

# Построение источников питания на базе модулей компании Vicor

Владимир БЕЛОТУРОВ

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

Статья открывает новый цикл публикаций о продукции американской компании Vicor, которая с 1981 года занимается разработкой и серийным производством модулей для построения систем вторичного электропитания. В первой статье цикла рассмотрены DC/DC-конвертеры первого поколения (серии VI-200/VE-200, VI-J00/VE-J00, VI-B00/VE-B00) и система проектирования PowerBench.

## Введение

Электронные компоненты компании Vicor, отметившей в 2011 году свой 30-летний юбилей, известны многим российским разработчикам источников питания электронной аппаратуры. Большой вклад в продвижение этой продукции внес наш друг и коллега Владимир Белотуров [1], памяти которого мы посвящаем новый цикл обзорных статей. В них мы расскажем обо всех группах продукции Vicor, уделив главное внимание техническим характеристикам и пользовательским преимуществам, благодаря которым компоненты Vicor получили широкое распространение и признание инженеров-разработчиков в России и за рубежом.

В первой статье нового цикла мы рассмотрим так называемые Brick DC/DC-конвертеры, с которыми компания Vicor впервые вышла на мировой рынок электронных компонентов. Буквальное значение слова Brick — кирпич, то есть прямоугольный брусок, используемый в качестве строительного материала. Применительно к продукции компании Vicor это слово имеет очень похожий смысл. Оно отражает ту концепцию построения распределенных систем электропитания, которая была предложена компанией Vicor 30 лет назад, а затем была взята на вооружение многими другими производителями электронных компонентов. Идея заключалась в том, чтобы предоставить в распоряжение разработчика источника питания набор функционально законченных модулей — преобразователей электрической энергии с различными комбинациями входного и выходного напряжений и выходной мощности, из которых разработчик сам смог бы

сконфигурировать требуемую ему систему с уникальной совокупностью характеристик. Преимущества такого подхода очевидны — это простота, скорость и гибкость проектирования.

В настоящее время компания Vicor выпускает тысячи версий стандартных модулей с различными сочетаниями входных и выходных параметров [2]. В том же случае, когда разработчик не может найти готовое решение или подстроить (с помощью внешних электрических цепей) стандартный модуль под свою задачу, у него есть дополнительная возможность спроектировать свой собственный модуль и заказать изготовление этого модуля на фабрике. Производственный процесс организован таким образом, что можно заказать изготовление любой партии модулей — от одной штуки. Стоимость заказного модуля незначительно превышает стоимость стандартного изделия, а после того как новый модуль будет спроектирован и изготовлен, проект будет храниться в базе данных компании Vicor, и на все последующие заказы будут действовать стандартные цены.

В помощь разработчикам источников питания компания Vicor предлагает on-line систему проектирования PowerBench [3], которая также будет рассмотрена в этой статье.

## DC/DC-конвертеры первого поколения

К первому поколению DC/DC-конвертеров компании Vicor относятся три семейства модулей: VI, VE и BAT-MOD (рис. 1). Серийное производство этих изделий началось в 1987 году и продолжается до сих пор. За эти годы произведено в общей сложности более 22 млн таких модулей. Автоматические производственные линии компании Vicor, расположенные в США, способны выпускать до 8000 модулей в сутки. Коммерческий успех DC/DC-конвертеров первого поколения говорит о том, что разработка получилась очень удачной с технической точки зрения, а также отвечающей потребностям рынка. По своим электрическим, эксплуатационным и массо-габаритным характеристикам эти устройства были уникальными в своем классе электронных компонентов как на момент их создания, так и в течение продолжительного периода времени после. Приоритетной областью применения DC/DC-конвертеров Vicor первоначально была военная техника. Сейчас эти компоненты широко применяются и в других областях: в компьютерах, промышленной электронике, различных видах транспортных средств и телекоммуникационном оборудовании.

По своему принципу действия DC/DC-конвертеры компании Vicor являются импульсными стабилизированными преобразователями напряжения с гальваническим разделением входных и выходных цепей. В конвертерах первого поколения используется квазирезонансный метод импульсного преобразования постоянного напряжения, запатентованная топология Zero Current Switching (ZCS) и частотно-импульсный метод стабилизации выходного напряжения [1].



Рис. 1. DC/DC-конвертеры первого поколения: «кирпич» и «полкирпича»

Идея метода заключается в том, что электромагнитная энергия передается от входа преобразователя к выходу равными порциями (квантами). Каждый квант энергии забирается из входной цепи и передается через разделительный трансформатор на выход в течение постоянного интервала времени. Квантование энергии выполняется с помощью силового ключа, который соединен последовательно с первичной обмоткой разделительного трансформатора. При замыкании ключа первичная обмотка трансформатора подключается к источнику входного напряжения, и в обмотке формируется импульс тока приблизительно синусоидальной формы. Длительность импульса тока равна одному целому полупериоду синусоиды. Замыкание и размыкание ключа происходят при нулевом токе в первичной цепи. Отсюда происходит и само название топологии — Zero Current Switching, которое переводится на русский язык как коммутация при нулевом токе.

Стабилизация выходного напряжения осуществляется путем изменения частоты квантов энергии, передаваемых из входной цепи преобразователя на выход. Номинальное значение рабочей частоты лежит в пределах от 1 до 1,2 МГц, а максимальная частота может достигать 2 МГц. Более подробно об этом методе импульсного преобразования напряжения можно узнать из статьи Владимира Белотурова [1]. Здесь же нам хочется уделить больше внимания не схемотехническим решениям, а преимуществам DC/DC-конвертеров Vicor перед аналогичными по назначению устройствами, в которых используются другие методы преобразования, например широтно-импульсная модуляция.

Главные из этих преимуществ — высокий (до 90%) КПД, низкие уровни шумов и пульсаций выходного напряжения, низкий уровень излучаемых электромагнитных помех, большая удельная плотность конвертируемой мощности — до 3 Вт/см<sup>3</sup>. DC/DC-конвертеры Vicor имеют также ряд других достоинств, благодаря которым они входят в число лучших электронных компонентов в своем классе: большой диапазон входного и выходного напряжений и выходной мощности, возможность параллельной работы нескольких модулей на общую нагрузку (Power Sharing), возможность стабилизации напряжения на удаленной нагрузке (Remote Sense), автоматическое ограничение выходного тока, управляющий вход Enable/Disable, возможность подстройки выходного напряжения с помощью внешних электрических цепей, широкий рабочий температурный диапазон, небольшие габариты и вес, очень высокую надежность и отличное качество изготовления.

Основные электрические параметры и некоторые эксплуатационные характеристики DC/DC-конвертеров первого поколения приведены в таблице, где значения относительных параметров указаны в процентах от номинального выходного напряжения конвертера. Конвертеры семейства VE отличаются от соответствующих устройств семейства VI только тем, что первые соответствуют требованиям директивы RoHS, запрещающей использовать в электронных компонентах свинец и ряд других вредных химических элементов.

В зависимости от минимальной температуры эксплуатации существует четыре температурных класса DC/DC-конвертеров первого поколения: экономический (E) — от -10 °С, коммерческий (C) — от -25 °С, индустриальный (I) — от -40 °С и военный (M) — от -55 °С. Здесь и далее под температурой эксплуатации, если специально не оговорено иное, понимается не температура окружающей среды, а температура металлического основания модуля. Максимальная температура эксплуатации равна +85 °С для модулей семейств VI-200 и VE-200 и +100 °С для модулей семейств VI-J00 и VE-J00. Модули, принадлежащие к разным температурным классам, отличаются друг от друга значениями некоторых параметров (таблица), составом и способом заливки компаунда, а также методикой проведения предпродажных испытаний. Все модули температурных классов I и M обязательно проходят индивидуальное тестирование. Результаты тестов представлены на сайте производителя [2], и доступ к этим данным открыт для всех посетителей сайта. Чтобы получить результаты тестов, достаточно войти в раздел меню Quality/Final Test Data, указать наименование модуля и его Serial Number — уникальный номер, который присваивается каждому изделию компании Vicor.

Таблица. Параметры DC/DC-конвертеров семейств VI и VE

Параметр	Температурный класс	
	C, I, M	E
Входное напряжение, В	10–20...200–400	
Выходное напряжение, В	2–95	
Максимальная выходная мощность ( $V_{OUT} \geq 5$ В): – VI-200, Вт – VI-J00, Вт	50–200 25–100	
Максимальный выходной ток ( $V_{OUT} < 5$ В): – VI-200, А – VI-J00, А	10–40 5–20	
Заводская погрешность установки выходного напряжения (тип.), %	0,5	1
Коэффициент стабилизации (max.), %	0,2	0,5
Температурный дрейф выходного напряжения (тип.), %/°С	0,01	0,02
Временной дрейф выходного напряжения (тип.), %/1000 ч	0,02	
Относительные размах напряжения пульсаций (max.): – при $V_{OUT}$ от 10 до 95 В, % – при $V_{OUT} = 5$ В, %	1,5 3	3 5
Размах напряжения пульсации при $V_{OUT} = 2$ В и $V_{OUT} = 3,3$ В (max.), мВ	150	200
Относительные пределы регулировки выходного напряжения: – при $10 \leq V_{OUT} \leq 15$ В, % – при $15 < V_{OUT} \leq 85$ В, % – при $V_{OUT} = 95$ В, %	90–110 50–110 50–100	
Компенсация падения напряжения на соединительных проводах (max.), В	0,5	
КПД (max.), %	90	88
Мощность, рассеиваемая на холостом ходу, Вт	1,35	
Электрическая прочность изоляции (rms): – между входом и выходом, В – между входом и основанием корпуса, В – между выходом и основанием корпуса, В	3000 1500 500	
Максимальная рабочая температура: – VI-200, °С – VI-J00, °С	85 100	

Примечание:  $V_{OUT}$  — номинальное выходное напряжение

DC/DC-конвертеры серии VI-200 имеют 5 градаций по выходной мощности (50, 75, 100, 150 и 200 Вт), 5 градаций по максимальному выходному току (10, 15, 20, 30 и 40 А), 12 допустимых пределов изменения входного напряжения (на отрезке от 10 до 400 В) и 22 номинальных значения выходного напряжения (от 2 до 95 В), причем допустимы различные комбинации этих параметров. Выходная мощность нормируется у конвертеров, номинальное выходное напряжение которых превышает 5 В. Для конвертеров с низковольтным выходом (не более 5 В) нормируется не мощность, а максимальный выходной ток.

В отличие от VI-200, серия VI-J00 имеет только 4 градации по выходной мощности (25, 50, 75 и 100 Вт) и 4 градации по максимальному выходному току (5, 10, 15, 20 А). Кроме того, конвертеры серии VI-J00 не имеют встроенной защиты от перенапряжения на выходе (Overvoltage Protection) и защиты от перегрева (Thermal Shutdown).

VI-B00 — это серия специальных преобразователей (Booster), предназначенных только для совместной работы с конвертерами VI-200 в режиме Power Sharing с целью увеличения суммарной выходной мощности источника питания. В принципе модули серий VI-B00 и VI-200 имеют абсолютно одинаковые силовые цепи, но в модулях Booster отсутствует обратная связь, и поэтому они не могут работать как независимые DC/DC-конвертеры.

DC/DC-конвертер первого поколения имеет 9 выводов, 4 из которых расположены в первичной, а 5 выводов — во вторичной цепи конвертера (рис. 2). Первичная и вторичная цепи гальванически раз-

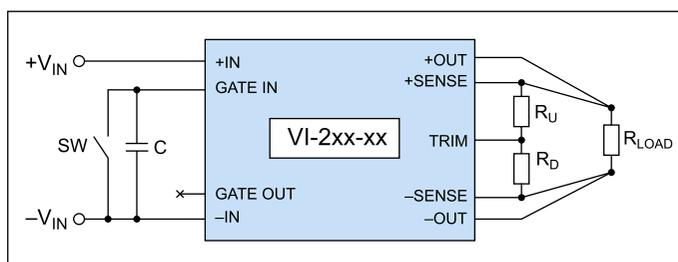


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема источника питания на базе модуля Vicor

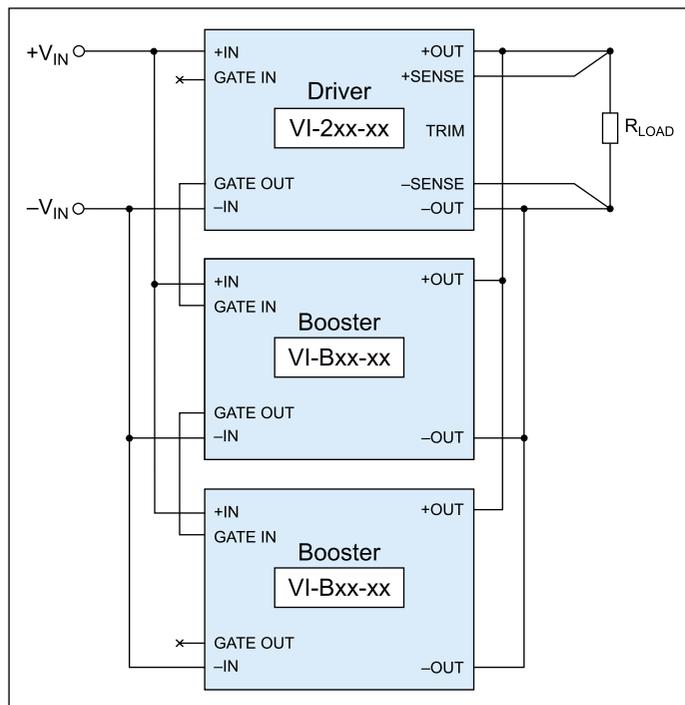


Рис. 3. Схема соединения модулей Vicor для работы в режиме Power Sharing

делены, причем и первичная, и вторичная цепи изолированы от основания модуля.

Регулировка выходного напряжения осуществляется одним из трех способов: или с помощью внешнего резистивного делителя (рис. 2), или с помощью переменного резистора, неподвижные контакты которого соединяются с выводами +SENSE и -SENSE, а подвижный контакт — с выводом TRIM, или с помощью внешнего источника напряжения, отрицательный полюс которого подключается к выводу -SENSE, а положительный — к выводу TRIM.

Кроме того, что они используются для регулировки выходного напряжения, выходы +SENSE и -SENSE играют еще одну важную роль: они служат для компенсации падения напряжения на проводах, соединяющих выход конвертера с удаленной нагрузкой. Для того чтобы исключить влияние соединительных проводов, нагрузку  $R_{LOAD}$  следует подключить к выходу источника питания с помощью четырехпроводной линии связи, как показано на рис. 2. При таком подключении конвертер будет стабилизировать напряжение непосредственно на нагрузке при условии, что суммарное падение напряжения на соединительных проводах не превышает 0,5 В.

Вход GATE IN может быть использован как логический вход управления включением/выключением конвертера. Если уровень сигнала на входе GATE IN по отношению к шине  $-V_{IN}$  ниже, чем 0,65 В (например, когда ключ SW замкнут, рис. 2), то конвертер будет находиться в режиме Shutdown. При этом входной ток конвертера по входу GATE IN не превышает 6 мА. Если ключ SW разомкнуть, оставив вход GATE IN «плавающим», или подать на этот вход внешний логический сигнал высокого уровня, то конвертер будет находиться в активном режиме.

Выход GATE OUT используется для синхронизации при параллельной работе нескольких конвертеров на общую нагрузку. В простейшей ситуации, когда в системе электропитания не нужно создавать резервирование на случай выхода из строя одного из модулей, для организации режима Power Sharing не требуется никаких дополнительных внешних компонентов (рис. 3). Следует только помнить о том, что создавать параллельный массив конвертеров для работы в режиме Power Sharing можно только из однотипных модулей, имеющих одну и ту же номинальную мощность и одинаковые электрические параметры. Один из конвертеров (Driver) такого массива является

управляющим, а все остальные конвертеры (Booster) — ведомыми и работают синхронно с управляющим конвертером на его частоте. Для синхронизации ведомых конвертеров вход GATE IN каждого из них соединяется с выходом GATE OUT предыдущего элемента массива, как показано на рис. 3. Если управляющим устройством является модуль серии VI-200, то в качестве ведомых преобразователей целесообразно использовать модули Booster серии VI-B00, так как последние, благодаря упрощенной топологии и отсутствию ряда компонентов, имеют более низкую стоимость по сравнению с такими же по мощности и температурному классу модулями серии VI-200. Суммарная выходная мощность источника питания, построенного на базе конвертеров первого поколения, работающих в режиме Power Sharing, может достигать до 2 кВт. При этом допустимый разброс выходных токов модулей не превышает  $\pm 5\%$  от среднего выходного тока. Такое равномерное распределение токов между модулями достигается благодаря описанному выше методу преобразования, при котором одинаковые модули, работающие на одной частоте, конвертируют одну и ту же мощность.

При всем многообразии параметров модули первого поколения имеют только два стандартных типоразмера корпуса: «кирпич» (Full Brick) —  $116,9 \times 61 \times 12,7$  мм и «полкирпича» (Half Brick) —  $57,9 \times 61 \times 12,7$  мм (рис. 1). В корпусе Full Brick выпускаются модули серий VI-200/VE-200, VI-B00/VE-B00 и BAT-MOD, в корпусе Half Brick — модули семейств VI-J00 и VE-J00. «Кирпич» весит в среднем около 200 г, «полкирпича» — около 100 г.

Полупроводниковые и пассивные компоненты, из которых собран конвертер, смонтированы на печатной плате, которая установлена на металлическом теплоотводящем основании. Плата изолирована от основания и закрыта сверху пластмассовой крышкой. Все свободное пространство под крышкой заполнено специальным компаундом, который служит для защиты компонентов от воздействия окружающей среды и равномерного распределения тепла внутри модуля. Такая конструкция модуля обеспечивает низкое тепловое сопротивление между компонентами модуля и окружающей средой и дает возможность получить высокую плотность конвертируемой мощности — до  $3000 \text{ Вт/дм}^3$  при температуре корпуса до  $100^\circ\text{C}$ . Кроме того, эта конструкция имеет очень высокую устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам, благодаря чему модули Vicor успешно применяются в самых ответственных приложениях.

## Система проектирования PowerBench

В помощь разработчикам источников питания электронной аппаратуры компания Vicor предлагает on-line систему проектирования PowerBench, с помощью которой разработчик может выбрать DC/DC-конвертер, рассчитать параметры внешних компонентов, подобрать дополнительные аксессуары, например радиатор, или сконфигурировать свой собственный источник питания, соответствующий требованиям технического задания. В системе также имеются справочные материалы, с которыми рекомендуется ознакомиться разработчику, чтобы избежать возможных ошибок в процессе проектирования: технические описания, замечания по применению, руководства пользователя и др.

На рис. 4 приведен фрагмент рабочего экрана конфигуратора «VI-200/J00/MI-200/J00 DC-DC Converters Configurator» [3], который помогает разработчику источника питания правильно выбрать артикул DC/DC-конвертера семейства VI, VE или military-семейства MI. Для того чтобы получить нужный артикул, разработчику необходимо ввести требования технического задания, выбрав подходящие значения параметров из ряда значений, рекомендуемых системой, и кликнуть по надписи «Get Part Number, Price & Delivery». В ответ на эти действия система выведет на экран следующую информацию: размер модуля, базовый артикул, ориентировочные цены и сроки изготовления образцов и серийных партий изделий. Если разработчику нужен модуль серии Booster, то в базовом артикуле следует заменить VI-2 на VI-B, а если требуется специальное испол-

**VI-200/J00 / MI-200/J00 DC-DC Converters Configurator**

Enter your requirements below:

Input Voltage (10-40V):

Output Voltage (1-65 Vdc):

Output Power (25-200W):

Operating Temperature:

Is Rail 5 required?  Yes  No

[GET PART NUMBER, PRICE & DELIVERY](#)

Data Sheets: [VI-200 / VE-200 Family Data Sheet](#) [MI-200 Family Data Sheet](#)  
[VAJ00 / VT-00 Family Data Sheet](#) [MI-100 Family Data Sheet](#)  
[Design Guide & Applications Manual](#)

Full-brick VI-200 DC-DC Converter Module	Half-brick VI-100 DC-DC Converter Module
 <p>Part Size: 4.6 x 2.4 x 0.5 in (118.8 x 61.0 x 12.7 mm) Output Power: 75 + 200 W</p>	 <p>Part Size: 2.28 x 2.4 x 0.5 in (57.9 x 61.0 x 12.7 mm) Output Power: 35 + 100 W</p>

Packaging Options: (Adjustments to the part #)

**Booster** (instead of a Driver module (VI-200))

**LinkMod** Add "-5" to the end of the part number

**QualMod** Add "-01" to the end of the part number

**LinkMod** Add one of the following to the end of the part number:  
 Add "-1": For longitudinal, 0.25 inch flat  
 Add "-2": For longitudinal, 0.5 inch flat  
 Add "-3": For transverse, 0.25 inch flat  
 Add "-4": For transverse, 0.5 inch flat

Рис. 4. Фрагмент рабочего экрана системы проектирования PowerBench

нение корпуса — без фланцев (SlimMod), с дополнительным радиатором (FinMod) или со специальной монтажной панелью «под винт» (BusMod), то к базовому артикулу следует добавить соответствующий суффикс [2, 3].

Хочется обратить внимание разработчиков на то, что модули, сконфигурированные с помощью системы PowerBench, как и любую другую продукцию компании Vicor, можно заказать в любом количе-

стве — от одной штуки, причем те сроки изготовления, которые дает система PowerBench, реально выполняются компанией Vicor благодаря полной автоматизации и высочайшему уровню организации производства.

## Заключение

Многие российские разработчики систем электропитания давно и по достоинству оценили электронные компоненты Vicor, которые применяются в аэрокосмической области, на транспорте, в телекоммуникационном оборудовании, медицинской аппаратуре, промышленной электронике, измерительных системах, компьютерах и военной технике. Авторы будут считать, что их цель достигнута, если эта статья вызовет интерес новых инженеров к продукции компании Vicor.

Рассмотренные в статье DC/DC-конвертеры осуществляют преобразование уровня входного напряжения, гальваническое разделение входных и выходных цепей и стабилизацию выходного напряжения. Эти устройства отличаются огромным количеством комбинаций входных и выходных электрических параметров, широким рабочим температурным диапазоном, высокой плотностью конвертируемой мощности и очень надежной конструкцией.

В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о других группах электронных компонентов, выпускаемых компанией Vicor.

## Литература

1. Белотуров В. DC/DC-конвертеры компании Vicor // Электронные компоненты. 2005. № 6.
2. Справочно-информационный портал компании Vicor — [www.vicorpower.com](http://www.vicorpower.com)
3. VI-200/J00/MI-200/J00 DC-DC Converters Configurator — <http://vicorwebapps.vicorpower.com/upc/FirstGenDCDCInit>