

# АС/DC-преобразователи Pico Electronics

## со встроенными корректорами коэффициента мощности

Основанная в 1967 году компания Pico Electronics — известный разработчик и производитель высококачественных малогабаритных катушек индуктивности и трансформаторов для сквозного и планарного монтажа, широкого спектра DC/DC-преобразователей с выходной мощностью до 300 Вт и напряжением до 10 кВ, а также изолированных АС/DC-источников питания различного назначения. В статье дан обзор высокоэффективных АС/DC-преобразователей Pico Electronics, отличающихся наличием встроенных корректоров коэффициента мощности (ККМ). В рамках публикации рассматриваются основные характеристики и конструктивные особенности отдельных серий, кроме того, предложены рекомендации по их применению.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

### Введение

В настоящее время при организации электропитания промышленной и бытовой аппаратуры, как правило, используются импульсные преобразователи напряжения, работающие от сети переменного тока. Изготавливаемые на основе АС/DC-конвертеров, сетевые источники питания выполняют функции подавления электромагнитных помех по цепи питания, выпрямления входного напряжения, защиты от выбросов при переходных процессах в сети и ограничения пускового тока при включении. Типовая упрощенная структура содержит диодный выпрямительный мост, емкостный сглаживающий фильтр, являющийся для сети реактивной нагрузкой, преобразователь выходного стабилизированного напряжения и при необходимости цепи гальванической развязки.

Такая схема потребляет мощность от сети только в короткие промежутки времени, в течение которых идет подзарядка накопительного конденсатора, на практике это время составляет примерно 25% от периода синусоидального сетевого напряжения. Потребляемый ток имеет импульсный характер, а его форма очень сильно отличается от синусоиды (рис. 1а). Кроме того, в спектральном составе тока, помимо полезной активной составляющей, совпадающей по частоте и фазе с входным напряжением, присутствуют реактивная составляющая основной частоты, а также мощные высшие гармоники. Они очень вредны для питающей сети, поскольку приводят к дополнительным потерям энергии, которая выделяется в виде тепла в электрических проводах, и вносят в сеть частотные искажения, вызывая серьезные проблемы электромагнитной совместимости при работе различного оборудования.

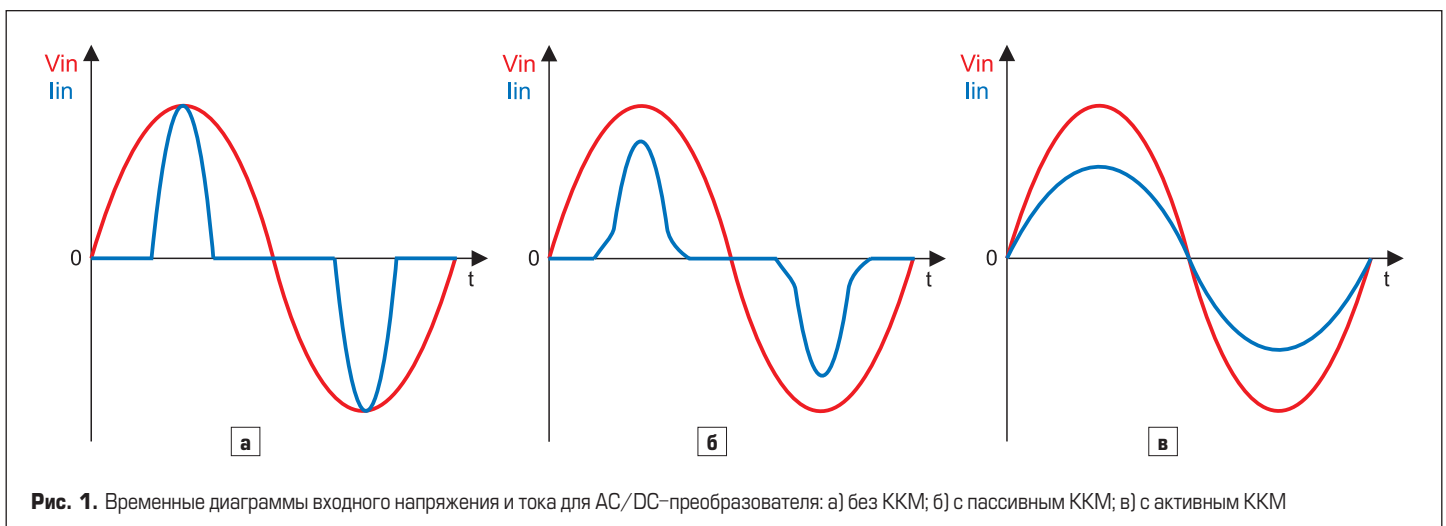


Рис. 1. Временные диаграммы входного напряжения и тока для АС/DC-преобразователя: а) без ККМ; б) с пассивным ККМ; в) с активным ККМ

Таблица 1. Основные характеристики AC/DC-преобразователей Pico Electronics со встроенными корректорами коэффициента мощности

Параметр	UAC	UACHV	AC1	AC3	LPNA1	PNA1	HPNA1	HPNA2
Номинальное входное напряжение, В AC	85–265		208 ±20%		85–250		85–250 или 208 ±20%	
Частота входного напряжения, Гц	47–440							
Максимальная выходная мощность, Вт	200	250	300		250	500	2000	
Коэффициент мощности (при нагрузке 50–100%)	0,99		0,95		0,99			
Номиналы выходных напряжений, В	5–48	100–300	5–48	5–300	до 365			
Погрешность установки выходного напряжения, % (макс.)	1		0,5 или 1		2			
Уровень выходного шума, мВ (п-п)	75–200	250–500	100–500		НД			
Нестабильность выхода по сети, %	0,2				НД			
Нестабильность выхода по нагрузке, %	1 или 1,5	1	1 или 1,5		3			
Коэффициент полезного действия, % (при нагрузке 100%)	76–84	85	76–82	76–85	> 90			
Рабочая частота преобразования, кГц	100							
Защита выхода от перегрузки по току					Да			
Защита от превышения максимальной температуры			Нет		Да			
Функция компенсации падения напряжения на проводах	Нет				Нет			
Функция синхронизации			Нет		Да			
Функция дистанционного управления			Нет		Да			
Электрическая прочность изоляции вход/выход, В	4242				Нет			
Электрическая прочность изоляции входа и выхода от основания, В	2121				2500		2121	
Габаритные размеры, см	10,5×6,4×1,3		10,5×6,4×2		6,4×5,8×1,3		11,7×6,4×1,3	
Вес, г	245		340		112		231	

Количественную оценку уровня внесенных помех и искажений (по амплитуде и по фазе) можно выполнить при помощи коэффициента мощности (КМ), представляющего собой отношение активной мощности, передаваемой потребителю, и подводимой к нему полной мощности. Коэффициент мощности показывает, насколько равномерно источник питания потребляет энергию от электрической сети. В идеальном случае, когда нагрузка чисто резистивная и линейная, его предельное значение равняется единице. Для максимального приближения к этой величине применяются специальные схемы пассивных и активных корректоров коэффициента мощности [1]. ККМ призваны обеспечить формирование тока, совпадающего по фазе с напряжением сети и имеющего практически синусоидальную форму независимо от характера нагрузки, а также резкое подавление гармонических составляющих тока во входной цепи. Необходимость их применения в источниках вторичного электропитания, а также в других потребителях с номинальной мощностью выше 75 Вт, подключаемых

к общей сети переменного тока, диктуется требованиями международного стандарта EN 61000-3-2, устанавливающего предельно допустимые значения интенсивности высших (со второй по сороковую) гармоник входного тока. Основные положения EN 61000-3-2 соответствуют национальному стандарту РФ ГОСТ Р 51317.3.2-2006.

В пассивных корректорах для компенсации реактивной составляющей нагрузки применяются дополнительные внешние дроссели, включаемые последовательно с нагрузкой. Несмотря на простоту и относительно низкую стоимость схемотехнического решения, они чаще всего используются в устройствах небольшой мощности, поскольку имеют ряд недостатков. Так, за простоту приходится платить увеличением размеров и веса источника питания, ведь для коррекции КМ на низкой частоте требуются крупногабаритные катушки индуктивности. Кроме того, пассивная коррекция, хоть и улучшает форму потребляемого от сети тока, не решает проблему полностью, коэффициент мощности возрастает незначительно (до 0,7–0,75 с 0,4–0,6 у моделей без

ККМ). И наконец, качество коррекции сильно зависит от величины тока нагрузки (рис. 16).

Активные корректоры значительно сложнее и дороже, чем пассивные, но позволяют получить более хорошие результаты, коэффициент мощности может преодолевать отметку 0,95 и выше [2]. Широко применяемые во всех современных мощных источниках питания, они представляют собой вспомогательные импульсные каскады (в основном повышающие), снижающие взаимное влияние питающей сети и преобразователя напряжения. Их использование позволяет уменьшить уровень сетевых помех и повысить КПД, гарантируя совпадение формы и фазы входного напряжения и входного тока (рис. 1в). Размещаются они между входным выпрямительным мостом и накопительным конденсатором, питающим DC/DC-преобразователь (рис. 2). Типичный модуль активного корректора состоит из контроллера ККМ, дросселя, мощного ключа на основе MOSFET, выпрямительного диода и цепей обратной связи. Регулирование и стабилизация выходного напряжения организованы при помощи ШИМ-сигнала. Для удовлетворения требований стандартов

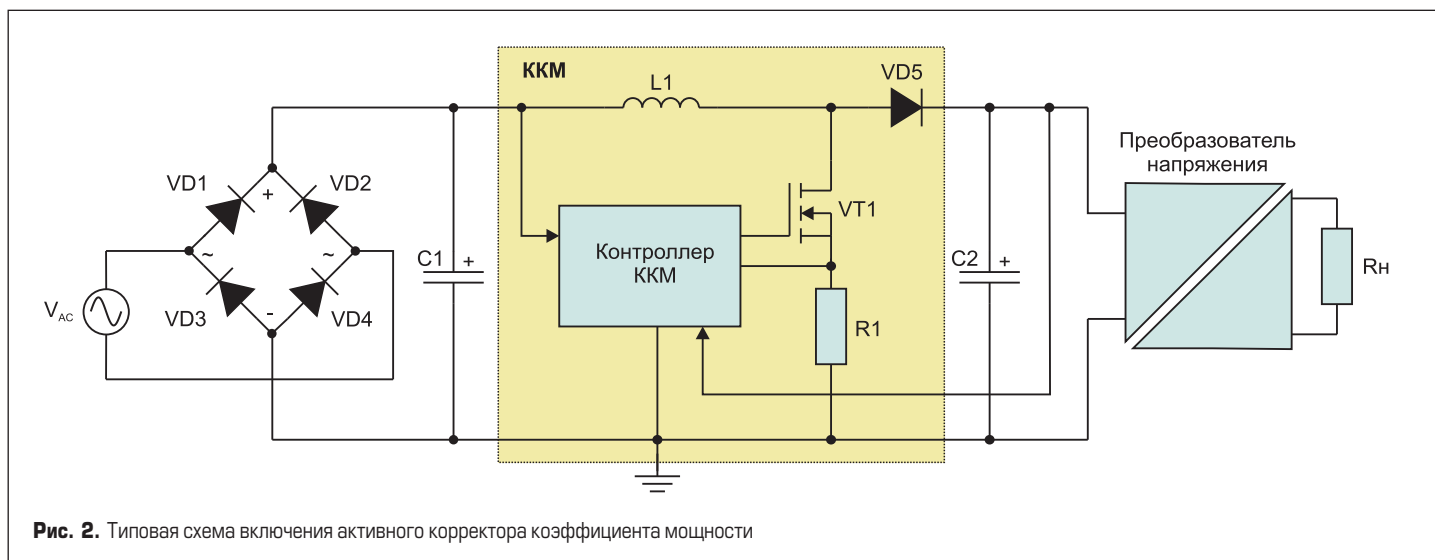


Рис. 2. Типовая схема включения активного корректора коэффициента мощности

Таблица 2. Значения тепловых сопротивлений для модулей серии UAC

Тип охлаждения	Тепловое сопротивление, °C/Вт		
	Без радиатора	С радиатором типа CV	С радиатором типа СН
Естественное	5,1	3,5	3
Принудительное, 1 м/с	2,8	1,8	1
Принудительное, 2 м/с	1,8	1,1	0,7
Принудительное, 3 м/с	1,4	0,8	0,55
Принудительное, 4 м/с	1,2	0,65	0,45
Принудительное, 5 м/с	1	0,55	0,4

по электромагнитной совместимости преобразование осуществляется на постоянной частоте.

AC/DC-преобразователи со встроенными активными корректорами коэффициента мощности выпускают многие производители силовой электроники, несколько серий устройств данного типа предлагает компания Pico Electronics [3].

### Характеристики AC/DC-преобразователей Pico Electronics

AC/DC-преобразователи Pico Electronics, изготавливаемые в модульном исполнении, служат для построения сетевых источников питания с выходной мощностью до 2000 Вт. Предлагаются 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. Их ценным качеством является универсальность по отношению к питающей сети, то есть источник может работать в любой стране с любым номиналом сетевого напряжения, а также при отклонениях от номинала по напряжению и частоте. Они не только полностью соответствуют требованиям стандарта EN 61000-3-2 по коэффициенту нелинейных искажений, но и значительно превосходят его требования. В таблице 1 показаны основные характеристики AC/DC-преобразователей Pico Electronics.

### Серии UAC и UACHV мощностью до 250 Вт

Одноканальные модули серий UAC и UACHV, рассчитанные на максимальную мощность 200 и 250 Вт соответственно, являются функционально законченными устройствами, предназначенными для импульсного преобразования напряжения переменного тока с амплитудой 85–265 В и частотой

47–440 Гц в стабилизированные напряжения постоянного тока. Серия UAC включает семь моделей с выходными значениями из стандартного ряда (5, 9, 12, 15, 24, 28 и 48 В), высоковольтное семейство UACHV представлено девятью устройствами с номиналами выхода 100–300 В (с шагом 25 В). Начальная погрешность установки выходного напряжения не превышает 1%, нестабильность выхода по сети составляет не более  $\pm 0,2\%$ , а по нагрузке  $\pm 1,5\%$  в худшем случае. При необходимости возможна поставка модулей с нестандартными значениями выходных напряжений, по данному вопросу необходимо обращаться непосредственно к производителю.

Блок активного корректора коэффициента мощности обеспечивает КМ конвертеров на уровне 0,99 во всем диапазоне входных напряжений и при изменении нагрузки в пределах 50–100% от номинального значения. Функционирующие на рабочей частоте преобразования 100 кГц модули гарантируют КПД вплоть до 85%. Встроенная схема защиты от перегрузки по току срабатывает при превышении максимального тока на 30% от паспортного значения.

Конструктивно все модули доступны в малогабаритных низкопрофильных корпусах с внешними размерами 10,5×6,4 см и высотой 1,3 см (UAC) или 2 см (UACHV). Герметичные корпуса, предназначенные для сквозного монтажа, имеют металлическое основание, изолированное от всех электрических цепей. Входные и выходные контакты преобразователей также изолированы друг от друга, напряжение гальванической изоляции вход/выход составляет не менее 4242 В.

Основание придает корпусу необходимую механическую прочность, а также служит для охлаждения модуля, максимальная температура которого в процессе эксплуатации не должна превышать +85 °C. Для снижения перегрева необходимо увеличивать площадь теплоотвода, использовать принудительное охлаждение либо комбинацию обоих способов. Увеличение площади теплоотвода легко достигается с по-

мощью дополнительных радиаторов типа СН и CV, предоставляемых производителем. Монтаж модуля на радиатор выполняется при помощи шести крепежных отверстий, расположенных по периметру корпуса.

Для выбора и расчета требуемого способа теплоотвода можно воспользоваться технической документацией на каждую отдельную серию. Для наглядности в таблицу 2 занесены справочные данные на серию UAC. При конвекционном (естественном) охлаждении тепловое сопротивление равно 5,1 °C/Вт. При использовании принудительного обдува со скоростью воздушного потока 1 м/с тепловое сопротивление снижается до 2,8 °C/Вт, при скорости обдува 2 м/с — до 1,8 °C/Вт и т. д.

Например, для модуля UAC24S с выходной мощностью 200 Вт и КПД 80%, работающего при температуре +50 °C, требуемое тепловое сопротивление между основанием модуля и окружающей средой определяется из следующей формулы:

$$R_t = \frac{\Delta T}{P_{out} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} = \frac{85 - 50}{200 \left( \frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 0,7 \text{ °C/Вт},$$

где  $\Delta T = T_{max} - T_a$  — разница между максимальной допустимой температурой (+85 °C) и температурой эксплуатации. Сравнивая результат с табличными значениями, можно сделать вывод, что при отсутствии радиатора необходимо воздушное охлаждение со скоростью потока более 5 м/с, при подключении радиатора CV можно ограничиться вентилятором со скоростью примерно 3,5 м/с, а при использовании радиатора типа СН — не более 2 м/с.

С другой стороны, по этой же формуле рассчитывается максимальное значение выходной мощности, достижимое при выбранном методе теплоотвода:

$$P_{out} = \frac{\Delta T}{R_t \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)} = \frac{85 - 50}{2,8 \left( \frac{1}{0,8} - 1 \right)} = 50 \text{ Вт}.$$

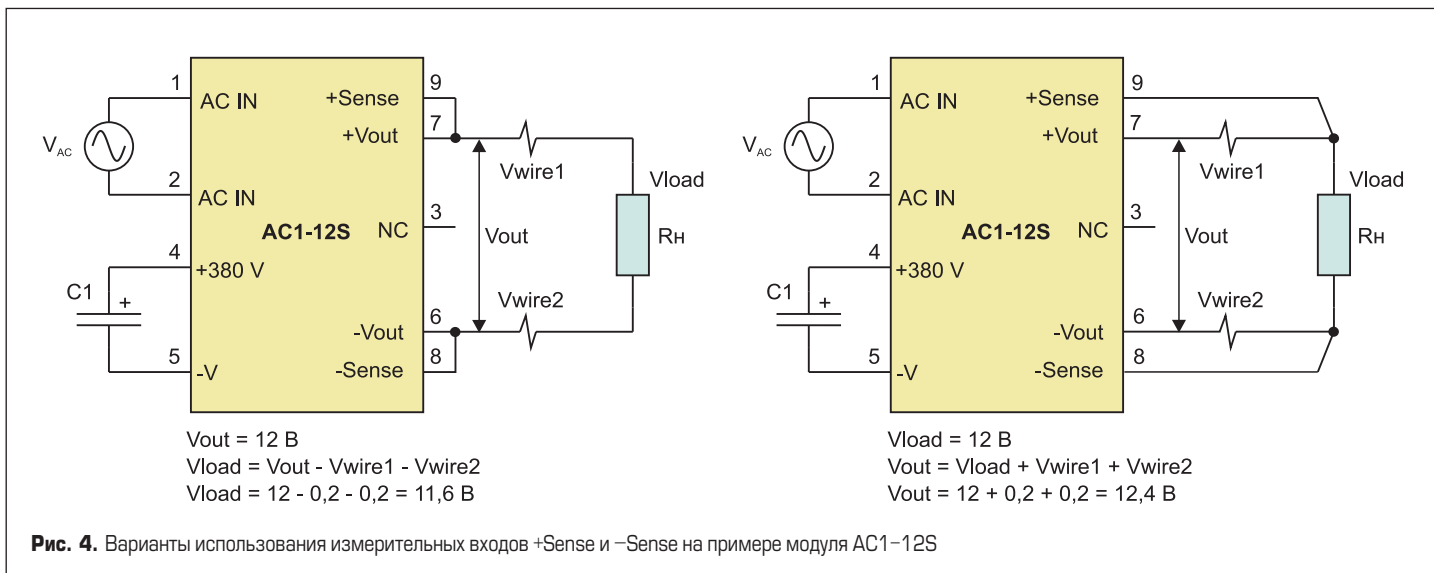
Тепловой расчет, выполненный на основе аналогичных данных, показывает, что, например, при отсутствии радиатора и наличии принудительного охлаждения со скоростью 1 м/с выходная мощность модуля не превышает 50 Вт.

### Серии AC1 и AC3 мощностью до 300 Вт

Изолированные AC/DC-преобразователи серий AC1 и AC3 с номинальной мощностью до 300 Вт имеют во многом схожие с ранее рассмотренными сериями параметры. Между собой различаются, прежде всего, типом входа и номиналами выхода. Серия AC1 объединяет одноканальные устройства с однофазными входными напряжениями 85–265 В (AC). На выходе обеспечиваются наиболее часто используемые в промышленности напряжения постоянного тока: 5, 9, 12, 15, 24, 28 и 48 В, максимальный ток нагрузки достигает 30 А. Серия AC3 содержит 16 модулей, рассчитанных на трехфазное



Рис. 3. Внешний вид AC/DC-преобразователей серий AC1 и AC3



входное напряжение  $208\text{ В} \pm 20\%$  и частоту  $47\text{--}440\text{ Гц}$ , линейка номиналов выхода дополнена значениями из диапазона  $100\text{--}300\text{ В}$  с шагом  $25\text{ В}$ . По запросу к производителю возможна поставка преобразователей с универсальным входным диапазоном и частотой  $360\text{--}800\text{ Гц}$ . Модули демонстрируют достаточно неплохие точностные характеристики: нестабильность выходного напряжения по сети  $\pm 0,2\%$ , а по нагрузке не более  $\pm 1,5\%$ . Начальная погрешность установки выхода не превышает  $0,5$  или  $1\%$  (в зависимости от модели). Также следует отметить низкий уровень выходного шума ( $100\text{--}500\text{ мВ}$ ), даже у модулей с высоковольтным выходом. Корпусное исполнение соответствует устройствам семейства UACHV, внешний вид преобразователей данных серий показан на рис. 3.

Использование каскада ККМ помогает повысить коэффициент мощности до  $0,99$  (серия AC1) и до  $0,95$  при частоте входного напряжения  $60\text{ Гц}$  или  $0,92$  при  $400\text{ Гц}$  (серия AC3). Эти показатели измеряются при токе нагрузки в пределах  $50\text{--}100\%$ . Вход и выход преобразователей развязан как между собой, так и по отношению к металлическому основанию корпуса. Напряжение гальванической изоляции вход/выход составляет  $4242\text{ В}$ , входа или выхода от корпуса — не менее  $2121\text{ В}$ . Типовые устройства рассчитаны на эксплуатацию при температурах  $0\text{...}+85\text{ }^\circ\text{C}$ , по запросу к производителю возможно уменьшение нижнего предела до  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ .

Помимо встроенной схемы защиты от короткого замыкания и перегрузки по току ( $130\%$  от номинала), модули с выходным напряжением до  $48\text{ В}$  оснащены функцией 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 рассмотрим случай подключения нагрузки к преобразователю AC1-12S проводами с падением напряжения по  $0,2\text{ В}$  на каждом. Измерение величины выходного напряжения производится при помощи специальных выводов +Sense и -Sense. На рис. 4а контакты +Sense и -Sense соединены с соответствующими выходными шинами возле выхода преобразователя. При этом требуемая величина выходного напряжения ( $12\text{ В}$ ) уменьшается на нагрузке до  $11,6\text{ В}$ . Использование измерительных входов +Sense и -Sense, соединенных с нагрузкой по четырехпроводной схеме, позволяет добиться требуемого напряжения непосредственно на контактах нагрузки путем регулировки выхода на величину падения (рис. 4б). Автоматическая регулировка возможна только при условии, что падение напряжения на соединительных проводах не превышает  $1\text{ В}$ . При использовании вспомогательных выводов +Sense и -Sense следует учитывать их высокую чувствительность

к помехам, поэтому существует рекомендация по применению дополнительных защитных элементов и шунтирующих конденсаторов между выводами +Sense, -Sense и выходными контактами модулей. При значительной длине проводников, идущих к измерительным входам, их следует выполнять витой парой.

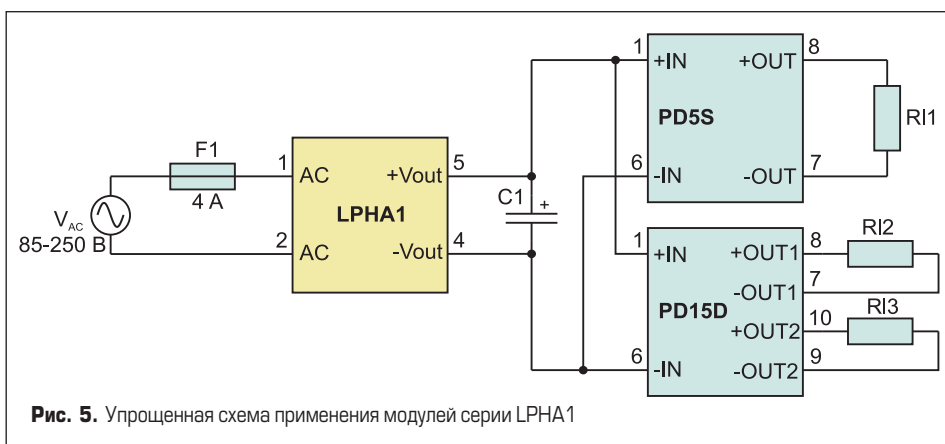
Шина  $+380\text{ В}$ , служащая выходом корректора коэффициента мощности, не является изолированной. Согласно руководству по применению, для обеспечения паспортных характеристик к данному выводу необходимо подключить внешний электролитический конденсатор C1 с напряжением не менее  $450\text{ В}$  и емкостью  $220\text{ мкФ}$ .

### Серии LPHA1 и PHA1 мощностью до 500 Вт

Серии LPHA1 с максимальной мощностью  $250\text{ Вт}$  и PHA1 (до  $500\text{ Вт}$ ) позиционируются для применения в качестве источников питания лазеров и драйверов двигателей. Все модули обладают универсальным входным диапазоном и регулируемым выходом с напряжением до  $365\text{ В}$  постоянного тока. Они могут работать автономно, а также в связке с одним или несколькими высоковольтными DC/DC-преобразователями из семейств LPD, PD и HPD компании Pico Electronics. Совместное использование данных компонентов позволяет получить напряжения питания в диапазоне  $3,3\text{--}350\text{ В}$ , пригодные для решения различных задач. Типовая схема применения представлена на рис. 5.

Значение начальной погрешности установки выходного напряжения не превышает  $\pm 2\%$ , его изменение во всем диапазоне выходных токов составляет не более  $\pm 3\%$ . Гарантированная эффективность преобразования  $90\%$  и выше. Коэффициент коррекции мощности близок к единице в широком диапазоне выходной мощности (рис. 6).

Модули LPHA1 и PHA1 производятся в корпусах, предназначенных для монтажа в отверстия, габаритные размеры варьируются:  $6,4 \times 5,8 \times 1,3\text{ см}$  для первой серии и  $11,7 \times 6,4 \times 1,3\text{ см}$  для устройств повышенной мощности. Вес преобразователей  $112$  и  $231\text{ г}$  соответственно. Гальваническая развязка





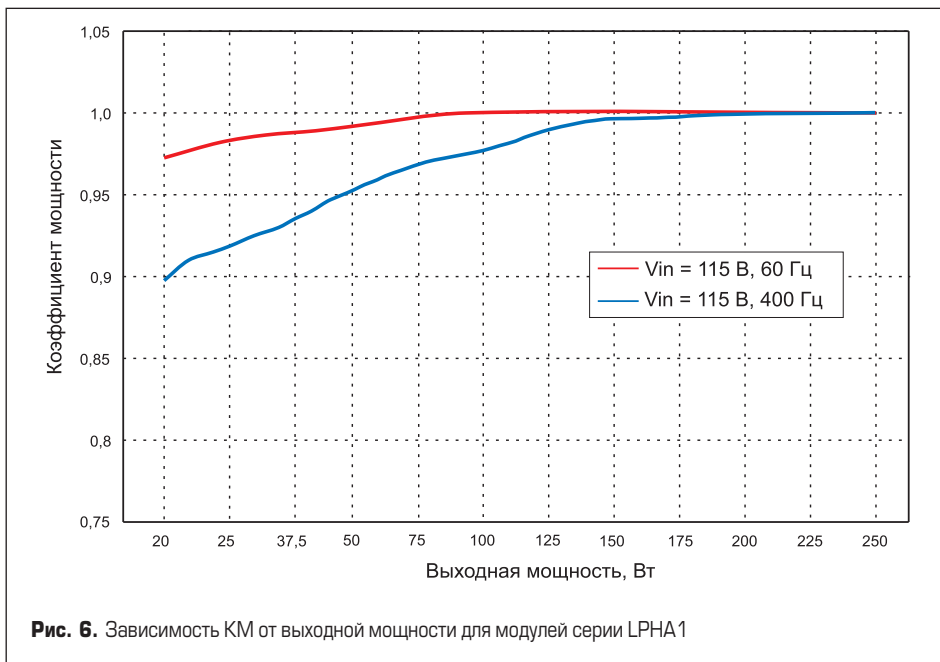


Рис. 6. Зависимость КМ от выходной мощности для модулей серии LPNA1

входа от выхода отсутствует, электрическая прочность изоляции выводов от основания корпуса — не менее 2500 В. Допустимая температура эксплуатации находится в диапазоне 0...+85 °С. Безопасность функционирования, помимо защиты от короткого замыкания, обеспечивается применением схемы защиты от перегрева, автоматически срабатывающей при температуре основания модуля выше +90 °С.

**Серии HPNA1 и HPNA2 мощностью до 2000 Вт**

Аналогичное назначение и корпусное исполнение имеют преобразователи серий HPNA1 и HPNA2, рассчитанные на максимальную мощность 1 и 2 кВт соответственно. Для данного уровня мощности они являются одними из наиболее малогабаритных модулей, доступных на рынке в настоящее время. Рекомендованные производителем для применения совместно с одно- и двухканальными DC/DC серий FD, MD, LFD, LMD, LPD, PD и HPD, они обеспечивают широкий диапазон выходных напряжений вплоть до 300 В постоянного тока.

В рамках серий выпускаются компоненты с однофазными (85–250 В AC) и трехфазными (208 В AC ±20%) входными напряжениями. При пониженных значениях входного напряжения (85–110 В AC) реальная величина выходной мощности будет уменьшаться на 1,2%/В. КПД всех модулей составляет не менее 90% (более 95% при напряжении сети 170–250 В или в случае трехфазного входа).

Допустимое отклонение выходного напряжения от номинала не превышает ±2%, а нестабильность выхода по нагрузке ±3% (в диапазоне выходных токов 10–100%). Типовая схема включения модулей HPNA1 и HPNA2 приведена на рис. 7.

Безопасность функционирования гарантируется встроенными схемами защиты от перегрузки по току и перегрева. Ключевым же отличием является возможность применения функций внешней синхронизации и удаленного включения/выключения, позволяющих организовать энергосберегающий алгоритм работы источника питания. Вывод внешней синхронизации Sync обеспечивает возможность синхронизации внутреннего генератора внешним сигналом. Несколько пре-

образователей могут быть объединены между собой для работы на одной общей частоте или же подключены к внешнему источнику тактового сигнала, данная функция обычно применяется в сложных системах электропитания. Для дистанционного управления предназначен дополнительный вывод Enable, повышающий гибкость применения преобразователей в современных системах электропитания PЭА, требующих определенного алгоритма подачи питания к отдельным узлам. Также функция полезна в случае возникновения аварийных ситуаций, когда необходимо выполнить оперативное отключение нагрузки. Требуемые уровни логических сигналов управления определяются из технической документации на конкретную серию.

**Заключение**

Необходимость соблюдения международных стандартов, регламентирующих требования к уровню гармонических искажений для устройств с питанием от сети, означает, что применение технологии корректировки коэффициента мощности является одним из ключевых аспектов при разработке источников питания. Компактные AC/DC-преобразователи в модульном исполнении, предлагаемые компанией Pico Electronics, имеют встроенные ККМ и гарантируют долговременную надежность и высокую стабильность рабочих характеристик в различных условиях эксплуатации. Они оптимальны для решения широкого спектра задач по питанию промышленной и высоконадежной радиоэлектронной аппаратуры от сети переменного тока.

**Литература**

1. Карзов Б. Н., Кастров М. Ю. Схемы коррекции коэффициента мощности с учетом фильтрации помех сетевого напряжения // Практическая силовая электроника. 2009. № 2.
2. Ashok Bindra. Понимание различных методов коррекции коэффициента мощности для AC/DC-преобразователей // Радиолюман. 2012. № 8.
3. Официальный сайт компании Pico Electronics. [www.picoelectronics.com](http://www.picoelectronics.com)

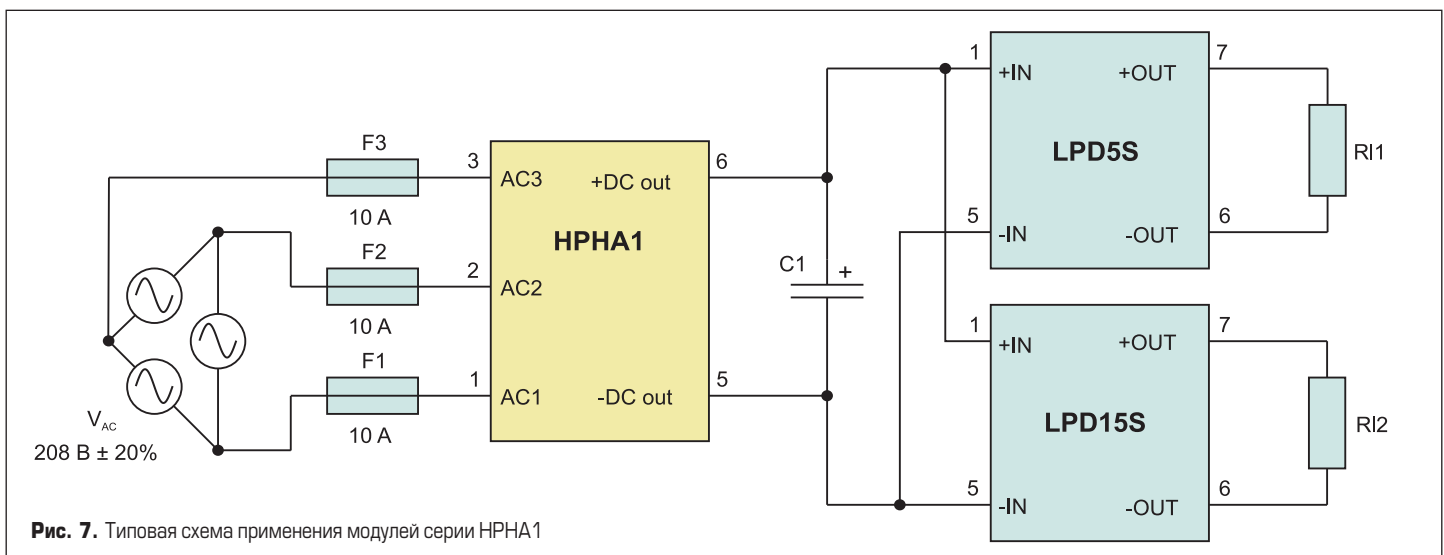


Рис. 7. Типовая схема применения модулей серии HPNA1