

# Защитные TVS-устройства компании Semtech: разнообразие выбора

Один из самых распространенных способов защиты сигнальных и логических линий от перенапряжений, вызванных воздействием электростатических разрядов и ударов молний, — применение TVS-диодов и диодных сборок на их базе. В статье рассматриваются основные характеристики и конструктивные особенности TVS-устройств компании Semtech, даны примеры применения компонентов отдельных серий. Обладающие высоким быстродействием и богатым разнообразием корпусного исполнения, данные приборы способны обеспечить надежное функционирование защищаемого оборудования в соответствии с требованиями международных стандартов.

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ  
info@icquest.ru

## Введение

Любое высоконадежное электронное оборудование промышленного назначения, разработанное с применением полупроводниковых приборов (микропроцессоров, цифровых и аналоговых ИС), требует наличия схем защиты от электрических перегрузок. Перегрузки имеют различную природу и отличаются по уровню мощности, наиболее опасными среди них являются перепады напряжения, представляющие собой случайные пульсации с амплитудами большими, чем рабочие напряжения в цепи. Они возникают в результате воздействия кратковременных электромагнитных импульсов естественного (мощные грозовые разряды) или искусственного (излучение радиопередающих устройств, высоковольтных линий передачи) происхождения, а также за счет внутренних переходных процессов, вызванных коммутацией емкостных или индуктивных нагрузок (электродвигатели, генераторы) и электростатическими разрядами (ESD). Влияние электромагнитных импульсов любого происхождения приводит к изменению параметров электронных компонентов как за счет непосредственного поглощения энергии, так и вследствие воздействия на них индуцированных в электрических цепях оборудования импульсов напряжения и тока.

Самые распространенные причины перенапряжений — грозовые и статические разряды.

Для испытания электротехнической аппаратуры на устойчивость к воздействию данных факторов применяют IEC 61000 — наиболее признаваемый в настоящее время международный стандарт, определяющий уточненные параметры тестовых сигналов. Их характеристики были получены в результате многочисленных измерений с использованием общепринятых методов мониторинга. На рис. 1 приведены типовые формы импульсов, соответствующие грозовым (стандарт IEC 61000-4-5) и электростатическим (IEC 61000-4-2) разрядам.

Разряды молний характеризуются высокоэнергетическими импульсами с длительностью от нескольких десятков до тысяч микросекунд и очень большими токами (десятки килоампер). Прямое попадание молнии — разрушительное, но достаточно редкое явление. Гораздо чаще вред приносит создаваемое при разряде магнитное поле, генерирующее импульсы помехи в близлежащих электротехнических объектах (электрических кабелях линий передачи и т. п.).

Так, молния «облако-облако» может стать причиной возникновения паразитного напряжения амплитудой до 70 В в электрическом кабеле, удаленном на расстояние 1,6 км от источника [1].

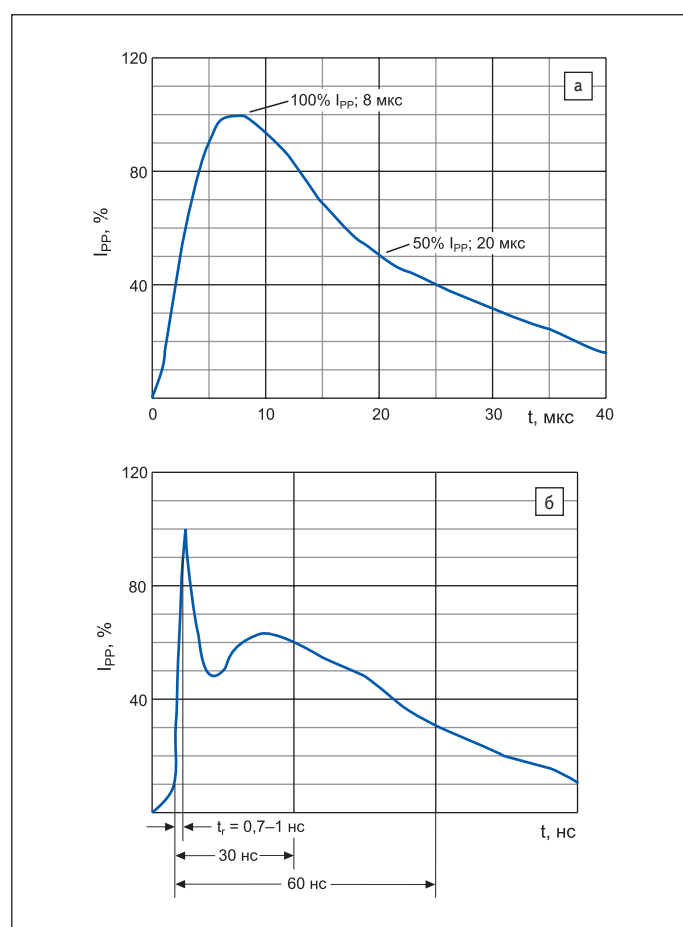


Рис. 1. Характеристики импульсов тока, вызванных: а) грозовым разрядом; б) электростатическим разрядом

Человеческое тело — отличный аккумулятор статического напряжения. По мере активной деятельности статический заряд накапливается на теле человека, разряд происходит при контакте с токопроводящим объектом. Также сетевые провода способны накапливать потенциал при работе, электростатический разряд в этом случае происходит в момент присоединения кабеля к разъему. Амплитуда электростатических разрядов может достигать 35 кВ, возбуждаемый сигнал имеет длительность фронта около 1 нс. Хотя энергия, выделяемая при возбуждении такого импульса, невелика, чрезвычайно малое время нарастания и большое пиковое значение выброса напряжения могут вызвать катастрофическое разрушение устройств, выполненных на дискретных полупроводниковых приборах и интегральных схемах. К примеру, в МОП-структурах точечной пробой оксидного слоя и, соответственно, ухудшение его диэлектрической прочности приводит к перегреву и разрушению затвора даже при незначительной рассеиваемой мощности. Это, в свою очередь, сокращает срок службы электронного оборудования или вовсе выводит его из строя.

Современные цифровые и аналоговые микросхемы сами по себе, как правило, имеют специальные защитные цепи, обеспечивающие проводящие пути для устранения помех. Однако они не в состоянии справиться с большими токами. Кроме того, учитывая современную тенденцию к миниатюризации, сложно реализовать достаточный уровень защиты только с помощью встроенных цепей, так как их параметрами приходится жертвовать в угоду улучшения ключевых рабочих характеристик и снижения энергопотребления. Согласно прогнозам EOS/ESD-ассоциации, в дальнейшем ИС не будут содержать схемы, ограничивающие ESD-импульсы с амплитудой выше 2 кВ [2]. Поэтому для соответствия требованиям IEC 61000 и вывода на рынок конкурентоспособной продукции в дополнение к интегрированной необходимо проектировать и внедрять внешнюю защиту.

На рынке предлагается множество приборов, обеспечивающих хорошую защиту от перенапряжения, но, чтобы выбрать наиболее эффективные для конкретного применения, нужно тщательно сопоставить их параметры с учетом рабочих условий системы. Помимо традиционных плавких предохранителей, простейших LC- и RC-фильтров, широко используются специализированные приборы — газовые разрядники, металлооксидные варисторы и TVS-диоды (Transient Voltage Suppression), в разных источниках также называемые супрессорами, защитными диодами и полупроводниковыми ограничителями напряжения. Каждый из перечисленных защитных элементов имеет достоинства и недостатки (табл. 1).

Газовые разрядники служат для защиты оборудования от самых мощных помех, они применяются в качестве первичной защиты

**Таблица 1.** Сравнение параметров специализированных приборов защиты от перенапряжений

Параметр	Газовые разрядники	Варисторы	TVS-диоды
Уровень импульсного тока	Высокий	Высокий	Средний
Точность напряжения включения	Низкая	Низкая	Высокая
Собственная емкость	Малая	Большая	Малая
Срок службы	Малый	Ограниченный	Большой
Быстродействие	Низкое	Низкое	Высокое
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая

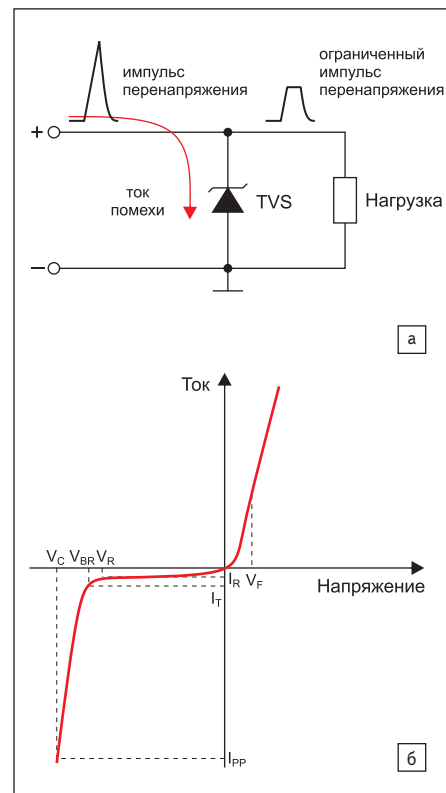
телекоммуникационных и силовых цепей. Значение пиковых токов у них достигает тысяч ампер, при этом число срабатываний оказывается достаточно большим. Среди недостатков можно отметить высокое напряжение включения, значительные габариты и низкое быстродействие. Продолжительное время срабатывания (более 0,15 мкс) не решает проблемы защиты многих полупроводниковых приборов и микросхем.

Варисторы, благодаря высокому соотношению пиковых токов и габаритов, оптимальны для создания максимально компактных решений при защите от мощных помех. Обладающие широким диапазоном рабочих токов и напряжений, они успешно служат для защиты электронных компонентов на печатной плате, одной из основных областей применения является автомобильная электроника. К недостаткам относятся ограниченный срок службы и большая собственная емкость (тысячи пикофард), не допускающая их включение в высокоскоростные линии передачи данных.

TVS-диоды, имеющие наименьшие значения напряжений ограничения и самое быстрое время срабатывания среди всех перечисленных компонентов, могут применяться в низковольтных цепях. Они хорошо подходят для защиты полупроводниковых приборов или для организации оконечной ступени в комбинированных защитных устройствах. Среди других очевидных достоинств — высокая долговечность и надежность, широкий диапазон рабочих напряжений, а также возможность получения компактных многоканальных решений в корпусах для планарного монтажа. Низкая собственная емкость, не влияющая на сигнальные и логические линии, позволяет устанавливать их в различных коммуникационных интерфейсах.

### Принцип работы TVS-диодов

TVS-диоды — полупроводниковые приборы с резко выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой, обычно подключаемые параллельно защищаемой нагрузке. Принцип их работы основан на применении обратимого пробоя. В обычных условиях TVS-диод представляет собой разомкнутую цепь с некоторым током утечки, его электрические характеристики практически



**Рис. 2.** Несимметричный TVS-диод: а) принцип работы; б) вольт-амперная характеристика

не оказывают никакого влияния на нормальное функционирование схемы. При возникновении высоковольтного импульса перенапряжения, превышающего пороговое напряжение, происходит пробой диода с лавинообразным увеличением носителей, ток переходного процесса протекает через диод на общий провод, образуя шунтирующий путь с низким сопротивлением и минуя защищаемую цепь. Благодаря этому входное напряжение ограничивается на безопасном уровне, совместимом с характеристиками подсоединенных устройств. Величина рассеиваемой мощности определяется максимально возможной температурой кристалла, рост температуры приводит к уменьшению допустимых значений пиковых токов. Когда линейное напряжение достигает нормального уровня, ограничитель автоматически возвращается в высокоимпедансное состояние.

Основные параметры TVS-диода — максимальный пиковый ток  $I_{pp}$ , который супрессор может пропустить без повреждения, напряжение пробоя, определяемое по достижении номинального тока пробоя  $I_T$  (обычно 1 или 10 мА), и напряжение ограничения  $V_C$ , характеризующее падение напряжения на диоде при протекании  $I_{pp}$  и заданной температуре окружающей среды. Принцип работы TVS-диода показан на рис. 2а, ВАХ несимметричного компонента с указанием основных параметров — на рис. 2б.

TVS-диоды могут быть несимметричными или симметричными. Первые используются

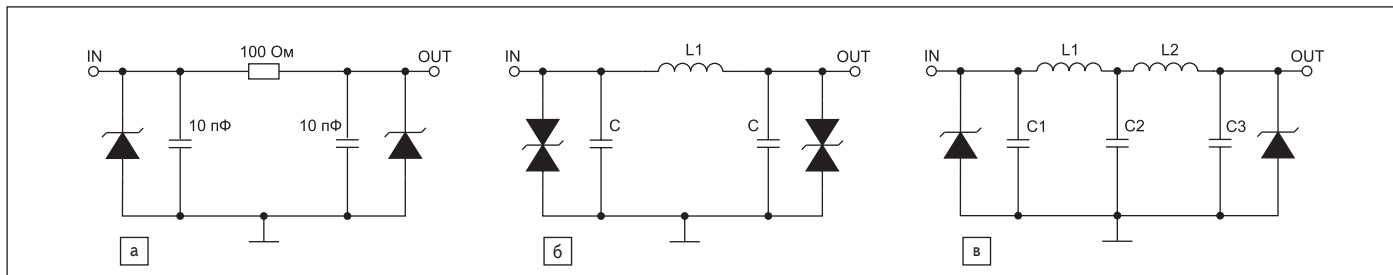


Рис. 3. Внутренняя структура защитных устройств серии EMI Clamp: а) EClamp237xK; б) EClamp2422N; в) EClamp239xP

в сетях постоянного тока, так как в рабочем состоянии пропускают ток только в одном направлении. Симметричные супрессоры пропускают ток в обе стороны, поэтому способны работать в сетях переменного тока. TVS-диоды в значительной степени являются стандартной продукцией, то есть выпускаются многими изготовителями, имеют часто одни и те же наименования компонентов и, соответственно, близкие технические характеристики. Одним из лидеров в производстве защитных TVS-устройств является компания Semtech.

### TVS-продукция Semtech Corporation

Защитная продукция Semtech включает как дискретные диоды, так и специализированные сборки, ориентированные на работу с определенными интерфейсами [3]. Данный класс устройств был разработан для защиты чувствительных компонентов от воздействия электростатических разрядов (ESD), от быстрых электрических переходных процессов (EFT) и от перенапряжений в линиях связи (CDE). Выпускаемые в настоящее время приборы доступны в разнообразном корпусе и исполнении, определяемом условиями эксплуатации и областями применения, вся продукция проходит сертификацию на соответствие требованиям стандартов и правил безопасности IEC, ETSI, Bellcore 1089 и FCC часть 68. Среди типовых применений можно отметить портативную носимую электронику, оборудование Ethernet- и других сетей передачи данных, HD-телевизоры и мониторы, ноутбуки, персональные и планшетные компьютеры.

Номенклатура TVS-устройств, предлагаемых компанией, содержит сотни наименований, объединенных в отдельные семейства, привести их параметры в рамках одной статьи не представляется возможным. Поэтому далее будут рассмотрены наиболее интересные серии с точки зрения конкурентных преимуществ, к которым относятся:

- малое напряжение ограничения (от 2,5 В);
- высокая перегрузочная способность;
- низкая собственная емкость (менее 0,5 пФ);
- возможность защиты от периодически повторяющихся ESD-импульсов;
- минимальные габариты;
- низкие токи утечки.

Серия защитных устройств, объединяющая в единых корпусах TVS-диоды и LC/RC-фильтры, выпускается компанией Semtech под торговой маркой EMI Clamp. Помимо ограничения паразитных ESD-импульсов, она обеспечивает подавление нежелательных электромагнитных (EMI) и радиочастотных (RFI) излучений в диапазонах частот, определяемых параметрами встроенных фильтров низких частот. Компоненты данной серии осуществляют защиту распространенных интерфейсов и успешно применяются в портативной электронике: сотовых телефонах, цифровых фото- и видеокамерах, планшетах и ноутбуках, периферийных устройствах ПК (принтерах, сканерах и т. д.) и ЖК-дисплеях. В настоящее время доступны 2-, 4-, 6- и 8-канальные решения (несколько десятков наименований), внутренние конфигурации которых адаптированы под конкретные применения. Для примера на рис. 3 представлены типовые электрические схемы некоторых популярных моделей (показан один канал), а в таблице 2 — их основные параметры.

Таблица 2. Основные характеристики популярных устройств серии EMI Clamp

Наименование	Кол-во каналов	V <sub>R1</sub> , В (max)	V <sub>BR1</sub> , В (min)	C, пФ	R, Ом	L, нГн	I <sub>z</sub> , мкА (max)	Габариты корпуса, мм
EClamp2357NQ	6	5	6	10	100	—	0,5	3×3×1 (QFN-16)
EClamp237xK*	4; 6; 8	5	6	10	100	—	0,5	1,7×1,3×0,5 (SLP-8) 2,5×1,3×0,5 (SLP-12) 3,3×1,3×0,5 (SLP-16)
EClamp238xK*				12	200			
EClamp239xP*	4; 6; 8	5	6	12	—	19	0,1	2,1×1,6×0,5 (SLP-8) 3×1,6×0,5 (SLP-12) 4×1,6×0,5 (SLP-16)
EClamp255xP*						28		
EClamp2374KQ	4	5	6	20	100	—	0,5	1,7×1,3×0,5 (SLP-8)
EClamp2422N	2	5	6	100	—	2	0,1	1,5×1×0,5 (SLP-6)
EClamp2455K	4	5	6	20	100	—	0,5	1,7×1,3×0,5 (SLP-8) 2,1×1,6×0,5 (SLP-12)
EClamp2465T				10	47			
EClamp2522P	2	5,5	6	20	22	—	1	1,6×1,6×0,5 (SLP-6)

Примечание. x — соответствует числу каналов.

Шестиканальная ИС EClamp2357NQ (рис. 4), предназначенная для защиты логических линий SD (Secure Digital) карт памяти и сенсорных дисплеев, работает с 5-В шинами данных [4].

Интегрированные фильтры П-типа, каждый из которых состоит из 100-Ом резистора и двух конденсаторов с емкостью 10 пФ, гарантируют ослабление сигнала на 20 дБ в диапазоне частот 1–3 ГГц. TVS-диоды обеспечивают подавление электростатических разрядов в соответствии с нормами IEC 61000-4-2, уровень 4, также данные компоненты сертифицированы на соответствие требованиям AEC-Q100 и могут применяться в автомобильных устройствах. Конструктивно приборы выполнены в 16-контактных низкопрофильных корпусах форм-фактора QFN с размерами 3×3×1 мм и шагом выводов 0,5 мм.

Малогабаритные многоканальные приборы защиты EClamp237xP и EClamp238xP позволяют экономить пространство на печатной плате. Новые семейства, содержащие 4-, 6- и 8-канальные устройства, спроектированы для защиты и фильтрации сигналов высоко-

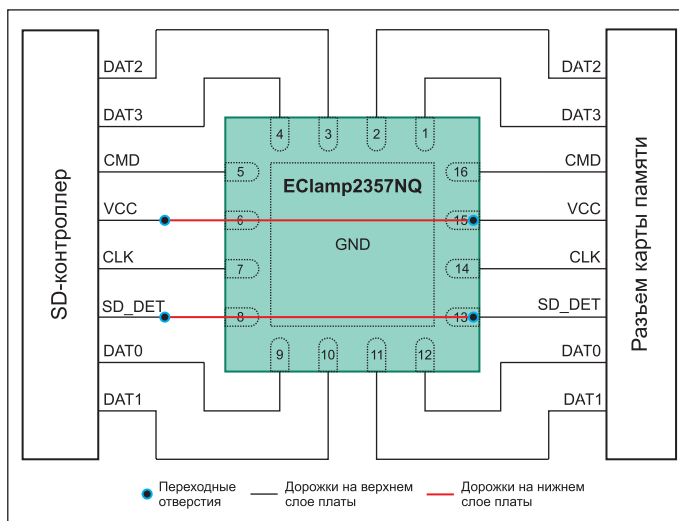


Рис. 4. Типовая схема включения ИС EClamp2357NQ

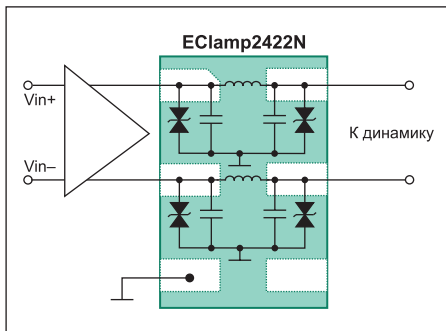


Рис. 5. Защита динамиков при помощи EClamp2422N

скоростных параллельных интерфейсов, работающих на скоростях более 60 Мбит/с. Защитные ИС выпускаются в планарных корпусах SLP, имеющих минимальный форм-фактор, повышенную надежность и объединяющих до 32 дискретных компонентов. Характерными особенностями всех приборов в пределах семейств являются унифицированные значения ширины (1,3 мм) и высоты (0,5 мм), длина в зависимости от количества каналов варьируется в пределах 1,7–3,3 мм.

Семейства EClamp239xP и EClamp255xP со встроенными LC-фильтрами применяются для защиты интерфейсов высококачественных цветных ЖКИ в 3G-телефонах стандартов GSM и CDMA. Они отличаются резким спадом частотной характеристики, обеспечивая минимум 30 дБ ослабления в диапазоне 800 МГц – 2,7 ГГц. Корпусное исполнение и количество каналов — аналогично семействам EClamp237xP и EClamp238xP. Прокладная конструкция защитных устройств облегчает задачу трассировки сигналов для более быстрой и удобной разводки печатной платы. Большие размеры площадки для подключения «земли» минимизируют паразитную индуктивность для улучшения характеристик фильтра.

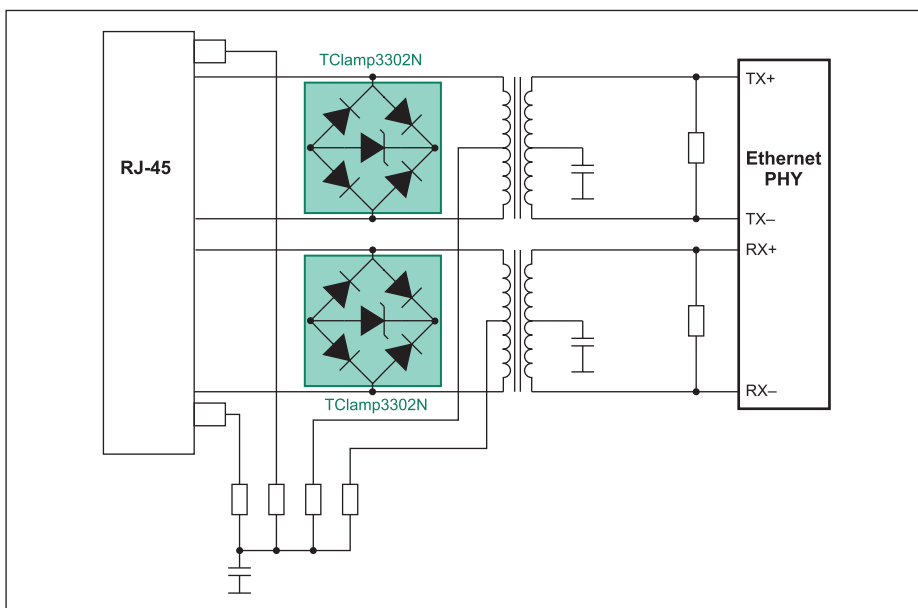


Рис. 6. Вариант защиты логических линий интерфейса Ethernet при помощи ИС TClamp3302N

Таблица 3. Основные характеристики популярных устройств серий TransClamp и LC

Наименование	Кол-во каналов	$V_R$ , В (max)	$V_{BR}$ , В (min)	C, пФ	P, Вт (В/20 мкс)	$I_{PP}$ , А (max)	$I_R$ , мкА (max)	Габариты корпуса, мм	
TClamp0602N	2	6	6,8	12	2500	95	5	2,6×2,6×0,6 (SLP-10)	
TClamp2502N		2,5	—				0,5		
TClamp3302N		3,3	—				1		
TClamp1202P		12	13,3	12	300	100	0,1		2×2×0,6 (SLP-5)
TClamp1272S		12	13,5	5	600	20	0,1		2,9×1,6×1,2 (SOT-23-6L)
TClamp2512N		2,5	2,7	8	2300	120	0,1		2,6×2,6×0,6 (SLP-10)
TClamp3312N	3,3	3,5	2,9×1,6×1,2 (SOT-23-6L)						
TClamp2482S	24	27	2					150	20
LC01-6	2	6	8	50	1500	100	25	10,2×7,5×2,3 (SO-16W)	
LC03-3.3		3,3	—	12	1800	100	1	4,9×3,9×1,5 (SO-8)	
LC03-6		—	—	12	2000	100	25	4,9×3,9×1,5 (SO-8)	
LC04-6	4	6	6,8	15	1000	200	15	9,9×3,9×1,5 (SO-16)	
LC05-6					2000	100			
LC04-12					12	13,3			600

Двухканальный ограничитель напряжения EClamp2422N позиционируется для защиты аудиоинтерфейсов [5]. Помимо симметричных TVS-диодов, содержит цепочки CLC-фильтров из катушек индуктивности 2 нГн и конденсаторов 100 пФ. Доступен в 6-выводном корпусе SLP размерами 1,5×1×0,5 мм и шагом выводов 0,5 мм. Пример его применения показан на рис. 5.

Супрессоры серий TransClamp и LC (табл. 3) предназначены для защиты схем от воздействий повышенной мощности. Малогабаритные устройства, выпускаемые в корпусах для планарного монтажа и способные поглотить выбросы мощностью до 2500 Вт, выгодно отличаются минимальной разницей рабочего напряжения и напряжения ограничения и обладают низким собственным током утечки (от 0,1 мкА). Приборы, рассчитанные на функционирование в цепях с рабочими напряжениями 2,5 и 3,3 В, выполнены с применением собственной технологии EPD (Enhanced Punch-Through).

Двухканальные устройства TransClamp служат для защиты от перенапряжений высокоскоростных интерфейсов передачи

данных, к основным областям применения относятся: оборудование сетей T1/E1, T3/E3, 10/100 Ethernet, ISDN, WAN и xDSL. Изготавливаются они преимущественно на основе мостовой конфигурации, позволяющей оптимальным образом обеспечить нормальное функционирование дифференциальных линий связи. На рис. 6 изображен пример подключения ИС TClamp3302N [6].

Принцип работы прост. Корректирующий всплески диодный мост, составленный из компенсационных диодов, направляет входящий ток через TVS-диод. Использование данного подхода позволяет защитить схему как от помех общего вида, так и от помех при дифференциальном включении. Встроенные супрессоры выдерживают импульсы с током 20–120 А и соотношением длительностей фронта/спада, равным 8/20 мкс, обеспечивая тем самым соответствие требованиям стандартов IEC.

Для аналогичных целей и применений позиционируются защитные микросхемы серии LC. Помимо мостовой конфигурации, при их изготовлении применяется вариант, представленный на рис. 7. Доступные устройства имеют высокую перегрузочную способность по току и включают 2–4 пары элементов TVS + выпрямитель, соединенных последовательно. Две пары, объединенные встречно-параллельно, гарантируют, что в условиях переходного процесса компенсационный диод не перейдет в обратное смещение.

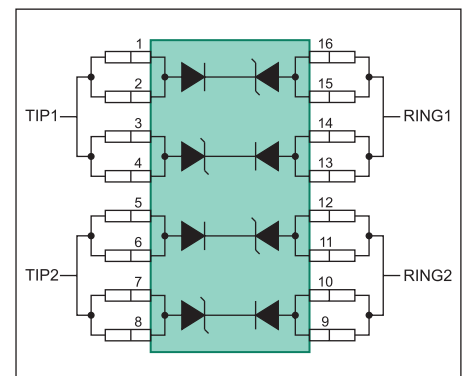


Рис. 7. Внутренняя структура и вариант схемы включения защитной ИС LC04-6

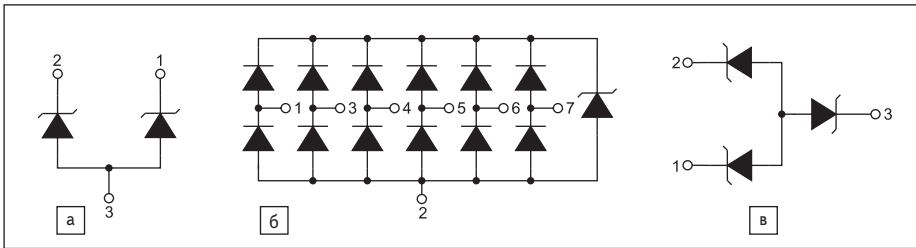


Рис. 8. Внутренняя структура отдельных защитных устройств серии RailClamp: а) RClamp0502BA; б) RClamp3346P; в) RClamp0552T

В высокоскоростных применениях необходимо учитывать паразитную емкость, вносимую диодами и оказывающую влияние на передаваемый сигнал, вызывая его затухание, задержку, отражение или закругление фронтов, затрудняющее прием данных. Для сохранения качества сигналов в подобных системах необходимо использовать защитные устройства с чрезвычайно низкой емкостью и малыми токами утечки. Компания Semtech предлагает для данных целей устройства серии RailClamp — самой обширной по количеству компонентов и предназначенной практически для любых телекоммуникационных приложений. Ее главное отличие — высокая степень защиты от электростатических разрядов при чрезвычайно низком уровне собственной емкости, не превышающем у ряда устройств 0,15 пФ. Это позволяет включать приборы RailClamp в цепи с рабочими частотами до 3 ГГц и успешно защищать USB (версий 2.0, 3.0 и 3.1), MHL/MDDI, LVDS, HDMI 1.3/1.4, DVI, 1000BASE-T, 100BASE-T, xDSL и другие распространенные технологии, а также мультимедийные порты дисплеев, антенны и карты памяти. Серия RailClamp включает как одиночные TVS-диоды (дву-

направленные), так и сборки на их основе. Для наглядности на рис. 8 представлены типовые схемы внутренних соединений некоторых приборов защиты RailClamp.

Рабочее напряжение и количество каналов изделия можно легко узнать из наименования — для этого необходимо обратить внимание на первые две и последнюю цифры соответственно. Например, микросхема RClamp3346P предназначена для применения в цепях 3,3 В и способна обеспечить защиту до шести логических линий связи. Несмотря на все многообразие моделей, доступный ряд рабочих напряжений ограничен значениями: 2,5; 3,3; 3,5; 5; 6,5; 8; 12; 15 и 24 В. Буква Q в конце наименования компонента означает соответствие требованиям стандарта AEC-Q100 и возможность использования в автомобильных устройствах. Корпусное исполнение определяется максимальной поглощаемой мощностью, все приборы выпускаются в корпусах для поверхностного монтажа — как в стандартных SOT-23, SC-70, SO-8 и других, так и в запатентованных безвыводных SLP (рис. 9).

В качестве одного из примеров применения можно рассмотреть использование ИС RClamp0524PA, рекомендуемой для защиты

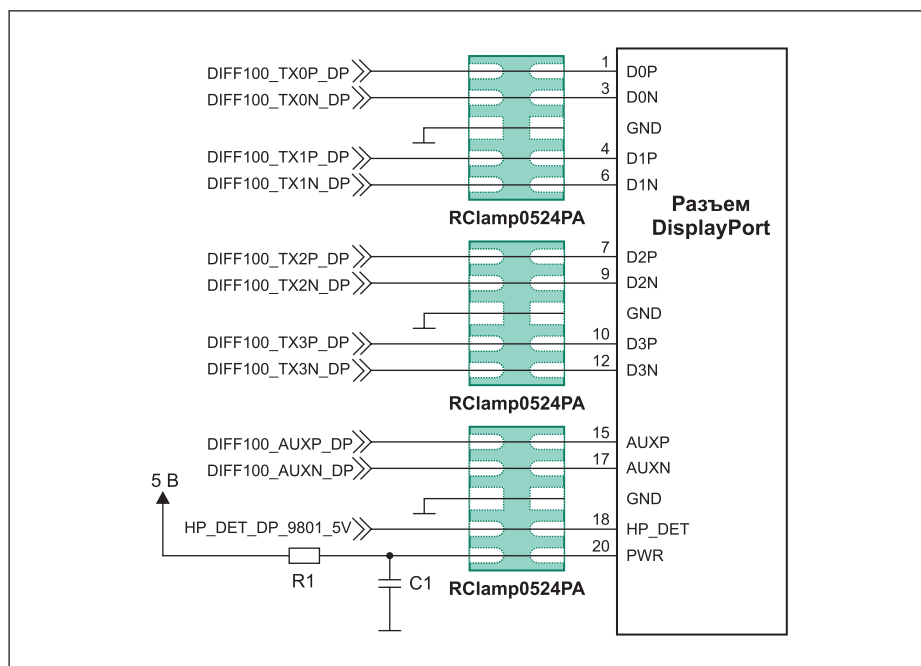


Рис. 10. Применение ИС RClamp0524PA для ESD-защиты интерфейса DisplayPort

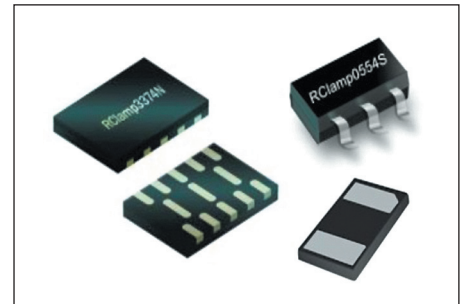


Рис. 9. Внешний вид типовых корпусов, используемых при производстве устройств серии RailClamp

дифференциальных линий DisplayPort — интерфейса связи с ЖК-дисплеями. На рис. 10 представлена типовая схема подключения устройств RClamp0524PA [7].

Для сертификации любого разрабатываемого устройства, содержащего данный интерфейс, необходимо протестировать как источник, так и приемник цифрового сигнала согласно методам, изложенным в DisplayPort CTS (Compliance Test Specification). Одним из основных тестов является измерение отраженного сигнала с помощью временного рефлектометра. В соответствии с требованиями к величине отраженного сигнала, номинальное значение дифференциального сопротивления сигнальных линий для устройства-приемника должно быть на уровне 100 Ом ±15% при времени нарастания тестового сигнала не более 200 пс. Для выполнения таких требований подключаемое устройство электростатической защиты должно иметь как можно меньшее значение емкости (не более 0,5 пФ). Ограничитель напряжения RClamp0524PA удовлетворяет указанным требованиям, его максимальная емкость составляет всего 0,3 пФ, напряжение питания — 5 В, а миниатюрный 10-выводной корпус не вносит дополнительных паразитных индуктивностей. На рис. 11 показаны результаты измерений сигналов дифференциальных линий с подключенным ограничителем пере-

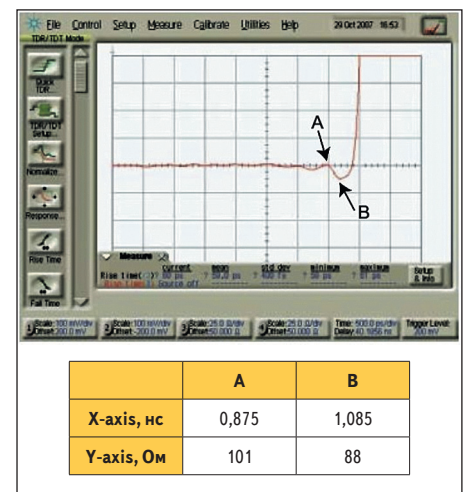


Рис. 11. Результаты измерения динамического рефлектометра

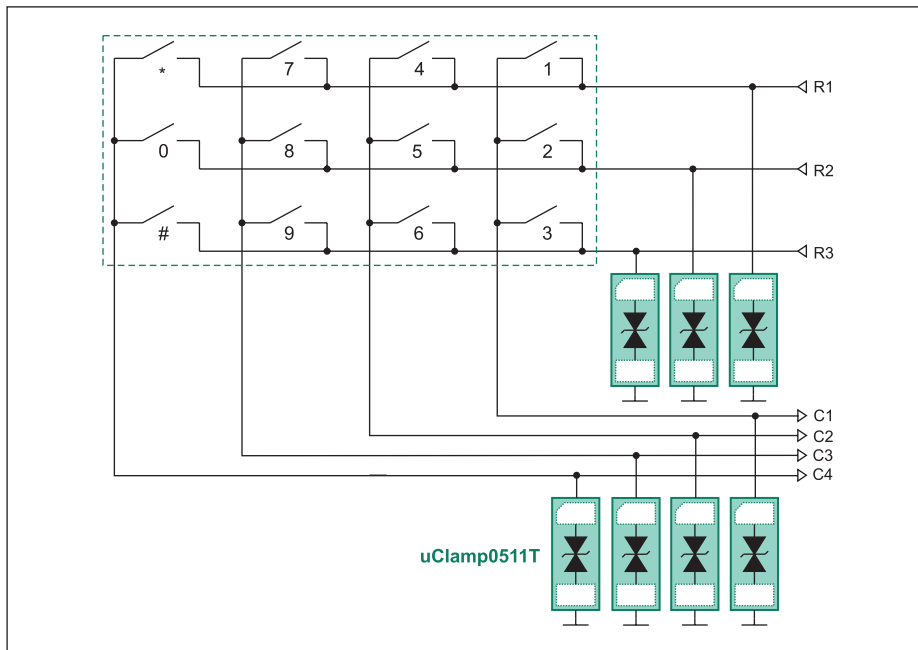


Рис. 12. Применение супрессоров uClamp0511T для ESD-защиты клавиатуры

ходных процессов RClamp0524PA. Из рисунка видно, что требования по дифференциальному сопротивлению линий ( $100 \text{ Ом} \pm 15\%$ ) для HDMI-устройства приемника в этом случае выполняются.

Следует отметить сквозную топологию выводов, позволяющую добавлять устройства защиты в разрыв линии данных и упрощающую конструирование печатной платы. Все линии данных входят в корпус с одной стороны и проходят насквозь, не требуя изгиба или трассировки проводников, которые могут вызвать изменение импеданса линии и снизить качество сигнала.

Серия MicroClamp, как следует из названия, содержит миниатюрные устройства защиты, применяемые в портативных устройствах, критичных к габаритам электронных

компонентов. Состоит она преимущественно из одиночных симметричных и несимметричных TVS-диодов, а также из наборов супрессоров, включенных по схеме с общим анодом и обеспечивающих защиту до восьми линий. Данные изделия удовлетворяют промышленным стандартам по защите от ESD (IEC 61000-4-2)  $\pm 15 \text{ кВ}$  при действии через воздушный зазор и  $\pm 8 \text{ кВ}$  при непосредственном контакте. Размеры корпусов минимально возможные, от  $1 \times 0,6 \times 0,5 \text{ мм}$ , основные сферы применения — защита клавиатур и карт памяти (рис. 12). Среди новинок серии необходимо отметить однонаправленные устройства uClampxx61P, отличающиеся повышенной до 1500 Вт пиковой мощностью, рабочим напряжением в диапазоне 5–40 В и током утечки не более 0,2 мкА.

## Заключение

Использование TVS-устройств защиты позволяет избежать негативных последствий скачков напряжения, вызванных грозовыми, электростатическими разрядами и другими причинами. Компания Semtech выпускает широкую номенклатуру защитных устройств для самых разнообразных применений, многообразие выбора позволяет разработчикам применить оптимальные приборы для каждого конкретного приложения. Минимальные габариты, высокие уровни поглощаемой мощности, низкая собственная емкость, не оказывающая влияния на защищаемые цепи, — очевидные причины обратить внимание на продукцию Semtech. ■

## Литература

1. Охрименко В. Ограничители напряжения: TVS-диоды Littelfuse // Электронные компоненты. 2016. № 3.
2. Russell B., Puls T. Off-chip ESD Protection Anticipates IC Scaling // EE-Times Asia. August 2007.
3. TVS solutions selector. Guide 2016. [www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/TVS-SG.pdf](http://www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/TVS-SG.pdf)
4. EClamp2357NQ: EMI filter and ESD protection for Secure Digital Card interfaces. Datasheet. June 2013. [www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=eclamp2357nq.pdf](http://www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=eclamp2357nq.pdf)
5. EClamp2422N: ESD/EMI protection for audio interfaces. Datasheet. November 2007. [www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=eclamp2422n.pdf](http://www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=eclamp2422n.pdf)
6. Protection design guide for telecom & networking interfaces 2011. [www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/telecom-tvs-design-guide-us.pdf](http://www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/telecom-tvs-design-guide-us.pdf)
7. RClamp0524PA: Ultra low capacitance TVS arrays. Datasheet, 2011. [www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=rclamp0522p\\_0524pa.pdf](http://www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file=rclamp0522p_0524pa.pdf)