

# Источники питания семейства FlatPAC

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

Мы продолжаем серию публикаций, посвященных продукции корпорации Vicor (США), которая входит в группу мировых лидеров в области производства импульсных преобразователей напряжения в модульном исполнении с выходной мощностью до 600 Вт/модуль. Кроме модулей, предназначенных для построения систем вторичного электропитания, корпорация Vicor выпускает конструктивно законченные DC/DC- и AC/DC-источники питания, конфигурируемые по техническому заданию потребителя. В этой статье приведен обзор AC/DC-источников питания FlatPAC с номинальной выходной мощностью от 50 до 600 Вт и количеством выходов от одного до трех.

## Введение

В предыдущем выпуске журнала «Компоненты и технологии» мы уже рассказывали о DC/DC-источниках питания семейства ComPAC [1], выпускаемых корпорацией Vicor, которая уже более 30 лет занимается разработкой и производством компонентов для построения модульных систем электропитания электронной аппаратуры.

В этой статье мы рассмотрим еще одно семейство источников питания Vicor, конфигурируемых по техническому заданию заказчика, а именно AC/DC-источники питания FlatPAC (рис. 1), построенные на базе DC/DC-конвертеров Vicor семейств VI-200, VI-J00 [2] и BatMod [3].

## Конфигурируемые источники питания FlatPAC

Источники питания семейства FlatPAC по своей конструкции (рис. 2, табл. 1), элементной базе и выходным электрическим параметрам (табл. 2) очень похожи на источники питания ComPAC [1]. Основное функциональное отличие между представителями этих семейств заключается в том, что FlatPAC — это AC/DC-источник питания, в состав которого включен входной AC/DC-конвертер с автоматической подстройкой под напряжение питающей сети. Действующее значение входного напряжения может изменяться в пределах от 90 до 132 или от 180 до 264 В, а частота — от 47 до 63 Гц или от 47 до 440 Гц (табл. 2).

В зависимости от конфигурации (табл. 1) источник питания FlatPAC может иметь от одного до трех выходов с максимальной мощностью от 50 до 600 Вт и один из трех вариантов корпуса, высота которого (34,8 мм) равна высоте источника питания ComPAC

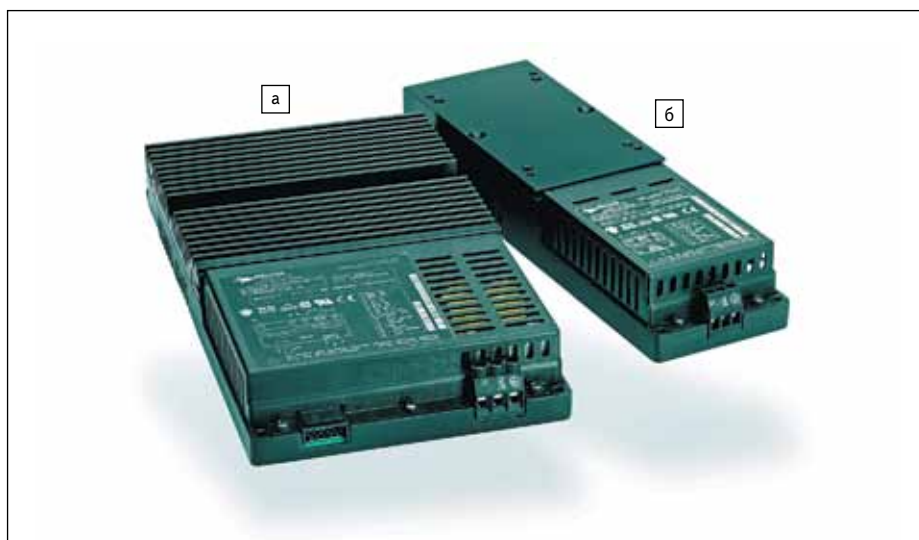


Рис. 1. AC/DC-источники питания семейства FlatPAC: а) с ребристым радиатором (Finned Package); б) с плоским радиатором (Conduction Cooled Package)

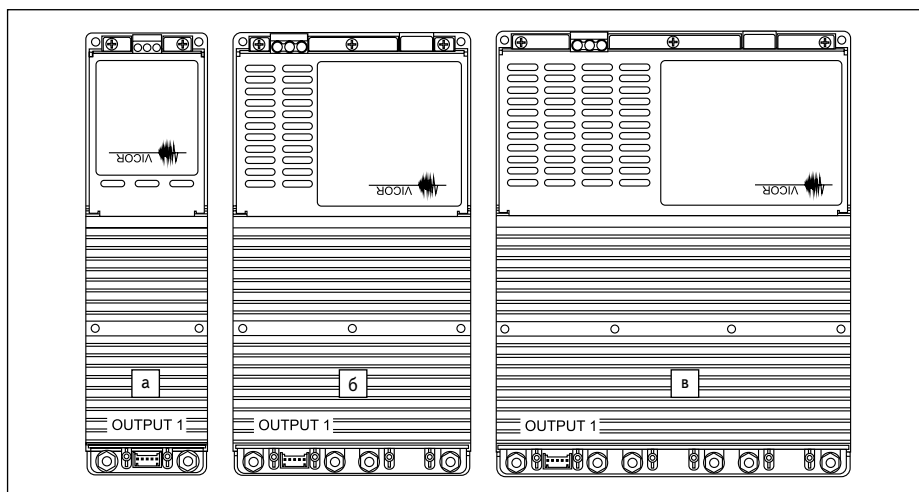


Рис. 2. Внешний вид корпуса (вид сверху): а) 1-UP; б) 2-UP; в) 3-UP

Таблица 1. Базовые конфигурации источников питания FlatPAC

Обозначение корпуса	1-UP	2-UP	3-UP
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	234,8×63,5×34,8	234,8×124,5×34,8	234,8×185,4×34,8
Количество выходов	1	1 или 2	1, 2 или 3
Обозначение конфигурации: • один выход • два выхода • три выхода	VI-LU	VI-MU VI-PU	VI-NU VI-QU VI-RU
Максимальная полная выходная мощность, Вт	50–200	100–400	150–600
Максимальная выходная мощность на каждом из выходов, Вт: • выход № 1 • выход № 2 • выход № 3	50–200	50–400 50–200	50–600 50–200 50–200

с увеличенным радиатором (Extended Heat Sink Package [1]).

Для каждой из шести базовых конфигураций, представленных в таблице 1, доступны три дополнительные опции:

- CC (Conduction Cooled);
- BM (BatMod);
- BC (BatMod Conduction Cooled).

Исполнение Conduction Cooled отличается от базового только формой радиатора, который имеет не ребристую, а плоскую поверхность (рис. 16). Такая конструкция корпуса предполагает применение дополнительного внешнего теплоотвода, в качестве которого может использоваться любая плоская поверхность с высокой теплопроводностью, например шасси прибора или стенка металлического шкафа.

Исполнение BM отличается от базовой версии источника питания FlatPAC своей элементной базой. Вместо DC/DC-конвертеров VI-200 в источниках питания FlatPAC-BM используются модули Vicor семейства BatMod [3] — программируемые стабилизаторы тока, предназначенные для заряда аккумуляторов с номинальным напряжением 12, 24 или 48 В. Одновременное использование модулей VI-200 и BatMod в одном и том же источнике питания не допускается. Опция BC объединяет в себе функциональные особенности версии BM и конструктивные особенности исполнения Conduction Cooled.

Таким образом, заказчик источника питания FlatPAC может выбрать любой из 24 вариантов исполнения, отличающихся друг

от друга размерами корпуса, количеством выходов, конструкцией радиатора или элементной базой (функциональным назначением). Выходные электрические параметры и рабочий температурный диапазон источника питания (табл. 2) также задаются самим потребителем, который на стадии конфигурирования источника питания может выбрать значения некоторых параметров из множества допустимых. Для того чтобы упростить эту задачу и избежать возможных ошибок, рекомендуется использовать удобный инструмент — систему проектирования PowerBench [4], о которой мы уже не раз говорили в наших предыдущих обзорах продукции Vicor [1, 2] и обязательно скажем еще несколько слов в конце этой статьи.

Кроме конфигурирования источника питания, результатом которого является артикул (Part Number), необходимый для размещения заказа на производстве, автору проекта необходимо будет решить всего две задачи: правильно соединить источник питания с сетью переменного тока (рис. 3), внешними цепями управления и индикации (рис. 4) и нагрузкой (рис. 5), а также обеспечить соблюдение надлежащего теплового режима источника питания в процессе эксплуатации.

Источники питания FlatPAC в корпусе 1-UP имеют только один входной разъем для подключения к сети переменного тока (рис. 3). Источники питания в корпусах 2-UP и 3-UP, кроме силового разъема, имеют еще дополнительный сигнальный разъем для ввода/вывода логических сигналов, используемых для

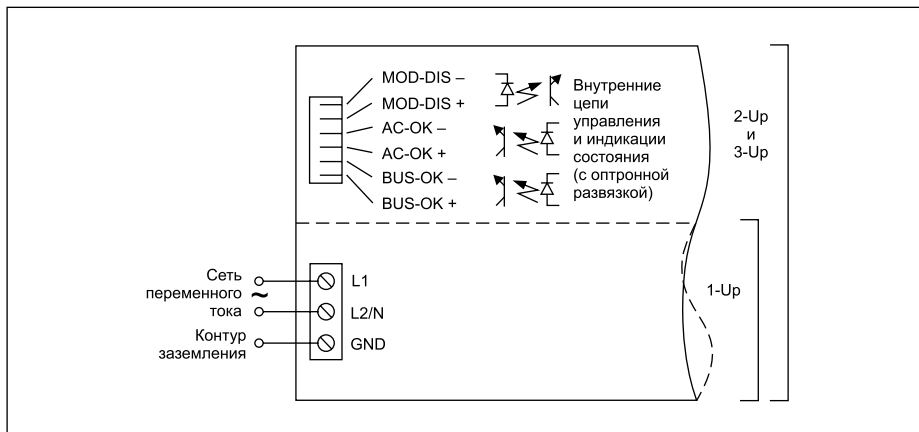


Рис. 3. Входные электрические цепи источника питания семейства FlatPAC

Таблица 2. Электрические параметры и эксплуатационные характеристики источников питания FlatPAC (в базовом исполнении)

Параметр	Значение
Действующее значение входного напряжения, В	90–132 180–264
Номинальное выходное напряжение, В	2–95 (22 значения)
Относительные пределы регулировки выходного напряжения, %: • $V_{OUT} \leq 10$ В • $10 \leq V_{OUT} \leq 15$ В • $15 < V_{OUT} \leq 85$ В • $V_{OUT} = 95$ В	50–110 90–110 50–110 50–100
Рабочий температурный диапазон, °С: • класс E • класс C • класс I	0...+85 0...+85 –30...+85
Температура хранения, °С: • класс E • класс C • класс I	–20...+100 –20...+100 –55...+100
Минимальный порог срабатывания защиты от перегрева, °С	90
Заводская погрешность установки выходного напряжения, %: • класс E • классы C, I	1 0,5
Коэффициент стабилизации выходного напряжения при изменении нагрузки от нуля до номинального значения, %: • класс E • классы C, I	1 0,5
Температурный дрейф выходного напряжения, %/°С: • класс E • классы C, I	0,02 0,01
Временной дрейф выходного напряжения, %/1000 ч	0,02
Максимальный относительный размах пульсаций выходного напряжения (при номинальном выходном напряжении от 10 до 48 В), %: • класс E • классы C, I	3 1,5
Электрическая прочность изоляции, В: • между входом и выходом • между входом и корпусом • между выходом и корпусом	4242 2121 707
Максимальная компенсация падения напряжения на соединительных проводах в режиме Remote Sense, В	0,5
Коэффициент полезного действия, %	80–90
Масса, г	652

**Примечание.**

$V_{OUT}$  — номинальное выходное напряжение.

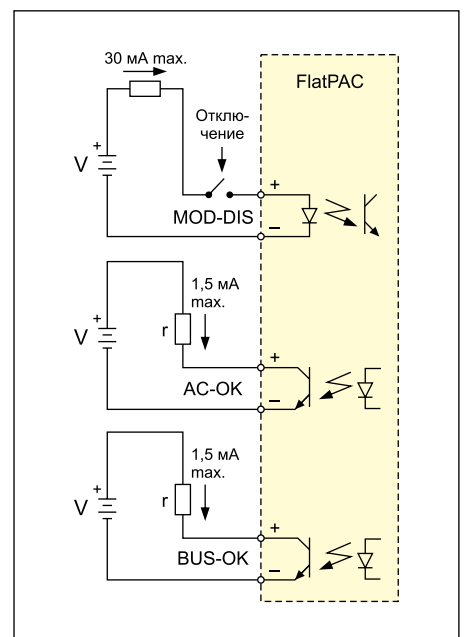


Рис. 4. Дистанционное управление источником питания FlatPAC и индикация состояния его внутренних шин

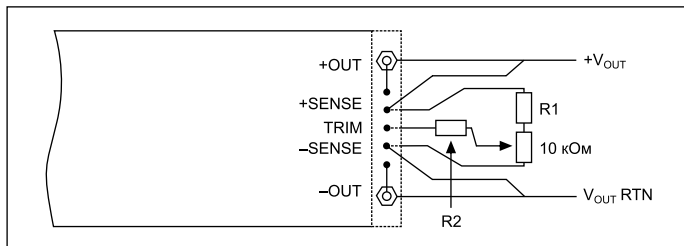


Рис. 5. Схема подключения нагрузки и внешней регулировочной цепи к источнику питания FlatPAC (в базовом исполнении)

дистанционного управления включением/выключением источника питания (сигнал MOD-DIS), а также для индикации состояния его внутренних силовых шин (сигналы AC-OK и BUS-OK). Все логические входы и выходы гальванически развязаны от других электрических цепей источника питания и друг от друга с помощью оптронов.

Для дистанционного выключения источника питания FlatPAC нужно во входной цепи оптрона, формирующего сигнал MOD-DIS (рис. 4), создать ток от 1 до 30 мА. При максимально допустимом токе 30 мА падение напряжения на светодиоде не превышает 1,65 В.

Выходные логические сигналы AC-OK и BUS-OK формируются с помощью фототранзисторов, как показано на рис. 4. Сигналу «лог. 1» соответствует открытое, а сигналу «лог. 0» — закрытое состояние фототранзистора. При расчете параметров внешних цепей необходимо помнить о том, что ток коллектор-эмиттер открытого фототранзистора не должен превышать 1,5 мА, а внешнее напряжение, которое прикладывается между коллектором и эмиттером закрытого транзистора, не должно быть выше 70 В. Предельное напряжение коллектор-эмиттер открытого транзистора (при максимально допустимом токе 1,5 мА) составляет 0,4 В.

Сброс сигнала AC-OK свидетельствует об аварии во входной сети переменного тока и предупреждает пользователя о том, что в скором времени, но не ранее чем через 5 мс, может произойти автоматическое выключение источника питания в связи с прекращением электроснабжения. Сброс сигнала BUS-OK говорит о том, что внутренняя шина постоянного тока не способна обеспечить нормальную работоспособность DC/DC-конвертеров, входящих в состав FlatPAC, вследствие чего конвертеры переведены в режим shut down.

Более подробное описание процессов, происходящих в источнике питания при включении, в стационарном рабочем режиме и при возникновении аварии в питающей сети, а также временные диаграммы сигналов состояния внутренних силовых шин можно найти в документации производителя [3]. Для грамотной эксплуатации источника питания FlatPAC достаточно знать, что после того как сигнал AC-OK переходит из состояния «лог. 1» в «лог. 0», пройдет не менее пяти миллисекунд до того момента, когда произойдет автоматическое выключение источника питания по сигналу встроенного устройства управления. Максимальная длительность этого интервала времени, который называется AC Fail Warning Time, зависит от нагрузки источника питания, а также от напряжения во входной сети переменного тока в момент аварии.

В системных приложениях предупреждение о возможном отключении источника питания из-за аварии в сети переменного тока может быть использовано для того, чтобы перейти на питание от резервного источника или принять другие меры, направленные на минимизацию возможных негативных последствий прекращения электроснабжения.

Для того чтобы выполнить корректное соединение источника питания FlatPAC с нагрузкой, достаточно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 5. Нагрузку нужно подключить к силовым выводам +OUT и -OUT с помощью проводов, сечение которых следует выбирать в соответствии с максимальным выходным током источника питания. Рекомендации корпорации Vicor по выбору сечения проводов можно найти в документе [3].

Выводы +SENSE и -SENSE служат для компенсации падения напряжения на проводах, соединяющих выходы источника питания

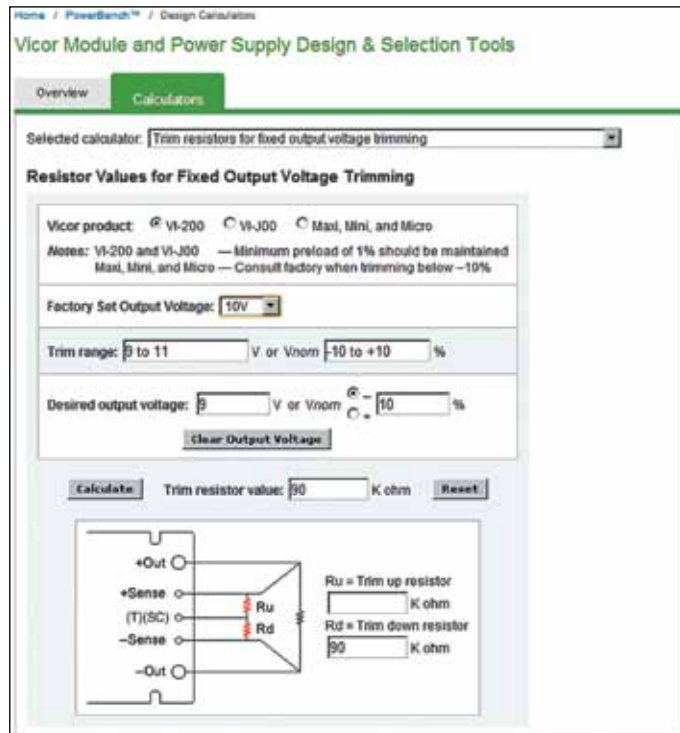


Рис. 6. Фрагмент рабочего экрана калькулятора для расчета сопротивлений резисторов, задающих фиксированное выходное напряжение

с нагрузкой. Полная компенсация возможна только в том случае, когда падение напряжения на каждом из соединительных проводов не превышает 0,25 В, а для того чтобы исключить влияние соединительных проводов, следует использовать 4-проводную схему подключения нагрузки, соединив выводы +SENSE и -SENSE источника питания с соответствующими выводами нагрузки двумя отдельными проводниками (рис. 5). В противном случае нужно обеспечить местное соединение выводов +SENSE и -SENSE с соответствующими силовыми выходами источника питания.

Значения номинального выходного напряжения источников питания семейства FlatPAC перекрывают диапазон от 2 до 95 В, и потребитель может сконфигурировать источник с одним из 22 значений выходного напряжения. В тех редких случаях, когда ни одно из этих значений не устраивает разработчика, есть возможность решить проблему с помощью простой регулировочной цепи (рис. 5), позволяющей подстраивать выходное напряжение источника питания в широких пределах, перекрывающих интервалы между соседними номинальными значениями (табл. 2).

Для расчета сопротивлений внешних регулировочных резисторов можно воспользоваться on-line калькулятором на сайте корпорации Vicor [5]. С помощью калькулятора **Trim Resistors for Variable Output Voltage Trimming** для схемы, приведенной на рис. 5, или калькулятора **Trim Resistors for Fixed Output Voltage Trimming** для схемы, приведенной на рис. 6, задача расчета сопротивлений внешних резисторов может быть решена быстро и безошибочно. Достаточно лишь выбрать номинальное значение выходного напряжения (**Factory Set Output Voltage**) из списка, предлагаемого калькулятором, задать желаемое значение напряжения (**Desired Output Voltage**) и запустить выполнение программы (**Calculate**).

## Проектирование системы охлаждения

Создавая импульсный источник электропитания на базе современных модулей с высокой плотностью конвертируемой мощности, всегда нужно помнить о том, что чем выше плотность мощности, тем более внимательно следует относиться к проектированию

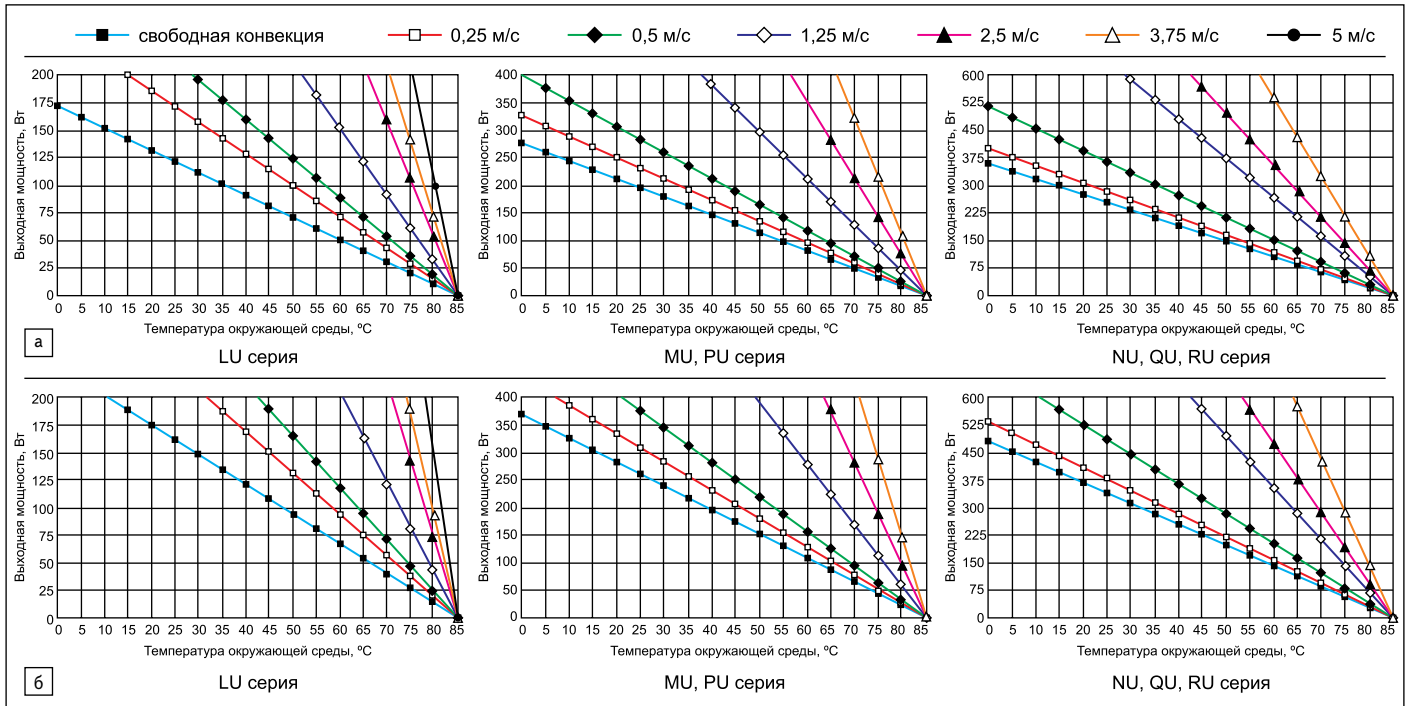


Рис. 7. Графики температурного дерейтинга источников питания FlatPAC (в базовом исполнении): а) при 5 В на выходе; б) при 10–48 В на выходе

системы охлаждения, поскольку даже при высокой эффективности преобразования миниатюрный модуль в процессе своей работы может нагреваться до высокой температуры. Проблема отвода паразитного тепла, выделяемого в процессе работы, касается всех без исключения преобразователей электромагнитной энергии, и источники питания FlatPAC не являются исключением, хотя применительно к последним проблема не стоит так остро, как, например, при разработке встраиваемых систем электропитания.

Во-первых, проблема охлаждения источника питания FlatPAC частично уже решена создателями базового корпуса (рис. 1а), который имеет радиатор, позволяющий рассеивать значительное количество тепла путем естественной конвекции. Во-вторых, доступна версия Conduction Cooled (рис. 1б), ее удобно использовать при наличии дополнительного внешнего теплоотвода. Эти два обстоятельства существенно упрощают задачу, которую нужно решать потребителю продукции семейства FlatPAC, но не решают проблему полностью, если требуется обеспечить надежную работу источника питания на предельных режимах (табл. 1 и 2). Поэтому мы хотим уделить еще немного внимания теплофизическим характеристикам источников питания FlatPAC, знать которые необходимо, так как в конечном счете ответственность за то, что разработчик конфигурируемого источника питания получит устройство, соответствующее требованиям технического задания, лежит на плечах самого разработчика.

Верхняя граница рабочего температурного диапазона источника питания FlatPAC

составляет +85 °С. Здесь под рабочей температурой понимается не температура окружающей среды, а температура радиатора источника питания (рис. 1). Если в процессе эксплуатации температура радиатора превысит максимально допустимый предел более чем на 5 °С (табл. 2), произойдет автоматическое отключение источника питания вследствие срабатывания встроенной защиты от перегрева. По этой причине пользователь должен обеспечить такие условия охлаждения источника питания, при которых температура ИП не выходит за пределы разрешенного рабочего диапазона при самых неблагоприятных условиях эксплуатации.

Оценить максимальную температуру окружающей среды, при которой источник питания FlatPAC сможет отдавать в нагрузку требуемую мощность, можно с помощью графиков, представленных на рис. 7. Эти графики показывают, что искомое значение температуры зависит от размеров корпуса источника питания, поскольку от ширины корпуса зависит площадь радиатора. Кроме того, максимальная температура окружающей среды зависит от выходной мощности и выходного напряжения источника питания, а также от скорости воздушного потока, если используется принудительное охлаждение радиатора с помощью внешнего вентилятора.

Анализ графиков температурного дерейтинга, приведенных на рис. 7, говорит о том, что максимальная выходная мощность источника питания FlatPAC в реальных условиях эксплуатации может сильно отличаться от его номинальной мощности, если не принять дополнительных мер к отводу

тепла, выделяемого в процессе работы этого высокоэффективного, но все же не идеального устройства (табл. 2). Например, источник питания с выходным напряжением от 10 до 48 В при температуре окружающей среды +25 °С и естественном конвективном охлаждении сможет работать в стационарном температурном режиме с максимальной выходной мощностью приблизительно 160, 260 и 330 Вт в зависимости от размера корпуса. Для того чтобы повысить температуру окружающей среды, при которой источник питания сможет работать с требуемой выходной мощностью, или увеличить максимальную выходную мощность источника питания при заданной температуре окружающей среды, следует применять принудительное конвективное или кондуктивное охлаждение. Если упомянутый выше источник питания обдувать потоком воздуха со скоростью 3,75 м/с, то он сможет работать с максимальной выходной мощностью 200 Вт (серия LP), 400 Вт (серии MU и PU) или 600 Вт (серии NU, QU и RU) при температуре окружающей среды до +74, +71 и +64 °С соответственно.

### Конфигуратор PowerBench

Конфигурирование источника питания семейства FlatPAC с помощью системы проектирования PowerBench ничем не отличается от конфигурирования других видов продукции корпорации Vicor. Следует лишь зайти на сайт [4], выбрать нужный раздел конфигуратора (FlatPAC Power System Configurator, рис. 8), задать параметры источника питания, выбрав их из множества допустимых значений, предлагаемых конфигуратором,

The screenshot displays the Vicor FlatPAC Power System Configurator interface. At the top, there is a search bar and navigation tabs for Products, Applications, Tools, and Support. The main content area is titled 'FlatPAC Power System Configurator' and contains a form to 'Enter your requirements below:'. The form fields are: Input Voltage (115/230 Vac Autoranging), Number of Outputs (1-3) with radio buttons for One Output, Two Outputs, and Three Outputs, Output Voltage (2-95 Vdc), Output Power (W or A), Operating Temperature, and Is RoHS required? (Yes/No). A prominent blue button reads 'GET PART NUMBER, PRICE & DELIVERY'. Below the form, there are links for 'Data Sheet' and 'FlatPAC Data Sheet Design Guide & Applications Manual'. At the bottom, three product options are shown with images and dimensions: 1-Up (one internal DC-DC module, 9.25 x 2.5 x 1.37 in), 2-Up (two internal DC-DC modules, 9.25 x 4.9 x 1.37 in), and 3-Up (three internal DC-DC modules, 9.25 x 7.4 x 1.37 in).

Рис. 8. Вид рабочего экрана конфигуратора FlatPAC Power System Configurator перед вводом исходных данных

и нажать на кнопку **GET PART NUMBER, PRICE & DELIVERY**. Если исходные данные введены в полном объеме, конфигуратор выведет на экран всю информацию, необходимую для размещения заказа на изготовление источника питания: артикул, цены на рынках США и Канады, а также сроки производства опытных и промышленных партий продукции. Если разработчику требуется исполнение СС, ВМ или ВС, к сформированному конфигуратором артикулу необходимо через дефис добавить соответствующий суффикс. На рабочем экране конфигуратора можно также найти полезные ссылки на технические документы FlatPAC Data Sheet и Design Guide & Applications Manual, в которых со-

держится подробная информация об источниках питания семейства FlatPAC.

Условия доставки заказа в Россию следует уточнять у официального дистрибьютора корпорации Vicor.

### Заключение

Опытные инженеры — разработчики электронной аппаратуры хорошо знают, что причиной многих «болезней» электронных устройств является плохое электропитание, но даже неспециалистам известно, что без какого-либо источника электрической энергии не работает ни один электронный прибор. В тех случаях, когда первичным источником

энергии является сеть переменного тока, а перед разработчиком электронной системы не стоит задача создания встроенного источника питания, то есть может подойти автономный сетевой источник, мы рекомендуем обратить внимание на конфигурируемые источники питания корпорации Vicor. Их использование позволяет разработчику, во-первых, в кратчайшие сроки сконфигурировать источник, отвечающий требованиям технического задания, а во-вторых, поручить изготовление источника производителю, который является одним из мировых лидеров в своей производственной нише, и получить изделие с гарантированно высоким качеством к заранее известному сроку. Все это дает возможность сконцентрировать ресурсы, отпущенные на реализацию проекта, на разработке других функциональных блоков, сократить сроки и повысить качество выполнения работы в целом.

В следующих статьях мы продолжим знакомство с продукцией корпорации Vicor и расскажем о других семействах конфигурируемых источников питания.

### Литература

1. Иванов Д., Кривченко И. Источники питания семейства ComPAC // Компоненты и технологии. 2013. № 12.
2. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Построение источников питания на базе модулей компании Vicor // Компоненты и технологии. 2011. № 12.
3. Design Guide & Applications Manual for VI-200 and VI-J00 Family DC-DC Converters and Configurable Power Supplies // [http://www.vicorpower.com/documents/applications\\_manual](http://www.vicorpower.com/documents/applications_manual)
4. PowerBench Product Configurators // <http://www.vicorpower.com/powerbench/product-configurators>
5. PowerBench Product Calculators // <http://www.vicorpower.com/powerbench/product-calculators>