

# Может ли быть энергетической плотности слишком много?

**Александр Гончаров, Андрей Кузнецов, Иван Лукьянов (г. Прага)**

Публикуется с разрешения компании AEPS group

**В статье рассматривается влияние энергетической плотности и предельной температуры корпуса DC/DC-конвертеров на компактность системы электропитания.**

В развитии DC/DC-конвертеров прослеживается тенденция повышения энергетической плотности, которая основана как на современной высокоэффективной схемотехнике, прогрессе в материалах, так и на желании минимизировать массогабаритные параметры системы электропитания. Энергетическая плотность (или удельная мощность) приводится для DC/DC-конвертеров в единицах Вт/дм<sup>3</sup> или Вт/дюйм<sup>3</sup>. Лидеры рынка источников электропитания в настоящее время уверенно штурмуют значения энергетической плотности 100...200 Вт/дюйм<sup>3</sup> и более. DC/DC-конвертеры являются источниками тепловой энергии, которую необходимо рассеивать, в том числе дополнительными радиаторами. Увеличение энергетической плотности означает снижение теплоотводящей поверхности для отвода тепловой мощности на радиатор. В то же время уменьшение теплоотводящей поверхности снижает эффективность радиатора и влечёт за собой увеличение его размеров. То есть увеличение энергетической плотности вступает в противоречие с эффективностью системы охлаждения и размерами радиатора. В этом смысле уменьшение размеров DC/DC-конвертера перестаёт быть эффективным, так как необходимость применения радиатора и принудительного охлаждения не позволят уменьшить общие размеры конструкции конвертер + радиатор (вентилятор) [1].

В большом количестве применений требования к системе охлаждения исключают использование принудительного охлаждения вентилятором и все тепловые расчёты необходимо проводить для условий естественной конвекции. В этом случае для потребителя предпочтительнее будут те конвертеры или конструкции, которые при заданной выходной мощности будут требовать меньший по размеру радиатор или, ещё лучше, совсем не требовать охлаждающего радиатора. По-видимому, это наиболее актуально для мобильных, например, авиационных, космических, автомобильных приложений, в радиолокации, где минимальный вес и габариты имеют решающее значение.

В большом многообразии DC/DC-конвертеров с различными показателями энергетической плотности потребителю сложно выбрать наиболее подходящий по размеру и весу вариант конструкции конвертер + радиатор.

В статье рассказывается о новых высокоэффективных DC/DC-конвертерах JETD, выполненных в Brick-формате, которые выпускаются компанией AEPS group (Чешская республика), и об особенностях этой линейки, отличающих её в этом форм-факторе от других DC/DC-конвертеров. Возможно, в ряде случаев для потребителя эти особенности JETD окажутся решающими при выборе DC/DC-конвертера с учётом имеющихся потребностей.

В настоящее время линейка DC/DC-конвертеров серии JETD состоит из конвертеров мощностью 25...400 Вт в типоразмерах от 1/16 Brick до Full Brick. Номенклатура и основные параметры DC/DC-конвертеров серии JETD представлены в таблице.

В серии JETD были реализованы такие важные особенности, как сверхширокий диапазон рабочих температур корпуса от -60 до +125°C и герметичное исполнение с заливкой теплопроводящим компаундом, что позиционирует линейку JETD как ориентированную на применение в жёстких условиях эксплуатации.

Большинство производителей DC/DC-конвертеров демонстрируют сегодня примерно одинаковые показатели по предельной температуре корпуса 100...105°C. В DC/DC-преобразователях серии JETD этот параметр составляет 120...125°C, что даёт конвертерам JETD определённое преимущество.

В условиях заданных габаритов DC/DC-конвертеров Brick-формата и отсутствия принудительного охлаждения, для уменьшения размеров и веса охлаждающего радиатора (или исключения его совсем) остаётся только два пути: повышение КПД и повышение максимальной рабочей температуры корпуса. В части КПД большинство производителей DC/DC-конвертеров демонстрирует сопоставимые результаты. Поэтому заострим внимание на влиянии предельной температуры корпуса на возможность создания наиболее компактных DC/DC-конвертеров с учётом системы охлаждения.

Рассмотрим зависимость максимальной выходной мощности от температуры окружающего воздуха для неко-

## Основные характеристики модулей JETD

Выходная мощность, Вт	Типоразмер корпуса	Тип модуля	Количество выходов	Типовой КПД, %	Размеры без учёта фланцев и выводов, мм	Диапазон рабочих температур корпуса, °C	Дистанционное выключение	Подстройка выходного напряжения	Выносная ОС	Параллельная работа
						-60...+125°C				
25	1/16 Brick	JETD25	1, 2	88	33 × 22,9 × 7,5	•	•	•		
50	1/8 Brick	JETD50	1, 2	88	58,4 × 22,9 × 8	•	•	•		
100	1/4 Brick	JETD100	1	92	58,4 × 36,8 × 10	•	•	•		
200	1/2 Brick	JETD200	1	92	61 × 58,4 × 11	•	•	•	•	•
400	Full Brick	JETD400	1	92	116,8 × 61 × 13	•	•	•	•	•

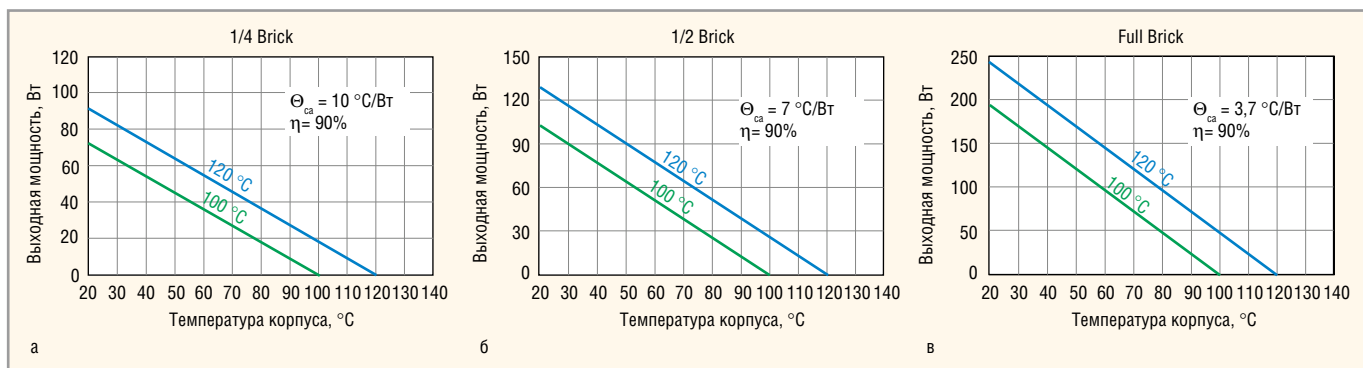


Рис. 1. Графики зависимости максимальной выходной мощности от температуры окружающего воздуха



Рис. 2. Внешний вид модуля JETD100 (мощность 100 Вт), энергетическая плотность – 77,6 Вт/дюйм<sup>3</sup>, КПД – 88%



Рис. 3. Внешний вид модуля JETD200 (мощность 200 Вт), энергетическая плотность – 83,7 Вт/дюйм<sup>3</sup>, КПД – 92%



Рис. 4. Внешний вид модуля JETD400 (мощность 400 Вт), энергетическая плотность – 70,8 Вт/дюйм<sup>3</sup>, КПД – 92%

торых Brick-форматов без радиатора в условиях естественной конвекции. При этом примем, что КПД составляет 90%, а тепловое сопротивление корпуса относительно воздуха определяется размерами Brick-формата. Эти тепловые сопротивления у разных производителей несколько отличаются. Для расчётов максимальной мощности примем значения тепловых сопротивлений равным некоторым средним значениям:  $\Theta_{ca}$  (1/4 Brick) = 10°C/W (см. рис 1а),  $\Theta_{ca}$  (1/2 Brick) = 7°C/W (см. рис 1б),  $\Theta_{ca}$  (Full Brick) = 3,7°C/W (см. рис 1в). Модули JETD в этих корпусах представлены на рисунках 2–4. Покажем зависимость максимальной выходной мощности без радиатора от температуры окружающего воздуха для каждого из трёх типов корпусов в двух случаях: для предельной температуры корпуса 100 и 120°C.

Из графиков видно, какую максимальную мощность обеспечивают данные типы Brick-конструкций при принятых допущениях, и какова разница между преобразователями с предельными температурами корпусов 100 и 120°C. В аналитическом виде эту максимальную мощность можно определить так:

$$P_{out,max}(T_a) = (T_{case,max} - T_a) / \Theta \times \eta / (1 - \eta), \quad (1)$$

где  $P_{out,max}$  – максимальная выходная мощность,  $T_a$  – температура окружающей среды,  $\Theta$  – тепловое сопротивление

корпуса относительно окружающего воздуха,  $\eta$  – КПД.

Из этой формулы следует, что преимущество в максимальной мощности за счёт повышения предельной температуры корпуса со 100 до 120°C можно выразить следующей формулой:

$$\begin{aligned} P_{out,max} 120^\circ C (T_a) - \\ - P_{out,max} 100^\circ C (T_a) = \\ = 20^\circ C / \Theta \times \eta / (1 - \eta). \end{aligned} \quad (2)$$

Для типового КПД 90% эту формулу можно записать как:

$$\begin{aligned} \Delta P (120^\circ C - 100^\circ C) = 20^\circ C \times 9 / \Theta = \\ = 180^\circ C / \Theta. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения (1), (2) и (3) справедливы не только для расчётов без радиатора, но и с радиатором, с учётом теплового сопротивления выбранного радиатора.

Графики также показывают уровень мощности (в зависимости от температуры окружающей среды), выше которого необходимо применение охлаждающего радиатора. Например, в конструктиве Full Brick многие производители выпускают конвертеры мощностью 250...700 Вт. Это означает, что энергетическая плотность этих конвертеров такова, что потребуются установка охлаждающих радиаторов существенных размеров (в несколько раз больше, чем сам конвертер).

Применение охлаждающих радиаторов в условиях естественной кон-

векции, как известно, имеет низкую эффективность. Так, например, для размера 1/2 Brick 61 × 58,5 × 12,7 мм применение радиатора таких же размеров по площади и высоте с числом рёбер 10, согласно Datasheet, практически не даёт уменьшения теплового сопротивления. Возникает на первый взгляд парадоксальная ситуация: у корпуса 1/2 Brick без радиатора тепловое сопротивление (которое мы приняли  $\Theta = 7,0^\circ C/W$ ) при применении радиатора высотой 12,7 мм практически не улучшается, и, в зависимости от потерь на соединении корпуса и радиатора, может увеличиться. Для радиатора высотой в два раза больше (25,4 мм) с таким же количеством рёбер тепловое сопротивление уменьшается до  $\Theta = 4,5...4,6^\circ C/W$ . Применение радиатора двойной высоты увеличило общую высоту в три раза, в то время как тепловое сопротивление уменьшилось только в 1,5 раза.

Можно сказать, что увеличение максимальной температуры корпуса со 100 до 120°C с точки зрения максимально возможной мощности эквивалентно установке охлаждающего радиатора [2]. Например, с учётом (1) для температуры окружающего воздуха  $T_a = 50^\circ C$  эквивалентное тепловое сопротивление этого эквивалента-радиатора меньше, чем отдельного корпуса в пропорции:  $(120-50) / (100-50) = 70 / 50 = 1,4$ .

Дополнительно в конструкции модулей серии JETD были приняты меры по


снижению эффективного теплового сопротивления за счёт печатной платы, на которую устанавливается конвертер. 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 с крепёжными втулками и с выводными штырями. Кроме того, в нижней части корпуса (прилегающей к печатной плате) для вывода печатных проводников из-под корпуса выполнены специальные вырезы. В результате может быть достигнуто снижение эффективного теплового сопротивления корпусов до 25% для модулей в корпусах 1/16 Brick

и 1/8 Brick. Тепловое сопротивление для корпусов 1/2 Brick и Full Brick можно уменьшить на 5–10% за счёт печатной платы.

Так может ли быть энергетическая плотность слишком большой? По-видимому, да, поскольку энергетическая плотность не может оцениваться отдельно от других параметров конвертера [3]. Высокие показатели энергетической плотности не могут гарантировать более компактной системы электропитания, включая систему охлаждения. За счёт более высокой предельной температуры корпуса, по сравнению с аналогичными преобразователями других производителей (120...125°C вместо 100...105°C), DC/DC-преобразователи серии JETD позволяют создавать суще-

ственно меньшие по размерам и весу конструкции систем электропитания на базе Brick-корпусов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Конев А., Гончаров А., Колосов В.* Отечественная энергетическая электроника: проблемы, тенденции, достижения. НТБ. № 6. 1997.
2. *Гончаров А., Кузнецов А., Лукьянов И.* Новый способ построения высоконадёжных AC/DC-преобразователей. Современная электроника. №7. 2014.
3. *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. 

## Новости мира News of the World Новости мира

### Двухъядерный МК ATSAM4C32 на базе ARM Cortex-M4

Компания Atmel расширяет линейку своей продукции для интеллектуальных счётчиков и систем интеллектуальной метрологии.

Разработан двухъядерный микроконтроллер ATSAM4C32 на базе ARM Cortex-M4. Новая система на кристалле имеет двухбанковую Flash-память размером 2 МБ и будет повысительно совместима с младшими представителями семейства ATSAM4C с меньшими объёмами памяти.

Семейство двухъядерных МК ATSAM4Cх позволяет достичь точности 0.2 класса согласно требованиям WELMEC. Все кристаллы поддерживают быстрое аппаратное шифрование, содержат малопотребляющие часы реального времени, драйвер ЖКИ и множество коммуникационных интерфейсов.

<http://mymcu.ru>

### Рынок полупроводников в 2014 году

Аналитики Gartner прогнозируют в текущем году существенный рост (+17%) капитальных вложений в производство полупроводников.

В первую очередь это связано с продолжающимся ростом спроса на потребительскую электронику и устойчивой ценой на микросхемы памяти.

Суммарный объём инвестиций в оборудование для производства полупроводников составит в 2014 году \$112,1 млрд. (Мониторинг рынка электроники (октябрь 2014))

Специалисты Digitimes со ссылкой на Global Semiconductor Alliance, утверждают, что в 2012 году выручка отрасли полупроводников составила \$290 млрд, а к 2017 году данный показатель превысит \$400 млрд.

В настоящее время отрасль полупроводников обеспечивает непосредственный

вклад в мировой ВВП в объёме \$202 млрд и 1,3 млн престижных рабочих мест. Ожидается, что данный показатель продолжит стремительно расти в ближайшие годы, сообщил GSA в отчёте «Поддержка в эпоху гиперсвязи: роль полупроводников» (Oxford Economics).

GSA выбрал Тайвань в качестве первой территории, где был выпущен исследовательский отчёт, учитывая, что производственная ценность тайваньской отрасли полупроводников в настоящее время обеспечила ей 2-е место в мире, а также высокий уровень прибыли.

В настоящее время число сотрудников, занятых в отрасли полупроводников в США, насчитывает порядка 240 000 человек, в Японии, Корее и Европе – по 100 000, на Тайване – около 180 000, в Китае – 220 000.

[www.astera.ru](http://www.astera.ru)