ 1/2 или классом выше, если соблюдается зазор s между магнитными экранами и системой молниезащиты (LPS) (см. 6.3 IEC 62305-3);
- на границе любой ЗМЗ, если компонент риска R_D , вызванный ударами молнии в здание или сооружение, незначительный (см. IEC 62305-2).

7 Скоординированный защитный ограничитель перенапряжений

Защита внутренних систем от импульсных перенапряжений может потребовать систематического подхода, состоящего в скоординированных ОПН для линий питания и сигнальных линий. Основной подход к координированию ОПН (см. приложение А) одинаков в обоих случаях, но ввиду большого различия электронной системы и своих характеристик (аналоговых или цифровых, постоянном или переменном токе, высокой или низкой частоте), правила по выбору и установке системы скоординированных защитных ОПН отличны от тех, что применяются при выборе ОПН только для электрических систем.

В системе мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов (LPMS), использующей концепцию зон защиты от молнии с несколькими ЗМЗ (ЗМЗ 1, ЗМЗ 2 и классом выше), ОПН размещают на линии входа в каждую зону молниезащиты (см. рисунок 2).

В системе мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов (LPMS), использующей только зону молниезащиты 1 (ЗМЗ 1), ОПН размещают на линии входа в ЗМЗ 1.

В обоих случаях могут понадобиться дополнительные ОПН, если расстояние между размещением ОПН и защищаемым оборудованием слишком большое (см. приложение D).

Требования к испытаниям ОПН должны соответствовать следующим стандартам:

- IEC 61643-1 для энергораспределительных систем;
- IEC 61643-21 для телекоммуникационных и сигнальных систем.

Выбор и установка скоординированной защиты от перенапряжений должны соответствовать:

- IEC 61643-12 и IEC 60364-5-53 для защиты энергораспределительных систем;
- IEC 61643-22 для защиты телекоммуникационных и сигнальных систем.

Некоторая основная информация о выборе и установке скоординированной защиты от перенапряжений приведена в приложении D.

Информация о мощности импульсных перенапряжений, вызванных молнией для определения мощности ОПН в разных точках размещения в здании или сооружении, приведена в приложении E IEC 62305-1.

8 Управление системой мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов

Для обеспечения эффективной системы защиты с минимальными затратами необходимо, чтобы разработка системы защиты для внутренних систем осуществлялась на стадии проектирования и до строительства здания или сооружения. Таким образом, становится возможным оптимизация использования естественных компонентов здания или сооружения и принятия лучшего компромиссного решения в отношении схемы проводки кабелей и размещения оборудования.

Для модернизации существующих зданий или сооружений затраты на LPMS, как правило, выше затрат на новые здания или сооружения. Тем не менее есть возможность сократить затраты с помощью правильного выбора ЗМЗ и применения существующего оборудования или с помощью его модернизации.

Правильная защита может быть обеспечена, если:

- устройства согласованы с экспертом по защите от молнии;
- существует нормальная согласованная работа между экспертами, участвующими в строительстве зданий и сооружений и LPMS (например, инженерами-строителями и инженерами-электриками);
- существует план управления, приведенный ниже в подразделе 8.1.

LPMS должна поддерживаться посредством контроля и технического обслуживания. После соответствующих изменений здания или сооружения или мер защиты должна проводиться новая оценка риска.

8.1 План управления системой мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов

Планирование и координирование LPMS требует плана управления (см. таблицу 2), который начинается с первичной оценки риска (см. IEC 62305-2) для определения мер защиты, необходимых для уменьшения риска на приемлемом уровне. Для этого необходимо определить зоны молниезащиты.

Таблица 2 – План управления LPMS для новых зданий и сооружений и для существенных изменений в их конструкции или использовании

Этап	Цель	Действие, предпринятое
Первичный анализ риска ¹⁾	Определить необходимость системы мер защиты от электромагнитных импульсов от грозовых разрядов (LEMP) Если необходимо выбрать соответствующую LPMS, используя метод оценки риска	Эксперт по защите от молнии ²⁾ Владелец

Окончание таблицы 2

Этап	Цель	Действие, предпринятое
Конечный анализ риска ¹⁾	Соотношение «затрата – прибыль» для выбранных мер защиты должно быть оптимизировано с применением повторного метода оценки риска В качестве результата определены: – УМЗ и параметры молнии – ЗМЗ и ее границы	Эксперт по защите от молнии ²⁾ Владелец
Планирование LPMS	Определение LPMS: – меры пространственного экранирования – соединительные сети – системы заземления – прокладка линии и линия экранирования – экранирование входящих устройств – скоординированный защитный ОПН	Эксперт по защите от молнии Владелец Архитектор Проектировщики внутренних систем Проектировщики соответствующего оборудования
Разработка LPMS	Общие схемы и описания Подготовка списков для тендеров Подробные схемы и графики для оборудования	Конструкторское бюро или аналог
Установка LPMS, включая контроль	Качество установки Документация Возможность контроля над подробными схемами	Эксперт по защите от молнии Установщик LPMS Конструкторское бюро Инспектор
Утверждение LPMS	Проверка и подтверждение документами структуры системы	Независимый эксперт по защите от молнии Инспектор
Периодический контроль	Контроль над соответствием LPMS	Эксперт по защите от молнии Инспектор
¹⁾ См. IEC 62305-2. ²⁾ Со знанием требований электромагнитной совместимости (ЭМС) и правил установки системы.		

В соответствии с УМЗ, описанным в IEC 62305-1, и принимаемыми мерами защиты выполняются следующие этапы:

- предусматривается система заземления, включающая в себя соединительную сеть и заземлитель;
- внешние металлические части и входящие устройства соединяются напрямую либо посредством соответствующих ОПН;
- внутренняя система включается в соединительную сеть;
- может осуществляться пространственное экранирование в сочетании с прокладкой линии и линией экранирования;
- определяются требования для скоординированного защитного ОПН;
- для существующих зданий и сооружений могут потребоваться конкретные меры (см. приложение В).

После этого соотношение «затрата – преимущество» выбранных мер защиты должно быть переоценено и оптимизировано с использованием повторного метода оценки риска.

8.2 Контроль системы мер молниезащиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов

Контроль включает проверку технической документации, визуальный контроль и испытательные измерения. Целью контроля является подтверждение того, что:

- LPMS соответствует проекту;
- LPMS выполняет свою непосредственную функцию;
- любая дополнительная мера защиты правильно включена в LPMS.

Контроль должен выполняться:

- во время установки LPMS;
 - после установки LPMS;
 - периодически;
 - после любого повреждения компонентов LPMS;
 - после удара молнии в здание и сооружение (выявленного с помощью датчика удара молнии или по описанию очевидца либо путем визуального определения повреждений здания или сооружения).
- Частота периодического контроля определяется из расчета:
- местной окружающей среды, такой как коррозионные почвы и разрушающие атмосферные условия;
 - типа примененных мер защиты.

8.2.1 Методы контроля

8.2.1.1 Проверка технической документации

После установки новой LPMS техническую документацию проверяют на соответствие определенным стандартам и для подтверждения целостности системы. Таким образом, техническая документация постоянно корректируется, например, после любого изменения или расширения LPMS.

8.2.1.2 Визуальный контроль

Визуальный контроль проводится для подтверждения того, что:

- отсутствуют ослабленные соединения и повреждения проводников и соединений;
- ни одна из частей системы не ослаблена из-за коррозии, особенно на уровне земли;
- соединительные проводники и защитные оболочки кабеля не повреждены;
- отсутствуют дополнения или изменения, которые потребовали бы дальнейших мер защиты;
- отсутствуют признаки повреждения ОПН и их пробок или разъединителей;
- обеспечена соответствующая прокладка линии;
- соблюдены безопасные расстояния до пространственных экранов.

8.2.1.3 Измерения

Для частей системы заземления и соединительной сети, которые не видны при проверке, должны проводиться измерения электрической непрерывности.

8.2.2 Документы для проверки

Для упрощения процесса должно быть подготовлено руководство по проверке. Руководство должно содержать достаточную информацию, помогающую инспектору в работе, для того, чтобы все виды установки и компоненты, методы испытаний и результаты испытания, которые были зафиксированы, могли быть документально подтверждены.

Инспектор обязан подготовить отчет, который прилагается к технической документации и предыдущим отчетам о проверке. Отчет о проверке должен содержать информацию, касающуюся:

- общего состояния LPMS;
- любого (ых) отклонения (й) от технической документации;
- результата любых выполненных измерений.

8.3 Техническое обслуживание

После проверки все отмеченные недостатки должны быть незамедлительно устранены, а техническая документация при необходимости должна быть откорректирована.

Приложение А (справочное)

Основные элементы для определения электромагнитной среды в зоне молниезащиты

Настоящее приложение содержит информацию об определении электромагнитной среды внутри ЗМЗ, которая может использоваться для защиты от электромагнитных импульсов грозовых разрядов (LEMP). Информация также подходит для защиты от электромагнитных помех.

А.1 Вредные воздействия на электрическую и электронную системы, вызванные молнией

А.1.1 Источник вредного воздействия

Первичным источником вредного воздействия является ток молнии в сочетании с магнитным полем, которое имеет такую же форму колебания, что и ток молнии.

Примечание – Для защиты влияние электрического поля молнии обычно является второстепенным.

А.1.2 Объекты вредного воздействия

Внутренние системы, установленные в здании или сооружении или на нем, имеющие лишь ограниченный уровень устойчивости к импульсным перенапряжениям и магнитным полям, могут быть повреждены или работать неисправно будучи подверженными воздействиям молнии и последующим магнитным полям.

Системы, установленные вне зданий и сооружений, могут подвергаться риску, вызванному ослабленным магнитным полем, а если они расположены на открытой местности – риску, вызванному импульсными перенапряжениями вплоть до полного тока молнии при прямом ударе молнии.

Системы, установленные внутри зданий и сооружений, могут подвергаться риску, вызванному сохранившимся ослабленным магнитным полем и проходящими или внутренними индуктированными импульсными перенапряжениями и внешними импульсными перенапряжениями, проходящими по входящим линиям.

Подробная информация об уровнях устойчивости оборудования изложена в следующих стандартах:

- уровень выдерживания энергоустановки установлен в IEC 60664-1;
- уровень устойчивости телекоммуникационного оборудования установлен в ITU-T K.20 и K.21;
- уровень устойчивости общего оборудования установлен в его технических характеристиках или может быть испытан на:
 - проводимые импульсные перенапряжения с использованием IEC 61000-4-5 с контрольными уровнями для напряжения: 0,5-1-2-4 кВ в форме колебаний 1,2/50 мкс и с контрольными уровнями для тока: 0,25-0,5-1-2 кА в форме колебаний 8/20 мкс.

Примечания – Для того чтобы некоторое оборудование могло соответствовать требованиям вышеупомянутого стандарта, они могут включать в себя внутренние ОПН. Характеристики данных внутренних ОПН могут повлиять на координирование требований;

- магнитные поля с использованием IEC 61000-4-9 с контрольными уровнями: 100-300-1000 А/м в форме колебаний 8/20 мкс IEC 61000-4-10 с контрольными уровнями: 10-30-100 А/м в 1 МГц.

Оборудование, не соответствующее радиочастоте (RF), радиоизлучению и испытаниям на устойчивость, которые установлены в стандартах на электромагнитную совместимость продукции, может быть подвержено риску, вызванному прямым воздействием излучаемых магнитных полей. В то же время неисправность оборудования, соответствующего данным стандартам, может быть не учтена.

А.1.3 Соединительные механизмы между объектом и источником вредного воздействия

Уровень устойчивости оборудования должен быть совместим с источником вредного воздействия. Для этого механизмы соединения должны быть проконтролированы с помощью создания соответствующих ЗМЗ.

А.2 Пространственное экранирование, прокладка линии и экранирование линии

А.2.1 Общие положения

Магнитное поле, вызванное внутри зоны молниезащиты ударами молнии, воздействующими на здание или сооружение либо рядом с ним, может быть уменьшено только с помощью пространственного экранирования ЗМЗ. Индуцированные импульсные перенапряжения внутри электронной системы могут быть уменьшены или с помощью пространственного экранирования, или с помощью прокладки линии и экранирования линии, а также сочетания обоих методов.

На рисунке А.1 приводится пример электромагнитного импульса грозовых разрядов (LEMP) при ударе молнии в здание или сооружение и пример зон молниезащиты ЗМЗ 0, ЗМЗ 1 и ЗМЗ 2. Защищаемая электронная система установлена внутри ЗМЗ 2.

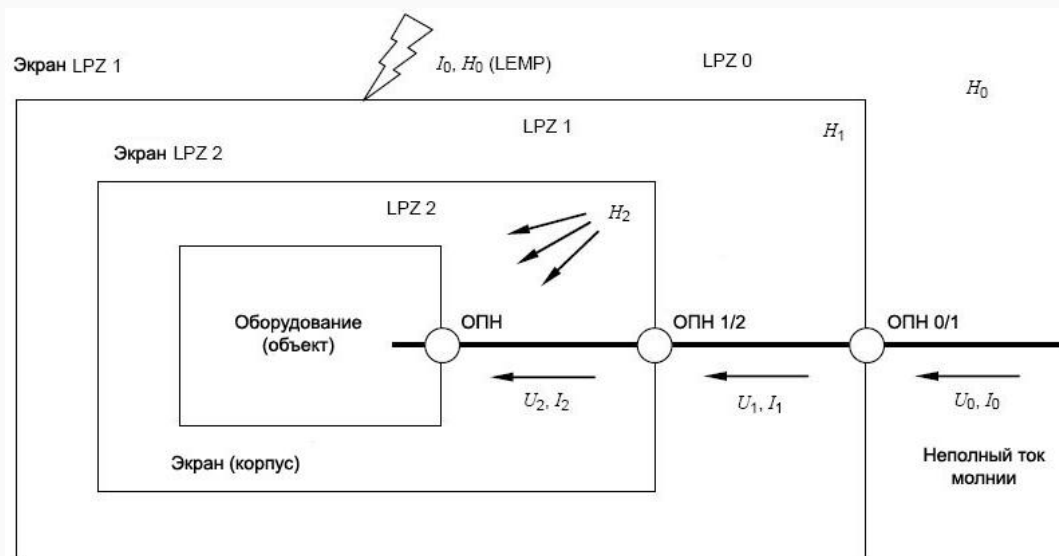


Рисунок А.1 – Ситуация с электромагнитным импульсом грозовых разрядов (LEMP), вызванная ударом молнии

Первичным электромагнитным источником вредного воздействия на электронную систему является ток молнии I_0 и магнитное поле H_0 . Неполные токи молнии проходят по входящим устройствам. Такие токи так же, как и магнитные поля, имеют одинаковую форму колебания. Принимаемый во внимание ток молнии включает в себя первый импульс I_1 (как правило, с длинной конечной фазой формы колебания 10/350 мкс) и последующие импульсы I_S (форма колебания 0,25/100 мкс). Ток первого импульса I_1 вызывает магнитное поле H_1 , а токи последующих импульсов I_S вызывают магнитные поля H_S .

Индуктированные магнитные воздействия вызваны в основном увеличением магнитного поля. Как показано на рисунке А.2, увеличение H_1 может характеризоваться уменьшенным колеблющимся полем в 25 кГц с максимальным значением $H_{1/\text{макс}}$ и продолжительностью до максимального значения $T_{p/f}$ в 10 мкс. Таким же образом увеличение H_S может характеризоваться уменьшенным колеблющимся полем в 1 МГц с максимальным значением $H_{S/\text{макс}}$ и продолжительностью до максимального значения $T_{p/S}$ в 0,25 мкс.

Отсюда следует, что магнитное поле первого импульса может характеризоваться обычной частотой в 25 кГц, а магнитное поле последующих импульсов может характеризоваться обычной частотой в 1 МГц. Уменьшенные колеблющиеся магнитные поля этих частот определены для испытаний в IEC 61000-4-9 и IEC 61000-4-10.

Установка магнитных экранов и ОПН на фазовых границах зон молниезащиты позволяет уменьшить воздействие молнии, определенное через I_0 и H_0 , до уровня, выдерживаемого объектом. Как показано на рисунке А.1, объект должен выдерживать близлежащее магнитное поле H_2 , проходящие токи молнии I_2 и напряжение U_2 .

Снижение I_1 до I_2 и U_1 до U_2 рассматривается в приложении С, а снижение H_0 до вполне низкого значения H_2 рассматривается здесь следующим образом:

В отношении решетчатого пространственного экрана допускается, что форма колебания магнитного поля внутри ЗМЗ (H_1 , H_2) соответствует форме колебания магнитного поля снаружи (H_0).

Уменьшенные колеблющиеся формы колебания, приведенные на рисунке А.2, соответствуют испытаниям, определенным в IEC 61000-4-9 и IEC 61000-4-10, и могут использоваться для определения степени устойчивости оборудования к магнитным полям, образованным путем усиления магнитного поля первого импульса H_f и последующих импульсов H_s .

Индуктированные импульсные перенапряжения, вызванные магнитным полем, связанным с петлей индуктивности (см. А.4), должны быть ниже уровня устойчивости оборудования или равны ему.

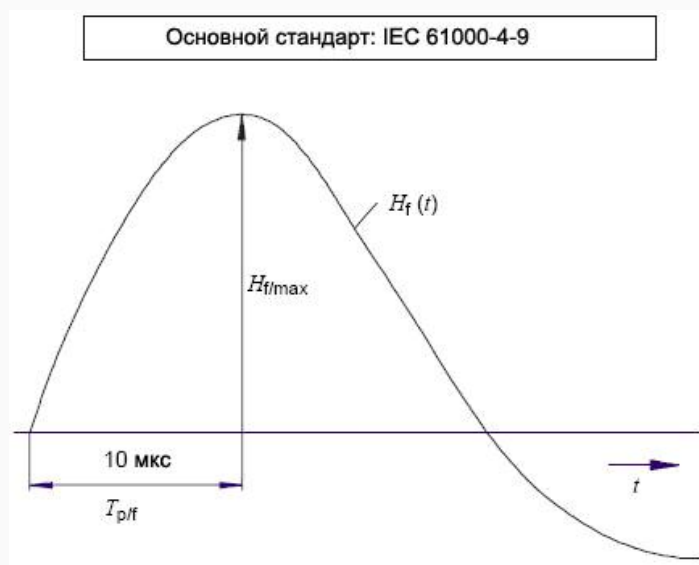


Рисунок А.2а – Имитация увеличения поля первого импульса (10/350 мкс) за счет единичного импульса 8/20 мкс (уменьшенное колебание 25 кГц)

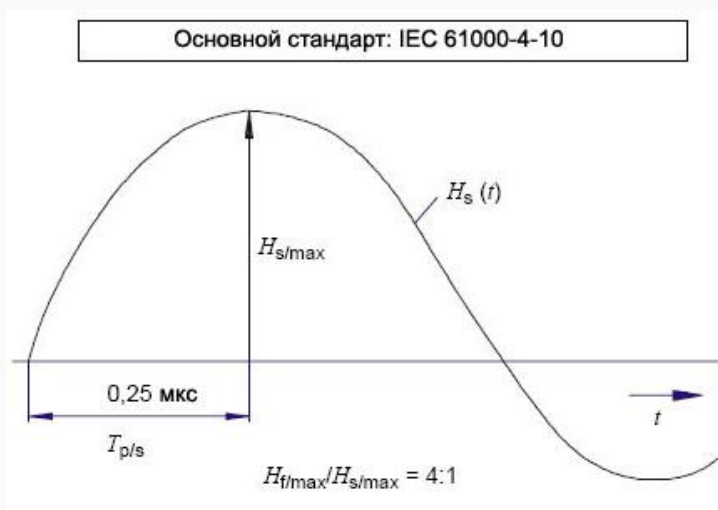


Рисунок А.2b – Имитация увеличения поля последующего импульса (0,25/100 мкс) за счет уменьшенных колебаний в 1 МГц (многократные импульсы 0,2/0,5 мкс)

Примечание 1 – Несмотря на то, что определения продолжительности до максимального значения T_P и время нарастания импульса T_1 различны, для соответствующего подхода их числовые значения взяты равными.

Примечание 2 – Соотношение максимальных значений $H_{f/\max} / H_{s/\max} = 4 : 1$.

Рисунок А.2 – Имитация увеличения магнитного поля за счет уменьшенных колебаний

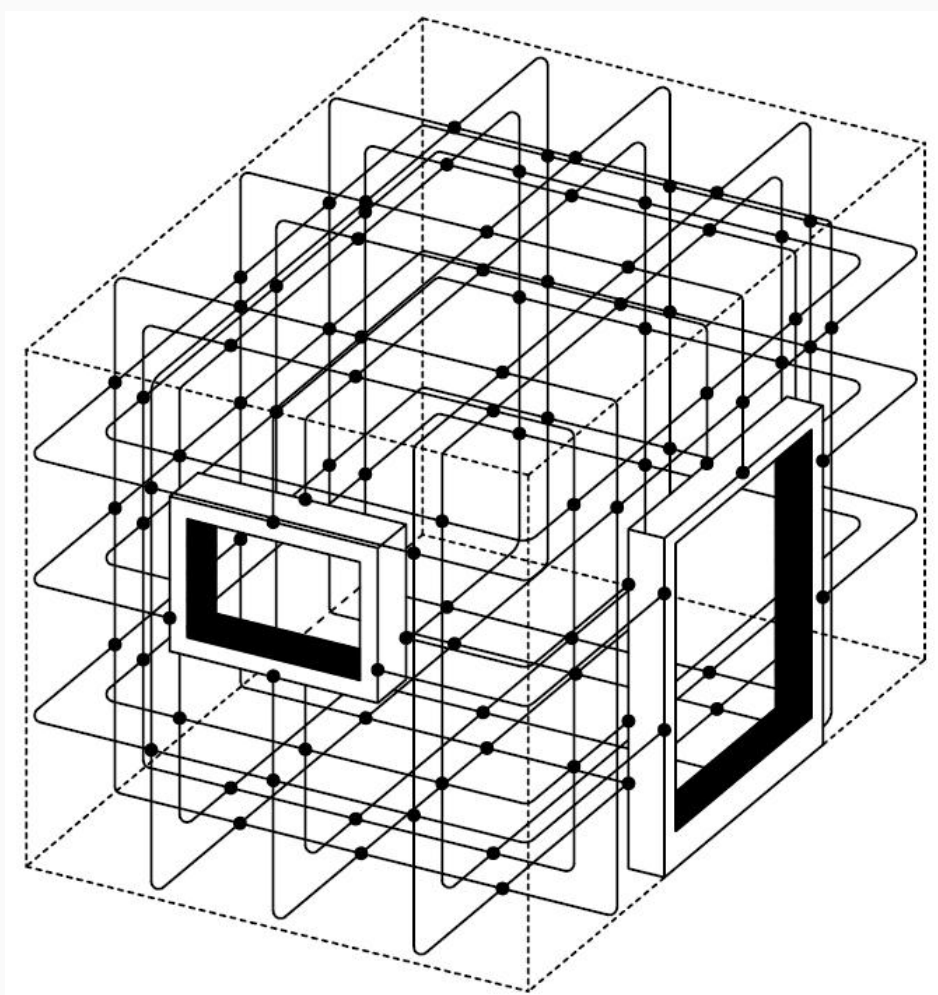
А.2.2 Решетчатые пространственные экраны

Фактически экраны с большим размером зон молниезащиты обычно создаются естественными элементами здания или сооружения, например металлической арматурой в потолках, стенах и полом, металлическим каркасом, металлическими крышами и фасадами. Данные компоненты вместе образуют решетчатый пространственный экран. Для эффективного экранирования необходимо, чтобы ширина ячейки составляла менее 5 м.

Примечание 1 – Эффект экранирования может быть незначительным, если ЗМЗ образована за счет нормальной внешней системы молниезащиты в соответствии с IEC 62305-3, с размерами ячейки и типичным расстоянием более 5 м. В других случаях широкое стальное каркасное сооружение с множеством стальных опор дает значительный эффект экранирования.

Примечание 2 – Экранирование в последующих внутренних зонах молниезащиты может быть выполнено либо с применением мер пространственного экранирования, либо с использованием закрытых металлических стеллажей или шкафов или металлического корпуса оборудования.

На рисунке А.3 показано, как металлическая арматура в бетонных и металлических каркасах (для металлических дверей и, возможно, для экранированных окон) может быть использована для создания экрана большого размера для помещения или сооружения.



● – точки спаяны или зажаты на каждом стержне и на их пересечениях

Примечание – Фактически для масштабных зданий и сооружений становится невозможным выполнить пайку или зажатие во всех местах. Однако большинство точек связаны между собой с помощью прямых соединений или дополнительной прокладки проводников. Следовательно, с помощью практического подхода можно было бы осуществить соединение приблизительно через каждый метр.

Рисунок А.3 – Экран большого размера, образованный с помощью металлической арматуры и металлических каркасов

Электронные системы размещаются в безопасной области и с соблюдением безопасной дистанции по отношению к экрану ЗМЗ (см. рисунок А.4). Это связано с относительно высокими магнитными полями на границе с экраном, вызванными неполными токами молнии, проникающими в экран (особенно в ЗМЗ 1).

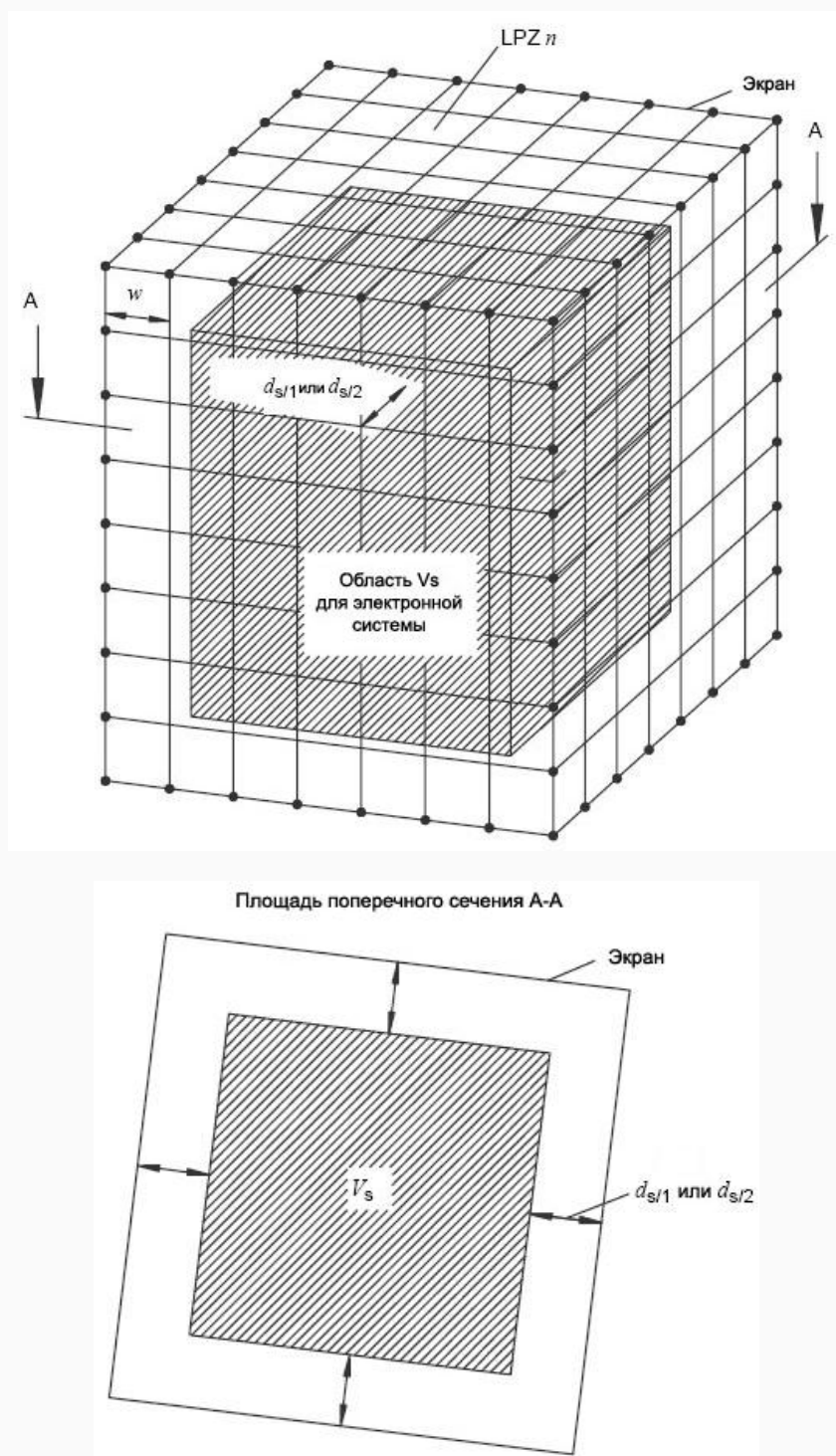


Рисунок А.4 – Область для электрической и электронной систем внутри ЗМЗ

Примечание – Область V_s находится на безопасном расстоянии $d_{s/1}$ или $d_{s/2}$ от экрана ЗМЗ.

A.2.3 Прокладка и экранирование линии

Импульсные перенапряжения, индуцированные в электронных системах, могут быть уменьшены с помощью соответствующей прокладки линии (уменьшающей размер петли индуктивности), или с использованием экранированных кабелей или металлических кабельных каналов (уменьшающих внутренние индуктивные воздействия), или с сочетанием обоих способов (см. рисунок 5).

Проводящие кабели, соединенные с электронными системами, следует прокладывать как можно ближе к металлическим компонентам соединительной сети. Эти кабели рекомендуется прокладывать в металлических оболочках соединительной сети, например U-образных трубопроводах или желобах для проводов (см. также IEC 61000-5-2).

Особое внимание следует уделить прокладке кабелей вблизи экрана ЗМЗ (в частности, ЗМЗ 1) ввиду значительной величины магнитных полей в этом месте.

Если необходима защита кабелей, которые проложены между отдельными зданиями или сооружениями, то они должны прокладываться в металлических кабельных каналах. Данные каналы должны соединяться на обоих концах замыкателями отдельных зданий или сооружений. Если защитные оболочки кабеля (соединенные на обоих концах) способны выдерживать предполагаемый неполный ток молнии, то в дополнительных металлических кабельных каналах нет необходимости.

Напряжения и токи, индуцированные в петлях оборудования, дают в результате перенапряжения общего характера в электронных системах. Расчеты данных индуцированных напряжений и токов описаны в разделе A.4.

На рисунке A.6 приведен пример крупного офисного здания:

– для ЗМЗ 1 экранирование выполнено с помощью стальной арматуры и металлических фасадов, а также с помощью экранированных корпусов для восприимчивых электронных систем в ЗМЗ 2. Для установки незначительной ячеистой соединительной системы необходимо наличие нескольких соединительных точек подключения в каждом помещении;

– ЗМЗ 0 переходит в ЗМЗ 1 с источником питания 20 кВ, поскольку установка ОПН в сеть с высоким напряжением непосредственно на входе не представляется возможной в этом конкретном случае.

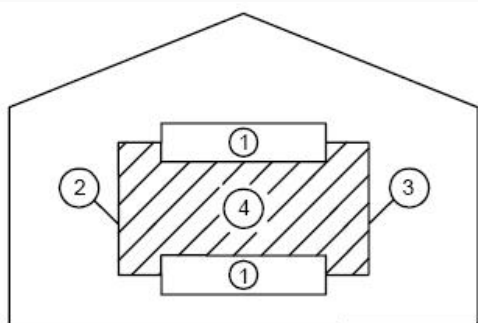


Рисунок A.5a – Незащищенная система

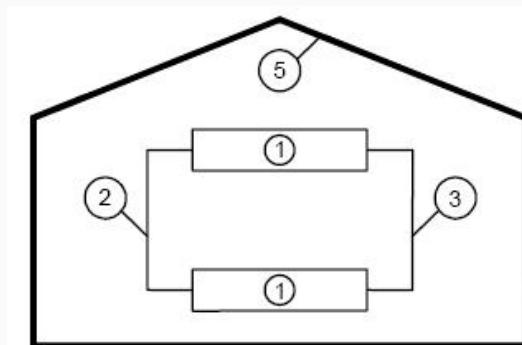


Рисунок A.5b – Уменьшение магнитного поля внутри ЗМЗ с помощью пространственного экрана

Рисунок A.5, лист 1 – Уменьшение воздействия индукции за счет прокладки линии и мер экранирования

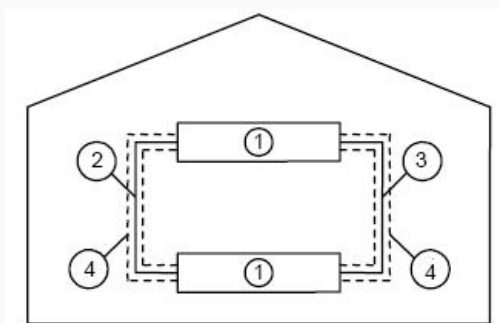


Рисунок А.5с – Уменьшение воздействия поля на линии с помощью пространственного экрана

- 1 – устройство в металлическом корпусе;
- 2 – линия электропитания;
- 3 – канал связи;
- 4 – петля индуктивности;
- 5 – внешнее пространственное экранирование;
- 6 – металлический экран линии

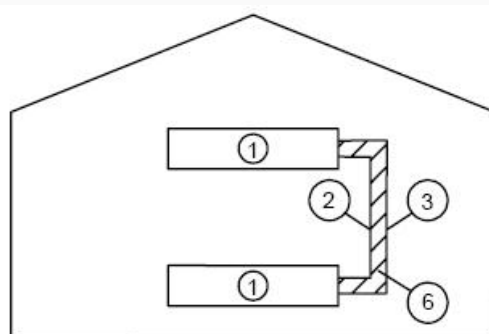
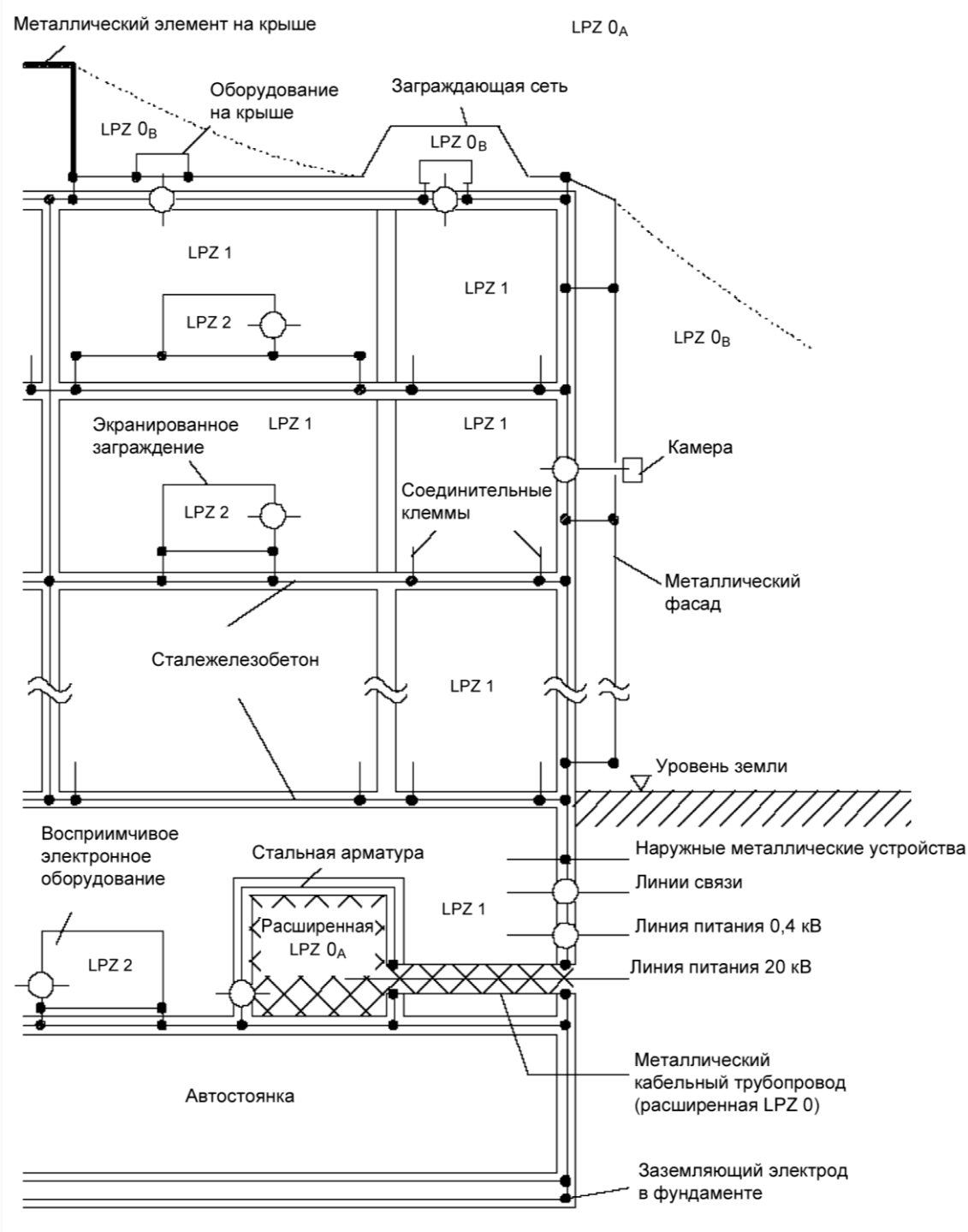


Рисунок А.5d – Уменьшение размера петель индуктивности за счет соответствующей прокладки линии

Рисунок А.5, лист 2



- – эквипотенциальное соединение;
- – ограничитель перенапряжения (ОПН).

Рисунок А.6 – Пример LPMS для офисного здания

А.3 Магнитное поле внутри ЗМЗ

А.3.1 Приблизительная величина для магнитного поля внутри ЗМЗ

Если теоретически (см. А.3.2) или исходя из эксперимента (см. А.3.3) анализ эффективности экранирования не выполнен, ослабление определяется так, как показано ниже.

А.3.1.1 Решетчатый пространственный экран ЗМЗ в случае прямого удара молнии

Экран здания или сооружения (окружающий ЗМЗ 1) может быть частью внешней системы молниезащиты, и токи, вызванные прямыми ударами молнии, будут проходить вдоль него. Данная ситуация отражена на рисунке А.7а с предположением, что удар молнии может быть направлен в произвольную точку крыши.

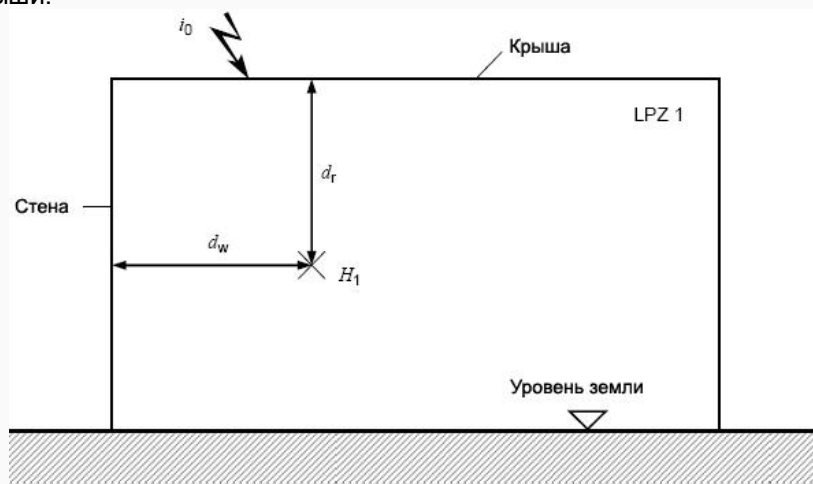


Рисунок А.7а – Магнитное поле внутри ЗМЗ 1

H_1 определяется как:

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w_1 / (d_w \cdot \sqrt{d_r}).$$

Примечание – Расстояния d_w и d_r определены для намеченной точки.

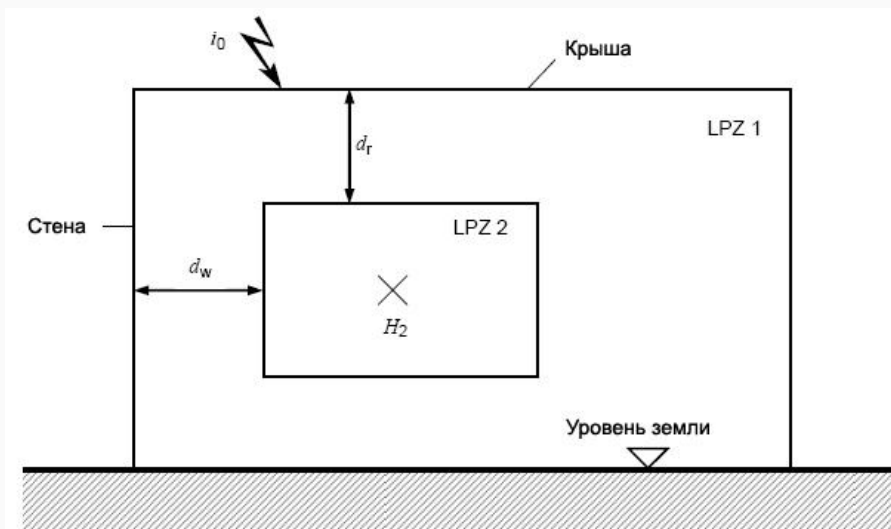


Рисунок А.7b – Магнитное поле внутри ЗМЗ 2

H_1 определяется как:

$$H_2 = H_1 / 10^{SF2 / 20}.$$

Примечание – Расстояния d_w и d_r определены для границы ЗМЗ 2.

Рисунок А.7 – Оценка значений магнитных полей в случае прямого удара молнии

Для напряженности магнитного поля H_1 в произвольной точке внутри ЗМЗ применяется следующая формула:

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \text{ (A/м)}, \quad (\text{A.1})$$

где d_r – кратчайшее расстояние, выраженное в метрах, между намеченной точкой и верхней частью экрана ЗМЗ 1;

d_w – кратчайшее расстояние, выраженное в метрах, между намеченной точкой и стенкой экрана ЗМЗ 1;

i_0 – ток молнии в ЗМЗ 0А, А;

k_H – геометрический фактор ($1/\sqrt{м}$), обычно $k_H = 0,01 (1/\sqrt{м})$;

w – размер ячеек решетчатого экрана ЗМЗ 1, м.

Результатом данной формулы является максимальное значение магнитного поля в ЗМЗ 1 (с учетом примечания, приведенного ниже):

– вызванного первым ударом:

$$H_{1/f/\max} = k_H \cdot i_{f/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \text{ (A/м)}; \quad (\text{A.2})$$

– вызванного последующими ударами:

$$H_{1/s/\max} = k_H \cdot i_{s/\max} \cdot w / (d_w \cdot \sqrt{d_r}) \text{ (A/м)}, \quad (\text{A.3})$$

где $i_{f/\max}$ – максимальное значение тока при первом ударе в амперах в соответствии с уровнем защиты;

$i_{s/\max}$ – максимальное значение токов при последующих ударах в амперах в соответствии с уровнем защиты.

Примечание – Если ячеистая соединительная сеть установлена в соответствии с 5.2, поле будет уменьшено за счет фактора 2.

Эти значения магнитного поля допустимы только для безопасного объема V_S внутри решетчатого экрана с безопасным расстоянием $d_{S/1}$ от экрана (см. рисунок А.4):

$$d_{S/1} = w \text{ (м)}. \quad (\text{A.4})$$

Пример – В качестве примера рассмотрены три медных решетчатых экрана с размерами, приведенными в таблице, имеющие среднюю величину ячеек $w = 2$ м (см. рисунок А.10). Данные результаты определяют безопасное расстояние $d_{S/1} = 2,0$ м с безопасным объемом V_S . Значения для $H_{1\max}$, допустимые внутри V_S , рассчитаны для $i_{0/\max} = 100$ кА и указаны в таблице А.1. Расстояние до крыши является половиной высоты: $d_r = H/2$. Расстояние до стены является половиной длины: $d_w = L/2$ (центр) или равно: $d_w = d_{S/1}$ (наихудший вариант вблизи стены).

Таблица А.1 – Примеры для $i_{0/\max} = 100$ кА и $w = 2$ м

Тип экрана (см. рисунок А.10)	$L \times W \times H$, м	$H_{1\max}$ (центр), А/м	$H_{1\max}$ ($d_w = d_{S/1}$), А/м
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

А.3.1.2 Решетчатый пространственный экран ЗМЗ 1 в случае произошедшего вблизи здания или сооружения удара молнии

Ситуация с произошедшим вблизи ударом молнии рассмотрена на рисунке А.8. Случай с магнитным полем вокруг ЗМЗ 1 может приравняться к ситуации с плоской волной.

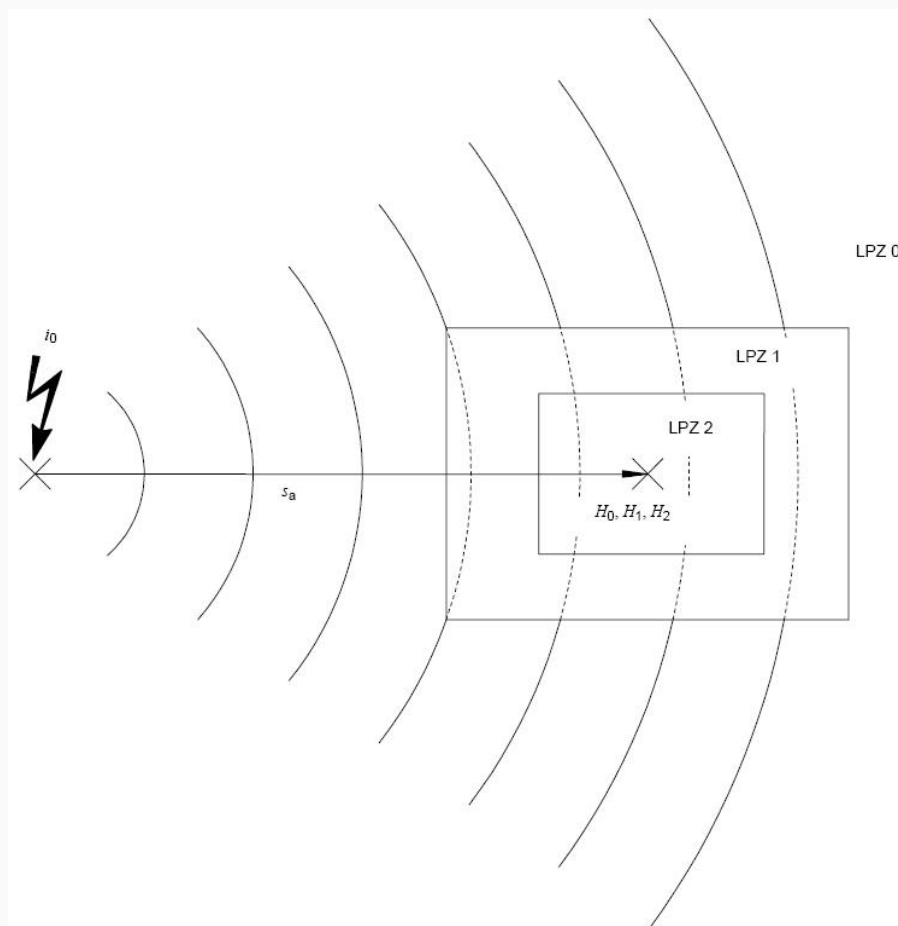


Рисунок А.8 – Оценка значений магнитного поля в случае произошедшего вблизи здания или сооружения удара молнии

- без экрана $H_0 = i_0 / (2\pi s_a)$;
- внутри ЗМЗ 1 $H_1 = H_0 / 10^{SF_1} / 20$;
- внутри ЗМЗ 2 $H_2 = H_0 / 10^{SF_2} / 20$.

Фактор экранирования SF для решетчатых пространственных экранов для плоской волны рассмотрен в таблице А.2.

Таблица А.2 – Магнитное ослабление решетчатыми пространственными экранами для плоской волны

Материал	SF (дБ) (см. примечания 1 и 2)	
	25 кГц (при первом ударе)	1 МГц (при последующих ударах)
Медь или алюминий	$20 \cdot \log (8,5 / w)$	$20 \cdot \log (8,5 / w)$
Сталь (см. примечание 3)	$20 \cdot \log [(8,5 / w) / \sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2}]$	$20 \cdot \log (8,5 / w)$
w – размер ячейки решетчатого экрана (м); r – радиус армированного стержня решетчатого экрана (м).		
Примечание 1 – $SF = 0$ в случае отрицательных результатов формулы.		
Примечание 2 – SF возрастает на 6 дБ, если ячеистая соединительная сеть установлена в соответствии с 5.2.		
Примечание 3 – Пропускающая способность $\mu_r \approx 200$.		

Случай с магнитным полем H_0 рассчитан с использованием:

$$H_0 = i_0 / (2\pi \cdot s_a) \text{ (A/м)} \quad (\text{A.5})$$

i_0 – ток молнии в ЗМЗ 0, А;

s_a – расстояние между точкой удара и центром экранированного пространства, м.

Отсюда вытекает максимальное значение магнитного поля в ЗМЗ 0:

– вызванное первым ударом:

$$H_{0/f/\max} = k_H \cdot i_{f/\max} / (2\pi \cdot s_a) \text{ A/м;} \quad (\text{A.6})$$

– вызванное последующими ударами:

$$H_{0/f/\max} = k_H \cdot i_{s/\max} / (2\pi \cdot s_a) \text{ A/м;} \quad (\text{A.7})$$

где $i_{f/\max}$ – максимальное значение тока молнии от первого удара в соответствии с выбранным уровнем защиты, А;

$i_{s/\max}$ – максимальное значение тока молнии от последующих ударов в соответствии с выбранным уровнем защиты, А.

Уменьшение H_0 на H_1 внутри ЗМЗ 1 может быть получено с использованием значений SF , приведенных в таблице А.2:

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \text{ (A/м);} \quad (\text{A.8})$$

SF (дЦ) – фактор экранирования, полученный из формулы в таблице А.2;

$H_{0/\max}$ – магнитное поле в ЗМЗ 0, А.

Отсюда вытекает максимальное значение магнитного поля в ЗМЗ 1:

– вызванное первым ударом:

$$H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20} \text{ A/м;} \quad (\text{A.9})$$

– вызванное последующими ударами:

$$H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20} \text{ A/м.} \quad (\text{A.10})$$

Данное магнитное поле действительно только для безопасного объема V_s внутри решетчатого экрана с безопасным расстоянием $d_{s/2}$ от экрана (см. рисунок А.4):

$$d_{s/2} = w SF / 10 \text{ (м) для } SF \geq 10; \quad (\text{A.11})$$

$$d_{s/2} = w \text{ (м) для } SF < 10, \quad (\text{A.12})$$

где SF – фактор экранирования, полученный из формулы в таблице А.2, дБ;

w – размер ячейки в решетчатом экране, м.

Для получения дополнительной информации касательно расчета напряженности магнитного поля внутри решетчатых экранов в случае произошедших вблизи ударов молнии см. А.3.3.

Примеры

Напряженность магнитного поля $H_{1/\max}$ внутри ЗМЗ 1 в случае произошедшего вблизи удара молнии зависит от: тока молнии $i_{0/\max}$, фактора экранирования SF экрана ЗМЗ 1 и расстояния s_a между каналом молнии и центром ЗМЗ 1 (см. рисунок А.8).

Ток молнии $i_{0/\max}$ зависит от выбранного УМЗ (см. IEC 62305-1). Фактор экранирования SF (см. таблицу А.2) является в основном функцией размера ячейки решетчатого экрана. Расстоянием s_a является либо:

– заданное расстояние между центром ЗМЗ 1 и близлежащим объектом (например, столбом) в случае удара молнии в данный объект, или

– минимальное расстояние между центром ЗМЗ 1 и каналом молнии в случае удара молнии в землю вблизи ЗМЗ 1.

Наихудшая ситуация наступает, если самый высокий ток молнии $i_{0/\max}$ комбинируется с самым близким расстоянием s_a . Как показано на рисунке А.9, данное минимальное расстояние s_a является функцией высоты H и длины L (соответственно размеру W) здания или сооружения (ЗМЗ 1) и радиуса катящейся сферы r , соответствующему $i_{0/\max}$ (см. таблицу А.3), определенному с помощью электрической геометрической модели (см. IEC 62305-1, пункт А.4).

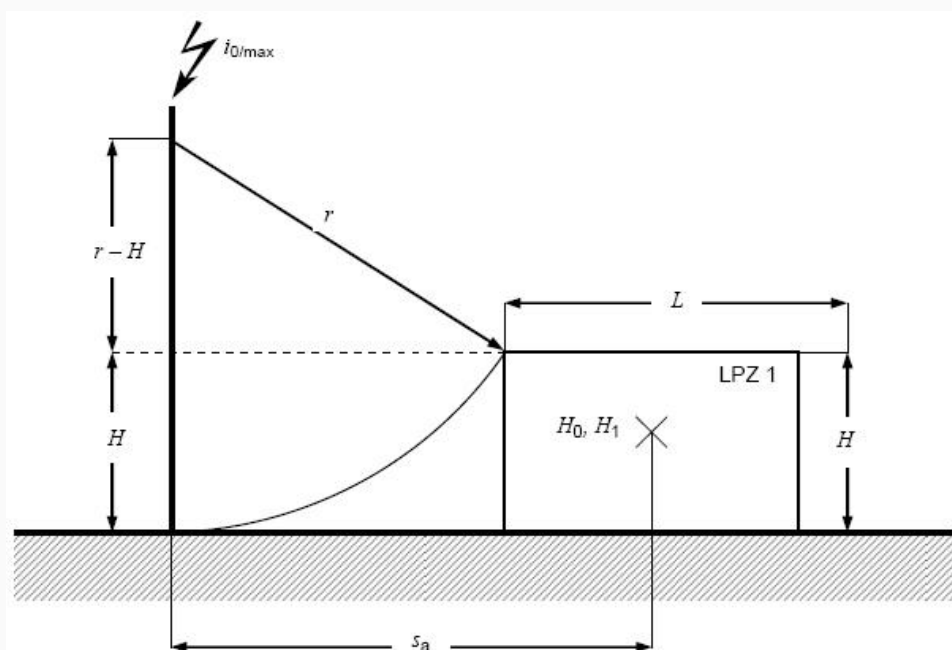


Рисунок А.9 – Расстояние s_a , зависящее от радиуса катящейся сферы и размеров здания или сооружения

Расстояние может быть рассчитано:

$$s_a = \sqrt{2 \cdot r \cdot H - H^2} + L/2 \text{ для } H < r; \quad (\text{A.13})$$

$$s_a = r + L/2 \text{ для } H \geq r. \quad (\text{A.14})$$

Примечание – При расстояниях меньше, чем данное минимальное значение, молния поражает здание или сооружение напрямую.

Можно определить три типичных экрана, имеющих размеры, приведенные в таблице А.4. Для медного решетчатого экрана допустимы ячейки размером $w = 2$ м. Данные результаты фактора экранирования $SF = 12,6$ дБ и безопасного расстояния $d_{s/2} = 2,5$ м определяют безопасную область V_s . Значения $H_{0/\max}$ и $H_{1/\max}$, допустимые в объеме V_s , рассчитаны для $i_{0/\max} = 100$ кА и приведены в таблице А.4.

Таблица А.3 – Радиус фиктивной сферы, соответствующий максимальному току молнии

Уровень защиты	Максимальный ток молнии $i_{0/\max}$, кА	Радиус фиктивной сферы r , м
I	200	313
II	150	260
III – IV	100	200

Таблица А.4 – Примеры для $i_{0/\max} = 100$ кА и $w = 2$ м, соответствующие фактору экранирования $SF = 12,6$ дБ

Тип экрана (см. рисунок А.10)	$D \times W \times B$, м	s_a , м	$H_{0/\max}$, А/м	$H_{1/\max}$, А/м
1	$10 \times 10 \times 10$	67	236	56
2	$50 \times 50 \times 10$	87	182	43
3	$10 \times 10 \times 50$	137	116	27

А.3.1.3 Решетчатые пространственные экраны для ЗМЗ 2 и выше

В решетчатых экранах ЗМЗ 2 и выше не проходят ни одни неполные токи молнии. Поэтому в качестве первого подхода уменьшение с H_n на H_{n+1} в ЗМЗ $n + 1$ может быть рассчитано таким же образом, как показано в А.3.1.2 для ударов молнии, произошедших вблизи:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \text{ (А/м)}, \quad (\text{А.15})$$

где SF – фактор экранирования в таблице А.2, выраженный в децибелах;

H_n – магнитное поле внутри ЗМЗ_n, выраженное в амперах на метр.

Если $H_n = H_1$, то напряженность поля может рассчитываться следующим образом:

– в случае прямых ударов молнии в решетчатый экран ЗМЗ 1 см. А.3.1.1 и рисунок А.7b, тогда как d_w и d_r являются расстояниями между экраном ЗМЗ 2 и соответственно стеной и крышей;

– в случае ударов молнии вблизи ЗМЗ 1 см. А.3.1.2 и рисунок А.8.

Эти значения магнитного поля допустимы только для безопасной области V_S внутри решетчатого экрана с безопасным расстоянием $d_{S/2}$ от экрана, как описано в А.3.1.2 (см. рисунок А.4).

А.3.2 Теоретический расчет магнитного поля, вызванного прямыми ударами молнии

В А.3.1.1 формулы для определения напряженности магнитного поля $H_{1/\max}$ основаны на числовых расчетах магнитного поля для трех типичных решетчатых экранов, как показано на рисунке А.10. Для данных расчетов принимается во внимание удар молнии в один из краев крыши. Канал молнии смоделирован в качестве вертикального проводящего арматурного стержня длиной 100 м на высшей точке крыши. Идеально проводимое покрытие представляет собой земляной слой.

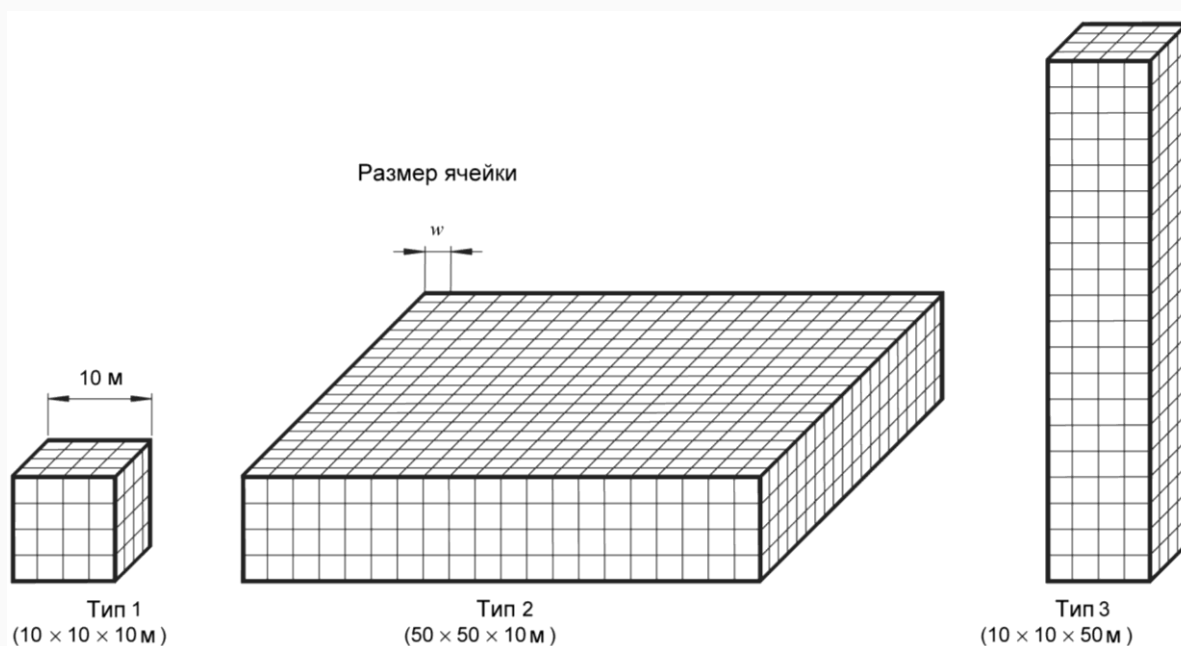
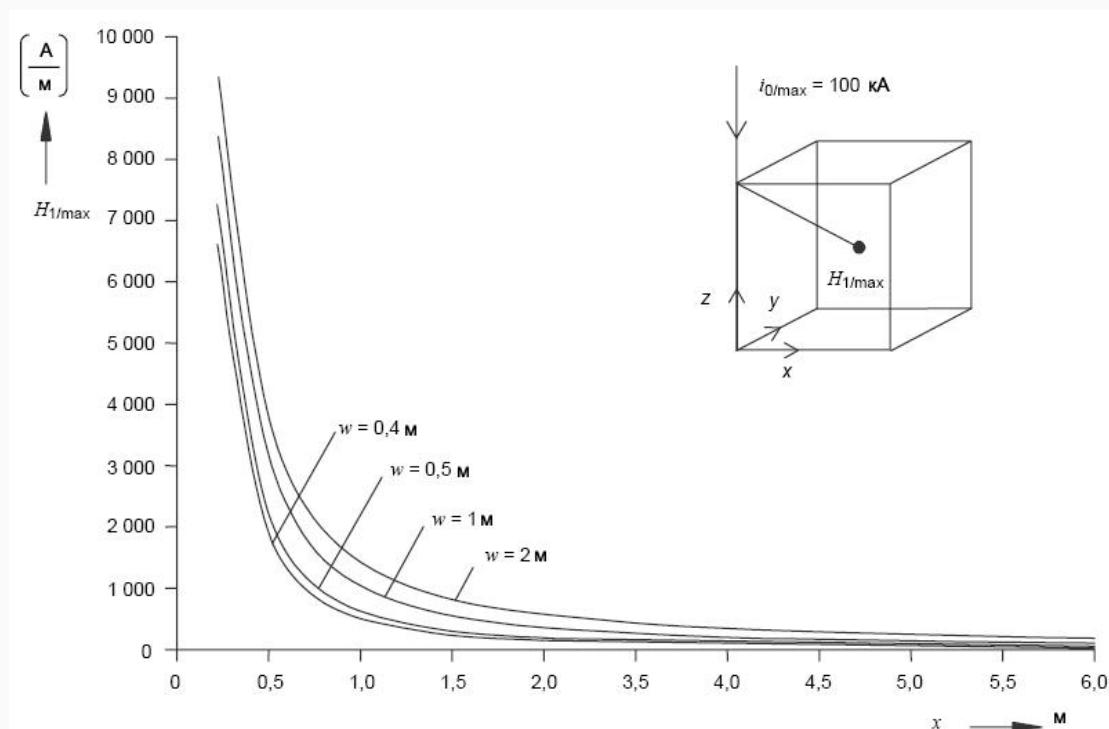
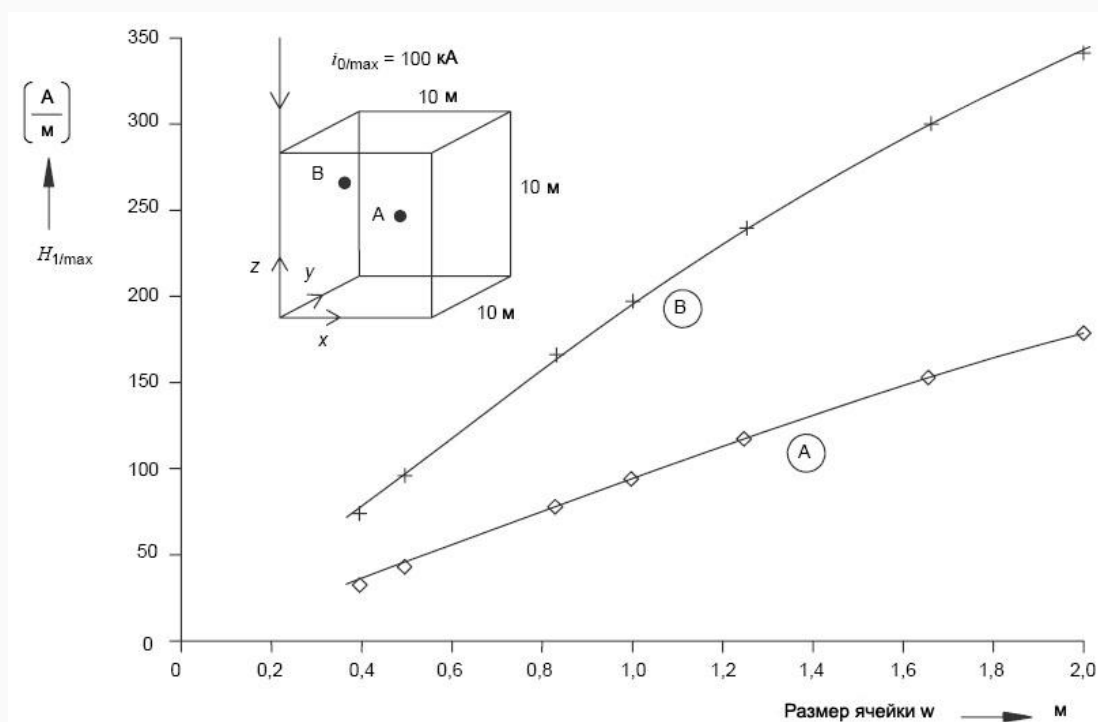


Рисунок А.10 – Типы решетчатых экранов большого размера

Для расчетов принимается во внимание магнитное поле в сочетании с каждым стержнем внутри решетчатого экрана, включая все остальные стержни и условный канал молнии. В результате рассчитывается ток молнии в решетке. За счет распространения данного тока внутри экрана образована напряженность магнитного поля. Сопротивление стержней может не учитываться. Поэтому распространение тока в решетчатом экране и напряженность магнитного поля зависят от частоты. Также может не приниматься во внимание емкостная связь во избежание переходных процессов.

Для случая с экраном типа 1 (см. рисунок А.10) некоторые данные приведены на рисунках А.11 и А.12.

Рисунок А.11 – Напряженность магнитного поля $H_{1/\max}$ внутри решетчатого экрана типа 1Рисунок А.12 – Напряженность магнитного поля $H_{1/\max}$ внутри решетчатого экрана типа 1

Во всех случаях допустим максимальный ток молнии $i_{0/\max} = 100\text{ kA}$. На обоих рисунках $H_{1/\max}$ является напряженностью магнитного поля в точке, образовавшейся с помощью компонентов H_x , H_y и H_z :

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}. \quad (\text{A.16})$$

На рисунке А.11 $H_{1/\max}$ рассчитана вдоль прямой, начиная от точки удара ($x = y = 0, z = 10$ м) и заканчивая центром зоны ($x = y = 5$ м, $z = 5$ м). $H_{1/\max}$ представлена как функции x -координаты для каждой точки на этой линии, где параметром является размер ячейки w решетчатого экрана.

На рисунке А.12 $H_{1/\max}$ рассчитана для двух точек внутри экрана (точка А: $x = y = 5$ м, $z = 5$ м; точка В: $x = y = 7$ м, $z = 7$ м). Результат представлен как функция размера ячейки w .

На обоих рисунках показано влияние основных параметров на распространение магнитного поля внутри решетчатого экрана: расстояние от стены или крыши и размер ячеек.

На рисунке А.11 можно наблюдать, что вдоль других линий сквозь зону экрана могут происходить пересечения нейтральной оси и изменения знаков компонентов напряженности магнитного поля $H_{1/\max}$. Поэтому формулы в А.3.1.1 являются приближением первого порядка к рассматриваемому и более сложному распределению магнитного поля внутри решетчатого экрана.

А.3.3 Экспериментальная оценка магнитного поля, вызванного прямым ударом молнии

Магнитные поля внутри экранированных зданий или сооружений могут быть также непосредственно измерены. На рисунке А.13 показано предложение по имитации прямого удара молнии в произвольную точку экранированного здания или сооружения с использованием генератора тока молнии. Обычно подобные испытания могут проходить в качестве испытаний тока на низком уровне, но где форма колебания имитированного тока молнии идентична реальному грозовому разряду.

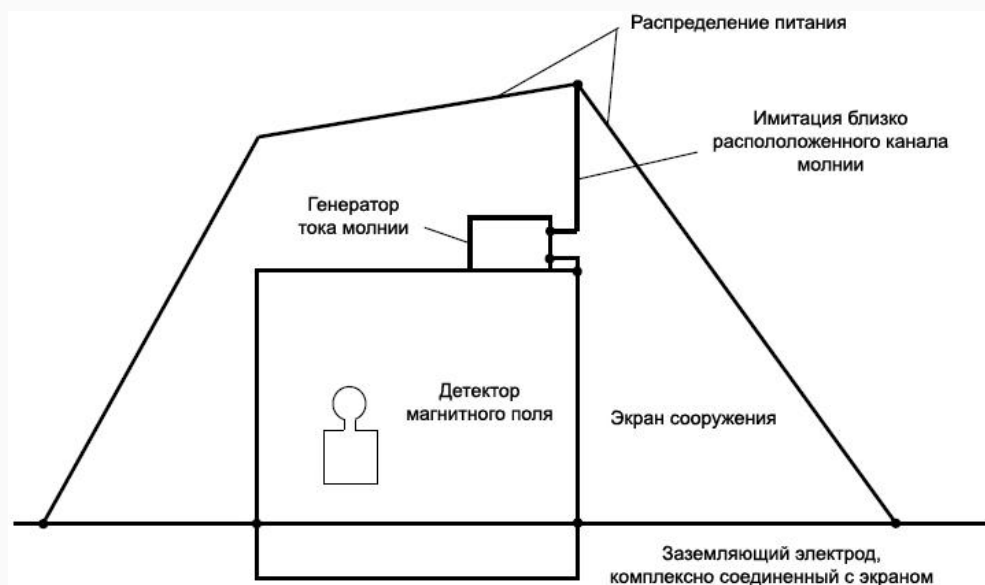
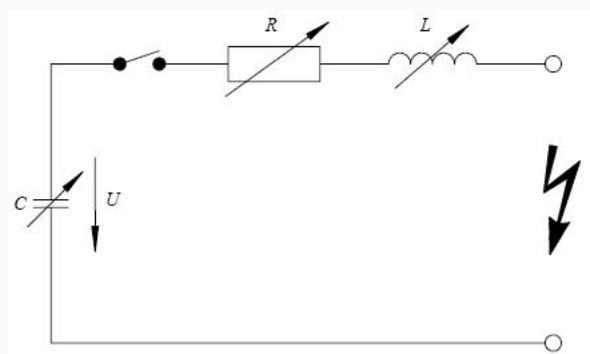


Рисунок А.13а – Испытательный комплект



U – обычный, примерно 10 кВ;

C – обычный, примерно 10 нФ

Рисунок А.13б – Генератор тока молнии

Рисунок А.13 – Низкий уровень испытания для оценки магнитного поля внутри экранированного здания или сооружения

А.4 Расчет индуцированных напряжений и токов

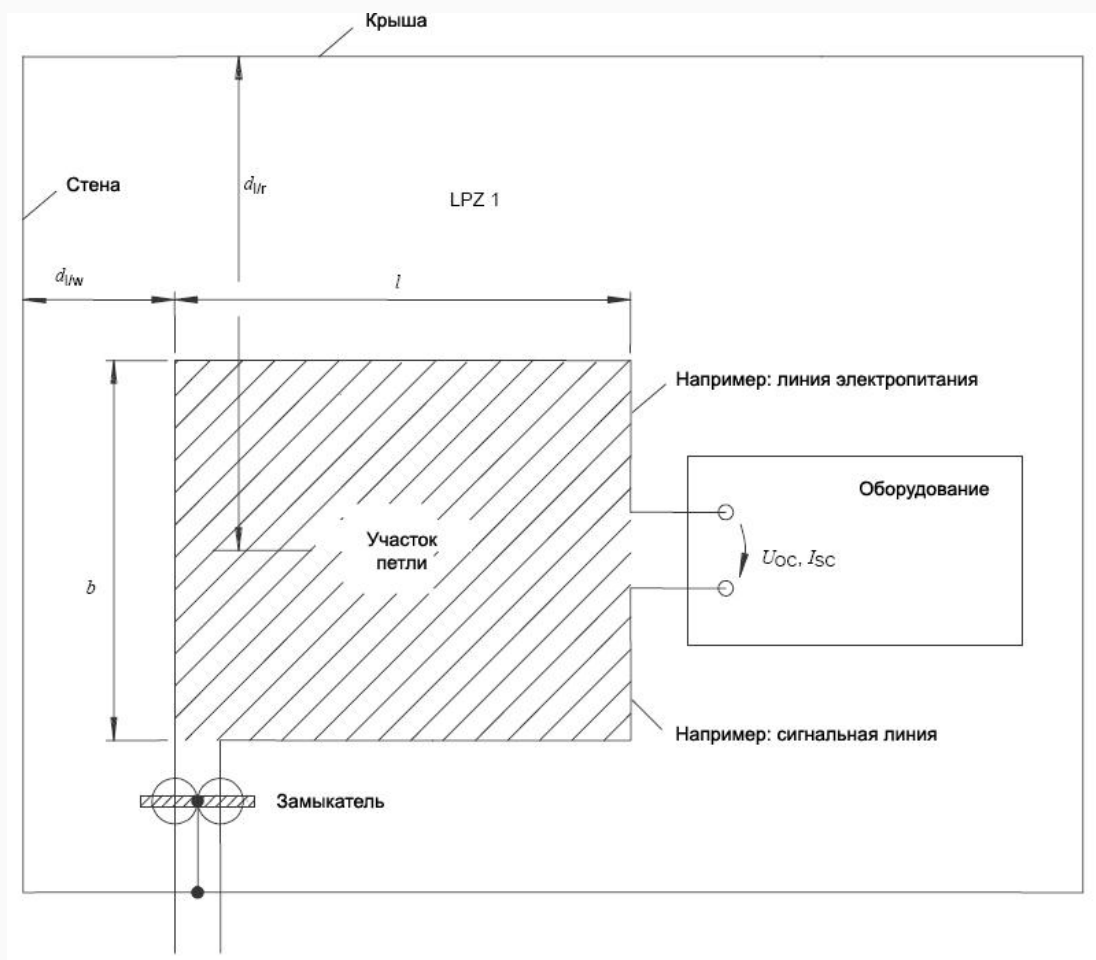


Рисунок А.14 – Напряжения и токи, индуцированные в петлю, образованную линиями

А.4.1 Ситуация внутри ЗМЗ 1 в случае прямого удара молнии

Магнитное поле H_1 внутри зоны V_S ЗМЗ 1 (см. А.3.1.1):

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w / (d_W \cdot \sqrt{d_r}) \text{ (А/м)}. \quad (\text{A.17})$$

Напряжение холостого хода u_{oc} образовано:

$$u_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot di_0 / dt \text{ (В)}. \quad (\text{A.18})$$

Пиковая величина $u_{oc/\max}$ возникает во время нарастания импульса T_1

$$u_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{lw}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{0/\max} / T_1 \text{ (В)}, \quad (\text{A.19})$$

где μ_0 равен $4\pi \cdot 10^{-7}$, Bs / А·м;

b – размер петли, м;

d_{lw} – расстояние между петлями и стеной экрана, где $d_{lw} \geq d_{S/1}$, м;

$\sqrt{d_{lr}}$ – среднее расстояние между петлями и крышей экрана, м;

i_0 – ток молнии в ЗМЗ 0А, А;

$i_{0/\max}$ – максимальная величина удара тока молнии в ЗМЗ 0А, А;

- l — длина петли, м;
 $k_H (1/\sqrt{m})$ — геометрический фактор $k_H = 0,01 \cdot (1/\sqrt{m})$;
 T_1 — время нарастания импульса от удара тока молнии в ЗМЗ 0_A, с;
 w — ширина ячейки решетчатого экрана, м.

Ток короткого замыкания I_{SC} образован:

$$I_{SC} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_0 / L \text{ (A)}, \quad (\text{A.20})$$

где активное сопротивление провода не принимается во внимание (наихудший случай).

Максимальная величина $I_{SC/\max}$ образована:

$$I_{SC/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot k_H \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{0/\max} / L \text{ (A)}, \quad (\text{A.21})$$

где L является коэффициентом самоиндукции петли, Н.

Для прямоугольных петель коэффициент самоиндукции L может рассчитываться как

$$L = \left\{ 0,8 \cdot \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \cdot (l + b) + 0,4 \cdot \ln \left[\frac{(2b/r)}{(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2})} \right] + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left[\frac{(2l/r)}{(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2})} \right] \right\} \cdot 10^{-6} \text{ (H)}, \quad (\text{A.22})$$

где r является радиусом провода, м.

Напряжение и ток, индуцированные посредством магнитного поля от первого удара ($T_1 = 10$ мкс), определяют по формулам:

$$U_{oc/f/\max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{f/\max} \text{ (B)}; \quad (\text{A.23})$$

$$I_{SC/f/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{f/\max}^{/L} \text{ (A)}. \quad (\text{A.24})$$

Напряжение и ток, индуцированные посредством магнитного поля от последующих ударов ($T_1 = 0,25$ мкс), определяют по формулам:

$$U_{oc/c/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{f/\max} \text{ (B)}; \quad (\text{A.25})$$

$$I_{SC/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l / d_{l/w}) \cdot (w / \sqrt{d_{lr}}) \cdot i_{s/\max}^{/L} \text{ (A)}, \quad (\text{A.26})$$

где $i_{f/\max}$ — максимальная величина тока первого удара, кА;
 $i_{s/\max}$ — максимальная величина тока последующих ударов, кА.

А.4.2 Ситуация внутри ЗМЗ 1 в случае произошедшего вблизи удара молнии

Магнитное поле H_1 внутри области V_S ЗМЗ 1 может рассматриваться как однородное (см. 3.1.2).

Напряжение холостого хода U_{oc} определяют по формуле:

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1 / dt \text{ (B)}. \quad (\text{A.27})$$

Пиковая величина $U_{oc/\max}$ возникает во время нарастания импульса T_1

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot H_{1/\max} / T_1 \text{ (B)}, \quad (\text{A.28})$$

где μ_0 — равен $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (Bs)} / \text{(A} \cdot \text{м)}$;
 b — размер петли, м;
 H_1 — зависящее от времени магнитное поле внутри ЗМЗ 1, А/м;
 $H_{1/\max}$ — максимальная величина магнитного поля внутри ЗМЗ 1, А/м;
 l — длина ячейки, м;
 T_1 — время увеличения магнитного поля, идентичное времени нарастания импульса от удара тока молнии, с.

Напряжение холостого хода I_{SC} определяют по формуле:

$$I_{SC} = \mu_0 \cdot b \cdot I \cdot H_1 / L \quad (A), \quad (A.29)$$

где активное сопротивление провода не принимается во внимание (наихудший случай).

Максимальная величина $I_{SC/\max}$ определяют по формуле:

$$I_{SC/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot H_{1/\max} / L \quad (A), \quad (A.30)$$

где L является коэффициентом самоиндукции петли, Н (для расчетов L см. А.4.1).

Напряжение и ток, индуцированные посредством магнитного поля $H_{1/f}$ от первого удара ($T_1 = 10\mu s$), определяют по формулам:

$$U_{oc/f/\max} = 0,126 \cdot b \cdot I \cdot H_{1/f/\max} \quad (B); \quad (A.31)$$

$$I_{SC/f/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot I \cdot H_{1/f/\max} / L \quad (A), \quad (A.32)$$

Напряжение и ток, индуцированные посредством магнитного поля $H_{1/s}$ от последующих ударов ($T_1 = 0,25 \mu s$), определяют по формулам:

$$U_{oc/s/\max} = 5,04 \cdot b \cdot I \cdot H_{1/s/\max} \quad (V); \quad (A.33)$$

$$I_{SC/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot I \cdot H_{1/s/\max} / L \quad (A), \quad (A.34)$$

где $H_{1/f/\max}$ – максимальное значение магнитного поля внутри ЗМЗ 1, вызванного первым ударом, А/м;

$H_{1/s/\max}$ – максимальное значение магнитного поля внутри ЗМЗ 1, вызванного последующими ударами, А/м.

А.4.3 Ситуация внутри ЗМЗ 2 и классом выше

Магнитное поле H_n внутри ЗМЗ n для $n \geq 2$ можно принять как однородное (см. А.3.1.3).

Таким образом, для расчета индуцированных напряжений и токов применяются одинаковые формулы, как в А.3.1.2, где H_1 заменено H_n .

Приложение В (справочное)

Применение мер защиты от электромагнитных импульсов тока молнии (LEMP) для электронных систем в существующих зданиях и сооружениях

В.1 Контрольный перечень

Для существующих зданий и сооружений при выборе соответствующих мер защиты от воздействий молнии следует принимать во внимание конструкцию здания или сооружения, а также состояние здания или сооружения и существующих электрических и электронных систем.

Контрольный лист облегчает анализ риска и выбор наиболее подходящих мер защиты.

В частности, для существующих зданий и сооружений должен быть составлен систематический план определения зон и заземления, соединения, прокладки линии и экранирования.

Контрольный лист, приведенный в таблицах В.1 – В.4, следует использовать для сверки необходимых данных существующего здания или сооружения и находящегося в нем оборудования. На основании этих данных выполняется оценка риска в соответствии с IEC 62305-2 для определения необходимой защиты и в данном случае необходимо определить самые эффективные по затратам меры защиты, которые будут использованы.

Примечание – Для получения дополнительной информации о защите от электромагнитных помех (ЭМП) в зданиях и сооружениях обращайтесь к IEC 60364-4-44.

Таблица В.1 – Характеристики здания и сооружения и окружения

Пункт	Вопрос
1	Каменная кладка, кирпич, дерево, железобетон, сооружения со стальным каркасом, металлический фасад?
2	Единое здание или сооружение или несколько отдельных блоков с большим количеством соединений?
3	Низкие и плоские или высотные здания и сооружения? (размеры здания и сооружения)
4	Соединена ли арматура электрически по всему зданию или сооружению?
5	Вид, тип и качество материала металлической кровли?
6	Соединены ли металлические фасады?
7	Металлические рамы окон соединены?
8	Размер окон?
9	Оснащено ли здание или сооружение внешней системой молниезащиты?
10	Тип и качество данной системы молниезащиты?
11	Тип почвы (камень, земля)?
12	Высота, расстояние и заземление соседних зданий и сооружений?
Примечание – Для получения более подробной информации обращайтесь к IEC 62305-2.	

Таблица В.2 – Характеристики оборудования

Пункт	Вопрос
1	Тип входящих линий (подземных или надземных)?
2	Типы антенн (антенны или другие внешние устройства)?
3	Тип системы электропитания (высоковольтная, низковольтная, подземная или надземная)?
4	Прокладка кабелей (количество и расположение труб, кабельных каналов)?
5	Использование металлических кабельных лотков?
6	Имеется ли электронное оборудование в здании и сооружении?
7	Есть ли металлические проводники, отходящие к другим зданиями или сооружениям?
Примечание – Для получения более подробной информации обращайтесь к IEC 62305-2.	

Таблица В.3 – Характеристики оборудования

Пункт	Вопрос
1	Тип коммуникации электронной системы (экранированные или неэкранированные многожильные кабели, коаксиальный кабель, аналоговый и/или цифровой, симметричный или несимметричный, оптоволоконные кабели) (см. примечание 1)
2	Специфический ли уровень устойчивости у электронной системы? (см. примечания 1 и 2)
Примечание 1 – Для получения более подробной информации обращайтесь к IEC 62305-2. Примечание 2 – Для получения более подробной информации обращайтесь к ITU-T К. 21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 и IEC 61000-4-10.	

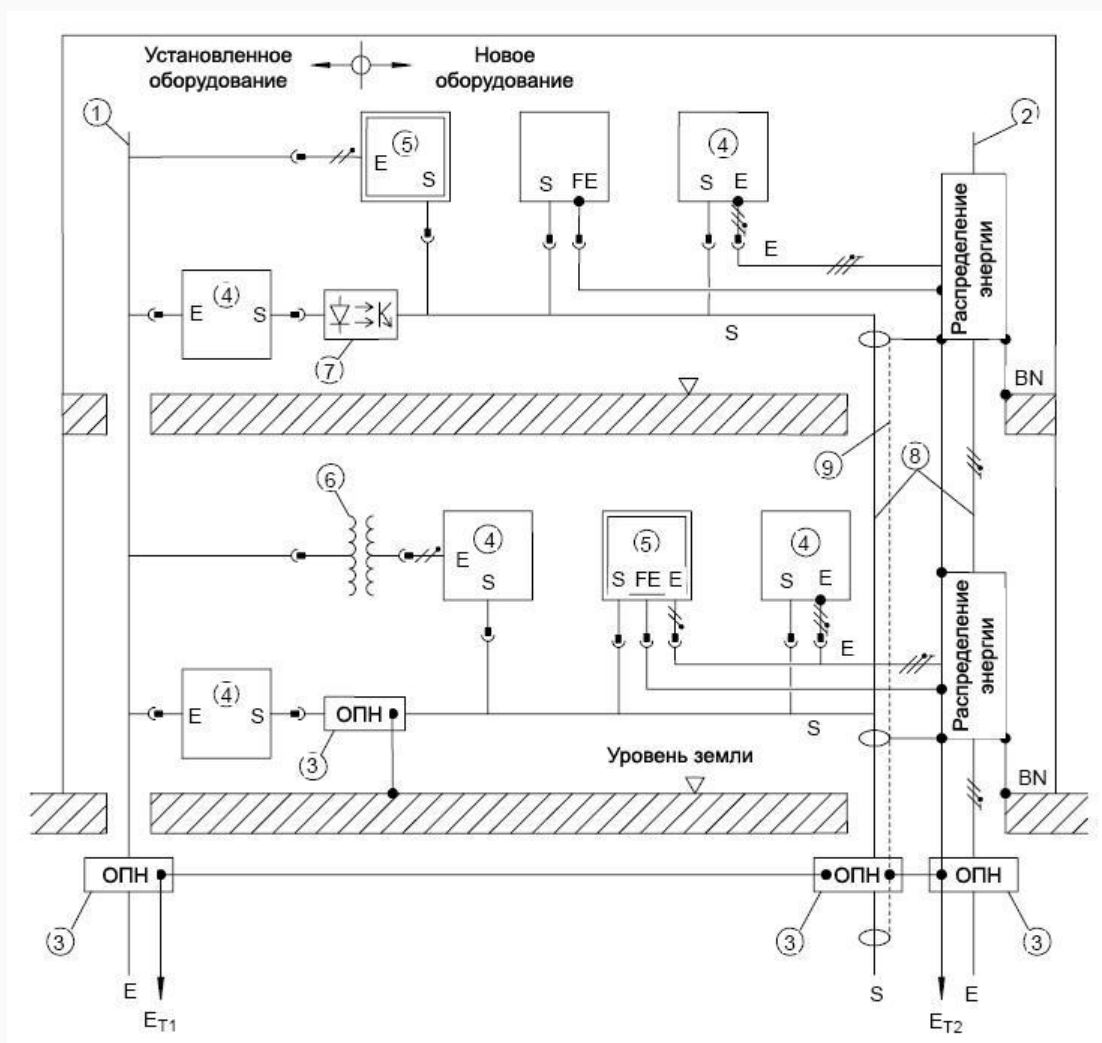
Таблица В.4 – Другие вопросы, касающиеся выбора концепции защиты

Пункт	Вопрос
1	Конфигурация сети TN (TN-S или TN-C), TT или IT?
2	Размещение электронного оборудования? (см. примечание)
3	Взаимосвязь функциональных проводов заземления электронной системы с соединительной сетью?
Примечание 1 – Для получения более подробной информации, обращайтесь к приложению А.	

В.2 Внедрение новых электронных систем в существующих зданиях и сооружениях

При внедрении новых электронных систем в существующее здание или сооружение, находящееся в нем оборудование может ограничивать меры защиты, которые могут быть предприняты.

На рисунке В.1 показан пример того, как существующее оборудование (слева) объединяется с новым оборудованием (справа). Существующее оборудование имеет ограничения по мерам защиты, которые могут использоваться. Тем не менее разработка и планирование нового оборудования могут позволить принятие всех необходимых мер защиты.



- 1 – существующая электрическая сеть (TN-C, TT, IT);
- 2 – новая электрическая сеть (TN-S, TN-CS, TT, IT);
- 3 – ограничитель перенапряжения (ОПН);
- 4 – стандартная изоляция класса I;
- 5 – дополнительная изоляция класса II без PE;
- 6 – изолирующий трансформатор;
- 7 – оптрон или оптоволоконный кабель;
- 8 – смежная разводка электрических и сигнальных проводов;
- 9 – экранированные кабельные каналы;
- E – электрические провода;
- S – сигнальные провода (экранированные и неэкранированные);
- ET – заземлитель;
- BN – соединительная сеть;
- PE – проводник защитного заземления;
- FE – функциональный проводник заземлен;
- / / – трехпроводная электрическая линия: L, N, PE;
- / – двухпроводная электрическая линия: L, N;
- – соединительные точки (PE, FE, BN)

Рисунок В.1 – Усовершенствование мер защиты от электромагнитных импульсов тока молнии (LEMP) и электромагнитная совместимость в существующих зданиях и сооружениях

В.2.1 Общие сведения о возможных мерах защиты

В.2.1.1 Система электропитания

Существующая питающая сеть (см. рисунок В.1, № 1) в здании и сооружении зачастую имеет тип TN-S и может быть причиной частых сбоев в питании. Подобных сбоев можно избежать с помощью изолируемых согласующих устройств (см. ниже).

При установке новой питающей сети (см. рисунок В.1, № 2) настоятельно рекомендуется использовать тип TN-S.

В.2.1.2 Ограничители перенапряжения

Чтобы контролировать проводящие перенапряжения в линиях, ограничители перенапряжения устанавливаются на входе в ЗМЗ и по возможности на защищаемом оборудовании (см. рисунок В.1, № 3 и рисунок В.2).

В.2.1.3 Изолирующие промежуточные устройства

Чтобы избежать сбоев, между существующим и новым оборудованием можно использовать изолирующие промежуточные устройства: изолированное оборудование класса II (см. рисунок В.1, № 5), изолирующие трансформаторы (см. рисунок В.1, № 6), оптоволоконные кабели или оптоэлектронные оптические устройства (см. рисунок В.1, № 7).

В.2.1.4 Прокладка кабелей и экранирование

Широкие петли в прокладке кабелей могут привести к очень высоким индуктированным напряжениям или токам. Их можно избежать с помощью смежной разводки электрических и сигнальных кабелей (см. рисунок В.1, № 8), таким образом сокращая размер петли. Рекомендовано использовать сигнальные экранированные кабели. Для масштабных зданий и сооружений также рекомендовано применять дополнительное экранирование, например, посредством соединенных металлических кабельных каналов (см. рисунок В.1, № 9). Все эти экраны соединяются с обоих концов.

Прокладка кабелей и меры по экранированию имеют более важное значение, чем слабая эффективность экранирования в пространственном экране ЗМЗ 1 и увеличение размера петли.

В.2.1.5 Пространственное экранирование

Пространственное экранирование ЗМЗ от магнитных полей молнии требует, чтобы типичный размер ячейки был менее 5 м.

ЗМЗ 1, образованная с помощью типичной внешней системы молниезащиты в соответствии с IEC 62305-3 (внешняя система молниезащиты, вертикальный молниеотвод и заземление), имеет размер ячеек и типичные интервалы более 5 м, поэтому эффекты экранирования становятся незначительными. Если необходимо добиться более эффективного экранирования, внешняя система молниезащиты совершенствуется (см. В.7).

ЗМЗ 1 и область выше этой зоны могут нуждаться в пространственном экранировании для защиты электронных систем, не соответствующих эмиссии радиочастоты и требованиям к помехоустойчивости.

В.2.1.6 Соединение

Эквипотенциальное соединение для токов молнии с частотами с точностью до нескольких МГц требует ячеистой соединительной сети с низким сопротивлением с обычным размером ячейки 5 м. Все устройства, входящие в ЗМЗ, соединяются напрямую либо посредством соответствующего ограничителя перенапряжения как можно ближе к границе ЗМЗ.

Если в существующих структурах данные условия не выполнены, могут быть приняты другие соответствующие меры защиты.

В.2.2 Создание ЗМЗ для электрической и электронной систем

В зависимости от числа, типа и восприимчивости электрической и электронной систем определены соответствующие ЗМЗ – от маленьких локальных зон (корпус отдельного электронного оборудования) до обширных внутренних зон (весь размер здания).

На рисунке В.2 показана типичная схема ЗМЗ по защите электронных систем с приведением различных соответствующих решений, в частности для существующих зданий и сооружений:

На рисунке В.2а показано формирование отдельной ЗМЗ 1 с созданием защитной зоны внутри всего здания и сооружения, например, для электронных систем с повышенными уровнями устойчивости к напряжению:

– данная ЗМЗ может быть создана с использованием системы молниезащиты в соответствии с IEC 62305-3, состоящей из внешней системы молниезащиты (внешняя система молниезащиты, вертикальный молниеотвод и заземлитель) и внутренней системы молниезащиты (эквипотенциальное заземление молнии и соответствие с безопасными расстояниями);

– внешняя система молниезащиты защищает ЗМЗ 1 от ударов молнии, направленных на здание или сооружение, но магнитное поле внутри ЗМЗ 1 остается мало ослабленным. Это вызвано тем, что внешние системы молниезащиты и вертикальные молниеотводы имеют размеры ячеек и типичные интервалы более 5 м, поэтому эффект пространственного экранирования является незначительным, как объяснялось раньше. Если риск R_D ударов молнии, направленных на здание или сооружение, очень низкий, то наружная система молниезащиты может не приниматься во внимание;

– внутренняя система молниезащиты требует заземления всех устройств, входящих в здание или сооружение на границе ЗМЗ 1, и включает в себя установку ОПН, испытанных с I_{imp} , для электрических и сигнальных линий. Это означает, что проходящие импульсные перенапряжения во входящих устройствах будут ограничены на входе посредством ОПН.

Примечание – Изолирующие промежуточные устройства могут быть полезными внутри ЗМЗ 1, чтобы избежать низкочастотных помех.

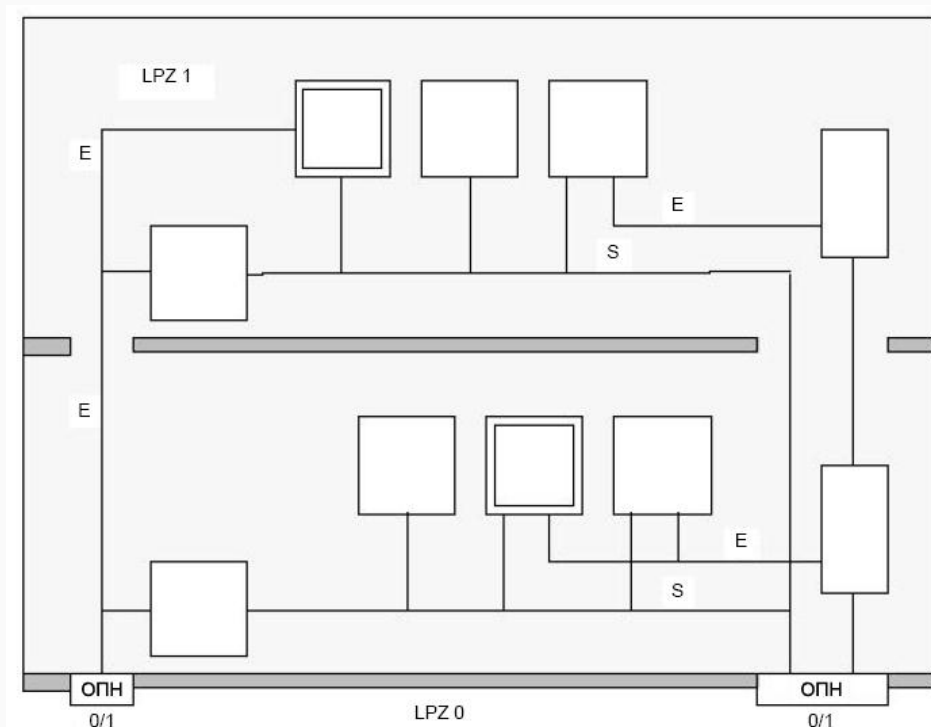


Рисунок В.2а – Неэкранированная ЗМЗ 1 с использованием системы молниезащиты и ОПН на входе линий в здание или сооружение (например, с целью повышения уровня устойчивости систем к напряжению или для небольших петель внутри здания или сооружения)

Рисунок В.2, лист 1 – Возможности для создания ЗМЗ в существующих зданиях и сооружениях

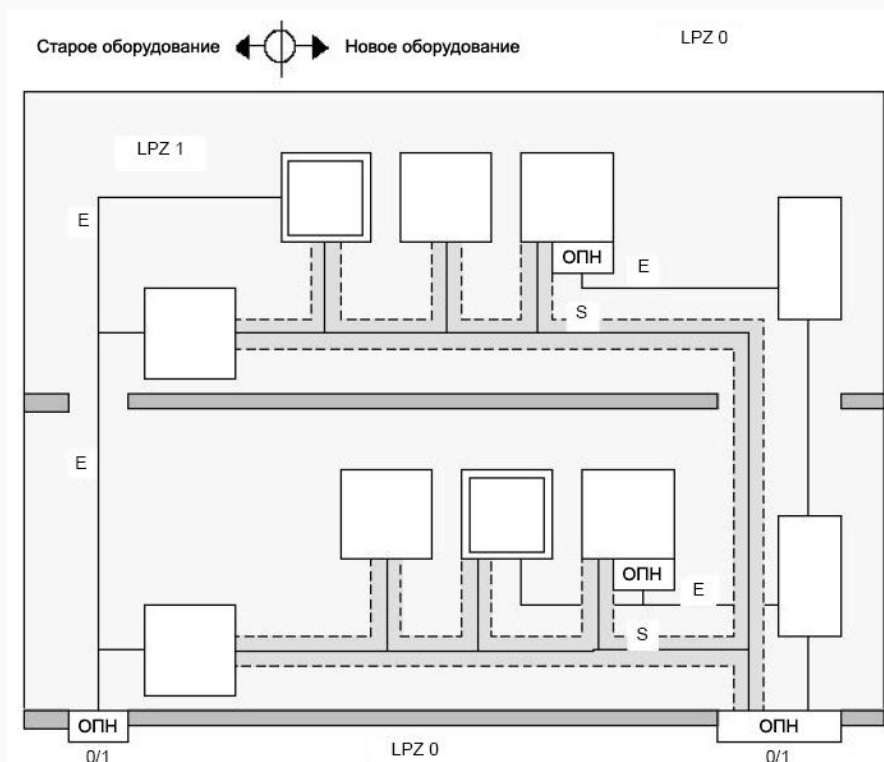


Рисунок В.2b – Незранированная ЗМЗ 1 с защитой для новых электронных систем с использованием экранированных сигнальных линий и скоординированных ОПН на линии электропитания

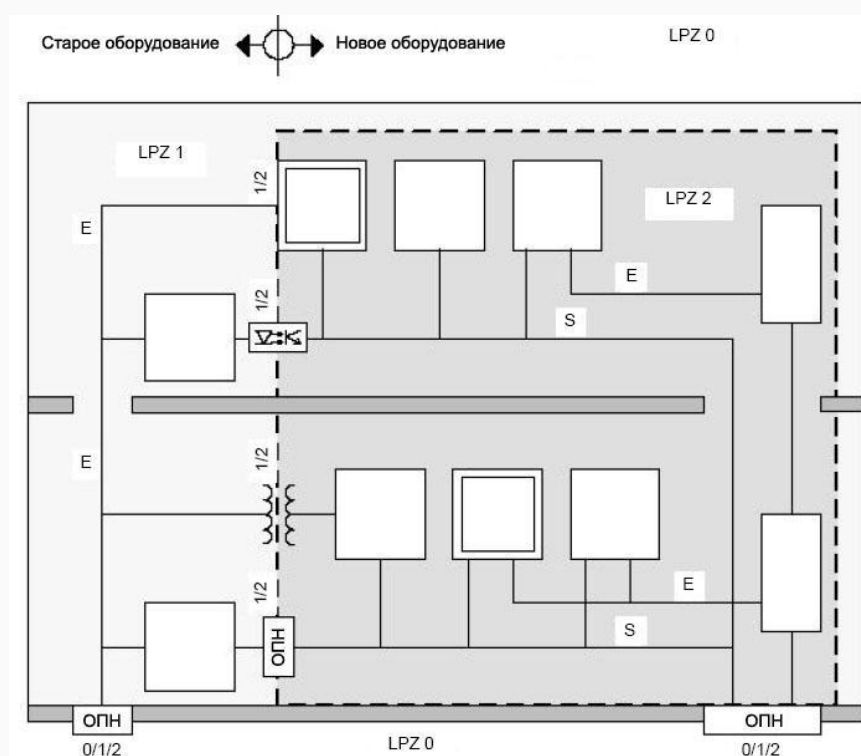


Рисунок В.2с – Незранированная ЗМЗ 1 и обширная экранированная ЗМЗ 2 для новых электронных систем

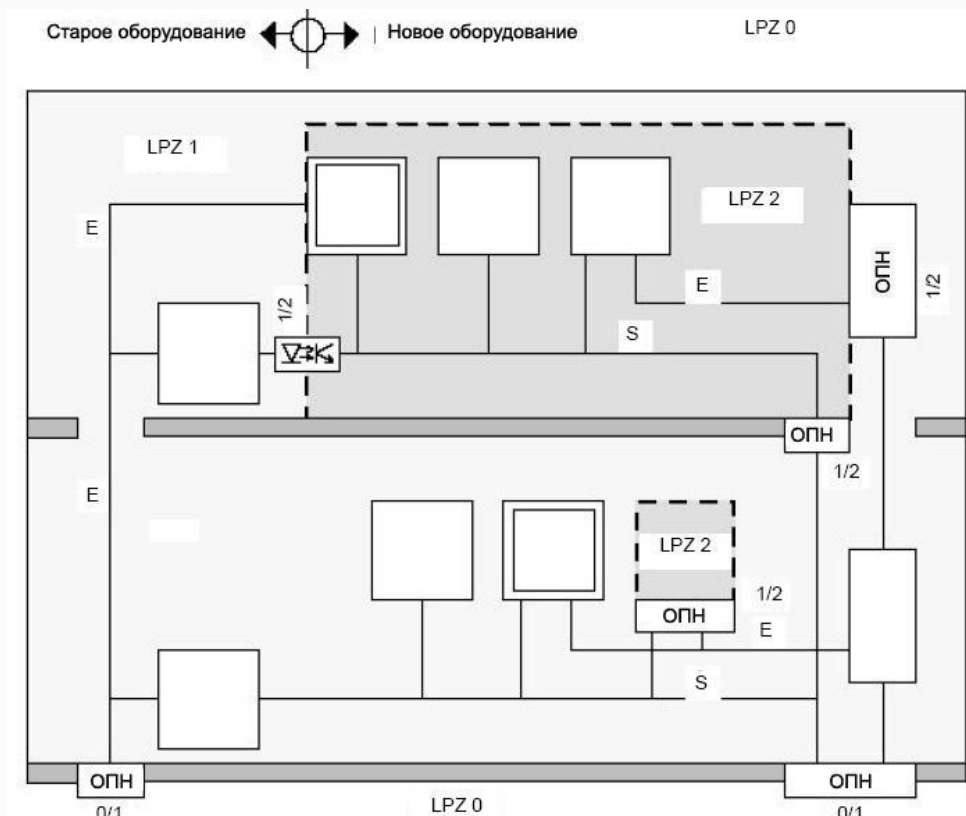


Рисунок В.2d – Неэкранированная ЗМЗ 1 и две локальные ЗМЗ 2 для новых электронных систем

Рисунок В.2, лист 3

На рисунке В.2b показано, что в неэкранированной ЗМЗ 1 новому оборудованию также необходима защита от проходящих импульсных перенапряжений. Например, сигнальные линии могут быть защищены с помощью экранированных кабелей, а линии электропитания – с применением скоординированных защитных ОПН. Это может потребовать дополнительных ОПН, испытанных с I_n , и ОПН, испытанных с комбинированным колебанием, установленных рядом с оборудованием и скоординированных с ОПН на входе коммуникации. Это также может потребовать дополнительной двойной изоляции класса II оборудования.

На рисунке В.2с показано образование обширной ЗМЗ 2 внутри ЗМЗ 1 для размещения новых электронных систем. Решетчатый пространственный экран ЗМЗ 2 обеспечивает значительное ослабление магнитного поля молнии. С левой стороны ОПН устанавливаются на границе ЗМЗ 1 (переход ЗМЗ 0/1) и затем на границе ЗМЗ 2 (переход ЗМЗ 1/2) и координируются в соответствии с приложением С. С правой стороны ОПН устанавливаются на границе ЗМЗ 1 и выбираются для прямого перехода ЗМЗ 0/1/2 (см. С.3.4).

На рисунке В.2d показано образование двух небольших ЗМЗ 2 внутри ЗМЗ 1. Дополнительные ОПН устанавливаются как для линий питания, так и для сигнальных линий на границе каждой ЗМЗ 2. Данные ОПН координируются с ОПН на границе ЗМЗ 1 в соответствии с приложением С.

В.3 Модернизация системы электропитания и укладка кабеля внутри здания и сооружения

Система распределения питания в старых зданиях и сооружениях (см. рисунок В.1, № 1) имеет зачастую тип TN-C. Сбоя в 50/60 Гц, возникающего при соединении заземленных сигнальных линий с PEN-проводниками, можно избежать с помощью:

- изолирующих промежуточных устройств с использованием электрического оборудования класса II или изолированных трансформаторов. Это решение может быть принято только при наличии незначительного количества электронного оборудования (см. В.5);

– изменения системы распределения питания на тип TN-S (см. рисунок В.1, № 2). Данное решение рекомендуется применять для обширных систем электронного оборудования. Требования к заземлению, соединению и прокладке кабелей выполняются.

В.4 Защита посредством ОПН

Чтобы ограничить на электрических линиях проходящие импульсные перенапряжения, вызванные молнией, ОПН устанавливаются на входе любой ЗМЗ (см. рисунок В.1, № 3 и рисунок В.2). Такие ОПН координируются так, как описано в приложении С.

В зданиях с неkoordinированными ОПН повреждение электронной системы может произойти в том случае, если ОПН на выходе или ОПН внутри оборудования препятствует хорошей работе ОПН на входе устройства.

Для того чтобы поддерживать эффективность принятых мер защиты, необходимо задокументировать расположение всех установленных ОПН.

В.5 Защита посредством промежуточных изолирующих устройств

Токи с помехами промышленной частоты в оборудовании и присоединенных к нему сигнальных кабелях могут быть вызваны широкими петлями или отсутствием достаточно низкого сопротивления сети заземления. Для предотвращения подобных помех (в основном в оборудовании типа TN-C) можно осуществить соответствующее разделение существующего и нового оборудования с применением изолирующих промежуточных устройств, таких как:

- изолированное оборудование класса II (т. е. двойная изоляция без РЕ-проводника);
- изолированные трансформаторы;
- неметаллические оптоволоконные кабели;
- оптроны.

Для изолирующих промежуточных устройств, использованных для предотвращения индуцированных перенапряжений молнии, необходимо наличие повышенного выдерживаемого напряжения. Для волны колебания 1,2/50 необходимо обычное выдерживаемое напряжение 5 кВ. Если необходимо, защита подобных промежуточных устройств от повышенных перенапряжений может обеспечиваться с применением ОПН. Уровни защиты от напряжения U_p данных ОПН должны быть немного ниже выдерживаемого напряжения изолирующего промежуточного устройства. Низкие U_p могут нарушить требования безопасности.

Примечание – Следует проконтролировать, чтобы у металлических корпусов оборудования не было непредусмотренного гальванического соединения с землей или другими металлическими частями, а чтобы они были изолированы. Это относится к большинству случаев, так как электронное оборудование, установленное в домашнем помещении или офисе соединено с землей только посредством соединительных кабелей.

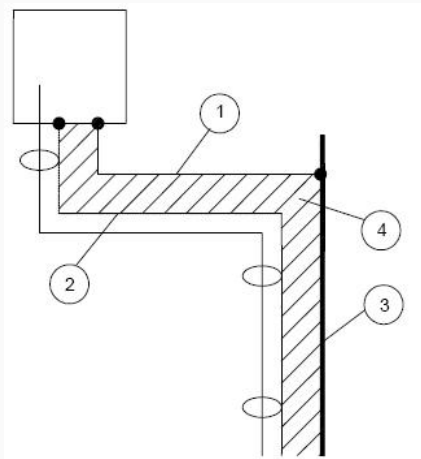
В.6 Меры защиты посредством прокладки кабелей и экранирования

Соответствующая прокладка кабелей и экранирование являются эффективными мерами по сокращению индуцированных перенапряжений. Данные меры особенно важны, если эффективность пространственного экранирования ЗМЗ 1 является незначительной. В данном случае следующие принципы обеспечат улучшение защиты:

- сокращение до минимума размера петли индуктивности;
- снабжение энергией нового оборудования через существующие устройства не должно осуществляться, поскольку это создаст широкий закрытый участок петли индуктивности, что значительно увеличит риск ослабления изоляции. Более того, при смежной прокладке электрических и сигнальных линий можно избежать широких петель (см. рисунок В.1, № 8);
- применение экранированных кабелей – экраны таких сигнальных линий должны быть как минимум заземлены на обоих концах;
- применение металлических кабельных каналов или соединенных металлических пластин – раздельные металлические участки должны быть хорошо соединены между собой посредством электричества. Соединения должны быть выполнены посредством скрепления болтами перекрывающих деталей или с помощью соединительных проводов. Чтобы сохранить низкое сопротивление кабельных каналов, многочисленные болты или скрепления должны быть размещены по периметру кабельного канала (см. IEC 61000-5-2).

Примеры правильной прокладки кабелей и технического экранирования приведены на рисунках В.3 и В.4.

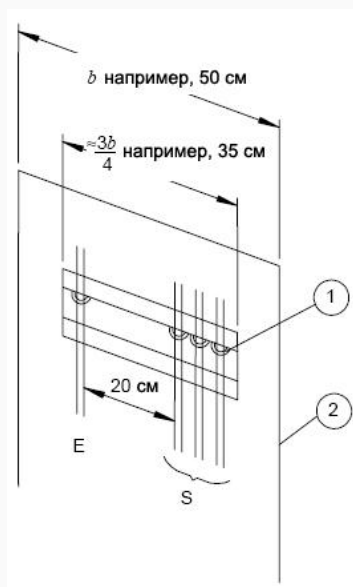
Примечание – Если расстояние между сигнальными линиями и электронным оборудованием внутри общих участков (которые не предназначены специально для электронных систем) составляет более 10 м, рекомендовано использовать пропорциональные сигнальные линии с соответствующими входами гальванической развязки, например оптронами, трансформаторами гальванической развязки или разделительными усилителями. В дополнение предпочтительным может быть использование триаксиальных кабелей.



- 1 – РЕ, только с использованием оборудования класса I;
- 2 – защитная оболочка кабеля должна быть заземлена с обоих концов;
- 3 – металлическая пластина в качестве дополнительного экрана (см. рисунок В.4);
- 4 – ячейка небольшого размера.

Примечание – Учитывая небольшой участок петли, индуктированное напряжение между защитной оболочкой кабеля и металлической пластиной является небольшим.

Рисунок В.3 – Уменьшение участка петли с использованием кабелей с защитной оболочкой рядом с металлической пластиной



- 1 – крепление кабеля с или без соединения защитных оболочек кабелей с пластиной;
- 2 – по краям пластины магнитное поле выше, чем в середине пластины;
- E – электрические линии;
- S – сигнальные линии

Рисунок В.4 – Пример металлической пластины для дополнительного экранирования

В.7 Улучшение существующей системы молниезащиты с применением пространственного экранирования ЗМЗ 1

Существующая система молниезащиты (в соответствии с IEC 62305-3) вокруг ЗМЗ 1 может быть улучшена за счет:

- объединения существующих металлических фасадов и металлических кровель во внешнюю систему молниезащиты;
- применения усиленной арматуры (соединенной электрически от основной кровли до заземлителя) здания и сооружения;
- сокращения разницы между вертикальными молниеотводами и сокращения размера ячейки молниезащитной системы до типичной менее 5 м;
- установки проводов заземления для расширительных соединений между смежными, но по своей структуре разделенными, укрепленными блоками.

В.8 Защита с использованием соединительной сети

Существующие системы заземления могут не обеспечивать достаточной эквипотенциальной проекции для токов молнии с частотой в несколько МГц, поскольку их полное сопротивление может быть слишком высоким по сравнению с подобной частотой.

Даже система молниезащиты, разработанная в соответствии с IEC 62305-3, в которой предусматривается размер ячейки, как правило, более 5 м и которая включает в себя уравнивание грозовых потенциалов в качестве обязательной части внутренней системы молниезащиты, может быть недостаточной для восприимчивых электронных систем. Это связано с тем, что полное сопротивление данной системы заземления может быть слишком высоким для подобного применения.

Настоятельно рекомендовано использовать низкое полное сопротивление связующей сети энергосбережения с обычным размером ячейки 5 м и ниже. В общем, сеть заземления не следует использовать в качестве обратной цепи питания или сигнальной обратной цепи. Таким образом, РЕ-проводник включается в связующую сеть энергосбережения, а PEN-проводник не включается.

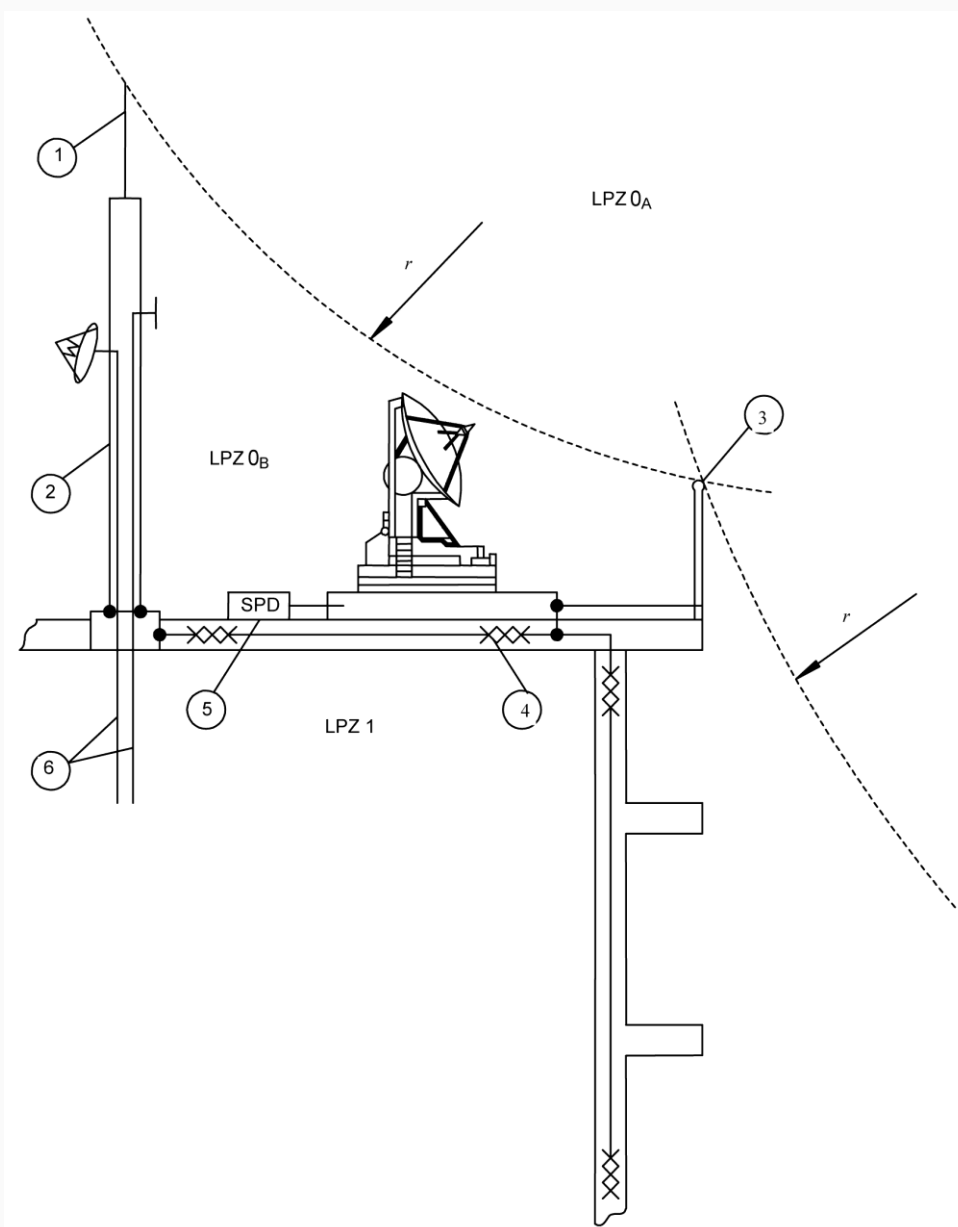
Прямое соединение функционального провода заземления (например, заземления кабелей низкого напряжения электронной системы) со связующей сетью энергосбережения с низким полным сопротивлением допустимо, поскольку в таком случае интерференционное соединение в электрических и сигнальных линиях будет очень низким. Никакое прямое соединение с PEN-проводником или с другими связанными с ним металлическими частями не допускается во избежание помех в частоте питающей сети в электронной системе.

В.9 Меры защиты оборудования, размещенного снаружи

Примерами оборудования, размещенного снаружи, являются разного рода датчики, включая антенны, метеорологические датчики, камеры наружного наблюдения, открытые датчики на промышленных объектах (датчики давления, температуры, скорости потока, положения клапана и т. д.), а также любое другое электрическое, электронное или радиооборудование, установленное снаружи здания или сооружения, на мачтах и промышленных резервуарах.

В.9.1 Защита наружного оборудования

По возможности оборудование должно быть размещено в защитной зоне ЗМЗ 0_в с использованием, к примеру, локального молниеуловителя для его защиты от прямых ударов молнии (см. рисунок В.5).



- 1 – грозовой разрядник;
2 – стальная мачта с антеннами;
3 – перила;
4 – соединенная арматура;
5 – линия, идущая из ЗМЗ 0в, требующая ОПН на входе;
6 – линии, идущие из ЗМЗ 1 (внутри мачты), могут не требовать ОПН на входе;
г – радиус условной сферы

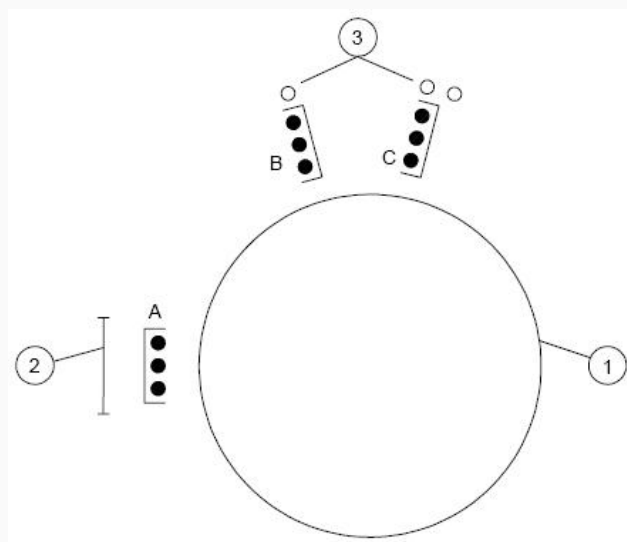
Рисунок В.5 – Защита антенн и другого наружного оборудования

На высоких зданиях и сооружениях метод условной сферы (см. IEC 62305-3) должен применяться для того, чтобы определить, может ли оборудование, установленное наверху или на стороне здания или сооружения стать объектом прямого удара. В таком случае должны использоваться дополнительные системы внешней молниезащиты. В большинстве случаев перила, лестницы, трубы могут в достаточной степени выполнять функцию дополнительной системы внешней молниезащиты. Все оборудование, за исключением некоторых типов антенн, может быть защищено подобным образом. Иногда антенны должны размещаться на открытых местах во избежание отрицательного воздействия на их работу расположенных рядом молниеотводов. Некоторые антенны разработаны по существу в качестве самозащищающих, поскольку только хорошо заземленные проводящие элементы

подвержены удару молнии. Другие типы могут потребовать ОПН для установки на кабелях первичной сети связи, чтобы предотвратить попадание повышенного неустановившегося напряжения через кабель к приемному устройству или передающему устройству. Если образована внешняя система молниезащиты, опоры антенн должны быть присоединены к ней.

В.9.2 Уменьшение перенапряжений в кабелях

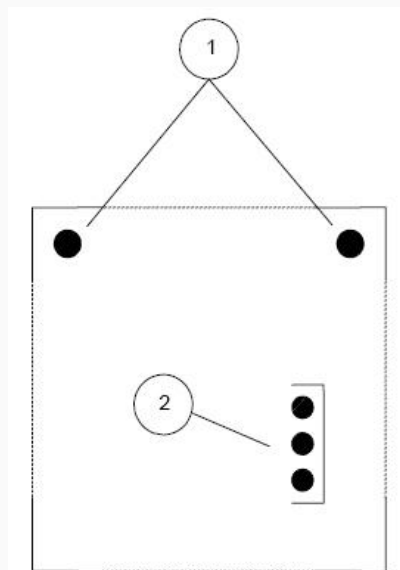
Высокие индуцированные напряжения и токи могут быть предотвращены с помощью линейных кабелей в соединенном трубопроводе, кабельном желобе или металлических трубах. Все кабели, ведущие к специальному оборудованию, должны сводить кабельный канал в одну точку. По возможности характерные свойства экранирования здания или сооружения сами по себе должны использоваться с максимальным преимуществом с помощью функционирования всех кабелей одновременно внутри полых компонентов здания или сооружения. Если это невозможно, как в случае с промышленными резервуарами, кабели должны прокладываться снаружи, но рядом со зданием или сооружением и должны, насколько это возможно, использоваться с естественным экранированием, представленным металлическими трубами, стальными стремянками и любыми другими, хорошо проводящими материалами (см. рисунок В.6). На мачтах с Г-образной угловой формой кабели должны быть размещены внутри угла Г для максимальной защиты (см. рисунок В.7).



- 1 – промышленный резервуар;
- 2 – стремянка;
- 3 – трубы

Примечание – А, В, С являются хорошими вариантами размещения кабельных каналов.

Рисунок В.6 – Естественное экранирование, образованное с помощью связанных лестниц и трубопроводов



- 1 – идеальные расположения кабелей в углах Г-образных балок;
 2 – возможное расположение заземленного кабельного канала внутри мачты

Рисунок В.7 – Идеальные расположения линий в мачте (поперечный разрез стальной форменной мачты)

В.10 Улучшение соединений между зданиями или сооружениями

Линиями, соединяющими отдельные здания или сооружения, являются:

- изолирующие (неметаллические оптоволоконные кабели);
- металлические (например, двухпроводные кабельные цепи, многожильные кабели, волноводы, коаксиальные кабели или оптоволоконные кабели с неразрывными металлическими компонентами).

Требования к защите зависят от типа линии, количества линий и от того, соединены ли между собой заземлители зданий или сооружений.

В.10.1 Изолирующие линии

Если неметаллические оптоволоконные кабели (например, без металлической арматуры, гидроизоляционной прокладки из фольги или стальной внутренней растяжки провода) использованы для соединения отдельных зданий или сооружений, то меры защиты для данных кабелей не применяются.

В.10.2 Металлические линии

Без правильного соединения между заземлителями отдельных зданий или сооружений взаимодействующие линии формируют путь слабого сопротивления для тока молнии. Это вызывает существенную часть тока молнии, проходящего по данным связанным между собой линиям.

Предусмотренное заземление напрямую или посредством ОПН на входах обеих ЗМЗ 1 защищает оборудование лишь внутри, тогда как линии снаружи остаются незащищенными.

Линии могут быть защищены с помощью установки параллельно дополнительного проводника заземления. Ток молнии будет распределен между линиями и данным проводником заземления.

Рекомендуется, чтобы линии проходили в закрытых и соединенных между собой металлических кабельных каналах. В таком случае как линии, так и оборудование будут защищены.

Если выполнено правильное соединение между заземлителями отдельных зданий или сооружений, тем не менее рекомендована защита линий посредством соединенных металлических кабельных каналов. Если большинство кабелей проложены между соединенными зданиями или сооружениями, экраны или армирование данных кабелей, заземленные на обоих концах, могут использоваться вместо кабельных каналов.

Приложение С (справочное)

Координирование ограничителя перенапряжений

С.1 Общее положение

Если два или более ОПН установлены один за другим в единой последовательности, их следует координировать таким образом, чтобы они могли распределять энергию между собой в соответствии со способностью энергопоглощения.

Для эффективного координирования необходимо принимать во внимание характеристики отдельных ОПН (те, что отмечены изготовителем), опасность в месте размещения и характеристики защищаемого оборудования.

Основная опасность молнии вызвана тремя составляющими тока молнии:

- первый короткий разряд;
- последующие короткие разряды;
- длительный разряд.

Все три составляющие являются подаваемыми токами. При координировании ОПН на выходе короткий разряд является преобладающим фактором, учитывая распределение энергии (заряд и радиус действия). Последующие короткие разряды имеют более низкие значения удельного потребления энергии, но более высокую скорость нарастания тока. Длительный разряд является дополнительным фактором напряжения, который не должен учитываться в целях координирования.

Примечание 1 – Если ОПН точно определили опасность первого короткого разряда, то последующие короткие разряды не вызовут дополнительных проблем. Если индуктивные сопротивления использованы в качестве элементов развязки, то более высокие скорости нарастания тока облегчат координирование между ОПН.

Параметры всего тока молнии для различных уровней молниезащиты приведены в таблице 3 IEC 62305-1. Тем не менее только один ОПН будет подвержен напряжению за счет части всего тока молнии. Это требует определения токораспределения либо посредством моделирования на компьютере с использованием программного обеспечения по анализу схем, либо посредством приближительной оценки, как описано в приложении Е IEC 62305-1.

Примечание 2 – Аналитические функции коротких разрядов с целью расчета описаны в приложении В IEC 62305-1.

Первый короткий разряд прямого разряда молнии может быть имитирован с использованием формы колебания 10/350 мкс. Неполный ток молнии или индуцированные токи внутри системы могут иметь разные формы колебаний, вызванные взаимодействиями между током молнии и низковольтным оборудованием. Тем не менее с целью координирования рассмотрены следующие импульсные испытательные токи (перенапряжения):

$I_{10/350}$ – испытательный ток с формой колебания 10/350 мкс особенно применим к испытанию энергетического координирования ОПН. Для ОПН, предназначенных для использования на линиях питания, данная форма колебания использована в испытании класса I (см. IEC 61643-1) и определена посредством ее пиковой величины $I_{\text{пик}}$ и ее передачей заряда Q .

$I_{8/20}$ – испытательный ток с формой колебания 8/20 мкс. Для ОПН, предназначенных для использования на линиях питания, данная форма колебаний использована в испытании класса II (см. IEC 61643-1).

I_{CWG} – выходной ток генератора с комбинированным колебанием (IEC 61000-4-5). Данная форма колебания зависит от нагрузки (напряжение в режиме холостого хода 1,2/50 мкс и ток холостого хода 8/20 мкс). Данный выходной ток использован в испытании класса III (IEC 61643-1).

I_{RAMP} – испытательный ток со скоростью нарастания 0,1 кА/мкс. Данный ток определен для имитации неполных токов молнии внутри системы, имеющей минимальную скорость нарастания ввиду взаимодействия между током молнии и низковольтного оборудования. Данный ток предназначен специально для испытания на разъединение ОПН на выходе.

На рисунке С.1 показан пример применения ОПН в системах распределения мощности в соответствии с конструкцией зон молниезащиты. ОПН расположены последовательно. Они выбраны в соответствии с требованиями к их определенному месту расположения.

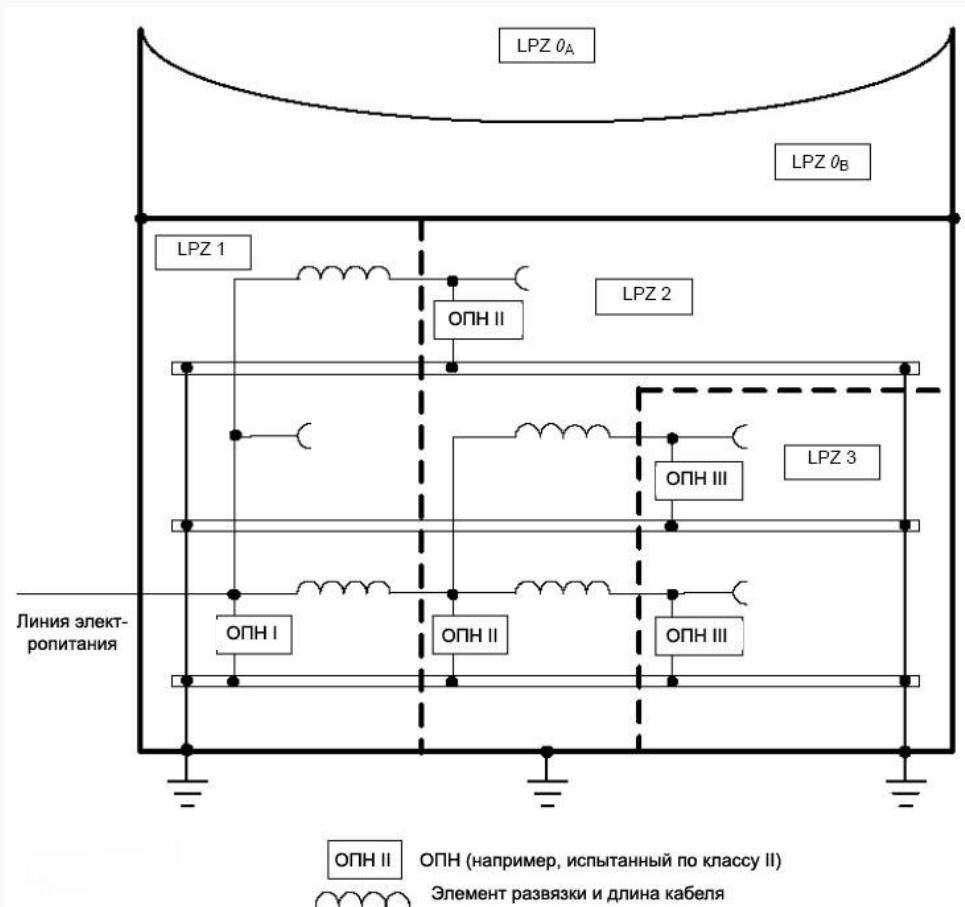


Рисунок С.1 – Пример применения ОПН в системах распределения мощности

Выбранные ОПН и их включение в общую электрическую систему внутри здания или сооружения должны гарантировать, что неполный ток молнии будет в основном отведен в систему заземления на границе ЗМЗ 1 0_A/ЗМЗ 1.

Как только большая часть энергии неполного тока молнии отведена посредством первого ОПН, последующие ОПН нужны лишь для того, чтобы справиться с оставшейся опасностью, исходящей от границы ЗМЗ 1 0_A к ЗМЗ 1, и индукционными эффектами, исходящими от электромагнитного поля внутри ЗМЗ 1 (особенно ЗМЗ 1, если не имеет электромагнитного экрана).

Примечание 3 – При выборе последующих ОПН следует учитывать, что ОПН типа переключения напряжения могут не достичь своего порога срабатывания.

Устройства, входящие из ЗМЗ 0_A (если возможны прямые удары молнии), проводят неполные токи молнии. Таким образом, на границе ЗМЗ 1 0_A/ЗМЗ 1 ОПН, испытанные с I_{imp} (ОПН, испытанные по классу I), должны отводить такие токи.

Устройства, входящие из ЗМЗ 0_B (если прямые удары исключены, но существует полное электромагнитное поле), проводят только индуцированные перенапряжения. На границе ЗМЗ 1 0_A/ЗМЗ 1 индуцированные эффекты должны быть имитированы либо посредством выброса тока с формой колебания 8/20 мкс (ОПН, испытанные по классу II), либо соответствующего испытания с комбинированным колебанием (ОПН, испытанные по классу III) в соответствии с IEC 61643-1.

Оставшаяся опасность в зоне перехода из ЗМЗ 0 в ЗМЗ 1 и индуцированные эффекты электромагнитного поля внутри ЗМЗ 1 устанавливают требования для ОПН на границе ЗМЗ 1/ЗМЗ 2. Если детальный анализ угрозы невозможен, основное напряжение должно быть имитировано посредством либо выброса тока с формой колебания 8/20 мкс (ОПН, испытанные по классу II), либо соответствующего испытания с комбинированным колебанием (ОПН, испытанные по классу III) в соответствии с IEC 61643-1. Если ОПН на границе ЗМЗ 1/ЗМЗ 2 имеет тип переключения напряжения, есть вероятность того, что уровень входящего тока молнии может быть незначительным, чтобы привести его в действие. В таком случае ОПН на выходе могут быть подвержены форме колебания 10/350 мкс.

С.2 Общие задачи координирования ОПН

Координирование энергии необходимо для ОПН во избежание перенапряжений внутри системы. Поэтому должны быть определены конкретные напряжения ОПН в зависимости от их размещения и характеристик.

Как только два или более ОПН установлены в последовательности, необходимо изучение координирования ОПН и защищаемого оборудования.

Координирование энергии считается выполненным, если часть энергии, которой подвержен каждый ОПН, меньше или равна его энергии сопротивления. Данное координирование энергии должно рассматриваться для четырех форм колебания, упомянутых в С.1.

Энергия сопротивления должна быть получена посредством:

- электрического испытания в соответствии с IEC 61643-1;
- технической информации, предусмотренной изготовителем ОПН.

Рисунок С.2 иллюстрирует базовую модель координирования для ОПН.

Данная модель эффективна только в том случае, если полное сопротивление связующей сети энергосбережения и взаимная индуктивность между связующей сетью энергосбережения и оборудованием, образованная посредством соединения ОПН 1 и ОПН 2, являются незначительными.

Примечание – Элемент развязки не обязателен, если координирование энергии может быть достигнуто с использованием других соответствующих мер (например, координирование характеристик напряжения/тока ОПН или использование ОПН типа переключения напряжения, специально предназначенного для того, чтобы вызвать слабые напряжения, вызванные ОПН).

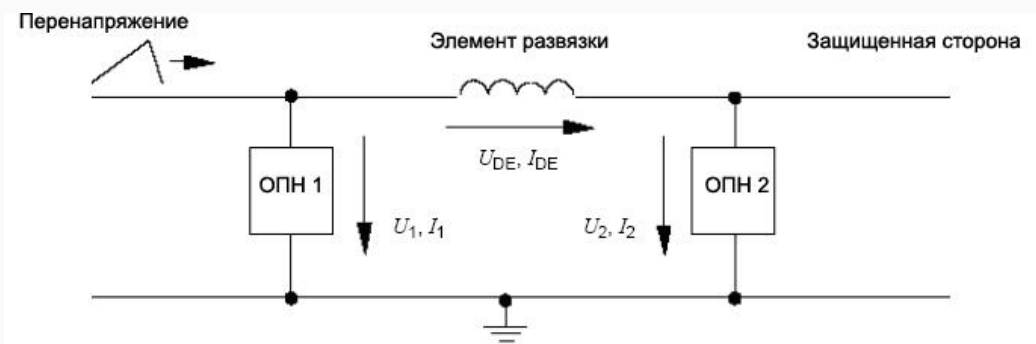


Рисунок С.2 – Базовая модель для координирования ОПН

С.2.1 Правила координирования

Координирование между ОПН может быть выполнено с применением одного из следующих правил:

- координирование характеристик напряжения/тока (без элементов развязки).

Этот метод основан на характеристиках напряжения/тока и применим к ОПН типа ограничения напряжения (например, металлоксидный варистор или защитные электроды). Данный метод не очень точный для формы колебания тока.

Примечание 1 – Данный метод не требует развязки, даже если какая-нибудь внутренняя развязка произошла посредством естественного полного сопротивления линий;

- координирование с использованием специальных элементов развязки.

В целях координирования дополнительные полные сопротивления с достаточной способностью выдерживать перенапряжения могут быть использованы в качестве элементов развязки. В информационных системах в первую очередь используются резистивные элементы развязки. Индуктивные элементы развязки используются в первую очередь в сетях питания. Для эффективного координирования индуктивностей решающим показателем является скорость нарастания тока di/dt .

Примечание 2 – Элементы развязки могут быть выполнены либо с помощью разделительных устройств, либо с использованием естественного полного сопротивления кабелей между последующими ОПН.

Примечание 3 – Индуктивность линии представляет собой индуктивность двух параллельных проводников: если оба проводника (провод и заземлитель) находятся внутри одного кабеля, индуктивность составляет приблизительно от 0,5 до 1 мкГн/м (в зависимости от поперечного сечения проводов). Если оба проводника разделены, то должны учитываться более высокие показатели индуктивности (в зависимости от зазора между обоими проводниками);

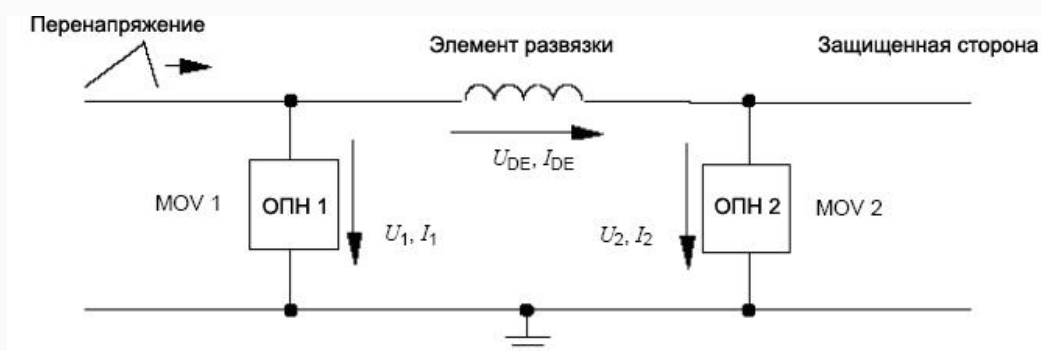
- координирование с использованием вызванных ОПН (без элементов развязки).

Координирование может быть также выполнено с использованием вызванных ОПН, если электронная триггерная схема сможет гарантировать, что способность последующих ОПН выдерживать энергию не превышена.

Примечание 4 – Данный метод не требует дополнительных элементов развязки, даже если какая-либо внутренняя развязка произошла посредством естественного полного сопротивления линий.

С.2.2 Координирование двух ОПН с типом ограничения напряжения

На рисунке С.3а показана диаграмма цепи для координирования двух ОПН с типом ограничения напряжения. На рисунке С.3б показано рассеивание энергии внутри цепи. Подача полной энергии в системе увеличивается с возрастанием импульсного тока. Поскольку энергия, рассеянная в каждом из двух ОПН не превышает их способность выдерживать энергию, координирование считается выполненным.



MOV – металлоксидный варистор

Рисунок С.3а – Цепь с двумя ОПН с типом ограничения напряжения

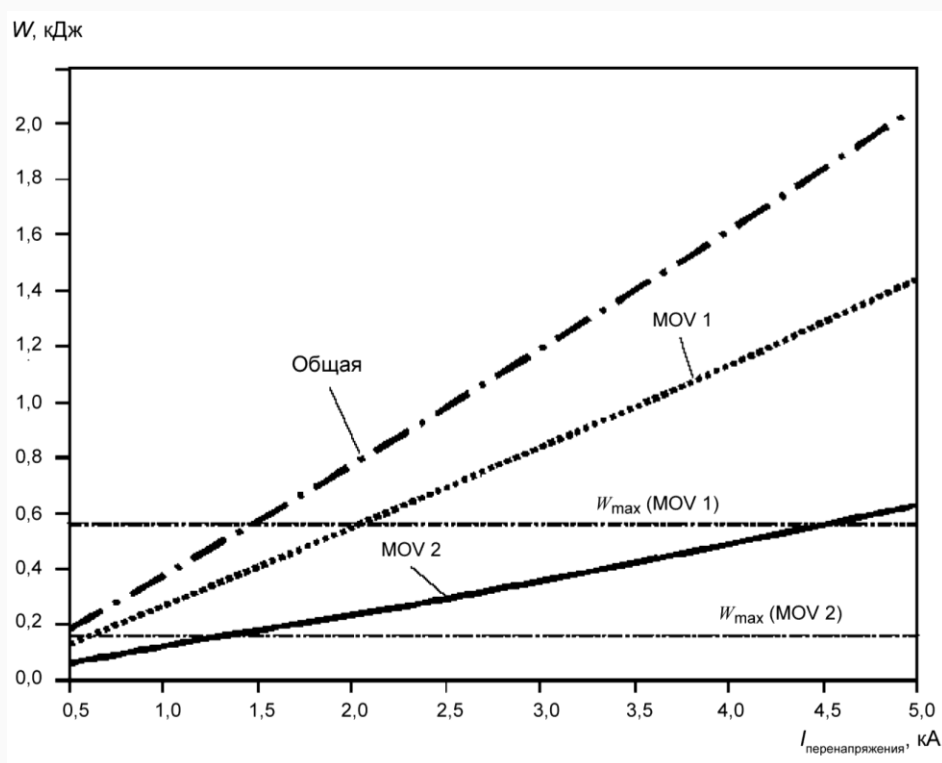


Рисунок С.3б – Принципы координирования энергии между металлоксидным варистором 1 и металлоксидным варистором 2

Рисунок С.3 – Координирование двух ОПН с типом ограничения напряжения

Координирование энергии двух ОПН с типом ограничения без специальных элементов развязки должно быть выполнено посредством координирования их характеристик напряжения/тока в пределах соответствующего диапазона токов. Данный метод не обусловлен рассмотренной формой колебания тока. Если дополнительные индуктивности необходимы в качестве элементов развязки, учитывается форма колебания выброса тока (например, 10/350 мкс или 8/20 мкс).

Использование индуктивностей в качестве элементов развязки между различными каскадами в ОПН не очень эффективно, если форма колебания имеет низкую скорость нарастания тока (например, 0,1 кА/мкс). В ОПН, предназначенных для использования на сигнальных линиях, данное координирование может быть выполнено лучше с применением активных сопротивлений (или естественных активных сопротивлений проводов) в качестве элементов развязки.

Если два ОПН с типом ограничения напряжения скоординированы, они оба измеряются с учетом их соответствующего выброса тока и энергии. Продолжительность волны тока, как и поступающего тока, должна будет приниматься во внимание. На рисунках С.4а и С.4b приводится пример координирования энергии между двумя ОПН с типом ограничения напряжения в случае импульсного перенапряжения 10/350 мкс.

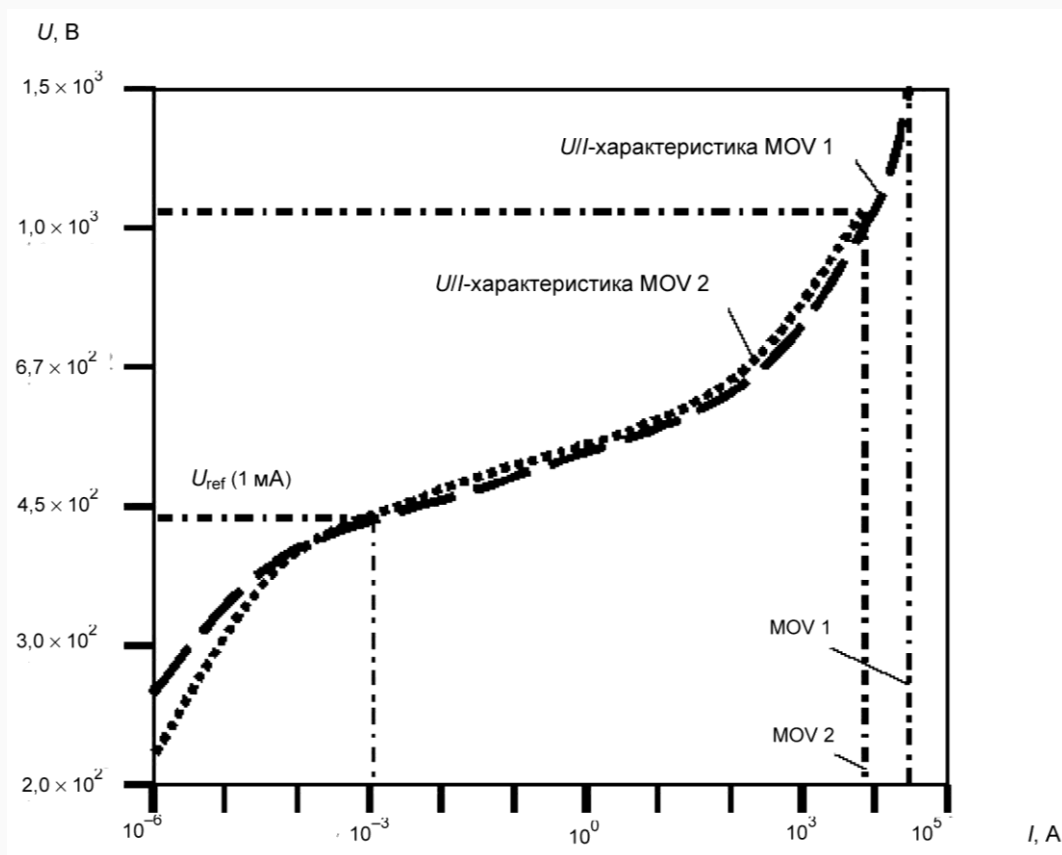


Рисунок С.4а – Вольт-амперные характеристики металлосидного варистора 1 и металлосидного варистора 2

Примечание – На данном примере можно видеть, что знания лишь эталонного напряжения U_{ref} металлосидных варисторов недостаточно в целях координирования.

Рисунок С.4, лист 1 – Пример с двумя металлосидными варисторами 1 и 2 с типом ограничения напряжения

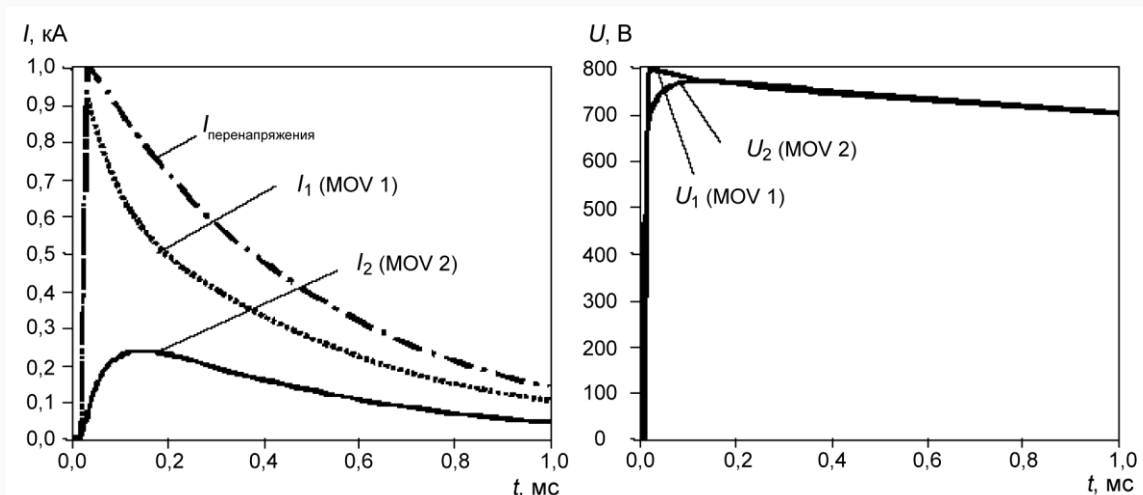


Рисунок С.4b – Характеристики тока и напряжения в металлооксидном варисторе 1 и металлооксидном варисторе 2 при импульсном перенапряжении 10/350 мкс

Рисунок С.4, лист 2

С.2.3 Координация между ОПН с типом прерывания напряжения и ОПН с типом ограничения напряжения

На рисунке С.5а показана базовая диаграмма цепи данного варианта координации с использованием разрядника (ОПН 1) и металлооксидного варистора (ОПН 2) в качестве примера технических решений. На рисунке С.5b показан основной принцип координации энергии с использованием характеристик ОПН 1 с типом прерывания напряжения и ОПН 2 с типом ограничения напряжения.

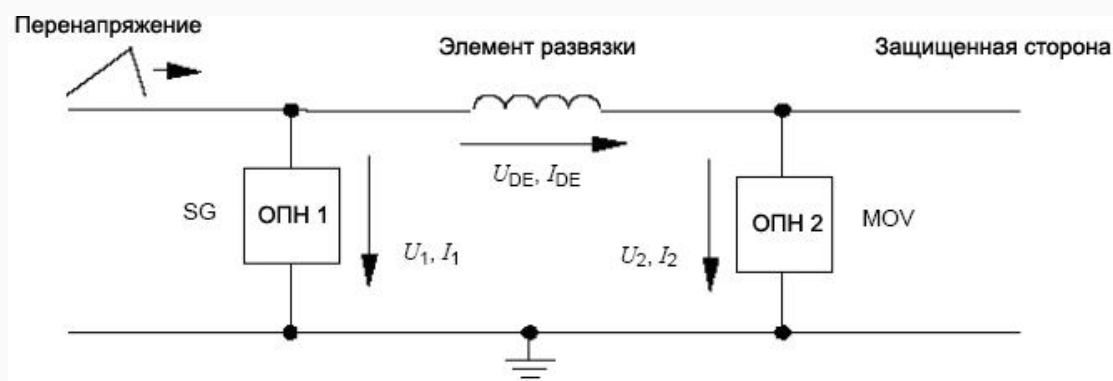


Рисунок С.5а – Цепь с разрядником и металлооксидным варистором

Рисунок С.5, лист 1 – Совмещение разрядника с типом прерывания напряжения и металлооксидного варистора с типом ограничения напряжения

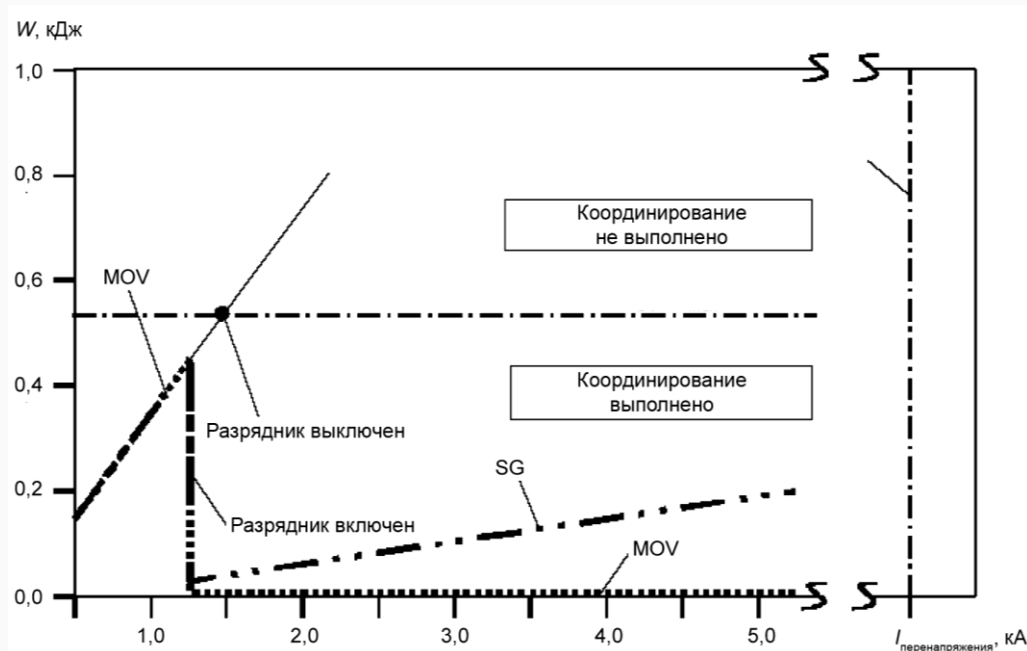


Рисунок С.5b – Принцип координирования энергии разрядника и металлоксидного варистора

Рисунок С.5, лист 2

Включение разрядника (ОПН 1) зависит от количества остаточного напряжения U_{res} в металлоксидном варисторе (ОПН 2) и динамического спада напряжения в элементе развязки U_{DE} . Как только напряжение U_1 превышает динамическое перекрывающее напряжение U_{SPARK} , разрядник включается и координирование считается выполненным. Это зависит только от:

- характеристик металлоксидного варистора;
- скорости нарастания и величины входящих выбросов тока;
- элемента развязки (индуктивности или активного сопротивления).

Если индуктивность использована в качестве элемента развязки, учитываются время нарастания импульса и максимальная величина выброса тока. Чем выше скорость нарастания di/dt , тем меньше индуктивность для развязки. При скоординированных ОПН, испытанных с I_{imp} (испытанные по классу I), и ОПН, испытанных с I_n (испытанные по классу II), должен быть использован ток молнии с минимальной скоростью нарастания тока 0,1 кА/мкс (см. пункт С.1 IEC 62305-1). Координирование данных ОПН обеспечивается одновременно для тока молнии 10/350 мкс и минимальной скорости нарастания тока 0,1 кА/мкс.

Две основные ситуации должны учитываться:

- выключенный разрядник (рисунок С.6a).

Если разрядник не включен, весь выброс тока проходит через металлоксидный варистор. Как показано на рисунке С.5b, координирование не было выполнено в случае, если энергия, рассеянная данным перенапряжением, выше, чем выдерживаемая энергия металлоксидного варистора. Если дополнительная индуктивность необходима в качестве элемента развязки, координирование должно быть определено с использованием в самом худшем случае минимальной скорости нарастания тока 0,1 кА/мкс;

- включенный разрядник (рисунок С.6b).

Если разрядник включен, продолжительность тока, проходящего через металлоксидный варистор, значительно сокращена. Как показано на рисунке С.5b, правильное координирование считается выполненным, если разрядник включается до того, как будет превышена выдерживаемая энергия металлоксидного варистора.

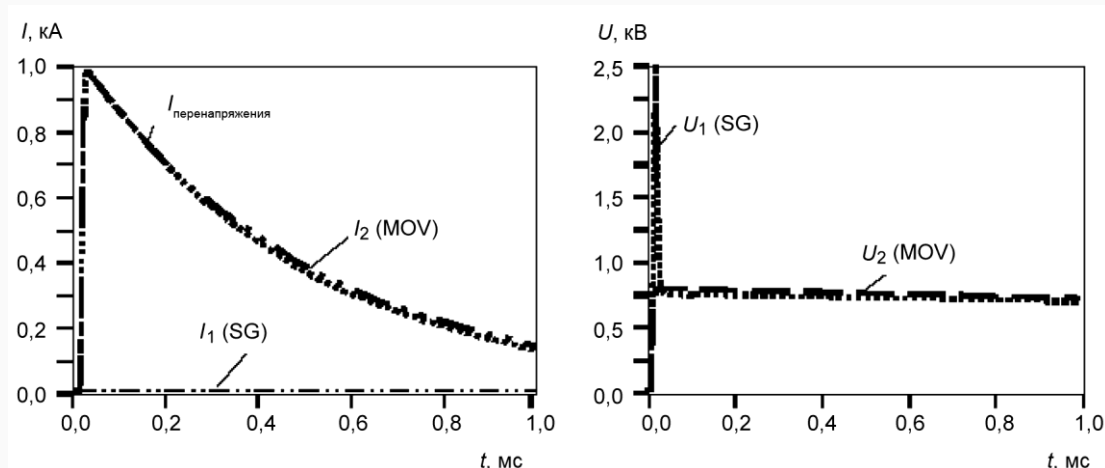


Рисунок С.6а – Ток и напряжение разрядника и металлооксидного варистора с импульсным перенапряжением 10/350 мкс (ОПН 1 выключен)

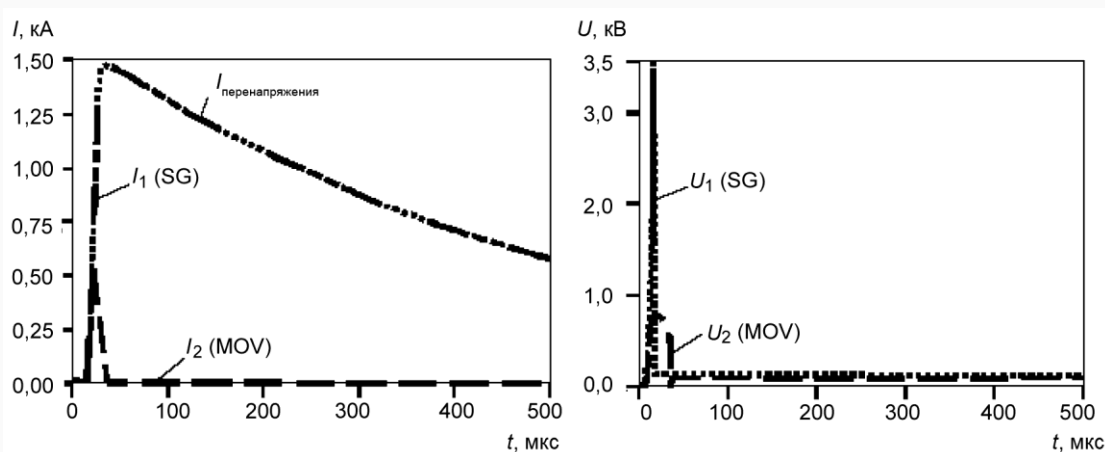
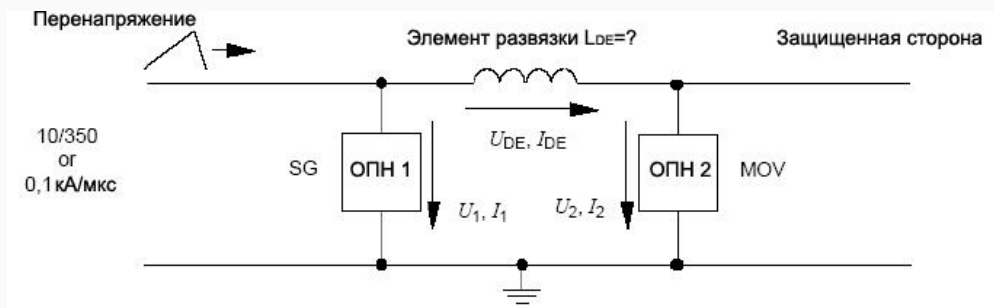


Рисунок С.6b – Ток и напряжение разрядника и металлооксидного варистора с импульсным перенапряжением 10/350 мкс (ОПН 1 включен)

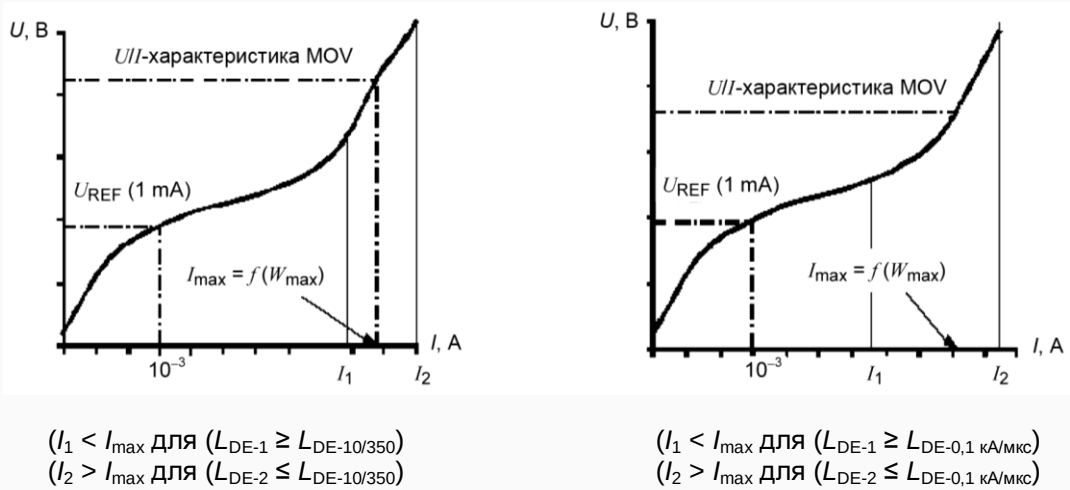
Рисунок С.6 – Пример разрядника с типом прерывания напряжения и металлооксидного варистора с типом ограничения напряжения

На рисунке 7 показана процедура определения необходимой индуктивности развязки для обоих показателей: как для тока молнии 10/350 мкс, так и для минимальной скорости нарастания тока молнии 0,1 кА/мкс. Для определения необходимого элемента развязки учитываются динамические характеристики напряжения/тока обоих ОПН. Условием для успешного координирования является необходимость включения разрядника до того, как будет превышена выдерживаемая энергия металлооксидного варистора.



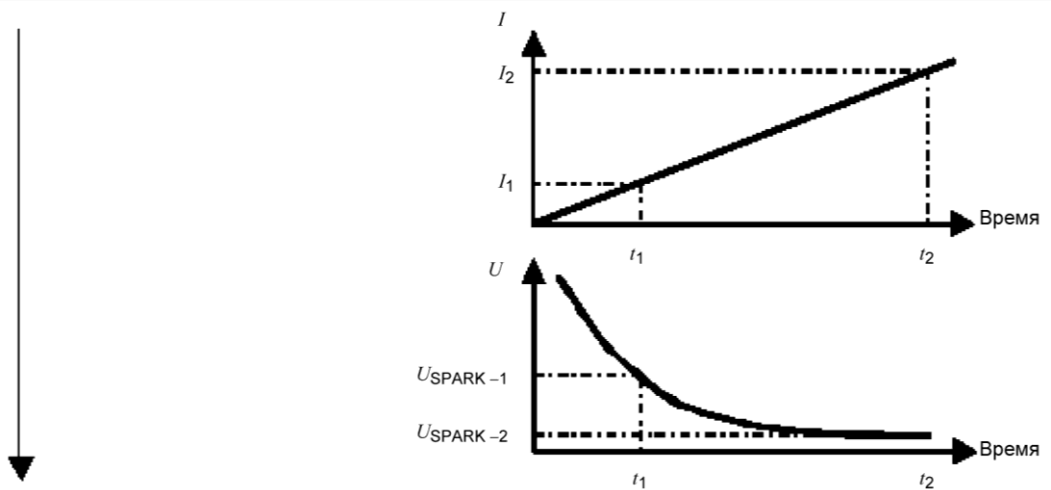
Условие напряжения $U_1 = U_2 + U_{DE} = U_2 + L \cdot di/dt$
Включение SG $U_1 = U_{spark}$
Координирование выполнено Включение SG до того, как выдерживаемая энергия W_{max} MOV не будет превышена

Координирование энергии 10/350 мкс	Координирование энергии 0,1 кА/мкс
------------------------------------	------------------------------------



$(I_1 < I_{max} \text{ для } (L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$
 $(I_2 > I_{max} \text{ для } (L_{DE-2} \leq L_{DE-10/350})$

$(I_1 < I_{max} \text{ для } (L_{DE-1} \geq L_{DE-0,1 \text{ кА/мкс}})$
 $(I_2 > I_{max} \text{ для } (L_{DE-2} \leq L_{DE-0,1 \text{ кА/мкс}})$



$L_{DE} = (U_{spark} - U_2) / (di/dt)$, где $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350 \text{ мкс}} = (U_{spark} - U_2) / (I_{max} / 10 \text{ мкс})$	$L_{DE-0,1 \text{ кА/мкс}} = (U_{spark} - U_2) / (I_{max} / 0,1 \text{ кА/мкс})$
Необходимая L_{DE} определяется более высокими значениями двух индуктивностей $L_{DE-10/350 \text{ мкс}}$ и $L_{DE-0,1 \text{ кА/мкс}}$	

Рисунок С.7 – Определение индуктивности развязки при импульсных перенапряжениях 10/350 мкс и 0,1 кА/мкс

Включение разрядника зависит от его разрядного напряжения U_{SPARK} и от количества напряжения U_2 параллельно металлоксидному варистору (ОПН 2) и от напряжения параллельно элементу развязки U_{DE} . Напряжение U_2 зависит от тока i (см. характеристики напряжения/тока металлоксидного варистора), тогда как напряжение $U_{\text{DE}} = L_{\text{DE}} di/dt$ зависит от скорости нарастания тока.

При импульсном перенапряжении 10/350 мкс скорость нарастания тока зависит от допустимой амплитуды I_{max} металлоксидного варистора (определенной посредством его выдерживаемой энергии W_{max}). Поскольку оба напряжения U_{DE} и U_2 являются функциями I_{max} , напряжение U_1 параллельно разряднику также зависит от I_{max} . Чем выше I_{max} , тем выше скорость нарастания напряжения U_1 параллельно разряднику. И поэтому при таком условии перекрывающее напряжение U_{SPARK} разрядника обычно выражено напряжением искрового перекрытия в 1 кВ/мкс.

При линейном изменении 0,1 кА/мкс скорость нарастания тока $di/dt = 0,1$ кА/мкс является постоянной. Таким образом, напряжение U_{DE} также является постоянным, поскольку напряжение U_2 является функцией I_{max} , как было сказано выше. Таким образом, скорость нарастания напряжения U_1 параллельно разряднику отвечает характеристике напряжения/тока металлоксидного варистора и является более низкой по сравнению с первым случаем. Ввиду динамической характеристики напряжения оперативного постоянного тока разрядника его разрядное напряжение уменьшается с более долгой продолжительностью спада напряжения параллельно разряднику. (Данная продолжительность зависит от I_{max} , полученной из выдерживаемой энергии W_{max} металлоксидного варистора). Таким образом, стоит предположить, что разрядное напряжение U_{SPARK} будет уменьшено почти на 500 В/с по отношению к DC-напряжению оперативного постоянного тока для увеличения продолжительности тока, проходящего через металлоксидный варистор.

Более высокое значение обеих индуктивностей $L_{\text{DE-10/350 мкс}}$ и $L_{\text{DE-0,1кА/мкс}}$ применяется в конечном итоге для индуктивности развязки L_{DE} . Для примера обращаться к рисункам С.8 и С.9.

Примечание – При определении элемента развязки в низковольтной системе питания наихудшим моментом может быть короткое замыкание на ОПН 2 ($U_2 = 0$), таким образом увеличивающее необходимое напряжение U_{DE} . Если ОПН 2 имеет тип с ограничением напряжения, он обладает остаточным действующим напряжением $U_2 > 0$, которое сможет значительно уменьшить необходимое напряжение U_{DE} . Такое остаточное действующее напряжение по меньшей мере выше, чем максимальное действующее напряжение блока электропитания (например, АС-номинальное напряжение 230 В: пиковая величина $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ В} = 325 \text{ В}$). Принятие во внимание остаточного действующего сопротивления ОПН 2 позволяет получить один из соответствующих размеров элементов развязки. В противном случае они могли бы быть превышены в размерах.

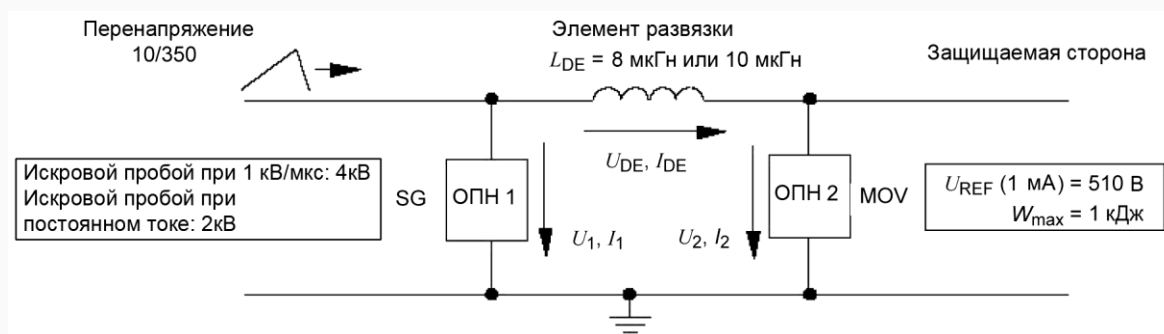


Рисунок С.8а – Диаграмма цепи координирования при импульсном перенапряжении 10/350 мкс

Рисунок С.8, лист 1 – Пример с разрядником и металлоксидным варистором при импульсном перенапряжении 10/350 мкс

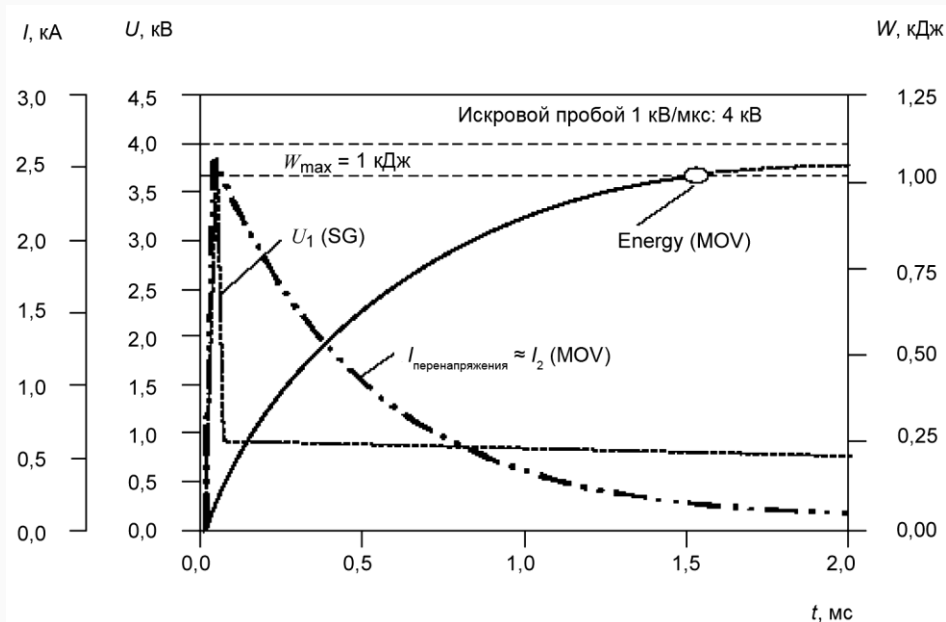


Рисунок С.8b – Характеристики тока/напряжения/энергии для $L_{DE} = 8 \mu\text{с}$ – координирование энергии при импульсном перенапряжении 10/350 мкс не выполнено (разрядник не включен)

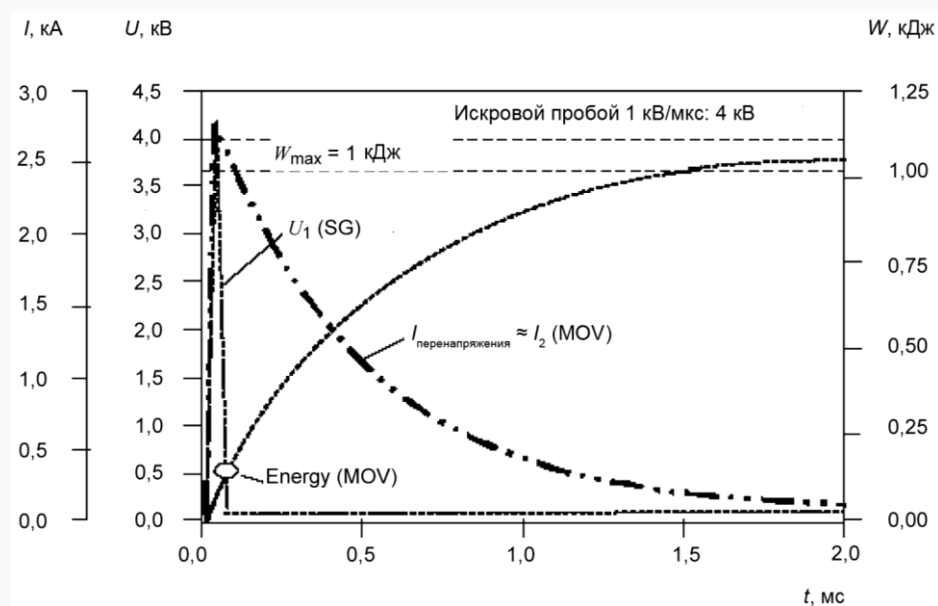


Рисунок С.8с – Характеристики тока/напряжения/энергии для $L_{DE} = 10 \mu\text{с}$ – координирование энергии при импульсном перенапряжении 10/350 мкс выполнено (разрядник включен)

Рисунок С.8, лист 2

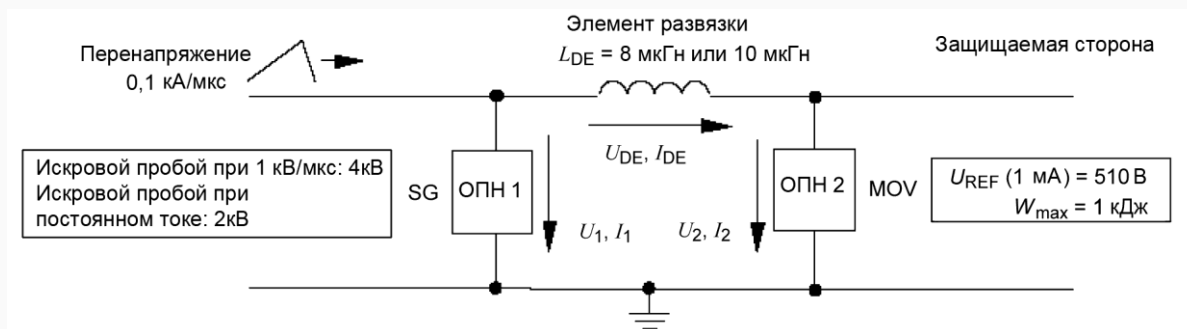


Рисунок С.9а – Диаграмма цепи координации при импульсном перенапряжении 0,1 кА/мкс

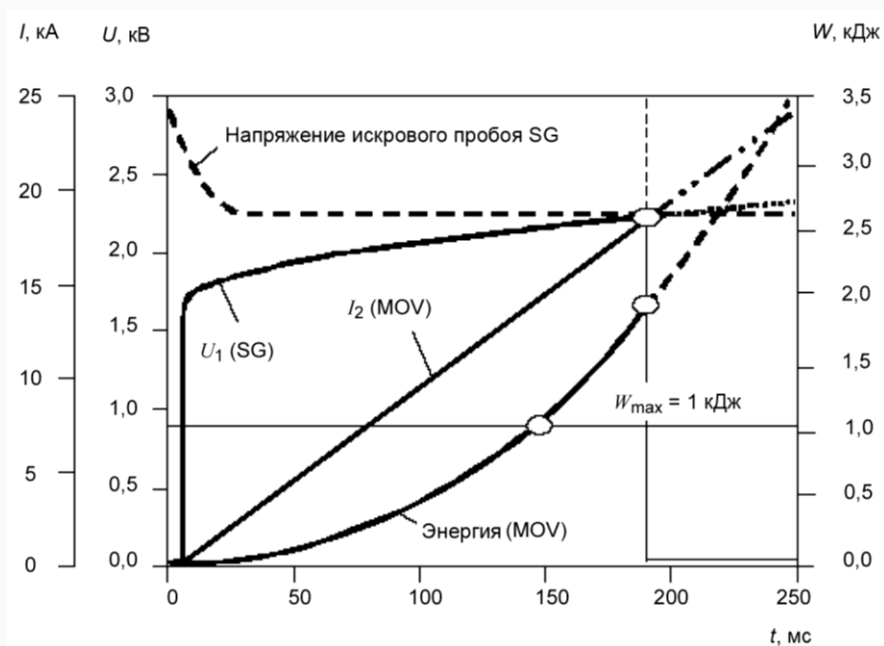


Рисунок С.9b – Характеристики тока/напряжения/энергии для $L_{DE} = 10 \text{ мкГн}$ – координация энергии при импульсном перенапряжении 0,1 кА/мкс не выполнено

Рисунок С.9, лист 1 – Пример с разрядником и металлосидным варистором при импульсном перенапряжении 0,1 кА/мкс

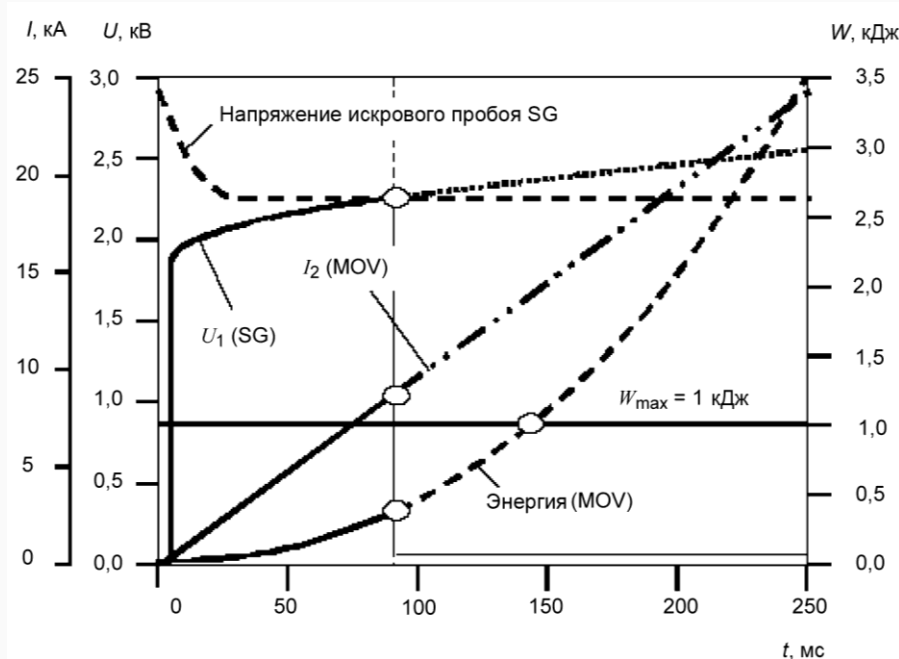


Рисунок С.9с – Характеристики тока/напряжения/энергии для $L_{DE} = 12 \text{ мкГн}$ – координирование энергии при импульсном перенапряжении $0,1 \text{ кВ/мкс}$ выполнено

Рисунок С.9, лист 2

С.2.4 Координирование двух ОПН с типом прерывания напряжения

Данный вариант координирования описан в качестве технических решений с использованием разрядника (SG). При координировании между разрядниками учитываются динамические рабочие характеристики.

После включения разрядника 2 координирование должно осуществляться посредством элемента развязки. Чтобы определить необходимую величину элемента развязки, разрядник может быть замещен коротким замыканием. Для включения разрядника динамический спад напряжения параллельно элементу развязки должен быть выше, чем напряжение оперативного постоянного тока разрядника 1.

При использовании индуктивностей в качестве элементов развязки необходимое напряжение U_{DE} зависит в основном от скорости нарастания выброса тока. Поэтому учитываются форма колебания и скорость нарастания импульсного перенапряжения.

При использовании активных сопротивлений в качестве элементов развязки необходимое напряжение U_{DE} зависит в основном от пиковой величины выброса тока. Данная величина также учитывается при выборе параметров частоты повторяющихся импульсов элемента развязки.

После включения разрядника 1 всю энергию необходимо будет разделить в соответствии с характеристиками напряжения/тока отдельных элементов.

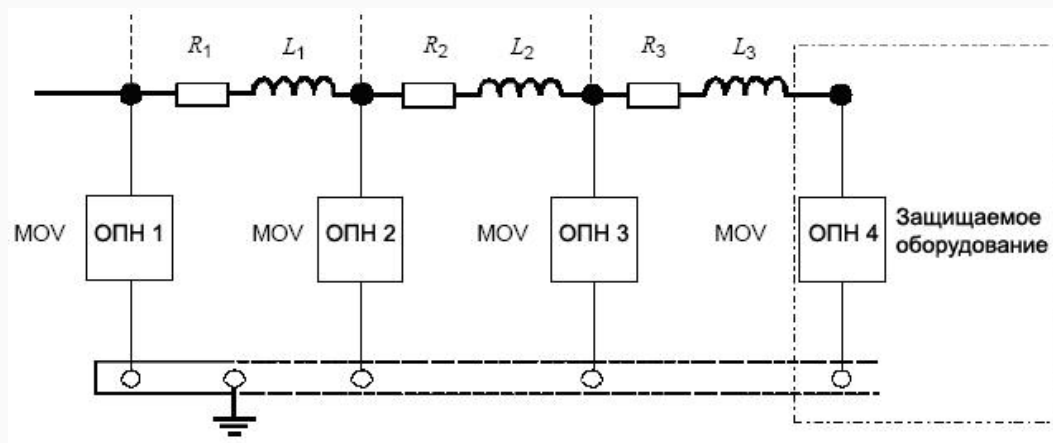
Примечание – В случае с разрядниками или газоразрядными трубками скорость нарастания импульса имеет первостепенное значение.

С.3 Варианты основного координирования для систем защиты

Существуют четыре варианта координирования для систем защиты. В трех первых используется одноплечие ОПН, тогда как в четвертом используется двухплечие ОПН с включенными элементами развязки. Данные варианты координирования должны учитываться (также принимая во внимание ОПН, включенные в защищаемое оборудование).

С.3.1 Вариант I

Все ОПН имеют постоянную характеристику напряжения/тока (например, металлоксидные варисторы или устройства защиты от перегрузок) и одинаковое остаточное действующее напряжение U_{RES} . Координация ОПН и защищаемого оборудования хорошо выполняется посредством полных сопротивлений линий между ними (см. рисунок С.10).



$$U_{RES} (\text{ОПН 1}) = U_{RES} (\text{ОПН 2}) = U_{RES} (\text{ОПН 3}) = U_{RES} (\text{ОПН 4})$$

Рисунок С.10 – Вариант I координации – ОПН с типом ограничения напряжения

С.3.2 Вариант II

Все ОПН имеют постоянную характеристику напряжения/тока (например, металлоксидные варисторы или устройства защиты от перегрузок). Остаточное действующее напряжение U_{RES} возрастает постепенно от ОПН 1 до ОПН 3 (см. рисунок С.11).

Это вариант координации, используемый для систем электропитания.

Примечание – Данный вариант требует, чтобы остаточное действующее напряжение защитного компонента внутри защищаемого оборудования (ОПН 4) было выше, чем остаточное действующее напряжение ОПН, сформированное непосредственно перед ним (ОПН 3).

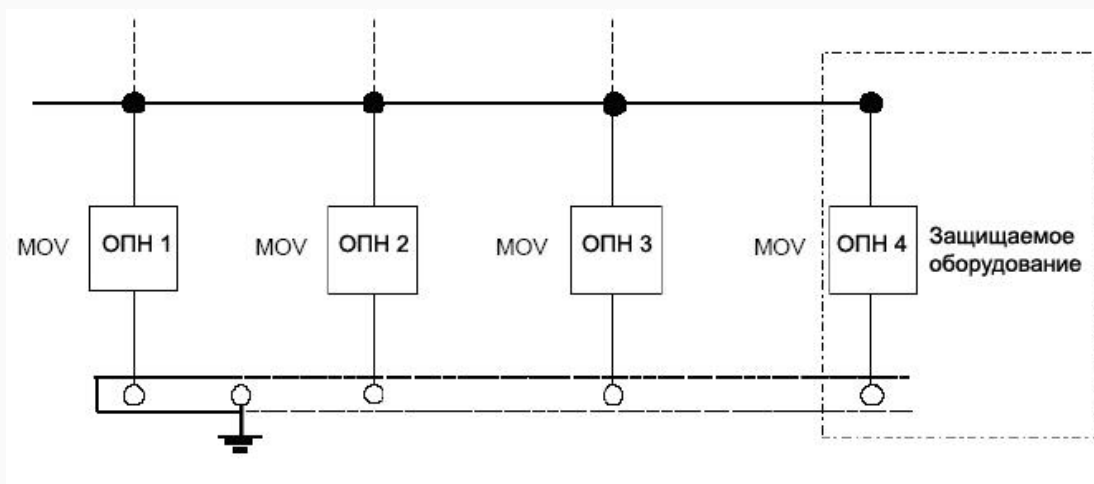


Рисунок С.11 – Вариант II координации – ОПН с типом ограничения напряжения

С.3.3 Вариант III

ОПН 1 имеет непостоянную характеристику напряжения/тока (например, разрядники). Последующие ОПН имеют постоянную характеристику напряжения/тока (например, металлоксидные варисторы или устройства защиты от перегрузок). Все ОПН имеют одинаковое остаточное действующее напряжение U_{RES} (см. рисунок С.12).

Характеристика данного варианта заключается в том, что посредством прерывающего свойства ОПН осуществляется сокращение времени до средней величины импульсного тока 10/350 мкс, что в значительной степени разгружает последующие ОПН.

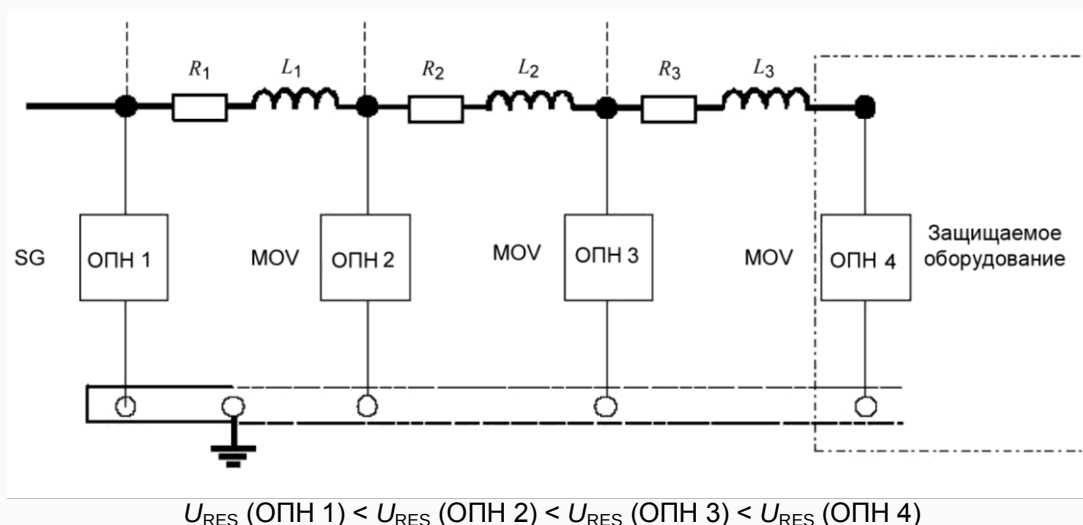


Рисунок С.12 – Вариант III координации – ОПН с типом прерывания напряжения и ОПН с типом ограничения напряжения

С.3.4 Вариант IV

Возможно двуплечие ОПН, включающее в себя каскады ОПН, скоординированные внутри посредством циклов полных сопротивлений или фильтров (см. рисунок С.13). Успешное внутреннее координирование предполагает минимальную передачу энергии ОПН на выходе или оборудованию. В случае необходимости такие ОПН должны быть полностью скоординированы с другим ОПН в системе в соответствии с вариантами I, II или III.

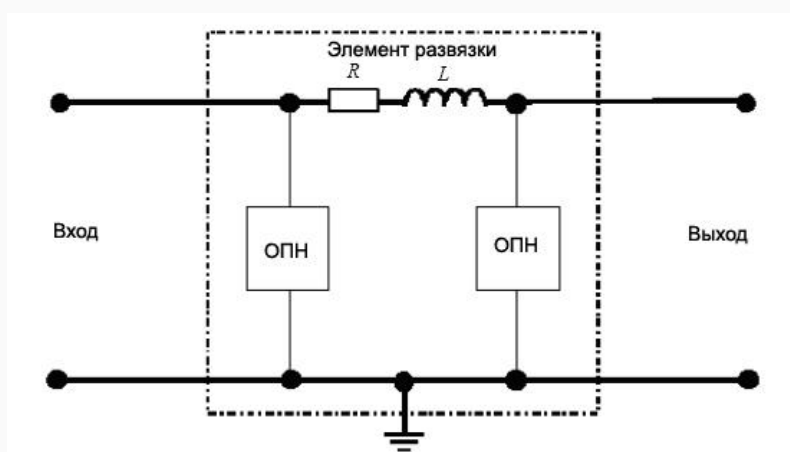


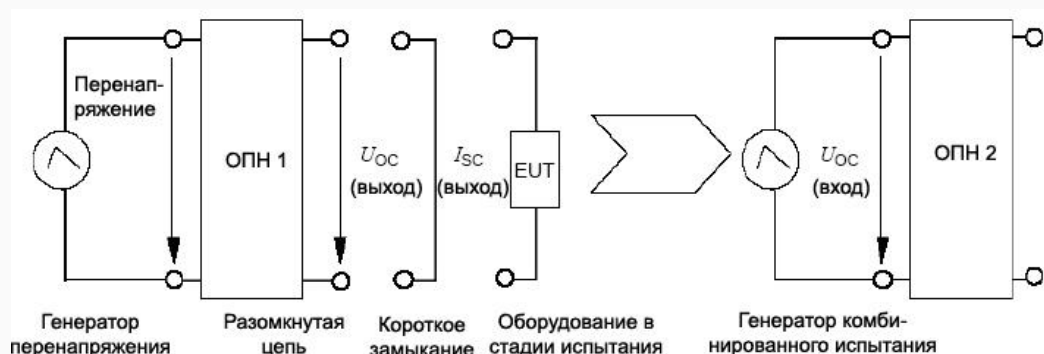
Рисунок С.13 – Вариант IV координации – несколько ОПН в одном элементе

Примечание – Циклы полного сопротивления или фильтр могут быть не приняты в расчет, если координирование энергии выполнено посредством других соответствующих мер (например, координирование характеристик напряжения/тока или использование вызванных ОПН).

С.4 Координарование в соответствии с методом максимальной сквозной энергии

Импульсы, исходящие из генератора комбинированной волны, могут быть использованы для выбора и координарования ОПН. Основное преимущество данного метода заключается в возможности расценивать ОПН в качестве черного ящика (см. рисунок С.14). Для заданного импульсного перенапряжения на входе ОПН 1 определяются не только значения на выходе напряжения холостого хода, но и токов короткого замыкания (метод максимальной сквозной энергии). Данные входные характеристики преобразованы в эквивалентное комбинированное волновое напряжение 2 Ом (напряжение холостого хода 1,2/50 мкс, ток короткого замыкания 8/20 мкс). Преимущество заключается в том, что не существует необходимости в особом знании внутреннего устройства ОПН.

Примечание – Данный метод дает хорошие результаты, если ОПН 2 не влияет на ОПН 1. Это означает, что условия импульсного перенапряжения на входе ОПН 2 являются почти такими же, что и условия тока. Это случай, при котором характеристики напряжения/тока ОПН 1 и ОПН 2 очень различны (например, координарование разрядника с металлоксидным варистором).



Конверсия U_{oc} (выход) и I_{sc} (выход) в эквивалентное комбинированное колебание:
 U_{oc} (форма колебания 1,2/50 мкс), I_{sc} (форма колебания 8/20 мкс), $Z_i = 2$ Ом

Рисунок С.14 – Координарование в соответствии с методом максимальной сквозной энергии

Целью данного метода координарования является сопоставление входных величин ОПН 2 (например, разрядный ток) с выходными величинами ОПН 1 (например, уровень защиты от напряжения).

Для правильного координарования эквивалентное комбинированное колебание на выходе ОПН 1 не должно превышать комбинированное колебание, которое может быть поглощено ОПН 2 без нарушения.

Эквивалентное комбинированное колебание определяется в самых неблагоприятных случаях напряжения (I_{max} , U_{max} , максимальная сквозная энергия).

Примечание – Дополнительная информация касательно данного метода координарования приведена в IEC 61643-12 [4].

С.5 Подтверждение координарования

Координарование энергии должно быть подтверждено следующим образом:

1) Испытание координарования

Координарование может проявляться в каждом отдельном случае.

2) Расчет

В простых случаях может быть приблизительным, тогда как сложные системы могут потребовать моделирования на компьютере.

3) Применение групп скоординированных ОПН

Производитель ОПН обязан подтвердить, что координарование выполнено.

Приложение D (справочное)

Выбор и установка скоординированного защитного ограничителя перенапряжений

В сложных электрических и электронных системах для выбора и установки соответствующего скоординированного защитного ОПН должны учитываться цепь главного тока и цепь сигнала.

D.1 Выбор ОПН

D.1.1 Выбор с учетом уровня защиты от напряжения

Импульсное выдерживаемое напряжение U_W защищаемого оборудования должно быть определено для:

- линий питания и оборудования в соответствии с IEC 60664-1;
- линий дальней связи и оборудования в соответствии с ITU-T K.20 и K.21;
- других линий и оборудования в соответствии с информацией, полученной от изготовителя.

Внутренние системы считаются защищенными, если:

– их импульсное выдерживаемое напряжение U_W выше или равно уровню защиты от напряжения U_P ОПН с необходимыми границами рабочего режима для учета спада напряжения в соединительных проводах;

- в них выполнено координирование энергии с предшествующим ОПН.

Примечание 1 – Уровень защиты U_P ОПН связан с остаточным действующим напряжением для определенного номинального тока I_n . Для более сильных или слабых токов, проходящих через ОПН, величина напряжения на границах ОПН будет соответственно разной.

Примечание 2 – Если ОПН связан с защищаемым оборудованием, спад ΔU индуктивного напряжения соединительных проводов дополнит уровень защиты U_P ОПН. Окончательный эффективный уровень защиты U_{Peff} определяется путем суммирования напряжения на выходе ОПН, сформированного посредством уровня защиты и спада напряжения в соединительных проводах/соединениях (см. рисунок D.1), как описано ниже:

$U_{Peff} = U_P + \Delta U$ для ОПН с типом ограничения напряжения;

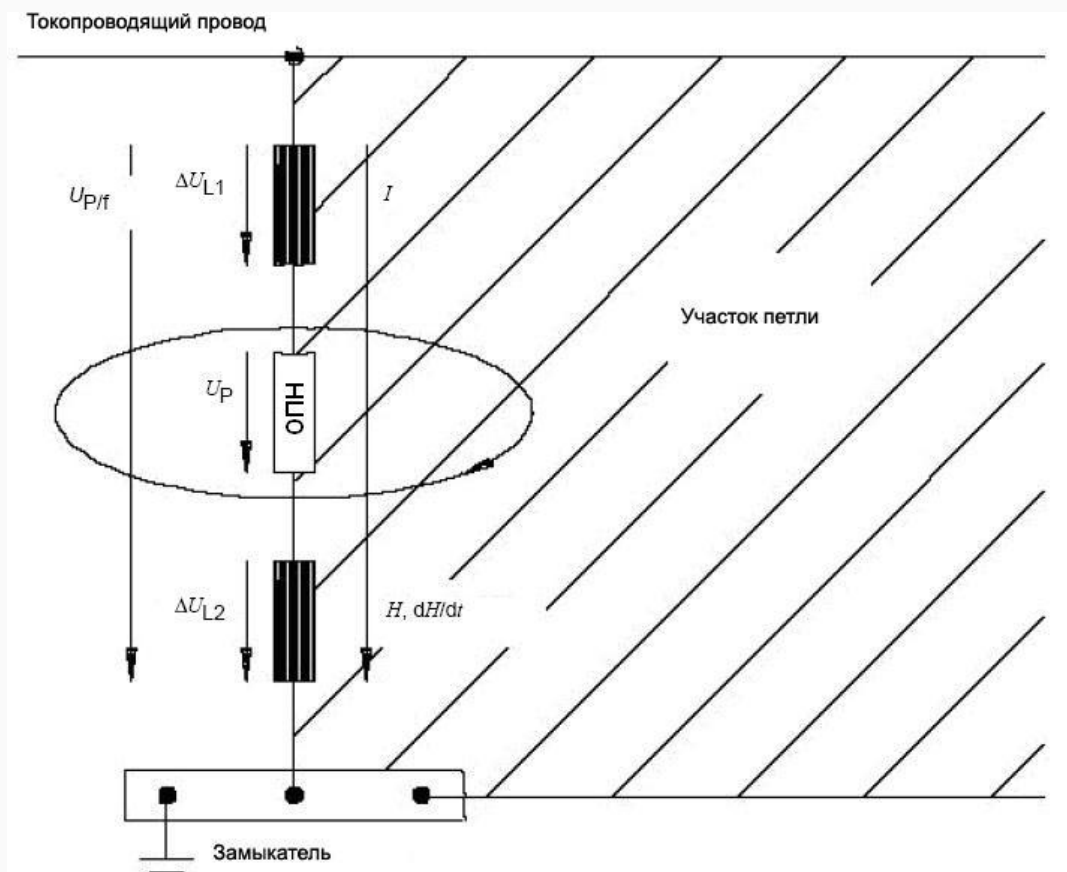
$U_{Peff} = \max(U_P, \Delta U)$ для ОПН с типом прерывания напряжения.

Для некоторых ОПН с типом прерывания может быть необходимо добавление напряжения на дуге для спада индуктивного напряжения ΔU . Такое напряжение на дуге может достигать нескольких сотен вольт. Для ОПН с комбинированным типом могут понадобиться более сложные формулы.

Если ОПН проводит неполный ток молнии, то длина $\Delta U = 1$ кВ на метр, или если длина соединительных проводов $\leq 0,5$ м, то должен быть предусмотрен коэффициент запаса 20 %. Если ОПН проводит только индуктированные перенапряжения, ΔU может не приниматься в расчет.

Примечание 3 – Уровень защиты от напряжения U_P следует сравнивать с импульсным выдерживаемым напряжением U_W оборудования, испытанного в тех же условиях, что и ОПН (перенапряжение, ток перегрузки и энергия, оборудование под напряжением и т. д.). Данный вопрос находится в стадии изучения.

Примечание 4 – Оборудование может содержать внутренние ОПН. Характеристики данных внутренних ОПН могут влиять на координирование.



/ – неполный ток молнии;

$U_{\text{pф}} = U_{\text{p}} + \Delta U$ – импульсное перенапряжение между токопроводящим проводом и замыкателем;

U_p – предельное напряжение ОПН;

$$\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2} - \text{спад индуктивного напряжения в соединительных проводах;}$$

$H, dH/dt$ – магнитное поле и его производная по времени

Рисунок D.1 – Импульсное перенапряжение между токопроводящим проводом и заземлителем

Импульсное перенапряжение $U_{\text{РП}}$ между токопроводящим проводом и замыкателем выше, чем уровень защиты ОПН ввиду спада индуктивного напряжения ΔU в соединительных проводах (даже если максимальные значения $U_{\text{Р}}$ и ΔU не появляются одновременно). А именно, неполный ток молнии, проходящий через ОПН, вызывает дополнительное напряжение в петле на защищенной стороне цепи ОПН. Таким образом, максимальное напряжение, ставящее под угрозу соединенное оборудование, может быть значительно выше, чем уровень защиты $U_{\text{Р}}$ ОПН.

D.1.2 Выбор с учетом расположения и разрядного тока

ОПН должны противостоять разрядному току, возникающему предположительно в точке размещения, в соответствии с приложением Е IEC 62305-1. Использование ОПН зависит от их способности к сопротивлению, классифицированной в IEC 61643-1 для питания и в IEC 61643-21 для систем связи.

ОПН выбираются в соответствии с намеченным местом их расположения, как описано ниже:

а) на линии входа в здание или сооружение [на границе ЗМЗ 1, например, на вводно-распределительном щите (МВ)]:

– ОПН, испытанный с I_{imp} (испытание класса I)

Необходимый импульсный ток I_{imp} ОПН должен обеспечить прохождение предполагаемого (неполного) тока молнии в точке расположения, основанной на избранном уровне молниезащиты, в соответствии с пунктом E.1 и/или пунктом E.2 IEC 62305-1.

– **ОПН, испытанный с I_n (испытание класса II)**

Данный тип ОПН может быть использован, если входящие линии полностью находятся в ЗМЗ 0_B или если вероятность сбоев ОПН, вызванных источниками повреждения S1 и S3, не учтена. Необходимый номинальный разрядный ток I_n должен покрыть предполагаемый уровень импульсного перенапряжения в точке расположения, основанной на избранном уровне молниезащиты, в соответствии с пунктом E.2.2 IEC 62305-1.

б) Вблизи защищаемого оборудования [на границе ЗМЗ 2 и выше, например на вторичном распределительном щите (SB) или на сетевой розетке (SA)].

– **ОПН, испытанный с I_n (испытание класса II)**

Необходимый номинальный разрядный ток I_n должен покрыть предполагаемый уровень импульсного перенапряжения в точке расположения, основанной на избранном уровне молниезащиты, в соответствии с пунктом E.3 IEC 62305-1.

– **ОПН, испытанный с комбинированным колебанием (испытание класса III)**

Необходимое напряжение в режиме холостого хода U_{OC} генератора комбинированного колебания выбирается для того, чтобы соответствующий ток короткого замыкания I_{SC} мог покрыть предполагаемый уровень импульсного перенапряжения в точке расположения, основанной на избранном уровне молниезащиты, в соответствии с пунктом E.3 IEC 62305-1.

D.2 Установка скоординированного защитного ОПН

Эффективность скоординированного ОПН зависит не только от правильного выбора ОПН, но также от его правильной установки. Основными аспектами для рассмотрения являются:

- расположение ОПН;
- соединительные провода;
- расстояние защиты, обусловленное явлением колебания;
- расстояние защиты, обусловленное явлением электромагнитной индукции.

D.2.1 Расположение ОПН

Расположение ОПН должно соответствовать D.1.2 и в основном вызвано:

- конкретным источником повреждения [например, удары молнии, направленные на здание или сооружение (S1), на линию (S3), в землю вблизи здания или сооружения (S2) или в землю вблизи линии (S4)];
- ближайшей возможностью отвода выброса тока в землю (как можно ближе к точке входа линии в здание или сооружение).

Первый критерий, который должен приниматься во внимание, заключается в следующем: чем ближе ОПН расположен к точке входа питающей линии, тем выше количество оборудования внутри здания или сооружения, подверженного защите данным ОПН (преимущество экономии). Затем должен быть выверен второй критерий: чем ближе ОПН расположен к защищаемому оборудованию, тем эффективнее его защита (техническое преимущество).

D.2.2 Соединительные провода

Соединительным проводам ОПН необходимо иметь минимальные площади поперечного сечения, как приведено в таблице 1.

D.2.3 Расстояние защиты I_{po} от колебаний

Во время рабочего состояния ОПН напряжение между выводами ОПН ограничено до $U_{p/f}$ на месте расположения ОПН. Если длина цепи между ОПН и оборудованием слишком большая, распространение импульсных перенапряжений может привести к явлению колебания. В случае короткого замыкания на выводах оборудования перенапряжение может увеличиться до $2 \cdot U_{p/f}$ и привести к сбою оборудования, даже если $U_{p/f} \leq U_w$.

Расстоянием защиты I_{po} от колебания является максимальная длина цепи между ОПН и оборудованием, для которой защита ОПН остается эффективной (с учетом явления колебания и емкостной нагрузки).

Эти данные зависят от технологии ОПН, правил установки и допускаемой нагрузки.

Если длина цепи менее 10 м или $U_{p/f} \leq U_w / 2$, расстояние защиты I_{po} может не приниматься во внимание.

Примечание – Если максимальная длина цепи между ОПН и оборудованием больше 10 м и $U_{p/f} > U_w / 2$, расстояние защиты от колебания может быть определено с использованием следующей формулы:

$$I_{po} = [U_w - U_{p/f}] / k \text{ (м)},$$

где $k = 25 \text{ В/м}$.

D.2.4 Расстояние защиты I_{po} от электромагнитной индуктивности

Удары молнии, направленные на здание или сооружение или в землю вблизи здания или сооружения, могут вызвать перенапряжение в петле цепи между ОПН и оборудованием, которое дополняет U_p и таким образом уменьшает эффективность защиты ОПН. Индуцированное перенапряжение увеличивается с размерами петли (прокладка кабелей, длина цепи, расстояние между РЕ и токопроводящими проводами, размер петли между питающими и сигнальными линиями) и уменьшается с ослаблением напряженности магнитного поля (пространственное экранирование и/или экранирование линии).

Расстоянием защиты I_{pi} от колебания является максимальная длина цепи между ОПН и оборудованием, для которой защита ОПН остается эффективной (с учетом явления электромагнитной индукции).

Если магнитное поле, вызванное молнией, считается слишком высоким, основным правилом является уменьшение петли между ОПН и оборудованием. В противном случае магнитное поле и воздействия электромагнитной индукции могут быть уменьшены посредством:

- пространственного экранирования здания (ЗМЗ 1) или помещений (ЗМЗ 2 и выше);
- экранирования линии (использование экранированных кабелей и кабельных трубопроводов).

Если данные меры предосторожности соблюдены, расстояние защиты I_{po} от электромагнитной индуктивности может не приниматься во внимание.

Примечание – В очень тяжелых условиях (широкая петля неэкранированных линий и очень высокие значения индуцированного тока молнии) расстояние защиты I_{pi} от электромагнитной индуктивности может быть определено с использованием следующей формулы:

$$I_{pi} = [U_w - U_{p1}] / h \text{ (м)},$$

где $h = 300 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3}$ (В/м) для ударов вблизи здания или сооружения или

$h = 30\,000 \times K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3}$ для ударов, направленных на здание или сооружение (худший случай).

K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} – факторы, указанные в пункте В.3 IEC 62305-2, а именно:

K_{S1} – пространственное экранирование, обусловленное системой молниезащиты или другими экранами на границе ЗМЗ0/1;

K_{S2} – пространственное экранирование, обусловленное экранами на границе ЗМЗ 1/2 или выше;

K_{S3} – характеристики внутренней проводки;

K_{S0} – фактор, учитывающий эффективность экранирования, обусловленного системой молниезащиты на границе ЗМЗ 0/1, и определенный:

$K_{S0} = 0,06 \times w^{0,5}$ для решетчатой системы молниезащиты с размером ячейки w (м) или

$K_{S0} = K_c$ для нерешетчатой системы молниезащиты (см. приложение С IEC 62305-3).

D.2.5 Координарование ОПН

При скоординированной защите посредством ОПН последующие ОПН координируются в отношении энергии в соответствии с IEC 61643-12 или IEC 61643-22. Изготовителю ОПН необходимо предоставить достаточно информации о том, как можно выполнить координарование в отношении энергии между ОПН.

Информация о координаровании ОПН представлена в приложении С.

D.2.6 Способ установки скоординированного защитного ОПН

Скоординированный защитный ОПН должен быть установлен следующим образом:

1) На линии входа в здание или сооружение (на границе ЗМЗ 1, например, в точке установки МВ) установить ОПН 1 (D.1.2).

2) Определить импульсное выдерживаемое напряжение U_w защищаемых внутренних систем.

3) Выбрать уровень защиты от напряжения U_{p1} ОПН 1 с целью обеспечения эффективного уровня защиты $U_{p1} \leq U_w$.

4) Проверить требования к расстояниям защиты I_{po1} и I_{pi1} (D.2.3 и D.2.4).

Если условия 3) и 4) выполнены, оборудование защищено ОПН 1.

В противном случае необходим (ы) дополнительный (ые) ОПН 2.

5) Вблизи оборудования (на границе ЗМЗ 2, например, в точке установки СВ или СА) установить ОПН 2 (D.1.2), скоординированный в отношении энергии с предшествующим ОПН 1 (D.2.5).

6) Выбрать уровень защиты U_{p2} ОПН 2 с целью обеспечения эффективного уровня защиты $U_{p2} \leq U_w$.

7) Проверить требования к расстояниям защиты I_{po2} и I_{pi2} (D.2.3 и D.2.4).

Если условия 3) и 4) выполнены, оборудование защищено скоординированными ОПН 1 и ОПН 2.

В противном случае необходим (ы) дополнительный (ые) ОПН 3 вблизи оборудования (например, в точке установки СА), скоординированный (ые) в отношении энергии с предыдущими ОПН 1 и ОПН 2 (D.2.5).

Библиография

- IEC 61000-1-1:1992 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1: General – Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms
(Электромагнитная совместимость. Часть 1. Общие положения. Раздел 1. Применение и интерпретация основных определений и терминов)
- IEC/TR 61000-5-6:2002 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influence
(Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 5-6. Руководства по монтажу и подавлению помех. Снижение влияния внешних электромагнитных полей)