

## Развитие широкотемпературных планарных DC/DC- и AC/DC-преобразователей серии JETN от фирмы ВИП АГ. Часть 2

Александр ГОНЧАРОВ,  
к. т. н.

В первой части данной статьи [3] были рассмотрены особенности миниатюризации и негативные эффекты повышения энергетической плотности DC/DC-преобразователей на примере перспективной для матричных систем электропитания АФАР и суперкомпьютеров [4, 5], а также многочисленных изделий спецтехники серии JETND преобразователей DC/DC JETND30, JETND60, JETND120, JETND250 и JETND600, имеющих диапазон мощности 10–600 Вт и выполненных в Brick-формате.

Во второй части рассмотрим особенности миниатюризации и повышения энергетической плотности преобразователей AC/DC на мощности 60–5000 Вт.

Повышение энергетической плотности AC/DC- и DC/DC-преобразователей является важной мировой тенденцией и находится в русле миниатюризации современной электроники. Большинство инноваций в силовой электронике характеризуется отношением выходной мощности к занимаемому преобразователем объему, называемым энергетической плотностью, или удельной мощностью, —  $W = P_{out}$  Вт/В (дм<sup>3</sup> или дюйм<sup>3</sup>). Сегодня только неуклонное повышение энергетической плотности позволяет сохранить в конкретной аппаратуре соотношение объема источников вторичного электропитания (ИВЭП) к объему всей электронной части аппаратуры на уже критическом уровне 20–40%, а тенденция к увеличению доли объема ИВЭП до 50% и более в ряде случаев проявляется все отчетливее [1, 2].

### Энергетически эффективные AC/DC-преобразователи

Сегодня в области преобразователей класса AC/DC в мощностном диапазоне 50–5000 Вт наилучшими показателями удельной мощности считаются значения 1–1,5 кВт/дм<sup>3</sup> для первой части мощностного диапазона (50–500 Вт) и 1,5–2,5 кВт/дм<sup>3</sup> для второй части мощностного диапазона (500–5000 Вт).

Для дюймовой системы, принятой на Западе, это в общем соответствует показателям 60–150 Вт/дюйм<sup>3</sup>. В первой части данной статьи для модулей класса DC/DC шла речь о реально достигнутых показателях модулей чешской AEPS-GROUP s. r. o.

3,8–6,5 кВт/дм<sup>3</sup> или 230–390 Вт/дюйм<sup>3</sup>. Таким образом, по удельной мощности преобразователи класса AC/DC значительно отстают от преобразователей класса DC/DC, по крайней мере в 3–4 раза. Это объясняется значительно большими трудностями миниатюризации AC/DC-преобразователей в связи с наличием высоковольтных электролитических конденсаторов на сотни и тысячи микрофарад, со свойственными им большими габаритами. Необходимость гальванической развязки между входом и выходом на напряжения в несколько киловольт (по условиям безопасности минимальное ~3 кВ!) определяет громоздкость коннекторов и разделительных электрических и конструктивных компонентов. Однако самое главное, что определяет пониженную энергетическую плотность AC/DC-преобразователей, — это

более сложный функциональный состав и более низкие частоты преобразования.

Во-первых, таким преобразователям нужен выпрямитель, во многих применениях необходим корректор мощности, обязательны очень громоздкие входные и выходные фильтры, обеспечивающие нормы ЭМС. Эти элементы всегда (!) занимают свыше 50% объема. И очень трудным фактором является вынужденная работа на невысоких частотах преобразования — 50–300 кГц (300–1000 кГц для DC/DC преобразователей), поскольку в подобных случаях применяются высоковольтные транзисторы, имеющие намного худшие скорости переключения, чем низковольтные.

В данной области, так же как и для DC/DC преобразователей, но не столь резко, увеличение энергетической плотности AC/DC-

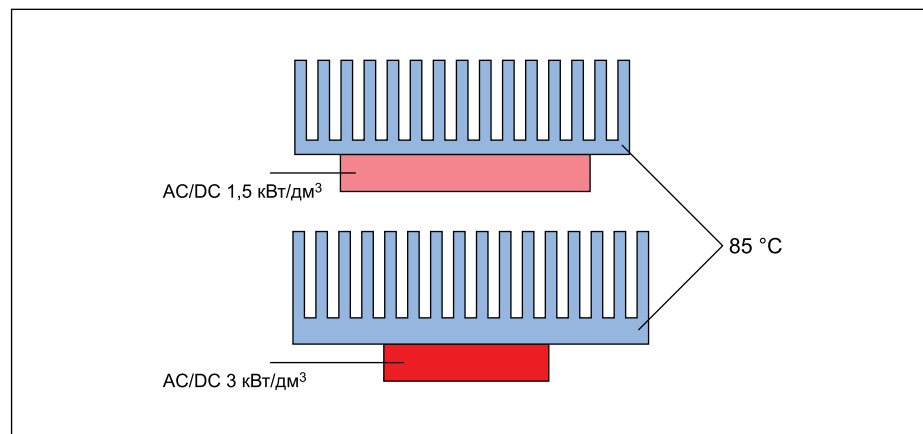


Рис. 1. Демонстрация, как увеличение энергетической плотности может ухудшить габаритно-весовые показатели ИВЭП

Таблица. Основные электрические и функциональные характеристики новых преобразователей

Мощность, Вт	Тип	Размеры, мм	Максимальный выходной ток	Пределы возможных выходных напряжений	Типовой КПД, %	Энерг. плотность, кВт/дм <sup>3</sup>	Количество выходов	Вход 115 В (80–140 В)	Вход 230 (176–242 В)	Вход 230 Вт (100–242 В)	Вход 380 (304–456 В), 3 фазы	Рабочая температура корпуса –40...+85 °С	Рабочая температура корпуса –60...+85 °С	Развязка вход/выход, кВ	Дистанционное выключение	Подстройка	Высшая обратная связь	Параллельная работа
60	JETA60	101×51×18	12	5–60	85	0,6	1, 2, 3	•	•	•		•		~3				
120	JETA120	111×61×21	24	5–60	85	0,8	1, 2, 3	•	•	•		•		~3				
300	JETA300	134×84×27	30	9–60	85	1	1, 2, 3			•		•		~3	•	•		
700	JETA700	175×93×28	50	12–60	88	1,5	1			•		•		~3	•	•	•	•
1200	JETA1200	211×117×38	80	15–60	88	1,3	1			•		•		~3	•	•	•	•
2000	JETA2000	250×140×38	100	15–60	88	1,5	1			•		•		~3	•	•	•	•
1000	JETNA1000	175×93×28	60	12–60	91	2,1	1				•	•		~3	•	•	•	•
2000	JETNA2000	211×117×38	100	15–60	91	2,1	1				•	•		~3	•	•	•	•
3000	JETNA3000	250×140×38	125	24–60	92	2,2	1				•	•		~3	•	•	•	•
5000	JETNA5000	300×170×39	200	24–60	92	2,3	1				•	•		~3	•	•	•	•

преобразователя вступает с противоречием с эффективностью охлаждения и размерами радиатора. В этом смысле уменьшение размеров AC/DC-преобразователей перестает быть эффективным, поскольку требуется применение радиатора с более массивным основанием, более длинными ребрами, что может увеличить общие размеры конструкции «преобразователь + радиатор» (рис. 1).

В целом, вышеизложенное в первой и второй частях статьи позволяет сформировать общие требования к конструкции и энергетической эффективности современных широкотемпературных планарных DC/DC- и AC/DC-преобразователей:

1. Увеличение энергетической плотности современного преобразователя должно сопровождаться в первую очередь уменьшением толщины — профиля преобразователя в большей степени, чем длины и ширины. Это необходимо для препятствования увеличению концентрации тепловой энергии на основании преобразователя.
2. Внутреннее основание корпуса, особенно преобразователя DC/DC, должно переходить в утолщенные стенки корпуса для разглаживания теплового профиля и уменьшения числа тепловых концентраторов теплоотводящего основания.
3. КПД преобразователя должен иметь зависимость от выходной мощности с экстремумом на значениях выходной мощности, отвечающих математическому ожиданию в статистике аппаратурных мощностей.

4. Для оптимизации размеров радиатора преобразователи должны иметь наиболее высокую рабочую температуру корпуса, отвечающую сохранению максимальной мощности и высокой надежности элементов внутри преобразователя.

Сама формулировка вышеприведенных требований показывает, что энергетическая плотность все-таки имеет ограничение — экстремум, отвечающий критериям оптимизации всей конструкции ИВЭП [6].

Далее кратко рассмотрим результаты разработки новой серии.

В AEPS-GROUP s.r.o., [7, 8] оптимизация по типовым требованиям аппаратуры для жестких условий эксплуатации в 2016 году завершилась созданием серии планарных широкотемпературных преобразователей класса AC/DC — JETA (однофазные) и JETNA (трехфазные), рассчитанных на работу в диапазоне мощностей 50–5000 Вт при температурах на корпусе –40...+85 °С (по специальному заказу для трехфазных преобразователей: –60...+85 °С).

Номенклатура и основные параметры серии представлены в таблице.

Первая, самая маломощная группа преобразователей выполнена на максимальные мощности 60 и 120 Вт. По максимуму КПД они оптимизированы на выходную мощность 40–50 и 80–100 Вт соответственно. JETA60 и JETA120 имеют минимальные функции, выполнены в металлических корпусах малого профиля. Коррекция мощно-

сти ими не производится. Имеют гальванически развязанные выходные каналы в количестве до трех.

Вторая группа преобразователей JETA300, JETA700, JETA1200, JETA2000 выполнена на максимальные мощности 300, 700, 1200 и 2000 Вт. По максимуму КПД они оптимизированы на выходную мощность 200–250, 500–600, 800–1000 и 1200–1500 Вт соответственно. Эти приборы имеют расширенные функции, реализованы в металлических корпусах уникально малого для таких мощностей профиля. Имеют корректор мощности. В стандартном исполнении имеют один выход и специальный выход для питания вентилятора, кроме JETA300, который может иметь до трех гальванически развязанных между собой выходов.

Внешний вид данных однофазных AC/DC-преобразователей на примере самого маломощного и самого мощного показан на рис. 2.

Третью группу составляют трехфазные преобразователи JETNA1000, JETNA2000, JETNA3000 и JETNA5000. Они обеспечивают максимальные мощности 1000, 2000, 3000 и 5000 Вт. По максимуму КПД оптимизированы на выходную мощность 600–800, 1200–1500, 2000–2500 и 3300–4000 Вт соответственно. Преобразователи имеют расширенные функции, выполнены в металлических корпусах уникально малого для таких мощностей профиля. Предусмотрена функция коррекции мощности.

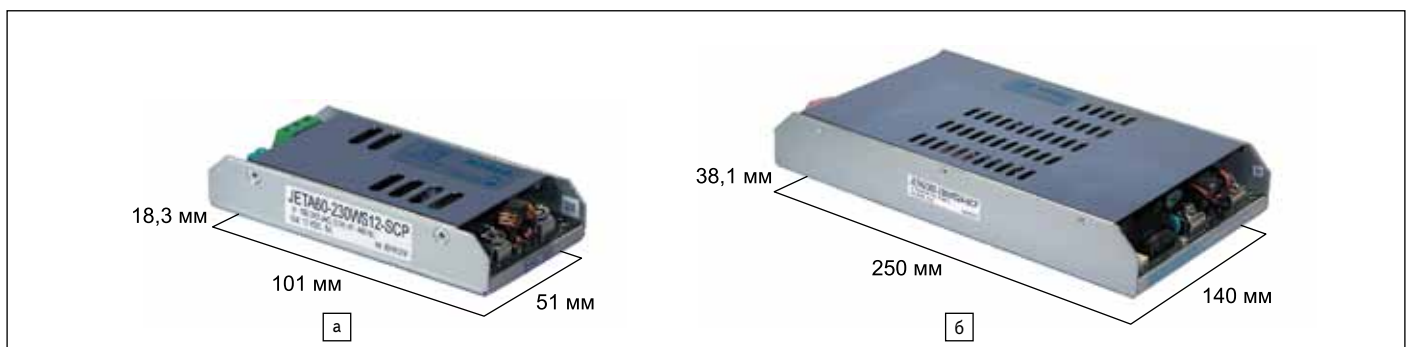


Рис. 2. Внешний вид новых модулей: а) JETA60; б) JETA2000

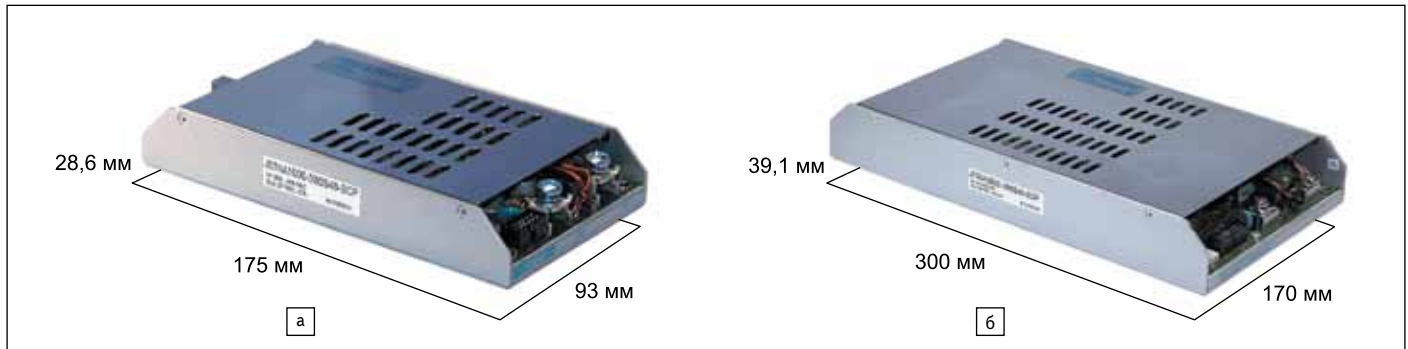


Рис. 3. Внешний вид новых модулей: а) JETNA1000; б) JETNA5000

Внешний вид трехфазных преобразователей AC/DC показан на примере самого мало-мощного и самого мощного (рис. 3).

Как показала прошедшая в Мюнхене выставка ELECTRONICA-2016, серия модульных преобразователей AC/DC типа JETA и JETNA в данном диапазоне мощностей, по-видимому, не имеет аналогов в России и за рубежом по совокупности энергетической плотности, планарности — низкого профиля, а также температурного диапазона.

Такие преобразователи могут значительно повысить конкурентоспособность электроники обычных и матричных систем электропитания в качестве централизованных преобразователей объектов спецтехники с высокими показателями надежности при суммарных выходных мощностях до десятков киловатт.

Целевой функцией работ по оптимизации данных модулей при проведении ОКР стал учет специфических требований стационарных и подвижных объектов с матричной структурой, в первую очередь радаров и суперкомпьютеров.

Этому способствуют многочисленные имеющиеся функции, особенно у старших моделей: дистанционное включение и выключение, в том числе «сухим контактом», выход диагностики, функция параллельной работы и выносной обратной связи. Модули могут подстраиваться по выходному напряжению. В указанных модулях соблюдены стандарты безопасности и ЭМС — IEC/EN60950, EN55022, класс А, (класс В с дополнительным фильтром). Также модули этой серии могут аттестовываться по стандартам MIL-STD-810F и MIL-STD-461F.

Данные AC/DC-модули имеют противопожарные входные предохранители, отсекающие аварийный модуль со стороны входной сети от остальных при его выходе из строя.

Модули имеют специальную теплопроводящую жесткую полимерную заливку и компоненты с обволакиванием для работы в условиях запыленности, повышенной влажности и, конечно, в условиях достаточно больших механических воздействий.

Необходимо обратить внимание на такую особенность, как отсутствие вентиляторов — 95% выделяемого тепла выводится на плоскую базовую плату, легко сочленяемую с жидкостным или другим типом теплоотвода. Оставшиеся 5% выделяемого тепла также являются большим достижением в силу своей малости. Специалисты, работающие с герметичными объемами для аппаратуры, включая источники вторичного электропитания, теперь легко могут решать тепловые проблемы «обратных конвекционных радиаторов» — организацию внутреннего охлаждения.

Уникальность рассмотренных преобразователей AC/DC заключается в достижении широкого диапазона рабочих температур корпуса:  $-60...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Выводы

1. Энергетическая плотность DC/DC- и AC/DC-преобразователей не должна оцениваться отдельно от других параметров. Высокие показатели энергетической плотности в ряде случаев не могут гарантировать более компактные ИВЭП и системы электропитания, включая систему охлаждения.
2. Увеличение энергетической плотности современного DC/DC- и AC/DC-преобразователя должно сопровождаться в первую очередь уменьшением толщины — профиля преобразователя в большей степени, чем длины и ширины.
3. Энергетическая плотность полнофункциональных AC/DC-преобразователей при одной мощности с DC/DC-преобразователями, как правило, в 2–3 раза меньше в связи с большим требуемым функционалом и большими трудностями работы на высоких частотах преобразования.
4. За счет более высокой предельной температуры корпуса по сравнению с аналогичными преобразователями других производителей ( $+110...+130\text{ }^{\circ}\text{C}$  вместо  $+100...+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) широкодиапазонные планарные DC/DC-преобразователи серии JETND позволяют создавать для изделий спецтехники конструкции ИВЭП

на базе Brick-корпусов, которые отличаются существенно меньшим размером и весом.

5. Благодаря широкому температурному диапазону корпуса ( $-60...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а также существенно меньшему размеру и весу по сравнению с аналогичными преобразователями широкодиапазонные планарные AC/DC-преобразователи серии JETNA позволяют создавать более конкурентоспособные конструкции, особенно эффективные для матричных систем электропитания радаров, суперкомпьютеров и других изделий спецтехники.

В составе AEPS-GROUP в Москве создана инновационная фирма ООО «ВИП АГ», имеющая все необходимые лицензии на постановку и ведение производства преобразователей серий JETND и JETNA. ■

## Литература

1. Конев А., Гончаров А., Колосов В. Отечественная энергетическая электроника: проблемы, тенденции, достижения // НТБ. 1997. № 6.
2. Гончаров А. Сравнительный показатель унифицированной удельной мощности модулей ИВЭП. Устройства и системы энергетической электроники, разработка, производство, маркетинг. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. АН РФ. Москва.
3. Гончаров А. Развитие широкодиапазонных планарных DC/DC- и AC/DC-преобразователей серии JETN от фирмы ВИП АГ. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2016. № 12.
4. Гончаров А. Особенности построения матричных систем распределенного электропитания для АФАР // Компоненты и технологии. 2016. № 12.
5. Гончаров А., Кузнецов А., Лукьянов И. Новый способ построения высоконадежных AC/DC-преобразователей // Современная электроника. 2014. № 7.
6. Гончаров А., Кузнецов А., Лукьянов И. Может ли быть энергетической плотности слишком много? // Современная электроника. 2014. № 9.
7. Каталог Инновационной группы ВИП АГ с выставки ExpoElectronica-2016.
8. Материалы сайта группы компаний «Александр Электрик». [www.aeps-group.ru](http://www.aeps-group.ru)