

Комплекс тестирования цифровой аппаратуры бортового ретранслятора космического аппарата

Сергей Стругов

Описанный комплекс тестирования устройств бортового ретранслятора космического аппарата выполнен на модулях ADAM серии 4000. Разработка проведена на основе анализа организации управления и телеметрического контроля бортовой аппаратуры. Представлены основные принципы построения комплекса, приведены его технические характеристики и необходимые схемы. Показано, что реализованный в комплексе модульный подход позволяет сократить временные и финансовые затраты на требуемые проверки, а также обеспечивает простую и быструю перенастройку комплекса на другой тип тестируемой аппаратуры.

Введение

С каждым десятилетием нарастают темпы освоения космоса. Современные многочисленные потомки первого искусственного спутника Земли заняли различные орбиты в околоземном пространстве. Их роли и решаемые задачи различны. Здесь представлены спутники связи и метеорологические, спутники экологического мониторинга, специального назначения, научные и даже учебные. У всех космических аппаратов (КА) есть наукоёмкая «начинка», которая заключена в специально приспособленный для жёстких условий космоса корпус. Внутри этой оболочки находится сложнейшая аппаратура, функционирующая согласно заложенной программе автоматически либо по командам с Земли. Для того чтобы КА правильно и надёжно функционировал на орбите, ещё на Земле должно быть проведено большое количество проверок и тестов с целью устранения возможных неполадок.

Проблемы контроля и тестирования

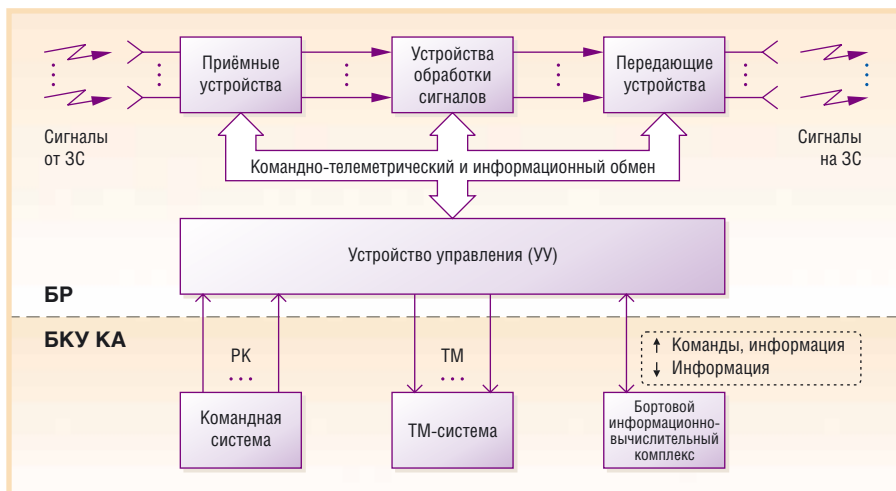
Бортовой ретранслятор (БР) в составе КА осуществляет приём, обработку и ретрансляцию информации. В качестве её источников и получателей выступают земные станции (ЗС). Между БР и бортовым вычислительным комп-

лексом КА осуществляется командно-телеметрический и информационный обмен.

Первый контроль БР необходимо проводить уже на этапе разработки отдельных его узлов. Это создаёт проблемы не только проверки аппаратуры, но и обеспечения возможности простого и удобного для оператора контроля корректности функционирования системы. Таким образом, на начальном этапе проектирования системы возникает ещё одна немаловажная задача —

тестирование и отладка управляющей системы. Важность этой задачи не вызывает сомнения, так как в комплексе управляющая система занимает ведущее место и её выход из строя или некорректная работа способны сделать бесполезной даже правильную работу отдельных функциональных блоков.

Для решения данной проблемы обычно используют специально создаваемую контрольную проверочную (КПА) и тестовую наладочную аппаратуру (ТНА). Как правило, проверочная



Условные обозначения:

БКУ КА — бортовой комплекс управления космического аппарата; БР — бортовой ретранслятор; ЗС — земная станция; РК — разовые команды; ТМ — телеметрия.

Рис. 1. Схема взаимодействия УУ бортового ретранслятора с различными системами и устройствами КА

(тестирующая) система состоит из аппаратной и программной частей.

УПРАВЛЕНИЕ И ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БОРТОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА

Рассматриваемый БР с обработкой сигналов является полезной нагрузкой связного КА. Он осуществляет приём информационных сигналов от ЗС, их усиление, обработку (демодуляцию, декодирование с последующим кодированием и модуляцией несущих частот) и передачу на ЗС.

Данный БР является сложным многофункциональным комплексом, в котором можно выделить следующие основные элементы (рис. 1):

- приёмно-передающие устройства (антенны, конверторы частоты «вниз» и «вверх», усилители мощности);
- устройства обработки сигналов (УОС);
- устройство управления (УУ).

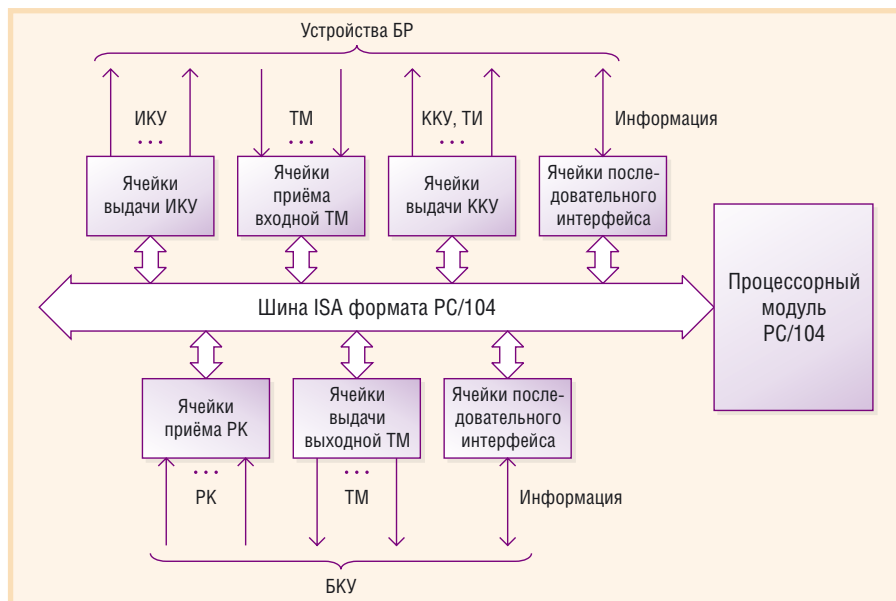
УУ в составе БР взаимодействует, с одной стороны, с устройствами БР, с другой стороны — с системами бортового комплекса управления (БКУ) КА, в том числе с командной системой, телеметрической системой (ТМ-системой) и бортовым информационно-вычислительным комплексом (БИВК).

Такое построение системы управления БР с использованием УУ (так называемое централизованное управление) ведёт к существенному выигрышу по массе и потребляемой мощности устройств БР по сравнению с вариантом создания распределённой системы управления, в которой блоки и устройства БР управляются и телеметрируются непосредственно от БКУ. Вследствие естественных ограничений БР по массе и потребляемой мощности такой выигрыш является определяющим.

Система управления БР с использованием УУ была успешно применена в БР «СФИНКС» для КА «Купон», созданного по заказу ЦБ РФ (разработки ГУП НПО «СПУРТ»).

УУ осуществляет командно-телеметрическое и информационное взаимодействие с системами БКУ следующими типами сигналов:

- разовые команды (РК) «провод-команда», поступающие от командной системы импульсами — 27 В длительностью 0,2...0,6 с;
- ТМ-сигналы, выдаваемые УУ в ТМ-систему, подразделяющиеся на сигнальные (логические 0/1) и аналоговые (напряжение 0...6 В);



Условные обозначения:

БКУ — бортовой комплекс управления; БР — бортовой ретранслятор; ИКУ — импульсные команды управления; ККУ — кодовые команды управления; ТИ — тактовые импульсы; РК — разовые команды; ТМ — телеметрия.

Рис. 2. Структурная схема одного канала УУ БР

- сигналы последовательного интерфейса (RS-485) с БИВК.

УУ для управления и телеметрирования устройств БР обменивается с ними сигналами следующих типов:

- импульсными командами управления (ИКУ) напряжением 3,4...5 В и длительностью 1...200 мс;
- кодовыми командами управления (ККУ), выдаваемыми из УУ последовательным 16- или 32-разрядным кодом в сопровождении тактовых импульсов;
- сигналами последовательных интерфейсов (RS-232, RS-485);
- дискретными и аналоговыми ТМ-сигналами.

Число РК, ТМ-сигналов, ИКУ определяется функциональной сложностью БР и достигает сотен штук для каждого типа команд или сигналов телеметрии. Все перечисленные типы управляющих и ТМ-сигналов задействованы в алгоритмах управления и контроля БР, которые для ретранслятора с обработкой сигналов характеризуются значительной сложностью и требуют достаточно высокого быстродействия УУ.

На рис. 2 представлена структурная схема одного канала УУ БР, центральным ядром которого является процессорный модуль формата PC/104. Приём и выдачу сигналов каждого типа осуществляют специализированные ячейки, связанные с процессорным модулем шиной ISA. В состав специализированных ячеек входят программируемые ло-

гические интегральные схемы (ПЛИС), контроллеры, оптронные развязки и т.п. Следует отметить, что для обеспечения срока эксплуатации БР на орбите 5...10 лет в составе УУ необходимо иметь не менее 3 каналов, следовательно, количество ячеек в УУ утраивается.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕСТИРОВАНИЯ

Процесс регулировки и испытаний большого количества (30-36 шт.) ячеек разных типов и в целом УУ требует создания в приемлемые сроки комплекса тестирования, который бы обеспечивал:

- реализацию анализа сигналов в «ручном» (операторном) и автоматическом режимах;
- минимизацию времени проверок;
- возможность проведения проверок оператором даже средней квалификации;
- возможность расширения и модификации комплекса тестирования.

Аппаратура для тестирования может быть специализированной, то есть разработанной для конкретного УУ, или универсальной (например, построенной по VХI-технологии). И тот и другой путь характеризуется высокой ценой, значительным временем изготовления, сложным заказным программным обеспечением и поэтому не позволяет оптимизировать решение задачи тестирования по критериям «сроки — цена — качество проверки».

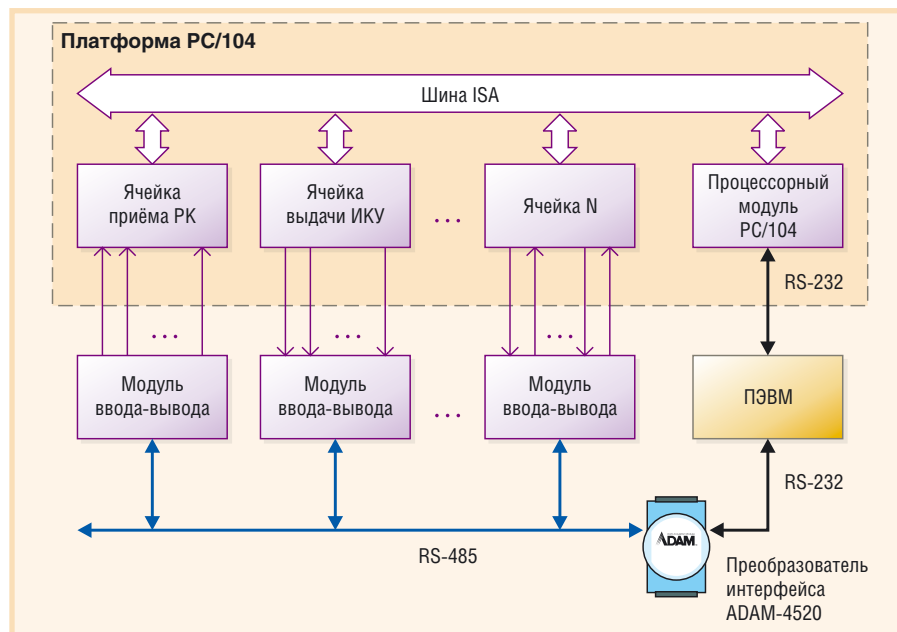


Рис. 3. Схема модульного построения аппаратуры для тестирования ячеек УУ с использованием платформы PC/104

Предлагаемый вариант модульного подхода к созданию аппаратуры для тестирования БР заключается в использовании недорогих специализированных модулей ввода-вывода сигналов и данных разных типов. При этом каждый модуль работает с сигналами только одного типа (РК, ИКУ, ТМ и т.п.), и из таких модулей, как из конструктора, собирается единое пространство комплекса тестирования, объединённое общим интерфейсом.

На рис. 3 изображена общая схема взаимодействия модулей и тестируемых ячеек. Ячейки взаимодействуют с модулями (принимают от них команды и телеметрическую информацию, выдают команды и телеметрическую информацию). Модули объединяются в сеть по интерфейсу RS-485, замкнутому на ПЭВМ. Для доступа к ячейкам по шине ISA используется платформа PC/104 с процессорным модулем.

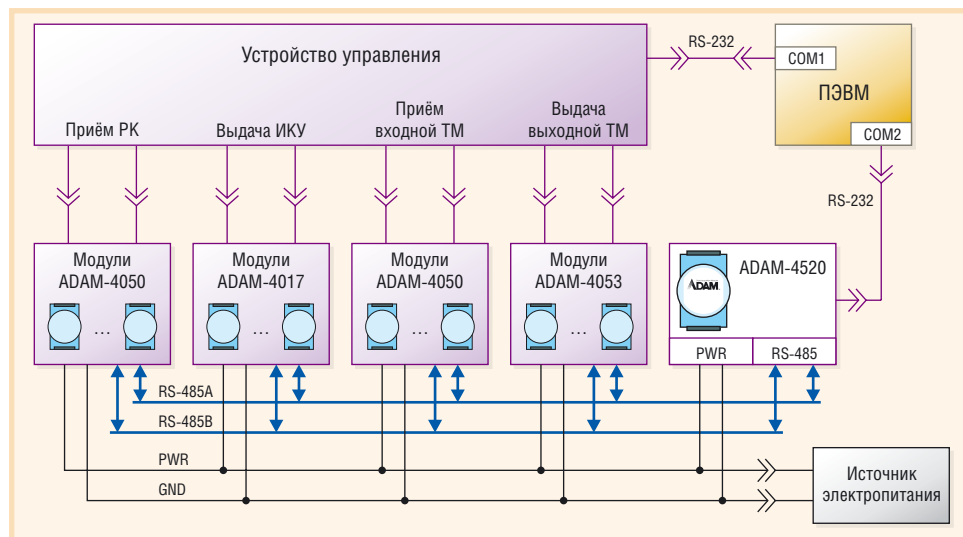
В настоящее время фирма Advantech выпускает различные типы недорогих модулей ввода-вывода данных, в том числе модули серии ADAM-4000, сертифицированные в России как средства измерения. Именно эти модули как устройства, которые в наибольшей степени среди аналогичных изделий соответствуют сформулированным требованиям и принятым критериям, были выбраны для построения комплекса тестирования.

Модули серии ADAM-4000 реализованы в однотипных корпусах и при необходимости могут монтироваться на панель, на DIN-рельс, друг на друга и

т.д. В рассматриваемом комплексе тестирования для их крепления была изготовлена стойка. Для электрических соединений тестируемой аппаратуры с модулями их входы и выходы выводятся на многоконтактные разъёмы типа СНП-96, установленные на стойке. К этим разъёмам подключаются непосредственно ячейки или УУ. Модули объединяются по интерфейсу RS-485. Каждый из них обладает индивидуальным адресом и по нему получает команды управления и конфигурацию от ПЭВМ. Преобразование интерфейса RS-232 в интерфейс RS-485, необходимое для подключения модулей ввода-вывода к ПЭВМ, производится устройством ADAM-4520.

Программирование рабочих тестов не составляет труда и выполняется с использованием языка высокого уровня Delphi. В общем случае программное обеспечение (ПО) для тестирования состоит из двух разделов: первый записывается в вычислительный модуль PC/104, а второй находится в ПЭВМ, с помощью которой выводятся визуальная информация, отчёты и осуществляется управление системой тестирования. Первый раздел ПО выдаёт квитанции о получении входных сигналов либо исполняет команды на выдачу выходных сигналов. Второй раздел формирует запросы, принимает квитанции, анализирует сигналы, выдает отчёты при автоматической проверке.

Средствами Delphi можно достаточно просто создать интерфейс про-



Условные обозначения:

ADAM-4017 — модуль аналогового ввода (8 каналов); ADAM-4050 — модуль дискретного ввода-вывода; ADAM-4053 — модуль дискретного ввода (16 каналов); ADAM-4520 — модуль преобразователя интерфейса RS-232 в RS-422/485; PWR — напряжение электропитания; GND — заземление.

Рис. 4. Схема рабочего места для тестирования устройства управления

граммы для наблюдения всего процесса тестирования, показать состояния всех входов и выходов аппаратуры, направление потоков информации, а при автоматической проверке — и сформировать файл отчёта. Команды модулям направляются по RS-232, квитанции с информацией поступают также по RS-232, то есть весь диалог с модулями сводится к чтению/записи информации через COM-порт, поэтому программист среднего уровня квалификации без проблем справляется с созданием подобного рода программ.

Переход с одного вида тестируемой аппаратуры на другой заключается в изготовлении новых соединительных кабелей, доработке ПО и изменении числа требуемых модулей.

Создание комплекса тестирования на основе модулей ADAM-4000 позволяет свести его разработку к перечисляемым далее основным шагам.

Шаг 1. Определение типов сигналов (на этом этапе производится подсчёт, анализ и определение физических характеристик всех типов выдаваемых и регистрируемых сигналов тестируемой аппаратуры).

Шаг 2. Определение типов и количества модулей для построения комплекса тестирования, соответствующих всему набору сигналов, выявленному на шаге 1 (здесь же производится анализ готовых решений из предыдущих проектов; если есть подходящие решения, они используются в комплексе).

Шаг 3. Расчёт параметров входных и выходных цепей для измерительной системы, согласование входных и выходных сигналов тестируемой аппаратуры с выходными и входными цепями модулей.

Шаг 4. Проектирование кабельной сети и посадочных мест модулей.

Шаг 5. Программирование модулей (конфигурирование модулей, настройка режимов работы, адресация и т.д.).

Шаг 6. Разработка управляющей программы (на этом этапе производится выбор алгоритма проверки аппаратуры и его реализация).

Шаг 7. Отладка комплекса тестирования.

Шаг 8. Разработка инструкций оператору комплекса и другой эксплуатационной документации.

Разработанный комплекс тестирования может применяться для регулирования и испытаний составных частей и устройств в целом, а также использоваться для отладки ПО.

Благодаря реализованным принципам построения комплекса тестирования, которые базируются на модульном подходе, использовании модулей ADAM-4000 и их объединении общим интерфейсом, были выполнены основные требования, связанные с обеспечением сжатых сроков создания комплекса и возможности его расширения, а также с относительной простотой перенастройки на другой тип тестируемой аппаратуры. Разработанное ПО поддерживает необходимые

режимы работы комплекса, отличается простотой и легко адаптируется к смене тестируемого устройства.

РАБОЧЕЕ МЕСТО КОМПЛЕКСА

На рис. 4 представлена схема рабочего места для тестирования устройства управления.

Панель управления и индикации, высвечиваемая на экране ПЭВМ рабочего места в режиме проверки ячейки приёма РК, показана на рис. 5. Состояния выдаваемых РК (логические 0/1) задаются программно процессорным модулем PC/104 и инициализируются кнопками на панели, после чего ячейка приёма РК регистрирует команду и процессорный модуль по шине ISA получает информацию о ней. Для автоматической проверки ячейки приёма РК необходимо задать режим «Прогон РК». Отчёт формируется в текстовом файле и содержит информацию о зарегистрированных РК.

Общий вид рабочего места комплекса тестирования в одной из возможных конфигураций показан на рис. 6.

Количество сигналов и модулей разных типов, используемых при тестировании ячеек УУ БР, отражает табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоимость оборудования описанного комплекса тестирования УУ БР чуть превысила 5000 долларов США. Эта сумма значительно меньше стоимости универсальных цифровых приборов (например, анализаторов каналов стоимостью 10...50 тыс. долларов США) и



Рис. 5. Панель управления и индикации на экране ПЭВМ рабочего места в режиме проверки ячейки приёма РК

тем более несопоставима с затратами на разработку специальной аппаратуры для тестирования УУ БР. При этом время, реально потраченное на создание комплекса тестирования и его программного обеспечения, не идёт ни в какое сравнение со временем, необходимым для разработки комплекса специальной аппаратуры. Кроме того, в разработке представленного комплекса тестирования было задействовано всего несколько человек.

Комплекс тестирования цифровой аппаратуры бортового ретранслятора космического аппарата, собранный на модулях ADAM серии 4000, позволил в кратчайшие сроки и с минимальными затратами осуществить полный цикл регулировки и испытаний большого числа цифровых ячеек, входящих в состав устройства управления бортового ретранслятора, и УУ в целом.

Предложенный модульный подход к созданию комплексов тестирования в настоящее время успешно применяется в ГУП НПЦ «СПУРТ». ●

**Автор — сотрудник
ГУП НПЦ «СПУРТ»**

Телефон: (095) 531-5719 (доб. 165)

Таблица 1

Количество сигналов и модулей разных типов, используемых при тестировании ячеек УУ БР

Тип ячейки	Количество тестируемых сигналов	Тип модуля серии ADAM-4000	Количество модулей
Приём РК	96	ADAM-4050	6
Выдача ИКУ	42	ADAM-4017	24
Приём входной телеметрии	64	ADAM-4050	9
Выдача выходной телеметрии	128	ADAM-4053	9



Рис. 6. Общий вид рабочего места комплекса тестирования