

Источник питания для автомобильных электронных систем, удовлетворяющий стандарту ISO 16750-2

Дэвид Мегроу
(David Megaw)

Перевод: Михаил Русских

tau68@rambler.ru

Введение

Организация питания автомобильных электронных систем может быть сложной задачей из-за необходимости обеспечения высокой надежности при относительно нестабильном напряжении аккумуляторной батареи. Разнообразные электрические и механические системы, которые взаимодействуют с аккумулятором автомобиля, могут провоцировать резкие скачки напряжения при номинальном напряжении питания 12 В. На самом деле это напряжение способно изменяться в пределах от -14 до $+35$ В в течение продолжительных периодов времени, или могут возникать скачки напряжения с экстремальными значениями от $+150$ до -220 В. Одни такие скачки и переходные процессы происходят при повседневном использовании, другие — при неисправностях или вследствие человеческих ошибок. Независимо от причины их возникновения повреждения, которые они могут нанести электронной системе автомобиля, могут быть сложно диагностируемы и дорогостоящи в плане ремонта.

Опыт автопроизводителей, накопленный за последнее столетие, позволил создать каталог с перечислением всех электрических состояний и переходных процессов, которые, как известно, нарушают работу автомобильных электронных систем и вызывают повреждения. Международная организация по стандартизации (ISO) объединила эти отраслевые знания в стандартах ISO 16750-2 и ISO 7637-2 для дорожных транспортных средств. Как минимум источник питания для автомобильного электронного блока управления (ЭБУ) должен выдерживать перечисленные в стандартах условия без возникновения повреждений. Для критически важных систем требуется обеспечить необходимую функциональность и допуски. Для этого требуется, чтобы источник питания стабилизировал выходное напряжение, подавляя скачки переходных процессов, тогда ЭБУ всегда будет функционировать в нормальном режиме. В идеале полноценное решение по электропитанию позволит избавиться от использования предохранителей, минимизировать рассеиваемую мощность и обеспечить низкий ток покоя для поддержки постоянно включенных систем без разряда аккумулятора.

Условия стандарта ISO 16750-2 для автомобильных электронных систем

У Analog Devices есть несколько публикаций, в которых подробно рассматриваются приводимые в стандартах ISO 7637-2 и ISO 16750-2 условия и характеристики, а также их моделирование с помощью LTspice.

В последней версии стандарта электромагнитной совместимости ISO 7637-2 основное внимание уделяется переходным процессам с высокой амплитудой (более 100 В) и короткой продолжительностью (150 нс — 2 мс), производимым источниками с относительно высоким импедансом (2–50 Ом). Эти скачки напряжения можно уменьшить с помощью пассивных компонентов. На рис. 1 показан приведенный в ISO 7637-2 импульс 1 и результат его минимизации с помощью байпасного конденсатора емкостью 330 мкФ, которая уменьшает выброс напряжения с -150 до -16 В, и это конечное значение

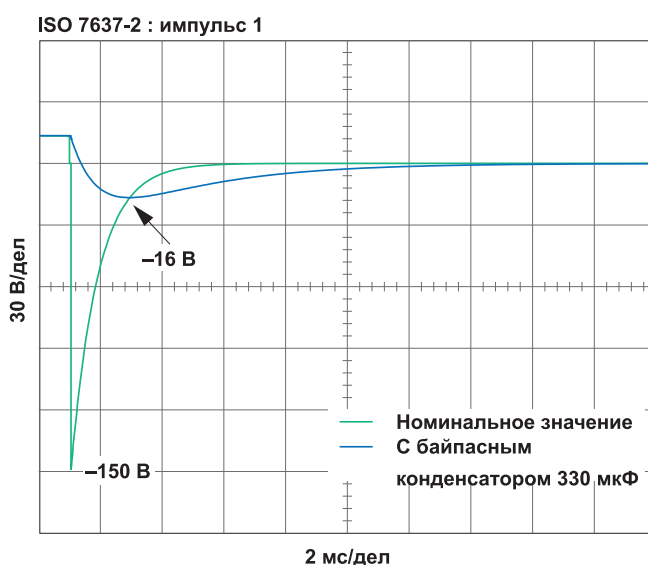


Рис. 1. ISO 7637-2: импульс 1 с байпасным конденсатором 330 мкФ и без него

находится в пределах диапазона схемы защиты аккумулятора от обратной полярности. Приведенные в ISO 7637-2 импульсы 2а, 3а и 3б также имеют значительно меньшую энергию, чем импульс 1, и для их подавления требуется меньшее значение емкости.

В стандарте ISO 16750-2 особое внимание уделяется импульсам большей длительности, генерируемым источниками с низким импедансом. Такие переходные процессы сложно поддаются фильтрации, и зачастую для их подавления требуются активные решения на основе стабилизаторов. К некоторым из наиболее жестких испытаний относятся сброс нагрузки (испытание 4.6.4), подключение аккумулятора с обратной полярностью (испытание 4.7), испытание с наложенным переменным напряжением (испытание 4.4) и запуск двигателя (испытание 4.6.3). На рис. 2 представлены импульсы, наблюдаемые в ходе этих испытаний. Из-за разнообразия условий, представленных в ISO 16750-2, наряду с необходимостью соблюдения требований к напряжению и току ЭБУ зачастую необходимо совместно использовать несколько методов, чтобы все эти требования были удовлетворены.

Сброс нагрузки

Сброс нагрузки (ISO 16750-2: испытание 4.6.4) представляет собой существенный скачок напряжения, когда происходит отключение аккумуляторной батареи, а генератор выдает значительный ток. Пиковое напряжение во время сброса нагрузки классифицируется как подавленное или неподдавленное, в зависимости от того, используются ли лавинные диоды на выходах трехфазного генератора переменного тока. Импульс сброса нагрузки с подавлением ограничен величиной напряжения 35 В, тогда как пик неподдавленного импульса находится в диапазоне 79–101 В. В любом случае восстановление может занять до 400 мс из-за большого количества магнитной энергии, накопленной в обмотке статора генератора. Хотя большинство автопроизводителей используют лавинные диоды, растущие требования к надежности вынуждают некоторых производителей обеспечивать защиту так, чтобы ЭБУ выдерживали пиковые напряжения сброса нагрузки, приближающиеся к значениям неподдавленного напряжения.

Одним из решений является добавление ограничивающего броски напряжения диода, или супрессора (TVS), для локального ограничения напряжения питания ЭБУ. Но можно использовать и более компактное решение с более жесткими допусками в виде активного ограничителя перенапряжения, такого как LTC4364, который линейно управляет подключенным последовательно *n*-канальным полевым МОП-транзистором с целью ограничения максимального выходного напряжения до уровня, запрограммированного пользователем (например, 27 В). Ограничители перенапряжения предоставляют возможность отключения выходного канала, позволяя программно устанавливать предел тока и значение пониженного напряжения, при котором произойдет отключение, и зачастую обеспечивают защиту при подсоединении аккумулятора с обратной полярностью с помощью двух *n*-канальных полевых МОП-транзисторов, включенных последовательно в противоположном направлении.

Сложность, связанная с любым устройством электропитания с линейной стабилизацией, таким как ограничитель перенапряжения, состоит в значительном рассеивании мощности в *n*-канальном полевым МОП-транзисторе при ограничении выходного напряжения во время сброса нагрузки или при ограничении тока в случае короткого замыкания на выходе. Локализация, определенная зоной безопасной работы силового МОП-транзистора, позволяет лимитировать максимальный ток посредством ограничителя перенапряжения. Кроме того, есть возможность установить ограничение по времени (обычно это происходит с помощью программируемого вывода таймера) в отношении того, как долго будет осуществляться стабилизация напряжения, прежде чем *n*-канальный МОП-транзистор будет отключен во избежание возникновения повреждений. Эти ограничения, накладываемые зоной безопасной работы, становятся еще более значимыми при более высоких рабочих напряжениях, что затрудняет применение ограничителей перенапряжения для 24- и 48-В систем.

Оптимальный в плане масштабируемости подход заключается в использовании понижающего стабилизатора, способного работать с входным напряжением до 42 В, такого как LT8640S. Импульсный

стабилизатор не имеет ограничений, накладываемых зоной безопасной работы полевых МОП-транзисторов в линейном режиме, но он более сложен по своей конструкции. КПД понижающего стабилизатора позволяет работать с очень большими токами, а его верхний ключ — отключать выход и ограничивать ток. Задача обеспечения малого тока покоя понижающего стабилизатора была решена благодаря использованию компонентов последнего поколения, которые потребляют всего несколько микроампер при стабилизации напряжения без нагрузки. Кроме того, с помощью технологии Silent Switcher и методов частотной модуляции с расширенным спектром шум переключения был значительно уменьшен.

Некоторые понижающие стабилизаторы могут работать и при 100%-ном коэффициенте заполнения, так что верхний ключ может быть включен постоянно, передавая входное напряжение на выход через дроссель. Работа ШИМ начинается в условиях перенапряжения или перегрузки по току для ограничения выходного напряжения или тока соответственно. Эти понижающие стабилизаторы, например LTC7862, действуют как импульсные ограничители перенапряжения, обеспечивая низкий уровень шума и низкие потери, обладая при этом надежностью импульсного источника питания.

Обратное напряжение

Состояние приложения обратного напряжения (подключение аккумулятора с обратной полярностью) возникает, когда клеммы аккумулятора или соединительные кабели подключены наоборот, из-за человеческой ошибки. В соответствии с ISO 16750-2 (испытание 4.7) на испытываемое устройство в течение 60 с многократно подается импульс –14 В. Некоторые производители разработали собственные динамические версии этого испытания, в которых на компонент сначала подается питание (например, 10,8 В), а затем резко прикладывается обратное напряжение (–4 В).

Анализ технической документации показывает, что лишь немногие микросхемы способны выдерживать отрицательные напряжения, при этом абсолютное минимальное напряжение на выводах микросхем обычно ограничивается уровнем –0,3 В. Напряжения, превышающие падение напряжения диода ниже нулевого потенциала, могут вызвать прохождение чрезмерного количества тока через внутренние переходы компонентов, таких как устройства защиты от электростатического разряда или встроенные диоды силовых МОП-транзисторов. Полярные байпасные конденсаторы, например алюминиевые электролитические конденсаторы, также могут выйти из строя при приложении напряжения обратной полярности от аккумулятора.

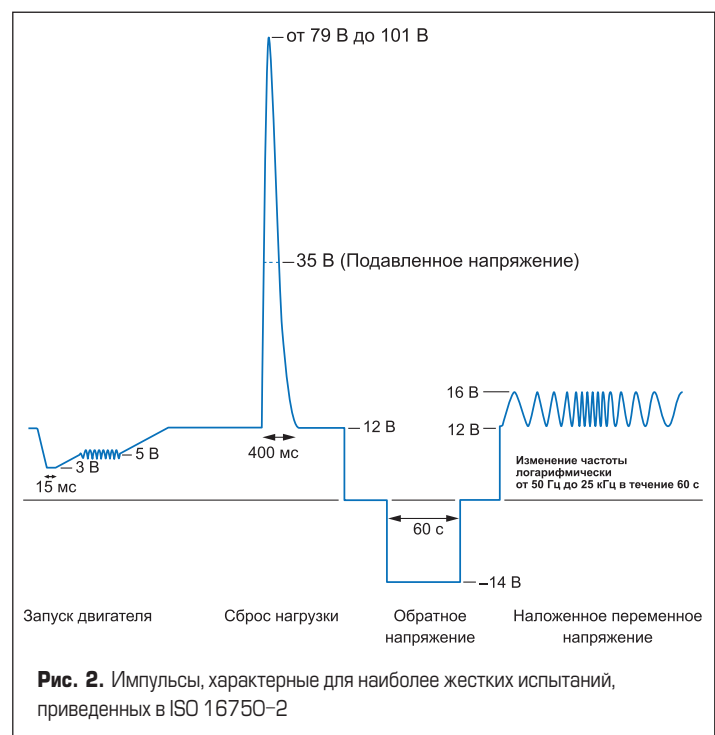


Рис. 2. Импульсы, характерные для наиболее жестких испытаний, приведенных в ISO 16750-2

Диод Шоттки может ограничить обратные токи, но его использование приведет к значительным потерям мощности при более высоких прямых токах во время нормальной работы. Простая схема защиты, основанная на последовательно включенном *p*-канальном полевым МОП-транзисторе и представленная на рис. 3, позволяет уменьшить такие потери, но может не работать должным образом при низких входных напряжениях (например, при запуске двигателя) из-за порогового напряжения устройства. Более эффективный подход заключается в использовании контроллера идеального диода, такого как LTC4376, который управляет последовательно включенным *n*-канальным полевым МОП-транзистором, отсекающим входные напряжения ниже нулевого потенциала. В нормальном режиме работы контроллер идеального диода стабилизирует напряжение исток-сток *n*-канального полевого МОП-транзистора на уровне 30 мВ или меньше, тем самым снижая падение напряжения в режиме прямого тока и рассеиваемую мощность более чем на порядок по сравнению с диодом Шоттки.

Наложное переменное напряжение

Испытание с наложением переменного напряжения (ISO 16750-2: испытание 4.4) моделирует влияние переменного тока на выходе генератора транспортного средства. Как следует из названия, на выходное постоянное напряжение аккумулятора накладывается синусоидальный сигнал с размахом от пика до пика 1, 2 или 4 В в зависимости от уровня серьезности неисправности. Для всех уровней максимальное входное напряжение составляет 16 В. Частота синусоиды логарифмически изменяется 50 Гц — 25 кГц, а затем обратно до 50 Гц в течение 120 с, и этот процесс повторяется в общей сложности пять раз.

В ходе такого испытания создаются большие амплитудные колебания тока и напряжения в любой подключенной цепи фильтров с резонансом ниже 25 кГц. Данное испытание также может усложнить работу импульсных стабилизаторов, когда ограничения полосы пропускания контура затрудняют стабилизацию напряжения из-за высокочастотных

	Сброс нагрузки	Запуск двигателя	Обратное напряжение	Наложное переменное напряжение
<p>Более высокий ток, большая надежность</p> <p>Простота, меньшая сложность конструкции</p>	<p>Супрессор</p> <p>Преимущества: простота и малая стоимость Недостатки: большие размеры, высокая рассеиваемая мощность</p>	<p>Линейный/импульсный стабилизатор с малым падением напряжения</p> <p>Преимущества: не требуется повышающий стабилизатор Недостатки: подходит только для ЭБУ с малым выходным напряжением Примеры: LT8610, LT8640S, LT8650S</p>	<p>Диод Шоттки</p> <p>Преимущества: простота и малая стоимость Недостатки: большие размеры, высокая рассеиваемая мощность, высокое падение прямого напряжения</p>	<p>Диод Шоттки</p> <p>Преимущества: простота и малая стоимость Недостатки: большие размеры, высокая рассеиваемая мощность, высокое падение прямого напряжения</p>
	<p>Ограничитель перенапряжения</p> <p>Преимущества: компактный, дополнительные функции ограничения тока и отключения выхода Недостатки: зона безопасной работы N-канального полевого МОП-транзистора ограничивает ток и продолжительность переходного процесса Примеры: LTC4356, LTC4366, LTC4380</p>	<p>Повышающий стабилизатор</p> <p>Преимущества: эффективно повышает входное напряжение при высоких токах Недостатки: высокий уровень шума, встроенный диод от USB до USBX предотвращает ограничение тока, отключение выхода Примеры: LT8603, LT8364, LTC3859</p>	<p>Последовательный P-канальный МОП-транзистор</p> <p>Преимущества: низкая рассеиваемая мощность / малое падение напряжения Недостатки: высокое сопротивление при малых входных напряжениях</p>	<p>Линейный/импульсный стабилизатор с высоким КПД</p> <p>Преимущества: стабилизирует при переменном напряжении на входе Недостатки: ток линейного стабилизатора ограничен, импульсному стабилизатору требуется большая полоса пропускания Примеры: LT3066</p>
	<p>Понижающий стабилизатор</p> <p>Преимущества: Высокий КПД, нет ограничений зоны безопасной работы N-канального МОП-транзистора, может отключать выход и ограничивать ток Недостатки: необходимость устранения шума усложняет конструкцию Примеры: LT8640S, LT8650S, LTC3895</p>	<p>Повышающий стабилизатор с ограничителем перенапряжения</p> <p>Преимущества: Повышение напряжения с возможностями отключения выхода и ограничения тока Недостатки: зона безопасной работы N-канального МОП-транзистора ограничивает ток и продолжительность переходных процессов Примеры: LTC3897, LTC3897-2</p>	<p>Контроллер идеального диода</p> <p>Преимущества: низкая рассеиваемая мощность / малое падение напряжения Недостатки: слишком медленный для выпрямления наложенного переменного напряжения Примеры: LTC4359, LTC4376</p>	<p>Контроллер активного выпрямителя</p> <p>Преимущества: Эффективно выпрямляет переменное напряжение с частотой до 100 кГц Недостатки: Нет Примеры: LT8672</p>
	<p>Понижающе-повышающий стабилизатор с 4 ключами</p> <p>Преимущества: эффективно повышает или понижает напряжение при высоких токах, отключение выхода и ограничение тока Недостатки: 4 N-канальных МОП-транзистора, повышенная сложность конструкции, нет защиты от обратного напряжения Примеры: LT8390, LT8705A, LTC3779, LT8210</p>	<p>Понижающе-повышающий стабилизатор с 4 ключами и защитой от обратного напряжения</p> <p>Преимущества: удовлетворяет испытаниям на сброс нагрузки, запуск двигателя, приложение обратного напряжения и наложенного переменного напряжения при высоких токах Недостатки: 5 N-канальных МОП-транзистора, повышенная сложность конструкции Примеры: LT8210</p>		

Рис. 3. Различные методы прохождения сложных испытаний в соответствии с ISO 16750-2

входных сигналов. В таком случае одним из решений является установка промежуточного выпрямительного элемента, например диода Шоттки, но, как и в случае с защитой от обратного напряжения, этот способ решения задачи далеко не самый лучший.

В данном случае не будет работать и контроллер идеального диода, который успешно использовался для защиты от обратного напряжения, потому что он не может переключать *n*-канальный полевой МОП-транзистор достаточно быстро, чтобы выходной сигнал не отставал от входного. Лимитирующим фактором становится ток затвора, который обычно ограничивается примерно на уровне 20 мА внутренней цепью подкачки заряда. Хотя контроллер идеального диода может быстро активировать полевой МОП-транзистор, включение выполняется очень медленно, что не подходит для выпрямления практически любых переменных сигналов, кроме сигналов с очень низкими частотами.

Более элегантное решение заключается в использовании контроллера активного выпрямителя LT8672, который может переключать *n*-канальный полевой МОП-транзистор достаточно быстро, чтобы выпрямить входное напряжение с частотой до 100 кГц. Контроллер активного выпрямителя представляет собой контроллер идеального диода с двумя важными дополнениями: большой емкостью накопления заряда (заряд которой происходит за счет входного напряжения) и мощным драйвером затвора, обеспечивающим быстрое включение и выключение *n*-канального полевого МОП-транзистора. По сравнению с диодом Шоттки это решение позволит снизить потери мощности более чем на 90%. LT8672 также защищает вторичные цепи от обратного напряжения, как и контроллер идеального диода.

Запуск двигателя

Запуск двигателя (ISO 16750-2: испытание 4.6.3) представляет собой переходный процесс с чрезвычайно пониженным напряжением, иногда называемый импульсом холодного запуска, потому что в худшем случае провал напряжения аккумулятора происходит при низких температурах. В частности, при включении стартера напряжение аккумулятора, равное 12 В, может мгновенно упасть до 8; 6; 4,5 или 3 В, в зависимости от уровня серьезности неисправности (I, IV, II, III соответственно).

В некоторых системах достаточно использовать линейный стабилизатор с малым падением напряжения (LDO) или импульсный понижающий стабилизатор, чтобы шины питания выдержали этот переходный процесс при условии, что напряжение ЭБУ меньше минимального входного напряжения. Так, если максимальное выходное напряжение ЭБУ составляет 5 В и защита должна соответствовать уровню IV (минимальное входное напряжение 6 В), тогда достаточно использовать стабилизатор с падением напряжения менее 1 В. Время действия самого низкого напряжения запуска двигателя длится всего 15–20 мс, поэтому выпрямительный элемент (диод Шоттки, контроллер идеального диода, контроллер активного выпрямителя), за которым следует байпасный конденсатор большой емкости, сможет справиться с таким импульсом, если уровень запаса по напряжению ненадолго опустится ниже уровня падения напряжения стабилизатора.

Тем не менее, если ЭБУ должен поддерживать напряжения выше минимального входного напряжения, необходимо использовать повышающий стабилизатор. Повышающие стабилизаторы могут эффективно поддерживать выходное напряжение на уровне 12 В при входном напряжении менее 3 В, даже при высоком уровне тока. Впрочем, есть одна сложность, связанная с применением повышающего стабилизатора, и заключается она в том, что диодный путь от входа к выходу не предполагает отключение выхода, поэтому ток не может быть ограничен естественным образом при пуске или коротком замыкании. Чтобы предотвратить утечку тока, в специализированные повышающие стабилизаторы, такие как LTC3897, встроены цепи ограничения перенапряжения, которые позволяют отключать выход и ограничивать ток, а также обеспечивают защиту от обратного напряжения при использовании включенных последовательно в противоположном направлении *n*-канальных МОП-транзисторов. Это решение может с помощью одной микросхемы решить задачи, связанные со сбросом нагрузки, запуском двигателя и подачей обратного напряжения, но доступный ток в данном случае ограничен зоной безопасной работы полевого МОП-транзистора.

Понижающе-повышающий стабилизатор с четырьмя ключами преодолевает это ограничение благодаря тому, что является сочетанием синхронного понижающего стабилизатора и синхронного повышающего стабилизатора с общим дросселем. Такое решение удовлетворяет испытаниям на сброс нагрузки и запуск двигателя без ограничений зоны безопасной работы полевого МОП-транзистора по уровню тока или длительности импульса, причем данное решение имеет возможности отключения выхода и ограничения тока.

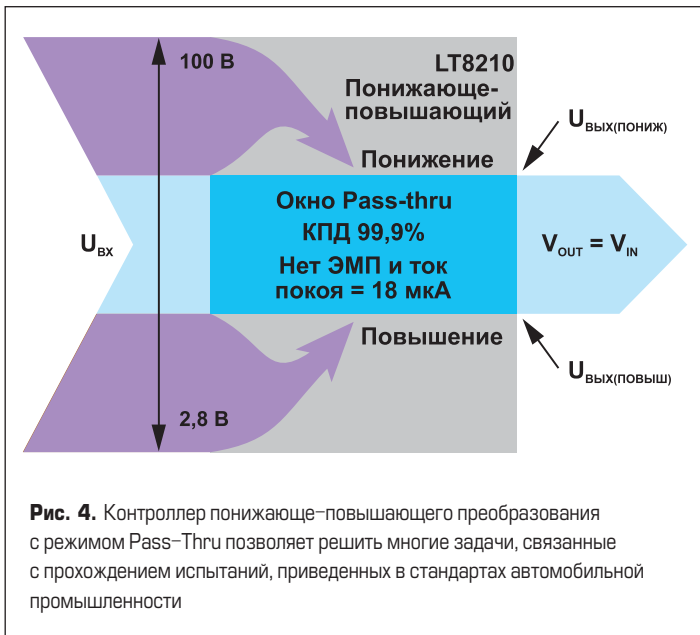
Процесс коммутации ключей понижающе-повышающего стабилизатора зависит от соотношения между входным и выходным напряжениями. Если входной сигнал значительно выше, чем выходной, верхний ключ повышающего каскада будет включен постоянно, а понижающий силовой каскад в это время будет понижать выходное напряжение. Аналогичным образом, когда входной сигнал будет значительно ниже, чем выходной сигнал, верхний ключ понижающего каскада будет включен постоянно, а повышающий силовой каскад в это время будет повышать выходное напряжение. Когда входное и выходное напряжения примерно равны (разница может быть в пределах 10–25%), понижающий и повышающий силовые каскады переключаются одновременно с чередованием. Таким образом, обеспечивается наивысший КПД в различных областях переключения (понижающее, повышающе-понижающее или повышающее преобразование) за счет коммутации только тех полевых МОП-транзисторов, которые необходимы для стабилизации входных напряжений выше, примерно равных или ниже выходных соответственно.

Итоговый обзор решений, удовлетворяющих ISO 16750-2

На рис. 3 представлены различные решения для прохождения испытаний со сбросом нагрузки, подачей обратного входного напряжения, наложенного переменного напряжения и испытаний, связанных с запуском двигателя, а также преимущества и недостатки каждого подхода. Рассмотрим эти решения, можно сделать несколько ключевых выводов:

- Последовательно включенный *n*-канальный полевой МОП-транзистор со стоком, подсоединенным к входу, является весьма желательным элементом, поскольку его можно использовать для ограничения тока и отключения выхода независимо от того, применяется ли он в качестве ключа (например, в составе понижающего силового каскада) или является элементом с линейным управлением (например, в составе ограничителя перенапряжения).
- В случае обеспечения защиты от обратного входного напряжения и наложения переменного напряжения использование *n*-канального полевого МОП-транзистора в качестве выпрямляющего элемента (исток подключен к входу) позволяет значительно снизить потери мощности и падение напряжения по сравнению с решением на основе диода Шоттки.
- Импульсный источник питания предпочтительнее линейного стабилизатора, поскольку более надежен и не ограничивает выходной ток из-за зоны безопасной работы силового ключа. Он может сколь угодно долго стабилизировать максимальное входное напряжение, в то время как линейный стабилизатор и решения на основе пассивных компонентов имеют в этом плане свойственные временные ограничения, усложняющие конструкцию.
- Повышающий стабилизатор может понадобиться или не понадобиться в зависимости от варианта запуска двигателя и нюансов работы ЭБУ (какое самое высокое напряжение необходимо обеспечить).

Если все-таки повышающий стабилизатор необходим, то используют понижающе-повышающий стабилизатор с четырьмя ключами, в котором сочетаются все необходимые функции. Он может эффективно стабилизировать напряжение со скачками и спадами при высоких уровнях тока в течение продолжительных периодов времени. Все это делает данное решение надежным и простым в плане применения, несмотря на возросшую сложность конструкции. Тем не менее стандартный понижающе-повышающий стабилизатор с четырьмя ключами имеет некоторые недостатки. Во-первых, в нем не предусмотрена защита от обратного напряжения, и ее необходимо реализовывать с помощью дополнительных схем.



Основным недостатком понижающе-повышающего стабилизатора с четырьмя ключами является то, что большую часть времени он работает в характеризующейся меньшим КПД и большими шумами области понижающе-повышающего преобразования. Когда входное напряжение почти равно выходному ($V_{ВХ} \sim V_{ВЫХ}$), коммутируются все четыре n -канальных полевых МОП-транзистора для стабилизации выходного напряжения. В результате повышения коммутационных потерь и приложения максимального тока управления затвором снижается КПД. В этой области увеличиваются излучаемые и наведенные электромагнитные помехи, поскольку в данном случае активны контуры повышающего и понижающего преобразования, а входные и выходные токи стабилизатора носят прерывистый характер.

Понижающе-повышающий стабилизатор с четырьмя ключами может стабилизировать напряжение с периодическими скачками и про-

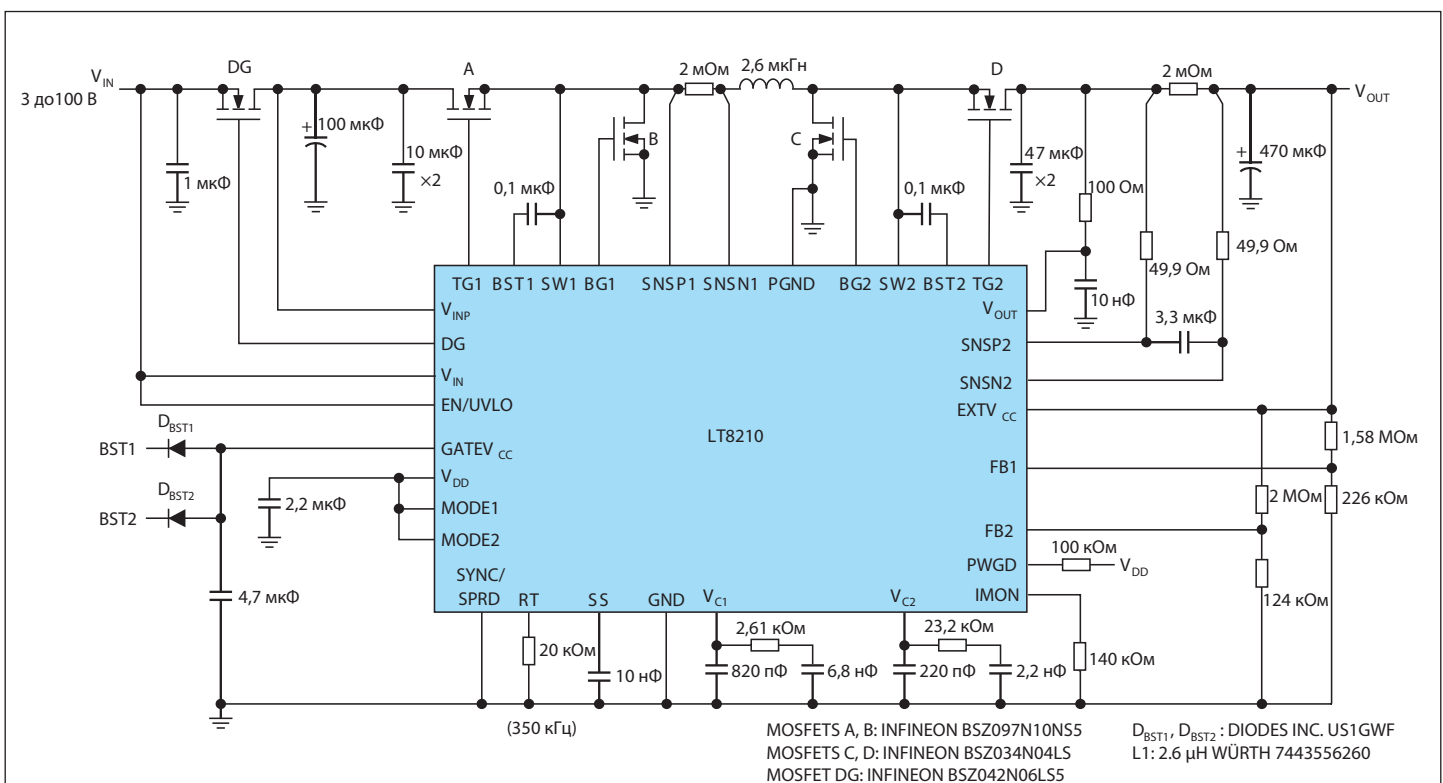
валами с большой амплитудой, но за это приходится расплачиваться высоким током покоя, меньшим КПД и повышенным шумом при довольно частой работе в области понижающе-повышающего преобразования.

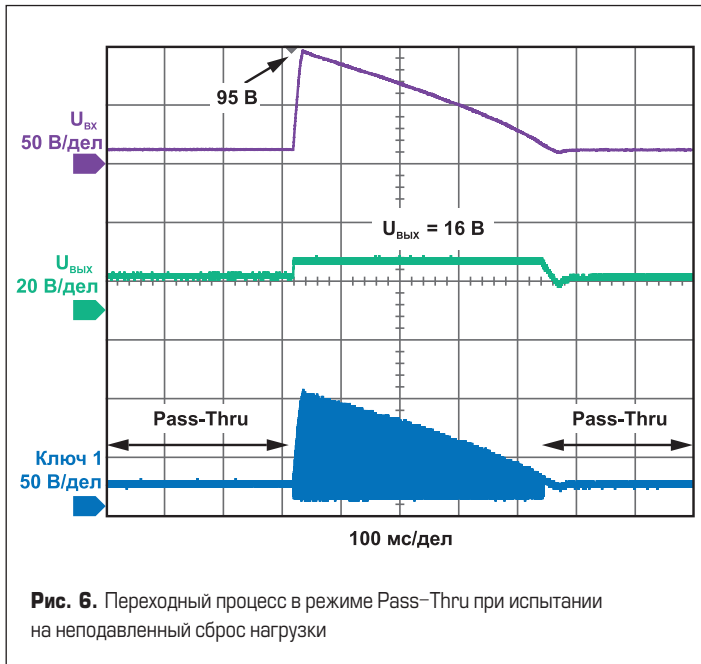
Сквозной режим работы Pass-Thru обеспечивает высокий КПД и наименьший уровень электромагнитных помех в области понижающе-повышающего преобразования.

LT8210 представляет собой контроллер понижающе-повышающего преобразования с четырьмя ключами, который может работать в обычном режиме с фиксированным выходным напряжением, а также имеет новый режим работы Pass-Thru (рис. 4), который позволяет устранить потери на переключение и электромагнитные помехи благодаря программируемому окну входного напряжения. Его диапазон входного напряжения составляет 2,8–100 В, благодаря чему он стабилизирует напряжение даже при значительном разряде аккумулятора во время запуска двигателя, а также при пиковой амплитуде напряжения во время сброса нагрузки. Он имеет встроенную цепь защиты от обратного напряжения до -40 В, которая реализована на одном n -канальном полевым МОП-транзисторе (DG на рис. 5).

В режиме Pass-Thru выходное напряжение стабилизируется на уровне границ окна напряжения, когда входное напряжение находится за пределами этого окна. Верхняя и нижняя границы окна устанавливаются с помощью резистивных делителей FB2 и FB1. Когда входное напряжение находится в пределах данного окна, верхние ключи (A и D) постоянно открыты, передавая входное напряжение непосредственно на выход. В этом бескоммутационном состоянии полный ток покоя LT8210 падает до десятков микроампер. Отсутствие переключений означает отсутствие электромагнитных помех и потерь на переключение, благодаря чему КПД достигает 99,9%.

Те, кто хочет извлечь наибольшую выгоду из LT8210, могут воспользоваться возможностью переключения между различными режимами работы «на лету» с помощью выводов MODE1 и MODE2. Другими словами, LT8210 в некоторых ситуациях может работать как обычный понижающе-повышающий стабилизатор с фиксированным выходным напряжением (в режиме непрерывного тока, в режиме прерывистого тока или пульсирующем режиме Burst Mode), а затем переходить в режим Pass-Thru в случае изменения



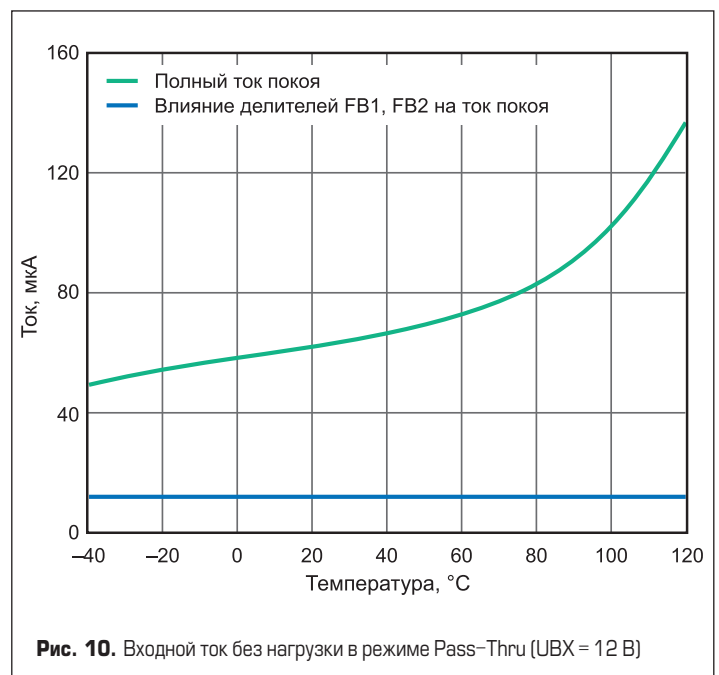
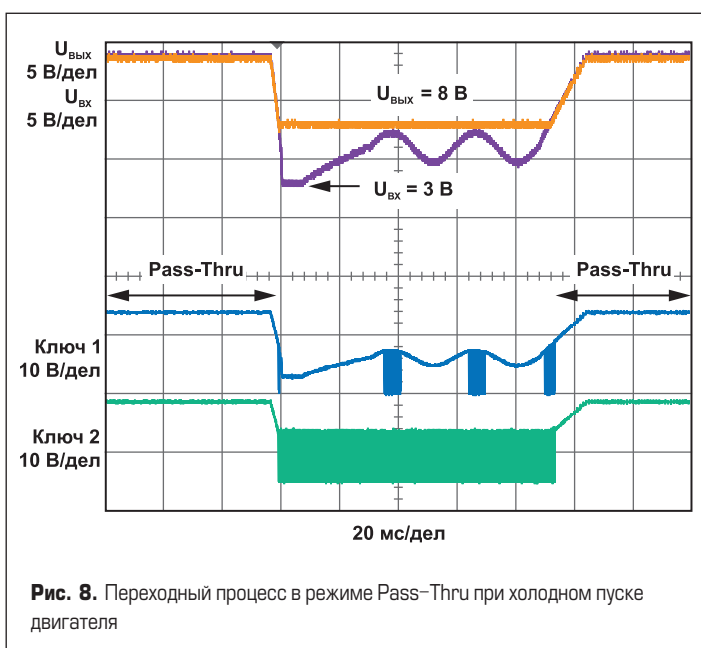
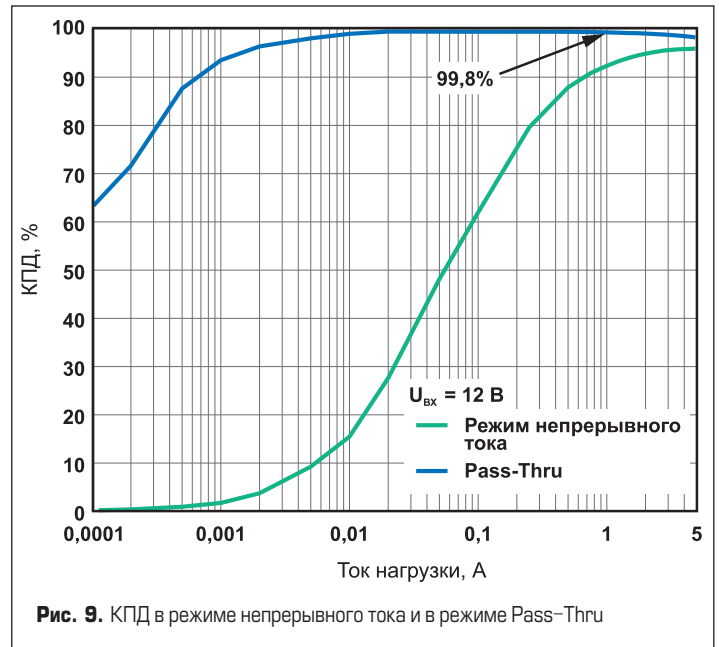
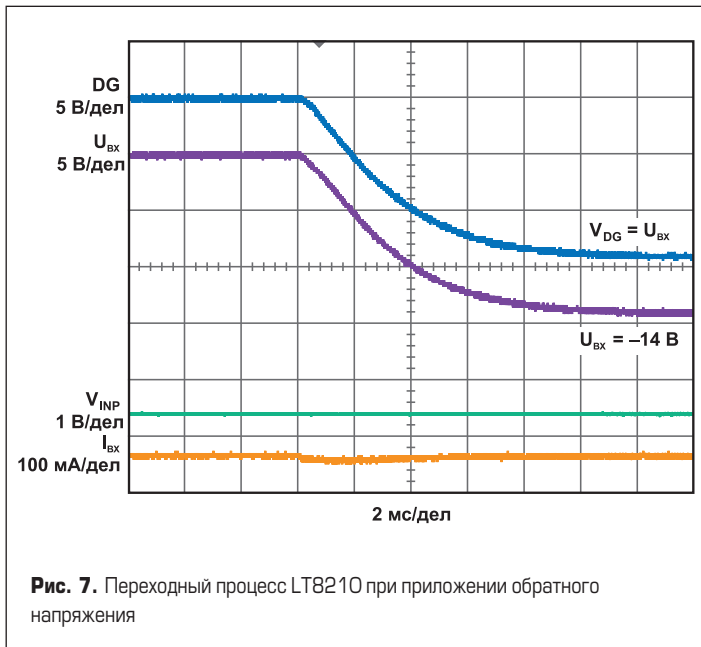


условий работы. Это может быть полезной функцией для постоянно включенных систем и в системах пуска-остановки двигателя (системах старт-стоп).

Характеристики в режиме Pass-Thru

Решение с режимом Pass-Thru, показанное на рис. 5, передает входное напряжение на выход в пределах окна напряжения 8–17 В. Когда входное напряжение становится выше верхней границы окна Pass-Thru, LT8210 снижает его до уровня стабилизированного выходного напряжения 17 В. Если входное напряжение падает ниже 8 В, LT8210 увеличивает выходное напряжение до 8 В. В качестве защитной функции при работе в пределах окна Pass-Thru может начаться коммутация силовых ключей с целью управления током, если достигнут предел тока дросселя или достигнут запрограммированный (с помощью вывода IMON) предел среднего тока.

На рис. 6–8 отображены переходные процессы схемы с LT8210 при испытаниях на сброс нагрузки, приложение обратного напряжения и запуск двигателя соответственно. На рис. 9, 10 показано повышение КПД и возможность работы с низким потребляемым током соответственно при функционировании в пределах окна режима Pass-Thru (удивительно, какой высокий КПД можно получить при бездействии



преобразователя). На рис. 11 показан динамический переход между режимом Pass-Thru и режимом непрерывного тока. Модель этой схемы для LTspice вместе с возможностями моделирования воздействия импульсов самых требовательных испытаний ISO 16750-2 доступна по ссылке [1].

Заключение

При разработке источника питания для автомобильных электронных систем следует обратить внимание на контроллер понижающе-повышающего преобразования с четырьмя ключами LT8210, который представляет собой наилучшее для данной задачи решение, обладающее широким диапазоном входных напряжений 2,8–100 В, встроенной защитой от подачи обратного напряжения и новым режимом работы Pass-Thru. Режим Pass-Thru позволяет повысить качество работы при понижающе-повышающем преобразовании, обеспечивая отсутствие шума переключения, отсутствие потерь на переключение и сверхнизкий ток покоя при стабилизации выходного напряжения в соответствии с заданным пользователем окном, а не заданием на обеспечение фиксированного напряжения. Минимальные и максимальные значения выходного напряжения ограничиваются во время скачков и просадок напряжения, возникающих при сбросе нагрузками и холодном запуске двигателя, при этом на работу преобразователя не влияют ограничения безопасной зоны работы полевого МОП-транзистора или ограничения по току или времени, которые присущи линейным решениям.

Новая схема управления LT8210 обеспечивает четкий и быстрый переход между различными областями переключения (повышающее преобразование, понижающе-повышающее преобразование, понижающее преобразование и бескоммутационное преобразование), что позволяет преобразователю стабилизировать высокочастотное входное напряжение с большой амплитудой. LT8210 во время работы может переключаться между режимом Pass-Thru и стандартными режимами понижающе-повышающего преобразования с фиксированным выходным напряжением (режимом непрерывного тока, режимом прерывистого тока или пульсирующим режимом Burst Mode), а фиксированное выходное напряжение может быть установлено на любое значение напряжения в пределах окна режима

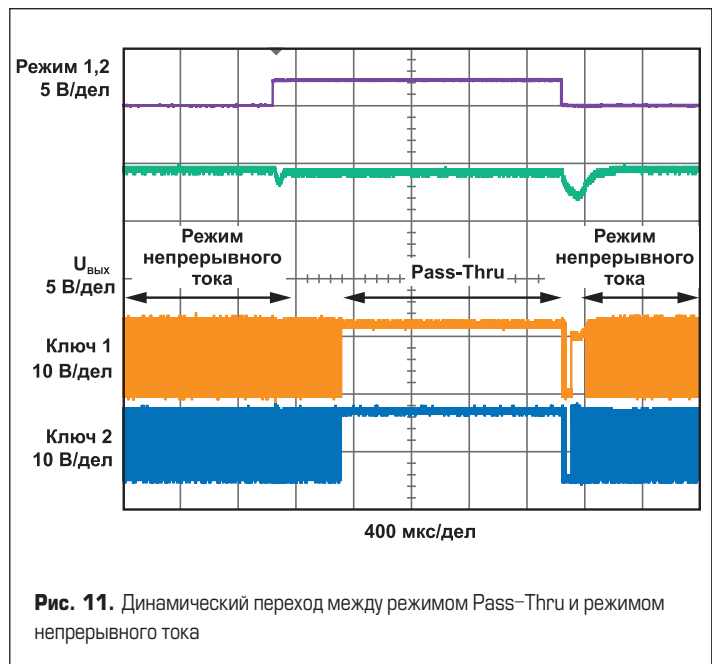


Рис. 11. Динамический переход между режимом Pass-Thru и режимом непрерывного тока

Pass-Thru (например, $U_{\text{вых}} = 12 \text{ В}$ в пределах окна 8–16 В). Такая универсальность позволяет пользователю переключаться между режимом Pass-Thru и стандартным режимом понижающе-повышающего преобразования для достижения наименьшего уровня шума, наименьшего тока покоя и высокого КПД в режиме Pass-Thru и более качественной стабилизации и оптимальных переходных процессов в режиме непрерывного тока, в режиме прерывистого тока или пульсирующем режиме Burst Mode.

Литература

1. www.analog.com/media/en/simulation-models/LTspice-demo-circuits/LT8210_AutomotivePassThru.asc.