

# ЗАЩИТА ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

**Александр Белкин**, ведущий специалист, фирма «Зелакс»;  
**Александр Самарин**, ведущий специалист, фирма «Зелакс»

Настоящая статья посвящена проблемам защиты линейных цепей телекоммуникационного оборудования. Дан краткий обзор современной элементной базы, используемой для защиты оборудования от повреждения в результате электрических перенапряжений. Рассматриваются требования и стандарты по его защите. Даны примеры реализации модулей защиты для линейных цепей телекоммуникационной аппаратуры.

При эксплуатации телекоммуникационного оборудования существуют два типа электрической опасности для него и обслуживающего персонала: удары молнии и взаимодействие линейных кабелей с силовыми линиями электропитания или линиями электропередач.

Самую большую опасность представляет попадание молнии непосредственно в линейный кабель, но такое происходит редко. Гораздо чаще при ударе молнии индуцируются высоковольтные выбросы в проводах физических линий. Амплитуда таких выбросов может достигать нескольких тысяч вольт, а токи — несколько сотен ампер.

Часто линии связи прокладываются в непосредственной близости от линий электропитания, при авариях которых большие аварийные токи также могут индуцировать высоковольтные выбросы в проводах линий связи. В отдельных случаях может произойти и непосредственный контакт силовых проводников с проводами физических линий связи. При этом возникает длительное перенапряжение, которое способно повредить оборудование.

Перенапряжение в линии связи может быть продольного и дифференциального типов. При продольном (синфазном) типе перенапряжения потенциал обоих проводов TIP и RING линии изменяется одинаково по отношению к потенциалу заземления. При этом токи протекают по проводам в одном направлении и возвращаются через заземление и грунт. При дифференциальном типе перенапряжения между проводами имеется определенная разность потенциалов, токи протекают по ним в противоположных направлениях, и потенциалы проводов отличаются от потенциала заземления.

## СТАНДАРТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ЗАЩИТУ ЦЕПЕЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ

В соответствии с требованиями и рекомендациями различных стандартов входные цепи телекоммуникационного оборудования должны содержать элементы защиты, гарантирующие безопасную и надежную работу оборудования при возникновении перенапряжения в линейном кабеле из-за короткого замыкания с силовыми линиями или в результате воздействия ударов молнии.

Наиболее общепринятыми являются стандарты Международного комитета по электросвязи (ITU). Телекоммуникационным сектором стандартизации этого комитета (ITU-T) разработаны методы тестирования аппаратуры, позволяющие имитировать различные типы электрического воздействия окружающей среды на оборудование и гарантирующие живучесть оборудования, прошедшего тестирование. Для телекоммуникационной аппаратуры применяются стандарты K.20 и K.21.

В странах Северной Америки большинство компаний придерживается требований стандартов Bellcore

GR-1089, FCC Part 68, UL1459/UL1950. Документ FCC Part 68 регламентирует требования к терминальному оборудованию, подключаемому к телефонным сетям общего пользования, а также к выделенным линиям.

GR-1089 является более общим стандартом, поскольку он регламентирует как характеристики оборудования, так и его электробезопасность. Стандарт включает первый уровень испытаний, при которых оборудование должно сохранить работоспособность, и второй уровень тестирования, при котором оборудование не должно возгораться, взрываться или поражать персонал электрическим током. Стандарт UL1459 регламентирует защиту пользователей телекоммуникационного оборудования. В последние годы на основе CSA IEC950 был разработан новый международный стандарт UL1950, который включает также требования UL1459.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ

Устройства защиты линейных сетей имеют три уровня защиты. Защитные устройства первого уровня имеют гораздо большую энергоемкость, чем вторичные или третичные, однако порог срабатывания для первичных компонентов защиты часто менее точен, чем для вторичных. На рисунке 1 приведена эквивалентная схема абонентской линии и размещение различных компонентов защиты.

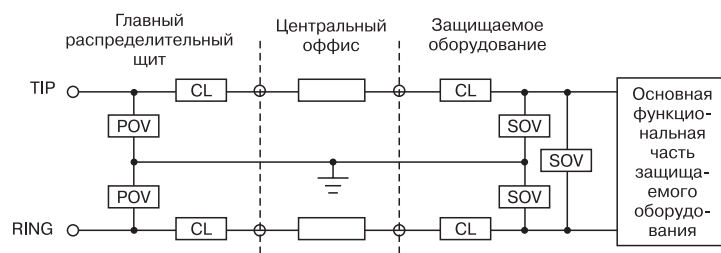


Рис. 1. Примерная модель установки оконечного абонентского оборудования в центральном офисе

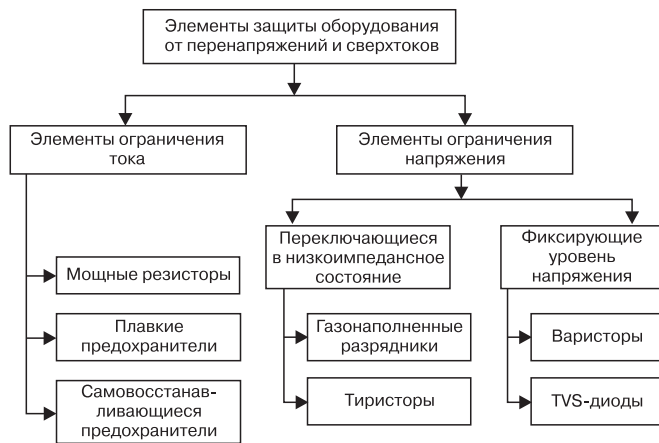


Рис. 2. Классификация элементов защиты

Первичная защита предназначена для отклонения максимальной доли энергии опасного электрического воздействия от пути к защищаемому оборудованию и перенаправления ее в надежное защитное заземление. Первичные устройства всегда содержат элементы защиты от перенапряжения и могут содержать элементы защиты от перегрузки по току. Устройства первичной защиты обычно размещаются в главном распределительном щите при входе линейного кабеля в здание.

Вторичная защита работает с остаточными напряжениями и токами, которые преодолели первичную защиту. Вторичные элементы обычно входят в состав защищаемого оборудования.

Изначально вторичная защита была предназначена для предотвращения возгорания оборудования и наносимого вследствие этого ущерба помещению и персоналу. Теперь она позволяет также предотвратить защищаемое оборудование от повреждения.

Вторичная защита обычно содержит токоограничивающие элементы, предохраняющие оборудование от повреждения (в том числе возгорания или взрыва) вследствие протекания чрезмерно больших токов, а также защищающие от перегрузки по току сами элементы токовой защиты и элементы защиты от перенапряжения (предназначенные для защиты оборудования и обслуживающего персонала).

На рисунке 2 приведена классификация элементов защиты.

Защитные элементы разделяются на элементы ограничения тока и элементы ограничения напряжения.

Элементы ограничения тока необходимы для защиты оборудования от длительных токовых перегрузок, которые могут привести к возгоранию или повреждению термически чувствительных компонентов. Такие перегрузки могут возникнуть при непосредственном контакте с силовыми линиями или в результате длительной индукции от этих линий.

В качестве элементов ограничения тока применяются мощные резисторы, плавкие предохранители и позисторы, т.е. элементы с положительным температурным коэффициентом сопротивления.

Сопротивление резисторов должно быть довольно значительным, что не для всех линий приемлемо. Для сбалансированности линии резисторы должны иметь точность не хуже 1%. Высокоточные мощные резисторы имеют довольно большие габариты и стоимость. По этим причинам они применяются редко.

Плавкие предохранители имеют весьма малое сопротивление, но могут ложно срабатывать при мощных кратковременных токовых перегрузках и требуют замены после прекращения опасного воздействия.

Элементы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (РТС-устройства) являются самовосстанавливающимися. Они имеют низкое сопротивление в нормальном рабочем режиме (единицы Ом). При протекании тока, превышающего определенный предел, вследствие разогрева происходит резкое увеличение сопротивления РТС-устройства, и ток в цепи ограничивается до безопасного уровня. В таком состоянии устройство находится до тех пор,

пока ток через РТС не уменьшится до величины ниже «тока удержания» (несколько сот миллиампер). После прекращения опасного воздействия сопротивление РТС-устройства возвращается к исходному значению, и нормальное функционирование оборудования восстанавливается.

Элементы ограничения напряжения предотвращают электрический пробой или повреждение компонентов, чувствительных к перенапряжению. Эти элементы могут быть двух типов: переключающимися в низкоимпедансное состояние (foldback device) и фиксирующими напряжение на определенном уровне (clamping device).

Элементы первого типа имеют S-образную вольтамперную характеристику. Когда напряжение достигнет порогового значения (напряжения открывания), элемент переключается в состояние с низким импедансом. При этом напряжение на защищаемой схеме не превышает 5...25 В, и почти весь ток отклоняется в защитное заземление. К элементам этого типа относятся газонаполненные разрядники и тиристоры.

Элементы второго типа ограничивают напряжение на заданном уровне. При определенном напряжении элемент переходит в состояние с малым динамическим сопротивлением. Такие свойства имеют металлоокисные варисторы (MOV) и защитные TVS-диоды.

### Газонаполненные разрядники

Разрядник представляет собой стеклянный или керамический баллон, наполненный инертным газом, в который вмонтированы два или три электрода со специальным покрытием, облегчающим процесс ионизации газа.

При достижении напряжения лавинного пробоя газового промежутка сопротивление разрядника скачком изменяется от нескольких гигаом до величины менее 1 Ом. После прекращения воздействия перенапряжения разрядник возвращается в исходное высокоимпедансное состояние.

В зависимости от типа разрядники имеют следующие характеристики:

- напряжение пробоя 90...5000 В;
- импульсный ток (20 мкс) до 20 кА;
- типовое падение напряжения на разряднике после возникновения пробоя < 25 В;

- сопротивление изоляции  $> 10$  ГОм;
- емкость  $< 3$  пФ.

Важной характеристикой разрядника является время его реакции на перенапряжение. В связи с тем, что время лавинного пробоя газа имеет конечную величину (примерно 0,5...1 мкс), значение напряжения, при котором произойдет включение разрядника (т.е. переход его в низкоимпедансное состояние), зависит от скорости нарастания этого напряжения.

Это необходимо учитывать при проектировании устройств, которые будут подвергаться воздействию выбросов напряжения с крутыми фронтами. Например, если скорость нарастания напряжения равна 1000 В/мкс, то на разряднике, рассчитанном на 90 В, к моменту его включения напряжение успеет возрасти примерно до 400 В. Этот короткий, но мощный импульс поступит далее на защищаемое разрядником устройство и может повредить его.

К достоинствам разрядников относится их способность поглотить большие порции энергии, а недостатком — ограниченный ресурс, что связано с деградацией электродов (окисление) и инертного газа при протекании сверхтоков. При этом увеличивается сопротивление разрядного промежутка и растет напряжение пробоя, а также уменьшается токовая перегрузочная способность.

Газонаполненные разрядники выпускают фирма Epcos ([www.epcos.com](http://www.epcos.com)), фирма REMtech ([www.remtechcorp.com](http://www.remtechcorp.com)).

### Тиристоры

Тиристоры — полупроводниковые элементы с уникальными свойствами, благодаря которым они являются идеальными элементами защиты оборудования от импульсных перенапряжений.

Тиристоры относятся к типу так называемых «практически мгновенных» устройств. Время реакции тиристорных элементов защиты составляет единицы наносекунд.

Преимущества использования тиристоров для защиты от перенапряжения состоят в том, что они обеспечивают защиту независимо от величины тока и скорости нарастания напряжения ( $dV/dt$ ).

У тиристорных элементов защиты следующее достоинства:

- тиристор не может быть поврежден высоким напряжением;

– вследствие малого падения напряжения на тиристоре во включенном состоянии рассеиваемая им мощность меньше, чем на элементах, фиксирующих заданный уровень напряжения (варисторы, TVS-диоды);

– отсутствует деградация параметров при воздействии импульсных токовых перегрузок, не выходящих за допустимые пределы;

– исключены выбросы напряжения, превышающие напряжение открывания, независимо от скорости нарастания напряжения;

– небольшая емкость, что позволяет применять тиристоры для защиты высокоскоростного оборудования;

– широкий диапазон рабочих напряжений (25 В и выше).

Современные тиристорные элементы защиты выпускаются в самом разнообразном конструктивном исполнении, с широким диапазоном рабочих напряжений и импульсных токов перегрузки.

Элементы с маркой Sidactor выпускает фирма Tector ([www.tector.com](http://www.tector.com)).

Элементы TISP (Totally Integrated Surge Protector) выпускает Power Innovations ([www.powinv.com](http://www.powinv.com)).

### Варисторы

Варисторы являются резистивными элементами, сопротивление которых меняется в зависимости от приложенного напряжения. Они имеют симметричную вольтамперную характеристику, похожую на характеристику симметричного стабилитрона.

Время реакции металлооксидных варисторов составляет не более 25 нс (для исполнения SMD порядка 1 нс).

Для защиты от перенапряжения варистор подключается параллельно защищаемому устройству. При превышении напряжением значения  $V_v$  динамическое сопротивление варистора резко уменьшается, и дальнейшее повышение напряжения происходит довольно медленно.

У варисторов следующие достоинства:

– быстрая реакция на перенапряжение, исключая выбросы;

– широкий диапазон градаций напряжений и токов;

– большие допустимые токи перегрузки — 1000 А и более;

– сравнительно низкие цены.

И следующие недостатки:

- значительный рост фиксируемого варистором напряжения  $V_{сmax}$

при увеличении тока. Пиковое значение фиксируемого варистором напряжения  $V_c$  в два раза больше номинального;

– деградация параметров по мере воздействия перегрузок по току и напряжению;

– высокое значение емкости (сотни пФ).

Варисторы с маркой SIOV® выпускает фирма Epcos ([www.epcos.com](http://www.epcos.com)).

### TVS-диоды

TVS-диоды (Transient Voltage Suppressor) — это твердотельные приборы, специально разработанные для защиты полупроводниковых устройств от повреждения в результате воздействия перенапряжения.

TVS-диод является элементом, фиксирующим заданный уровень напряжения  $V_c$  на защищаемом устройстве. В процессе нормального функционирования аппаратуры TVS-диод находится в высокоимпедансном состоянии и имеет незначительный ток утечки (не более 25 мкА). В случае превышения рабочего напряжения происходит лавинный пробой диода, и он переходит в состояние с низким динамическим сопротивлением, отводя почти весь импульсный ток перегрузки от защищаемого устройства.

Следующие характеристики TVS-диодов делают их идеальными элементами для защиты полупроводникового оборудования:

– время реакции на перенапряжение порядка нескольких наносекунд. Зависит от конструктивного исполнения;

– способность работать с импульсными токами до сотен ампер и импульсными мощностями свыше 1000 Вт;

– широкий спектр значений фиксируемого напряжения (2,8...400 В);

– низкая емкость (не более 50 пФ);

– отсутствие деградации параметров при токовых перегрузках в допустимых пределах.

Для защиты высокоскоростных устройств последовательно с TVS-диодами допускается включение специальных диодов, имеющих малую емкость. При этом суммарная емкость может составлять величину 20 пФ и менее (например, для диодов MUR1100E фирмы ON Semiconductor ([www.onsemi.com](http://www.onsemi.com))).

Признанным лидером в производстве TVS-диодов является фирма Semtech ([www.semtech.com](http://www.semtech.com)).

### Плавкие предохранители

Плавкие предохранители относятся к классу устройств ограничения тока. Их главной задачей является защита оборудования от повреждений при протекании повышенных токов. Такие токи могут возникнуть при непосредственном контакте проводов линии связи с силовыми линиями электропитания при аварии или в результате длительного воздействия индукции от мощных силовых линий, расположенных вблизи участка линейного кабеля.

Второй задачей предохранителей является защита от тех же факторов самих защитных элементов ограничения напряжения.

Предохранители не должны реагировать на кратковременные токовые перегрузки, возникающие в результате индукции от грозовых разрядов, а также при кратковременной индукции от мощных силовых линий. Задача борьбы с таким типом перегрузок возлагается на защитные элементы ограничения напряжения.

Недостатком обычных плавких предохранителей является возможность их ложного срабатывания при кратковременных токовых перегрузках.

Фирма Тессог специально для применения в устройствах защиты телекоммуникационного оборудования разработала плавкие предохранители TeleLink®. Они устойчивы ко всем кратковременным воздействиям, оговоренным в стандартах GR 1089, FCC Part 68, UL 1950 и ITU K.20, K.21 без деградации параметров. При использовании этих предохранителей совместно с элементами SIDACTor® данной фирмы обеспечивается защита

та от перенапряжений и сверхтоков в соответствии с требованиями перечисленных выше стандартов.

Достоинством плавких предохранителей является их малое сопротивление, поэтому они не вносят ослабления сигнала и не нарушают баланса линии. Однако плавкие предохранители имеют и ряд недостатков.

После срабатывания предохранитель требует замены, а при малых перегрузках время реакции предохранителей сильно возрастает. Эта задержка срабатывания может привести к перегреву и повреждению расположенных далее защитных элементов ограничения напряжения. По этой причине необходим тщательный подбор их параметров.

### Самовосстанавливающиеся предохранители

Другими устройствами, относящимися к классу устройств ограничения тока, являются самовосстанавливающиеся полимерные предохранители PolySwitch фирмы Raychem ([www.raychem.com](http://www.raychem.com)).

Эти элементы, имеющие положительный температурный коэффициент сопротивления, изготовлены из проводящих полимерных материалов. При нормальной рабочей температуре они имеют малое сопротивление (2...10 Ом). В случае возрастания тока выше номинального происходит разогрев элементов и при определенной температуре их сопротивление резко возрастает, ограничивая тем самым ток.

После устранения перенапряжения и охлаждения позистора происходит восстановление его нормального сопротивления.

Важными параметрами предохранителей PolySwitch являются следующие:

- максимальные рабочее напряжение и ток;
- максимальное прерываемое напряжение — напряжение, которое может быть приложено к позистору, находящемуся в состоянии «размыкания цепи», т. е. имеющему высокое сопротивление;
- максимальный ток;
- сопротивление в нормальном (холодном) состоянии;
- время реакции на перегрузку по току (зависит от величины тока) — время, по истечении которого происходит прерывание цепи тока;
- ток удержания — минимальный ток, при котором позистор продолжает находиться в состоянии повышенного сопротивления.

При малых токовых перегрузках предохранители PolySwitch имеют меньшее время реакции, чем плавкие предохранители.

Однако устройства PolySwitch имеют весьма серьезный недостаток. Им является низкая стойкость к импульсным перенапряжениям и сверхтокам. В соответствии со стандартами GR 1089, FCC Part 68, UL 1950 значения импульсов тока могут достигать нескольких сотен ампер (при длительности импульсов от 20 до 1000 мкс), а напряжения — до нескольких киловольт.

По мере воздействия таких импульсов на предохранитель PolySwitch происходит деградация элементов, изменение их важных параметров (сопротивления в открытом состоянии и тока срабатывания) и выход из строя.

В документации фирмы Raychem отсутствует информация о том, в течение какого времени изделия PolySwitch могут выдерживать такие воздействия и как происходит деградация их параметров.

### РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОСТРОЕНИЮ СХЕМ ЗАЩИТЫ Защита от перенапряжения

Для защиты входных цепей аппаратуры от перенапряжения недостаточно одного защитного элемента какого-либо типа. Обычно применяют комбинацию различных компонентов, используя преимущества каждого типа. На рисунке 3 приведена схема построения ступенчатой защиты и эпюры напряжения для каждой ступени.

На эпюре слева изображен импульс напряжения, возникающий в линейном кабеле под воз-

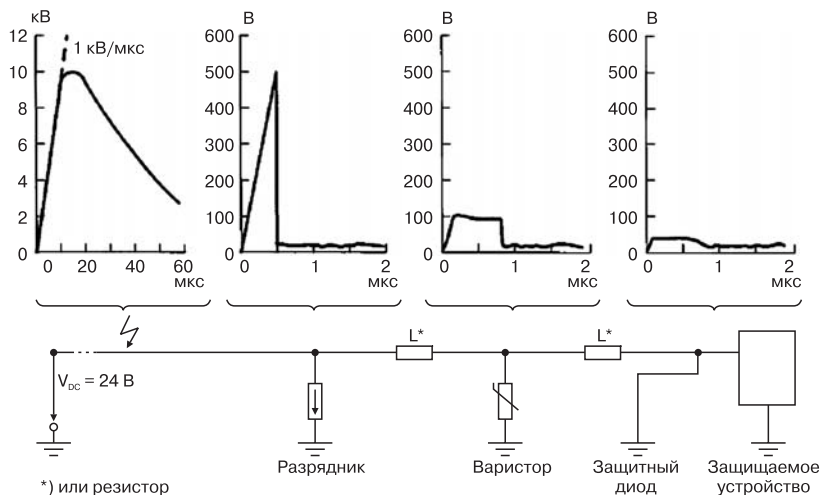


Рис. 3. Принцип построения ступенчатой защиты

действием мощного грозового разряда. В первой ступени схемы защиты обычно применяются газонаполненные разрядники, способные перенаправить в защитное заземление основную долю энергии этого импульса. При этом сам разрядник поглощает и рассеивает значительное количество энергии, что приводит к сокращению срока его службы. Для некоторых типов разрядников гарантировано сохранение свойств после воздействия не менее 400 импульсов тока 500 А длительностью 1000 мкс или 10 импульсов тока 10 кА длительностью 20 мкс. Разрядник имеет выброс напряжения включения 20%, т.е. относится к элементам с «грубой» установкой порога защиты. Кроме того, при больших значениях скорости нарастания напряжения из-за конечного времени активации газа (более 0,5 мкс) будет иметь место кратковременный мощный выброс напряжения, показанный на второй эюре. При скорости нарастания напряжения 1000 В/мкс выброс может иметь величину от 400 до 800 В в зависимости от номинального напряжения включения разрядника.

Для подавления этого выброса предназначена вторая ступень. В данном примере во второй ступени применен варистор. Его время реакции на перенапряжение всего несколько десятков нс. При достижении напряжения в 100 В (для данного примера) дифференциальное сопротивление варистора резко уменьшается, и он ограничивает дальнейшее повышение напряжения. Для «гашения» излишка напряжения и ограничения тока через варистор с целью его защиты между первой и второй ступенями применяется индуктивность (или

резистор с малым сопротивлением). Импульс напряжения после второй ступени имеет вид, показанный на третьей эюре. Дальнейшее ограничение напряжения осуществляется на третьей ступени, выполненной на защитных TVS-диодах, имеющих уровень фиксации от 3 В. Для разделения ступеней также применяется индуктивность (или небольшой резистор).

Пример защиты двухпроводной линии приведен на рисунке 4.

### Защита от сверхтоков

При непосредственном контакте телекоммуникационной линии с линией электропитания или в результате длительной индукции от этой линии возможно протекание больших токов через элементы защиты от перенапряжения.

Даже газонаполненные разрядники, способные проводить импульсные токи до 20 кА, могут выдержать протекание переменного тока величиной 10 А всего лишь в течение нескольких секунд. Варисторы, тиристоры и TVS-диоды выдерживают без разрушения еще меньшие токи.

По этой причине на входе схемы защиты обязательно должны применяться элементы ограничения тока — плавкие или самовосстанавливающиеся предохранители.

Каждый элемент защиты от перенапряжения, будь то разрядник или твердотельный элемент, характеризуется значением максимально допустимой импульсной мощности. Задача элемента ограничения тока — разорвать цепь протекания тока за время, при котором импульсная мощность, поглощенная элементом защиты, не превысит допустимой. Поэтому выбор элемента ограничения тока

должен соответствовать применяемым элементам защиты от перенапряжения.

Ограничитель тока не должен реагировать на кратковременные токовые перегрузки, и при таких перегрузках не должна происходить деградация его параметров.

### ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМ ЗАЩИТЫ

На рисунке 5 приведена схема защиты линейных цепей ИКМ-трактов 2048 Кбит/с. Амплитуда рабочего сигнала составляет 3 В.

В качестве элементов ограничения тока применены самовосстанавливающиеся предохранители TR250-180U. Реальное сопротивление одного предохранителя в нормальных условиях составляет примерно 1,5 Ом, а рабочий ток не должен превышать 180 мА.

Разрядник T83-A90X имеет номинальное напряжение включения 90 В ±20%. При превышении потенциала любого провода относительно защитного заземления этой величины разрядник фиксирует потенциалы обоих проводов относительно защитной земли на уровне не более 25 В. TVS-диод LC01-6 ограничивает импульсные напряжения на обмотке трансформатора на уровне 10...16 В. Импульсная мощность LC01-6 составляет 1500 Вт, а емкость — не более 50 пФ.

### РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ УСТРОЙСТВ

Вторичные цепи устройств гальванически развязаны от первичных (линейных) цепей применением изолирующих трансформаторов, имеющих напряжение пробоя не менее 1500 В и межобмоточную емкость до 35 пФ.

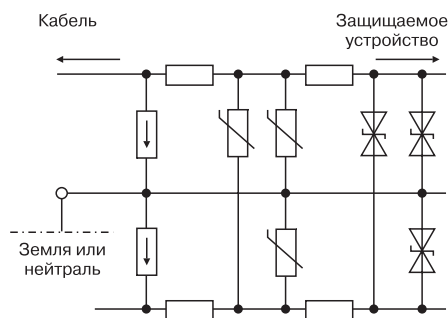


Рис. 4. Пример защиты двухпроводной линии

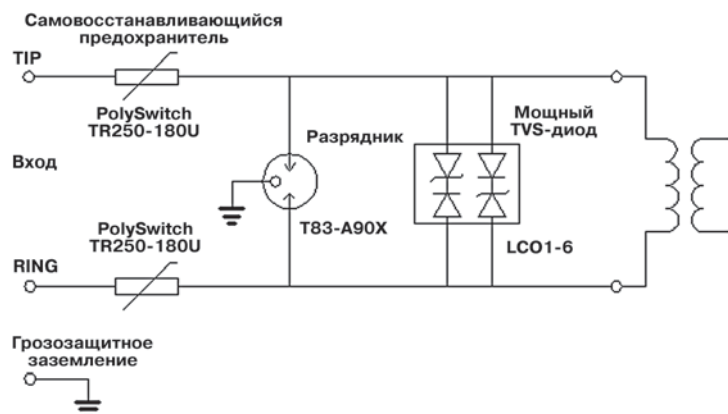


Рис. 5. Защита входных цепей ИКМ-трактов

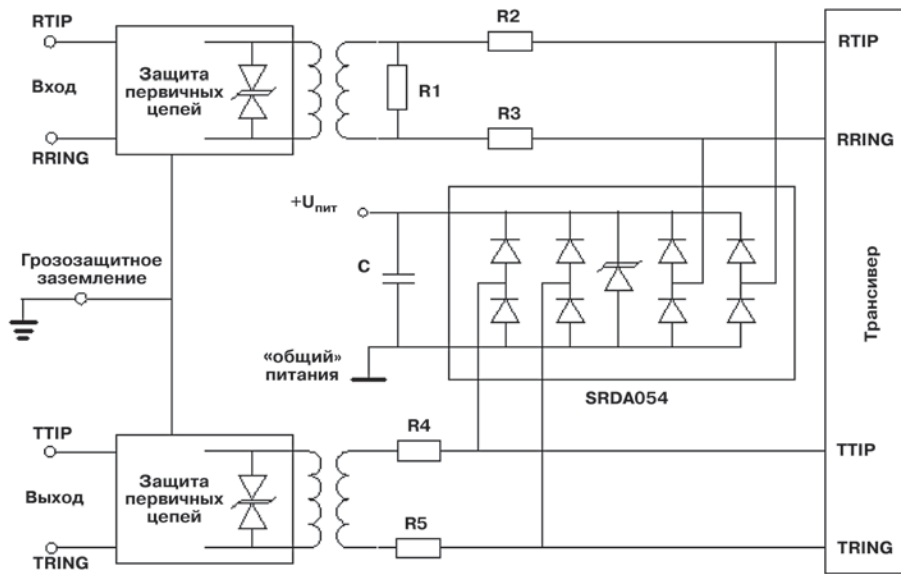


Рис. 6. Защита входов/выходов трансивера E1

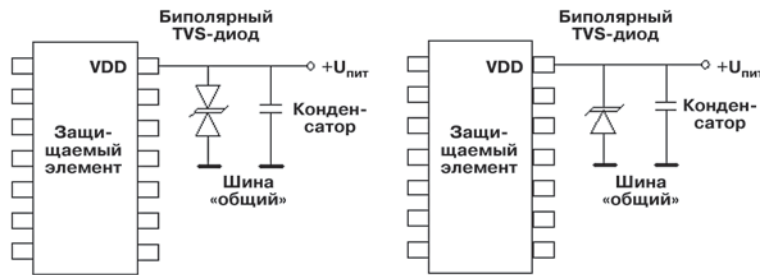


Рис. 7. Защита элементов от бросков по напряжению питания

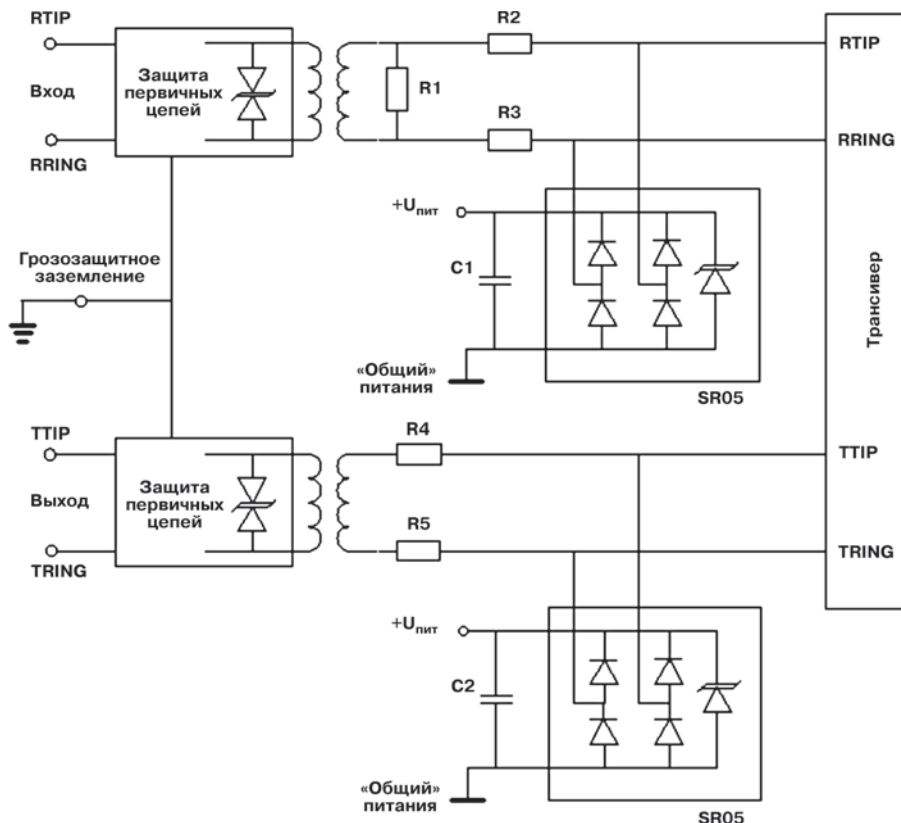


Рис. 8. Применение TVS-диода SR05

На рисунке 6 приведена типовая схема защиты вторичных цепей устройств. В качестве защитного элемента выбрана диодная сборка с TVS-диодом SRDA05-4 фирмы Semtech.

Для защиты входов/выходов трансивера используется рассчитанный на две двухпроводные линии связи элемент SRDA05-4, который должен размещаться на минимальном расстоянии от защищаемой микросхемы. Для минимизации паразитной индуктивности его соединение с цепью «ОБЩИЙ» должно быть как можно короче.

Элементы SRDA05-4 и SRDA3,3-4 не являются мощными и поэтому необходимо ограничивать проходящий через них ток. В схеме такого типа достаточно резисторов, имеющих номиналы в несколько Ом (1...5 Ом).

Через межобмоточную емкость трансформатора во вторичную часть устройства поступает энергия импульса перегрузки, которая перенаправляется элементом защиты в источник питания. Это приводит к броскам напряжения.

Защитные элементы фиксируют напряжение между шинами +Uпит и «общий» источника только в месте своей установки. В зависимости от топологии печатной платы выбросы напряжения в различных ее участках могут иметь значения, опасные для элементов цепи. Для защиты микросхем трансиверов по цепи питания применяются TVS-стабилитроны и конденсаторы, как показано на рисунке 7.

TVS-диод и конденсатор должны устанавливаться как можно ближе к защищаемой микросхеме, а их соединение с цепью «общий» должно быть как можно короче. Для уменьшения наводок на приемные цепи трансивера вместо SRDA05-4 можно применить аналогичные им по защитным параметрам элементы SR05. Этот вариант приведен на рисунке 8.

Любая вновь разрабатываемая аппаратура имеет свою специфику (устойчивость к электрическим перегрузкам, скорость передачи данных) и работает с разными типами линий связи, которые подвергаются различным воздействиям окружающей среды. Сами элементы защиты имеют большое разнообразие параметров, таких как гарантируемый уровень защиты, конструктивное исполнение, сопротивление, емкость и, наконец, доступность и цена. По этой причине разработчик должен самостоятельно построение схемы защиты и выбрать элементы с учетом приведенных выше рекомендаций.