

ЭЛЕКТРОННЫЙ МАКЕТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

А. О. Николаев

Белорусский государственный университет, г. Минск;

lesha.nikolaev@mail.ru;

науч. рук. – С. Н. Семенович, канд. техн. наук

В данной работе представлен макет электромеханической системы ориентации с четырьмя маховиками, расположенных в пирамидальной структуре. Приведены результаты выполнения алгоритма одноосной ориентации макета на струнном подвесе, в качестве закона управления реализован ПД-регулятор. Для выбора оптимальных параметров алгоритма и для определения качества выполнения заданных маневров разработана математическая модель ориентации макета.

Ключевые слова: наноспутник; маховичная система ориентации; бесколлекторный двигатель; ПД-регулятор

ВВЕДЕНИЕ

Любой космический аппарат для успешного выполнения своей миссии содержит систему ориентации и стабилизации. Данная система позволяет гасить начальное вращение спутника после отделения от ракеты-носителя, выполнять маневры поворота для наведения бортовых камер, антенн или солнечных панелей. Исполнительными органами при этом могут служить электромагнитные катушки, взаимодействующие с магнитным полем Земли, двигатели с маховиками или реактивные двигатели [1, 2].

Целью данной работы было создание электронного макета маховичной подсистемы ориентации и стабилизации в рамках разработки научно-образовательного наноспутника BSUSat-2.

РАЗРАБОТКА МАКЕТА

Структурно макет состоит из исполнительных органов в виде электродвигателей с маховиками, датчиков обратной связи (магнитометр, гироскоп, датчик направления на Солнце), Bluetooth модуля для удаленного приема управляющих команд и отправки телеметрии и микроконтроллера. Вид созданного макета представлен на рисунке 1.

Четыре двигателя с маховиками расположены в пирамидальной структуре, что обеспечивает возможность реализации трехосной ориентации, а также аппаратное резервирование функциональных узлов системы.

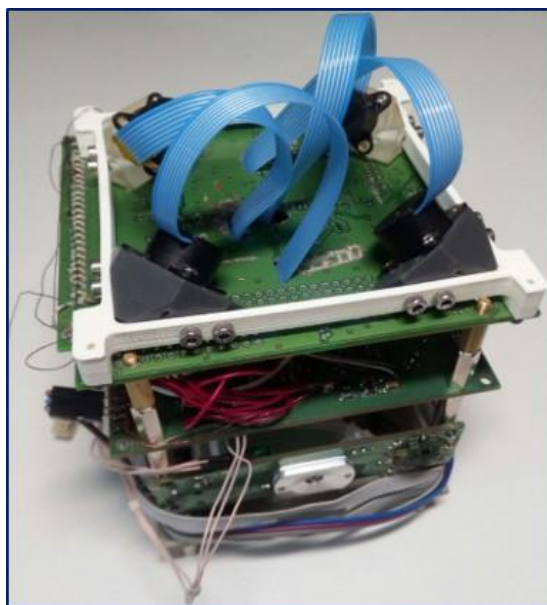


Рис. 1. Макет маховичной системы ориентации

Для вращения маховиков был выбран миниатюрный бесколлекторный двигатель FAULHABER1509 с допуском к работе в условиях вакуума. Данный двигатель содержит три датчика Холла для определения положения ротора. Бесколлекторные двигатели обладают большим сроком службы и более высоким КПД по сравнению с коллекторными двигателями, но требуют более сложных алгоритмов управления [3]. В качестве алгоритма управления данного двигателя было реализовано синусоидальное управление с подстройкой фазы и частоты сигналов на основании показаний датчиков Холла. Данный алгоритм является модификацией шестишагового алгоритма управления. Генерация синусоидальных управляющих сигналов для трех обмоток двигателя осуществляется за счет широтно-импульсной модуляции.

Для определения ориентации макета используется магнитометр lsm9ds1 производства компании STMicroelectronics или датчик направления на Солнце на основе двумерного позиционно-чувствительного оптического сенсора HAMAMATSU S5990 [4]. Магнитный азимут для макета вычислялся как арктангенс отношения измеренных компонент магнитного поля Земли. При экспериментах с оптическим датчиком направления использовался имитатор Солнца [5]. МЭМС гироскоп ism330dlc (STMicroelectronics) использовался для определения текущей скорости вращения макета.

АЛГОРИТМ ОРИЕНТАЦИИ

В качестве простейшего алгоритма ориентации была реализована одноосная ориентация на ПД-регуляторе.

$$M = -k_{\omega} * \Delta\omega - k_{\varphi} * \Delta\varphi$$

Управляющим воздействием является механический момент M , который создают электродвигатели. Входным воздействием регулятора являются $\Delta\varphi$ – отличие текущего направления от желаемого, $\Delta\omega$ – отличие текущей скорости от нуля.

Из анализа динамики данной линейной системы, проведенного в [1] можно получить следующие уравнения, связывающие коэффициенты пропорциональности:

$$k_{\omega} = 2J_s v \xi$$

$$k_{\varphi} = v^2 J_s$$

Для выбора оптимальных параметров была разработана математическая модель ориентации макета по данному закону управления [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ МАКЕТИРОВАНИЯ

На рисунке 2 представлены графики ориентации и стабилизации по магнитному азимуту.

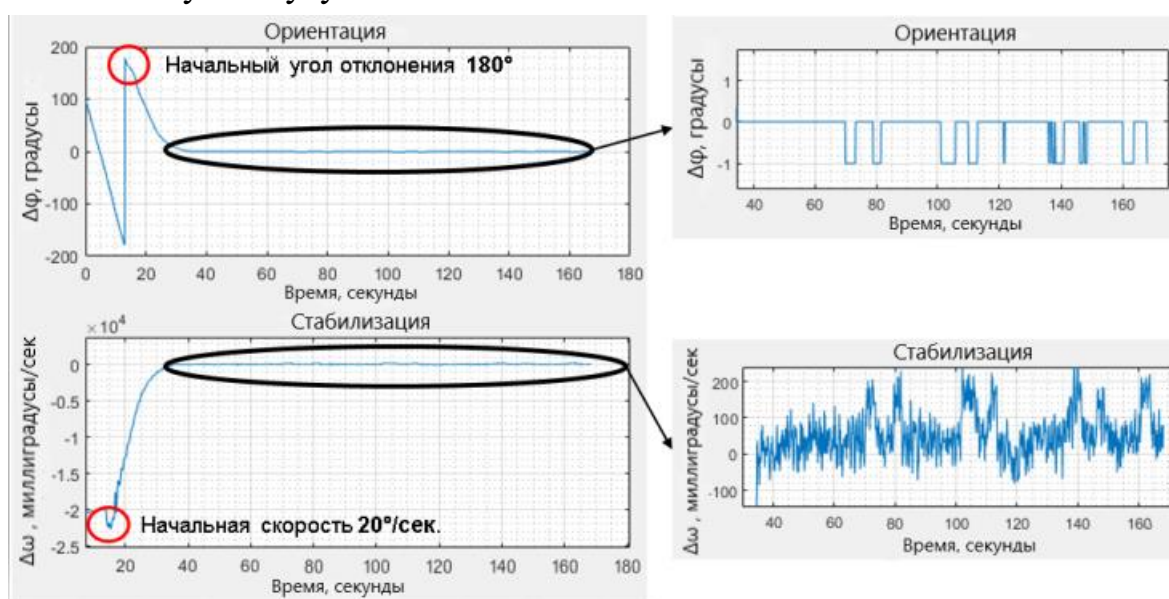


Рис. 2. Графики ориентации и стабилизации по магнитному азимуту

В начальный момент времени макет вращался на струнном подвесе со скоростью 20 °/сек. На 13 секунде макет получил команду погасить вращение и зафиксироваться в заданном положении. Начальный угол отклонения от заданного положения составлял 180 °. Через 25 секунд после начала работы алгоритма макет достиг заданного положения и продолжил поддерживать свою стабилизацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был разработан макет маховичной подсистемы ориентации и реализован базовый алгоритм ориентации и стабилизации на ПД-регуляторе. Проведенные эксперименты доказали работоспособность алгоритма как по магнитометру, так и по датчику Солнца, а также позволили определить время выполнения маневра (20–40 секунд), погрешности наведения ($\pm 1^\circ$) и стабилизации ($\pm 0.2^\circ/\text{сек}$). На данный момент ведется исследование электромагнитных катушек в качестве исполнительных органов ориентации и стабилизации для начального гашения вращения наноспутника и разгрузки маховиков.

Библиографические ссылки

1. *Васильев В.Н.* Системы ориентации космических аппаратов / В.Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.
2. *Spacecraft Dynamics and Control: The Embedded Model Control Approach/ Enrico Canuto, Carlo Novara, Donato Carlucci, Carlos Perez Montenegro, Luca Massotti.* – 1st ed. – Butterworth-Heinemann, 2018. – 790 p.
3. Бесколлекторные двигатели постоянного тока. Что это такое? [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://blog.avislab.com/brushless01> / - Дата доступа 16.05.2021.
4. *С. В. Василенко, Б. А. Корбут* Автоматизация процесса калибровки датчика направления на солнце // Актуальные вопросы физики и техники : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1. С. 376 – 379.
5. *А. С. Семенович* Микропроцессорная система управления имитатором солнца для тестирования бортовых подсистем наноспутника // 75-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конф. В 3 ч. Ч. 3, Минск, 14–23 мая 2018 г. С. 573 – 576.
6. *А. О. Николаев* Моделирование маховичной системы ориентации наноспутника // Актуальные вопросы физики и техники : X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 22 апреля 2021 года) : сборник материалов : в 2 ч. Ч. 1. С. 310 – 313.