

# DC/DC-преобразователь с повышенной мощностью, меньшими размерами и лучшим охлаждением, локализуемый возле нагрузки

Эдди БЕВИЛЬ (Eddie BEVILLE)  
Афшин ОДАБАЭ (Afshin ODABAEI)  
Майк СТОКОВСКИ (Mike STOKOWSKI)

Каждое поколение высокопроизводительных процессоров, ПЛИС и специализированных ИС требует все большей отдачи тока от источников питания. Однако системотехники редко выделяют на системной плате дополнительное место, чтобы она могла соответствовать возрастающим потребностям по мощности.

## Введение

Такое «давление» на источники питания сопровождается распространенным требованием по размещению все большего числа специализированных, устанавливаемых прямо на плате блоков питания, которые обеспечивают стабилизацию локализованного у нагрузки питания для нескольких шин напряжений. Отдельные шины должны обеспечивать пропускание от десятков до сотен ампер токовой нагрузки, при низких значениях напряжения (менее 1 В), одновременной точности порядка 1% и быстром реагировании на изменение нагрузки, составляющее менее нескольких процентов. Поэтому проблема состоит в том, чтобы найти решения для источников питания, которые обеспечивают точность, могут выдавать и доставлять ток нагрузки больших значений при низком напряжении, занимая, в то же время, малое место на системной плате.

После того как найдено подходящее решение для мощного преобразователя питания, его следует оценить с точки зрения рассеиваемой мощности и теплового сопротивления. Эти параметры могут «погубить», казалось бы, хорошее найденное решение для преобразователя, когда не удовлетворяются системные требования по теплу, особенно если система работает при повышенной температуре окружающей среды. Очевидно, чтобы ограничить рассеиваемую мощность, эффективность преобразования должна быть высокой. Конструкция узла должна также обладать низким внутренним тепловым сопротивлением и низким тепловым сопротивлением перехода в окружающую среду. При уменьшении размеров узла сокращается площадь контакта для передачи тепла между

преобразователем и платой, и весьма трудно поддерживать плату в холодном состоянии, поскольку модуль питания обычно рассеивает большую часть мощности на системную плату, что значительно поднимает температуру внутри системы.

## Реальная проблема: выделение тепла и стоимость охлаждения

Системные инженеры и инженеры-теплотехники тратят массу времени на моделирование и оценку сложных электронных систем, чтобы выработать решения по отводу рассеиваемого на плате тепла. Для отвода этого нежелательного тепла используются обдув воздухом и радиаторы (теплоотводы). Реальная проблема состоит в том, что современные процессоры, ПЛИС и специализированные стабилизаторы обычно начинают рассеивать все большую мощность по мере роста температуры внутри системы. К сожалению, это требует большей отдачи мощности и от стабилизатора питания, рассеяние тепла на котором также возрастает, что еще больше увеличивает температуру внутри системы. Поэтому уменьшение рассеяния мощности и тепла является очень важным фактором, а решения с высокой плотностью мощности должны ограничивать рассеяние мощности и эффективно удалять выделяющееся тепло. Тем не менее большинство компактных решений по предоставлению питания характеризуются либо слишком большой рассеиваемой мощностью, либо выделяемое тепло нельзя эффективно отвести, поэтому плата не может работать при повышенной температуре без существенного снижения ее эксплуатационных характеристик.

Для разрешения этой реально существующей проблемы нужно выработать некоторое разумное решение.

Ничуть не удивительно, что для поддержания в разумных пределах температуры конструкций с высокой выделяемой мощностью основное внимание уделяется методам охлаждения. Установка вентиляторов, охлаждающих пластин, радиаторов, а иногда и размещение системы в специальной жидкости — все это примеры подходов, которые пытаются реализовать некоторые разработчики. Все это обходится дорого, но это необходимо. Тем не менее если мощный, локализованный возле нагрузки источник питания может доставить требуемую мощность, в то же время равномерно и эффективно рассеивая тепло, то могут быть существенно снижены требования по охлаждению такой части схемы. А это снижает размеры, вес и стоимость систем охлаждения и упрощает их обслуживание.

## Плотность мощности вводит в заблуждение

Значение плотности мощности для преобразователей типа DC/DC может привести к заблуждению, потому что при его оценке не затрагивается вопрос поведения температуры устройства. Системных разработчиков нужно обучить и ориентировать на поиск более детальной информации, касающейся технических характеристик устройства, после того как они решат остановиться на преобразователе типа DC/DC, который отвечает электрическим и физическим параметрам системы, а также требованиям по мощности.

Рассмотрим такой пример. Если преобразователь типа DC/DC размером 2×1 см позволя-

ет использовать нагрузку до 54 Вт, то его плотность мощности имеет величину 27 Вт/см<sup>2</sup>. Такое значение может произвести впечатление на некоторых разработчиков, и они решат, что дальше поиск можно не вести: желаемые значения по мощности, размеру и цене достигнуты. Однако забыта простая вещь: тепло преобразуется в температуру. Ключевым фрагментом информации является поиск значения теплового импеданса для преобразователя типа DC/DC, а конкретно — значений для переходного контакта узла с корпусом, воздухом и платой.

Продолжая исследования приведенного примера, узнаем, что устройство имеет другой привлекательный параметр. Для этого устройства указано, что работа происходит с эффективностью 90%, что впечатляет. То есть устройство рассеивает 6 Вт при выдаче выходной мощности 54 Вт, с тепловым импедансом узла 20 °C/Вт при контакте с воздухом. Умножьте 6 Вт на 20 °C/Вт — и вы получите рост температуры окружающей среды до +120 °C. При температуре окружающей среды +45 °C температура в соединении данного узла преобразователя типа DC/DC с такими параметрами достигнет +165 °C. Значение +165 °C уже не привлекает по двум причинам: а) это выше максимально допустимой температуры для большинства кремниевых стабилизаторов (обычно такое значение для них равно +120 °C) и б) нужно предпринимать специальные меры, чтобы снизить температуру контакта до требуемых +120 °C.

Приведенные выше простейшие вычисления иногда игнорируются. Преобразователь типа DC/DC, который, казалось, соответствует электрическим требованиям и требованиям по мощности, потерпел фиаско при попытке проверить его соответствие требованиям по температуре, или его применение оказалось слишком дорогим из-за необходимости обеспечения работы при безопасной температуре. Важно помнить, что нужно исследовать тепловые характеристики

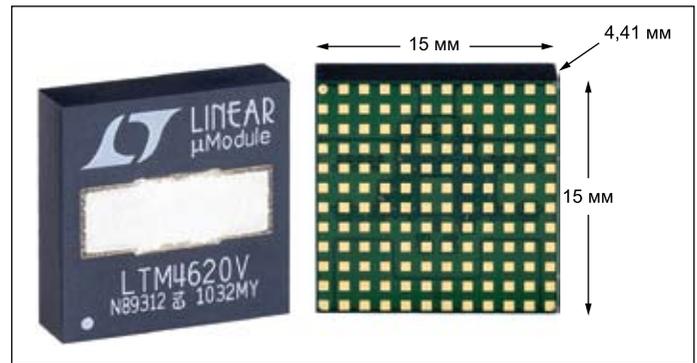


Рис. 1. Модуль LTM4620: ИС 15×15×4,41 мм с матрицей контактных площадок LGA

преобразователя, тогда как обычно фиксируют внимание на оценке таких параметров, как вольты, амперы и сантиметры.

Далее в статье будет описан новый масштабируемый микро-модульный преобразователь LTM4620 μModule с высокой плотностью мощности. Рассмотрение коснется электрических, механических, конструктивных и тепловых характеристик, а также различных вариантов масштабируемости по мощности. Цель состоит в том, чтобы представить новый регулятор, масштабируемый по мощности, обладающий высокой плотностью мощности, имеющий оптимальные технические характеристики, низкую мощность рассеивания и уникальную конструкцию с улучшенными тепловыми характеристиками, что позволяет разрешить проблемы, связанные с высокой плотностью мощности.

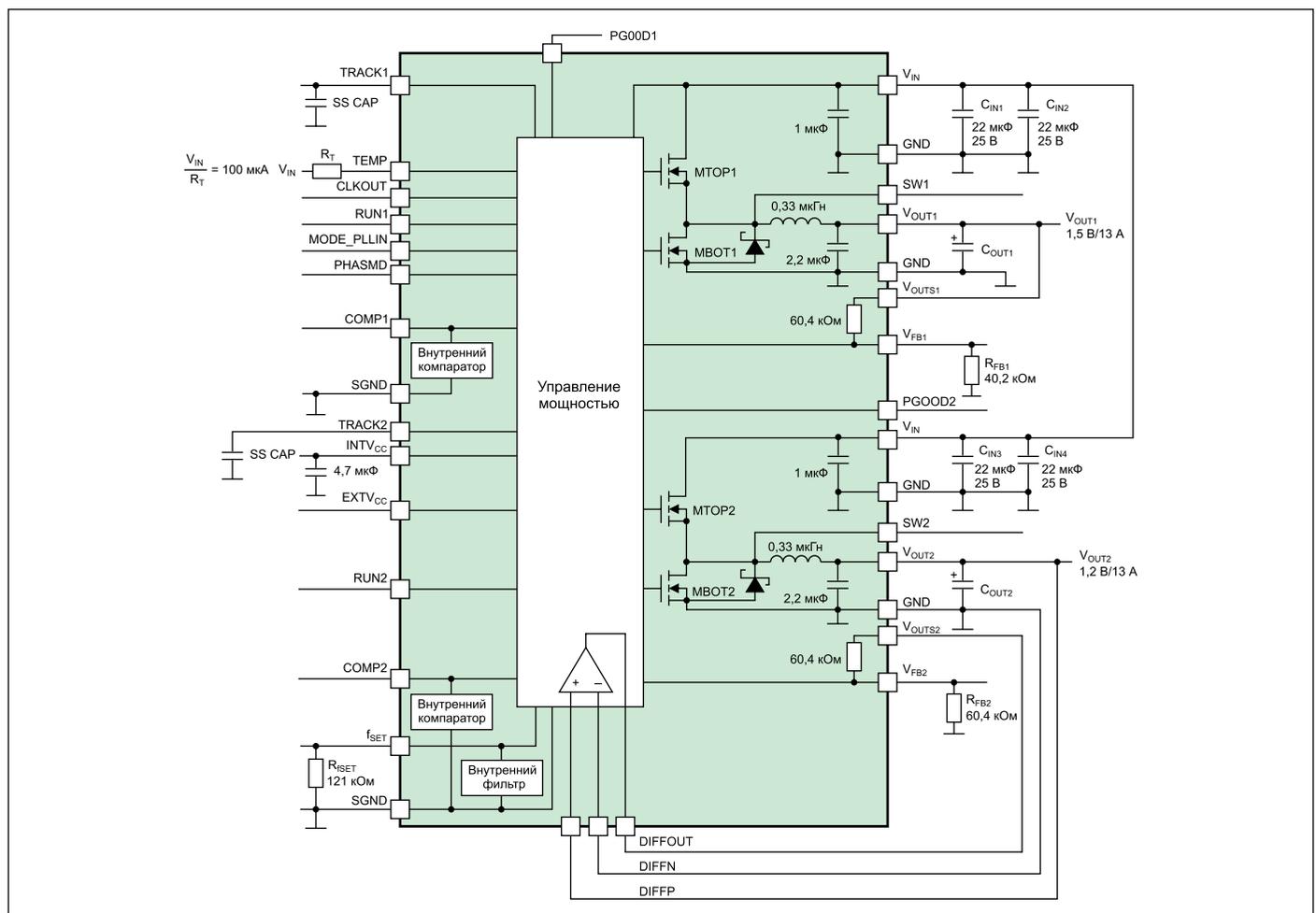


Рис. 2. Структурная схема ИС LTM4620

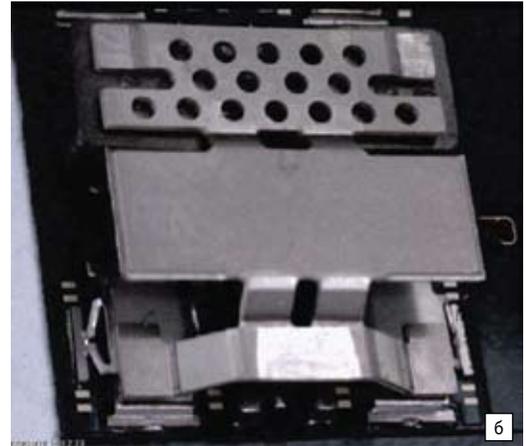


Рис. 3. Визуализация разреза сбоку и фотография сверху неопрессованной ИС LTM4620

### Микромодульный преобразователь типа LTM4620 двухканальный 13A $\mu$ Module или одноканальный 26A $\mu$ Module

На рис. 1 приведена фотография преобразователя LTM4620  $\mu$ Module. Интегральная схема (система на кристалле) имеет размеры  $15 \times 15 \times 4,41$  мм в корпусе LGA (с матрицей контактных площадок). Интегральная схема (ИС) может работать с двумя независимыми выходами по 13 А каждый или с одним выходом на 26 А. Конструкция допускает использование как верхнего, так и нижнего радиатора, что обеспечивает возможность охлаждения.

На рис. 2 представлена структурная схема микромодульного преобразователя LTM4620. Преобразователь LTM4620 состоит из двух высокоэффективных синхронных импульсных понижающих стабилизаторов. Входное напряжение может находиться в пределах от 4,5 до 16 В, а выходное напряжение может быть от 0,6 до 2,5 В и от 0,6 до 5,5 В для стабилизаторов LTM4620A. Электрические характеристики стабилизаторов LTM4620: точность  $\pm 1,5\%$  по выходу, быстрое реагирование на переходные процессы, многофазная параллельная работа с самосинхронизацией и программируемым фазовым сдвигом, частотная синхронизация и точный усилитель для дистанционного считывания. Эта ИС прошла 100%-ное тестирование на правильное перераспределение тока.

Среди характеристик защиты можно отметить: защиту от перенапряжения по выходу с петлей обратной связи и от перегрузки по току, а также мониторинг внутренней температуры на базе диода.

### Уникальная конструкция стабилизатора LTM4620

На рис. 3 приведена визуализация разреза сбоку и фотография сверху неопрессованного стабилизатора LTM4620. Конструкция стабилизатора включает подложку на основе

BT (bismaleimide triazine) с высокой теплопроводностью, с соответствующими медными слоями для прохождения токов требуемой величины и низким тепловым сопротивлением в сторону системной платы. Для обеспечения высокой плотности мощности, низкого межкомпонентного сопротивления, высокой теплопроводности как к верхней, так и к нижней плоскости устройства используются выводные рамки, соединенные с МОП-транзисторами собственной разработки. Фирменная конструкция радиатора присоединяется к блоку силовых МОП-транзисторов и силовых индукторов, чтобы обеспечивался эффективный отвод тепла в верхней части стабилизатора. К металлической площадке в верхней части стабилизатора может быть прижат внешний радиатор для отвода тепла потоком воздуха. Без использования дополнительного радиатора тепло отводится с верхней части корпуса потоком воздуха за счет конструкции теплоотвода и опрессованной оболочки.

На рис. 4 показано тепловое изображение стабилизатора LTM4620 и кривая ухудшения параметров для напряжения от 12 до 1 В при работе с токовой нагрузкой 26 А. Превышение температуры ИС над температурой окружающей среды составляет всего  $+35^\circ\text{C}$  при скорости потока воздуха 200 фут/мин. ( $\sim 1$  м/с), а кривая ухудшения параметров показывает, что значение максимального тока нагрузки начинает ухудшаться лишь после  $+80^\circ\text{C}$ . Уникальная конструкция стабилизатора обеспечивает поддержание потерь тепла на самом нижнем уровне, возможном для такого малого размера, при этом тепло эффективным образом удаляется в зависимости от рассеиваемой мощности.

### Электрические характеристики стабилизатора LTM4620

На рис. 5 приведена схема включения стабилизатора LTM4620 при параллельной работе двух выходов на общую токовую нагрузку. Такая конфигурация соответствует решению

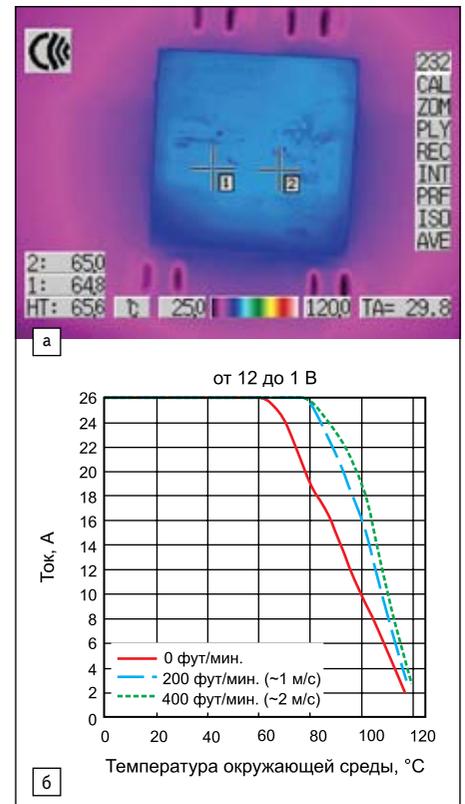


Рис. 4. Тепловое изображение ИС LTM4620 и кривая ухудшения параметров

с очень высокой плотностью мощности при выходном напряжении 1,5 В и токе 26 А. Выводы RUN, TRACK, COMP, VFB, PGOOD и  $V_{\text{OUT}}$  для каждого канала соединены вместе, чтобы реализовать их параллельную работу. На схеме показан один из вариантов подключения к внутреннему диоду измерения температуры в стабилизаторе LTM4620. Устройство для контроля датчика температуры построено на базе стабилизатора LTC2997. Данные, снятые с внутреннего диода измерения температуры, могут использовать различные устройства, которые контролируют работу присоединенного к диоду транзистора.

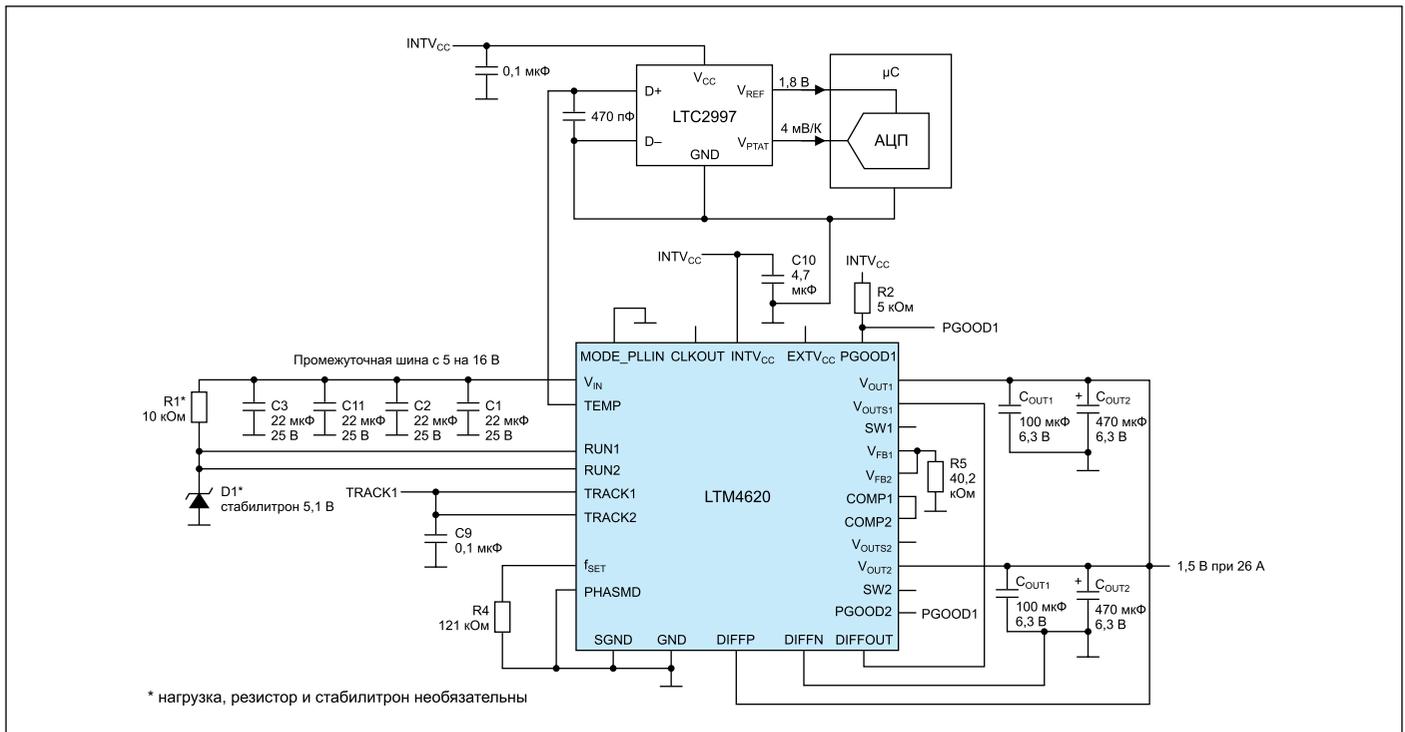


Рис. 5. ИС LTM4620. Две фазы по 1,5 В при параллельной работе с выходным током 26 А

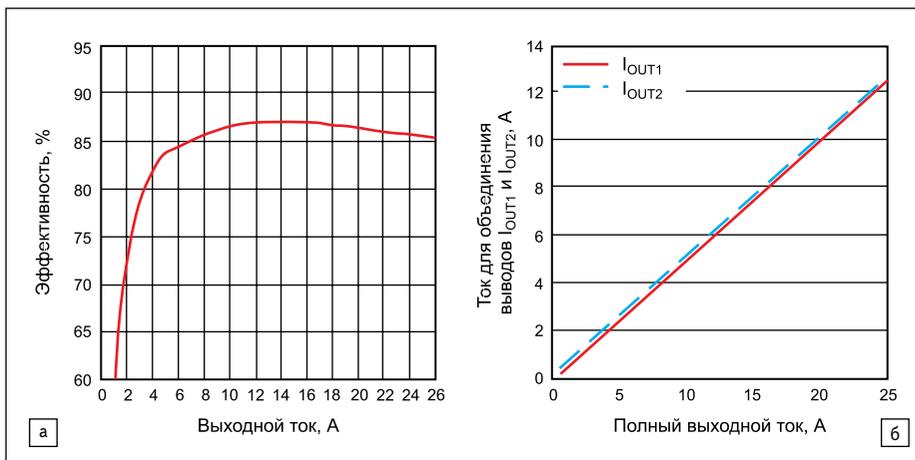


Рис. 6. График эффективности двухфазной работы при выходе 1,5 В и график для токов при работе на общую нагрузку

На рис. 6 приведен пример работы с выходным напряжением 1,5 В, с двумя объединенными выходами, работающими на общую токовую нагрузку. Для такого решения с высокой плотностью мощности эффективность 86% является высоким показателем. Как показано на рис. 4, где даны тепловые данные, рост температуры хорошо контролируется благодаря низкому тепловому сопротивлению  $\theta_{JA}$  после монтажа на плату. Эффективная работа верхнего и нижнего радиаторов позволяет стабилизатору LTM4620 работать при полной мощности с низким ростом температуры. На рис. 6 показано, что оба выхода  $V_{OUT1}$  и  $V_{OUT2}$  работают на общую токовую нагрузку. Внутренний контроллер стабилизатора LTM4620 тщательно настроен и протестирован при работе в таком режиме.

Это делает стабилизатор LTM4620 оптимальным вариантом для использования в решениях с высокой плотностью мощности и возможностью масштабирования.

Архитектура с высокой эффективностью и токовым режимом с быстрым реагированием на переходные процессы хорошо согласуется с требованиями к низковольтным источникам питания кристаллов БИС, которые необходимы для высокопроизводительных процессоров, ПЛИС и специализированных ИС. Высокая точность настройки выходного напряжения и дифференциальное дистанционное снятие показаний позволяют выполнять подстройку нужного постоянного напряжения в точке нагрузки. Уникальные тепловые возможности и работа на общую токовую нагрузку дают возможность реали-

зовать масштабирование с получением выходного тока до 100 А и более.

Не нужно использовать какие-либо внешние источники смещенных по фазе тактовых последовательностей для реализации многофазной работы каждого канала преобразователя. У каждого стабилизатора LTM4620 есть выходы Clock In и Clock Out с программируемым фазовым сдвигом для синхронизации параллельной работы каналов. Можно либо выбрать внешнюю частоту синхронизации, либо использовать внутренний тактовый генератор. Такие особенности синхронизации еще больше помогают осуществлять масштабирование по мощности.

На рис. 7а приведена фотография участка платы с размещенными на ней четырьмя микромодульными преобразователями, реализующими 8-фазную работу с общим выходным током 100 А. Справа дан график для токов каждого преобразователя при работе на общую нагрузку. Все восемь тактовых последовательностей синхронизированы по фазе и объединены вместе для реализации работы на общую нагрузку с током потребления 100 А. Как показано на рис. 7, общее пространство на плате, занимаемое микромодульным преобразователем, допускающим работу на нагрузку с током потребления 100 А, составляет 1,95 кв. дюйма (12,6 см<sup>2</sup>). Для таких больших значений тока это решение обеспечивает исключительно высокую плотность мощности. Поверх всех четырех модулей для отвода тепла за счет обдува воздухом может быть размещен радиатор. Это уменьшит передачу рассеиваемой мощности на системную плату.

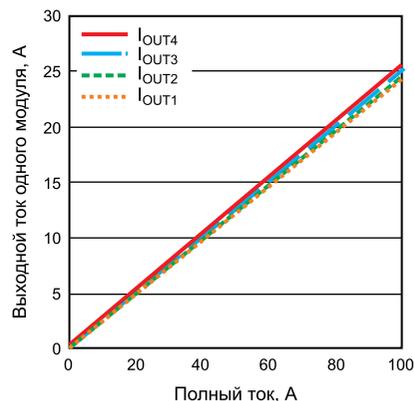
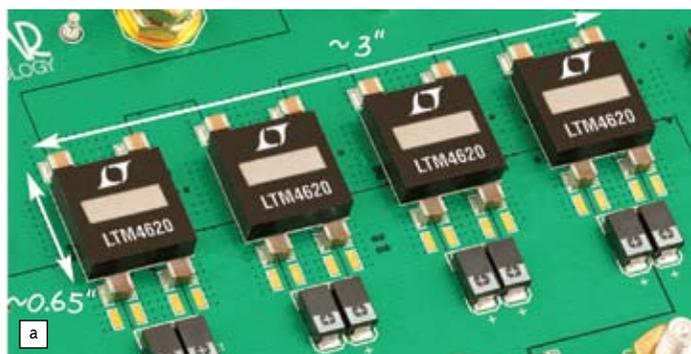


Рис. 7. 8-фазная работа четырех микромодульных преобразователей, обеспечивающих работу на нагрузку с током до 100 А

### Доказательство достоверности характеристик

Для подтверждения достоверности характеристик стабилизатора LTM4620 подготовлены четыре видеоклипа TechClip, где показаны настройка и проводимые измерения. В этих видеоклипах освещены вопросы защиты от короткого замыкания, тепловое поведение и рост температуры при нагрузке 26 и 100 А, закрепление радиатора и точное распределение токов при пуске, в рабочем режиме и при выключении.

Видеоклипы можно посмотреть на странице <http://video.linear.com/p4634-126>.

### Заключение

В микромодульном преобразователе LTM4620  $\mu$ Module предлагается новая концепция решения для высоких значений плотности мощности. Высокопроизводительный преобразователь размещается внутри совершенного с точки зрения теплотехники корпуса, что дает возможность реализации конструкции с высокой выходной мощ-

ностью при очень малом форм-факторе. Использование многофазной тактовой последовательности с точным распределением тока по каналам позволяет создавать масштабируемые разработки с выходным током нагрузки 25, 50, 100 А и более. Уникальные тепловые свойства стабилизатора LTM4620 дают возможность реализовать отдачу полной мощности при повышенной температуре окружающей среды. Может быть реализована конструкция, работающая с током больших значений, при управлении в допустимых пределах рассеиванием тепла и температурой. ■