

# Электронные компоненты компании ON Semiconductor для защиты электрических цепей от импульсного перенапряжения

**В реальных условиях эксплуатации электронной аппаратуры в ее цепях могут возникать различные виды электрических перегрузок, наиболее опасными из которых являются перегрузки по напряжению. Они могут создаваться внешними электромагнитными импульсами как естественного происхождения (например, за счет мощных грозовых разрядов), так и искусственного (излучение высоковольтных линий электропередач, передающих устройств радиостанций, сетей электрифицированных железных дорог и т. п.), а также электромагнитными импульсами, возникающими за счет внутренних переходных процессов в аппаратуре и статического электричества. Для предотвращения воздействия указанных факторов на отдельные блоки и цепи аппаратуры необходимо принимать ряд специальных мер защиты.**

**В статье рассматриваются электронные компоненты, предлагаемые компанией ON Semiconductor, для защиты цепей электронной аппаратуры от импульсного перенапряжения.**

Ирина РОМАДИНА

## Причины возникновения импульсных помех высокого напряжения

Под перенапряжением будем понимать напряжение, прикладываемое к электрической цепи прибора, уровень которого превышает предельные значения, указанные в нормативном документе (стандарте, технических условиях и т. п.), в результате чего возможна полная или частичная потеря работоспособности прибора в течение определенного периода времени.

Основными причинами возникновения импульсных помех высокого напряжения являются:

- молнии, возникающие при грозе;
- переходные процессы при переключении;
- электростатический разряд;
- неисправное оборудование.

Грозовые разряды (молнии) несут в себе токи порядка сотен тысяч ампер. При ударе молнии в атмосфере создается канал ионизированного воздуха, по которому происходит разряд. Длительность импульса может достигать 1–500 мкс, а напряжение — порядка сотен кВ. Как правило, около 90% энергии отводится внешними громоотводами, а 10% попадает в электрические цепи здания, что может повлиять на электрические или электронные приборы, как прямым

воздействием тока, так и через наведенные потенциалы.

Переходные процессы при переключении встречаются в реальной жизни намного чаще, чем разряды молний. Например, в обычной сети электропитания переменного тока при переключении силовых приборов или короткого замыкания возникает очень быстрое изменение тока со временем нарастания фронта импульса менее единиц микросекунд. В системах с реактивной нагрузкой это вызывает переходные процессы, ведущие к возникновению перенапряжения в виде высокочастотных колебаний или высоковольтных пиков напряжения.

Электростатический разряд (ESD) возникает при освобождении заряда, накопленного при трении. Заряд может достигать десятков тысяч вольт. Такой импульс может вывести из строя, например, электронную микросхему при ее пайке, если монтажник не надел на руку заземляющий браслет.

Для защиты цепей оборудования от воздействия электрических перегрузок могут использоваться разнообразные методы, основными из которых являются: конструкционные, структурно-функциональные и схемотехнические [1]. Схемотехнические методы подразумевают применение в проектируемом устройстве специальных электронных компонентов, защищающих устройство

(и его составные части) от импульсного перенапряжения.

Электронные компоненты, защищающие электрические цепи от перенапряжения

Для защиты цепей от импульсного перенапряжения используются следующие основные типы электронных компонентов:

- газоразрядные ограничители напряжения или разрядники (англоязычные термины — Gas Discharge Tube или Gas Surge Arrester);
- металлооксидные варисторы (Metal Oxide Varistor);
- TVS-диоды (Transient Voltage Suppressor — ограничитель переходного напряжения);
- TVS-тиристоры (компания ON Semiconductor использует термин TSPD — Thyristor Surge Protection Device).

TVS-диоды в отечественной литературе часто назывались полупроводниковыми ограничителями напряжения [2]. Но поскольку мы рассматриваем продукцию компании ON Semiconductor, то будем использовать термин «TVS-диоды», общепринятый для англоязычной литературы.

В таблице 1 приведены достоинства, недостатки и оптимальные сферы применения этих типов электронных компонентов.

Компания ON Semiconductor из приведенных типов электронных компонентов производит TVS-диоды и TVS-тиристоры.

Таблица 1. Сравнение электронных компонентов защиты электрических цепей от импульсного перенапряжения

Электронный компонент	Преимущества	Недостатки	Применение
Разрядник	Высокое значение допустимого тока. Низкая емкость. Высокое сопротивление изоляции	Высокое напряжение возникновения разряда. Низкая долговечность и надежность. Значительное время срабатывания. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первая ступень комбинированной защиты (от разрядов молнии). Первичная защита силовых и телекоммуникационных цепей
Варистор	Высокое значение допустимого тока. Низкая цена. Широкий диапазон рабочих токов и напряжений	Ограниченный срок службы. Высокое напряжение ограничения. Высокая собственная емкость	Первая и вторая (внешние импульсные помехи искусственного происхождения) ступени комбинированной защиты. Защита силовых и телекоммуникационных цепей. Защита электронных компонентов непосредственно на печатной плате
TVS-диод	Низкие уровни напряжения ограничения. Высокая долговечность и надежность. Широкий диапазон рабочих напряжений. Высокое быстродействие. Низкая собственная емкость	Низкое значение номинального импульсного тока. Относительно высокая стоимость.	Вторая и третья (защита цепей конечных нагрузок) ступени комбинированной защиты. Защита электронных компонентов непосредственно на печатной плате
TVS-тиристор	Не подвержен деградации. Высокое быстродействие. Высокий управляющий ток	Ограниченный диапазон рабочих напряжений. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первая и вторая ступени комбинированной защиты

### Полупроводниковые TVS-диоды

Полупроводниковые TVS-диоды — это полупроводниковые приборы с резко выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой (ВАХ), подавляющие импульсные электрические перенапряжения, амплитуда которых превышает напряжения лавинного пробоя диода.

В нормальном рабочем режиме (напряжение не превышает значения  $U_{обр}$ ) ток через TVS-диод не протекает. Диод, фактически, эквивалентен разрыву цепи, то есть не влияет на работу защищаемой цепи до момента возникновения импульса перенапряжения. Во время действия импульса перенапряжения TVS-диод ограничивает выброс напряжения до безопасного значения, в то время как опасный ток протекает через диод на «землю», минуя защищаемую цепь. Принцип работы TVS-диода показан на рис. 1.

Вольт-амперные характеристики униполярного (несимметричного) и биполярного (симметричного) TVS-диодов приведены на рис. 2 и 3.

TVS-диод обладает высоким быстродействием, в отличие от газоразрядных ограничителей (разрядников), которые из-за значительного времени срабатывания (более 0,15 мкс) не решают проблемы защиты многих полупроводниковых приборов и микросхем, поскольку для них недопустимы начальные выбросы напряжения, пропускаемые разрядниками.

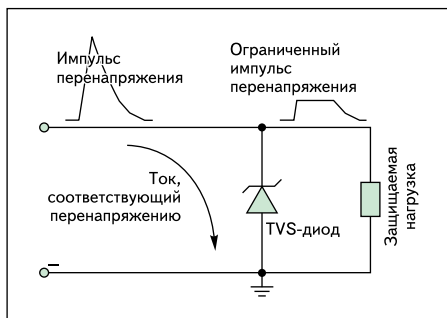


Рис. 1. Принцип работы TVS-диода

Преимуществом TVS-диодов перед разрядниками является также то, что напряжение пробоя у них ниже напряжения ограничения (у разрядников оно значительно выше напряжения поддержания разряда). Поэтому при их применении защищаемые ими цепи не шунтируются после прохождения импульса тока переходного процесса, как это имеет место у разрядников.

Время срабатывания у несимметричных TVS-диодов — менее  $10^{-12}$  с, а у симметричных — менее  $5 \times 10^{-9}$  с. Это позволяет использовать их для защиты различных радиочастотных цепей, в состав которых входят чувствительные к переходным процессам полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

### Основные электрические параметры TVS-диодов

В соответствии с обозначениями на рис. 2 и 3 определим основные электрические параметры TVS-диодов.

$U_{проб}$  при ( $V_{BR}$ ), В — значение напряжения при пробое  $p-n$ -перехода на участке перегиба ВАХ. При напряжениях, превышающих данное, крутизна ВАХ резко возрастает.

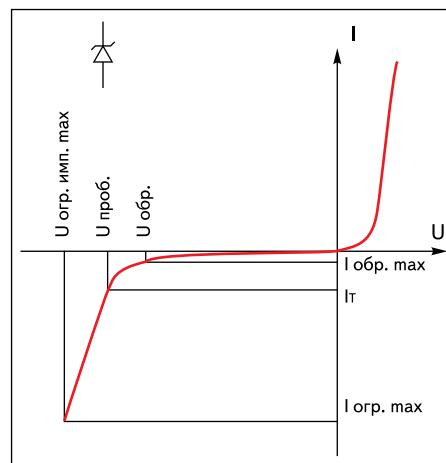


Рис. 2. ВАХ несимметричного TVS-диода

$U_{обр}$  ( $V_{RWM}$ ), В — постоянное обратное напряжение (рабочее напряжение). Точка первого перегиба на вольт-амперной характеристике. Значение этого параметра гарантирует отсутствие проводимости (за исключением тока утечки  $I_{обр}$ ) при значениях напряжения менее данного. Как правило, оно составляет 80–85% от значения  $U_{проб}$ .

Значения этих двух параметров являются исходными для выбора TVS-диода. Как правило, одно из них непосредственно присутствует в наименовании компонента.

$I_{обр}$  ( $I_R$ ), мкА — значение постоянного обратного тока, протекающего через прибор в обратном направлении при напряжении, равном  $U_{обр}$ .

$I_{огр. макс.}$  ( $I_{PP}$ ), А — пиковое значение амплитуды обратного тока при определенных длительности, скважности и форме импульса и определенной температуре окружающей среды.

$U_{огр. макс.}$  ( $V_C$ ), В — пиковое значения амплитуды обратного напряжения при максимально допустимом импульсном обратном токе  $I_{огр. макс.}$ .

$P_{огр. макс.}$  ( $P_{PK}$ ), Вт — максимально допустимая импульсная мощность, рассеиваемая прибором, при заданных форме, скважности, длительности импульса и температуре окружающей среды. Равно произведению  $I_{огр. макс.}$  на  $U_{огр. макс.}$ .

### Несимметричные TVS-диоды общего назначения компании ON Semiconductor

TVS-диоды (как симметричные, так и несимметричные) в значительной степени являются стандартной продукцией, то есть выпускаются многими производителями (отметим, к примеру, NXP, ST Microelectronics, Fairchild, Vishay, Bourns, Semtech и т. д.), имеют часто одни и те же наименования компонентов и, соответственно, близкие технические характеристики.

Под TVS-диодами общего назначения будем понимать одиночные диоды, которые по своим параметрам могут быть объединены в серии. Диоды, объединяемые в серию,

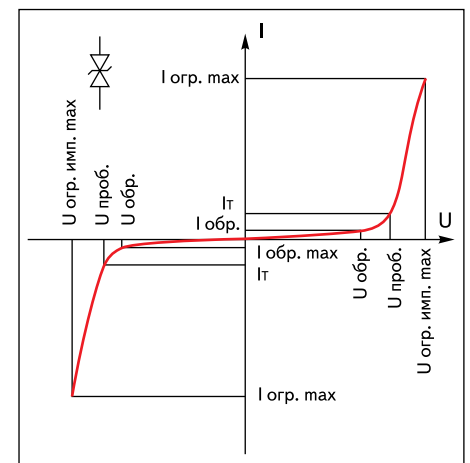


Рис. 3. ВАХ симметричного TVS-диода

Таблица 2. Параметры основных серий несимметричных TVS-диодов ON Semiconductor

Наименование серии	$U_{обр}, В$	$U_{проб}, В$	$U_{огр. макс.}, В$	$I_{огр. макс.}, А$	$P_{огр. макс.}, Вт$	Корпус
1N6276... 1N6303 (1.5KExxA)	5,8–214	6,8–250	10,5–344	143...5	1500	MOSORB
1.5SMCxxA	5,8–78	6,8–91	10,5–125	143...12	1500	SMC
1PMTyyA	5–58	6,7–68	9,2–94	22...1,9	200	POWERMITE
1SMAyyA	5–75	6,7–88	9,2–121	44...3,3	400	SMA
1SMByyA	5–170	6,7–199	9,2–275	65...2,2	600	SMB
1SMCyA	5–78	6,7–91	9,2–126	163...11	1500	SMC
1N6373... 1N6381 (ICTE-yy)	5–45	6–53	9,4–79	160...19	1500	MOSORB
P6KExxA	5,8–171	6,8–200	10,5–274	57...2,2	600	SURMETIC 40
P6SMBxxA	5,8–171	6,8–200	10,5–274	57...2,2	600	SMB
SAyyA	5–170	6,7–199	9,2–275	54...1,8	500	miniMOSORB
SMFyyA	5–58	6,7–68	9,2–94	22...2,1	200	SOD-123FL

характеризуются одним типом корпуса, одним значением максимальной импульсной мощности и отличаются величиной напряжения пробоя (и, соответственно, рабочего и пикового обратного напряжения).

Номенклатура TVS-диодов, выпускаемых компанией ON Semiconductor, превышает 400 наименований (для несимметричных диодов) и 100 (для симметричных) изделий, поэтому привести их параметры в рамках статьи не представляется возможным. В таблице 2 приведены параметры основных серий несимметричных TVS-диодов компании ON Semiconductor.

Пояснения к таблице 2:

- Индекс «xx» означает, что в наименовании изделия вместо него подставляется номинальное значение напряжения пробоя  $U_{проб}$  (например, для 1.5KE8.2A  $U_{проб} = 8,2 В$ , а для 1.5KE200A — 200 В).
- Индекс «yy» означает, что в наименовании изделия вместо него подставляется номинальное значение постоянного обратного напряжения  $U_{обр}$ , например, для 1SMA7.0A  $U_{обр} = 7,0 В$  (при том, что в этом случае  $U_{проб} = 8,2 В$ ).
- Запись “1N6276... 1N6303 (1.5KExxA)” означает, что общепринятое в отрасли обозначение элементов — “1N6276... 1N6303”, в то время как компания ON Semiconductor использует обозначение 1.5KExxA.

Как видим, компания ON Semiconductor предлагает достаточно широкую линейку несимметричных TVS-диодов, чтобы выбрать оптимальное по напряжению, мощности и типу корпуса изделие.

**Симметричные TVS-диоды общего назначения**

В таблице 3 приведены параметры основных серий симметричных TVS-диодов компании ON Semiconductor.

Таблица 3. Параметры основных серий симметричных TVS-диодов ON Semiconductor

Наименование серии	$U_{обр}, В$	$U_{проб}, В$	$U_{огр. макс.}, В$	$I_{огр. макс.}, А$	$P_{огр. макс.}, Вт$	Корпус
1SMAyyCA	10–78	11,7–91	17–126	24...3,2	400	SMA
1SMByyCA	10–75	11,7–92	17–121	35...4,9	600	SMB
P6SMBxxCA	9,4–78	11,1–91	15,6–125	38...4,8	600	SMB

**Специализированные решения для защиты каналов передачи данных**

Помимо TVS-диодов общего назначения, компания ON Semiconductor предлагает ряд специализированных изделий, предназначенных для защиты различных каналов передачи данных (например, USB, CAN и др.).

Защита от электростатического разряда в USB-приложениях предполагает использование весьма сложных полупроводнико-

вых устройств, способных, с одной стороны, обеспечить надежную защиту линий связи и, с другой стороны, сохранить высокие скорости передачи данных, характерные для USB-интерфейса. Применение TVS-диодов общего назначения было бы устаревшим и неэффективным решением. Предлагаемые компанией ON Semiconductor устройства NUP2201 и NUP4201 представляют собой матрицу TVS-диодов с малой емкостью, которые обеспечивают защиту двух и четырех линий передачи данных и шины питания от перенапряжений, вызванных электростатическим разрядом или неблагоприятными переходными процессами. На рис. 4 представлена типовая схема применения NUP2201 и NUP4201 для защиты каналов USB.

**Защита каналов передачи цифровых видеосигналов**

Интерфейсы передачи видеосигналов, особенно предполагающие возможность «горячего» подключения к системе, восприимчивы к воздействию электростатических разрядов. Эти разряды могут повредить или полностью разрушить микросхему видеointерфейса, если не принять мер защиты.

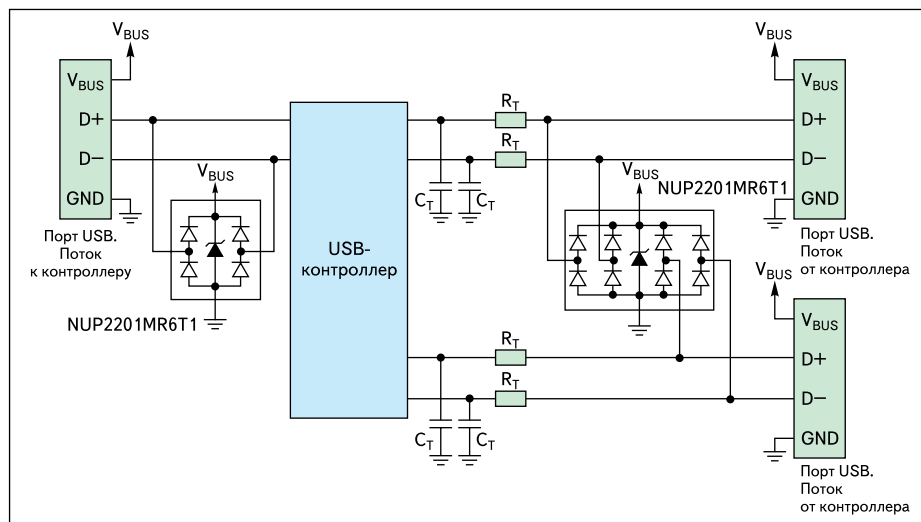


Рис. 4. Типовая схема применения NUP2201 и NUP4201 для защиты каналов USB

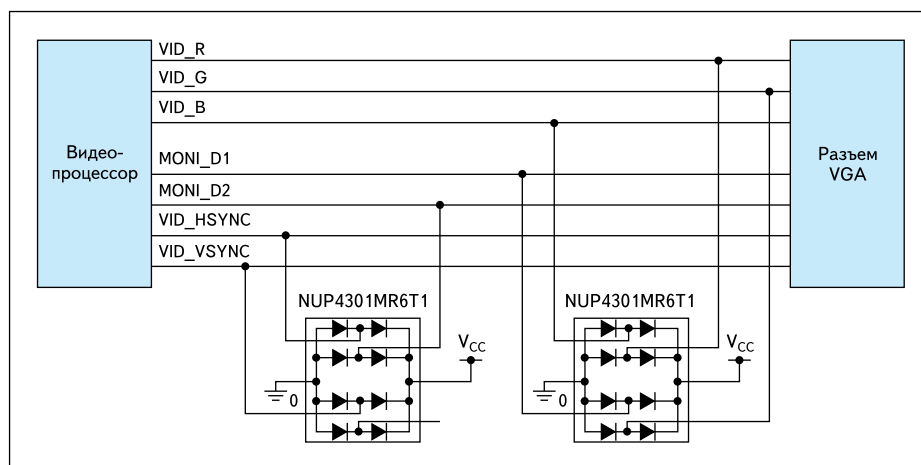


Рис. 5. Типовая схема применения NUP4301 для защиты видеоинтерфейсов

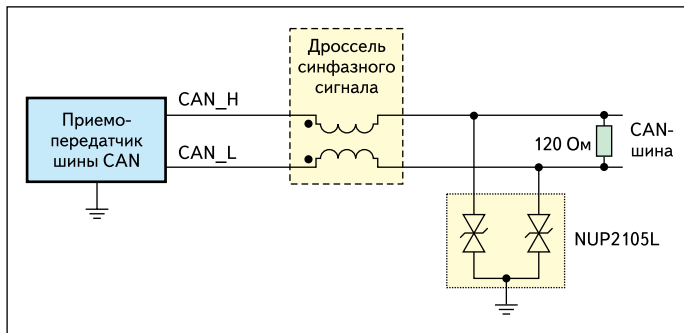


Рис. 6. Применение NUP2105L для защиты приемопередатчиков шины CAN

Поскольку видеointерфейс характеризуется высокими скоростями передачи данных, необходимо использовать защитные устройства с чрезвычайно низкой емкостью и малыми токами утечки, с тем, чтобы качество видеосигнала не пострадало. Компания ON Semiconductor для подобных приложений предлагает устройство NUP4301, разработанное, чтобы обеспечить защиту от электростатических разрядов для приложений цифрового видео. На рис. 5 приведена типовая схема применения NUP4301 для подобных приложений.

На рис. 6 показан пример защиты приемопередатчиков шины CAN от перенапряжений, здесь используется матрица TVS-диодов NUP2105L и дроссель синфазного сигнала. Диоды TVS реализуют ограничивающую функцию, в то время как дроссель синфазного сигнала служит фильтром. Дроссель обеспечивает высокий импеданс

для сигналов помехи, которые могут иметь место на обеих шинах передачи данных, и низкий импеданс — для дифференциальных синфазных сигналов. Отметим, что в ряде случаев имеет смысл подключать TVS-диоды не на «землю», а на корпус устройства.

## Заключение

В линейках продукции компании ON есть компоненты защиты, как универсальные, так и специально разработанные под конкретные интерфейсы передачи данных. Применение этих устройств обезопасит интегральные микросхемы от разрушительного воздействия электростатического разряда и в конечном итоге существенно уменьшит расходы производителя при настройке и послепродажном обслуживании сложного электронного оборудования, чувствительного к электростатическому разряду. ■

## Литература

1. Кадуков А. TVS-диоды — полупроводниковые приборы для ограничения опасных перенапряжений в электронных цепях // Компоненты и технологии. 2001. № 1.
2. Черепанов В.П., Хрулев А.К., Блудов И.П. Электронные приборы для защиты РЭА от электрических перегрузок / Справочник. М.: Радио и связь, 1994.
3. Discrete ESD Protection Solutions. BRD8064-D.pdf. ON Semiconductor.
4. MicroIntegration Technology Solutions for Protection in High Speed I/O Data Lines.
5. Application Hints for Transient Voltage Suppression Diode Circuits. AND8253-D.pdf. ON Semiconductor.