

## µModule LTM4646 — современное компактное решение для системного питания

Владимир РЕНТЮК  
Rvk.modul@gmail.com  
Василий ИЛЬИН  
ilyin@argussoft.ru

Когда в прошлом году было объявлено об окончательном приобретении компанией Analog Devices известного бренда Linear Technology, у разработчиков, которые привыкли к использованию продуктов этой компании, неизменно отличавшихся высоким качеством и широким выбором, возникли законные опасения. Однако, как показало время, тревоги оказались напрасными. Все известные линейки были сохранены, мало того, получили свое развитие, а в текущем году начали выходить на рынок весьма интересные и перспективные изделия. Одним из продуктов, способным заинтересовать разработчиков, стал новый 20-А микромодуль LTM4646, предназначенный для питания сильноточных низковольтных устройств и представленный под брендом Power by Linear — так теперь компания Analog Devices именуется решения Linear Technology.

Перед тем как перейти к обзору микромодуля, остановимся на двух вопросах: что такое µModule и почему они так важны. В настоящее время в разработке систем электропитания наибольшее распространение получила распределенная архитектура с питанием PoL — это буквально означает организацию питания непосредственно в месте подключения нагрузки. Отсюда и PoL, то есть Power of Load. Удобства такого подхода очевидны: не нужно унифицировать нагрузки по питанию, что дает определенную гибкость, нет необходимости протягивать через платы шины питания, которое могут быть сведены к разумному минимуму, как в части питающих напряжений, так и токов. Кроме прямого удобства такой архитектуры непосредственно для целей питания, выигрыш дает и упрощение общего решения конечной системы для

выполнения требований по электромагнитной совместимости (ЭМС). А этому непременному вопросу, как известно, уделяется очень пристальное внимание, нормы ужесточаются, причем это касается аппаратуры самого различного назначения [1].

Для того чтобы оптимально с точки зрения финансовых и временных затрат решить указанные проблемы, разработчику желательно иметь небольшие по габаритам полностью завершённые устройства в виде DC/DC-преобразователей. Причем с широким диапазоном допустимого входного напряжения, что, в свою очередь, сократит число промежуточных шин в распределенной системе питания. И здесь на арену выходят µModule, которые представляют гибридные завершённые сборки DC/DC-преобразователей. В общем виде µModule —

это системные решения, объединяющие высокопроизводительные аналоговые ИС, силовые ключи и пассивные компоненты, оптимально интегрируя и обеспечивая высокую производительность в небольшом объеме [2]. Пример такого модуля в общем виде представлен на рис. 1.

В организации распределенного питания с технологией PoL важную роль играет сама нагрузка. И если в общей архитектуре все понятно, то риски и проблемы можно минимизировать выбором DC/DC-преобразователя, основываясь на требованиях к той или иной нагрузке. И здесь важно учитывать все, чтобы не получилось, как это бывает — гладко было на бумаге, да забыли про овраги, — поскольку нагрузка нагрузке рознь. Одними из таких критических нагрузок, с питанием которых чаще всего возникают проблемы, являются ПЛИС (FPGA), графические процессоры и специализированные микросхемы. Проблема здесь в том, что они требуют низких напряжений и относительно высоких токов при высоких характеристиках питающего напряжения. Ввиду большой сложности таких решений проектировать их весьма затруднительно, а конечное решение будет занимать и без того дефицитную площадь печатной платы. Здесь, как нельзя кстати, компания Analog Devices и предложила разработанный командой Linear микромодуль LTM4646, предназначенный именно для питания сильноточных низковольтных устройств.

В общем плане LTM4646 представляет собой понижающий стабилизатор. В анонсе [3], перепечатанном рядом зарубежных и русскоязычных технических СМИ, он по-

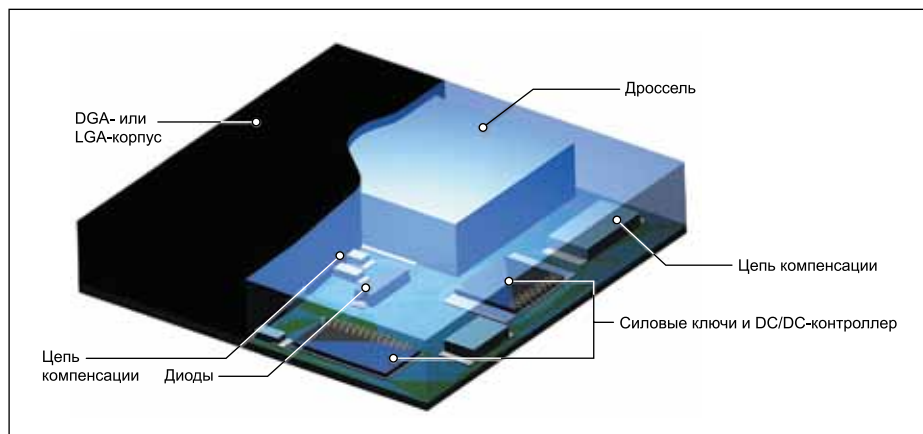


Рис. 1. Полное решение гибридного импульсного DC/DC-преобразователя µModule

зиционировался как работающий от входной шины напряжением 5 или 12 В, но по факту, согласно спецификации [4], устройство работает в диапазоне входного напряжения от 4,5 В в штатном включении, а со смещением 5 В через вход CPWR — для питания логики, от 2,375 В и до 20 В, и поддерживает два выхода с диапазоном выходного напряжения от 0,6 (второй канал от 0,3 В) и до 5,5 В, установленными внешними резисторами. В двухканальной конфигурации он может поставить в нагрузки ток до 10 А, а в одноканальной до 20 А. Как и полагается источнику питания технологии  $\mu$ Module, LTM4646 содержит дроссели, МОП-транзисторы силовых ключей, контроллер DC/DC-преобразователя и все необходимые для его функционирования и не связанные с настройками компоненты. DC/DC-преобразователь выполнен в корпусе BGA размерами всего 11,25×15×5,01 мм. Естественно, достичь таких размеров дискретным решением самостоятельной разработки просто не реально. Даже по сравнению с существующими 10 А двухканальными модулями, размеры LTM4646, будут меньше на 25%. Благодаря схемотехническому решению в виде двойного стабилизатора, небольшим габаритам корпуса и высокой точности поддержания выходного напряжения (причем независимо по выходам), модуль LTM4646 является не только эффективным решением в части общей схемотехники распределенной системы питания PoL, но и экономным относительно занимаемой этим решением площади на печатной плате. Последнее является критическим фактором для компактных системных плат с высокой плотностью монтажа, что характерно именно для низковольтных и высокоточных устройств, таких как ПЛИС (FPGA), специализированные микросхемы, микропроцессоры и графические процессоры. Кроме того, области применения нового модуля — это платы PCIe, коммуникационная инфраструктура, медицинская аппаратура с визуализацией, а также промышленное и высокопроизводительное испытательное и измерительное оборудование.

Типовая схема включения модуля LTM4646 в двухканальном варианте приведена на рис. 2, а упрощенная электрическая блок-схема, позволяющая оценить его сложное схемотехническое решение, представлена на рис. 3.

Согласно спецификации [4] данных модулей, точность поддержания выходного напряжения LTM4646 гарантируется на уровне не хуже  $\pm 1,5\%$  во всем диапазоне допустимых нагрузок и диапазоне рабочих температур  $-40...+125\text{ }^\circ\text{C}$ . Кроме того, что немало важно для больших токов, в обоих каналах модуля имеются дифференциальные усилители, позволяющие через специальные входы — например, для второго канала (рис. 2) это  $V_{\text{OUTS2}}$  и  $V_{\text{OUTS2-}}$  — отслеживать напряжение непосредственно на нагрузке своего канала в полном диапазоне выходного напряжения. Усилитель канала 1 ( $\times 1$ ) имеет

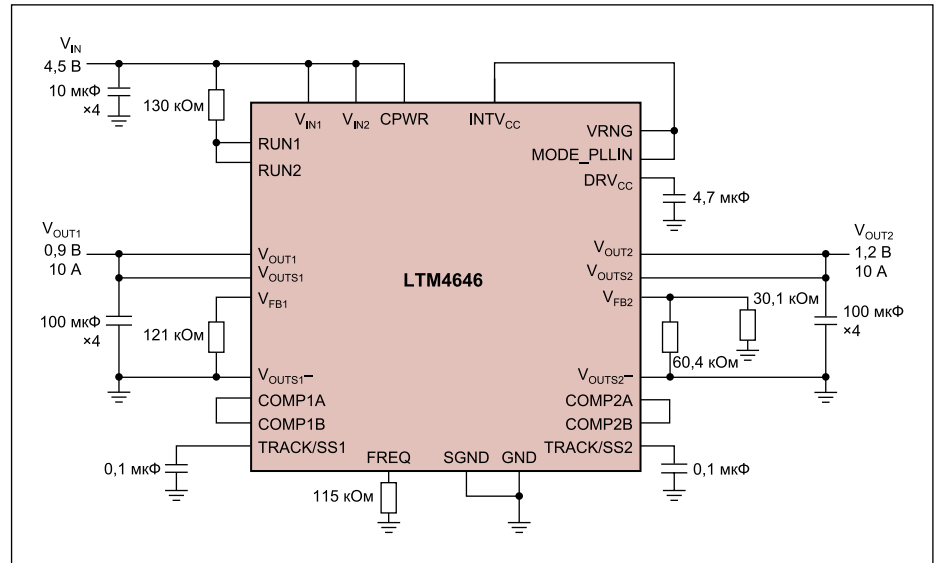


Рис. 2. Типовая схема включения модуля LTM4646 в конфигурации: входное напряжение  $V_{\text{IN}}$  4,5–20 В; выходное напряжение  $V_{\text{OUT1}} = V_{\text{OUT2}} = 1,5$  В; выходной ток  $I_{\text{OUT}} = 10$  А на каждый выход

Примечание. Для упрощения на схеме не показаны выводы PGOOD1, PGOOD2, EXTVCC, TEMP1+, TEMP1-, TEMP2+, TEMP2- PHASMD, CLKOUT, SW1, SW2

ширину полосы около 8 МГц, а усилитель обратной связи канала 2 ( $\times 2$ ) имеет ширину полосы около 4 МГц — вполне достаточно, чтобы не оказывать влияния на компенсацию основного контура управления и влиять на переходные характеристики стабилизаторов. Вместе с тем это позволяет схеме управления компенсировать падения напряжения на сопротивлениях линий подключения и гарантировать заданные уровни и стабильность напряжения в точке приема питания.

Еще одна важная особенность модулей LTM4646 — возможность выбора внутренней или внешней компенсации петли обратной связи. Это позволяет пользователям оптимизировать стабильность контура управления и переходные характеристики стабилизатора при минимизации емкости выходных конденсаторов, а следовательно, и пространства занимаемого конечным решением системы питания.

Что касается эффективности (КПД), ее пиковое значение составляет 96%, а при большой разности входного и выходного напряжений — до 85% (рис. 4). При воздушном потоке 200 футов/мин модуль LTM4646 без применения внешнего радиатора обеспечивает длительное питание нагрузки полным током 20 А до температуры  $+85\text{ }^\circ\text{C}$ . Кроме того, для увеличения выходной мощности современная архитектура с управлением по току позволяет устанавливать несколько модулей LTM4646 в параллельной многофазной конфигурации с очень хорошим распределением токов между каналами.

Как уже было сказано, выходные напряжения модуля программируются внешними резисторами и настраиваются для каждого канала отдельно. Это позволяет устройству генерировать не только низкое напряжение

питания для цифровых устройств, но и напряжения 2,5, 3,3 и 5 В, необходимые для стандартных системных шин. Однако здесь есть своя особенность, на которую следует обратить более пристальное внимание.

ШИМ-контроллер имеет внутреннее опорное напряжение 0,6 В. Как показано на рис. 1, внутренний резистор обратной связи 60,4 кОм подключается между  $V_{\text{OUTS1}}$  и  $V_{\text{FB1}}$  и между  $V_{\text{OUTS2}}$  и  $V_{\text{FB2}}$  соответственно. Для правильного функционирования обратной связи очень важно, чтобы эти контакты были подсоединены к соответствующим выходам. Каждый канал имеет резистор 49,9 Ом, подключенный от  $V_{\text{OUTS1}}$  к  $V_{\text{OUT1}}$  и от  $V_{\text{OUTS2}}$  к  $V_{\text{OUT2}}$ . Этот резистор предназначен для защиты выхода, если любой из входов  $V_{\text{OUTS}}$  открыт и остается незащищенным. Выходное напряжение  $V_{\text{OUT1}}$  без резистора обратной связи на  $V_{\text{FB1}}$  будет по умолчанию равно 0,6 В. Добавление резистора  $R_{\text{FB1}}$  между выводами  $V_{\text{FB1}}$  к  $V_{\text{OUTS1}}$  программирует выходное напряжение следующим образом:

$$V_{\text{OUT1}} = 0,6 \times ((60,4 \text{ кОм} + R_{\text{FB1}}) / R_{\text{FB1}}).$$

Что касается выходного напряжения  $V_{\text{OUT2}}$ , оно без резистора обратной связи на  $V_{\text{FB2}}$  по умолчанию равно 0,3 В. Для его программирования необходимо добавление резистора  $R_{\text{FB2}}$  от выводов  $V_{\text{FB2}}$  к  $V_{\text{OUTS2-}}$  и резистора  $R_{\text{FB3}}$ , равного по номиналу параллельному включению 60,4 кОм ||  $R_{\text{FB2}}$  от  $V_{\text{FB2}}$  к SGND. Таким образом для программирования выходного напряжения по второму каналу надо выполнить два условия:

$$\begin{aligned} V_{\text{OUT2}} &= 0,6 \times ((60,4 \text{ кОм} + R_{\text{FB2}}) / R_{\text{FB2}}) \\ &\text{и } R_{\text{FB3}} = 60,4 \text{ кОм} \parallel R_{\text{FB2}} = \\ &= (60,4 \text{ кОм} \times R_{\text{FB2}}) / (60,4 \text{ кОм} + R_{\text{FB2}}). \end{aligned}$$

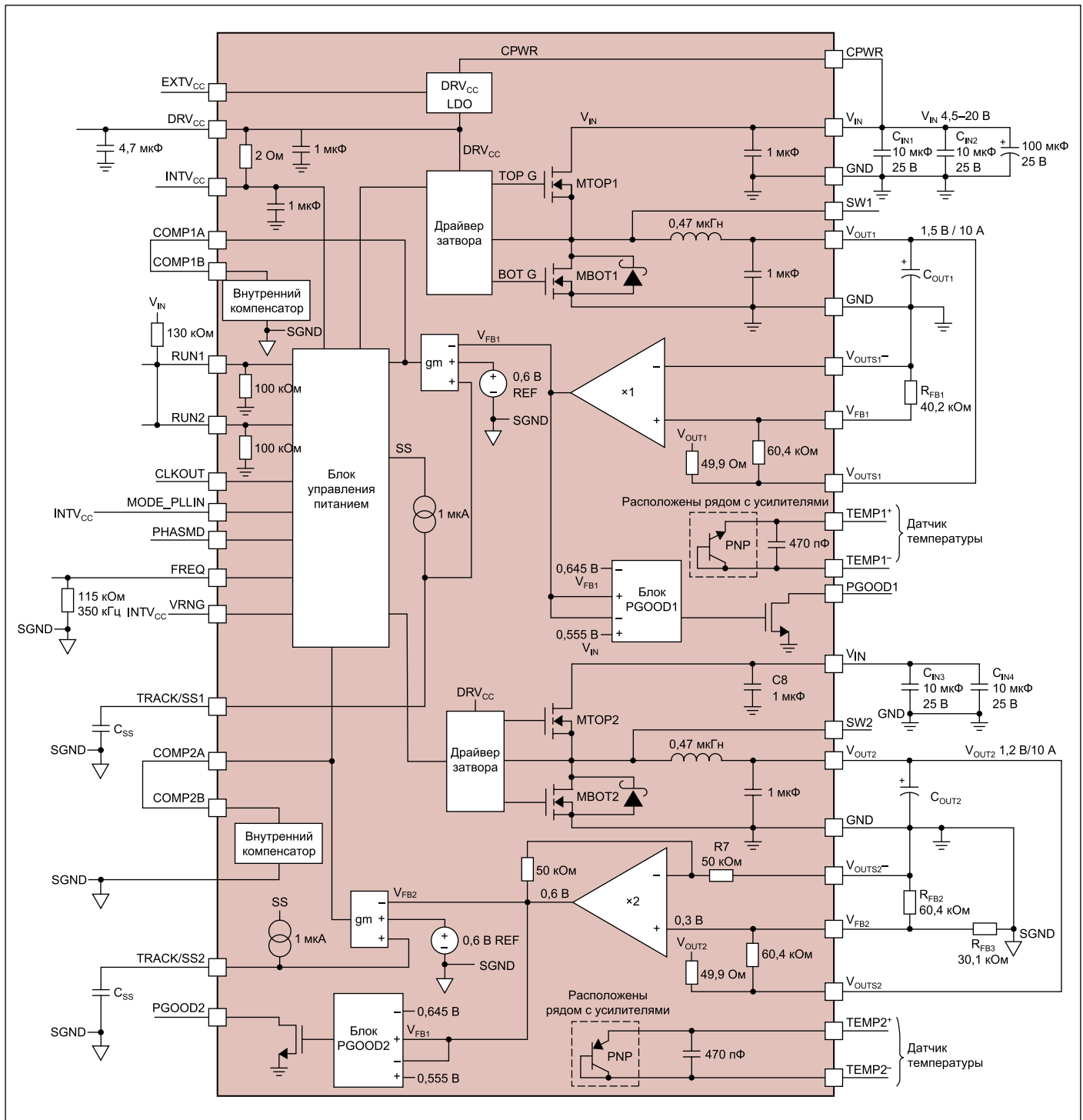


Рис. 3. Упрощенная блок-схема модуля LTM4646

Согласно теореме Тевенина, которая гласит, что любая электрическая цепь электрически эквивалентна идеальному источнику напряжения с последовательно включенным с ним резистором, уравнение для определения  $V_{OUT2}$  приводится к 0,6 В подключением последовательного резистора номиналом равным  $60,4 \text{ кОм} \parallel R_{FB2}$ . Таким образом  $R_{FB3}$ , подключенный последовательно к сопротивлению  $60,4 \text{ кОм} \parallel R_{FB2}$ , дает необходимое в этом случае опорное напряжение равное 0,3 В. Для облегчения установки выходных напряжений в спецификации [4] приводится таблица для выбора номиналов всех задействованных в этом резисторов.

Еще один важный момент в организации системы питания на базе DC/DC-преобразователей состоит в том, что для увеличения выходной

мощности их архитектура с управлением по току позволяет включать не только внутренние преобразователи, но и несколько LTM4646 в параллельной многофазной конфигурации, а также использовать мягкий старт (задается выбором номинала конденсатора  $C_{SS}$ ) и устанавливать необходимую последовательность включения и выключения выходных напряжений. Последовательность определяется конфигурированием выводов TRACK/SS, путем установки резисторов  $R_{TA}$  и  $R_{TB}$  и соответствующего выбора их номиналов, подробности приведены в [4]. Пример объединения каналов модуля LTM4646 показан на рис. 5, а построение до шести развернутых многофазных конфигураций описано в [4], однако при соответствующем подходе к проектированию максимально доступное число фаз равно двенадцати.

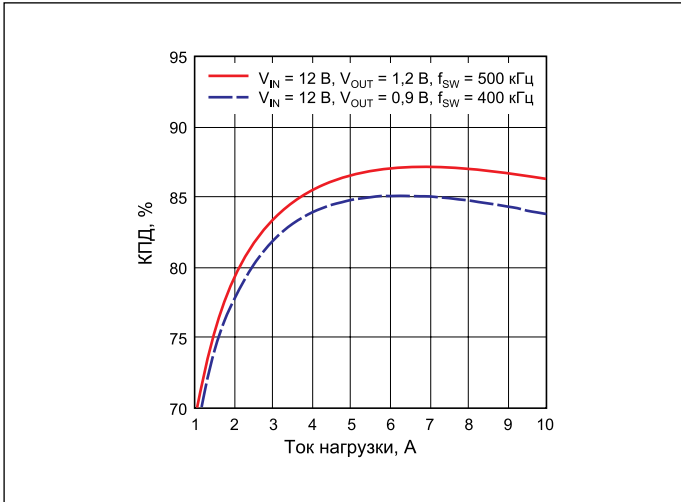


Рис. 4. Зависимость КПД от тока нагрузки

Рабочая частота DC/DC-преобразования может быть запрограммирована. Она может быть установлена одним внешним резистором в диапазоне 250–1,3 МГц и, кроме того, синхронизирована с внешними тактовыми импульсами частотой 300 кГц – 1 МГц, что весьма полезно при проектировании критических по уровню электромагнитных помех (ЭМП) и электромагнитной совместимости конечных приложений. Хотя это прямо и не указано в спецификации, наличие внешней синхронизации подразумевает возможность использования размытия спектра через модуляцию рабочей частоты преобразования. Номинал частотозадающего резистора рассчитывается как:

$$41\,550/f(\text{кГц}) - 2,2 = R_{\text{FREQ}}(\text{кОм}).$$

Рассматриваемый модуль имеет защиту от повышенного напряжения по входу, перегрузки по току и короткому замыканию, а также флаг Power Good — все это, несомненно, полезно, но привычно. Впрочем, у модуля есть одна особенность — встроенные независимые датчики температуры с отдельными дифференциальными выходами для подключения к внешним схемам, например к контроллеру. Причем это не один общий датчик, а два, разделенные



Рис. 6. Демонстрационный набор DC2527A-B для оценки модулей LTM4646

по каналам (рис. 3). Датчики выполнены на полупроводниковых переходах, зашунтированных внутренними конденсаторами, и расположены в зоне силовых ключей. Диапазон рабочих температур модулей LTM4646 составляет –40...+125 °С. Поскольку эти устройства предназначены не только и не столько для аппаратуры широкого применения, для них предусмотрены два варианта изготовления: согласно требованиям Директивы RoHS с покрытием контактов припоем SAC305 и с покрытием выводов стандартным оловянно-свинцовым припоем SnPb (63/37). Это связано с тем, что серверы, некоторые типы телекоммуникационной аппаратуры, а также аппаратура военного и специального назначения, требующие высокой надежности, исключены из Директивы RoHS и пока, к счастью, ситуация здесь не изменилась [5].

Естественно, дать подробное описание достаточно сложного продукта, такого как LTM4646, в обзорной статье не ставилась, однако

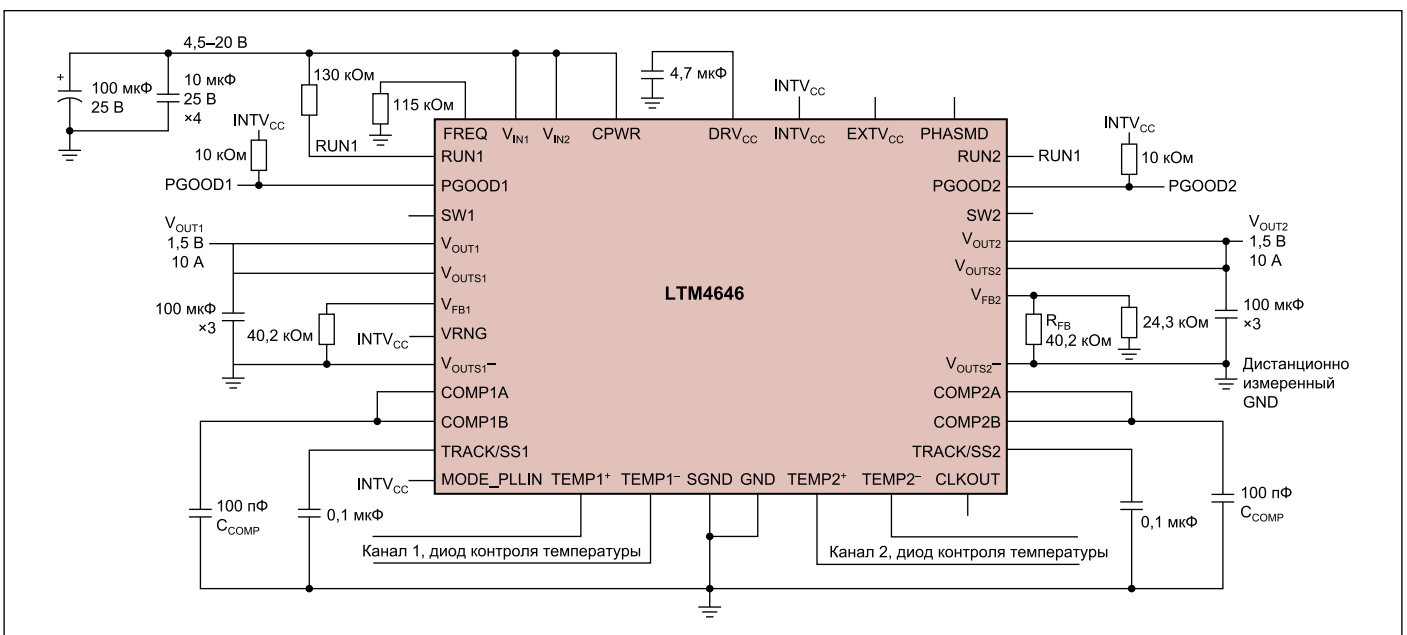


Рис. 5. Двухфазная параллельная конфигурация DC/DC-преобразователей модуля LTM4646, обеспечивающая выходной ток 20 А

пока компания Analog Devices не представила на него справочных материалов типа Application Note, можно и нужно использовать его спецификацию [4]. Однако для облегчения имплементации модулей LTM4646 в конечные решения компания предприняла определенные шаги, в частности, сделала доступными демонстрационный набор (рис. 6) [6], модель для LTspice и файлы для LTpowerCAD.

В демонстрационном комплекте установлен модуль LTM4646EY и имеется управление по контакту TRACK/SS, что позволят программировать отслеживание выходного сигнала или период мягкого запуска. В условиях большой нагрузки плата работает в режиме непрерывных токов. Для повышения эффективности (КПД) при низких токах нагрузки режим прерывистых токов устанавливается переключкой MODE\_PLLIN. Вывод MODE\_PLLIN также позволяет LTM4646 синхронизироваться с внешним тактовым сигналом частотой, как уже было сказано, в диапазоне 300 кГц – 1,3 МГц. Демонстрационный комплект DC2527A-B предусматривает выбор как внутренней, так и внешней схемы компенсации, а через замыкание контакта PHASMD с другими контактами можно генерировать необходимые фазы CLKOUT и Channel2. Подробно комплект описан в руководстве [6], и естественно, что он должен включаться только после тщательного изучения спецификации [4].

Если для вашего конечного продукта недостаточно мощности или эффективности рассмотренного модуля, можно воспользоваться его следующей модификацией — LTM4662 [7], рассчитанной на токи 15 А в двухканальном включении и 30 А в одноканальном, а также имеющей КПД при большой разнице входного/выходного напряжений

до 93% [7]. По своей сути и принципу работы этот модуль аналогичен рассмотренному, в том числе он полностью совместим с ним по выходам и тоже анонсирован в этом году. Кроме того, компания Analog Devices под брендом Power by Linear предлагает еще целый ряд двоячных модулей с различными уровнями входных напряжений и выходных токов, информация о которых доступна на сайте компании. ■

## Литература

1. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти // Компоненты и технологии. 2017. № 7.
2.  $\mu$ MODULE POWER PRODUCTS Simplify Power. [www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/solutions-bulletins-brochures/umodulepowerproducts.pdf](http://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/solutions-bulletins-brochures/umodulepowerproducts.pdf)
3. [www.electronicweeky.com/news/business/ltm4646-2018-02/](http://www.electronicweeky.com/news/business/ltm4646-2018-02/)
4. LTM4646 Dual 10A or Single 20A  $\mu$ Module Regulator/LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2018. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4646f.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4646f.pdf)
5. Рентюк В. RoHS-директива защита экологии или рынков // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 5.
6. DEMO MANUAL DC2527A-B LTM4646 Dual 10A or Single 20A  $\mu$ Module Regulator [www.analog.com/media/en/dsp-documentation/evaluation-kit-manuals/DC2527ABF.PDF](http://www.analog.com/media/en/dsp-documentation/evaluation-kit-manuals/DC2527ABF.PDF)
7. LTM4662 Dual 15A or Single 30A DC/DC  $\mu$ Module Regulator ANALOG DEVICES, INC. 2018. [www.analog.com/en/products/power-management/umodule-regulators/umodule-buck-regulators/ltm4662.html](http://www.analog.com/en/products/power-management/umodule-regulators/umodule-buck-regulators/ltm4662.html)