

## Низкопрофильные модули электропитания фирмы «Александр Электрик Дон» для распределенных систем

Олег НЕГРЕБА  
Алексей ЕКИМОВ  
Александр ГОНЧАРОВ,  
академик МАИ  
alexdon@vmail.ru

**В статье рассматриваются DC/DC-модули электропитания для военных и промышленных применений, представляющие собой низкопрофильные унифицированные источники вторичного электропитания популярной серии «Мираж». Впервые представлены четыре линии модулей для распределенных систем электропитания МДМ, МДМ-П, МДМ-В и МДМ-ВТ, реализующие сетку мощностей 3, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 50, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 320, 400 и 1000 Вт и работающие в температурном диапазоне от –60 до +125 °С.**

Системы электропитания военной и космической техники, атомной промышленности, железнодорожного транспорта, аппаратуры военных и государственных телекоммуникаций и т. п. предъявляют разработчикам особые требования по надежности и отказоустойчивости, габаритам и массе в условиях воздействия жестких климатических и механических факторов. В подавляющем большинстве случаев необходима возможность работы от сети, имеющей широкий диапазон переходных отклонений длительностью до нескольких секунд при наличии импульсных выбросов напряжения, а также предъявляющей жесткие требования по ЭМС. Основной тенденцией наиболее передовых конструктивно-технологических решений современных микроэлектронных систем электропитания является их низкопрофильность — ультратонкое исполнение.

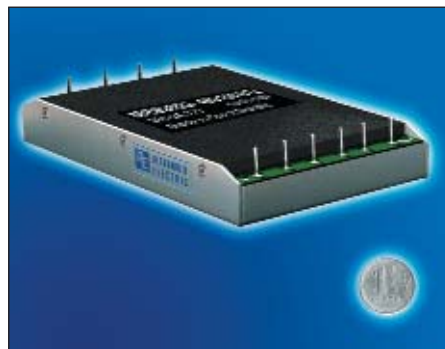
Для тепловыделяющих конструкций переход от формы с минимальным отношением поверхности и объема (шар, куб) к форме в виде тонкой плоской поверхности с максимальным отношением «поверхность–объем» сопровождается появлением ряда преимуществ. Во-первых, резко улучшается компактность таких приборов с устройствами, выполненными по SMD-технологии. Во-вторых, при увеличении площади значительно улучшаются условия рассеивания тепла и снижается внутренняя температура прибора, что крайне положительно сказывается на надежности и многократно увеличивает наработку на отказ. В-третьих, раздробление и рассредоточение в ультратонких конструкциях неизбежных для систем электропитания концентраторов тепла значительно облегчает задачу построения теплоотводящих

устройств, что весьма актуально для систем, работающих в очень широком диапазоне температур. Поэтому понятно, что для построения таких систем электропитания необходимы так называемые плоские «кирпичики» — модули. В данном случае разработчикам радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) приходится решать сложную задачу выбора между специализированной системой и использованием универсальных модулей для ее построения (рис. 1).

Полезно четко представлять себе наиболее важные плюсы и минусы применения модулей. Как для любого технического устройства, обе чаши весов получают достаточно наполненными.

К минусам необходимо отнести следующее:

1. Увеличение общего количества электронных компонентов в аппаратуре при реализации многоканальных систем электропи-



**Рис. 1.** Система электропитания, построенная на основе модулей серии «Мираж». Выходная мощность 1000 Вт, два полностью независимых и полностью стабилизированных канала, габариты 196×117×22 мм, диапазон рабочих температур корпуса: –60...+125 °С. Входное напряжение 17–36 В с выбросом до 80 В

тания. Действительно, использование большого количества одноканальных модулей вместо одного многоканального источника фактически является дроблением целого на много частей. Однако для трансформатора или дросселя это однозначно приводит к увеличению суммарного объема и стоимости, к снижению надежности. В большинстве случаев сказанное справедливо и для конденсаторов, и для мощных полупроводников. Можно говорить о снижении надежности и об увеличении занимаемого объема пропорционально увеличению числа компонентов.

2. Увеличение стоимости системы вторичного электропитания. Действительно, универсальность модулей достигается определенной избыточностью в материалах и компонентах, а это приведет, как минимум, к увеличению суммарной стоимости изделия.
3. Усложнение электромагнитного фона и помеховой обстановки. Несколько модулей, каждый из которых является, как правило, асинхронным источником излучений и помех, формируют достаточно сложное электромагнитное поле и образуют сложный спектр помех.
4. Возможное уменьшение общего КПД источника электропитания. Теоретически можно показать, что дробление целого, например, трансформатора источника электропитания, приводит к ухудшению его энергетических характеристик.

Плюсы:

1. Значительная экономия времени проектирования системы электропитания, при этом не требуются дорогостоящие разработчики с узкой специализацией. Это экономия денег и других ресурсов.

2. Высокая вероятность получения положительного результата, отсутствие этапов внедрения, подготовки производства и само-го производства сложного электропитающего устройства. А это опять экономия денег и ресурсов.
3. И, как это ни парадоксально, — увеличение надежности ИВЭП. Действительно, массовость производства модулей позволяет уникальным образом улучшить качество этой продукции и необычайно резко поднять надежность каждого отдельного модуля. В настоящее время средняя наработка на отказ у модулей, выпускаемых достаточно долго и в больших количествах, доходит до миллионов часов при нормальной температуре и до сотен тысяч часов при повышенной.
4. Получение качественно новых свойств системы электропитания. Это возможности построения распределенных систем электропитания; улучшение электромагнитной совместимости узлов аппаратуры со встроенными модулями; потенциальное и практическое улучшение качества характеристик функциональных узлов, а также увеличение срока их работы за счет резкого повышения стабильности питающих напряжений при более мягких переходных процессах и т. д.
5. Конструктивная гибкость и преемственность построения аппаратуры с использованием конструктивно рассредоточенных модулей электропитания.
6. Практическое снижение потерь мощности в системе и повышение КПД за счет резкого сокращения длины силовых проводников. В распределенных системах электропитания модули встраиваются в непосредственной близости к питаемым ими функциональным узлам.

Перечисленные плюсы применения модулей во многих случаях (или еще точнее — в достаточно многих) нивелируют отмеченные недостатки. И, что очень важно, благодаря модулям достигается многократная экономия денег и других ресурсов.

Унифицированные низкопрофильные модули электропитания класса DC/DC являются прогрессивным направлением для разработчиков и производителей РЭА при реализации систем электропитания во многих практических ситуациях.

Предприятие ООО «Александр Электрик Дон» (г. Воронеж) имеет лицензии РОСКОСМОСа и федерального агентства по промышленности на разработку и производство вооружения и военной техники в части источников вторичного электропитания, а также имеет аттестат соответствия требованиям «ВОЕНЭЛЕКТРОНСЕРТ» ФГУП «22ЦНИИ Минобороны России» на наличие условий, обеспечивающих выполнение Государственного оборонного заказа. Предприятие работает по стандарту качества ГОСТ Р ИСО 9001-2001 и производит и поставляет с приемкой «5» модули серии «Мираж»

четырёх линий: МДМ, МДМ-П, МДМ-В, МДМ-ВТ [1].

Разработка DC/DC-модулей для авиационной бортовой аппаратуры специального назначения была начата группой компаний «Александр Электрик» в 1993 году при поддержке 22 ЦНИИИ и 16-го Управления МО. С 1999 года освоено производство опытных образцов модулей серии «Мираж» с приемкой «5» для комплектации аппаратуры специального назначения.

Выпускаемые в настоящее время модули электропитания серии «Мираж» являются итогом 10-летнего опыта группы компаний «Александр Электрик» по разработке и производству низкопрофильных изолированных DC/DC-преобразователей специального и промышленного назначения. На протяжении всего времени производства модулей происходила непрерывная их модернизация и совершенствование конструктивных и схемотехнических решений. Были значительно улучшены электрические, конструктивные, надёжные и качественные характеристики. Оптимально подобранные тепловые поверхности корпусов позволяют использовать модули этих серий в оборудовании специального назначения с особо тяжёлыми условиями эксплуатации. Современная элементная база и новейшие, имеющие российские патенты прогрессивные технические решения [2], используемые в модулях, гарантируют длительный срок эксплуатации изделий.

В результате совместной кропотливой работы с потребителями, после множества испытаний в аппаратуре модули серий «Мираж» несколько раз подвергались полной модернизации, в результате чего были получены уникальные показатели диапазона рабочих температур (от -60 до +125 °С), стойкости до группы 2У, конструктивной энергетической плотности до 5000 Вт/дм<sup>3</sup>, что позволило достичь весьма высоких массогабаритных характеристик систем электропитания, не уступающих мировому техническому уровню аппаратуры специального назначения [1, 3].

Модули электропитания серии «Мираж» выпускаются в двух типах корпусов — усиленных с крепежными фланцами и в тонкостенных штампованных [1]. Профиль (высота) корпусов модулей составляет 10 мм для мощностей до 20–40 Вт и 13 мм для более мощных модулей. Сетка габаритных размеров модулей представлена восемью типоразмерами от 30×20×10 мм до 168×122×13 мм. Температурный диапазон модулей может составлять от -60 до +85, +105 или +125 °С. Входные сети модулей питания представлены диапазонами 9,5–15 В, 10,5–36 В, 17–36 В, 18–75 В, 21–30 В, 36–72 В, 82–154 В, 130–185 В, 175–350 В. Модули с входной сетью 17–36 В могут выдерживать переходное отклонение по входу до 80 В в течение 1 с, что находит применение в системах электроснабжения самолетов и вертолетов по ГОСТ 19705-89.

Все модули оснащены фильтрами радиопомех на входе и выходе, гальванической развязкой между входом и выходом, имеют возможность регулировки выходного напряжения в пределах ±10% и дистанционного включения-выключения, а также обладают комплексом защит — от короткого замыкания и перегрузки по выходному току, от короткого замыкания, от превышения выходного напряжения, тепловую защиту (все защиты самовосстанавливаются). Мощные модули имеют ряд дополнительных сервисных функций — параллельную работу нескольких модулей на общую нагрузку и выносную обратную связь.

Остановимся на особенностях каждой из линий.

Наибольший путь в своем развитии прошли модули линии МДМ (без индекса) (рис. 2, 3), изначально ориентированные на использование исключительно отечественной элементной базы с приемкой «5». Благодаря усилиям разработчиков группы компаний «Александр Электрик» и Воронежского завода полупроводниковых при-



Рис. 2. Сравнение модулей электропитания линий МДМ 48×33×10 мм (внизу) и МДМ-П 40×30×10 мм (вверху). Профиль (высота) корпусов 10 мм. Номинальная мощность модулей 7,5 Вт



Рис. 3. Модули электропитания линий МДМ 110×84×13 мм (внизу) и МДМ-П 95×68×13 мм (вверху). Номинальная мощность 120 Вт

боров (ВЗПП) в очень короткие сроки удалось освоить на ВЗПП производство полевых транзисторов 2П767, 2П768, 2П769 и диодов 2Д273, 2Д640, 2Д641, 2Д663 [4].

Учитывая, что данная линия модулей разрабатывалась с расчетом на устойчивость к спецвоздействиям 2У, при ее построении был использован специализированный контроллер ШИМ в виде гибридной интегральной микросхемы. Данные модули выполнены с большим запасом по размерам корпусов, что позволило получить высокие показатели отвода тепла при работе в условиях высоких температур.

Модули электропитания линии МДМ выпускаются с номинальной выходной мощностью от 3 до 200 Вт и диапазоном рабочих температур корпуса  $-60...+105^{\circ}\text{C}$ . Они могут иметь один, два или три гальванически связанных выходных канала. Двухканальные модули имеют два одинаковых разнополярных напряжения на выходе со средней точкой. Модули построены с применением только отечественной элементной базы с приемкой «5» и имеют полный комплекс защит: от перегрузки по току, короткого замыкания, от перегрева, от превышения выходного напряжения. Отсутствие оптоэлектронных приборов в цепи обратной связи гарантирует высокую надежность и длительный срок эксплуатации изделий.

Модули электропитания МДМ имеют группу 2У по ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 по стойкости к спецвоздействиям и соответствуют группе 1.2.1 (кривая 2) по ГОСТ В 25803-91 по электромагнитной совместимости.

В процессе выполнения ОКР «Мираж» многие потребители указали на важность уменьшения габаритов модулей и расширения функций. Достичь существенного уменьшения габаритных размеров и введения дополнительных функций удалось в модулях линии МДМ-П (рис. 2, 3) благодаря применению новейшей российской элементной базы с приемкой «5» и лучших образцов осваиваемой российской элементной базы с приемкой «1», изготавливаемых на основе аналогов ведущих мировых производителей. Модули электропитания МДМ-П выпускаются для температурного диапазона  $-60...+85^{\circ}\text{C}$  и могут иметь один, два или три гальванически развязанных выходных канала. Выходные напряжения двухканальных и трехканальных модулей могут быть различными по величине. Они имеют группу 1У по ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 по стойкости к спецвоздействиям и соответствуют группе 1.2.1 (кривая 2) ГОСТ В 25803-91 по электромагнитной совместимости.

Дальнейшее улучшение характеристик модулей МДМ и МДМ-П не представлялось возможным, так как большое количество предприятий промышленности и оборонного комплекса России и ближнего зарубежья уже внедрили эти модули в состав своих изделий,

что ограничило возможность изменения габаритных размеров и цоколевки.

В последние два года предприятие «Александр Электрик Дон» сосредоточило свои усилия на разработке более совершенных линий МДМ-ВТ и МДМ-В. Новые модули питания построены в типовой линейке корпусов и с топологией выводов, максимально соответствующих модулям питания МДМ и МДМ-П, в них добавлены новые сервисные выводы, которые при необходимости могут быть удалены самим потребителем. В результате на место любого из модулей устаревших на настоящий момент МДМ и МДМ-П могут быть установлены модули МДМ-ВТ и МДМ-В, имеющие лучшие характеристики.

В модулях этих линий значительно расширен мощностной ряд, диапазон рабочих температур составляет  $-60...+125^{\circ}\text{C}$  для модулей МДМ-ВТ и  $-60...+85^{\circ}\text{C}$  для модулей МДМ-В, добавлены входные сети 110, 160 и 230 В и по требованиям потребителей введены дополнительные сервисные функции (возможность параллельной работы на общую нагрузку, выносная обратная связь, диагностика). Новые модули питания имеют хорошие показатели по спецвоздействиям и близки к высоким требованиям группы 2.2.3 (самая жесткая кривая 1) ГОСТ В 25803-91 по электромагнитной совместимости. Удельная энергетическая плотность в этих модулях доходит до  $4160\text{ Вт/дм}^3$  [3]. Столь высокие характеристики модулей были достигнуты за счет частичного использования самой современной импортной элементной базы.

Модули МДМ-ВТ (рис. 4) имеют номинальную выходную мощность от 3 до 1000 Вт. Расширенный температурный диапазон позволяет использовать данные модули в оборудовании с особо тяжелыми условиями эксплуатации. Так же как и модули МДМ без индекса, модули МДМ-ВТ могут иметь один, два или три гальванически связанных выходных канала. Выходные напряжения двухканальных модулей равны по величине, но различны по полярности.



Рис. 4. Модули электропитания линии Мираж-ВТ. Номинальная мощность 3–1000 Вт, диапазон температур  $-60...+125^{\circ}\text{C}$

В дополнение ко всему, наличие входных сетей 110, 160 и 230 В особенно удобно при построении высокоэффективной системы распределенного электропитания для потребителей, имеющих или самостоятельно реализующих в аппаратуре выпрямитель сети переменного тока и входной фильтр — сетевой конденсатор. Это дает возможность реализовать AC/DC-преобразователь с широким диапазоном рабочих температур.

Использование только керамических конденсаторов и отсутствие оптоэлектронных приборов в цепи обратной связи гарантирует высокую надежность и длительный срок эксплуатации изделий в условиях высоких температур. Все модули линии МДМ-ВТ содержат более эффективные встроенные входные и выходные помехоподавляющие фильтры, что позволило получить улучшенные по сравнению с модулями МДМ (без индекса) характеристики по ЭМС. Полный комплекс защит и сервисных функций обеспечивает удобство эксплуатации.

Модули электропитания линии МДМ-В (рис. 5) являются модернизированной модификацией МДМ-П. Номинальная выходная мощность модулей в тех же габаритах была увеличена примерно в 1,2–1,4 раза. Линия МДМ-В представлена низкопрофильными изолированными DC/DC-преобразователями с номинальной выходной мощностью от 5 до 1000 Вт. Они могут иметь один, два или три гальванически развязанных выходных канала. Выходные напряжения двухканальных и трехканальных модулей могут быть различными по величине. Наличие расширенного ряда входных напряжений 12, 24, 27, 60, 110, 160 и 230 В позволяет использовать данные модули в аппаратуре самого различного назначения. Все модули линии МДМ-В содержат высокоэффективные встроенные входные и выходные помехоподавляющие фильтры, что позволяет получить улучшенные по сравнению с модулями МДМ-П характеристики по ЭМС. Модули имеют полный комплекс защит: от перегрузки по току, короткого замыкания,



Рис. 5. Модули электропитания линии Мираж-В. Номинальная мощность 5–1000 Вт, диапазон температур  $-60...+85^{\circ}\text{C}$

от перегрева, от превышения выходного напряжения.

Конструкция блоков и систем (рис. 1) обладает высокой надежностью (большое среднее время наработки на отказ, отказоустойчивость, наличие «горячего» резерва), работоспособностью в условиях воздействия особо жестких климатических факторов (максимальная и минимальная температуры, давление, влага, воздействие термоударов), работоспособностью в условиях воздействия механических факторов (вибрация, ускорение, удары, перевозка различными видами транспорта). Блоки и системы электропитания могут работать от входной сети с широким диапазоном переходных отклонений (до нескольких секунд при наличии импульсных выбросов напряжения), и от входной

сети, к которой предъявляются жесткие требования по ЭМС. Они отличаются малыми габаритами и минимальной массой. Блоки и системы электропитания изготавливаются ООО «Александр Электрик Дон» по специальным заказам.

Таким образом, предприятия промышленности и российского оборонного комплекса получили возможность использовать низкопрофильные модули электропитания производства ООО «Александр Электрик Дон» с входными сетями 12, 24, 27, 60, 110, 160, 230 В и температурным диапазоном от  $-60$  до  $+125$  °С с обеспечением высоких требований по ЭМС, что значительно увеличивает конкурентоспособность отечественной радиоэлектронной аппаратуры [3, 5], работающей в жестких условиях эксплуатации. ■

## Литература

1. Каталог ООО «Александр Электрик Дон» на диске—2006.
2. Конев Ю., Гончаров А., Колосов В. Отечественная энергетическая электроника: проблемы, тенденции, достижения // Электроника: НТБ. 1997. № 6.
3. Гончаров А. Сравнительный показатель унифицированной удельной мощности модулей ИВЭП. Устройства и системы энергетической электроники, разработка, производство, маркетинг. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. АН РФ. Москва. 1998.
4. Гончаров А. Об отечественной элементной базе ИВЭП // Радиопромышленность. 1996. № 1.
5. Киселев А. Давайте будем обгонять, а не догонять // Электроника: НТБ. 1997. № 6.