

Катроша П.В., Розвадовский А.Ф.

Государственное предприятие "Испытательный центр "Омега". Украина, Севастополь

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СВЯЗИ/РАЗВЯЗКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ЛИНИЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ МИКРОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Анотація

Проведений аналіз існуючих пристроїв зв'язку/розв'язки, що використовуються при випробуванні стійкості високошвидкісних телекомунікаційних ліній до дії мікросекундних імпульсних перешкод. Запропонована реалізація схематехніки даного пристрою і методика розрахунку його параметрів.

Abstract

There is carried out the analysis of existing coupling/decoupling devices for the surge immunity test of high-speed telecommunication lines. The device schemes and the calculation method of its parameters are offered.

Введение

Непрерывное развитие технических средств (ТС) для передачи данных, увеличение их полосы пропускания и скорости обмена информацией требуют разработки соответствующей нормативно-технической документации (НТД), регламентирующей требования к их электромагнитной совместимости (ЭМС).

В реальных условиях эксплуатации аппаратуры в ее цепях могут возникать различные виды электрических помех. Одними из наиболее опасных являются перегрузки по напряжению, создаваемые электромагнитными импульсами за счет мощных грозовых разрядов и импульсами, при коммутации мощных силовых устройств.

Опыт ГП ИЦ "Омега" показывает, что одной из наиболее сложных задач является обеспечение условий испытаний ТС, наиболее приближенных к реальным условиям эксплуатации, исключающих влияние случайных мешающих факторов. Это предполагает не только детальную проработку методов испытаний устойчивости ТС, но и разработку устройств, позволяющих смоделировать их рабочие режимы.

Рассмотрим решение данной задачи на примере испытаний средств проводной связи к воздействию микросекундных импульсных помех, имитирующих воздействие коммутационных помех электрической сети (длительностью 1,2/50 мкс) и грозовых разрядов (длительностью 10/700 мкс).

Основная часть

Основными НТД при испытаниях устойчивости высокоскоростного телекоммуникационного оборудования (систем широкополосного доступа xDSL, Ethernet-устройств, ISDN оборудования и др.) помимо специализированных стандартов на виды продукции, являются рекомендации Международного союза телекоммуникаций (ITU) [1], а также национальные и международные стандарты [2].

При испытании на устойчивость к воздействию микроимпульсной помехи испытательный сигнал рекомендуется подавать непосредственно на вход устройства, отключив его от внешней информационной сети. При этом в [2] отмечается, что если при снятии нагрузки порт выключается, необходимо по возможности восстановить на нем сигнал, но не конкретизируется каким образом.

Предлагаемые в [2] устройства связи/развязки (УСР) содержат фильтры, которые являются фильтрами низких частот и отфильтровывают не только высокочастотную составляющую помехи, но и полезный сигнал испытываемого устройства. Поэтому при разработке УСР важно обеспечить развязку полезного сигнала и сигнала помехи.

При разработке структурной схемы УСР для симметричных высокоскоростных линий рассмотрим спектр сигнала микросекундной помехи.

В зависимости от точности аппроксимации входного воздействия данную помеху можно рассматривать в виде прямоугольного либо треугольного импульса.

В обоих случаях амплитуда спектральной плотности сигналов пропорциональна отношению вида $\frac{\sin(x)}{x}$ описывается выражением

$$S(\omega) = 2U_m T \left| \frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2} \right|; \quad (1)$$

для треугольного

$$S(\omega) = 2U_m T \left| \frac{\sin(\omega T/4)}{\omega T/4} \right|. \quad (2)$$

Соответствующие графики $S(\omega)$ приведены на рис. 1, 2.

Из рис. 1, а и 2, б видно, что основная энергия сигнала сосредоточена в низкочастотной области спектра.

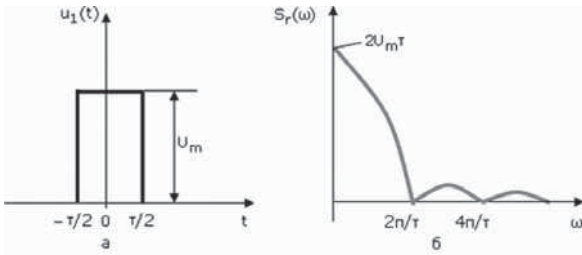


Рис. 1. Прямоугольный импульс (а) и его спектральная плотность (б)

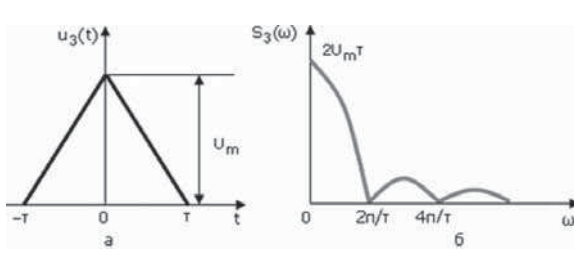


Рис. 2. Треугольный импульс (а) и его спектральная плотность (б)

В [2] для описания воздействующих импульсов в качестве длительности импульса выбирается интервал времени между моментами, когда мгновенные значения переднего и заднего фронтов импульса составляют 0,5 от пикового значения. Это меньше длительности импульсов, представленных на рис. 1, а и 2, а однако позволяет ограничить большую часть спектра сигнала, и таким образом точнее смоделировать импульсную помеху. Так как основное воздействие микросекундной импульсной помехи на ИТС приходится на передний фронт импульса τ_{ϕ} , то ограничим верхнюю частоту значением

$$\Delta f = f_{max} = \frac{1}{\tau_{\phi}}$$

При разработке УСР для высокоскоростных линий связи за основу возьмем принципиальную схему, представленную на рис. 3. Ее обобщенная структурная схема показана на рис. 4.

Так как основная часть энергии помехи сосредоточена в нижней части частотного диапазона, то для ее ввода целесообразно было бы использовать фильтр низких частот. Однако, постоянная составляющая, которая может присутствовать в высокоскоростных линиях, не должна поступать на вход испытательного генератора (ИГ). В этом случае необходимо использовать либо разделительный конденсатор для емкостной связи ИГ с линиями, либо развязывающий фильтр (РФ), который отфильтровывает постоянную составляющую.

Согласующее устройство (СУ) предназначено для согласования сопротивления высокоскоростных симметричных линий с выходным сопротивлением ИГ.

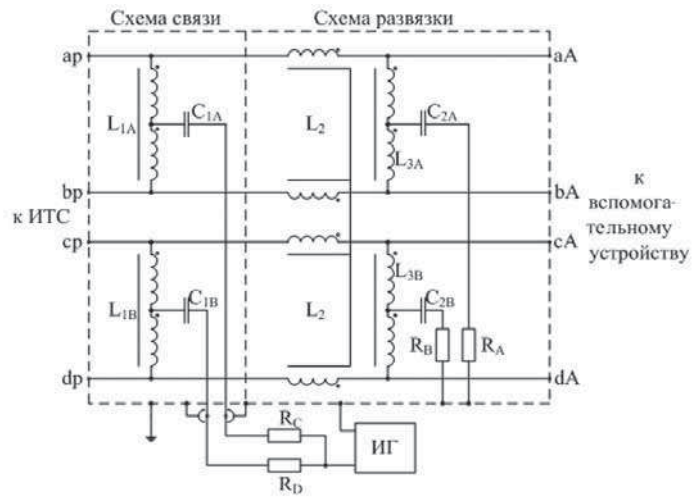


Рис. 3. Устройство связи/развязки с емкостной связью для испытаний высокоскоростных симметричных линий связи

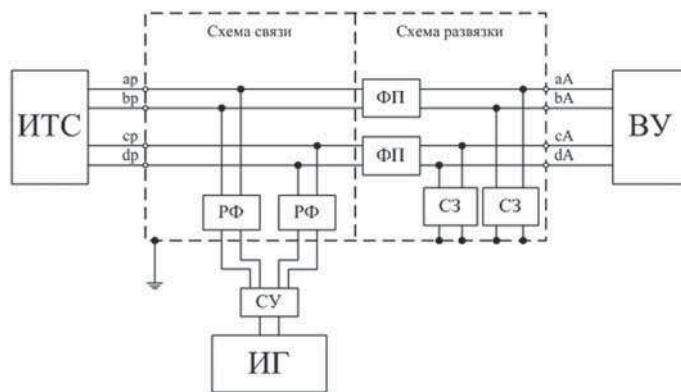


Рис. 4. Структурная схема УСР для испытаний высокоскоростных симметричных линий связи

Рассмотрим схемотехническую реализацию УСР.

Как упоминалось ранее, согласно [2], при отсутствии специальных требований, в качестве УСР может использоваться устройство, схема которого приведена на рис. 3.

Схема согласования в данном устройстве выполнена на основе резисторов R_C и R_D номиналом 80 Ом.

В качестве развязывающего фильтра (РФ) используются последовательно соединенные катушка индуктивности $L_{1A}(L_{1B})$ и конденсатор $C_{1A}(C_{1B})$ (см. рис. 3).

Катушка индуктивности обеспечивает ввод помехи в симметричную линию. Она выполнена в виде тороидального трансформатора, показанного на рис. 5.

В качестве намотки в катушке индуктивности $L_{1A}(L_{1B})$ используется двухпроводная симметричная линия, один из выходов которой закорочен (см. рис. 6.4). К этому выходу подключается разделительный конденсатор $C_{1A}(C_{1B})$. Волновое сопротивление двухпроводной линии ρ_{mp} выбирается равным волновому сопротивлению линии ρ , в которую вводится помеха, а реактивное сопротивление X_L , препятствующее закорачиванию высокочастотного сигнала в линии, должно быть значительно больше волнового

$$X_L \gg \rho. \quad (3)$$

Так как

$$X_L = 2\pi f_{min}^c L, \quad (4)$$

где f_{min}^c — минимальная частота сигнала в линии.

Подставляя (4) в (3), получим

$$L \gg \frac{\rho}{2\pi f_{min}^c}. \quad (5)$$

Так как данное УСР предназначено для подачи микросекундной импульсной помехи на порты различных ИТС с высокоскоростным интерфей-

сом, минимальная частота которых может изменяться в широких пределах, то для расчета индуктивности воспользуемся частотными данными вводимой помехи.

Для этого предположим, что на максимальной частоте помехи реактивное сопротивление катушки X_L для помехи в 2 раза меньше сопротивления полезному сигналу. Это обусловлено тем, что микросекундный импульсный сигнала помехи подается в среднюю часть намоточного провода (см. рис. 5). Тогда, заменив в (5) f_{min}^c на f_{max}^n , запишем

$$L \gg \frac{\rho}{4\pi f_{max}^n}. \quad (6)$$

Максимальную частоту сигнала помехи получим из соотношения

$$f_{max}^n = \frac{1}{\tau_u}, \quad (7)$$

где τ_u — длительность сигнала по уровню 0,5 от пикового значения.

Подставляя (7) в (6), получим

$$L \gg \frac{\rho \tau_u}{4\pi}. \quad (8)$$

Емкость конденсатора $C_{1A}(C_{1B})$ должна обеспечить подачу импульсного сигнала помехи в линию и препятствовать попаданию постоянной составляющей на вход генератора.

Зададим ее реактивное сопротивление X_C для максимальной частоты помехи f_{max}^n равным волновому сопротивлению линии ρ .

С учетом того, что

$$\rho = X_C = \frac{1}{2\pi f_{max}^n C}, \quad (9)$$

где $C = C_{1A} = C_{1B}$, найдем

$$C = \frac{1}{2\pi f_{max}^n \rho}. \quad (10)$$

Для подачи импульсной помехи только на испытываемый порт и предотвращения ее проникновения во внешнюю сеть используется полосовой фильтр-пробка (ФП).

На рис. 3 показано, что фильтр пробка реализован на основе двух симметричных пар проводов, синфазно намотанных на ферритовый сердечник. В этом случае для синфазного сигнала поле создаваемое каждым из проводов в отдельности, компенсируется полем другого провода, а поле помехи, вводимой в оба провода одновременно, ослабляется за счет большой индуктивности катушки.

Значение индуктивности ферритовой катушки выбирается аналогичным индуктивности для измерения низкоскоростных соединительных

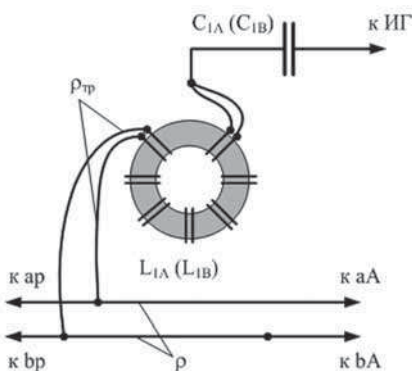


Рис. 5. Развязывающий фильтр

линий. Это обусловлено тем, что на передаваемый сигнал из-за синфазной намотки провода, данная катушка практически не оказывает влияния (при условии выбора высокочастотного ферритового сердечника), а сигнал помехи остается таким же, как и для низкочастотных соединительных линий.

Для фильтрации низкочастотной составляющей и блокирования ее проникновения во внешнюю сеть используется схема заземления, аналогичная С-образному фильтру низких частот (ср. рис. 3 и 6).

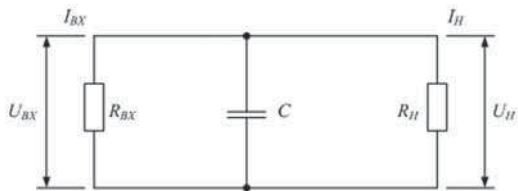


Рис. 6. Фильтр низких частот

В качестве емкости C , показанной на рис. 6, на рис. 3 выступают емкости C_{2A} и C_{2B} . Для предотвращения шунтирования полезного сигнала реактивное сопротивление индуктивностей L_{3A} и L_{3B} для минимальной частоты полезного сигнала f_{min}^c должно быть значительно больше волнового сопротивления симметричной линии

$$X_L = X_{L1} = X_{L2} \gg \rho. \quad (11)$$

Так как

$$X_L = 2\pi f_{min}^c L, \quad (12)$$

то, подставляя (11) в (12), получим

$$L \gg \frac{\rho}{2\pi f_{min}^c}. \quad (13)$$

При этом максимальное значение индуктивностей L_{3A} и L_{3B} ограничено соотношением

$$L \ll \frac{\rho}{2\pi f_{max}^n}. \quad (14)$$

С учетом (13) и (14) можем записать

$$\frac{\rho}{2\pi f_{max}^n} \gg L \gg \frac{\rho}{2\pi f_{min}^c}. \quad (15)$$

Емкости C_{2A} и C_{2B} выбираются таким образом, чтобы шунтировать на землю низкочастотные составляющие сигнала, но при этом блокировать постоянную составляющую. Их значение находится из соотношений

$$\rho \gg X_C = \frac{1}{2\pi f_{max}^n C}, \quad (16)$$

где $C = C_{2A} = C_{2B}$.

Тогда, из (16)

$$C \gg \frac{1}{2\pi f_{max}^n \rho}. \quad (17)$$

Цепь, по которой протекает шунтируемый ток, представляет собой последовательный колебательный контур, поэтому для уменьшения в нем осцилляций, последовательно с емкостями C_{2A} и C_{2B} подключены резисторы R_A и R_B .

Их сопротивление определяется из выражения для коэффициента затухания δ

$$\delta = \frac{R}{2L}, \quad (18)$$

где $R_A = R_B = R$.

Отсюда

$$R = 2\delta L. \quad (19)$$

Кроме схемы, приведенной на рис. 3 возможна реализация устройства связи/развязки, приведенная на рис. 7.

Чтобы показать, что схема развязки в устройстве связи/развязки на рис. 7 аналогична схеме, показанной на рис. 3, названия элементов в схеме развязки оставлены без изменений.

Данная схема используется для подачи микросекундной импульсной помехи на порты, использующие симметричные экранированные линии, в частности Ethernet-порты. Номинал резисторов R в схеме связи определяется согласно [1].

Заключение

Предложенная схема УСР обеспечивает испытания телекоммуникационного оборудования со скоростью передачи свыше 100 кбит/с на устойчивость к микросекундным импульсным помехам

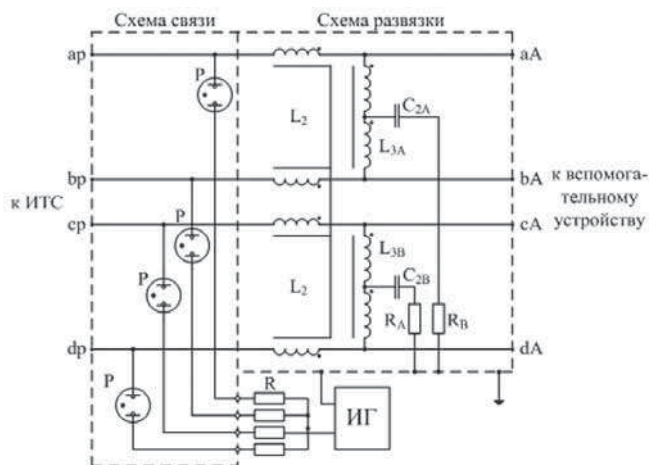


Рис. 7. Устройство связи/развязки со связью через разрядники для испытаний высокоскоростных симметричных линий связи

длительностью 1,2/50 или 10/700 мкс в условиях близких к реальным и, тем самым, выполняет требования НТД к реализации рабочих режимов портов ИТС.

Литература

1. *ITU-T Recommendation K.44 (07/03)* Resistibility tests for telecommunication equipment

exposed to overvoltages and overcurrents – Basic Recommendation – Введ. 29.07.03 – Швейцария, Женева: ИТУ-Т, 2004. – 80 с., ил.

2. *IEC 61000-4-5:2005* Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4: Testing and measuring techniques- Section 5: Surge immunity test – Введ. 11.2005 – Швейцария, Женева: IEC Central Office, 2005. – 96 с., ил.