

На правах рукописи

А. Хныкин

Хныкин Антон Владимирович

**РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЙ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

степени магистра по направлению Системный анализ и управление (220100.68)

магистерская программа – Системное проектирование космических аппаратов
(220100.68.05)

Красноярск 2014

Работа выполнена на Межвузовской базовой кафедре «Прикладная физика и космические технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент Кочура Сергей Григорьевич

Рецензент:

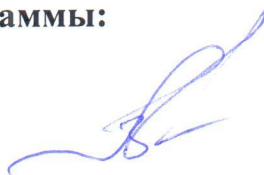
Брошен Филипп, директор компании «Aerospace International Services»

Защита диссертации состоится «8» июля 2014 г. в 16:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
662971, Железногорск, ул. Кирова 12А

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ <http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа: <http://elib.sfu-kras.ru>

Руководитель магистерской программы:

доктор технических наук,
профессор



В. Е. Чеботарев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время традиционные подходы к архитектуре бортовых комплексов управления (БКУ) малых космических аппаратов (МКА), основанные на централизованной иерархии управляющих связей, не могут коренным образом повлиять на решение основных задач космического приборостроения для бортовых систем управления.

Количество требуемых изменений настолько велико, что связанные с внедрением перспективной модульно-сетевой технологии высокие технические риски выступают в качестве главных сдерживающих факторов. Переход к модульно-сетевым архитектурам БКУ существенно меняет концептуальные подходы к проектированию не только БКУ, но также платформы МКА. В настоящее время в космической отрасли РФ формируется необходимый научно-технический задел, позволяющий разработать единую унифицированную аппаратно-программную платформу для БКУ МКА различного класса на основе высокоэффективных информационно-управляющих бортовых сетей и модульной конструкции, объединяющей все функциональные узлы БКУ в единый малогабаритный аппаратно-программный комплекс с широкими возможностями функционально-аппаратной модернизации.

Целью диссертационной работы является разработка концепции модульно-сетевой архитектуры, сетевого контроллера и контроллера для систем исполнительной автоматики бортового вычислительного комплекса малых космических аппаратов.

В ходе выполнения диссертации должны быть решены следующие **задачи**:

1. Анализ методов и способов организации бортового вычислительного комплекса.
2. Проектирование концепции модульно-сетевой архитектуры бортового вычислительного комплекса.
3. Разработка контроллера SpaceWire и контроллера для управления двигателем модуля раскрытия антенны в рабочее положение.
4. Экспериментальные исследования разработанных функциональных модулей.

Объектом исследования диссертационной работы являются методы и способы организации бортового вычислительного комплекса малых космических аппаратов.

Предметом исследования является повышение эксплуатационных характеристик бортового вычислительного комплекса малых космических аппаратов за счет применения современных методов и способов его организации.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использованы основы теории проектирования ЭВМ и систем, теории математического моделирования вычислительных устройств и систем, методы и средства экспериментального моделирования СБИС-структур и систем.

Научную новизну диссертационной работы составляет предложенный метод организации взаимодействия узлов бортового вычислительного комплекса, основанный на разработанной концепции модульно-сетевой архитектуры и позволяющий повысить уровень надежности, эксплуатационные характеристики и срок активного существования малых космических аппаратов.

Апробация результатов работы. Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы обсуждались и докладывались на следующих конференциях:

1. Международная научная конференция «Информатизация – 2012», г. Минск, 24-27 октября 2012 года.

2. XIII Международная молодёжная научная конференция «Интеллект и наука», г. Железногорск, 16-18 апреля 2013 года.

3. IX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодёжь и наука», г. Красноярск, 15-25 апреля 2013 года.

4. Региональная научно-техническая конференция магистрантов «Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров», г. Красноярск, 19 ноября 2013 года.

5. XIV Всероссийская молодёжная научная конференция с международным участием «Интеллект и наука», г. Железногорск, 16-18 апреля 2014 года.

6. X Юбилейная Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодёжь и наука», г. Красноярск, 15-25 апреля 2014 года.

Результаты диссертационного исследования использовались при выполнении научно-исследовательских работ во время **международной стажировки** в компании Thales Alenia Space (г. Тулуза, Франция).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложены результаты исследований методов и способов организации бортовых вычислительных комплексов (БВК), а также методы и способы повышения их функциональной устойчивости.

Особенностью рассмотренной модульно-сетевой архитектуры является инфраструктура передачи данных, позволяющей дублировать основные и инфраструктурные компоненты БКУ, иметь несколько альтернативных путей передачи данных, масштабировать или модифицировать БКУ под имеющееся оборудование на МКА.

Одним из наиболее перспективных стандартов построения космических и летательных аппаратов является стандарт SpaceWire. Это перспективная системообразующая технология для высокоскоростной коммуникации и комплексирования бортовых систем аэрокосмических аппаратов. Технология разработана Европейским космическим агентством ESA (при участии российских университетов и компаний-разработчиков) и призвана заменить используемые в настоящее время стандарты, не соответствующие возросшим

требованиям к современным космическим и летательным аппаратам.

На сегодняшний день для построения бортовых систем управления и сбора данных перспективно использование ПЛИС-технологий и концепции «система на кристалле» (System On Chip – SoC), внедрение которых является одним из приоритетных направлений развития отечественной электроники. Данное направление реализуется в рамках федеральных целевых программ рядом известных организаций электронной промышленности («Ангстрем», «Микрон», «Светлана», «Модуль», «Элвис», «Прогресс») и др.).

Для достижения цели диссертации решено использовать стандарт SpaceWire, технологию ПЛИС и технологию тройного резервирования для обеспечения необходимых характеристик надежности (радиационной стойкости).

Выводы. Анализ современных подходов к реализации бортовых вычислительных комплексов космических аппаратов с использованием модульно-сетевой архитектуры и стандарта SpaceWire позволил сделать вывод о целесообразности применения этих технологий при проектировании бортовых вычислительных комплексов для малых космических аппаратов, характеризующихся повышенными требованиями к их размеру, весу и надежности.

Во второй главе разработана концепция модульно-сетевой архитектуры БВК, архитектурные и функциональные решения, принципы взаимодействия сетевых компонентов и организации резервируемой сети. Разработана функциональная схема БВК и принципы функционирования сетевого контроллера.

За основу модульно-сетевой архитектуры взаимодействия компонентов принята схема «резервируемое кольцо». Обмен данными между компонентами осуществляется по контуру основного «кольца». В случае нарушения целостности системы (возникновения коллизий в результате обрыва «кольца» или выхода из строя одного из компонентов) обмен данными происходит по резервному «кольцу».

В качестве центрального процессора для модуля управления был выбран разрабатываемый ГУП НПЦ «Элвис» (г. Зеленоград) микропроцессор MC-24R («Сталкер»), который предназначен для аэрокосмических бортовых систем управления и обработки данных. В состав микропроцессора входит MIPS32-совместимое ядро и ядро специализированного сопроцессора с SIMD-архитектурой и ряд периферийных контроллеров. Микропроцессор организован по архитектуре Sparc-V8, имеет высокую производительность и соответствует всем требованиям, предъявляемым к объему вычислительных операций на борту МКА.

Исходя из сведений о базовой архитектуре выбранного микропроцессорного ядра, разработана функциональная схема центрального процессора БВК. Модуль центрального процессора функционирует на основе системной шины AMBA, реализующую магистрально-модульный принцип сопряжения памяти, процессора и периферийных контроллеров. Одним

подключаемых к процессорному модулю внешних устройств является контроллер канала интерфейса SpaceWire.

Контроллер канала интерфейса SpaceWire в соответствии со стандартом ECSS-E-50-12 содержит приемник, передатчик и интерфейс к хост-устройству.

От хост-устройства узел принимает данные, кодирует их и отправляет в свой передатчик, непосредственно подключенный к линии (рис. 1). На другом конце линии данные принимает приемник, который их восстанавливает (декодирует) и передает адресату (другому хост-устройству). Приемник и передатчик с необходимыми элементами управления и интерфейсами к хост-устройству образуют контроллер канала SpaceWire. Контроллер канала управляет соединением и потоком данных, обнаруживает рассоединение, восстанавливает соединение после сбоев и др.

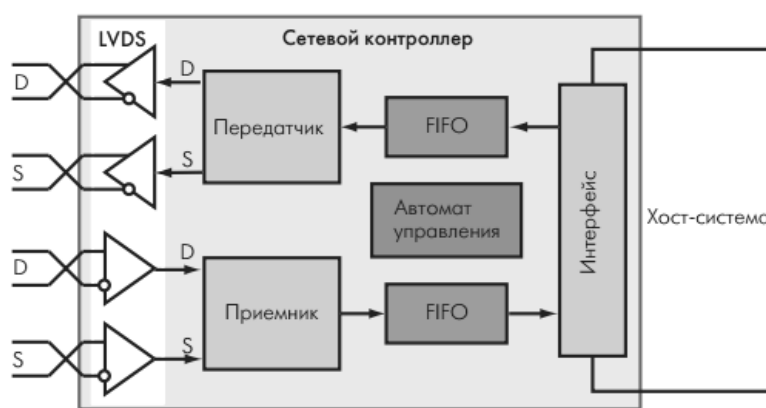


Рис. 1 – Сетевой контроллер интерфейса SpaceWire

Выводы. Разработанная концепция модульно-сетевой архитектуры позволяет спроектировать универсальную космическую платформу для целой серии космических аппаратов различного целевого назначения.

Третья глава посвящена разработке модулей контроллера SpaceWire и контроллера двигателя раскрытия антенны в рабочее положение на языке описания цифровой аппаратуры VHDL. Разработка модулей проводилась с помощью языка описания цифровой аппаратуры VHDL в среде автоматического проектирования (САПР) Xilinx ISE.

Блоком верхнего уровня проектируемого модуля SpaceWire является блок spwstream. Блок spwstream представляет собой полный узел сети SpaceWire с FIFO (обработка в порядке поступления) интерфейсом, реализующий весь стек протоколов, кроме функций маршрутизации сетевого уровня. На рис. 2 показана структурная схема блока spwstream. Для блока предварительной обработки приемника доступны две реализации: стандартная и скоростная. Выбор конкретной реализации осуществляется в блоке верхнего уровня spwstream с помощью параметра gximpl.

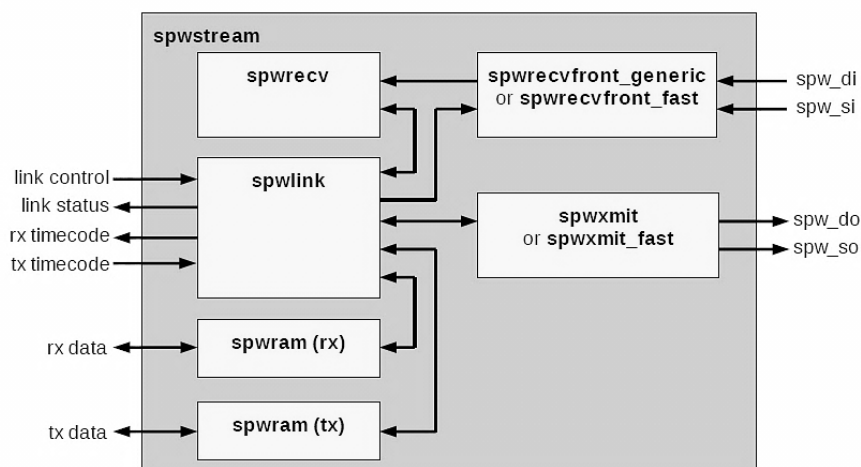


Рис. 2 – Состав блока верхнего уровня spwstream

При разработке алгоритмов функционирования устройства управления синхронного двигателя с электромагнитной редукцией использовался контроллер шагового двигателя, имеющий в своем составе блок регулятора тока и блок коммутации фаз двигателя.

Для выполнения расширенных функций управления в состав драйвера вошли однокристалльная система управления SoC (микроконтроллер), регулятор тока, блок сопряжения с центральным вычислителем (ПК), блок коммутации фаз двигателя и регулятор скорости вращения.

Однокристалльная система управления помимо арбитража, выполняет функции регулятора скорости вращения. Функциональная схема контроллера шагового двигателя представлена на рис. 3.

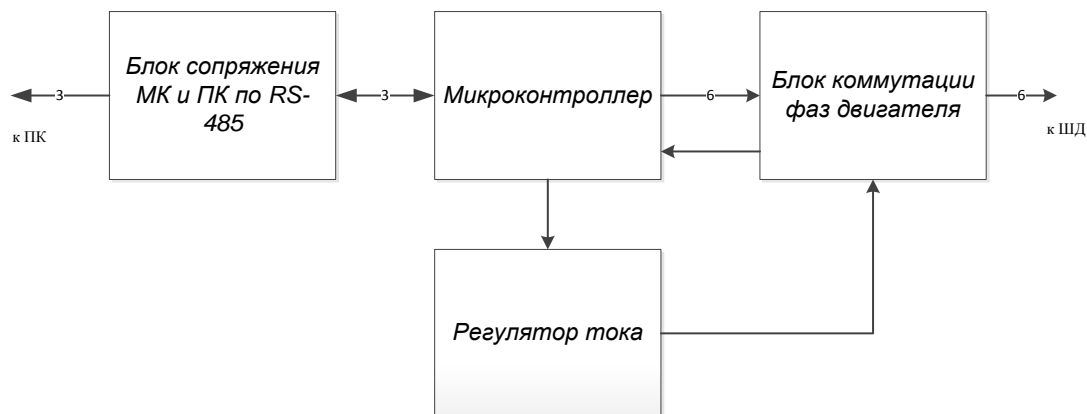


Рис. 3 – Функциональная схема контроллера шагового двигателя

Выводы. Основными сдерживающими факторами на пути внедрения цифровых устройств управления исполнительной автоматикой, реализованных на основе промышленных контроллеров, являются относительно низкие требования по помехозащищенности и функциональному составу проектируемой аппаратуры. Имеющиеся на сегодняшний день системы управления не соответствуют требованиям, предъявляемым к действующим системам управления исполнительной автоматикой. Разработанные модули

контроллера SpaceWire и контроллера двигателя раскрытия антенн МКА позволяют выполнить эти требования.

В четвертой главе приведены результаты тестирования разработанных модулей.

В соответствии с внутренней структурой разрабатываемого устройства были созданы тесты, описывающие средствами языка VHDL входные данные и принципы их обработки.

В начальный момент времени процесса приема и передачи данных по каналу SpaceWire происходит инициализация канала. Далее, на линии выходных данных генерируются сигналы, образующие NULL-код, который, согласно стандарту, всегда транслируется, если в канале не передаются символы данных или управления (это позволяет сохранять активность канала и определить ошибку рассоединения). После этого, в момент времени, соответствующий 200 мкс, приемник, установкой сигнала tx_full_n в состояние логического нуля разрешает передачу данных, которые появляются сначала на линии gx_fifo_d (т. е. на выходе из буфера передатчика), а затем на линии gx_dout, которая соответствует данным, находящимся в процессе передачи. После передачи одного пакета на линии генерируется сигнал FCT, который осуществляет управление потоком данных в сети во избежание переполнения буферов приемников. Каждый переданный символ FCT указывает на то, что в буфере приемника есть место для приема. После завершения передачи данных приемник устанавливает сигнал tx_full_n в состояние логической единицы, чем запрещает дальнейшую передачу данных. Через некоторое время автоматически диагностируется ошибка рассоединения.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность выбора технических решений на основе стандарта SpaceWire и реконфигурируемого БВК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уменьшение веса компонентов космического аппарата и одновременное сохранение высоких показателей надежности – это одна из самых актуальных на сегодняшний день задач, которую можно решить с использованием стандарта SpaceWire и реконфигурируемого БВК.

Результатом выполненной диссертационной работы следует считать созданный научно-технический задел в области разработки платформ МКА. Дальнейшее развитие темы диссертации должно вестись в направлении унификации используемых компонентов, что поможет создать универсальную космическую платформу для целой серии научных, связных и прочих МКА.

ВКЛАД МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАЖИРОВКИ

В ходе стажировки в компании Thales Alenia Space был изучен опыт ведущей европейской организации, разрабатывающей космические аппараты широкого спектра назначения. Посещение цехов изготовления, отделов проектирования элементов космических аппаратов, позволило провести

научную дискуссию с французскими коллегами по теме диссертации. В ходе выполнения задания на стажировку был спроектирован эскиз бортового вычислительного комплекса для космического аппарата Telcom-3S.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Хныкин А.В., Красько К.Ф. Интегрированная информационная система // Материалы Междунар. науч. конф., Минск, 24–27 окт. 2012 г. / редкол. : В. В. Казаченок (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2012. – С. 421–423.

2. Непомнящий О.В., Хныкин А.В. Анализ проектирования вычислительных систем на кристалле // Исследования наукограда. – 2012. – №1(1). – С. 42–46.

3. Непомнящий О.В., Андреев А.С., Комаров А.А., Рыженко И.Н., Хныкин А.В. Проблемы и решения проектирования специализированных бортовых вычислительных систем / Интеллект и наука : труды XIII Междунар. молод. науч. конф. / отв. ред. А. В. Хныкин ; Железногор. филиал СФУ. – Железногорск, 2013. – С. 36–37.

4. Непомнящий О.В., Хныкин А.В., Матюков В.А. Сетевые технологии в освоении космического пространства – стандарт SpaceWire / Интеллект и наука : труды XIII Междунар. молод. науч. конф. / отв. ред. А. В. Хныкин ; Железногор. филиал СФУ. – Железногорск, 2013. – С. 38–39.

5. Khnykin, A.V. New ways for high-level design SoC for prospective spacecrafts // Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров : тезисы [первой] региональной научно-технической конференции магистрантов 19 ноября 2013 года / Сиб. федерал. ун-т; отв. за вып. Е. А. Шипилова. – 2013. – С. 13-14.

6. Непомнящий О.В., Хныкин А.В., Мамбеталиев Н.А. Однокристалльные вычислительные системы ответственного применения // Исследования наукограда. – 2013. – №2. – С. 54–57.