

DC/DC-модули электропитания специального назначения мощностью 60–1000 Вт группы компаний «Александр Электрик»

И. Н. ЛУКЬЯНОВ,
к. т. н.
А. Ю. ГОНЧАРОВ
alexdon@vmail.ru

В статье рассматриваются DC/DC-преобразователи специального назначения серии МДМ мощностью 60–1000 Вт, предназначенные для построения отказоустойчивых систем электропитания.

Модули серии МДМ разработаны в ходе ОКР «Мираж-В», техническое задание на которую согласовано с 22 ЦНИИ МО РФ и начальником направления Управления развития базовых технологий и спецпроектов УНВ.

Анализ данных таблиц 1 и 2 показывает, что основные параметры, характеризующие надёжность и КПД модулей, соответствуют требованиям современной РЭА специального назначения.

Особый интерес в данных модулях представляют функция параллельной работы, которая и будет далее наиболее полно рассматриваться.

Параллельная работа

Достоинства модулей, обладающих функцией параллельной работы:

- Главное достоинство — возможность построения отказоустойчивой системы по принципу N+M.
- Возможность наращивания выходной мощности.
- Возможность получения низкопрофильной конструкции в системах большой мощности.
- Распределение мощности потерь модулей по большей поверхности радиатора, уменьшение локального перегрева.
- Сокращение количества типоминималов модулей электропитания, увеличение числа однотипных изделий и, как следствие, снижение их цены.

Рассмотрим принцип активного выравнивания токов на примере трех модулей МДМ120-1В12МП. Исходно модули с одинаковым выходным напряжением имеют некоторый технологический разброс по точности выставления этого параметра. Рассмотрим, что произойдет при включении этих

модулей без дополнительных цепей параллельной работы (рис. 1а). При таком включении конвертер с самым высоким выходным напряжением будет отдавать весь ток в нагрузку, пока его значение не достигнет 12 А. Здесь его выходное напряжение снизится (активизируется защита от перегрузки по току) до значения 12 В. В этой точке второй конвертер начнет отдавать в нагрузку недостающие 3 А. Третий конвертер будет работать в режиме холостого хода. Выходное напряжение системы в данном случае будет равно 12 В. Величина выходного тока модуля определяет его перегрев, а следовательно, и интенсивность отказов модуля. Поэтому очень важно, чтобы суммарный выходной ток равномерно распределялся между модулями, включенными параллельно, и они работали в одинаковых тепловых режимах. Для этого

в модулях создана дополнительная цепь обратной связи по току, которая корректирует выходное напряжение модуля, обеспечивая этим равномерное распределение тока нагрузки. При ее использовании один из модулей с наибольшей установкой выходного напряжения начинает выполнять роль ведущего преобразователя. Отрицательная обратная связь начинает принудительно повышать выходное напряжение других модулей на очень небольшую величину, до значения ведущего. Происходит равномерное распределение тока нагрузки между всеми преобразователями (рис. 1б).

При отказе одного из модулей нагрузка автоматически распределяется между рабочими. В этом случае один из оставшихся модулей с большей установкой выходного напряжения берет на себя роль ведущего.

Таблица 1. Основные характеристики и сервисные функции мощных модулей серии МДМ

Вариант исполнения	Номинальная выходная мощность, Вт	Входное напряжение, В								Типовые выходные напряжения, В	Максимальный выходной ток, А	Типоразмер корпуса, мм			Повышенная рабочая температура корпуса, С	Дистанционное вкл./выкл	Подстройка Увых	Выносная обратная связь	Параллельная работа	Доп. входной Фильтр
		=12 (10...15)	=24 (21...30)	=27 (17...36 (00))	=27 (18...36)	=60 (36...75)	=110 (82...154)	=160 (130...185)	=230 (175...350)			VI (95x68x13)	VII (110x84x13)	VIII (168x110x13)						
П	120	+	+	+	+	+				5; 12; 15; 24; 27; 48	20	+			85	+	+	+	+	
	120	+	+	+	+	+				5; 12; 15; 24; 27; 48	20	+				+	+	+	+	+
	160		+							12; 15; 24; 27; 48	20	+				+	+	+	+	+
	200		+	+	+	+				12; 15; 24; 27; 48	30		+			+	+	+	+	+
	320		+		+	+	+	+		12; 15; 24; 27; 48	30		+			+	+	+	+	+
	400						+	+	+	12; 15; 24; 27; 48	30		+			+	+	+	+	+
В	1000							+	+	24; 27; 48	40		+		+	+	+	+	+	
	60	+	+	+	+	+				5; 9; 12; 15; 24; 27	10	+			105	+	+	+	+	
	100	+	+	+	+	+				5; 9; 12; 15; 24; 27	10	+				+	+	+	+	
	120	+	+	+	+	+				5; 12; 15; 24; 27; 48	20		+			+	+	+	+	
	200		+		+	+				12; 15; 24; 27; 48	20		+			+	+	+	+	
	60	+	+	+	+	+				5; 9; 12; 15; 24; 27	10	+				+	+	+	+	+
80	+	+		+	+				5; 9; 12; 15; 24; 27	10	+			+		+	+	+	+	
ВТ	120	+	+	+	+	+				5; 12; 15; 24; 27; 48	20		+		+	+	+	+		
	160	+	+		+	+				12; 15; 24; 27; 48	20		+		+	+	+	+		
	320							+	+	12; 15; 24; 27; 48	30		+		+	+	+	+		
	400							+	+	12; 15; 24; 27; 48	30		+		+	+	+	+		
	1000							+	+	24; 27; 48	40		+		+	+	+	+	+	

Таблица 2. Технические характеристики модулей электропитания серии МДМ

Выходные характеристики		
Диапазон входного напряжения / переходное отклонение (1 сек.)	10,5...15 В / 10,5...16,8 В	
сеть А 12 В	21...30 В / 21...34 В	
сеть Б 24 В	17...36 В / 17...80 В	
сеть Г 27 В	17...36 В / 17...40 В	
сеть Д 60 В	36...75 В / 36...84 В	
сеть Н 110 В	82...154 В / 82...170 В	
сеть Р 160 В	130...185 В / 130...252 В	
сеть М 230 В	175...350 В / 175...400 В	
Выходные характеристики		
Диапазон подстройки выходного напряжения	±5%	
Установившееся отклонение выходного напряжения	±2%	
Суммарная нестабильность выходного напряжения — вариант исполнения «П, В, без индекса» — вариант исполнения «ВТ»	±4% ±6%	
Размах пульсаций (пик-пик)	<2% $U_{\text{вых,ном}}$	
Уровень срабатывания защиты от перегрузки по току	> 120% $I_{\text{вых,ном}}$	
Защита от короткого замыкания	> 150% $I_{\text{вых,ном}}$, авт. восстановление	
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	> 120% $U_{\text{вых,ном}}$	
Уровень срабатывания тепловой защиты — вариант исполнения «П, В» — вариант исполнения «без индекса» — вариант исполнения «ВТ»	> 90...95 °C > 110...115 °C > 130...135 °C	
Дистанционное вкл./выкл.	Выкл.: 0...1,1 В или соединения выводов Вкл. и —Вх	
Общие характеристики		
Температура	— повышенная рабочая корпуса — вариант исполнения «П, В» — вариант исполнения «без индекса» — вариант исполнения «ВТ»	+85 °C +105 °C +125 °C
	— пониженная рабочая корпуса	-60 °C
	КПД	82% тип.
	Частота преобразования, постоянная	120...200 кГц
Прочность изоляции	— напряжение вх./вых., вх./корп. $U_{\text{вх}} = 12, 24, 27, 60 \text{ В}$ $U_{\text{вх}} = 110 \text{ В}, 160 \text{ В}, 230 \text{ В}$	500 В перемен. тока, ампл. знач. 1500 В перемен. тока, ампл. знач.
	— напряжение вых./корп., вых./вых	500 В перемен. тока, ампл. знач.
	— сопротивление изоляции при 500 В пост. тока	20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам		
— повышенная влажность	100% при 35 °C	
— циклическое изменение температуры		
— вариант исполнения «П, В»	-60...+85 °C	
— вариант исполнения «без индекса»	-60...+105 °C	
— вариант исполнения «ВТ»	-60...+125 °C	
— многократные механические удары	150г 5...10 мс	
— однократный механический удар	1000г 0,5...2 мс	
— атмосферное пониженное давление	0,67·10 ⁻⁴ Па	
— атмосферное повышенное давление	1,2·10 ⁵ Па	
Наработка на отказ — вариант исполнения «П, В» — вариант исполнения «без индекса» — вариант исполнения «ВТ»	312 тыс. ч при +35 °C на корпусе 800 тыс.ч при +35 °C на корпусе 1920 тыс.ч при +35 °C на корпусе	

Выносная обратная связь

Функция выносной обратной связи наиболее востребована в мощных модулях с низкими значениями выходного напряжения и большим выходным током. Как видно на рис. 2а, в результате падения напряжения на печатных проводниках и соединительных проводах реальное значение выходного напряжения на нагрузке ниже номинального.

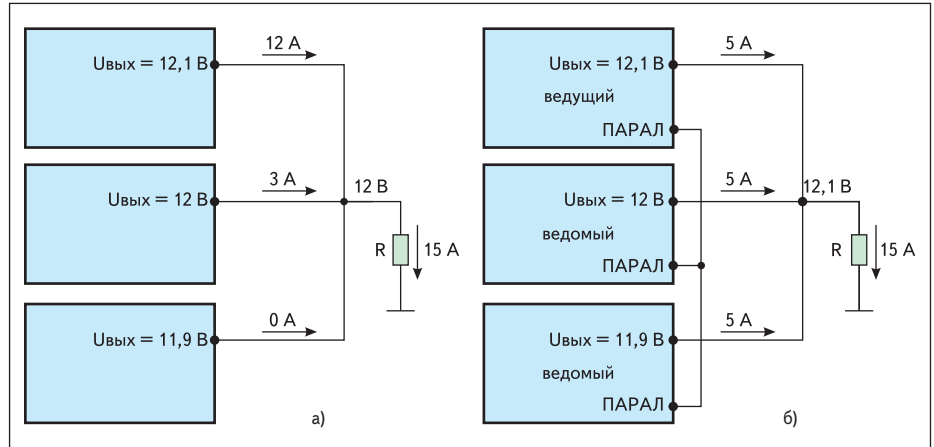


Рис. 1. Принцип активного выравнивания токов в DC/DC-преобразователях серии МДМ

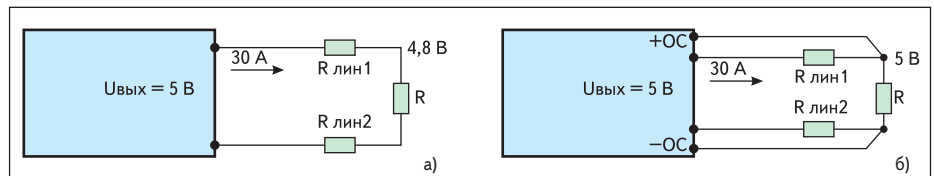


Рис. 2. Принцип действия функции выносной обратной связи

Использование функции выносной обратной связи позволяет компенсировать падение выходного напряжения на соединительных проводах до 5% от значения выходного напряжения при номинальной мощности на выходе (рис. 2б).

Резервирование

DC/DC-модули электропитания серии МДМ имеют высокие показатели наработки на отказ. Если эти показатели не удовлетворяют разработчика системы электропитания и требуется почти 100% надежность, то необходимо построение системы электропитания, устойчивой к отказам. Есть четыре требования, которые должны выполняться при построении такой системы:

1. Избыточность — в случае неисправности одного из модулей должен быть по крайней мере еще один, чтобы начать работать вместо вышедшего из строя до момента, пока неисправный не будет заменен.
2. Изолирование неисправности — модуль, вышедший из строя, должен изолировать себя от системы так, чтобы это не создало помех для работы других модулей или системы электропитания в целом. Самый простой пример — использование диодов, «осуществляющих операцию ИЛИ».
3. Обнаружение неисправности и ее мониторинг — после возникновения неисправности и перед тем как ремонт будет закончен, система будет работоспособна (но на уменьшенном уровне надежности из-за меньшего количества функционирующих модулей). Следовательно, важно обнаружить неисправность как можно раньше, чтобы

минимизировать время до завершения ремонта. Сначала система должна так или иначе определить, что появилась неисправность. Во-вторых, информация о неисправности должна быть выдана в виде сигнала на компьютер контроля, звукового или светового сигнала.

4. «Горячая» замена — чтобы поддержать работоспособность системы, ремонт неисправного модуля должен быть сделан при работающей системе электропитания. Для этого необходимо иметь легкий доступ к неисправной единице и иметь возможность сделать «горячее» включение.

На рис. 3 показаны основные принципы построения избыточной архитектуры для повышения надежности.

Требуемая выходная мощность во всех примерах принята равной 300 Вт. Не избыточная система показана на рис. 3а, где единственный конвертер на 300 Вт обеспечивает требуемую выходную мощность в нагрузке.

В избыточной архитектуре число модулей, требуемых для питания нагрузки, составляет число N. Число дополнительных или «запасных» модулей составляет число M. На рис. 3б есть один дополнительный преобразователь мощностью 300 Вт, в результате получается система «1+1». Избыточная система «1+2» показана на рис. 3в. Здесь для питания нагрузки требуется один, но есть два запасных преобразователя. Рис. 3г показывает использование в архитектуре конвертеров мощностью 150 Вт. В этом случае для нагрузки требуется минимум два модуля и один запасной. Это избыточная система «2+1». Несмотря на то, что это решение требует меньше места в аппаратуре, при его реализа-

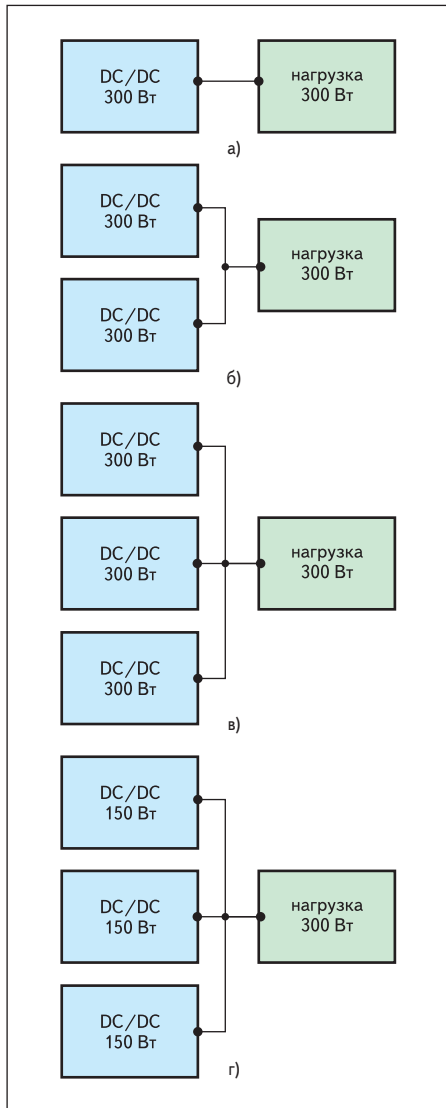


Рис. 3. Варианты построения избыточной архитектуры; а — нет резервирования, б — резервирование «1+1», в — резервирование «1+2», г — резервирование «2+1».

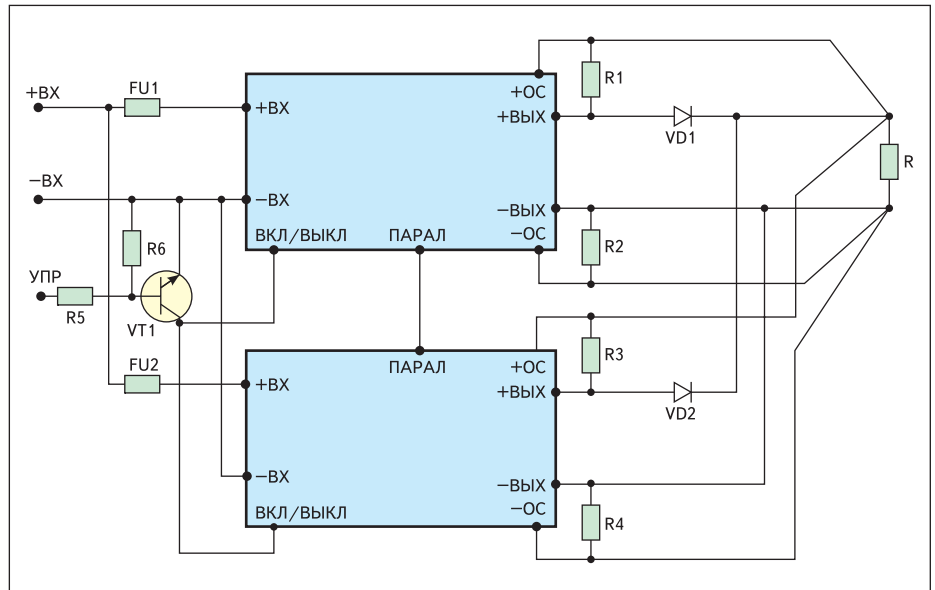


Рис. 4. Принципиальная схема силовой части отказоустойчивой системы

ции увеличивается накопленная норма отказов, потому что требуется большее число конвертеров для запитывания нагрузки. Количество дополнительных конвертеров частично определяется наличием свободного места в конструкции и оптимальным соотношением «стоимость — надежность».

Пример практического построения отказоустойчивой системы

Практическое построение отказоустойчивой системы электропитания рассмотрим на примере системы «1+1», принцип «N+1». Эта схема позволяет получить резервированную систему электропитания минимальной стоимости. Мощность нагрузки может поддерживать один из преобразователей. При параллельном их включении ток нагрузки равномерно распределен между конвертерами.

Предохранители на входе и выходные разделительные диоды изолируют неисправный модуль в случае отказа от остальной системы электропитания. На транзисторе VT1 реализована функция дистанционного управления системой. Использование функции выносной обратной связи позволит скомпенсировать падение напряжения на разделительных диодах и соединительных проводах. В качестве разделительных применяются диоды Шоттки VD1 и VD2, имеющие минимальное падение напряжения. Максимальное обратное напряжение должно быть больше номинального выходного напряжения модулей с некоторым запасом. Максимальный прямой ток диода должен быть примерно в два раза больше максимального выходного тока одного модуля. Предохранители должны быть рассчитаны на ток не менее $1,5 \dots 2 \times I_{вх.мах}$. Сопротивление резисторов R1–R4 составляет 10–50 Ом.