

Виктор Жданкин

## Перспективные изделия энергетической электроники фирмы Interpoint

В последнее время за рубежом и в нашей стране выявлена устойчивая динамика модульного направления развития источников вторичного электропитания (ИВЭП) для различных образцов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1]. Широкое внедрение в практику модульных принципов построения радиоэлектронных средств позволяет быстро создавать новые образцы аппаратуры, сокращать сроки сдачи систем электропитания.

В настоящее время в ограничительных перечнях комплектующих, рекомендованных или разрешённых для изделий военного и специального назначения, фактически отсутствуют стандартные электронные модули питания отечественного производства с выходной мощностью 1,5...120 Вт, частотами преобразования 375...675 кГц, КПД 80...86%. И это при том, что подобные устройства наиболее востребованы на сегодняшний день в РЭА, размещаемой на объектах наземной (стационарной и подвижной), морской, авиационной и космической техники [1].

Таким образом, создание новых военных и космических систем электропитания на современном этапе не обеспечено в полной мере отечественными электрорадиоизделиями (ЭРИ). Это вынуждает разработчиков РЭА для обеспечения заданных тактико-технических характеристик применять ЭРИ и модули электропитания иностранного производства. Применение элементной базы иностранного производства в вооружении, специальной и военной технике в рамках установленных требований и процедур вполне допустимо. Практика использования в военной и специальной аппаратуре любой из развитых стран мира комплектующих изделий иностранного производства — не редкость [2].

Необходимо также отметить, что принципиально невозможно производить для внутреннего и внешнего

рынков конкурентоспособные по ценовым характеристикам модули электропитания высокого качества в небольших количествах. Только серийное, достаточно крупное производство способно оптимизировать отношение цена/качество.

Фирма Interpoint (США), являющаяся в настоящее время подразделением корпорации CRANE Aerospace & Electronics, с 1969 года занимается разработкой и производством высоконадёжных изделий энергетической электроники для военных, авиационно-космических и космических применений [3], а также микроэлектронных изделий медицинского назначения (вживляемые дефибрилляторы, кардиостимуляторы, нервные стимуляторы и др.)

Центр по снабжению Министерства обороны США в Колумбусе (Defense Supply Center Columbus — DSCC) сертифицировал производственные мощности фирмы Interpoint как отвечающие требованиям MIL-PRF-38534 “Performance Specification, Hybrid Microcircuits, General Specification For” Class K для производства DC/DC-преобразователей и помехоподавляющих фильтров, предназначенных для применений в бортовых устройствах космических аппаратов (КА). Необходимо заметить, что Class K является наи-



Международная космическая станция — один из объектов применения изделий энергетической электроники фирмы Interpoint

высшим уровнем надёжности, который принят DSCC, и более высокой ступенью по отношению к уровню Class H (стандартный уровень качества для аппаратуры военного назначения). Требования к устройствам Class K включают в себя проверки конструктивного решения и производственного процесса, отбор компонентов, обучение персонала и проведение серии испытаний изделий для применения в бортовых устройствах КА. Помимо сертификации, соответствующей Class K, Interpoint гордится внесением фирмы в список предпочтительных поставщиков NASA/Goddard PPL-21 (Preferred Parts List). Другими свидетельствами признания компании и качества её изделий являются внесение Interpoint в квалификационный перечень производителей (Qualified Manufacturers List — QML) по MIL-PRF-38534 и сертификация по ISO 9001. Перечень стандартов, требованиям которых отвечает производство Interpoint, приведен в табл. 1.

В данной статье представлены перспективные модули DC/DC-преобразователей военного назначения и радиационно-стойкие модули для космических применений фирмы Interpoint, поставки которых начнутся в 2004 году. Современная номенклатура радиационно-стойких изделий энергетической электроники фирмы Interpoint представлена в [4].

### НОВЫЕ СТАНДАРТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВОЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

#### DC/DC-преобразователи серии MPE

DC/DC-преобразователи серии MPE по габаритным размерам (37,08×28,7×8,38 мм) и расположению выводов полностью идентичны изделиям популярной серии MHP+ (рис. 1). Для моделей с низковольтными выходными напря-

Таблица 1

Квалификация производства фирмы Interpoint

Стандарт	Соответствие
MIL-PRF-38534, Class H и Class K	Сертифицировано DSCC
ISO 9001	Сертифицированы производственные мощности в США и на Тайване
MIL-STD-975	Соответствует с ограничениями
MIL-I-45208	Соответствует
MIL-Q-9858	Interpoint следует требованиям этого стандарта по требованиям заказчиков
MIL-STD-45662	Соответствует
FED-STD-209	Соответствует
MIL-STD-481	Соответствует
DOD-STD-1686	Соответствует

жениями и большими значениями тока нагрузки выводы корпуса имеют диаметр 1 мм. Вместо оптоэлектронной электрической изоляции (развязки) в цепи обратной связи применяется трансформатор. Преобразователи характеризуются большими значениями выходной мощности и КПД (до 88%) по сравнению с существующими моделями серии MNF+ и изделиями конкурентов. Учитывая тенденцию по снижению напряжения питания, разработаны модели с выходными напряжениями 1,8 В (с возможностью понижения до 1 В). Режим мягкого восстановления напряжения позволяет исключить выход за установленные пределы при частом переходе в дежурный режим, перерыве в подаче питания или при перегрузке. Преобразователи характеризуются низким уровнем пульсации выходного напряжения: типовое значение составляет 0,5% от номинального напряжения (при измерении осциллографом с полосой до 20 МГц). В модулях серии MPE применена однотактная прямоходовая структура преобразователя с резонансным переключением. Это решение увеличивает эффективность использования силового трансформатора, определяемую гораздо более рациональной конструкцией самого трансформатора (отсутствие размагничивающей обмотки) и большим значением коэффициента заполнения импульсов.

Перечень моделей DC/DC-преобразователей серии MPE представлен в табл. 2. Технические характеристики некоторых одноканальных и двухканальных DC/DC-преобразователей серии MPE приведены в табл. 3 и 4. Экспериментальные партии образцов



Рис. 1. Внешний вид DC/DC-преобразователей серии MPE

этих преобразователей представлены в марте 2004 года, квалификационные испытания завершены в июле 2004 года. Серийное изготовление планируется начать в декабре 2004 года. Заинтересованным организациям фирма Interpoint готова предоставить отдельные экземпляры изделий для оценки возможности их применения в перспективных системах электропитания.

**DC/DC-преобразователи серии MWR**

Преобразователи серии MWR с тремя выходными каналами питающих напряжений были предложены для замены весьма популярных в настоящее время изделий серий MNV и MTR.

Общие параметры DC/DC-преобразователей серии MWR и ранее рассмотренной серии MPE представлены в табл. 5.

Габаритные размеры преобразователей серии MWR (49,53×34,29×10,29 мм) идентичны размерам корпуса трёхканальных преобразователей се-

рии MNV. В новых преобразователях использована однотактная обратнотактовая структура с двумя контурами сигнала обратной связи и трансформаторной электрической развязкой сигнала управления. Изделия характеризуются высокими значениями номинальной суммарной выходной мощности (до 35 Вт) и КПД (85%). Фазы двух параллельных силовых контуров, работающих на одной частоте, сдвинуты относительно друг друга на 120° [5]. Путём сдвига двух фаз достигается высокий уровень подавления пульсации выходного напряжения.

Режим «мягкого» восстановления напряжения позволяет исключить выход за установленные пределы этого параметра при частом переходе в дежурный режим, перерыве в подаче питания или при чрезмерной нагрузке. Преобразователи характеризуются низким уровнем пульсации выходного напряжения: типовое значение составляет 0,5% от номинального напряжения (при измерении осциллографом с полосой до 20 МГц).

Основные технические характеристики преобразователей серии MWR приведены в табл. 6.

Внешний вид модели MWR28515T представлен на рис. 2.

В табл. 7 приведены модели DC/DC-преобразователей серии MWR с двумя каналами выходных напряжений, планируемые к выпуску в ближайшей перспективе.

**Помехозащитный фильтр FMT-461**

Для уменьшения помех, распространяющихся по цепям питания, устранения высокочастотных связей, подавления широкополосных помех, защиты устройств, чувствительных к помехам,

Таблица 2

Разрабатываемые модели DC/DC-преобразователей серии MPE

Модели серии MPE	Основные выходные характеристики	Статус
<b>Одноканальные модели</b>		
MPE281R8S	1,8 В; 10 Вт	Опытные образцы изготовлены в конце января 2004 года
MPE282R5S	2,5 В; 12,5 Вт	
MPE283R3S	3,3 В; 15 Вт	
MPE2805S	5 В; 20 Вт	Опытные образцы изготовлены в сентябре 2003 года (переданы для оценки в компанию Northrop Grumman)
MPE2812S	12 В; 25 Вт	Опытные образцы изготовлены в конце января 2004 года
MPE2815S	15 В; 25 Вт	
<b>Двухканальные модели</b>		
MPE2805D	±5 В; 20 Вт	Опытные образцы изготовлены в конце февраля 2004 года
MPE2812D	±12 В; 25 Вт	
MPE2815D	±15 В; 25 Вт	

Технические характеристики некоторых одноканальных модулей электропитания серии MPE (25°C, входное напряжение 28 В постоянного тока, 100% нагрузка, за исключением оговоренных случаев)

Параметр	Условия	MPE2812S			MPE2815S			MPE2828S		
		мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	макс.
Выходное напряжение, В		11,88	12	12,12	14,85	15	15,15	27,72	28	28,28
Ток нагрузки, А	В диапазоне входных напряжений питающей сети 16...40 В			2			1,7			0,9
Выходная мощность, Вт				25			25			25
Общая пульсация выходного напряжения (двойная амплитуда), мВ	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц, диапазон рабочих температур -55...+125°C			60			60			120
Нестабильность по напряжению, мВ	В диапазоне входных напряжений питающей сети 16...40 В			20			20			20
Нестабильность по току, мВ	При изменении нагрузки от соответствующей холостому ходу до 100%			50			50			50
Входное напряжение, В	Длительный режим Импульсное напряжение, 1 с	16	28	40 50	16	28	40 50	16	28	40 50
Входной ток, мА	В режиме холостого хода В дежурном режиме		30 2,5	50 4		30 2,5	50 4		30 2,5	50 4
Пульсация тока во входных цепях (двойная амплитуда), мА	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц, диапазон рабочих температур -55...+125°C		50	70		50	70		50	70
КПД, %		81	85		82	86		81	85	
Рассеиваемая мощность при полной нагрузке, Вт		5,8642			5,488			5,864		
Рассеиваемая мощность, Вт: • при превышении выходного напряжения • при коротком замыкании Время восстановления, мс Выходной ток в режиме короткого замыкания, А	Аварийный режим нагрузки			8 7 20			8 7 20			8 7 20
				2,7			2,1		1,1	
Изменение выходного напряжения при динамическом изменении нагрузки, мВ	Переходной процесс (50-100-50%)			600			600			1200
Время восстановления, мкс	10...100%			400			400			400
Изменение выходного напряжения, мВ Время восстановления, мкс	Переходной процесс (16-40-16 В)			600			600			600
					400			400		
Время задержки, мс Выход за установленные пределы, мВ	Запуск		10	20		10	20		10	20
					30			30		
Ток на входе дистанционного вкл./выкл., мА	В дежурном режиме		2,5	4		2,5	4		2,5	4
Ёмкость нагрузки (макс.), мкФ				2000			2000			2000

- Примечания. 1. Параметры аварийного режима нагрузки измерены для резистивной нагрузки.  
 2. Параметры режима короткого замыкания измерены с точностью 1% ( $R_{к.з.} = 10 \text{ мОм}$ ).  
 3. Время восстановления — время установления выходного напряжения в номинальное значение с точностью 1%.  
 4. Время переходного процесса — более 10 мкс.

фирма Interpoint предлагает новую модель помехоподавляющего фильтра FMT-461, основные технические характеристики которого приведены в табл. 8. Фильтр снижает кондуктивные помехи, возникающие при работе DC/DC-преобразователей; вносимое затухание на частоте 1 МГц составляет 70 дБ.



Рис. 2. Внешний вид DC/DC-преобразователя MWR28515T

### Новые изделия для бортовой аппаратуры космических аппаратов

Важнейшую роль в обеспечении длительной и безотказной работы РЭА в космических условиях играет стойкость её элементов и материалов конструкции к воздействию факторов космической среды. Радиационная стойкость — одна из важнейших характеристик качества РЭА, предназначенной для применения в составе бортовой аппаратуры

(БА) космических аппаратов (КА). Радиационная стойкость аппаратуры в основном определяет срок активного существования КА.

Создание высокоэффективных надёжных структур радиационно-стойких изделий энергетической электроники является сложной задачей, требующей разработки методов и средств для расчёта, моделирования и оптимизации схмотехнических решений, создания и эксплуатации контрольно-измерительного и испытательного оборудования для эффективной отбраковки потенциально дефектных электрорадиоизделий, разработки ме-

Таблица 4

Технические характеристики некоторых одноканальных модулей электропитания серии MPE (25 °С, входное напряжение 28 В постоянного тока, 100% нагрузка, за исключением оговоренных случаев)

Параметр	Условия	MPE2805D			MPE2812D			MPE2815D		
		мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	макс.
Выходное напряжение, В		+4,95 -4,925	+5 -5	+5,05 -5,075	+11,88 -11,82	+12 -12	+12,12 -12,18	+14,85 -14,775	+15 -15	+15,15 -15,22
Ток нагрузки, А	В диапазоне входных напряжений питающей сети 16...40 В			2,8 по каждому выходу			1,46			1,17
Общая выходная мощность, Вт				20			25			25
Общая пульсация выходного напряжения (двойная амплитуда), мВ	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц, диапазон рабочих температур -55...+125°С		50			50			50	
Нестабильность по напряжению, мВ	В диапазоне входных напряжений питающей сети 16...40 В			20 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )			20 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )			20 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )
Перекрестное влияние, мВ	По каналу отрицательного напряжения			500			500			500
Нестабильность по току, мВ	При изменении нагрузки от соответствующей холостому ходу до 100%			50 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )			50 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )			50 (+V <sub>out</sub> ) 200 (-V <sub>out</sub> )
Входное напряжение, В	Длительный режим Импульсное напряжение, 1 с	16	28	40 50	16	28	40 50	16	28	40 50
Входной ток, мА	В режиме холостого хода В дежурном режиме		30 2,5	50 4		30 2,5	50 4		30 2,5	50 4
Пульсация тока во входных цепях (двойная амплитуда), мА	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц, диапазон температур -55...+125°С		50	70		50	70		50	70
КПД, %		78	81		81	84		82	85	
Рассеиваемая мощность при полной нагрузке, Вт		5,64103			5,864198			5,487805		
Рассеиваемая мощность, Вт: • при превышении выходного напряжения • при коротком замыкании Время восстановления, мс Выходной ток в режиме короткого замыкания, А	Аварийный режим нагрузки			8 7 20			8 7 20		2,1	8 7 20
Изменение выходного напряжения при динамическом изменении нагрузки, мВ	Переходной процесс (50-100-50%)			250			600			600
Время восстановления, мкс	10...100%			500			500			500
Изменение выходного напряжения, мВ Время восстановления, мкс	Переходной процесс (16-40-16 В)			350 500			600 500			600 500
Время задержки, мс Выход за установленные пределы, мВ	Запуск			20 30			20 30			20 30
Ток на входе дистанционного вкл./выкл., мА	В дежурном режиме		2,5	4		2,5	4		2,5	4
Ёмкость нагрузки (макс.), мкФ				1000			1000			1000

- Примечания.** 1. Параметры аварийного режима нагрузки измерены для резистивной нагрузки.  
 2. Параметры режима короткого замыкания измерены с точностью 1% (R<sub>к.з.</sub>=10 мОм).  
 3. Время восстановления — время установления выходного напряжения в номинальное значение с точностью 1%.  
 4. Время переходного процесса — более 10 мкс.  
 5. До 70% общей мощности можно получить в любом выходном канале, при этом другой выход поддерживает минимум 30% общей мощности.

тодик и специальной аппаратуры для изучения последствий воздействия ионизирующего излучения (пострадиационный эффект) и оценки радиационной стойкости изделий по результатам испытаний и т.д.

Эти задачи успешно решены фирмой Interpoint, предлагающей радиационно-стойкие DC/DC-преобразова-



**Рис. 3. Радиационно-стойкий DC/DC-преобразователь новой серии SMRT для космических применений**

тели, помехоподавляющие фильтры и специальные изделия для применений в бортовой аппаратуре КА, орбиты которых характеризуются высоким уровнем радиационного фона [4], [6].

В настоящее время фирма Interpoint проводит опытно-конструкторские работы, направленные на

разработку радиационно-стойких модулей DC/DC-преобразователей новой серии SMRT (рис. 3). Многоканальные модули этой серии создаются для организаций, специализирующихся в разработке аппаратуры для космических систем: Orbital Sciences, Boeing, Honeywell Space Systems, JPL, NASA и др.

В результате ОКР планируется достичь следующих эксплуатационных показателей:

- Предельная поглощённая доза радиоактивного излучения высокой интенсивности — до 1 Мрад (Si). Этот по-

Общие параметры для DC/DC-преобразователей серий MPE и MWR

Параметр	Серия MPE (одноканальные и двухканальные)	Серия MWR (трёхканальные преобразователи)
<b>Абсолютные максимальные значения параметров</b>		
Входное напряжение	16...40 В	15...50 В
Рассеиваемая мощность	6 Вт	10 Вт
Выходная мощность	10...25 Вт	30...35 Вт
Температура при пайке со свинцовым припоем (10 с)	300°C	300°C
Температура основания корпуса (режим хранения)	-65...+150°C	-65...+150°C
<b>Рекомендуемые рабочие условия</b>		
Диапазон входных напряжений	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 16...40 В постоянного тока</li> <li>● Импульс напряжения до 50 В в течение 1 с</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 15...50 В постоянного тока</li> <li>● Импульс напряжения до 80 В в течение 1 с</li> </ul>
Диапазон рабочих температур (основание корпуса)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● -55...+125°C (при 100% нагрузке)</li> <li>● -55...+135°C (абсолютное значение)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● -55...+125°C (при 100% нагрузке)</li> <li>● -55...+135°C (абсолютное значение)</li> </ul>
Понижение номинального значения выходной мощности	Линейно от 100% мощности при +125°C до 0% при +135°C	
<b>Синхронизация и дистанционное включение/выключение</b>		
Параметры сигнала внешнего синхронизирующего генератора	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Частота: 450...550 кГц</li> <li>● Коэффициент заполнения импульсов: 40% (мин.), 60% (макс.)</li> <li>● Логический «0»: 0,8 В (макс.)</li> <li>● Логическая «1»: 5 В (мин.), 10 В (макс.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Частота: 300...360 кГц</li> <li>● Коэффициент заполнения импульсов: 40% (мин.), 60% (макс.)</li> <li>● Логический «0»: 0,8 В (макс.)</li> <li>● Логическая «1»: 5 В (мин.), 10 В (макс.)</li> </ul>
Дистанционное включение/выключение (ТТЛ, открытый коллектор)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Уровень логического «0» (выходной канал заблокирован)</li> <li>● Уровень логической «1» (выходной канал разблокирован)</li> </ul> Опорным уровнем сигнала является «земля» (общая точка входной сети постоянного тока)	
<b>Типовые параметры</b>		
Температурная нестабильность выходного напряжения	50 млн. <sup>-1</sup> /°C (тип.)	50 млн. <sup>-1</sup> /°C (тип.)
Допустимый перегрев корпуса относительно окружающего неподвижного воздуха	25°C (при типовом значении рассеиваемой мощности)	18°C/Вт (при типовом значении рассеиваемой мощности)
Ёмкость между входом и выходом	100 пФ (тип.)	150 пФ (тип.)
Входное напряжение, при котором происходит блокирование преобразователя	15,5 В (тип.)	13,5 В (тип.)
Значение тока нагрузки в режиме стабилизации тока при перегрузке	125% максимального тока нагрузки	125% максимального тока нагрузки (по основному каналу)
Электрическая прочность изоляции	100 М0м (мин.) при 500 В	100 М0м (мин.) при 500 В
Подавление звуковых частот	50 дБ (тип.)	50 дБ (тип.)
Частота преобразования	В автономном режиме работы 500 кГц (тип.)	В автономном режиме работы 500 кГц (тип.)
Напряжение на входе дистанционного включения/выключения	11 В (тип.)	11 В (тип.)

казатель для изделий фирмы AA серии ART составляет 100 крад (Si).

- Предельная поглощённая доза радиоактивного излучения малой мощности — до 0,01 рад (Si)/с.
- Спецификация показателей радиационных эффектов от воздействия отдельных частиц (одиночные сбои Single Event Effects — SEEs, Single Event Upsets — SEUs или защёлкивание изделий Single Event Latchup — SEL) имеет цель достичь величины показателя Linear Energy Transfers (LET — порог по сбоям) порядка 115 МэВ×см<sup>2</sup>/мг. Фирма AA гарантирует отсутствие одиночных сбоев при пороге, равном только 83 МэВ×см<sup>2</sup>/мг.
- Возможность работы при очень низких температурах до -90°C.
- Наличие в серии преобразователей с одним, двумя, тремя и четырьмя каналами.
- Планируется оснастить преобразователи помехоподавляющими фильтрами кондуктивных помех

и ограничителями пускового тока. Изделия конкурирующих фирм не содержат подобных узлов.

- Обеспечение возможности функционирования в условиях радиационных воздействий без применения дорогостоящих радиационно-стойких компонентов.
- Широкий диапазон напряжений питающей сети от 16...56 В с допусками в соответствии с MIL-STD-975M. Изделия фирмы AA сохраняют работоспособность в диапазоне напряжений от 19 до 50 В постоянного тока. Необходимо заметить, что увеличение предельного значения рабочего напряжения позволит применять преобразователи серии SMRT с промежуточной шиной Space European Bus и с принятой в Японии шиной источника входной электроэнергии.
- Выходные напряжения с низкими уровнями пульсаций (примерно десятые доли милливольт, при измерении осциллографом с полосой до 20 МГц).

Уровень пульсаций выходных напряжений соответствует требованиям MIL-STD-461E Условие CE03.

- Диапазон выходных мощностей от 30 до 50 Вт (в зависимости от конфигурации). В настоящее время трёхканальная модель серии SMRT характеризуется выходной мощностью 40 Вт. Аналогичное изделие фирмы AA характеризуется показателем суммарной выходной мощности, равной 30 Вт.
- Две группы изолированных выходных каналов питающих напряжений могут быть сконфигурированы следующим образом: только один канал, один канал и два симметричных (дополнительные «+» и «-») канала, два симметричных канала питающих напряжений.
- Три уровня оценки качества: О, Н, К.

### Конструкторские решения

Преобразователи серии SMRT созданы с применением технологии уд-

Таблица 6

Технические характеристики некоторых трёхканальных модулей электропитания серии MWR (25°C, входное напряжение 28 В постоянного тока, 100% нагрузка, за исключением оговоренных случаев)

Параметры	Условия	MWR28515T			MWR28512T			MWR283R315T			MWR283R312T		
		Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.	Мин.	Тип.	Макс.
Выходное напряжение, В	Основной канал Дополнительный «+» Дополнительный «-»	4,95 14,85 -15,3	5 15 -15	5,05 15,15 -14,7	4,95 11,88 -12,24	5 12 -12	5,05 12,12 -11,76	3,27 14,85 -15,3	3,3 15 -15	3,33 15,15 -14,7	3,27 11,88 -12,24	3,3 12 -12	3,33 12,12 -11,76
Ток нагрузки, А	Основной канал На дополнительных каналах (на каждом) Суммарный ток нагрузки дополнительных каналов			3 0,93 1,34			3 1,17 1,67			3 0,93 1,34			3 1,17 1,67
Выходная мощность, Вт	Основной канал Суммарная мощность по дополнительным каналам Суммарная выходная мощность			15 20 35			15 20 35			10 20 30			10 20 30
Общая пульсация выходного напряжения (двойная амплитуда), мВ	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц Основной канал Дополнительный канал «+» Дополнительный канал «-»			60 150 150			60 120 120			60 150 150			60 120 120
Нестабильность по напряжению, мВ	В диапазоне входных напряжений от 15 до 50 В Основной канал Дополнительный канал «+» Дополнительный канал «-»			25 50 100			25 50 100			25 50 100			25 50 100
Нестабильность по току, мВ При изменении нагрузки от соответствующей холостому ходу до 100%	Основной канал Дополнительный канал «+» Дополнительный канал «-»			25 50 250			25 50 250			25 50 250			25 50 250
Взаимное влияние каналов, %	Дополнительные каналы «+» и «-»: нагрузка, соответственно, 30% и 70% или 70 и 30%			5			5			5			5
Входное напряжение, В	Непрерывный режим Одиночный импульс, 1 с	15	28	50 80	15	28	50 80	15	28	50 80	15	28	50 80
Входной ток, мА	В режиме холостого хода В дежурном режиме		50 2,5	70 4		50 2,5	70 4		50 2,5	70 4		50 2,5	70 4
Общая пульсация тока во входной цепи (двойная амплитуда), мА	В диапазоне частот 10 кГц...20 МГц, диапазон температур -55...+125°C		30	100		30	100		30	100		30	100
КПД, %		81	85		80	84		78	82		77	81	
Рассеиваемая мощность при полной нагрузке, Вт		8,21			8,75			8,462			8,961		
Рассеиваемая мощность, Вт: • при превышении выходного напряжения • при коротком замыкании Время восстановления, мс Выходной ток в режиме короткого замыкания, %	Аварийный режим нагрузки			11 8 20			11 8 20			11 8 20			11 8 20
			125					125			125		

Таблица 7

Модели DC/DC-преобразователей серии MWR с двумя выходными каналами питающих напряжений

Модель	Основные выходные параметры
MWR283R05	3,3 В (10 Вт) и 5 В (15 Вт)
MWR283R12	3,3 В (10 Вт) и 12 В (20 Вт)
MWR283R15	3,3 В (10 Вт) и 15 В (20 Вт)

воения фазы/сдвига фазы на 180° [5]. В контурах обратной связи для изоляции сигналов управления используются трансформаторы, при этом все выходные каналы изолированы друг от друга и от шин источника входной электроэнергии цепей питания. При-

Таблица 8

Технические характеристики помехозащитного фильтра FMT-461 (25°C)

Параметр	Условия	Мин.	Тип.	Макс.
Входное напряжение, В	В режиме холостого хода При мощности в нагрузке 43 Вт	0 0	28 28	50 50
Вносимое затухание, дБ	500 кГц 1 МГц	—	60 70	—
Спротивление постоянному току ( $R_{dc}$ ), Ом	25°C 125°C	—	0,18 0,26	—
Ёмкость, мкФ		—	0,06	—
Выходное напряжение, В	Установившийся режим		$U_{вых} = U_{вх} - I_{вх}(R_{dc})$	
Выходной ток, А	Входное напряжение 15 В Входное напряжение 40 В	—	—	2,7 1,8
Рассеиваемая мощность, Вт	Максимальный ток 25°C 125°C	—	—	1,46 2,04

Сравнение характеристик преобразователей разных производителей

Параметр	Advanced Analog-ART	M3 (Magnitude 3)	SMRT Interpoint	MDI-Proton Rad hard 5031 (Modular Devices Inc)
Предельная поглощённая доза (Si)	100 крад (1 Мрад)	200 крад	500 крад/1 Мрад	100 крад
Предельная поглощённая доза излучения малой мощности	Не специфицируется	Не специфицируется	0,5 рад/с	Не специфицируется
SEE (радиационные эффекты: одиночные сбои от воздействия отдельных частиц)	LET > 83 МэВ×см <sup>2</sup> /мг	LET = 83 МэВ×см <sup>2</sup> /мг	LET > 115 МэВ×см <sup>2</sup> /мг	Не специфицируется
Плотность потока нейтронов	3×10 <sup>12</sup> частиц/см <sup>2</sup>	8×10 <sup>12</sup> частиц/см <sup>2</sup>	1×10 <sup>13</sup> частиц/см <sup>2</sup>	Не специфицируется
Мощность поглощённой дозы, рад (Si)/с	1×10 <sup>11</sup>	4×10 <sup>10</sup>	3×10 <sup>11</sup>	Не специфицируется
Диапазон напряжений питающей сети постоянного тока	19...50 В	18...50 В	16...56 В (по специальному заказу возможен диапазон 30...75)	18...50 В
Одиночные импульсы напряжения (50 мс)	80 В	80 В	80 В	80 В
Суммарная выходная мощность (для трёхканальных моделей)	30 Вт	40 Вт	40 Вт	43 Вт
Отклонения выходного напряжения, вызванные взаимным влиянием каналов	±3%, при минимальной нагрузке	±5%	Нет	Не специфицируется, при минимальной нагрузке
Пульсация выходного напряжения	100 мВ (измерение осциллографом с частотой до 20 МГц)	50 мВ (измерение осциллографом с частотой до 10 МГц)	< 50 мВ (измерение осциллографом с частотой до 20 МГц)	50 мВ (измерение осциллографом с частотой до 20 МГц)
Пульсация во входных цепях	100 мВ (измерение осциллографом с частотой до 20 МГц)	Не специфицируется	< 1 мА (двойная амплитуда) в диапазоне частот до 20 МГц	В соответствии MIL-STD-461E Условие CE03
КПД	>80%	>73%	>78%	>70%
Масса	120 г	80 г (основание из карбида кремния, выводы изолированы с помощью керамики)	100 г (выводы изолированы с помощью керамики)	160 г
Случайная вибрация	Не специфицируется	Не специфицируется	24 г <sup>2</sup> /Гц (1 час)	—

менение метода широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с постоянной рабочей частотой, обратной связью по напряжению и дополнительной обратной связью по току дросселя позволяет получить высокий КПД при низких уровнях напряжения. Каждый из двух преобразователей, размещённых внутри герметизированного корпуса, может быть сконфигурирован на один или на два выходных канала. Таким образом, каждый из обратных преобразователей может реализовать одноканальную, двухканальную, трёхканальную или четырёхканальную структуру. При этом конструкция не содержит специальных радиационно-стойких или отобранных компонентов. Применение двух контуров обратной связи позволяет исключить перекрёстные влияния между основным и дополнительными каналами выходных напряжений. Ограничение тока в случае отказа на одном выходе (группе выходов) происходит независимо от других каналов и без влия-

ния на них. Ещё одним достоинством преобразователей серии SMRT признано отсутствие ограничений на минимальное значение тока нагрузки, которое является важным показателем надёжности системы и является крупным усовершенствованием. Другие

преимущества преобразователей серии SMRT перед аналогичными изделиями разных производителей отражает табл. 9. Модульная конструкция преобразователя предусматривает возможность расширения диапазона входного напряжения до 100 В, а также интеграции ограничителя пускового тока.

Отдельной задачей является снижение производственных затрат при изготовлении модулей посредством минимизации доли ручных сборочных операций и оптимизации организации производства. Технологичность изделий обеспечивают: отсутствие многослойных покрытий, минимальное количество резистивных паст (до 3), исключение пайки оплавлением припоя, крепление подложки посредством одной операции, применение соединительных проводников одного размера и компонентов для поверхностного монтажа, исключение без необходимости промежуточных операций по сборке магнитных компо-

нентов, закрепление магнитных компонентов сваркой, применение новых паст, не содержащих кадмия, и др.

В производстве модулей энергетической электроники фирмы Interpoint используются следующие новшества:

- применение плоских проводников внутри корпуса для проволочных соединений,
- применение в качестве покрытия никеля вместо золота,
- применение новых фиксирующих эпоксидных материалов,
- использование сварки сплошным швом при установке кристаллодержателя на поверхность с гальванически нанесённым слоем никеля,
- применение внутри корпуса алюминиевой проволоки в качестве выводов кристаллодержателя,
- применение планарных магнитных компонентов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективные радиационно-стойкие преобразователи постоянного напряжения фирмы Interpoint создаются на основе структур, в которых регулирование осуществляется методом широтно-импульсной модуляции с постоянной рабочей частотой

(375...500 кГц) и обратной связью по напряжению. Применение таких оригинальных схемотехнических решений, как технология асимметричной передачи энергии [7], структура с двойными контурами обратной связи, работающими со сдвигом по фазе на 120° или 180°, позволяют уменьшить габаритно-массовые показатели, улучшить энергетические показатели, снизить уровни электромагнитных помех.

Применение новых материалов и современных компонентов, оптимизация технологических процессов изготовления позволяют значительно снизить производственные затраты и повысить качество изделий энергетической электроники. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев В.М. Тенденции развития источников вторичного электропитания специального назначения// Устройства и системы энергетической электроники: Тезисы докладов научно-технической конференции УСЭЭ-2000. — М: НТФ ЭНЭЛ, 2000.
2. Об особенностях применения импортных компонентов в военной и специальной технике. Интервью с Начальником

22 ЦНИИ МО РФ контр-адмиралом Ю.И. Степановым// Компоненты и технологии. — 2001. — № 7.

3. Жданкин В.К. Вторичные источники электропитания фирмы Interpoint// Современные технологии автоматизации. — 1997. — № 4.
4. Жданкин В.К. Радиационно-стойкие изделия энергетической электроники фирмы Interpoint// Электрическое питание. — 2004. — № 1.
5. Jay A. Kuehny, Michelle Manson. New phase technology boosts dc/dc// Electronic Engineering Times. — A CMP Publication®. — August 14, 1995.
6. Жданкин В.К. Некоторые вопросы радиационной стойкости DC/DC конверторов фирмы Interpoint// Современные технологии автоматизации. — 1998. — № 3.
7. Ming L. Chen Kirkland, Jay A. Kuehny. DC-to-DC Converter with Secondary Flyback Core Reset. US Patent Number: 5521 807. Date of Patent: May 28, 1996.

**В.К. Жданкин — сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
119313 Москва, а/я 81  
Телефон: (095) 234-0636  
Факс: (095) 234-0640  
E-mail: victor@prosoft.ru**