

DC/DC-конвертеры семейства Cool-Power

Владимир БЕЛУТурОВ

Дмитрий ИВАНОВ, к. т. н.
di@efo.ru
Игорь КРИВЧЕНКО, к. т. н.
ik@efo.ru

Статья продолжает цикл публикаций о построении вторичных источников электропитания на базе модулей американской компании Vicor. Рассмотрены DC/DC-конвертеры семейства Cool-Power, разработанные Picor — подразделением Vicor, которое специализируется на проектировании интегральных микросхем, предназначенных для применения в системах питания электронной аппаратуры.

Введение

В предыдущих статьях [1–6] из цикла, посвященного продукции компании Vicor, мы рассказали о DC/DC-конвертерах первого [1] и второго [2] поколений и о конвертерах семейства IBC [6], предназначенных для построения распределенных систем электропитания с архитектурой IBA (Intermediate Bus Architecture). Все эти устройства относятся к группе Brick (рис. 1) и по своему функциональному назначению, так же как и все другие DC/DC-конвертеры Vicor, являются импульсными преобразователями напряжения постоянного тока с гальваническим разделением входных и выходных цепей.

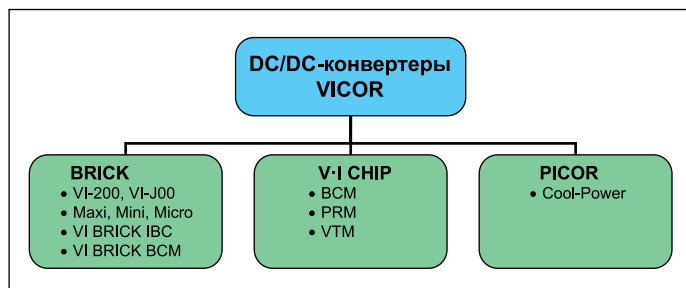


Рис. 1. DC/DC-конвертеры, поставляемые компанией Vicor

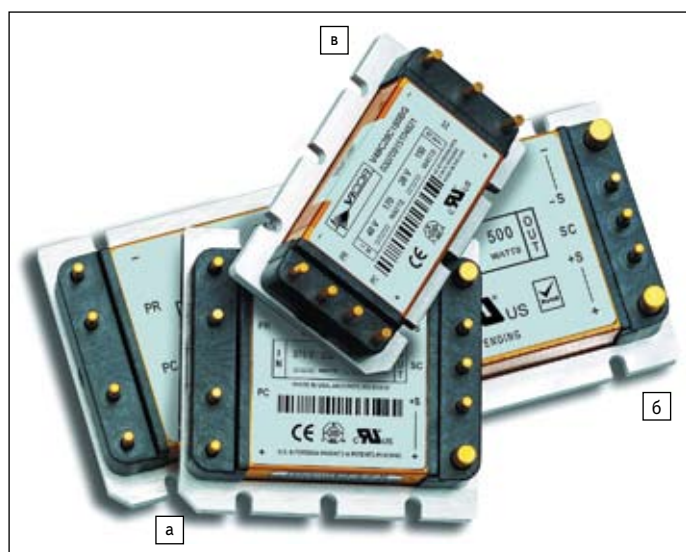


Рис. 2. DC/DC-конвертеры Vicor второго поколения: а) Brick; б) 1/2 Brick; в) 1/4 Brick

DC/DC-конвертеры различных семейств, входящих в группу Brick, могут принципиально отличаться друг от друга методом преобразования, схемотехнической реализацией, конструктивными деталями, техническими характеристиками или технологией изготовления. Главная общая черта всех этих устройств — форм-фактор Brick («кирпич»), предложенный компанией Vicor 25 лет назад, а впоследствии ставший общепринятым промышленным стандартом для источников питания в модульном исполнении [1]. В настоящее время Vicor производит модули стандартных типоразмеров Brick, 1/2 Brick, 1/4 Brick (рис. 2) и 1/8 Brick.

В статье речь пойдет о новых DC/DC-конвертерах семейства Cool-Power (рис. 3), разработанных компанией Picor — фаблесс-подразделением корпорации Vicor, которое занимается проектированием интегральных микросхем и специальных полупроводниковых компонентов для источников питания электронной аппаратуры. Преобразователи группы V-I Chip (рис. 1), предназначенные для построения распределенных систем питания с архитектурой FPA (Factorized Power Architecture), подробно описаны в [7, 8] и в данном цикле статей рассматриваться не будут.

Общая характеристика DC/DC-конвертеров семейства Cool-Power

DC/DC-конвертеры семейства Cool-Power — это высокоэффективные малогабаритные модули, предназначенные для импульсного



Рис. 3. DC/DC-конвертеры Picor семейства Cool-Power

преобразования напряжения постоянного тока со стабилизацией выходного напряжения и гальваническим разделением входных и выходных электрических цепей. Чтобы на базе такого модуля создать законченный источник питания, достаточно подключить к нему минимальное количество внешних пассивных компонентов (рис. 4). Для стабилизации выходного напряжения используется встроенная изолированная цепь обратной связи, и не требуется никаких дополнительных компонентов для частотной коррекции.

Благодаря высокой рабочей частоте (табл. 1) внешние пассивные компоненты имеют относительно низкие (по сравнению с импульсными преобразователями, работающими на более низких частотах) размеры и стоимость, что позволяет получить компактное и относительно недорогое устройство в целом.

Кроме приведенных выше характеристик, модули семейства Cool-Power имеют целый ряд других достоинств, а именно:

- возможность регулировки выходного напряжения (табл. 1) с помощью одного внешнего резистора;
- логический вход ENABLE для дистанционного включения/выключения модуля;
- режим «мягкий старт» (Soft Start) с регулируемым временем запуска;
- защита от перенапряжения на выходной шине (Over-Voltage Protection, OVP);
- защита от перегрузки по выходному току (Over-Current Protection, OCP) с автоматическим перезапуском модуля после устранения аварийной ситуации;
- автоматическая блокировка при выходе входного напряжения модуля за границы рабочего интервала, причем как при падении входного напряжения ниже минимально допустимого предела (Under Voltage Lockout, UVLO), так и при увеличении входного напряжения выше максимально допустимого предела (Over Voltage Lockout, OVLO);
- защита модуля от перегрева (Over-Temperature Protection, OTP);
- встроенный аналоговый термометр, позволяющий дистанционно контролировать температуру внутри модуля.

В состав семейства Cool-Power входят три модуля, которые отличаются друг от друга значениями некоторых электрических параметров, рабочими температурными диапазонами и температурами хранения (табл. 1).

Конвертеры семейства Cool-Power имеют фиксированные выходные напряжения (3,3 или 12 В), стабилизируемые с помощью встроенной цепи обратной связи, изолированной от выхода конвертера. Гальваническое разделение входных и выходных электрических цепей осуществляется с помощью трансформатора. Полная относительная погрешность фабричной установки выходного напряжения не превышает $\pm 3\%$. В небольших пределах выходное напряжение допу-

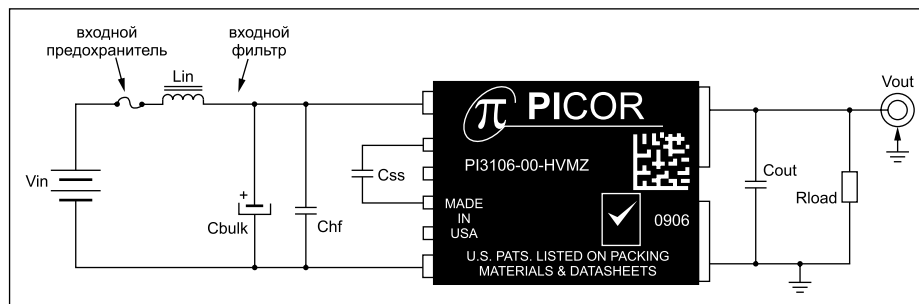


Рис. 4. Функциональная схема импульсного источника питания на базе модуля семейства Cool-Power

Таблица 1. Электрические параметры и эксплуатационные характеристики модулей семейства Cool-Power

Параметр	Наименование модуля		
	PI3101-00-HVIZ	PI3106-01-HVIZ	PI3106-00-HVMZ
Входное напряжение, В	48 (36–75)	24 (18–36)	28 (16–50)
Номинальное выходное напряжение, В	3,3		12
Пределы регулировки выходного напряжения, %	+10/–10		+10/–20
Номинальная выходная мощность, Вт	60		50
Мощность, потребляемая в режиме Shutdown, Вт		0,225	
Максимальный непрерывный выходной ток ($T_{CASE} < 100^\circ\text{C}$), А	18		4,2
Максимальная емкость нагрузки, мкФ		10 000	
Максимальный коэффициент полезного действия, %	87		88,5
Рабочий температурный диапазон (T_J), $^\circ\text{C}$	–40...+125	–40...+125	–55...+125
Температура хранения, $^\circ\text{C}$	–40...+125	–50...+125	–60...+125
Рабочая частота, кГц		900	
Электрическая прочность изоляции между входом и выходом, В		2250	
Емкость изоляции, пФ	330		280
Габаритные размеры, мм		22×16,5×6,7	

Примечание: T_J — температура встроенных полупроводниковых компонентов; T_{CASE} — температура корпуса модуля.

скается регулировать с помощью внешнего резистора, который подключается между выводами TRIM/SS и SGND или TRIM/SS и ENABLE, изменяя соответственно в меньшую или большую сторону опорное напряжение на одном из входов встроенного усилителя ошибки. На второй вход этого усилителя поступает напряжение обратной связи, пропорциональное выходному напряжению конвертера. Детальную функциональную схему устройства можно найти в техническом описании любого из представителей семейства Cool-Power [9].

У каждого модуля семейства свои собственные допустимые пределы изменения входного напряжения (табл. 1). Наибольшее рабочее входное напряжение (до 75 В) имеет модуль PI3101-00-HVIZ. Он же имеет наибольшую номинальную выходную мощность (60 Вт) и самый большой выходной ток (до 18 А). Номинальная выходная мощность двух других модулей 50 Вт, а максимальный выходной ток — 4,2 А.

Самую низкую температуру эксплуатации (от -55°C) имеет модуль PI3106-00-HVMZ, целевой областью применения которого является электронная аппаратура военного назначения. Два других модуля семейства предназначены для работы в более узком температурном диапазоне (от -40°C). Максимальная рабочая температура встроенных компонентов модуля (T_J) равна $+125^\circ\text{C}$. Если в процессе работы температура внутри модуля

превысит порог срабатывания тепловой защиты, типовое значение которого равно $+135^\circ\text{C}$, то модуль перейдет в режим Thermal Shutdown. Индикатором этого события может служить потенциал вывода TM (Temperature Monitor) модуля, который в режиме Thermal Shutdown «подтягивается» к потенциалу сигнальной общей шины модуля, с которой соединен вывод SGND. В других режимах работы модуля напряжение между выводами TM и SGND пропорционально абсолютной температуре внутри модуля. Это напряжение является выходным сигналом встроенного преобразователя температуры в напряжение (ПТН), статическая характеристика преобразования которого описывается следующим приближенным выражением:

$$V_{TM} = 3 + TM_{TC}(T_J - T_0),$$

где V_{TM} — выходное напряжение ПТН, В; $TM_{TC} = 0,01 \text{ В}/^\circ\text{C}$ — чувствительность ПТН; T_J — входная величина ПТН, $^\circ\text{C}$; $T_0 = 26,84^\circ\text{C}$ — температура калибровки (300 К).

Абсолютная погрешность преобразования ПТН, приведенная ко входу преобразователя, не превышает $\pm 5^\circ\text{C}$, а максимальная приведенная погрешность приблизительно равна $\pm 3\%$ от полного рабочего температурного диапазона модуля. Такой точности достаточно для того, чтобы использовать напряжение на выводе TM для мониторинга внутренней

температуры модуля или, например, для управления адаптивной системой принудительной вентиляции, которая могла бы изменять скорость воздушного потока в зависимости от рассеиваемой модулем мощности.

Все модули семейства Cool-Power имеют единую конструкцию. Они выпускаются в однотипных восьмивыводных корпусах, предназначенных для поверхностного монтажа на печатную плату (рис. 3). Габариты корпуса (В×Д×Ш) 6,7×22×16,5 мм. Специально для этого типа корпусов компанией Vicor поставляются радиаторы четырех видов, которые отличаются друг от друга высотой ребер (6,3 и 11 мм) и их ориентацией по отношению к длинной стороне модуля (рис. 5). Радиатор удобно монтируется на печатную плату с помощью пары специальных пружинных зажимов (Push Pins). Для заземления радиатора используются вспомогательные штыревые контакты (Grounding Clips), которые, так же как и зажимы Push Pins, входят в список аксессуаров, поставляемых компанией Vicor [9].

При отсутствии радиатора и принудительного обдува тепловое сопротивление между корпусом модуля и окружающей средой равно 15 °C/Вт, а между полупроводниковыми компонентами модуля и корпусом — 3 °C/Вт. Упрощенный тепловой расчет показывает, что если полезная выходная мощность конвертера равна, например, 36 Вт, а КПД составляет 86% (рис. 6) то рассеиваемая модулем мощность будет 5 Вт, и перегрев внутренних компонентов модуля по отношению к окружающей среде составит приблизительно +90 °C. Таким образом, максимальная температура окружающей среды, при которой температура внутренних компонентов модуля не выйдет за верхний предел рабочего температурного диапазона,

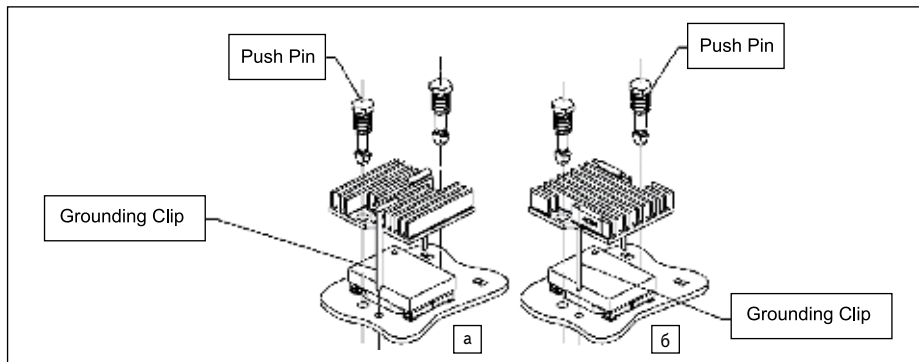


Рис. 5. Радиаторы для модулей семейства Cool-Power: а) с поперечными ребрами; б) с продольными ребрами

при заданных условиях будет равна +35 °C. Использование радиатора позволяет существенно улучшить конвективное охлаждение модуля и увеличить максимальную температуру окружающей среды, при которой модуль сможет работать с полной нагрузкой.

Кроме вывода ТМ модули Cool-Power имеют еще два многофункциональных вывода: ENABLE и TRIM/SS. Вывод ENABLE может выполнять три функции. Во-первых, он может использоваться как выход вспомогательного встроенного источника напряжения, к которому подключается внешний резистор для увеличения выходного напряжения модуля. Если модуль находится в активном состоянии, типовое значение напряжения на этом выходе равно +4,9 В. Во-вторых, этот вывод может быть использован по своему прямому назначению, то есть как логический вход для управления включением и выключением модуля. Чтобы перевести модуль из активного состояния в режим Shutdown, нужно уменьшить напряжение на входе ENABLE. С этой целью можно, например, использовать ключ на базе

биполярного или полевого транзистора, управляемого со стороны первичной электрической цепи модуля, а также оптрон, реле или другое устройство, имеющее изолированную от исполнительного элемента цепь управления, соединенную с вторичной электрической цепью модуля. Типовое значение напряжения на входе ENABLE, при котором происходит выключение модуля, равно +2,35 В. Внешний ключ, замыкающий выводы ENABLE и SGND, должен выдерживать ток не менее 3,3 мА. В-третьих, в любом из упомянутых выше аварийных режимов (OVP, OCP, UVLO, OVLO, OTP) ENABLE «подтягивается» к общей шине, и близкий к нулю потенциал на этом выводе может служить индикатором того, что какое-то из этих аварийных событий наступило.

Многофункциональный вход TRIM/SS используется для регулировки выходного напряжения модуля или для увеличения времени «мягкого» старта — времени, которое проходит от момента запуска модуля до его выхода на рабочий режим. В первом случае, как уже говорилось выше, к этому входу подключается внешний резистор. Во втором случае между выводами TRIM/SS и SGND подключается внешний конденсатор C_{SS} (рис. 4) с емкостью не более 1 мкФ. При отсутствии конденсатора C_{SS} время «мягкого» старта равно 380 мкс. Оно задается встроенным конденсатором, который подключен к тем же выводам TRIM/SS и SGND и имеет емкость 10 нФ у всех модулей

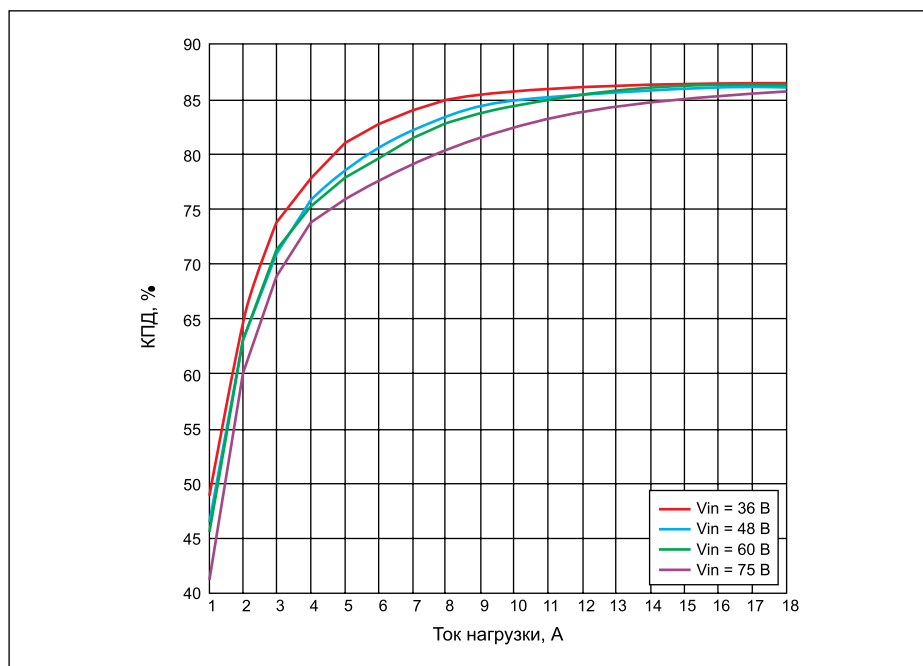


Рис. 6. Зависимость КПД модуля PI3101-00-HVIZ от тока нагрузки



Рис. 7. Оценочная плата PI3101-EVAL1

семейства Cool-Power. Увеличение эквивалентной емкости между выводами TRIM/SS и SGND приводит к пропорциональному увеличению времени «мягкого» старта.

Более подробную информацию о DC/DC-конвертерах семейства Cool-Power можно найти на сайте компании Vicor [9]. Там же есть подробные описания оценочных плат (рис. 7), разработанных для всех представителей этого семейства. Оценочные платы дают возможность в кратчайшие сроки приобрести необходимый опыт проектирования источников питания на базе модулей Cool-Power, провести натурные испытания для проверки характеристик и преимуществ конвертеров, заявленных производителем, а также позволяют свести к минимуму вероятность возможных ошибок при проектировании. Описание каждой из плат содержит полный перечень внешних пассивных компонентов, которые могут быть использованы в новом проекте, что также позволяет сократить суммарные затраты времени на создание источника питания.

Cool-Power и Simple Switcher — конкуренты или партнеры?

В 2011 г. компания National Semiconductor, владельцем которой в настоящее время является Texas Instruments, приступила к выпуску модулей питания серии LMZ142xxH с повышенным (до 30 В) выходным напряжением. Эти модули, пополнившие популярное семейство импульсных преобразователей Simple Switcher (рис. 8), по целому ряду характеристик являются одними из лучших электронных компонентов в классе интегральных импульсных стабилизаторов напряжения со встроенной катушкой индуктивности [10].

Технические возможности модулей LMZ142xxH позволяют использовать эти компоненты для решения, в принципе, тех же задач, для которых были разработаны модули серии PI3106, а именно для создания малогабаритных и высокоэффективных (рис. 9) источников питания с выходным напряжением +12 В и выходной мощностью до 50 Вт. По этой причине, завершая наш обзор DC/DC-конвертеров семейства Cool-Power, мы хотим сравнить модуль PI3106-00-HVMZ с наиболее близким к нему по характеристикам модулем LMZ14203HTZ-ADJ из семейства Simple Switcher (табл. 2).

По силовым электрическим параметрам модули близки друг другу, так как именно по этим характеристикам они подбирались для сравнения, хотя у модуля PI3106-00-HVMZ выше и максимальный выходной ток (4,2 А), и верхний допустимый предел изменения входного напряжения (50 В). При переходных процессах в первичной питающей сети этот модуль в течение 12,5 мс способен выдерживать входное напряжение 55 В, а максимальный импульсный выходной ток модуля достигает 12 А, если для отвода тепла используется внешний радиатор с высотой ребер 11 мм и принудительное воздушное охлаждение со скоростью 600 LFM (3 м/с) [9]. К преимуществам модуля LMZ14203HTZ-ADJ

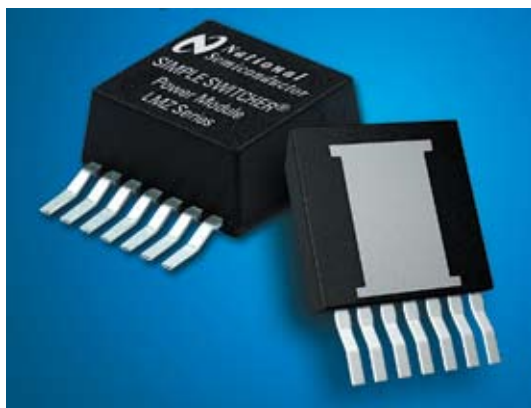


Рис. 8. Модули семейства Simple Switcher

Таблица 2. Сравнение параметров модулей Cool-Power и Simple Switcher

Параметр	Наименование модуля	
	PI3106-00-HVMZ	LMZ14203HTZ-ADJ
Наименование семейства	Cool-Power	Simple Switcher
Компания-разработчик	Picor	National Semiconductor
Компания-поставщик	Vicor	Texas Instruments
Номинальное выходное напряжение, В	12	Задается внешними резисторами
Пределы регулировки выходного напряжения, В	10–13	5–30
Входное напряжение (при $V_{\text{вых}} = 12$ В), В	16–50	15–42
Максимальный выходной ток, А	4,2	3
Размах пульсаций выходного напряжения (при $V_{\text{вых}} = 12$ В), мВ	120	20
Максимальный КПД, %	88,5	97
КПД (при $V_{\text{вых}} = 36$ В, $V_{\text{вх}} = 12$ В, $I_{\text{вых}} = 3$ А), %	86	92
Диапазон рабочих температур (T_j), °С	-55...+125	-40...+125
Рабочая частота, кГц	900	200–1000
Тепловое сопротивление $R_{\theta_{j-c}}$, °С/Вт	3	1,9
Тепловое сопротивление $R_{\theta_{j-a}}$, °С/Вт	18	18,4
Гальваническая развязка выхода от входа	Есть	Нет
Режим Soft Start	Есть	Есть
Габаритные размеры, мм	22×16,5×6,7	10,2×16,8×4,6

Примечание: T_j — температура встроенных полупроводниковых компонентов; $R_{\theta_{j-c}}$ — тепловое сопротивление между встроенными компонентами и корпусом; $R_{\theta_{j-a}}$ — тепловое сопротивление между встроенными компонентами и окружающей средой при монтаже на печатную плату площадью 40 см².

следует отнести его универсальность. Выходное напряжение этого модуля задается двумя внешними резисторами обратной связи и может регулироваться в пределах 5–30 В. Еще одним достоинством модуля является низкий размах пульсаций выходного напряжения — 200 мВ при выходном напряжении 12 В.

Главные преимущества модулей семейства Simple Switcher по сравнению с модулями семейства Cool-Power — высокая эффективность преобразования и очень низкое тепловое сопротивление $R_{\theta_{j-c}}$, благодаря чему внутренние компоненты модулей Simple Switcher испытывают меньший перегрев по отношению к температуре корпуса, чем компоненты модулей Cool-Power, при одной и той же выходной мощности. Максимальный КПД модулей LMZ14203HTZ-ADJ может достигать 97% (рис. 9), причем высокое значение КПД сохраняется при изменении тока нагрузки в широких пределах — примерно 10–100% от номинального значения. В отличие от модулей Simple Switcher зависимость КПД модулей семейства Cool-Power от тока нагрузки имеет нелинейный монотонный характер (рис. 6). Максимальная эффективность преобразования достигается при максимальном токе нагрузки. При снижении тока нагрузки до 10% от номинального значения КПД снижается приблизительно в два раза.

Конструкции корпусов модулей Cool-Power (рис. 3) и запатентованных корпусов типа TO-PMOD-7 (рис. 8), в которых выпускаются

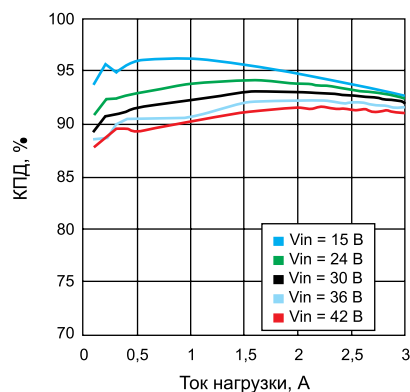


Рис. 9. Зависимость КПД модуля LMZ14203H от тока нагрузки при выходном напряжении 12 В

преобразователи Simple Switcher серии LMZ1, коренным образом отличаются друг от друга. Оба типа корпусов предназначены для поверхностного монтажа на печатную плату, но первый из них касается платы только своими выводами, а второй (TO-PMOD-7) имеет на своей нижней стенке металлическую пластину, которая, с одной стороны, является электрическим выводом модуля, а с другой стороны, через нее обеспечивается основной отвод тепла, выделяемого внутри модуля. Модулю Simple Switcher не требуется специальный внешний радиатор. В этой роли выступает сама печатная плата, которая для обеспечения низкого теплового сопротивления между корпусом модуля и окружающей средой должна иметь достаточную площадь. Например, для достижения приблизительно такого же значения $R_{\theta J-A}$, как у модулей семейства Cool-Power, модуль Simple Switcher должен быть смонтирован на печатной плате площадью 40 см².

Абсолютное лидирующее положение модули PI3106-00-HVMZ занимают только по двум характеристикам: во-первых, их минимальная рабочая температура –55 °С, а во-вторых, выходные электрические цепи у модулей PI3106-00-HVMZ, так же как и у всех остальных представителей семейства Cool-Power, изолированы от входных цепей.

Заключение

Приведенное выше краткое описание характеристик DC/DC-конвертеров семейства Cool-Power не претендует на полноту, и данная статья не является руководством по проектированию источников питания на базе модулей этого семейства. Авторы преследовали цель привлечь внимание российских разработчиков электронной аппаратуры к новым компонентам, которые могут найти применение в телекоммуникационном оборудовании, устройствах промышленной автоматизации, компьютерных сетях, PoE (Power Over Ethernet) и других областях.

Сравнение модулей семейств Cool-Power и Simple Switcher не выявило абсолютного победителя. Представители этих семейств имеют преимущества друг перед другом по каким-то одним параметрам

и при этом проигрывают по другим. Выбор, как всегда, остается за разработчиком источника питания.

В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о других модулях корпорации Vicor и ее фаблесс-подразделения Pico, предназначенных для построения импульсных источников питания с высокими техническими характеристиками. ■

Литература

1. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Построение источников питания на базе модулей компании Vicor // Компоненты и технологии. 2011. № 12.
2. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. DC/DC-конвертеры Vicor второго поколения // Компоненты и технологии. 2012. № 1.
3. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. AC/DC-модули компании Vicor // Компоненты и технологии. 2012. № 4.
4. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. AC/DC-конвертеры Vicor с коррекцией коэффициента мощности // Компоненты и технологии. 2012. № 6.
5. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Модули Vicor семейства FIAM // Компоненты и технологии. 2012. № 7.
6. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Распределенные системы электропитания на базе модулей IBC компании Vicor // Компоненты и технологии. 2012. № 8.
7. Белотуров В., Кривченко И. Модули V-I Chip корпорации Vicor — новый взгляд на конструирование систем вторичного электропитания. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2009. № 3.
8. Белотуров В., Леонов А. Модули V-I Chip корпорации Vicor — новый взгляд на конструирование систем вторичного электропитания. Часть 2 // Компоненты и технологии. 2009. № 5.
9. Справочно-информационный портал компании Vicor. www.vicorpower.com
10. Иванов Д. Модули питания LMZ142xxH с повышенным выходным напряжением // Компоненты и технологии. 2011. № 4.
11. Иванов Д. Модули питания Simple Switcher серии LMZ2 // Компоненты и технологии. 2011. № 7.