

Новая серия высокотемпературных модулей DC/DC серии МДМ-ВТ для применения в специальной аппаратуре Группы компаний «Александр Электрик»

Александр ГОНЧАРОВ,
к. т. н.
Владимир САВЕНКОВ,
к. т. н.
alexdon@vmail.ru

Для применения в особо тяжелых условиях эксплуатации, когда температура окружающей среды достигает $+50-60^{\circ}\text{C}$ и радиаторы, используемые для охлаждения модулей питания, работают с перепадом температур всего $25-35^{\circ}\text{C}$, инженеры группы компаний «Александр Электрик» разработали серию модулей с допустимой рабочей температурой корпуса $+125^{\circ}\text{C}$. По сравнению с предшественниками, этим модулям при эксплуатации достаточны теплоотводы со значительно меньшей эффективной площадью. Одновременно новые модули получили такие дополнительные функции, как параллельная работа с выравниванием выходных токов, возможность использования внешней обратной связи по выходному напряжению, а также регулировка выходного напряжения.

Возможность работы с дополнительными теплоотводами малой площади или вообще без дополнительных теплоотводов в широком диапазоне температур окружающей среды делает эти модули перспективными для использования в самых разнообразных приборах. В качестве одного из основных применений модулей можно прогнозировать в устройствах, где требуются надежность и малые габариты. Это, например, распределенные системы электропитания [1] с локальными DC/DC преобразователями, размещенными на печатных платах рядом с нагрузкой.

Высокотемпературные модули электропитания серии МДМ-ВТ [2] созданы на основе ранее разработанной серии МДМ с использованием типового ряда линейки корпусов

и аналогичного размещения выводов, что немаловажно для потребителей, уже использующих модули серии МДМ. По сравнению с предыдущей серией мощность модулей в тех же габаритах возросла примерно в 1,2–1,4 раза. Мощностной ряд представлен модулями от 6 до 160 Вт (таблица 1).

По соотношению массогабаритных и функциональных показателей серия МДМ-ВТ выгодно отличается от предыдущей серии МДМ: удельная мощность модулей достигает 1320 Вт/дм^3 . Все устройства этой серии имеют дополнительную функцию регулировки выходного напряжения, а функции параллельной работы и внешней обратной связи получили модули МДМ60-ВТ, МДМ80-ВТ, МДМ120-ВТ, МДМ160-ВТ.

Как и модули серии МДМ, новые приборы имеют фильтры радиочастотных помех на входе и выходе, гальваническую развязку 500 В между входом, выходом и корпусом, а также полный комплекс защиты — от перегрузки, короткого замыкания, перегрева, превышения выходного напряжения (все механизмы защиты предусматривают автоматическое восстановление после снятия воздействия). Удобно также, что модули снабжены функцией дистанционного включения-выключения. Технические характеристики высокотемпературных модулей питания МДМ-ВТ приведены в таблице 2.

Конструкция модулей представляет собой тонкостенный алюминиевый корпус, внутри которого размещена печатная плата с элементами поверхностного монтажа, залитая компаундом с теплопроводящим наполнителем. В аппаратуре модули могут устанавливаться на радиатор охлаждения или на печатную плату. Для различных вариантов установки модули могут изготавливаться в двух типах корпусов — штампованном или усиленном фрезерованном с фланцами. В корпусах для крепления предусмотрены резьбовые втулки или отверстия во фланцах. Габаритные чертежи модуля МДМ160-ВТ в двух исполнениях корпуса изображены на рис. 1. Со стороны выводов модуль защищает металлизированная пластина, припаянная к корпусу и служащая одновременно экраном от помех по электромагнитного поля.

Таблица 1. Основные параметры модулей МДМ-ВТ

Наименование	Мощность, Вт	$U_{\text{вх}}$, В	$U_{\text{вых}}$, В	$I_{\text{вых.макс}}$, А	Кол-во выходных каналов	Габаритные размеры, мм	Масса, г
МДМ3-ВТ(У)	3	10, 5...15 17...36 36...75	3, 3; 5; 9; 12; 15; 24; 27 (3...68)	1	1,2	30×20×10 (40×20×10)	25 (30)
МДМ5-ВТ(У)	5			1	1,2	30×20×10 (40×20×10)	25 (30)
МДМ7-ВТ(У)	7			1,4	1,2	40×30×10 (50×30×10)	25 (30)
МДМ7,5-ВТ(У)	7,5			1,5	1,2,3	48×33×10 (58×33×10)	40 (45)
МДМ10-ВТ(У)	10			2	1,2,3	48×33×10 (58×33×10)	40 (45)
МДМ15-ВТ(У)	15			3	1,2	58×40×10 (68×40×10)	60 (65)
МДМ20-ВТ(У)	20			4	1,2	58×40×10 (68×40×10)	60 (65)
МДМ30-ВТ(У)	30			6	1,2	73×53×13 (85×53×13)	100 (110)
МДМ40-ВТ(У)	40			8	1,2	73×53×13 (85×53×13)	100 (110)
МДМ60-ВТ(У)	60			12	1	95×68×13 (107×68×13)	160 (175)
МДМ80-ВТ(У)	80			16	1	95×68×13 (107×68×13)	160 (175)
МДМ120-ВТ(У)	120			20	1	110×84×13 (122×84×13)	240 (250)
МДМ160-ВТ(У)	160			30	1	110×84×13 (122×84×13)	240 (250)

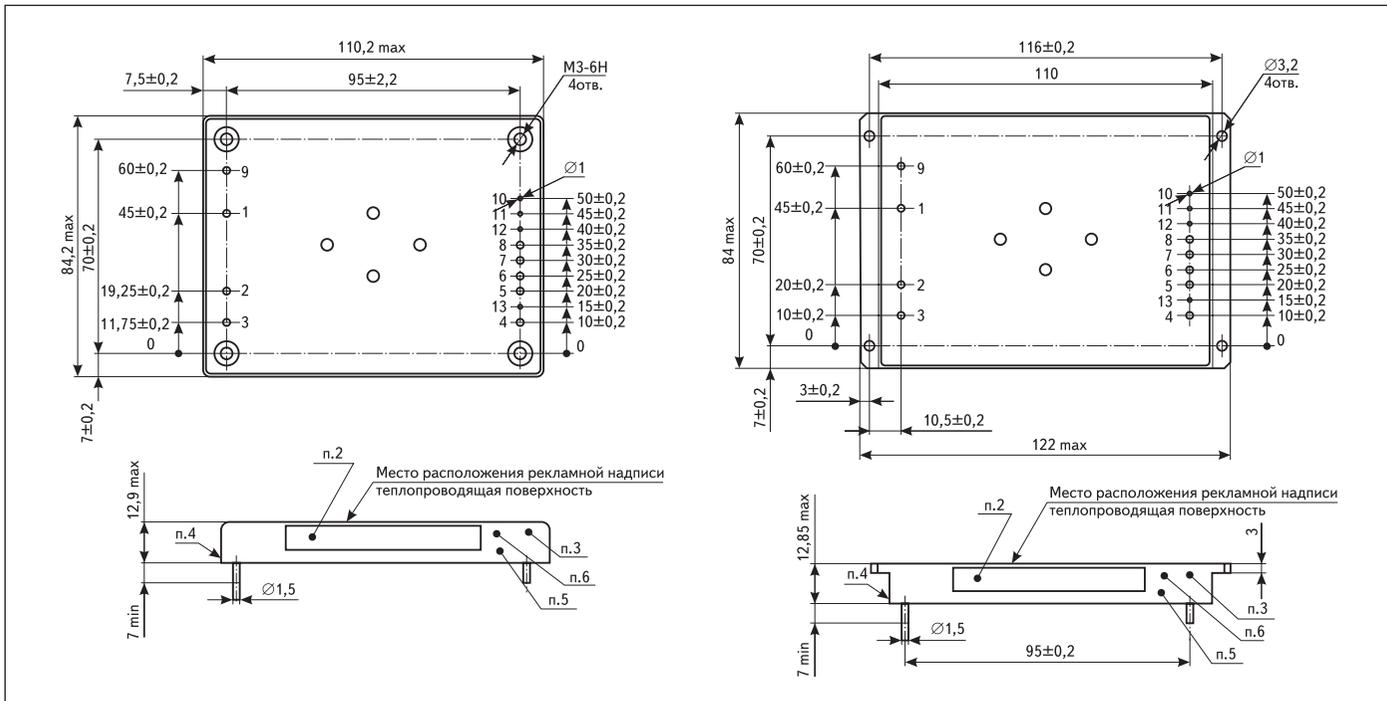


Рис. 1. Габаритные чертежи модуля МДМ160-ВТ

Рассмотрим задачи отвода тепла, обеспечения параллельной работы, электромагнитной совместимости и надежности, решение которых необходимо для успешной эксплуатации модулей.

Отвод тепла. Упрощение проблемы отвода тепла — одно из основных преимуществ вы-

сокотемпературных модулей. В широком диапазоне температур модули могут быть использованы без радиатора при работе на номинальной мощности или при ее незначительном уменьшении. Типовое расположение модуля и радиатора, а также процесс теплопередачи схематично изображены на рисунке 2.

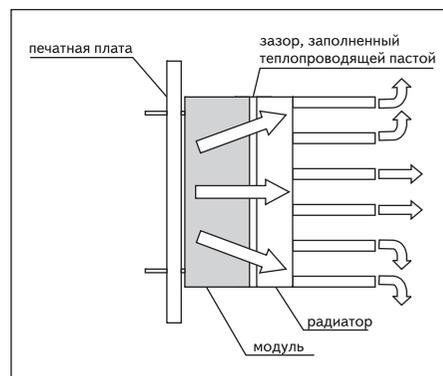


Рис. 2. Модуль с теплоотводом

Для расчета тепловых режимов, прежде всего, необходимо определить мощность потерь P_{Π} :

$$P_{\Pi} = P_{\text{вых}}(1/\eta - 1), \quad (1)$$

где $P_{\text{вых}}$ — мощность, потребляемая нагрузкой, η — КПД. Так как в таблице 2 приведен только типовой КПД модуля, при расчетах

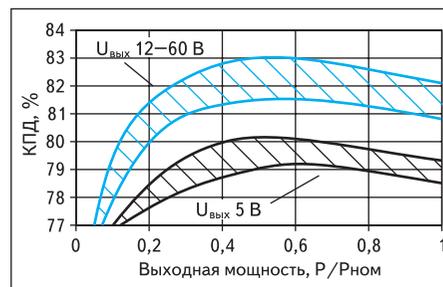


Рис. 3. График зависимость КПД модуля от нагрузки

Таблица 2. Технические характеристики высокотемпературных модулей питания МДМ-ВТ

Входные характеристики		
Диапазон входного напряжения/переходное отклонение (1 сек.) А – 12 В		10,5...15 В/10,5...16,8 В
Б – 24 В		21...30 В/21...33,6 В
В – 27 В		17...36 В/17...80 В
Г – 27 В		17...36 В/17...40 В
Д – 60 В		36...72 В/36...84 В
Выходные характеристики		
Установившееся отклонение выходного напряжения	- для одноканального и двухканального $U_{\text{вх,мин}} \dots U_{\text{вх,макс}} / 0,1 I_{\text{ном}} \dots I_{\text{ном}}$	±2% выход 1 ±6% выход 2
	- для трехканального и двухканального с отличием напряжений каналов ≥20%, $U_{\text{вх,мин}} \dots U_{\text{вх,макс}} / 0,3 I_{\text{ном}} \dots I_{\text{ном}}$	±2% выход 1 ±12% выходы 2, 3
Суммарная нестабильность выходного напряжения	- для одноканального и двухканального $U_{\text{вх,мин}} \dots U_{\text{вх,макс}} / 0,1 I_{\text{ном}} \dots I_{\text{ном}}, T_{\text{мин}} \dots T_{\text{макс}}$	±6% выход 1 ±10% выход 2
	- для трехканального и двухканального с отличием напряжений каналов ≥20%, $U_{\text{вх,мин}} \dots U_{\text{вх,макс}} / 0,3 I_{\text{ном}} \dots I_{\text{ном}}$	±6% выход 1 ±14% выходы 2, 3
Размах пульсаций (пик-пик)		<2% $U_{\text{вых,ном}}$
Защита от короткого замыкания		>130% $I_{\text{вых,ном}}$, авт. восстановление
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения		>120% $U_{\text{вых,ном}}$
Уровень срабатывания тепловой защиты		>125–140 °С
Дистанционное вкл./выкл.		Выкл.: 0...1,1В или соединение выводов Вкл. и –Вх
Общие характеристики		
Температура	- рабочая и хранения	-60 °С...+125 °С
	КПД	80% тип.
Частота преобразования		100–130 кГц тип.
Прочность изоляции	- напряжение вх/вых, вх/корп, вых / корп	~500 В
	- сопротивление @ 500 В пост.тока	20 МОм
Стойкость к внешним воздействиям факторам	- повышенная влажность	100% @ 35 °С
	- циклическое изменение температуры	-60 °С...+125 °С
	- многократные механические удары	150 г 5...10 мс
	- однократный механический удар	1000 г 0,5...2 мс
	- синусоидальная вибрация (устойчивость)	2...2000 Гц 20 г
	- синусоидальная вибрация (прочность)	20...2000 Гц 23 г
Наработка на отказ		>1 млн.час.@+35°С/30 тыс.час.@+125°С
Охлаждение		естественная конвекция или радиатор
Материал корпуса		металл

КПД для каждого типа модуля должен быть уточнен по графикам из рис. 3.

Необходимая эффективная площадь радиатора S определяется по формуле:

$$S = P_{\text{п}} / \alpha (t_{\text{кmax}} - t_{\text{окр}} - t_{\text{кр}}), \quad (2)$$

где $\alpha = 0,001 - 0,003 \text{ Вт/см}^2\text{°C}$ — коэффициент теплоотдачи,

$t_{\text{кmax}} = 125 \text{ °C}$ — температура корпуса,

$t_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды,

$t_{\text{кр}}$ — разность температур из-за наличия зазора между радиатором и модулем. При заполнении зазора теплопроводящей пастой $t_{\text{кр}} \approx 2-3 \text{ °C}$.

По формуле (2) для каждого модуля с поверхностью охлаждения $S = 2ab + 2h(a + b)$, где a — ширина, b — длина, h — высота согласно данным, приведенным в таблице 1 (учитывается полная поверхность модуля), может быть определена температура окружающей среды, при которой модуль работает без использования дополнительного теплоотвода и снижения номинальной мощности, а также рассчитана площадь радиатора для заданной температуры эксплуатации.

В качестве примера приведем расчет выходной мощности от температуры для модуля МДМ-ВТ мощностью 5 Вт на напряжение 5 В, площадь поверхности которого для охлаждения равна 22 см^2 . Для расчетов примем $\alpha = 0,0013$: такой коэффициент теплоотдачи давно применяется разработчиками и соответствует значению $25 \text{ см}^2/\text{Вт}$ при разности температур корпуса модуля и окружающей среды равной 30 °C [3].

Как показали расчеты, площадь поверхности позволяет использовать модуль при номинальной мощности до температуры 78 °C .

1. $S = 2ab + 2h(a + b) = 2 \times 3 \times 2 + 2 \times 1 \times (2 + 3) = 22 \text{ см}^2$;

2. $P_{\text{п}} = P_{\text{вых}} (1/\eta - 1) = 5 \times (1/0,79 - 1) = 1,33 \text{ Вт}$;

3. $\Delta t = P_{\text{п}} / \alpha \times S = 1,33 / 0,0013 \times 22 = 47 \text{ °C}$,

где $\Delta t = t_{\text{кmax}} - t_{\text{окр}}$;

4. $t_{\text{окр}} = t_{\text{кmax}} - \Delta t = 125 - 47 = 78 \text{ °C}$.

При экспериментальной проверке расчетов в камере тепла при $t = 78 \text{ °C}$, измеренная температура корпуса модуля не превышала допустимой величины.

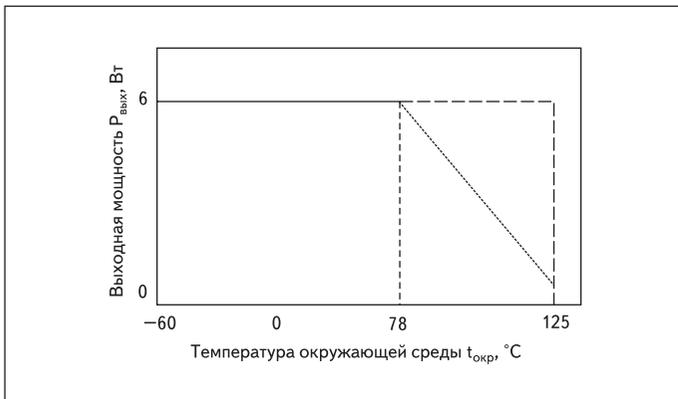


Рис. 4. График снижения мощности

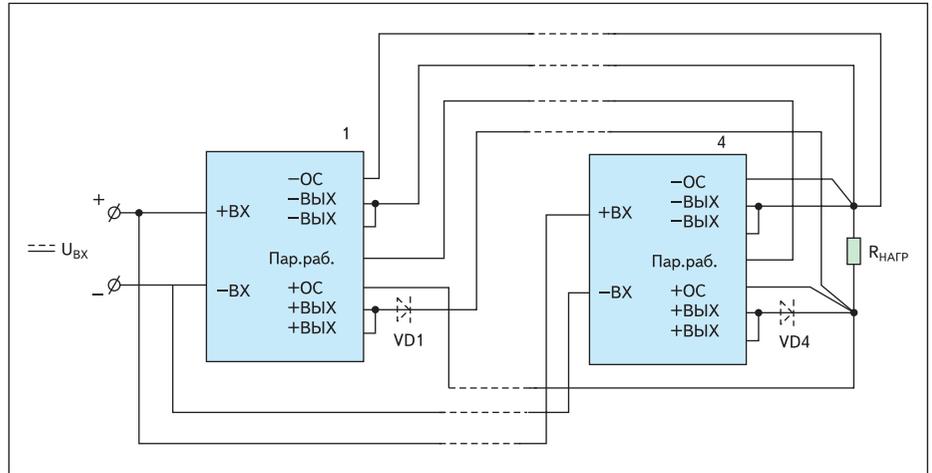


Рис. 5. Схема параллельного включения модулей МДМ-ВТ

Параллельная работа модулей в системе электропитания используется для повышения надежности системы путем резервирования. Другой причиной может служить необходимость увеличения мощности и уменьшение типонамиалов составляющих ее модулей. Для этой цели предусмотрены дополнительные функции параллельной работы, обеспечивающие принудительное выравнивание токов между модулями. Модули (до четырех штук) объединяются с помощью дополнительных соединений по выводу «Параллельная работа», управляющие сигналы которых служат для выравнивания выходных токов модулей. Выводы «Обратная связь», подключаемые к клеммам нагрузки, служат для компенсации падения напряжения в выходных соединительных проводах, что особенно важно для разветвленных систем электропитания. Схема параллельного включения показана на рис. 5.

При процентном резервировании по $(N+1)$ обязательно включение диодов $VD1 \dots VD4$, а также дистанционная и местная сигнализация о неисправном модуле.

Надежность является основным критерием, определяющим выбор модулей питания. В модулях МДМ-ВТ исключены элементы с плохим временем наработки на отказ, отрицательно влияющие на надежность: вмес-

то танталовых использованы керамические конденсаторы, оптическая развязка сигналов обратной связи заменена на трансформаторную. На рис. 6 приведена зависимость времени наработки на отказ модулей МДМ-ВТ от температуры корпуса. Расчетная наработка на отказ при температуре корпуса 35 °C составляет не менее 1 млн. часов, для 125 °C соответственно 30 тыс. часов.

Модули серии МДМ-ВТ уже серийно выпускаются, а также с II квартала 2005 г. в соответствии с ГОСТ В 29110-91 начата поставка опытных образцов с приемкой «5» в рамках ОКР «Разработка унифицированных 1-, 2-, 3-канальных модулей электропитания мощностью 5–200 Вт с гальванически развязанными выходными каналами, с напряжением развязки вход-выход и между каналами 500 В, с высокими удельными характеристиками».

Литература

- Лукин А. В. Распределенные системы электропитания. Электронные компоненты. № 7. 1997.
- Каталог Группы компаний «Александр Электрик» на диске — 2005.
- Гончаров А. Ю. Российское производство конверторных модулей электропитания. Электроника и компоненты. № 3. 1997.

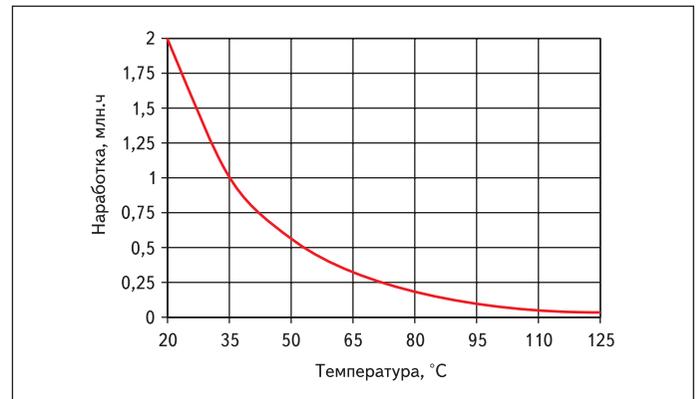


Рис. 6. График зависимости наработки на отказ от температуры