

# Кремниевые сборки SPA производства Littelfuse для защиты чувствительной электроники

Вячеслав ГАВРИКОВ

**Семейство защитных кремниевых сборок SPA (Silicon Protection Arrays) от Littelfuse разработано для надежного предохранения чувствительных электронных компонентов от различного рода перенапряжений и разрядов. В целом ряде случаев применение SPA будет более оптимальным решением, чем использование отдельных TVS-диодов или варисторов.**

Мощные выбросы напряжения представляют серьезную опасность для электронных компонентов. Существует множество источников этих импульсов, но к числу наиболее распространенных принадлежат статические разряды, молнии, броски при коммутации индуктивной нагрузки, различные электромагнитные помехи (табл. 1) [1].

Приведенные перенапряжения отличаются мощностью и длительностью, и все они чрезвычайно опасны для электронных устройств. Это становится очевидным при сравнении амплитуды импульсов и диапазонов рабочих напряжений компонентов (табл. 2) [1].

Таким образом, при проектировании устройств с использованием вышеуказанных полупроводников следует большое внимание уделять проблемам обеспечения безопас-

ности. Существует два подхода к решению данной задачи: применение компонентов со встроенной защитой или внешних защитных элементов.

## Методы защиты электронных компонентов

В настоящее время для обеспечения требуемой надежности предназначены компоненты со встроенной защитой или дополнительные внешние защитные элементы. В особо критичных приложениях предполагается комбинация обоих методов.

Уровень встроенной защиты подтверждается при тестировании на соответствие нормативным документам. Среди производителей электронных компонентов наиболее часто применяется MIL-STD-883 и его метод проверки с помощью модели человеческого тела НВМ (Human Body Model). Этот документ устанавливает четыре основных уровня устойчивости компонентов к статическим разрядам ( $\pm 0,5$  кВ/0,33 А;  $\pm 1$  кВ/0,67 А;  $\pm 2$  кВ/1,33 А;  $\pm 4$  кВ/2,67 А).

Изготовители электронного оборудования чаще обращаются к другому стандарту — МЭК 61000-4-2 (в России адаптирован в виде ГОСТ Р 51317.4.2). Он определяет регламенты не к отдельным компонентам, а к системе в целом и предусматривает гораздо более

жесткие тестовые воздействия:  $\pm 2$  кВ/7,5 А;  $\pm 4$  кВ/15 А;  $\pm 6$  кВ/22,5 А;  $\pm 8$  кВ/30 А. Вполне очевидно, что выдерживать такие импульсы под силу далеко не всем электронным компонентам.

Во многих случаях выполнение норм МЭК 61000-4-2 требует наличия дополнительной внешней защиты.

## Обзор внешних защитных компонентов

Один из лидеров рынка, компания Littelfuse, выпускает весь спектр компонентов защиты от перенапряжений: газоразрядные лампы, защитные тиристоры SIDACtor, варисторы (MOV и MLV), TVS-диоды, SPA-сборки (Silicon Protection Arrays), PulseGuard ESD-супрессоры. Для чувствительных низковольтных и портативных устройств (сотовые телефоны, планшеты, смартфоны, видеокамеры, фотоаппараты, медицинские и измерительные приборы и т. д.) наиболее подходящими из перечисленных являются MLV-варисторы, SPA-сборки и PulseGuard ESD-супрессоры. Каждый из этих компонентов имеет оптимальные области применения (табл. 3).

При выборе конкретного типа защитных компонентов следует учитывать их основные достоинства.

Таблица 1. Источники мощных перенапряжений

Тип воздействия	Напряжение	Ток	Время нарастания	Длительность
Молнии	25 кВ	20 кА	10 мкс	1 мс
Переключения	600 В	500 А	50 мкс	500 мс
Электромагнитные помехи	1 кВ	10 А	20 нс	1 мс
Электростатические разряды	8 кВ	30 А	<1 нс	100 нс

Таблица 2. Диапазоны рабочих напряжений для различных полупроводниковых технологий

Тип элемента	Допустимое напряжение, В
VMOS	30–1800
MOSFET	100–200
GaAsFET	100–300
EPROM	100
JFET	140–7000
CMOS	250–3000
Диоды Шоттки	300–2500
Биполярные транзисторы	380–7000
Тиристоры	680–1000

Таблица 3. Особенности и сферы применения различных защитных компонентов

Технология	Скорость передачи данных	$U_{лик}/U_{огр}$ (В кВ)	Корпусное исполнение дискретных элементов	Корпусное исполнение сборок	Области применения	Преимущества
MLV (многослойные варисторы)	< 125 Мбит/с	хорошо	0402; 0603; 0805; 1206	1206	Клавиатуры, кнопки, аудиолинии, линии аналогового видео, USB 1.1, RS-232	Низкая стоимость, компактность
SPA (кремниевые защитные сборки)	0–5 Гбит/с	отлично	SOD723	SOT-23; SC-70; SOT-553; SOT-563; SOT-953; MSOP-8; MSOP-10; $\mu$ DFN	Клавиатуры, кнопки, аудиолинии, линии аналогового видео, USB 1.1, USB 2.0, FireWire 1394, HDMI, Ethernet, MMC, ЖК	Низкие значения напряжения срабатывания
PulseGuard ESD-супрессоры	0,1–5 Гбит/с	хорошо	0402; 0603	SOT-23	USB 2.0, FireWire 1394, HDMI, RF-антенны	Малая емкость

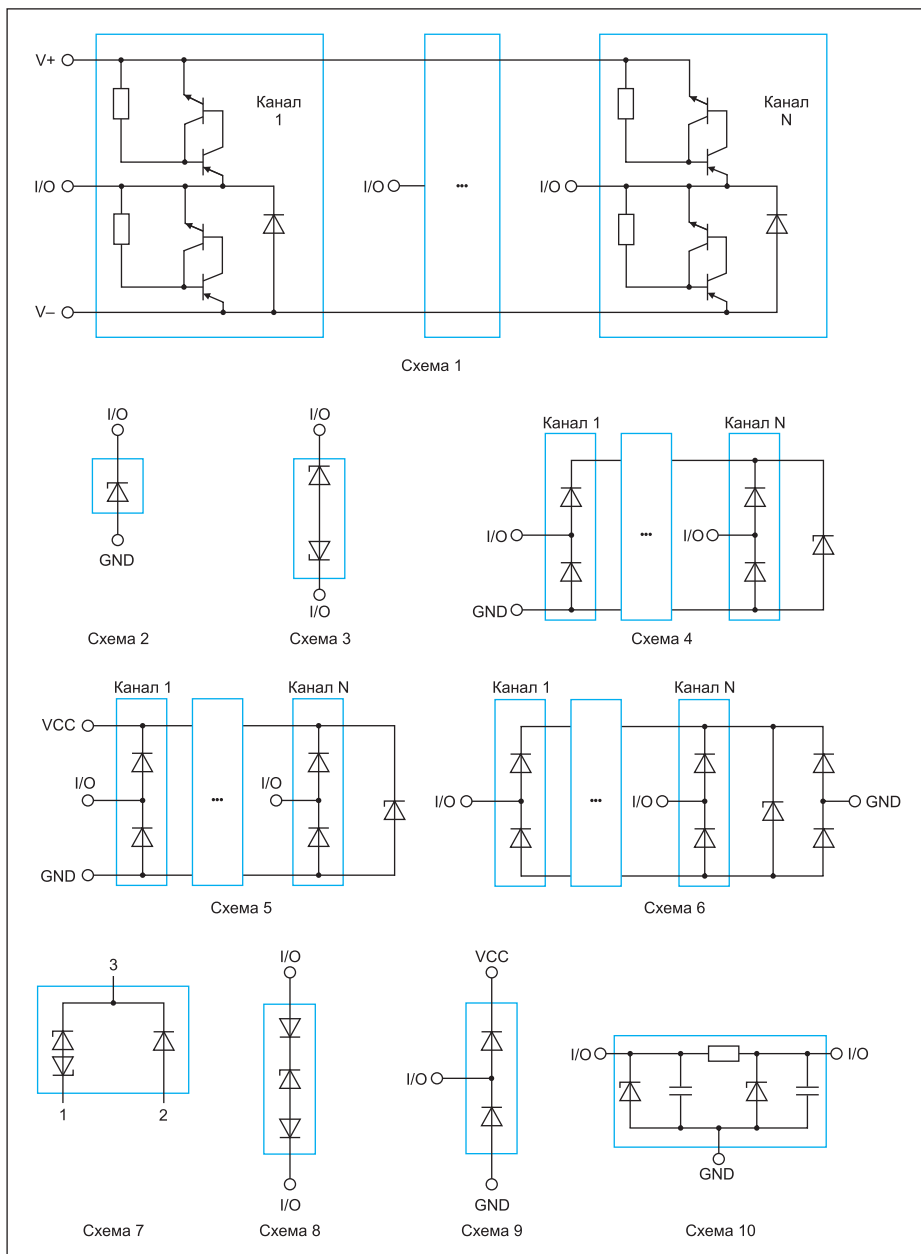


Рис. 1. Схемы защитных SPA-сборок от Littelfuse

PulseGuard ESD-супрессоры используются только для защиты от статики высокочастотных линий и интерфейсов (вплоть до СВЧ), чувствительных к емкости защитных элементов.

MLV-варисторы способны защищать от самых мощных импульсов. Они обладают высокими рабочими напряжениями и большой собственной емкостью, что ограничивает их применение в низковольтных высокочастотных приложениях. В то же время именно эти особенности востребованы для защиты цепей питания, линий ввода/вывода и т. д.

SPA-сборки имеют наименьшие значения напряжений ограничения, малую емкость (0,65–30 пФ), малые токи утечки (0,02–10 мкА) и габариты. Это делает их идеальным выбором для низковольтной портатив-

ной электроники, компактной измерительной и компьютерной техники.

**Общая характеристика и основные параметры SPA-сборок от Littelfuse**

Семейство кремниевыхборок SPA (Silicon Protection Arrays) от Littelfuse предназначено для защиты чувствительной электроники от электростатических разрядов (ESD) и электромагнитных помех различной природы (EMI). Данные компоненты позволяют обеспечить безопасность и выполнить требования МЭК 61000-4-2 при наличии наиболее мощных негативных воздействий.

Семейство SPA-сборок не является однородным (рис. 1). Его представители отличаются разнообразием реализации внутренней

структуры — от простейших TVS-диодов до комбинированных схем [1].

Вполне очевидно, что приведенные схемы будут отличаться по принципу действия. Тем не менее для их характеристики можно использовать схожие рабочие параметры при наличии ряда оговорок.

**Напряжение питания (Operating Voltage Range)**

Данный параметр явно выражен лишь для некоторых схем (рис. 1, схемы 1, 5, 7, 9).

Для этих структур величина напряжения питания определяет другой важный параметр — напряжение ограничения. При возникновении перенапряжения на защищаемой линии происходит сброс мощности на линии питания (V<sub>CC</sub> или GND) за счет защитных диодов (схемы 5, 7, 9) или транзисторных каскадов (схема 1).

Максимальная величина напряжения питания для схем 5 и 7 ограничена напряжением пробоя встроенного TVS.

**Напряжение ограничения (Clamping Voltage)**

Определяется для различных схем по-разному.

Как было сказано выше, для схем 1, 5, 7, 9 напряжение ограничения определяется величиной напряжения питания. Для остальных схем (схемы 2, 3, 4, 6, 8, 10) оно совпадает с величиной напряжения ограничения встроенного TVS-диода. При наличии помехи TVS-диод открывается и ограничивает амплитуду импульса.

Для схем 5 и 7 встроенный TVS защищает от перенапряжений по линии питания.

Величина напряжения ограничения приводится для конкретного значения тока.

**Рабочее напряжение (Reverse Standoff Voltage или Reverse Working Maximum)**

Базовый параметр при выборе защитной сборки, его определение зависит от типа выбранной схемы.

Для схем 1, 5, 7, 9 рабочее напряжение не может превышать напряжение питания. А для схем 2, 3, 4, 6, 8, 10 не должно превышать постоянное обратное напряжение TVS-диода (Stand-off Voltage).

**Допустимый импульсный ток (Peak Pulse Current)**

Данный параметр необходим для установления соответствия требованиям МЭК 61000-4-2. По этой причине он, как правило, определяется для заданного типа импульсом 8/20 мкс.

**Ток утечки (Reverse Leakage Current)**

Характеризует ток утечки каналов SPA-сборки, находящейся в выключенном состоянии. Величина тока утечки чрезвычайно важна для высокоомных измерительных цепей.



(USB 2.0, USB 3.0, Ethernet, HDMI и т. д.). Для таких линий наличие низкой собственной емкости является обязательным условием. Диапазон емкостей различных представителей данной группы начинается от 0,4 пФ и не превышает 0,85 пФ (табл. 7).

Схемные реализации разнообразны — от отдельных TVS (SP3030/1) до сложных комплексных сборок (SP3010/11).

Рейтинг защиты по IEC 61000-4-2 для этой группы составляет от 8 до 20 кВ.

**SPA-сборки с повышенной мощностью для защиты от молний (Lightning Surge Protection)**

Эти сборки предназначены для сверхнизких рабочих напряжений (от 2,5 В) в условиях возможных мощных разрядов. Основные приложения для данной группы: порты ввода/вывода, интерфейсы Ethernet и телекоммуникационное оборудование.

Применяемые схемные решения достаточно разнообразны, но все SPA этой группы имеют общую черту — возможность обеспечения защиты даже от импульсов 30 кВ (табл. 8), что предоставляет возможность обезопасить оборудование даже от молний. Однако относительно большая емкость не позволяет применять их в сверхбыстродействующих интерфейсах.

**SESD-сборки**

Весьма специфичный класс защитных устройств, разработанный специально для самых скоростных интерфейсов (USB 2.0, USB 3.0, Ethernet, HDMI). Собственная емкость данных элементов в несколько раз меньше, даже чем у рассмотренной выше группы Low Capacitance ESD Protection. При этом рейтинг защиты у них выше и начинается от 20 кВ (табл. 9).

С точки зрения схемной реализации группа представляет собой одно- или двунаправленные TVS с числом каналов от одного до четырех.

**SPA с дополнительным низкочастотным фильтром (ESD Protection и EMI Filters)**

Помимо защиты от разрядов, данный класс устройств имеет дополнительный НЧ-фильтр (рис. 1, схема 10).

Спектр приложений ограничен низкочастотными приложениями (клавиатуры, линии питания, порты ввода/вывода, интерфейсы для ЖК). Использование в быстродействующих цепях ограничено вследствие большой собственной емкости (табл. 10).

Наличие специализации и разбиения на группы позволяет сократить время при выборе подходящего защитного компонента.

**Выбор и применение SPA-сборок**

Выбор оптимальной SPA-сборки можно formalизовать в виде нескольких шагов.

Таблица 7. SPA-сборки с малой емкостью

Серия	Корпус	Рабочее напряжение, В	Емкость, пФ	Число каналов	Рейтинг (Contact Discharge, IEC61000-4-2), кВ	Напряжение ограничения (8/20 мкс), В	Максимальный ток (8/20 мкс), А	Схема
SP3001	SC-70	6	0,65	4	8	9,5 (при 1 А)	2,5	схема 5
SP3002 SP0504S	SC-70, SOT-23, μDFN-6, SOT-23	6	0,85	4	12	9,5 (при 1 А)	4,5	схема 5
SP3003	μDFN-6, SC-70, SOT-5×3, MSOP-10	6	0,65	2/4/8	8	10 (при 1 А)	2,5	схемы 4, 5
SP3004	SOT-563	6	0,85	4	12	10 (при 1 А)	4	схема 5
SP3010	μDFN-10	6	0,45	4	12	10,8 (при 1 А)	3	схема 6
SP3011	μDFN-14	6	0,4	6	8	11 (при 1 А)	3	схема 6
SP3012	μDFN-10, μDFN-14	5	0,5	4/6	12	6,6 (при 1 А)	4	схема 4
SP0524P	μDFN-10	5	0,5	4	12	6,6 (при 1 А)	4	схема 4
SP3021	0402 (SOD-882)	5	0,5	1	8	13,1 (при 1 А)	2	схема 3
SP3030	0402 (SOD-882)	5	0,5	1	20	9,2 (при 1 А)	3	схема 2
SP3031	0402 (SOD-882)	5	0,8	1	10	6,9 (при 1 А)	5	схема 2

Таблица 8. SPA-сборки для защиты от молний

Серия	Корпус	Рабочее напряжение, В	Емкость, пФ	Число каналов	Рейтинг (Contact Discharge, IEC61000-4-2), кВ	Напряжение ограничения (8/20 мкс), В	Максимальный ток (8/20 мкс), А	Схема
SRV05	SOT-23	6	2,4	4	20	11,5 (при 5 А)	10	схема 5
SP4060	MSOP	2,5	4,4	8	30	8 (при 10 А)	20	схема 4
SP2504N	μDFN-10	2,5	3,5	4	30	6,3 (при 5 А)	20	схема 5
SP3304N	μDFN-10	3,3	3,5	4	30	7 (при 5 А)	20	схема 5
SLVU2.8	SOT-23	2,8	2	1	30	13,9 (при 24 А)	40	схема 7
SLVU2.8-4	SOIC	2,8	2	4	30	13,9 (при 24 А)	40	схема 8
SR70	SOT-143	70	2	2	30	12 (при 30 А)	40	схема 9
SP2502L	SOIC	3,3	5	2	30	20 (при 75 А)	75	схема 4
LC03-3.3	SOIC	3,3	9	2	30	17 (при 100 А)	150	схема 4
SP03-3.3	SOIC	3,3	16	2	30	15 (при 100 А)	150	схема 4
SP03-6	SOIC	6	16	2	30	20 (при 100 А)	150	схема 4
SRDA05	SOIC-8	5	8	4	30	9,2 (при 1 А)	30	схема 5
SR05	SOT-143	5	8	2	30	9,8 (при 1 А)	25	схема 5

Таблица 9. Сверхбыстродействующие SPA-сборки

Серия	Корпус	Рабочее напряжение, В	Емкость, пФ	Число каналов	Рейтинг (Contact Discharge, IEC61000-4-2), кВ	Напряжение ограничения (8/20 мкс), В	Максимальный ток (8/20 мкс), А	Схема
SESD Enhanced Arrays	1004 DFN 0402 DFN	7	0,3	2/4	22	13 (при 2,2 А)	2,2	схема 2
SESD Discrete TVS	0201DFN 0402 DFN	7	0,3	1	22	13 (при 2,5 А)	2,5	схема 2, 3
SESD Ultra Low Capacitance Diode Arrays	0802 DFN 0402 DFN	7	0,2	2/4	20	9,2 (при 2 А)	2	схема 2
SESD Ultra Low Capacitance Discrete TVS	0201DFN 0402 DFN	7	0,2	1	20	9,2 (при 2 А)	2	схема 2, 3

Таблица 10. SPA с дополнительным низкочастотным фильтром

Серия	Корпус	Рабочее напряжение, В	Емкость, пФ	Число каналов	Рейтинг (Contact Discharge, IEC61000-4-2), кВ	Ослабление, дБ	Схема
SP6001	μDFN-8; μDFN-12; μDFN-16	6	24	4/6/8	30	>−30(1 ГГц)	схема 10
SP6001	μDFN-8; μDFN-12	6	30	4/6	30	>−30(1 ГГц)	схема 10
SP6001	μDFN-8; μDFN-12	6	14	4/6	15	>−20(1 ГГц)	схема 10

- Шаг 1. Определение специализации защитного элемента в соответствии с требованиями конкретного приложения. В этом поможет таблица 4. Для защиты сверхбыстродействующих цепей выбирают SESD- или сборки с низкой собственной емкостью. Для защиты низкочастотных цепей и линий питания логично использовать сборки общего назначения. Для устройств, работающих в жестких условиях, подойдут SPA с увеличенной мощностью защиты.
- Шаг 2. Выбор подходящих SPA с учетом величины рабочего напряжения. Допустимый уровень напряжения защи-

щаемой линии не должен превышать величину рабочего напряжения SPA.

- Шаг 3. Проверка уровня напряжения ограничения выбранного SPA. Оно не должно превышать максимально допустимого напряжения защищаемого электронного компонента.
- Шаг 4. Проверка выполнения требований по оставшимся параметрам (ток утечки и т. д.).

Необходимо отметить, что при необходимости защиты стандартных интерфейсов следует использовать готовые решения и схемы включения. Для этого нужно обратиться к руководству по применению SPA [3].

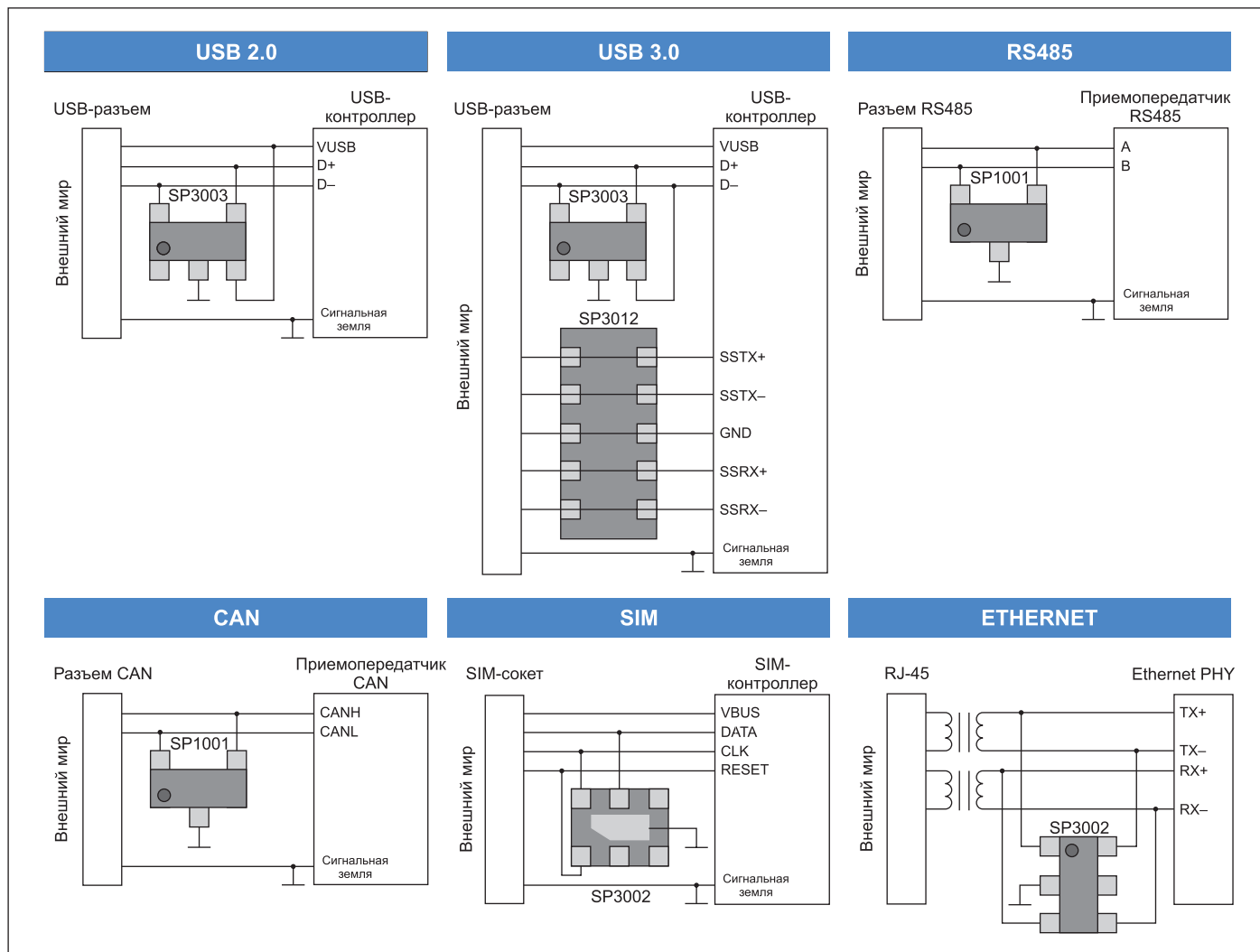


Рис. 2. Готовые решения по защите стандартных интерфейсов

В качестве примера можно рассмотреть стандартные решения для наиболее популярных интерфейсов: USB 3.0/USB 2.0/RS-485/CAN/SIM/Ethernet (рис. 2). Преимуществами использования готовых решений являются сокращение времени на разработку, защита от возможных ошибок при проектировании, получение оптимального значения цены/площади/степени защиты.

### Заключение

Защитные кремниевые сборки SPA от Littelfuse способны надежно защитить чувствительные компоненты от разрядов и мощных помех. Они являются достойной альтернативой для обычных TVS-диодов и варисторов.

Портфолио SPA-сборок Littelfuse оптимизировано для вполне конкретных

приложений и разбито на пять основных групп:

- SPA общего назначения для низкочастотных линий и цепей питания (General Purpose ESD Protection);
- SPA с низкой входной емкостью от 0,4 пФ для быстродействующих цепей (Low Capacitance ESD Protection);
- SPA с повышенной мощностью для защиты от разрядов до 30 кВ (Lightning Surge Protection);
- SESD-защита с емкостью от 0,2 пФ для наиболее быстродействующих приложений;
- SPA с дополнительным низкочастотным фильтром (ESD Protection and EMI Filters). ■

### Литература

1. TVS Diode Array. Transient Voltage Suppression SPA Diode. Product catalog & design guide. Littelfuse, 2013.
2. ESD Protection Products Brochure. Littelfuse, 2012.
3. ESD Suppression Protection Design Guide. Littelfuse, 2009.
4. Документация на компоненты взята с официального сайта Littelfuse. [www.littelfuse.com](http://www.littelfuse.com)