ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ: ОПРАВДАНИЕ НАДЕЖД

ЛИ КОХ (LEE КОН), менеджер по сбыту, Microchip Technology

В статье на примере двухкаскадного источника питания сравниваются особенности применения аналогового и цифрового управления для импульсных источников питания. Рассмотрены преимущества цифрового управления с помощью цифровых сигнальных контроллеров, которые позволяют снизить стоимость системы и гибко реализовать широкий набор функций управления. Статья представляет собой перевод [1].

Управление импульсными источниками питания традиционно осуществлялось чисто аналоговыми схемами. Появление недорогих высококачественных цифровых сигнальных контроллеров обеспечило оптимальный способ реализации преимуществ цифровых источников питания в следующих областях:

– уменьшение стоимости используемых компонентов по сравнению с аналоговыми источниками питания;

– гибкость управления, в том числе возможность управления усовершенствованными топологиями;

– реализация дополнительных функций без повышения стоимости.

СНИЖЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ ПИТАНИЯ

На рисунке 1 приведена блок-диаграмма типового двухкаскадного аналогового AC/DC-источника питания. Важнейшими функциональными блоками этого источника питания являются:

– силовая цепь: полупроводниковые ключи, катушки индуктивности, конденсаторы и силовые трансформаторы;

– схемы управления силовым ключом: драйверы затвора и схемы поддержки;

– цепь обратной связи: датчики, усилители и цепь резисторов;

– блок управления: специальные контроллеры для каждого силового каскада;

– вспомогательные цепи: специальный микроконтроллер и схемы поддержки для управления последовательностью подключения выходов, мониторинга и обеспечения коммуникации.

В целях сравнения в данной статье рассматривается двухкаскадный источник питания. Входной преобразователь представляет собой повышающую схему с коррекцией коэффициента мощности, а второй каскад — это полномостовой DC/DC-преобразователь со сдвигом фазы.

Некоторые из функциональных блоков, например, силовая цепь, драйвер и цепь обратной связи, по существу, идентичны в аналоговом и цифровом источниках питания. На рисунке 2 показана блок-схема соответствующего цифрового источника питания. В цифровой версии источника питания функции обоих специализированных аналоговых контроллеров и вспомогательного микроконтроллера могут быть совмещены в одном цифровом сигнальном контроллере dsPIC.

Рисунки 1 и 2 отражают главные отличия данных источников питания на высоком уровне топологии, однако, следует также рассмотреть все вспомогательные схемы поддержки. Для каждого каскада аналогового источника питания обычно требуется вспомогательная схема питания, схема бланкирования переднего фронта (leading-edge blanking), генератор, схема управления последовательностью, схема мягкого старта, а также

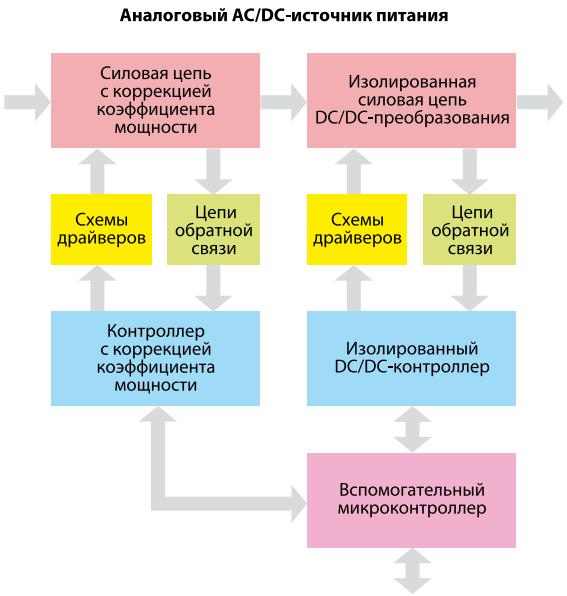

Рис. 1. **Основные функциональные блоки импульсного источника питания с аналоговым управлением**

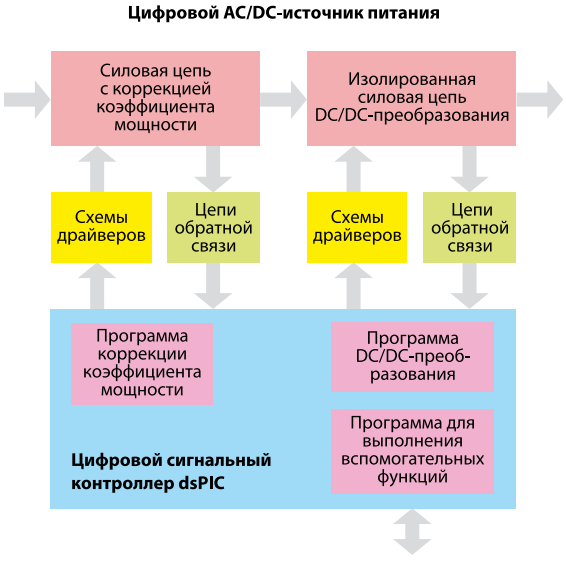

Рис. 2. **В источнике питания с цифровым управлением программные средства заменяют аппаратные блоки ряда ключевых функций**

Хотелось бы, чтобы мой осциллограф мог выполнять логический анализ или анализ протоколов, когда мне это требуется.

Ваше желание будет исполнено.

Новая серия осциллографов Agilent Infiniium 9000 обладает широчайшим спектром измерительных возможностей.

Осциллографы серии Agilent Infiniium 9000	
Полоса пропускания	1 ГГц, 2,5 ГГц, 4 ГГц
Число каналов	4 осциллографических + 16 цифровых каналов в MSO
Частота дискретизации	10 - 20 Гвыб/с
Глубина памяти	10 Мвыб - 1 Гвыб
Дисплей	15 дюймов (38,1 см) XGA
Габариты (Ш x В x Г) и масса	32,8 см x 42,7 см x 22,86 см, масса 11.8 кг

Сложно предугадать, какие задачи будут стоять перед Вами при реализации новых проектов. Именно поэтому при разработке новой серии осциллографов Agilent Infiniium 9000 мы руководствовались принципом - «универсальный прибор для решения разнообразных задач».

Три прибора в одном. Первоклассные технические характеристики плюс встроенная функциональность логического анализатора и анализатора протоколов - все, что нужно для анализа аналоговых и цифровых сигналов, а также сигналов последовательных шин.

Широчайший набор программных приложений для отладки и проверки на соответствие стандартам. Более 25 приложений, включая RS232/UART, U2C/SPI, CAN, FlexRay, USB и USB2.0, PCI 1.1 и DDR.

Оптимизация рабочего пространства. Самый компактный и легкий осциллограф в своем классе - впишется в любую измерительную лабораторию. Самый большой в отрасли 15-дюймовый дисплей для высочайшего качества отображения сигналов.

Убедитесь сами!
Посмотрите видеоролик www.agilent.com/find/9000ad

©Agilent Technologies, Inc. 2009

+7 (495) 7973963

Agilent Technologies

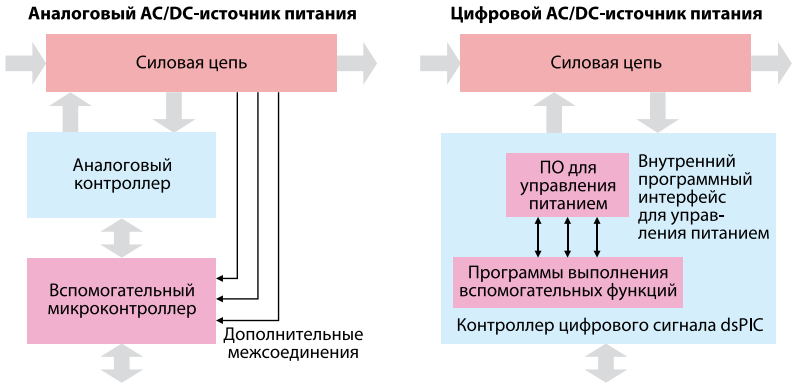

Рис. 3. **Управление силовой цепью и вспомогательными функциями в цифровом источнике питания выполняется на одном контроллере**

схемы компенсации, соединенные с центральным контроллером. В цифровом варианте источника питания все же требуется аппаратная реализация схемы вспомогательного источника питания, но каждая из перечисленных выше функций выполняется программно на центральном контроллере. В этом случае не только уменьшается количество требуемых компонентов, но также существенно сокращается число проводников на печатной плате. При выборе используемых компонентов следует учитывать стоимость элементов этой схемы, сложность топологии и размеры платы. Для некоторых схем могут (при аналоговой реализации) потребоваться всего несколько пассивных компонентов, в то время как другие компоненты могут иметь более высокую стоимость (например, отдельный микроконтроллер для выполнения вспомогательных функций).

Существует мнение, что цифровое решение требует использования специальных драйверов затворов полевых транзисторов, в то время как аналоговое решение может использовать драйверы затвора на кристалле. Несмотря на то, что это верно для маломощных схем, большинство аналоговых схем большой мощности все же требуют использования внешних драйверов затвора.

Детальное сравнение стоимости используемых элементов показывает, что общая сумма затрат на компоненты для цифрового источника питания будет значительно ниже по сравнению с аналогичной по параметрам аналоговой схемой. Простое суммирование стоимости компонентов — это только часть вопроса: существует много сопутствующих факторов экономии, которые определяются тем, что цифровой источник питания предполагает более простую топологию и меньший размер печатной платы, сниженную стоимость изготовления и сборки, а также улучшенное качество и надежность.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Постоянное совершенствование характеристик силовых транзисторов и использование новых топологий позволили существенно улучшить эффективность источников питания. Однако достигнутые максимальные значения КПД чаще всего относятся только к определенным оговоренным заранее условиям эксплуатации (пиковая эффективность может быть определена при половинной нагрузке или для максимального напряжения в сети). Цифровые источники питания обеспечивают дополнительную гибкость для оптимизации эффективности во многих рабочих точках.

Для повышающего преобразователя с коррекцией коэффициента мощности потери на переключение могут быть снижены при более высокой нагрузке благодаря снижению частоты переключения преобразователя. При более низкой нагрузке магнитные элементы будут иметь удовлетворительные характеристики при более низкой частоте переключения. При реализации схемы преобразователя с коррекцией коэффициента мощности с чередованием фаз при малой нагрузке одна фаза может быть отключена.

Аналогично и для полномостового преобразователя со сдвигом фазы чрезмерные потери на переключение при малой нагрузке можно уменьшить с помощью отключения синхронных MOSFET и используя вместо этого внутреннего (паразитного) диода полевой транзистор.

Другой пример можно встретить в приложении с понижающим преобразователем. Обычно для высоких выходных токов предпочтительны синхронные понижающие преобразователи. Однако использование синхронных MOSFET приводит к появлению блуждающих токов при низкой нагрузке, что, в свою очередь, вызывает более высокие потери. Следовательно, синхронный MOSFET с антипараллельным диодом в понижающем преобразователе можно заблокировать, когда преобразователь работает в режиме пульсирующего тока.

Эти методы позволяют увеличить эффективность путем использования усовершенствованных топологий, таких как резонансные и квазирезонансные преобразователи. Цифровое управление полностью поддерживает такие топологии, включая схемы полномостового преобразователя со сдвигом фазы и резонансного преобразователя, и позволяет достичь весьма высокой эффективности и плотности мощности. В результате, цифровое управление обеспечивает широкие возможности для оптимизации эффективности источников питания в полном диапазоне условий эксплуатации.

УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ

В типовом аналоговом источнике питания функции управления питанием осуществляются с помощью вспомогательного микроконтроллера (см. рис. 3). Этот микроконтроллер передает локальные системные параметры на главный контроллер или регистратор данных: он использует вспомогательные схемы считывания для сбора необходимых данных и затем ретранслирует их. В некоторых случаях удаленная система может также пересылать команды для управления работой локальных преобразователей питания. Эта конфигурация требует дополнительных аппаратных интерфейсов между вспомогательным микроконтроллером и цепями преобразования питания, что увеличивает стоимость и сложность системы.

Цифровой источник питания устраняет необходимость дополнительных цепей, т.к. все системные параметры уже измерены цифровым сигнальным контроллером. Эти параметры могут храниться в памяти цифрового сигнального контроллера и передаваться в удаленную систему, используя встроенную коммуникационную периферию, например, с помощью интерфейсов SPI, I^2C, UART или CAN. Любая модификация режимов работы системы может также быть выполнена с помощью простой программной процедуры без дополнительных аппаратных средств.

Цифровой источник питания также снижает общую стоимость системы благодаря исключению лишних цепей. В примере двухкаскадного AC/DC-источника питания первый каскад измеряет выходное напряжение, необходимое для работы управляющей цепи. Поскольку это напряжение является входным для второго каскада, те же данные используются вторым каскадом либо для осуществления управления с прямой связью, либо для схемы защиты от понижения/повышения напряжения питания.

Один цифровой сигнальный контроллер позволяет исключить лишние

измерения и предоставляет все средства для выполнения различных функций управления и защиты. Цифровой сигнальный контроллер также помогает системе реагировать на отказ намного быстрее и более эффективно, чем с использованием дискретных аналоговых контроллеров. Например, если происходит отказ в выходном преобразователе двухкаскадного аналогового AC/DC-источника питания, то входной повышающий преобразователь с коррекцией коэффициента мощности не будет знать об этом отказе, если это не связано с самим этим преобразователем. Цифровой контроллер способен детектировать условия отказа в целой системе и может, следовательно, почти немедленно реагировать на неисправность, независимо от того, где она произошла.

МЯГКИЙ СТАРТ И УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ

Когда источник питания запускается в первый раз, различные элементы, такие как конденсаторы и катушки индуктивности, могут содержать накопленную энергию. Чтобы избежать сильных переходных процессов по току и напряжению и соответствующей нагрузки на компоненты системы, во всех каскадах источника питания реализованы цепи мягкого старта. Многие (но не все) аналоговые контроллеры обеспечивают встроенные функции мягкого старта. Аналоговые контроллеры имеют ограниченные возможности в выборе длительности мягкого старта и задержки включения с помощью дополнительных схем.

В многокаскадных источниках питания имеется также необходимость задания предварительно определенной последовательности включения выходов, т.к. состояние некоторых выходов может зависеть от других выходов. Это можно осуществить с помощью отдельного чипа задания последовательности или с помощью вспомогательного микроконтроллера с дополнительной схемой.

Цифровой источник питания устраняет необходимость в дополнительных аппаратных средствах, т.к. все процедуры, связанные с заданием последовательности и мягким стартом, использующие различные алгоритмы, могут быть реализованы как часть программного обеспечения для управления источником питания. Для каждого каскада источника питания может быть реализована программа мягкого старта с возможностью конфигурирования длительности и задержки.

Например, для цифрового сигнального контроллера dsPIC процедура мягкого старта в программе управления вызывается немедленно после инициализации контроллера. Вначале вызывается задержка включения, а затем опорное напряжение на выходе устанавливается равным измеренному значению выходного напряжения. Опорная величина напряжения затем увеличивается на фиксированное значение до тех пор, пока окончательно не достигнет желаемого уровня. В этой точке процедура мягкого старта заканчивается и начинается цикл нормальной работы системы. Цифровой контроллер допускает весьма гибкое использование этой процедуры мягкого старта. Эта же процедура может быть вызвана в любой момент с различными параметрами. Например, если система пытается осуществить повторный запуск после того, как произошел сбой, задержка включения и длительность мягкого старта может быть скорректирована.

БЛАНКИРОВАНИЕ ПЕРЕДНЕГО ФРОНТА

Сигналы обратной связи по току для большинства силовых преобразователей должны быть отфильтрованы для исключения влияния помех на измерения и ошибочное отключение схем ограничения тока и защиты от сбоев. Более быстродействующие ключи, как правило, генерируют более высокий уровень шумов, и этот шум присутствует в сигналах обратной связи. В некоторых ситуациях импульсная помеха в момент переключения MOSFET может даже вызвать превышение максимальной предельной величины по току.

С помощью аналогового метода этот уровень шума трудно отфильтровать от сигнала токовой обратной связи без искажения формы сигнала. Для точной работы управляющей цепи и схемы защиты от превышения тока желательно сохранить форму сигнала. По этой причине часто используют метод, который называется бланкирование переднего фронта сигнала (Leading-edge blanking — LEB), при котором контроллер «не замечает» импульсных помех на сигнале обратной связи, связанных с фронтом переключения сигнала ШИМ.

Для аналогового контроллера этот метод требует использования схемы аппаратного бланкирования, которая блокирует реакцию сигнала (или «гасит» сигнал) обратной связи в течение фиксированного времени. Обычно это время определяется транзисторным ключом, который управляется драйвером затвора мощного MOSFET с помощью RC-линии задержки. Задержка гарантирует, что измерительная цепь не «видит» первые мгновения каждого цикла проводимости. В контроллерах dsPIC33F серии GS бланкирование переднего фронта является стандартной функцией, а задержка бланкирования устанавливается программно. Функция бланкирования переднего фронта может быть включена или отключена в любое время, и пользователь может выбирать, какой фронт ШИМ следует бланкировать.

АДАПТИВНОЕ И НЕЛИНЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Цифровые контроллеры позволяют изменять режим работы источников питания во время их функционирования. Эта особенность отрывает широкие возможности для новых решений и обеспечивает конкурентные преимущества перед другими продуктами.

Одной из возможностей для адаптивного управления является использование нескольких наборов коэффициентов цепи управления. Поскольку характеристики системы меняются при разных условиях в сети или в нагрузке, такие коэффициенты могут быть модифицированы в процессе работы для того, чтобы достичь наилучших параметров в каждой рабочей точке.

Предположим, что система рассчитана на работу при температуре до 50°C, однако, по некоторой причине температура окружающей среды вышла за эти пределы. В этом случае можно скорректировать программное обеспечение, чтобы уменьшить установленные предельные значения тока. Такое решение может помочь безопасно расширить рабочий диапазон системы, хотя и с некоторыми дополнительными оговорками.

Появление цифрового сигнального контроллера dsPIC33F серии GS позволило реализовать все преимущества цифрового управления источниками питания, что открыло новые перспективы для новых решений в области источников питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Digital power supply control: delivering the promises.*