



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

К.56

(07/2003)

СЕРИЯ К: ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

**Защита базовых радиостанций от разрядов
молнии**

Рекомендация МСЭ-Т К.56

Защита базовых радиостанций от разрядов молнии

Резюме

В данной Рекомендации приводится процедура определения количества для обеспечения защиты базовых радиостанций (RBS) сетей беспроводного доступа от разрядов молнии. Уровень защиты обусловлен допустимой частотой повреждений, определенной для RBS оператором, с учетом таких последствий, как прерывание предоставления услуг и выход из строя оборудования. RBS, рассматриваемые в данной Рекомендации, состоят из укрытия или небольшого здания с размещенным внутри оборудованием и расположенной рядом мачты с антеннами. Процедура по обеспечению защиты включает в себя вопросы заземления, соединения, экранирования и установки устройств защиты от перенапряжений (SPD).

Источник

Рекомендация МСЭ-Т К.56 подготовлена 16-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) и утверждена 29 июля 2003 года в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соответствие положениям данной Рекомендации является добровольным делом. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (для обеспечения, например, возможности взаимодействия или применимости), и тогда соответствие данной Рекомендации достигается в том случае, если выполняются все эти обязательные положения. Для выражения требований используются слова "shall" ("должен", "обязан") или некоторые другие обязывающие термины, такие как "must" ("должен"), а также их отрицательные эквиваленты. Использование таких слов не предполагает, что соответствие данной Рекомендации требуется от каждой стороны.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© МСЭ 2004

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область действия и назначение	1
2 Ссылки	1
3 Определения	2
4 Аббревиатуры	2
5 Базовая конфигурация	2
6 Необходимость защиты	3
7 Вероятностный анализ	4
7.1 Допустимая частота повреждений (F_I)	4
7.2 Частота ударов молнии в мачту (F_a)	5
7.3 Частота ударов молнии в укрытие RBS (F_d)	5
7.4 Анализ частоты ударов	5
8 Определение параметров тока разряда молнии	6
9 Процедуры по обеспечению защиты в LPZ0	6
9.1 Процедуры по обеспечению защиты на мачте	6
9.2 Система заземления	7
10 Процедуры обеспечения защиты для кабелей, проложенных от мачты	7
11 Защита от эффектов, создаваемых разрядами молнии внутри укрытия	8
11.1 Фактор экранирования (η)	8
11.2 Конфигурация Mesh-BN	9
11.3 Конфигурация Mesh-IBN	11
11.4 Процедуры по обеспечению защиты на границе между LPZ1 и LPZ2	11
12 Защита от эффектов, создаваемых разрядами молнии на входящих коммуникациях	12
12.1 Системы энергоснабжения	12
12.2 Системы электросвязи	13
Приложение А – Фактор, связанный с распространением тока по мачте (α)	14
А.1 Трубчатая мачта	14
А.2 Трехопорная мачта	14
А.3 Четырехопорная мачта	15
Приложение В – Фактор экранирования (η) для контуров CBN	16
Приложение С – Фактор передачи (β) для кабельных лотков и заземляющих проводников	17
С.1 Одиночный заземляющий проводник	17
С.2 Двойные заземляющие проводники	17
С.3 Заземляющая пластина	18
Приложение D – Средний геометрический радиус	19
Добавление I – Обоснование для определения эффективного времени фронта	20
Добавление II – Пример использования	21

Введение

Широкое применение базовых радиостанций (RBS) в мобильной телефонии и при организации беспроводного абонентского доступа делает необходимым рассмотрение воздействия на них разрядов молнии, которые могут привести к повреждению оборудования и кабелей RBS. В настоящей Рекомендации описываются основанные на частотном анализе процедуры по обеспечению защиты оборудования и кабелей RBS от разрядов молний.

Рекомендация МСЭ-Т К.56

Защита базовых радиостанций от разрядов молнии

1 Область действия и назначение

В данной Рекомендации рассматриваются RBS, состоящие из укрытия или небольшого здания с размещенным внутри оборудованием и мачты с антеннами, расположенной таким образом, чтобы принять на себя удар молнии и защитить укрытие или здание с оборудованием. Целью данной Рекомендации является определение критериев процедуры по защите RBS от разрядов молнии.

2 Ссылки

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- [1] ITU-T Recommendation K.39 (1996), *Risk assessment of damages to telecommunication sites due to lightning discharges.*
- [2] ITU-T Recommendation K.40 (1996), *Protection against LEMP in telecommunications centres.*
- [3] ITU-T Recommendation K.27 (1996), *Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building.*
- [4] ITU-T Recommendation K.35 (1996), *Bonding configurations and earthing at remote electronic sites.*
- [5] IEC 61024-1-1:1993, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles – Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems.*
- [6] IEC 61024-1-2:1998, *Protection of structures against lightning – Part 1-2: General principles – Guide B – Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.*
- [7] IEC 61643-1:2002, *Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods.*
- [8] IEC 61643-12:2002, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles.*
- [9] IEC 61662:1995, *Assessment of the risk of damage due to lightning.*
- [10] ETSI EG 200 053 (2002), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Radio site engineering for radio equipment and systems.*

3 Определения

К данной Рекомендации применимы определения, принятые в документах из раздела "Ссылки". Дополнительные определения, необходимые при рассмотрении защиты RBS, приведены в данном разделе.

3.1 базовая радиостанция (RBS): Установка, предназначенная для обеспечения доступа к системам электросвязи посредством радиоволн.

3.2 количество ударов (F): Количество разрядов молнии, которые попадают в RBS в год.

3.3 допустимая частота повреждений (F_i): Максимально допустимое количество повреждений в год, вызванных ударами молнии RBS.

3.4 наземная плотность вспышек (N_g): Среднегодовое количество вспышек молнии на квадратный километр.

3.5 критический ток разряда молнии (I_c): Минимальное пиковое значение тока разряда молнии, которое RBS должна выдержать для соблюдения допустимой частоты повреждений (F_i). Этот параметр связан с обратным ходом вспышки молнии.

3.6 скорость роста критического тока разряда молнии (di_c/dt): Минимальное значение скорости роста критического тока разряда молнии, которое RBS должна выдержать для соблюдения допустимой частоты повреждений (F_i). Этот параметр связан с последующим ходом вспышки молнии.

3.7 фактор мачты (α): Фактор, который используется для представления части тока молнии, которая проходит через набор телекоммуникационных проводников на мачте RBS.

3.8 фактор экранирования (η): Фактор, представляющий ослабление наведенного напряжения в сигнальных цепях внутри RBS вследствие экранирования в проводниках CBN.

3.9 наведенное напряжение (V_i): Пиковое значение наведенного напряжения в сигнальных цепях внутри RBS, возникшее при прохождении критического тока разряда молнии по мачте.

3.10 фактор передачи (β): Фактор, представляющий часть наведенного напряжения в сигнальных цепях внутри RBS, которая передается на внутренние неэкранированные кабели.

3.11 средний геометрический радиус (r'): Средний геометрический радиус проводников – это радиус воображаемого трубчатого проводника с бесконечно малой толщиной стенок без внутреннего магнитного потока, который имеет такой же внешний поток индукции, как общий (внутренний + внешний) поток индукции исходного проводника.

4 Аббревиатуры

LPZ	Lightning Protective Zone	Зона грозозащиты
RBS	Radio Base Station	Базовая радиостанция

5 Базовая конфигурация

На рисунке 1 показана базовая конфигурация, рассматриваемая в данной Рекомендации. На этом рисунке обозначены три зоны грозозащиты в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.40:

- LPZ0: состоит из мачты, антенн, внешних кабелей и системы заземления;
- LPZ1: состоит из укрытия RBS, внутренних кабелей, кабельных лотков и т. д.;
- LPZ2: состоит из стойки для оборудования и самого оборудования.

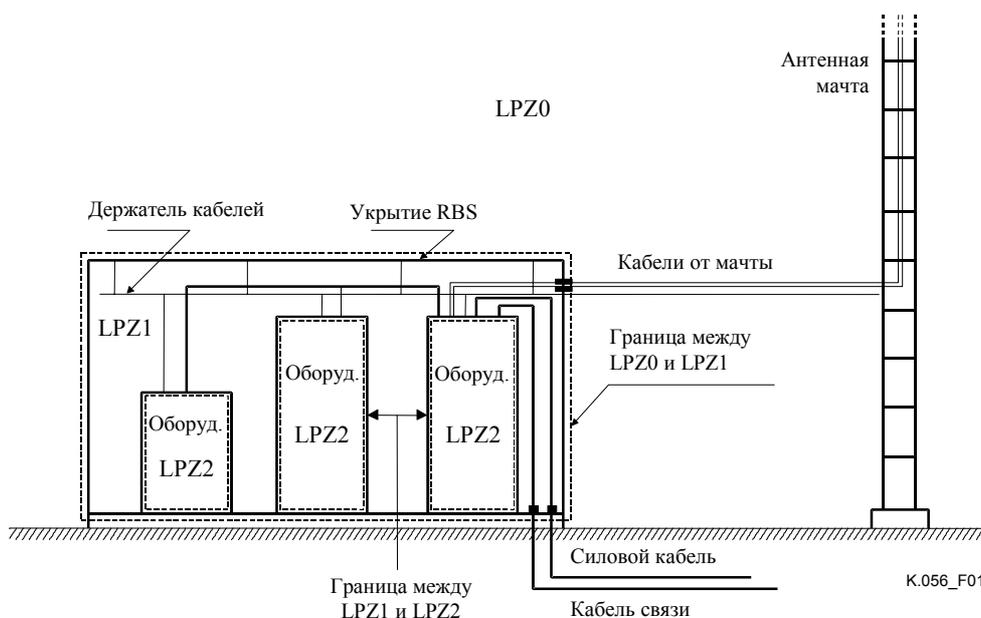


Рисунок 1/К.56 – Базовая конфигурация RBS

6 Необходимость защиты

Для оценки необходимости защиты RBS от разрядов молнии необходимо определить допустимую частоту повреждений (F_t) и рассчитать частоту попаданий молнии в мачту RBS (F_a) и укрытие (F_d). Если $F_a + F_d$ меньше, чем F_t , то прямые попадания разрядов молнии не являются для данной RBS событиями первостепенной важности; такие RBS должны рассматриваться как обычные удаленные электротехнические площадки, которые подпадают под Рекомендацию МСЭ-Т К.35. Однако, если $F_a + F_d$ больше, чем F_t , то для RBS необходимо использовать защиту от прямых попаданий молнии. Применение подобной защиты в соответствии с данной Рекомендацией будет также обеспечивать защиту от разрядов молнии вблизи RBS даже в том случае, если они попадают в землю или во входящие кабели.

Второй шаг заключается в проведении сравнения F_a с F_d . Если F_d не является незначительной величиной по сравнению с F_a , то такая RBS не попадает в область действия данной Рекомендации. В этом случае для обеспечения защиты электрических и электронных систем внутри укрытия RBS нужно воспользоваться IEC 61662.

Если F_d является незначительной величиной по сравнению с F_a , то в соответствии с шагами, приведенными в данной Рекомендации, необходимо определить параметры тока разряда молнии, от которого требуется защитить RBS. Процедуры по обеспечению защиты разделены на четыре шага:

- Защита от напряжения, которое действует в коаксиальном кабеле, идущем от мачты.
- Защита от токов и напряжений, наведенных внутри укрытия RBS вследствие прохождения тока разряда молнии по мачте и связанным с ней проводникам (коаксиальный кабель, металлические крепления и т. д.).
- Защита от токов и напряжений, наведенных во входящих заземляющих проводниках вследствие увеличения потенциала земли у RBS.
- Защита от токов и напряжений, наведенных в приходящих сигнальных проводах (при их наличии) вследствие увеличения потенциала земли у RBS.

Блок-схема на рисунке 2 описывает шаги, содержащиеся в данной Рекомендации. Для каждого шага сделана ссылка к соответствующему разделу Рекомендации. Ход выполнения работ показан полужирными стрелками, а ссылки – обычными линиями.

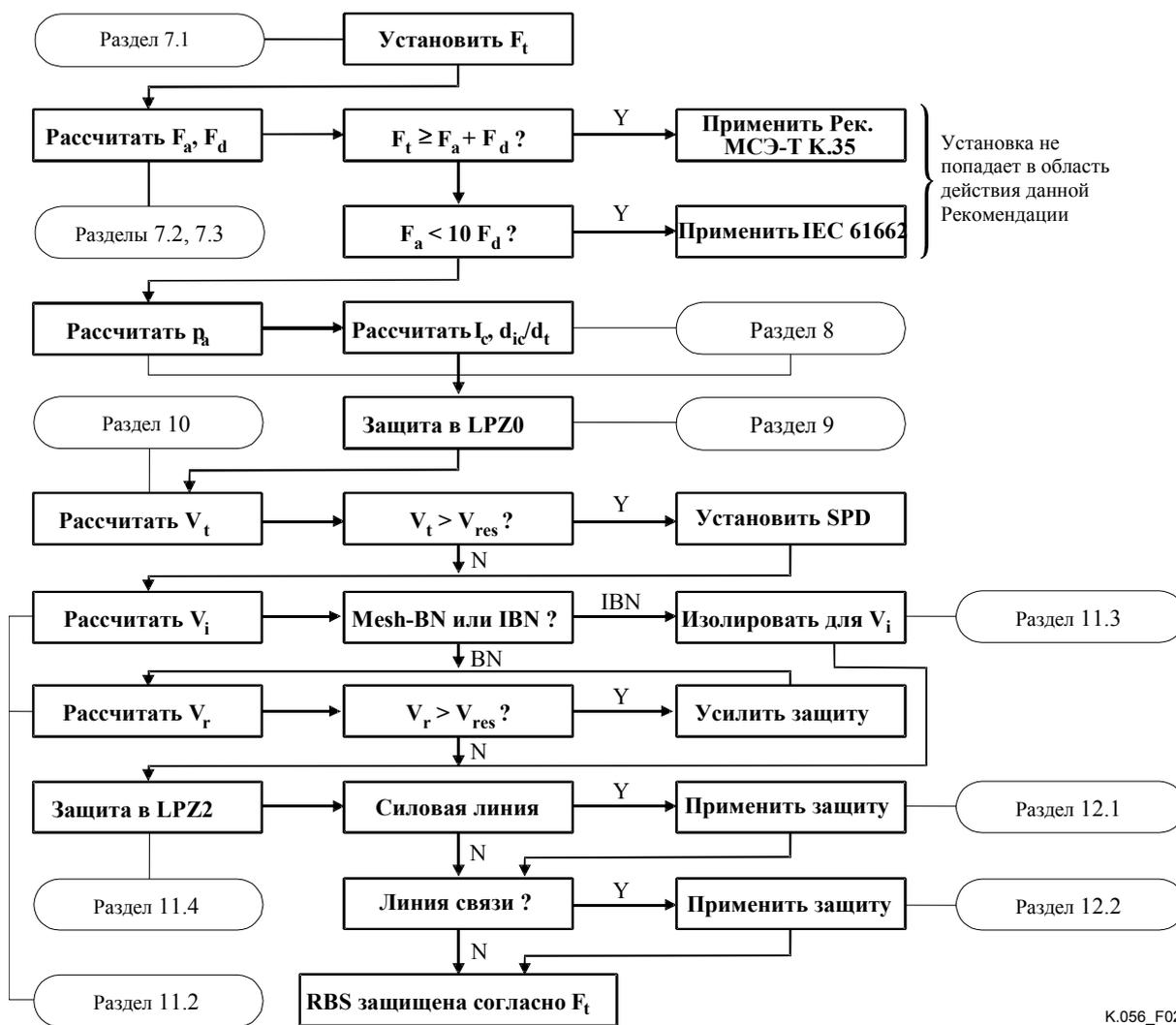


Рисунок 2/К.56 – Блок-схема выполнения работ по обеспечению защиты RBS от разрядов молнии

7 Вероятностный анализ

7.1 Допустимая частота повреждений (F_t)

Цель защитных мер, описанных в данной Рекомендации, заключается в уменьшении экономических потерь вследствие повреждений до уровня, приемлемого для компании-оператора. Процедуры по обеспечению защиты людей определяются соответствующими органами и не являются предметом рассмотрения данной Рекомендации.

Принимая во внимание вероятностную природу молнии, оператор должен допускать определенный уровень экономического ущерба, причиненного в результате ударов молнии, с целью разработки защитных мер, основанных на техническом и экономическом компромиссе.

Допустимая частота повреждений (F_t) определяется как:

$$F_t = L_t / L_d,$$

где:

L_t = допустимые годовые экономические потери вследствие ударов молнии в рассматриваемую RBS;

L_d = вероятный экономический ущерб вследствие повреждений, вызванных ударами молнии в рассматриваемую RBS.

Значение L_d может быть вычислено, принимая во внимание, помимо прочего, следующие источники экономического ущерба:

- потеря доходов из-за прерывания предоставления услуг;
- штрафы, которые могут быть наложены компанией, использующей прерванную услугу, или государственным органом электросвязи;
- ущерб репутации компании в глазах общественности;
- стоимость замены поврежденного оборудования.

Таким образом, экономический ущерб, вызванный одним случаем повреждения, зависит от таких характеристик RBS, как уровень нагрузки, штрафы по контрактам, тип оборудования, доступность для обслуживающего персонала и т. д.

Значение L_t определяется на основании бизнес-плана с учетом стоимости реализации процедур по обеспечению защиты. Типовые значения F_t для RBS находятся в диапазоне от 0,10 до 0,01.

7.2 Частота ударов молнии в мачту (F_a)

Частота ударов молнии в мачту определяется следующим образом:

$$F_a = 9 c \pi H_t^2 N_g \text{ [повреждений} \times \text{год}^{-1}\text{]}, \quad (1)$$

где:

N_g = наземная плотность вспышек (кол-во вспышек \times км⁻² \times год⁻¹);

H_t = высота мачты (км);

c = фактор экспозиции ($c = 1$ для равнины и $c = 2$ для вершины горы).

7.3 Частота ударов молнии в укрытие RBS (F_d)

Если укрытие RBS находится внутри окружности с центром в мачте и радиусом $3(H_t - H_h)$, где H_h – высота укрытия, то:

$$F_d = 0.$$

В ином случае частота ударов определяется следующим образом:

$$F_d = (a b + 6 H_h a + 6 H_h b + 9 \pi H_h^2) N_g \text{ [ударов} \times \text{год}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

где:

a = длина укрытия (км);

b = ширина укрытия (км);

H_h = высота укрытия (км).

7.4 Анализ частоты ударов

На основании полученных ранее значений F_t , F_a и F_d , должен быть выполнен следующий анализ:

- если $F_t \geq F_a + F_d$,

то прямые удары молнии не являются событиями первостепенной важности; такая RBS должна рассматриваться как обычная удаленная электротехническая площадка, которая попадает в область действия Рекомендации МСЭ-Т К.35.

- Если $F_t < F_a + F_d$ и $F_a < 10 F_d$,

то такая установка не попадает в область действия данной Рекомендации. В этом случае для обеспечения защиты электрических и электронных систем внутри укрытия RBS необходимо обратиться к IEC 62305-4.

- Если $F_t < F_a + F_d$ и $F_a \geq 10 F_d$,

то в соответствии с шагами, приведенными в данной Рекомендации, необходимо определить параметры тока разряда молнии, от которого требуется защитить RBS.

8 Определение параметров тока разряда молнии

Количество прямых ударов молнии в мачту определяется наземной плотностью вспышек и высотой мачты. Принимая во внимание, что уменьшать высоту мачты невозможно из-за ограничений, накладываемых системами передачи, допустимая частота повреждений может быть обеспечена путем увеличения устойчивости RBS к токам определенного уровня. Таким образом, прямые удары молнии с током ниже этого критического уровня не будут служить причиной выхода из строя оборудования RBS. Этот критический уровень тока разряда молнии обозначается I_c и рассчитывается следующим образом:

$$I_c = (a - \ln(100 p_a)) / b \quad [\text{кА}], \quad (3)$$

где:

$$p_a = F_t / F_a$$

$$a = 4,605 \quad \text{и} \quad b = 0,0117 \quad \text{при} \quad p_a > 0,79$$

$$a = 5,063 \quad \text{и} \quad b = 0,0346 \quad \text{при} \quad p_a \leq 0,79$$

Скорость роста критического тока разряда молнии (di_c/dt) определяется по следующей формуле:

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{I_c}{t_{eff}} [\text{кА/мкс}],$$

где:

$$t_{eff} = 1 \text{ мкс} - \text{время эффективного фронта, описанное в Добавлении I.}$$

Следующие разделы описывают процедуры по обеспечению защиты оборудования RBS от токов, уровень которых ниже критического.

ПРИМЕЧАНИЕ – Пиковое значение тока разряда молнии соответствует первому ходу, а di/dt соответствует следующему ходу. Зависимость между этими параметрами описана в IEC 61662. Например разряд молнии с пиковым током 100 кА соответствует di/dt , равному 100 кА/мкс. В данной Рекомендации некоторые процедуры по обеспечению защиты основаны на уровне тока, а некоторые – на скорости роста тока (di/dt).

9 Процедуры по обеспечению защиты в LPZ0

9.1 Процедуры по обеспечению защиты на мачте

Потребность в использовании молниеотводов для защиты антенн от прямых попаданий должна быть определена в соответствии с методами, описанными в IEC 61024-1-1 [5]. Для металлических вышек нет необходимости в использовании вертикальных молниеотводов для передачи тока молнии в землю, поскольку это обеспечивается самой конфигурацией мачты. Для неметаллических вышек необходима установка вертикальных молниеотводов. Спецификация и правила установки вертикальных молниеотводов должны соответствовать IEC 61024-1-2 [6].

Волновод и внешний проводник коаксиальных кабелей должны быть связаны с элементами металлической мачты, а для неметаллических вышек – связаны с вертикальным молниеотводом.

9.2 Система заземления

Система заземления RBS должна соответствовать Рекомендации МСЭ-Т К.35 [4] с некоторыми дополнительными требованиями. Описание системы заземления приводится в данном разделе, а ее схема показана на рисунке 3.

- Вокруг укрытия и мачты RBS должны быть проложены под землей оголенные проводники, образующие замкнутые окружности. Один кольцевой электрод образует окружность вокруг укрытия, второй – вокруг мачты.
- Расстояние от подземного электрода до соответствующего объекта должно быть по возможности равным примерно 0,65 м. Заглубление проводника должно быть порядка 0,75 м.
- Два кольца должны быть соединены между собой по крайней мере тремя разнесенными проводниками (см. рисунок 3).
- Опоры металлической мачты или вертикальные молниеотводы неметаллической мачты должны быть соединены с их подземными кольцами и с металлическими элементами фундамента.
- Если у укрытия стальной фундамент и/или пол, усиленный стальной арматурой, они должны быть соединены с заземляющим кольцом по крайней мере по четырем углам. Если укрытие металлическое, его основание должно быть также связано с заземляющим кольцом (см. рисунок 3).
- Один подземный проводник должен соединять заземляющее кольцо укрытия с главным заземляющим выводом (MET), расположенным внутри укрытия в нижней части стены, выходящей в сторону мачты. Этот проводник должен быть по возможности коротким и иметь минимальную площадь поперечного сечения, равную 50 мм².
- Желательно, чтобы все проводники, находящиеся в контакте с землей, были медными и имели минимальную площадь поперечного сечения, равную 50 мм².
- В соответствии с национальными правилами по безопасности и/или с контролем градиента напряжения относительно земли и/или с ограничениями по току, допустимому в металлических элементах, подключенных к RBS, может потребоваться установка дополнительных электродов. Желательно, чтобы этими дополнительными электродами являлись вертикальные стержни, установленные вдоль колец и/или горизонтальные радиальные проводники, проложенные от мачты.

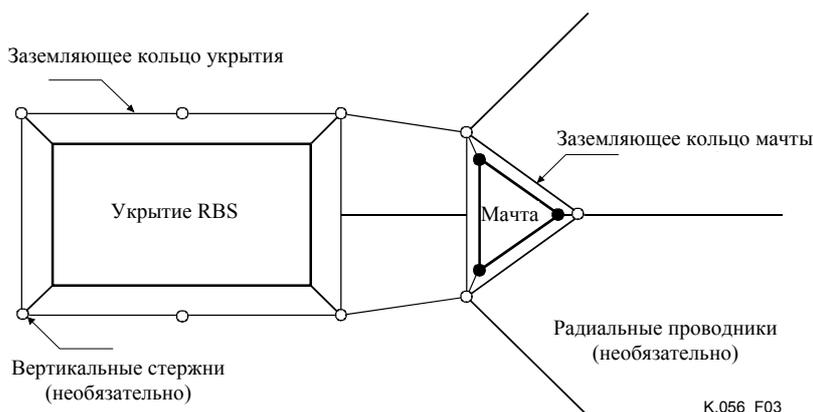


Рисунок 3/К.56 – Конфигурация системы заземления для RBS

10 Процедуры обеспечения защиты для кабелей, проложенных от мачты

Все кабели, которые подходят к RBS со стороны мачты, должны входить через одно отверстие и должны быть соединены с предусмотренной в этой точке штангой крепления. Волноводы и внешние проводники коаксиальных кабелей должны быть напрямую соединены с этой штангой с помощью коротких соединений. Незэкранированные кабели (например, силовые кабели для освещения мачты) должны быть соединены со штангой посредством SPD. Эта штанга должна быть соединена с системой заземления с помощью вертикальных проводников (рекомендуется как минимум три

разнесенных проводника). Если укрытие металлическое, требуется дополнительное соединение штанги со стенами укрытия. Подземные проводники и металлические держатели кабелей внутри укрытия RBS должны быть соединены со штангой крепления.

Необходимость в установке SPD между внутренними и внешними проводниками коаксиальных кабелей, которые приходят от мачты, выявляется по следующим шагам.

- Определить часть тока молнии, которая проходит по пучку проводников на мачте. Для описания этого параметра используется фактор мачты " α ", который определяется в соответствии с процедурой, описанной в Приложении А.
- Распределить полученное значение тока на " n " проводников, входящих в состав пучка. Для этого расчета принимается, что ток распределяется по коаксиальным кабелям пропорционально среднему геометрическому радиусу (GMR). Все проводники в пучке, такие как волноводы, коаксиальные кабели, силовые кабели, вертикальные молниеотводы и арматура кабель-роста (если они проложены вдоль мачты), должны быть учтены.
- Рассчитать пиковое значение поперечного напряжения (V_t) в коаксиальном кабеле путем умножения пикового тока на длину кабеля и его передаточное сопротивление на единицу длины. Для трубчатых кабелей и диапазона частот токов молнии передаточное сопротивление может быть с запасом принято равным сопротивлению на постоянном токе.
- Сравнить полученное поперечное напряжение с сопротивляемостью интерфейса оборудования, к которому подключен кабель. Если поперечное напряжение выше, чем сопротивляемость, тогда необходимо использовать SPD. Для расчета параметра V_t используется формула 4:

$$V_t = I_c \alpha L z_t r_x / r_{\text{всe}} \quad [\text{кВ}], \quad (4)$$

где:

I_c : критический ток [кА];

z_t : передаточное сопротивление на единицу длины [Ом/м];

α : фактор мачты из Приложения А [безразмерный];

L : длина коаксиального кабеля [м];

r_c : GMR коаксиального кабеля [мм];

$r_{\text{всe}}$: сумма GMR всех проводников в пучке [мм].

ПРИМЕЧАНИЕ – Критерии, использованные для оценки распределения тока по коаксиальным кабелям, являются приближением, обеспечивающим запас прочности при размещении кабеля в центральной части пучка.

11 Защита от эффектов, создаваемых разрядами молнии внутри укрытия

Для ослабления индуктивного эффекта от разряда молнии внутри укрытия RBS процедуры по обеспечению защиты могут быть основаны либо на конфигурации Mesh-BN, либо Mesh-IBN. Характеристики этих конфигураций описаны в Рекомендации МСЭ-Т К.27. В обеих конфигурациях электромагнитное поле внутри укрытия может быть ослаблено эффектом экранирования металлических элементов, расположенных внутри или около стен укрытия. Для целей данной Рекомендации эти металлические элементы составляют границу между LPZ0 и LPZ1.

11.1 Фактор экранирования (η)

Наведенное напряжение внутри укрытия RBS ослабляется экранированием металлическими проводниками, соединенными с кабелями RBS. Ослабление может быть представлено фактором экранирования " η ". Некоторые факторы экранирования для различных экранов приведены ниже.

- Неэкранирующий: $\eta = 1$ (из Рекомендации МСЭ-Т К.39)

Этот фактор используется в том случае, если стены укрытия сделаны из непроводящих материалов, таких как дерево, кирпич и бетон без элементов арматуры.

- Металлический контейнер: $\eta = 0,01$ (из Рекомендации МСЭ-Т К.39)

Листы обшивки металлического контейнера должны быть соединены между собой в нескольких местах и составлять замкнутую металлическую клетку (пол, стены, потолок).

- Металлическая решетка: $\eta = w / 8,5$ (из IEC 61662),

где w – ширина решетки в метрах. Металлическая решетка должна составлять замкнутую металлическую клетку вокруг укрытия.

- Подземные проводники вокруг укрытия: см. Приложение В для η

Прокладка вокруг укрытия подземных проводников, образующих замкнутые петли и связанных с внутренними кабелями, обеспечивает эффект экранирования RBS. В Приложении В приводятся некоторые значения фактора экранирования для различных размещений подземных проводников.

11.2 Конфигурация Mesh-BN

Основные характеристики конфигурации Mesh-BN описаны в Рекомендации МСЭ-Т К.27 [3]. Исходя из практических соображений конфигурация Mesh-BN, как правило, является более предпочтительной для укрытия RBS. Ее использование внутри укрытия RBS (LPZ1) требует выполнения следующих процедур.

- Все проводники, такие как корпуса оборудования, стивы, лотки и шкафы, должны быть связаны вместе и в нескольких точках с CBN.
- CBN состоит из металлических проводящих стен укрытия (стальная конструкция или металлическая стена), металлических желобов, проводников РЕ, металлических частей системы кондиционирования и т. д. CBN должен быть связан с системой заземления в нескольких точках.

На рисунке 4 схематично показано каблирование RBS с использованием конфигурации Mesh-BN. Напряжение V_i , наведенное в самом большом контуре внутри укрытия RBS, рассчитывается по следующей формуле:

$$V_i = 0,2 \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f} \quad [\text{кВ}], \quad (5)$$

где:

h, f, e : физические размеры (в метрах), как показано на рисунке 4;

di_c/dt : скорость роста критического тока разряда молнии [кА/мкс];

η : фактор экранирования (см. 11.1);

k : фактор для учета металлического соединения между мачтой и укрытием RBS; для типовых RBS этот фактор может быть с запасом принят как $k = 1,5$.

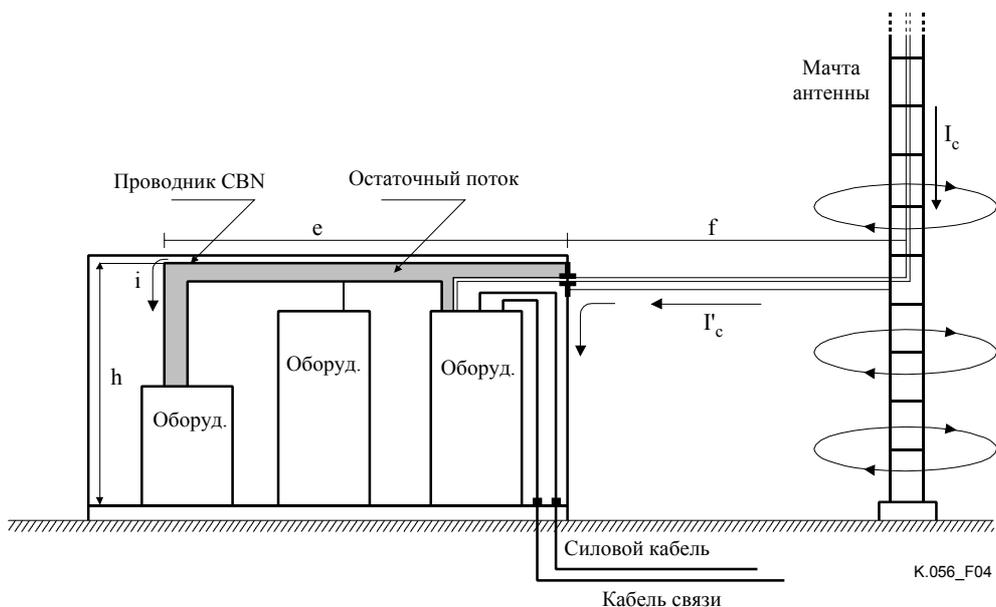


Рисунок 4/К.56 – RBS с конфигурацией Mesh-BN

Наведенное напряжение V_i вызывает рост наведенных токов внутри RBS. Прохождение этих токов убирает магнитный поток из замкнутых контуров внутри Mesh-BN. Однако остаточный поток сохраняется в незамкнутых кольцевых контурах, образованных кабелями связи и силовыми кабелями, что приводит к появлению остаточного наведенного напряжения, рассчитываемого по формуле 6:

$$V_r = \beta V_i, \quad (6)$$

где:

V_r : остаточное наведенное напряжение [кВ];

V_i : наведенное напряжение, рассчитанное по формуле 5 [кВ];

β : фактор передачи, приведенный в Приложении С.

Остаточное напряжение создается между неэкранированным кабелем связи или силовым кабелем и стивом оборудования. Необходимо сравнить это напряжение с устойчивостью оборудования. Если оно больше, чем уровень устойчивости, то либо с помощью экранирующих проводников должен быть уменьшен фактор передачи (β) (см. Приложение С), либо на порту оборудования должно быть установлено SPD (интерфейс LPZ1/LPZ2).

Для экранированных кабелей остаточное напряжение рассчитывается исходя из полного сопротивления экрана и той части наведенного тока, которая через него проходит. Принимая во внимание малую длину кабелей внутри RBS, наведенное напряжение в экранированных кабелях обычно незначительно.

Следовательно, объединяя формулы 5 и 6, а также заменяя остаточное напряжение устойчивостью оборудования (V_{res}), получаем формулу 7, которая определяет условия для защиты оборудования внутри укрытия RBS при использовании конфигурации Mesh-BN:

$$V_{res} \geq 0,2 \beta \frac{di_c}{dt} h k \eta \ln \frac{f+e}{f}. \quad (7)$$

Для соответствия формуле 7 может быть использована одна или несколько приведенных процедур.

- Переставить оборудование внутри RBS с целью уменьшения воздействия на контур путем уменьшения длины "e" или высоты "h" (см. рисунок 4).
- Улучшить фактор экранирования RBS (см. 11.1) с целью уменьшения η .

- Улучшить соединение между заземляющими проводниками и кабелями (см. Приложение С) с целью уменьшения фактора передачи β .
- Увеличить устойчивость оборудования (V_{res}) путем добавления SPD на его порты.

11.3 Конфигурация Mesh-IBN

Основные характеристики конфигурации Mesh-IBN описаны в Рекомендации МСЭ-Т К.27 [3]. Ее использование внутри укрытия RBS (LPZ1) требует выполнения следующих процедур.

- Все провода должны входить в укрытие RBS через общее отверстие для выполнения подключений (SPCW). SPCW должно быть мало, насколько это возможно. Желательно, чтобы все провода (включая кабели от мачты, силовые кабели переменного тока и кабели связи от других устройств) входили в RBS через одно отверстие и были соединены с одной и той же штангой заземления.
- Оборудование и кабели внутри RBS должны быть изолированы от элементов пола и стен укрытия. Эта изоляция должна выдерживать наведенное напряжение V_{is} , рассчитанное по формуле 5.

На рисунке 5 показана схема прокладки кабелей в RBS при использовании конфигурации Mesh-IBN.

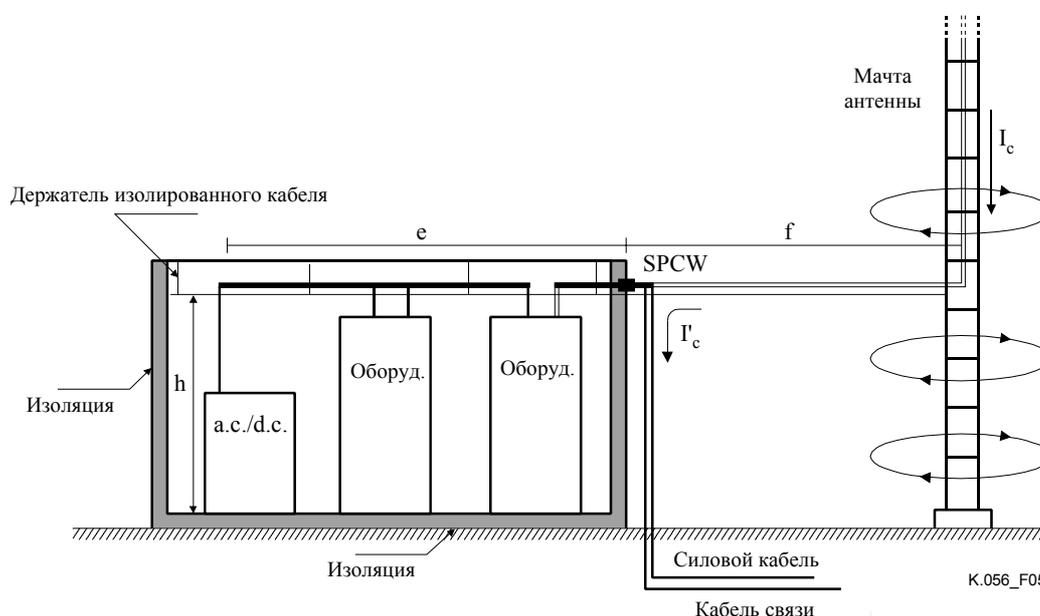


Рисунок 5/К.56 – RBS с конфигурацией Mesh-IBN

11.4 Процедуры по обеспечению защиты на границе между LPZ1 и LPZ2

Границей между LPZ1 и LPZ2 являются шкафы с оборудованием и стивы (см. рисунок 1). Рекомендуются следующие процедуры.

- Экраны экранированных кабелей должны быть соединены со шкафами с оборудованием с обеих сторон.
- Заземляющие проводники (PE) должны быть соединены с металлическими стивами оборудования.
- Металлические держатели кабелей (лотки) должны быть соединены с металлическими стивами оборудования по крайней мере в двух различных точках.
- Если необходимо для конфигурации Mesh-BN, SPD необходимо установить между неэкранированными проводами и корпусом оборудования (см. 11.2).

12 Защита от эффектов, создаваемых разрядами молнии на входящих коммуникациях

В типовых RBS используются металлические подключения к силовым элементам и иногда к сигнальным. В данном разделе приведены процедуры по обеспечению защиты для использования на интерфейсах между LPZ0 и LPZ1.

12.1 Системы энергоснабжения

Для защиты систем энергоснабжения от ударов молнии в мачту RBS необходимо установить SPD в точке входа силовых проводников в укрытие RBS. Эти SPD также будут защищать RBS от перенапряжений, наведенных ударом молнии и переданных по силовым кабелям в RBS. SPD должны соответствовать IEC 61643-1 и IEC 61643-12.

Для уменьшения остаточного напряжения в точке подвода энергоснабжения эта точка входа в укрытие RBS должна быть расположена вблизи главного заземляющего вывода (MET). Соединения между силовыми кабелями, SPD и MET должны быть как можно короче, а используемые провода – с умеренным поперечным сечением. Желательно, чтобы отдельный провод использовался для каждого соединения с MET (см. рисунок 6). Если силовой кабель экранирован, его экран также должен быть соединен с MET. Для обеспечения устойчивости силовых входов оборудования к остаточному напряжению параметры установки должны быть изменены в соответствии с формулой 8 (см. рисунок 6):

$$V_{res} \geq 0,2 \frac{di_c}{dt} L_p \left[\frac{R_g}{R_g + Z_p} \right] \ln \left[\frac{b + r_p}{r_p} \right] - V_{spd}, \quad (8)$$

где:

V_{res} : устойчивость силового входа оборудования [кВ];

L_p : длина соединения между силовыми кабелями и MET [м];

r_p : средний геометрический радиус соединения между силовыми кабелями и MET (прямого или через SPD) [м];

b : расстояние между SPD и защищаемым оборудованием [м];

V_{spd} : остаточное напряжение SPD [кВ];

R_g : сопротивление заземления RBS [Ом];

Z_p : сопротивление силовой линии при перенапряжении [Ом].

Сопротивление силовой линии при перенапряжении определяется по формуле 9:

$$Z_p = 60 \ln \left\{ \left[a + 648 (\rho / f_L)^{1/2} \right] / r_L \right\} \quad [\text{Ом}], \quad (9)$$

где:

ρ : удельное сопротивление земли [Ом/м];

f_L : характерная частота последующего удара молнии [Гц];

r_L : средний геометрический радиус силовой линии [м];

a : кратчайшее расстояние от силовой линии до земли [м].



Рисунок 6/К.56 – Оценка максимального расстояния между силовыми проводниками и МЕТ

СПД должен противостоять импульсному пиковому напряжению в соответствии с формулой 10:

$$I_{imp} \geq \frac{I_c}{2n \times m} \text{ [кА]}, \quad (10)$$

где:

I_c : критический пиковый ток (см. раздел 8) [кА];

n : количество металлических коммуникаций, подключенных к RBS;

m : количество проводов в силовой линии.

12.2 Системы электросвязи

Для защиты сигнальных интерфейсов (с использованием металлических проводов) от ударов молнии на мачте RBS необходимо установить SPD в точке входа сигнальных проводников в укрытие RBS. Эти SPD будут также защищать RBS от наведенных в результате удара молнии перенапряжений, переданных в RBS по металлическим проводникам. SPD должны соответствовать Рекомендации МСЭ-Т К.12.

Для уменьшения остаточного напряжения в точке входа кабеля связи должны входить в укрытие RBS вблизи главного заземляющего вывода (МЕТ). Соединения между силовыми кабелями, SPD и МЕТ должны быть как можно короче, а используемые провода – с умеренным поперечным сечением. Желательно, чтобы более одного провода использовалось для соединения с МЕТ. Если сигнальный кабель экранирован, его экран должен быть соединен с МЕТ. Для обеспечения устойчивости входов оборудования связи к остаточному напряжению параметры установки должны быть изменены в соответствии с формулой 8, в которой данные по силовым кабелям должны быть заменены на соответствующие данные по сигнальным кабелям.

Процедуры по обеспечению защиты сигнальных линий от прямых и не прямых разрядов молнии описаны в Рекомендациях МСЭ-Т К.47 и К.46 соответственно.

Приложение А

Фактор, связанный с распространением тока по мачте (α)

В период существования переходных условий, возникающих в момент удара молнии, распространение тока по проводникам мачты определяется связью магнитного потока между проводниками. Фактор мачты " α " определяется как часть общего тока молнии, проходящая по пучку проводников, образованному кабелями связи и другими проводниками на мачте. В данном Приложении разобрана типичная ситуация. Оценка среднего геометрического радиуса проводников может быть выполнена в соответствии с процедурой, описанной в Приложении D.

А.1 Трубчатая мачта

Если кабели связи расположены внутри мачты, то общий ток молнии, проходящий через мачту таков, что $\alpha = 0$. Если кабели связи расположены снаружи мачты, распределение тока определяется по следующей формуле:

$$\alpha = \ln(s / r_t) / \ln(s^2 / r_t r_c),$$

где:

s : расстояние между осью мачты и осью пучка проводников;

r_t : средний геометрический радиус мачты;

r_c : средний геометрический радиус пучка проводников.

На рисунке А.1 показаны используемые значения.

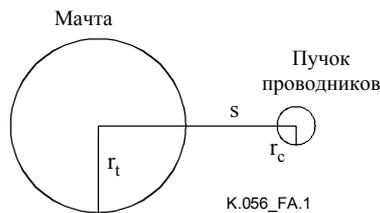


Рисунок А.1/К.56 – Расстояния для трубчатой мачты

А.2 Трехопорная мачта

Для трехопорной мачты может использоваться один из типовых вариантов (см. рисунок А.2):

a) Кабель на случайном расстоянии " s " от одной опоры (см. рисунок А.2)

$$\alpha = \{1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln[s(3d^2 + s^2 - 3ds) / (3r_t d^2)]\}^{-1}$$

b) Кабель в центре мачты ($s = d$)

$$\alpha = [1 + 3 \ln(d / r_c) / \ln(d / 3r_t)]^{-1}$$

c) Кабель на одной из боковых граней ($s = 3d/2$)

$$\alpha = [1 + 3 \ln(3d / 2r_c) / \ln(3d / 8r_t)]^{-1}$$

d) Кабель рядом с одной опорой ($s \ll d$)

$$\alpha = [1 + 3 \ln(s / r_c) / \ln(s / r_t)]^{-1}$$

Расстояние " d " – это расстояние от одной опоры до оси мачты.

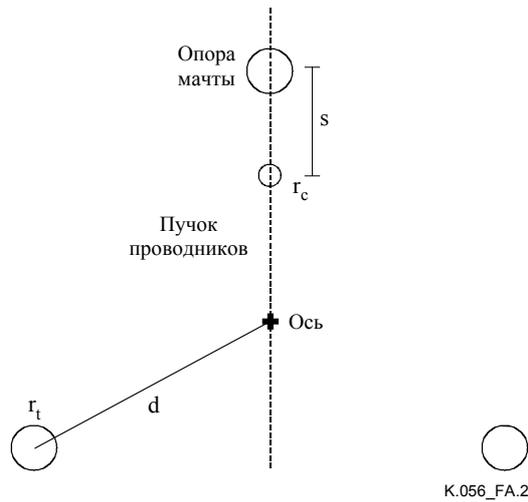


Рисунок А.2/К.56 – Расстояния для трехопорной мачты

А.3 Четырехопорная мачта

Для четырехопорной мачты может использоваться один из типовых вариантов (см. рисунок А.3):

- a) Кабель на случайном расстоянии "s" от одной опоры (см. рисунок А.3)

$$\alpha = \{1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln [s (2d - s) / (2 r_t d)]\}^{-1}$$

- b) Кабель в центре мачты ($s = d$)

$$\alpha = [1 + 4 \ln (d / r_c) / \ln (d / 2 r_t)]^{-1}$$

- c) Кабель рядом с одной опорой ($s \ll d$)

$$\alpha = [1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln (s / r_t)]^{-1}$$

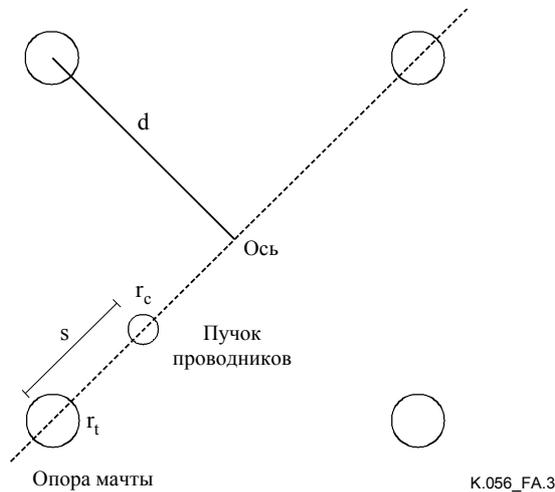


Рисунок А.3/К.56 – Расстояния для четырехопорной мачты

Приложение В

Фактор экранирования (η) для контуров СВН

В таблице В.1 приведены факторы экранирования (η) в зависимости от проводов СВН, которые формируют замкнутые контуры, связанные с кабелями связи. Типовое расположение проводов приведено на рисунке В.1. Экранированный контур сформирован кабелями связи, статавами оборудования и частью схемы СВН (например, системой заземления).

Таблица В.1/К.56 – Фактор экранирования для различных конфигураций СВН

Конфигурация	Рисунок	Фактор экранирования (η)		
		$x = 0,15 \text{ m}$	$x = 0,4 \text{ m}$	$x = 0,8 \text{ m}$
Одноконтурная	В.1а	0,37	0,48	0,59
Клеть	В.1б	0,45	0,45	0,45
Клеть с одним промежуточным проводом	В.1с	0,21	0,27	0,33
Клеть с тремя промежуточными проводами	В.1д	0,16	0,19	0,23

ПРИМЕЧАНИЕ – Эти значения получены по масштабной модели типовой RBS.

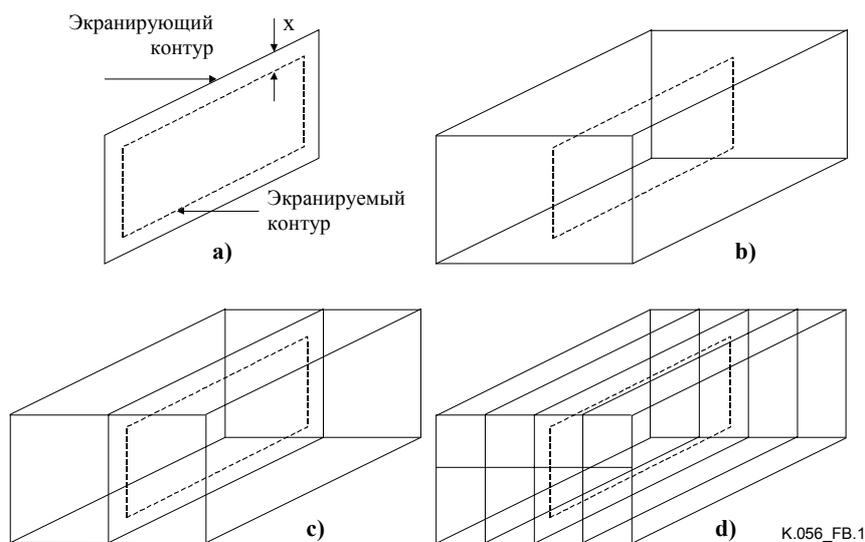


Рисунок В.1/К.56 – Типовые конфигурации экранирования для RBS

Приложение С

Фактор передачи (β) для кабельных лотков и заземляющих проводников

С.1 Одиночный заземляющий проводник

Функция передачи, обеспечиваемая одиночным заземляющим проводником, определяется следующей аппроксимированной формулой:

$$\beta = \ln [s / r_e] / \ln [2 h / r_e],$$

где:

s : расстояние между заземляющим проводником и проводом связи (м);

r_e : радиус заземляющего проводника (м);

h : высота заземляющего проводника (м);

ПРИМЕЧАНИЕ – Формула справедлива при $h \gg s$.

На рисунке С.1 показана схема прокладки проводов, а в таблице С.1 приведены значения β для типовых значений параметров.

**Таблица С.1/К.56 – Функция передачи для одиночного заземляющего проводника
($h = 2$ м)**

Расстояние в мм	Радиус заземляющего проводника (r_e) в мм			
	1	2	3	4
10	0,28	0,21	0,17	0,13
25	0,39	0,33	0,29	0,27
50	0,47	0,42	0,39	0,37
100	0,56	0,51	0,49	0,47
200	0,64	0,61	0,58	0,57
500	0,75	0,73	0,71	0,70



Рисунок С.1/К.56 – Схема для одиночного заземляющего проводника

С.2 Двойные заземляющие проводники

Функция передачи, обеспечиваемая двойным заземляющим проводником, определяется следующей аппроксимированной формулой:

$$\beta = 0,5 \ln [s(d - s) / d r_e] / \ln \left[2 h / (d r_e)^{1/2} \right],$$

где:

s : расстояние между заземляющим проводником и проводом связи (м);

r_e : радиус заземляющего проводника (м);

h : высота заземляющего проводника (м);

d : расстояние между заземляющими проводниками (м).

ПРИМЕЧАНИЕ – Формула справедлива при $h \gg s$.

На рисунке С.2 показана схема прокладки проводов, а в таблице С.2 приведены значения β для типовых значений параметров.

**Таблица С.2/К.56 – Функция передачи для двойного заземляющего проводника
($h = 2$ м и $d = 0,4$ м)**

Расстояние в мм	Радиус заземляющего проводника (r_e) в мм			
	1	2	3	4
10	0,21	0,16	0,12	0,10
25	0,30	0,25	0,22	0,19
50	0,36	0,31	0,28	0,26
100	0,41	0,37	0,34	0,32
200	0,43	0,40	0,37	0,35

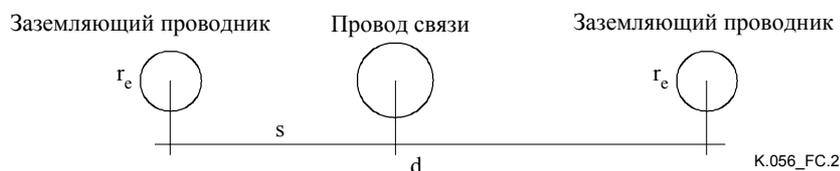


Рисунок С.2/К.56 – Схема для двойного заземляющего проводника

С.3 Заземляющая пластина

Функция передачи, обеспечиваемая проводящей пластиной, определяется следующей аппроксимированной формулой:

$$\beta = (2s/a) \operatorname{arctg}(a/s) / \ln(2h\pi/a),$$

где:

s : расстояние между пластиной и сигнальным проводом (м);

a : ширина заземляющей пластины (м);

h : высота заземляющей пластины (м).

ПРИМЕЧАНИЕ – Формула справедлива при $a \gg s$, $h \gg a$ и при расстоянии от сигнальных кабелей до границы пластины больше s .

На рисунке С.3 показана схема прокладки проводов, а в таблице С.3 приведены значения β для типовых значений параметров.

Таблица С.3/К.56 – Функция передачи для заземляющей пластины ($h = 2$ м)

Расстояние в мм	Ширина заземляющей пластины (a) в м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
5	0,031	0,019	0,014	0,011
10	0,061	0,037	0,027	0,022
25	0,14	0,087	0,066	0,055
50	0,23	0,16	0,13	0,10
100	0,32	0,27	0,22	0,19

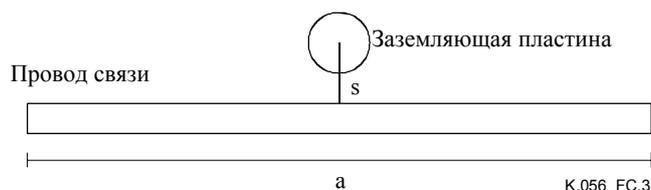


Рисунок С.3/К.56 – Схема для заземляющей пластины

Приложение D

Средний геометрический радиус

В таблице D.1 приведены значения среднего геометрического радиуса для типовых способов расположения проводов.

Таблица D.1/К.56 – Средний геометрический радиус проводов

Провода	Рисунок	Средний геометрический радиус
Гладкий круглый провод	D.1a	r
Гладкий прямоугольный провод	D.1b	$0,318 (a + b)$
Семижильный провод	D.1c	r
Два параллельных провода	D.1d	$(d^2 r_1' r_2')^{1/4}$
Три параллельных провода	D.1e	$(d_{12}^2 d_{13}^2 d_{23}^2 r_1' r_2' r_3')^{1/9}$
n параллельных проводов	–	$(d_{12}^2 d_{13}^2 \dots d_{1n}^2 d_{23}^2 \dots d_{(n-1)n}^2 r_1' r_2' r_3' \dots r_n')^{1/(n \cdot n)}$
ПРИМЕЧАНИЕ – Рассматривая индукционный эффект тока молнии (высокий di/dt), необходимо пренебречь внутренним магнитным потоком провода (эффект экранирования). Для группы проводов должна быть рассмотрена симметричная плотность тока на периферии проводов (эффектом близости нужно пренебречь).		

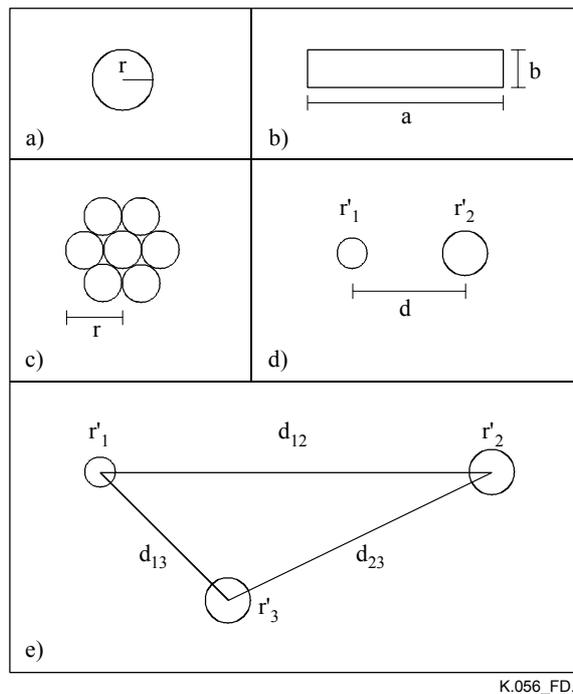


Рисунок D.1/К.56 – Средний геометрический радиус типовых проводов

Добавление I

Обоснование для определения эффективного времени фронта

Наведенное напряжение, близкое к моменту разряда молнии, пропорционально скорости роста тока. Эффективное время фронта (t_{eff}) является случайным промежутком времени, которое отделяет пиковый ток и зависит от скорости роста максимального тока. В таблице I.1 приведены значения максимальной скорости роста тока и значений пикового тока по результатам измерений, проведенных Berger в Monte San Salvatore¹. Эти данные связаны с первым обратным ходом нисходящих отрицательных разрядов, которые являются наиболее вероятными для мачт RBS.

Таблица I.1/К.56 – Распределение скорости роста тока и пикового значения тока по Berger^(*)

Параметр	Единица измерения	Процент превышения значения в таблице		
		95%	50%	5%
Максимальная скорость роста тока (di/dt)	кА/мкс	9,1	24,3	65,0
Первый пик (I_1)	кА	12,9	27,7	59,5
Второй пик (I_2)	кА	14,1	31,1	68,5
$I_1 / (di/dt)$	мкс	1,42	1,14	0,92
$I_2 / (di/dt)$	мкс	1,55	1,28	1,05

¹ ANDERSON (R.B.), ERIKSSON (A.J.), Lightning parameters for engineering application, CIGRE Electra 69, 1980.

Отношение $I_I/(di/dt)$ является временем эффективного фронта (t_{eff}). Как видно из таблицы I.1, установив $t_{eff} = 1$ мкс, можно получить нормальную оценку скорости роста тока в зависимости от пикового значения.

Добавление II

Пример использования

На рисунке II.1 показан пример конфигурации RBS. Основные параметры:

Мачта антенны:

- высота 40 м, 4 м от укрытия RBS ($f = 4$ м);
- три металлических опоры, на расстоянии 2,6 м;
- каждая опора имеет цилиндрическую форму, диаметр 0,4 м.

Пучок проводников проходит по центру мачты (см. рисунок II.2):

- 3 коаксиальных кабеля от антенн мобильной связи ($r = 12$ мм, полное переходное сопротивление $z_t = 1$ Ом/км);
- 1 коаксиальный кабель от микроволновой антенны ($r = 8$ мм, полное переходное сопротивление $z_t = 2$ Ом/км);
- 2 штанги для поддержки кабелей, ширина 80 мм, толщина 5 мм.

Укрытие RBS: $5 \times 3 \times 3$ м, бетон (непрерывность стальных конструкций неизвестна)

Высота прокладки кабелей: 2,4 м внутри RBS ($h = 2,4$ м)

Длина прокладки кабелей: 4 м внутри RBS ($e = 4$ м)

Силовой кабель: подвесная линия LV (высота подвеса 6 м)

Кабель связи: отсутствует (используется микроволновое соединение)

Почва: вершина горы со средним удельным сопротивлением 500 Ом.м

Плотность молний: 5 вспышек на км² в год ($N_g = 5$)

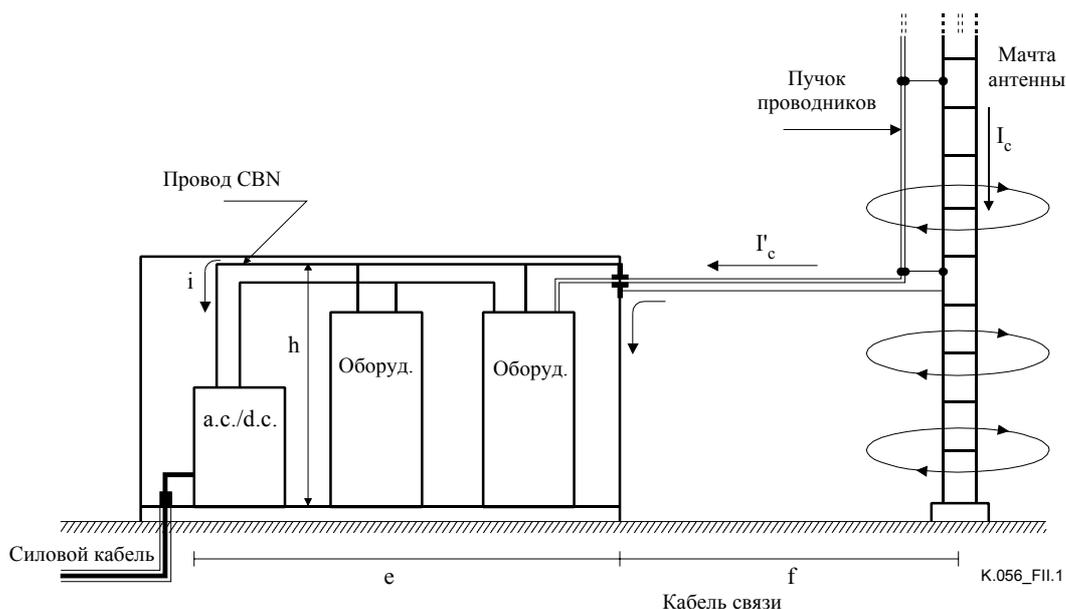


Рисунок II.1/К.56 – Пример RBS

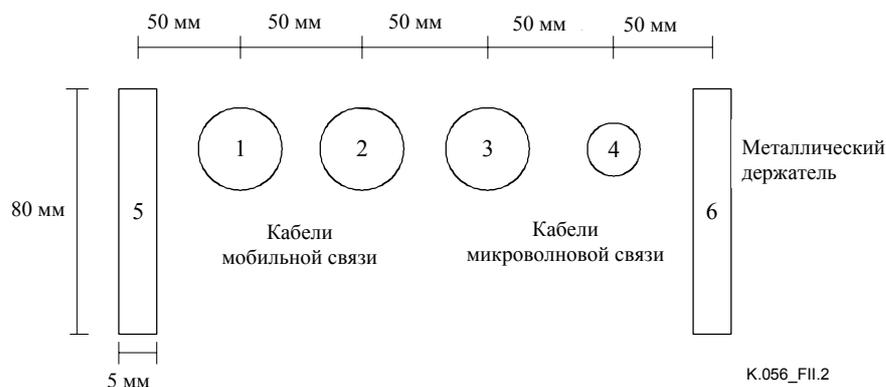


Рисунок П.2/К.56 – Пучок проводников, проходящих по мачте (поперечное сечение)

Последовательность шагов соответствует схеме на рисунке 2.

Шаг 1: Определение допустимой частоты повреждений.

Учитывая типовое значение, предложенное в 7.1:

$$F_t = 0,05$$

Шаг 2: Расчет F_a и F_d .

Используя формулу 1:

$$F_a = (9) (2) (\pi) (0,04)^2 (5) = 0,45 \text{ ударов / год}$$

$$F_a = 0,45$$

Учитывая процедуру, описанную в 7.3, область вокруг мачты определяется радиусом:

$$R = (3) (40 - 3) = 111 \text{ м}$$

Поскольку укрытие RBS расположено близко к мачте ($4 \text{ м} < 111 \text{ м}$), вероятность прямого удара молнии в укрытие незначительна. Следовательно:

$$F_d = 0$$

Шаг 3: Анализ вероятностей.

$$F_t \geq F_a + F_d ? \quad \text{Нет}$$

$$F_a < 10 F_d ? \quad \text{Нет}$$

ПРИМЕЧАНИЕ – Ответ "нет" на два вопроса выше означает, что рассматриваемая установка подпадает под область действия данной Рекомендации.

Шаг 4: Расчет параметров молнии.

На основании формулы из раздела 8:

$$p_a = R_t / R_a = 0,05 / 0,45 = 0,11$$

$$I_c = 77 \text{ кА}$$

$$di_c/dt = 77 \text{ кА / мкс}$$

Шаг 5: Заземление и соединение.

В разделе 9 приведены некоторые правила для заземления и соединения вне укрытия RBS.

Шаг 6: Необходимость в SPD на коаксиальных кабелях, приходящих от мачты.

На основании раздела 10 и дополнения А:

$$d = (2,6) / (3)^{1/2} = 1,50 \text{ м (расстояние между пучком проводников и одной опорой)}$$

Средний геометрический радиус (GMR):

$$\text{Опора мачты: } r_t = (0,4) / (2) = 0,2 \text{ м}$$

Пучок проводников:

Для 6 проводников на рисунке П.2 GMR составляет:

Коаксиальные кабели для антенны мобильной связи: $r_1 = r_2 = r_3 = 12 \text{ мм}$

Коаксиальный кабель для микроволновой связи: $r_4 = 8 \text{ мм}$

Штанги держателей: $r_5 = r_6 = 27 \text{ мм}$

Расстояния между проводниками:

$$d_{12} = d_{23} = d_{34} = d_{15} = d_{46} = 50 \text{ мм}$$

$$d_{25} = d_{24} = d_{13} = d_{36} = 100 \text{ мм}$$

$$d_{14} = d_{35} = d_{26} = 150 \text{ мм}$$

$$d_{45} = d_{16} = 200 \text{ мм}$$

$$d_{56} = 250 \text{ мм}$$

Используя формулу для "n" проводников в таблице D.1:

$$r_c = [50^{10} \times 100^8 \times 150^6 \times 200^4 \times 250^2 \times 12^3 \times 27^2 \times 8]^{1/36}$$
$$r_c = 73 \text{ мм}$$

ПРИМЕЧАНИЕ – Для пучка существует эквивалентное потокоцепление, соответствующее цилиндрическому проводнику с радиусом 73 мм.

Принимая во внимание, что пучок проводников расположен по центру мачты:

$$\alpha = [1 + 3 \ln (1500 / 73) / \ln (1500 / 600)]^{-1} = 0,092$$

Это означает, что 9,2% тока молнии проходит по проводникам пучка.

Возвращаясь к разделу 10:

Поперечное напряжение для коаксиального кабеля антенны мобильной связи:

$$V_i = (77) (0,092) (40) (0,001) (12) / (36 + 8 + 54) = 0,035 \text{ кВ}$$

Поперечное напряжение для коаксиального кабеля антенны микроволновой связи:

$$V_i = (77) (0,092) (40) (0,002) (8) / (36 + 8 + 54) = 0,046 \text{ кВ}$$

Возможно, эти значения будут лежать ниже уровня устойчивости рассматриваемого радиооборудования. В этом случае использовать SPD необязательно.

Шаг 7: Наведенное напряжение внутри укрытия (V_i).

Наведенное напряжение может быть рассчитано по формуле 5:

$$V_i = (0,2) (77) (2,4) (1,5) (1) \ln [(4 + 4) / 4] = 38,4 \text{ кВ}$$

Шаг 8: Конфигурация для взаимосвязи.

Принимая во внимание относительно высокое напряжение, наведенное внутри RBS, и трудности при установке и обслуживании системы Mesh-IBN, выбирается конфигурация Mesh-BN.

Шаг 9: Остаточное напряжение на интерфейсах оборудования.

Принимая во внимание, что экранирование обеспечивается только одиночным заземляющим проводником (диаметр 4 мм), расположенным на расстоянии 100 мм от кабелей связи, согласно Приложению С принимаем $\beta = 0,51$. Возвращаясь к 11.2, получаем:

$$V_r = (0,51) (38,4) = 19,6 \text{ кВ}$$

Это значение, вероятно, находится выше уровня устойчивости оборудования. Предположим, что уровень устойчивости составляет 1 кВ, а установка SPD не может быть выполнена (например по причине большого количества неэкранированных проводников). Следовательно, необходимо улучшить экранирование укрытия. Возможный вариант:

- Установить 3 заземляющих проводника вокруг укрытия, центральный расположить в 40 см от главных внутренних проводников ($\eta = 0,27$).
- Разместить заземляющую пластину шириной 30 см с проводниками так, чтобы все проводники были на расстоянии, по крайней мере, 25 мм от пластины (расстояние от центра проводника до поверхности пластины), и на расстоянии, по крайней мере, 25 мм от края пластины. Пластина должна быть связана со стативами/шкафами оборудования с обоих концов. Таким образом, получаем $\beta = 0,066$.

Следовательно:

$$V_r = (38,4) (0,27) (0,066) = 0,68 \text{ кВ}$$

Это значение безопасно, поскольку учтена устойчивость оборудования.

Шаг 10: Подключение к системе заземления стативов/шкафов.

Процедуры по подключению, приведенные в 11.4, направлены на обеспечение адекватного экранирования от металлических элементов внутри укрытия.

Шаг 11: Защита точки входа силовых линий.

В разделе 12.1 приведена процедура по контролю остаточного напряжения, проходящего через подключенный SPD в точке входа силовых линий в укрытие.

Предположим, что имеются следующие значения (см. рисунок 6):

Устойчивость порта на входе выпрямителя: $V_{res} = 2,0 \text{ кВ}$

Средний геометрический радиус подключения SPD: $r_p = 28 \text{ мм}$

(соответствует 4 проводникам, поперечное сечение 6 мм^2 , равномерно распределенных с промежутком 50 мм)

Расстояние между SPD и выпрямителем: $b = 4 \text{ м}$

(SPD с одной стороны укрытия, а выпрямитель с другой)

Остаточное напряжение SPD: $V_{spd} = 1,0 \text{ кВ}$ (SPD зажимного типа)

Сопrotивление заземления RBS: $R_g = 5 \text{ Ом}$

Сопrotивление силовой линии перенапряжения: $Z_p = 458 \text{ Ом}$

(для $\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $f_L = 1 \text{ МГц}$, $r_L = 10 \text{ мм}$, $h = 6 \text{ м}$)

Для сохранения остаточного напряжения ниже уровня устойчивости оборудования максимальная длина кабеля для подключения SPD составляет (см. 12.1):

$$L_p = (2,0 - 1,0) (458 + 5) / \{ (0,2) (77) (5) \ln [(4 + 0,028) / 0,028] \} = 1,2 \text{ м}$$

Это максимальное расстояние от точки соединения SPD с силовым кабелем до главного вывода заземления (МЕТ), см. рисунок 6.

Принимая во внимание, что единственным металлическим средством коммуникации, подключенным к RBS, является силовой кабель, который состоит из 4 проводов (3 фазы и 1 ноль), по формуле 10 определяем пиковое значение тока для SPD:

$$I_{imp} \geq 77 / [(2) (1) (4)]$$

$$I_{imp} \geq 9,6 \text{ кА}$$

Шаг 12: Защита точки входа линий связи.

Металлические линии связи, входящие в укрытие RBS, отсутствуют.

Шаг 13: Окончание проекта.

RBS защищена в соответствии с допустимой частотой повреждений (F_t).

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура и аспекты межсетевых протоколов (IP)
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи