Вилли Чан (Willie Chan)
Джейсон Секанина (Jason Sekanina)

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО DC/DC-МИКРОМОДУЛЯ (μMODULE) ДЛЯ ПИТАНИЯ ПЛИС С МОЩНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ

Промежуточные шины электропитания с напряжением 24–28 В широко распространены в системах промышленного, аэрокосмического и военного назначения, где в качестве резервного источника питания могут использоваться последовательно соединенные батареи, а архитектуры шин с напряжением 12 В обычно неприменимы на практике из-за потерь при распределении. Растущая разница в напряжениях между системной шиной и входами питания цифровых процессоров создает трудности для проектировщика в части доставки электроэнергии, обеспечения безопасности и размеров решения.

При использовании локализованного к нагрузке однокаскадного понижающего DC/DC-преобразователя без развязки необходимо обеспечить чрезвычайно точную временную синхронизацию ЧИМ- и ШИМ-сигналов. Броски напряжения на входе могут вызывать перегрузку DC/DC-преобразователей с риском возникновения перенапряжений на нагрузке. Применение неправильно подобранных или контрафактных конденсаторов при производстве может привести к возникновению на выходе преобразователя нерасчетных для нагрузки напряжений, чреватых сгоранием ПЛИС, заказной ИС или микропроцессора. В зависимости от масштаба повреждений поиск первопричины отказа может быть затруднен.

Для того чтобы обеспечить удовлетворенность клиентов, необходимо разработать план по снижению риска возникновения перенапряжений. Традиционные схемы защиты от перенапряжений с использованием предохранителя могут не обладать достаточным быстродействием или надежностью для защиты современных ПЛИС, заказных ИС и микропроцессоров, особенно при номинальном напряжении промежуточной шины электропитания 24 или 28 В. Таким образом, необходима активная защита локализованного к нагрузке DC/DC-преобразователя. LTM4641 —это микромодульный (uModule®) понижающий DC/DC-преобразователь на номинальное напряжение 38 В и ток 10 А, обеспечивающий защиту и восстановление от многих видов сбоев, включая перенапряжение на выходе.

Важность точной временной синхронизации импульсного стабилизатора повышается с ростом входного напряжения и величины его бросков

При большой разнице между входным и выходным напряжением предпочитают использовать импульсные DC/DC-преобразователи вместо линейных ввиду их гораздо более высокого КПД. Для компактных изделий идеальным выбором будет понижающий преобразователь без развязки с достаточно высокой рабочей частотой. Это позволит минимизировать нужные размеры силовых дросселей и конденсаторов фильтра.

Но при высоком коэффициенте понижения DC/DC-преобразователь должен работать с коэффициентом заполнения от 3%, что предполагает точную временную синхронизацию ШИМ/ЧИМ-сигналов. Кроме того, цифровые процессоры требуют стабилизации напряжения в узких безопасных пределах, для чего необходимо высокое быстродействие в переходных режимах. При относительно высоких входных напряжениях допустимая погрешность времени открытия верхнего ключа DC/DC-преобразователя снижается.

Броски напряжения на шине электропитания, нередкие в аэрокосмической и военной аппаратуре, представляют опасность не только для самого DC/DC-преобразователя, но и для нагрузки. DC/DC-преобразователь должен предусматривать нейтрализацию бросков напряжения с помощью быстродействующего контура регулирования, обеспечивая достаточно надежное подавление помех по сети электропитания.

Если при броске напряжения DC/DC-преобразователь не справляется со стабилизацией или вовсе отказывает, на нагрузке образуется перенапряжение. Перенапряжения могут быть также связаны с постепенным ухудшением характеристик развязывающих конденсаторов нагрузки под действием температуры и механизмов старения, что приводит к снижению быстродействия в переходных режимах на протяжении срока службы готового изделия. Если такое ухудшение характеристик выйдет за расчетные пределы контура регулирования, нагрузка может подвергнуться воздействию перенапряжений, обусловленных двумя возможными механизмами:

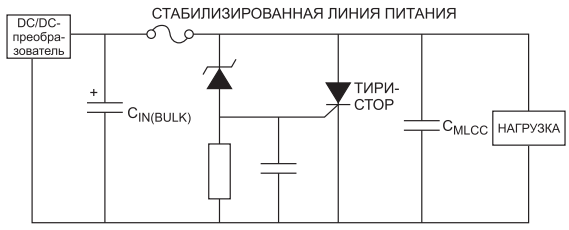

Рис. 1. Типовая цепь защиты от перенапряжения с предохранителем, тиристором и Zener-диодом. Схема получается достаточно дорогой, при том что она не успевает среагировать и защитить от скачков современную цифровую нагрузку типа ПЛИС, особенно когда требуется противостоять скачкам с промежуточной питающей шины. К тому же восстановление такой цепи после перенапряжения – инвазивный и трудоемкий процесс

LTM4641 – это микромодульный (uModule®) понижающий DC/DC-преобразователь на номинальное напряжение 38 В и ток 10 А, обеспечивающий защиту и восстановление от многих видов сбоев, включая перенапряжение на выходе.

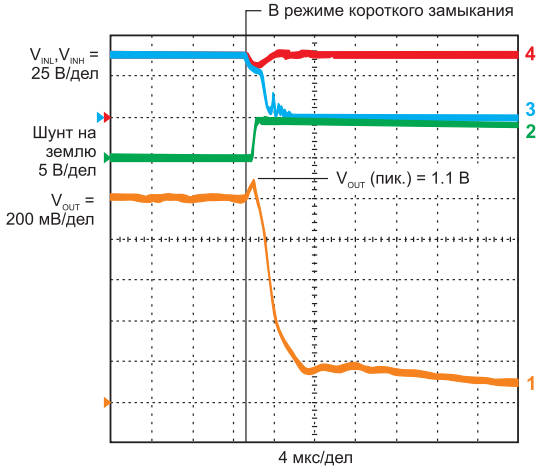

Рис. 2. Микромодуль LTM4641 реагирует на скачок за 500 нс, защищая нагрузку

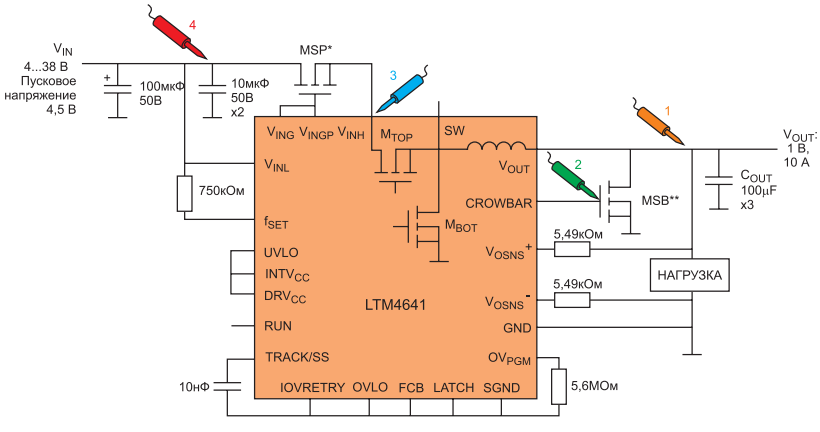

Рис. 3. Типовая схема с защитой от перенапряжений. Уровни напряжений в точках с пронумерованными щупами отображены на рис. 2. Эта схема в действии представлена на video.linear.com/143

- Во-первых, даже если контур регулирования сохранит устойчивость, при мощных ступенчатых переходных процессах на нагрузке размах напряжения будет выше, чем предусматривалось на стадии проектирования.

- Во-вторых, если контур регулирования перейдет в условно устойчивый или, хуже того, неустойчивый режим, на выходе могут возникнуть колебания напряжения с нерасчетной амплитудой пиков. Кроме того, возможно неожиданное или преждевременное ухудшение характеристик конденсаторов в случае неправильного выбора материала диэлектрика или использования контрафактных конденсаторов при производстве.

Дешевые контрафактные компоненты обходятся дорого

Контрафактные компоненты, предлагаемые на сером или черном рынке, могут показаться заманчивым вариантом, но они не соответствуют подлинным изделиям по стандартам качества (например, это могут быть компоненты, бывшие в употреблении, взятые из отходов электронной продукции или изготовленные из низкокачественных материалов). Краткосрочная экономия может обернуться громадными расходами в долгосрочной перспективе при отказе контрафактного изделия.

Например, контрафактные конденсаторы могут отказать по целому ряду механизмов. У контрафактных танталовых конденсаторов зафиксированы случаи внутреннего саморазогрева с положительной обратной связью до стадии теплового убегания. Контрафактные керамические конденсаторы могут содержать испорченный или изначально низкокачественный диэлектрик, что с течением времени или под воздействием повышенной рабочей температуры приводит к ускоренной потере емкости. Когда контур регулирования теряет устойчивость вследствие внезапного отказа или ухудшения характеристик конденсаторов, амплитуда напряжения может существенно превысить расчетные значения, в результате чего возникает угроза для нагрузки.

К сожалению для отрасли, в цепочках материально-технического снабжения и на электронном производстве все чаще выявляются кон-

трафактные компоненты — даже при изготовлении наиболее ответственного и защищенного оборудования. В докладе комитета Сената США по делам вооруженных сил, опубликованном в мае 2012 года, сообщается о распространенных случаях применения контрафактных электронных компонентов в военных самолетах и комплексах боевых средств, что грозит снижением эксплуатационных характеристик и надежности этих систем — притом что изготовлены они были ведущими подрядчиками военно-промышленного комплекса. В условиях растущего числа электронных компонентов в подобных системах (например, в новом истребителе Joint Strike Fighter насчитывается более 3500 ИС) контрафактные компоненты представляют такую угрозу характеристикам и надежности электронных систем, пренебрегать которой больше нельзя.

Разработка плана по снижению риска

Любой план по снижению риска должен учитывать реакцию системы на перенапряжение и предусматривать ее последующее восстановление.

Приемлемо ли выделение дыма или возгорание при отказе вследствие перенапряжения? Не затруднят ли возникшие повреждения диагностику и устранение первопричины такого отказа? Если оператор произведет выключение и включение питания (перезагрузку) отказавшей системы, не причинит ли это дальнейший вред системе, еще больше затруднив ее восстановление? Каков будет порядок определения причин отказа и восстановления нормальной работы системы? Сколько времени на это потребуется?

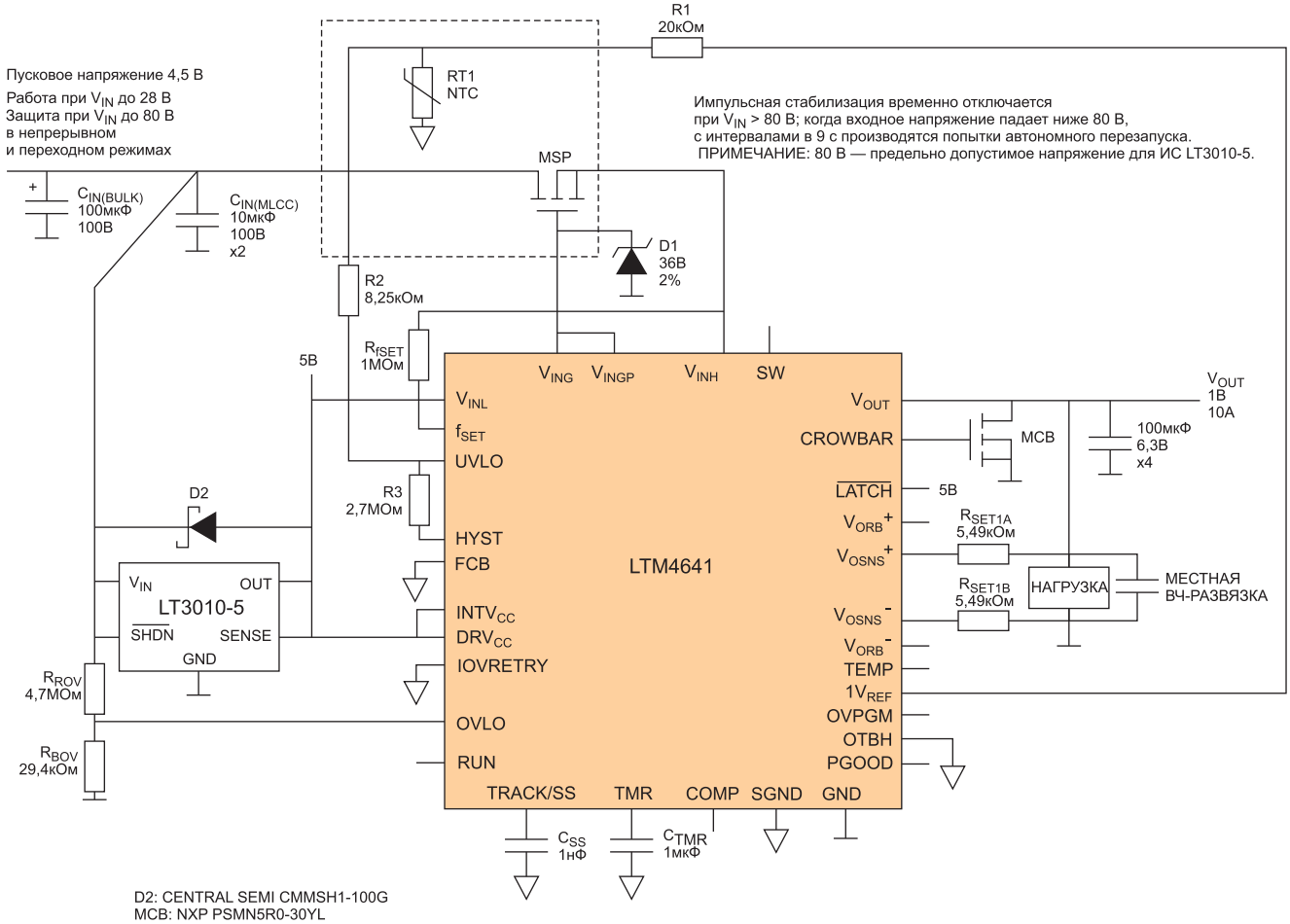

Рис. 4. Схема, способная выдержать скачки напряжения в 80 В, используя LTM4641 и внешний LDO. Эта схема в действии представлена на video.linear.com/148

Недостатки традиционной схемы защиты

Традиционная схема защиты состоит из предохранителя, однооперационного тиристора (SCR) и стабилитрона (рис. 1). Если входное напряжение питания превышает напряжение пробоя стабилитрона, тиристор открывается, отбирая ток, достаточный для срабатывания предохранителя, расположенного выше по схеме.

Такая незамысловатая схема относительно проста и недорога, но обладает рядом недостатков:

- Вариации напряжения пробоя стабилитрона, отпирающего напряжения тиристора и тока срабатывания предохранителя приводят к разбросу во времени отклика. Защита может сработать слишком поздно, чтобы предотвратить возникновение опасного напряжения на нагрузке.
- Восстановление после отказа — трудоемкая процедура, предусматривающая физические манипуляции с предохранителем и перезапуск системы.
- Если рассматриваемая шина используется для питания цифрового процессора, тиристор не может обеспечить достаточную защиту, так как прямое падение напряжения на тиристоре при сильных токах сравнимо с напряжением питания ядер новейших цифровых процессоров или превышает его.

Ввиду этих недостатков традиционная схема защиты от перенапряжений не подходит для DC/DC-преобразователей с высоким входным и низким выходным напряжением, питающих заказные ИС или ПЛИС стоимостью в сотни, а то и тысячи долларов.

Быстрая и надежная комбинированная защита по питанию и выходу с восстановлением

Более удачное решение — своевременно выявлять приближающееся перенапряжение и быстро отключать входное электропитание, ограничивая при этом напряжение на нагрузке с помощью низкоомного шунта. Это можно сделать, используя защитные функции микромодуля LTM4641.

Основу устройства составляет понижающий преобразователь на номинальное напряжение 38 В и ток 10 А, заключенный вместе с дросселем, ИС управления, силовыми ключами и цепями компенсации в общий корпус для поверхностного монтажа. Кроме того, в нем имеется целый комплекс цепей контроля и защиты, призванных уберечь от повреждения дорогостоящую нагрузку, — например, заказные ИС, ПЛИС и микропроцессоры. LTM4641 осуществляет непрерывный контроль на предмет пониженного напряжения или перенапряжения на входе, перегрева, перенапряжения и перегрузки по току на выходе и при обнаружении каких-либо из этих состояний реагирует соответствующим образом.

Защита от перенапряжений в критически важных системах должна характеризоваться высоким быстродействием, точностью и повторяемостью, которые не может обеспечить традиционная схема на базе однооперационного тиристора и предохранителя. LTM4641 — это эффективный понижающий DC/DC-преобразователь на номинальный ток 10 А в совокупности с быстродействующей и точной цепью защиты от выходных перенапряжений, выполненный в едином корпусе для поверхностного монтажа, пригодный для применения в системах с высокими требованиями к защите.

Для того чтобы избежать ложного или преждевременного срабатывания защитных функций, по каждому из контролируемых параметров предусмотрено подавление выбросов с настраиваемыми порогами срабатывания, за исключением защиты от перегрузки по току, которая реализована по надежной межпериодной схеме с токовым регулированием. В случае перенапряжения на выходе LTM4641 реагирует в течение 500 нс (рис. 2).

LTM4641 обладает достаточно быстрой и надежной реакцией для защиты расположенных далее по схеме устройств и в отличие от решений на базе предохранителя предусматривает автоматический сброс с повторной инициализацией защитных цепей после выхода из нештатного состояния. В LTM4641 используется внутренний дифференциальный измерительный усилитель для стабилизации напряжения на выводах питания нагрузки, что позволяет свести к минимуму погрешности, обусловленные синфазными помехами и падением напряжения на токоведущих дорожках печатной платы между LTM4641 и нагрузкой. Постоянное напряжение на нагрузке стабилизируется в пределах ±1,5% по напряжению сети, нагрузке и температуре. Точно измеренное выходное напряжение подается также на быстродействующий выходной компаратор перенапряжения, который приводит в действие защитные функции LTM4641.

Если обнаружено перенапряжение, микромодульный стабилизатор быстро инициирует ряд одновременных действий. Внешний полевой МОП-транзистор (MSP на рис. 3) размыкает входную цепь питания, убирая высокое напряжение со стабилизатора и дорогостоящей нагрузки. Еще один внешний полевой МОП-транзистор (MCB на рис. 3) работает в качестве шунта на «землю», быстро разряжая развязывающие конденсаторы нагрузки (COUT на рис. 3). Встроенный понижающий DC/DC-преобразователь микромодуля LTM4641 входит в состояние отключения с фиксацией и выдает на выводе HYST сигнал сбоя, который мо-

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Александр Федоров,
руководитель направления активных компонентов холдинга PT Electronics,
aleksandr.fedorov@ptelectronics.ru

Описанная в статье микросхема (микромодуль) является настоящим прорывом в области защиты современной цифровой нагрузки — ПЛИС и заказных ИС. Микромодуль специально разработан для защиты потребителя в очень жестких условиях эксплуатации. Основное достоинство заключается в том, что все критичные алгоритмы и задачи по защите нагрузки микромодуль LTM4641 берет на себя, позволяя инженеру сконцентрироваться на более сложной и важной задаче — работе с ПЛИС.

жет применяться для упорядоченного выключения и/или сброса системы. Для обнаружения сбойных состояний предусмотрен специальный источник опорного напряжения, независимый от того, который используется в контуре регулирования. Тем самым обеспечивается защита от отказа в случае выхода из строя источника опорного напряжения контура регулирования.

В дополнение к защитным функциям в LTM4641 реализованы и функции восстановления. При традиционной схеме защиты с тиристором и предохранителем задача отключения питания ценной нагрузки возлагается на предохранитель. Для восстановления после срабатывания предохранителя требуется вмешательство человека — чтобы физически извлечь предохранитель и заменить его. Это вносит неприемлемую задержку в процесс восстановления систем высокой эксплуатационной готовности и удаленных систем. LTM4641 отличается тем, что позволяет возобновить нормальную работу после устранения сбойного состояния, переключив логический уровень на управляющем входе или предварительно настроив LTM4641 для автономного перезапуска по истечении заданного времени ожидания. Если после возобновления работы LTM4641 сбойное состояние возникает вновь, упомянутые выше защитные функции срабатывают повторно, защищая нагрузку.

Защита от бросков напряжения на входе

В некоторых случаях защиты от перенапряжений на выходе недостаточно и требуется защита от перенапряжений на входе. LTM4641 может контролировать входное напряжение и приводить в действие свои защитные функции в случае превышения заданного пользователем порогового напряжения. Если ожидаемое максимальное входное напряжение превышает номинальное напряжение модуля, равное 38 В, можно обеспечить защиту от бросков напряжения на входе до 80 В с сохранением полной работоспособности LTM4641, добавив внешний высоковольтный стабилизатор с малым падением напряжения (LDO) для поддержания функционирования контрольных и защитных цепей (рис. 4).

Заключение

В критически важной электронной аппаратуре все чаще совместно применяются распределенные шины питания с напряжением в диапазоне 12–28 В и низковольтные цифровые ИС с высокими эксплуатационными характеристиками. В этих условиях как никогда важным становится снижение риска, особенно если на шине электропитания вероятны броски напряжения. Дорогостоящие новейшие ПЛИС, заказные ИС и микропроцессоры требуют стабилизации напряжения питания в пределах не выше 3–10% от номинала и чрезвычайно легко повреждаются, порой даже с возгоранием, в случае перенапряжения. Сбои в работе могут быть вызваны ошибками временной синхронизации импульсного стабилизатора, броском входного напряжения или использованием ненадлежащих компонентов при производстве.

Защита от перенапряжений в критически важных системах должна характеризоваться высоким быстродействием, точностью и повторяемостью, которые не может обеспечить традиционная схема на базе однооперационного тиристора и предохранителя. LTM4641 — это эффективный понижающий DC/DC-преобразователь на номинальный ток 10 А в совокупности с быстродействующей и точной цепью защиты от выходных перенапряжений в едином корпусе для поверхностного монтажа, пригодный для применения в системах с высокими техническими требованиями.

Просмотреть технические данные можно на странице www.linear.com/LTM4641

Бесплатно заказать образцы и демонстрационные платы можно на странице www.linear.pro