

РАДИАЦИОННО СТОЙКИЕ КОМПОНЕНТЫ КОМПАНИИ BAE SYSTEMS

BAE Systems – одна из крупнейших в мире международных военно-промышленных корпораций. Центр полупроводниковых технологий BAE, расположенный в США, выпускает все электронные компоненты, которые необходимы для создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, и на протяжении многих лет является мировым лидером в области радиационно стойких полупроводниковых нанотехнологий. С 2009 года продукцию BAE Systems можно приобрести и в России. ЗАО "БА Электроникс" (BA Electronics) эксклюзивно уполномочено импортировать и распространять на условиях ИТАР радиационно стойкие электронные компоненты, выпускаемые Корпорацией BAE Systems, обеспечивать выполнение гарантийных обязательств и техническую поддержку всех потребителей на территории России, а также республик, ранее входивших в состав СССР. Один из наиболее интересных продуктов BAE – микропроцессорный комплект RAD750, включающий в себя как собственно процессор, так и набор периферийных микросхем, позволяющих собрать полноценную вычислительно-управляющую систему высокой производительности.

МИКРОПРОЦЕССОР RAD750

Мощный 32-разрядный RISC-процессор RAD750 представляет собой радиационно стойкий аналог процессора IBM PowerPC 750. Семейство процессоров PowerPC 740/750 появилось в 1997 году как альтернатива процессорам Intel Pentium и благодаря малому энергопотреблению широко применялось в ноутбуках и моноблоках. Так, например, процессоры IBM PowerPC 750 использовались в компьютерах iMac и iBook, выпускавшихся компанией Apple. Несмотря на то, что развитие данного семейства для "гражданских" приложений фактически прекратилось несколько лет назад, удачная архитектура процессора дала семейству "вторую жизнь" в военных и особенно космических проектах. Сравнительно небольшое (около 11 млн.) количество транзисторов позволяет изго-



А.Попович
popovich@bae-radhard.ru

товить данный процессор по стандартной полупроводниковой технологии 0,25 мкм с площадью кристалла всего 130 мм².

В Центре полупроводниковых технологий BAE Systems 750-й процессор реализован на основе технологии R25. Это технология изготовления больших интегральных микросхем повышенной радиационной стойкости с технологической нормой 0,25 мкм. BAE Systems использует R25 для создания микросхем различного функционального назначения. Все изделия, выполненные с помощью R25, обеспечивают:

- радиационную стойкость по накопленной дозе не менее 200 крад;
- бесперебойное функционирование при кратковременном облучении $2 \cdot 10^7$ рад/с;
- сохранение работоспособности после 50 нс импульсного облучения 10^{12} рад/с;
- стойкость к тяжелым заряженным частицам (ТЗЧ) с энергией < 120 МэВ·см²/мг;
- стойкость к нейтронному потоку до 10^{13} Н/см².

Технология R25 позволяет достичь тактовой частоты процессора до 132 МГц при рабочем напряжении 3,3 В. Это позволяет установить новые стандарты производительности вычислительных систем в условиях радиационного воздействия.

Как типичный представитель семейства PowerPC 740/750, RAD750 использует шинный интерфейс 60x с развитой системой арбитража шин данных и адреса, позволяющей работать с различными схемами потокового чтения и записи. Существенно ускоряет производительность системы на основе RAD750 многоуровневое кэширование инструкций и данных. Непосредственно в кристалле процессора реализованы два модуля кэш-памяти по 32 Кбайт для данных и инструкций и контроллер L2 Tag, управляющий синхронным 72-разрядным внешним кэшем L2. Шины адреса и данных системной памяти и L2 снабжены линиями контроля четности (рис.1). Для отладки программного обеспечения реализован интерфейс JTAG, который позволяет также получить доступ к модулю аппаратного самотестирования процессора ABIST.

К особенностям RAD750 следует отнести также развитую схему динамического контроля производительности и энер-



Рис. 1. Основные сигналы микропроцессора RAD750

гопотребления, позволяющую эффективно управлять работой бортового вычислителя в условиях ограниченных запасов электроэнергии на борту космического аппарата.

Процессор сохраняет работоспособность в диапазоне температур $-55...125^{\circ}\text{C}$ при накопленной дозе до 200 крад и облучении нейтронным потоком 10^{12} N/cm² с частотой отказов $1,6 \cdot 10^{-10}$ на бит в сутки. Потребляемая мощность составляет от 400 мВт в спящем режиме до 5 Вт в режиме максимальной активности. Микросхема выпускается в керамическом корпусе column grid array CCGA-360 (рис.2).

Все указанные особенности процессора RAD750 позволяют построить эффективный и современный бортовой вычислитель для космического аппарата.

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРОВ НА БАЗЕ RAD750

Для построения полнофункциональных бортовых компьютеров для космических аппаратов на основе процессора RAD750 компания BAE Systems выпускает широкий спектр электронных компонентов (рис.3), которые теперь доступны и в России.

Первая группа компонентов – это набор вспомогательных чипов для RAD750, которые позволяют эффективно соединять процессор с наиболее распространенными узлами современной цифровой аппаратуры на борту космического аппарата. К ним относятся, в частности, мост PCI 2.2, многоканальный интерфейс SpaceWire, контроллер памяти, быстродействующий кэш второго уровня.

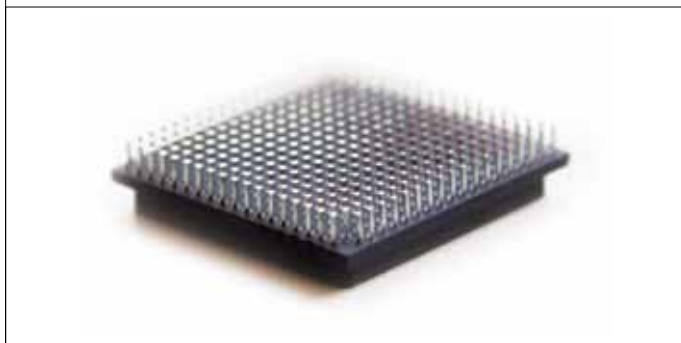


Рис.2. Корпус CCGA

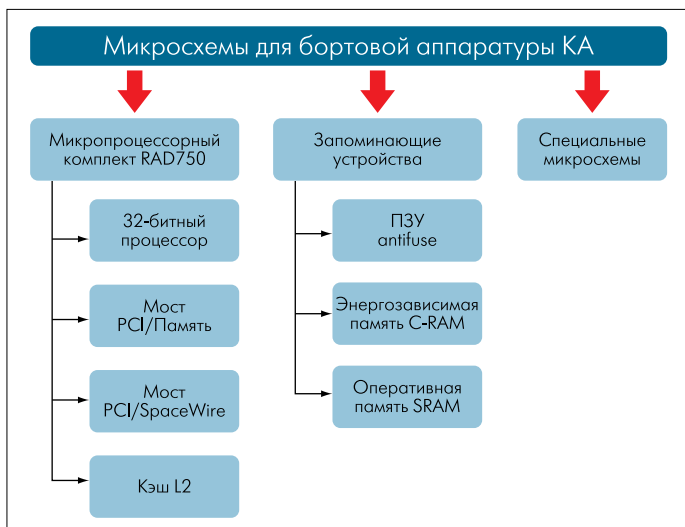


Рис.3. Радиационно стойкие микросхемы BAE Systems

BAE Systems выпускает также широкий ассортимент микросхем памяти, работающих с различными напряжениями питания. Это, например, SRAM Millenium – семейство высокоскоростных микросхем радиационно стойкой асинхронной оперативной памяти: время чтения и записи данных составляет всего 15 нс. Выполненная по технологии R25 микросхема памяти представляет собой от одного до пяти кристаллов, установленных в одном корпусе. Она может быть использована в любых современных электронных системах на борту космического аппарата и обеспечивает высокий уровень надежности в условиях повышенной радиации и расширенного диапазона температур (-55...140°C). Для изделий семейства SRAM Millenium, в зависимости от модификации, обеспечивается стойкость по накопленной дозе 100 крад или 200 крад, стойкость к ТЗЧ с энергией < 120 МэВ·см²/мг и нейтронному потоку до 10¹³ N/см². Ожидаемая частота отказов при этом составляет не более 10⁻⁹ на бит в сутки. В настоящий момент доступны конфигурации 512K×32, 512K×40, 1M×8, 2M×8 в корпусе flatpack-84 а также 512K×8 в корпусах flatpack-36 и flatpack-40.

Безусловным технологическим прорывом в области запоминающих устройств является C-RAM – семей-

Основные характеристики одноплатного компьютера RAD 750 CompactPCI 3U

Параметр	Значение
Масса, г	549
Тактовая частота процессора, МГц	132
Энергопотребление, Вт (при напряжении 3,3 В)	10,2
Объем памяти	До 128 Мбайт SDRAM, до 256 Кбайт ROM
Интерфейс	PCI 2.2
Радиационная стойкость по накопленной дозе, крад	100
Ожидаемый поток отказов на геостационарной орбите	Не более 1,9·10 ⁻⁴ в сутки
Рабочий диапазон температур, °С	-55...70

ство микросхем памяти нового поколения на основе эффекта изменения фазы, изготавливаемых по технологии R25. Это разновидность энергонезависимой памяти NVRAM (Non Volatile Random Access Memory). Технология создания микросхем памяти на основе эффекта изменения фазы была разработана компанией Ovonyx в рамках сотрудничества с компанией Lockheed Martin Aerospace Electronic Systems (с 2000 года – часть Корпорации BAE Systems). Сегодня компания BAE является мировым лидером в области разработки и производства микросхем энергонезависимой памяти с запоминающими элементами на основе сплавов Ge-Sb-Te. Электрическое сопротивление наноземента из сплава Ge-Sb-Te существенно изменяется в зависимости от того, в аморфном состоянии находится сплав или в кристаллическом. Переход между фазами осуществляется под воздействием импульсов тока длительностью не более 1000 нс. Очевидно, фазовое состояние вещества мало зависит от накопленной дозы радиации и потоков тяжелых частиц. Поэтому, в отличие от элементов с флеш-памятью, подобные элементы способны надежно хранить информацию неограниченно долгое время. Сегодня микросхемы семейства C-RAM выпускаются в конфигурациях 512K×8 (требуется внешняя схема ECC) и 256K×8 (со встроенной схемой коррекции ошибок) в керамическом корпусе flatpack-40, а также 512K×32 в корпусе flatpack-84. Микросхемы гарантируют до 100000 циклов перезаписи и срок хранения данных 50 лет (при температуре до 70°C, накопленной дозе до 200 крад и наличии схемы коррекции ошибок).

Безусловный успех электронных компонентов компании BAE Systems подтвержден как надежной работой в нескольких десятках американских космических миссий, так и растущим применением во вновь разрабатываемых проектах космических аппаратов всех классов: от малых спутников до научных станций для изучения глубокого космоса и других планет Солнечной системы. Так, например, системы на основе RAD750 обеспечивают управление телескопом NASA Kepler, установлены на борту улетевшего на Марс аппарата Mars Reconnaissance Orbiter, спутников разведки WorldView 1 и 2 и многих других аппаратов.

ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Располагая описанным выше набором микросхем, можно создать полетный компьютер или интеллектуальный прибор, соответствующий самым современным требованиям и тенденциям космического приборостроения. Если времени на разработку собственного решения недостаточно, то можно приобрести один из готовых процессорных блоков, выпускаемых серийно BAE Systems.

Так, например, доступен готовый одноплатный полетный компьютер на базе RAD750 в формате CompactPCI 3U



(см. таблицу), который успешно применялся в экспедиции на Марс.

Также выпускается полетный компьютер в формате 6U весом 1220 г и объемом памяти до 48 Мбайт SRAM и до 4 Мбайт NVRAM с энергопотреблением не более 14 Вт (при напряжении 3,3 В).

Более подробная информация о микропроцессорах RAD750, а также о другой продукции и технологиях BAE, разрешенных к ввозу в Российскую Федерацию на условиях ITAR, представлена на сайте BAE-RH.RU. Специалисты BA Electronics будут рады помочь найти ответы на интересующие потребителя вопросы.



Награда российским изобретателям

Специалисты ЗАО "НПП "Гамма" (Фрязино, Московская область) Г.П.Щелкунов, И.М.Олихов и Д.М.Петров награждены на конкурсе изобретателей (Страстбург, Франция) и департаментом радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ золотыми медалями за изобретение "Излучатель СВЧ-энергии". Суть изобретения заключается в следующем. В СВЧ-источниках (например, в мощных клистронах) для генерации 20–75 МВт СВЧ-энергии с помощью импульсных источников массой от 3 т формируются релятивистские сильноточковые (до 200 А) электронные потоки, а для получения 100 МВт СВЧ-энергии требуется несколько СВЧ-источников массой до 15–25 т. В изобретенном СВЧ-источнике для генерации СВЧ-энергии мощностью до 100 МВт для формирования электронного потока с напряжением 15–20 кВ и током 30–50 А достаточен импульсный ис-

точник массой до 15 кг. Такой источник можно использовать в "силовых" системах РЭП (радиоэлектронного противодействия), размещая на самолетах, ракетах, спутниках.

Предложенный излучатель СВЧ-энергии объединяет в едином вакуумном блоке генератор СВЧ-мощности, который подает на зазор резонатора высокое СВЧ-напряжение, коаксиальный высокодобротный резонатор и СВЧ-тракт вывода энергии. При использовании полуволнового резонатора и волноводного вывода энергии возможно получение импульсной мощности до 100 МВт.

По сравнению с известными устройствами излучатель имеет на порядок меньшие габариты, массу и стоимость. Аналогов в РФ и за рубежом нет.

НПП "Гамма"