

Цифро-аналоговые контроллеры импульсных источников питания Microchip

Геннадий ШТРАПЕНИН,
к. ф.-м. н.
microchip@eltech.spb.ru

В статье описаны характеристики и особенности применения нового поколения интегральных микросхем (ИМС) компании Microchip — цифро-аналоговых контроллеров импульсных источников питания, в состав которых входят управляющий PIC-микроконтроллер, аналоговый ШИМ-контроллер и драйвер силовых МОП-транзисторов. Сочетание высокой производительности и программируемости микроконтроллера с малым временем отклика высокоскоростного аналогового модуля позволяет создавать гибкие и эффективные источники вторичного электропитания с полным цифровым контролем.

Цифровая схемотехника и программное обеспечение оказывают все большее влияние на проектирование различных видов аналоговых устройств. Примером такого симбиоза являются, например, конфигурируемые логические ячейки (CLC — Configurable Logic Cell) в PIC-микроконтроллерах Microchip [1]. Не обошла данная тенденция и новейшие разработки микросхем Microchip для источ-

ников питания. В дальнейшем, согласно [2], мы будем использовать термин «регулирование питания» (power control), определяющий функции внутреннего управления источником, и термин «управление питанием» (power management), связанный с конфигурированием системы питания, установкой ее параметров и обнаружением неисправностей. В большинстве современных источников питания реализация этих функций

преимущественно основана на использовании аналоговой схемотехники, при этом устройства регулирования питания и управления питанием пространственно разделены. Рассмотрим коротко варианты построения устройств регулирования питания.

Классическая схема регулирования аналогового источника питания, приведенная на рис. 1а, в качестве элемента управления использует ИМС ШИМ-контроллера. Часть выходного напряжения с резистивного делителя сравнивается с опорным напряжением, сигнал ошибки усиливается и преобразуется в импульсы переменной скважности, которые управляют временем включения силового ключа. Для обеспечения устойчивости применяется частотная компенсация в петле отрицательной обратной связи внешней или внутренней RC-цепью.

Достоинства аналоговой системы регулирования — сравнительно низкая стоимость ИМС контроллеров и элементов обвязки, способность функционирования при высоких частотах коммутации вплоть до нескольких мегагерц, что позволяет уменьшить размеры и массу источника питания, а также малое собственное энергопотребление. Немаловажен и большой, накопленный за длительное время инженерный опыт в проектировании подобных устройств и наличие обширной базы знаний всех уровней.

В то же время аналоговые системы регулирования не лишены определенных недостатков, в частности, модификация источника питания возможна только путем изменения аппаратной части и, если это предусматривается изначально, требует увеличения площади печатной платы. Параметры источника в значительной степени зависят от внешних

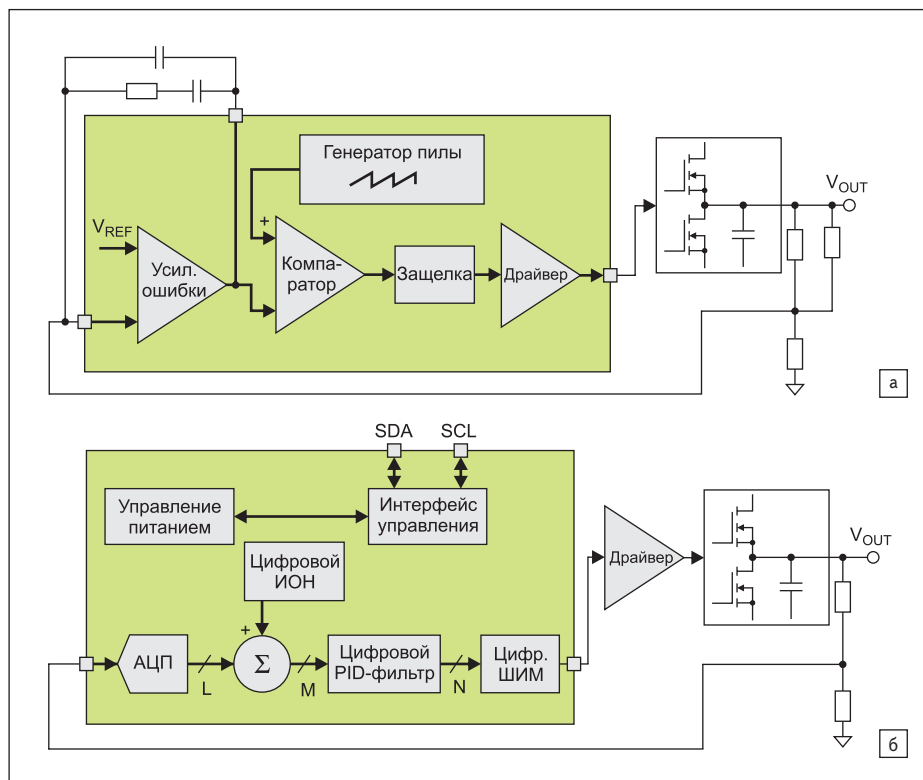


Рис. 1. Функциональные схемы управления импульсными источниками питания: а) аналоговая; б) цифровая

условий и деградации компонентов в процессе их старения. Типовые схемы фазовой коррекции не способны обеспечить баланс между устойчивостью и малым временем отклика во время переходных процессов. И самое главное — адаптивное управление источником питания с аналоговым контроллером, очень востребованное в настоящее время, практически не реализуемо.

В отличие от аналоговой, в цифровой схеме регулирования (рис. 16) напряжение с резистивного делителя подается не на усилитель ошибки, а на вход АЦП, а с его выхода цифровой сигнал поступает на микроконтроллер, который, используя алгоритмы управления, хранящиеся в ПЗУ, вычисляет сигнал ошибки, параметры частотной компенсации и импульсов управления силовыми ключами. Естественно, внешние RC-цепи коррекции в данной ситуации не требуются.

На первый взгляд цифровая схема регулирования более оптимальна, чем аналоговая, поскольку, во-первых, может лучше адаптироваться к изменениям входного напряжения и тока нагрузки и, во-вторых, позволяет сравнительно легко управлять параметрами источника в зависимости от условий его работы — изменять «мертвое время» управления верхним и нижним силовыми ключами, параметрами схемы компенсации и т. д. На основе цифрового контроллера без особых проблем можно спроектировать и адаптивный источник питания с заданными характеристиками. Однако применение цифрового регулирования влечет за собой ряд объективных и субъективных трудностей, преодоление которых может сильно затянуть время проектирования и удорожить конечное изделие. Перечислим некоторые из них:

1. Качественные параметры источника достигаются только при очень высокой вычислительной скорости.
2. Точность источника питания зависит от параметров АЦП (разрядность и быстродействие).
3. Увеличение частоты ШИМ требует применения очень высокочастотного микроконтроллера, при этом значительно возрастает собственное энергопотребление источника питания.

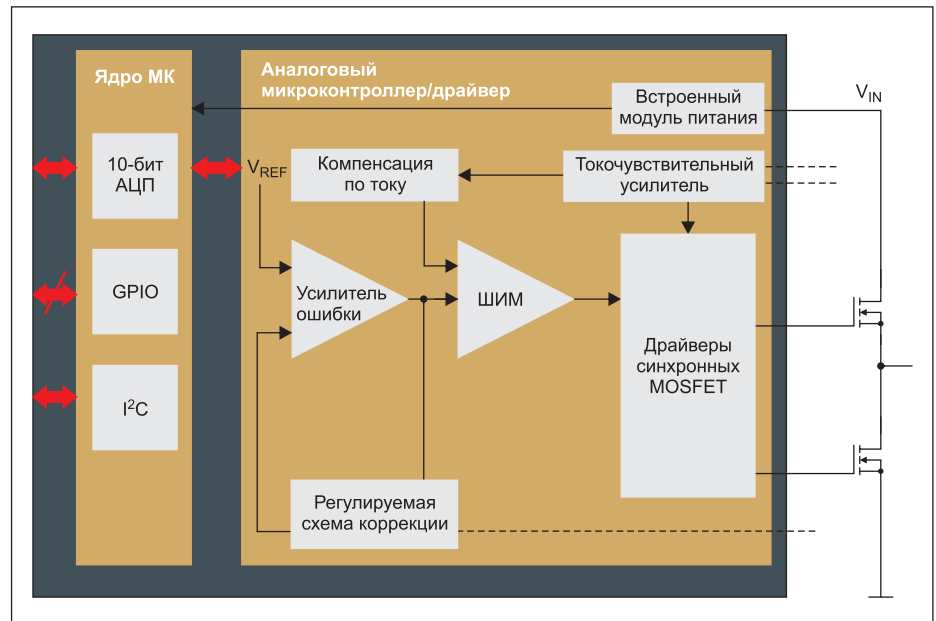


Рис. 2. Функциональная схема цифро-аналогового контроллера импульсных источников питания MCP19118

4. Разработка источников питания с цифровым регулированием предусматривает специфические знания в области программирования.

Возвращаясь к началу статьи, отметим, что управление питанием в любом случае требует применения внешнего микроконтроллера, обеспечивающего заданную последовательность запуска и выключения источника, а также изменение его параметров в процессе работы в зависимости от задачи и внешних условий. У цифрового регулятора данные функции реализуются сравнительно просто, при использовании аналогового регулятора могут потребоваться дополнительные схемные элементы.

Стремление оптимизировать решение широкого круга задач, связанных с управлением параметрами электропитания непосредственно в процессе функционирования устройства, а также расширение возможностей выбора этих параметров привело разработчиков компании Microchip к созданию нового класса ИМС — цифро-аналоговых контроллеров импульсных источников пи-

тания (DEPA — Digitally-Enhanced Power Analog), в состав которых входит управляющий PIC-микроконтроллер, аналоговый ШИМ-контроллер и драйвер силовых МОП-транзисторов. Сочетание высокой производительности и программируемости микроконтроллера с малым временем отклика высокоскоростного аналогового модуля позволяет создавать гибкие и эффективные источники вторичного электропитания с полным цифровым контролем. Таким образом, становится возможным программно, путем записи данных в регистры микроконтроллера, задавать основные параметры импульсного источника питания: частоту ШИМ и максимальные значения токов и напряжений, автоматически регулировать выходную мощность в зависимости от параметров нагрузки, обнаруживать и исправлять ошибки и сбои в работе. Наиболее эффективно использование данных микросхем в зарядных устройствах современных аккумуляторов, схемах питания от USB и управления светодиодными светильниками, в автомобильных блоках питания и в других приложениях.

Таблица. Основные параметры цифро-аналоговых контроллеров импульсных источников питания Microchip

Тип	Топология	Диапазон входных напряжений			Диапазон выходных напряжений			Частота коммутации		Память программ	RAM	Порты ввода/вывода	Корпус QFN-выводов	Размеры корпуса		
		U_{in}		U_{out}			F_{sw}		кСлов					байт	L×D	мм ²
		В		min	max	max*	min	max								
		min	max	min	max	max*	min	max								
MCP19110/1	Buck	4,5	32	0,7	3,6	90% U_{in}	0,1	1,6	4	256	11/15	24/28	4×4/5×5			
MCP19114/5	Boost, Flyback, Cuk, SEPIC	4,5	42	1	x	200	0,03	2	4	256	9/13	24/28	4×4/5×5			
MCP19116/7	Boost, Flyback, Cuk, SEPIC	4,5	42	1	x	200	0,03	2	8	336	8/12	24/28	4×4/5×5			
MCP19118/9	Buck	4,5	40	0,5	3,6	90% U_{in}	0,1	1,6	4	256	11/15	24/28	4×4/5×5			
MCP19122/3	Buck	4,5	40	0,3	16	90% U_{in}	0,1	1,6	4	256	12/16	24/28	4×4/5×5			
MCP19124/5	Boost, Flyback, Cuk, SEPIC	4,5	42	1	x	200	0,03	2	4	256	9/13	24/28	4×4/5×5			
MCP19214/5	Boost, Flyback, Cuk, SEPIC	4,7	42	1	x	200	0,03	2	8	336	8/12	28/32	5×5/5×5			

Примечание. *С внешним резистивным делителем сигнала обратной связи

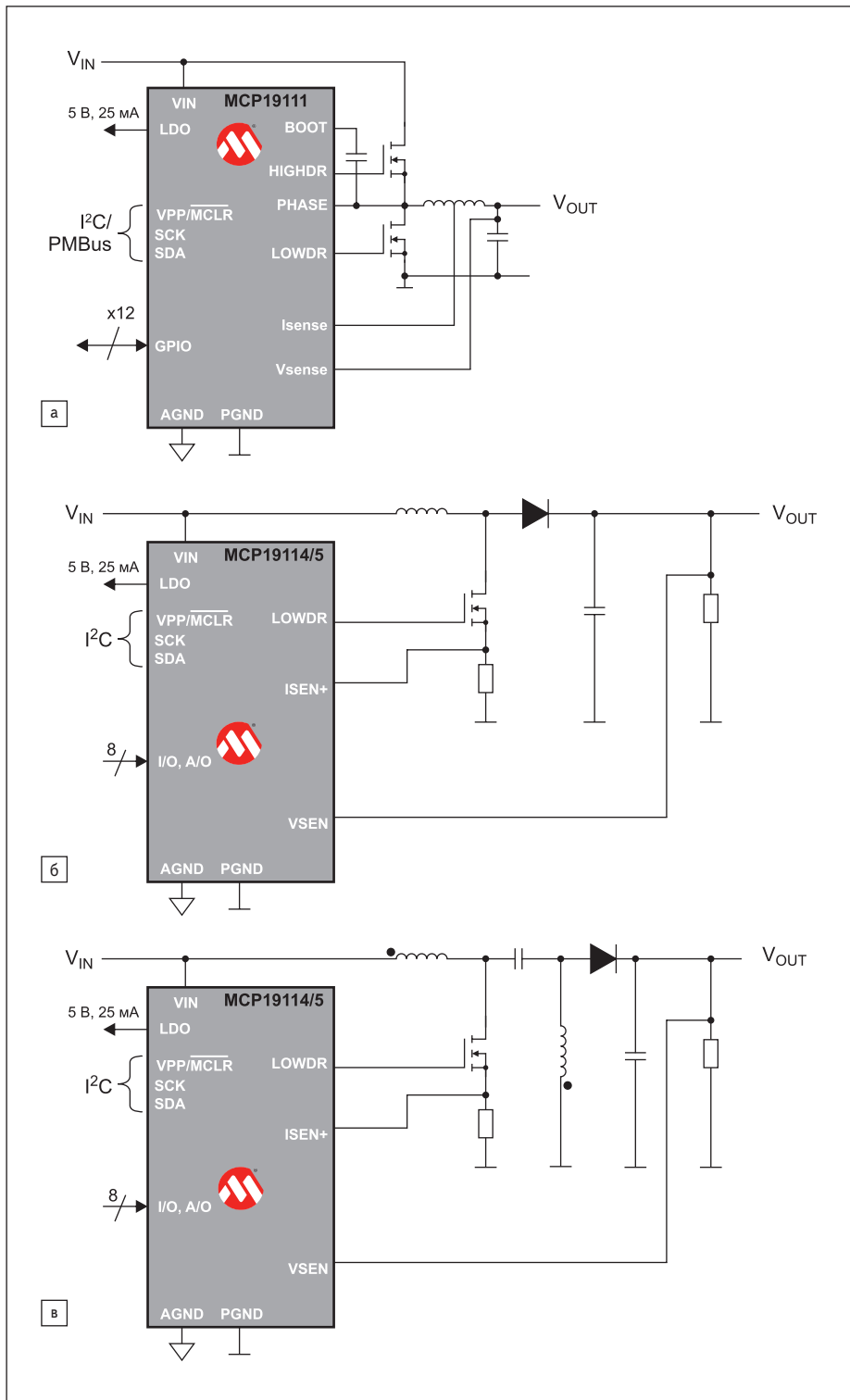


Рис. 3. Варианты построения схем источников питания на цифро-аналоговых контроллерах:
 а) синхронный понижающий (Buck); б) повышающий (Boost); в) повышающе-понижающий неинвертирующий (SEPIC)

При этом одно и то же техническое решение может применяться в самых различных конечных изделиях простой заменой программного обеспечения, что существенно снижает затраты на разработку конструкции и разводку печатной платы.

Функциональная схема цифро-аналогового контроллера импульсных источников питания на примере ИМС MCP19118 приве-

дена на рис. 2 и включает ядро 8-разрядного PIC-микроконтроллера с дополнительными портами ввода/вывода GPIO, мультиплексированным 10-разрядным АЦП и интерфейсом I²C, который может быть использован для организации управления питанием по протоколу PMBus.

Аналоговая часть контроллера состоит из импульсного ШИМ-регулятора с управ-

лением по напряжению и току [3] со схемами фазовой компенсации, внутреннего модуля питания (линейного стабилизатора для питания цифрового ядра) и драйверов верхнего и нижнего силовых МОП-транзисторов с типовым набором схем защиты от аварийных ситуаций и перегрева. Параметры схем компенсации и защиты устанавливаются программно.

Теперь перейдем к рассмотрению основных типов и особенностей применения цифро-аналоговых контроллеров импульсных источников питания Microchip, которые сейчас актуальны. Их основные параметры приведены в таблице. Характеристики контроллеров, указанные в одной строке таблицы, идентичны, за исключением числа портов ввода/вывода и типа корпуса. Все устройства работоспособны в расширенном диапазоне температур $-40...+125^{\circ}\text{C}$.

Линейка контроллеров позволяет создавать на их основе импульсные стабилизированные понижающие (Buck) и повышающие (Boost) источники питания, двухиндуктивные инвертирующий и неинвертирующий понижающе-повышающие по топологии SEPIC и Cuk, а также трансформаторные прямо- (Forward) и обратноходовые Flyback [3]. Возможные варианты схем приведены на рис. 3.

Контроллеры MCP19110 и MCP19111 позиционируются для построения низковольтных импульсных синхронных понижающих источников питания различных устройств с напряжением до 3,6 В. Совместно с данными контроллерами компания рекомендует использовать специально разработанные силовые МОП-транзисторы серии MCP87xxx с сопротивлением открытого канала в несколько миллиом, благодаря чему удается достичь значения КПД источника 96% и более. Диапазон выходных напряжений можно расширить с помощью внешнего резистивного делителя напряжения сигнала обратной связи. Для повышения коэффициента стабилизации и устойчивости работы в аналоговой части контроллера применяется отрицательная обратная связь по пиковому значению тока дросселя [3]. Величины выходного напряжения и, если необходимо, закон его изменения, частоты коммутации, «мертвого» временного интервала между включением выходных транзисторов, постоянных времени цепей фазовой компенсации, параметров плавного старта, а также максимального тока нагрузки и предельно допустимых входных и выходных токов и напряжений и другие параметры устанавливаются программированием цифровой части контроллера.

Управляющий PIC-микроконтроллер работает с тактовой частотой 8 МГц, Flash-память программ объемом 4096 слов допускает 100 000 циклов перезаписи и сохраняет информацию более 40 лет. В дополнение к типовой архитектуре 8-разрядных PIC-контроллеров в составе микросхем

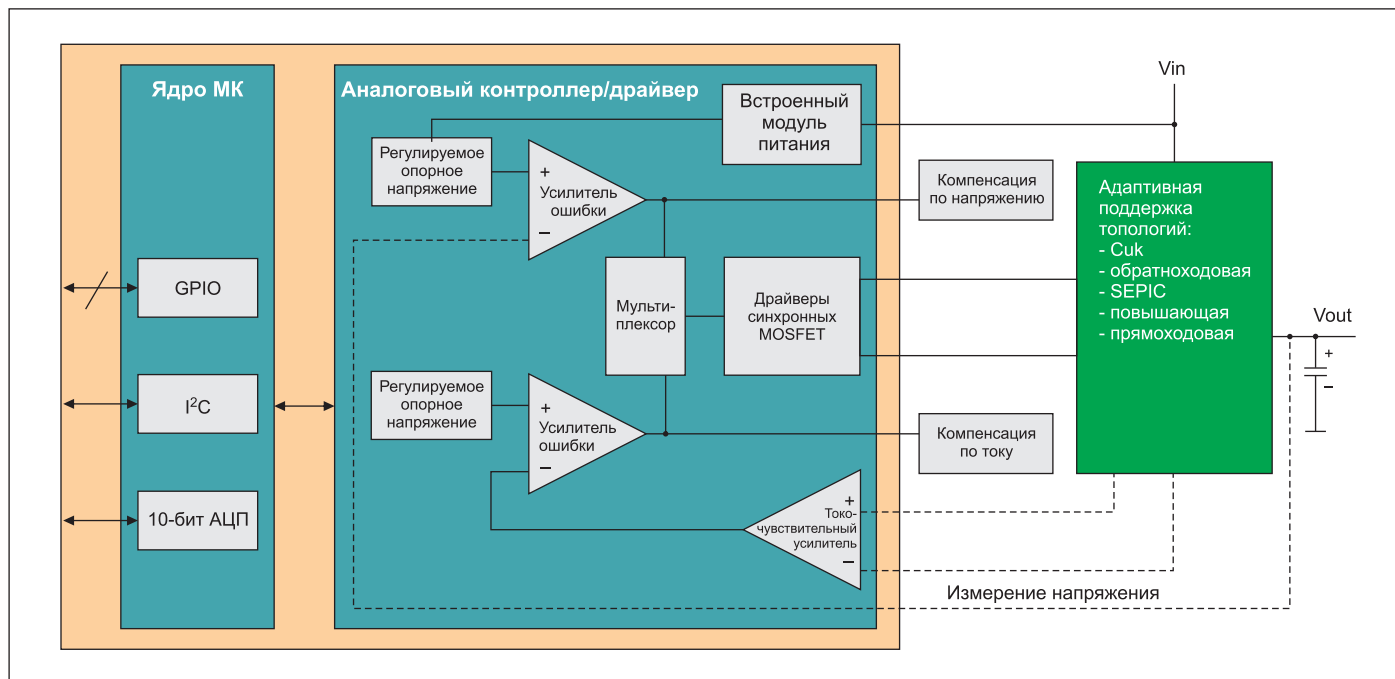


Рис. 4. Функциональная схема цифро-аналогового контроллера импульсных источников питания MCP19125

MCP19110/1 имеет мультиплексированный 10-разрядный АЦП и аппаратный интерфейс I²C, который можно сконфигурировать для работы по протоколу PMBus.

Контроллеры MCP19118 и MCP19119 — это улучшенная версия MCP19110 и MCP19111 соответственно, выполненная в том же конструктиве и полностью совместимая по программному обеспечению. Диапазон входных напряжений расширен до 40 В. Потребляемый ток в ждущем режиме не превышает 5 мА.

Контроллеры MCP19122 и MCP19123 с увеличенным до 42 и 16 В диапазоном входных и выходных напряжений также предназначены для построения понижающих DC/DC-преобразователей. В дополнение к ранее рассмотренным возможностям в цифровой части контроллера (как и во многих типовых PIC-контроллерах) предусмотрены внутрисхемное программирование (ICSP — in circuit serial programming) в готовом изделии и ICDI-эмулятор, позволяющий осуществлять прямой доступ к регистрам ядра/периферии по двухпроводной последовательной шине в процессе отладки программного обеспечения. Для повышения надежности и защиты от сбоев в ИМС встроены функции отслеживания напряжения питания POR и BOR, обеспечивающие удержание контроллера в состоянии сброса, пока напряжение питания не достигнет заданного значения, и сброс контроллера при уменьшении напряжения питания ниже критического уровня.

Серия контроллеров MCP19114/5 и их улучшенная версия MCP19116/7 сконфигурированы для построения источников питания по топологиям Boost, Cuk, Flyback и т. д. Устройства способны функциониро-

вать в широком диапазоне входных и выходных (с внешним делителем в цепи ООС) напряжений. Для устойчивой работы требуются внешние цепи фазовой коррекции. Микросхемы MCP19116/7 обеспечивают повышенные параметры стабилизации выходного напряжения благодаря увеличенному объему постоянной и оперативной памяти, что позволяет использовать более развитые алгоритмы управления. Встроенный термодатчик предоставляет возможность отслеживать изменение температуры и соответственно корректировать выходное напряжение, что очень эффективно при питании устройств на светодиодах.

Отличительная черта контроллеров MCP19124 и MCP19125 — наличие отдельных контуров управления по напряжению и току (рис. 4), причем каждый контур управления имеет отдельную цепь обратной связи с независимыми нулями и полюсами и способен определять момент перехода регулируемой величины через ноль в квазирезонансных топологиях. Программирование источника питания предусматривает возможность динамического изменения алгоритмов регулирования посредством переключения с одного контура управления на другой. При этом обеспечивается плавный переход без сбоев и соответствующих процессов. Система управления позволяет минимизировать переходный процесс при скачках тока нагрузки при резком изменении ее сопротивления. Все параметры устанавливаются с помощью динамической записи во внутренние регистры без прерывания процессов регулирования. Контроллеры MCP19124/5 идеально подходят для зарядных устройств суперконденсаторов и аккумуля-

торов всех типов с произвольным профилем и методом заряда в различных схемах включения, в том числе и нескольких батарей одновременно. Изменение внутри профиля заряда задается при программировании контроллера по любому определенному значению тока, напряжения и длительности интервала. Источники питания на данных контроллерах могут применяться и для управления DC/DC-преобразованием с поддержкой режима постоянного тока или напряжения в различных топологиях — Flyback, Booster, SEPIC и других.

В заключение рассмотрим последнюю разработку Microchip Technology — семейство сдвоенных цифро-аналоговых контроллеров импульсных источников питания MCP19214/5, состоящих из управляющего PIC-микроконтроллера и двух аналоговых контроллеров с драйверами силовых МОП-транзисторов, подобных ИМС MCP19124/5. Сдвоенные контроллеры обеспечивают одновременное управление двумя преобразователями, построенными по схемам Boost, Flyback, SEPIC и Cuk, выполненным даже по различным топологиям. Кроме того, контроллер может быть сконфигурирован для двунаправленного управления одной силовой шиной и поддерживать регулирование напряжения или тока с любой стороны от преобразователя энергии. Это позволяет динамически переключаться между режимами стабилизации напряжения и стабилизации тока, дополнительно изменяя направление преобразования энергии. Как пример подобного устройства на рис. 5 приведена принципиальная электрическая схема двунаправленного преобразователя напряжения, используемого в качестве

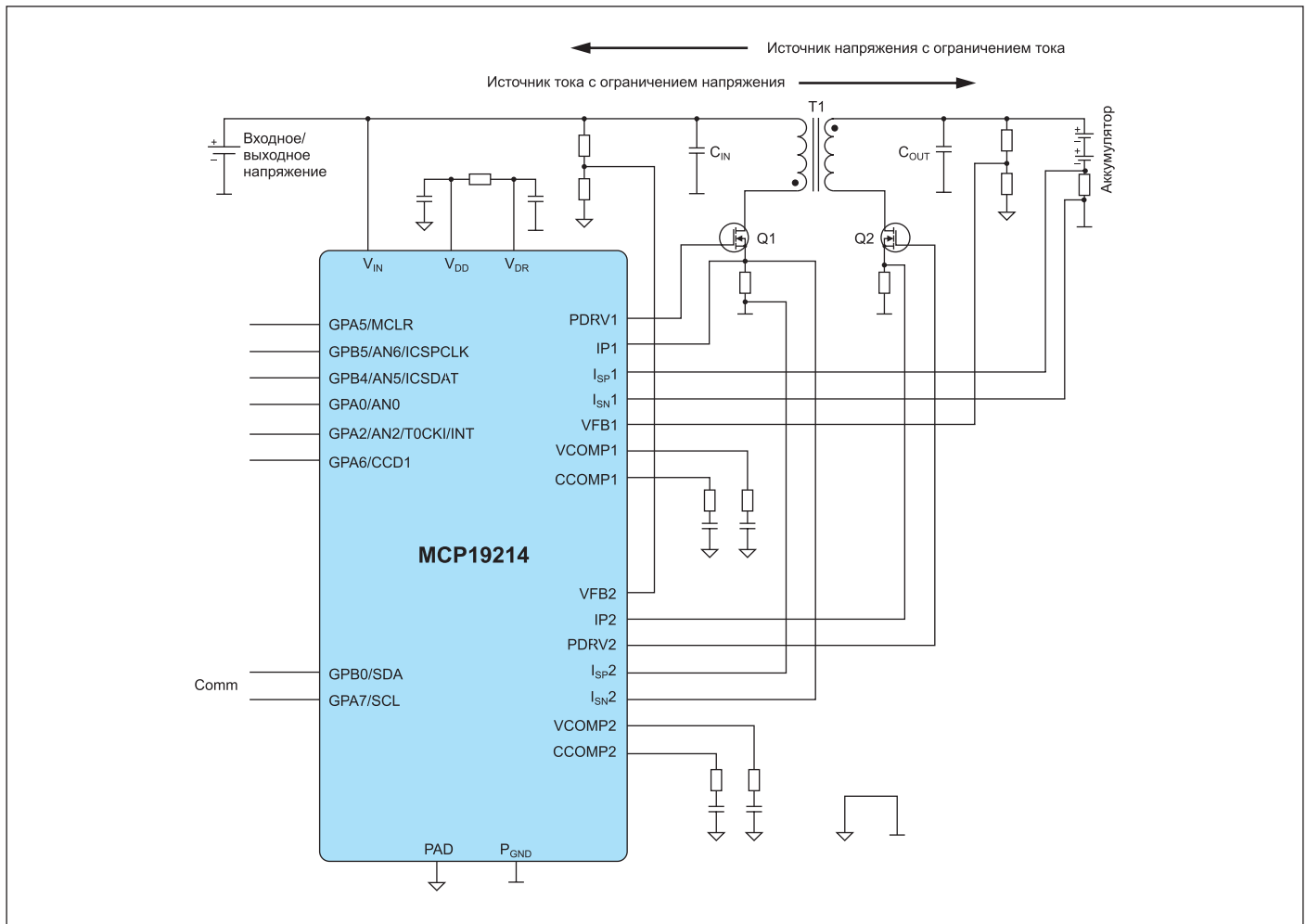


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема двунаправленного преобразователя напряжения на ИМС MCP19214

источника бесперебойного питания с оптимизацией режима заряда аккумулятора по заданному профилю.

Все основные параметры источника полностью конфигурируются в микроконтроллерном ядре, управляющем внутренними аналоговыми контурами регулирования. Пороги ограничения тока, рабочая частота, реакция на неисправности и уровни блокировки при повышенном и пониженном напряжении могут быть адаптированы к кон-

кретному приложению. ИМС MCP19214/5 имеют дежурный режим с пониженным энергопотреблением и способны выдерживать скачки напряжения при сбросе нагрузки, что делает их идеальным прибором для автомобильных приложений. Контроллер можно запрограммировать на выключение других нагрузок и переход в спящий режим, что предполагает его прямое подключение к аккумуляторной батарее, причем при выключенном двигателе потребляется ми-

нимальная энергия. Для снижения уровня электромагнитного излучения и интерференционных помех рабочую частоту каналов можно задать с программируемым фазовым сдвигом.

Цифро-аналоговые контроллеры импульсных источников питания Microchip поддерживаются набором инструментов программирования и разработки, включая интегрированную среду MPLAB X и компилятор MPLAB XC8. Изучить работу контроллеров можно с помощью управляемых графическим интерфейсом оценочных плат на конкретных примерах преобразователей, которые адаптируются к заданным требованиям. ■

Литература

1. Афанасьев И. Независимая от ядра периферия микроконтроллеров Microchip // Компоненты и технологии. 2016. № 10.
2. Taranovich S. Power Supply go digital. www.radiolocman.com/review/article.html?di=179978.
3. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.