

Надежная защита от перенапряжения

ДЖЕЙМС ГЕРР (JAMES HERR), старший инженер-разработчик, Linear Technology

ЭЛИСОН СТИП (ALISON STEER), менеджер по маркетингу продукции, Linear Technology

Высоковольтные выбросы источников питания, длящиеся от микросекунд до сотен миллисекунд, – обычное явление в автомобильных и промышленных устройствах. Наиболее тяжелые условия работы автомобильной электроники возникают, когда из-за плохого контакта или случайного отсоединения аккумулятора бортовая сеть питается только от автомобильного генератора.

В статье описываются возможности ограничителя скачков напряжения LT4356, который обеспечивает защиту даже от самых разрушительных импульсов, устраняя необходимость в использовании громоздких фильтрующих компонентов. Кроме того, даются рекомендации по максимальному расширению функциональности этого устройства.

LT4356 обеспечивает полную защиту, предохраняет от перегрузок и короткого замыкания, противодействует изменению полярности входного напряжения благодаря простому решению на базе ИС/МОП-транзистора. В отличие от ограничителей перенапряжения, которые допускают увеличение тепловой энергии всего лишь на несколько джоулей в течение непродолжительного времени, а затем перегреваются, это устройство защищает от перенапряжения по постоянному току и перегрузки по току.

Типичная кривая переходного режима при изменении нагрузки в автомобильной бортовой сети показана на рисунке 1. Характерное время нарастания импульса составляет 5 нс, после чего происходит его спад по экспоненте в течение нескольких сотен миллисекунд. Амплитуда выброса зависит от скорости вращения автомобильного генератора и поля возбуждения в момент отсоединения аккумулятора. Согласно данным SAE (Society of Automotive Engineers – Общества автомобильных инженеров) амплитуда импульса может достигать 125 В.

Перенапряжения возникают также при запуске двигателя («прикуривании») от внешнего источника или из-за отказа регулятора напряжения. В самом худшем случае время превышения номинального значения напряжения батареи может составлять до 5 мин. Паразитная индуктивность проводов вызывает импульсы перенапряжения длительностью до нескольких микросекунд. Другие переходные процессы в электронной системе автомобиля, например при коммутации реле и соленоидов, могут носить периодический характер. Кроме того, часто возникают помехи от системы зажигания и различного дополнительного оборудования (например, электроприводов стеклоподъемников, дверных замков).

Эти помехи распространяются по электропроводке автомобиля через паразитные емкостные или индуктивные связи либо через резистивную связь по «массе». Основное

преимущество ограничителя LT4356 – способность справляться с этими переходными процессами, работая как стабилизатор напряжения. Пользователь может подобрать подходящие резисторы обратной связи для функционирования микросхемы в переходных режимах с напряжением 100 В и выше. Регулируемый таймер устанавливает ограничение по времени, чтобы МОП-транзистор устройства функционировал в заданном режиме, прежде чем нагрузка отключится и система завершит работу.

На рисунке 2 показана выходная характеристика LT4356 при изменяющемся входном напряжении. Выходной сигнал стабилизируется на безопасном уровне 16 В в течение всего процесса.

РАБОТА СХЕМЫ

На рисунке 3 представлена функциональная блок-схема ограничителя скачков напряжения LT4356. В нормальных условиях работы проходной p-канальный МОП-транзистор микросхемы полностью открыт и не влияет на цепь нагрузки. В режиме перегрузки по напряжению или току МОП-транзистор начинает работать как последовательный ограничитель. Если входное напряжение превышает значение, установленное делителем обратной связи, усилитель напряжения переводит МОП-транзистор в линейный режим, и тот работает подобно стабилизатору напряжения, ограничивая напряжение на нагрузке заданной величиной. Для защиты МОП-транзистора и нагрузки от короткого замыкания ИС LT4356 снабжена функцией ограничения по току.

При первой подаче напряжения или активации LT4356 подачей на вывод SHDN сигнала высокого уровня внешний МОП-транзистор открывается постепенно, обеспечивая мягкий старт и ограничивая броски тока, чтобы свести к минимуму бросок нагрузки во входной цепи и снизить вероятность перегорания предохранителей. При полностью открытом МОП-транзисторе ($V_{ds} < 700$ мВ) на выводе разре-

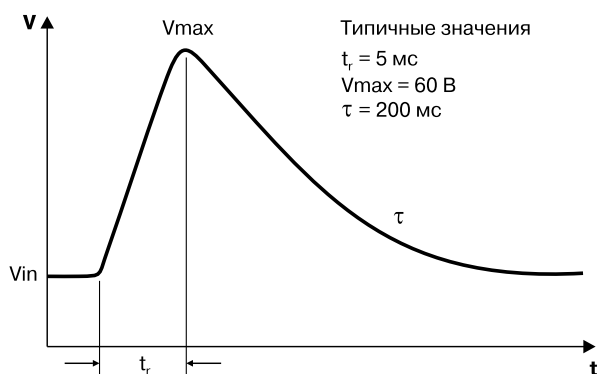


Рис. 1. Типичная кривая переходного режима при изменении нагрузки

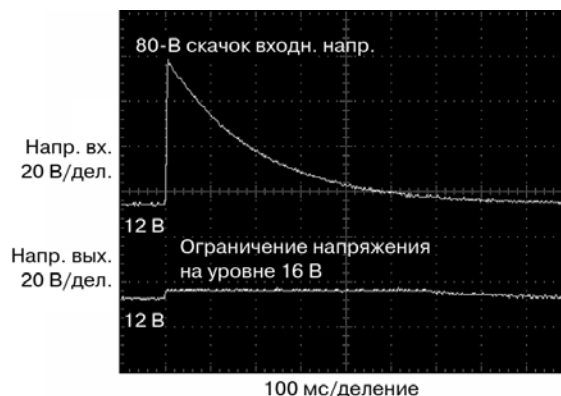


Рис. 2. Выходная характеристика LT4356

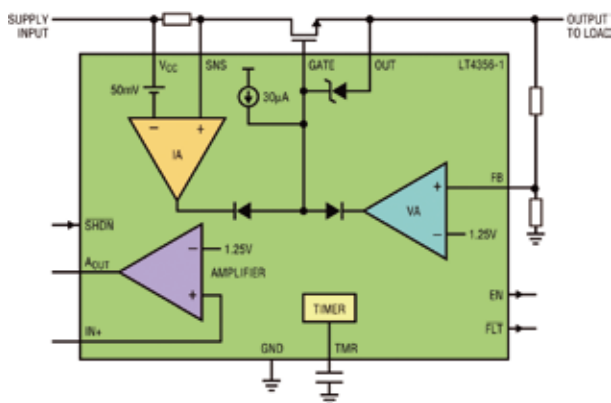


Рис. 3. Блок-схема ограничителя перенапряжения

шения (EN) появляется высокий уровень. По этому сигналу можно активировать схему нагрузки, например микропроцессор или импульсный стабилизатор.

Усилитель тока или напряжения начинает функционировать при перегрузке по напряжению или току. В режиме перенапряжения цепь нагрузки продолжает работать, причем питающее напряжение возрастает незначительно (см. рис. 2). Цепь нагрузки продолжает работу в том случае, если при перегрузке по току обеспечивается достаточное выходное напряжение. При работе микросхемы в режиме ограничения, независимо от причины, начинает заряжаться времязадающий конденсатор.

Если этот режим продолжается достаточно долго, и на выводе TMR, к которому подключен времязадающий конденсатор, напряжение достигает первого порогового уровня 1,25 В, на выводе FAULT устанавливается низкий уровень, что позволяет заранее оповестить подключенную схему о грядущем отключении энергии. При достижении второго

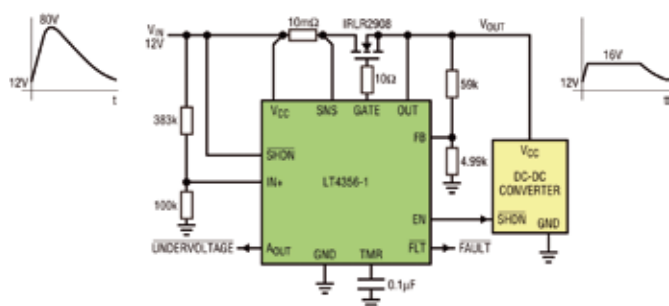


Рис. 4. Практическое применение

порогового уровня 1,35 В МОП-транзистор закрывается, и схема начинает выдержку для охлаждения перед повторным запуском.

Другая особенность LT4356 состоит в наличии дополнительного усилителя, который можно использовать в качестве компаратора-измерителя напряжения, устройства контроля входного напряжения или стабилизатора с малым падением напряжения. Установка вывода SHDN у модификации ИС LT4356-1 в низкий уровень отключает всю схему. При этом ток, потребляемый ИС от источника питания, уменьшается до 5 мкА, что позволяет использовать ее в устройствах с батарейным питанием. В версии LT4356-2 остаются активными вспомогательный усилитель и внутренний источник опорного напряжения, при этом холостой ток равен 50 мкА. Поэтому LT4356-2 предназначена для устройств, в которых для поддержания жизненно важных функций требуется сохранить работу вспомогательного усилителя, используемого в качестве линейного стабилизатора, при отключении остальных функций системы.

В представленной на рисунке 4 цепи внешний резистивный делитель на выводе обратной связи установлен таким образом,

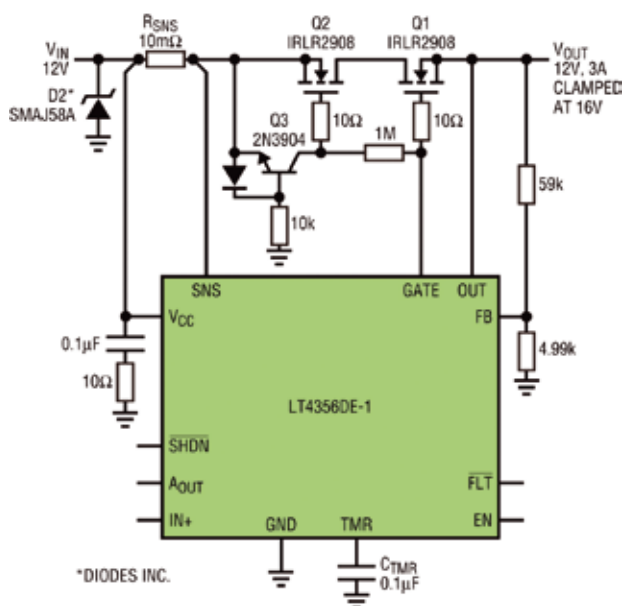


Рис. 5. Исключение из схемы диода Шоттки

чтобы ограничивать выходное напряжение до 16 В в моменты возникновения перенапряжения. Если входное значение превысит данное значение, устройство будет поддерживать установленное напряжение, пока входное напряжение не придет в норму или не прекратится действие таймера (при достижении второго порога 1,35 В после заданного времени ожидания).

Дополнительный усилитель настроен на отслеживание входного напряжения и обнаружение пониженного напряжения с помощью вывода A_{OUT}. Сигнал с вывода разрешения (EN) активирует нагрузку после полного открытия МОП-транзистора.

РЕЖИМ ХОЛОДНОГО ПУСКА

Режимом холодного пуска называют такие условия, в которых двигатель автомашины подвергается длительному воздействию низких температур. При этом машинное масло становится очень вязким. От стартера в этих условиях требуется большой вращающий момент, что, в свою очередь, вызывает потребность в большем токе от аккумулятора. Эта токовая нагрузка приводит к снижению напряжения батареи и бортовой сети до 4 В (номинальное напряжение бортовой сети 13,8 В).

Проблемы при холодном пуске возникают, когда системам автомобиля требуется постоянное стабилизированное напряжение. Обычный импульсный стабилизатор перестает работать при уменьшении входного напряжения ниже 5 В. Преобразователь с топологией SEPIC (single ended primary inductor converter – преобразователь с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью) и двойным дроселем позволяет решить эту задачу, поскольку он может как понижать, так и повышать напряжение. ИС LT4356 эффективно работает даже при входном напряжении 4 В, не требуя усложнения схемы и применения SEPIC-преобразователя.

Таким образом, LT4356 – более эффективное и компактное решение для обеспечения работы оборудования автомобиля в условиях холодного пуска; он дешевле и может работать с подключенными к нему низковольтными DC/DC-преобразователями. Благодаря широкому диапазону входного напряжения (4...80 В) ИС обеспечивает непрерывное питание как в условиях холодного пуска, так и при бросках напряжения.

РАБОЧИЙ ТОК

С появлением в составе автомобильного оборудования систем навигации, безопасности и других постоянно

работающих систем подача питания требуется даже при выключенном зажигании. Этот ток силой в несколько сотен миллиампер может полностью разрядить аккумулятор за несколько недель. Для того чтобы продлить срок работы батареи при простое автомобиля, необходимо значительно уменьшить потребляемый электронными системами ток, не увеличивая их размер и сложность.

Типичное потребление тока ИС LT4356 в активном состоянии – 600 мкА. Вывод SHDN используется для того, чтобы установить для LT4356 экономичный режим в условиях, когда система отключена. В этом режиме LT4356-1 отключаются все функции, и потребляемый ток сокращается до 5 мкА. У LT4356-2 вспомогательный усилитель и внутренний источник опорного напряжения остаются активными, чтобы обеспечить питание важных узлов в то время, когда основная система отключена. При этом потребляемый ток составляет всего 50 мкА.

ЗАЩИТА ОТ НЕПРАВИЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ АККУМУЛЯТОРА

В автомобиле всегда существует риск неправильного подключения аккумулятора (переполюсовки). Разработчики LT4356 предусмотрели такой случай. Обычно для защиты цепей от переполюсовки в шину питания последовательно включается диод Шоттки. Однако падение напряжения на этом диоде не только приводит к напрасному расходу энергии, но и затрудняет работу оборудования в условиях холодного пуска, когда напряжения батареи и без того недостаточно. При использовании вывода GATE микросхемы LT4356 для управления вторым МОП-транзистором дополнительный защитный диод не нужен.

На рисунке 5 показана схема с защитой от обратного подключения со вторым МОП-транзистором. При нормальном подключении питания транзистор Q2, как и Q1, полностью открыт сигналом с вывода GATE. Q3 закрыт и не влияет на работу схемы. При переполюсовке Q3 открывается и закрывает Q2, отключая нагрузку. Выводы V_{CC}, SNS и SHDN микросхемы способны выдерживать отрицательное напряжение до –30 В. Таким образом, при подаче напряжения обратной полярности ни микросхема, ни нагрузка не выходят из строя.

Блокировку от переполюсовки с малым падением напряжения можно реализовать на р-канальном МОП-транзисторе, но наиболее предпочтительно использование n-канального транзистора, особенно в случае с LT4356, у которой имеется специальный выход для управления его затвором.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ НАПЯЖЕНИЕ

Внутренний дополнительный усилитель может управлять внешним р-п-р-транзистором, обеспечивая дополнительную цепь питания. Поскольку через вывод A_{OUT} может протекать ток до 2 мА, дополнительный линейный стабилизатор на одном транзисторе может отдавать ток до 100 мА¹. Использование вспомогательного стабилизированного выхода позволяет поддерживать питание важных узлов схемы при отключении основных систем (при использовании LT4356-2 вспомогательный стабилизатор будет работать даже при переводе схемы в экономичный режим). Дополнительный усилитель можно также использовать как компаратор для обнаружения просадки напряжения или выполнения других задач по обеспечению питания системы.

ПЕРЕГРУЗКА ПО ТОКУ И КОНТРОЛЬ БРОСКОВ ТОКА

При подаче питания нередко броски тока через нагрузку, например, из-за зарядки конденсаторов большой емкости. Для ограничения таких бросков тока до приемлемого значения требуется схема мягкого пуска. LT4356 ограничивает скачки тока путем замедленного открывания управляющего

¹ Если принять коэффициент передачи по току управляющего транзистора = 50. Прим. ред.

МОП-транзистора. Скорость нарастания выходного напряжения задается конденсатором CL.

Кроме того, LT4356 имеет точную (отклонение – не более 10%) токоограничивающую цепь, которая защищает цепь от короткого замыкания или превышения тока нагрузки. Контур ограничения по току контролирует падения напряжения на внешнем измерительном резисторе небольшого сопротивления (RSNS), поддерживая его на уровне не более 50 мВ, в то же время заряжая времязадающий конденсатор. Например, если требуется ограничить ток величиной 5 А, сопротивление измерительного резистора выбирается равным 10 мОм. Зарядный ток времязадающего конденсатора подобран так, чтобы кратковременное превышение тока при перегрузке не превышало 5-кратное значение заданной величины – это сделано для ограничения мощности, рассеиваемой проходным транзистором.

Таким образом, незначительная перегрузка может длиться дольше, чем тяжелый режим (например, короткое замыкание на выходе), что обеспечивает надежную работу МОП-транзистора при всех условиях. Такой гибкий подход позволяет не только защитить нагрузку и МОП-транзистор, но и автоматически восстанавливать работоспособность цепи (предохранитель предшествующей цепи тоже не выходит из строя).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электронная «начинка» автомобильных и промышленных систем становится все более разнообразной и сложной, однако в цепях питания по-прежнему не исключены скачки напряжения. В современном автомобиле различными функциями – от контроля давления в шинах до привода стеклоподъемников – управляют более 50 микроконтроллеров. Среди этих устройств есть и те, от которых зависит безопасность движения, например радары для предупреждения столкновения или антиблокировочная система тормозов. Чтобы гарантировать их безотказную работу, требуется особенно надежное питание. Кроме того,

широко внедряются как встроенные, так и внешние системы навигации и информационно-развлекательные устройства. Производители сложной потребительской электроники – ноутбуков, MP3-плееров, GPS-устройств, питаемых или заряжаемых от автомобильных «прикуривателей», должны защитить свою продукцию от нестационарных процессов и неожиданных скачков напряжения в бортовой сети.

В большинстве автомобилей генератор оснащен реле-регулятором, которое служит для поддержания заданного напряжения при изменении нагрузки. Однако сам принцип регулирования напряжения в бортовой сети при помощи реле-регулятора, управляющего обмоткой возбуждения генератора с большой индуктивностью, а значит – инерционностью, не позволяет избежать кратковременных скачков напряжения. Поэтому для всякого электронного устройства, подключенного к бортовой сети, требуется вторичное ограничение напряжения для защиты от таких скачков. Самый простой способ защиты электроники – использование последовательно включенного дросселя с металлическим сердечником и шунтирующего электролитического конденсатора большой емкости. Для защиты от перегрузки или замыкания необходим плавкий предохранитель. Однако такой ограничитель имеет слишком большие размеры и вес. Кроме того, он справляется лишь с кратковременными выбросами. Сгоревший плавкий предохранитель требует замены, поэтому его приходится устанавливать в легкодоступном месте, а значит – прокладывать дополнительные провода.

Ограничитель напряжения LT4356 обеспечивает надежную защиту дорогостоящих и критичных с точки зрения безопасности компонентов последующих цепей. Это устройство позволяет уменьшить занимаемое место на плате, снизить рассеивание тепла и потери, связанные с использованием защитных диодов и дросселей фильтра. Благодаря повышенной эффективности и широкому диапазону рабочего напряжения достигается большая функциональность изделий при компактных размерах.