

Радиационно-стойкие безлицензионные DC/DC-преобразователи International Rectifier

Виктор ЖДАНКИН

В статье кратко изложена суть изменений в правилах регулирования экспорта радиационно-стойких электронных компонентов производства США. Представлены DC/DC-преобразователи одного из наиболее заметных производителей радиационно-стойких компонентов силовой электроники компании International Rectifier (IR), доступные без оформления лицензии в государственных ведомствах США, ответственных за регулирование экспорта.

Госдепартамент и Министерство торговли США внесли существенные поправки к долголетней политике регулирования экспорта, оговаривая это как часть попытки повышения конкурентоспособности космической промышленной базы США.

В течение многих лет космическая промышленная база США сталкивалась с вызовами конкуренции за международные контракты, будучи вынужденной конкурировать с иностранными производителями, не скованными контролем за экспортом США. Для преодоления этого препятствия космическая промышленность Америки и правительство решили в корне изменить характер регулирования экспорта США для большей части коммерческих, научных и гражданских спутников, а также смежных технологий, таких как радиационно-стойкие интегральные микросхемы.

13 мая 2014 г. Государственный департамент США изменил Правила международной торговли оружием (International Traffic in Arms Regulations, ITAR) для изменения категории космических аппаратов и спутников в Перечне вооружений (U. S. Munitions List, USML) более строгим определением разделов, подтверждающих регулирование в этой категории, и переместив их в Перечень товаров, контролируемых Министерством торговли США (U. S. Department of Commerce's Control List (CCL)). Для обеспечения государственной безопасности все изделия из перечня USML требуют разрешения Госдепартамента США на экспорт. До сих пор американским производителям частей и компонентов для космических аппаратов и спутников получить такое разрешение было чрезвычайно сложно, что не способствовало их конкуренции на международном рынке. Вследствие текущей политической

ситуации только незначительное число заказов на продукцию, подлежащую экспортному контролю, для России оформлялось государственными ведомствами США, ответственными за регулирование экспорта технологий и продукции военного назначения.

С внедрением новой реформы системы регулирования экспорта в США, которая начала действовать с 10 ноября 2014 г., американские компании получили возможность реклассифицировать компоненты, предназначенные для применения в космической аппаратуре, в том числе и радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи, из Перечня вооружений ITAR USML (US Munitions List) Category XV (e), под контроль Правил экспортного регулирования (Export Administration Regulations, EAR) под классификационным номером экспортного контроля ECCN (Export Control Classification Number) 9A515.e. Контролируемыми для продукции с этим классификационным номером экспортного контроля являются следующие параметры радиационной стойкости: характеристика радиационной стойкости микрочиповых схем в области дозовых эффектов — поглощенная доза $\geq 1 \times 10^5$ Рад (Si) (1×10^3 Грэй (Si)) и $< 5 \times 10^5$ Рад (Si) (5×10^3 Грэй (Si)); стойкость к воздействию одиночными заряженными частицами, вызывающему в изделиях электронной техники одиночные эффекты (например, SEL (Single Event Latchup), SEB (Single Event Burnout) или SEGR (Single Event Gate Rupture)) при пороговых линейных потерях энергии (ЛПЭ) ионов ≥ 80 МэВ·см²/мг.

Необходимо также отметить, что и многие другие радиационно-стойкие компоненты из номенклатуры IR (MOSFET, драйверы затворов, полупроводниковые реле) также переведены из перечня USML в CCL с из-

менением показателей радиационной стойкости в соответствии с ранее приведенными ограничениями. Таким образом, практически все радиационно-стойкие компоненты компании IR стали доступны для экспорта в Россию без оформления лицензии на экспорт в государственных ведомствах США, ответственных за регулирование экспорта технологий и продукции военного назначения.

International Rectifier является одним из наиболее заметных и интересных представителей сообщества производителей радиационно-стойких гибридно-пленочных DC/DC-преобразователей для применения в составе бортовых комплексов космических аппаратов (КА). Компания контролирует примерно 17% (по данным на 2012 г.) мирового рынка DC/DC-преобразователей для ракетно-космической техники. Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи IR применялись и применяются в многочисленных космических программах многих стран, в том числе и российских. В настоящее время в космосе находится более 4000 модулей компании IR, из них 2500 активны.

В таблице представлены радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи IR, поставка которых в Россию возможна без получения экспортной лицензии в государственных ведомствах США. Необходимо только предоставить основную информацию о конечном получателе и о виде продукции, производимой из экспортируемого компонента. Особенно важно отметить, что упрощена процедура экспорта радиационно-стойких модулей со значениями поглощенной дозы 50 и 100 крад, которые являются наиболее подходящими для применений с длительными сроками активного существования на геосинхронных орбитах.

Таблица. Гибридные радиационно-стойкие и радиационно-устойчивые DC/DC-преобразователи, доступные зарубежным компаниям без оформления лицензии на экспорт в государственных ведомствах США, ответственных за регулирование экспорта

Серия	Выходная мощность, Вт	Входное напряжение, В	Выходные напряжения, В	Поглощенная доза, крад (Si)	ЛПЭ, МэВ·см ² /мг	Габариты (Д×Ш×В), мм	Масса, г
ARE100S/D	5	65–120	3,3; 5; 6; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	64	30,48×30,48×7,88	<17
10406	6	50–120	+15/±15	100	64	58,42×38,1×11,18	<45
ARE28S/D	5	18–50	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	62	27,31×27,31×7,88	<15
LA100S/D	15	65–110	1; 1,5; 1,8; 2,5; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	62	38,1×50,8×10,16	50 max
LA100T	20	65–110	+3,3/±5; +3,3/±12; +3,3/±15; +5/±5; +5/±12; +5/±15	100	62	35,56×50,8×10,16	50 max
LA28S/D	20	18–50	1; 1,5; 1,8; 2,5; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	62	35,56×50,8×10,16	50 max
LA50S/D	20	38–60 (50 номинальное значение)	1; 1,5; 1,8; 2,5; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	62	35,56×50,8×10,16	50 max
ARE50xxS/D	5	38–60 (50 номинальное значение)	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	62	27,31×27,31×7,88	<15
M3L28xxS/D	25	16–50	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	25	37	58,42×38,1×10,8	85
M3H28xxS/D	40	18–50	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	25	37	76,2×50,8×11,3	125
M3L50xxS/D	25	38–60 (50 номинальное значение)	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	25	37	58,42×38,1×10,8	85
M3N100xxS/D	40	65–110	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	25	37	76,2×50,8×11,3	125
D28XXD	10	18–50	±5; ±12; ±15	50	40	35,56×45,72×10,67	55
D50XXD	10	38–60 (50 номинальное значение)	±5; ±12; ±15	50	40	35,56×45,72×10,67	55
M3N28xxS/D	40	18–50	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	64	77,6×52,2×12,07	125
M3N100xxS/D	40	65–110	3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15	100	64	77,6×52,2×12,07	125
M3N28xxT	35	18–50	+3,3/±12; +5/±12	100	64	77,6×52,2×12,07	125
M3N100xxT	35	65–110	+5/±12; +3,3/±12	100	64	77,6×52,2×12,07	125

Большая часть DC/DC-преобразователей изготовлены с применением гибридно-плечной технологии, поскольку они отличаются значительно меньшими габаритными размерами и массой по сравнению с любыми другими современными компоновочными узлами, выполненными с применением технологии монтажа на поверхность. Дополнительный вес космического аппарата — это деньги, потраченные на топливо, а также не взятый на борт полезный груз. К примеру, даже сейчас доставка одного грамма полезного веса на геостационарную орбиту с помощью мощной российской ракеты «Протон» оценивается в \$13 США (то есть \$13000 за 1 кг).

Обеспечение надежности гибридных компоновочных узлов является сложной задачей, но процесс их сборки постоянно совершенствуется. Благодаря разработке и принятию типовых технических условий MIL-PRF-38534 и приобретенному со временем опыту, гибридные устройства, выпускаемые в настоящее время, уже в полной мере отвечают требованиям космических применений с наивысшим уровнем безотказности при сроках активного существования до 18 лет. Дополнительную привлекательность гибридным DC/DC-преобразователям, особенно если предполагается их использование в условиях многочисленных дестабилизирующих факторов, может придать полнота предоставляемой производителем документации. Гибридные модули IR снабжаются полным комплектом отчетов об анализе конструкции и отчетами о проверках на соответствие техническим условиям. Это в значительной степени сокращает затраты разработчиков космической техники не только на проектирование, но также на выпуск соб-

ственной технической документации и отбросные испытания и, в конечном счете, обеспечивает сокращение времени разработки конечной аппаратуры.

В целом же ожидается, что использование стандартных гибридных преобразователей будет продолжать расширяться, так как заложенные в них принципы, особенности конструкции и технологии позволяют и далее улучшать их характеристики.

Увеличение функциональности электронной аппаратуры современных космических аппаратов (КА) ведет к повышению электропотребления. Уменьшение удельной массы систем электроснабжения обеспечивается применением систем с постоянным повышенным напряжением. Для создания систем вторичного электропитания КА необходимо использование модулей преобразования напряжения, способных функционировать от источников повышенного напряжения (50, 70 и 100 В). Поэтому, наряду с преобразователями напряжения для работы от шин питания КА с номинальным напряжением 27 (28 В), в номенклатуре радиационно-стойких DC/DC-преобразователей IR представлены модули для систем электропитания КА с промежуточными напряжениями 50, 70 и 100 В. Новые модули для работы в системах электропитания КА с повышенными стабилизированными напряжениями постоянного тока созданы путем редизайна отличия зарекомендовавших себя во множестве космических программ DC/DC-преобразователей с низким входным напряжением (28 В) с применением новейших технологий и электронной компонентной базы последнего поколения. За счет этого обеспечена преемственность характеристик и уверенность в безотказной эксплуатации

данных модулей в новых космических аппаратах, ориентированных на прогрессивные шины электропитания. Необходимо отметить, что стабилизированное промежуточное напряжение постоянного тока 100 В планируется к применению в системе электроснабжения универсальной спутниковой платформы, которая будет использоваться для создания российских спутников нового поколения. В зарубежных космических аппаратах и космических станциях шины питания с повышенными напряжениями применяются давно. Например, в КА навигационной спутниковой системы GPS III применяется сеть постоянного напряжения 70 В. Спутники GPS III, созданные компанией Lockheed Martin Space Systems, обеспечивают повышенную точность и в восемь раз увеличенную защиту от помех за счет мощности сигнала.

Рассмотрим более подробно некоторые серии радиационно-стойких DC/DC-преобразователей из приведенных в таблице.

5-Вт DC/DC-преобразователи серий ARE28/100

Высоконадежные маломощные (мощность 5 Вт) радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи серий ARE28/100 предназначены для применения в аппаратуре спутников для геостационарных орбит, автоматических научно-исследовательских станций для исследований дальнего космоса и коммуникационных космических системах. Основными особенностями модулей серий ARE28/100 являются небольшие габариты, высокое значение КПД, малый вес и высокая стойкость к воздействию суммарной накопленной дозы радиации, высокоэнергетических протонов и тяжелых заряженных частиц и таким воздействующим факторам среды, как предельные температуры, механический удар и вибрационные воздействия.

DC/DC-преобразователи серии ARE100 способны работать в диапазоне входных напряжений 65–120 В (предназначены для работы в системах электропитания КА с промежуточным напряжением постоянного тока 100 В), а модули серии ARE28 предназначены для систем питания с номинальным напряжением 28 В и характеризуются диапазоном входных напряжений 18–50 В. Модули оснащены функцией защиты от пониженного входного напряжения, входом дистанционного включения/выключения, внешней обратной связи и регулировки выходного напряжения, защитой от короткого замыкания и перегрузки по току. В схеме защиты преобразователя от чрезмерной нагрузки по току не применяются элементы, переходящие в режим защелкивания, что устраняет возможность ложного срабатывания схемы защиты в случае воздействия протонов или ионов.

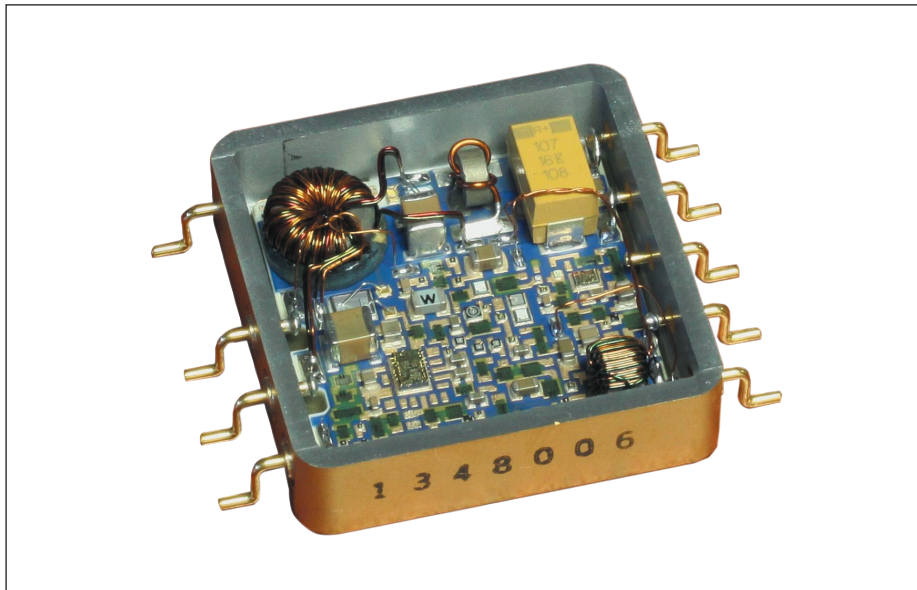


Рис. 1. Внешний вид конструкции DC/DC-преобразователя серии ARE100 (крышка удалена)

DC/DC-преобразователи серий ARE28/100 квалифицированы по стандарту MIL-PRF-38534 Class K (уровень качества Space).

Во встроенном на входе помехоподавляющем фильтре используются многослойные керамические конденсаторы, квалифицированные в соответствии с требованиями MIL-PRF-49470. Компоненты заключены в герметичный корпус с размерами 27,31×27,31×7,87 мм, вес корпуса гибридной сборки составляет не более 17 г. В конструкции корпуса применяются выводы с медной жилой, упрочненные керамическими уплотнителями, корпус герметизирован шовно-роликовой сваркой. Процесс пайки оплавлением выбран как наиболее оптимальный для реализации шовно-роликовой сварки, так как необходимо соединить разнородные материалы: крышка

модуля выполнена из кобальт-никелевого сплава (ковар), а кольцевой шпангоут — из железо-никелевого сплава. Герметизация осуществляется в атмосфере сухой азотно-гелиевой смеси (пропорция 90/10%) под давлением 1 атм. Это обстоятельство необходимо учитывать при размещении преобразователей в вакууме, так как при внутреннем давлении около 1 атм крышка преобразователя будет иметь склонность к изгибу. Поэтому необходимо предусмотреть дополнительное пространство, чтобы избежать механического воздействия, оказываемого крышкой на другие компоненты. Для преобразователей с большими размерами корпуса отклонение крышки от нормального состояния может достигать 1 мм. Внешний вид конструкции модуля серии ARE100 показан на рис. 1.

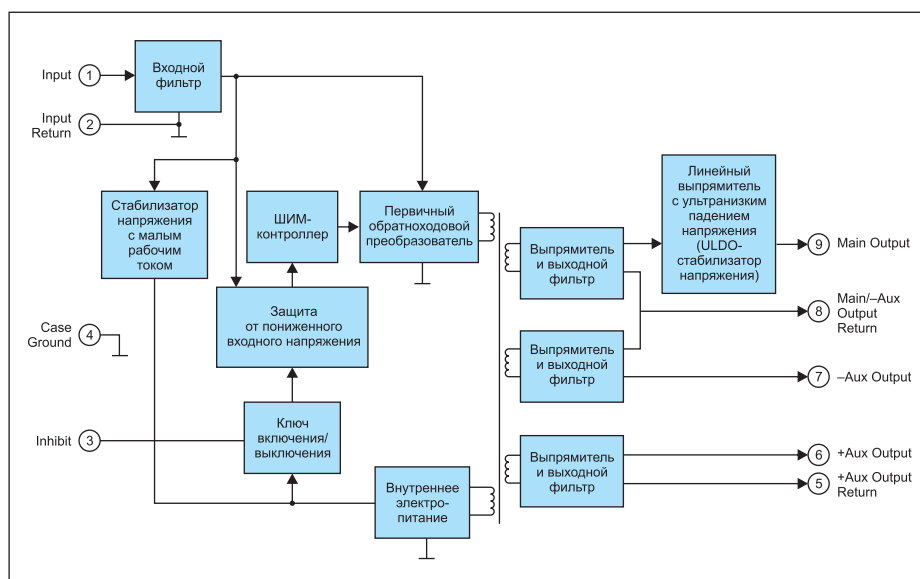


Рис. 2. Упрощенная структурная схема DC/DC-преобразователя серии 10406xx

Технические характеристики:

- КПД — до 80%;
- диапазон рабочих температур $-55...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рекомендуемые рабочие условия);
- значение MTBF, рассчитанное согласно MIL-HDBK-217F2 для условий применения в аппаратуре КА на орбитальном участке полета (SF) при температуре корпуса $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $1,5 \times 10^6$ ч.

6-Вт трехканальный радиационно-стойкий DC/DC-преобразователь для работы от сети повышенного напряжения 100 В

Модули DC/DC-преобразователей серии 10406xx предназначены для применения в аппаратуре спутников для геостационарных орбит, автоматических научно-исследовательских станций дальнего космоса и коммуникационных космических системах с шиной электропитания постоянного напряжения 100 В. DC/DC-преобразователи серии 10406xx способны работать от входной сети постоянного тока повышенного напряжения с диапазоном изменения от 50 до 120 В. На выходе формируются три канала питающих напряжений — основной $+15\text{ В}/150\text{ мА}$ и два дополнительных: $+15\text{ В}/100\text{ мА}$ и $-15\text{ В}/150\text{ мА}$. Обеспечивается великолепная стабильность выходных напряжений и максимальное значение КПД до 80%. Встроенный на входе помехоподавляющий фильтр обеспечивает соответствие требованиям большей части силовых шин космических аппаратов. Для минимизации массы и обеспечения повышенной жесткости конструкции корпус выполнен из сплава AlSi (алюминий с кремнием). Применение специальной керамики обеспечивает снижение массы до 45 г. Размер гибридной сборки снижен за счет интеграции основных узлов (ШИМ-контроллер, контроллер вторичного преобразования, узел обратной связи) на кристаллах радиационно-стойких интегральных схем собственного производства. Габаритные размеры корпуса модуля 10406xx (Ш×Г×В): $38,1 \times 58,42 \times 11,18$ мм. Выходная мощность обеспечивается в диапазоне температур $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по основанию корпуса).

Упрощенная структурная схема преобразователя 10406xx показана на рис. 2.

Для демпфирования синфазных помех на входе и выходе цепи Input Return и Main/Aux Output Return развязаны от шасси. Однако канал +Aux Output не развязан, что позволяет использовать этот выход для питания верхнего коммутирующего транзистора с высокой скоростью изменения напряжения dv/dt относительно Main/Aux Return. Обмотка выхода +Aux Output расположена между обмотками выходов Main Output и -Aux Output, чтобы исключить емкостную связь с первичной обмоткой, что ограничивает синфазные помехи на входе такого верхнего коммутирующего транзистора полумоста.

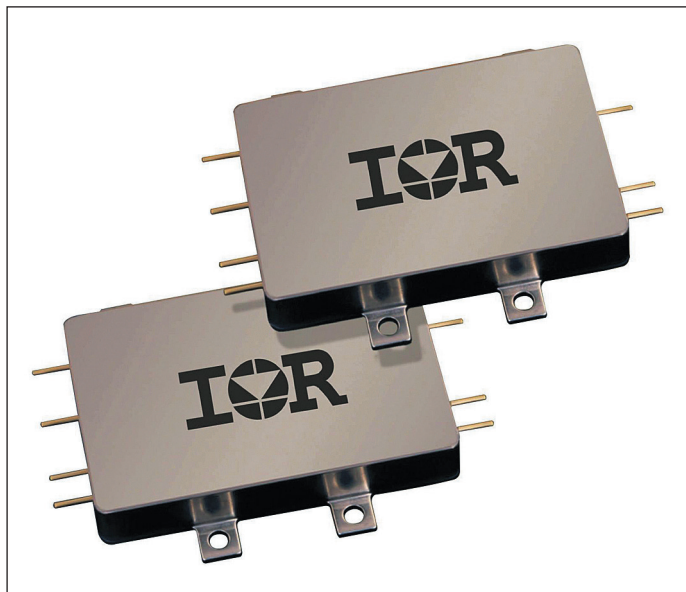


Рис. 3. Внешний вид конструкции DC/DC-преобразователей серии 10406xx

На рис. 3 приведен внешний вид конструкции DC/DC-преобразователей серии 10406xx.

DC/DC-преобразователи средней мощности серии LA100

15-Вт радиационно-стойкие модули серии LA100 выполнены по однотактной прямоходовой структуре с фиксированной частотой преобразования. Для подавления высокочастотных помех во входных шинах используется помехоподавляющий фильтр, который обеспечивает соответствие требованиям стандарта MIL-STD-461C (норма SE03) к уровню кондуктивных помех без применения внешних компонентов, так как исключить возникновение помех при конструировании модулей в полной мере не удастся. Многозвенный фильтр включает компоненты для подавления синфазной и дифференциальной составляющих, что обеспечивает стабильную работу преобразователя во всех условиях динамического изменения входного напряжения и нагрузки. Трансформаторная развязка в конуре обратной связи сводит к минимуму чувствительность к старению компонентов и радиации. Оптимальная эффективность обеспечивается во всем широком диапазоне тока нагрузки и входного напряжения. В диапазоне от 50% до полной нагрузки сохраняется значение свыше 80% во всем диапазоне входного напряжения. Передача напряжения на выход с ограничением коэффициента заполнения импульсов обеспечивает высокое подавление влияния изменений входного напряжения на выходное напряжение, то есть регулирование выходного напряжения осуществляется только сигналом управления ШИМ.

Внешний вид конструктивного оформления DC/DC-преобразователя серии LA100 приведен на рис. 4. Основание корпуса выполнено из легкого сплава алюминия с карбидом кремния. Конструкция корпуса модулей серии LA100 аналогична конструкции корпусов модулей перспективных серий D28, DI100, DH28 и DSH100.

Краткие технические характеристики серии LA100:

- диапазоны входного напряжения 65–110 и 18–50 В;
- предельная накопленная доза >100 крад (Si);
- гарантируется отсутствие одиночных эффектов при пороговых линейных потерях энергии (ЛПЭ) ионов >62 МэВ·см²/мг;
- встроенный входной помехоподавляющий фильтр обеспечивает соответствие требованиям стандарта MIL-STD-461C, норма SE03 к уровню кондуктивных помех;
- выходная мощность до 15 Вт;
- одно- и двухканальные модели с выходными напряжениями 3,3/5/12/15/±5/±12/±15 В (100-В версии планируется выпускать и с тремя выходными каналами);
- КПД до 83%;
- диапазон рабочих температур –55...+85 °С (рекомендуемая температура корпуса);
- диапазон температур хранения –55...+135 °С;
- гальваническая развязка между первичной и вторичной цепью 200 В (постоянный ток), сопротивление изоляции 100 МОм;
- блокировка при пониженном входном напряжении, защита от короткого замыкания и перегрузки, дистанционное включение/отключение, регулировка выходного напряжения, возможность подключения внешней обратной связи;
- габариты (Ш×Г×В) 50,8×38,1×10,16 мм.

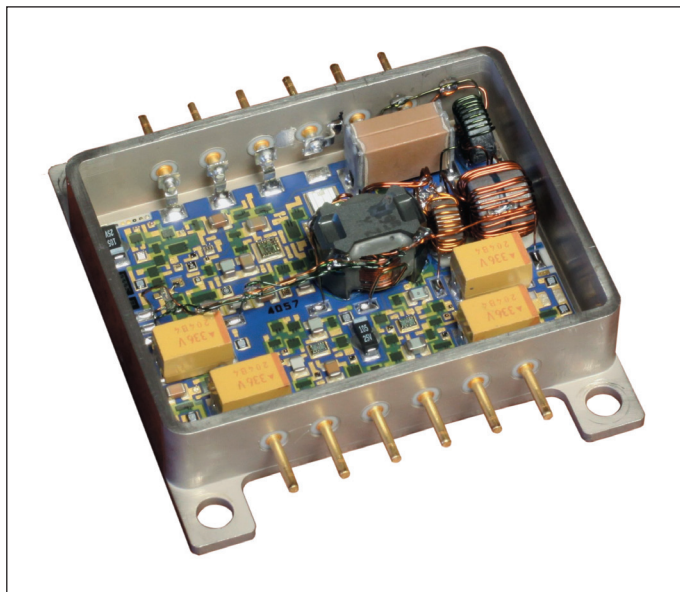


Рис. 4. Внешний вид конструкции преобразователя напряжения серии LA100 (крышка удалена)

DC/DC-преобразователи средней мощности серии M3N для систем электроснабжения постоянного повышенного напряжения 100 и 28 В

40-Вт радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи серий M3N100 и M3N28 предназначены для применения в системах питания космических аппаратов с шинами постоянного напряжения 100 и 28 В.

Небольшие габариты, малый вес и прочность конструкции делают преобразователи серий M3N оптимальными для применений в аппаратуре космических аппаратов для геостационарных орбит и исследований дальнего космоса.

Серии M3N100 и M3N28 разработаны с использованием проверенной методики проектирования, основанной на наследии серии M3G и громадном опыте проектирования оборудования для космических применений. При проектировании выбирались компоненты с подтвержденной надежностью и известными параметрами радиационной стойкости, а также учитывались требования к отклонению от номинальных параметров NASA EEE-INST-002 и MIL-STD-1547B.

Модули преобразователей напряжения серии M3N доступны в одно-, двух- и трехканальном исполнении и обеспечивают выходные напряжения 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15; +5/±12 и +5/±15 В. Выходная мощность до 40 Вт.

- Основные параметры модулей серии M3N:
- суммарная поглощенная доза 100 крад (Si);
 - отсутствие одиночных эффектов от воздействия протонов и тяжелых ионов при пороговых линейных потерях энергии (ЛПЭ) ионов в веществе до 64 МэВ·см²/мг;
 - встроенный на входе помехоподавляющий фильтр;

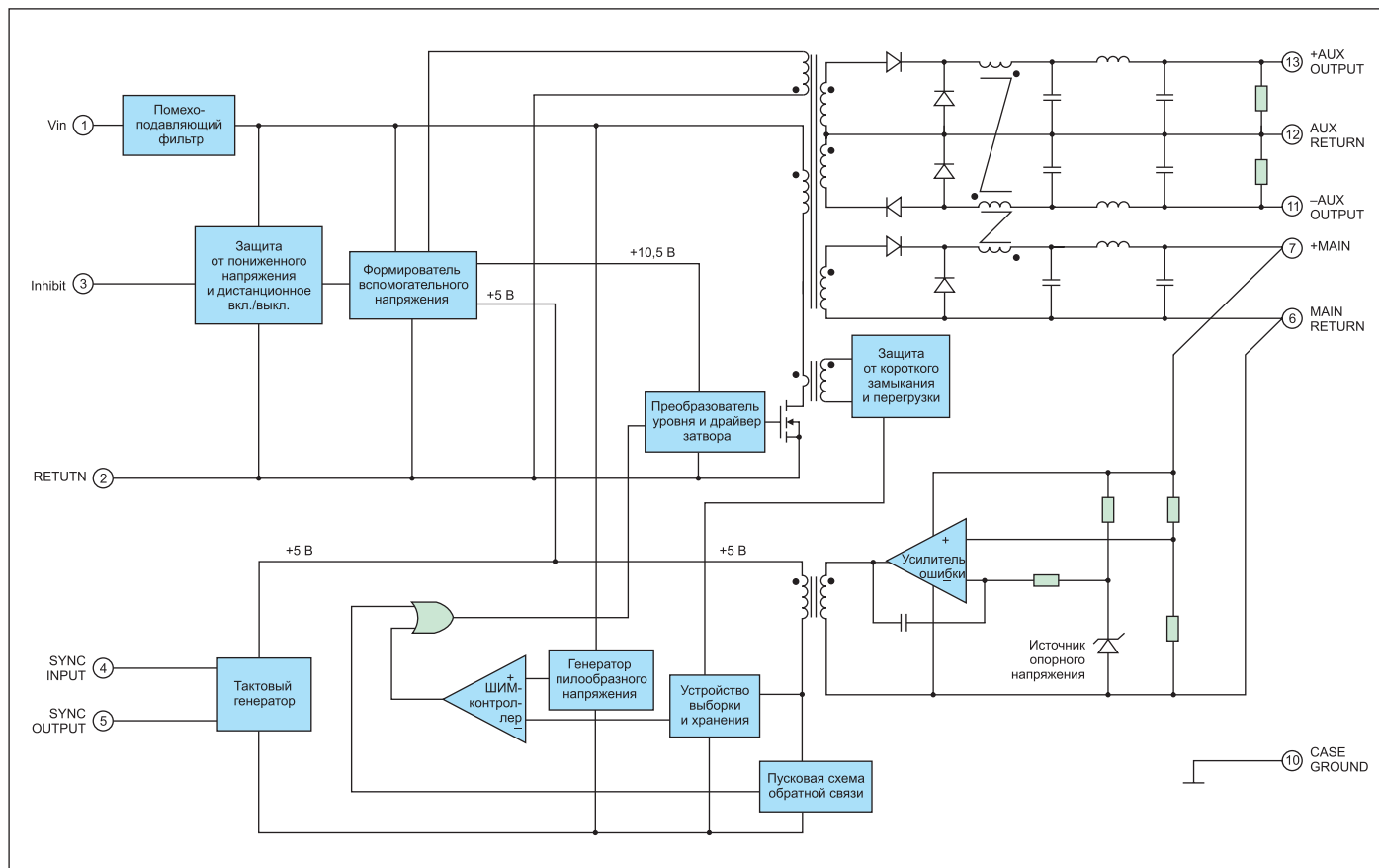


Рис. 5. Структурная схема DC/DC-преобразователя серии M3N100 с тремя выходными каналами

- вес менее 125 г;
- компактный корпус 88,9×63,5×12,07 мм (с учетом контактов и монтажных проушин).

DC/DC-преобразователи серии M3N100 способны функционировать в диапазоне входных напряжений 65–110 В (предназначены для работы в системах электропитания КА со стабилизированным промежуточным напряжением постоянного тока 100 В), а модули серии M3N28 предназначены для систем питания с номинальным напряжением 28 В и характеризуются диапазоном входных напряжений 18–60 В. Модули оснащены функцией защиты от пониженного напряжения, входом и выходом сигналов синхронизации, входом дистанционного включения/выключения и регулировки выходного напряжения, которая обеспечивается подключением внешнего потенциометра. DC/DC-преобразователи серий M3N28/100 квалифицированы по MIL-PRF-38534 Class K (уровень качества Space) и Class H.

Структурная схема трехканального преобразователя серии M3N показана на рис. 5.

Преобразователи серии M3N используют однотактную прямоходовую структуру с резонансным размагничиванием магнитопровода трансформатора.

Номинальная частота коммутации силового ключа 500 кГц. Электрическая развязка первичной и вторичной цепи и устойчивая

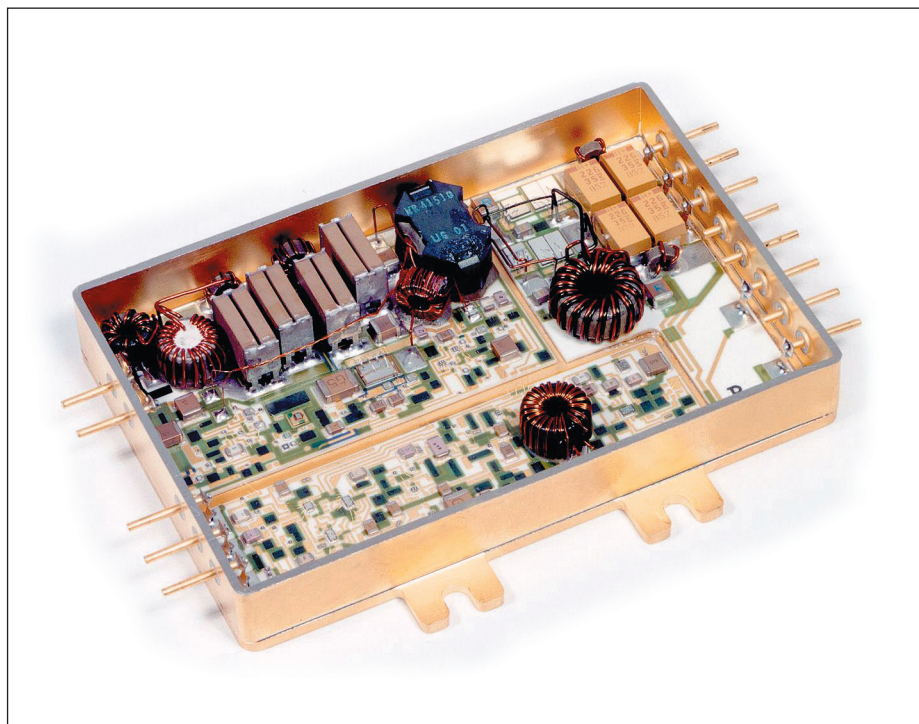


Рис. 6. Внешний вид конструкции одноканального DC/DC-преобразователя серии M3N

стабилизация выходного напряжения осуществляется применением трансформатора в контуре обратной связи. Внутренний помехоподавляющий фильтр на входе

уменьшает кондуктивные помехи до <math>< 5 \text{ мА}</math> (среднеквадратическое значение) на входных шинах питания. Двухзвенный фильтр на выходе преобразователя уменьшает пульсации

выходного напряжения до <20 мВ (от пика до пика).

Напряжение основного канала стабилизируется контуром регулирования и обеспечивает суммарную нестабильность менее 1%. Дополнительные каналы поддерживаются через сильную магнитную связь в силовом трансформаторе и индуктивность фильтра основного канала и обеспечивают нестабильность лучше чем 5%. Основной и дополнительные каналы изолированы друг от друга. Необходимо отметить, что наличие входа для сигнала синхронизации от внешнего генератора и выхода сигнала синхронизации обеспечивают работу нескольких преобразователей на общей частоте. Преобразователи могут быть синхронизированы от одного модуля или от внешнего генератора синхрои́мпульсов. Эта функция может быть использована для устранения частоты биений или устранения шума на определенных частотах для восприимчивых систем.

Выполненные исследования и оформленная документация включают отчеты по устойчивости к радиационным воздействиям, показателям надежности, анализу наихудшего сочетания внешних факторов, электрических и температурных воздействий.

Внешний вид конструкции одноканального преобразователя напряжения серии М3N показан на рис. 6.

Заключение

Изменения в политике регулирования экспорта радиационно-стойкой электронной компонентной базы из США упростили процедуру приобретения DC/DC-преобразователей с радиационной стойкостью 30, 50 и 100 крад, что позволяет обеспечить высокий уровень надежности российских космических программ.

Проблема ЭКБ в ракетно-космической технике носит фундаментальный характер и определяет основы национальной безопасности любой космической державы. Решить проблему обеспечения электронной компонентной базой производителей космической аппаратуры возможно только путем комплексного подхода, состоящего в пропорциональном использовании отечественных и импортных комплектующих, создания специализированных производств. Для обеспечения предприятий российской космической отрасли применяется ЭКБ отечественного и иностранного производства, соотношение между ними составляет 25 и 75% соответственно. В соответствии с действующей программой импортозамещения к 2020 г. космическая аппаратура будет полностью комплектоваться отечественной ЭКБ (95%). То есть обеспечение полной технологической безопасности в части ЭКБ — весьма долгосрочная перспектива. ■