

## Защита высокоскоростных коммуникационных портов

Тим Ардли (Tim Ardley)

### Порты USB

Стандарт USB (Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина) позволяет через один USB-порт управлять 127 периферийными USB-устройствами с одного хост-компьютера (ПК).

Благодаря USB широкий круг устройств с малым энергопотреблением, например, USB-фонарики, зарядные устройства мобильных телефонов, переносные жёсткие диски для ноутбуков, может обходиться без собственных источников питания. Протокол USB 1.1 поддерживает скорость передачи данных до 12 Мбит/с. Последняя версия протокола, USB 2.0, обеспечивает скорость передачи данных до 480 Мбит/с. Протокол USB 2.0 использует стандартные разъёмы типа А для подключения к хосту и стандартные разъёмы типа В для подключения к периферийным устройствам. Поскольку такие разъёмы слишком велики для переносных устройств, часто используются разъёмы мини-А и мини-В.

Новейшая версия стандарта USB OTG (On The Go) позволяет периферийному оборудованию (КПК, цифровые фотоаппараты и мобильные телефоны) соединяться друг с другом. Например, USB OTG позволяет цифровому фотоаппарату посылать файлы напрямую на принтер без использования компьютера. Оборудование стандарта USB OTG может являться как хостом, так и периферийным устройством, и может динамически переключаться между этими режимами. У оборудования с поддержкой USB OTG интерфейсные разъёмы меньше по размеру. Такие разъёмы называют мини-АВ — к ним подходят и штекеры мини-А, и штекеры мини-В.

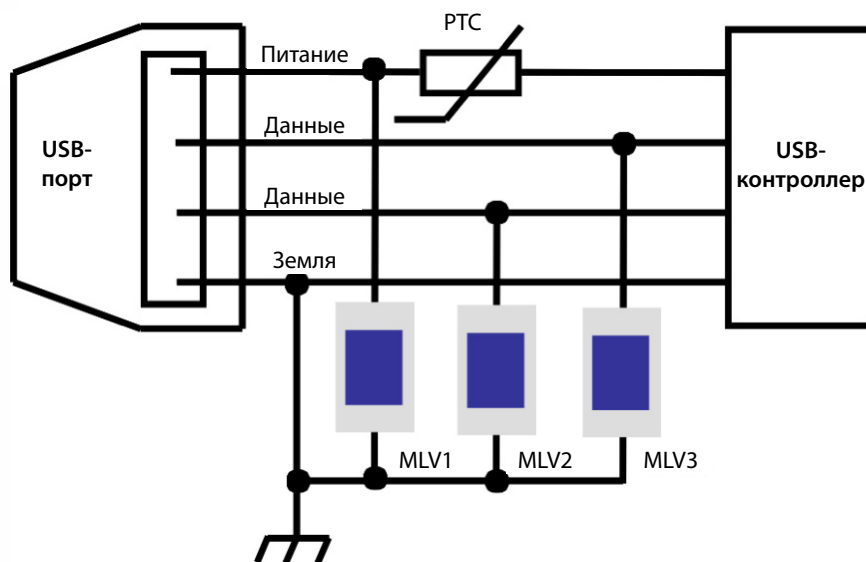
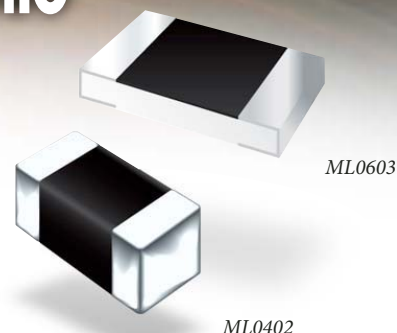


Рис. 1

## Порты IEEE 1394 (Firewire™, i.Link™)

Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) опубликовал стандарты последовательного подключения IEEE 1394A и IEEE 1394B, которые поддерживают передачу данных со скоростью 400 и 800 Мбит/с, соответственно. Эти стандарты поддерживают также изохронную передачу данных с гарантированной скоростью (биты в секунду). Это важно для приложений, требующих потоковой передачи видео (в режиме реального времени) или больших объёмов данных. Стандарт IEEE 1394 предусматривает возможность подключения до 63 внешних устройств к одному порту.

Разводка по стандарту IEEE 1394 отличается от разводки USB использованием для передачи данных двух витых пар вместо одной. Каждая пара отдельно экранирована внутри кабеля, одна используется для передачи данных, другая — для приёма. Экранирование кабеля крайне важно для снижения внешних помех, вызывающих ошибки с потерей битов данных. Смена направления передачи данных от драйвера к приёмнику обеспечивается кабелем. Кроме того, к этим портам подключены резисторы с постоянным сопротивлением, которые позволяют точно согласовать линии (согласующие резисторы на **рис. 2** не показаны).

Существует возможность питания от хоста устройств мощностью до 45 Вт. Источник питания может поддерживать максимум до 1.5 А при абсолютном максимуме напряжения в 40 В. Такая возможность позволяет цифровым фотоаппаратам и КПК получать питание от порта, однако из-за высокой плотности тока требуется защита от перегрузки по току.

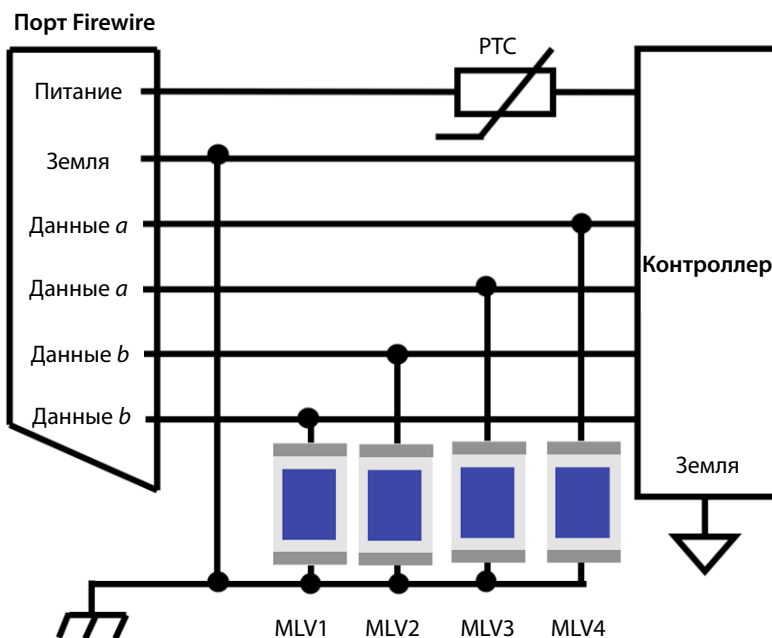


Рис. 2

## Защита линий питания от перегрузки по току

Сопротивление термистора с положительным температурным коэффициентом (Positive Temperature Coefficient — PTC) значительно увеличивается с ростом его температуры за счёт теплового действия тока ( $I^2R$ ). Сопротивление срабатывания PTC-термистора на несколько порядков выше начального. Ток удержания ( $I_{\text{HOLD}}$ ) — это минимальный ток, который PTC-термистор будет проводить при максимальном напряжении ( $V_{\text{max}}$ ) без отключения. Этот параметр обычно указывается при комнатной температуре. Повышение температуры среды приводит к уменьшению тока отключения ( $I_{\text{TRIP}}$ ), что необходимо учитывать на этапе разработки.

PTC-термистор может перейти в высокоомное состояние при любом токе в интервале между  $I_{\text{HOLD}}$  и  $I_{\text{TRIP}}$  — это в значительной мере зависит от сопротивления PTC-термистора. Он будет оставаться в отключённом состоянии с небольшим током отключения, пока сила тока не опустится ниже значения  $I_{\text{HOLD}}$ . Из-за нагрева корпуса ток удержания будет крайне низким, поэтому может потребоваться сброс вручную. Как только PTC-термистор остынет, его сопротивление вернётся к номинальному значению. Поскольку срабатывание PTC-термистора зависит от тока, существует взаимосвязь между временем срабатывания и током. Если ток незначительно выше тока отключения, срабатывание термистора может происходить со значительными задержками, что также требуется учитывать на этапе разработки.

## Защита линий питания USB от перегрузок по току

Нагрузка на порты USB 2.0 хоста (настольного ПК или ноутбука) может достигать до 500 мА. Для внешних концентраторов ограничение по току составляет 100 мА на порт при максимальном числе портов, равном четырём. Эти порты имеют номинальное напряжение питания 5 В и требуют защиты от перегрузки по току. Периферийные устройства USB OTG предназначены для работы в режиме ограниченного хоста и должны иметь возможность как отдавать, так и принимать ток. Если на порт приходится ток больше 100 мА, то требуется стабилизация

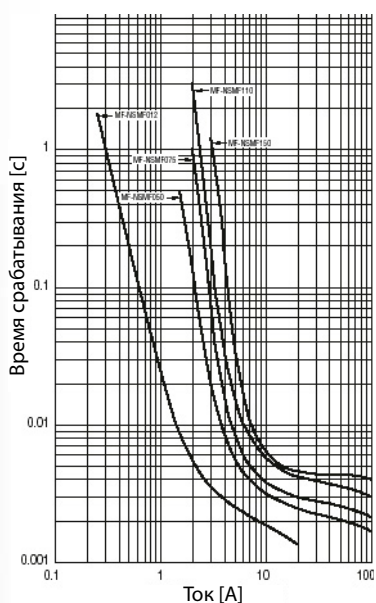
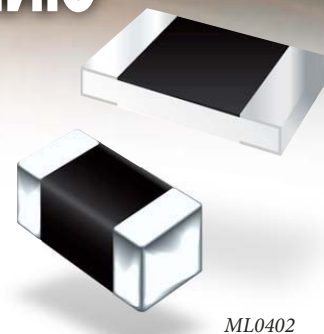


Рис. 3

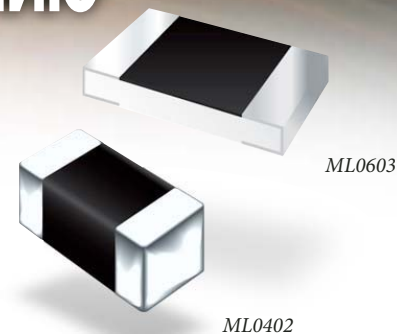
напряжения в интервале 4.75...5.25 В. Это обеспечивает обратную совместимость со стандартом USB 2.0 для источников питания. Для защиты от перегрузки по току, требуемой стандартом USB 2.0, подходят полимерные термисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (polymer positive temperature coefficient — PPTC). Например, ток  $I_{\text{HOLD}}$  термисторов Bourns® Multifuse® MF-NSMF075 при 23°C составляет 750 мА, который падает до 520 мА при 60°C. Если требуется больший ток удержания, то для обеспечения запаса надёжности следует использовать термистор MF-NSMF110, у которого при 60°C ток  $I_{\text{HOLD}}$  равен 800 мА. Ток отключения ( $I_{\text{TRIP}}$ ) равен удвоенному току удержания, при нём термистор будет находиться в отключённом состоянии. Например, термистору MF-NSMF050 требуется примерно 3 с для срабатывания при токе нагрузки в 1 А и 0.15 с при токе 2 А. Термистору MF NSMF075 с меньшим сопротивлением требуется примерно 1 с для срабатывания под нагрузкой в 2 А.



ML0603

ML0402

Необходимо учитывать зависимость времени срабатывания РТС-термистора от тока, чтобы предотвратить размыкание цепи при значительных бросках тока, вызванных включением питания или «горячим» подключением устройств. Кроме того, источник постоянного тока должен выдерживать ток короткого замыкания на протяжении времени срабатывания.



Добавление РТС-термистора приведет к нестабильности выходного напряжения источника питания USB. Напряжение источника питания при максимальной нагрузке не должно опускаться ниже 4.75 В. Максимальное последовательное сопротивление, включая сопротивление источника постоянного тока, не должно превышать 0.5 Ом. Максимальное сопротивление USB кабеля длиной 5 м равно 190 мОм. Наряду с сопротивлением РТС-термистора следует также учитывать сопротивление проводника (2 мОм при длине 1 см), но обычно им можно пренебречь. Для обеспечения необходимой стабилизации напряжения можно было бы уменьшить сопротивление РТС-термистора, но в случае отказа это приведёт к большей нагрузке на источник питания.

| Модель            | $V_{max}$<br>[В] | $I_{HOLD}$<br>[мА] | $I_{HOLD @ 60^\circ}$<br>[мА] | $I_{TRIP}$<br>[мА] | $R_{min}$<br>[Ом] | $R_{max}$<br>[Ом] |
|-------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| MF-NSMF050        | 13.2             | 0.5                | 0.35                          | 1.00               | 0.15              | 0.70              |
| MF-NSMF075        | 6.0              | 0.75               | 0.52                          | 1.50               | 0.10              | 0.29              |
| <b>MF-NSMF110</b> | <b>6.0</b>       | <b>1.10</b>        | <b>0.8</b>                    | <b>1.80</b>        | <b>0.06</b>       | <b>0.20</b>       |
| MF-NSMF10         | 6.0              | 1.50               | 1.10                          | 3.00               | 0.03              | 0.13              |

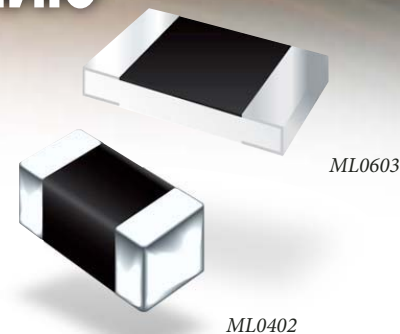
Большинство современных периферийных устройств, поддерживающих протокол IEEE 1394, не использует возможность питания от хоста, причём некоторые производители поставляют кабели даже без линий питания. Однако некоторые КПК, такие как iPod, используют эти линии при подключении к хост-системе. Спецификацией IEEE 1394 предусматривается более высокая плотность тока по сравнению с USB 2.0, поэтому выбор РТС-термисторов немного отличается. Максимальное рабочее напряжение РТС-термистора должно быть не менее 33 В, а ток отключения — не более 1.5 А. При температуре окружающей среды термистор Bourns® Multifuse® MF-SMDF150/33 имеет ток удержания 1.5 А для ограничения воздействия на источник питания при коротком замыкании в цепи. Обычное время срабатывания MF-SMDF150/33 составляет 120 с при токе в 2 А и 7 с при токе 5 А, что делает его устойчивым к высоким пусковым токам. Благодаря малым габаритам (типоразмер 2018, высота корпуса 1.09 мм) его удобно использовать в небольших устройствах.

| Модель               | $V_{max}$<br>[В] | $I_{HOLD}$<br>[мА] | $I_{HOLD @ 60^\circ}$<br>[мА] | $I_{TRIP}$<br>[мА] | $R_{min}$<br>[Ом] | $R_{max}$<br>[Ом] |
|----------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| <b>MF-SMDF150/33</b> | <b>33</b>        | <b>1.50</b>        | <b>1.00</b>                   | <b>3.00</b>        | <b>0.07</b>       | <b>0.175</b>      |
| MF-SM150/33          | 33               | 1.50               | 0.99                          | 3.00               | 0.06              | 0.23              |
| MF-SM185/33          | 33               | 1.8                | 1.28                          | 3.60               | 0.04              | 0.15              |



## **Защита от перенапряжения при электростатическом разряде**

При выборе защиты оборудования от перенапряжения необходимо учитывать *источник* бросков напряжения. Интегральные схемы (ИС) обычно проектируются с защитой от напряжений прикосновения 1...2 кВ, которые могут возникнуть при производстве платы. Для портативного оборудования стандарт IEC 61000-4.2 определяет модели человеческого тела, создающего импульсы электростатического разряда до 8 кВ. Защита ИС по спецификации первого уровня (Level 1) является вторичной защитной схемой и требует первичного защитного устройства от импульсов 8 кВ. Время реакции устройств защиты от электростатического разряда определяется при тестировании в условиях быстрого нарастания напряжения ( $dV/dt = 8$  кВ/нс). Следовательно, важно удостовериться, что защищённые ИС или цепь выдержат такой скачок напряжения. Обсуждается ужесточение стандарта на контактные и воздушные разряды, так как модели человеческого тела при определенных условиях достигают заряда 25 кВ.



Наиболее общий метод защиты от электростатических разрядов заключается в использовании в качестве первого уровня защиты маленьких кремниевых стабилитронов (диодов Зенера) или многослойных варисторов (multilayer varistors — MLV). Следовательно, для создания надёжного устройства необходимо знать плотность рассеиваемой мощности, которую должно выдерживать устройство защиты. У многослойных варисторов существует пороговое напряжение, до которого их начальное сопротивление остаётся высоким (120 МОм для семейства CG0603MLC). При повышении напряжения сопротивление уменьшается, что приводит к экспоненциальному росту тока через варистор. Это позволяет отвести от защищаемой цепи броски напряжения, пока энергия рассеивается устройством защиты. После прохождения импульса сопротивление варистора MLV возвращается в своё начальное высокоомное состояние.

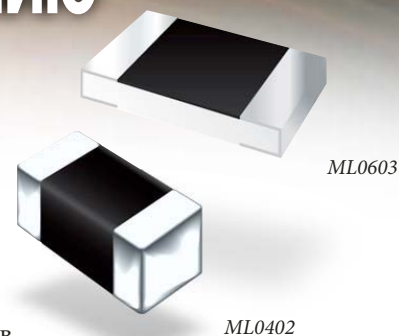
## **Защита линий данных от перенапряжения**

При разработке защиты высокоскоростной линии данных большую проблему представляет ёмкость защитного устройства. Последовательное сопротивление и ёмкость нагрузки создают фильтр первого порядка, который делает нарастающий и спадающий фронты импульса более пологими. Уменьшению эффективного последовательного сопротивления помогают более толстые и широкие дорожки, но лучший эффект даёт уменьшение эффективной ёмкости. Многослойный варистор Bourns® ChipGuard® CG0603MLC-xxE предназначен для обеспечения сверхнизкой ёмкости в 0.5 пФ, и при этом он имеет пренебрежимо малый ток утечки. Использование варистора CG0603MLC почти не отразится на скорости передачи данных при 480 Мбит/с, более того, его можно использовать даже при передаче данных со скоростью 1 Гбит/с и в более быстрых интерфейсах. Для использования в коммуникационных устройствах со скоростью примерно до 480 Мбит/с вполне подойдут более дешёвые компоненты семейства CG0603MLD-xxE с максимальной ёмкостью 5 пФ.

## **Защита линий питания от перенапряжения**

Источники питания в целом устойчивы к электростатическим разрядам благодаря использованию таких надёжных пассивных компонентов, как конденсаторы и катушки индуктивности. Для увеличения индуктивности линий, чтобы ограничить амплитуды импульсов при быстрых переходах, обычно применяются ферритовые шайбы (бусины). Обычно этого достаточно, однако для уменьшения нагрузки на компоненты возможно использование устройств защиты от перенапряжения. Корпус типоразмера 0603 обеспечивает большую плотность энергии по сравнению с корпусом 0402 и может быть рекомендован для устройств защиты силовых линий от импульсов электростатического разряда. Компонент CG0603MLA-14KE обладает максимальным рабочим напряжением 14 В, что позволяет использовать его для защиты линий питания USB. Чтобы защитить и линии данных, и линии питания с помощью одного компонента, можно выбрать варисторы CG0603MLD-12E или CG0603MLC-12E.

Устройства IEEE 1394 требуют большего предельного напряжения питания до отключения, чтобы при обычных операциях рабочее напряжение не ограничивалось. В настоящее время компоненты Bourns® ChipGuard® не поддерживают напряжения свыше 18 В, и поэтому в таких устройствах для ограничения выбросов напряжения (TVS) стоит применять 400-Вт стабилитрон CD214A-Txx.



## Размещение компонентов

Чтобы выбросы напряжения повлияли на входной/выходной источник питания USB-контроллера, они должны пройти между линией питания и землёй системы, поэтому варистор должен размещаться между двумя выводами как можно ближе к внешнему разъёму. У большей части портативного оборудования есть только системная земля, на которую схема защиты от перенапряжения будет рассеивать избыток энергии. Контурный ток оказывает влияние на всю систему и может из-за собственной индуктивности дорожек её печатной платы привести к колебаниям уровня потенциала земли.

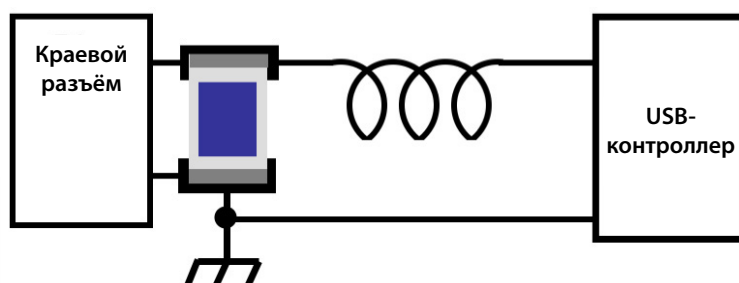
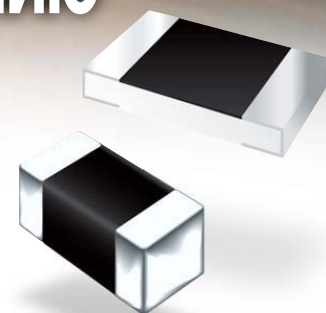


Рис. 4

Индуктивное сопротивление определяется формулой  $X_L = 2\pi fL$ , из которой видно, что высокочастотные сигналы (электростатический разряд по модели человеческого тела имеет время нарастания фронта 1 нс) эффективно увеличивают сопротивление дорожек и, следовательно, напряжение при бросках тока. Индуктивное реактивное сопротивление можно также использовать, чтобы дополнительно снизить воздействие импульсов электростатических разрядов на важные компоненты. При электростатическом разряде пиковое значение напряжения на варисторе CG0603MLC-12E может достигать 200 В. Импульс можно значительно уменьшить, если расположить схему защиты как можно дальше от ИС, чтобы создать дополнительное индуктивное сопротивление между этими двумя компонентами (см. рис. 4). Типичное напряжение срабатывания CG0603MLC-05E, разработанного для более мягких условий, составляет 20 В (время задержки измерения 30 нс). Высокое напряжение (6 кВ и более), приходящее на плату, может привести к пробоем между соседними дорожками, и поэтому схема защиты должна быть расположена как можно ближе к разъёму. Многослойный варистор Bourns® ChipGuard® также следует располагать как можно ближе к коммуникационным линиям; в идеале контактные площадки схемы защиты должны быть интегрированы в коммуникационную линию. Соединения коммуникационной линии и схемы защиты создают дополнительную индуктивность. Эта индуктивность является отрицательным фактором, так как соединена последовательно с варистором, что приводит к увеличению изначального выброса. Производители ИС стараются делать дорожки от разъёма до ИС как можно короче, так как большая длина дорожек негативно сказывается на рабочих характеристиках. Поэтому необходимо выбирать качественную защиту от электростатического разряда, с низким пропускаемым напряжением и с низким уровнем ограничения напряжения.



ML0603

ML0402

## Приложение

Электростатический разряд — это заряд, которым обмениваются тела с разными потенциалами. Чаще всего требуется защита от электростатического разряда между человеком и металлическими предметами. При движении на теле человека образуются скопления электронов, которые при наличии диэлектрической изоляции ведут себя так же, как в конденсаторе. Искусственные материалы, такие как подошва обуви, создают диэлектрическую изоляцию, и когда человек идёт по ковру, происходит накопление электрической энергии.

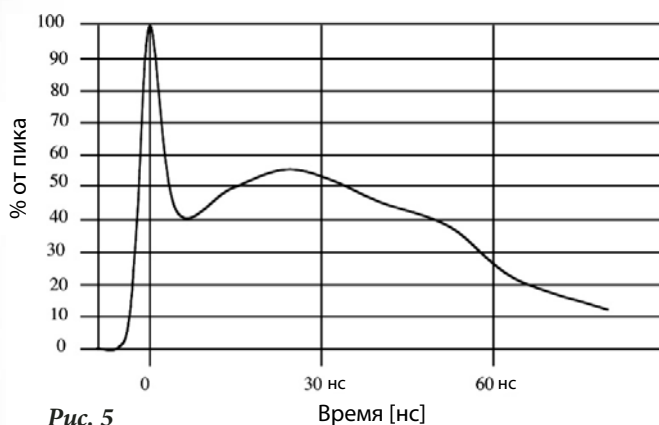


Рис. 5

Время [нс]

Международная электротехническая комиссия (МЭК, International Electrotechnical Commission — IEC) разработала электростатическую модель человека, позволяющую разработчикам выбирать подходящую защиту для разрабатываемых устройств. МЭК считает допустимым электростатический импульс с временем нарастания менее 1 нс и временем спада 60 нс (рис. 5). Новый стандарт называется IEC 61000-4-2 и определяет четыре уровня защиты.

Производители ИС, чувствительных к электростатическому разряду, для повышения надёжности встраивают определенные средства защиты непосредственно в ИС. Однако защитные цепи увеличивают стоимость ИС, поскольку занимают ценное место на кристалле. Производители ИС считают обязательным наличие защиты первого уровня согласно стандарту IEC 61000-4-2 при производственном процессе, когда контактные разряды могут достигать 2 кВ. Напряжения электростатического заряда человека определяются природными факторами. Эти напряжения, достигающие 15 кВ и выше, могут повредить ИС. Четвёртый уровень IEC 61000-4-2 предусматривает защиту от грозовых разрядов напряжением до 15 кВ. Поэтому для повышения надёжности оборудования принято, чтобы все порты, с которыми непосредственно соприкасается человек, были защищены по четвёртому уровню. Таким образом, внешняя защита от электростатического разряда обеспечивает первый уровень защиты, а второй уровень находится внутри самой ИС.

Таблица 3

| Уровень защиты по IEC 61000-4-2 | Напряжение прикосновения [кВ] | Напряжение грозового разряда [кВ] | Пиковый ток прикосновения [А] | Ток прикосновения (30 нс) [А] | Ток прикосновения (60 нс) [А] |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Уровень 1                       | 2                             | 2                                 | 7.5                           | 4                             | 2                             |
| Уровень 2                       | 4                             | 4                                 | 15                            | 8                             | 2                             |
| Уровень 3                       | 6                             | 8                                 | 22.5                          | 12                            | 6                             |
| Уровень 4                       | 8                             | 15                                | 30                            | 16                            | 8                             |

За дополнительной информацией обращайтесь в местное торговое представительство компании Bourns.

**Азиатско-Тихо-океанский регион:** Тел. +886-2 256 241 17  
Факс +886-2 256 241 16

**Европа:** Тел. +41-(0)41 768 55 55  
Факс +41-(0)41 768 55 10

**Северная Америка:** Тел. +1-909 781-5500  
+1-951-781-5500 (после 7/17/04)

Факс +1-909 781-5700  
+1-951-781-5700 (после 7/17/04)