

# Распределенные системы электропитания на базе модулей IBC компании Vicor

Владимир БЕЛОТУРОВ

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

Мы продолжаем цикл публикаций, посвященных построению вторичных источников электропитания на базе модулей американской компании Vicor. В шестой статье цикла рассмотрены модули семейства IBC, предназначенные для построения распределенных систем питания с архитектурой IBA. Новейшие модули этого семейства имеют выходную мощность до 850 Вт и выходной ток до 80 А при габаритных размерах всего 58,4×36,8×10,6 мм.

## Введение

В предыдущих пяти статьях, посвященных продукции американской компании Vicor, мы рассказали о DC/DC-конвертерах первого [1] и второго [2] поколений и о некоторых входных модулях, которые служат для сопряжения DC/DC-конвертеров с первичной питающей сетью переменного [3, 4] или постоянного [5] тока. Все эти модули Vicor предназначены для построения импульсных источников питания (рис. 1), в которых DC/DC-конвертер выполняет три функции: гальваническое разделение входных и выходных электрических цепей, преобразование уровня входного напряжения и стабилизацию напряжения на нагрузке  $R_L$ .

В DC/DC-конвертерах Vicor используются квазирезонансный метод импульсного преобразования постоянного напряжения и частотно-импульсный метод стабилизации выходного напряжения [1]. Конвертеры первого поколения, к которому относятся семейства VI-2xx и VI-Jxx, имеют номинальную выходную мощность от 25 до 200 Вт, входное напряжение от 10 до 400 В и номинальное выходное напряжение от 2 до 95 В. Номинальная выходная мощность DC/DC-конвертеров второго поколения, к которому относятся семейства Maxi, Mini и Micro, лежит в пределах от 50 до 600 Вт, входное напряжение от 18 до 425 В, а номинальное выходное напряжение — от 2 до 54 В. При таком многообразии электрических параметров модули DC/DC-конвертеров Vicor имеют только три стандартных типоразмера:

- Full Brick («кирпич»);
- Half Brick («полкирпича»);
- Quarter Brick («четверть кирпича»).

Конвертеры семейств VI-2xx и Maxi выпускаются в корпусе Full Brick, конвертеры семейств VI-Jxx и Mini — в корпусе Half Brick,

а конвертеры семейства Micro — в миниатюрном корпусе Quarter Brick с габаритными размерами 57,9×36,8×12,7 мм. Для увеличения выходной мощности или резервирования системы питания допускается параллельная работа нескольких однотипных модулей на общую нагрузку в режиме Power Sharing.

Входные AC/DC-модули AIM (Alternating Input Module) и FARM (Filter/Autoranging Rectifier Module) служат для выпрямления входного напряжения переменного тока, фильтрации электромагнитных помех, защиты источника питания от перенапряжений при переходных процессах в питающей сети и ограничения пускового тока при включении источника питания. Модуль FARM также выполняет автоматическую адаптацию источника питания к напряжению входной сети. Благодаря адаптивному

удвоению входного напряжения, модуль FARM может работать от сети с действующим значением напряжения от 90 до 132 В или от 180 до 264 В. Допустимая частота входного напряжения лежит в пределах от 47 до 440 Гц для модулей AIM и от 47 до 880 Гц для модулей FARM с температурным классом «Т» или «Н». Таким образом, AC/DC источник питания с входным модулем AIM или FARM (рис. 1а) может работать как в американской, так и в европейской или японской бытовой сети переменного тока [3].

Модули HAM (Harmonic Attenuator Module) — это универсальные входные AC/DC-модули, в которых применяется активная коррекция коэффициента мощности [4]. Эти модули, предназначенные для сопряжения DC/DC-конвертеров Vicor с сетью переменного тока с частотой от 47 до 63 Гц

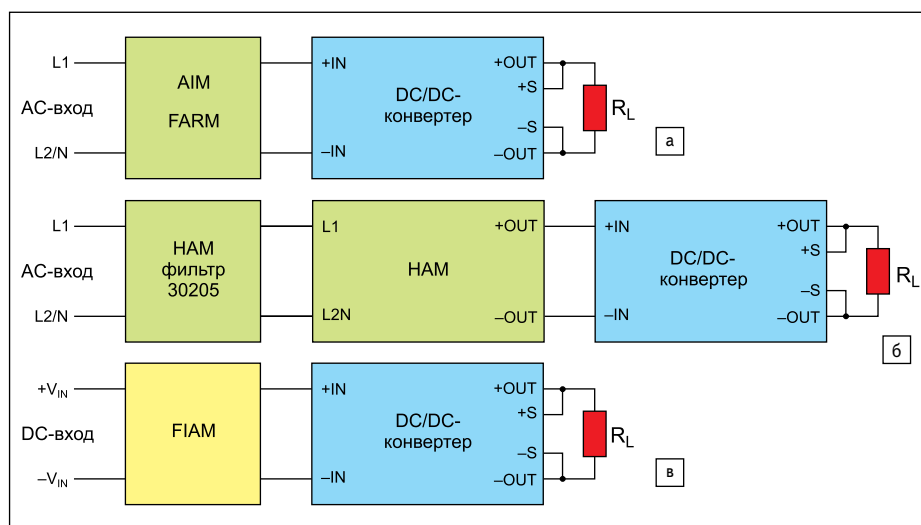


Рис. 1. Импульсные стабилизированные источники питания на базе модулей Vicor:

- а) AC/DC-преобразователь с коэффициентом мощности 0,6;  
б) AC/DC-преобразователь с коэффициентом мощности 0,99;  
в) DC/DC-преобразователь с защитой от входных помех

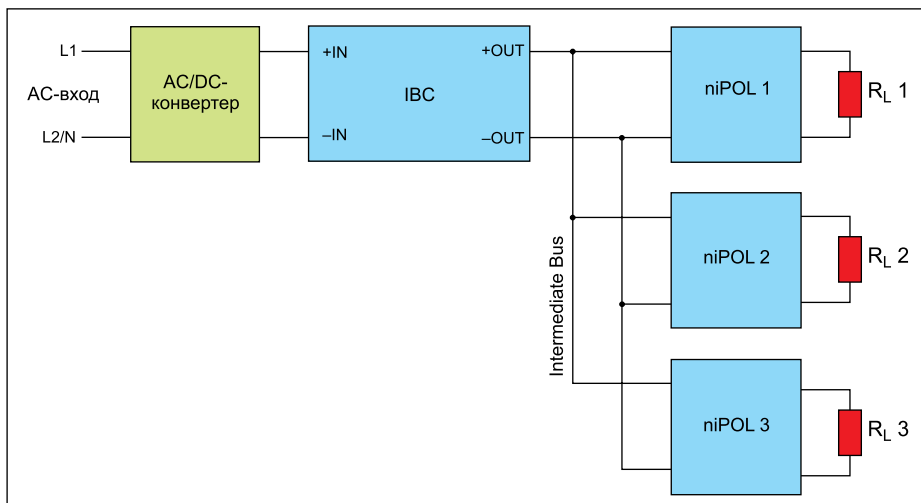


Рис. 2. Распределенная система электропитания с архитектурой IBA

Модули серий IB048, IB050 и IB054 с одной и той же номинальной выходной мощностью отличаются друг от друга только входными электрическими параметрами и электрической прочностью изоляции между входом и выходом (табл. 2).

По своему принципу действия модули IBC отличаются от DC/DC-конвертеров Vicor первого и второго поколений, рассмотренных в статьях [1, 2]. Модули IBC построены на базе запатентованной компанией Vicor топологии SAC (Sine Amplitude Converter). Такой же метод преобразования используется в модулях VTM и BCM, о которых подробно написано в статье [6]. По этой причине мы не будем останавливаться на функциональной схеме модуля IBC и принципах его работы, а только еще раз назовем те технические характеристики, которые важны для реализации архитектуры IBA:

- очень низкие потери энергии в процессе преобразования;
- высокая плотность конвертируемой мощности;
- быстрый отклик на изменение тока нагрузки;
- низкий выходной импеданс;
- высокая частота преобразования, не зависящая от тока нагрузки;
- низкие пульсации выходного напряжения.

Далее мы сравним один из модулей IBC компании Vicor с аналогичными изделиями других производителей, чтобы подтвердить вышесказанное числовыми данными.

Модули IBC имеют низкопрофильную конструкцию (рис. 3). Высота профиля (табл. 3) зависит от двух других габаритных размеров и варианта исполнения модуля: Open Frame (рис. 3а) или Base Plate (рис. 3б).

и действующим значением напряжения от 85 до 264 В, позволяют получить коэффициент мощности, превышающий 0,99 при изменении нагрузки в широких пределах. Для достижения такого коэффициента мощности модуль NAM следует использовать в паре с сетевым фильтром (Vicor Part Number 30205, рис. 1б), в состав которого входят пассивные компоненты, необходимые для правильного функционирования модуля NAM [4].

Входные фильтры-аттенюаторы семейства FIAM (Filter Input Attenuator Module, рис. 1в) применяются для подавления кондуктивных электромагнитных помех, а также для защиты DC/DC-конвертеров Vicor от входных импульсных перенапряжений и ограничения пусковых токов. Модули FIAM позволяют с минимальными затратами создать источник питания, соответствующий высоким требованиям по электромагнитной совместимости и устойчивости к входным импульсным возмущениям миллисекундной длительности [5].

В этой статье мы рассмотрим модули Vicor, которые предназначены для построения распределенных систем электропитания с архитектурой IBA (Intermediate Bus Architecture). Главная особенность такой архитектуры (рис. 2) — наличие нестабилизированной промежуточной шины (Intermediate Bus), по которой электрическая энергия передается к удаленным нагрузкам. Промежуточный шинный преобразователь (Intermediate Bus Converter, IBC) служит только для гальванической развязки промежуточной шины от входных электрических цепей системы электропитания и преобразования уровня входного напряжения (чаще всего до 9,6 или 12 В). Функцию стабилизации выходных напряжений выполняют неизолированные DC/DC-преобразователи класса POL (non-isolated Point of Load, niPOL), расположенные в непосредственной близости от подключенных к ним нагрузок  $R_L$ .

### Общая характеристика модулей семейства IBC

Шинные преобразователи семейства IBC — это высокоэффективные DC/DC-конвертеры с гальваническим разделением входных и выходных цепей и фиксированным коэффициентом преобразования. Коэффициент полезного действия (КПД) этих преобразователей достигает 98,2%. Коэффициент преобразования равен 1/4 или 1/5, что позволяет при номинальном входном напряжении 48 В получить на выходе модуля напряжение 12 или 9,6 В соответственно. Номинальная выходная мощность модулей IBC лежит в пределах от 300 до 850 Вт (табл. 1), а максимальный выходной ток самого мощного представителя этого семейства равен 80 А.

Таблица 1. Состав семейства IBC

Максимальная выходная мощность, Вт	Коэффициент преобразования	
	1/4 (V <sub>вых</sub> = 12 В при V <sub>вх</sub> = 48 В)	1/5 (V <sub>вых</sub> = 9,6 В при V <sub>вх</sub> = 48 В)
300 (1/8 Brick)	IB048E120T32xx-00 IB050E120T32xx-00 IB054E120T32xx-00	IB048E096T40xx-00 IB050E096T40xx-00 IB054E096T40xx-00
500 (1/8 Brick)	IB048E120T40xx-00 IB050E120T40xx-00 IB054E120T40xx-00	IB048E096T48xx-00 IB050E096T48xx-00 IB054E096T48xx-00
650 (1/4 Brick)	IB048Q120T53xx-xx IB050Q120T53xx-xx IB054Q120T53xx-xx	IB048Q096T64xx-xx IB050Q096T64xx-xx IB054Q096T64xx-xx
750 (1/4 Brick)		IB048Q096T70xx-xx IB050Q096T70xx-xx IB054Q096T70xx-xx
850 (1/4 Brick)		IB050Q096T80xx-xx

Таблица 2. Электрические параметры модулей IBC

Параметр	Серия модулей		
	IB048	IB050	IB054
Входное напряжение, В	38–55	36–60	36–60
Максимальное допустимое рабочее входное напряжение (менее 100 мс), В	н/н	н/н	75
Электрическая прочность изоляции между входом и выходом (1 мин.), В	1500	2250	2250

**Примечание:**  
н/н — параметр не нормируется производителем.

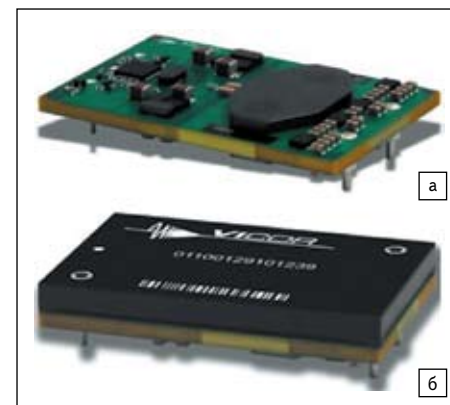


Рис. 3. Модуль IBC: а) исполнение Open Frame, б) исполнение Base Plate

Таблица 3. Габаритные размеры модулей IBC

Вариант исполнения	Длина, мм	Ширина, мм	Высота профиля (без учета длины выводов), мм
1/8 Brick/ Open Frame	58,4	22,9	9,5
1/4 Brick/ Open Frame	58,4	36,8	10,6
1/4 Brick/ Base Plate	58,4	36,8	13,8

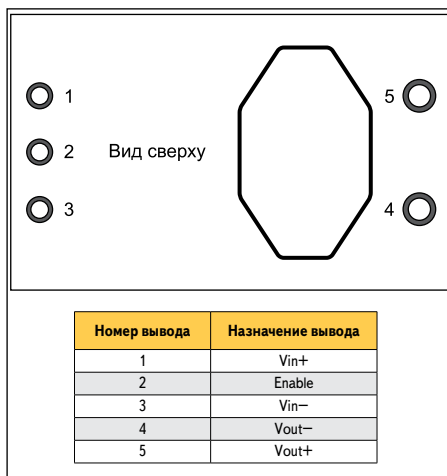


Рис. 4. Схема расположения выводов модуля IBC

Для отвода тепла, рассеиваемого модулем в исполнении Open Frame, применяется естественное или принудительное конвективное охлаждение. Версия Base Plate предназначена для использования с дополнительным внешним устройством кондуктивного охлаждения. Схема расположения электрических выводов (рис. 4) и посадочные размеры модулей соответствуют промышленным стандартам 1/8 Brick или 1/4 Brick. В исполнении Base Plate сейчас выпускаются только модули формата 1/4 Brick.

### Модули серии IB050Q096T80

В марте 2012 года компания Vicor объявила о выпуске новых шинных преобразователей IB050Q096T80 с максимальной выходной мощностью 850 Вт, выходным током до 80 А и КПД до 98,1% [7]. Новые модули семейства IBC имеют коэффициент преобразования 1/5, цоколевку 1/4 Brick и два варианта исполнения: Open Frame и Base Plate. Благодаря высокой эффективности преобразования, модули могут работать с полной нагрузкой при температуре окружающей среды 55 °С и скорости обдува 600 LFM (3 м/с).

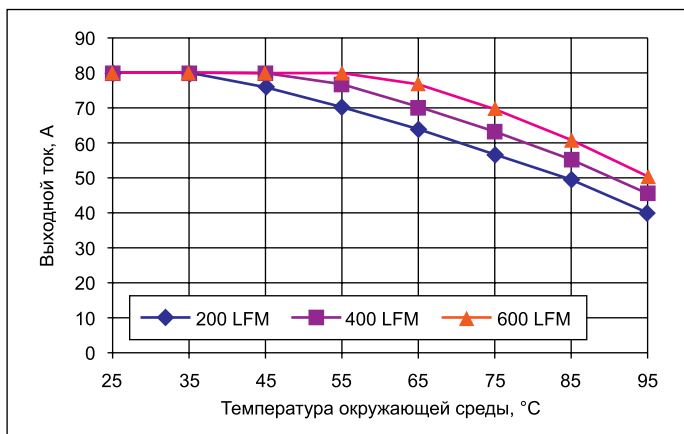


Рис. 5. Зависимость максимального выходного тока модуля серии IB050Q096T80 от температуры окружающей среды и скорости обдува в поперечном направлении

Параметры новых модулей компании Vicor приведены в таблице 4, где для сравнения также указаны параметры аналогичных преобразователей BQ55090QEx60, которые выпускает американская компания SynQor [8]. Выбор такого объекта для сравнения обусловлен тем, что SynQor входит в группу ведущих мировых производителей преобразователей напряжения и является одним из главных конкурентов компании Vicor в области производства шинных преобразователей, предназначенных для построения систем электропитания с архитектурой IBA.

Сравнение характеристик шинных преобразователей, которые выпускают компании Vicor и SynQor, позволяет сделать следующие выводы. При приблизительно одинаковых с модулями BQ55090QEx60 габаритных размерах модули IB050Q096T80 имеют более высокую выходную мощность, то есть технологию преобразования электрической энергии, используемая компанией Vicor, позволяет получить более высокую плотность конвертируемой мощности. Модули Vicor также имеют более высокий КПД, более высокую (в восемь раз) частоту преобразования и более низкий уровень пульсаций выходного напряжения. Только по двум параметрам, приведенным в таблице 4, модули Vicor незначительно уступают модулям SynQor: по максимальной емкости нагрузки (на 10%) и высоте профиля модуля в исполнении Base Plate (на 0,67 мм).

### Нагрузочная способность модуля IBC

На этапе выбора модуля IBC для построения распределенной системы питания по схеме, приведенной на рис. 2, необходимо учитывать ряд обстоятельств, от которых зависит реальная мощность, которую модуль IBC может отдать устройствам, подключенным к промежуточной шине.

Во-первых, модуль IBC является нестабилизированным преобразователем напряжения с постоянным коэффициентом преоб-

Таблица 4. Параметры и эксплуатационные характеристики модулей IB050Q096T80 и BQ55090QEx60

Параметр	IB050Q096T80 (Vicor)	BQ55090QEx60 (SynQor)
Входное напряжение, В	36–60	35–55
Коэффициент преобразования	1/5	
Электрическая прочность изоляции между входом и выходом, В	2250	2000
Максимальная выходная мощность, Вт	850	660
Максимальный выходной ток, А	80	60
КПД: • при максимальной нагрузке, % • при нагрузке, равной 50% от максимальной, %	97,4 98,1	96,6 96,8
Частота преобразования, кГц	1000	125
Максимальная емкость нагрузки, мкФ	4500	5000
Размах пульсаций выходного напряжения (тип.), мВ	60	90
Эффективное выходное сопротивление, мОм	2,4	н/н
Варианты исполнения	Open Frame, Base Plate	
Габаритные размеры (длина, ширина)	Quarter Brick	
Высота профиля: • Open Frame, мм • Base Plate, мм	10,6 13,8	11,86 13,13
Минимальная температура эксплуатации, °С	–40	
Минимальная температура хранения, °С	–55	

#### Примечание:

н/н — параметр не нормируется производителем.

разования, и уравнение преобразования модуля имеет следующий вид:

$$V_{out} = K \times V_{in} \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент преобразования;  $V_{in}$  — входное напряжение, В.

Во-вторых, следует помнить о том, что у модулей семейства IBC нормируются и максимальная выходная мощность, и максимальный выходной ток, и ни один из этих параметров не должен быть превышен в процессе эксплуатации, то есть всегда должны соблюдаться следующие условия:

$$P_{out}/V_{out} \leq I_{max} \quad (2)$$

$$P_{out} \leq P_{max} \quad (3)$$

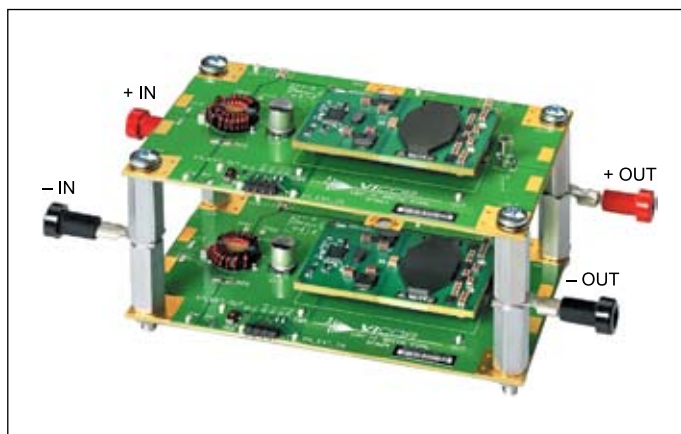


Рис. 6. Параллельное соединение двух отладочных плат IBC Customer Evaluation Board

где  $P_{out}$  — выходная мощность модуля IBC, Вт;  $P_{max}$  — максимальная выходная мощность, Вт;  $V_{out}$  — выходное напряжение, В;  $I_{max}$  — максимальный выходной ток, А.

В-третьих, максимальный выходной ток модуля зависит от температуры окружающей среды и условий охлаждения. Например, у модуля серии IB050Q096T80 при обдуве со скоростью 200 LFM (1 м/с) максимальный выходной ток равен 80 А только при температуре окружающей среды до 35 °С (рис. 5). При температуре окружающей среды 95 °С этот параметр снижается в два раза. Чем выше скорость обдува, тем шире температурный диапазон, в котором модуль может работать без снижения своих предельных характеристик.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы. В том случае, когда входное напряжение модуля серии IB050Q096T80 изменяется от 55 до 60 В, нагрузочная способность модуля равна 850 Вт. Для более широких интервалов входных напряжений нагрузочная способность модуля будет меньше его номинальной мощности. Например, при изменении входного напряжения от 45 до 60 В модуль сможет конвертировать не более 720 Вт.

Если мощности одного модуля IBC недостаточно для питания всей системы, а также для резервирования системы питания, одноименные выводы нескольких (до трех) модулей допускается соединять между собой (рис. 6). При таком соединении модули будут работать на общую промежуточную шину в режиме Current Sharing, а выходные токи отдельных модулей будут отличаться друг от друга не более чем на 10%.

Завершая наше знакомство с модулями семейства IBC, мы хотим обратить внимание разработчиков электронной аппаратуры еще на одну особенность этих преобразователей. Проектируя систему питания, следует обеспечить такой порядок подключения нагрузок к промежуточной шине, чтобы при запуске модуля IBC его суммарная нагрузка не превышала 15% от максимально допустимой нагрузки [7].

### Заключение

В отличие от традиционной архитектуры DPA (Distributed Power Architecture), в которой каждое из выходных напряжений источника питания формируется своим собственным DC/DC-конвертером, в архитектуре IBA используется разделение функций DC/DC-конвертера между двумя устройствами. Одно из них — это общий для всей системы питания конвертер IBC, который является изолированным, но не стабилизированным преобразователем входного напряжения в пониженное промежуточное напряжение, а другое — неизоллированный стабилизатор напряжения niPOL, работающий на конкретную нагрузку. Во многих приложениях такой принцип построения позволяет сократить стоимость и физические размеры системы питания, что достигается благодаря относительно невысокой стоимости модулей IBC по сравнению с полнофункциональными DC/DC-конвертерами такой же мощности и температурного класса, а также благодаря очень низкой стоимо-

сти и малогабаритности современных интегральных niPOL-стабилизаторов. К таким приложениям относятся, например, вычислительные, коммуникационные и измерительные сети.

В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о других модулях компании Vicor, предназначенных для построения высококачественных импульсных источников питания. ■

### 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., Кривченко И. Модули V-I Chip корпорации Vicor — новый взгляд на конструирование систем вторичного электропитания. Ч. 1 // Компоненты и технологии. 2009. № 3.
7. [www.vicorpower.com](http://www.vicorpower.com)
8. [www.synqor.com](http://www.synqor.com)