

DC/DC-конвертеры Vicor второго поколения

Владимир БЕЛОТУРОВ

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

Мы продолжаем цикл публикаций о продукции американской компании Vicor, которая с 1981 года занимается разработкой и серийным производством модулей для построения систем вторичного электропитания. В этой статье рассмотрены DC/DC-конвертеры семейств Maxi, Mini и Micro.

Введение

В предыдущей статье [1] мы рассказали о DC/DC-конвертерах Vicor первого поколения (VI-200/VE-200, VI-J00/VE-J00, VI-B00/VE-B00), а также рассмотрели один из инструментов системы проектирования PowerBench — конфигуратор конвертеров первого поколения.

В этой статье речь пойдет о втором поколении DC/DC-конвертеров компании Vicor, к которому относятся семейства модулей Maxi, Mini и Micro (рис. 1). Серийное производство таких модулей началось в 1996 году, а сейчас это самые массовые изделия Vicor. Суммарная производственная мощность автоматических линий, на которых собираются DC/DC-конвертеры второго поколения, превышает 12 000 модулей в сутки.

Общие черты двух поколений DC/DC-конвертеров Vicor и различия между ними

По своему функциональному назначению DC/DC-конвертеры Vicor первого и второго поколений — это одни и те же устройства, то есть импульсные стабилизированные преобразователи напряжения с гальваническим разделением входных и выходных цепей. В конвертерах первого и второго поколений используется единый метод преобразования электромагнитной энергии [1]. Модули разных поколений, но с одинаковым форм-фактором (Full Brick — «кирпич» и Half Brick — «полкирпич»), внешне очень похожи друг на друга: они име-

ют близкие габаритные размеры и одинаковое число выводов, как с первичной, так и со вторичной стороны.

Во всем остальном конвертеры второго поколения не похожи на своих предшественников. В модулях второго поколения используются другие схемотехнические решения, новые компоненты и материалы, а для изготовления этих модулей применяются новые технологии. Благодаря целому ряду конструктивных и технологических усовершенствований, инженерам компании Vicor, создавшим DC/DC-конвертер второго поколения, удалось увеличить плотность конвертируемой мощности до 7300 Вт/дм³ и поднять максимальную рабочую температуру модуля до 100 °С без снижения электрических параметров конвертера. Кроме того, удалось уменьшить форм-фактор до Quarter Brick («четверть кирпича») при конвертируемой мощности 150 Вт, а также существенно улучшить некоторые характеристики конвертера, о чем мы подробно расскажем ниже.

DC/DC-конвертеры семейств Maxi, Mini и Micro

DC/DC-конвертеры семейств Maxi, Mini и Micro отличаются друг от друга размерами и значениями максимальной выходной мощности. Модули семейства Maxi имеют габаритные размеры 117×55,9×12,7 мм (Full Brick), модули семейства Mini — 57,9×55,9×12,7 мм (Half Brick), а модули семейства Micro — 57,9×36,8×12,7 мм (Quarter Brick). В зависимости от пределов изменения входного напряжения и номинального выходного напряжения модули семейства Maxi могут конвертировать мощность от 150 до 600 Вт, модули семейства Mini — от 75 до 300 Вт, а модули семейства Micro — от 50 до 150 Вт.

Еще одно различие между тремя семействами конвертеров второго поколения относится к области схемотехники. Модули семейства Micro не имеют выводов +SENSE и -SENSE, которые есть только у модулей семейств Maxi и Mini (рис. 2). Эти выводы предназначены для компенсации падения напряжения на проводах, соединяющих выход модуля с удаленной нагрузкой [1]. В принципе у модулей семейства Micro такая компенсация также возможна, но для этого потребуются дополнительное внешнее устройство, которое может быть создано с помощью операционного усилителя и нескольких пассивных компонентов [2].

Конструкция модуля второго поколения

Все полупроводниковые и пассивные компоненты модуля смонтированы на общей печатной плате. На верхней стороне платы (рис. 3а) установлены две интегральные микросхемы, конденсаторы, катушки индуктивности и силовой трансформатор. На нижней стороне (которая обращена к металлическому основанию модуля) установлены MOSFET-транзисторы и полупроводниковые диоды (рис. 3б), то есть те компоненты, в которых выделяется наибольшее количество тепла. Под обмотки трансформатора в плате сделаны два окна прямоугольной формы.



Рис. 1. DC/DC-конвертеры второго поколения: «кирпич», «полкирпича» и «четверть кирпича»

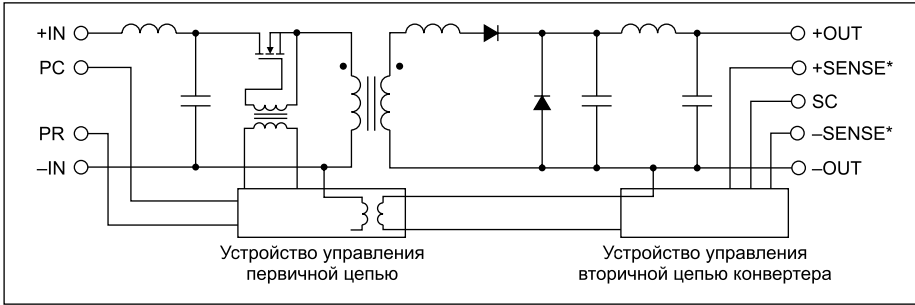


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема конвертеров семейств MaxI и Mini

Печатная плата вставлена в терминальный блок, который выполнен из пластмассы методом литья под давлением. Внутри терминального блока плата соединена с входными и выходными выводами модуля, которые заливаются пластмассой на стадии изготовления блока, что обеспечивает герметичность и высокую точность позиционирования выводов.

Терминальный блок герметично соединен с изолированным от всех электрических цепей металлическим основанием модуля (рис. 3в): оно обеспечивает механическую жесткость всей конструкции, а также выполняет функцию радиатора охлаждения. Сверху, то есть со стороны, обратной основанию, плата закрыта металлической крышкой. Все свободное пространство под крышкой заполнено теплопроводящим компаундом, который служит для защиты компонентов модуля от воздействия окружающей среды и для равномерного распределения тепла внутри модуля.

На крышку модуля наклеена идентификационная табличка (шилда), изготовленная из тонкой алюминиевой фольги (рис. 3г). На шилду нанесены следующие надписи: артикул и индивидуальный номер модуля, содержащий код даты изготовления, входные и выходные электрические параметры модуля (напряжение, мощность), наименования входных и выходных выводов, логотип и адрес производителя, а также информация

о стандартах, которым соответствует модуль. Геометрическая форма шилды и способ ее заделки в крышку модуля полностью исключают возможность удаления шилды без ее повреждения, что защищает модули от подделок. Еще одним способом защиты является уникальный номер, который присваивается каждому модулю, изготовленному компанией Vicor. По этому номеру можно легко узнать «биографию» модуля: когда он был изготовлен, какие прошел тестовые испытания на стадии производства, кому и когда был продан.

Параметры DC/DC-конвертеров семейств MaxI, Mini и Micro

В отличие от первого поколения DC/DC-конвертеров компании Vicor [1], конвертеры второго поколения имеют только 8 градаций по входному и 13 градаций по выходному напряжению (таблица), но у них допускается регулировка выходного напряжения в более широких пределах: от 10 до 110% от номинального выходного напряжения. Кроме того, у конвертеров второго поколения в несколько раз лучше коэффициент стабилизации и ниже температурный дрейф выходного напряжения.

У конвертеров семейств MaxI и Mini регулировка выходного напряжения в сторону уменьшения осуществляется путем подклю-

чения внешнего резистора R_D между выводами SC и -SENSE (рис. 4). У конвертеров семейства Micro резистор R_D подключается между выводами SC и -OUT.

Сопротивление «понижающего» регуляторного резистора рассчитывается по следующей формуле:

$$R_D = 1000 V_{OUT} / (V_{NOM} - V_{OUT}), \quad (1)$$

где R_D — сопротивление резистора, Ом; V_{OUT} — требуемое выходное напряжение, В; V_{NOM} — номинальное выходное напряжение, В.

Для увеличения выходного напряжения следует подключить внешний резистор R_U между выводами SC и +SENSE, если модуль принадлежит семейству MaxI или Mini, или между выводами SC и +OUT, если модуль принадлежит семейству Micro.

Сопротивление «повышающего» регуляторного резистора рассчитывается по формуле:

$$R_U = 1000 (V_{OUT} - 1,23) \times V_{NOM} / [1,23 (V_{OUT} - V_{NOM}) - 1000], \quad (2)$$

где R_U — сопротивление резистора, Ом; V_{OUT} — требуемое выходное напряжение, В; V_{NOM} — номинальное выходное напряжение, В.

Для компенсации падения напряжения на проводах, соединяющих выходы +OUT и -OUT конвертера семейства MaxI или Mini с удаленной нагрузкой, нагрузку нужно подключать с помощью 4-проводной линии (рис. 4). В этом случае конвертер будет стабилизировать напряжение непосредственно на нагрузке, но только при условии, что падение напряжения на соединительных

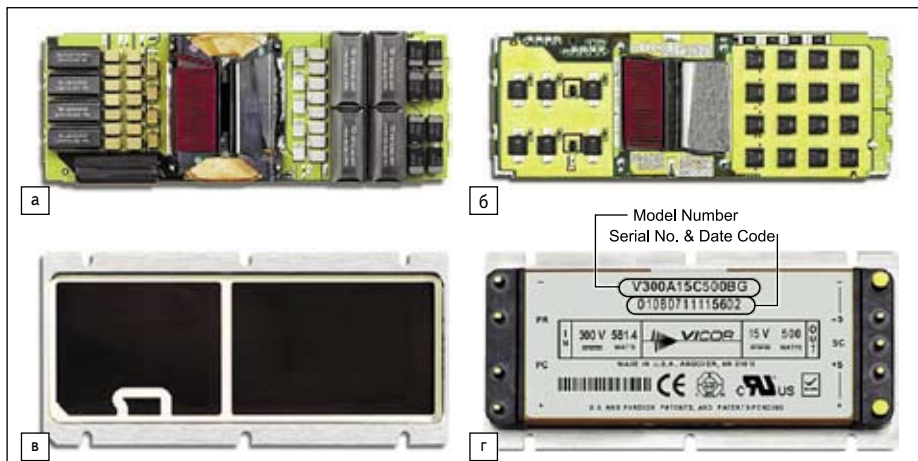


Рис. 3. Конструкция модуля второго поколения: а) плата (вид сверху); б) плата (вид снизу); в) основание модуля (внутренняя сторона); г) модуль в сборе

Таблица. Электрические параметры и температурные классы DC/DC-конвертеров семейств MaxI, Mini и Micro

| Параметр | Значение |
|--|--|
| Номинальное значение и допустимые пределы изменения входного напряжения, В | 24 (18–36); 28 (10–36); 48 (36–75); 72 (43–110); 110 (66–154); 150 (100–200); 300 (180–375); 375 (250–425) |
| Выходное напряжение, В | 2; 3,3; 5; 6,5; 8; 12; 15; 24; 28; 32; 36; 48; 54 |
| Заводская погрешность установки выходного напряжения (max), % | ±1 |
| Относительные пределы регулировки выходного напряжения, % | 10–110 |
| Коэффициент стабилизации (тип.), % | ±0,02 |
| Температурный дрейф выходного напряжения (тип.), %/°C | ±0,002 |
| Максимальная выходная мощность, Вт: | <ul style="list-style-type: none"> • MaxI 150–600 • Mini 75–300 • Micro 50–150 |
| Максимальный коэффициент полезного действия, % | 90 |
| Электрическая прочность изоляции (rms), В: | <ul style="list-style-type: none"> • между входом и выходом 3000 • между входом и основанием модуля 1500 • между выходом и основанием модуля 500 |
| Рабочий температурный диапазон, °C: | <ul style="list-style-type: none"> • класс E –10...+100 • класс C –20...+100 • класс T –40...+100 • класс H –40...+100 • класс M –55...+100 |

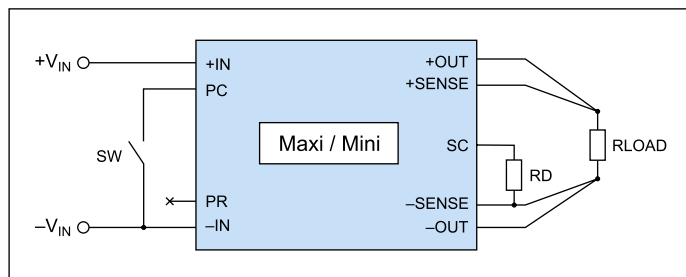


Рис. 4. Упрощенная функциональная схема источника питания на базе модуля семейства Maxi или Mini

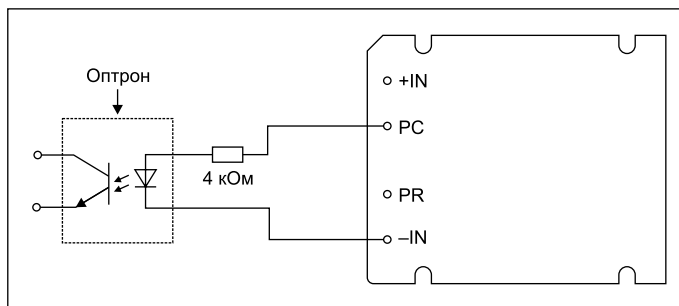


Рис. 5. Использование выхода PC для индикации активного состояния модуля

проводах не превышает 0,5 В. У конвертеров семейства Micro такое подключение нагрузки невозможно из-за отсутствия выводов +SENSE и -SENSE. Это семейство было создано специально для построения источников питания типа PoL (Point of Load), расположенных в непосредственной близости от потребителя.

В случае необходимости, как было отмечено выше, проблема падения напряжения на проводах, соединяющих модуль с нагрузкой, может быть решена и для семейства Micro, но для этого потребуются дополнительное внешнее электронное устройство. Схему такого устройства можно найти на сайте производителя [2].

В зависимости от рабочего температурного диапазона, то есть от допустимой температуры металлического основания модуля, DC/DC-конвертеры второго поколения делятся на пять температурных классов: E, S, T, H и M (таблица). Температурные классы T и H отличаются друг от друга минимальной допустимой температурой хранения, которая для класса T равна $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для класса H — $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самыми морозоустойчивыми являются модули температурного класса M. Минимальная температура эксплуатации этих модулей равна $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, а минимальная температура хранения — $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$, что достигается благодаря применению компаунда с экстремально низкой температурой кристаллизации. Максимальная температура эксплуатации для всех классов равна $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальная температура хранения — $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Все модули температурных классов H и M подлежат обязательному предпродажному тестированию. Результаты этих тестов можно найти на сайте компании Vicor в разделе Quality/Final Test Data [2].

Вывод PC

Все DC/DC-конвертеры второго поколения имеют вывод PC (Primary Control), который может быть использован как управляющий вход для дистанционного включения/выключения модуля или как выход для индикации активного состояния модуля.

Порог срабатывания по входу PC равен $2,6 \pm 0,3\text{ В}$, поэтому для того, чтобы гарантированно перевести модуль в режим Shutdown,

нужно создать такие условия, при которых напряжение на входе PC будет ниже, чем 2,3 В. Это можно сделать, например, замкнув входы PC и -IN с помощью электронного или механического ключа SW (рис. 4). Если для управления модулем используется механический ключ или электромагнитное реле, рекомендуется между входами PC и -IN включить керамический конденсатор с емкостью не более 10 нФ для предотвращения многократного включения/выключения модуля из-за дребезга контактов.

Чтобы включить модуль, находящийся в режиме Shutdown, нужно разомкнуть ключ SW. Нельзя управлять входом PC, подавая на него напряжение с помощью внешних электрических цепей, так как это может привести к повреждению модуля.

Когда модуль находится в активном режиме (ключ SW на рис. 4 разомкнут), на вывод PC подается напряжение 5,7 В с выхода встроенного источника напряжения, максимальный выходной ток которого равен 3 мА. Такого тока достаточно для того, чтобы запитать светодиодный индикатор или первичную цепь оптрона (рис. 5). Свечение светодиода будет говорить о том, что модуль находится в состоянии «Включено».

Вывод PR

Так же, как их предшественники, DC/DC-конвертеры второго поколения способны параллельно работать на общую нагрузку в режиме Power Sharing, что может быть использовано для увеличения выходной мощности или для резервирования системы электропитания. Внешняя синхронизация частоты коммутации конвертера, работающего в режиме Power Sharing, осуществляется через встроенный двунаправленный порт, входом/выходом которого является вывод PR (рис. 2).

Массив модулей, работающих на общую нагрузку, самоорганизующийся. Функцию управления массивом автоматически принимает на себя модуль с большей частотой коммутации. Ведущий модуль передает синхрои импульсы на входы PR всех остальных модулей массива, заставляя их подстраиваться под свою частоту. В случае аварии ведущего модуля массив сам «выбирает» себе нового лидера, не прекращая передавать ток в на-

грузку. Разброс выходных токов модулей, работающих в режиме Power Sharing, не превышает $\pm 5\%$ от среднего выходного тока.

Существует три варианта соединения выводов PR для синхронизации работы модулей в режиме Power Sharing.

Первый вариант заключается в непосредственном соединении между собой выводов PR всех модулей. При этом входы -IN всех модулей обязательно должны быть «привязаны» к общему потенциалу. Второй вариант отличается от первого только тем, что выводы PR всех модулей массива подключаются к однопроводной соединительной шине через конденсаторы с емкостью 1 нФ и рабочим напряжением 500 В. При таком соединении связь между входами синхронизации отдельных модулей существует только по переменному току, что повышает надежность источника питания. Эти два варианта соединения выводов PR используют в тех случаях, когда количество модулей, работающих на коллективную нагрузку, равно двум или трем.

При количестве модулей больше трех рекомендуется использовать двухпроводный интерфейс с гальванической развязкой (рис. 6). Импульсные трансформаторы, с помощью которых входы синхронизации модулей подключаются к общей двухпроводной линии связи, входят в число аксессуаров, поставляемых компанией Vicor (Part Number 29768). Максимальное число модулей, которые допускается соединять между собой по такой схеме, равно 12.

На стадии отладки источника питания, состоящего из большого числа модулей, работающих в режиме Power Sharing, а также при размещении модулей на значительном расстоянии друг от друга рекомендуется последовательно с каждым трансформатором включить низкодобротный дроссель Z1 (рис. 6) или резистор с сопротивлением 10–15 Ом. Этот компонент не является обязательным, но может оказаться полезным для улучшения формы импульса на входе PR и ослабления отраженного сигнала [2]. К входам +IN и -IN каждого из модулей рекомендуется подключить три развязывающих конденсатора для шунтирования высокочастотных помех и уменьшения взаимного влияния модулей друг на друга. Между входами +IN и -IN следует подключить керамический

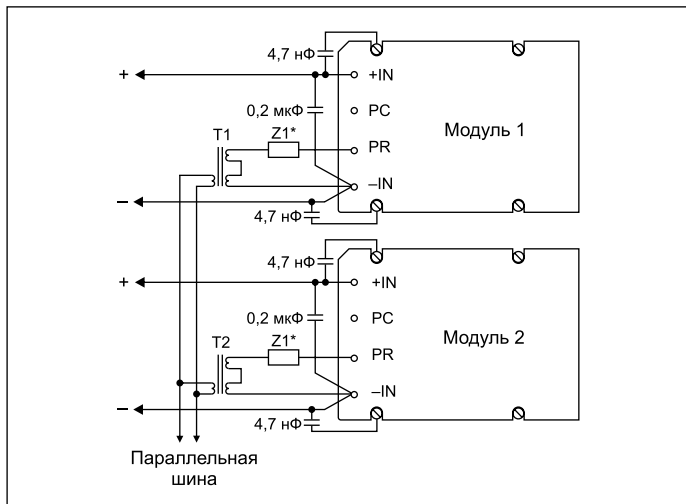


Рис. 6. Синхронизация модулей в режиме Power Sharing через интерфейс с трансформаторной связью

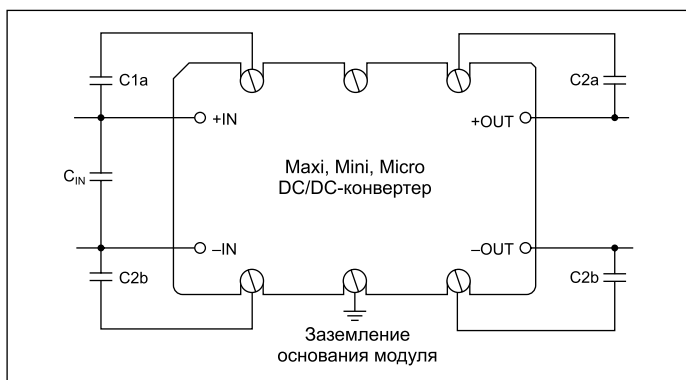


Рис. 7. Рекомендуемые помехоподавляющие конденсаторы

или пленочный конденсатор с емкостью 0,2 мкФ, а между каждым из входов и заземленным основанием модуля — конденсатор Y-типа с емкостью 4,7 нФ. Такие же конденсаторы с емкостью 4,7 нФ следует подключить между основанием модуля и выходами +OUT и -OUT (рис. 7). Конденсаторы необходимо размещать на минимально возможном расстоянии от соответствующих выводов модуля (рис. 8).

Все рекомендуемые внешние компоненты, дополнительные радиаторы, а также многочисленные механические детали и приспособления для монтажа модулей можно найти в списке аксессуаров, поставляемых компанией Vicor. Например, помехоподавляющие

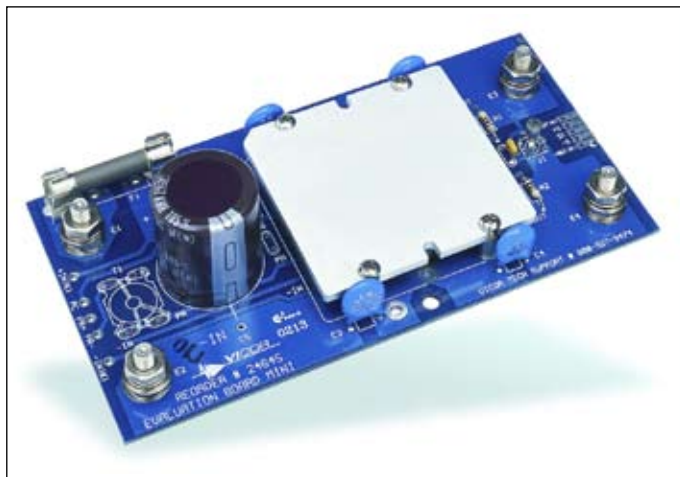


Рис. 8. Оценочная плата с модулем семейства Mini

конденсаторы Y-типа с емкостью 4,7 нФ можно заказать по следующему артикулам: 01000 или 25283 (SMT-версия).

Заключение

На этом мы заканчиваем краткое знакомство с DC/DC-конверторами семейств Maxi, Mini и Micro, которые, благодаря своим параметрам и эксплуатационным характеристикам, а также очень высокому качеству изготовления, получили широкое распространение во всем мире. Эти модули применяются в системах электропитания для авионики и различных видов наземного транспорта, в телекоммуникационной, медицинской и контрольно-измерительной аппаратуре, в промышленной электронике и военной технике.

DC/DC-конвертеры компании Vicor отличаются огромным числом комбинаций входных и выходных электрических параметров, высокой плотностью конвертируемой мощности, широким рабочим температурным диапазоном и очень надежной конструкцией.

В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о других электронных компонентах, выпускаемых компанией Vicor, а также более детально рассмотрим некоторые «подводные камни», с которыми могут столкнуться разработчики источников питания.

Литература

1. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Построение источников питания на базе модулей компании Vicor // Компоненты и технологии. 2011. № 12.
2. Справочно-информационный портал компании Vicor: www.vicorpower.com