

Организация питания радиационно-стойких ПЛИС с применением DC/DC-преобразователей компании Microsemi

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Постоянное совершенствование оборудования, используемого в космических программах, напрямую связано с развитием электронно-вычислительной техники. Повышение объемов обрабатываемых данных и скорости передачи информации требует применения высокопроизводительных радиационно-стойких программируемых логических ИС (ПЛИС), для питания которых обычно необходимо несколько номиналов стабильных напряжений (1,2; 1,8; 2,5; 3,3 В). Решению этой задачи поможет линейка высокоинтегрированных преобразователей напряжения компании Microsemi, их основные характеристики и будут рассмотрены в данной статье.

Введение

В последнее десятилетие заметно расширилась область применения ПЛИС при создании электронной аппаратуры, предназначенной для космоса. На основе ПЛИС проектируются системы цифровой обработки изображений и данных, поступающих с научного оборудования, бортовые компьютеры малых космических аппаратов и телекоммуникационных спутников. Это многообразие обусловлено различными преимуществами, в частности, возможностью реконфигурации ПЛИС в случае изменения задачи, модернизацией алгоритмов работы, организацией параллельных вычислений, а также значительным прогрессом в технологии производства, позволившим создать быстродействующие микросхемы с большим числом логических вентилей.

Аппаратура, размещаемая на космических аппаратах, функционирует в условиях воздействия ряда дестабилизирующих внешних факторов (механических, климатических и т. д.). Наибольшую же опасность представляет влияние полей ионизирующих из-

лучений космического пространства, приводящее к возникновению разных обратимых и необратимых (катастрофических) эффектов (табл. 1). Поэтому вероятность безотказной работы бортовых систем и, как следствие, длительность срока активной эксплуатации во многом зависит от радиационной стойкости используемых электронных компонентов. Широкую линейку продукции, обладающей долговременной надежностью и стабильностью без ухудшения рабочих характеристик при суммарной поглощенной дозе ионизирующих излучений (TID) более 100 крад, предлагает компания Microsemi [1].

Корпорация Microsemi была основана в 1960 году и на сегодняшний день это один из крупнейших производителей аналоговых, цифро-аналоговых и дискретных компонентов. Продукция Microsemi используется для создания высоконадежных, высокопроизводительных решений в области радиосвязи, промышленности, автомобилестроения, медицинского оборудования, а также для нужд военных и авиационно-космических приложений. Компания имеет собственный многолетний опыт изготовления радиационно-

стойкой продукции, но до недавнего времени в ассортименте присутствовали в основном дискретные компоненты (транзисторы, реле и т. д.). Приобретение в 2010 году компании Actel, известного лидера в сфере изготовления радиационно-стойких ПЛИС, выпускающего до 80% мирового объема этих изделий для бортового оборудования космических аппаратов, позволило значительно расширить линейку продукции космического назначения и предложить разработчикам комплексные решения от одного производителя.

В настоящее время номенклатура радиационно-стойких ПЛИС компании предусматривает как многократно программируемые ИС на основе Flash-технологии, так и однократно программируемые на основе технологии прожигаемых перемычек (Antifuse). К многократно программируемым относятся микросхемы RT ProASIC3, которые сохраняют возможность перепрограммирования в системе при дозе поглощенной радиации до 15 крад и работоспособность при поглощенной дозе 25 крад. Однократно программируемые ПЛИС, включающие семейство RTSX-SU (улучшенная версия коммерческой серии SX-A), и специально разработанные семейства RTAX-S/SL, RTAX-DSP не только отличаются повышенными значениями максимальной дозы поглощенной радиации с сохранением функциональности (100 и 300 крад соответственно), но и имеют ряд других преимуществ. Прежде всего, это рекордная надежность, гарантирующая не более 10 сбоев на 10^9 часов наработки, чрезвычайно низкое

Таблица 1. Отказы, вызванные влиянием заряженных космических частиц

Одиночные эффекты	Тип воздействия
SEL (Single Event Latch)	Тиристорный эффект, вызванный ионизацией. Переход микросхемы в состояние с высоким потреблением тока. Для восстановления требуется снятие питания.
SET (Single Event Transient)	Однократный восстанавливаемый отказ. Кратковременное изменение состояния логического выхода, вызванное ионизирующим излучением.
SEU (Single Event Upset)	Однократный восстанавливаемый сброс памяти. Обратимое изменение состояния регистра памяти ОЗУ или триггера, вызванное ионизацией.
SEFI (Single Event Functional Interrupt)	Функциональный отказ в результате одиночного сбоя. Отказ в работе прибора, вызванный однократной ионизацией. Для устранения требуется либо снятие и восстановление питания, либо перезагрузка системы.

энергопотребление, большая логическая емкость (до 4 млн системных вентиляей) и высокая системная производительность (более 500 МГц). Микросхемы семейств RTAX обладают устойчивостью к тиристорному эффекту при облучении частицами с ЛПЭ (типичные значения линейных потерь энергии заряженных частиц в материале, при которых начинают наблюдаться одиночные эффекты) более 117 МэВ·см²/мг, устойчивостью к изменению состояния регистров при облучении частицами с ЛПЭ более 37 МэВ·см²/мг и изготавливаются в специально созданных корпусах CQFP и CGGA/LGA, предназначенных для применения в космических аппаратах. Высокая надежность ПЛИС подтверждена сертификатом высшего уровня качества для ИС космического назначения (QML класс V и Q) [2].

Для питания ПЛИС ранее отмеченных серий необходим источник с несколькими низковольтными высокостабильными выходами. При решении этой задачи можно использовать преобразователь напряжения с удовлетворяющими характеристиками от любой заслуживающей доверия компании-изготовителя. Но по сравнению с обычными электронными компонентами промышленного назначения радиационно-стойкие полупроводниковые продукты выпускаются ограниченным числом производителей. Кроме того, большинство компаний предлагает только определенные виды изделий, например, реле или транзисторы. Инженерам-разработчикам часто приходится выбирать элементную базу от разных поставщиков, что при проектировании способствует появлению дополнительных рисков из-за их совместимости. Это связано с тем, что электрические испытания, в том числе и тестирование на радиационную стойкость, выполняемые разными производителями при выходном контроле, могут немного различаться, как и гарантированные технические характеристики радиационно-стойких компонентов. Более надежный подход — использовать в разрабатываемом устройстве компоненты одного производителя (силовые, аналоговые, цифровые и т. д.). Широкий спектр продукции Microsemi, тестируемой для вероятной совместной работы, предоставляет эту возможность. Рассмотрим способ организации питания ПЛИС семейств RTAX при помощи микросхем преобразователей напряжения от компании Microsemi [3].

Особенности цепей питания радиационно-стойких ПЛИС серий RTAX-S/SL и RTAX-DSP

Как известно, основное назначение системы управления питанием ПЛИС — обеспечение самой ПЛИС и связанных с ней схем стабилизированным напряжением во всех режимах работы в заданных пределах изменения нагрузки. На выбор подходящего решения влияет ряд факторов, среди которых важное значение имеют условия среды эксплуата-

ции, флуктуации входного напряжения, наличие дополнительных защитных функций. К тому же по потребляемой мощности ПЛИС значительно отличаются от других интегральных схем. На ПЛИС реализуется неограниченное число различных конфигураций схемы, действующих на разных тактовых частотах и, следовательно, потребляющих разную мощность. А поскольку исходными данными для проектирования системы питания ПЛИС является потребляемая мощность, разработчик должен иметь максимально четкое представление о проектируемой системе. Для этого необходимо определить:

- тактовую частоту ПЛИС;
- количество задействованных ресурсов ПЛИС;
- скорость передачи данных, осуществляемых ПЛИС;
- число необходимых питающих напряжений и отдельных источников питания;
- диапазон рабочих температур.

ПЛИС семейства RTAX состоят из цифровых логических вентиляей, встроенной статической RAM-памяти, цепей синхронизации и нескольких входных/выходных буферов. Для питания отдельных функциональных блоков ПЛИС используются различные уровни напряжения. Помимо обязательного для всех ПЛИС источника питания ядра, большинство сложных ПЛИС, к которым относится семейство RTAX, испытывают потребность и в отдельных источниках напряжения для блоков ввода/вывода и дополнительных функциональных цепей:

- V_{cc} — напряжение питания ядра ПЛИС. Является основным питающим напряжением, для семейства RTAX используется источник с выходным напряжением 1,5 В, от тока которого, во многом, зависит общее энергопотребление ИС. Величина потребляемого тока I_{cc} определяется его статической и динамической составляющими. Статический ток имеет постоянное значение, которое можно узнать из спецификации. Динамический же ток пропорционально возрастает с частотой функционирования проекта и зависит от количества используемых логических ячеек, характера логической структуры проекта на кристалле, параметров режима внешних выводов ПЛИС и т. д.
- V_{ccibx} — напряжение питания блоков ввода/вывода ($x = 0...7$). Все восемь блоков в зависимости от требований разработчика могут запитываться от источников с напряжениями 1,5; 2,5 или 3,3 В. Динамическая составляющая тока I_{ccibx} зависит от стандартов, по которым сконфигурированы отдельные цепи ввода/вывода, количества блоков, рабочей частоты и т. д. Ток I_{ccibx} обычно имеет величину, сравнимую со значением I_{cc} .
- V_{ccda} — напряжение питания вспомогательных блоков ПЛИС, к которым, например, относятся дифференциальные

усилители интерфейсов, модуль JTAG отладки, устройства управления тактовой частотой и т. д. Данные устройства более чувствительны к шуму и поэтому V_{ccda} имеют более высокие требования по развязке для минимизации наведенного шума. Напряжение V_{ccda} может принимать два значения: 2,5 или 3,3 В. Ток I_{ccda} по сравнению с I_{cc} и I_{ccibx} имеет на порядок меньшее значение.

- V_{pump} — вход напряжения питания от внешнего «зарядового насоса». Может быть подключен к источнику с напряжением 3,3 В либо через резистор с сопротивлением 1 кОм подтянут к общему проводу. В последнем случае будет использоваться встроенный генератор подкачки заряда. Поскольку общее энергопотребление ПЛИС в значительной степени зависит от индивидуального схемотехнического решения, для расчета необходимо уточнить степень использования кристалла, производительность проектируемой схемы и т. д. Возьмем для примера разрабатываемое устройство на базе ПЛИС RTAX250SL-CG624, детальные характеристики системы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры рассматриваемой системы на ПЛИС

Наименование ПЛИС	RTAX250SL-CG624 (Microsemi)
Основная тактовая частота	125 МГц
Логика	Используется 80% (1126 R-ячеек, 2253 C-ячеек) 80% всей логики работает на частоте 125 МГц
Вход/Выход	Используются все входы/выходы; 50% как вход (93) 50% как выход (93); тип логики — 3,3 В LVTTL с максимальным выходным током 8 мА; входы работают на частоте 125 МГц, выходы — на 12,5 МГц

Для оценки общей величины энергопотребления компанией Microsemi предлагается удобный программный продукт [4], представляющий собой макрос для программы Microsoft Excel. Воспользовавшись данным инструментом, получили следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3. Результаты подсчета энергопотребления

Силовая шина	Ток, мА	Мощность, Вт
V_{cc} (напряжение 1,5 В)	248	0,372
V_{ccib} (напряжение 3,3 В)	231	0,762
Общее потребление	—	1,13

Далее следует определить максимальную мощность, которую ПЛИС RTAX-S в корпусе CG624 способна отвести, и убедиться, что рассеиваемая мощность разрабатываемой системы не превышает этой величины. Так как оборудование космического назначения функционирует в условиях отсутствия атмосферы, то для отвода тепла применяется система принудительного охлаждения, причем радиатор охлаждающего контура непосредственно связан с корпусом микросхемы.

Таблица 4. Сравнение линейных и импульсных стабилизаторов напряжения

Параметр	Линейный стабилизатор	Импульсный стабилизатор
Минимальный выходной шум	X	
Высокая эффективность		X
Быстрая переходная характеристика	X	
Выходное напряжение меньше входного	X	X
Выходное напряжение больше входного		X
Минимальная площадь, занимаемая на печатной плате	X	
Низкая стоимость	X (при низких уровнях мощности)	X (при высоких уровнях мощности)

Для подсчета воспользуемся следующим выражением:

$$P_{\text{макс}} = \frac{T_{\text{ПЛИС}} - T_{\text{р}}}{\theta_{\text{ПЛИС}} + \theta_{\text{ТП}}} = \frac{125 - 50}{4,6 + 0,58} = 14,47 \text{ Вт},$$

где $T_{\text{ПЛИС}}$ — максимальная температура ПЛИС, °C; $T_{\text{р}}$ — максимальная температура радиатора, °C; $\theta_{\text{ПЛИС}}$ — тепловое сопротивление RТAX250SL в корпусе CG624, °C/Вт; $\theta_{\text{ТП}}$ — тепловое сопротивление термопасты, °C/Вт.

По результатам расчета видно, что существует значительный запас по теплоотводу.

Радиационно-стойкие преобразователи напряжения компании Microsemi для питания ПЛИС

Как только определена максимальная мощность и требуемые напряжения питания ПЛИС, можно выбрать тип преобразователя. Для питания ПЛИС предназначены как линейные, так и импульсные преобразователи напряжения, отличительные особенности которых приведены в таблице 4.

Рассмотрим подробнее предлагаемое Microsemi семейство радиационно-стойких высоконадежных источников питания, состоящее из DC/DC-преобразователей типа POL (серия MHP856X), гальванически изолированных SA50-28/120 и SA30-100 с высокой выходной мощностью, линейных регуляторов MHL117X, выполненных по гибридной технологии, и линейных стабилизаторов напряжения MHL860X/MHL870X со сверхмалым падением напряжения.

Импульсные POL преобразователи

Преобразователи типа POL (point-of-load), размещаемые в непосредственной близости от питаемого функционального узла, представлены семейством MHP856X (табл. 5).

Данные компоненты обеспечивают максимальную гибкость благодаря набору вспомогательных функций и разработаны для формирования стабильного напряжения в жестких условиях окружающей среды (при рабочих температурах от -55 до +125 °C и воздействии радиации) [5]. Они обладают превосходной

Таблица 5. Основные характеристики POL преобразователей Microsemi

Наименование	Напряжение питания, В	Диапазон выходных напряжений, В	Максимальный выходной ток, А	Тип корпуса			Выход				Дополнительные функции			Примечание	
				МО-078	SIP	Flat Pack	Регулируемый	Фиксированный	Измерение выходного напряжения	Выход Enable	Параллельное включение	Внешняя синхронизация			
MHP8565A	5	0,5–4	3,5	✓			✓				✓				малогабаритный
MHP8565P	5	0,5–4	3,5	✓			✓					✓	✓		малогабаритный
MHP8564A	5	0,5–4	4,5		✓						✓		✓		
MHP8564F	5	0,5–4	4,5		✓						✓		✓		
MHP8564R	5	0,5–4	4,5		✓					✓			✓		
MHP8564S	5	0,5–4	4,5		✓					✓			✓		
MHP8566A	5	1–3,3	18			✓	✓				✓	✓	✓		4 выхода
MHP8567A	12	0,5–10	18			✓	✓				✓	✓	✓		4 выхода

радиационной стойкостью — значение суммарной дозы поглощенного ионизирующего излучения до 300 крад. Также гарантируется отсутствие одиночных эффектов при значениях пороговых линейных потерь энергии (ЛПЭ) ионов в веществе до 58 МэВ·см²/мг. Диапазон входных напряжений от 4,5 до 16 В постоянно-го тока, выходное напряжение фиксированное либо регулируемое в пределах от 0,5 до 4 В с погрешностью установки, не превышающей 1%. Низкий уровень пульсаций и шумов обеспечивается встроенными фильтрами на входе и выходе, а выходной ток может достигать 18 А (для 4-канального преобразователя). Среди вспомогательных и защитных функций следует отметить возможность параллельного включения преобразователей, плавного запуска для уменьшения токовой перегрузки при включении, использования внешней синхронизации частоты преобразования, наличие дистанционного включения/выключения, контроля тока, защиты от перегрузки и короткого замыкания.

Понижающий ШИМ-контроллер, катушка индуктивности, фильтрующие конденсаторы на входе и выходе объединены в одном компактном металлическом корпусе. Высокое значение КПД (до 87%) в широком диапазоне выходных мощностей уменьшает проблемы, связанные с рассеиваемой тепловой мощностью (рис. 1). В зависимости от количества выходных каналов, а также от величины вы-

ходного тока применяются три вида малогабаритных герметичных корпусов:

- 5-выводный МО-078 (27×32×8 мм);
- 16-выводный SIP (35,3×36×9,8 мм);
- 42-выводный Flat pack (82,5×82,5×11,2 мм).

Отдельного внимания заслуживают четырехканальные регуляторы MHP8566A и MHP8567A. Данные модули состоят из четырех независимых POL-преобразователей, полностью эквивалентных модулю MHP8564S. В отличие от MHP8566A, оптимизированного для входного напряжения 5 В, преобразователь MHP8567A применяет 12-В шину питания, а выход регулируется в пределах от 0,5 до 10 В. Возможность параллельного соединения каждой из четырех частей в произвольной комбинации позволяет использовать MHP8566A и MHP8567A для питания одной или нескольких нагрузок.

Изолированные DC/DC-преобразователи с высокой выходной мощностью

Новые серии радиационно-стойких гальванически изолированных DC/DC-преобразователей SA50-28, SA50-120 и SA30-100, предназначенные для применения в аппаратуре военных и коммерческих космических аппаратов, характеризуются высокой выходной мощностью до 50 Вт и КПД свыше 86% [6]. В настоящее время для разработчиков доступны несколько модификаций, отличающиеся

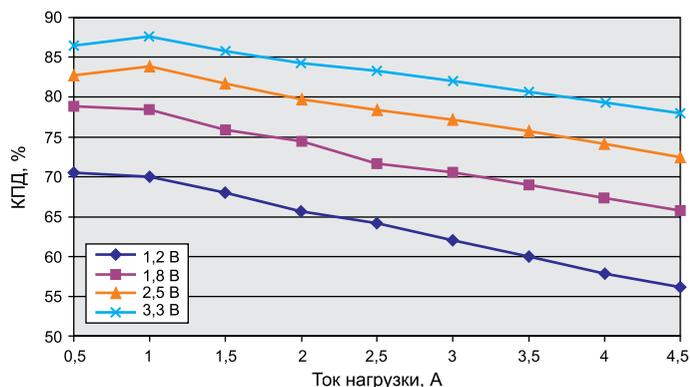


Рис. 1. Эффективность преобразователя MHP8565

входными напряжениями, адаптированными для стандартных шин питания 28 и 100 В, а также различными комбинациями выходного напряжения и тока. Изготовленные в унифицированном корпусе, DC/DC-преобразователи имеют от 1 до 3 выходных каналов со значениями +3,3 В/+5 В (4/6 А), ±12 В/±15 В (1/1,25 А), выходное напряжение можно регулировать в пределах ±10%. Данные DC/DC-модули обеспечивают реализацию всех этапов преобразования напряжения, способствуют снижению веса разработки, стоимости и размера силовой подсистемы. Они могут быть подключены непосредственно к солнечным батареям космического аппарата и выдавать напряжения, необходимые для питания ПЛИС, DSP, микроконтроллеров, центральных процессоров и других цифровых и аналоговых компонентов. Все преобразователи обладают функциями защиты от перегрузки по току, короткого замыкания и пониженного входного напряжения, дистанционного включения/выключения и внешней синхронизации. Среднее время наработки на отказ 5 млн часов при эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур от -55 до +125 °С. Радиационная стойкость по общей накопленной дозе достигает величины 100 крад, что соответствует требованиям стандартов MIL-STD-1547В и MIL-STD-461. Типовая схема подсоединения приведена на рис. 2, она не требует дополнительных внешних компонентов за исключением фильтрующих конденсаторов с низким ESR на входе.

Линейные преобразователи с регулируемым выходом

Данное семейство в настоящее время представлено сериями линейных стабилизаторов положительного (MHL117X) и отрицательного (SGR137x) напряжений, а также регулятором SGR117A с рекордным показателем TID [7]. Все компоненты, сертифицированные на основе требований стандарта MIL-PRF-38534 (Класс К) для применения в аппаратуре космических аппаратов и военном оборудовании, изготавливаются в виде герметизированных модулей в малогабаритных корпусах D-Pack (MHL117X) и TO-3, TO-66, TO-39, TO-257 (SGR137x и SGR117A). Минимальная накопленная доза, при которой начинают проявляться радиационные эффекты, составляет не менее 100 крад, кроме того, гарантирована высокая стойкость к возникновению одиночных событий: отсутствие однократных восстанавливаемых отказов (SET) при ЛПЭ до 15 МэВ·см²/мг и тиристорных эффектов (SEL), вызванных ионизацией, до 87,4 МэВ·см²/мг. Все внутренние компоненты стабилизаторов тщательно отобраны, и их параметры зафиксированы для гарантии надежной работы при заданных условиях окружающей среды. Это прекрасный выбор для устройств, где требуются высокая радиационная стойкость и стабильное выходное напряжение с малым уровнем шума. Серия MHL117X

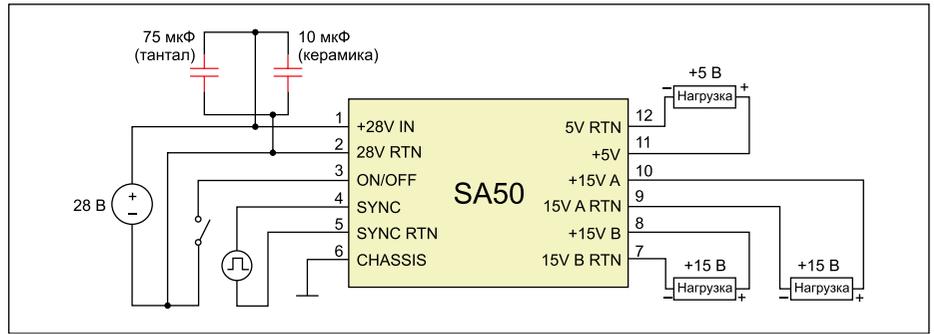


Рис. 2. Типовая схема подключения преобразователя SA50-28

с максимальным выходным током 1,5 А характеризуется широким диапазоном входных напряжений (до 40 В). Регулировка выходного напряжения в пределах от 1,25 до 37 В осуществляется при помощи двух внешних резисторов, причем погрешность его установления не превышает 1%. Выходное напряжение серии SGR137x может принимать значения от -1,25 до -36 В с погрешностью в 1% при входных 40 В. Превосходная температурная стабильность во всем рабочем диапазоне от -55 до +125 °С, наличие защиты от превышения температуры и схемы ограничения выходного тока обеспечивают безопасное функционирование питаемого оборудования. Регулятор SGR117A представляет собой высоконадежную радиационно-стойкую версию широко известных LM117A и LM117. Гарантирует стабильное выходное напряжение от 1,25 до 36 В и ток нагрузки до 1,5 А при суммарной поглощенной дозе радиации до 1000 крад.

Линейные стабилизаторы напряжения со сверхмалым падением напряжения

Для питания устройств, требовательных к уровню шумов, предпочтение зачастую отдается линейным стабилизаторам напряжения со сверхмалым падением напряжения. Основное требование, предъявляемое к стабилизаторам данного типа, — высокая точность выходного напряжения, сохраняющаяся в условиях воздействия переменной температуры, радиации и других дестабилизирующих факторов. Линейные стабилизаторы положительного напряжения MHL860X (рис. 3) и MHL870X со сверхмалым падением напряжения и радиационной стойкостью до 300 крад изготавливаются в герметичных корпусах MO-078 и SIP-7 соответственно (табл. 6). Они позиционируются для применения в аппаратуре космических аппаратов в качестве локализованных к нагрузке стабилизаторов, а также для дополнительной стабилизации напряжения после DC/DC-преобразователей [8].

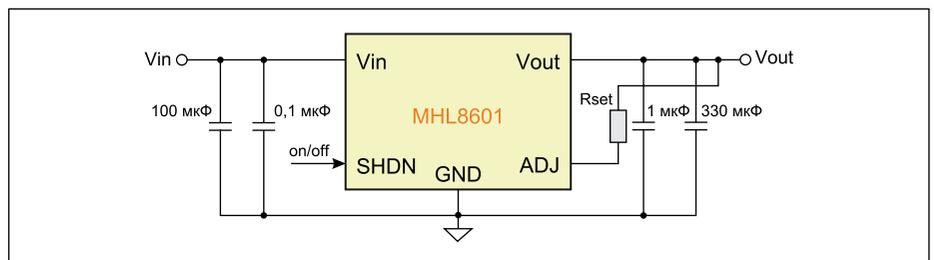


Рис. 3. Типовая схема подключения преобразователя MHL8601 с регулируемым выходным напряжением

Таблица 6. Основные характеристики радиационно-стойких ULDO-стабилизаторов Microsemi

Наименование	V _{доп} , В (макс.)	I _{out} , А	V _{in} , В	V _{out} , В	TID, крад	Корпус
MHL8601A3	0,4	3	от 2,9 до 3,6	от 1,265 до 2,5	300	МО-078
MHL8605A3	0,5	5	от 2,9 до 3,6	от 1,265 до 2,5	300	МО-078
MHL8601A5	0,4	3	от 4,5 до 5,5	от 1,265 до 4	300	МО-078
MHL8605A5	0,5	5	от 4,5 до 5,5	от 1,265 до 4	300	МО-078
MHL8601F325	0,4	3	от 2,9 до 3,6	2,5	300	МО-078
MHL8605F320	0,5	5	от 2,9 до 3,6	2	300	МО-078
MHL8601F530	0,4	3	от 4,5 до 5,5	3	300	МО-078
MHL8605F533	0,5	5	от 4,5 до 5,5	3,3	300	МО-078
MHL8701A3	0,4	3	от 2,9 до 3,6	от 1,265 до 2,5	300	SIP-7
MHL8705A3	0,6	5	от 2,9 до 3,6	от 1,265 до 2,5	300	SIP-7
MHL8701A5	0,4	3	от 4,5 до 5,5	от 1,265 до 4	300	SIP-7
MHL8705A5	0,6	5	от 4,5 до 5,5	от 1,265 до 4	300	SIP-7
MHL8701F325	0,4	3	от 2,9 до 3,6	2,5	300	SIP-7
MHL8705F320	0,6	5	от 2,9 до 3,6	2	300	SIP-7
MHL8701F530	0,4	3	от 4,5 до 5,5	3	300	SIP-7
MHL8705F533	0,6	5	от 4,5 до 5,5	3,3	300	SIP-7

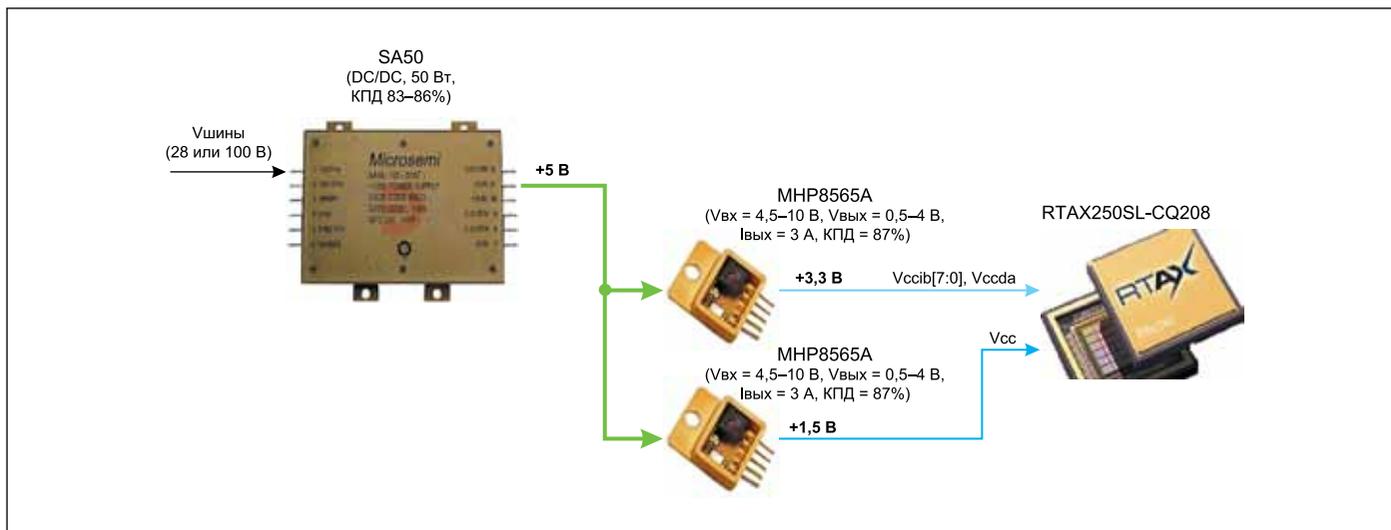


Рис. 4. Схема источника питания на основе импульсных преобразователей напряжения компании Microsemi

Компоненты данной серии оптимизированы для входных напряжений +5 и +3,3 В, падение напряжения не превышает 0,4 В для 3 А версии и 0,6 В для 5 А, выходное напряжение при этом может быть фиксированным либо регулируемым в пределах от 1,265 до 4 В. Встроенные фильтрующие L-С-цепочки проходят испытания в соответствии с методами, изложенными в стандартах MIL-PRF-123 и MIL-PRF-55365. Возможность дистанционного отключения и защита от превышения заданной температуры обеспечивает безопасность эксплуатации. Все компоненты тестируются на соответствие требованиям стандарта MIL-PRF-38534, производителем гарантируется отсутствие одиночных эффектов при ЛПЭ до 85 МэВ·см²/мг.

Вернемся к нашей условно проектируемой системе (рис. 4). На основании вышеизложенной информации и требований из таблицы 3 определимся с DC/DC-преобразователями. Выбранные преобразователи отличаются наличием дополнительного входа дистанционного отключения, так как зачастую для некоторых типов ПЛИС необходима определенная последовательность подачи питающих напряжений:

1. Выбор преобразователя для питания ядра RTAX-S. Для питания ядра ПЛИС напряжением 1,5 В и током 248 мА выбираем преобразователь MHP8565 (максимальный выходной ток 1250 мА). Согласно справочной информации при таком токе нагрузки КПД составит 87%. Тогда требуемый входной ток должен быть $I_{вх} = (1,5 \times 248) / (0,87 \times 5) = 85$ мА.
2. Выбор преобразователя для питания входных/выходных блоков RTAX-S. Выбираем преобразователь из этой же серии MHP8565, но с выходным напряжением 3,3 В (максимальный выходной ток 3000 мА). Требуемый входной ток составляет $= (3,3 \times 231) / (0,87 \times 5) = 175$ мА. Также в качестве альтернативы можно использовать один четырехканальный MHP8566 для питания как ядра, так и входных/выходных блоков.
3. Выбор первичного источника питания. Суммарный ток, потребляемый двумя стабилизаторами MHP8565, равен $85 + 175 = 260$ мА. В качестве источника питания с выходным напряжением 5 В выбираем DC/DC-преобразователь SA50, работающий со стандартными шинами 28 или 120 В (максимальный выходной ток 4000 мА). В первом случае его КПД составит 83%, во втором — 86%. В результате получаем надежную радиационно-стойкую схему питания с минимумом внешних компонентов и высокими показателями наработки на отказ.

Аналогичным образом производится выбор линейных стабилизаторов для организации схемы питания.

Заключение

Надежность функционирования оборудования космического назначения неразрывно связана с качеством его источников питания. Выбор импульсных и линейных преобразова-

телей напряжения компании Microsemi, необходимых для построения системы питания высокопроизводительных ПЛИС, производится с учетом множества факторов, ключевое значение среди которых имеют радиационная стойкость, стабильность выходного напряжения и уровень его шумов, а также высокая наработка на отказ при эксплуатации в жестких условиях окружающей среды. Радиационно-стойкие преобразователи питания компании Microsemi представляют собой разумный компромисс между качеством и стоимостью конечных изделий. Преобразователи с регулируемыми и фиксированными выходными напряжениями обеспечивают высокие показатели эффективности и технические характеристики, соответствующие требованиям к питанию современных цифровых нагрузок. Компоненты доступны в малогабаритных корпусах, приспособленных для условий космического полета, и требуют минимального количества дополнительных элементов для построения высоконадежных стабилизаторов питания. ■

Литература

1. www.microsemi.com
2. Microsemi Product Portfolio 2013-2014.
3. Application Note. Designing Radiation-Tolerant Power-Supplies for the RTAX-S/SL/DSP FPGA. September 2012.
4. www.microsemi.com/soc/documents/AX_RTAXSPowerCalculator.zip
5. Alan Tasker. Application Note. Radiation Hardened Point-of-Load Regulators, MHP8564/8565/8566/8567. — 2011.
6. Technical Datasheet. Radiation Hardened Isolated DC/DC Converters SA50-28-5/15T. Rev A.
7. Advanced Datasheet. Rad Hard 1.5 Amp Three Terminal Adjustable Voltage Regulator SGR117A. Rev. 1.2
8. Technical Datasheet. MHL117/MHL117A/MHL117B/MHL117Q. Rev.9.