

# КАК ВЫБРАТЬ МОДУЛЬ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ.

М.Н.Кравченко, И.В.Твердов, С.Л.Затулов, А.В.Журба

(ООО «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания», г. Москва)

Рассмотрены DC/DC модули электропитания производства АЭИЭП, предназначенные для распределённых систем. Показано, что модули МДМ-ЕП обеспечивают решение большинства проблем таких систем.

Ключевые слова: модуль, распределённая система, удельная мощность.

The paper considers DC/DC modules of AEIP firm designed for operation in distributed systems. Modules MDM-EP provides a solution to most problems in such systems.

Key words: module, distributed system, specific power rating.

Распределенные системы являются основным решением проблемы электропитания радиоэлектронной аппаратуры [1,3]. В таких системах каждая печатная плата или узел функциональной аппаратуры имеют собственные преобразователи класса DC/DC в модульном исполнении в непосредственной близости от нагрузки (Рис.1). Малые габариты и вес позволяют использовать современные модули, как обычные компоненты печатных плат.

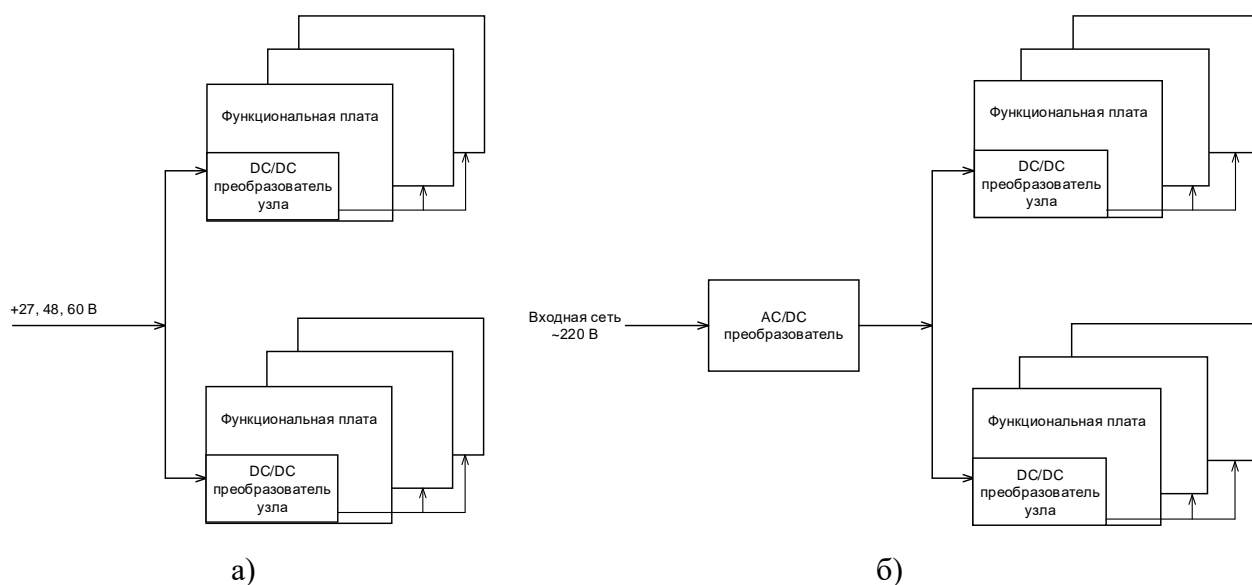


Рис.1. Распределенные системы

Особенно эффективны распределённые системы, работающие от бортовых сетей постоянного тока, когда напряжение 27 (48,60) В непосредственно поступает на DC/DC преобразователь (рис. 1, а).

В распределённых системах, работающих от сетей переменного тока, напряжение преобразуется модулем AC/DC в промежуточное напряжение постоянного тока 27 (48,60) В и подводится к печатным платам (Рис. 1, б).

DC/DC модули мощностью 5-50 Вт могут обеспечить потребителей большинства печатных плат. Наиболее массово используются модули 5-15 Вт.

Разработчик, чтобы модуль на печатной плате занимал меньше места, старается использовать наиболее компактные модули. Между фирмами-производителями развернулась конкурентная борьба за миниатюризацию модулей.

Одним из основных показателей модуля, определяющих уровень миниатюризации, считается удельная мощность, т.е. выходная мощность модуля, приходящаяся на единицу объема ( $\text{Вт/дм}^3$ ). Последние 10-15 лет удельная мощность модулей непрерывно повышается, в основном, за счет технологий, новой малогабаритной элементной базы, многослойных печатных плат и т.д. Назовем этот показатель технологической удельной мощностью  $W_t$ . В рекламных проспектах зарубежных фирм сообщается о создании 50-ваттных модулей с показателем  $W_t$  до  $12000 \text{ Вт/дм}^3$ . С такими «передовыми» модулями отечественные «скромные» модули (удельная мощность  $500-1000 \text{ Вт/дм}^3$ ) не выдерживают сравнения. Однако реальную пригодность подобных модулей для конкретной РЭА невозможно оценить без учета таких параметров, как КПД ( $\eta$ ) и площадь поверхности модуля ( $S$ ).

В настоящее время в распределённых системах широко применяются низкопрофильные модули производства АЭИЭП МДМ5-П мощностью 5 Вт в корпусе с габаритными размерами  $30 \times 20 \times 10$  мм и  $\eta = 76 \%$ , МДМ8-ЕП мощностью 8 Вт в корпусе с габаритными размерами  $30 \times 20 \times 9$  мм и  $\eta = 81 \%$ , МДМ15-П и МДМ20-ЕП мощностью 15 и 20 Вт в корпусе  $48 \times 33 \times 10$  мм с  $\eta = 80 \%$  и  $87 \%$ . Для объективного сравнения все эти модули, а также перспективные, рассматриваются при выходном напряжении 5 В.

Модули редко используются при максимальных нагрузках, когда тепловые режимы элементов близки к предельным, а надежность минимальна (рис.2). К тому же, КПД в таких режимах на 1,5-3 % меньше максимального, который достигается при нагрузке  $0,8 \cdot I_{\text{ном}}$  (рис.3).

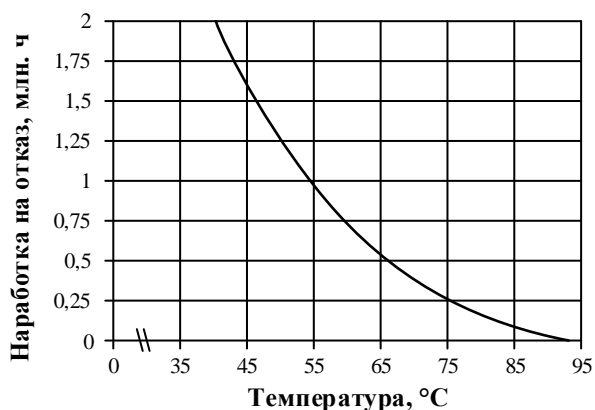


Рис.2 График зависимости наработки на отказ от температуры

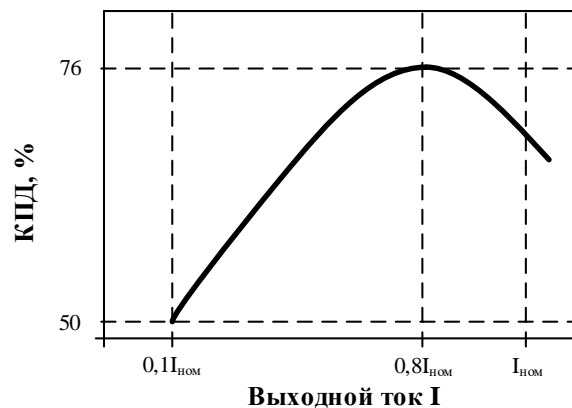


Рис.3 Зависимость КПД от выходного тока.

Этим двум тесно связанным параметрам – надёжности и КПД в дальнейшем уделяется пристальное внимание, ибо высокий КПД – это высокая наработка на отказ модуля [3].

Рассмотрим модуль МДМ5-П. Большинство разработчиков используют этот модуль при загрузке 0,8 R<sub>ном</sub> и среднем расчетным  $\eta = 0,76$ . В этом режиме выполним расчет температуры перегрева  $\Delta t$  модуля [4, 5]:

$$\Delta t = P_{\text{п}} \cdot R_t = 1,26 \cdot 16 = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где мощность потерь  $P_{\text{п}} = P_{\text{вых}} \cdot (1/\eta - 1) = 4 \cdot (1/0,76 - 1) = 1,26$  Вт, тепловое сопротивление  $R_t = 16 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$  определено экспериментально по методике, изложенной в [4, 5].

Если температура окружающей среды  $t_{\text{ср}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , то температура корпуса модуля

$$t_{\text{к}} = t_{\text{ср}} + \Delta t = 60 + 20 = 80 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Нарботка до отказа  $T_0$  для модулей серии МДМ-П составляет 100 тыс. час. при температуре корпуса  $t_{\text{к}} = +85 \text{ }^\circ\text{C}$ . Оценить надежность модуля питания для других температур можно по следующему критерию: интенсивность отказов увеличивается примерно в 2 раза при повышении температуры на 10 градусов [1, 3]. При температуре корпуса  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  ожидаемая наработка до отказа модуля превышает 100 тысяч часов (Рис.2).

Расчёты по формуле (1) в тех же режимах показали, что модуль МДМ8-ЕП имеет температуру корпуса  $t_{\text{к}} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$  и наработку  $T_0 = 110$  тыс. час., модуль МДМ15-П –  $t_{\text{к}} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $T_0 = 65$  тыс. час., модуль МДМ20-ЕП –  $t_{\text{к}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $T_0 = 100$  тыс. час.

Таким образом, при реальной удельной мощности для модуля МДМ5-П  $R_{\text{уд}} = P/V = 4/6 \cdot 10^{-3} = 830 \text{ Вт/дм}^3$  (где  $V = a \cdot b \cdot h = 2 \cdot 3 \cdot 1 = 6 \text{ см}^3$ ), для модуля

МДМ8-ЕП Руд = 1480 Вт/дм<sup>3</sup>, для модуля МДМ15-П Руд = 945 Вт/дм<sup>3</sup>, для модуля МДМ20-ЕП Руд = 1260 Вт/дм<sup>3</sup> мы имеем для распределённых систем надежные недорогие отечественные модули, правда, несколько уступающие по удельной мощности зарубежным.

Повышение КПД является основной задачей при создании новых модулей. В перспективных модулях МДМ15-ЕП с размерами 30x20x9 мм и МДМ40-ЕП с размерами 48x33x10 мм приняты все возможные меры для снижения потерь: ограничены выбросы напряжения на силовом ключе, применен планарный трансформатор и синхронный выпрямитель на MOSFET(ах).

Основой модулей МДМ-ЕП является обратноходовой преобразователь с подключением конденсатора к нулевой шине (рис.4) [2], работающий на частотах до 500 кГц. Такое подключение конденсатора уменьшает перенапряжение на MOSFETах и позволяет использовать низковольтные ключи с меньшим падением напряжения. Главные преимущества преобразователя – низкие потери и экономичность процесса передачи мощности схемы с ШИМ, поскольку колебания напряжения и тока имеют прямоугольную форму. Эти преимущества позволили на частотах сотни кГц получить КПД силового ключа ( $\eta_{кл}$ ) 90..92%. Снижение потерь было достигнуто также за счет трансформатора, выполненного на планарном сердечнике с обмоткой в виде плоских медных дорожек на многослойной печатной плате. По сравнению с проволочной обмоткой трансформатор имеет меньшие потери как в меди, обусловленные скин эффектом, так и в сердечнике, имеющем малый объем. КПД планарных трансформаторов ( $\eta_{тр}$ ) достигает 98%.

Выпрямитель на диодах Шоттки с падением напряжения 0,5 В, применяемый в модулях АЭИЭП более ранних серий, имел КПД 90,9% при выходном напряжении 5 В. Применение синхронного выпрямителя на MOSFET с падением напряжения 0,1 В повышает КПД ( $\eta_{св}$ ) до 98%. Рассмотренные технические решения позволили ожидать КПД ( $\eta_m$ ) новых модулей:

$$\eta_m = 0,90 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,87$$

Экспериментально полученные зависимости КПД опытного образца МДМ15-ЕП в корпусе 30x20x9 от тока нагрузки и входного напряжения (см. рис.5) подтвердили расчетные значения. КПД модулей при номинальном входном напряжении и типовой нагрузке 0,8Аном составляет 86 % и незначительно меняется в диапазоне нагрузок (0,5...1,0) Рном и входного напряжения 9...36 В.

КПД макетного образца модуля МДМ40-ЕП в корпусе 48x33x10 мм составил 88 %.

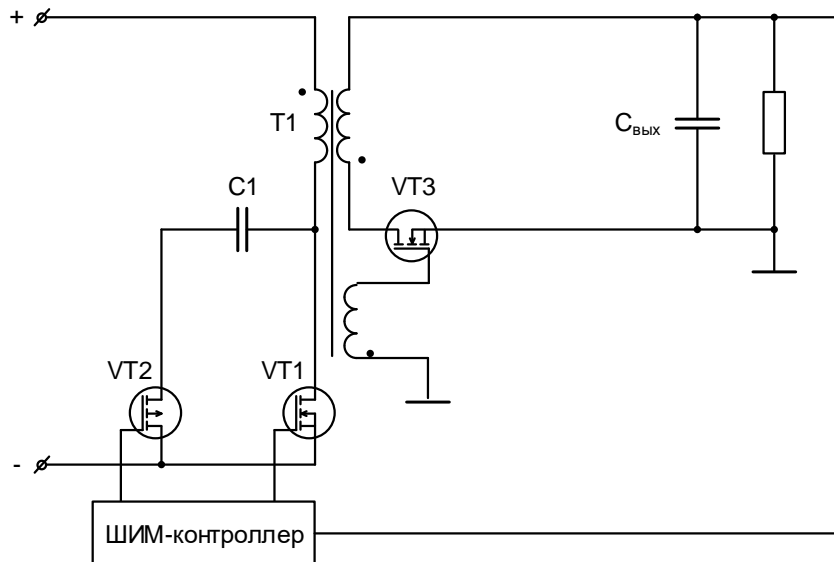


Рис.4 Преобразователь с резонансным переключением.

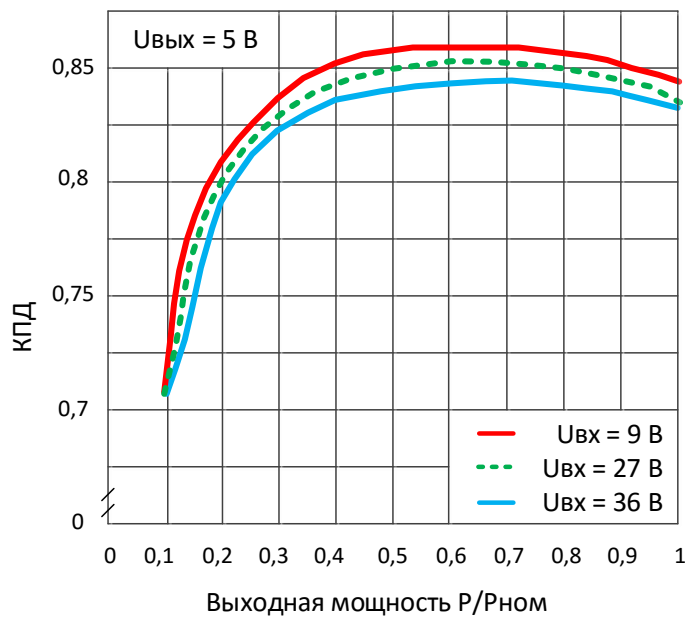


Рис.5. График зависимости КПД от нагрузки модуля МДМ15-ЕП

Реальные удельные мощности этих модулей составляют 2750 и 2525 Вт / дм<sup>3</sup>, что соответствует показателю зарубежных.

Данные по всем рассмотренным модулям сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Данные по модулям МДМ-П и МДМ-ЕП.

Наименование	a, мм	b, мм	h, мм	$\eta$	Rном, Вт	Rуд, Вт/дм <sup>3</sup>	tср, °С	tк, °С	To, ч
МДМ5-П	30	20	10	0,76	5	830	60	80	150000
МДМ8-ЕП	30	20	9	0,81	8	1480	60	84	110000
МДМ15- ЕП_перспективн.	30	20	9	0,86	15	2750	60	91	70000
МДМ15-П	48	33	10	0,8	15	945	60	92	65000
МДМ20-ЕП	48	33	10	0,87	20	1260	60	85	100000
МДМ40- ЕП_перспективн.	48	33	10	0,88	40	2525	60	106	24000

Подводя итоги, можно сказать, что на предприятии АЭИЭП разработаны модули, которые обеспечивают решение большинства проблем распределённых систем питания.

Литература:

1. Конев Ю.И. «Проблемы ресурсосбережения в энергетической электронике». – Радиопромышленность, 1996, №1.
2. Поликарпов А.Г., Сергиенко Е.Ф. «Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА». М. Радиосвязь, 1989.
3. Лукин А.В. «Распределенные системы электропитания в кн. Транзисторные преобразователи электрической энергии». М. 2002 стр. 14-23.
4. Твердов И.В. «Охлаждение универсальных модулей питания» – Электронные компоненты, №5, 2008.
5. «Основные параметры и рекомендации по применению модулей питания МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М» М. 2008, АЭИЭП.