

# Новые серии DC/DC-преобразователей напряжения компании PICO Electronics

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ  
info@icquest.ru

**Ключевыми компонентами систем вторичного электропитания, во многом определяющими их эффективность, являются преобразователи напряжения постоянного тока. Совершенствование технических характеристик элементной базы, а также развитие технологий производства мощных высоковольтных транзисторов привело к появлению высококачественных устройств данного класса с уменьшенными массогабаритными показателями. В статье представлены новые серии высокоэффективных DC/DC-преобразователей, выпускаемые компанией PICO Electronics.**

## Введение

Основанная еще в 1967 году компания PICO Electronics является лидером в области разработки малогабаритных катушек индуктивности и трансформаторов различного назначения, изолированных AC/DC-источников питания и широкого спектра DC/DC-преобразователей [1]. За время своего существования компания заслужила репутацию производителя высококачественных изделий, отслеживающего все современные тенденции развития этих устройств и вкладывающего значительную часть своего годового дохода в опытно-конструкторские работы.

Широкий ассортимент продукции обеспечивает заказчикам максимум гибкости при выборе подходящего изделия, каталог компании включает более шести тысяч наименований, предлагаемых для нужд военной и гражданской авиации, оборонной, нефтедобывающей и других отраслей промышленности, в которых существует потребность в компактных и долговечных компонентах, способных надежно функционировать в жестких условиях окружающей среды. Помимо серийно выпускаемых устройств, PICO Electronics изготавливает заказные и модифицированные стандартные решения, чьи параметры максимально соответствуют требованиям потребителей. В настоящее время компания ориентирована на производство:

- трансформаторов и катушек индуктивности для сквозного и планарного монтажа (импульсных, ультраминиатюрных, силовых, дросселей подавления электромагнитных помех, для DC/DC-применений, телекоммуникационных, с военной приемкой и т. д.);

- AC/DC-преобразователей, в том числе с встроенным ККМ;
- различных DC/DC-преобразователей — многоканальных, малогабаритных и низкопрофильных, с регулируемым и фиксированным выходом, с широким входным диапазоном, мощных (до 300 Вт) и высоковольтных (до 10 кВ).

Особое внимание уделяется модернизации линейки DC/DC-преобразователей, составляющей наиболее обширную группу продукции. Все преобразователи характеризуются долговременной надежностью электрических параметров, обладают широкими функциональными возможностями и стандартными значениями входных и выходных напряжений. Модульное исполнение позволяет избежать ряда сложностей, возникающих при проектировании схем источников питания, и успешно использовать их в системах с распределенной архитектурой питания в непосредственной близости от потребителей напряжения. В рамках данной статьи остановимся на новинках, на примере которых рассмотрим характерные для DC/DC-преобразователей PICO Electronics отличительные особенности, типовые вспомогательные и защитные функции и применяемые конструктивные решения.

## Серия SAR

Новая серия SAR расширила линейку высоковольтных изолированных DC/DC-преобразователей PICO Electronics. Главная особенность модулей данного семейства — возможность регулировки выходного напряжения в пределах от нулевого значения до номинала (100, 250, 500, 1000 или 1500 В) путем

подачи напряжения определенного уровня на высокоимпедансный вход ADJ, при этом начальная погрешность установки не превышает  $\pm 3\%$ . Устройства, максимальная мощность которых достигает 3 Вт, обеспечивают выходной ток до 30 мА при входных напряжениях 5, 12, 24 В и соответствующих им диапазонах 5–10, 7,5–15 и 18–36 В. Изменение напряжения входной шины вызывает дополнительную погрешность не более 0,1% для устройств с входными напряжениями 5 или 12 В и не более 0,5% для 24-В моделей, нестабильность выхода по нагрузке не превышает 5% для всех модулей в серии. Погрешность, вызванная влиянием температур эксплуатации, составляет 0,02%/°C, а типовое значение пульсаций на выходе 0,15–0,4% от номинала. Преобразователи серии SAR работают на фиксированной частоте (125–450 кГц в зависимости от модели), коэффициент полезного действия достигает 81% (рис. 1). К типовым применениям относятся схемы управления ультразвуковыми и пьезопреобразователями, фотоэлектронными умножителями, лавинными фотодиодами и электростатическими линзами, системы отклонения и фокусировки электронных лучей, оборудование спектроскопии, а также другие устройства, требующие точного значения высокого напряжения с малым уровнем шумов.

На рис. 2а показана упрощенная структурная схема устройств серии SAR. Преобразование выполняется в два этапа: на первом происходит регулировка и понижение напряжения входной шины, на втором получение заданного номинала при помощи двухтактной схемы с повышающим трансформатором. В типовом варианте нагрузка подключается между контактами –Out

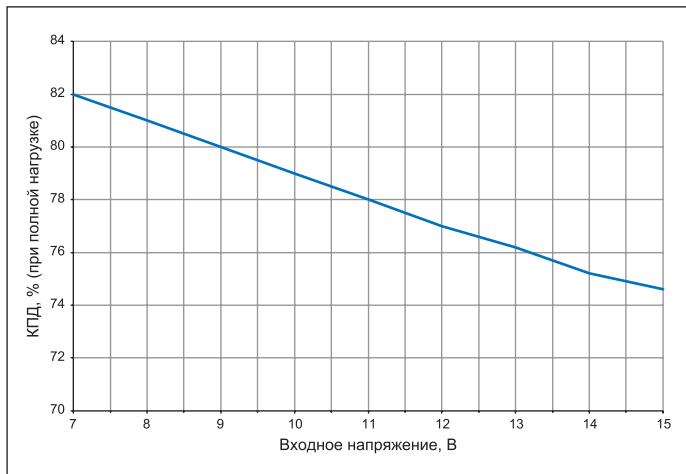


Рис. 1. Типовая зависимость КПД от входного напряжения для модулей серии 12SAR

и +Out. Наличие вывода от средней точки также позволяет получать положительные и отрицательные напряжения для двухполярных применений. В этом случае на каждой из нагрузок, размещаемых между +Out и Com или -Out и Com соответственно, обеспечивается половина от номинального выходного напряжения.

Конструктивно преобразователи серии SAR представляют собой предназначенные для сквозного монтажа малогабаритные модули размерами 27,9×20,3×10,8 мм и весом не более 12 г, выполненные из высокотемпературного пластика и герметизированные эпоксидной смолой (рис. 26). Маркировка каждого изделия позволяет определить основные входные и выходные характеристики: например, модуль 24SAR250 рассчитан на номинал входа 24 В и выходное напряжение до 250 В. Модификация для поверхностного монтажа включает суффикс SM в наименовании изделия, ее высота увеличена

до 11,4 мм, длина и ширина — аналогичные. Гальваническая изоляция вход/выход составляет 100 МОм (при напряжении 1500 В DC).

Рабочая температура модулей промышленного назначения лежит в диапазоне -25...+70 °С, при соблюдении заданного температурного интервала нет необходимости в применении радиатора или в снижении требований к электрическим характеристикам. Для военных и высоконадежных применений возможна поставка модулей с расширенным диапазоном рабочих температур (-40...+85 °С), дополнительно прошедших проверку на соответствие требованиям стандартов MIL-STD-883 и MIL-STD-202. Кроме того, по запросу проводится опциональный контроль устойчивости работы DC/DC-преобразователей в жестких условиях эксплуатации при наличии вибрации, ударов и повышенной влажности. Перечень выходных испытаний включает термоэлектротренировку при максимальной мощности и температуре корпуса +125 °С, стабилизирующий прогрев (до +125 °С), термоциклирование (-55...+125 °С), тестирование на вибро- и ударопрочность.

DC/DC-преобразователи серии SAR в обязательном порядке содержат интегрированные схемы блокировки при повышенных (IOVP, Input Over Voltage Protection) и пониженных (IUVP, Input Under Voltage Protection) напряжениях на входе. Последняя функция обеспечивает корректную работу преобразователя в случае его питания от аккумуляторной батареи. Пороговые значения цепей IUVP и IOVP жестко заданы при изготовлении и составляют 4 и 10,5 В у устройств с 5-В входом, 7 и 16 В у 12-В модулей либо 16 и 38 В при использовании входной шины с напряжением 24 В. Защита от перегрева (OTP, Over Temperature Protection), отключающая модули при достижении внутренней температуры +105 °С, повышает живучесть данных преобразователей в условиях повышенных температур. Помимо защитных функций, существует возможность дистанционного включения/выключения, полезная при необходимости снижения собственного энергопотребления. Данная схема срабатывает при подаче на вывод SHDN напряжения низкого логического уровня (менее 0,4 В) относительно контакта -IN.

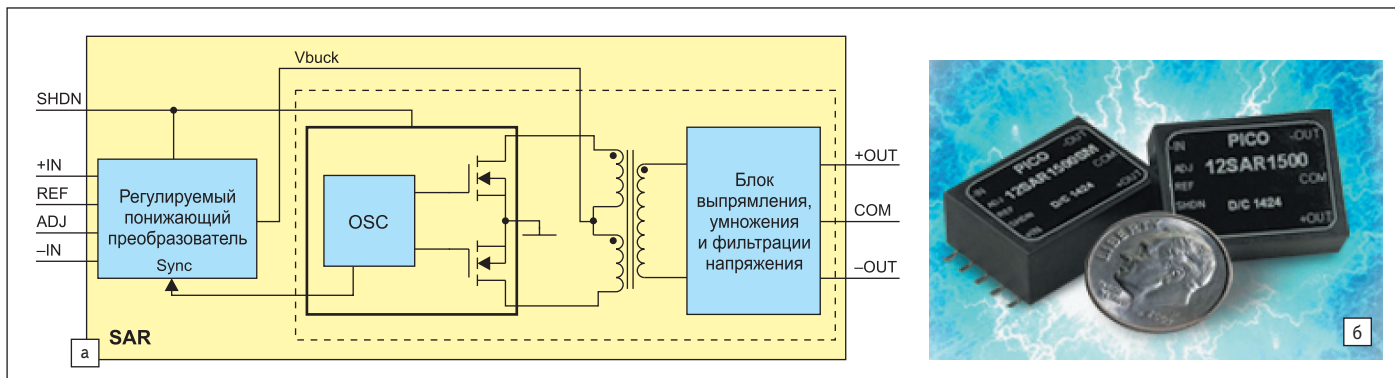


Рис. 2. Преобразователи семейства SAR: а) упрощенная структурная схема; б) внешний вид

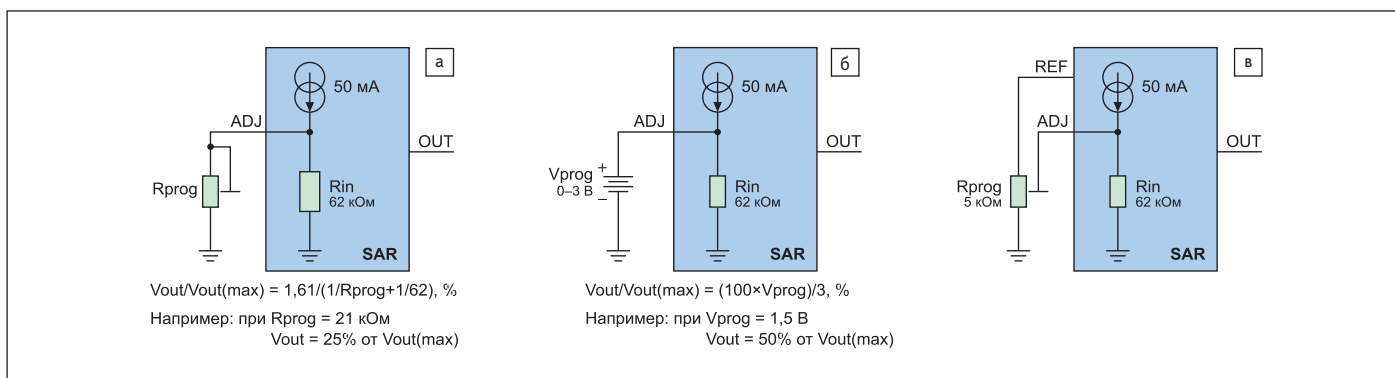


Рис. 3. Возможные варианты регулировки выходного напряжения преобразователей серии SAR



Рис. 4. Внешний вид DC/DC-преобразователей серий AVP и AVN

Настройку выходного напряжения (в сторону уменьшения) можно выполнить несколькими способами. Во-первых, подключить между выводом ADJ и общим проводом резистор (рис. 3а). Во-вторых, для более точной подстройки можно воспользоваться внешним (рис. 3б) или внутренним источником напряжения (рис. 3в). Встроенный ИОН обладает выходным напряжением  $3 \text{ В} \pm 5\%$  и максимальным нагрузочным током 1 мА.

### Серии AVP и AVN

Маломощные (не более 1,25 Вт) DC/DC-преобразователи серий AVP и AVN с фиксированным высоким выходным напряжением предназначены для приложений, в которых решающее значение имеют размеры и вес комплектов. Они изготавливаются в герметизированном четырехвыводном корпусе для сквозного монтажа с внешними габаритами  $25,4 \times 12,7 \times 12,7$  мм и массой 9,5 г, внешний вид устройств показан на рис. 4.

Совместимые между собой по выводам компоненты представляют собой одноканальные преобразователи положительного (AVP) или отрицательного (AVN) напряжения с максимальными значениями +10 и -10 кВ соответственно, способные отдавать в нагрузку постоянный ток до 0,208 мА. Каждая серия состоит из 25 изолированных модулей с входными напряжениями 5, 12, 15, 24 или 28 В с допустимым диапазоном  $\pm 10\%$  и номиналами выхода из ряда 6000–10 000 В с шагом 1 кВ. Точность поддержания выходного напряжения при полной нагрузке составляет  $\pm 3\%$ , а типовое значение температурного коэффициента не превышает  $0,05\%/^{\circ}\text{C}$  для всех моделей. Величина нестабильности выходного напряжения по сети прямо пропорциональна изменению входного напряжения. Электрическая схема выполнена с применением изолирующего трансформатора, ча-

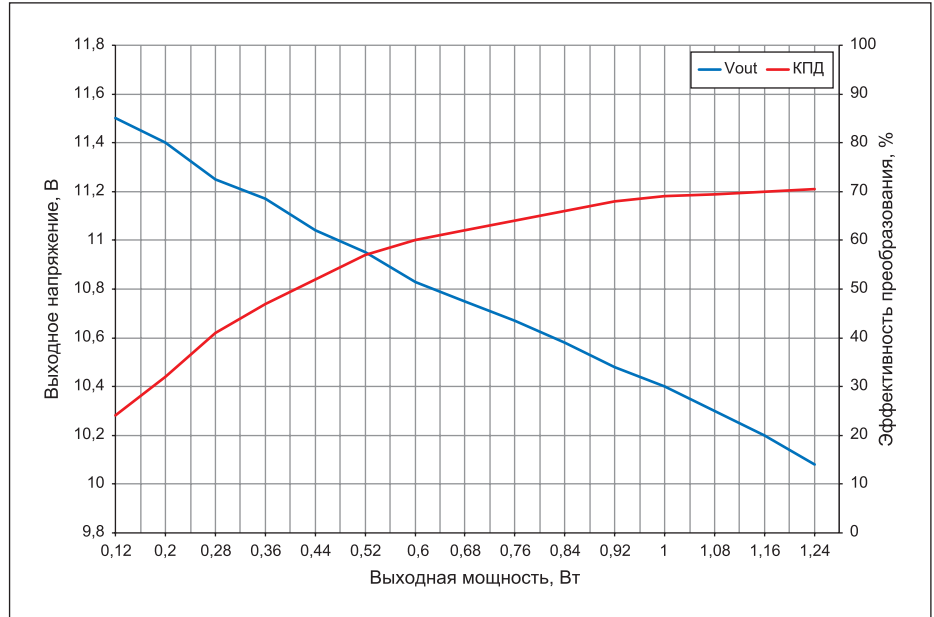


Рис. 5. Зависимости выходного напряжения и КПД от выходной мощности для модуля 5AVP10K

ста преобразования находится в диапазоне 20–40 кГц. Из эксплуатационных требований можно отметить необходимость обязательной минимальной 10%-ной нагрузки. Для примера на рис. 5 приведены типовые характеристики модуля 5AVP10K, рассчитанного на входное напряжение 5 В и выходное 10 В.

Модули преобразователей стабильно функционируют при рабочих температурах  $-25 \dots +70^{\circ}\text{C}$  без применения внешних компонентов и дополнительного теплоотвода. Для получения других номиналов, расширенного температурного диапазона ( $-55 \dots +85^{\circ}\text{C}$ ) или проведения опциональных испытаний, необходимых для использования изделий в военных разработках, следует обратиться непосредственно к производителю.

### Серия HiQP

Серия HiQP, являющаяся продолжением линейки высококачественных 50-ваттных DC/DC-модулей QP, состоит из одноканальных преобразователей постоянного напряжения с более высоким по сравнению с предшественниками уровнем допустимых входных напряжений (125–475 В). На выходе обеспечивается пять номиналов напряжений из стандартного ряда: 24, 28, 48, 100 или 200 В с начальной погрешностью установки 1% и величиной выходного шума, не превышающей 750 мВ (п-п) для самой старшей модели семейства. Преобразователи отличаются достаточно хорошими точностными показателями: нестабильность выхода по сети во всем диапазоне входных напряжений составляет 0,1–0,3% для разных моделей, а нестабильность по нагрузке (при изменении в пределах 10–100%) — не более 1,25–1,75%. Встроенный помехоподавляющий LC-фильтр на входе обеспечива-

ет снижение уровня кондуктивных помех со стороны питающей сети. Схема плавного включения высокого напряжения с отслеживанием скорости его нарастания гарантирует длительный срок службы. Гальваническая изоляция выходных цепей от шин источника входной электроэнергии характеризуется напряжением 4242 В, изоляция между входом и корпусом — 2121 В, между выходом и корпусом — 1000 В. Рабочая частота переключения меняется в пределах 80–110 кГц в зависимости от питания и нагрузки. Также следует отметить, что для КПД, достигающего 90%, модули обладают весьма компактными габаритами, они выполнены в герметизированном корпусе с размерами  $63,5 \times 39,4 \times 12,7$  мм. Внешний вид модуля серии HiQP показан на рис. 6.

В зависимости от условий эксплуатации вся серия подразделяется на три группы с аналогичными электрическими характеристиками, но с разной допустимой рабочей температурой. Диапазон температур стандартных модулей HiQP составляет  $0 \dots +70^{\circ}\text{C}$ , модулей промышленного применения



Рис. 6. Внешний вид DC/DC-преобразователей серий HiQP, DC1 и DC3

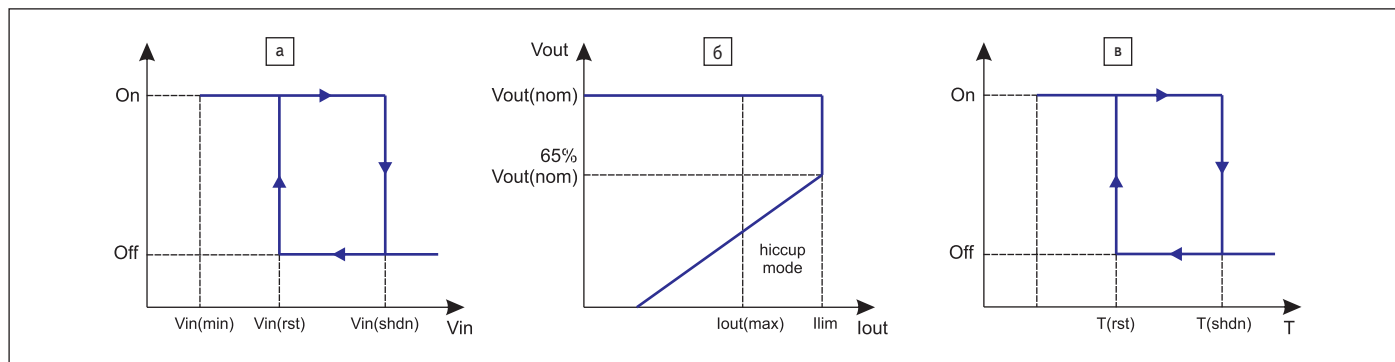


Рис. 7. Защитные функции DC/DC-преобразователей серии HiQP: а) от повышенного входного напряжения; б) от перегрузки по току; в) от повышенной температуры

HiQP-I –40...+95 °С, а высоконадежного назначения HiQP-M –55...+95 °С. Последние подвергаются ряду дополнительных тестов на соответствие требованиям военного стандарта MIL-STD-202: проверяется виброустойчивость (метод 204), ударопрочность (метод 213), стойкость к изменениям влажности (метод 106). Также по запросу к производителю возможны испытания по методам, изложенным в MIL-STD-883, их перечень такой же, как у преобразователей серии SAR.

Модули серии HiQP содержат полный набор сервисных и защитных функций, необходимых для безопасной эксплуатации и расширения возможностей их практического использования. К интегрированным схемам защиты от пониженного и повышенного входного напряжения (IUVP и IOVP) и перегрева (OTP), отмеченным у модулей серии SAR, добавились схемы защиты от перенапряжения на выходе (OOVP, Output Over Voltage Protection) и перегрузки по току (OCP, Over Current Protection). Пороговые значения данных цепей являются нерегулируемыми величинами, заводские настройки объединены в сводной таблице 1.

Применение схемы IUVP гарантирует, что низкое напряжение входной шины не приведет к внештатной работе преобразователя. Интегрированная цепь измеряет входное напряжение, сравнивает его с заданным порогом и блокирует модуль при значениях напряжения ниже предельного уровня (60 В). Перезапуск происходит автоматически при увеличении  $U_{вх}$  до 107 В. Гистерезис предохраняет преобразователь от включения и выключения в случае, когда напряжение источника не повышается плавно. Схема IOVP действует схожим образом, для большей наглядности на рис. 7а показано графическое представление ее работы.

Непрерывная защита по току (рис. 7б) срабатывает, если сопротивление нагрузки оказывается слишком малым (например, при коротком замыкании), а ток превышает определенное пороговое значение (на 20% выше номинального), что может привести к выходу модуля из строя. В этом случае величина выходного напряжения снижается до 65% от номинального, преобразователь

Таблица 1. Пороговые значения защитных цепей модулей серии HiQP

Защитная функция	Режим	Значение
Защита от перенапряжения на входе	Отключение	525 В (DC)
	Перезапуск	500 В (DC)
Защита от пониженного напряжения на входе	Отключение	60 В (DC)
	Перезапуск	107 В (DC)
Защита от перенапряжения на выходе	–	120% $V_{out}$
Защита выхода от перегрузки по току	–	120% $I_{out}$
Защита от превышения температуры (HiQP)	Отключение	+95 °С
	Перезапуск	+90 °С
Защита от превышения температуры (HiQP-I, -M)	Отключение	+110 °С
	Перезапуск	+105 °С

переходит в пульсирующий (hiccup mode) режим работы, в котором он периодически включается для определения наличия перегрузки и выключается, если это подтверждается. После уменьшения выходного тока ниже заданного порога модуль автоматически стартует в режиме плавного запуска. Защита от перегрева снижает ток в нагрузке или полностью отключает ее при повышении температуры преобразователя (независимо от причины) сверх предельного допустимого значения. Это предотвращает дальнейшее повышение температуры и возможный выход устройства из строя. При автоматическом перезапуске повторное включение происходит только после остывания на величину соответствующего гистерезиса (рис. 7в). Встроенная схема защиты от превышения выходного напряжения стартует, если напряжение на выходных контактах модуля достигает 120% от номинального. Причиной этого может быть, в частности, подстройка выходного напряжения.

Функция дистанционного управления включением и выключением модуля при помощи вывода SHDN повышает гибкость применения преобразователей в современных системах электропитания РЭА, требующих определенного алгоритма подачи питания к отдельным узлам. При необходимости получения нестандартных значений питающих напряжений полезна еще одна сервисная функция — точной настройки выходного напряжения. Она допускает корректировку на величину –16...+17% от номинального значения выхода простым под-

Таблица 2. Зависимость выходного напряжения от номиналов резисторов Rtrim

Номинал Rtrim, Ом	1000	470	100	47	10	1	0
$\Delta V_{out}$ , % (резистор между TRIM и выходом ИОН)	+0,5	+1	+4	+7	+14	+16	+17
$\Delta V_{out}$ , % (резистор между TRIM и «землей»)	–1	–3	–7	–9	–13	–15	–16

ключением подстроечного резистора между специализированным выводом TRIM и выводом встроенного ИОН или общим проводом, в зависимости от направления регулировки. Источник опорного напряжения имеет выходное напряжение 3 В  $\pm 2\%$  и максимальный ток нагрузки 10 мА. В качестве подстроечных рекомендуются многооборотные резисторы, располагаемые как можно ближе к выводам преобразователя для уменьшения влияния на результат паразитной индуктивности. При известной величине регулировки можно воспользоваться постоянными резисторами с номиналами, предложенными в таблице 2.

Также у преобразователей серии HiQP доступна функция параллельного объединения модулей, применяемая при построении мощных источников питания либо организации резервирования. Распределение токов нагрузки осуществляется при помощи специализированных выводов LDSH (Load Sharing).

### Серии DC1, DC2A, DC2B и DC3

Новая серия DC1 объединяет одноканальные преобразователи с максимальной мощностью 300 Вт и диапазоном входного напряжения 120–370 В (DC). На выходе обеспечиваются наиболее часто используемые в промышленности номиналы напряжений: 5, 9, 12, 15, 24, 28, 48 В, а также 100–300 В с шагом 25 В (всего 16 моделей). Необходимо отметить малый уровень выходного шума, у ряда моделей не превышающего 75 мВ, и нестабильность по нагрузке не более 0,2%. Модули работают на фиксированной частоте 100 кГц, эффективность преобразования достигает 85%, а гальваническая изоляция вход/выход составляет не менее 4242 В. Типовые устрой-



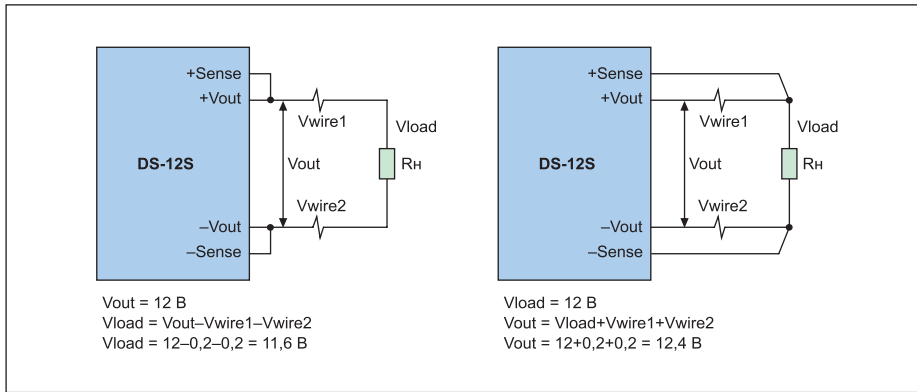


Рис. 8. Компенсация падения выходного напряжения у преобразователей серии DC1

ства рассчитаны на эксплуатацию при температурах 0...+85 °С, по запросу к производителю возможно уменьшение нижнего порога до -40 °С.

Помимо внутренних схем защиты от перегрузки по току (130% от максимума), переплюсовки на входе и перегрева, модули с выходным напряжением до 48 В оснащены схемой компенсации падения напряжения на проводах, связывающих выход конвертеров с нагрузкой, расположенной на значительном удалении. Величина падения напряжения зависит от протекающего тока, длины и ширины проводников или трасс на печатной плате. Для примера на рис. 8 рассмотрены два варианта подключения нагрузки к преобразователю DC1-12S проводами с падением напряжения 0,2 В. Использование измерительных входов обратной связи +Sense и -Sense, соединенных с нагрузкой по четырехпроводной схеме, позволяет добиться требуемого напряжения непосредственно на контактах нагрузки путем регулировки выхода на величину падения. Максимальное значение напряжения, которое может быть скомпенсировано, не превышает 1 В.

Компоненты серий DC2A и DC2B — практически полные аналоги модулей DC1. Совпадают выходные номиналы, назначение, точностные характеристики, корпусное исполнение и т. д. Исключениями являются более высокие входные напряжения (350–700 В у DC2A и 700–1200 В у DC2B), а также наличие защитных схем IUVP и IOVP с предустановленными при производстве порогами.

Серия DC3 состоит из 44 одно- и двухканальных преобразователей с диапазоном входных напряжений 300–900 В и максимальной мощностью 50 Вт. По сравнению с устройствами серии DC1 одноканальные модели имеют два дополнительных номинала выхода: 3,3 и 5,2 В, двухканальные модули выдают  $\pm 5$ ,  $\pm 12$ ,  $\pm 15$ ,  $\pm 24$  или  $\pm 28$  В. Такой широкий диапазон входных и выходных напряжений позволяет использовать один и тот же преобразователь для самых различных систем, что сокращает номенклатуру изделий проекта. Модули серии DC3 демонстрируют неплохие точностные ха-

рактеристики: нестабильность по сети  $\pm 1\%$ , по нагрузке  $\pm 2\%$  (при изменении 10–100%), температурный коэффициент — не более 0,02%/°С. Они содержат обязательную защиту от перегрузки по току и имеют возможность дистанционного отключения. Стандартные изделия доступны в корпусах размерами 81,9×57,6×18,4 мм, предназначенных для монтажа в отверстия на печатной плате. Каждой модели соответствует аналогичный вариант для соединения со схемой при помощи клеммников, в этом случае в конце наименования добавляется суффикс Т. При этом габариты остаются прежними (без учета клемм), внешний вид такого модуля можно увидеть на рис. 6.

### Серия HiP

В серии HiP представлены регулируемые модули с широкими функциональными возможностями и полным набором доступных защитных функций. Преобразователи с максимальной мощностью 100 Вт частотой преобразования 340 кГц и КПД до 88% способны заменить более громоздкие источники питания в применениях, требующих стабилизированного постоянного высокого напряжения. Они предназначены для использования совместно с пьезоприборами, схемами зарядки конденсаторов, в автоматическом тестовом оборудовании и т. д. Всего доступно 10 моделей с двумя диапазонами входных напряжений (10–20 и 18–36 В), для каждого номинала входа предлагается по пять устройств с максимальными выходными напряжениями 100–500 В и возможностью их регулировки в пределах 10–100%. Значение выхода устанавливается посредством подачи через подстроечный резистор на вход VPROG напряжения 0,5–5 В от внешнего источника питания либо от выхода встроенного ИОН с напряжением 5 В, погрешностью выхода  $\pm 4\%$  и максимальным током нагрузки 7 мА. Выходное напряжение линейно по отношению к управляющему, что позволяет легко регулировать высокое напряжение с помощью низкого. При достижении максимального напряжения на выводе VPROG (5,2 В)

происходит ограничение выхода на уровне +10% к номинальному. Серия HiP предназначена для эксплуатации при температурах 0...+85 °С с возможностью уменьшения нижнего порога до -40 °С (по запросу), при этом температурный коэффициент напряжения не превышает 50 ppm/°С. Выходное напряжение модулей мало зависит от изменения нагрузки и питающего напряжения, его нестабильность по сети составляет 0,2%, по нагрузке — 0,5% во всем диапазоне. Также серия HiP демонстрирует пульсации выходного напряжения не выше 0,5% (п-п) и временную стабильность менее 0,005%/ч. Конструктивно выпускаются в высококачественных экранированных корпусах для сквозного монтажа размерами 76,2×50,8×12,7 мм и весом 110 г, напряжение изоляции вход-выход составляет 3000 В.

В перечень защитных функций входят рассмотренные ранее IOVP, IUVP, OCP и OTP, их работа аналогична модулям серии HiQP, за исключением схемы ограничения тока. По умолчанию она срабатывает при токе нагрузки на 30% выше номинального, но при необходимости величину этого порога можно изменять, подключая внешний потенциометр или источник питания к специализированному выводу ILM. Здесь также можно задействовать интегрированный ИОН. Защита от превышения температуры включается при 95 °С. Помимо функции дистанционного управления (SHDN), у преобразователей серии HiP имеются схемы синхронизации (SYNC) и мониторинга напряжения (VMON). Уровень напряжения на вспомогательном выводе VMON (0–5 В) прямо пропорционален выходному, контроль его значений позволяет организовать обратную связь и обеспечить дополнительную защиту от перенапряжения. Каждый преобразователь напряжения имеет внутренний тактовый генератор, который устанавливает его рабочую частоту. Сервисная функция синхронизации помогает объеди-

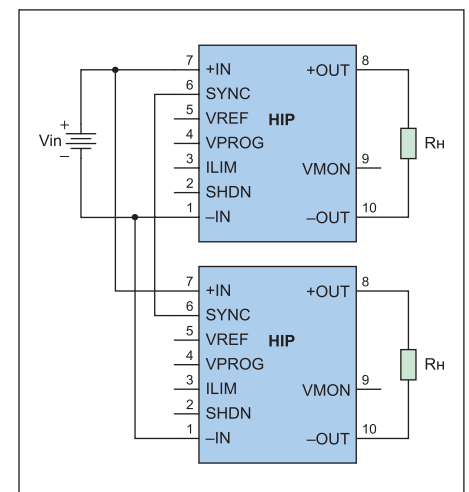


Рис. 9. Типовая схема объединения двух DC/DC-преобразователей серии HiP

нить между собой несколько модулей для их функционирования на наивысшей частоте преобразования (рис. 9).

### Заключение

Новые конкурентоспособные серии DC/DC-преобразователей расширяют но-

менклатуру выпускаемых изделий компании PICO Electronics. Компактные высоковольтные компоненты в модульном исполнении гарантируют долговременную надежность и высокую стабильность рабочих характеристик в обычных и жестких условиях эксплуатации. Наличие защитных и вспомогательных функций, обеспечивающих соответ-

ствие требованиям современных стандартов, позволяет использовать их в оборудовании самого различного назначения.

### Литература

1. Официальный сайт компании PICO Electronics. [www.picoelectronics.com](http://www.picoelectronics.com)