**Разработка компактного электронного блока системы навигации кубсата**

***Семин Г. Н., Добриков С. Н.,***

*Бюджетное общеобразовательное учреждение Орловской области «Созвездие Орла»,*

*Орловская Область, Россия,*

*Email:* [*ceme4ko2008@gmail.com*](mailto:ceme4ko2008@gmail.com)*,* [*serg.dobrikov@bk.ru*](mailto:serg.dobrikov@bk.ru)

**Development of a compact electronic unit of the cubesat navigation system**

***Semin G. N., Dobrikov S. N.,***

*Budgetary educational institution of the Oryol region «Sozvezdie Orla»,*

*Oryol region, Russia,*

**Аннотация**

В работе освещается проблема массивности системы навигации в малых космических аппаратах типа cubesat. Рассмотрены существующие методы навигации, выявлены их недостатки. Предложено решение проблемы – создание электронного блока компактной системы навигации кубсата на основе магниторезистивных датчиков. Была разработана структурная и электронная схемы, создан опытный образец печатной платы, для неё было разработано программное обеспечение в среде программирования Arduino IDE. Были проведены исследования работоспособности магниторезистора. Для испытания работы системы навигации был собран перечень необходимых компонентов cubesat. Была рассчитана экономическая составляющая.

**Abstract**

The paper highlights the problem of the massiveness of the navigation system in small spacecraft such as cubesats. The existing navigation methods are considered and their disadvantages are revealed. A solution to the problem is proposed – the creation of an electronic unit for a compact cubesat navigation system based on magnetoresistive sensors. Structural and electronic circuits were developed, a prototype printed circuit board was created, and software was developed for it in the Arduino IDE programming environment. Studies of the performance of the magnetoresistor have been conducted. To test the operation of the navigation system, the necessary list of cubesat components was assembled. The economic component was calculated.

**Ключевые слова:** система навигации; cubesat; навигационные датчики; AMR-магниторезистор.

**Keywords:** navigation system; cubesat; navigation sensors; AMR-magnetoresistor.

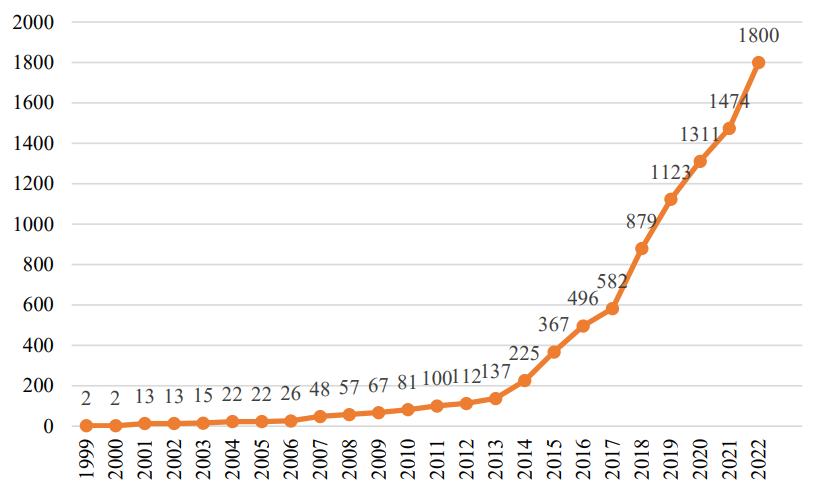
**Введение**

Проблема: массивность системы навигации полёта малых космических аппаратов типа CubeSat.

Актуальность: в настоящее время растёт интерес к малым космическим аппаратам – кубсатам (рис. 1). Это объясняется:

1. Низкой стоимостью относительно других космических аппаратов.

2. Маленькой массой, из-за чего возможна отправка на орбиту на ракетоносителях лёгкого класса или в качестве попутного груза.



*Рис. 1.* График роста запусков кубсатов в год

Важнейшим элементом не только кубсата, но и любого другого космического аппарата являются системы ориентации и навигации, которые позволяют определять и корректировать положение спутника относительно Земли или какого-либо другого космического тела. С повышением числа запусков малых космических аппаратов растёт и потребность в уменьшении массы и габаритов его компонентов, в частности системы навигации полетов.

Потенциальные заказчики: компании, работающие в области космических технологий.

Цель: разработка компактного электронного блока системы навигации кубсата.

Задачи:

1. Изучить существующие методы навигации космических аппаратов.

2. Обосновать выбор магниторезисторов в качестве измерительных датчиков.

3. Спроектировать печатную плату опытного образца для исследования магниторезистора.

4. Составить перечень компонентов кубсата и их компоновки.

5. Провести энергетический расчет по определению потребляемой мощности компонентов и обоснованию выбора системы питания.

**Виды навигационных датчиков**

Основными задачами ориентации космического аппарата являются стабилизация, успокоение и повороты на заданные углы.

Для обеспечения правильной ориентации полета необходима система навигации, которая состоит из группы датчиков. Существуют различные виды навигационных датчиков:

1. Датчики вертикали. Определяет угловые отклонения космического аппарата относительно местной вертикали. Датчики вертикали необходимы для построения на борту орбитальной системы координат.

2. Солнечные датчики. Солнце является мощным источником излучения, что позволяет создавать простые и надежные оптико-электронные приборы для навигации космического аппарата. Для датчиков Солнца используется видимый спектральный диапазон.

3. Звездные датчики. Углы ориентации космического аппарата определяются путем сравнения изображения участка звездного неба, наблюдаемого в поле зрения датчика, с картиной звездного неба, хранящейся в памяти.

4. Гироскопические датчики угловой скорости. Для измерения угловой скорости космического аппарата применяется двухстепенный гироскоп с «электрической» пружиной, которая создает противодействующий момент, пропорциональный отклонению рамки от исходного положения и обеспечивает гашение упругих колебаний.

5. Магниторезистивные датчики. Полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого изменяется под воздействием внешнего магнитного поля, что позволяет измерить угловые отклонения.

**Преимущества магниторезисторов**

Для системы навигации полёта лучше использовать магниторезистивные датчики по ряду причин:

1. Микросхемность исполнения. В настоящее время магниторезисторы изготавливаются в виде микросхем.

2. Широкий диапазон рабочих температур. Благодаря специальному подбору резисторов в датчике температурные изменения практически не влияют на результат измерений.

3. Низкая стоимость. Позволяет снизить риск больших финансовых потерь при гибели микроспутника в случае аварии ракетоносителя или при неудачном выведении его на орбиту.

**Выбор магниторезистора**

Существует ряд готовых решений магниторезисторов, доступных на рынке, характеристики которых представлены на таблице 1 (табл. 1).

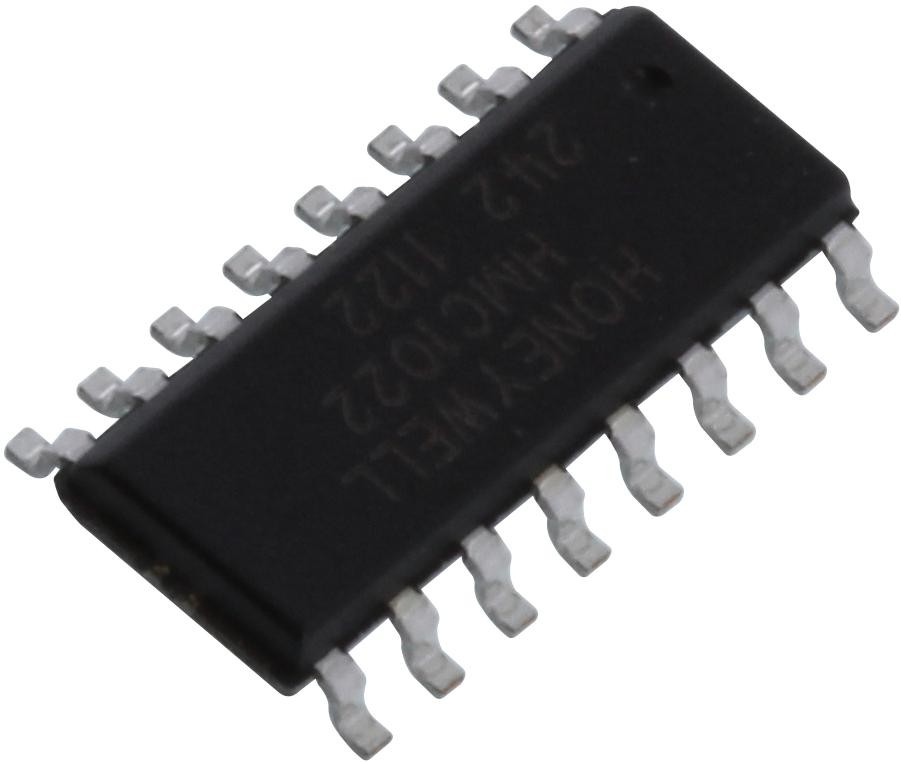
***Таблица 1***

**Характеристики аналогов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | NanoSense M315 | NMRM-Bn25o485 | TFM 100S |
| Диапазон измеряемого поля | ±800 нТл | ±60000 нТл | ±100 нТл |
| Диапазон рабочих температур | -40° …+85° С | -25° …+70° С | -40° …+85° С |
| Напряжение питания | 3,3 В | 5 В | 28 В |
| Разрешающая способность | 16 нТл | 8 нТл | 0,1 нТл |
| Размеры | 23 х 20 х 8 мм | 99 х 43 х 17 мм | 36 х 35 х 154 мм |
| Масса | 8 г | 85 г | 200 г |
| Принцип работы | Магниторезистор | AMR-магниторезистор | Феррозонд |

У аналогичных датчиков существуют недостатки в размерах, массе и точности, по этой причине требуется новое решение, обладающее как высокой точностью измерений, так и небольшими размерами и массой.

Учитывая, что магнитное поле Земли обладает индукцией от 0,03 до 0,07 мТл, наилучшим выбором является магниторезистор HMC1022 (рис. 2), так как он не только обладает необходимыми измерительными характеристиками и небольшими размерами, но и достаточно малой массой. Важной особенностью датчика является то, что он измеряет не скалярное, а векторное значение магнитной индукции.

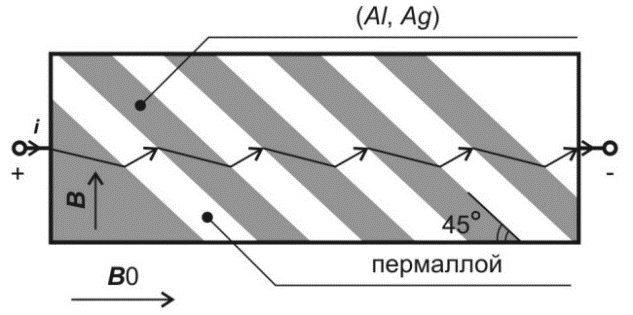


*Рис. 2.* HMC1022

**Принцип работы AMR-магниторезистора**

Принцип работы выбранного датчика основан на эффекте магнитной анизотропии, из-за этого их называют анизотропными или AMR магниторезисторами (AMR - Anisotropic Magnetoresistance).

AMR-эффект заключается в изменении сопротивления образца материала в зависимости от угла направления вектора намагниченности по отношению к направлению протекания электрического тока через него. Большинство современных AMR-магниторезисторов изготавливают в «зазубренном» варианте, повернув пленки никеля-железа (пермаллой) на угол 45° (рис. 3) с целью линеаризовать измерительную характеристику.

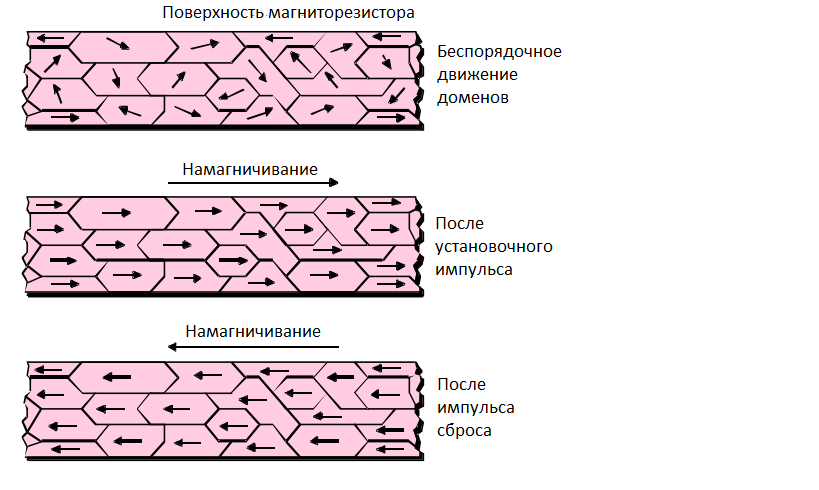


*Рис. 3*. AMR-элемент

Для измерения магнитных полей требуется только напряжение питания. При его подаче на мосты датчики преобразуют любое падающее магнитное поле в направлениях чувствительной оси в дифференциальные выходные напряжения.

В процессе работы AMR-магниторезистора на него воздействуют сильные магнитные поля, в основном вызываемые близко расположенным электрическим оборудованием, которые намагничивают датчик. Источники магнитного поля высокой интенсивности не наносят вреда элементам датчика, но элементы будут возмущены сторонними полями, а не требуемыми направлениями оси. В результате этого намагничивания элементов датчика он потеряет чувствительность.

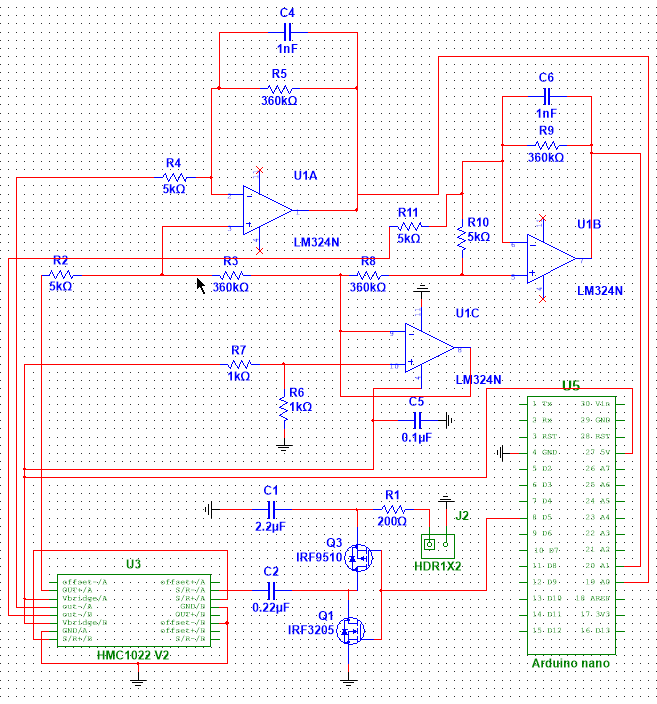
Для восстановления датчик оснащён перемагничивающей катушкой, активизируя которую обеспечивается возможность компенсировать постоянную составляющую внешних магнитных сил путём использования импульсов установки и сброса (рис. 4), тем самым восстановив сенсор до первоначального состояния.



*Рис. 4.* Принцип работы импульсов установки и сброса

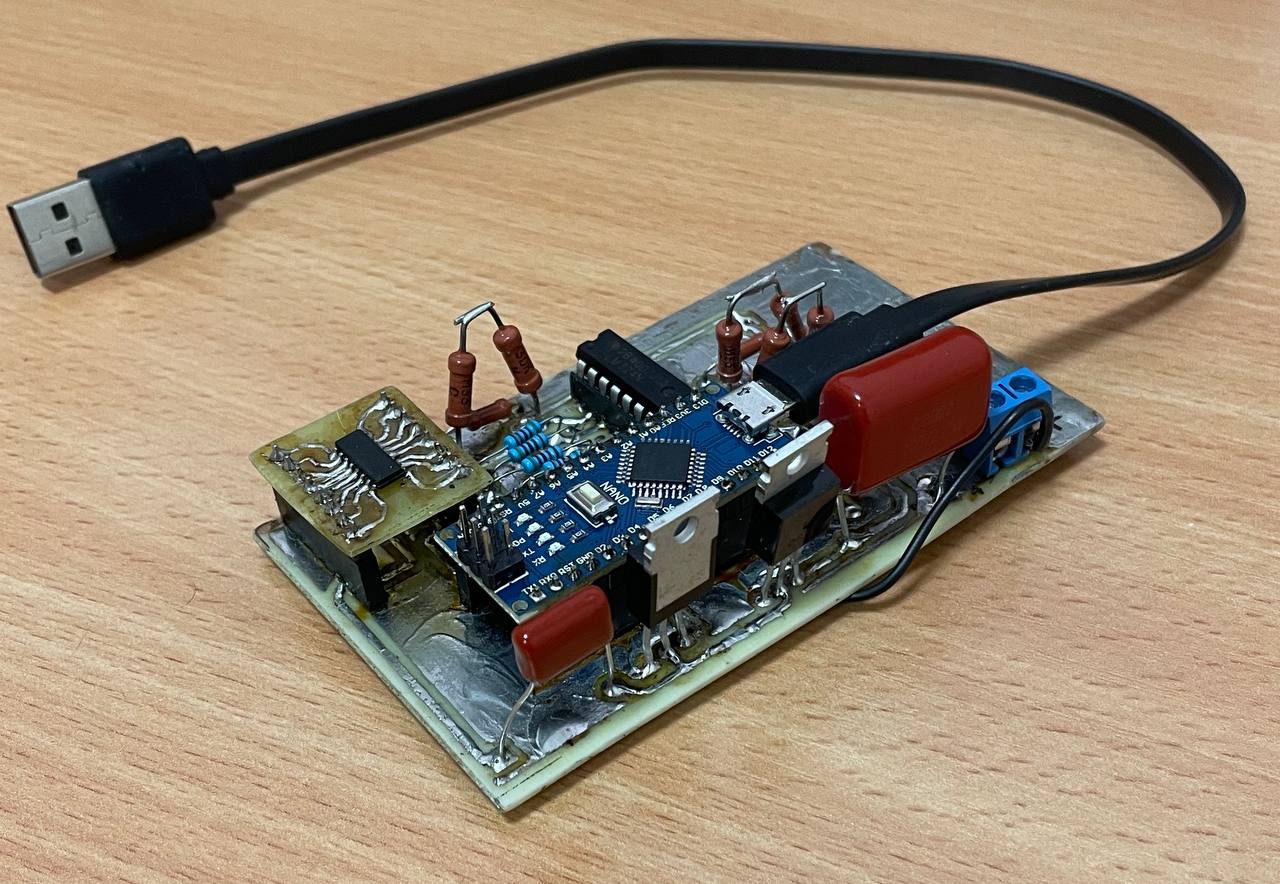
**Разработка печатной платы**

Учитывая особенности строения AMR-магниторезисторов, разработана электрическая схема (рис. 5), для исследования работы датчика.



*Рис. 5*. Электронная схема платы

Разработана и изготовлена печатная плата (рис. 6), себестоимость которой составляет 3300 рублей. Разработано программное обеспечение в среде программирования Python IDE, проведены исследования работоспособности магниторезистора.



*Рис. 6.* Печатная плата

**Перечень компонентов кубсата**

Для проведения испытаний системы навигации был составлен перечень компонентов кубсата (табл. 2).

***Таблица 2***

**Перечень компонентов cubesat**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Название | Размеры, мм | Масса, г | Потребляемая мощность, вт | Количество |
| Приёмопередатчик | PRO SXC-UHF-02 | 87 х 93 х 13 | 43 | 3.5 - передача,  0.2 - приём | 1 |
| Вычислительный модуль | SXC-MB-04 | 86.2 х 93.6 х 14 | 55 | 0.9 | 1 |
| Система энергопитания | SXC-PSU-03 | 96 х 89 х 14 | 58 | 0.16 | 1 |
| Блок аккумуляторов | SXC-BAT-03 | 97 х 83 х 34.5 | 360 | \*ёмкость 39.8 Вт/ч | 1 |
| Антенная система | SXC-AUH-02 | 98 х 98 х 10.5 | 32 | - | 1 |
| Солнечная панель | SXC-SGS-03 | 98 х 82.6 х 8.6 | 30 | \*производимая мощность 4.7 | 3 |
| Солнечный датчик | PRO SXC-SD-01 | 28 х 23 х 11 | 10 | 0,015 | 3 |
| Маховик | CUBEWHEEL Small+ | 33.4 x 33.4 x 31.5 | 90 | 2,3 | 3 |
| Система навигации | - | 55 x 90 x 30 | 30 | 0,2 | 2 |
| Корпус | CUBESAT SXC-F3U-01 | 100 х 100 х 340.5 | 455 | - | 1 |

Максимальная потребляемая мощность – 11,9 вт.

Максимальная производимая мощность – 14,1 вт.

**Затраты и источники финансирования**

Затраты для производства и запуска кубсата на орбиту Земли приведены в таблице 3 (табл. 3).

***Таблица 3***

**Расходы**

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование** | **Стоимость, руб** |
| Кубсат | 7.5 млн |
| Вибрационные испытания | 500 тыс |
| Термовакуумные испытания | 1млн |
| Радиационные испытания | 1.5 млн |
| Услуги по запуску | 4.5 млн |
| Итого | 15 млн |

Финансирование проекта планируется за счёт грантов, университетов и компаний, работающих в области космических технологий.

**Итоги и потенциал**

Итоги: в ходе работы были изучены существующие способы навигации космического аппарата в пространстве, выявлены их достоинства и недостатки, был создан опытный образец печатной платы, составлен перечень компонентов кубсата для испытания компактной системы навигации.

Потенциал: внедрение спроектированной системы навигации полёта в аэрокосмическую промышленность.

**Используемые источники**

1/ 1- and 2-Axis Magnetic Sensors HMC1001/1002/1021/1022 / [Электронный ресурс] // ChipDip : [сайт]. — URL: <https://static.chipdip.ru/lib/861/DOC011861792.pdf> (дата обращения: 20.11.2024).

2. Васильев В. Н. СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ / Васильев В. Н. [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/vasilev_v/sistemy/vasilev_sistemy_2009.pdf> (дата обращения: 18.11.2024).

3. Наноспутниковая платформа CubeSat «OrbiCraft-Pro» / [Электронный ресурс] // Спутникс : [сайт]. — URL: <https://sputnix.ru/tpl/docs/Описание%20ОрбиКрафт-Про%20(рус.).pdf> (дата обращения: 25.11.2024).