

ПРЕПРИНТ
На тему: «РАЗРАБОТКА МАКЕТА УСТРОЙСТВА
БАЛАНСИРОВКИ ПОЛОЖЕНИЯ»

Автор: Валиев Р.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Благовещенский А.Н.
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»

Ключевые слова: управление ориентацией, реактивный момент, инерционные маховики, математическая модель

Аннотация: В работе рассматривается разработка макета устройства для стабилизации положения летательных аппаратов на основе использования инерции маховиков. Представлена структура системы управления, выполнен выбор элементов аппаратной платформы и датчиков, а также проведены расчёты параметров маховиков и характеристик управляющего сигнала. Разработан алгоритм стабилизации на основе ПИД-регулятора и выполнены экспериментальные исследования на созданном макете.

Введение: Стабилизация ориентации летательных аппаратов и малых беспилотных систем является ключевой задачей при их проектировании. Наличие компактных и энергоэффективных приводов позволяет реализовывать регулирование положения посредством маховиков — устройств, использующих принцип сохранения углового момента.

Целью исследования является создание макета системы балансировки положения, демонстрирующей работу трехосного механизма управления ориентацией на основе инерции маховиков.

Структура системы управления:

Система стабилизации включает:

- трёхосевой гироскоп-акселерометр MPU-6050;
- микроконтроллер STM32F411 (плата NUCLEO-F411RE);
- драйверы BLDC SimpleFOCShield V2.0.4;

- три бесколлекторных мотора iFlight iPower GM3506;
- аккумуляторную батарею 11.1 В.

Датчики определяют текущие углы ориентации, информация поступает на микроконтроллер, который формирует трёхканальный ШИМ-сигнал для управления моторами. Маховики создают корректирующий момент, разворачивая корпус устройства за счёт реактивных сил.

Математическая модель и расчёт параметров маховиков:

Система представляет собой совокупность четырёх тел — корпуса и трёх маховиков. При повороте по одной оси активный маховик приводит во вращение также корпус и два других маховика.

Момент инерции элементов описывается соотношениями:

Маховик (цилиндр):

$$I_m = \frac{1}{2} m r^2$$

Корпус (куб):

$$I_c = \frac{1}{6} M a^2$$

Для обеспечения поворота устройства на угол φ задаётся требуемое изменение угловой скорости маховика:

$$\Delta \omega = \frac{\varphi}{\omega_{max}}$$

Подстановка параметров (радиус маховика 0.08 м, масса корпуса 0.7 кг, сторона 0.18 м, максимальная скорость двигателя 80 рад/с) позволяет определить минимальную массу маховиков — около 0.2 кг.

Алгоритм управления:

Для преобразования угловой ошибки в управляющий сигнал применён ПИД-регулятор. Линейная аппроксимация для малых углов:

$$\omega = k \cdot \epsilon$$

где ϵ — ошибка ориентации, k — коэффициент передачи.

Используя динамические характеристики устройства, рассчитан коэффициент передачи и подобраны параметры ПИД-регулятора по методу Циглера–Никольса.

Экспериментальная часть:

На изготовленном макете проведены испытания работы стабилизирующей системы. Анализ временных диаграмм ШИМ-управления по выбранной оси подтвердил корректность функционирования алгоритма. Отмечено, что регулирование требует последующей настройки коэффициентов для повышения плавности и снижения перерегулирования.

Заключение:

Разработан действующий макет устройства для стабилизации положения на основе маховиков. Проведены расчёты параметров элементов системы, выбран оптимальный набор электронных компонентов и реализован ПИД-алгоритм управления. Полученные результаты подтверждают возможность использования представленной конструкции в учебных и лабораторных целях, а также её дальнейшего расширения для задач управления ориентацией малых летательных аппаратов.

Список литературы:

1. Системы управления летательных аппаратов. Под ред. Воробьева В.В. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008.
2. Синяков, А. Н. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками: учеб. для студ. втузов / А. Н. Синяков, Ф. А. Шаймарданов. – М.: Машиностроение, 1991.
3. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1974.
4. Алексеев К.Б. и Бебенин ГГ. Управление космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение. 1974.