

РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ НАЗЕМНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОСУПУТНИКІВ СЕРІЇ POLYITAN

О.М. Падун, Є.Ю. Коваленко, Б.М. Рассамакін, С.В. Остапчук, А.І. Пінчук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. Стаття під заголовком «Розробка і створення стенду для наземних випробувань системи орієнтації та стабілізації наносупутників серії PolyITAN» присвячена питанню дослідження методики розробки спеціалізованого стенду для випробувань системи орієнтації та стабілізації наносупутників на прикладі стенду, створеного в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Наземні випробування системи орієнтації та стабілізації наносупутника є надзвичайно важливим етапом підготовки до запуску наносупутника. Задля забезпечення точності цих випробувань був створений стенд, який описаний в даній статті. Задачею стенду є створення заданого магнітного поля в забезпеченому об'ємі, де імітується політ наносупутника по орбіті, тестуються режими його стабілізації та орієнтації. У вступі описується досвід команди PolyITAN у створенні наносупутників, описуються задачі перших двох наносупутників - PolyITAN-1 та PolyITAN-2, робиться наголос на актуальності даного дослідження. В основній частині викладений поетапний і посекторний порядок розрахунку стенду для наземних випробувань системи орієнтації та стабілізації. У першій частині описані конструктивні рішення у компоновці стенду для забезпечення виконання задачі стенду. У другій частині описаний розрахунок кількості витків та діаметр дроту для забезпечення потрібного значення модуля вектора магнітної індукції магнітного поля, що створюється стендом. Далі показаний розрахунок потрібної потужності для джерела живлення, наведений розрахунок кроку магнітного поля як функції кроку струму, що є важливим для вибору джерела живлення. Наступною частиною є дослідження сфери однородності стенду - його робочої зони, яка повинна забезпечити випробування наносупутників формату CubeSat розміром 3U. Останньою частиною є опис системи керування стендом.

Ключові слова: СТЕНД, СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ, МАГНІТНЕ ПОЛЕ, НАНОСУПУТНИК

Аннотация. Статья под заглавием «Разработка и создание стенда для наземных испытаний системы ориентации и стабилизации наноспутников серии PolyITAN» посвящена вопросу исследования методики разработки специализированного стенда для наземных испытаний системы ориентации и стабилизации наноспутников на примере стенда, созданного в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского». Наземные испытания системы ориентации и стабилизации наноспутника являются необычайно важным этапом подготовки к запуску наноспутника. С целью обеспечения точности этих испытаний был создан стенд, который описан в данной статье. Задачей стенда является создание заданного магнитного поля в обеспеченном объеме, где имитируется полет наноспутника по орбите, проверяются режимы его стабилизации и ориентации. Во введении описывается опыт команды PolyITAN в создании наноспутников, раскрываются задачи первых двух наноспутников - PolyITAN-1 и PolyITAN-2, делается акцент на актуальности данного исследования. В основной части изложен поэтапный и посекторный порядок расчета стенда для наземных испытаний системы ориентации и стабилизации. В первой части описаны конструктивные решения в компоновке стенда для обеспечения выполнения задачи стенда. Во второй части описан расчет количества витков и диаметр провода для обеспечения требуемого значения модуля вектора магнитной индукции магнитного поля, которое создается стендом. Дальше показан расчет требуемой мощности для источника питания, приведен расчет шага магнитного поля как функции шага тока, что является важным для выбора источника питания. Следующей частью является исследование сферы однородности стенда - его рабочей части, которая должна обеспечить испытания наноспутников формата CubeSat размером 3U. Последней частью является описание системы управления стендом.

Ключевые слова: СТЕНД, СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, НАНОСПУТНИК

Abstract. The article under the heading "Developing and creation of ground testing simulator for orientation and stabilization system of PolyITAN nanosatellites" is devoted to the research of methods of developing of the specialized simulator for the nanosatellite orientation and stabilization system ground testing. This problem is

showed on the example of simulator developed in the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Ground testing of the orientation and stabilization system is critically important phase of the pre-flight preparation of the nanosatellite. In order to provide precise tests, the simulator described in this article was developed. Objective of the simulator is to create targeted magnetic field in assured volume, where flight of the nanosatellite is imitated, stabilization and orientation performances are tested. The introduction describes experience of the PolyITAN team in developing of nanosatellites, the tasks of the first two nanosatellites - PolyITAN-1 and PolyITAN-2 are revealed, the actuality of this research is highlighted. The main part reveals the order of development of the simulator for orientation and stabilization system ground testing in gradual and sector-wise way. First part shows construction decisions in the simulator’s configuration to ensure accomplishment of the simulator’s objective. Second part describes calculation of the number of turns and the diameter of the wire to provide required value of the modulus of the vector of magnetic field induction, which is created by the simulator. Next part is devoted to calculation of power required for power sources, increment of magnetic field induction as a function of the current increment is provided, what is very important for power source selection. Next part is a research of the uniformity sphere - working space of the simulator, which must provide enough volume for testing of the 3U nanosatellites of CubeSat format. Final part describes control system of the simulator.

Keywords: STAND, ORIENTATION AND STABILIZATION SYSTEM, MAGNETIC FIELD, NANOSATELLITE

Вступ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» розробив два наносупутники в міжнародному форматі CubeSat, які успішно виконують свої місії на орбіті. Перший супутник, PolyITAN-1, є, перш за все, відпрацюванням технології, платформи, всіх підсистем. Він виконаний в конфігурації 1U, тобто має розміри 10 на 10 на 10 см. Другий супутник, PolyITAN-2, досліджував склад термосфери в рамках міжнародного проекту QB50. Він виконаний в конфігурації 2U, тобто має розміри 10 на 10 на 20 см. Третій супутник, PolyITAN-3, зараз знаходиться в стадії активної розробки, його місією буде дистанційне зондування Землі. Він виконаний в конфігурації 3U, тобто має розміри 10 на 10 на 30 см. Для успішності будь-якої місії роль системи орієнтації є надзвичайно великою, тож калібровка і випробування проводяться на спеціалізованих стендах-імітаторах. Стенд створює магнітне поле, яке відповідає певному режиму польоту, і бортова система наносупутника визначає своє положення та/або характер обертання і виконує поворот наносупутника на заданий кут або ж зупиняє умовне обертання. За

основу концепції створення стенду прийнята модель викладена в [2].

Постановка задачі

Постановкою задачі даної роботи є розрахунок попередніх характеристик магнітної частини стенду для наземних випробувань системи орієнтації і стабілізації наносупутників КПП ім. Ігоря Сікорського.

Вирішення задачі

Проектування конструкції. Стенд повинен створити магнітне поле заданої величини магнітної індукції, заданого напрямку і задного розміру робочої частини, де буде знаходитись наносупутник. Після порівняння можливих варіантів компоновки конструкції стендів [2], [3] була обрана схема з використанням трьох пар квадратних котушок Гельмгольца розміром 1.5 на 1.5 метра. На кожному з трьох осей (X,Y,Z) стенду прийнята пара котушок. (рис. 1). Відстань між квадратними котушками для досягнення максимального об’єму однорідного поля повинна дорівнювати $0.5445L$ [1], де L - довжина сторони котушки.

Профілем рамки був обраний швелер з розмірами 20x20x20 мм

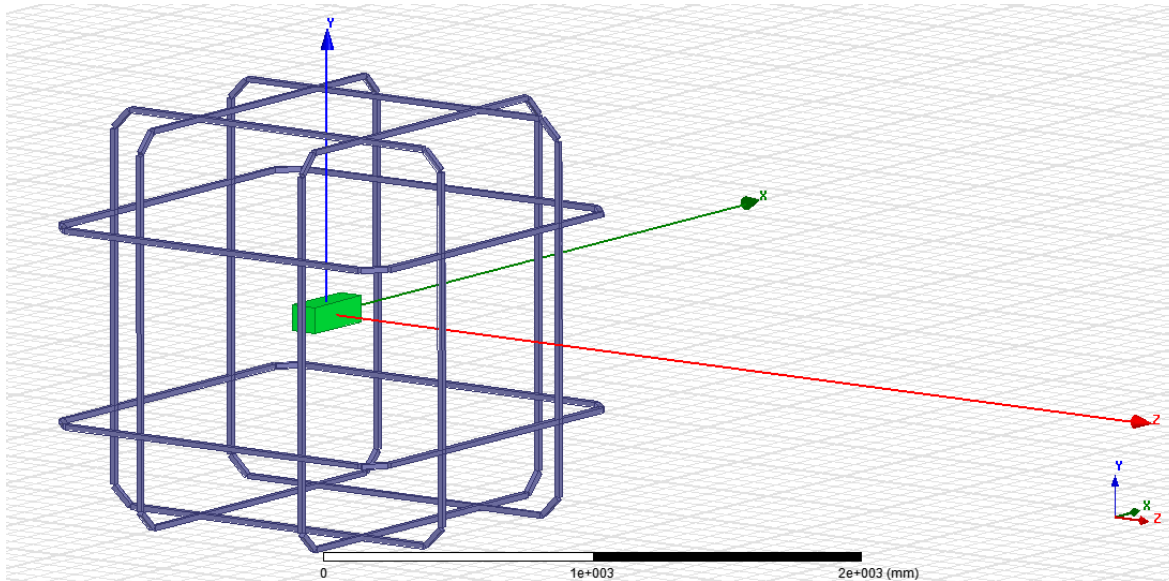


Рисунок 1 – Загальна 3D модель стелу з супутником всередині

Розрахунок кількості витків та діаметру дроту. Розрахунок проводилася для найбільш напруженого з точки зору сили струму режиму роботи стелу. Це режим, коли вектор магнітної індукції направлений по осі стелу (Рис. 2, варіант розрахунку, коли вектор магнітної індукції направлений по осі Y, значення вектора вказано в таблиці). В такому положенні поля задіяна тільки одна пара котушок і, як наслідок, сила струму в котушках максимальна. Величина модуля вектора магнітної індукції дорівнює, приблизно, 200 мкТл при значенні магніторушійної сили 192 Ампер-витка, що дорівнює подвоєній середній величині цього значення відносно режимів роботи при польоті по орбіті, взятому з коефіцієнтом запасу. Поле з таким модулем вектора магнітної індукції дасть змогу зімітувати будь-яке положення супутника незалежно від зовнішнього магнітного поля Землі в момент проведення випробувань. Аналогічно проведено моделювання найменш напруженого стану, коли

сумарний вектор від всіх трьох задіяних котушок направлений в кут стелу і отримано мінімальне значення магніторушійної сили, яке дорівнює 109 Ампер-витків. Моделювання виконано в програмному продукті ANSYS Maxwell. (рис. 2) Теоретична модель магнітного поля стелу аналогічної конструкції викладена в [3].

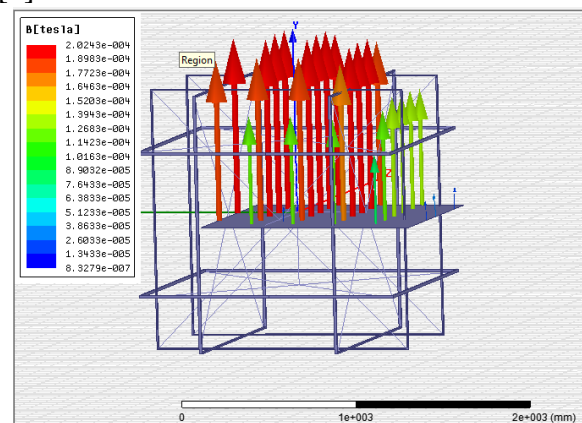


Рисунок 2 – Результати моделювання в програмному продукті ANSYS Maxwell найбільш напруженого стану при роботі тільки двох котушок. I=192 Ампер-витка

Згідно з результатами порівняння можливих варіантів дроту (як функцій кількості витків і навантаження відносно струму) обрано мідний дріт діаметром 1,3 мм, що є оптимумом між зручністю намотки і безпекою для роботи схеми.

Розрахунок потужності джерела живлення котушки. Для дроту діаметром 1,29 мм допустимий струм дорівнює 3,7 А; Витків на одній котушці: $N=192/3.7=52$ шт. Опір однієї котушки $R=4.172$ Ом. Для такого дроту потрібне джерело з напругою від 15 В.

Крок зміни магнітного поля. Були висунуті вимоги до джерела живлення по кроку зміни сили струму.

Для випробувань крок зміни магнітного поля має відповідати похибці магнітометра. В розрахунку приймаємо крок рівний 20 нТл. Після проведення необхідних комп'ютерних моделювань зроблено висновок, що для забезпечення приросту модулю магнітної індукції на 20 нТл, потрібно обрати джерела які забезпечать вибраний приріст з кроком сили струму 0,22 мА, тобто 0,5% від номінального струму.

Однорідність поля. Для дослідження однорідності магнітного поля дослідимо графік зміни модуля магнітної індукції перпендикулярно силовим лініям магнітного поля при роботі стенду на максимальному режимі струму. Так як областю однорідності двох котушок є циліндр, областю однорідності трьох взаємно перпендикулярних осей стенду буде, приблизно, сфера, радіусом рівним радіусу цього циліндра. На прикладі зміни модуля магнітної індукції між двома X котушками (найменшими) по яких тече струм 192 ампер-витка вздовж лінії перпендикулярної до силових ліній між котушками були зроблені висновки щодо однорідності поля.

Отриманий радіус однорідності з похибкою менше 1%: $R=293$ мм, що цілком задовільняє умови щодо розміру сфери однорідності магнітного поля, оскільки в

сферу однорідності можна помістити трьохюнітовий наносупутник формату CubeSat. Розміри таких супутників дорівнюють 10x10x30 см і саме таким розробляється третій супутник PolyITAN-3.

Система керування. Електрична частина імітатора складається з:

1) драйверів котушок, які являють собою H-мости і за допомогою широтно-імпульсної модуляції можуть плавно змінювати струм і, як результат, величину поля;

2) магнітометра, який використовується для зворотнього зв'язку;

3) плати з мікроконтролером STM32F103, що забезпечує керування драйверами відповідно до сигналів зворотнього зв'язку;

4) перехідника UART на WIFI/Ethernet, дозволяючого підключити імітатор до комп'ютерної мережі та віддалено ним керувати.

Схема зображена на рис. 4.



Рисунок 3 – Попередній загальний вид стенду із супутником

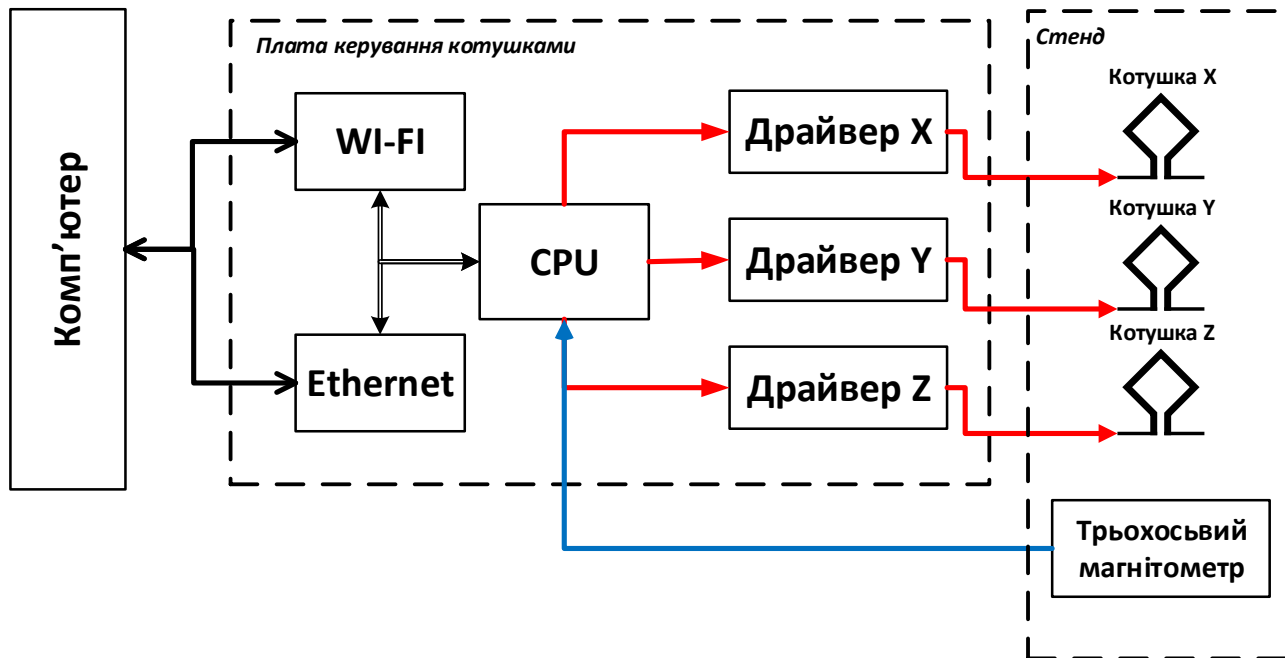


Рисунок 4 – Структурна схема системи керування

Бібліографічні посилання

Висновки

Оскільки дійсне магнітне поле відповідає розрахунковому (Перевірялося поле від однієї котушки експериментально і розрахуково), можна сказати, що параметри стенду були розраховані вірно і вже після остаточних налаштувань стенду по точності можна буде починати випробування системи орієнтації і стабілізації наносупутника PolyITAN-3 в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського. Але застосування даного стенду не обмежується лише наносупутниками, які розробляє КПІ ім. Ігоря Сікорського. В стенді можна випробовувати будь-які супутники відповідних розмірів.

1. CubeSat attitude determination and Helmholtz cage design/ Megan R. Brewer// AFIT/GAE/ENY/12-M03, March 2012, pp. 25-50.
2. Design and Construction of a Magnetic Field Simulator for CubeSat Attitude Control Testing/ Mark A. Post, Junquan Li, Regina Lee // Department of Earth and Space Science and Engineering, York University, Ontario, Canada.
3. Design, manufacturing, and test of a real-time, three-axis magnetic field simulator/ F. Piergentili, G. P. Candini, and M. Zannoni// IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, Vol. 47, No. 2, 2011

Надійшла до редколегії 21.11.2019р

Відомості про авторів



Падун Олексій Миколайович,
Україна. Національний
технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського». Студент
Сфера інтересів – системи
орієнтації космічних апаратів.



Коваленко Євген Юрійович,
Україна. Національний
технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського».
Кандидат технічних наук.
Сфера інтересів –
Електроніка, програмування.



Рассамакін Борис
Михайлович, Україна.
Національний технічний
університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського». Кандидат
технічних наук.
Сфера інтересів – системи
терморегулювання ракетно-
космічної техніки



Остапчук Сергій Васильович,
Україна.
Національний технічний
університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського». Інженер.
Сфера інтересів – системи
орієнтації космічних
апаратів.



Пінчук Артем Іванович,
Україна. Національний
технічний університет
України «Київський
політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського». Інженер.
Сфера інтересів – Системи
керування супутниками..