

УДК 621.384

*П.С. Котляр, студент гр. ПО-61м, к.т.н., доц. Микитенко В.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МАЛОГАБАРИТНИЙ ДАТЧИК ЗОРЯНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ДЛЯ НАНОСУПУТНИКІВ

Анотація. В останні роки швидко зростає число мікро- і наносупутників - космічних апаратів з масами в десятки і одиниці кілограм. Також як і «великі» супутники малі космічні апарати потребують прилади для визначення - гіроскопи, зоряні датчики, датчики наведення на Сонце і на центр Землі. Причому ці датчики повинні бути істотно більш легкими, компактними і, найголовніше, більш дешевими, ніж їх «великі брати». І при цьому ці датчики повинні залишатись досить точними. Деякі з цих приладів - гіроскопи, датчики Сонця і Землі - вже присутні на ринку малих космічних апаратів, але зоряних датчиків, особливо для наносупутників, там поки немає.

Ключові слова: зоряні датчики орієнтації, малі космічні апарати.

ВСТУП

В даний час швидко зростає кількість запусків наносупутників (наносупутники відносяться до малих супутників (англ. Nanosatellite, nanosat), мають масу від 1 до 10 кг) різного призначення, наприклад, в стандарті CubeSat [1]. Для ряду виконуваних ними завдань необхідне знання орієнтації в інерціальній системі координат.

З найбільшою точністю і на необмеженому інтервалі часу це можна зробити за допомогою зоряних датчиків орієнтації.

Датчик для наносупутників повинен мати масу не більше 100 г, розміри менше $60 \times 60 \times 60$ мм, енергоспоживання не вище 0,25 Вт і, найголовніше - низьку ціну [2].

Подібні розробки ведуться в Канаді, США та Німеччині [3]. Малогабаритний зоряний датчик канадської фірми Sinclair Interplanetary восени 2013 був вперше виведений в космос [4]. В Україні подібних розробок до сих пір не було.

Розробляємий малогабаритний датчик зоряної орієнтації (Рисунок 1) має масу менше 100 г з габаритами по корпусу $40 \times 40 \times 60$ мм, передбачувана точність якого 10 ... 15 кутових секунд. Поле зору датчика - $13,7 \times 13,7^\circ$. Основними навігаційними об'єктами для такого поля зору є зірки до 5,2m. Бортовий каталог зоряного датчика містить при цьому близько 2000 зірок. Енергоспоживання датчика в режимі безперервного визначення орієнтації, при відключеному охолоджувачі становить 0,25 Вт, в режимі калібрування - 0,5 Вт. Включення термоелектричного охолоджувача підвищує споживання енергії на 1 Вт.

Особливості даного датчика:

- використання алгоритмів підвищення точності визначення орієнтації;
- принципово нова «колодязна» компоновка датчика;
- малий розмір матричного фотоприймача;

Крім цього в конструкції датчика передбачені опції, спрямовані на збільшення терміну активного існування в умовах відкритого космосу, в тому числі на підвищення радіаційної стійкості пристрою.

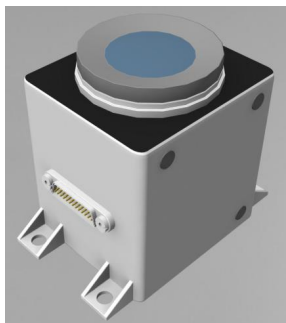


Рисунок 1. Зоряний датчик (зовнішній вигляд)

ВИКОРИСТОВУВАНІ АЛГОРИТМИ

Датчик повністю автономний і видає інформацію про свою орієнтацію у вигляді кватерніона.

Похибка визначення орієнтації датчика складає 10 ... 15 кут. с, що в 25-35 разів менше кутового розміру проекції пікселя фотоприймача на небесну сферу. Для досягнення такої високої точності використовуються вдосконалені алгоритми [5].

Виявилось, що метод «паспортів зірок» погано працює для каталогів малого обсягу. Тому для початкової орієнтації був застосований метод розпізнавання зоряних конфігурацій шляхом порівняння пар зірок у варіанті без використання інформації про їх блиск. Для каталогу обсягом близько 2000 зірок цей метод показує як високу надійність (більше 98%), так і швидкодію.

Бортовий каталог зірок був створений на основі координатної інформації з каталогів Tycho-2 і Hipparcos [6].

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДАТЧИКА

Відправною точкою при розробці конструкції датчика був вибір фотоприймача. Як фотоприймач був обраний КМОП UIC1203 в корпусі PLCC-48 виробництва фірми Uniqueics. Інші компоненти: процесор 1986BE94T, ОЗУ 1645PY4AY3, ПЗУ 1636PP2Y і ряд інших мікросхем виробництва фірми «Milandr».

Розширення КМОП-матриці становить 128×128 пікс при розмірі фоточутливої області $2,56 \times 2,56$ мм (розмір пікселя 20 мкм). Матриця має скло товщиною 0,5 мм.

Для збільшення терміну активного існування в умовах відкритого космосу в датчику реалізовані наступні технічні рішення.

Об'єктив виконаний з радіаційностійкого скла (100-200 серії).

У зв'язку з деградацією фотоприймача під дією радіації необхідно періодично проводити його калібрування, в першу чергу по темновому струму.

Для зниження рівня темнових струмів, які суттєво зростають при опроміненні, можлива установка охолоджувача для КМОП-матриці.

Для зменшення габаритів датчика, а також для забезпечення найкращого відводу тепла від фотоприймача, процесора, ОЗУ і ряду інших електронних компонентів, була запропонована «колодязна» компоновка. У ній матриця і об'єктив розташовуються в нижній частині корпусу датчика, а бленда - всередині корпусу.

Єдина електронна плата виконана за спеціальною технологією і має гнучкі ділянки. Це дозволяє робити вигин плати так, щоб основні тепловиділяючі мікросхеми і фотоприймач були розташовані на чотирьох субплатах (Рисунок 2).

Кріплення та притиснення сублат до корпусу здійснюється гвинтами М2 з потайною головкою, що встановлюються зовні корпусу. Нижня субплата безпосередньо під фотоприймачем має вікно. З нього виступає встановлений на теплопровідному клеї на тильну поверхню фотоприймача термоелектричний охолоджувач (Рисунок 3). Охолоджувач включається в тому випадку, коли температура посадочних місць перевищить верхній температурний рівень допустимих.

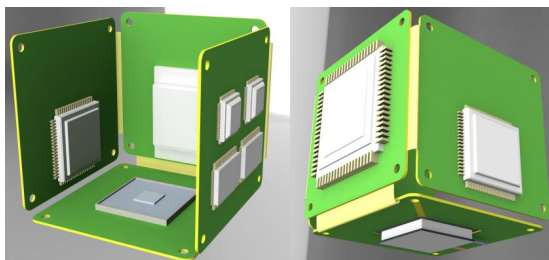


Рисунок 2. Плата датчика з гнучкими ділянками перед установкою

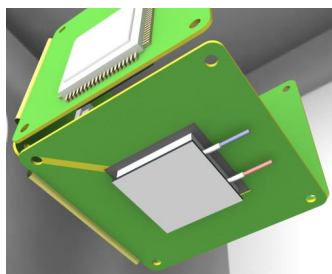


Рисунок 3. Термоелектричний охолоджувач на платі.

Об'єктив датчика чотирьохлінзовий, виконаний з радіаційностійкого скла 100-200-й серії. Поле зору датчика складає $19,5^\circ$ по діагоналі кадру при діаметрі вхідної зіниці 9 мм.

ВИСНОВКИ

Розробка данного зоряного датчика сприяє вирішенню важливої проблеми створення малогабаритного датчика зоряної орієнтації для наносупут-

ників. Використання алгоритмів підвищення точності визначення орієнтації дозволяє отримати похибку в 10 ... 15 кут. с, що в 25-35 разів менше кутового розміру проекції пікселя фотоприймача на небесну сферу. Нова «колодязна» компоновка датчика дозволяє зменшити габарити датчика, а також покращити відвод тепла від фотоприймача, процесора, ОЗУ. Об'єктив виконаний з радіаційностійкого скла дозволяє збільшити термін активного існування в умовах відкритого космосу. Всі ці характеристики роблять даний зоряний датчик чудовим пристроєм для ринку малих космічних апаратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CubeSat Design Specification (CDS): Rev. N. 13 / California Polytechnic State University. URL: www.cubesat.org
2. Prokhorov M., Abubekrov M., Biryukov A., Stekol'shchikov O., Tuchin M., Zakharov A. Star Tracker on Chip // Proc. 27th Ann. AIAA/USU Conf. Small Satellites. Logan, Utah, Utah State University, 2013. SSC13-WK-2.
3. Enright J., Sinclair D., Grant C. C., McVittie G., Dzamba T. Towards Star Tracker Only Attitude Estimation // Proc. 24th Annu. AIAA/USU Conf. Small Satellites. Logan, Utah, Utah State University, 2010. SSC10-X-3.
4. Sinclair D. ST-16 Star Trackers on Orbit. URL: <http://www.sinclairinterplanetary.com/news/st-16startrackersonorbit>
5. Тучин М. С., Бирюков А. В., Захаров А. И., Прохоров М. Е. Учёт термогенерации матричных приборов с зарядовой связью как основа повышения точности звёздного датчика // 3-я Всерос. научно-технич. конф. «Современ. проблемы определения ориентации и навигации космич. аппаратов». Таруса, 10–13 сент. 2012: сб. тр. / Под ред. Аванесова Г. А. М.: ИКИ РАН, 2013. С. 249–256.
6. The Hipparcos and Tycho Catalogues / ESA SP-1200. 1997. URL: <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=Overview>