

Защита от перенапряжений

Игорь КОЛОБОВ,
IgorNickKolobov@list.ru

В статье рассматриваются компоненты защиты от перенапряжения. Кратко описываются наиболее интересные из них. Приводится практический пример реализации защиты от перенапряжений в автомобильной электронике.

Поскольку перенапряжения в электрических цепях происходят практически во всех электронных системах, в них установлены те или иные компоненты защиты. Перенапряжения могут вызываться не только внешними, но и внутрисхемными источниками. К первым из них относятся разряды, вызванные прикосновениями к корпусу прибора, разряды молнии, помехи, возникающие при коммутации силового оборудования. Эти источники создают радио- и кондуктивные помехи на проводах и кабелях, подключенных к электронному изделию.

Внутренними источниками помех чаще всего служат AC/DC- и DC/DC-преобразователи, а также устройства, формирующие импульсы с крутыми фронтами. Существует ряд российских стандартов, гармонизированных с международными, в которых описываются требования и методы испытаний для обеспечения защиты от перенапряжений.

- ГОСТ IEC 60950-1-2014 «Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования».
- ГОСТ IEC 60950-21-2013 «Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 21. Удаленное электропитание».
- ГОСТ 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-2:2008) «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний».
- ГОСТ IEC 61000-4-4-2016 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам)».
- ГОСТ IEC 61000-4-5-2017 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения».
- ГОСТ IEC 61643-21-2014 «Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к телекоммуникационным и сигнализационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний».

Например, в ГОСТ 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-2:2008) описаны методы испытаний на устойчивость к внешним электростатическим разрядам. На рис. 1 показан импульс тока испытательного генератора. Длительность нарастания фронта должна составлять 0,8 нс, а пиковый ток в зависимости от метода испытаний варьируется в пределах 2—16 А. Напряжение разряда в зависимости от метода испытаний находится в пределах 2—8 кВ.

Защита от внешних источников осуществляется конструктивными способами, с помощью экранирования и заземления корпуса прибора, а также кабелей, подключаемых к прибору. Этой теме посвящено немало статей, и мы не будем ее касаться. Защита от перенапряжений, которые «смогли пробраться» в изделие или формируются внутри

него, реализуется с помощью специальных компонентов. К ним относятся газовые разрядники, варисторы, TVS-диоды.

Применение газовых разрядников не вызывает особых вопросов — их используют в зашумленных средах с мощными источниками перенапряжений. Например, максимальное напряжение пробоя газовых разрядников Ercos достигает 6 кВ, а импульсный ток — 100 кА. Примерно в таких же случаях, но в системах с напряжением не более 1000 В используются высоковольтные варисторы. Варисторы той же компании Ercos рассеивают в импульсе до 6000 Дж; при этом через них протекает ток до 100 кА. Преимущество варисторов над газовыми разрядниками заключается в меньшем времени восстановления после срабатывания, но у газовых разрядников меньше напряже-

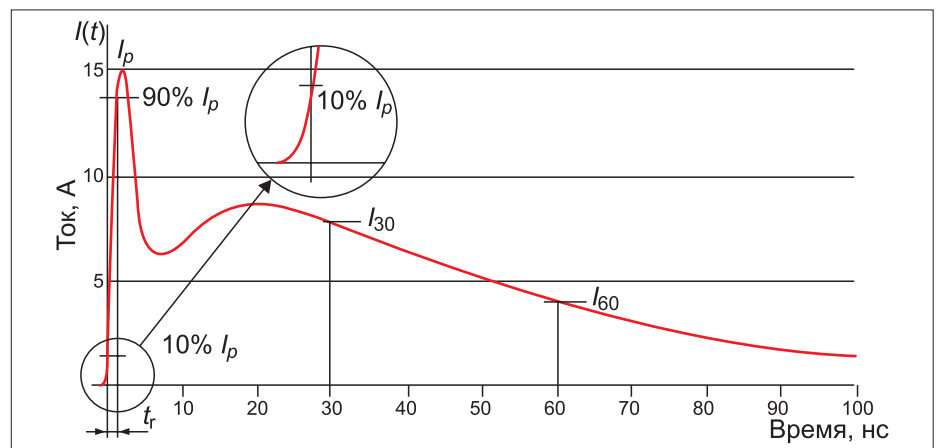


Рис. 1. Импульс тока испытательного генератора для проверки изделия на электростатический разряд

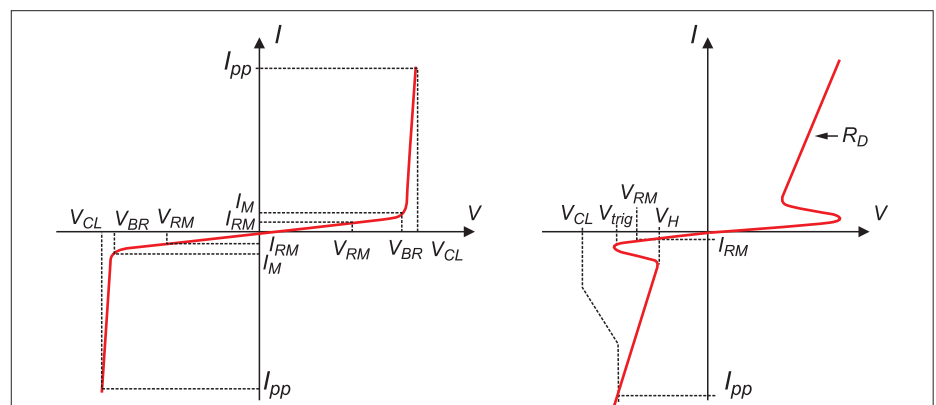


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики варисторов (слева) и TVS-диодов (справа)

ния срабатывания и они рассеивают меньшую мощность.

В случае защиты высокочастотных низковольтных цепей или низковольтных цепей с высокоскоростными интерфейсами проблема выбора защитных компонентов решается не так просто. Дело в том, что компонент защиты не должен влиять на полезный сигнал. Это значит, что его паразитная емкость и ток утечки должны быть минимальными. Причем, чем выше частота сигнала или меньше длительность фронта сигнала, тем меньше должна быть паразитная емкость компонента защиты.

В данном случае допускается использование многослойных варисторов или TVS-диодов. Среди производителей этих компонентов, широко представленных на нашем рынке, выделим Bourns, Littelfuse, TDK Epcos, Toshiba, STMicroelectronics. Вольтамперные характеристики варисторов или TVS-диодов приведены на рис. 2. Для основных параметров приняты следующие обозначения:

- V_{RM} — максимальное рабочее напряжение при нормированном производителем токе утечки;
- I_{RM} — нормированный производителем ток утечки;
- I_{PP} — максимальный импульсный ток для волны перенапряжения с заданными параметрами;
- R_D — динамическое сопротивление;
- V_{BR} — напряжение начала пробоя, при котором ток утечки достигает 1 мА;
- V_{CL} — напряжение ограничения;
- V_H — минимальное напряжение ограничения, которое является пороговым для отключения защиты;
- V_{TRIG} — напряжение «опрокидывания» вольтамперной характеристики;
- C_{LINE} — емкость компонента, определяемая при 1 МГц и 0—30 мВ;
- P_{PP} — пиковая рассеиваемая мощность.

Проверка защищаемых цепей производится стандартным импульсом перенапряжения, форма которого приведена на рис. 3. Мощность импульса определяется на тонированном участке. Форма импульса описывается соотношением t_1/t_2 и в зависимости от целей испытаний и используемых стандартов принимает значения 8/20 мкс, 10/1000 мкс и 5/50 нс. Для каждой формы импульса производитель нормирует максимальный ток I_{PP} .

Упомянутые выше четыре компании (Bourns, Littelfuse, TDK Epcos, STMicroelectronics) выпускают огромное количество многослойных варисторов или TVS-диодов. Поскольку рассмотреть их все или даже систематизировать в рамках одной статьи не представляется возможным, мы кратко остановимся на некоторых наиболее интересных, на наш взгляд, компонентах.

Начнем с многослойного варистора CG0402MLU/CG0603 MLU семейства ChipGuard компании Bourns. Его емкость составляет всего 0,05 пФ. Это феноме-

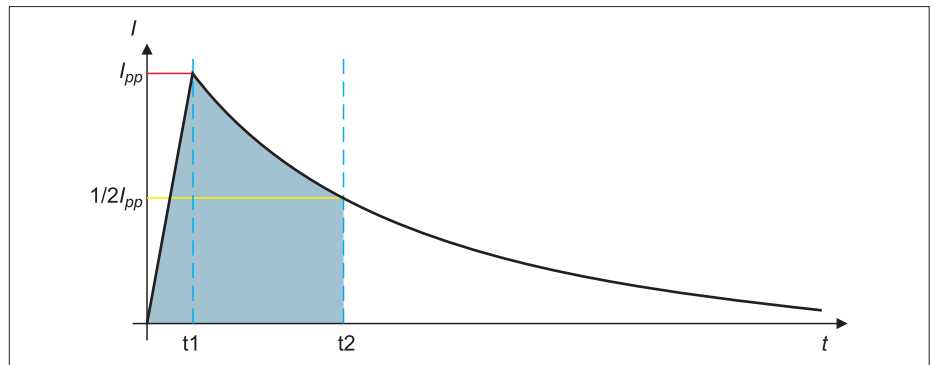


Рис. 3. Стандартный импульс перенапряжения для проверки защищаемой цепи

нальный результат, принципиально недостижимый для TVS-диодов из-за невозможности уменьшить до такой величины емкость *p-n*-перехода. Скорее всего, эта емкость меньше паразитной емкости проводников печатной платы, к которым подключается варистор. Максимальный ток утечки варистора также крайне мал — не более 5 нА. Другими словами, он не нарушает целостность сигнала защищаемой линии. Казалось бы, найдено идеальное решение, но, увы, в эту бочку меда мы вынуждены добавить ложку дегтя.

Во-первых, величина напряжения ограничения V_{CL} варисторов CG0402MLU/CG0603MLU довольно велика и составляет 25 В. Для низковольтных цепей это большое напряжение, которое может оказаться неприемлемо высоким для компонентов цепи. Другой возможный недостаток заключается в относительно большом напряжении срабатывания V_{TRIG} . По заявлению производителя, эта величина достигает 250 В при испытании на контактный разряд по уровню 4 (испытательное напряжение 8 кВ) ГОСТ 30804.4.2–2013 (IEC 61000–4-2:2008).

Возможно, столь большое напряжение V_{TRIG} обусловлено принципом действия варистора: его сопротивление резко уменьшается при нагреве, время которого не может быть бесконечно малым. За это время испытательное

напряжение успевает дорасти до 250 В. Конечно, на практике подобная ситуация маловероятна — едва ли конструкция изделия позволит провести испытания по методам ГОСТ 30804.4.2–2013 (IEC 61000–4-2:2008), как это показано на рис. 4, но тепловую инерционность варистора разработчику следует держать в уме. Низкочастотный шум, генерируемый варистором, следует учитывать при защите цепей с аналоговыми сигналами. В нашем же случае, напомним, речь идет о высокоскоростных интерфейсах, и потому им можно пренебречь.

Компании Littelfuse удалось минимизировать паразитную емкость TVS-диодов SP3011: она составляет 0,4 пФ. Однако большего внимания заслуживает последняя новинка Littelfuse этого года — 4-канальный массив TVS-диодов SP3384NUTG. Хотя его паразитная емкость чуть выше и составляет 0,5 пФ, ток утечки заметно меньше — всего 3 нА (тип.). По этой же причине мы отдадим этому массиву предпочтения и перед TVS-диодом CDDFN2-T5.0LC компании Bourns, ток утечки которого заметно выше и составляет 100 нА.

Кроме того, методы испытания у SP3011 заметно жестче, чем были у аналогов. И для воздушного, и для контактного разрядов испытания по ГОСТ 30804.4.2–2013 (IEC 61000–4-2:2008) проводились напря-

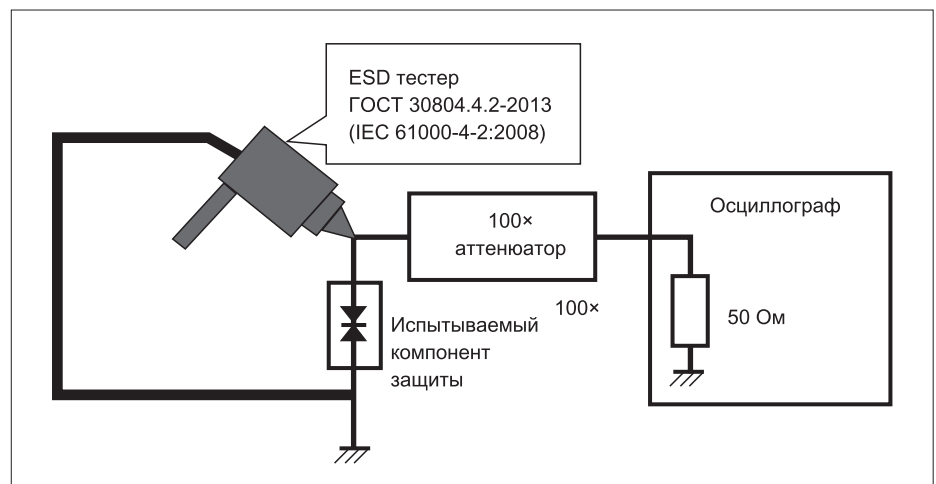


Рис. 4. Испытания по ГОСТ 30804.4.2–2013 (IEC 61000–4-2:2008)

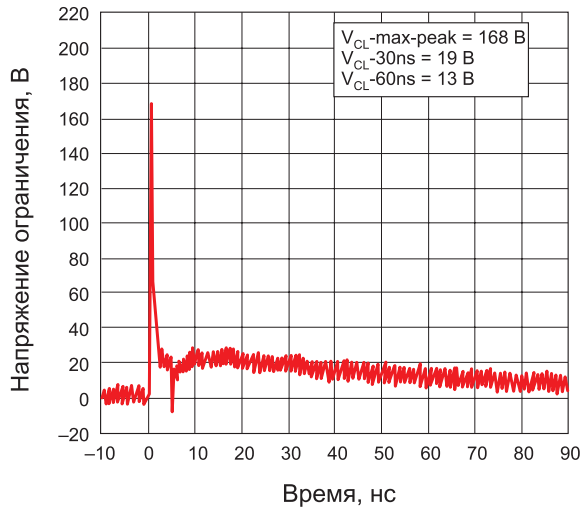


Рис. 5. Результаты испытаний TVS-диода DF2B5M4ASL импульсом 8 кВ, 5/50 нс

жением 30 кВ, что заметно превышает требования стандарта. Пиковый ток при испытательном импульсе 8/20 мкс составил 15 А, а при импульсе 5/50 нс — 40 А. Эти показатели заметно лучше, чем у аналогов, производство которых началось на несколько лет раньше.

Напряжение ограничения TVS-диодов SP3011 при импульсе 8/20 мкс и пиковом токе 1 А не превышает 4 В, а при увеличении пикового тока до 15 А — 12 В. Величина напряжения V_{TRIG} составляет примерно 21 В. Массив SP3011 способен обеспечить защиту двух дифференциальных сигнальных пар.

Не менее интересную новинку представила компания Toshiba. Ей удалось уменьшить емкость TVS-диода DF2B5M4ASL до 0,15 пФ. Впечатляют и результаты испытаний импульсом 8 кВ, 5/50 нс. Результаты испытаний показаны на рис. 5. Как видно из рисунка, максимальное напряжение составило 168 В, что намного лучше, чем у рассмотренного выше варистора при импульсе 8/20 мкс. TVS-диод DF2B5M4ASL рассеивает мощность 30 Вт при воздействии на него импульса 8 кВ, 8/20 мкс.

Хотя мы рассмотрели компоненты для защиты от перенапряжений для высокоскоростных интерфейсов, нельзя не упомянуть любопытную идею компании TDK Epcos, доказавшей верность известного изречения: «Наши достоинства — продолжение наших недостатков». Вместо того чтобы свести к минимуму паразитную емкость варисторов, ее увеличили. В результате получилось интересное решение — семейство многослойных варисторов MCVA с двумя варисто-

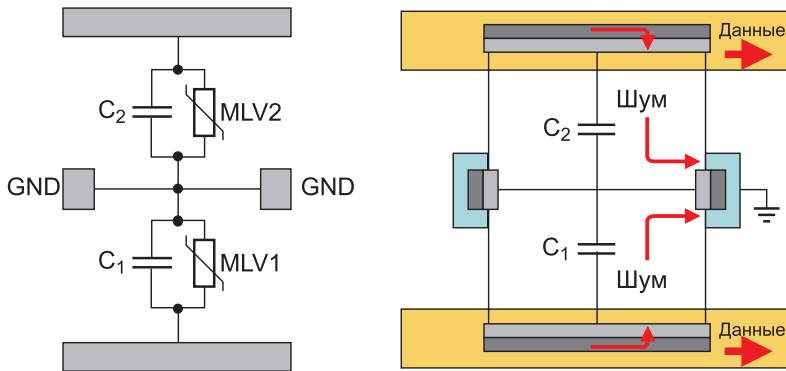


Рис. 6. Варисторы семейства MCVA с согласованными емкостями

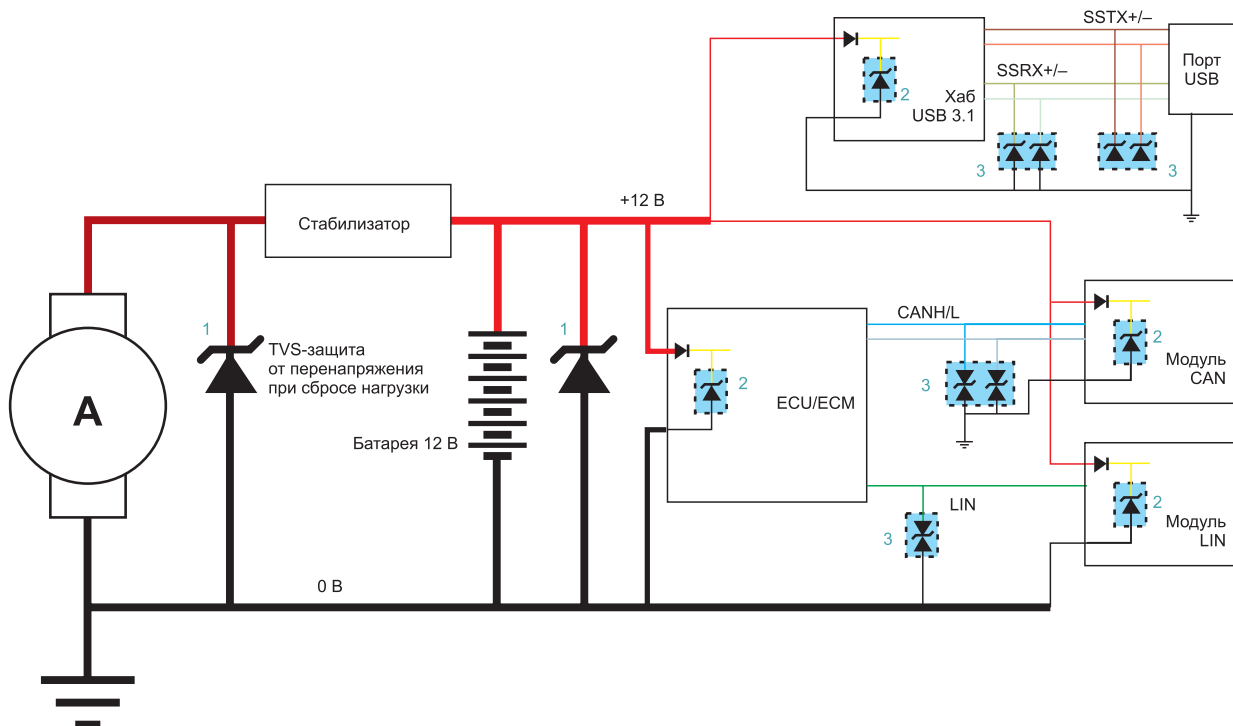


Рис. 7. Обобщенная электрическая схема электрооборудования современного автомобиля

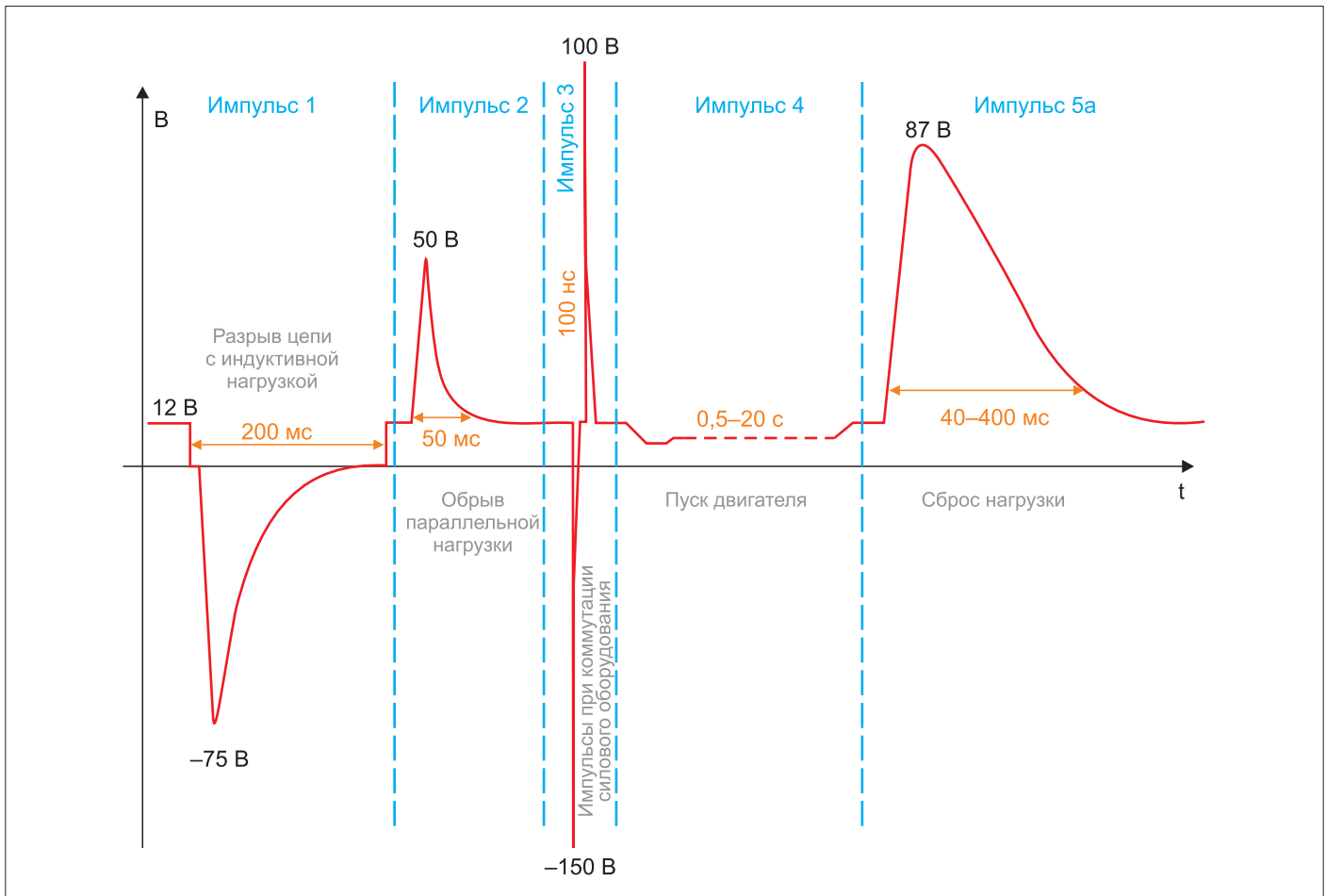


Рис. 8. Импульсы перенапряжения и их источники

рами в одном корпусе с одинаковой емкостью (рис. 6); рассогласование значений емкости не превышает 1%.

Таким образом, помимо ограничения перенапряжений варисторы MCVА выполняют функцию фильтра электромагнитных помех и могут использоваться в дифференциальных интерфейсах с ограниченной скоростью передачи данных, например FlexRay, CAN и др. Компания производит варисторы с согласованными емкостями в пределах $2 \times 15 - 2 \times 100$ пФ для интерфейсов со скоростью передачи данных до 10 Мбит/с. Эти варисторы можно использовать и для защиты аналоговых цепей.

Перенапряжения могут вызваться несколькими источниками в разных частях электрической цепи. Воспользуемся примером из [1]. На рис. 7 показана обобщенная электрическая схема электрооборудования современного автомобиля. TVS-диоды установлены на входах и выходах всех электронных блоков. На рис. 8 показаны возможные импульсы перенапряжения и указаны их источники.

По мере все большего использования межмодульной связи в современных транспортных средствах возрастает спрос на TVS-устройства для работы с сигналами стандартов CAN, FlexRay и LIN. Эти шины

применяются для осуществления критичной к безопасности связи между автомобильными модулями; передача сигналов может прерываться из-за помех малой мощности. В таких случаях требуется защитить сигналы и модули, не уменьшая ширину полосы пропускания. Описанные выше компоненты позволяют реализовать полную защиту рассмотренной на рис. 5 системы. ■

Литература

1. Isaac Sibson. Adding Transient Voltage Suppression in Automotive Applications// www.powersystemsdesign.com.