

# Модули питания МДМ

## в бортовых сетях вертолетов и самолетов

**В статье показано, что при нагрузке 0,7–0,8 от номинальной значительно снижается значение напряжения бортовой сети, при котором сохраняется стабилизация выходного напряжения модулей серии МДМ. Это позволяет большинству модулей во всех режимах бортовой сети сохранять работоспособность и уменьшить емкость накопительных конденсаторов, при которой обеспечивается стабилизация выходного напряжения во время перерыва напряжения.**

**Илья Плоткин**

plotkin@aeip.ru

**Анатолий Мионов**

miонов@aeip.ru

**Матвей Кравченко**

kravchenko@aeip.ru

**М**алогабаритные модули питания МДМ широко используются в РЭА летательных аппаратов. В таблице представлены их основные характеристики и функциональные возможности.

Как видно из таблицы, диапазон входного напряжения модулей МДМ и МДМП составляет 17–36 В, при этом допускается переходное отклонение входного напряжения до 80 В длительностью 1 с. В системах электроснабжения (СЭС) самолетов и вертолетов напряжение сети 27 В в установившихся режимах при ненормальной или аварийной работе изменяется от 18 до 33 В, а в переходных —

от 8 до 80 В. Сравнение этих характеристик показывает, что выбросы напряжения не оказывают влияния на работоспособность модулей, а провалы напряжения до 8 В могут привести к сбоям в работе.

Так как нижние предельные напряжения модулей не соответствуют минимальным напряжениям бортовых сетей, разработчикам приходится принимать дополнительные меры по согласованию напряжений. Однако есть возможности, не оговоренные в технической документации на модули МДМ и МДМ-П, которые позволяют уменьшить нижний порог допустимого напряжения модулей. Это, прежде всего,

**Таблица.** Основные характеристики и функциональные особенности модулей

Серия	Номинальная выходная мощность, Вт		Диапазон входного напряжения/переходное отклонение (1 с), В	Выходное напряжение, В	Диапазон рабочей температуры корпуса, °С	Количество выходных каналов	Гальваническая развязка выходных каналов	Подстройка выходного напряжения в одноканальных модулях	Параллельная работа, выносная обратная связь	Габаритные размеры, (с фланцами), мм	Конструкторская документация, приемка
	Максимальный выходной ток, А	Максимальный выходной ток, А									
МДМ	7,5	1,5	«А»: 12(10,5...15/10...16,8) «В»: 27(17...36/17...80) «Д»: 60(36...72/36...84)	3–70	«Л»: –40...+85 «М»: –60...+85 «Т»: –60...+105	1,2,3	–	–	–	48×33×10	БКЮС.430609.001-01 ТУ, перечень МОП 44 001.18 БКЮС.430609.001 ТУ, КД лит. «О1»
	15	3				1,2	–	–	–	58×40×10	
	30	6				1,2	–	–	–	73×53×13	
	60	10				1	–	–	–	95×68×13	
МДМ-П	120	20		3–80	«Л»: –0...+85 «М»: –60...+85 «Т»: –60...+105	1	–	–	–	110×84×13	БКЮС.430609.001 ТУ, КД лит. «О», БКЮС.430609.008 ТУ, приемка «ОТК»
	3	0,8				1,2	+	+	–	30×20×8	
	5	1				1,2	+	+	–	30×20×10	
	7,5	1,5				1,2,3	+	±5%	–	40×30×10	
	15	3				1,2	+	–	–	48×33×10	
	30	6				1,2	+	–	–	58×40×10	
	60	10				1	–	–	–	73×53×13	
	120	20				1	–	–	+	95×68×13	
	160	20	1			–	–	+	95×68×13		
	240	30	1			–	–	+	110×84×13		
МДМ-ЕП	320	35	1,5–80	«В»: –60...+115	1	–	–	–	110×84×13	БКЮС.430609.002 ТУ, опытные образцы приемка «5», приемка «ОТК»	
	480	40			1	–	–	–	127×97×13		
	3	1			1,2	+	+	–	30×20×8		
	5	1,5			1,2	+	+	–	30×20×10		
	8	2			1,2	+	+	–	30×20×10		
	10	3			1,2,3	+	±5%	–	40×30×10		
	20	5			1,2	+	–	–	48×33×10		
	40	10			1,2	+	–	–	58×40×10		
	80	15			1	–	–	–	73×53×13		
	160	25			1	–	–	+	95×68×13		
240	30	1	–	–	+	110×84×13					

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

Большинство предприятий, выпускающих модули, рекомендуют нагрузку  $(0,7-0,8) P_{ном}$ . Очевидно, что при такой нагрузке уменьшается входное напряжение, при котором сохраняется стабилизация на выходе модуля.

Выполнение измерений на серийных изделиях, выпускаемых предприятием «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» показало, что, будучи включенными при значениях входного напряжения, близких к минимальным установившимся (17 В) (рис. 3), модули при пониженной нагрузке сохраняют стабилизацию выходного напряжения в пределах суммарной нестабильности  $U_{вых.ном} - 4\%$

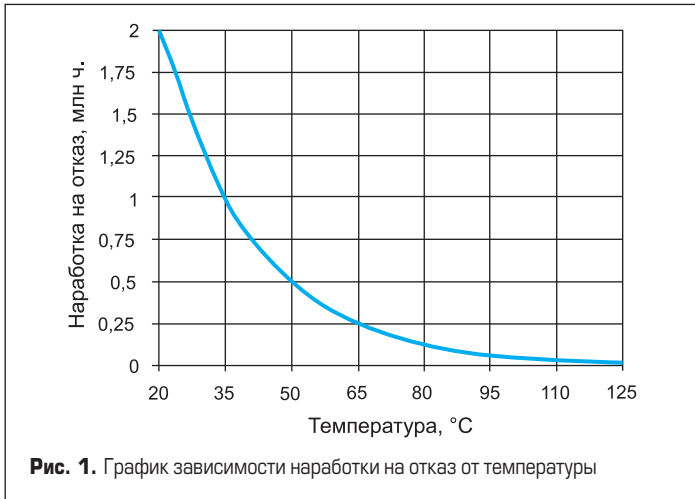


Рис. 1. График зависимости наработки на отказ от температуры

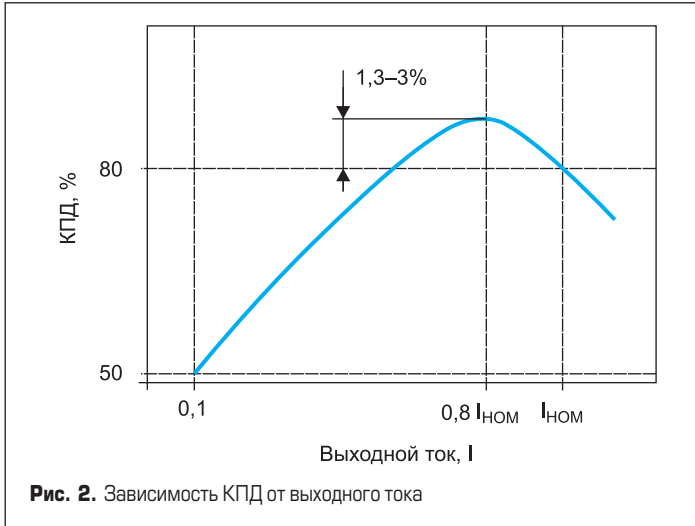


Рис. 2. Зависимость КПД от выходного тока

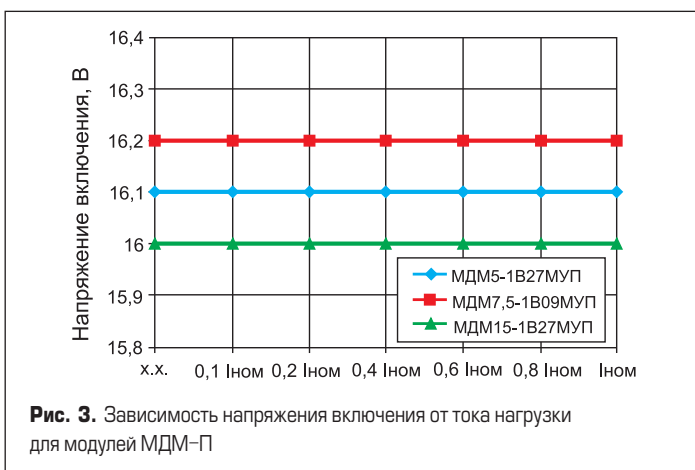


Рис. 3. Зависимость напряжения включения от тока нагрузки для модулей МДМ-П

при значениях входного напряжения значительно более низких, чем это оговорено в технических условиях.

Так, модули МДМ5-1В27МУП и МДМ15-1В27МУП при  $I_{вых} = 0,7I_{ном}$  будут нормально работать при минимальном напряжении 8 В во время переходных процессов в борсети. У остальных модулей значительно снизились минимальные напряжения, при которых сохраняется стабилизация на выходе (рис. 4).

Чтобы сохранить работоспособность модулей МДМ во время переходных процессов, разработчики принимают меры по устранению провала. Наиболее часто работоспособность модуля обеспечивается с помощью конденсатора на входе. При провале сети до 8 В конденсатор разряжается от напряжения 27 В до минимального, при котором сохраняется стабилизация (для модуля МДМ7,5-1В09МУП — 12 В, рис. 4). Значение емкости конденсатора определяется выражением:

$$C_{вх} \approx \frac{2t_{ab}P_M/\eta}{U_{ном}^2 - U_{мин}^2}, \quad (1)$$

где  $P_M$  и  $\eta$  — мощность и КПД модуля;  $t_{ab}$  — длительность переходного процесса.

Учитывая, что длительность переходного процесса для модуля с минимальным входным напряжением  $U_{вх.мин} = 17$  В составляет приблизительно 230 мс, а для модуля с  $U_{вх.мин} = 12$  В — 110 мс, и проведя расчеты по формуле (1), получаем, что емкость конденсатора, установленного на входе модуля мощностью 7,5 Вт, может быть уменьшена более чем в три раза — с 8000 до 2500 мкФ.

Кроме того, на серийных изделиях проведены измерения входного напряжения модулей, при котором происходит выключение модуля при номинальном выходном токе. Значения этого напряжения оказались значительно ниже нижнего порога входного напряжения, определенного требованиями технических условий (17 В) (рис. 5).

В настоящее время на предприятии «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» проводятся работы по документированию новых возможностей модулей МДМ и МДМ-П в части расширения диапазона входного напряжения.

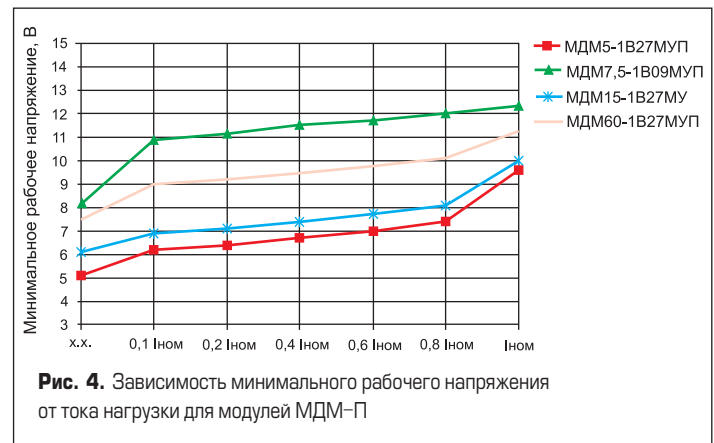


Рис. 4. Зависимость минимального рабочего напряжения от тока нагрузки для модулей МДМ-П

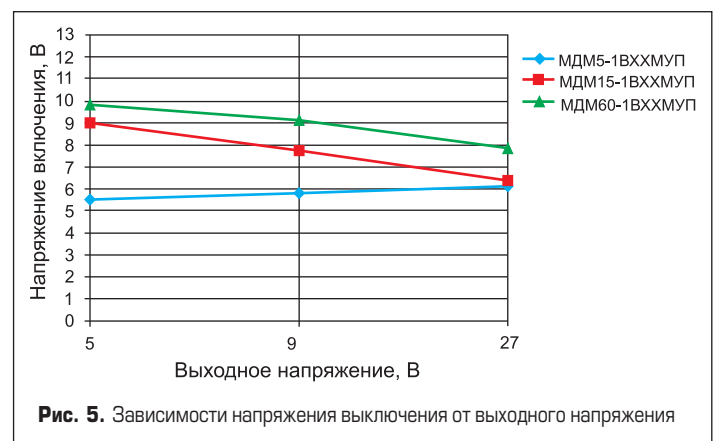
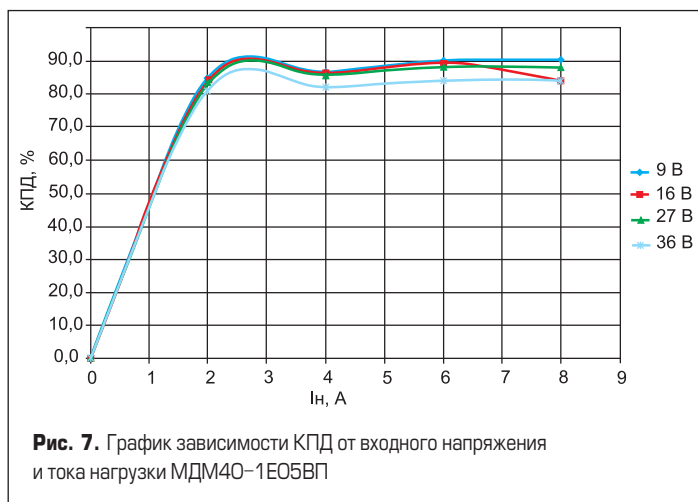
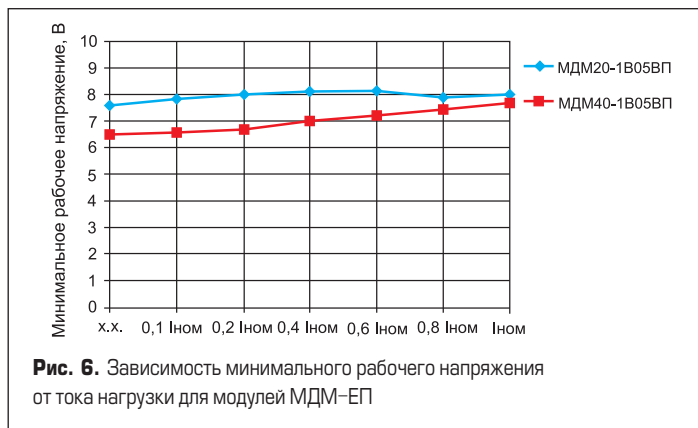


Рис. 5. Зависимости напряжения выключения от выходного напряжения



Работоспособность новой серии модулей МДМ-ЕП сохраняется как при выбросах, так и при провалах напряжения бортовой сети (рис. 6).

Модули МДМ-ЕП базируются на высокоэффективном однотактном прямоходовом преобразователе напряжения, который известен как Active Clamp Converter. Преобразователь сочетает низкие коммутационные потери с экономичностью процесса передачи мощности схемы с ШИМ, поскольку форма напряжения на стоке силового ключа имеет прямоугольную форму. Перечисленные преимущества резонансного переключения и синхронное выпрямление позволили на частотах в сотни килогерц получить КПД силового ключа до 96%. Дальнейшее



снижение потерь было достигнуто за счет применения планарного трансформатора [2]. Экспериментально полученные зависимости КПД серийного образца МДМ40-1Е05ВП с входным напряжением 27 В и выходным напряжением 5 В от тока нагрузки и входного напряжения (рис. 7) подтвердили расчетные значения. КПД модулей при номинальном входном напряжении и типовой нагрузке  $0,8I_{ном}$  составляет 90% и незначительно меняется в диапазоне нагрузок от 0,5 до  $1,0 P_{ном}$  и входного напряжения 9–36 В.

Модули с расширенным диапазоном входного напряжения МДМ-ЕП созданы на основе ранее разработанной серии МДМ-П с использованием типовой линейки корпусов (рис. 8), что немаловажно для потребителей, уже применяющих модули МДМ-П. По сравнению с предыдущей серией мощность модулей в тех же габаритах выросла примерно в 1,2–1,4 раза.

## Выводы

- При уменьшении выходного тока до значений  $0,7I_{ном}$  минимальное рабочее напряжение модулей серий МДМ, МДМ-П снижается вплоть до 8 В, уменьшается перегрев и повышается надежность модулей.
- В модулях серии МДМ-ЕП работа в диапазоне входного напряжения 8–80 В является штатной даже при номинальном токе нагрузки.

## Литература

1. Лукин А. В. Надежность источников вторичного электропитания // Электрическое питание. 2002. № 2.
2. Твердов И. В., Кравченко М. Н. Модули питания с высоким КПД и широким диапазоном входных напряжений // Электронные компоненты. 2012. № 8.