

Бортовые компьютеры космических аппаратов из компонентов BAE Systems

Александр ПОПОВИЧ
popovich@bae-radhard.ru

Возможности Центра полупроводниковых технологий BAE Systems, расположенного в городе Манассас, США, по изготовлению радиационно-стойких электронных компонентов позволяют создавать цифровые СБИС с выдающимися показателями производительности и надежности. Более 500 бортовых ЭВМ, собранных инженерами BAE из микросхем собственного производства, успешно работали и работают в космосе. Сегодня как компоненты, так и готовые изделия BAE доступны российским разработчикам, у которых появилось сразу три возможности: разработать бортовой компьютер самостоятельно, повторить американский или же купить готовый. У каждого из вариантов есть свои плюсы и минусы.

Центр полупроводниковых технологий BAE Systems

Расположенный в штате Вирджиния Центр полупроводниковых технологий (STC) (рис. 1) занимается разработкой и серийным изготовлением радиационно-стойких электронных компонентов с начала 80-х годов XX века. Как в составе корпорации Lockheed Martin (до 2000 года), так и в составе BAE Systems Центр выполняет важную роль, обеспечивая потребности разработчиков космических аппаратов надежной элементной базой собственного производства. В настоящее время в Центре работает около 400 человек, которые осуществляют полный цикл изготовления интегральных микросхем: от первичного контроля материалов и оптической литографии до корпусирования и полномасштабного тестирования готовых изделий по технологии CMOS с нормами 0,8; 0,25 и 0,15 мкм. Кроме того, здесь же производятся радиационно-стойкие микросхемы с однократно-программируемыми ключами по технологии antifuse. Собственно, «кремниевая фабрика» STC площадью около 5000 кв. м содержит рабочие зоны классов 1, 10 и 100.

Тестовые лаборатории Центра позволяют выполнять все испытания в соответствии с MIL-STD 883, включая рентгеновское и гамма-облучение (на основе источника кобальт-60). Для исследования надежности опытной и серийной продукции функционируют девять тестовых систем, оборудованных логическими тестерами, сканирующими и фотоэмиссионными электронными микроскопами и источниками тяжелых заряженных частиц. Центр сертифицирован DSCC



Рис. 1. Здание STC

в соответствии с MIL-PRF-38535 и включен в список «квалифицированных производителей» (QML) и список «доверенных поставщиков министерства обороны США» по категории 1A.

Научная деятельность Центра в настоящее время сосредоточена в двух областях: дальнейшее повышение радиационной стойкости технологии R15, которая приходит на смену отлично зарекомендовавшей себя технологии R25 [1], и развитие технологии халькогенидных наноэлементов энергонезависимой памяти [2]. Есть основания полагать, что новейшие микропроцессоры семейства RAD750 (рис. 2) с технологической нормой 0,15 мкм и тактовой частотой до 600 МГц, а также быстродействующие микросхемы памяти большого объема вскоре станут доступны и отечественным разработчикам.

Бортовые компьютеры BAE Systems

Для обеспечения потребностей американской космической программы BAE разрабатывает, изготавливает и поставляет готовые бортовые ЭВМ. В настоящее время на орбите функционируют как устройства предыдущих поколений (16-разрядный компьютер "1750" и 32-разрядный RISC-компьютер RAD6000), так и современные устройства, построенные на базе новейшего процессора RAD750. Так, например, на борту Fermi Gamma-ray Space Telescope

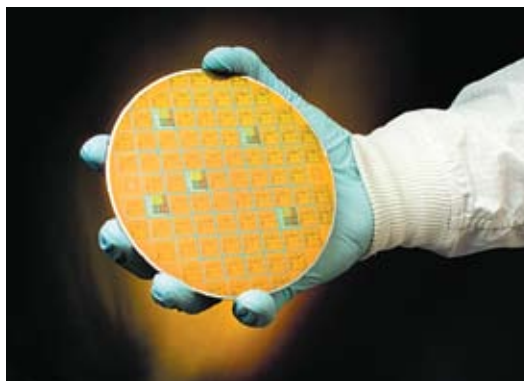


Рис. 2. Пластина с RAD750

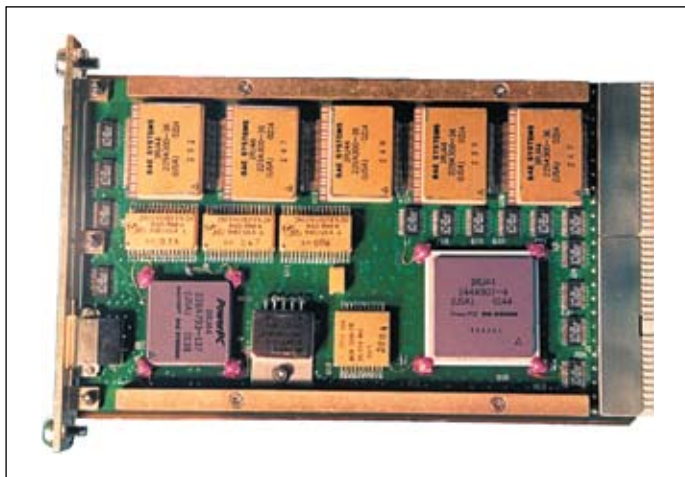


Рис. 3. Одноплатный бортовой компьютер космического аппарата GLAST

(также известного как GLAST) работает сразу 7 компьютеров семейства RAD750 в формате 3U (рис. 3). Все космические аппараты американской программы по изучению Луны (Lunar Precursor Robotic Program) строятся на базе компьютеров семейства RAD750 в формате 6U. Первые два космических аппарата данной программы — LRO (лунный зонд) и LCROSS (спутник для наблюдения и измерения лунных кратеров) — уже были запущены.

Простейший способ быстро получить работоспособный компьютер для работы на орбите или в дальнем космосе — приобрести готовое изделие. Номенклатура выпускаемых в настоящее время одноплатных бортовых ЭВМ для использования в условиях повышенной радиации приведена в таблице. Помимо перечисленных ЭВМ, доступны их различные модификации, отличающиеся несущественно.

Таблица. Бортовые ЭВМ семейства RAD750

Обозначение	Размер	SRAM, Мбайт	SDRAM, Мбайт	EEPROM, кбайт	PROM, кбайт	NVRAM, Мба	SpaceWire	1553
8403110-1	3U	Нет	128	256	нет	нет	нет	нет
8404785-1	6U-220	16	нет	нет	256	4	нет	нет
8404760-2	6U-220	36	нет	нет	64	4	4	2
8419528-1	6U-160	20	нет	нет	64	4	нет	нет

Рассмотрим подробнее пару наиболее характерных представителей семейства RAD750: “8403110-1”, который далее для удобства будем называть 3U, и “8404760-2”, который назовем 6U. Упрощенная структурная схема изделия 3U представлена на рис. 4.

При весе 549 г и тактовой частоте процессора 132 МГц данный компьютер обеспечивает производительность 260 Dhrystone по тесту 2,1 MIPS и среднее энергопотребление в рабочем режиме 10,2 Вт (3,3 В). Для экономии электрической энергии процессор RAD750 в этой схеме может функционировать на 7 фиксированных тактовых частотах (от 4 до 132 МГц) и предусматривает 3 дополнительных режима энер-

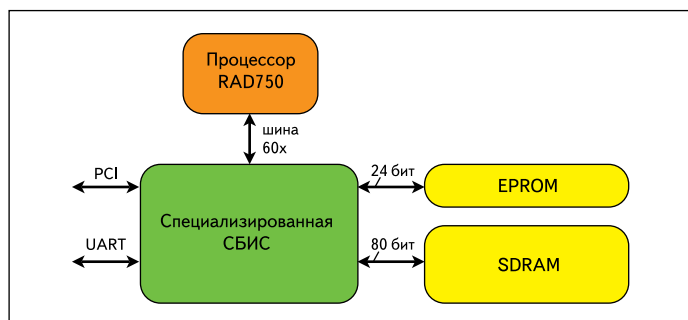


Рис. 4. Структурная схема компьютера RAD750 3U

госбережения с поэтапным выключением питания отдельных функциональных блоков в кристалле, что позволяет применять эту плату в системах с сильно ограниченным бюджетом энергии.

Обращает на себя внимание то, что на рассматриваемой плате не реализован кэш второго уровня, что существенно снижает эффективность вычислительной системы, а также не предусмотрены сетевые интерфейсы. Этот простейший компьютер может быть использован только в составе многоплатной системы, построенной на основе шины PCI (CompactPCI), и вряд ли может быть рекомендован для повторения.

На рис. 5 представлена структурная схема наиболее совершенного на данный момент готового одноплатного компьютера от BAE Systems. При весе менее 1200 г и потреблении электроэнергии не более 20 Вт компьютер обеспечивает одновременную работу 4 каналов SpaceWire и двух линий “1553”. Наличие загрузочной PROM и энергонезависимой памяти программ на основе халькогенидных микросхем C-RAM, процесс программирования которых не подвержен влиянию радиации, позволяет эффективно реализовывать обновление программного обеспечения непосредственно на борту космического аппарата при помощи удаленного доступа.

В отличие от рассмотренной ранее схемы, данное решение обладает оптимальной организацией памяти, однако вызывает сомнения целесообразность прокладки на плате шины PCI, которая используется только для объединения контроллера/роутера SpaceWire, контроллера интерфейса MIL-STD-1553 и вычислительного ядра. Использование данного решения в качестве основы для собственного проекта не представляется разумным, в частности и потому, что малосерийные специализированные СБИС с неизвестной внутренней архитектурой могут стать препятствием для воспроизводства и развития изделия в будущем. Кроме того, общие недостатки обоих рассмотренных решений — отсутствие поддержки системного резервирования и высокая стоимость.

Автору представляется наиболее перспективным путь разработки собственных проектов бортовых вычислителей из компонентов BAE. Используя серийные микросхемы (такие, например, как процессор и память), надежность и функциональность которых неоднократно доказаны на практике, и заменяя специализированные СБИС программируемыми логическими матрицами, спроектированными исходя из реальных потребностей в организации памяти и внешних интерфейсов для конкретного космического аппарата, можно по-

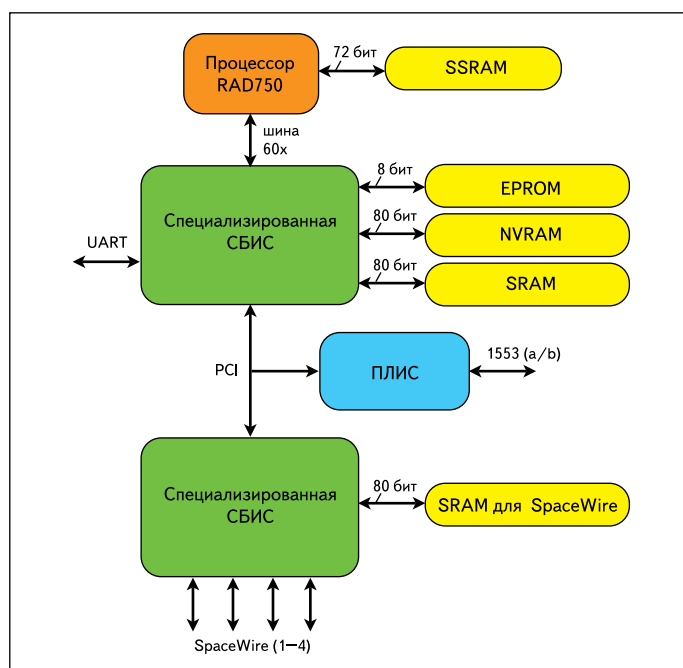


Рис. 5. Структурная схема компьютера RAD750 6U

лучить оптимальное бортовое вычислительно-управляющее устройство. Доступность в России ПЛИС высокой интеграции, сопоставимых с микросхемами ВАЕ по радиационной стойкости, в корпусах ССГА с количеством выводов, достигающим 1152 (например, Actel RTAX), позволяет проектировать и изготавливать полнофункциональные бортовые компьютеры на основе процессора PowerPC (RAD750) с минимальными габаритами. Эти компьютеры будут превосходить по своим характеристикам готовые изделия ВАЕ Systems и при этом существенно дешевле. ■

Литература

1. Попович А. Технология R25 против радиации: новые продукты на российском рынке электроники для космических аппаратов // Компоненты и технологии. 2009. № 12.
2. Попович А. Халькогенидная энергонезависимая память СRAM // Компоненты и технологии. 2010. № 2.
3. Попович А. Сделай сам бортовой вычислитель для полета на Сатурн // Компоненты и технологии. 2010. № 1.