

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ИНЖЕНЕРНОЙ МОДЕЛИ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С.Н. Семенович, И.П. Стецко, А.М. Огурцов, Д.Г. Терешко, А.В. Калачёва, Т.А. Жилинская, Е.А. Барсуков

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
E-mail: semenovich@bsu.by*

Разработана инженерная модель сверхмалого космического аппарата, компоновка и функциональная структура которого позволяет оперативно менять состав используемых модулей, обеспечивать их взаимодействие и управление работой в процессе проведения учебных и исследовательских экспериментов. Средства разработки: Micropyton.

**Ключевые слова:** СМКА; микроконтроллер; CAN; I<sup>2</sup>C.

Инженерная модель сверхмалого космического аппарата (ИМ СМКА), разработанная для образовательных применений, выполнена в форм-факторе Cubesat 3U [1], удобном при использовании в учебных лабораториях. Внутри продольной грани каркаса ИМ СМКА закреплена объединительная электронная плата бортовой системы энергоснабжения и коммуникации, в опорной плоскости которой размещены 10 жёстких разъёмных соединений для подключения электронных печатных плат функциональных модулей. Такая «слотовая» компоновка предоставляет возможности комбинирования набором функциональных модулей для работы различных учебных и исследовательских задач.

В функциональной структуре ИМ СМКА, представленной на рис. 1, можно выделить следующие функциональные элементы:

- «материнскую» бортовую систему энергоснабжения и коммуникации, включая блоки контроля мощности, мониторинга и распределения энергии, бортовые коммуникационные шины, а также модули солнечных батарей и функциональные модули аккумуляторных батарей;
- функциональный модуль системы бортового компьютера со встроенным электронным модулем регистрации изображения и измерительных датчиков;
- функциональные модули бортовой системы радиосвязи;
- систему определения ориентации и стабилизации ИМ СМКА, включая функциональный модуль электромагнитной ориентации и стабилизации, модули датчиков направления на Солнце и системы оптического трекинга;
- функциональный модуль системы радионавигации ИМ СМКА со встроенным электронным модулем датчиков расстояния и лазерного указателя.



Рис. 1. Структурная схема инженерной модели сверхмалого космического аппарата

Бортовая система энергоснабжения и коммуникации (БСЭиК) ИМ СМКА обеспечивает электропитание других систем и модулей ИМ СМКА, а также коммуникацию между ними. Структурная схема внутренних взаимосвязей БСЭиК, с точки зрения энергетических потоков и узлов управления, представлена на рис. 2.

Структуру БСЭиК составляют следующие функциональные узлы:

- блок контроля мощности (БКМ) с модулями солнечной и аккумуляторных батарей;
- блок мониторинга и распределения энергии (БМРЭ) с коммутаторами энергопитания (КЭ);
- бортовые коммуникационные шины.

БСЭиК, в частности, интегрирует внутреннюю интерфейсную шину СМКА для выдачи всей необходимой телеметрии в бортовую систему управления спутника.

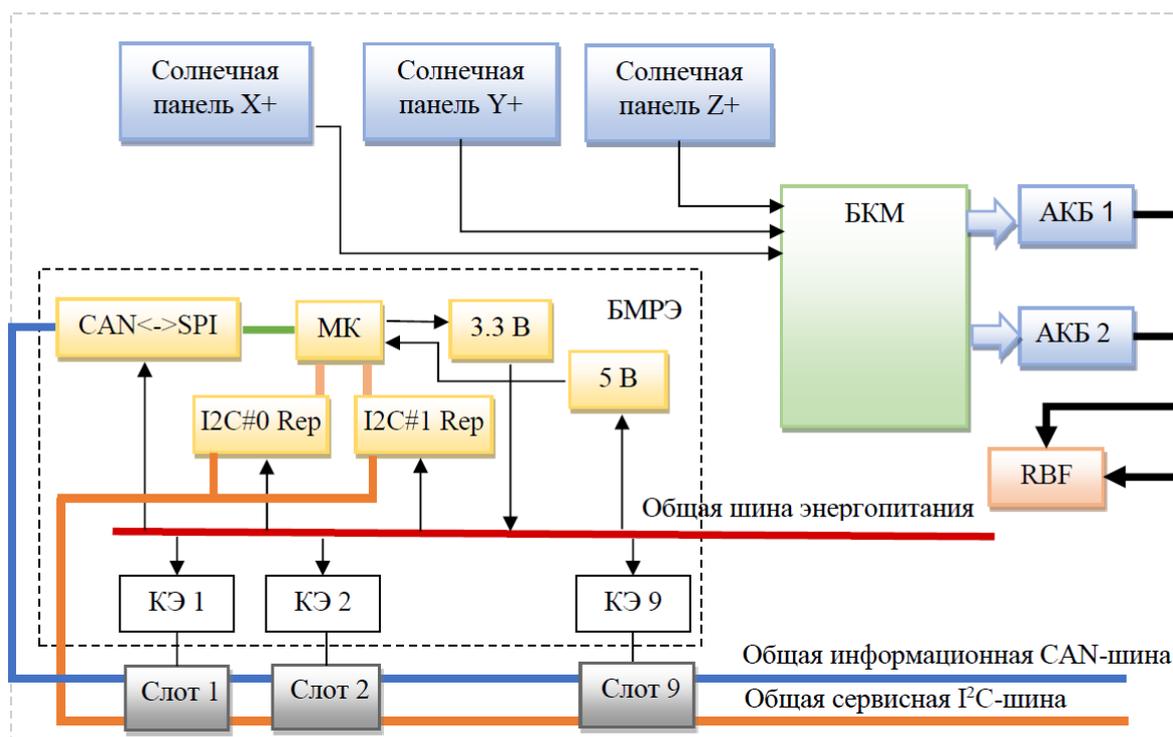


Рис. 2. Структурная схема внутренних взаимосвязей системы энергоснабжения и коммуникации СМКА

Блок контроля мощности (БКМ) обеспечивает поддержание штатного режима работы системы энергообеспечения СМКА при преобразовании солнечной энергии в электрическую и её накоплении в основной и резервной бортовых аккумуляторных батареях. Основу БКМ составляет программно-управляемая платформа многоканального контроля силы постоянного тока, имеющая цифровой интерфейс  $I^2C$ .

Основу блока мониторинга и распределения энергии (БМРЭ) составляет микроконтроллер (МК) *RP2040* на платформе разработки *Raspberry Pi Pico*. В составе БМРЭ для каждого из слотов электронных модулей ИМ СМКА имеются десять коммутаторов энергопитания (КЭ), реализованных на базе микросхемы переключателя нагрузки с ограничением по току. Контроль тока в цепи каждого слота выполняется с помощью монитора тока и напряжения с цифровым интерфейсом  $I^2C$ . В случае превышения установленного лимита энергопотребления, коммутатор закрывается и выдает адресное сообщение на шину данных, где фиксируются все события о превышении лимита. Управление КЭ и сбор информации о превышении энергетических затрат выполняется на базе двух 8-битных расширителей цифровых входов/выходов для шины  $I^2C$ , программно-управляемых от МК по шине  $I^2C$ .

В ИМ СМКА имеется общая информационная CAN–шина, программно управляемая средствами МК, являющаяся удобным средством для обмена командами и данными между всеми модулями СМКА, имеющая высокую степень надежности. Каждый модуль ИМ СМКА имеет преобразователь двунаправленной информационной шины SPI его МК в общую CAN–шину.

В дополнение к общей CAN–шине, ИМ СМКА имеет также две общие для бортовых модулей коммуникационные I<sup>2</sup>C–шины, разделенные физически. Одна I<sup>2</sup>C–шина используется для коммутации слотов и контроля параметров энергопотребления, другая выполняет функции резервной информационно-сервисной шины. Схема ретрансляции повторяется на всех электронных платах функциональных модулей ИМ СМКА.

Программное обеспечение МК разработано на языке *Micropython*. После старта оно запускает алгоритм мониторинга бортового напряжения и токов потребления, осуществляет заданную коммутацию энергетических потоков для бортовых модулей и подсистем, согласно логике алгоритма функционирования СМКА.

Реализованная система единых бортовых информационных шин CAN и I<sup>2</sup>C позволяет организовать удобное и надежное взаимодействие со всеми остальными функциональными модулями ИМ СМКА, управляемыми унифицированными МК: модулем бортовой системы радиосвязи, модулем системы бортового компьютера (основного и резервного), модулем регистрации изображения и измерительных датчиков, системой определения ориентации и стабилизации, модулем радионавигации.

## **ВЫВОД**

Разработаны слотовая компоновка, функциональная структура бортовых функциональных модулей с унифицированными микроконтроллерами и едиными информационными шинами ИМ СМКА, позволяющие оперативно менять состав используемых модулей, обеспечивать их взаимодействие между собой и распределёнными датчиками, надёжное управление работой в процессе проведения учебных и исследовательских экспериментов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ**

1. CubeSat Design Specification [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cubesat.org/cubesatinfo> (дата обращения: 03.04.2024).