

LTC4242 — контроллер «горячего подключения» для управления питанием двух слотов шины PCI Express

Артем КОЗЛОВ
Георгий КОРОЛЕВ
Gkorolev@arrowce.com

В данной статье рассматривается микросхема фирмы Linear Technologies — контроллер Hot Swap для шины PCI Express, который позволяет значительно облегчить проектирование устройств, работающих с этой шиной.

Введение

С режимом работы Hot Swap сейчас знаком практически каждый. Накопитель Flash Drive, фотоаппарат, MP3-плеер можно подсоединить к компьютеру кабелем, записать или прочитать данные и отключить кабель. Никаких проблем с питанием, отключением компьютера, перезапуском. Но это в быту. А представьте, что нужно поменять модуль в промышленном вычислительном устройстве, например таком, как шлюз или сервер. Выключать все устройство? Сотни телефонных разговоров прервутся. Или прекратится сопровождение авиалайнеров. Не выключать сейчас и ждать до ночи? А если устройство не может работать в деградированном состоянии так долго? Что делать? Выход только один — применять в вычислительных устройствах модули и шины, поддерживающие режим Hot Swap, который позволяет подключать и отключать модули, не выключая все устройство. Данная задача имеет две составляющие: физическую и логическую. Логическая составляющая понятна тем, кто имел дело с конфигурацией карт в компьютере. Вычислительная система должна опознать модуль автоматически и произвести все необходимые действия по конфигурации в автоматическом или в диалоговом режиме. А вот физическая составляющая задачи обычно скрыта от пользователя. В данной статье вниманию читателей будет предложено решение по проектированию модулей, поддерживающих режим Hot Swap и предназначенных для работы с шиной PCI Express.

Проблема подключения питания и управления питанием

Итак, будем менять модуль «на ходу», не выключая вычислительную систему. Мы имеем в виду не маленький Flash-накопитель, а солидный вычислительный узел, потребляющий десятки ватт. В таком модуле для обеспе-

чения фильтрации цепей питания должны быть установлены сотни конденсаторов общей емкостью не менее нескольких тысяч микрофард. Что ждет вычислительную систему, если в нее «втыкать» такой модуль, не предприняв никаких дополнительных мер? Разряженные конденсаторы в момент подключения будут представлять собой короткое замыкание для источника питания. И, если источник питания при таком варварском эксперименте не выключится, то уж сбой в вычислительной системе будет гарантирован. Да и для самого модуля в таких экспериментах тоже ничего хорошего нет. Электролитические конденсаторы, стоящие в цепях питания, спроектированы так, что они выдерживают высокочастотные всплески напряжения, но только очень небольшой амплитуды. Превышение высокочастотной составляющей напряжения на этих конденсаторах приводит к их преждевременному отказу. Мало того, бросок тока в десятки ампер может вызвать нежелательный переходный процесс. Всплеск напряжения от такого броска способен вызвать повреждение компонентов самого модуля, а также компонентов вычислительной системы.

Из предыдущего описания можно сделать следующий вывод: в режиме Hot Swap надо контролировать процесс подключения питания к модулю таким образом, чтобы соблюсти требования по подъему напряжения питания для подключаемого модуля. Подъем напряжения должен быть, с одной стороны, достаточно медленным, чтобы не вызвать перегрузку источника питания, а, с другой стороны, достаточно быстрым, чтобы компоненты модуля нормально включились в работу. Другим словом, подъем напряжения должен быть контролируемым.

Но это еще не все проблемы с Hot Swap. Режим Hot Swap подразумевает, что в случае неисправности модуля вся остальная вычислительная система должна функционировать в деградированном состоянии. А это значит,

что в случае превышения потребляемого модулем тока сверх допустимого для него уровня, такой модуль должен быть признан неисправным. Должно произойти его отключение от вычислительной системы, а также сформирован сигнал о том, что модуль неисправен и отключен.

Шина PCI Express

Шина PCI Express является логическим развитием шины PCI и PCI-X. PCI Express — это новая технология организации передачи данных по последовательной шине, которая позволяет повысить производительность коммуникационных систем, серверов, настольных и переносных электронных средств. Стандарт PCI Express [1] очень быстро вытесняет устаревший PCI, но для нас сейчас главным является то, что эта шина поддерживает режим работы модулей с Hot Swap.

Питание PCI Express подается от двух источников: 12 и 3,3 В, кроме того, есть резервное питание 3,3 В — и все это поступает на разъемы слотов на системной плате (таблица).

Таблица

| Характеристика | Цепь питания | 10 Вт Slot | 25 Вт Slot | 75 Вт Slot |
|-------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| Точность установки напряжения | 3,3 В | ±9% | ±9% | ±9% |
| | 12 В | ±8% | ±8% | ±8% |
| | 3,3 В (AUX) | ±9% | ±9% | ±9% |
| Максимальный ток, А | 3,3 В | 3 | 3 | 3 |
| | 12 В | 0,5 | 2,1 | 5,5 |
| | 3,3 В (AUX) | 0,375 | 0,375 | 0,375 |
| Емкость нагрузки, мкФ | 3,3 В | 1000 | 1000 | 1000 |
| | 12 В | 300 | 1000 | 2000 |
| | 3,3 В (AUX) | 150 | 150 | 150 |

LTC4242 — контроллер Hot Swap для шины PCI Express

Поскольку проектирование модулей, подключаемых к шине PCI Express, позволяет вынести все проблемы, связанные с режимом Hot Swap, в отдельную задачу, то, естественно,

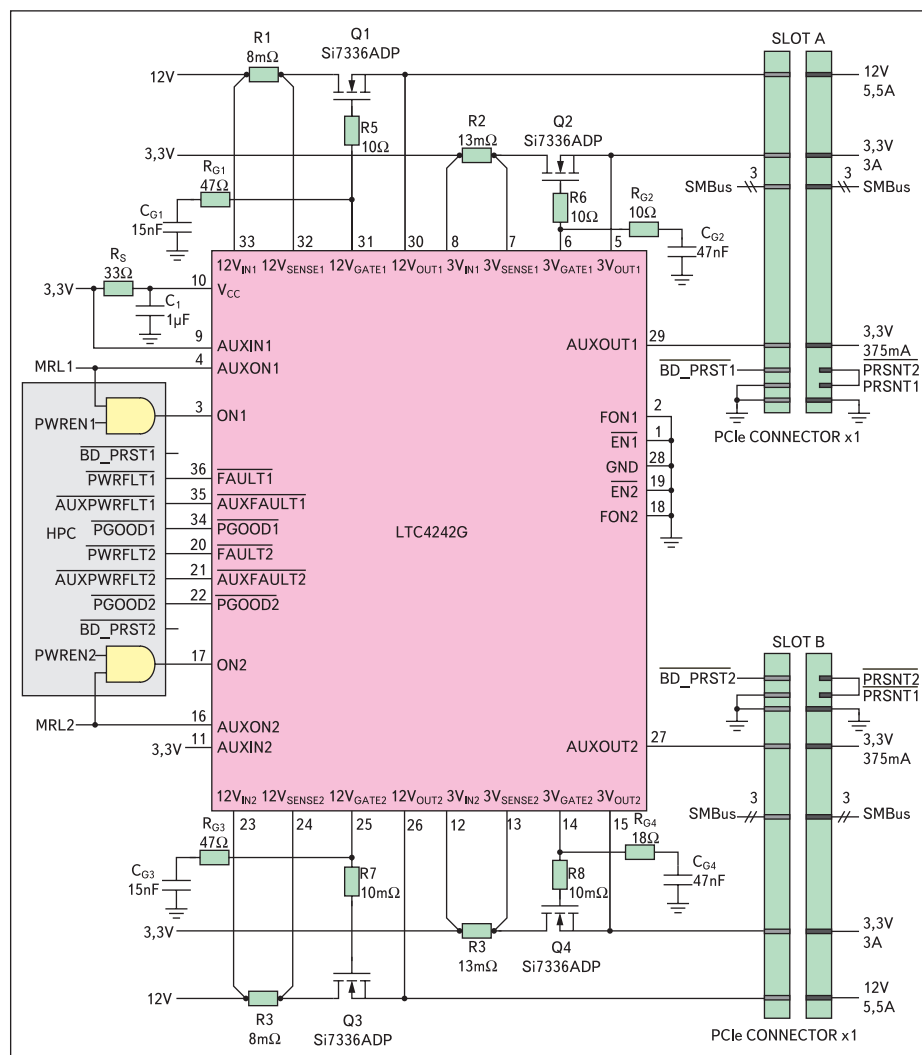


Рис. 1. Типовая схема включения контроллера «горячего подключения» LTC4242

должны были появиться специализированные микросхемы. Компания Linear Technologies, известный производитель аналоговых микросхем и микросхем для питания, выпустила микросхему контроллера Hot Swap — LTC4242 [2]. Микросхема LTC4242 позволяет управлять питанием двух слотов шины PCI Express.

В состав данной микросхемы, кроме мало-мощных узлов, обеспечивающих режимы включения и контроля работы нагрузки, входят два низкоомных мощных полевых транзистора, коммутирующих шину резервного питания 3,3 В (AUX). Кроме того, микросхема имеет и встроенную защиту от перегрева, что позволяет повысить надежность работы этих транзисторов. Микросхема LTC4242 доступна в двух исполнениях: в корпусе SSOP36 и миниатюрном корпусе QFN38 (5×7 мм).

Рассмотрим варианты применения данной микросхемы. Микросхема LTC4242 в обычных приложениях использует 4 внешних N-канальных транзистора (в дополнение к двум встроенным) для коммутации напряжения питания на модули (рис. 1). Когда системный Hot Plug контроллер (HPC) определяет, что модуль правильно установлен

в слот, он дает команду контроллеру Hot Swap на подачу питания. Напряжение питания линейно нарастает, что позволяет получить требуемый в данной системе переходный процесс. В дальнейшем LTC4242 продолжает следить за напряжением питания.

На рис. 1 показаны четыре N-канальных проходных транзистора Q₁₋₄, которые совместно с двумя встроенными в микросхему транзисторами управляют подачей питания на две подключаемые платы. Резисторы R₁₋₄ предназначены для измерения тока в шинах питания. Резисторы R₅₋₈ служат для подавления автоколебания в транзисторах Q₁₋₄; компоненты R_s и C₁ формируют фильтр НЧ, обеспечивающий стабильный уровень питания микросхемы; конденсаторы C_{G1-G4} контролируют пусковые токи на шинах 12 и 3,3 В. Компоненты C_{G1-G4} и R_{G1-G4} также представляют собой фильтр для цепи ограничителя тока нагрузки.

Контроллер HPC включает питание нагрузки (модулей) через выходы ON и AUXON контроллера LTC4242. Если защитные схемы по перегреву или перенапряжению определяют, что аварии нет, то единичный уровень сигнала

на выводе FON открывает проходные транзисторы. Такой режим работы предоставляет пользователю возможность посылать в модули при включении импульс тока большого уровня, чем уровень нормального тока запуска для модулей, что позволяет при диагностике системы выявить неисправные узлы или контакты.

Управление пусковыми токами

Как было сказано выше, управление пусковыми токами является очень важной задачей для контроллера Hot Swap. В микросхеме LTC4242 управление пусковыми токами производится при помощи внешних компонентов. Конденсаторы включаются между выводами микросхемы — GATE и «землей». При включении через эту цепь протекает ток 9 мкА. При этом скорость нарастания напряжения на выводах GATE вычисляется так:

$$dV_{GATE(n)} / dt = 9 \text{ мкА} / (C_{ISS} + C_{G(n)}),$$

где C_{ISS} — входная емкость внешнего транзистора.

Пусковой ток течет через нагрузочный конденсатор C_{LOAD} и ограничивается следующим образом:

$$I_{INRASH} = C_{LOAD} \times (dV_{GATE} / dt).$$

Таким образом, для 75-ваттного слота (см. табл.) с C_{LOAD(12V)} = 2000 мкФ, C_{LOAD(3,3V)} = 1000 мкФ, C_{G1} = 15 нФ, C_{G2} = 47 нФ и C_{ISS} = 3 нФ мы получим значения — ток I_{INRUSH(12V)} = 1 А и ток I_{INRUSH(3,3V)} = 0,18 А.

Чтобы обеспечить успешный запуск системы, величина пускового тока не должна превысить порог срабатывания защиты. Для цепи управления резервным питанием формула для пускового тока будет выглядеть следующим образом:

$$I_{INRUSH(3,3 \text{ VAUX})} = SR \times C_{LOAD(3,3 \text{ VAUX})}$$

где SR — скорость нарастания напряжения 3,3 V_{AUX}.

При C_{LOAD(3,3 VAUX)} = 150 мкФ (см. табл.) и SR = 1,2 В/мс ток I_{INRUSH(3,3 VAUX)} = 0,18 А. Емкость C_{LOAD(3,3 VAUX)} должна быть определена так, чтобы пусковой ток не превысил порог срабатывания защиты (550 мА).

Защита по току

Схема защиты по току для основного питающего напряжения имеет порог чувствительности 50 мВ с допуском 10%. Схема защиты по току для встроенных транзисторов работает при превышении порога в 550 мА (с точностью 30%). Время срабатывания схемы защиты имеет задержку на уровне 20 мкс. Если перегрузка длится более 20 мкс, контроллер входит в состояние, называемое «режим перегрузки», и модули отключаются от питания

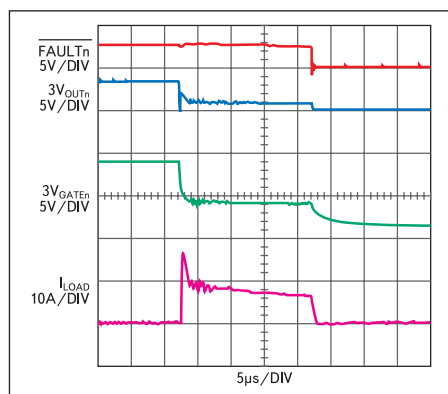


Рис. 2. При коротком замыкании шины 3,3 В нагрузкой 30 мОм без емкостей происходит ограничение тока через 20 мкс, на выводе FAULT появляется нулевой сигнал

системы. Выводы FAULT и AUXFAULT переходят в режим индикации перегрузки по току на любой из основных шин питания или на шине 3,3 V_{AUX} резервного питания соответственно.

Для того чтобы выйти из «режима перегрузки», напряжение на выводах ON и AUXON должно быть установлено на уровне менее 0,6 В. Другой путь выхода из «режима перегрузки» заключается в переходе напряжения источника питания ниже уровня перенапряжения (UV).

В дополнение к встроенному коммутатору цепи питания микросхема LTC4242 имеет быстродействующий ограничитель по току нагрузки. Этот узел представляет собой аналоговый усилитель, который обеспечивает двухуровневую защиту каждой из шин питания. RC-цепочки на входе выводов GATE обеспечивают стабильность работы этого усилителя, ограничивающего броски напряжения на резисторах R₁₋₄ до 100 мВ.

На рис. 2 показаны графики изменения напряжения на выходах, обслуживающих шину 3,3 В, которая закорочена нагрузкой 0,1 Ом без емкостей. Первичный пиковый

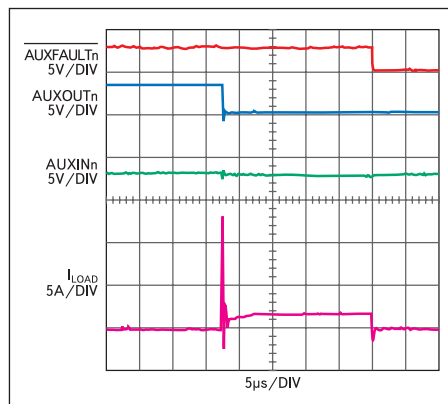


Рис. 3. При коротком замыкании шины 3,3 V_{AUX} нагрузкой 30 мОм без емкостей происходит ограничение тока через 22 мкс, на выводе AUXFAULT появляется нулевой сигнал

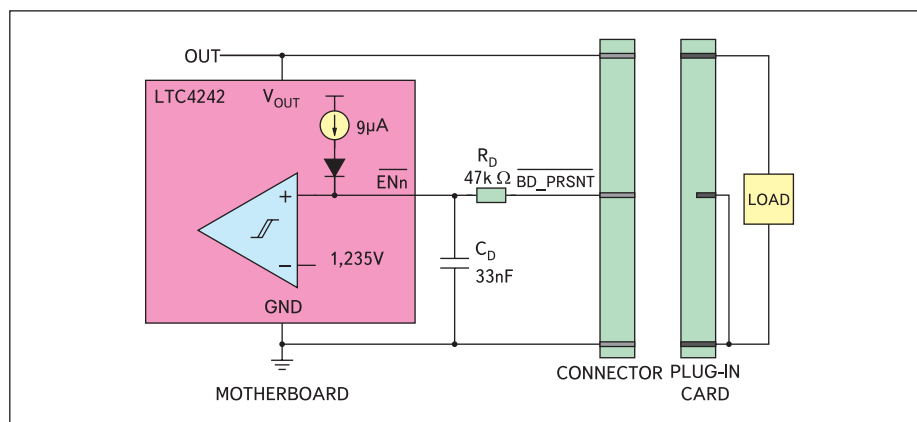


Рис. 5. RC-цепочка, включенная между выводами EN и BD_PRSNТ, служит для устранения дребезга

ток ограничен сопротивлениями в питающем канале (сопротивление дорожки + сопротивление ключа $R_{DS(ON)} + 0,1 \text{ Ом}$). Скорость нарастания этого тока ограничивается паразитной индуктивностью в питающем канале. Перед тем, как этот ток достигнет своего пикового значения, затвор принудительно разряжается и управление переходит под контроль встроенного ограничивающего усилителя. После 20 мкс встроенный ключ сработает и напряжение на выводе FAULT упадет.

В другом случае, при закорачивании шины 3,3 V_{AUX} нагрузкой 30 мОм без емкостей, бросок тока быстро ограничивается (рис. 3).

Включение системы

В обычном порядке время включения системы начинается с момента определения карты расширения в слоте. Информация об этом факте подается на контроллер НРС, который запускает контроллер LTC4242, управляя последним по цепям сигналов ON/AUXON.

Альтернативой этому способу является передача управляющего сигнала на вывод EN. На рис. 4 показаны временные диаграммы при запуске системы в результате понижения напряжения на EN. Напряжения на выводах ON/AUXON (не показаны на рис. 4) остается

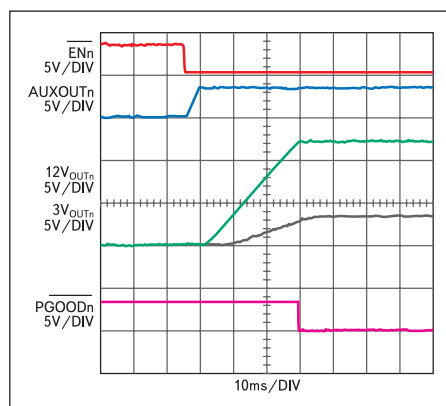


Рис. 4. Последовательность подачи сигналов при включении устройства

высоким. К выводу EN можно подключить RC-цепочку для подавления пульсаций при установке модулей в вычислительную систему или их демонтаже. Как показано на рис. 5, при использовании $R_D = 47 \text{ кОм}$ и $C_D = 33 \text{ нФ}$ время задержки этой цепочки составит 1,4 мс, соответственно задержка подачи питания на слот (после прохода детектирующего сигнала BD_PRSNТ) составит 2,8 мс.

Скорость нарастания питающего напряжения 12 V_{OUT} и 3 V_{OUT} приблизительно определяется как $dV/dt = 9 \text{ мкА}/C_{GL2}$. В случае со встроенным ключом питания скорость нарастания составит 1,2 В/мс. Когда выходное напряжение достигнет необходимого порога, происходит переключение сигналов на выводах PGOOD для шин 12/3,3 В и AUXPGOOD для шины 3,3 V_{AUX} (доступен для контроллера в корпусе QFN38) в активное низкое состояние. Мониторинг выходного напряжения продолжается далее в рабочем режиме, и когда это напряжение снижается ниже необходимого уровня, напряжение на выводах PGOOD и AUXPGOOD возрастает.

Вывод AUXPGOOD также может быть использован для наблюдения за выходным напряжением. На рис. 6 показано включение источников питания, когда напряжение на выходе 3,3 V_{AUX} превысит необходимый уровень (при условии отсутствия сбоя в системе).

Такую цепь следует использовать, если напряжение с вывода 3,3 V_{AUX} питает плату управления и контроля.

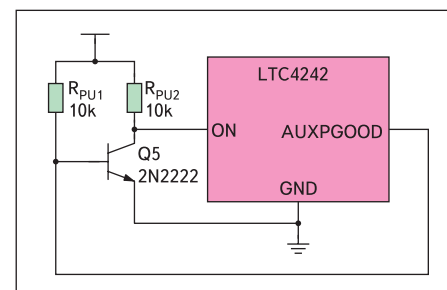


Рис. 6. Подача основного напряжения осуществляется только после установления напряжения 3,3 V_{AUX}

Выключение системы

При отключении питания системы происходит разряд затворов внешних транзисторов током 1 мА. Ток разряда затвора встроенного транзистора также имеет достаточно малое значение. Во избежание сбоев в системе встроенные ключи питания выключаются медленно. Встроенные транзисторы разряжают выходные нагрузочные емкости. После установки высокого напряжения на выводе EN устанавливаются напряжения на выводах PGOOD и AUXPGOOD. На рис. 7 показаны временные диаграммы напряжений при отключении системы, имеющей емкости по цепям питания, когда наблюдается скачок напряжения на EN.

Заключение

Микросхема LTC4242 Linear Technologies — это комплексное решение для Hot Swap приложений шины PCI Express. Функции быстрого ограничения тока и отключения цепи питания при неисправностях сокращают возможные повреждения устройства при жестких перегрузках и сбоях. Встроенные сило-

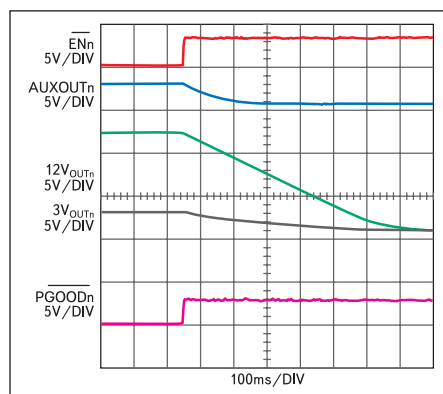


Рис. 7. Диаграммы напряжений при отключении системы

вые транзисторы уменьшают стоимость системы и повышают ее надежность. ■

Литература

1. Budruk R., Anderson D., Shanley T. PCI Express System Architecture. MindShare, Inc. Addison Wesley. ISBN 0-321-15630-7.
2. LTC4242 Dual Slot Hot Swap Controller for PCI Express. LTC4242.pdf