

Некоторые вопросы радиационной стойкости DC/DC конверторов фирмы Interpoint

Виктор Жданкин

Немаловажную роль в бортовых системах управления специального назначения и космической аппаратуре играют вопросы радиационной стойкости применяемых компонентов.

Приводимая далее информация является отражением тех вопросов, которые обсуждались в ходе проходившего недавно в Москве семинара заинтересованных российских организаций с участием представителей фирмы Interpoint.

Вопрос Каковы отличительные особенности производимых фирмой Interpoint источников питания?

Ответ

Фирма Interpoint является производителем преобразователей постоянного тока (DC/DC конверторов) с выходными мощностями от 1,5 до 200 Вт. Эти конверторы, созданные с использованием достижений микроэлектронной технологии, производятся и отбраковываются с применением военных стандартов, регламентирующих процедуры производства и отбраковки изделий микроэлектронной техники. Отбраковка потенциально ненадежных изделий включает испытания во всем рабочем диапазоне температур от -55 до +125°C, воздействие постоянного ускорения 7500 g и термоциклирование в температурном диапазоне от -60 до +150°C. Исходными конструктивными элементами являются бескорпусные электрорадиоизделия, соединенные с использованием пайки, сварки, приклеивания и размещения элементов в герметичных конструкциях. Interpoint получил право создавать устройства Class H и Class K в соответствии с MIL-PRF-38534 на своем оборудовании и отбраковывать эти изделия по устойчивости к воздействию факторам окружающей среды в соответствии с военным стандартом MIL-STD-883.

В настоящее время Interpoint является единственной компанией, серийно производящей конверторы Class K, соответствующие наивысшему уровню требований военного стандарта.

Interpoint также является одной из немногих компаний, предлагающих радиационно стойкие изделия силовой электроники. Высокие энергетические показатели и качество, отвечающее требованиям военных стандартов, достигнуты благодаря применению дискретных биполярных элементов, работающих на частоте 600 кГц.

Вопрос Какие изделия фирмы являются наиболее популярными у разработчиков космической аппаратуры?

Ответ

Наиболее популярными конверторами являются устройства с выходной мощностью от 5 до 30 Вт, предназначенные для монтажа на плату. Сюда относятся 5 Вт преобразователи серии MSA, 15 Вт преобразователи серии MHF+ и 30 Вт преобразователи серии MTR. Конверторы Interpoint, особенно только что упомянутые, достаточно долго применяются в космических аппаратах. Многие потребители испытали конверторы и пришли к заключению, что конверторы сохраняют работоспособность при поглощенной дозе излучения больше чем 50 крад (Si), причем воздействие тяжелых ионов с энергией до 100 МэВ, полученных в линейном ускорителе, не приводит к нарушению их работы. Конверторы применялись в космических аппаратах, несмотря на то, что эти изделия специально не конструировались для применения в условиях радиоактивных излучений. Успешное применение преобразователей в ряде космических программ привело к созданию в структуре Interpoint Группы космических изделий. Целью этого подразделения является разработка и поставка изделий для удовлетворения потребностей космического сообщества.



Внешний вид конструкции преобразователя постоянного напряжения для космических применений серии SMSA



Внешний вид конструкции преобразователя постоянного напряжения для космических применений серии SMHF

Первыми изделиями, которые были предложены этой группой, стали варианты уже существующих удачных стандартных изделий — это серии SMHF и SMSA. Эти новые конвертеры доступны в исполнениях с радиационной стойкостью при уровнях поглощенных доз излучения 50 крад или 100 крад. Кроме того, эти устройства являются первыми изделиями такого рода, радиационная стойкость которых гарантируется в Извлечениях из военного стандарта (Standard Military Drawings — SMD). Фирма Interpoint постоянно взаимодействовала с Центром по снабжению Министерства Обороны Columbus (DSCC), в результате чего были оформлены первые SMD с радиационными гарантиями и создана одобренная DSCC система подтверждения радиационной стойкости этих разработок. Interpoint достигает гарантий радиационной стойкости путем испытания каждой партии нормируемых компонентов и выпуска изделий, параметры которых по результатам радиационных испытаний соответствуют определенным допускам. Эти проверенные допуски затем используются в процессе дальнейшего анализа для гарантирования электрических характеристик конвертеров после радиационного воздействия.



Внешний вид конструкции помехозащитного фильтра для космических применений серии SFCS

Вопрос Какие компоненты преобразователей постоянного тока являются наиболее критичными, с точки зрения радиационных воздействий?

Ответ

Все стандартные конвертеры Interpoint имеют гальванически изолированные между собой входные и выходные цепи. Для обеспечения устойчивости преобразователя как системы автоматического регулирования с ШИМ необходима цепь обратной связи по напряжению. Аналоговый сигнал обратной связи изменяет скважность выходных импульсов устройства управления, которое стабилизирует выходное напряжение при изменении входного напряжения и тока нагрузки. В одно- и двухканальных преобразователях серий SMSA и SMHF для гальванической развязки в цепи обратной связи применяются оптронные интегральные микросхемы, являющиеся наиболее критичными компонентами. Стандартные изделия были подвергнуты обширным модификациям, для того чтобы адаптировать их к применениям в космических условиях. Эти модификации заключались в замене оптоизоляторов фирмы Hamamatsu, используемых в стандартных



Внешний вид конструкции помехозащитного фильтра для космических применений серии SFMS

изделиях, на оптоизоляторы фирмы Isolink. Дополнительные модификации состояли в применении транзисторов MOSFET серии Megarad фирмы International Rectifier, а также в применении радиационно стойких конденсаторов и других усовершенствованиях в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD 975 для обеспечения запаса надежности. Смена поставщика оптоизоляторов была сделана после обширных испытаний на радиационную стойкость. Изделия фирмы Isolink выбраны в качестве основных, благодаря их превосходной временной стабильности, устойчивым показателям коэффициента передачи тока и минимальным ухудшениям характеристик при поглощенной дозе излучения до 100 крад.

Interpoint тесно сотрудничает с Isolink в плане применения следующих поколений оптронных интегральных микросхем фирмы Isolink с более высоким уровнем радиационной стойкости. Эти новейшие устройства, разработанные для военных систем, гарантируют уменьшение коэффициента передачи тока не более чем на 50% при воздействии потока протонов 1×10^{12} частиц/см².

Вопрос Какие компоненты ионизирующих излучений могут отрицательно сказываться на работе преобразователей?

Ответ

Изделия, отвечающие требованиям космических стандартов, начали производиться в то время, когда основными показателями воздействия проникающей радиации на электронную аппаратуру были одиночные сбои (Single Event Upset — SEU), электрический пробой затворов КМОП ИС (Single Event Gate Rupture — SEGR) и суммарная (поглощенная) мощность дозы (Total Ionizing Dose). Испытания доказали, что изделия Interpoint обладали устойчивостью к этим воздействиям со значительным запасом прочности.

В последние два-три года (с 1995 по 1997 годы) была выявлена иная радиационная угроза, обусловленная эффектами смещения атомов в узлах кристаллической сетки и повреждений изделий из-за воздействия протонов. В отличие от поглощенной дозы излучения, совокупное воздействие высокоэнергетичных протонов создает остаточное повреждение структуры полупроводниковых материалов. Влияние этих повреждений впервые было обнаружено в оптоэлектронных устройствах на борту Topex/Poseidon, совместного американско-французского космического аппарата, запущенного в 1992 году. Аппарат функционировал в течение трех лет и имел следующие параметры ор-

биты: высота — 1336 км, наклонение — 66°. Спустя два года после запуска начались отказы в работе устройств типа 4N49. Это было неожиданным для данного типа оптоизоляторов, так как они были испытаны при уровнях радиации выше, чем 100 крад (Si). Наиболее вероятной причиной отказов явилось воздействие протонов, измеряемое, как правило, в единицах потока частиц (частица/см²), которое вызывает деградацию прежде всего характеристик светодиода оптронной пары, в результате чего уменьшается коэффициент передачи тока оптоизолятора. Удивительно, но высокоэнергетичные частицы приводят к меньшим повреждениям. Наиболее опасными являются протоны с энергией менее 150 МэВ, обладающие большей вероятностью соударения с атомами полупроводниковых материалов. Низкоэнергетичные протоны с энергиями ниже 20 МэВ могут быть проигнорированы из-за местного экранирования металлическими элементами конструкции.

В начале 1997 года в лаборатории радиационных воздействий фирмы Boeing (Boeing Radiation Effects Laboratory — BREL) были проведены исследования значительного количества оптопар различных производителей при воздействии протонов. Потоки протонов достигали значения 6×10^{10} частиц/см². Применяемые фирмой Interpoint оптопары Isolink успешно выдержали испытания с наименьшей степенью ухудшения своих характеристик.

Вопрос Вызывают ли потоки протонов переходные процессы в оптронах?

Ответ

Действительно, такого рода воздействия были замечены в оптопарах, используемых в качестве изоляторов дискретных сигналов. В результате появляются ложные сигналы, которые могут привести к сбоям в цифровой аппаратуре.

Этот эффект, однако, не сказывается на работе преобразователей Interpoint, так как полоса пропускания цепи аналоговой обратной связи у них составляет 15 кГц, что значительно меньше, чем ширина полосы переходного процесса, вызываемого потоком протонов.

Вопрос Какого рода неисправности можно ожидать при превышении максимально допустимого уровня излучений?

Ответ

Как уже отмечалось, наиболее чувствительным к воздействию заряженных частиц компонентом, применяющимся в преобразователях Interpoint, является оптоизолятор, у которого в результате этого воздействия коэффициент передачи тока может стать настолько низким, что петля обратной связи по напряжению в пределах конвертора не способна удерживать значение выходного напряжения в норме. Начальный мо-

мент в потере регулирования внезапен и приводит к значительному увеличению значения выходного напряжения, вначале при небольшой нагрузке и наибольшем значении входного напряжения. При продолжительном воздействии заряженных частиц повышенное значение выходного питающего напряжения будет сохраняться во всех режимах. Отказ преобразователя является маловероятным, но радиоэлектронная аппаратура, потребляющая электроэнергию постоянного тока от преобразователя, может быть повреждена в результате превышения номинального значения выходного питающего напряжения.

Вопрос Какие параметры по стойкости к потокам заряженных частиц имеют преобразователи фирмы Interpoint?

Ответ

Многочисленные испытания, проведенные в том числе специалистами NASA, показали, что, например, у одно- и двухканальных преобразователей серий MHF+ и SMHF отказы наступают при потоках свыше 5×10^{10} протонов/см². Этот уровень отвечает требованиям большинства космических применений. Имея в виду эти показатели, полезно учитывать условия конкретных применений. Так, суммарный поток, воздействию которого в течение двух лет подвергались устройства, содержащие оптопары, в проекте Торех/Poseidon был значительно меньше 1×10^{10} частиц/см². Поток протонов варьируется в широких пределах и зависит от параметров орбиты, наклонения и степени защиты.

Геостационарные спутники, например, практически не имеют проблем, связанных с потоками протонов, но потоки электронов могут достигать больших величин.

Возможность повреждения из-за эффектов смещения атомов в узлах была внимательно исследована при подготовке проекта полета к Сатурну CASSINI/CIREOS. Особую важность для полета имела возможная деградация оптоизоляторов. Расчетное полетное время составляет 7 лет, после чего космический аппарат должен проработать на орбите Сатурна еще 4 года. После многочисленных исследований 11-летняя экспедиция стартовала в октябре 1997 года с преобразователями MHF+, использующими в цепи передачи аналогового сигнала обратной связи оптронные интегральные микросхемы фирмы Hamamatsu.

Интересно заметить, что опасность для этой экспедиции представлял не поток протонов, значение которого ожидалось $0,5 \times 10^{10}$ частиц/см², а поток нейтронов от 26,9 кг плутония, использовавшегося на борту в системе подогрева. Радиоизотопные источники должны были воздействовать на преобразователи постоянным потоком нейтронов, достигающим значения $6,9 \times 10^{10}$ частиц/см². В конечном счете было определено, что коэффициент запаса полета по радиации составляет 1,5, или 50% от сочетания потоков протонов и нейтронов.