

Отечественная ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: проблемы, тенденции, достижения

Ю. Конев,
А. Гончаров,
В. Колосов

Продолжаем серию статей, посвященных проблемам и тенденциям развития отечественной энергетической электроники, а также анализу российских достижений в этой области в сравнении с зарубежными.

Удельные конструктивно-энергетические показатели ИВЭП

Как известно, источники вторичного электропитания (ИВЭП) в значительной степени определяют характеристики современной радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому миниатюризация ИВЭП и повышение их КПД при заданной выходной мощности имеют важнейшее значение для конкретных систем, в которых они используются.

Одним из основных показателей ИВЭП считается удельная мощность, т.е. выходная мощность источника питания, приходящаяся на единицу объема. Однако в оценке этого параметра зарубежными и отечественными производителями ИВЭП существует принципиальное различие. Корректность этих оценок можно проверить на примере конверторных модулей класса DC/DC, в которых наиболее ярко проявляются тенденции развития ИВЭП.

Зарубежные фирмы-производители ИВЭП (в основном, фирмы США) для характеристики своих изделий используют по существу рыночное определение удельной мощности, которое, как они полагают, наилучшим образом отражает достигнутый уровень по габаритам и энергетической эффективности. Назовем этот показатель *рыночной удельной мощностью* [1]:

$$W_p = P_{\text{вых}} / V,$$

где $P_{\text{вых}}$ – выходная мощность ИВЭП, V – объем ИВЭП.

Последние 10–15 лет рыночная удельная мощность модулей ИВЭП непрерывно повышается. Типовые значения W_p производимых модулей класса DC/DC составляют 200–850 Вт/дм³ для изделий с выходной мощностью 3–15 Вт и 1000–2200 Вт/дм³ для модулей с выходной мощностью 100–200 Вт. В рекламных материалах американских фирм уже появились сообщения о создании модулей с $W_p=4000$ –6100 Вт/дм³. Есте-

ственно, такие ИВЭП кажутся весьма привлекательными некоторым нашим службам, приобретающим комплектующие изделия для систем. Однако реальную пригодность подобных ИВЭП для конкретных радиоэлектронных систем невозможно оценить без учета по крайней мере таких параметров ИВЭП, как КПД (η) и площадь поверхности, необходимая для отвода в окружающую среду единицы мощности ($S_{\text{то}}$), при заданных коэффициенте теплоотдачи и разности температур корпус ИВЭП–окружающая среда. Именно поэтому отечественными производителями ИВЭП предложено понятие *системной удельной мощности* W_c [2].

При размещении ИВЭП на печатных платах, расположенных с шагом H , системная удельная мощность составляет:

$$W_c = 2\eta / H S_{\text{то}}(1 - \eta).$$

Анализ показывает, что при значительном разбросе значений W_p у ИВЭП, производимых различными фирмами, (например, от 300 до 2200 Вт/дм³), их системная удельная мощность W_c колеблется в значительно меньших пределах, составляя 150–300 Вт/дм³. Различия между W_p и W_c объясняются тем, что в определении рыночной удельной мощности не учитываются КПД ИВЭП и расстояние между печатными платами, необходимое для обеспечения теплоотвода. Конечно, есть множество конструктивных способов построения аппаратуры и ИВЭП могут монтироваться в ней по-разному, однако снижение реальной удельной мощности в системе по отношению к W_p –

Основные конструктивно-энергетические показатели низкопрофильных модулей ИВЭП класса DC/DC

Изготовитель	Тип модуля	Выход	КПД	Габариты, мм	W_p , Вт/дм ³	$W_{\text{униф}}$, Вт/дм ³
Группа 1 с $P_{\text{вых}}=5-7,5$ Вт						
Ericsson	PKF4611S1	5 В; 1 А	0,83	48x24x8	543	543
НПК "АиП", Россия	MDM-7,5	5 В; 1,5 А	0,8	48x33x12,7	373	373
Nemic-Lambda	PP6-24-5	5 В; 1,2 А	0,7	47x42x8	380	319
AT&T	MC005A	5 В; 1 А	0,82	51x28x11,7	299	299
Computer Products	TM48S05/1000Z	5 В; 1 А	0,75	51x51x10,2	188	188
Группа 2 с $P_{\text{вых}}=10-15$ Вт						
Nemic-Lambda	PP10-24-5	5 В; 2 А	0,81	47x42x8	633	582
Computer Products	NFC10-24S05	5 В; 2 А	0,81	51x26x9,5	794	562
НПК "АиП", Россия	MDM-15	5 В 3 А	0,8	58x40x12,7	509	387
AT&T	MC010A	5 В 2 А	0,82	51x41x12,7	377	377
Ericsson	PKC2111P1	5 В 3 А	0,85	80x55x10,7	319	319
Группа 3 с $P_{\text{вых}}=20-30$ Вт						
Nemic-Lambda	PP25-24-5	5 В; 4 А	0,85	65x50x8	769	731
Ericsson	PKF4211P1	5 В; 5 А	0,85	76x76x10,7	405	405
AT&T	CC030A7	5 В; 6 А	0,82	71x61x12,7	545	398
НПК "АиП", Россия	MDM-30	5 В; 6 А	0,8	73x53x12,7	611	354
Computer Products	BXA30-12S05	5 В; 5 А	0,78	76x61x12,7	425	306
Группа 4 с $P_{\text{вых}}=40-60$ Вт						
Nemic-Lambda	PM50-48-5	5 В; 10 А	0,9	88x98x8	724	724
AT&T	JC050A1	5 В; 10 А	0,82	58x61x12,7	1113	412
Computer Products	NFC40-24S05-M	5 В; 8 А	0,8	56x56x12,7	1004	361
НПК "АиП", Россия	MDM-60	5 В; 12 А	0,8	93x65x12,7	782	336
Ericsson	PKA2411P1	5 В; 8 А	0,84	76x76x19,8	350	322
Группа 5 с $P_{\text{вых}}=100-150$ Вт						
Computer Products	BXA150-48W05	5 В; 30 А	0,81	51x26x9,5	1655	463
Nemic-Lambda	PH100F-24-5	5 В; 20 А	0,83	86x83x12,7	1103	397
AT&T	FE100A	5 В; 20 А	0,82	122x64x12,7	1008	376
НПК "АиП", Россия	MDM-100	5 В; 20 А	0,8	110x84x12,7	852	347
Ericsson	PKY2611	5 В; 20 А	0,8	117x61x13,5	1038	341

общая закономерность для всех методов сборки.

Сейчас формируется новый – “маркетинговый” – способ оценки реальной удельной мощности ИВЭП в системе. В соответствии с ним, чтобы выбрать наиболее эффективные модули ИВЭП с учетом цены, условий поставки, надежности и т.п., крайне важно сравнить модули ИВЭП различных фирм в составе радиоэлектронной аппаратуры и в унифицированных условиях охлаждения. В связи с этим было предложено ввести сравнительный показатель *унифицированной удельной мощности* $W_{\text{униф}}$, т.е. удельной мощности модуля ИВЭП в единицах для всех сравниваемых модулей ИВЭП условиях охлаждения [3,4].

При определении $W_{\text{униф}}$ исходят из того, что простейшим теплоотводом модуля ИВЭП служит конвекционный радиатор, который при $S_{\text{то}}=0,25 \text{ дм}^2/\text{Вт}$ в большинстве случаев обеспечивает допустимый перегрев поверхности ИВЭП в $30\text{--}45^\circ\text{C}$ по отношению к температуре окружающей среды. Более эффективные теплоотводы – кондуктивный, принудительный воздушный и т.п. – снижают определенный для конвекционного теплоотвода перегрев. В этом случае для сравнения модулей может быть использовано значение $S_{\text{то}}$, присущее конкретной системе охлаждения. Например, при интенсивном обдуве ненагретым воздухом можно использовать $S_{\text{то}}=0,05 \text{ дм}^2/\text{Вт}$ (значение $S_{\text{то}}$, как правило, определяют экспериментально).

Введем понятие *коэффициента тепловой напряженности поверхности модуля ИВЭП* ($K_{\text{тн}}$), который показывает, во сколько раз с учетом устройств охлаждения увеличивается площадь, занимаемая в системе низкопрофильным модулем ИВЭП, и, одновременно, во сколько раз уменьшается максимальная выходная мощность модуля при его работе без устройств охлаждения:

$$K_{\text{тн}} = S_{\text{то}} P_{\text{вых}}(1-\eta)/S\eta,$$

где S – площадь собственной теплоотводящей поверхности модуля.

Теперь понятие сравнительного показателя унифицированной удельной мощности логично представить как $W_{\text{униф}}=W_p$ (при $K_{\text{тн}}\leq 1$) и $W_{\text{униф}}=W_p/K_{\text{тн}}=S\eta/0,25V(1-\eta)$ (при $K_{\text{тн}}>1$).

Как видим, этот показатель учитывает КПД, собственную теплоотводящую поверхность и объем ИВЭП, что крайне важно для объективной оценки различных ИВЭП в системе. Размерность показателя $\text{Вт}/\text{дм}^3$ удобна для тех, кто привык измерять удельную мощность

ИВЭП в этих единицах. Обоснованность введения предложенного показателя подтверждает следующий пример.

Возьмем два низкопрофильных модуля DC/DC мощностью 5 Вт. Первый – модуль MSA2805S-5 фирмы Inter Point – имеет габариты $27\times 27\times 7$ мм и КПД 0,73. Его рыночная удельная мощность $W_p=980 \text{ Вт}/\text{дм}^3$. Второй – модуль PKF4611S1 фирмы Ericsson – имеет габариты $48\times 24\times 8$ мм и КПД 0,83. Его $W_p=543 \text{ Вт}/\text{дм}^3$. Сравнение модулей по W_p указывает на весьма высокий для приведенной выходной мощности рыночный уровень первого модуля – он кажется почти в два раза эффективнее второго. Однако если учесть более низкий КПД первого модуля и дефицит его поверхности для отвода тепла по сравнению со вторым ($W_{\text{униф}1}=469 \text{ Вт}/\text{дм}^3$ и $W_{\text{униф}2}=543 \text{ Вт}/\text{дм}^3$), окажется, что второй модуль займет в системе заметно меньше пространства, чем первый, а осуществить теплоотвод от него проще – в ряде случаев отдельный радиатор может не понадобиться вовсе. Если разработчика системы устраивают и другие характеристики второго модуля, его можно признать более эффективным для системы, в том числе и по экономическим показателям.

Еще значительнее будут отличаться результаты, если сравнить рассмотренные модули по показателю системной удельной мощности W_c . Для примера рассмотрим случай размещения ИВЭП на печатных платах, расположенных в аппаратуре с шагом $H=0,2$ дм. Значения W_c для модулей составят: $W_{c1}=108 \text{ Вт}/\text{дм}^3$ и $W_{c2}=195 \text{ Вт}/\text{дм}^3$. Поскольку в отечественных модулях ИВЭП, как правило, разрабатываемых для конкретных систем, все названные выше особенности учтены, сравнение их с зарубежными изделиями может дать неплохие результаты.

НТФ “Энергетическая электроника” располагает результатами сравнения по $W_{\text{униф}}$ низкопрофильных модулей ИВЭП класса DC/DC производства ряда зарубежных и отечественных фирм. В таблице приведены основные конструктивно-энергетические показатели некоторых из них. Для объективного сравнения взяты модули с выходным напряжением 5 В, которые распределены по пяти группам в соответствии с выходными мощностями.

Из приведенных данных видно, что принятые зарубежными фирмами показатели рыночной удельной мощности W_p порой дезориентируют разработчиков и производителей систем. Модули с большими значениями W_p ,

особенно с большой выходной мощностью, как правило, использующие уникальную элементную базу и дорогостоящие материалы плат и корпуса, в ряде случаев могут оказаться гораздо менее эффективными (как по энергетическим, так и по экономическим показателям), чем модули средних габаритов, использующие стандартную элементную базу, недорогие материалы и изготавливаемые по отработанной технологии.

Среди высокоэффективных зарубежных модулей ИВЭП заслуживают внимания модули фирмы Ericsson, проектировавшиеся с оптимизацией по тепловой напряженности. Значение их $S_{\text{то}}$ близко к $0,25 \text{ дм}^2/\text{Вт}$ для выходных мощностей $5\text{--}25$ Вт, что в большинстве случаев позволяет обходиться без дополнительных устройств охлаждения. Модули японской фирмы Nemic-Lambda имеют высокие удельные показатели, их КПД при выходном напряжении 5 В достигает 90%.

Исследования, проводимые НТФ “Энергетическая электроника” в рамках программы “Постановка серийного производства модулей вторичного электропитания для аппаратуры ВВТ на основе высокоэффективных технических решений и ресурсосберегающих технологий”, показывают, что при меньшей стоимости модули отечественных ИВЭП имеют характеристики, близкие к зарубежным. Использование перспективных, но более дорогих отечественных конструктивно-технологических решений и элементной базы позволит при необходимости повысить удельные показатели российских ИВЭП.

Литература

1. Конев Ю.И., Гончаров А.Ю., Колосов В.А. Отечественная энергетическая электроника: проблемы, тенденции, достижения. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 1997, №6.
2. Конев Ю.И. Проблемы ресурсосбережения в энергетической электронике. – Радиопромышленность, 1996, N1.
3. Гончаров А.Ю. Российское производство конверторных модулей электропитания. – Электроника и компоненты, 1997, №3.
4. Гончаров А.Ю., Титкин В.М., Рыбак А.Л. Необходимые технические характеристики ИВЭП по результатам маркетинга российского рынка. – Тезисы доклада на заседании подсекции “Научные проблемы источников вторичного электропитания” Научного совета по электрофизике и электроэнергетике РАН, 1997.