

ных устройств и ускорить их продвижение на рынок. Благодаря таким качествам, как высокая светоотдача, надежность и большой КПД, светодиоды XLamp XP-G3 могут стать оптимальным выбором при создании разного типа осветительных устройств, используемых в системах освещения внутри и снаружи помещений, портативных светильниках, системах оптического контроля и пр.

Дополнительную информацию о светодио-

дах серии XLamp XP-G3 можно найти в [1-3] или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании CREE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cree XLamp XP-G3 LEDs. Product family data sheet.
2. Cree Apr 2016 dist – Customer Slides.
3. www.ledsmagazine.com/features/8/11/10.

ОГРАНИЧИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ: TVS-ДИОДЫ



TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSION DIODES

В статье рассматриваются характеристики полупроводниковых ограничителей напряжения компании Littelfuse.

В. Охрименко

Abstract – The purpose of this article is to promote a better understanding of transient voltage suppression diodes.

V. Okhrimenko

Для защиты радиоэлектронных устройств от перенапряжений, помимо традиционных плавких предохранителей, простейших LC- и RC-фильтров, широко используются специализированные приборы (например, газовые разрядники, металлооксидные варисторы и т.п.), а также полупроводниковые ограничители напряжения (Transient Voltage Suppression Diode – TVS). В статье рассматриваются характеристики и особенности TVS-диодов, выпускаемых компанией Littelfuse.

Компания Littelfuse – ведущий производитель пассивных электронных компонентов для "защиты" разного рода электротехнических устройств. Одно из направлений – производство TVS-диодов, основное назначение которых – защита от перенапряжений [1-4].

ВВЕДЕНИЕ

В реальных условиях эксплуатации в электрических цепях электротехнического оборудования могут возникать различные виды перегрузок. Наиболее часто в процессе эксплуатации сталкиваются с перенапряжениями, вызванными электромагнитными импульсами естественного (мощные грозовые разряды) и искусственного происхождения (излучения радиопередающих антенн, высоковольтных

линий передачи электроэнергии, сетей электрифицированных железных дорог и т.п.). Кроме того, перенапряжения могут возникать вследствие переходных процессов при работе оборудования, например, при коммутации индуктивных нагрузок или в результате воздействия электростатических разрядов.

Воздействие электромагнитных импульсов любого происхождения на электронные компоненты приводит к изменению их параметров, как за счет непосредственного поглощения энергии, так и вследствие воздействия на них индуцированных в электрических цепях оборудования импульсов напряжения и тока.

Устройства защиты от перенапряжений предотвращают протекание импульсов тока через защищаемое устройство вследствие замыкания его на общий провод. Они также ограничивают напряжение до значений, совместимых с характеристиками подсоединенных устройств. Основные параметры устройства защиты от перенапряжений – допустимая мощность рассеивания (т.к. протекают большие токи) и напряжение ограничения.

TVS-ограничитель напряжения – это, по сути, полупроводниковый диод, работающий на обратной ветви вольтамперной характеристики (ВАХ). В симметричных TVS-диодах ис-

пользуется как обратная, так и прямая ветвь ВАХ. TVS-диод предназначен для защиты от перенапряжения радиоэлектронных устройств и компонентов. При воздействии импульса перенапряжения TVS-диод ограничивает выброс напряжения до безопасного уровня, при этом ток протекает через диод на общий провод, минуя защищаемую цепь (устройство). Принципы работы TVS-диода и его ВАХ приведены на рис. 1. В идеальном случае TVS-диод представляет собой разомкнутую цепь с током утечки. Если импульсное напряжение превышает пороговое напряжение, ток переходного процесса протекает через TVS-диод, при этом рассеиваемая мощность ограничивается максимально допустимой температурой кристалла. Аналогичный принцип действия имеют и классические кремниевые стабилитроны (диоды Зенера). TVS-диоды разработаны и предназначены для защиты от мощных кратковременных импульсов перенапряжения, на что и указывает их название (transient voltage suppression diode). Как правило, стабилитроны применяются в качестве источников эталонного напряжения и не предназначены для работы при больших импульсных нагрузках. Для правильного выбора и эффективного использования TVS-диодов необходимо иметь достоверную информацию о возможных источниках и параметрах кратковременных электрических помех.

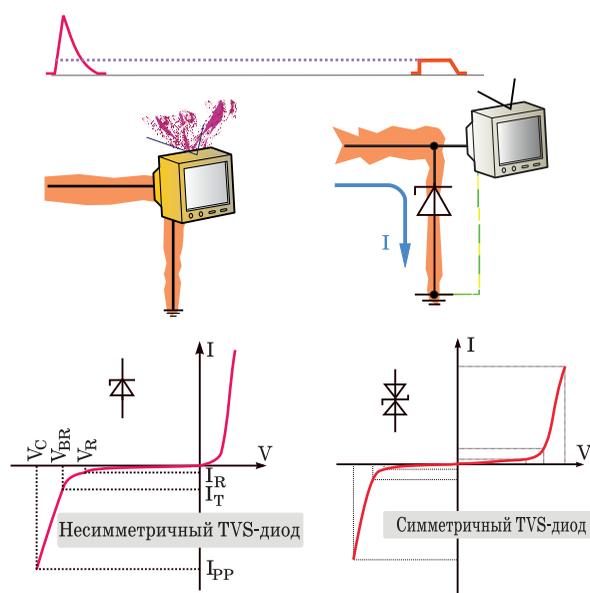


Рис. 1. Вольтамперные характеристики TVS-диодов

ИСТОЧНИКИ ПОМЕХ

Кратковременные электрические помехи возникают в результате внезапного выброса предварительно запасенной электромагнитной энергии в различных физических объектах. В частности, в результате проявления природных явлений, например, грозových разрядов (молний). Кратковременные электрические помехи могут возникать в процессе работы разных электронных и электромеханических устройств (электродвигателей, генераторов, и т.п.), а также могут быть вызваны внешними электромагнитными импульсами или электростатическими разрядами.

Повторяющиеся кратковременные электрические помехи, как правило, возникают при эксплуатации электродвигателей, генераторов, или при коммутации мощных индуктивных нагрузок. Случайные помехи зачастую бывают вызваны молниями и электростатическими разрядами (ESD), которые происходят непредсказуемо, и, что может потребовать тщательного мониторинга для измерения уровня помех, особенно если индуцирование помех происходит в цепях, расположенных на печатной плате.

В результате многочисленных измерений с использованием общепринятых методов мониторинга и тестирования, были определены ориентировочные характеристики некоторых переходных процессов (табл. 1). В соответствующих стандартах (например, IEC 61000, IEC 62305 и др.) приводятся уточненные значения параметров тестовых импульсов, используемых при испытании электротехнического оборудования на устойчивость к воздействию кратковременных импульсов.

На рис. 2 приведены обобщенные характеристики импульсов тока, вызванных молнией и электростатическим разрядом. Обычно нарастающий фронт изменяется по двойному экспоненциальному закону. При разряде молний возникают очень большие токи (десятки килоампер) и эти токи протекают очень короткое время (несколько микросекунд). При длине проводника 1 м и длительности нарастающего фронта 8 мкс генерируемое на проводнике напряжение может составлять 1000 и более вольт ($V = L \cdot di/dt$). Поэтому длина соединительных проводников между устройством за-

Таблица 1. Ориентировочные характеристики некоторых переходных процессов

| Наименование | Напряжение, кВ | Ток, А | Длительность нарастающего фронта, нс | Длительность импульса, мс |
|---------------------------|----------------|--------|--------------------------------------|---------------------------|
| Молния | 25 | 20000 | 10000 | 1 |
| Коммутационные помехи | 0.6 | 500 | 50000 | 500 |
| Электромагнитный импульс | 1 | 10 | 20 | 1 |
| Электростатический разряд | 15 | 30 | <1 | 0.0001 |

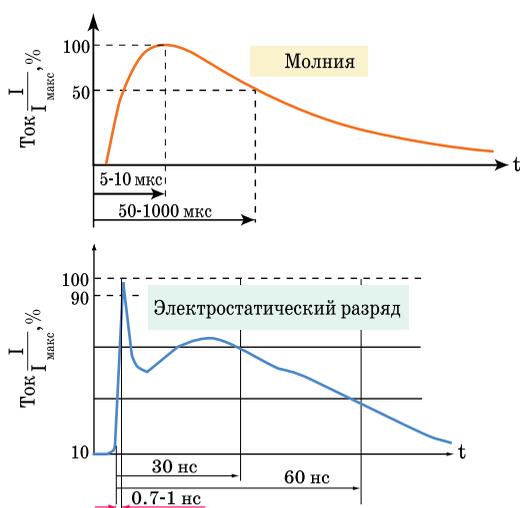


Рис. 2. Характеристики импульсов тока, вызванных молнией и электростатическим разрядом

щиты и токоведущими проводниками должна быть минимальной, поскольку импеданс этих проводников может существенно снизить эффективность защиты.

Результат миниатюризации электронных компонентов – снижение их устойчивости к приложенному электрическому напряжению. Как правило, современные электронные компоненты работают при низких напряжениях питания. В микропроцессорах предусматриваются соответствующие структуры по защите от перенапряжений, обеспечивающие проводящие токовые пути, однако они не в состоянии справиться с большими токами от электростатических разрядов, что, в конечном счете, может приводить к многочисленным отказам.

Электростатический разряд генерируется в процессе повседневной деятельности человека

(табл. 2, рис. 3) в результате неравномерного распределения положительных и отрицательных зарядов между объектами.

Таблица 2. Параметры электростатического заряда

| Наименование | Относительная влажность, % | |
|------------------------------------|----------------------------|------|
| | 20 | 65 |
| | Напряжение, кВ | |
| Ходьба по ковру | 35 | 1.5 |
| Ходьба по виниловому покрытию | 12 | 0.25 |
| Контакт с печатной платой | 6 | 0.1 |
| Контакт с виниловой упаковкой | 7 | 0.6 |
| Контакт с полиэтиленовой упаковкой | 20 | 1.2 |

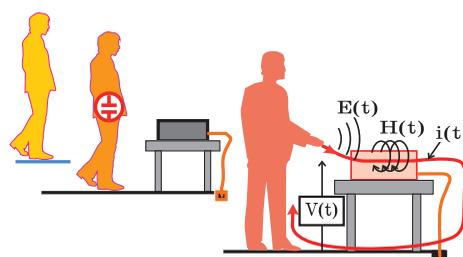


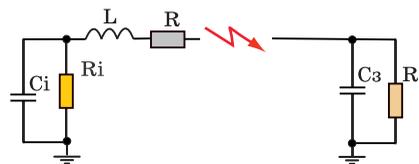
Рис. 3. Электростатический разряд

Электростатический разряд характеризуется малой длительностью нарастающего фронта и очень высоким пиковым напряжением, которое намного превосходит максимально допустимые значения для электронных компонентов, изготовленных по стандартной по-

полупроводниковой технологии.

При импульсном разряде статического электричества возникают помехи, которые могут вызвать сбой в работе компьютеров, принтеров, телефонов или других электронных приборов. Кроме того, электростатический разряд может оказывать разрушительное действие на электронные компоненты и узлы. Разряды статического электричества, которые оператор порой не замечает, зачастую оказываются достаточными для повреждения полупроводниковых элементов.

Заряды статического электричества возникают при ходьбе по напольному покрытию, соприкосновении с изделиями из синтетических материалов и т.п. В зависимости от взаимодействующих материалов заряды могут иметь положительную или отрицательную полярность. В зависимости от типа обуви и вида напольного покрытия, а также влажности воздуха тело человека может заряжаться до 30 кВ. Обычно возникающий при ходьбе по коврам потенциал имеет величину 5...15 кВ. Однако даже потенциала 2 кВ достаточно для того, чтобы повредить полупроводниковые компоненты. Накопленная энергия в зависимости от емкости заряженного объекта (емкость тела человека примерно 150 пФ) может составлять несколько десятых долей Джоуля. Проблемы проявляются при импульсном разряде между заряженными объектами, в течение которого возникают импульсы тока с длительностью фронта менее 1 нс и связанное с ним изменяющееся магнитное поле, что, как правило, и обуславливает нежелательные последствия. Во многих случаях для моделирования разряда статического электричества можно использовать простую эквивалентную схему (рис. 4). Величина сопротивления R_i зависит от источника помех, например, для тела человека $R_i = 1$ кОм, для малогабаритной мебели – 10...50 Ом. В зависимости от постоянной времени цепи разряд может иметь колебательный или апериодический характер. Если источник разрядного тока тело человека, то параметры тока различаются в зависимости от пути его протекания. Например, через ногтевую фалангу пальца, поверхность руки или инструмент (например, отвертку), удерживаемый в ладони. При этом возникающая искра характеризуется нелинейными свойствами.



R_i, C_i - эквивалентные параметры заряженного объекта
 R_z, C_z - эквивалентные емкость и сопротивление по отношению к земле объекта, через который происходит разряд

Рис. 4. Эквивалентная схема цепи при электростатическом разряде

Прямое попадание молнии всегда разрушительное, однако, обусловленные молнией переходные процессы в электрических цепях не являются результатом непосредственного попадания в объект. Создаваемое при разряде молнии магнитное поле индуцирует импульсы напряжения в близлежащих электротехнических объектах (электрических кабелях и т.п.). Например, молния облако-облако оказывает влияние не только на кабели воздушных линий передачи, но также на кабели, проложенные под землей. Даже в электрическом кабеле, удаленном на расстояние 1.6 км от молнии, может индуцироваться напряжение амплитудой до 70 В. Молния облако-земля (рис. 5) вызывает большие помехи.

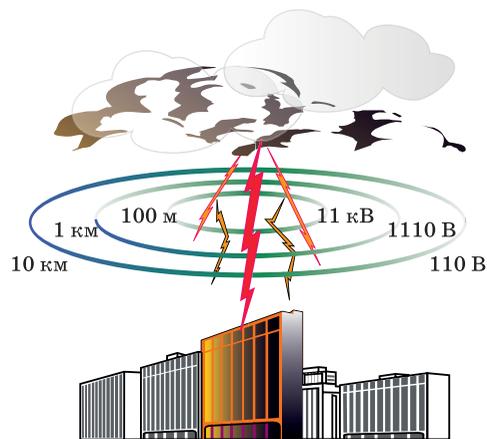


Рис. 5. Ориентировочные параметры молнии

Перенапряжения в цепях электропитания, как правило, возникают в процессе эксплуатации электродвигателей, генераторов, или при коммутации индуктивных нагрузок. В последнее время все чаще появляются разнообразные автономные GPS/GSM/GPRS- и другие устройства, ориентированные на эксплуатацию в ав-

тотранспортных средствах. Причем большинство таких устройств устанавливается не на этапе промышленной сборки автомобиля, а при модернизации его электронного оборудования с целью обеспечить дополнительные функции. Для защиты устройств от помех и правильного выбора точки подключения к системе энергоснабжения, что позволит избежать проблем в процессе их эксплуатации, необходима информация о возможных источниках перенапряжения в автомобиле, а также их параметрах.

TVS-ДИОДЫ

Компания Littelfuse выпускает несколько серий TVS-диодов (TPSMA6L, TPSMB, TPSMC, TPSMD, TP6KE и SLD), ориентированных на использование в автотранспортных средствах. Все они соответствуют рекомендациям соответствующих стандартов.

Возможно, наиболее агрессивной средой (рис. 6) для электронных приборов является система электроснабжения автотранспортных средств и не только из-за наличия большого числа силовых установок, но и благодаря человеческому фактору. Нельзя исключить возможность непреднамеренного изменения полярности при подключении аккумулятора, а также, хотя и редкие, ситуации, когда придется испытывать силу и выносливость мышц в процессе "холодного" запуска двигателя. Высоковольтные выбросы напряжения малой длительности (единицы микросекунд и менее) вызваны, как правило, коммутацией индуктивных нагрузок – электродвигателей управляющих механизмов (топливного насоса, стеклоподъемников и т.п.), компонентов высоко-

вольтной системы зажигания и других, содержащих катушки индуктивности.

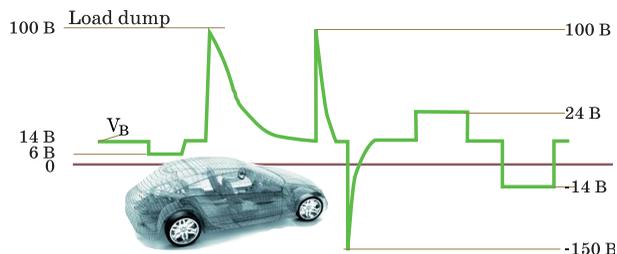


Рис. 6. Перенапряжения в бортовой сети питания автомобиля

Общие требования, методика проверки кондуктивной помехозащищенности автомобильного оборудования, а также модели помех, имитирующие кондуктивные помехи в системе электроснабжения, разработаны Международной организацией по стандартизации ISO (International Organization for Standardization) и приведены в стандарте ISO 7637 (Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling). Требования к форме и параметрам генерируемых тестовых импульсов, предназначенных для проверки кондуктивной помехозащищенности автомобильного оборудования, приведены в стандарте ISO 7637-2-2011 (Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only). Для тестирования оборудования разработаны несколько моделей импульсов (1, 2a/b, 3a/b, 4, 5a/b), имитирующих выбросы напряжения в автомобильной силовой электропроводке. Многие ведущие мировые производители (BMW, Honda, Hyundai, Mazda, Nissan, Peugeot, Toyota и др.) для тестирования своего оборудования зачастую применяют более сложные и жесткие тесты.

В табл. 3 и на рис. 7 приведены параметры

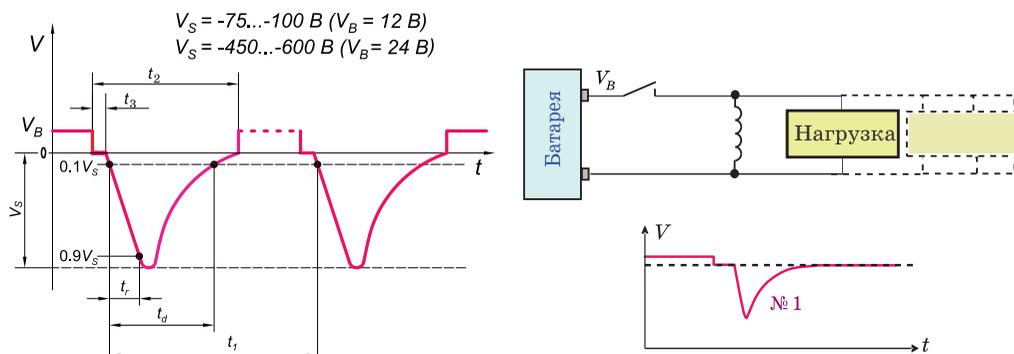


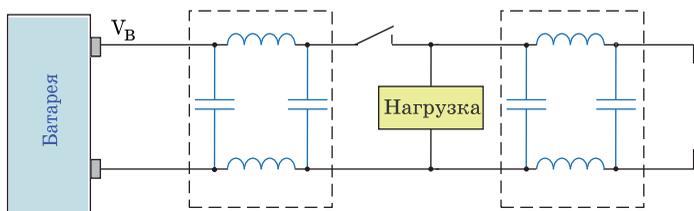
Рис. 7. Параметры импульса № 1

импульса № 1, на рис. 8 – импульсов № 3а/б. Как видно, амплитуда выбросов напряжения при использовании автомобильного аккумулятора напряжением 24 В может достигать 600 вольт (импульс № 1). На величину выбросов напряжения большое влияние оказывают паразитные параметры электропроводки – распределенная индуктивность и емкость (рис. 8).

Таблица 3. Параметры тестового импульса № 1

| Наименование параметра | Напряжение батареи (V _B) | |
|------------------------|--------------------------------------|------|
| | 12 В | 24 В |
| R _i , Ом | 10 | 50 |
| t _d , мс | 2 | 1 |
| t _r , мкс | 1 | 3 |
| t ₁ , с | 0.5...5 | |
| t ₂ , мс | 200 | |
| t ₃ , мкс | <100 | |

Причины возникновения выбросов напряжения длительностью сотни миллисекунд и более – плохой контакт, подключение в аварийных ситуациях дополнительного аккумулятора, его отключение (в этом случае бортовая сеть питается только от автомобильного генератора) и др. Тестовый импульс № 5а (рис. 9) имитирует ситуацию при отключении аккумулятора, и электропитании бортовой сети от генератора (т.н. режим load dump). Энергия такого импульса в системе с аккумулятором напряжением 24 В (сопротивлении источника R_i = 1 Ом и длительности импульса – 350 мс) составляет 575 Дж (0.0002 лошадиные силы × час). Аналитические выражения, описывающие тестовые импульсы, и формулы для определения энергии приведены в стандарте ISO7637-2.



На протяжении многих лет ведущие производители электронных компонентов, при их тестировании на устойчивость при воздействии импульса № 5, использовали рекомендации стандарта ISO 7637-2. В 2010 г. этот стандарт был заменен новым ISO 16750-2, в котором рекомендуется использовать другие параметры тестовых импульсов. Сравнительные параметры импульса № 5а даны в табл. 4.

В стандарте ISO 7637-2 приведен также рекомендуемый перечень и условия проведения испытаний оборудования (табл. 5).

В табл. 6 приведены результаты испытаний TVS-диодов компании Littelfuse (TPSMA6L, TPSMB, TPSMC, TPSMD и TP6KE), проведенные в соответствии с рекомендациями стандарта ISO 7637-2. Как следует из данных TVS-диоды TPSMA6L, TPSMB, P6KE, TPSMC и TPSMD, соответственно мощностью 600, 600, 600, 1500 и 3000 Вт удовлетворяют требованиям стандарта. В режиме load dump в системах с напряжением бортовой сети 12 В, при сопротивлении генератора R_i > 4.5 Ом, можно применять диоды типа TPSMD. Если R_i < 4.5 Ом, следует использовать более мощные диоды типа SLD.

Перенапряжения в системе электроснабжения автомобиля, возникающие при отключении аккумулятора, и электропитании от генератора (load dump), характеризуются большой энергией. При использовании для ограничения напряжения TVS-диодов уровень тока, протекающего через диод, а, следовательно, выделяемая на нем мощность зависят от внутреннего сопротивления генератора (R_i). В стандарте ISO7637-2 приведена формула для определения внутреннего сопротивления

$$R_i = 10 \times V_{ном} \times n / 0.8 \times I_{ном} \times 12000,$$

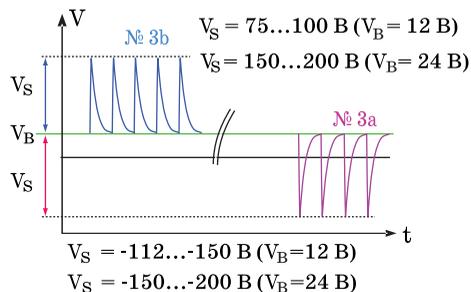


Рис. 8. Параметры импульсов № 3а/б

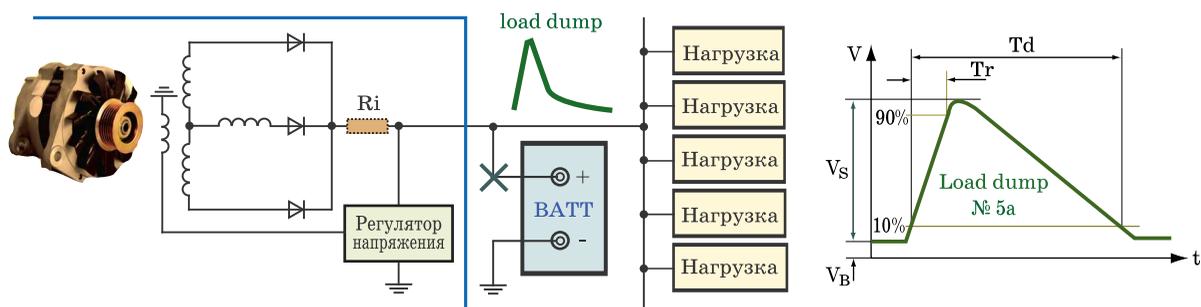


Рис. 9. Параметры импульса № 5а

Таблица 4. Сравнительные параметры импульса № 5а

| Параметр | ISO16750-2 | | Число импульсов | ISO7637-2 | | Число импульсов |
|------------|--------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|-----------------|
| | Напряжение батареи | | | Напряжение батареи | | |
| | 12 В | 24 В | | 12 В | 24 В | |
| V_S , В | 79...101 | 151...202 | 10 | 65...87 | 123...174 | 1 |
| V_B , В | 14 | 28 | | 13...14 | 26...28 | |
| R_i , Ом | 0.5...4.0 | 1.0...8.0 | | 0.5...4.0 | 1.0...8.0 | |
| t_d , мс | 40...400 | 100...350 | | 40...400 | 100...350 | |
| T_r , мс | 10±0.5 | | | 10±0.5 | | |

Таблица 5. Рекомендуемый перечень и условия проведения испытаний

| Тестовый импульс | Батарея 12 В | | | Батарея 24 В | | |
|------------------|-------------------------------|--------|--|-------------------------------|--------|--|
| | Категория жесткости испытаний | | Кол-во импульсов, продолжительность тестирования | Категория жесткости испытаний | | Кол-во импульсов, продолжительность тестирования |
| | 3 | 4 | | 3 | 4 | |
| 1 | -75 В | -100 В | 5000 имп. | -300 В | -600 В | 5000 имп. |
| 2а | 37 В | 112 В | 5000 имп. | 37 В | 112 В | 5000 имп. |
| 2b | 10 В | 10 В | 10 имп. | 20 В | 20 В | 10 имп. |
| 3а | -112 В | -220 В | 1 час | -150 В | -300 В | 1 час |
| 3b | 75 В | 150 В | 1 час | 150 В | 300 В | 1 час |
| 5а | 65 В | 87 В | 1 имп. | 123 В | 173 В | 1 имп. |
| 5b | | | 1 имп. | | | 1 имп. |

где, $V_{ном}$ и $I_{ном}$ – номинальные параметры генератора, n – скорость его вращения (об/мин). При использовании генератора с номинальными параметрами 14 В/60 А и $n = 3000$ об/мин, получаем $R_i = 0.73$ Ом.

Ток, протекающий через TVS-диод, определяется из простого выражения:

$$I = (V_S - V)/R_i,$$

где, V_S – амплитуда импульса, V – падение напряжения на TVS-диоде.

TVS-диоды серии SLD мощностью 2200/5000 Вт (10×150 мс/10×1000 мкс) соответствуют рекомендациям стандартов АЕС-Q101, ISO 7637, ISO 16750, IEC-61000-4-2, IEC 61000-4-4 и ориентированы на применение в автомобильной электронике, в том числе, и для защиты от выбросов напряжения, возникающих при отключении аккумулятора (load

Таблица 6. Результаты испытаний TVS-диодов компании Littelfuse

| Тип | Батарея 12 В | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------|----|----|------|-----|---------------------------------|-----|----|------|-----|-----|---------|
| | Категория жесткости испытания 3 | | | | | Категория жесткости испытаний 4 | | | | | | |
| | Тестовый импульс | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2a | 2b | 3a | 3b | 1 | 2a | 2b | 3a | 3b | 5a | 5b |
| | Напряжение, В | | | | | | | | | | | |
| | -75 | 37 | 10 | -112 | 75 | -100 | 112 | 10 | -220 | 150 | 87 | 87 |
| TPSMA6L | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMB | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMC | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMD | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | ≥4.5 Ом |
| TP6KE | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| Тип | Батарея 24 В | | | | | | | | | | | |
| | Категория жесткости испытания 3 | | | | | Категория жесткости испытаний 4 | | | | | | |
| | Тестовый импульс | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2a | 2b | 3a | 3b | 1 | 2a | 2b | 3a | 3b | 5a | 5b |
| | Напряжение, В | | | | | | | | | | | |
| | -300 | 37 | 20 | -150 | 150 | -600 | 112 | 20 | -300 | 300 | 173 | 173 |
| TPSMA6L | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMB | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMC | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TPSMD | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| TP6KE | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |

Таблица 7. Параметры некоторых TVS-диодов серии SLD

| Тип | | $V_{BR} (I_T = 5 \text{ мА,}) \text{ В}$ | | $V_R, \text{ В}$ | $I_R, \text{ мкА}$ | $I_{PP}, \text{ А}$ | $V_C, \text{ В}$ |
|------------|-----------|--|-------|------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| | | Мин. | Макс. | | | | |
| SLD12U-017 | SLD12-018 | 13.3 | 14.7 | 12 | 10 | 256.3 | 19.9 |
| SLD15U-017 | SLD15-018 | 16.7 | 18.5 | 15 | | 209 | 24.4 |
| SLD20U-017 | SLD20-018 | 22.2 | 24.6 | 20 | | 157.4 | 32.4 |
| SLD28U-017 | SLD28-018 | 31.1 | 34.4 | 28 | | 112.3 | 45.4 |
| SLD33U-017 | SLD33-018 | 36.7 | 40.6 | 33 | | 95.7 | 53.3 |
| SLD43U-017 | SLD43-018 | 49.0 | 54.2 | 43 | | 73.6 | 69.4 |
| SLD58U-017 | SLD58-018 | 64.4 | 71.2 | 58 | | 54.5 | 93.6 |
| SLD60U-017 | SLD60-018 | 68.4 | 75.6 | 60 | | 52.7 | 96.8 |

dump). TVS-диоды серии SLD предназначены для монтажа в отверстия и имеют габаритные размеры 9.1×9.1 мм. Параметры некоторых TVS-диодов серии SLD (Littelfuse) даны в табл. 7.

Для TVS-диода SLD15U-017 на рис. 10 приведены графики зависимости допустимой амплитуды (V_s) импульса № 5а от сопротивления источника и длительности (T_d) для систем с на-

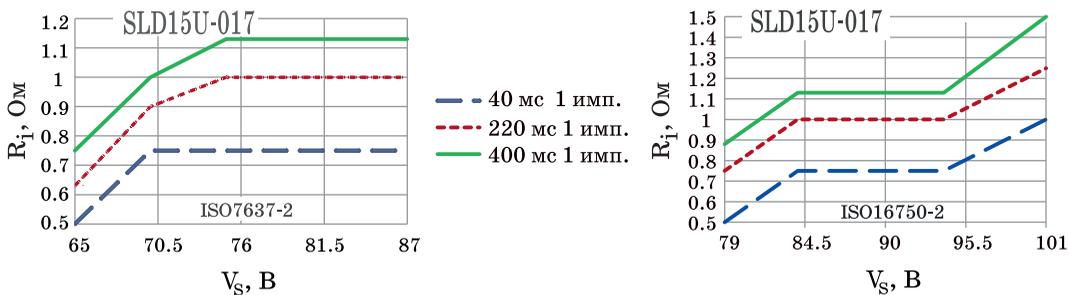


Рис. 10. Графики зависимости допустимой амплитуды от сопротивления источника и длительности импульсов

пряжением бортовой сети 12 В и с учетом рекомендаций соответствующих стандартов [2]. В [3] кроме стандартного набора параметров для TVS-диодов SLD15U-017, SLD15-018 и SLD28U-017, которые могут использоваться в качестве ограничителей напряжения в бортовых системах 12/24 В, приводится также зависимость допустимой амплитуды импульса от сопротивления генератора (рис. 11).

В автотранспортных средствах для передачи данных между устройствами широко используется высокоскоростная шина CAN (Control Area Network) и низкоскоростная LIN (Local Interconnect Network). Естественно, что на проводах сигнальных цепей вследствие индуктивных и емкостных связей могут возникать нежелательные перенапряжения.

Требования, а также методики проверки помехозащищенности автомобильного оборудования, в которых моделируются помехи в цепях, не относящиеся к цепям электропитания, приведены в стандарте ISO 7637-3 (Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than sup-

ply lines). В стандарте описан набор тестов и методики испытаний для оценки помехозащищенности электронного оборудования. Предлагаются три методики: ICC (Inductive Coupling Clamp), DCC (Direct Capacitive Coupling) и CCC (Capacitive Coupling Clamp). Примеры реализации этих методик приведены на рис. 12.

Диапазон напряжений на входе/выходе LIN-приемопередатчиков: -15...24 В. В этом случае для защиты от перенапряжений можно рекомендовать использовать два TVS-диода – TPSMA6L15A и TPSMA6L24A, соответственно с напряжением пробоя 15 и 24 В и допустимой мощностью 600 Вт. Для защиты CAN-приемопередатчиков можно рекомендовать использовать пару симметричных TVS-диодов типа TPSMB24CA или TPSMB15CA (рис. 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для защиты цепей электронных устройств от воздействия перенапряжений могут использоваться различные методы защиты. Одним из эффективных схемотехнических способов за-

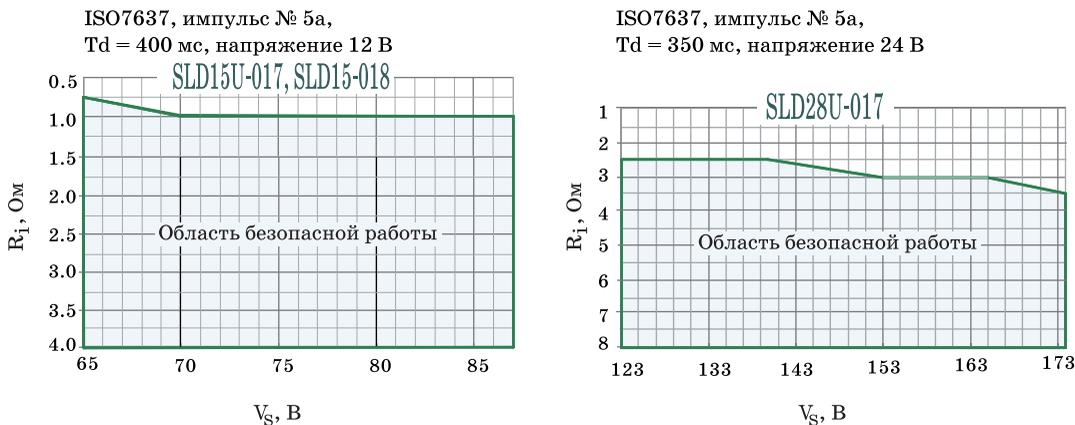


Рис. 11. Область безопасной работы TVS-диодов

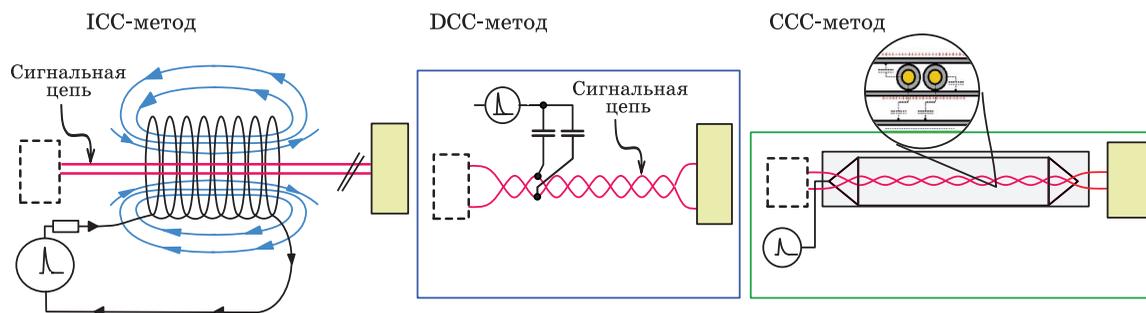


Рис. 12. Методики испытаний в соответствии со стандартом ISO7637-3

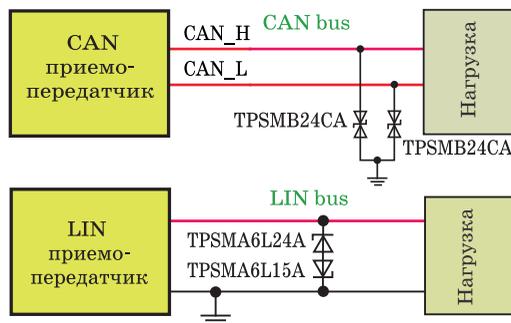


Рис. 13. Варианты защиты устройств от перенапряжений

применение TVS-диодов.

Более полную информацию о TVS-диодах компании Littelfuse можно найти в [1-4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Product catalog&design guide. TVS diode transient voltage suppression diode devices. – Littelfuse, 2014.
2. Automotive circuit protection using littelfuse automotive TVS diodes. – Littelfuse, 2015.
3. Transient voltage suppression diodes. 2200W, SLD series. – Littelfuse, 2015.
4. www.littelfuse.com.

щиты электротехнического оборудования от воздействия выбросов напряжения является

ОФИСНЫЙ ЦЕНТР VD MAIS

Если Вам необходимо провести семинар, тренинг или презентацию, добро пожаловать в офисный центр НПФ VD MAIS!

К Вашим услугам современный конференц-зал площадью 300 кв.м, рассчитанный на 250 мест, который идеально подходит для проведения тренингов, семинаров и конференций. Для ведения деловых встреч имеются комнаты для переговоров. Офисный центр расположен в живописном парке "Отрадный". Зал оборудован мультимедийным проектором, микрофоном, LCD-монитором, компьютером, удобной мебелью, системой кондиционирования и гардеробной. Возможна организация "кофе-паузы", а также обедов в ресторане "VD Restaurant Park".



Обращаться по адресу: г. Киев, ул. М. Донца, 6
 ekis@vdm ais.ua
 тел.: (0-44) 220-0101 (внутр. 1209)
 факс: (0-44) 220-0202
 Контактное лицо: Вадим Черный

VD MAIS
 The Professional Distributor