

# Модули DC/DC с входным напряжением до 400 В предприятия «Александр Электрик источники электропитания»

**Игорь Твердов**, к.т.н., научный консультант, ООО «Александр Электрик источники электропитания»

**Илья Плоткин**, директор по развитию, ООО «Александр Электрик источники электропитания»

**Виктор Тюшевский**, зам. директора по качеству, ООО «Александр Электрик источники электропитания»

В статье рассматривается серия МДМ-М источников вторичного электропитания класса DC/DC с высоковольтным входным напряжением. Описываются характеристики, особенности конструкции и возможности модулей серии. Рассматриваются недостатки доминирующих на текущий момент методов построения систем электропитания, и излагаются перспективные принципы построения систем с источниками питания с высоковольтным входом, принципы создания бесперебойных систем электропитания. Описывается новый ряд выпрямительных модулей MBM, позволяющих совместно с модулями DC/DC с высоковольтным входом создавать сетевые источники питания.



Одной из важных проблем энергетической электроники специального назначения является разработка источников вторичного электропитания (ИВЭП), работающих от входной сети постоянного тока повышенного напряжения. Использование таких сетей в спецобъектах позволяет значительно (до 10 раз) сократить массу и объем энергетического оборудования [1].

Для решения этой проблемы предприятие «АЭИЭП», специализирующееся на создании модульных источников питания для военной техники и вооружения, разработало серию модулей МДМ-М, рассчитанных на бортсети с напряжением 110, 160 и 230 В [2].

Модули электропитания МДМ-М созданы на основе ранее разработанной серии МДМ с использованием типовой линейки корпусов.

Модули серий МДМ и МДМ-М имеют одинаковую

структуру и базируются на одноканальном преобразователе, работающем на частотах 100...250 кГц с ШИМ-стабилизацией выходного напряжения. Структурная схема включает в себя входные и выходные фильтры радиопомех и полный комплекс защит (см. рис. 1).

К достоинствам модулей питания МДМ-М мощностью 60 и 120 Вт можно отнести наличие таких опциональных сервисных функций как параллельная работа, подстройка выходного напряжения, выносная

обратная связь по напряжению. Параллельная работа модулей используется для повышения надежности всей системы (принцип N + 1), в том числе резервирования, для увеличения мощности в нагрузке и уменьшения типонаименований модулей. Используя данную функцию, можно наращивать выходную мощность до 1 кВт. Выходное напряжение модулей можно подстраивать в пределах  $\pm 5\%$ . Выносная обратная связь по напряжению используется для компенсации паде-

ния на проводах и необходима для параллельной работы модулей.

Защита модуля от перегрузки по току ограничивает выходную мощность модуля при увеличении выходного тока более  $1,1 \dots 1,4 I_{ном}$ , модули питания также имеют защиту от коротких замыканий в цепи нагрузки, которая срабатывает при увеличении выходного тока до  $1,5 I_{ном}$  с последующим автоматическим возвратом в режим стабилизации напряжения после снятия короткого замыкания. Защита

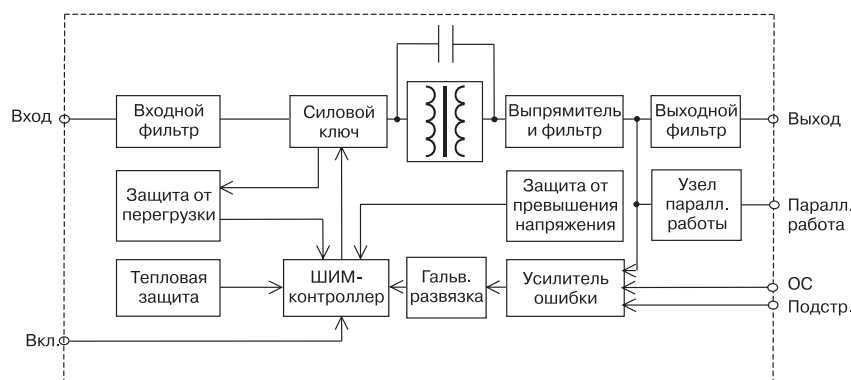


Рис. 1. Структурная схема модулей питания серий МДМ и МДМ-М

от короткого замыкания — длительная.

Модуль имеет защиту от превышения напряжения на выходе модуля, срабатывающую при достижении значения выходного напряжения  $1,2U_{ном}$  за время не более 1 мс. Используемая защита от перенапряжения на выходе не предусматривает защиту от приложения внешнего напряжения на выход модуля, а защищает только при неисправностях в собственной системе управления модуля.

Тепловая защита обеспечивает защиту модуля от перегрева, выключая его при превышении определенного значения температуры корпуса модуля. При снижении температуры корпуса модуль автоматически восстанавливает свою работоспособность.

Модули имеют командный вход дистанционного выключения/включения, который гальванически связан с минусовым контактом входного напряжения и по параметрам согласован с

ТТЛ с открытым коллектором.

Мощностной ряд представлен модулями от 30 до 120 Вт. Основные параметры модулей приведены в таблице 1.

Модули серии МДМ-М имеют гальваническую развязку 1500 В между входом, выходом и между входом, корпусом, а также развязку 500 В между выходом, корпусом и выходными каналами для многоканального исполнения. Технические характеристики модулей

питания МДМ-М приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, средняя наработка модулей на отказ составляет 100 тыс. часов при температуре корпуса 70°C, что в пересчете на температуру 20°C составляет величину около 3,2 млн. ч. В случае необходимости можно оценить надежность модуля питания по следующему правилу: интенсивность отказов увеличивается примерно в 2 раза при повышении температуры на

Таблица 1. Основные параметры модулей питания МДМ-М

Наименование	Мощность, Вт	Uвх, В	Uвых, В	Iвых.макс, А	Кол-во вых. каналов	Габариты, мм	Масса, г
МДМ30-М(У) <sup>1</sup>	30	82...154, 130...185, 175...350	5, 12, 24, 27, (3...70) <sup>2</sup>	6	1, 2	72,5 × 52,5 × 12,7	100
МДМ60-М(У)	60			10	1	95 × 67,5 × 12,7	170
МДМ120-М(У)П	120			20			

<sup>1</sup> Буква «У» в конце обозначения указывает на тип корпуса с крепежными фланцами, ее отсутствие указывает на корпус без фланцев.

<sup>2</sup> По заказу могут поставляться модули с нестандартными выходными напряжениями 3...70 В и максимальными выходными токами 20 А.

Таблица 2. Технические характеристики модулей питания МДМ-М

Входные характеристики	
Входное напряжение/диапазон входного напряжения/переходное отклонение (1 с), В	110/82...154/82...170 160/130...185/130...252 230/175...350/175...400
Входной фильтр	Двухзвенный
Выходные характеристики	
Суммарная нестабильность выходного напряжения: – для одноканального исполнения ( $10—100\% I_{ном}$ ) – для многоканального исполнения ( $10—100\% I_{ном}$ ) если $U_{вых2}$ отличается от $U_{вых1}$ более чем на 20%, то – для многоканального исполнения ( $I_{ном1} 30—100\%$ , $I_{ном2} 50—100\%$ )	±4% ±4% для выхода 1, ±7% для выхода 2 ±4% для выхода 1, ±14% для выхода 2
Размах пульсаций (пик – пик)	< 2% $U_{вых.ном}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки	> 110% $I_{вых.ном}$
Защита от короткого замыкания	> 150% $I_{вых.ном}$ , автоматическое восстановление
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	> 120...140% $U_{вых.ном}$
Уровень срабатывания тепловой защиты, °C	> 90...95
Дистанционное вкл./выкл.	Выкл: 0...1, 1 В или соединение выводов Вкл и –Вх, $I \leq 5$ mA
Общие характеристики	
Температура окружающей среды и хранения	– 60...85°C
К.П.Д., %, тип.	80
Частота преобразования, кГц, тип.	180
Прочность изоляции: – напряжение, В  – сопротивление при 500 В пост. тока, МОм	~1500 вх/вых ~1500 вх/корпус ~500 вых/корпус 20
Стойкость к внешним воздействующим факторам (с дополн.): – повышенная влажность – циклическое изменение температуры – однократный механический удар – многократные механические удары – синусоидальная вибрация – пониженное атмосферное давление – повышенное атмосферное давление	класс 1 и 2 по ГОСТ РВ 20.39.301–98 98% при 35°C –60...85°C 10000 м/с <sup>2</sup> , 0, 1...2 мс 1500 м/с <sup>2</sup> , 5...10 мс 200 м/с <sup>2</sup> , 1...2000 Гц 0,67 × 10 <sup>3</sup> Па 2,5 × 10 <sup>5</sup> Па
Наработка на отказ, ч	> 100 тыс. при 70°C
Охлаждение	естественная конвекция или использование теплоотвода
Материал корпуса	металл

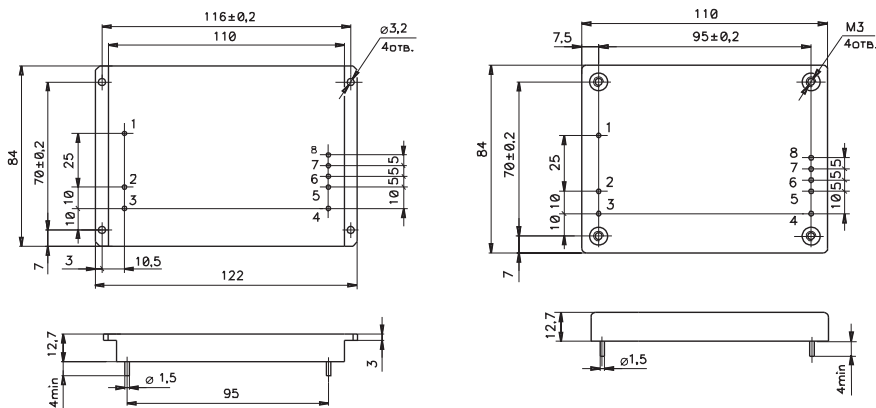


Рис. 2. Габаритные чертежи модуля питания МДМ120-М

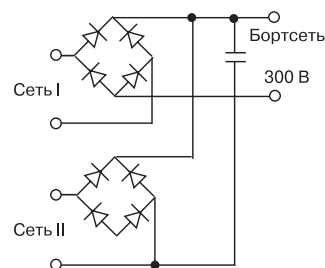


Рис. 3. Схема выпрямления переменного тока на входе объекта

15°C. Минимальный срок службы составляет 15 лет.

Конструкция модулей представляет собой тонкостенный алюминиевый корпус, внутри которого размещена печатная плата с элементами поверхностного монтажа, защищенная 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 МДМ120-М в двух исполнениях корпуса изображены на рисунке 2. Со стороны выводов модуль защищает металлизированная пластина, припаянная к корпусу и служащая одновременно экраном для электромагнитных помех.

Модули МДМ-М открывают новые возможности построения систем электропитания (СЭП). Значительное снижение массогабаритных показателей в системах переменного тока достигается за счет бестрансформаторного выпрямления переменного тока непосредственно на входе объекта (см. рис. 3). Обычно такие объекты питаются от двух сетей, которые обеспечивают резервирование при аварии.

Величина выпрямленного напряжения при ис-

пользовании однофазных источников электроэнергии составляет 300 В. Дальнейшее преобразование напряжения осуществляется с помощью модулей МДМ-М. Расчеты показывают, что относительный объем модулей, входящих в систему преобразования параметров электроэнергии (СППЭ) составляет 2,5%, а масса менее 3% от общего объема и массы энергетического оборудования подвижного объекта, что на порядок меньше относительного объема и массы существующих СППЭ переменного тока. Примерно в 2 раза снижаются потери в СППЭ. Одновременно бестрансформаторное выпрямление непосредственно на входе объекта обеспечивает быстрое переключение и защиту, если в вентильном мосту два диода заменить тиристорами (см. рис. 3). В результате значительно упрощается блок коммутации, распределения и защиты, который в существующих системах электропитания занимает значительный объем.

Начиная с 90-х гг., при проектировании СЭП спецобъектов предпринимались попытки использования распределенных систем питания (РСП), которые выдавались за очередное прогрессивное направление развития СЭП. Потребовалось примерно 10 лет, чтобы понять, что распределенное питание означает в большинстве случаев увеличение массы, объема, стоимости, потерь электро-

энергии и снижение надежности систем.

В единственной РСРП (см. рис. 4а), где удается избежать таких недостатков, напряжение сети с помощью входного выпрямительного модуля (4 диода и конденсатор, к.п.д. более 99%) выпрямляется в напряжение 300 В постоянного тока, и шина с этим напряжением подводится к функциональным печатным платам, на которых для получения необходимых номиналов напряжений устанавливаются один или несколько унифициро-

ванных модулей МДМ-М, преобразующих постоянное напряжение в постоянное, или такие модули устанавливаются рядом и питают несколько функциональных плат.

Во многих аппаратных системах электропитания кроме функции преобразования и стабилизации должна обеспечиваться бесперебойность подачи электроэнергии. Для этих целей предлагают источник бесперебойного питания как дополнение к СЭП. В результате количество последовательных преобра-

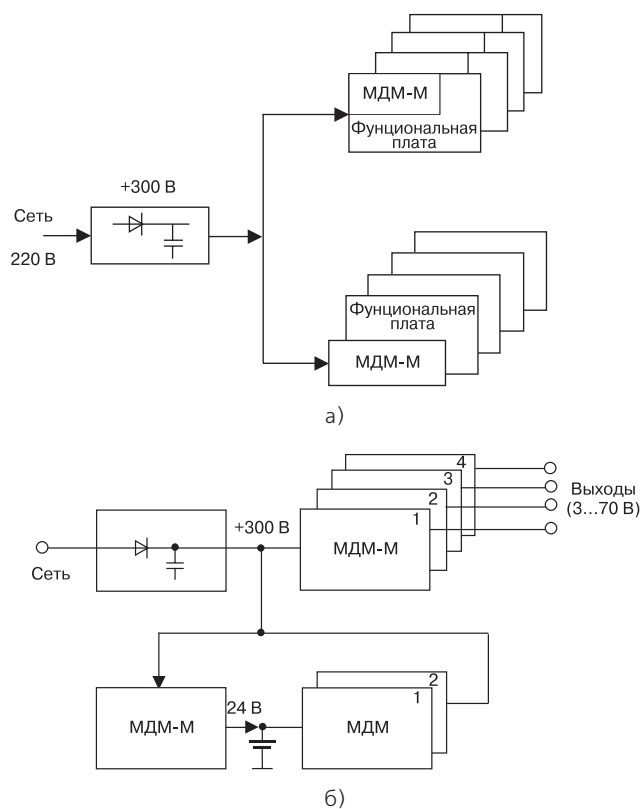


Рис. 4. Структурная схема системы электропитания с модулями МДМ-М: а) распределенная система; б) бесперебойная система

зователей энергии достигает пяти, и к.п.д. не превышает 50%. К сожалению, проекты таких СЭП все чаще приходится рассматривать для станций космической связи, аппаратных управления с ПК и т.д. Но если предусмотреть бесперебойность заранее и применить модули МДМ-М, то количество преобразований можно уменьшить до одного и поднять к.п.д. до 80–85% (см. рис. 46).

Модули МДМ-М в такой СЭП обеспечивают преобразование напряжения 300 В в напряжение номиналом 3, 5, 12 В и т.д., необходимое для питания электронной аппаратуры и заряда аккумуляторной батареи. Для бесперебойности выходных напряжений используется преобразователь постоянного напряжения в постоянное, повышающий напряжение батареи до 300 В. Преобразователь может быть построен на основе двух двухканальных модулей МДМ [3], соединенных по входу параллельно, выходы которых с напряжением 75 В соединены последовательно.

И в заключение еще об одном важном варианте использования новых модулей.

На основе модулей МДМ-М можно получить источник класса АС/DC. Для этого потребителю достаточно самостоятельно поставить на входе модуля четыре диода и конденсатор или использовать готовый выпрямительный модуль, выпускаемый предприятием.

Модули выпрямительные малогабаритные (МВМ) выпускаются с максимальными выходными токами 0,15, 0,3 и 1,3 А (для входной сети ~220 В 50 Гц), а также 0,5, 2 и 3,5 А (для входной сети ~115 В 400 Гц) и комплектуются соответственно с модулями питания МДМ30-М, МДМ60-М, МДМ120-М. В таблице 3 приведены основные параметры модулей МВМ.

Модули МВМ выпускаются на диапазон рабочих температур –55...85°С.

В состав модуля МВМ кроме выпрямительного моста, терморезистора и конденсатора входит фильтр радиопомех и варистор для снятия импульсных перенапряжений с амплитудой до 1000 В по ГОСТ В 24425-90.

Фильтры радиопомех для выпрямительных модулей были проверены в испытательной лаборатории технических средств по параметрам электромагнитной совместимости. Испытания проведены методом отношения напряжения, изложенным в ГОСТ 13661-92. Результаты измерений внесимого затухания в диапа-

зоне частот 0,1...30 МГц для модулей МВМ5 (кривая 1) и МВМ7 (кривая 2) приведены на рисунке 5. Как видно из рисунка 5, коэффициент подавления помех, начиная с частоты 150 кГц, превышает 30 дБ, а в диапазоне частот 0,3...30 МГц составляет 40...70 дБ.

В настоящее время модули серии МДМ-М выпускаются для общепромышленного применения. Поставка опытных образцов с приемкой «5» ведется в рамках ОКР «Разработка модулей электропитания с входным напряжением до 400 В», шифр «Мираж-М» в соответствии с техническими условиями БКЮС.436437.004 ТУ. Работа выполняется в инте-

ресах ФГУП НПО «Агат» в соответствии с ТЗ, согласованным военными представителями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев В., Конев Ю., Степанов Ю. «Проблемы энергетической электроники военного назначения». ЭП/ТОМ, 1999, №№8–9.

2. Плоткин И.Р., Манышин С.М., Комаров О.И. «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» – производитель унифицированных модульных вторичных источников для вооружения и военной техники». Электронные компоненты, 2005, №4.

3. Каталог ООО «Александр Электрик источники электропитания», 2005.

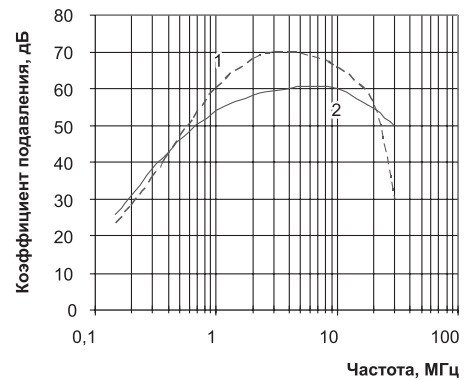


Рис. 5. График напряжения радиопомех

Таблица 3. Основные параметры выпрямительных модулей МВМ

Название	U <sub>вх.эфф.</sub> , В	U <sub>вых.</sub> , В	I <sub>вых.макс.</sub> , А	Габариты, мм	Масса, г
МВМ5-КМ(У) <sup>1</sup>	88...138	124...195	0,5	72,5 × 52,5 × 12,7 (84,5 × 52,5 × 12,7)	110
МВМ5-СМ(У)	187...242	264...341	0,15		
МВМ6-КМ(У)	88...138	124...195	2	95 × 67,5 × 12,7 (107 × 67,5 × 12,7)	180
МВМ6-СМ(У)	187...242	264...341	0,3		
МВМ7-КМ(У)	88...138	124...195	3,5	110 × 84 × 12,7 (122 × 84 × 12,7)	250
МВМ7-СМ(У)	187...242	264...341	1,3		

<sup>1</sup> Буква «У» в конце обозначения указывает на тип корпуса с крепежными фланцами, ее отсутствие указывает на корпус без фланцев.