

# Решения Vicor

## для построения AC/DC источников питания для жестких условий эксплуатации

**В статье рассмотрены основные типы модулей и законченные решения, которые предлагает фирма Vicor для конструирования AC/DC источников питания (ИП) средней мощности. Особое внимание уделено ИП для жестких условий эксплуатации.**

**Владимир Белотуров**

vib@efo.ru

### Введение

Если при выборе AC/DC источников питания класса Commercial для разработчика основными задачами являются поиск фирмы-производителя и сравнение цен на ИП, то подобрать ИП исполнения Industrial или Military с рабочей температурой  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  для жестких условий эксплуатации достаточно сложно. Основное количество AC/DC ИП мощностью более 100 Вт, которые выпускаются азиатскими, европейскими и американскими компаниями, изготавливается в открытом исполнении и, как правило, рассчитано на температуру эксплуатации выше  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это связано с тем, что для низких рабочих температур необходимо применять более сложные технологические решения. Кроме того, для ИП отрицательного температурного диапазона действуют другие стандарты по электробезопасности. И, наконец, ИП для жестких условий не являются массовой продукцией, поэтому их разработка и производство для большинства фирм-производителей экономически невыгодны.

Фирма Vicor ([www.vicorpower.com](http://www.vicorpower.com)) традиционно специализируется на разработке и поставке компонентов для построения высоконадежных ИП. Следуя идеологии конструирования ИП из отдельных функционально законченных узлов (модулей), компания Vicor предлагает решения для всех температурных диапазонов, включая Military, с мощностью от десятков ватт до нескольких киловатт. Модули производятся серийно, поэтому их цена достаточно привлекательна для изделий такого класса. По совокупности параметров «плотность мощности», «надежность», «температурный диапазон» решения Vicor не имеют аналогов на рынке ИП.

### Обзор продукции

Большинство ИП состоит из одного или нескольких узлов, которые выполняют определенные функции. К ним можно отнести:

- Выпрямители сетевого переменного напряжения. В таком качестве может выступать диодный вы-

прямитель или более сложное устройство — выпрямитель + корректор коэффициента мощности (ККМ).

- Фильтры для обеспечения норм ЭМС (электромагнитной совместимости), подавляющие помехи, которые неизбежно возникают при работе DC/DC-преобразователей и влияют на нормальное функционирование расположенных поблизости устройств и приборов.
- Элементы защиты от сетевых импульсов перенапряжений и коммутационных помех.
- DC/DC-преобразователи, являющиеся ключевыми элементами ИП и выполняющие три основные функции: преобразование уровня входного напряжения, гальваническую развязку (вход — выход) и стабилизацию выходного напряжения.

Для применения в AC/DC ИП фирма Vicor выпускает серии DC/DC-конвертеров VI-6xxx/VI-7xxx первого поколения с номинальными входными напряжениями 300 и 150/300 (100–375) В постоянного тока соответственно, а также V300/V375 второго поколения с номинальными входными напряжениями 300 и 375 В постоянного тока. Выходные напряжения можно выбирать от 1 до 95 В, мощность конвертеров — от 25 до 600 Вт на один корпус. DC/DC-конвертеры Vicor обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с продукцией других производителей. Главными из них являются частотно-импульсный метод преобразования мощности и переключение силовых элементов при нулевом значении тока (ZCS — Zero Current Switch) или при нулевом значении напряжения (ZVS — Zero Voltage Switch). Такое техническое решение позволяет поднять частоту переключения до 1,5 МГц, уменьшить массо-габаритные характеристики модулей, снизить уровень шумов и помех по сравнению с ШИМ-преобразователями.

Практически все модули выпускаются компаниями Vicor в трех исполнениях в зависимости от условий эксплуатации: **C** — Commercial (температура использования от  $-25$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); **I, H** — Industrial (от  $-40$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); **M** — Military (от  $-55$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Размеры модулей:  $117 \times 56 \times 12,7$  мм — «кирпич»;

58×56×12,7 мм — «полкирпича»; 56×37×12,7 мм — «четверть кирпича» (с возможными опциями для выводов и крепежных отверстий). Компоненты модулей залиты специальным силиконовым компаундом, который выполняет сразу несколько функций: защиту от внешней среды, жесткое механическое крепление элементов, отвод тепла. Именно сложность подбора компаунда, удовлетворяющего всем предъявляемым требованиям, а также технология его заливки в значительной мере определяют различие в стоимости модулей различного исполнения. Модули Vicor можно монтировать на печатную плату или на основание — радиатор, с которого осуществляется отвод избыточного тепла.

### Входные модули

Ниже рассматриваются модули, осуществляющие выпрямление и фильтрацию сетевого переменного напряжения.

**ARM** (Auto ranging Rectifier Module) содержит микроконтроллер, который постоянно отслеживает уровень напряжения на входе и в соответствии с ним переключает выпрямительные диоды со схемы удвоителя напряжения при напряжении сети ~90–132 В на схему мостового выпрямителя при напряжении сети ~180–264 В. Функциональная схема модуля ARM приведена на рис. 1. Конденсаторы фильтра C1, C2 (рис. 2) соединены последовательно и расположены между выводами

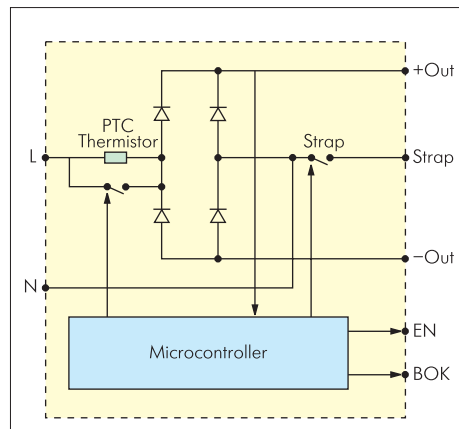


Рис. 1. Функциональная схема ARM

+Uвых и -Uвых со средней точкой, подключенной к выводу St(strap). Такое техническое решение позволяет использовать конденсаторы с меньшим рабочим напряжением (200 В) и благодаря этому уменьшить высоту сборки модуля. Емкость конденсаторов выбирается исходя из требуемой мощности преобразователя, допустимого уровня пульсаций выходного напряжения и времени поддержки выходного напряжения (hold-up time), обычно составляющего 5–20 мс. Таким образом, для сетей ~115 В и ~220 В на выходе модуля формируется напряжение постоянного тока 200–400 В, которое находится в рабочем диапазоне DC/DC-конвертеров серий VI-26х, VI-27х, V300, V375.

На выводе En (Enable) модуля формирует сигнал запрета включения конвертеров до момента времени, когда нарастающее напряжение на конденсаторах превысит уровень срабатывания защиты DC/DC-конвертера по низкому входному напряжению.

Ограничитель пускового тока (ограничитель тока заряда конденсаторов) представляет собой коммутируемый терморезистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления, который подключается последовательно с конденсатором и шунтируется при достижении напряжения на выходе 235 В. Этот резистор также подключается (ключ находится в разомкнутом состоянии) в случае падения напряжения на выходе до 180 В при перегрузке или неисправности в системе.

С вывода BOK (Bus OK) снимается информация о состоянии модуля (вкл./выкл.).

Размеры модулей составляют «четверть кирпича».

Модуль **FARM** (Filter Auto Ranging Module) является дополнением к модулю ARM и содержит фильтр электромагнитных помех для удовлетворения требованиям стандарта EN55022A по электромагнитной совместимости. В состав этого фильтра входят индуктивный фильтр синфазных помех, два Y-конденсатора (Line — Ground) и два X-конденсатора (Line — Line) (рис. 3).

Элементы ARM и FARM электрически изолированы от основания с помощью трансфор-

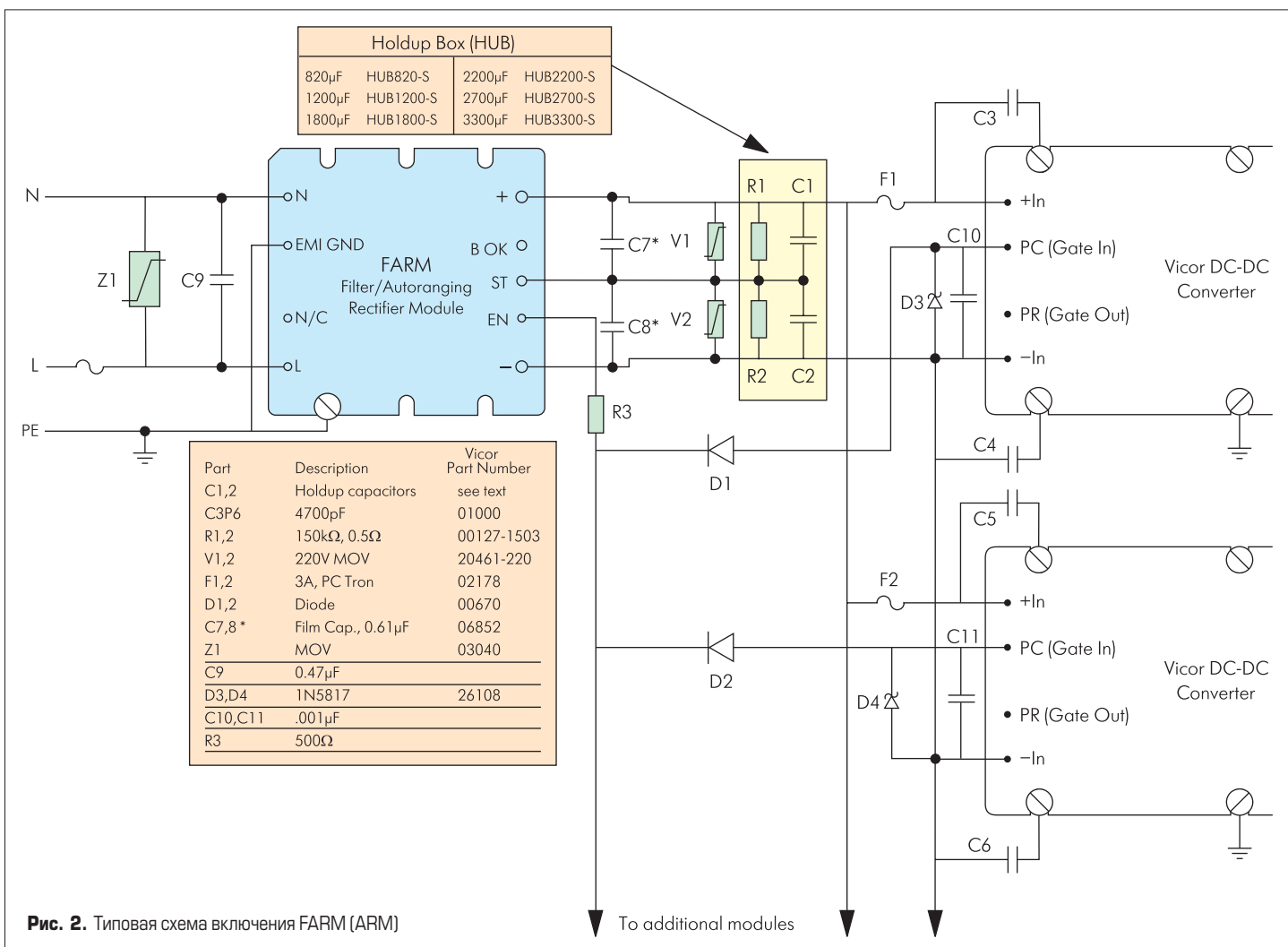


Рис. 2. Типовая схема включения FARM (ARM)

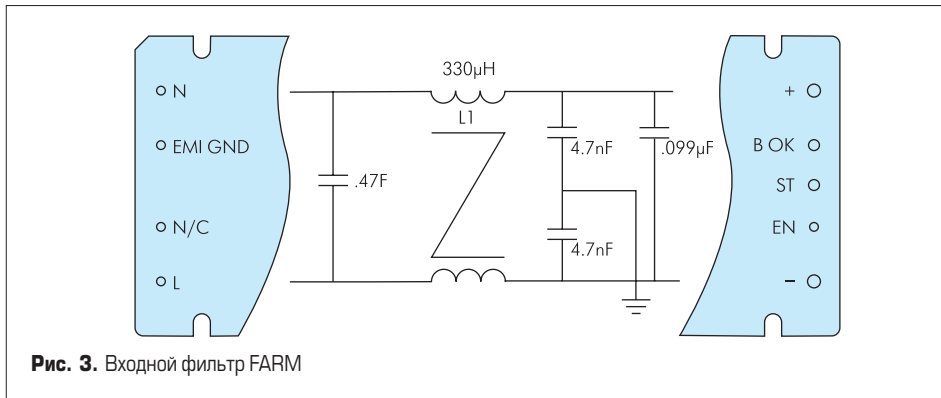


Рис. 3. Входной фильтр FARM

матора, вход и выход гальванически связаны. Это обстоятельство необходимо учитывать для обеспечения безопасности и при подключении измерительных приборов.

Модули AIM (Alternative Input Module) выполняют те же функции, что и FARM, но предназначены для применения совместно с DC/DC-конвертерами Vicor первого поколения с мощностью до 250 Вт.

Модули группы ККМ имеют у фирмы Vicor обозначение HAM (Harmonic Attenuator Module), что можно перевести как «подавитель гармоник» тока. Такое толкование термина ККМ связано с тем, что в соответствующих нормативных документах для импульсных ИП нормируется не разность фаз между напряжением и током, а допускаемые наличие и величина гармонических составляющих тока.

Необходимость применения ККМ для источников питания с мощностью свыше 200 Вт определяется соответствующими нормативами по электромагнитной совместимости электронных устройств. В обычных сетевых преобразователях со сглаживающим конденсатором ток из сети потребляется короткими импульсами. Длительность этих импульсов меньше длительности сетевого полупериода, поэтому в спектре появляются гармоники, кратные основной частоте. При этом вклад в передачу мощности вносит только основная гармоника, а остальные составляющие циркулируют в контуре, не совершая полезной работы. Именно амплитуда этих паразитных гармоник и регламентируется соответствующими нормативами. Наличие гармонических составляющих является причиной значительных ошибок при измерении мощности, потребляемой из сети, с помощью обычных измерительных приборов. Модули группы ККМ обеспечивают форму тока, близкую к форме синусоиды напряжения питающей сети.

Модуль HAM состоит из мостового выпрямителя, повышающего импульсного стабилизатора, работающего в режиме переключения силового элемента при нуле тока (топология ZCS), схемы управления, активного ограничителя пускового тока и схемы защиты от короткого замыкания. Две последние опции обычно не встречаются в ККМ других производителей. На выходе HAM формируется постоянное напряжение, величина которого составляет 260 В при  $U_{вх}$  85–150 В переменного тока. При значении  $U_{вх}$  150–264 В переменного тока уровень выходного напряжения выше выпрямленного входного на 46 В, что достаточно для обеспечения КМ 0,95. Специаль-

но для использования совместно с модулями HAM фирма Vicor поставляет DC/DC-конвертеры серии V375 с входным напряжением от 250 до 425 В. На вход модулей HAM можно подавать и постоянное напряжение в диапазоне 85–380 В. Максимальная выходная мощность HAM составляет 675 Вт, поэтому при использовании комбинации «HAM + V375 (600 Вт) + входной сетевой фильтр» можно получить мощный малогабаритный AC/DC источник питания, состоящий из двух модулей и удовлетворяющий всем нормам по ЭМС.

Для наращивания мощности модули HAM можно включать параллельно. В HAM (как и в DC/DC-конвертерах Vicor) используется частотно-импульсный метод (ЧИМ) управления ключевым элементом с переключением при нуле тока, то есть передаваемая мощность определяется количеством одинаковых по длительности и амплитуде импульсов электрической энергии за единицу времени. При параллельном соединении модулей один из них берет на себя роль ведущего, остальные становятся ведомыми и подстраивают свою частоту преобразования. Такой метод синхронизации обеспечивает равномерное (с погрешностью менее 5%) распределение мощности по модулям. Коэффициент мощности, определяемый как отношение активной мощности к полной мощности, составляет 0,95, рабочие температурные диапазоны — С, I, M. Типоразмер модулей HAM — «кирпич».

Еще одним решением выпрямительного блока является система из двух модулей FARM и пассивного аттенуатора гармоник тока — MiniHam. Как было сказано выше, нормами и стандартами регламентируется наличие и ве-

личина этих гармоник. Модуль MiniHam содержит только пассивные индуктивные элементы в цепи постоянного тока, поэтому, в противоположность активным корректорам мощности, не генерирует паразитные электромагнитные колебания, что существенно упрощает и уменьшает систему фильтров. Этот модуль меньше по размерам («полкирпича») и значительно более надежен за счет отсутствия активных компонентов. Мощность «тандема» FARM + MiniHam составляет до 575 Вт при значении  $U_{вх}$  230 В. По подавлению гармонических составляющих тока модуль удовлетворяет стандарту EN61000-3-2. Характеристики модулей выпрямителей приведены в таблице 1.

Модули IAM (Input Attenuator Modules), FIAM (Filter Input Attenuator Modules), M-FIAM на рабочие напряжения 24, 48, 300 В постоянного тока осуществляют фильтрацию шумов и помех, возникающих при работе DC/DC-конвертеров. Также входные фильтры защищают конвертеры от выбросов и импульсов перенапряжений, присутствующих в питающей сети. Более подробно назначение, принципы функционирования и номенклатура входных фильтров рассмотрены ранее [1].

Таким образом, разработка AC/DC ИП сводится к подбору соответствующих модулей, удовлетворяющих тем или иным требованиям технического задания.

### Сконфигурированные ИП

Компания Vicor серийно производит несколько семейств AC/DC ИП, в которых используется та или иная конфигурация вышеперечисленных модулей. Основные параметры сконфигурированных ИП представлены в таблице 2.

Конфигурация ИП и различные доступные опции (температурный диапазон использования, защита по току и напряжению, пониженные пульсации  $U_{вых}$ , подстройка  $U_{вых}$ .) определяются заказчиком.

Фирма Mission Power Solutions (США), работающая в кооперации с Vicor и использующая модули Vicor в своих изделиях, серийно производит AC/DC ИП серий Badger и Javelin. Эти источники разработаны специально для применения в жестких условиях эксплуатации,

Таблица 1

Параметр	VI-ARM1	VI-ARM2	VI-AIM	FARM1	FARM2
Входное напряжение (47–440 Гц)	90–132 В; 180–264 В автопереключение		85–264 В	90–132 В; 180–264 В автопереключение	
Выходное напряжение	90–370 В		120–370 В	90–370 В	
Мощность на выходе, при входном напряжении:	500 Вт 90–132 Vac 1000 Вт 180–264 Vac	750 Вт 1500 Вт	250 Вт	500 Вт 1000 Вт	750 Вт 1500 Вт
Ограничение пускового тока	30 А (max.)	60 А (max.)	40 А (max.)	30 А (max.)	60 А (max.)
КПД (типовой)	97%				
Подавление электромагнитных помех, удовлетворяет стандарту			EN55022(A)	EN55022(A)	
Защита от выбросов напряжения удовлетворяет стандарту			1,2 кВ/50 мкс – синфазный 2 кВ/50 мкс – дифференц. EN61000-4-5		
Температурный диапазон эксплуатации	С; Т*; Н; М		С; Н; М	С; Т*; Н	
Размеры	«четверть кирпича»		«полкирпича»		

\* Т — эксплуатация от –40 до +100 °С; хранение от –40 до +125 °С.

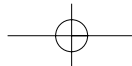


Таблица 2

Параметр	FlatPac	VI Pac	LoPac	MegaPac
Входное напряжение	~ 90–264 Vac 47–500 Гц	~ 90–264 Vac 47–500 Гц	~ 90–264 Vac = = 100–380 Vdc	~ 90–264 Vac 1-ф. (47–500 Гц) ~ 208/240 Vac 3-ф. (4 wire)
Количество выходов (изолированных)	1–3	1–3	1–6	1–20
Выходные напряжения (для каждого выхода)	1–95 В	2–48 В	1–95 В	1–95 В
ККМ			+	+ (опция)
Мощность (общая)	до 600 Вт	до 900 Вт	до 1500 Вт	до 4 кВт
Температурный диапазон	С, I	С, T*	С, I	С

\* T — эксплуатация от –40 до +100 °С; хранение от –40 до +125 °С.

Таблица 3

Параметр	Badger	Javelin 1	Javelin 2	Javelin 3
Входное напряжение	~ 85–254 В при 47–500 Гц; = 85–380 В			
Количество выходов	до 12 изолированных	1		1
Выходное напряжение	из ряда: 2, 3, 3, 5, 12, 15, 24, 48 В (подстройка ±5% Уном.)			
Мощность при 45 °С	до 1500 Вт	600–1800 Вт		1800–4500 Вт
Охлаждение	Встроенный вентилятор	Встроенный вентилятор	Внешний обдув	Встроенный вентилятор

а также в устройствах, к которым предъявляются повышенные требования по устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды — например, в военной технике: на кораблях, самолетах, автомобилях, ракетных установках или в промышленности — на плавучих нефтедобывающих платформах. Основные характеристики источников приведены в таблице 3, внешний вид показан на рис. 4.

Возможности приборов Mission Power Solutions:

- коррекция коэффициента мощности;

- рабочая температура: от –55 до +45 °С (полная мощность), от –55 до +60 °С (1/2 полной мощности);
- функция дистанционного включения и выключения; возможность последовательного включения и выключения каналов;
- защита от воздействия окружающей среды удовлетворяет стандартам MIL-STD-461E, 704E, 810E;
- защита для каждого канала: от перенапряжения по Uвх., превышению выходного тока, перегреву;
- специальное влагостойкое покрытие (опция).



а)



б)

Рис. 4. Источники питания:  
а) Javelin; б) Badger

#### Литература

1. Белогуров В. Модули фильтрации и защиты от перенапряжений фирмы Vicor // Силовая Электроника. 2004. № 2.

