

## **Проектирование блока управления для двигателей-маховиков высокоточной системы ориентации и стабилизации малых космических аппаратов**

А. С. Сивков<sup>1,2</sup>, Д. В. Продан<sup>1</sup>, Р. И. Сергеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет),  
лаборатория высокоточных систем ориентации.

<sup>2</sup>ООО «Спутникс» (Спутниковые инновационные космические системы).

Технологические достижения последних десятилетий привели к быстрому развитию такого направления космонавтики, как проектирование малых космических аппаратов (МКА). Постоянно расширяющийся спектр задач для аппаратов подобного класса требует быстрого развития бортовых систем для МКА. Одной из таких систем является система ориентации и стабилизации, в основе которой, как правило, лежат управляющие двигатели-маховики (УДМ).

В настоящее время на базе Московского физико-технического института ведётся разработка подобных двигателей для высокоточной ориентации аппаратов массой ~100 килограммов с ресурсом непрерывной работы не менее 3 лет.

Разрабатываемый УДМ представляет собой бесколлекторный двигатель постоянного тока, положение ротора которого определяется с помощью аналоговых (линейных) датчиков Холла. Основная задача системы управления двигателем-маховиком - преобразование электрической энергии источника электропитания в энергию магнитного поля, создаваемого статором, а энергии магнитного поля в механическую энергию вала. Система управления двигателем осуществляет векторное управление магнитным полем статора создавая необходимый механический момент на валу двигателя а также компенсируя паразитные, не создающие полезного механического момента электрические токи. При помощи компенсации паразитных электрических токов, достигается повышение энергоэффективности, максимальной угловой скорости и максимального кинетического момента двигателя-маховика [2].

При разработке блока управления УДМ учитываются высокие требования по точности работы и устойчивости к воздействию разрушающих факторов (как специфических для космической отрасли, так и обусловленных длительным временем работы). Как следствие, используются сложные вычислительные алгоритмы, резервирование каналов питания, управления, связи.

Для управления маховиком используются два резервирующих друг друга канала. Первый канал – основной - реализован на базе микроконтроллера ARM7, второй – резервный - на базе ПЛИС.

При исправности обоих каналов они работают совместно в целях повышения производительности, что позволяет сократить время такта управления до 50 мкс. Это достигается за счёт распределения задач между микроконтроллером и ПЛИС: ПЛИС обрабатывает показания датчиков и формирует данные для ЦПУ, ЦПУ обрабатывает полученные данные, выдаёт управляющие сигналы и коммутирует фазы двигателя.

При выходе из строя какого-либо из каналов управление осуществляется только одним оставшимся: на базе микроконтроллера реализовано векторное управление ротором [1][3], на базе ПЛИС – синусоидальная коммутация по данным датчиков положения вала.

Кроме того, микроконтроллер позволяет удалённое перепрограммирование ПЛИС, что даёт возможность изменять функционал блока управления во время полёта МКА.

Каналы управления питаются отдельно и независимо. При необходимости возможно отключение одного из каналов. Каналы питания в свою очередь защищены от протекания избыточного тока (т.н. тиристорного эффекта) автоматическими ключами. Используемые контроллеры позволяют подключать УДМ к питающему напряжению в диапазоне от 10 до 32 Вольт.

Связь с блоком управления реализуется на основе нескольких интерфейсов: основным является CAN2, его дополняют RS422 и SpaceWire.

Важно также отметить, что в ходе разработки блока управления была подобрана отечественная элементная база, что позволяет при необходимости полностью отказаться от продукции иностранного производства.

Таким образом разрабатываемый блок управления отвечает современным требованиям к системам ориентации и стабилизации по показателям точности, надёжности и защищенности от внешних факторов, а широкий диапазон питающего напряжения и наличие нескольких интерфейсов связи делает удобным установку УДМ на многие спутниковые платформы.

#### Литература

1. *Калачёв Ю.Н.* Векторное регулирование (заметки практика). М. ЭФО, 2013. 63с.
2. *Baldursson S.* BLDC Motor Modelling and Control – A Matlab® Simulink® Implementation. Master Thesis work , Institutionen för Energi och Miljö International masters program in Electric Power Engineering , Chalmers tekniska Hogskola Göteborg, Sverige, 2005
3. *Erwan S.* Implementation of a Speed Field Oriented Control of 3-phase PMSM Motor using TMS320F240. Texas Instruments, Application Report SPRA588, Sep.1999.