

# Результаты испытаний радиационно-стойких DC/DC-преобразователей фирмы Interpoint воздействием ионизирующих излучений низкой и высокой интенсивности

Виктор Жданкин (Москва)

**В статье рассматриваются методика и результаты испытаний DC/DC-преобразователей фирмы Interpoint воздействием ионизирующих излучений низкой и высокой интенсивности. Испытания проводились до значения накопленной дозы 20 крад (Si) при низких интенсивностях облучения и до 200 крад (Si) при высокой интенсивности ионизирующего облучения. Испытывались 15-ваттные DC/DC-преобразователи серии SMHF. Обсуждаются некоторые детали конструкции преобразователей, восприимчивость к ионизирующему облучению и характер изменения параметров в процессе облучения.**

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик качества модулей DC/DC-преобразователей, предназначенных для применения в составе аппаратуры космических аппаратов (КА), является радиационная стойкость, которая во многом определяет вероятность безотказной работы соответствующих бортовых систем и, как следствие, длительность срока активного существования КА. Создание высокоэффективных надёжных структур радиационно-стойких изделий энергетической электроники является сложной задачей, требующей разработки методов и средств расчёта, моделирования и оптимизации схемотехнических решений, создания контрольно-измерительного и испытательного оборудования для эффективной отбраковки потенциально дефектных изделий электронной техники, а также разработки специальной аппаратуры для изучения последствий воздействия различных ионизирующих излучений.

В настоящее время эти задачи успешно решены фирмой Interpoint ([www.interpoint.com](http://www.interpoint.com)). Она является подразделением корпорации CRANE Aerospace&Electronics (США). Фирма предлагает радиационно-стой-

кие DC/DC-преобразователи и помехоподавляющие фильтры для применения в бортовой аппаратуре КА, испытывающих комплексное воздействие ионизирующего излучения космического пространства, а также в информационно-измерительных системах контроля радиационной обстановки, в рентгеновских и ядерно-магнитно-резонансных томографах, в промышленных роботах и т.п. Подробно номенклатура радиационно-стойких изделий фирмы Interpoint представлена в статьях [1, 2].

Популярные интегрально-гибридные DC/DC-преобразователи серии MHF+ фирмы Interpoint [3] были первыми изделиями, отвечающими всем требованиям стандарта MIL-STD-883 к изделиям класса Н (стандартный уровень качества изделий для военных применений). Эти изделия в 1992 г. входили также в перечень изделий, создаваемых и поставляемых в соответствии с техническими требованиями к военным изделиям (Standard Military Drawing – SMD) под контролем Центра по снабжению Министерства обороны США в Колумбусе (DSCC, [www.dsccl.dla.mil](http://www.dsccl.dla.mil)). Фирма Interpoint в 1997 г. стала сертифицированным предприятием – изготовителем электронных изделий

гибридной технологии класса К (изделия для бортовой аппаратуры КА).

Модули серии SMHF DC/DC-преобразователей являются устойчивыми к воздействию специальных факторов с особыми гарантиями на показатели качества после воздействия ионизирующих излучений. Технические параметры гарантируются при промежуточных значениях поглощённой дозы излучения в кремнии полупроводниковых компонентов и максимальном уровне поглощённой дозы 100 крад (здесь и далее 1 рад = 1 рад Si, т.е. поглощённая доза излучения, равная 100 эрг на 1 г облучённого кремния). Испытание компонентов DC/DC-преобразователей, восприимчивых к воздействию ионизирующих излучений, обеспечивает устойчивость преобразователей к комплексному воздействию ионизирующего излучения космического пространства. Пределы изменения параметров этих компонентов устанавливаются по результатам исследований преобразователей в целом. Периодический контроль изменения параметров всего изделия гарантирует точность результатов исследований. Модули серии SMHF были первыми DC/DC-преобразователями, полностью соответствующими требованиям стандарта MIL-PRF-38534C к интегрально-гибридным изделиям класса К. Это был результат сотрудничества фирмы Interpoint с Центром DSCC по разработке радиационно-стойких изделий.

DC/DC-преобразователи имеют в своём обозначении знаки O или R, обозначающие уровень суммарной поглощённой дозы излучения, при которой гарантируется нормальная работа устройства. Знак O обозначает уровень, при котором радиационная стой-

кость изделия не гарантируется, в составе такого изделия могут быть компоненты из непроверенных партий. Знак R сообщает, что изделия изготовлены из компонентов, подвергнутых радиационно-термической обработке и контролю на радиационную стойкость, и обозначает уровень, при котором гарантируются пострадиационные допуски на параметры изделия при значении общей накопленной дозы 100 крад.

Принципиальные электрические схемы DC/DC-преобразователи серий MHF+ и SMHF во многом схожи, однако имеются существенные различия. В конструкции преобразователей серии SMHF используется набор компонентов от поставщиков изделий класса К для космических применений, контролируемых специальными нормативными документами (Source Control Drawings – SCD). Число фирм – поставщиков изделий по нормам SMD, предназначенных для космических применений, весьма ограничено. Фирмы-поставщики используют тщательный отбор компонентов и устанавливают нормы на параметры для применения компонентов и включения их в Квалификационный перечень изготовителей (Qualified Manufacturers List – QML).

Типичными дополнительными процедурами отбраковочных исследований является растровая лазерная акустическая микроскопия (Scanning Laser Acoustic Microscopy – SLAM™) и контроль керамических конденсаторов большой ёмкости по MIL-C-123, испытание на лавинный пробой и проверка характеристик силовых диодов Шоттки, термоциклирование и отбор танталовых конденсаторов по пусковому току, растровая электронная микроскопия (Scanning Electron Microscopy) всех компонентов и т.п. Кроме того, перед использованием проводятся дополнительные испытания компонентов, критичных к радиационным нагрузкам.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТА ИСПЫТАНИЙ

DC/DC-преобразователи серии SMHF имеют выходные мощности от 12 до 15 Вт. Конструктивно изделия представляют собой герметизированный металлический сварной корпус с габаритами 28,7 × 37,08 × 8,38 мм и весом 30 г. Внешний вид модуля с крепёжным фланцем показан на рис. 1. Диапазон рабочих температур –55...125°C, диапазон входных напряжений

16...40 В постоянного тока с допустимыми импульсными напряжениями 50 В × 120 мс. Изделия выпускаются с одним и двумя каналами выходных напряжений в диапазоне 3,3...15 В.

В основе преобразователя – однофазная прямоходовая структура с рабочей частотой преобразования 550 кГц. Стабилизация выходного напряжения осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с постоянной рабочей частотой. Схемы управления и ШИМ-контроллера выполнены на дискретных компонентах. Все компоненты являются изделиями среднего уровня интеграции, они изготовлены по проверенным технологиям с многократными испытаниями. На рис. 2 приведена принципиальная схема одноканального DC/DC-преобразователя серии SMHF.

Переключение мощности осуществляется радиационно-стойким транзистором MOSFET. Передача энергии в нагрузку осуществляется через небольшой трансформатор, имеющий ферритовый магнитопровод. Трансформатор обеспечивает гальваническую развязку тракта передачи энергии в прямом направлении. Квазирезонансное схемное решение позволяет увеличить коэффициент заполнения импульсов ШИМ-контроллера более чем на 50%, одновременно ограничивая напряжение на стоке транзистора MOSFET менее чем на 50% от допустимого значения при входном напряжении 28 В. Это низкое значение напряжения сток–исток значительно уменьшает опасность одиночного сбоя транзистора MOSFET



Рис. 1. Внешний вид микросхемы DC/DC-преобразователя серии SMHF (представлен вариант исполнения с крепёжным фланцем)

при воздействии частиц высоких энергий. Следующие изделия являются основными компонентами схемы управления ШИМ и цепи обратной связи:

- LM119 – компаратор (National Semiconductor),
- LM136 – источник опорного напряжения (National Semiconductor),
- MC34072 – операционный усилитель (Motorola),
- IRFH110 – радиационно-стойкий транзистор MOSFET (International Rectifier),
- OLQ156 – радиационно-стойкий оптоизолятор (Isolink),
- TCS4429 – предоконечный каскад для управления силовыми транзисторами (Microchip).

Два последних компонента (OLQ156 и TCS4429) отличаются от стандартного изделия класса Н (MHF+) и от первоначального исполнения для космических применений (SMHF). Они модифицированы по результатам испытаний на чувствительность к воздействию протонов высоких энергий (63 МэВ) [4].

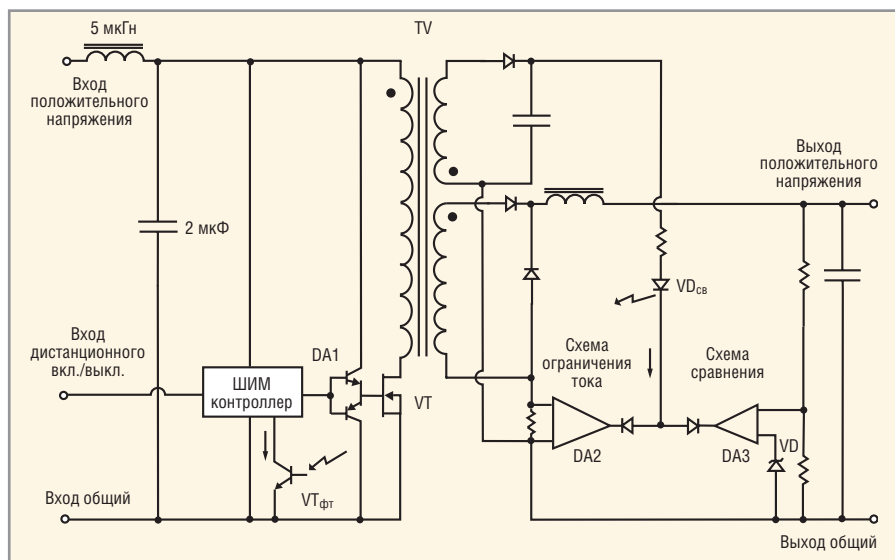
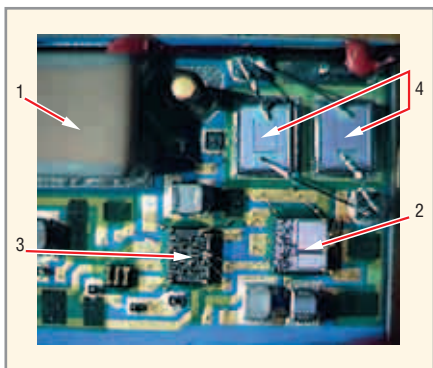
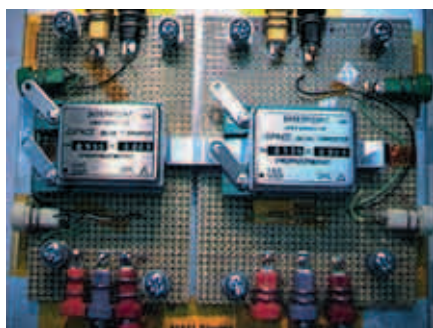


Рис. 2. Принципиальная схема одноканального DC/DC-преобразователя серии SMHF

DA1 – предоконечный каскад для управления силовым транзистором MOSFET; VT – транзистор MOSFET IRFH110; VT<sub>фрт</sub> – фототранзистор оптоизолятора OLQ156; VD<sub>cb</sub> – светодиод оптоизолятора OLQ156; DA2 – 0V MC34072; DA3 – 0V MC34072



**Рис. 3. Внутренние элементы DC/DC-преобразователя серии SMHF: показаны транзисторы MOSFET IRFH110 (1), каскад управления силовым транзистором MOSFET TCS4429 (2), компаратор LM119 (3) и входные керамические конденсаторы (4)**



**Рис. 4. Арматура, применяемая для контроля электрических параметров при облучении**

Выходные цепи гальванически изолированы от входных цепей. Электрическая прочность изоляции составляет более 500 В постоянного напряжения. Выходное напряжение передаётся ШИМ-контроллеру через изолирующий барьер, выполненный на ИМС OIQ156. Это устройство представляет собой гибридную микросхему, разработанную специально для работы в условиях воздействия ионизирующих излучений космического пространства. Излучатель изготовлен без эпитаксии из жидкой фазы, а детектор выполнен по эпитаксиальной технологии. Обе структуры хорошо работают при воздействии квантового ( $\gamma$ -излучение) и корпускулярного (состоящего из протонов или нейтронов) ионизирующего излучения. Этот модуль соответствует требованиям нормативного документа SCD и испытан до значения поглощённой дозы 100 крад. Гарантируется функционирование устройства при облучении потоком частиц до  $10^{12}$  протонов/см<sup>2</sup> с понижением коэффициента передачи тока не более чем на 50%. Это устройство в настоящее время является стандартным.

## ПОДРОБНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытывались пять образцов одноканальных DC/DC-преобразователей модели SMHF2805S/HR из партии модулей, предназначенной для отгрузки. Все пять изделий имели маркировку SMD 5962R9213902HXC, означающую, что по электрическим параметрам и устойчивости к воздействию внешних факторов они соответствуют требованиям нормативов SMD.

### Методология испытаний

Испытания по определению суммарной поглощённой дозы облучения выполнялись при воздействии на изделия облучения с двумя разными интенсивностями до двух уровней суммарной дозы. Изделия были разделены на три группы. Два модуля испытывались воздействием облучения низкой интенсивности (6 рад/мин) до общей поглощённой дозы 20 крад, два устройства испытывались при воздействии облучения мощностью 9 рад/с до уровня поглощённой дозы 200 крад и один модуль служил в качестве контрольного образца. Модули были подвергнуты воздействиям температур, после чего с модулей, подготовленных для облучения, были удалены крышки. На рис. 3 показаны внутренние части конструкции модуля SMHF.

Образцы с необходимой тестовой арматурой были отправлены в испытательный центр (ICS Radiation Technologies, штат Калифорния) летом 2002 г. В качестве излучателя использовалось  $\gamma$ -излучение радиоактивного изотопа <sup>60</sup>Co (энергия квантов 1,25 МэВ). Облучение проводилось в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-883E Method 1019.4.

Устройства во время облучения были подключены к питающей сети 28 В при номинальном значении выходного напряжения 5 В постоянного тока и нагрузке 12,5 Ом (20% от полной нагрузки). Больше значение тока нагрузки не использовалось, чтобы температура модулей при испытаниях сохранялась как можно ниже. Некоторые радиационные воздействия могут быть умеренными или вообще отсутствовать благодаря отжигу. Например, во время исследований TCS4426 влияние радиационного воздействия очень быстро отжигалось при температурах выше 65°C. Этот эффект был отмечен компаниями Interpoint и Лабораторией реактив-

ного движения (Jet Propulsion Laboratory – JPL) [4]. Арматура, применяемая во время облучения, а также для первичного, промежуточного и пост-радиационного контроля параметров до и после отжига показана на рис. 4. Два модуля, находясь в вышеуказанном режиме питания и нагрузки, подвергались облучению одновременно.

### Облучение высокоинтенсивным ионизирующим излучением

Исследование радиационной стойкости при воздействии большой мощности дозы облучения проводилось при интенсивности 9 рад/с на двух образцах во включённом состоянии. Эта величина интенсивности излучения значительно меньше значений, установленных стандартом MIL-STD-883, Method 1019.4 (50...300 рад/с). Но компания Interpoint выбрала это значение интенсивности излучения более 12 лет назад, и она считает величину 9 рад/с наиболее подходящей для выявления проблемы.

У двух испытываемых образцов были подвергнуты проверке первичные электрические параметры и параметры после накопления дозы 10 крад. Проверка электрических параметров производилась каждый раз после накопления дозы 25 крад. Окончательная проверка была проведена после достижения поглощённой дозы 200 крад с последующим контролем параметров после 24-часовой выдержки модулей при 25°C. Модули были подвергнуты вторичному высокотемпературному отжигу в течение 168 ч при температуре 100°C и заключительному исследованию электрических параметров. В отечественной практике метод облучения с последующей термообработкой получил название «радиационно-термическая обработка» и применяется в процессе производства КМОП ИС для повышения процента выхода годных изделий на пластине кремния за счёт отбраковки чипов с макродефектами в оксидных плёнках [5].

Первоначальные, промежуточные и завершающие испытания проводились в трёх режимах: холостой ход, 20% от полной нагрузки и при полной нагрузке. При каждом значении нагрузки регистрировались значения входного тока и выходного напряжения. В табл. 1 приведены условия испытаний и зарегистрированные данные для одного из образцов.



### Облучение низкоинтенсивным ионизирующим излучением

Исследование радиационной стойкости при воздействии низкой мощности дозы проводилось при интенсивности излучения 6 рад/с на двух образцах во включённом состоянии. Это значение интенсивности было наименьшим практическим режимом для испытательной установки.

Испытания облучением низкой интенсивности проводятся для определения эффекта восприимчивости к длительному воздействию низкой мощности дозы (Enhanced Low Dose Radiation Susceptibility – ELDRS). Методика испытаний по обнаружению восприимчивости к длительному воздействию низкоинтенсивного излучения введена в военный стандарт США MIL-STD-883F в 2004 г. (раздел Method 1019.6) для испытаний биполярных и BiCMOS линейных схем или схем смешанных сигналов с установленными мощностями дозы облучения при интенсивности менее 50 рад/с. Многие биполярные линейные элементы проявляют восприимчивость к длительному воздействию облучения с низкой интенсивностью, которую невозможно выявить при интенсивностях излучения 50...300 рад/с с дополнительным отжигом при повышенной температуре (например, как для МОП-компонентов). Компоненты, в которых проявляется эффект ELDRS, должны быть испытаны или при заданной интенсивности излучения до предельной накопленной дозы, или при низкоинтенсивном облучении при повышенной температуре, которое включает параметр допустимой ошибки коэффициента запаса.

Эффект восприимчивости к длительному воздействию низкоинтенсивного  $\gamma$ -излучения ( $^{60}\text{Co}$ ) может быть обнаружен во многих ИМС. К примеру, этот эффект был определён для ИМС LM119, которая применяется в конструкции преобразователей серии SMHF. Низкоинтенсивное радиационное облучение может также увеличить накопленную дозу, что вызывает некоторые радиационные явления. Это может иметь место при очень низких мощностях дозы радиационного облучения, когда интенсивность облучения приближается к величине интенсивности релаксации дозы в процессе отжига. Такой эффект был обнаружен во время исследований отказа ИМС TCS4426 при поглощённой

дозе на установке Лаборатории реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California).

После первичного измерения электрических параметров два модуля SMHF были подвергнуты облучению низкоинтенсивным ионизирующим излучением до достижения суммарной дозы 2,5 крад с последующим измерением электрических параметров. Облучение продолжалось до достижения поглощённой дозы 20 крад с измерением электрических параметров после каждого приращения суммарной поглощённой дозы на 2,5 крад. После контроля электрических параметров и выдержки модулей в течение 24 ч при температуре 25°C снова измерялись электрические параметры и проводился отжиг при температуре 100°C в течение 168 ч с завершающим измерением электрических параметров. Результаты испытаний одного из образцов представлены в табл. 2.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

#### Сравнение с допусками нормативных документов

Пострадиационные допуски для модуля SMHF2805S/HR после достижения суммарной поглощённой дозы 100 крад перечислены в технических условиях SMD для этого модуля. В табл. 3 приведены допуски на параметры SMD и зарегистрированные в процессе испытаний параметры для суммарной поглощённой дозы 100 крад.

Два допуска в табл. 3 отмечены как вычисленные значения. Выходное напряжение для режима холостого хода конкретно не указано в SMD. Однако указаны значения выходного напряжения при полной нагрузке и коэффициент нестабильности по напряжению при изменении тока нагрузки от значения в режиме холостого хода до значения при полной нагрузке. Процедура вычисления вклю-

**Таблица 1. Результаты испытаний при воздействии высокоинтенсивного ионизирующего излучения (образец SN 0945)**

Поглощённая доза, крад	Входной ток, мА, режим холостого хода	Выходное напряжение, В, режим холостого хода	Входной ток, мА, полная нагрузка	Выходное напряжение, В, полная нагрузка
0	28	5	559	4,95
10	25,1	4,99	561	4,94
25	25,1	4,99	565	4,94
50	25,2	4,99	566	4,94
75	25,1	4,99	565	4,94
100	25	4,99	565	4,94
125	25,1	4,99	565	4,94
150	25,1	4,99	566	4,94
200	25,1	4,99	564	4,94
Отжиг в течение 24 ч при температуре 25°C	26,6	4,99	565	4,94
Отжиг в течение 168 ч при температуре 100°C	23,9	4,99	560	4,94

**Таблица 2. Результаты испытаний при воздействии низкоинтенсивного ионизирующего излучения (образец SN 0945)**

Поглощённая доза, крад	Входной ток, мА, режим холостого хода	Выходное напряжение, В, режим холостого хода	Входной ток, мА, полная нагрузка	Выходное напряжение, В, полная нагрузка
0	24,3	5	552	4,89
2,5	23,2	5	545	4,94
5	22,9	5	545	4,94
7,5	23,2	5	541	4,94
10	23,2	5	543	4,94
12,5	22,4	4,99	544	4,94
15	22,9	5	544	4,94
17,5	22,3	4,99	545	4,95
20	22,8	5	546	4,94
Отжиг в течение 24 ч при температуре 25°C	22,6	5	543	4,94
Отжиг в течение 168 ч при температуре 100°C	32,7	4,99	593	4,94

чает в себя вычитание значения нестабильности по напряжению 100 мВ из предельного значения выходного напряжения в режиме полной нагрузки. Значение входного тока при полной нагрузке не указано в SMD, однако указано значение КПД преобразователя при полной нагрузке и входном напряжении 28 В. Максимальное значение входного тока вычисляется делением выходной мощности при полной нагрузке на минимальное значение КПД и делением на значение входного напряжения.

Сравнение данных в табл. 3 показывает, что испытанные образцы соответствуют требованиям SMD после воздействия ионизирующего излучения. Однако некоторые тенденции в результатах испытаний требуют дополнительного анализа и обсуждения.

#### Изменение входного тока при полной нагрузке

В процессе испытаний образцов наблюдалось внезапное уменьшение значения входного тока при полной нагрузке и суммарной дозе, превышающей 75 крад. Минимальное значение входного тока наблюдалось при суммарной дозе 150 крад.

Для объяснения явления снижения тока необходимо рассмотреть процесс преобразования энергии в DC/DC-преобразователе на основе высокочастотного регулируемого преобразования. Преобразователь является устройством с малой потребляемой мощностью. Выходная мощность связана с общей входной мощностью относительно постоянным значением КПД. Снижение стабилизированного выходного напряжения при резистивной нагрузке изменяет выходную мощность пропорционально квадрату изменения напряжения. С изменением выходной мощности одновременно изменится входная мощность. Если же входное напряжение является неизменным, то входной ток должен уменьшиться пропорционально изме-

нению выходного напряжения. Таким образом, снижение входного тока является результатом снижения выходного напряжения. Выходные напряжения двух образцов снизились примерно до 90 и 95% от первоначального значения. Эти данные достаточны для расчёта изменения входного тока.

#### Изменение выходного напряжения при полной нагрузке

У двух образцов наблюдалось снижение выходного напряжения, начиная примерно от значения суммарной дозы облучения 75 крад и продолжающееся до значения 150 крад. Было отмечено, что выходное напряжение не изменяется более чем на 10 мВ от первоначального значения. При достижении суммарной дозы облучения 200 крад и после отжига выходное напряжение может измениться и на другую величину. Эти последние точки данных в режиме холостого хода и в режиме 20% от полной нагрузки являются важными, т.к. они указывают на элементы преобразователя, не являющиеся причиной падения выходного напряжения. Например, вспомогательный источник опорного напряжения (LM136) и усилитель (MC34072) при небольших токах нагрузки являются стабильными даже при очень высокой суммарной дозе облучения.

Данные также показывают, что ограничение коэффициента заполнения импульсов или проблемы ШИМ-контроллера не вызывают падения выходного напряжения. Коэффициент заполнения импульсов при 20%-нагрузке и 100%-нагрузке одинаков. При 20%-нагрузке преобразователь работает с постоянным током в выходном дросселе. В режиме неразрывного тока коэффициент заполнения импульсов преобразователя является функцией входного напряжения и изменяется противоположно изменению этого напряжения. Но коэффициент заполнения импульсов не изменяется широко

при дополнительном увеличении нагрузки. Незначительное изменение коэффициента заполнения импульсов на несколько процентов произойдёт из-за увеличения потерь при более высоких нагрузках, но это небольшое изменение недостаточно для объяснения падения напряжения.

Изменение тока в пределах допуска учитывается при регистрации изменения выходного напряжения. В схеме модуля SMHF применяется контур обратной связи с двумя ОУ. Выходы усилителя контура регулирования по напряжению и усилителя контура регулирования по току объединены по схеме ИЛИ. Выходное напряжение преобразователя SMHF остаётся постоянным вплоть до достижения предельно-допустимого значения тока нагрузки, а затем выход переходит в режим генератора постоянного тока. Номинальное значение предельного тока нагрузки установлено на 15% выше значения полного тока нагрузки.

По истечении нескольких недель после окончания радиационных испытаний у всех пяти образцов были измерены электрические параметры. Результаты измерений были таковы, как будто за истекшее время произошёл отжиг изделий. Во время испытаний модули функционировали при полной нагрузке и номинальном выходном напряжении. Однако предельный ток у образцов, получивших более высокие дозы облучения, мало отличался от тока других образцов и номинального значения полного тока нагрузки (2,5 А). У контрольного образца, который не подвергался воздействию радиации, предельный ток составил 2,88 А. У преобразователей, испытанных до поглощённой дозы 20 крад при низкоинтенсивном ионизирующем излучении, ток составил 2,8 А у одного образца и 2,73 А – у другого. У преобразователей, испытанных до поглощённой дозы 200 крад при высокоинтенсивном ионизирующем излучении, предельный ток был близок к номинальному значению (2,5 и 2,58 А). Эти данные подтверждают, что после радиоактивного облучения предельный ток нагрузки понижается вследствие понижения выходного напряжения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытанные образцы DC/DC-преобразователей по всем параметрам соответствуют требованиям нормативов SMD для поглощённой дозы

Таблица 3. Сравнение допусков нормативного документа SMD на изделия SMHF с результатами испытаний для поглощённой дозы 100 крад

Контролируемые параметры	Допуск SMD	Значение параметра/поглощённая доза	Комментарии
Входной ток, режим холостого хода, мА	<100	28,3/0	Образец SN0947
Выходное напряжение, режим холостого хода, В	4,8...5,2*	5,02/100	Образец SN0947
Входной ток, полная нагрузка, мА	<654*	571/10	Образец SN0947
Выходное напряжение, полная нагрузка, В	4,7...5,2 В	4,72/100	Образец SN0952

\*Вычисленный предел.

100 крад при интенсивности ионизирующего излучения 9 рад/с. Испытания до поглощённой дозы 20 крад при низкой интенсивности ионизирующего излучения 6 рад/мин не выявили каких-либо эффектов ELDRS. Электрические параметры при высокой и низкой интенсивности ионизирующего излучения при одинаковой поглощённой дозе изменяются идентично.

Результаты испытаний этих преобразователей при более высокой поглощённой дозе (200 крад) позволяют увеличить допустимую норму суммарной поглощённой дозы для преобразователей серии SMHF или могут быть использованы для увеличения запаса по электрическим параметрам при установленной максимальной дозе 100 крад. Кроме того, было рекомендовано в производственном процессе увеличить норму предельного тока нагрузки, превышающую номинальное значение тока нагрузки на 25%. Это изменение позволит устранить падение выходного напряжения при поглощённой дозе вплоть до 200 крад.

Характеристики радиационной стойкости DC/DC-преобразователей фирмы Interpoint позволяют приме-

нять эти изделия в бортовой аппаратуре КА:

- с длительным сроком активного существования в условиях воздействия протонов с высокими энергиями,
- системы дистанционного зондирования Земли,
- на низких круговых орбитах (Low Earth Orbit),
- на средних круговых орбитах (Medium Earth Orbit),
- на орбитах с точками LaGrange L1, L2 и др.

Успешный опыт применения DC/DC-преобразователей фирмы Interpoint в таких проектах, как Hubble Space Telescope, X-ray Timing Explorer, недавнем успешном проекте Mars Reconnaissance Orbiter, а также в некоторых российских космических программах, подтверждают высокую надёжность этих изделий.

Подробная информация по оценке устойчивости интегрально-гибридных DC/DC-преобразователей к воздействию ионизирующих излучений космического пространства, характеристика эффектов, вызванных поглощённой дозой, и эффектов одно-

чных сбоев, некоторые рекомендации для разработчиков аппаратуры КА представлены в статье [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Жданкин В.К.* Радиационно-стойкие изделия силовой электроники фирмы Interpoint. Современная электроника. 2004. № 2.
2. *Жданкин В.К.* Новые изделия фирмы Interpoint: DC/DC-преобразователи военного и специального назначения. Современная электроника. 2005. № 6.
3. *Жданкин В.К.* Вторичные источники электропитания фирмы Interpoint. Современные технологии автоматизации. 1997. № 4.
4. *Jobnston Allan H., Swift Gary M.* Radiation Test Results for Interpoint Power Converters. Jet Propulsion Laboratory. 2001. August 23.
5. *Попов В.Д.* Пострадиационный эффект в ИС. Неразрушающий контроль качества ИС. Электроника: НТБ. 2002. № 4.
6. *Жданкин В.К.* Устойчивость гибридных DC/DC-преобразователей к воздействию ионизирующих излучений космического пространства. Современные технологии автоматизации. 2005. № 3. ©



**CRANE**  
AEROSPACE &  
ELECTRONICS



**interpoint**  
A CRANE CO. COMPANY

# Энергия космоса!



**Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint**



**PROSOFT**<sup>®</sup>

**МОСКВА** (495) 234-0636, 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** (812) 448-0444, 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru  
**ЕКАТЕРИНБУРГ** (343) 376-2820/376-2830 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru  
**САМАРА** (846) 277-9165; 277-9166 • info@prosoft.samara.ru

- Многообразие вариантов конструктивного исполнения
- Рабочий диапазон температур от -55 до +125°C
- Высокая радиационная стойкость до 500 крад
- Удельная мощность свыше 5000 Вт/дм<sup>3</sup>
- Выходная мощность от 1,5 до 100 Вт
- Входные напряжения: 16...40 В и 160...400 В постоянного тока
- Выходные напряжения: 2,2; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15; +5/±12; +5/±15; 28 В
- Выходной контроль по MIL-STD-883 и MIL-PRF-38534