

Первый повышающе-понижающий DC/DC-преобразователь компании Texas Instruments индустриального исполнения по технологии HotRod QFN

Владимир РЕНТЮК
rvk.modul@gmail.com

В статье рассмотрен новейший сверхминиатюрный контроллер для понижающе-повышающих (Buck-Boost) DC/DC-преобразователей индустриального исполнения компании Texas Instruments, реализованный с помощью передовой технологии HotRod QFN, увеличивающей плотность мощности.

Продукция компании Texas Instruments давно и хорошо известна на рынке DC/DC-преобразователей самого широко применения. Компания всегда идет в ногу со временем, предлагая все новые высокоэффективные решения, что особенно важно в условиях современного тренда миниатюризации и повышения эффективности индустриального оборудования. Это связано в первую очередь с постоянным расширением применения в промышленности устройств, требующих распределенного питания, так называемого PoL (PoL — Point of Load, источник питания, максимально приближенный к нагрузке), что позволяет избежать проблем с организацией шин напряжений постоянного тока и успешно решать вопросы электромагнитной совместимости. Кроме того, наблюдается все более широкое распространение различных удаленных сенсоров с автономным питанием, устройств типа «Интернет вещей» и узловых компонентов в интеллектуальных сетях, для которых габариты, эффективность, пониженное собственное тепловыделение и возможность функционирования в жестких условиях окружающей среды являются определяющими факторами [1]. Поскольку подобные решения не могут функционировать без соответствующей организации питания (как правило, батарейного), одним из краеугольных камней таких систем становится правильный и осознанный выбор подходящего DC/DC-преобразователя и, следовательно, его контроллера. Данный преобразователь должен действовать в широком диапазоне рабочих температур и питающих напряжений, иметь малые габариты, причем

не только самого контроллера, но и конечно решения. К тому же само решение должно отличаться низкими собственными потерями, а следовательно, высоким КПД, причем в самом широком спектре нагрузок и входных напряжений. Еще одним немаловажным фактором с точки зрения электромагнитной совместимости является пониженный уровень излучения помех.

Как можно видеть, указанные требования достаточно противоречивы. Тем не менее они реально выполнимы. Один из вариантов их реализации — использование предлагаемых компанией Texas Instruments повышающе-понижающих DC/DC-преобразователей индустриального исполнения, оснащенных встроенными силовыми ключами и требующих лишь одной катушки индуктивности, — серии микросхем TPS63025x [2]. Основные области применения новых преобразователей — организация питания по технологии PoL, POS-терминалы, электронные кассовые аппараты, мобильные телефоны и смартфоны, мультимедийные устройства, спутниковые навигаторы (автономные и встроенные системы навигации), планшетные компьютеры, цифровые весы, а также портативная электроника с аккумуляторным и батарейным питанием.

До недавнего времени эти преобразователи были доступны только в корпусе DSBGA (суффикс YFF). Но совсем недавно компания Texas Instruments расширила серию TPS63025x, добавив к ней преобразователь, выполненный по новой технологии HotRod QFN (в спецификации [2] обозначен как VQFN). Таким образом, на рынке появился первый понижающе-повышающий (buck-

boost) DC/DC-преобразователь индустриального исполнения, пока реализованный в виде регулируемой версии TPS630250RNC.

Что же представляет собой серия TPS63025x и ее новинка TPS630250RNC? Новый контроллер этого четырехамперного преобразователя — TPS630250RNC создан в более эффективном 14-выводном корпусе исполнения HotRod QFN (VQFN, медные выводы с покрытием NiPdAu [2]), позволяет реализовать конечное решение с размерами всего 49 мм². Собственные габаритные размеры ИМС контроллера в этом исполнении, несмотря на его развитую внутреннюю архитектуру и пять мощных встроенных ключей (рис. 1), составляют лишь 2,5×3 мм, а его типовое включение для варианта с произвольной установкой выходного напряжения предусматривает только пять внешних элементов (рис. 2). Как уже отмечалось, ранее этот контроллер был доступен в менее удобном с точки зрения технологии сборки 20-выводном корпусе WCSP (DSBGA, шариковые выводы SnAgCu [2]) размером 1,766×2,086 мм. Некоторое увеличение габаритов дало неоспоримые технологические преимущества, но при этом не привело к значительному увеличению площади конечного решения, составившему примерно 11% (с 44 до 49 мм²). Сравнение вариантов исполнения в части корпусирования представлено на рис. 3, а детальное описание особенностей микросхем, выполненных по технологии HotRod, приведено в публикации [3].

Все микросхемы серии TPS63025x представляют собой высокоэффективные контроллеры повышающе-понижающих (buck-boost) DC/DC-преобразователей с низким собственным током потребления (35 мкА), пригодные

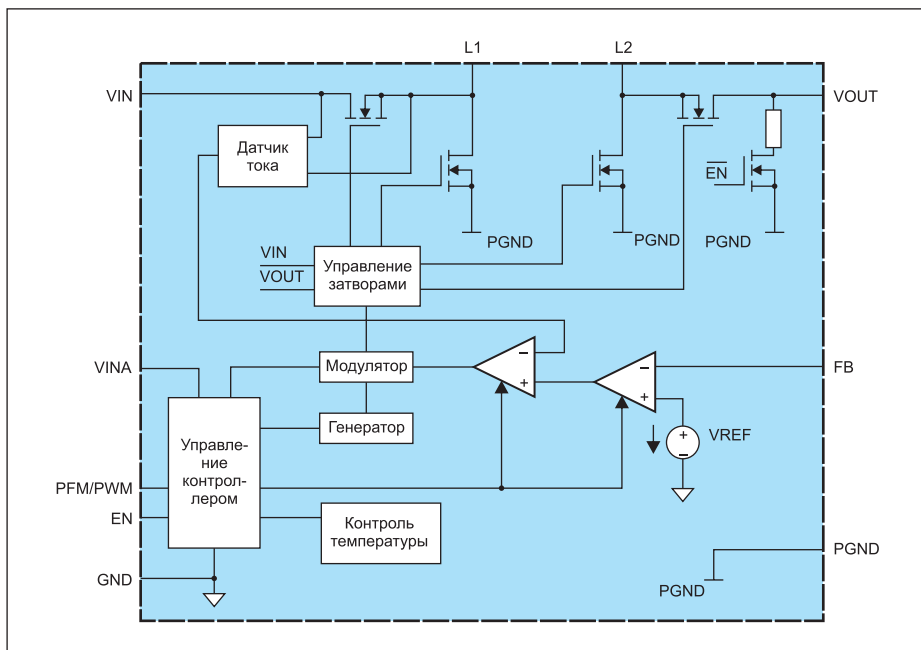


Рис. 1. Блок-схема TPS630250 (PGND — силовая «земля»; GND — аналоговая «земля»)

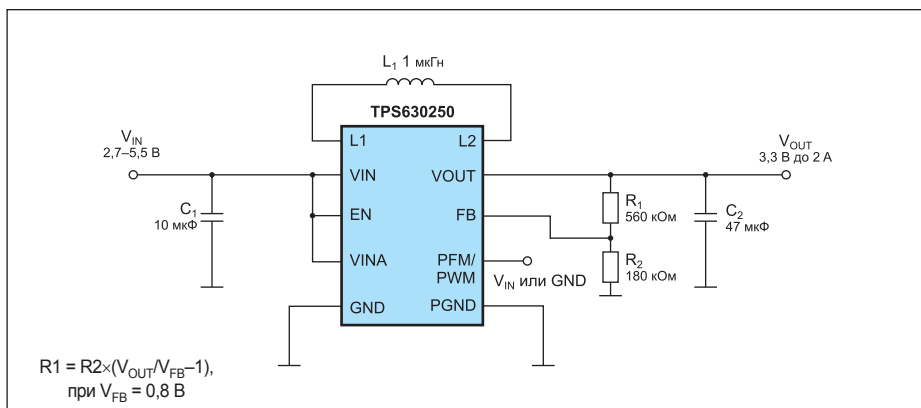


Рис. 2. Типовая схема включения TPS630250 (вывод PFM/PWM не должен оставаться не подключенным; VIN — режим PWM (ШИМ), GND — режим PFM/PWM (ЧИМ/ШИМ))

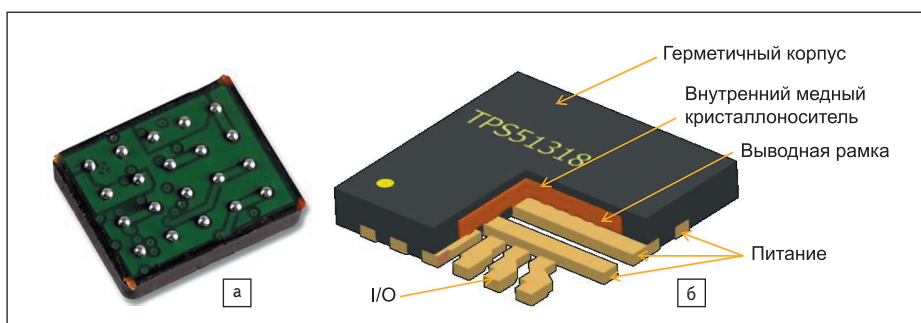


Рис. 3. Сравнение корпусов: а) DSBGA; б) HotRod QFN (VQFN)

метный бесшовный переход. В контроллерах этого типа используется фиксированная рабочая частота. В режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) контроллер использует синхронное выпрямление для получения максимальной эффективности. При малых токах нагрузки преобразователь входит в режим энергосбережения, чтобы сохранить высокую эффективность во всем диапазоне токов нагрузки. Контроллер имеет вход управления ЧИМ/ШИМ (вывод PFM/PWM), который позволяет выбрать между автоматическим режимом работы с переходом ЧИМ/ШИМ и принудительным режимом работы ШИМ. Как уже говорилось, в режиме ШИМ применяется фиксированная частота (типичное значение 2,5 МГц). Выходное напряжение программируется с помощью внутреннего (для варианта исполнения с фиксированным выходным напряжением) или задается внешним резистивным делителем (для установки выходного напряжения, заданного пользователем). Для того чтобы свести к минимуму нерациональный разряд батареи, преобразователь может быть полностью отключен, при этом ток, отдаваемый в нагрузку, не превысит 12 мкА. Во время остановки нагрузка полностью отключается от батареи, а выходной конденсатор разряжается внутренним ключом контроллера.

Благодаря увеличению плотности мощности технология корпусирования HotRod QFN снижает собственные потери преобразователя и, следовательно, уменьшает тепловыделение, сохраняя низкую температуру конечного изделия.

Основные особенности контроллеров TPS63025x:

- режим повышающего и понижающего преобразования с автоматическим с плавным, бесшовным переходом;
- рабочий диапазон входного напряжения: 2,3–5,5 В;
- исполнение в части выходного напряжения:
 - TPS630250 регулируемое в диапазоне 2,5–3,6 В,
 - TPS630251 фиксированное 2,9 В,
 - TPS630252 фиксированное 3,3 В;
- точность установки выходного напряжения V_{OUT} : 1%;
- КПД до 95% в режиме повышающего и до 97% в режиме понижающего преобразования при $V_{IN} = V_{OUT}$;
- типовое значение рабочей частоты преобразования: 2,5 МГц;
- собственный ток потребления: 35 мкА (тип.);
- диапазон рабочих температур: $-40 \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$;
- максимальная температура кристалла: $+125 \text{ }^\circ\text{C}$;
- устойчивость к разрядам статического электричества:
 - $\pm 2000 \text{ В}$ (модель тела человека, НВМ согласно JEDEC JS-001),
 - $\pm 700 \text{ В}$ (модель заряженного устройства, CDM согласно JESD22-V C101);

для приложений, в которых входное напряжение может быть как выше, так и ниже выходного. Что часто требуется в устройствах с батарейным или аккумуляторным питанием. Токи нагрузки преобразователя в режиме повышения (boost) могут достигать до 2 А, а в режиме понижения (buck) до 4 А. Максимальный средний ток в коммутаторах

ограничивается типичным значением 4 А. Преобразователь, выполненный на контроллере TPS63025x, стабилизирует выходное напряжение во всем диапазоне входных напряжений с помощью автоматического переключения между режимами buck-boost в зависимости от уровня входного напряжения, обеспечивая плавный и практически неза-

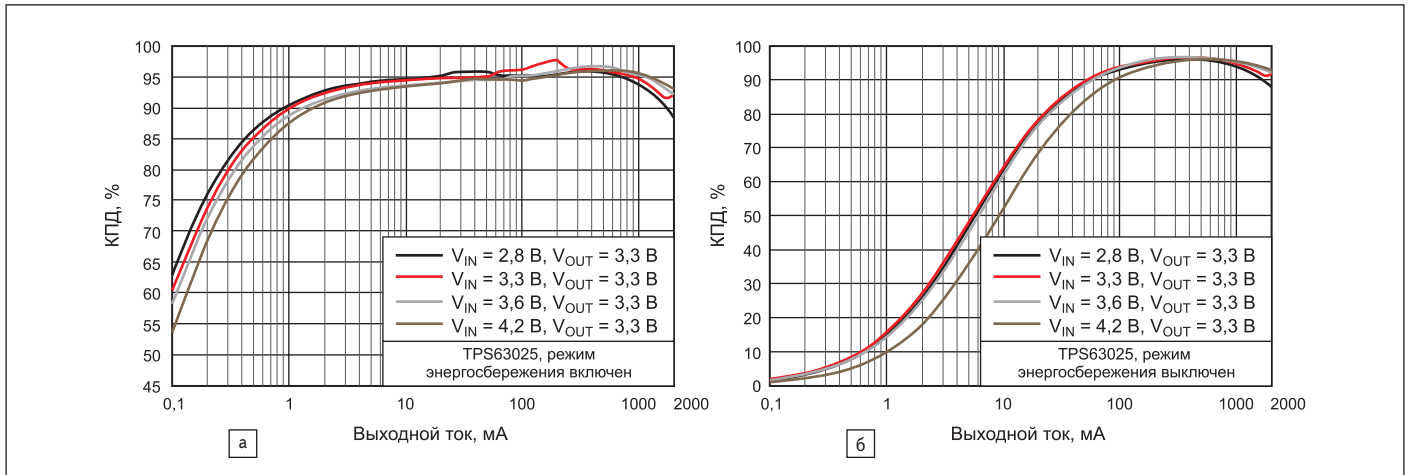


Рис. 4. Графики КПД: а) в режимах энергосбережения (ЧИМ/ШИМ); б) обычного режима с ШИМ

- пороги логических уровней входов управления при напряжении питания V_{IN} 2,3–5,5 В:
 - низкий 0,4 В (max),
 - высокий 1,2 В (min).
 Дополнительные возможности и встроенные функции TPS63025x:

- ток нагрузки в режиме повышения напряжения (длительный) 2 А при входном напряжении $V_{IN} \geq 2,5$ В и выходном напряжении $V_{OUT} = 3,3$ В;
- режим плавного пуска (Soft Start);
- автоматический переход в режим энергосбережения при малых нагрузках, управление по выводу PFM/PWM (низкий логический уровень);
- возможность полного отключения с током потребления 0,1 мкА (типичное), управление по выводу EN (низкий логический уровень);
- разряд выходного конденсатора специальным ключом на внутреннее сопротивление (120 Ом);
- защита от короткого замыкания по выходу, перегрева (выше +140 °С), перегрузок по току и пониженного входного напряжения (пороговое значение 1,7 В);
- диапазон допустимых индуктивностей дросселя: 0,5–1,5 мГн;
- допустимо использование внешних конденсаторов в широком диапазоне емкостей (минимальное рекомендованное значение выходной емкости 20 мкФ).

Для общей оценки их преимуществ на рис. 4 приведены графики КПД в режимах энергосбережения (ЧИМ/ШИМ) и обычного режима с ШИМ.

Функционирование в режиме пониженного энергопотребления и переход на работу на мощную нагрузку в общем виде иллюстрирует рис. 5.

Для того чтобы сохранить высокий уровень КПД на малых токах, в контроллерах рассматриваемой серии используется режим ЧИМ. В этом режиме стабилизация выходного напряжения осуществляется только одним компаратором, который регулирует

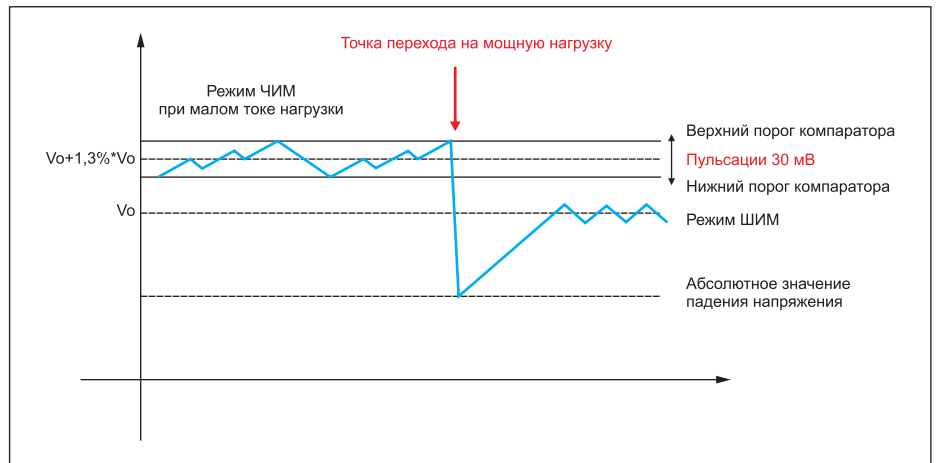


Рис. 5. Диаграмма, иллюстрирующая работу преобразователя на контроллере серии TPS63025x в режиме энергосбережения ЧИМ/ШИМ

выходное напряжение. Пульсации переменного тока в этом состоянии увеличиваются по сравнению с ШИМ-режимом. Амплитуда напряжения пульсаций в худшем случае составляет 50 мВ в двойном размахе амплитуды, но, как правило, типовое значение с выходной емкостью на уровне 2 мкФ равно

30 мВ. Для того чтобы избежать критического падения напряжения при переключении с 0 А до полной нагрузки, выходное напряжение в режиме ЧИМ обычно на 1,3% выше номинального значения в режиме ШИМ. Это называется динамическим позиционированием напряжения (в англ. тер-

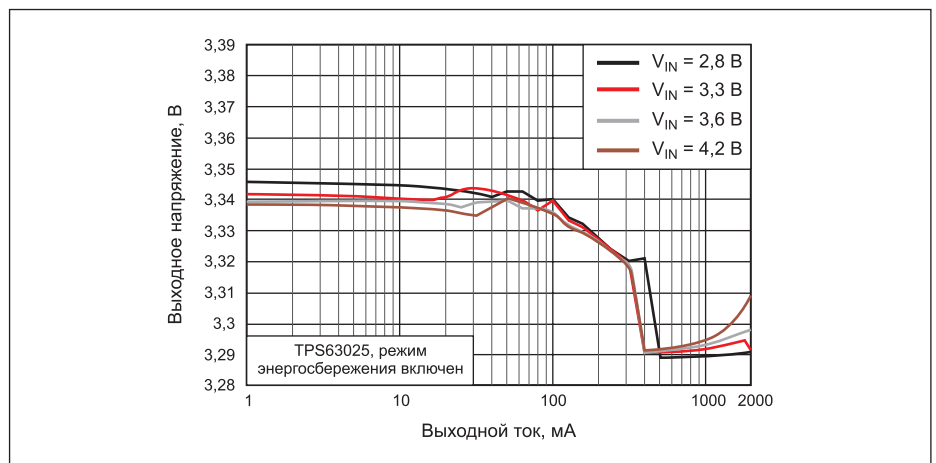


Рис. 6. Зависимость выходного напряжения от тока нагрузки в режиме энергосбережения (ЧИМ/ШИМ)

минологии — Dynamic Voltage Positioning), что позволяет преобразователю успешно использовать выходной конденсатор малой емкости и гарантировать при этом низкое абсолютное падение напряжения во время переходного процесса при переключении на большую нагрузку. Значение тока в точке переключения с режима ЧИМ на режим ШИМ находится выше 350 мА. Реальные типовые значения изменения выходного напряжения приведены на рис. 6. Как можно видеть, выходное напряжение все время будет находиться в рамках допустимых значений и работа конечного устройства не нарушится.

Еще одной особенностью рассматриваемых микросхем является функция плавного пуска. Она реализована на уровне внутренней схемотехники контроллера и не требует, как обычно, внешних элементов в виде дополнительных конденсаторов. Когда на вход разрешения (вывод EN) подан высокий логический уровень управляющего напряжения, выходное напряжение во всех режимах начинает нарастать с предварительной задержкой в 100 мкс. Время плавного старта зависит от тока нагрузки, входного напряжения и емкости выходного конденсатора. Длительность плавного пуска в режиме повышения напряжения (bust) больше, чем в режиме понижения (buck). Типовое значение времени нарастания до 90% от уровня заданного выходного напряжения составляет 1 мс.

Как можно видеть, высокий КПД до 97% в широком диапазоне нагрузок и чрезвычайно низкий собственный ток потребления (IQ) на уровне 35 мкА позволяют увеличить время работы конечного изделия от батареи. Кроме того, низкий уровень пульсаций выходного напряжения, типовое значение которых в режиме ЧИМ равно 30 мВ (двойная амплитуда), гарантирует низкие собственные шумы системы и уровень излучаемых электромагнитных и радиопомех. Это упрощает решение столь важной проблемы, как электромагнитная совместимость.

Все остальные необходимые для использования ИМС контроллеров TPS63025x DC/DC-преобразователей описания, характеристики и методика расчета приведены в спецификации типа Data Sheet [2].

Для облегчения имплементации рассматриваемого решения в конечные изделия можно воспользоваться онлайн-инструментом для проектирования DC/DC-преобразователей. Для этого предлагается инструмент WEBENCH TPS630250 системы WEBENCH Design Center. Описание работы и особенностей использования этого симулятора для расчета DC/DC-преобразователей приведено в статье [4], и хотя с момента публикации прошло время, она не утратила актуальности и позволит без проблем освоить этот полезный инструмент.

Доступ к симулятору для проектирования на основе рассматриваемых контрол-

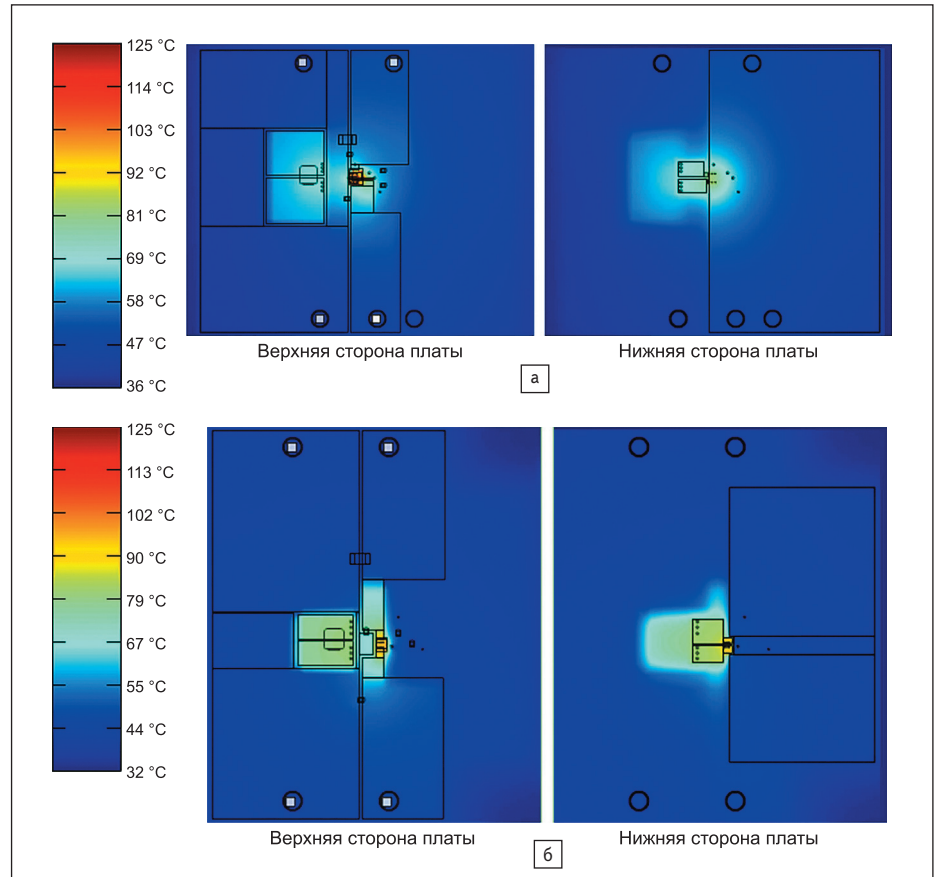


Рис. 7. Распределение тепла по плате DC/DC-преобразователя, выполненного на контроллере TPS630250RNC (а), в сравнении с исполнением TPS630250YFF (б). Условия моделирования: $V_{IN} = 2,7-5,5$ В; $V_{OUT} = 3,3$ В; $I_{OUT} = 2$ А; температура окружающей среды $+30$ °С

леров открывается непосредственно с основной страницы TPS63025x www.ti.com/product/tps630250?HQS=DK-null-null-TPS630250-exah-pf-null-ww активацией виртуальной кнопки **Open Design**. При необходимости все параметры, установленные по умолчанию, могут быть изменены. Следует только учесть, что пока новые ИМС не доступны через поиск в системе WEBENCH Design Center, так что имеет смысл воспользоваться приведенной выше прямой ссылкой или прямой гиперссылкой в спецификации. Пример сравнения распределения температуры, полученный на симуляторе WEBENCH Design Center для решения на базе контроллера TPS630250RNC (корпус VQFN) и TPS630250YFF (корпус DSBGA), показан на рис. 7.

Как можно видеть из результатов моделирования, если сам корпус VQFN и нагревается до более высоких температур, то температура нижней стороны платы и окружающих элементов, в частности дросселя, при использовании контроллера в корпусе VQFN — ниже. Наибольшие потери при этом наблюдались при входном напряжении 2,7 В (1,4 Вт). Именно этот наимудший вариант представлен на рис. 6. При входных напряжениях 4,1 и 5,5 В потери не превысили 0,5 Вт.

Учитывая изложенные выше преимущества как всей серии DC/DC-преобразователей TPS63025x, так и ее нового представителя TPS630250RNC, принимая во внимание сверхмалые габариты контроллеров и их высокую рабочую частоту (2,5 МГц), обратим внимание еще на один немаловажный вопрос: разводка печатной платы и правильный выбор внешних элементов — входных и выходных и дросселя. В спецификации этому вопросу отведен специальный раздел, там же есть пример разводки для контроллера в интересующем нас корпусе HotRod QFN и даны конкретные рекомендации по выбору внешних элементов. Обратите внимание, что это доступно только в последней, новой версии спецификации 2015 года [2]. Рекомендации по выбору внешних компонентов дает и инструмент моделирования WEBENCH, кроме того, в нем доступна и их инвариантность.

Для детального изучения особенностей использования описываемых микросхем и решений на их основе компания Texas Instruments, как всегда, предлагает бесплатные образцы контроллеров и соответствующие демонстрационные комплекты. Комплект TPS63025xEVM-668 [5] предназначен для контроллера в интересующем нас новом корпусе HotRod QFN,

а TPS63025xEVM-553 [6] — для контроллеров в корпусе DSBGA.

Цена новых контроллеров у авторизованных дистрибьюторов компании Texas Instruments в больших партиях составляет от \$1,25, а в малых — от \$1,44. Оценка стоимости конечного решения DC/DC-преобразователя на контроллере TPS630250RNC в серийном производстве, для которого проводилось моделирование, — от \$2,05. Поставка микросхем осуществляется на типовой ленте в катушках (Tape & Reel). Микросхемы соответствуют требованиям Директивы RoHS.

Простой в использовании новый контроллер с технологией HotRod QFN компании Texas Instruments позволит создавать компактные устройства с малым тепловым из-

лучением и нагревом. Эта новая технология, разработанная для увеличения плотности мощности, снижает потери и улучшает общую электромагнитную совместимость благодаря уменьшенному уровню электромагнитных помех. Повышающе-понижающие преобразователи на контроллерах в исполнении HotRod QFN идеально подходят там, где требуется увеличение времени работы батарей, — в мобильных POS-терминалах и кассовом оборудовании, оборудовании активно-адаптивных интеллектуальных сетей. Они с успехом могут применяться в промышленных или медицинских приложениях, в которых недопустимо увеличение температуры конечного устройства. Кроме того, они идеальны для систем распределенного питания PoL. ■

Литература

1. Рейч Н. Преимущества развертывания сенсорных сетей в нефтегазовой индустрии // Control Engineering. 2015. № 3.
2. TPS63025x High Current, High Efficiency Single Inductor Buck-Boost Converter. Texas Instruments Incorporated, 2015.
3. Stefan W. W. HotRod QFN Package PCB Attachment. Application Report SLUA715. May 2014. Texas Instruments Incorporated, 2014.
4. Рентюк В. Проектирование DC/DC-преобразователей в системе WEBENCH Design Center // Компоненты и технологии. 2013. № 10.
5. TPS63025xEVM-668, User's Guide SLVUAD2. March 2015. Texas Instruments Incorporated, 2015.
6. TPS63025xEVM-553, User's Guide SLVUA24. April 2014. Texas Instruments Incorporated, 2014.