

Воздействие радиационных факторов на полупроводниковые компоненты силовой электроники

Часть 2

Виктор Безродный (Москва)

При эксплуатации в космических и военных системах силовые полупроводниковые устройства подвергаются воздействию разнообразных источников радиации. В первой части статьи рассматривались общие вопросы воздействия радиоактивного излучения на полупроводниковые приборы.

Во второй части обзора радиационно-стойких компонентов от International Rectifier HiRel Products представлены твердотельные реле, высоковольтные ИС драйверов управления затворами MOSFET- и IGBT-транзисторов и DC/DC-преобразователи, разрешённые для свободного экспорта в Россию.

Радиационно-стойкие твердотельные реле

Применение электромеханических реле, обычно используемых для коммутации тока, ограничено износом движущихся частей и контактов. Износ контактов реле значительно ускоряется при работе на индуктивную нагрузку или лампы накаливания. Твердотельные реле специально созданы для замены электромеханических реле в цепях коммутации электрической энергии и исключения, таким образом, проблем, связанных с использованием электромеханических реле. Например, в твердотельных реле невозможны образование электрической дуги между контактами и усталость контактов при работе на индуктивную нагрузку, твердотельные реле нечувствительны к механическим ударам и вибрациям и не требуют применения схем защиты от дребезга контактов. Таким образом, использование твердотельных реле

вместо механических способствует повышению надёжности аппаратуры.

Компания IR предлагает серию радиационно-стойких реле, выполненных на основе транзисторов MOSFET с числом каналов от 1 до 8, способных коммутировать токи до 20 А с рабочим напряжением до 100 В. Вся линейка радиационно-стойких реле представлена в таблице 4. Более подробно устройство и особенности применения радиационно-стойких реле рассматриваются в статье [1].

Радиационно-стойкие высоковольтные ИС драйверов для управления затворами MOSFET/IGBT-транзисторов

Драйверы для управления затворами MOSFET- и IGBT-транзисторов – основная группа высоковольтных интегральных схем в номенклатуре подразделения International Rectifier HiRel. Драйвер входит в состав любого мощного преобразователя и осуществляет

преобразование слаботокового логического сигнала контроллера в сигнал управления изолированным затвором MOSFET и IGBT для обеспечения перезаряда ёмкостей затвора в переходных режимах. Помимо управления переключением силовых транзисторов другой функцией драйвера является защита от аварийных режимов.

Радиационно-стойкие интегральные микросхемы драйверов затворов представлены высоковольтными драйверами ключей верхнего и нижнего уровней серии RIC7113 с выходными токами до ± 2 А (при отпирании и запираии управляемого ключа). Драйверы серии RIC7113, выпуск которых был начат в марте 2000 года, являются полными функциональными аналогами драйверов серии IR2110 для промышленных применений и совместимы с ними по расположению выводов. Драйверы RIC7113 выпускаются в 14-выводном керамическом корпусе MO-036AB (модель RIC7113L4), 18-выводном корпусе LCC-18 (RIC7113E4) для поверхностного монтажа и 14-выводном корпусе FlatPack (RIC7113A4).

На рисунке 2 показан внешний вид драйвера RIC7113, выполненного в корпусе 14 Lead FlatPack. Модельный ряд драйверов серии RIC7113 представлен в таблице 5. В статье [2] подробно рассмотрена технология изготовления высоковольтных микросхем, которые сочетают на одном кристалле низковольтную часть с рабочими напряжени-

Таблица 4. Радиационно-стойкие полупроводниковые реле (TID > 100 крад; стойкость к ТЗЧ, Class K)

Модель	Напряжение, В	Ток, А	Число полюсов	Входной буфер	Скорость	Число контактов/тип корпуса	Размеры корпуса (Д×Ш×В), мм
RDHA720SF06A1NK	60	20	1	Нет	Высокая	8 /для поверхностного монтажа	34,93×20,32×6,86
RDHA701CD10A2NK	100	1	2	Нет	Высокая	8 /керамический	9,42×11,94×7,11
RDHA701FP10A8CK	100	1	8	Нет	Средняя	64 /плоский	43,92×27,05×5,33
RDHA701FP10A8QK	100	1	8	5 В	Управляемая	64 /плоский	43,92×27,05×5,33
RDHA710FR10A1NX	100	10	1	Нет	Высокая	22 /плоский	16,38×18,92×4,95
RDHA710SE10A2FK	100	10	2	3,3 В	Высокая	8 /для поверхностного монтажа	34,93×20,32×6,86
RDHA710SE10A2QK	100	10	2	5 В	Высокая	8 /для поверхностного монтажа	34,93×20,32×6,86
RDHA710SE10A2SK	100	10	2	3,3 В	Управляемая	8 /для поверхностного монтажа	34,93×20,32×6,86
RDHA710SE20A2SX	200	10	1	3,3 В	Управляемая	8 /для поверхностного монтажа	34,93×20,32×6,86

Таблица 5. Радиационно-стойкие микросхемы драйверов для управления затворами силовых ключей, построенных на транзисторах с изолированными затворами (TID > 100 крад; SEE с LTE = 60 МэВ•см²/мг)

Модель	Описание	Тип корпуса
RIC7S113A4	400 В, 2 А, драйвер затвора верхнего и нижнего транзистора полумоста	14-контактный плоский корпус
RIC7S113E4	400 В, 2 А, драйвер затвора верхнего и нижнего транзистора полумоста	LCC-18
RIC7S113L4	400 В, 2 А, драйвер затвора верхнего и нижнего транзистора полумоста	MO-036
RIC7S4424	20 В, 3 А, драйвер с двумя выходами для управления затвором нижнего транзистора полумоста, неинвертирующий	8-контактный плоский корпус

ями в пределах десятков вольт и высоковольтные цепи с напряжениями до 600 В, и описаны результаты испытаний микросхем серии RIC7113 на воздействие радиации.

Радиационно-стойкая быстродействующая микросхема драйвера RIC74424Н для транзисторов MOSFET является промежуточным токовым драйвером и разработана специально для управления всеми транзисторами MOSFET компании International Rectifier, где крайне важным является сверхбыстрая скорость переключения и быстрая передача времени отклика для повышения эффективности схемы. Драйвер совместим с большей частью логических устройств и может управляться непосредственно стандартными широтно-импульсными модуляторами серий 1825, 1844 и 1856. Микросхема драйвера RIC74424Н доступна в корпусе с 8 выводами для поверхностного монтажа Flatpack.

Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи напряжения

Подразделение International Rectifier HiRel является одним из наиболее заметных и интересных производителей радиационно-стойких гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей с диапазоном выходной мощности до 120 Вт для применения в составе бортовых комплексов космических аппаратов (КА). Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи IR применяются в космических программах многих стран, в том числе и российских.

Существенно усилить присутствие на рынке компонентов вторичных источников электропитания специальной техники IR позволило приобретение в 2001 году компании Lambda Advanced Analog Inc., которая была известна на мировом рынке как ведущий производитель гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей,

применяемых прежде всего в аэрокосмической отрасли США и западноевропейских стран. Приобретение компании Lambda Advanced Analog Inc. позволило IR выйти на новый сектор рынка и дало возможность не только ускоренно внедрить при производстве гибридно-плёночных источников электропитания свою новейшую высокоэффективную элементную базу, но и ввести чёткую специализацию производства подразделений компании, выпускающих высоконадёжную продукцию для рынка спецтехники.

В настоящее время предлагаются радиационно-стойкие гибридно-плёночные DC/DC-преобразователи, которые могут быть разделены по степени устойчивости к радиационным воздействиям на две основные категории: радиационно-устойчивые и радиационно-стойкие.

Радиационно-устойчивые – изделия с повышенным уровнем радиационной стойкости, разработанные для космических программ, со сроком активного существования до 3–4 лет, которые предполагают относительно низкое значение поглощённой дозы – в диапазоне от 5 до 25 крад. Одиночные эффекты также характеризуются низкими пороговыми значениями линейных потерь энергии (ЛПЭ) – в диапазоне от 37 до 40 МэВ•см²/мг. В конструкциях этих модулей могут применяться как компоненты со специфицированными показателями радиационной стойкости, так и обычные компоненты. Такие модули можно применять в аппаратуре низкоорбитальных КА, космических зондов для исследований дальнего космоса, в научных экспериментах и других подобных областях. Для применений с более длительными сроками активного существования (до 18 лет) на геосинхронных орбитах наиболее подходящими устройствами являются радиационно-стойкие изделия с предельным уровнем радиационной стой-



Рис. 2. Внешний вид микросхемы драйвера RIC7113A4

кости – гибридно-плёночные модули со значениями поглощённой дозы в диапазоне от 50 до 100 крад или выше и уровнем чувствительности к одиночным ядерным частицам с ЛПЭ более 90 МэВ•см²/мг.

При разработке радиационно-стойких DC/DC-преобразователей для обеспечения высокой радиационной стойкости используются особые подходы и методы проектирования, применяются кристаллы собственных радиационно-стойких транзисторов MOSFET и радиационно-стойкие интегральные микросхемы ШИМ-контроллеров. За несколько лет напряжённой работы специалисты компании IR успешно справились со сложными проблемами в конструировании и разработке первого гибридно-плёночного DC/DC-преобразователя с гальванической развязкой, имеющего синхронное выпрямление для максимизации КПД. Замена выходных выпрямителей на диодах Шоттки на выпрямители на собственных кристаллах MOSFET в 50-ваттных моделях с выходными напряжениями 5 В и ниже позволило получить значение КПД до 87% [3].

Новейшие разработки компании обладают набором таких сервисных функций и возможностей, как дистанционное включение/выключение, выходы для подключения внешней обратной связи, внешняя синхронизация, защита от пониженного напряжения, защита по току, защита от перенапряжения на выходе, регулировка выходного напряжения, встроенный помехоподавляющий фильтр на входе, параллельная работа блоков. Всё это позволяет интегрировать модули в состав комплектов радиоэлектронной аппаратуры и электронных приборов.

Для достижения гарантированно высокого уровня качества продукции изделия подвергаются испытаниям в соответствии с требованиями технических условий MIL-PRF-38534.

Таблица 6. 4–5-ваттные одно- и двухканальные преобразователи напряжения серии ARE: стойкость к суммарной накопленной дозе > 100 крад; стойкость к воздействию ТЗЧ с ЛПЗ 60 МэВ•см²/мг

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	КПД (тип.), %
ARE2803R3S	18...50	3,3	1,21	71
ARE2805S	18...50	5	1	75
ARE2812S	18...50	12	0,42	79
ARE2815S	18...50	15	0,33	80
ARE2805D	18...50	±5	0,8	75
ARE2812D	18...50	±12	0,33	79
ARE2815D	18...50	±15	0,27	79
ARE10003R3S	65...100	3,3	1,21	71
ARE10005S	65...100	5	1	75
ARE10012S	65...100	12	0,42	79
ARE10015S	65...100	15	0,33	80
ARE10005D	65...100	±5	0,8	75
ARE10012D	65...100	±12	0,33	79
ARE10015D	65...100	±15	0,27	79

Таблица 7. 5–10-ваттные двухканальные преобразователи напряжения серии D: стойкость к суммарной накопленной дозе > 50 крад; стойкость к воздействию ТЗЧ с ЛПЗ 40 МэВ•см²/мг

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	КПД (тип.), %
D2805D	18...50	±5	±1	58
D2812D	18...50	±12	±0,42	64
D2815D	18...50	±15	±0,33	65
D5001R803R3P	26...55	+1,8/+3,3	±1,5	47

Таблица 8. 20-ваттные одно-, двух- и трёхканальные преобразователи напряжения серии LA: стойкость к суммарной накопленной дозе > 100 крад; стойкость к воздействию ТЗЧ с ЛПЗ 60 МэВ•см²/мг

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	КПД (тип.), %
LAXx01S	18...50/40...110	1	6	75
LAXx01R5S	18...50/40...110	1,5	6	80
LAXx01R8S	18...50/40...110	1,8	6	81
LAXx02R5S	18...50/40...110	2,5	6	82
LAXx03R3S	18...50/40...110	3,3	6	83
LAXx05S	18...50/40...110	5	4	83
LAXx12S	18...50/40...110	12	1,67	84
LAXx15S	18...50/40...110	15	1,33	85
LAXx05D	18...50/40...110	±5	±2	81
LAXx12D	18...50/40...110	±12	±0,83	82
LAXx15D	18...50/40...110	±15	±0,67	84
LAXx01R802R5P	18...50/40...110	1,8/2,5	3/3	80
LAXx03R312T	18...50/40...110	3,3/±12	3/±0,42	83
LAXx03R315T	18...50/40...110	3,3/±15	3/±0,33	83
LAXx0512T	18...50/40...110	5/±12	2/±0,42	82
LAXx0515T	18...50/40...110	5/±15	2/±0,33	83

Для квалификации проектируемых изделий как радиационно-стойких преобразователи производятся и контролируются в соответствии с программой подтверждения радиационной стойкости (Radiation Hardness Assurance, RHA). Более подробно типовые этапы производства и процедуры отбора гибридных модулей представлены в работе [4].

Компания IR одной из первых в отрасли начала выпуск радиационно-стойких DC/DC-преобразователей для работы в системах электропитания космических аппаратов с постоянным повышенным напряжением (100 и 120 В). Новые серии преоб-

разователей напряжения были созданы путём редизайна отлично зарекомендовавших себя во множестве космических программ DC/DC-преобразователей серий LS, M3G, GH с привлечением новейших технологий и электронной компонентной базы последнего поколения. За счёт этого была обеспечена преемственность характеристик, накопленного опыта применения предыдущих поколений приборов и уверенность в безотказной эксплуатации данных серий в новых космических аппаратах, ориентированных на прогрессивную 100-вольтовую шину

электропитания. Опыт оптимизации транзисторов для конкретных приложений позволил преодолеть противоречивые требования, которые предъявляются к полевому транзистору, расположенному на первичной стороне преобразователя, с точки зрения стойкости к одиночным эффектам. Преобразователи напряжения для применения в системах электропитания КА с постоянным повышенным напряжением (100 В) подробно представлены в [5].

Как отмечалось ранее, в результате реформы экспортного контроля в рамках программы Export Control Reform Initiative зарубежным компаниям из авиакосмической отрасли стало возможно заказывать радиационно-стойкие преобразователи напряжения с уровнем дозовой стойкости 30, 50, 100 крад и уровнем чувствительности к одиночным ядерным частицам (ОЯЧ) с ЛПЭ 60 МэВ•см²/мг и меньше. Компания IR перепроектировала ряд популярных серий в рамках своей программы S60 с тем, чтобы перевести продукцию в категорию EAR99 и экспортировать её без оформления разрешения на вывоз.

Таким образом, в настоящее время российским потребителям доступны без экспортных ограничений, накладываемых Правилами международной торговли оружием (International Traffic in Arms Regulations, ITAR), 5-, 10-, 20-, 40- и 120-ваттные преобразователи напряжения с одним, двумя и тремя выходными каналами. Также доступны фильтры электромагнитных помех серии AF, предназначенные для совместного применения с преобразователями напряжения серии ARE, когда требуется обеспечить соответствие требованиям стандарта MIL-STD-461C/E/D/F к уровню кондуктивных помех. Эти преобразователи напряжения с оптимальными показателями стойкости к воздействию тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) с линейными потерями энергии от 40 до 60 МэВ•см²/мг и способны сохранять работоспособность при суммарной накопленной дозе радиации от 50 до 100 крад.

В таблицах 6–10 приведены основные технические характеристики радиационно-стойких преобразователей IR, доступных для экспорта в Россию и другие зарубежные страны без оформления лицензий в государственных ведомствах США. Подробно эти пре-

Таблица 9. 30–40-ваттные одно-, двух- и трёхканальные преобразователи напряжения серии M3N: стойкость к суммарной накопленной дозе > 100 крад; стойкость к воздействию ТЗЧ с ЛПЗ 60 МэВ·см²/мг

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	КПД (тип.), %
M3N2803R3S	18...50	3,3	9,1	72
M3N2805S	18...50	5	8	77
M3N2812S	18...50	12	3,34	78
M3N2815S	18...50	15	2,67	80
M3N2805D	18...50	±5	6,4	78
M3N2812D	18...50	±12	2,67	79
M3N2815D	18...50	±15	2,14	80
M3N280512T	18...50	5/±12	4/±0,83	79
M3N280515T	18...50	5/±15	4/±0,67	79
M3N10003R3S	65...110	3,3	9,1	75
M3N10005S	65...110	5	8	81
M3N10012S	65...110	12	3,34	82
M3N10015S	65...110	15	2,67	82
M3N10005D	65...110	±5	6,4	81
M3N10012D	65...110	±12	2,67	82
M3N10015D	65...110	±15	2,14	83
M3N1000512T	65...110	5/±12	4/±0,833	79
M3N1000515T	65...110	5/±15	4/±0,667	79

Таблица 10. 66–120-ваттные одно- и двухканальные преобразователи напряжения серии GHN: стойкость к суммарной накопленной дозе > 100 крад; стойкость к воздействию ТЗЧ с ЛПЗ 60 МэВ·см²/мг

Заказной номер	Диапазон входного напряжения, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	КПД (тип.), %
GHN2803R3S	18...40	3,3	20	73
GHN2805S	18...40	5	20	82
GHN2806S	18...40	6	16	83
GHN2812S	18...40	12	10	85
GHN2815S	18...40	15	8	86
GHN2805D	18...40	±5	16	82
GHN2812D	18...40	±12	6,67	84
GHN2815D	18...40	±15	5,33	86
GHN10005S	65...110	5	20	82
GHN10006S	65...110	6	16	83
GHN10012S	65...110	12	10	85
GHN10015S	65...110	15	8	86
GHN10012D	65...110	±12	6,67	84
GHN10015D	65...110	±15	5,3	85

образователи напряжения представлены в [6]. На рисунке 3 показан внешний вид (со снятой крышкой) некоторых радиационно-стойких гибридно-плёночных преобразователей напряжения.

Заключение

Применение радиационно-стойких компонентов для управления электропитанием в аппаратуре ракетно-космической техники позволяет повысить надёжность и срок её активного существования в условиях воздействия специфических дестабилизирующих факторов космического пространства. Для обеспечения успешности космического проекта необходимо сотрудничать с производителями компонентов, которые хорошо зарекомендовали себя за многие годы работы на рынке.

Литература

1. Алан Таскер. Рекомендации по применению радиационно-стойких твердотельных реле компании International Rectifier. Вестник электроники. Специальный выпуск. 2005. № 2.
2. Жданкин В. К. Радиационно-стойкие высоковольтные интегральные микросхемы драйверов для управления затворами MOSFET/IGBT-транзисторов. Компоненты и технологии. 2012. № 4.
3. Жданкин В. К. Высокоэффективные радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи с низковольтными выходами – оптимальное решение для современных цифровых нагрузок. Компоненты и технологии. 2011. № 10. С. 130–136.
4. Жданкин В. К. Радиационно-стойкие гибридно-плёночные DC/DC-преобразователи – стандартные компоненты систем электро-

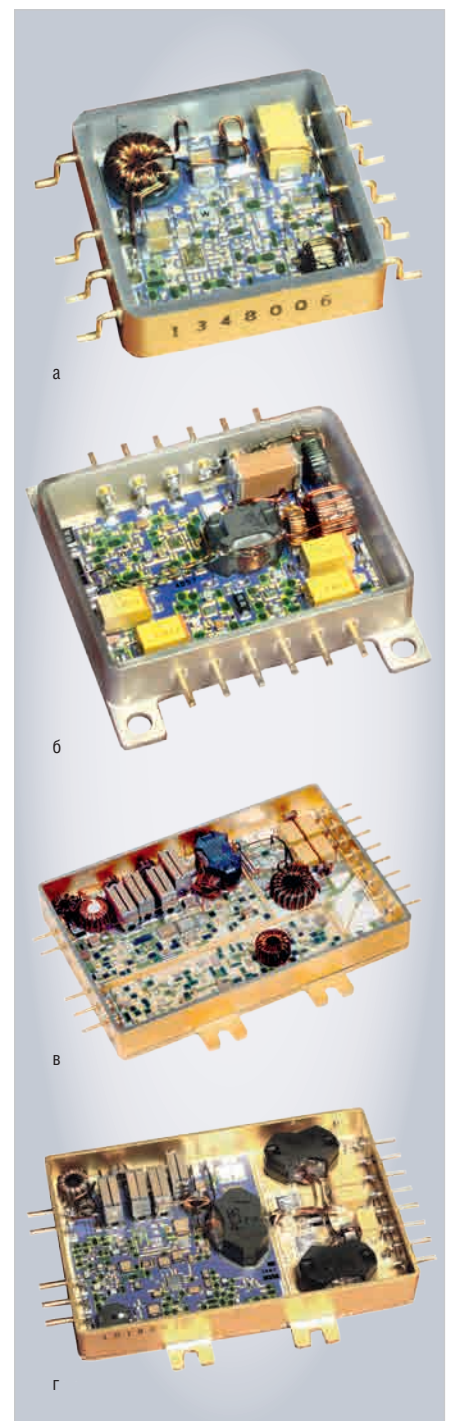


Рис. 3. Радиационно-стойкие модули DC/DC-преобразователей напряжения серий ARE (а), LA (б), M3N (в) и GHN (г)

- питания космических аппаратов. Компоненты и технологии. 2012. № 6. С. 42–52.
5. Жданкин В. К. Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи для систем электроснабжения космических аппаратов нового поколения с постоянным повышенным напряжением 100 В. Научно-практический журнал «Электропитание». 2014. № 1. С. 21–30.
 6. Жданкин В. К. Радиационно-стойкие безлицензионные DC/DC-преобразователи International Rectifier. Компоненты и технологии. 2015. № 4. С. 97–102.

