КОМПАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
450071, г.Уфа, ул.50 лет СССР, 39, корп.6 Тел/Fax (347) 248-43-78
Для писем: 450001, г.Уфа, а/я 2080 www.info-sys.ru

Устройства защиты серии РГ.

Защита оборудования передачи данных от дестабилизирующих воздействий.

Редакция: февраль 2013 г.

г.Уфа

Устройства защиты серии РГ.

Предназначены для защиты оборудования передачи данных от следующих дестабилизирующих воздействий:

- электромагнитная наводка грозового разряда;
- электростатическая наводка грозового облака;
- электростатический заряд атмосферных осадков;
- занос высокого потенциала со стороны защитного заземления;
- уравнивающие токи;
- фазное напряжение сети 0,4 КВ;

Не предназначены для защиты от прямого разряда молнии в кабельный сегмент. В случае, если вероятность такого события велика, или предъявляются высокие требования к устойчивости объекта связи, необходима разработка дополнительных мер, обеспечивающих необходимый уровень молниезащиты.

Кабельный сегмент – отрезок кабеля, проложенный по строительным конструкциям или/и находящийся в свободном подвесе (полностью или частично), терминированный стандартными разъемами и подключенный к оборудованию передачи данных.

Электромагнитная наводка. Происхождение.

Возникает из-за высокой скорости нарастания тока в канале молнии и, как следствие, высокой скорости изменения магнитного поля, в котором находится проводник (в нашем случае кабельный сегмент). Как известно, ЭДС индукции возникает в замкнутом контуре. Величина ЭДС индукции прямо пропорциональна, скорости изменения магнитного потока в контуре и площади контура. В момент грозового разряда ЭДС возникает во всех проводящих контурах, но именно в контуре, ограниченном кабельным сегментом и поверхностью земли, наводятся наибольшие значения ЭДС в силу его наибольшей площади. В создание этого контура существенный вклад вносят кабели электропитания, доставляющие потенциал «Земли» в точку подключения кабельного сегмента к оборудованию передачи данных. Это происходит в силу того, что сеть 0,4КВ строится с глухозаземленной нейтралью и каждый нулевой проводник этой сети эквипотенциален «Земле».

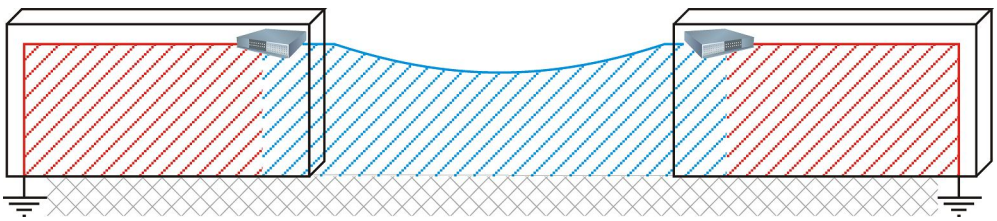


Рис.1 Образование контура электромагнитной наводки.

На рисунке видно, что за счет кабелей электропитания площадь контура, в котором индуцируется ЭДС, увеличилась более чем в два раза.

Электромагнитная наводка. Оценка уровня.

Процессы, возникающие при грозовом разряде, довольно хорошо изучены и классифицированы. В справочной литературе [1] приведены данные о скорости нарастания тока в канале молнии. Аналогичные данные приведены в [2]. В этом же источнике приведена расчетная формула для оценки величины ЭДС индукции грозового разряда:

$$E_{инд} = \frac{\mu_0 S}{2\pi r_к} A_i$$

Где:

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума 4π*10^{-7} Гн/м;

S – площадь контура 100 * 20 = 2000 м2 (кабельный сегмент длиной 100 м, подвешенный на высоте 20 м);

r_k – расстояние до канала молнии 1000 м;

A_i – скорость нарастания тока в канале молнии 10^{10} А/с (характерный разряд [1]).

Для заданных условий ЭДС в контуре составит 4КВ.

Электромагнитная наводка. Синфазная/дифференциальная.

Электромагнитная наводка грозового разряда наводит на всех проводниках многожильного кабеля одинаковый потенциал. Такая наводка называется синфазной. В момент срабатывания устройства защиты по проводникам кабеля протекает ток электромагнитной наводки. Так как невозможно изготовить кабель, в котором параметры двух проводников абсолютно совпадали бы друг с другом, то под действием тока электромагнитной наводки между двумя проводниками, образующими витую пару возникает разность потенциалов. Такая наводка называется дифференциальной.

Другая составляющая дифференциальной наводки определяется различием пространственного положения двух проводников в поле электромагнитной наводки. Однако в нашем случае вклад этой составляющей в общую энергию дифференциальной наводки исчезающе мал т.к. проводники витой пары имеют регулярную пространственную структуру, которая обеспечивает нейтрализацию внешних электромагнитных полей.

Электромагнитная наводка. Оценка энергии синфазной наводки.

Рассчитаем импульсный ток, который будет наведен импульсом перенапряжения.

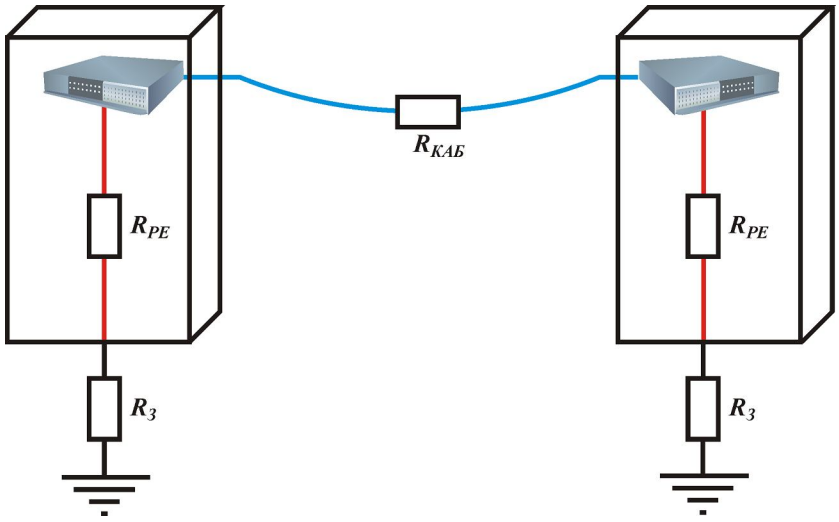


Рис.2 Составляющие сопротивления цепи импульсной наводки.

Сопротивление цепи будет складываться из следующих составляющих:

$$R_{ОБЩ} = R_{КАБ} + 2 * R_{PE} + 2 * R_З$$

Где:

$R_{КАБ}$ – омическое сопротивление кабельного сегмента;

R_{PE} – сопротивление цепей защитного заземления;

$R_З$ – сопротивление растекания заземляющего устройства;

$R_{КАБ}$ Для кабелей типа "витая пара" омическое сопротивление жил обычно составляет 85 Ом/км. Восемь кабельных жил длиной 100 метров, подключенных параллельно, имеют сопротивление:
$R_{КАБ}$ = 85 * 0,1 / 8 = 1,0625 Ом.

R_{PE} Допустим, что от места установки оборудования до заземляющего устройства проложен медный проводник длиной 20 метров и сечением 2,5 мм^2. Удельное электрическое сопротивление меди составляет 0,0175 Ом*мм^2/м. Таким образом:
R_{PE} = 0,0175 * 20 / 2,5 = 0,14 Ом

$R_З$ Сопротивление растекания заземляющего устройства определяется нормативными документами, в частности "Правилами устройства электроустановок" (ПУЭ). В этом документе установлено, что для сетей с глухозаземленной нейтралью и линейным напряжением 380 вольт сопротивление растекания заземлителя не должно превышать 10 Ом. Поскольку это значение является экстремальным, то в качестве рабочего примем значение 5 Ом. Таким образом:
$R_З$ = 5 Ом

Общее сопротивление цепи составит:
$R_{ОБЩ}$ = 1,0625 + 2 * 0,14 + 2 * 5 = 11,3425 Ом.

Максимальный ток электромагнитной наводки в этой цепи составит:
I_{max} = $E_{инд}$ / $R_{ОБЩ}$ = 4000 / 11,3425 ≈ 352,65 Ампер

Для каждого из 8 проводников в кабельном сегменте максимальный ток составит:
$I_{пр}$ = I_{max} / 8 = 3526,56 / 8 ≈ 44,08 Ампер

Электромагнитная наводка. Оценка энергии дифференциальной наводки.

В силу технологических ограничений невозможно сделать кабель с абсолютно одинаковыми кабельными жилами. Производители кабеля оговаривают эти отклонения в технических параметрах кабеля. Обычно разница омического сопротивления кабельных жил не превышает 2%, значит и разница токов в этих жилах не превысит 2%.
$I_{диф}$ = $I_{пр}$ * 2% = 44,08 * 2% ≈ 0,88 Ампер

Электростатическая наводка грозового облака.

Объемный электростатический заряд грозового облака создает мощное электрическое поле, которое индуцирует заряды в любом проводнике. Изолированный проводник в таком поле приобретает потенциал

$$\varphi = E_0 \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2}$$

Где:

φ – потенциал проводника;

E_0 – напряженность электрического поля:

l_{min} , l_{max} – минимальное и максимальное расстояние до поверхности земли;

Если проводник имеет электрическую связь с землей, его потенциал остается равным нулю независимо от высоты размещения. Таким образом, между изолированным и заземленным проводниками возникает разность потенциалов.

Непосредственно у земли в грозовой обстановке напряженность электрического поля составляет 10…200 В/см [2]. Для расчетов примем среднее значение 100 В/см или 10000 В/м. Для этих условий наведенный потенциал в кабеле на высоте 20 метров составит:

φ= 10000 * 20 = 200000 Вольт

Опасность этой разницы потенциалов значительно возрастает из-за того, что проводники кабеля образуют конденсатор. Погонная емкость витой пары составляет 50 пФ/м, а погонная емкость кабельного проводника относительно кабельного экрана 1600 пФ/м. Для кабельного сегмента длиной 100 метров

емкость витой пары составит 5 нФ, а для пары проводник-экран 160 нФ. Энергии такого конденсатора более чем достаточно для пробоя изоляции и вывода из строя входных цепей приемо-передатчиков.

Электростатический заряд атмосферных осадков.
Гидрометеоры атмосферных осадков всегда несут на себе электростатический заряд. Именно этот заряд образует грозовое облако. Попадая на кабельный сегмент, подвешенный между строительными конструкциями, гидрометеоры передают ему свой заряд. Осадки, выпадающие в виде дождя, не представляют серьезной опасности т.к. высокая влажность воздуха, мокрая оболочка кабеля и мокрые строительные конструкции обеспечивают безопасное стекание заряда на "Землю". Значительно более опасны зимние осадки, т.к. их выпадение происходит в условиях низкой относительной влажности воздуха, при которой оболочка кабеля сохраняет высокие изоляционные свойства, препятствующие безопасному стеканию заряда на "Землю". Заряд на оболочке кабеля индуцирует заряд на кабельных проводниках. Если кабельные проводники изолированы от "Земли", то их потенциал может достигнуть значения, превышающего прочность изоляции. Электрическую емкость проводников мы рассматривали выше. Последствия разряда такого конденсатора аналогичны предыдущему пункту.

Занос высокого потенциала со стороны защитного заземления.
При разряде молнии в молниеотвод потенциал "Земли" в этом месте резко возрастает ввиду конечного значения сопротивления растекания заземлителя. Поскольку защитное заземление подключается непосредственно к заземлителю, на нем возникает импульс перенапряжения. Кабельный сегмент, в общем случае, соединяет две точки с разными заземлителями. Поскольку импульс перенапряжения возникает на одном из них, между проводником защитного заземления и кабельным сегментом возникает разность потенциалов. Прекрасную иллюстрацию этого явления подготовил Г.Б.Набока.

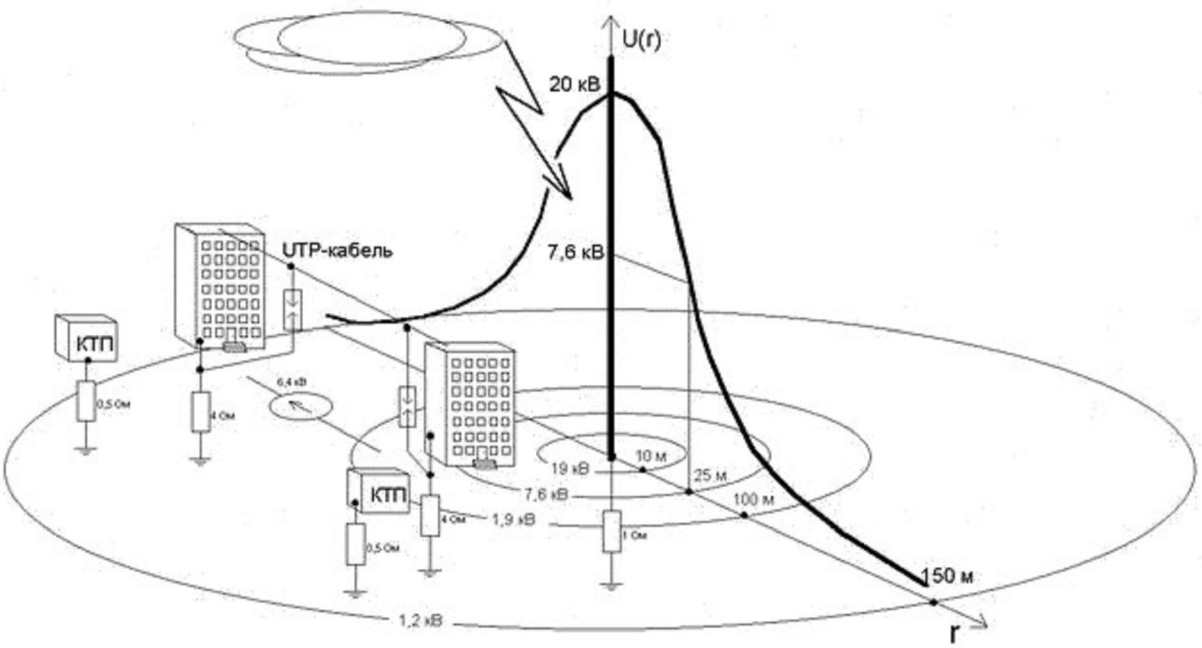


Рис.3 Распределение потенциалов при попадании молнии в землю.

В литературе [1] приведена модель расчета имульса перенапряжения при растекании тока молнии

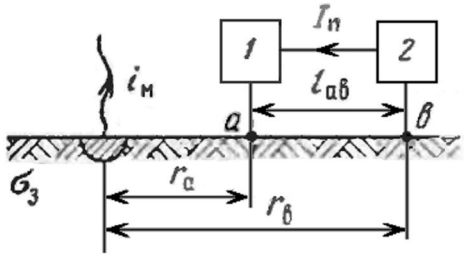


Рис.4 Схема к формуле расчета разности потенциалов.

$$\Delta u_{ab}(t) = \frac{i_M(t) l_{ab}}{2\pi\sigma_3 r_a r_b}$$; где:

Δu_{ab} – разность потенциалов между точками a и b;

i_M – ток молнии (20000 Ампер для характерного разряда [1]);

l_{ab} – расстояние между точками a и b (100 метров);

σ_3 – удельная проводимость грунта (50 $Ом^{-1}*м^{-1}$);

r_a, r_b – расстояние от точки удара молнии в землю до точек a и b (1000 и 1100 метров соответственно);

Поскольку нас интересует максимальное значение, то функцию тока в формуле можно заменить максимальным значением:

$$\Delta u_{ab} = \frac{i_M l_{ab}}{2\pi\sigma_3 r_a r_b}$$

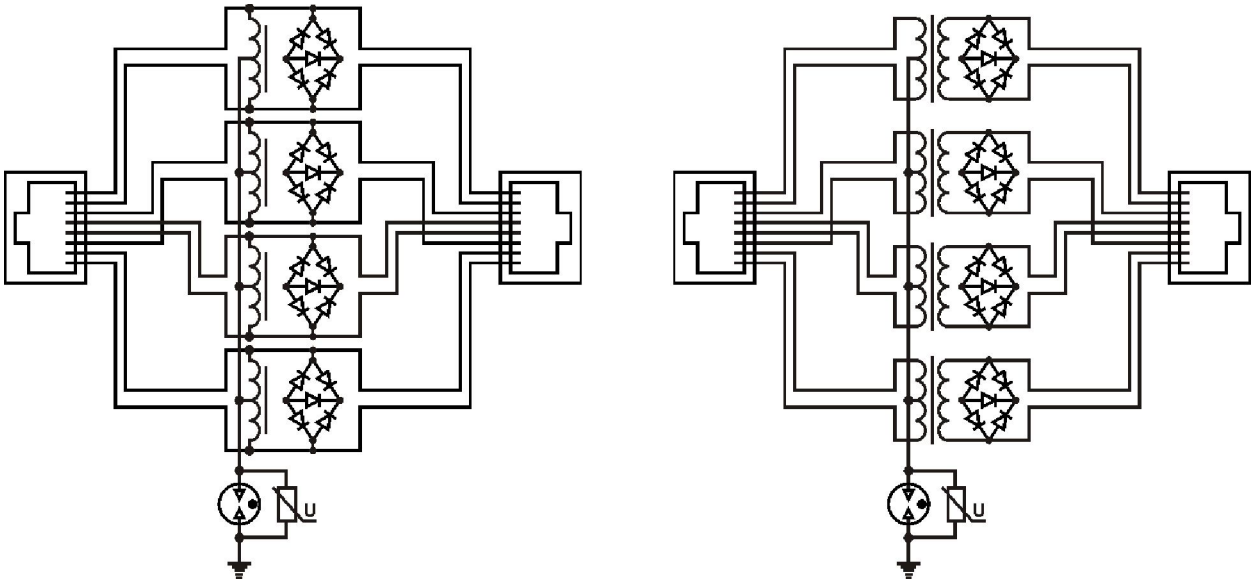
Удельная проводимость грунта имеет диапазон изменяется на 4 порядка в зависимости от типа грунта, однако для условий городской застройки для оценки можно принять 50 $Ом^{-1}*м^{-1}$[3].
Для приведенных значений разность потенциалов составит 14,5 Вольт. Этот расчет свидетельствует о том что перенапряжения от токов растекания молнии находятся ниже опасного порога, однако ситуация резко меняется если мы рассмотрим случай попадания молнии в молниеотвод на территории трансформаторной подстанции. В этом случае:
r_a, r_b , l_{ab} примем как 10, 1000 и 990 метров соответственно. Для данных значений разность потенциалов составит уже 15756 Вольт.

Импульсы перенапряжения распространяются по сетям с глухозаземленной нейтралью на расстояние в сотни метров. И, несмотря на то, что перенапряжения, возникающие от токов растекания молнии на расстоянии 1000 метров совершенно безопасны, если этот разряд произойдет вблизи заземлителя, от которого потенциал "Земли" доставляется в точку подключения кабельного сегмента к оборудованию передачи данных, оборудование будет повреждено.

Уравнивающие токи.
"Земля" представляет собой эквипотенциальную поверхность только в идеальной модели. Реальное распределение потенциала по поверхности и в толще грунта представляет собой очень сложную картину, которую очень сильно деформируют металлические коммуникации (трубы, оболочки кабелей, арматура фундаментов) и грунтовые воды. В условиях плотной городской застройки разность потенциалов между двумя заземлителями, на расстоянии 100 метров может достигать нескольких вольт. Если эти заземлители соединить проводником, то по нему потечет уравнивающий ток. Особенно опасны напряжения, возникающие при повреждении нулевого проводника в одной из энергоустановок, которые соединяет кабельный сегмент. В этом случае кабельный сегмент становится частью системы электроснабжения здания, на что он никак не расчитан.

Фазное напряжение сети 0,4 КВ.
Современное здание, особенно административное, имеет большое количество кабельных систем различного назначения. Зачастую кабели различного назначения прокладываются в общих кабельных коммуникациях, поэтому попадание фазного напряжения 220 вольт в кабели связи является наиболее распространенной причиной выхода из строя оборудования связи.

Работа устройства защиты в условиях дестабилизирующих воздействий.
На рисунке приведена принципиальная схема устройства защиты для одного порта. Защита всех портов в многопортовых устройтвах выполнена идентично. Слева устройство без гальванической развязки, справа – с развязкой.



Электромагнитная наводка. Синфазная.
Занос высокого потенциала со стороны защитного заземления.
При возникновении на кабельном сегменте потенциала, превышающего напряжение пробоя газового разрядника, ток наводки замыкается на шину защитного заземления через среднюю точку симметричного дросселя, либо среднюю точку первичной обмотки трансформатора.

Согласованная пара варистор-разрядник обеспечивают замыкание тока наводки на землю.
Варистор, подключенный параллельно разряднику, снижает на 20% импульс перенапряжения, вызванный запаздыванием срабатывания разрядника при высокой скорости нарастания импульса.
Высокая симметрия обмоток обеспечивает полную компенсацию встречных магнитных потоков проводников витой пары, в результате чего индуктивное сопротивление обмотки дросселя (или трансформатора) синфазной помехе равно нулю.

Кроме снижения импульса перенапряжения, варистор за счет собственной емкости в сочетании с активным сопротивлением печатных дорожек обеспечивает "затягивание" заднего фронта импульса перенапряжения при срабатывании разрядника. Дело в том, что при срабатывании разрядника образуется импульс с амплитудой около 800 вольт, длительность заднего фронта которого находится в субнаносекундном диапазоне. Такой импульс без потери энергии проходит через паразитные межобмоточные емкости разделительных трансформаторов на входные каскады приемо-передатчиков и может повредить их. "Затягивание" фронта обеспечивает перевод энергии импульса в область низких частот, и его отражение разделительными трансформаторами устройства защиты и приемо-передающего тракта.

Классификационное напряжение варистора подобрано таким образом, чтобы с одной стороны, обеспечить максимальное подавление импульса перенапряжения от запаздывания срабатывания разрядника, с другой стороны, обеспечить стойкость устройства к воздействию фазного напряжения сети 0,4 КВ. С учетом разброса параметров варисторов и допусков напряжения сети это напряжение выбрано в диапазоне 360…390 вольт. Переход из области "утечки" в область "защиты" для таких варисторов (с учетом разброса) находится в диапазоне 500…700 Вольт [4], что обеспечивает согласованную с разрядником работу т.к. напряжение статического пробоя разрядника (с учетом разброса) находится в диапазоне 370…570 Вольт

При токе 350 Ампер напряжение на варисторе составит 800 Вольт [4]. Время срабатывания разрядника при напряжении 600..800 Вольт не превышает 2 мкС. Для импульсов такой длительности срок службы варистора неограничен [4].

За счет разброса параметров пары варистор-разрядник импульсы перенапряжения с амплитудой 500…700 вольт могут не вызывать срабатывания разрядника, однако это не является критичным, т.к. ток через варистор в этом случае не превышает 1 Ампер и для импульсов стандартной длительности 8/20 мкС срок службы варистора так же не ограничен [4].

С точки зрения симметрии абсолютно безразлично, возникнет высокий потенциал на витой паре или на защитном заземлении. Схема работает одинаково и в том и в другом случае.

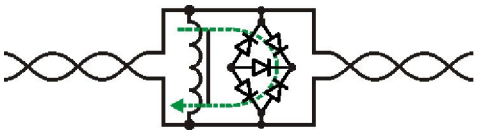
Рассчитаем перегрев дорожки печатной платы под действием импульсного тока наводки:

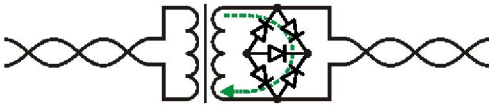
$$\Delta t = \frac{I_{имп}^2 T_{имп} \rho_c}{h^2 w^2 \rho_t \rho_м}$$; где

Δt – изменение температуры дорожки под действием тока импульса;
$I_{имп}$ – ток импульса 44 Ампера;
$T_{имп}$ – длительность импульса 30 мкС (универсальный испытательный импульс тока 8/20 мкС);
h – толщина дорожки 0,035 мм;
w – ширина дорожки 0,7 мм;
ρ_c – удельное электрическое сопротивление меди 0,0175 Ом*мм^2/м;
ρ_t – удельная теплоемкость меди 380 Дж/(кг*град);
$\rho_м$ – плотность меди 8960 кг/м^3;

Для заданных условий увеличение температуры дорожки на печатной плате под действием одиночного импульса составит 0,5 градуса.

Электромагнитная наводка. Дифференциальная.
Диодный мост обеспечивает замыкание тока дифференциальной наводки независимо от его полярности. Мост состоит из импульсных диодов типа BAV99. Для импульса длительностью 30 мкС (универсальный испытательный импульс тока 8/20 мкС) максимальный допустимый ток для данного типа диодов составляет 1,5А, что примерно в 1,7 раза выше расчетной величины (см. Оценка энергии дифференциальной наводки).





Уровень ограничения напряжения составляет не более 2,5 вольт в статическом режиме и не более 5,0 вольт в импульсном режиме. Низкая барьерная емкость диодов обеспечивает хорошее согласование устройства защиты с приемо-передающим трактом на высоких частотах.

Электростатическая наводка грозового облака.
Электростатический заряд атмосферных осадков.
Изменение электрического поля грозового облака и, соответственно, индуцируемый им заряд происходят относительно медлено (в течение секунд и десятков секунд). Накопление зарядов от выпадающих атмосферных осадков происходит еще медленнее (в течение минут и десятков минут). В этих условиях весь индуцированный заряд легко стекает на "Землю" со средней точки дросселя или трансформатора через варистор. Напряжение, возникающее при этом, остается недостаточным для пробоя газового разрядника. Устройство защиты обеспечивает электрическую связь с "Землей" для всех проводников кабельного сегмента во избежание возникновения разности потенциалов, индуцированных электрическим полем.

Уравнивающие токи.

Фазное напряжение сети 0,4 КВ.

Пороги срабатывания варистора и газоразрядника в устройстве защиты подобраны таким образом, чтобы не допустить протекания уравнивающих токов и токов короткого замыкания через кабельный сегмент. В то же время при возникновении перенапряжений, обусловленных грозовой наводкой эти элементы обеспечивают их подавление.

Литература.

1. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств. Справочник. Москва, Радио и связь, 1991.
2. Базелян Э.М., Разер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. Москва, Физматлит, 2001.
3. "Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов". ЦНИИС, 1971.
4. SIOV metal oxide varistors. Leaded varistors, StandarD series. EPCOS AG, 2011.

© ООО "Компания Информационные системы", г.Уфа

Тел./факс: +7-347-248-4378
www.info-sys.ru, www.info-sys.kz