

УДК 629.7.071 DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.1.55.64

Универсальная портативная система функционального контроля бортовой аппаратуры малых космических аппаратов

С. А. Подшивалов, аспирант, м. н. с., podshivalovstas@gmail.com

Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

А. С. Злобин, с. н. с., zlobin@rt.mipt.ru

Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

Т. В. Кондранин, д. ф.-м. н., профессор, tvk494@yandex.ru

Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

С. С. Негодяев, к. т. н., snegod@mail.ru

Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Тестирование и наземная отработка бортовой аппаратуры малых космических аппаратов (МКА) — важная и неотъемлемая задача каждой миссии. В докладе представлены полученные в 2013–2018 гг. в МФТИ результаты исследований и разработки специализированной малогабаритной универсальной системы функционального контроля (СФК) для испытаний бортовой электронной аппаратуры различного назначения для малых КА. Ключевой особенностью созданной СФК является универсальность, реализованная путем построения архитектуры системы на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Также значимым достигнутым результатом являются невысокая стоимость и малые габариты системы по сравнению с представленными на рынке готовыми модульными решениями. Портативность системы позволяет совмещать функциональный контроль и тестирование бортовой аппаратуры с другими типами испытаний, например термовакуумными, что максимально точно симулирует поведение тестируемого прибора на орбите. С помощью данной СФК были проведены комплексное тестирование и функциональный контроль разработанного в МФТИ бортового вычислителя для малых КА.

Ключевые слова: функциональный контроль, наземная отработка, предполетные испытания, бортовая аппаратура, малые космические аппараты

Universal Portable Functional Control System for Small Spacecraft Onboard Equipment

S. A. Podshivalov, postgraduate student, junior researcher, podshivalovstas@gmail.com

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation

A. S. Zlobin, senior researcher, zlobin@rt.mipt.ru

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation

T. V. Kondranin, Dr. Sci (Phys.-Math.), professor, tvk494@yandex.ru

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation

S. S. Negodyaev, Cand. Sci. (Engineering), snegod@mail.ru

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. Testing and ground adjustment of onboard equipment of small spacecraft is an important and integral task of each mission. This article presents the results obtained in 2013–2018 at MIPT of research and development of a specialized small-size universal functional control system (FCS) for verification of onboard electronic equipment for small spacecraft. A key feature of the created FCS is its versatility implemented by building a system architecture based on a field-programmable gate array (FPGA). In addition, significant results are the low cost and small size of the system compared to the modular solutions presented on the market. The portability of the system makes it possible to combine functional control and testing of onboard equipment with other types of tests, for example, thermal vacuum, which most accurately simulates the behavior of the device being tested on the orbit. Comprehensive testing and functional control of the onboard computer for small spacecraft developed at MIPT was completed by means of the developed FCS.

Keywords: functional control, ground adjustment, pre-flight testing, onboard equipment, small spacecraft

Введение

Разрабатываемая бортовая аппаратура (БА) для космических аппаратов проходит ряд предполетных испытаний, и тестирование аппаратуры является ответственной и трудоемкой задачей.

В последние годы в космической индустрии активно развивается сфера малых недорогих космических аппаратов. При разработке бортовой аппаратуры для малых космических аппаратов использование электрорадиоизделий (ЭРИ), квалифицированных для космического применения, становится нецелесообразным в силу их экстремально высокой стоимости. Поэтому в большинстве случаев применяют ЭРИ индустриального исполнения, при этом возникает важный вопрос надежности такой аппаратуры. Вследствие этого тестирование, наземная отработка и проведение предполетных испытаний бортовой аппаратуры МКА требуют особенно пристального внимания.

Актуальность создания

Важную роль в тестировании электронной БА занимает функциональный контроль, который также задействуется при верификации БА, ее подсистем и программного обеспечения [1]. Применение функционального контроля в сочетании с другими типами проверок в рамках наземной отработки и предполетных испытаний позволяет получить более достоверную информацию о состоянии всей полезной нагрузки КА и, следовательно, обеспечить более точный прогноз по функционированию аппаратуры на орбите. Основными испытаниями бортовой электронной аппаратуры космического применения являются:

- термоциклические испытания;
- вакуумные либо термовакуумные испытания;
- радиационные испытания;
- механические испытания (вибрации и ударные нагрузки).

Совмещение каждого типа испытаний с функциональным тестированием БА позволяет быстро обнаружить слабые места в аппаратуре. В этой связи при разработке системы функционального кон-

троля одно из важнейших условий — условие максимального совмещения процедур функционального тестирования БА с другими типами испытаний. Отсюда вытекает важное требование, предъявляемое к СФК, — портативность и удобство использования. В настоящее время из представленных на рынке решений наиболее подходящими являются относительно компактные РХИ- или VХИ-системы и средства тестирования [2]. Оба решения подразумевают набор требуемого функционала путем установки различных модулей в несущее шасси. Как зарубежные РХИ-системы от «National Instruments» [3], так и отечественные VХИ-системы [4] обладают высокой стоимостью, например шасси для РХИ-системы будет стоить минимум 5 тыс. долл. [5], а каждый модуль — от 1 тыс. долл. [6], так общая сумма одной такой системы тестирования обойдется в несколько десятков тысяч долларов. Учитывая необходимость использования параллельно нескольких таких систем для наземной отработки, ценовой фактор имеет очень большой вес. Также при использовании существующих систем необходимо значительное время на их адаптацию, настройку и отладку исходя из требований, предъявляемых к конкретной БА. При этом большинство разрабатываемой бортовой аппаратуры не унифицировано. Бортовая аппаратура постоянно модернизируется, и каждое новое изделие имеет существенные отличия от предшествующего образца БА. Как следствие, использование ранее разработанного стенда тестирования для проверки нового изделия того же назначения становится невозможным. Поэтому целесообразным решением для обеспечения оперативного тестирования разрабатываемой аппаратуры является использование системы с высокими показателями универсальности для проведения наземных испытаний и отладки бортовой аппаратуры МКА. Под универсальностью понимается спектр доступной периферии и функционала, а также простота и удобство их реализации.

Для нужд тестирования и проведения функционального контроля бортового вычислителя, созданного в МФТИ, было принято решение самостоятельно разработать специализированную СФК. При этом упор ставился на уменьшение ее массогабаритных характеристик. Помимо этого, стояла задача универсализации СФК, т. е. возможности

ее использования для тестирования другой однотипной бортовой аппаратуры с минимальными доработками. Также упор делался на уменьшение стоимости разработки и изготовления, что позволяет производить несколько СФК для каждого нового разрабатываемого прибора. Это ускоряет и упрощает наземную отработку БА. Таким образом, можно сформулировать три основные задачи при разработке СФК:

- универсальность и гибкость платформы;
- массогабаритные характеристики;
- низкая стоимость.

Универсальность подразумевает не только переконфигурацию конкретной СФК для задач тестирования других устройств, а и в большей степени возможность в кратчайшие сроки с минимальными изменениями и доработками в аппаратной части произвести новое, готовое к эксплуатации устройство для другого образца бортовой аппаратуры МКА. С таким определением универсальности эффект гибкости платформы начинает играть еще большую роль, т. к. это сильно упрощает адаптацию вновь произведенной СФК под новый тестируемый образец бортовой аппаратуры. Это касается как аппаратной части, так и специального программного обеспечения. Такой подход отражает концепцию наследия и преемственности при проектировании и разработке средств тестирования и функционального контроля.

Разработанная СФК представляет собой универсальный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для решения следующих задач:

- проверки токов потребления;
- контроля допустимого диапазона напряжений питания;
- контроля пиковой и средней мощностей тестируемой аппаратуры;
- проверки работоспособности коммуникационных интерфейсов;
- проверки портов ввода/вывода;
- проверки сигналов синхронизации.

Следует подчеркнуть, что по умолчанию СФК не является метрологическим оборудованием, а используется для верификации тестируемого оборудова-

ния, функционального контроля коммуникационных интерфейсов и прочих узлов. При необходимости можно провести поверку СФК и перекалибровать ее в контрольно-измерительное оборудование.

Технические основы

Исходя из требований, предъявляемых к СФК, было решено проектировать систему, опираясь на структуру современных бортовых вычислительных машин. Такой подход гарантирует высокую надежность, достаточную производительность и компактность системы. Требования к гибкости платформы и универсальности системы определили архитектурную основу СФК: было решено строить систему на базе программируемой логической интегральной схемы. Исследования зарубежной литературы и трудов конференций показало, что большинство современных высоконадежных бортовых вычислительных машин строятся на основе вычислительного ядра Leon3-FT [7–9]. Данное ядро имеет высокие показатели радиационной стойкости и крайне положительно себя зарекомендовало в полетных миссиях [10]. Широкое распространение процессоры на данном ядре получили потому, что Leon3 [11] распространяется в виде библиотек [12], в состав которых входит не только вычислительное ядро, но и богатый набор периферии, что в свою очередь позволяет строить законченные системы на базе программируемой логической интегральной схемы с гибкой внутренней структурой (пример системы на кристалле в ПЛИС СФК — рис. 1).

В качестве основы СФК выбрана именно программируемая логическая интегральная схема, ее использование позволяет как строить стандартную систему на основе ядер Leon3, так и разрабатывать специализированные модули на VHDL под каждый нестандартный тестируемый образец БА. Такой подход позволяет повысить показатели универсальности системы и охватить широкий спектр возможной тестируемой аппаратуры с помощью СФК. При этом для наземного применения нет необходимости в использовании ядра с повышенными отказоустойчивыми характеристиками (версия FT — fault tolerance), а достаточно свободно

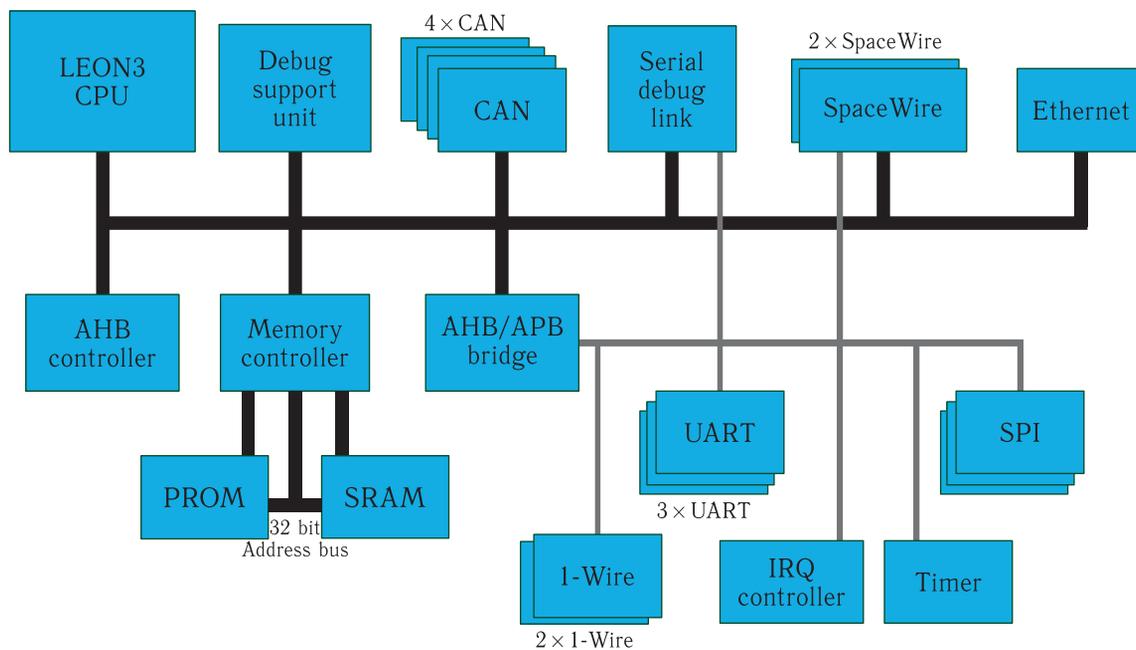


Рис. 1. Система на кристалле, реализованная в ПЛИС (LEON3 CPU — процессор LEON3; Debug support unit — контроллер отладочного модуля процессора; CAN — контроллер интерфейса CAN; Serial debug link — контроллер отладочного последовательного интерфейса; Ethernet — контроллер интерфейса Ethernet; SpaceWire — контроллер интерфейса SpaceWire; SPI — контроллер интерфейса SPI; UART — контроллер интерфейса UART; Timer — счетчик; IRQ controller — контроллер прерываний; 1-Wire — контроллер интерфейса 1-Wire; AHB/APB bridge — мост между основной и периферийной шиной; Memory Controller — контроллер памяти; SRAM — оперативная память; PROM — флеш-память; AHB — контроллер основной высокопроизводительной шины)

распространяемой GPL-версии ядра Leon3. Еще один плюс системы на ПЛИС — ее малый размер и малый размер требуемой аппаратной периферии, что является одним из ключевых факторов для достижения поставленных задач.

Нулевое поколение — прототип

Разработка СФК началась в 2013 году. Тогда непосредственно стояла задача провести функциональный контроль и ряд предполетных испытаний разрабатываемого бортового вычислителя. За основу были взяты технические наработки и решения, полученные в ходе создания самого бортового вычислителя. Для сокращения сроков производства и проверки гипотез аппаратной и программной частей было принято работать непосредственно с образцом бортового вычислителя предыдущего поколения. Такой подход был возможен, т. к. архитектура бортового вычислителя также построена на ПЛИС, которая имеет определенную

гибкость и возможность изменения конфигурации. Для обеспечения совместимости и возможности проведения испытаний доработан физический уровень в части расширения функционала коммуникационных интерфейсов, была изменена конфигурация и распайка коннекторов, разработана прошивка ПЛИС для нужд тестирования, а также полностью написано специализированное ПО для проведения функционального контроля. Следует подчеркнуть, что основная работа состояла именно в разработке ПО для проведения тестирования, а также в создании прошивки ПЛИС с необходимым функционалом. Данная разработка стала прототипом СФК, ее можно назвать «СФК нулевого поколения» (рис. 2), которая обладала следующими техническими характеристиками:

- производительность 25 MIPS;
- объем SRAM-памяти 16 Мбайт;
- объем FLASH-памяти 64 Мбайт;
- напряжение питания от 5 В до 26 В;

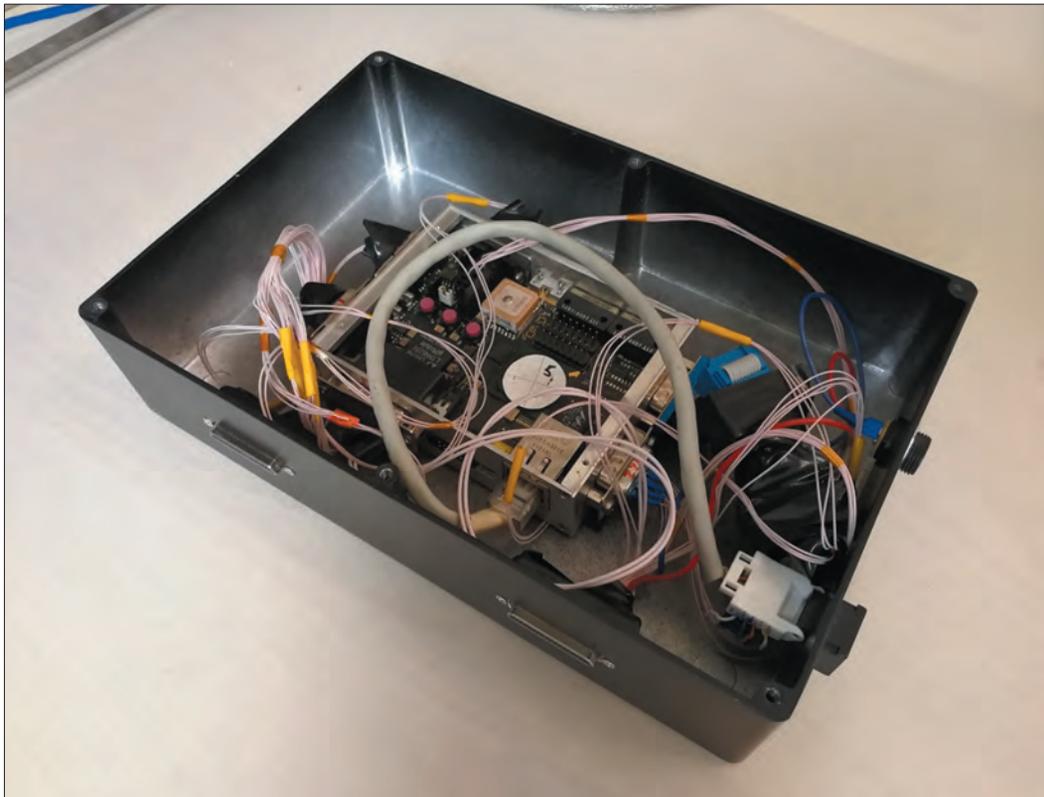


Рис. 2. СФК нулевого поколения (прототип)

- поддержка интерфейсов:

- CAN 2 шт.;
- RS-485 1 шт.;
- RS-422 1 шт.;
- SPI 2 шт.;
- Ethernet 1 шт.;
- 1-Wire 1 шт.

СФК нулевого поколения в полной мере справилась с поставленными задачами, тем самым завайдировав концепцию создания малогабаритных приборов на ПЛИС при проектировании контрольно-проверочной аппаратуры.

Первое поколение — универсальность

Следующей вехой в развитии стало создание специализированной СФК для нужд тестирования нового поколения бортового вычислителя, разрабатываемого в МФТИ. Основной задачей при проектировании было заложить универсальность,

что фактически свелось к проработке программно-аппаратных решений, оперируя конфигурацией которых можно получить требуемый функционал под любой другой образец БА. Ядром всей архитектуры СФК является ПЛИС, поэтому правильный выбор микросхемы определяет достижимость всех поставленных задач при разработке СФК. Первичный обзор рынка представленных на рынке ПЛИС определил тип будущей микросхемы — FPGA (англ. Field-Programmable Gate Array). Такие микросхемы обладают на порядок большим количеством ячеек и позволяют строить более сложные системы в силу особенностей архитектуры в сравнении с CPLD- (англ. Complex Programmable Logic Device) устройствами [13]. Изначально ядро Leon3-FT было разработано для создания систем на кристалле и идеальной работы на базе радиационно стойких ПЛИС RTAX и RT ProASIC3 от компании Actel. Затем стали проводиться исследования дизайнов на процессорном ядре Leon3-FT и систем на кристалле для ПЛИС компании Xilinx семейства Virtex [14].

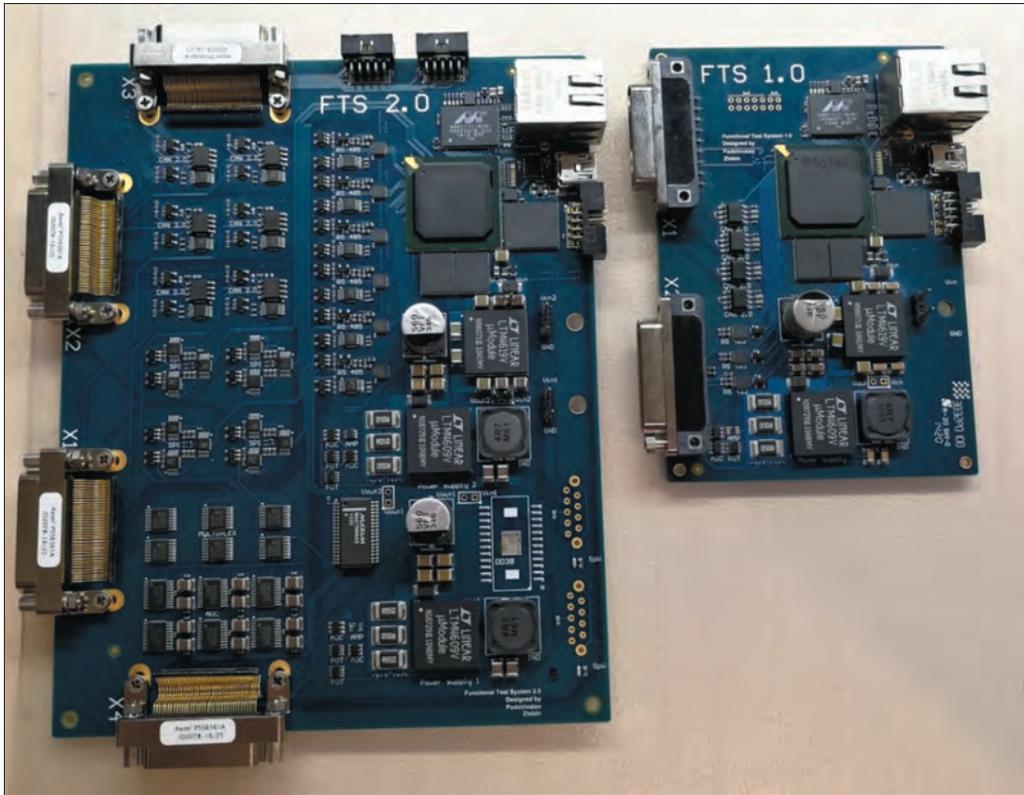


Рис. 3. СФК первого поколения (справа) и второго поколения (слева)

При этом микросхемы Xilinx в несколько раз дороже, а для Actel доступен более широкий спектр документации в силу идеальной совместимости с процессорным ядром и большого количества полетных миссий с такой конфигурацией. Поэтому для наземного применения в качестве основы цифровой части СФК была выбрана индустриальная ПЛИС семейства ProASIC3E AZPE3000, производимая фирмой Actel. Такая же ПЛИС стояла в СФК нулевого поколения и оказалась оптимальной для применения в данной системе. ПЛИС семейства ProASIC3E обладают высокой производительностью и низким энергопотреблением, высокой степенью интеграции и объемом матрицы в три миллиона системных вентилей. В отличие от большинства других ПЛИС, требующих загрузки конфигурации из внешнего источника, ProASIC3E начинает работать сразу после подачи питания. Также на выбор данного семейства повлияло большое количество наработок, в частности касаясь разработанной системы на кристалле для ПЛИС, которая зарекомендовала себя в нулевом поколении СФК.

Данная разработка стала полноценной «СФК первого поколения» (рис. 3, справа). Первое поколение СФК во многом имеет отсылки к прототипу в части надежных и уже отработанных решений, при этом был расширен перечень интерфейсов на борту. Одним из новшеств стала система подачи питания и контроля и измерения параметров, таких как ток, напряжение и мощность. Программное обеспечение и все тесты для функционального контроля были сведены в единую программу и запущены на операционной системе реального времени RTEMS с целью слаженной и бесперебойной работы СФК и тестируемой аппаратуры. Синхронизация двух устройств происходила по шине CAN, тестирование которой осуществлялось в первую очередь. Положительный результат тестирования шины CAN открывал доступ к остальному набору проверок. Основные технические характеристики СФК первого поколения приведены ниже:

- производительность 25 MIPS;
- объем SRAM-памяти 16 Мбайт;

- объем FLASH-памяти 64 Мбайт;
- напряжение питания от 5 В до 26 В;
- диапазон выходного напряжения (входного для тестируемой БА) от 2,5 В до 25 В;
- максимальный выходной ток 4 А;
- поддержка интерфейсов:
 - SpaceWire 3 шт.;
 - CAN 4 шт.;
 - RS-485 2 шт.;
 - RS-422 1 шт.;
 - SPI 3 шт.;
 - Ethernet 1 шт.;
 - I-Wire 2 шт.;
 - 14 свободных портов ввода/вывода для масштабирования и адаптации СФК.

Важно подчеркнуть, что созданная СФК может быть адаптирована под задачи тестирования других устройств только путем изменения ПО, построенной в ПЛИС системы на кристалле, а при крайней необходимости путем внесения изменений в аппаратную часть. Оценки показали, что времени для модернизации (адаптации) СФК с учетом производственного процесса потребуется не более, чем времени на закупку, сборку и настройку готового представленного на рынке решения. Именно в данном поколении была заложена основная ценность СФК — универсальность. На этапе проектирования все решения принимались с оглядкой на возможность масштабирования, модификации и адаптации платформы СФК. Набор интерфейсов и перечень протоколов, простота проектирования и сроки производства, стоимость и массогабаритные характеристики — все это составляет основу «универсальности» СФК.

При разработке и изготовлении данного поколения СФК была выполнена и завалидирована другая задача — низкая стоимость. Себестоимость готового изделия СФК составляет 1000–1500 долл. в зависимости от набора периферии и количества интерфейсов, куда включены производство печатных плат, непосредственно компоненты и их монтаж. СФК преимущественно построена на импортной индустриальной элементной базе, поэтому ценообразование привязано к иностранной валюте. Стоимость единицы СФК на порядок ниже аналогичной по функционалу системы, построенной

на базе PXI-модулей. При этом габариты в несколько раз меньше и соизмеримы лишь с одним модулем PXI-системы. Срок производства СФК составляет порядка одного календарного месяца, который включает параллельные процессы изготовления печатных плат и доставки компонентов с последующим этапом монтажа. С учетом заложенной концепции преемственности и наследия данные показатели стоимости и сроков применимы ко всем будущим поколениям и модификациям СФК.

Второе поколение — функциональность

Для бортовой аппаратуры ключевым показателем является надежность, поэтому для наиболее важных и ответственных узлов, агрегатов и приборов реализовано полное дублирование. Такие приборы можно представить в виде двух независимых полуконфигуров. Именно для возможности тестирования подобных устройств была разработана СФК второго поколения. В данной версии был расширен набор интерфейсов, например был добавлен MIL-STD-1553, были реализованы два независимых контура питания тестируемой аппаратуры, позволяющие автономно подавать питание на различные полуконфигуры, в реальном времени изменять параметры и измерять их, параллельно проводя необходимые функциональные проверки. Текущий функционал второго поколения содержит на борту все современные интерфейсы, позволяющие проводить испытания большинства разрабатываемых цифровых бортовых устройств. Данная СФК сохранила малые габариты, что является важным фактором при ее использовании в ходе предполетных испытаний.

Очередное эволюционное изменение коснулось не только аппаратной части и прошивки, а также и программного обеспечения. Для данной версии СФК доступна удобная графическая версия ПО, позволяющая как провести полный цикл проверок, так и работать выборочно с определенными тестами. Пример окна программы приведен на рис. 4.

Основные технические характеристики СФК второго поколения (рис. 5):

- габариты в корпусе 135 × 165 × 25 мм;
- производительность 25 MIPS;
- объем SRAM-памяти 16 Мбайт;

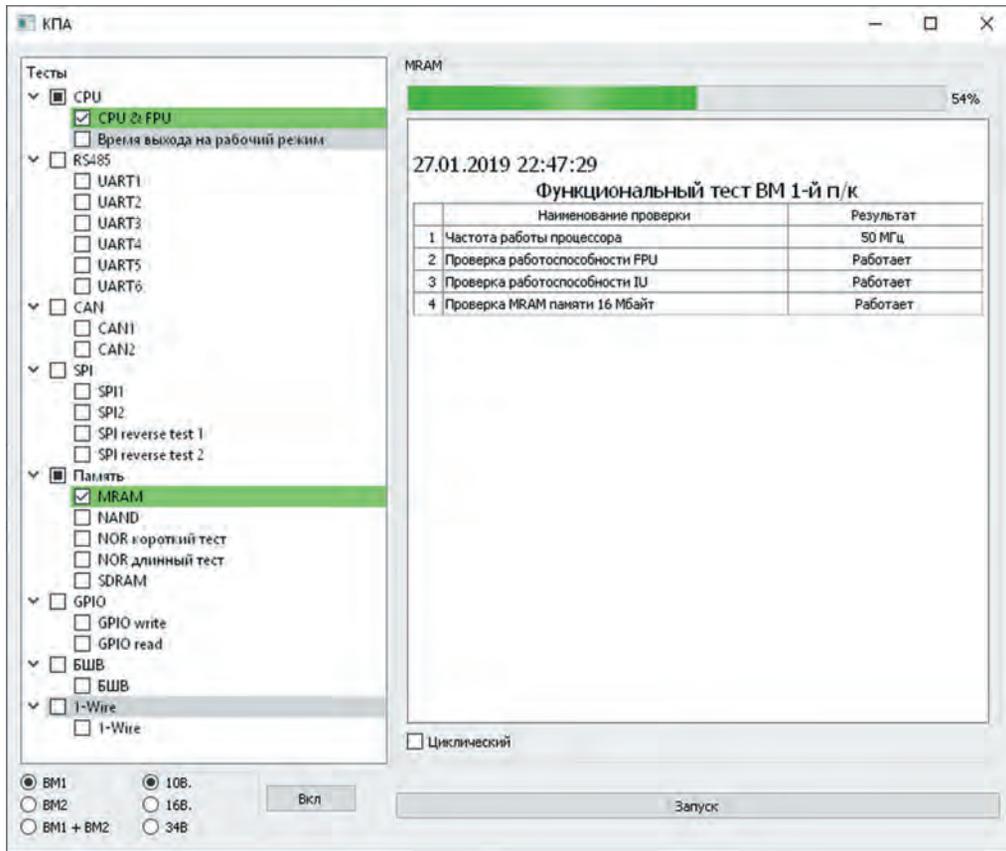


Рис. 4. Окно программы проведения тестирования



Рис. 5. Второе поколение СФК в корпусе

- объем FLASH-памяти 64 Мбайт;
- напряжение питания от 5 В до 26 В;
- диапазон выходного напряжения (входного для тестируемой БА) от 2,5 В до 34 В;
- максимальный выходной ток 4 А;
- наличие системы измерения сигналов основных интерфейсов;
- поддержка интерфейсов:
 - SpaceWire 5 шт.;
 - CAN 6 шт.;
 - RS-485 6 шт.;
 - SPI 6 шт.;
 - Ethernet 1 шт.;
 - 1-Wire 4 шт.;
 - MIL-STD-1553 2 шт.;
 - UART для подключения и отладки БА 2 шт.;
 - 10 портов GPIO.

Третье поколение — мобильность

Широкий спектр испытаний, включая радиационные, термовакуумные, виброиспытания, подразумевает различную географию их проведения. В таких условиях для СФК важным фактором является удобство использования, время готовности к работе и простота перевозки. Чтобы превратить СФК в максимально удобный инструмент, в настоящее время ведется работа по созданию третьего поколения устройства — единого прибора, включающего все необходимые компоненты для автономной работы СФК. Внутри пылевлагозащищенного кейса с классом защиты IP67 будут собраны следующие компоненты: непосредственно плата СФК, блок питания, портативный компьютер, устройство отображения информации, устройства ввода. Фактически система будет представлять собой увеличенный в габаритах ноутбук, открыв который и подключив к разъемам тестируемый образец БА можно провести полный цикл проверок и функциональный контроль.

Выводы

Анализ состояния проблемы позволил выявить обстоятельства, связанные с использованием существующих систем, такие как сложность, время подготовки к тестированию, габариты установок, их стоимость, затраты на испытания и пр. В результате была сформулирована и практически реализована концепция компактной системы для проведения функционального контроля и испытаний электронной БА, позволяющая оперативно и с гарантированным высоким качеством проводить весь комплекс испытаний, предусмотренных техническим заданием, и при этом не требующая больших временных и финансовых затрат. Разработанная СФК использовалась для проведения функционального контроля различных бортовых вычислителей для МКА. С помощью СФК первого поколения проводились термоциклические, радиационные и вакуумные испытания двух бортовых вычислителей, которые на данный момент успешно выполняют свою работу на орбите. С использованием СФК второго поколения еще два бортовых вычислителя прошли полный комплекс испытаний. СФК подтвердила надежность этих вычислителей и готовность изделий к запланированному запуску на орбиту.

Список литературы

1. *Prof. Dr.-Ing. Jens Eickhoff*. Onboard Computers, Onboard Software and Satellite Operations — An Introduction. Institute of Space Systems (IRS), University of Stuttgart, Germany: Shpringer, 2011.
2. *Афанасьев В. Н., Газов Е. В.* Выбор платформы при построении модульных контрольно-измерительных систем // Т-Comm — Телекоммуникации и Транспорт, 2009. С. 88–89.
3. Описание PXI систем от NI. <http://www.ni.com/en-us/shop/pxi.html> (Дата обращения 19.02.2019).
4. *Зайченко С. Н.* Опыт разработки контрольно-измерительных систем на базе российских модульных приборов в открытых стандартах VXI, LXI, AXIe для обеспечения стендовых испытаний и функционального контроля узлов и агрегатов авиационной и ракетной техники // Авиакосмическое приборостроение, 2015, № 2. С. 64–68.
5. Список PXI платформ NI. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/pxi-chassis> (Дата обращения 19.02.2019).

6. Описание модуля CAN интерфейса для PXI платформы. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/pxi-canopen-interface-module> (Дата обращения 26.01.2019).
7. *Shubham Agarwal, Rajiv Bhatia, Padmaavathi N., Sudhakar S., Udupa S.* System on Chip approach for Onboard Computer. IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC), 2013.
8. *Sandi Habinc, Barry Cook, Paul Walker, Jens Eickhoff, Rouven Witt, Hans-Peter Röser.* Using FPGAs and a LEON3FT Processor to Build a “Flying Laptop”. ReSpace / Military and Aerospace Programmable Logic Devices Conference Materials, 2011.
9. *Luo Pei, Zhang Jian.* A high reliable SOC on-board computer based on Leon3. IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2012.
10. *Jens Eickhoff.* A Combined Data and Power Management Infrastructure: For Small Satellites. Germany: Shpringer, 2013.
11. Описание процессора Leon3. <https://www.gaisler.com/index.php/products/processors/leon3> (Дата обращения 19.02.2019).
12. Описание библиотек для системы на кристалле на базе процессора Leon3. <https://www.gaisler.com/index.php/products/ipcores/soclibrary> (Дата обращения 19.02.2019).
13. *Brown S., Rose J.* Architecture of FPGAs and CPLDs: A tutorial // IEEE Design and Test of Computers, 1996. С. 42–57.
14. *Learn M.W.* Evaluation of the Leon3 Soft-Core Processor Within a Xilinx RadiationHardened Field-Programmable Gate Array. SANDIA REPORT — SAND2012-0454, 2012.