

## Новые модули питания с широким (4:1) диапазоном входных напряжений

Одной из важных проблем энергетической электроники является разработка вторичных источников электропитания (ИВЭП), работающих от сети постоянного тока с широкими пределами изменения входного напряжения. Так в бортовых самолетах и вертолетах напряжение 27 В в установившихся режимах изменяется от 17 В до 36 В, а в переходных – от 8 В до 80 В, при этом длительности выбросов и провалов напряжения находятся в пределах от 0,1 сек до 10 сек.



Рис.2 Модуль МДМ-ЕП(У)



Рис.1 Модуль МДМ-ЕП

Для решения этой проблемы предприятие АЭИЭП, специализирующееся на производстве модулей питания для спецтехники, разработало серию модулей МДМ-ЕП (Рис.1, 2) с широким (4:1) диапазоном изменений входных напряжений [1].

Ранее разработанная серия модулей МДМ-П широко использовалась в бортовых самолетах и вертолетах, хотя разработчикам приходилось применять дополнительные устройства защиты от переходных процессов. Новая серия рассчитана на качество входной электроэнергии в соответствии с ГОСТ 19705-89 без ограничений, как при запуске авиадвигателя, так и при ненормальной работе системы электроснабжения, питаемой генераторами.

При разработке в основу модулей МДМ-ЕП положен одноконтурный обратногоходовой преобразователь (ООП), позволяющий при широком диапазоне входных напряжений реализовать меньшее изменение коэффициента заполнения  $\gamma$  для стабилизации выходного напряжения, чем у одноконтурного прямоходового преобразователя (ОПП). Действительно, регулировочная характеристика ООП в режиме непрерывных токов определяется выражением  $U_H / E = \gamma / (1 - \gamma)$ , где  $E$  – напряжение источника,  $U_H$  – напряжение на нагрузке, в то время как у ОПП  $U_H / E = \gamma$ . Если принять  $\gamma_{\max} = 0,66$  при  $E_{\min}$ , то при  $E_{\max} = 4 E_{\min}$  получим для ООП  $\gamma_{\min} = 0,33$ , а для ОПП -  $\gamma_{\min} = 0,165$ . Известно, что чем короче импульс, тем выше напряжение, прикладываемое к выпрямительным диодам, и выше потери в полевых транзисторах, диодах, трансформаторе и во входных фильтрах. Но даже применив ООП с  $\gamma_{\min} = 0,33$  при разработке модуля МДМ-ЕП, чтобы не допустить ухудшения показателей, потребовалось оптимизировать работу силового ключа, в трансформаторе применить материалы с меньшими потерями, заменить диод Шоттки диодным включением МДП-транзистора.

Принятые технические решения позволили сохранить КПД с расширенной сетью на уровне КПД модулей со стандартной сетью.

График зависимости КПД от выходного тока модуля МДМ-ЕП представляет собой кривую, изображенную на рисунке 3. Типовой КПД модулей с выходным напряжением 5 В составляет 80% и соответствует КПД модулей МДМ-П. Максимальный КПД модулей достигается при нагрузке  $0,8I_{\text{ном}}$  и превышает значение в номинальном режиме на 1,5 – 3%.

Модули с расширенным диапазоном входного напряжения

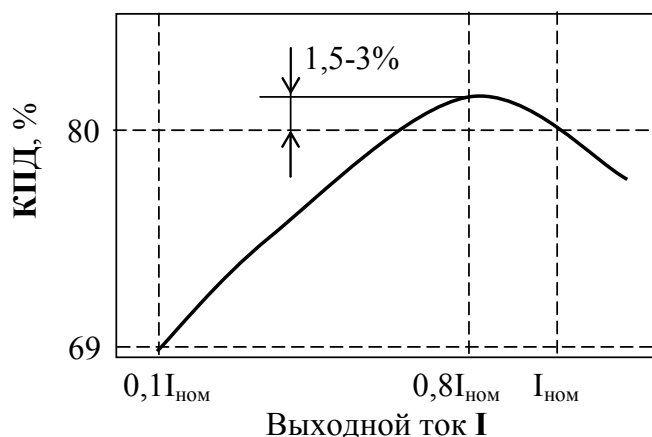


Рис.3 Зависимость КПД от выходного тока

МДМ-ЕП созданы на основе ранее разработанной серии МДМ-П с использованием типовой линейки корпусов и аналогичной топологией выводов, что немаловажно для потребителей, уже применяющих модули МДМ-П. 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).

Таблица 1. Основные параметры модулей МДМ-ЕП (ИП).

Наименование	Мощность, Вт	$U_{вх}, В^*$	$U_{вых}, В$	$I_{вых.макс}, А$	Кол-во выходных каналов	Габаритные размеры, мм	Масса, г
МДМ10-ЕП(У)	10	9...42 (17...72)	3,3; 5; 9; 12; 15; 24; 27; (3...68)	2	1, 2, 3	40x30x10 (50x30x10)	25 (35)
МДМ20-ЕП(У)	20			4	1, 2	48x33x10 (58x33x10)	35 (45)
МДМ40-ЕП(У)	40			8	1, 2, 3	58x40x10 (68x40x10)	45 (65)
МДМ80-ЕП(У)	80			16	1	73x53x13 (85x53x13)	100
МДМ160-ЕП(У)	160			30	1	95x68x13 (107x68x13)	150

\* Модули МДМ-ЕП(У) рассчитаны на бортсети с пределами изменения напряжения 9-42 В, модули МДМ-ИП – 17-72 В.

По сравнению с модулями серии МДМ-П, работающими в диапазоне температур минус 60...+85°C, у новых модулей верхняя температура корпуса равна 125°C. По соотношению массогабаритных и функциональных показателей серия МДМ-ЕП выгодно отличается от предыдущей серии, удельная мощность модулей достигает 2000 Вт/дм<sup>3</sup>. Одноканальные модули получили такие дополнительные функции как регулировка выходного напряжения и параллельная работа на общую нагрузку (только у модулей мощностью более 100 Вт). Как и модули серии МДМ-П, новые модули имеют фильтры радиопомех на входе и выходе, гальваническую развязку 500 В между входом, выходом, полный комплекс защит – от перегрузки, короткого замыкания, перегрева, превышения выходного напряжения (все защиты самовосстанавливающиеся), снабжены функцией дистанционного выключения. Технические характеристики модулей питания МДМ-ЕП (ИП) приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики модулей с широкой сетью МДМ-ЕП (ИП).

Технические характеристики	
<b>Входные характеристики</b>	
Диапазон входного напряжения/переходное отклонение (1 сек)	27В 40В 9...42 В/5...80 В 18...72/15...84 В
Входной фильтр	П-образный
<b>Выходные характеристики</b>	
Установившееся отклонение выходного напряжения - для одноканального и двухканального $U_{вхмин}, U_{вхмакс}, 0, I_{ном}, I_{ном}$	±2%
Суммарная нестабильность выходного напряжения $U_{вхмин}, U_{вхмакс}, 0, I_{ном}, I_{ном}, T_{мин}, T_{макс}$	±4%
Размах пульсаций (пик-пик)	<2% $U_{вых.ном}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки	>120% $I_{вых.ном}$
Защита от короткого замыкания	>150% $I_{вых.ном}$
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	>120% $U_{вых.ном}$
Уровень срабатывания тепловой защиты	>130°C
Дистанционное вкл./выкл.	Выкл.: 0...1В или соединение выводов 1 и 3
Подстройка выходного напряжения (для одноканальных модулей)	±10%
<b>Общие характеристики</b>	
Температура -рабочая и хранения	-60°C...+125°C
КПД	80% тип.
Частота преобразования	100 кГц тип.
Прочность изоляции -напряжение вх./вых. -сопротивление @ 500 В пост. тока	500 В 20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам -повышенная влажность -циклическое повышение температуры -многократные механические удары	98% @ 35°C -60°C...+125°C 150g 5...10мс

-однократный механический удар -синусоидальная вибрация (устойчивость) - синусоидальная вибрация (прочность)	1000g 0,5...2мс 2...2000Гц 20g 1...2000Гц 20g
Наработка на отказ	>100 тыс. час. @+70°C >3,2 млн. час. @+20°C
Охлаждение	Естественная конвекция или радиатор
Материал корпуса	Металл
Все характеристики приведены для НКУ, $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$ , $I_{\text{ВЫХ.НОМ}}$ , если не указано иначе	

Корпуса модулей изготавливаются из алюминия с покрытием, обеспечивающим пайку низкотемпературными припоями, что позволяет разработчикам электронной аппаратуры соединять корпус с конденсаторами фильтров радиопомех, увеличивая их эффективность. Конструктивно все элементы модуля, помимо компаунда, имеют также механическую защиту в виде донышка, которое одновременно являются и экраном от излучаемых радиопомех. С целью увеличения прочности изменена технология изготовления корпусов модулей: давление и фрезерование заменено литьем.

Габаритные чертежи модуля МДМ160-ЕП с наибольшим количеством функций в двух исполнениях типа корпуса изображены на рис 4.

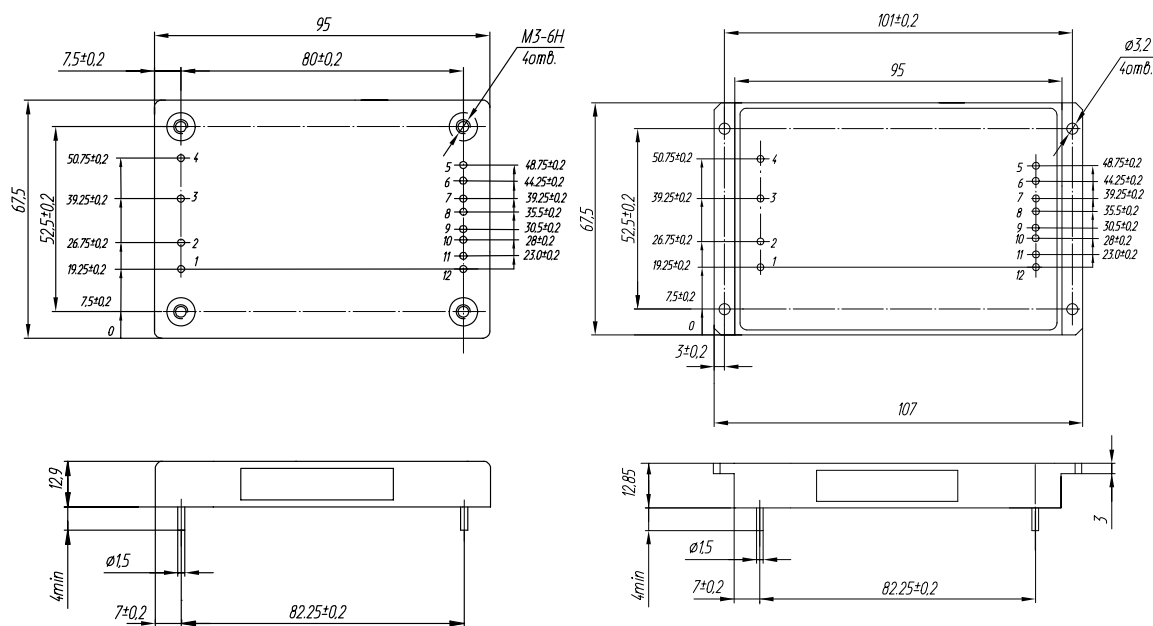


Рис. 4 Габаритные чертежи модуля МДМ160-ЕП

Далее рассматриваются такие вопросы, как отвод тепла, параллельная работа, электромагнитная совместимость и надежность, решение которых необходимо для успешной эксплуатации модулей.

**ОТВОД ТЕПЛА.** Упрощение проблемы отвода тепла – одно из основных преимуществ высокотемпературных модулей. В широком диапазоне температур модули могут быть использованы без радиатора при номинальной мощности или при её незначительном уменьшении.

В качестве примера показана расчетная зависимость выходной мощности от температуры для модуля МДМ-ЕП мощностью 10 Вт на напряжение 5 В, площадь поверхности которого для охлаждения равна 22 см<sup>2</sup>. Расчеты выполнены при  $\alpha = 0,0013$ , такой коэффициент теплоотдачи длительно применяется разработчиками и соответствует значению 25 см<sup>2</sup>/Вт при разнице температур корпуса модуля и окружающей среды, равной 30°C. Как показали расчеты, площадь поверхности позволяет использовать модуль при номинальной мощности до температуры 69°C (Рис. 5). Экспериментальная проверка показала, что при температуре 69°C температура корпуса модуля составила 105°C.

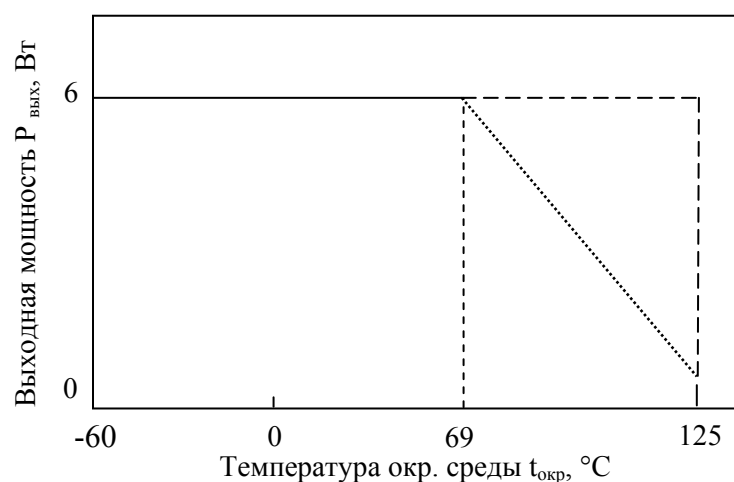


Рис.5 График снижения мощности

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА модулей используется для повышения надёжности за счет резервирования (принцип N+1), для увеличения мощности в нагрузке и для уменьшения типономиналов модулей. Для этой цели применены дополнительные отрицательные обратные связи по току на операционных усилителях и токовые трансформаторы, обеспечивающие принудительное выравнивание токов между модулями. Модули (до 9-и штук) объединяются с помощью дополнительных соединений по выводу 10 «Параллельная работа», с которого поступает управляющий сигнал на выравнивание токов, и по выводам 6, 9 «Отрицательная связь», которые подключаются к клеммам нагрузки.

#### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ

СОВМЕСТИМОСТЬ модуля с питающей сетью и электронной аппаратурой обеспечивается экранированием и фильтрацией радиопомех. Модули имеют встроенные фильтры на входе и выходе, которые подавляют помехи до уровня, определяемого кривой 2 Норм. На рис.6 приведён график напряжения радиопомех модуля МДМ10-ЕП (кривая 4), а также показаны нормы напряжения радиопомех по ГОСТ В 25803-91 (кривые 1, 2 и 3). Подключение модулей осуществлено в соответствии с БКЮС.430609.001ТУ.

Уровни радиопомех в диапазоне от 30 до 100 МГц приведены с табл.3.

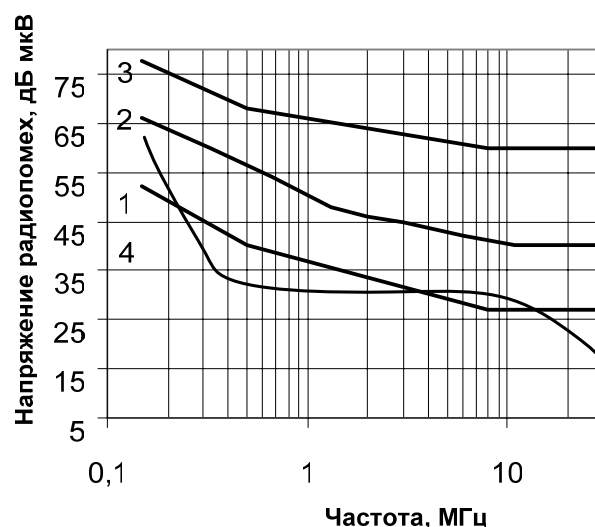


Рис.6 График напряжения радиопомех

Таблица 3. Напряжение промышленных радиопомех на входе модуля питания.

f, МГц	U, дБ/мкВ на входе модуля	U, дБ/мкВ на входе модуля с фильтром	U, дБ/мкВ по ГОСТ В 25803-91, квазипик.
34	39	<10	40
40	43	<10	40
50	30	<10	40
70	29	<10	40
80	30	<10	40
100	34	<10	40

НАДЁЖНОСТЬ является основным критерием, определяющим выбор модулей питания. В модулях МДМ-ЕП убраны слабые звенья, влияющие на надёжность: керамическими конденсаторы использованы вместо танталовых, оптронная развязка заменена на трансформаторную. На рисунке 7 приведена зависимость времени наработки на отказ модулей МДМ-ЕП от температуры корпуса. Расчётная наработка на отказ для температуры корпуса 35°C составляет 1 млн. часов, для 125°C составляет 30 тыс. часов.

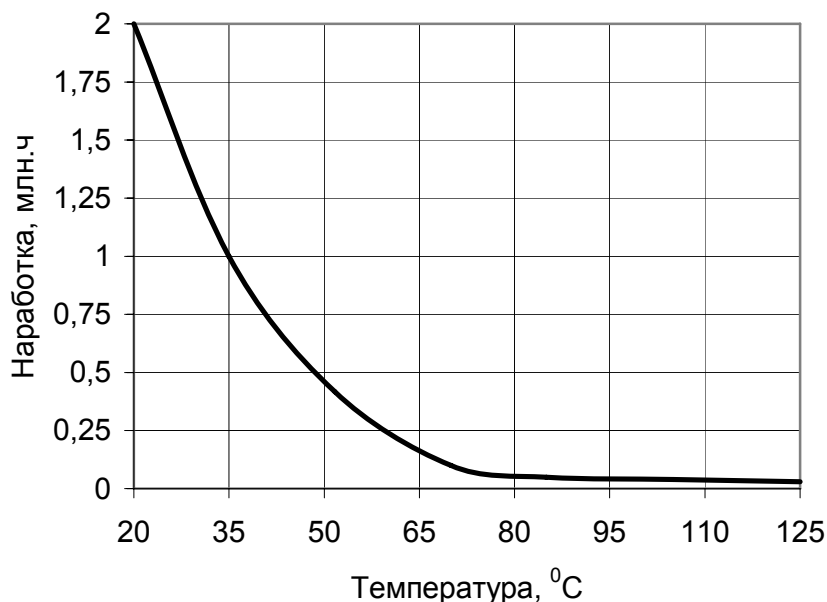


Рис.7 График зависимости наработки на отказ от температуры

Кроме уже отмеченного преимущества: упрощения при создании аппаратуры для вертолетов и самолетов, модули серии МДМ-ЕП позволили уменьшить при производстве в 1,5 раза количество типонаминалов по сравнению с серией МДМ-П, а потребитель получил возможность создавать универсальную аппаратуру, рассчитанную на несколько входных сетей одновременно: 12 В и 24 В, а также 24, 48 В и 60 В.

## Литература

1. Каталог ООО «Александр Электрик источники электропитания» 2006.