

Развитие широкотемпературных планарных DC/DC- и AC/DC-преобразователей серии JETN от фирмы ВИП АГ. Часть 1

Александр ГОНЧАРОВ,
к. т. н.
alexann.goncharov@gmail.com

Повышение энергетической плотности AC/DC- и DC/DC-преобразователей является важной мировой тенденцией в первую очередь благодаря инновациям таких фирм, как TDK-LAMBDA и VICOR. Этот процесс находится в русле миниатюризации современной электроники, и большинство инноваций в силовой электронике характеризуется отношением выходной мощности к занимаемому преобразователем объему, называемым энергетической плотностью или удельной мощностью — $W = P_{out}(Вт)/V(\text{дюйм}^3)$.

Сегодня только повышение энергетической плотности в конкретной аппаратуре позволяет еще сохранить на грани приличия соотношение объема источников вторичного электропитания (ИВИП) к объему всей электронной части аппаратуры на уровне 20–40%, хотя тенденция к увеличению доли объема ИВИП до 50% и более проявляется все отчетливее [1]. По-видимому, вскоре ИВИП перестанет именоваться «вторичный» и по праву займет главное место в иерархии других узлов и блоков в составе систем.

Объясняется такое, несколько парадоксальное, развитие миниатюризации аппаратуры известными и весьма весомыми причинами — большими трудностями миниатюризации электромагнитных и емкостных компонентов самих ИВЭП. Однако гораздо реже говорят о том, что приносит с собой увеличение энергетической плотности, о таких ее негативных эффектах, как концентрация тепла в небольших геометрических зонах, повышение внутренней температуры в ИВЭП, динамические тепловые процессы внутри ИВЭП при изменениях входного напряжения и нагрузки и т. д.

DC/DC-преобразователи

В настоящее время лидеры рынка источников электропитания уверенно штурмуют значения энергетической плотности DC/DC-преобразователей 100 Вт/дюйм³ или 6,1 кВт/дм³ и более. Однако такие

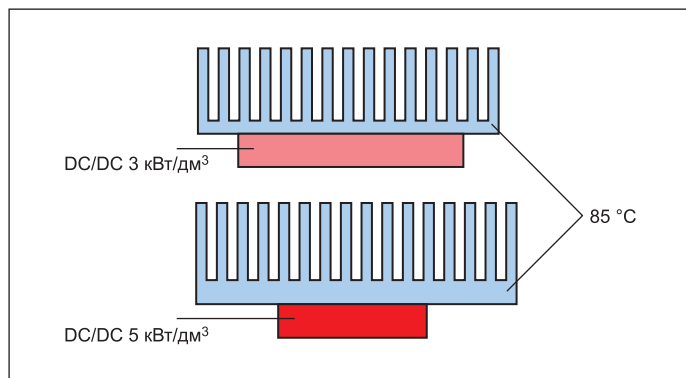


Рис. 1. Пример, демонстрирующий, как увеличение W может ухудшить габаритно-весовые ИВЭП

преобразователи являются источниками тепла, которое необходимо рассеивать, в том числе дополнительными радиаторами. Повышение энергетической плотности DC/DC-преобразователя означает снижение его поверхности для отвода тепловой мощности на радиатор. В то же время уменьшение его теплоотводящей поверхности сокращает эффективность радиатора и приводит к увеличению его размеров [2]. То есть увеличение энергетической плотности вступает в противоречие с эффективностью охлаждения и габаритами радиатора. В этом смысле уменьшение размеров данных устройств перестает быть эффективным, поскольку необходимость применения радиатора с более массивным основанием не позволяет сделать более компактными общие размеры конструкции «преобразователь + радиатор» (рис. 1).

В целом ряде случаев требования к системе охлаждения исключают применение принудительного охлаждения вентилятором, и все тепловые расчеты необходимо проводить для условий естественной конвекции. В такой ситуации для потребителя будут предпочтительны те DC/DC-преобразователи, которым при заданной выходной мощности понадобится меньший по размеру радиатор или, что лучше, и вовсе не потребуются охлаждающий радиатор. Это весьма актуально, например, для авиационных, космических, автомобильных приложений, в радиолокации, где минимальный вес и габариты имеют решающее значение.

Вышеизложенное позволяет автору сформулировать требования к конструкции и энергетической эффективности современного DC/DC-преобразователя.

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

Таблица. JETND — планарные DC/DC-преобразователи в корпусах Brick (система VICOR)

Мощность, Вт	Тип	Размеры, мм	Корпус	Максимальный выходной ток	Пределы возможных выходных напряжений	Типовой КПД, %	Энерг плотность, кВт/дм³	Количество выходов	Вход 12 (10,5–18 В)	Вход 12W (10,5–36 В)	Вход 24 (18–36 В)	Вход 24W (18–72 В)	Рабочая температура корпуса –40...+10 °С	Развязка вход/выход, кВ	Дистанционное выключение	Подстройка	Выносная обратная связь	Параллельная работа
30	JETN30	33×23×10	Sixteenth Brick	6	3–60	92	3,8	1	•	•	•	•	•	1,5	•	•		
60	JETN60	59×23×10	Eighth Brick	10	3–60	92	4,5	1	•	•	•	•	•	1,5	•	•		
120	JETN120	59×37×12	Quarter Brick	20	3–60	92	4,8	1	•	•	•	•	•	1,5	•	•		
250	JETN250	61×59×12	Half Brick	40	3–60	92	6	1	•	•	•	•	•	1,5	•	•	•	•
600	JETN600	117×61×13	Full Brick	40	5–60	92	6,5	1	•	•	•	•	•	1,5	•	•	•	•

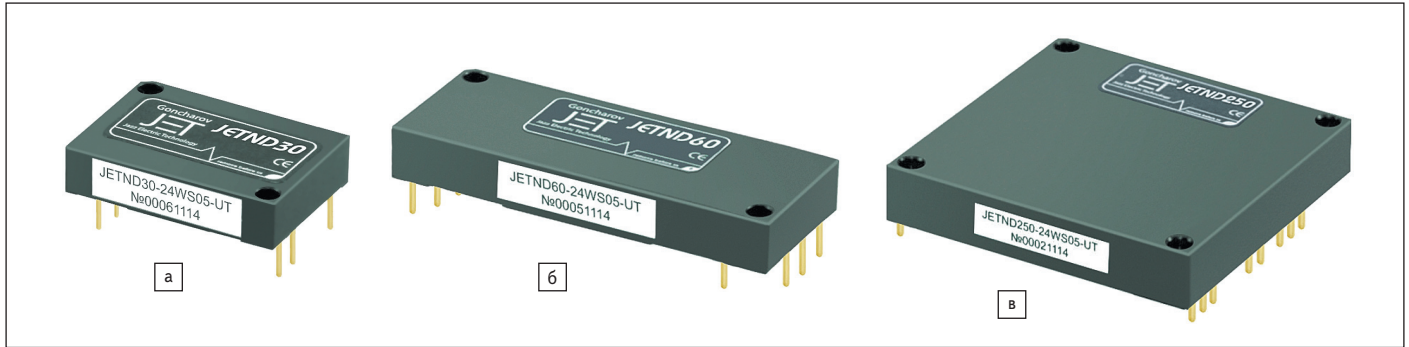


Рис. 2. Внешний вид DC/DC-преобразователей: а) JETND30; б) JETND60; в) JETND250

4. Для оптимизации размеров радиатора DC/DC-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. Далее кратко рассмотрим результаты разработки новой серии.

В AEPS-GROUP s. r. o. [3] оптимизация по типовым требованиям аппаратуры для жестких условий эксплуатации завершилась созданием серии планарных широко-температурных DC/DC-преобразователей JETND, рассчитанных на работу при мощностях 10–600 Вт в диапазоне температур корпуса –60...+110 °С (по специальному заказу –60...+130 °С). Преобразователи выполнены в популярном формфакторе

Brick-формата. Номенклатура и основные параметры серии представлены в таблице. Внешний вид некоторых преобразователей приведен на рис. 2.

Сегодня многие производители DC/DC-конвертеров демонстрируют примерно одинаковые показатели по предельной температуре корпуса +100...+105 °С. По сравнению с этим в DC/DC-преобразователях серии JETND данный параметр составляет +110...+130 °С, что дает ИВЭП на основе JETND определенное преимущество.

В условиях заданных габаритов DC/DC-преобразователей Brick-формата и отсутствия принудительного охлаждения остается только два пути уменьшения размеров и веса охлаждающего радиатора (или исключения его совсем) — повышение КПД и максимальной рабочей температуры корпуса [4, 5]. В отношении КПД большинство производителей DC/DC-преобразователей демонстрируют сопоставимые результаты. Мы же проанализируем влияние предель-

ной температуры корпуса на возможность создания наиболее компактных DC/DC-преобразователей с учетом системы охлаждения.

Рассмотрим зависимость максимальной выходной мощности от температуры окружающего воздуха для некоторых Brick-форматов без радиатора в условиях естественной конвекции. При этом примем, что наихудший КПД составляет 90%, а тепловое сопротивление корпуса относительно воздуха определяется размерами Brick-формата. Эти тепловые сопротивления несколько отличаются у разных производителей, для расчетов максимальной мощности примем величины тепловых сопротивлений равными некоторым средним значениям:

- Θ_{ca} (Quarter Brick) = 10 °C/W;
- Θ_{ca} (Half Brick) = 7 °C/W;
- Θ_{ca} (Full Brick) = 3,7 °C/W.

Для каждого из трех типов корпусов покажем зависимость максимальной выходной мощности без радиатора от темпера-

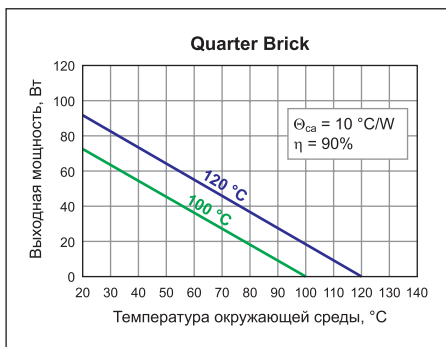


Рис. 3. Тепловая кривая для преобразователя JETND120

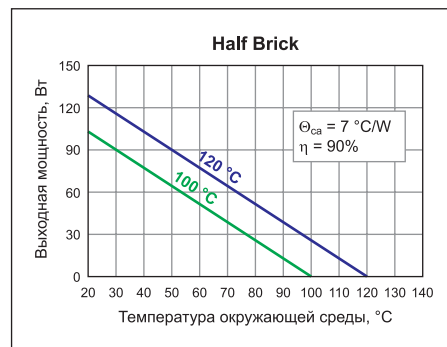


Рис. 4. Тепловая кривая для преобразователя JETND250

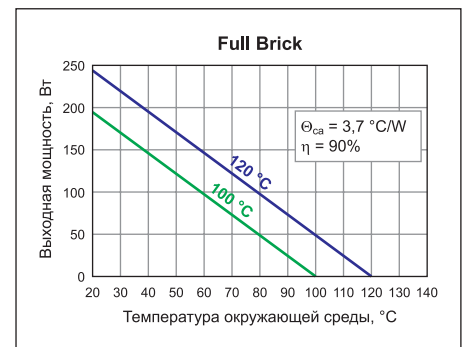


Рис. 5. Тепловая кривая для преобразователя JETND600

туры окружающего воздуха для двух случаев: для предельной температуры корпуса +100 °C и для температуры корпуса +120 °C (рис. 3–5). Из графиков видно, какую максимальную мощность обеспечивают данные типы Brick-конструкций при принятых допущениях и какая разница между преобразователями с предельными температурами корпусов +100 и +120 °C. В аналитическом виде эту максимальную мощность можно определить в следующем виде:

$$P_{outmax}(T_a) = (T_{casemax} - T_a) / \Theta \times \eta / (1 - \eta), \quad (1)$$

где P_{outmax} — максимальная выходная мощность; T_a — температура окружающей среды; Θ — тепловое сопротивление корпуса относительно окружающего воздуха; η — КПД.

Из (1) следует, что преимущество в максимальной мощности за счет повышения предельной температуры корпуса со +100 до +120 °C можно выразить следующей формулой:

$$P_{outmax} 120\text{ °C}(T_a) - P_{outmax} 100\text{ °C}(T_a) = 20\text{ °C} / \Theta \times \eta / (1 - \eta), \quad (2)$$

Или для типового КПД 90% эту формулу можно записать как:

$$\Delta P(120\text{ °C} - 100\text{ °C}) = 20\text{ °C} \times 9 / \Theta = 180\text{ °C} / \Theta, \quad (3)$$

Выражения (1–3) справедливы для расчетов не только без радиатора, но и с радиатором, с учетом теплового сопротивления выbranного радиатора.

Графики также показывают уровень мощности (в зависимости от температуры окружающей среды), выше которого уже необходимо применение охлаждающего радиатора. Например, в конструктиве Full Brick многие производители выпускают преобразователи мощностью 250–700 Вт. Это означает, что энергетическая плотность данных устройств такова, что потребует установки охлаждающих радиаторов существенных размеров (в несколько раз больше, чем сам преобразователь).

Применение охлаждающих радиаторов в условиях естественной конвекции, как известно, имеет низкую эффективность. Например, для размера Half Brick (61×58,5×12,7 мм) использование радиатора таких же размеров по площади и высоте с числом ребер 10 согласно даташитам практически не дает уменьшения теплового сопротивления. Возникает на первый взгляд парадоксальная ситуация: у корпуса Half Brick без радиатора тепловое сопротивление (которое мы приняли $\Theta = 7\text{ °C/W}$) при применении радиатора высотой 12,7 мм практически не улучшается, а в зависимости от потерь на соединении корпуса и радиатора может увеличиться. Для радиатора высотой в 2 раза больше (25,4 мм) с таким же количеством ребер тепловое сопротивление уменьшается до $\Theta = 4,5\text{--}4,6\text{ °C/W}$. Применение радиатора двойной высоты увеличило общую высоту в 3 раза, в то время как тепловое сопротивление уменьшилось только в 1,5 раза.

Можно сказать, что повышение максимальной температуры корпуса со +100 до +120 °C с точки зрения максимально возможной мощности эквивалентно установке условного охлаждающего радиатора [4]. Например, с учетом (1) для температуры окружающего воздуха $T_a = +50\text{ °C}$ эквивалентное тепловое сопротивление этого условного радиатора меньше чем, отдельного корпуса, в пропорции: $(120 - 50) / (100 - 50) = 70 / 50 = 1,4$.

В конструкции модулей серии JETND дополнительно приняты меры по снижению эффективного теплового сопротивления за счет печатной платы, на которую устанавливается модуль преобразователя. В этом случае, если рассматривать поверхность медной фольги на печатной плате как дополнительный теплоотвод, возможно уменьшение теплового сопротивления корпуса. Для этого в конструкции корпусов обеспечивается максимальная тепловая связь дна корпуса с утолщенными стенками корпуса, включая крепежные втулки и выводные штыри. Кроме того, в нижней части корпуса (прилегающего к печатной плате) выполнены специальные

вырезы для вывода печатных проводников из-под корпуса. В результате может быть достигнуто снижение эффективного теплового сопротивления корпусов до 25% для модулей в корпусах Sixteenth Brick, Eighth Brick. Для корпусов Half Brick, Full Brick можно уменьшить тепловое сопротивление корпуса за счет печатной платы на 5–10%.

Выводы

1. Энергетическая плотность DC/DC-преобразователя не может 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-преобразователя должно сопровождаться в первую очередь уменьшением толщины (снижением профиля) преобразователя в большей степени, чем длины и ширины.
 3. Широко температурные планарные DC/DC-преобразователи серии JETND за счет более высокой предельной температуры корпуса по сравнению с аналогичными преобразователями других производителей (+110...+130 °C вместо +100...+105 °C) позволяют создавать конструкции ИВЭП на базе Brick-корпусов, существенно меньшие по размерам и весу. В составе AEPS-GROUP в Москве образована компания ООО «ВИП АГ», имеющая все необходимые лицензии на постановку и ведение производства преобразователей серии JETND.
- Во второй и третьей части статьи мы рассмотрим разработки AEPS-GROUP в области создания широко температурных планарных AC/DC-преобразователей серии JETA и JETNA, в том числе с диапазоном рабочих температур –60...+85 °C. ■

Литература

1. Конев А., Гончаров А., Колосов В. Отечественная энергетическая электроника: проблемы, тенденции, достижения // Электроника 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. М.: АН РФ, 1998.
3. Каталог продукции серии JET 2016–2017. www.aeps-group.ru
4. Гончаров А., Кузнецов А., Лукьянов И. Новый способ построения высоконадежных AC/DC-преобразователей // Современная электроника. 2014. № 7.
5. Гончаров А., Кузнецов А., Лукьянов И. Может ли быть энергетической плотности слишком много? // Современная электроника. 2014. № 7.