

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра комп'ютерної інженерії

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри комп'ютерної інженерії
від «___» _____ 2024 року, протокол № ____.
Завідувач кафедри канд. ф.-м.н., доцент
_____ Юрій БОЙКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

**«РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ: ПОЛЬОТНА ПЛАТФОРМА НА БАЗІ
ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРА ARDUCOPTER»**

Виконав:

студент 4-го курсу
денної форми навчання
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
ОПП «Інженерія комп'ютерних систем і мереж»
Цибульський Роман Олександрович _____

Науковий керівник:

асистент кафедри, канд. фіз.-мат. наук
Баужа Олександр Стасісович _____

Рецензент:

доцент кафедри нанофізики конденсованих, канд. фіз.-мат. наук
Сусь Богдан Богданович _____

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ Роман ЦИБУЛЬСЬКИЙ

Київ - 2024

NATIONAL TARAS SHEVCHENKO UNIVERSITY OF KYIV
FACULTY OF RADIO PHYSICS, ELECTRONICS, AND COMPUTER SYSTEMS
Department of Computer Engineering

«Manuscript»

The thesis is permitted to defense by the Examination Committee
by the decision of the Department of Computer Engineering
dated “ ____ ” _____ 2024, protocol № _____.
Head of department, Associate Professor, PhD
_____ Yurii BOYKO

BACHELOR'S QUALIFICATION THESIS
on the topic:
"DEVELOPMENT OF LABORATORY WORK: A FLIGHT PLATFORM BASED
ON THE ARDUICOPTER FLIGHT CONTROLLER"

Completed by:

4th year student
full-time study
specialty 123 Computer Engineering
EPP «Computer Systems and Networks Engeneering»
Roman TSYBULSKYI _____

Supervisor:

Associate professor, PhD
Oleksandr BAUZHA _____

Reviewer:

Associate professor, PhD
Bogdan SUS' _____

I certify that there are no borrowings
from the works of other authors without
appropriate references in this thesis
Student ____ Roman TSYBULSKYI

РЕФЕРАТ

Ключові слова: КВАДРОКОПТЕР, БПЛА, ПОЛІТ, ДАТЧИКИ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЬ

Кваліфікаційна робота містить 37 сторінок, 29 рисунків, 6 джерел посилання.

Мета даної роботи полягає у розробці та реалізації лабораторного макету рухомої платформи на базі польотного контролера ArduCopter 2.8, здатної виконувати різноманітні завдання в умовах автономного функціонування. Результатом проектування є створення функціональної та ефективно працюючої системи, здатної виконувати задачі з автономної навігації та моніторингу.

Було розглянуто технічну документацію компонентів для розробки польотної платформи з дистанційним керуванням. Також виокремлено фізичну складову мікроконтролера та відповідних модулів для подальшої модернізації макета. Описано схематичне конструювання макета розробленої платформи та продемонстровано результати роботи.

Отримані результати мають практичне значення для подальшого розвитку автономних систем у таких галузях, як транспортування, моніторинг довкілля, пошук та рятування тощо. Рекомендації, отримані в ході дослідження, можуть бути використані для покращення функціональності та надійності автономних систем у майбутньому.

Інструменти: Mission Planer, пульт управління FlySky, паяльний набір.

Розроблений макет може використовуватись для демонстрації у курсах «Периферійні пристрої», «Мікропроцесорна техніка», «Схемотехніка», «Програмування вбудованих систем».

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БпЛА	6
1.1 Поняття та класифікація безпілотних літальних апаратів	6
1.2 Типові технічні рішення конструкцій мультикоптерів	9
1.3 Платформа розробки	11
1.4 Існуючі модулі управління	14
1.5 Постановка задачі для проекту	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА	19
2.1 Типи двигунів	19
2.2 Електронний регулятор швидкості	22
2.3 ArduCopter 2.8	24
2.4 Приймач	27
2.5 GPS модуль Ublox NEO-M8N	28
РОЗДІЛ 3 Збірка макета та формулювання лабораторного завдання	29
3.1 Лабораторний макет	29
3.2 Лабораторне завдання	31
3.3 Висновок	34

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БпЛА – Безпілотний літальний апарат

МК - Мікроконтролер

PID – Proportional Integral Derivative

IC - Integrated Circuit, Мікросхема - напівпровідниковий електронний пристрій, який являє собою набір електронних схем на одній суцільній пластині з напівпровідникового матеріалу

GPS – Global Positioning System, Система глобального позиціонування - сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері

IMU - Inertial Measuring Unit, Інерційна вимірювальна одиниця - електронний пристрій, який вимірює та повідомляє питому силу тіла , кутову швидкість, а іноді й орієнтацію тіла, використовуючи комбінацію акселерометрів , гіроскопів і іноді магнітометрів

SMD - Surface Mount Device, Пристрій поверхневого монтажу компонент, за який монтується безпосередньо на поверхню друкованої плати

GCS – Ground Control Station, Наземна станція управління - центр управління наземного або морського базування, який забезпечує засоби для управління безпілотними літальними апаратами людиною

MOSFET - Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor – Металооксидні напівпровідникові польові транзистори

ВСТУП

У сучасному світі, де технології розвиваються стрімкими темпами, безпілотні пристрої набувають все більшого розповсюдження та значущості. Рухомі платформи на базі польотних контролерів, зокрема ArduCopter, представляють собою перспективний напрямок досліджень та розробок у галузі робототехніки та автоматизованих систем керування.

Актуальність даної кваліфікаційної роботи обумовлена зростаючим попитом на мобільні та гнучкі рішення для моніторингу, картографування, доставки вантажів та інших застосувань у різноманітних сферах, таких як сільське господарство, безпека, екологія, наукові дослідження тощо. Розробка лабораторної роботи для створення рухомої платформи на базі польотного контролера ArduCopter дозволить ознайомитися з принципами роботи безпілотних систем, набути практичних навичок програмування та налаштування таких пристроїв.

Метою даної кваліфікаційної роботи є детальна розробка лабораторного макету для створення рухомої платформи на базі польотного контролера ArduCopter, яка включатиме теоретичну та практичну частини. Теоретична частина буде охоплювати основні концепції та принципи роботи безпілотних систем, а також опис польотного контролера ArduCopter та його можливостей. Практична частина передбачатиме детальні інструкції щодо налаштування та програмування контролера для забезпечення функціонування рухомої платформи.

Дана кваліфікаційна робота має на меті не лише створити повноцінну лабораторну роботу, а й внести свій внесок у розвиток знань та навичок у галузі робототехніки та автоматизованих систем керування. Результати роботи можуть бути використані як у навчальному процесі, так і для подальших досліджень та розробок у даній сфері.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БпЛА

1.1 Поняття та класифікація безпілотних літальних апаратів

Безпілотний літальний апарат (БпЛА) є повітряним судном, яке не має на борту пілота чи екіпажу. Управління таким апаратом здійснюється автоматично або дистанційно за допомогою спеціальної безпілотної авіаційної системи (безпілотного авіаційного комплексу). Ця система є невід'ємною складовою БпЛА та включає в себе наземну станцію керування та систему зв'язку з безпілотником. Пілотування БпЛА може відбуватися в двох режимах: дистанційному та автоматичному. У дистанційному режимі управління здійснюється оператором за допомогою наземної станції керування. В автоматичному режимі апарат керується різноманітними системами управління, такими як системи автопілоту або спеціальні програми. Ці програми дозволяють БпЛА рухатися за заздалегідь визначеною траєкторією та маршрутом, частково або повністю без втручання оператора.

Безпілотні літальні апарати (БпЛА) можна класифікувати за різними критеріями, залежно від їхнього призначення, технічних характеристик та конструктивних особливостей. Класифікація БпЛА здійснюється з урахуванням таких факторів:

1. Цільове призначення: розвідка, спостереження, доставка вантажів, сільськогосподарські операції тощо.
2. Тип конструкції:
 - Літакового типу - повітряні платформи з статичними крилами як у літака



Рисунок 1.1 БпЛА літакового типу моделі Cetus компанії Abris

- мультироторні системи або БпЛА вертолітного типу



Рисунок 1.2 DJI AGRAS T40

На відміну від безпілотних літальних апаратів літакового типу, які керуються за допомогою зміни кута нахилу основних рулів та елеронів, мультироторні дрони використовують іншу конструкцію і принцип керування. Мультироторні дрони обладнані двома або більше гвинтами, кількість яких відповідає кількості роторів в їхній конструкції. Управління польотом мультироторних дронів є відносно простим порівняно з літаковими безпілотниками. Одним з найпоширеніших різновидів мультироторних безпілотників є квадрокоптер. За своєю конструкцією корпус квадрокоптера має характерну хрестоподібну форму, а по його кінцях розташовані чотири ротори. Принцип керування квадрокоптером базується на протилежному обертанні сусідніх пропелерів. Одна діагональна пара гвинтів обертається в один бік, а інша - в протилежний. Зміна відносних обертів діаметрально протилежних роторів дозволяє керувати рухом і польотом квадрокоптера.

Для здійснення польотних маневрів, таких як крен, тангаж, ристання та вертикальний рух, використовується регулювання обертів окремих пропелерів або їх груп. Збільшення швидкості обертання одного гвинта і зменшення іншого створює відповідний момент сили, що забезпечує необхідний маневр. Така конструкція з чотирма роторами надає квадрокоптерам високу маневреність, здатність зависати на місці та виконувати різноманітні польотні режими. Управління польотом здійснюється шляхом точного регулювання обертального руху пропелерів. Завдяки своїм компактным розмірам, відносно простій системі управління та доступній ціні, квадрокоптери стали одними з найбільш затребуваних безпілотних літальних апаратів на споживчому ринку.

Ця популярність зумовила широке розповсюдження квадрокоптерів не лише в розважальній сфері, а й для різноманітних комерційних, військових та правоохоронних потреб.

3. Розміри та вага: можливий розподіл на три групи

- Легкі БПЛА, максимальна злітна маса яких не перевищує 50 кг:
Надлегкі – злітна маса яких становить до 5 кг
Легкі – злітна маса яких становить від 5 до 50 кг



Рисунок 1.3 легкий БПЛА літакового типу моделі People'sDrone-1, розробник «UKRSPECSYSTEMS» (Україна)

- Середні БПЛА, максимальна вага, яких складає від 50 до 300 кг (див. мал. 1.6), а саме: – малі – вага яких становить від 50 до 100 кг;
середні – вага яких становить від 100 до 300 кг.



Рисунок 1.4 середній БПЛА літакового типу моделі М-7 «Небесний патруль», розробник НАУ НВЦБА «ВІРАЖ»

- Важкі БПЛА, максимальна вага яких становить від 300 кг, а саме:
важкі – вага яких становить до 1000 кг
надважкі – вага яких становить понад 1000 кг



Рисунок 1.5 тяжкий БПЛА літакового типу моделі Сокіл-300, розробник ДП ДержККБ «Луч»

1.2 Типові технічні рішення конструкцій мультикоптерів

Існує широкий вибір конфігурацій мультикоптерів, і основною їх відмінністю є кількість використовуваних двигунів. Чим більше двигунів, тим вища підйомна сила апарату, що дозволяє транспортувати важчі вантажі. Також збільшення кількості двигунів підвищує надійність польоту, якщо один з них вийде з ладу. Проте, більша кількість двигунів також знижує енергоефективність і збільшує вартість через необхідність придбання додаткових компонентів.

Бікоптери – платформа з двома двигунами, є найдешевшим варіантом та найенергоефективнішим, але вони найскладніші в керуванні і мають мінімальну підйомну силу через обмежену кількість двигунів. Створює найменший рівень шуму в польоті.

Трикоптери обладнані трьома двигунами, розташованими у формі літери Y або T. Така конфігурація порівняно недорога, але поступається у стабільності іншим видам. Особливістю трикоптерів є використання сервоприводу для розвороту, що забезпечує кращу керованість порівняно з квадро- та гексакоптерами під час повороту. Будова корпусу трикоптера надає БПЛА можливість поєднувати переваги гвинтокрила і літака, що позначається на його покращених польотних характеристиках.



Рисунок 1.6 Бікоптер та трикоптер

Квадрокоптери з чотирма двигунами є найпопулярнішим видом БПЛА через гарну комбінацію стабільності, вартості та маневреності. Їх двигуни розташовані під прямими кутами, де половина обертається за годинниковою стрілкою, а інша - проти. Завдяки такій будові платформа менш схильна до вібрації. Основний недолік такої системи – погана відмовостійкість, Несправність одного двигуна призводить до неконтрольованого падіння. Квадрокоптер є оптимальним вибором для прикладних завдань завдяки своїй доступній вартості та надійності.



Рисунок 1.6 Квадрокоптер

Гексакоптери мають шість двигунів з кутом між ними 60 градусів, частіше у формі букви Ж або Н, що забезпечує більшу підйомну силу. До них застосовні всі позитивні якості квадрокоптера, проте, більша кількість двигунів призводить до зниження енергоефективності. Варто згадати про Y6 гексакоптери. Вони є гібридною конфігурацією звичайних гексакоптерів, відмінність від яких полягає в тому, що на кожному з трьох променів

розташовано по два двигуни. Це поєднує компактність трикоптера з високою вантажопідйомністю гексакоптера.



Рисунок 1.7 Гексарокоптер

Октокоптери обладнані вісьмома двигунами, розділеними на дві групи, що робить їх найпотужнішими та найнадійнішими, але й найдорожчими та найменш енергоефективними через велику кількість компонентів. Завдяки великій вантажопідйомності, він здатен переносити значно більшу

1.3 Платформа розробки

Розробка лабораторного макету потребує вибору платформи розробки, на базі якої буде розроблятися пристрій. Розділити платформи для розробки можна на дві частини:

- Плати на мікроконтролері
- Одноплатні комп'ютери

Мікроконтролер (МК) - це програмована мікросхема, створена для керування електронними пристроями. В типовому мікроконтролері об'єднані функції процесора та периферійних пристроїв, а також можуть бути присутніми ОЗУ і ПЗУ. По суті, це комп'ютер на кристалі, здатний виконувати запрограмовані дії. Застосування єдиної мікросхеми, на відміну від використання набору компонентів у процесорах персональних комп'ютерів,

значно знижує розміри, енергоспоживання та вартість пристроїв, побудованих на мікроконтролерах.

Мікроконтролер(МК) пропонує користувачеві обмежену кількість цифрових сигнальних контактів. Виводи можна широко розділити на цифрові та аналогові. Цифрові контакти представляють цифрові дані, тобто 0 або 1, як дві різні смуги напруги, переважно 0 В і 3,3/5,0 В. Аналогові контакти забезпечують безперервні значення. Вони або забезпечують дуже дрібну смугу напруги, або використовують широко-імпульсну модуляцію.

У сучасному мікроконтролері лише деякі контакти служать певним цілям, головним чином для введення/виведення та заземлення. Більшість інших штифтів є натомість загального призначення: їх конкретне використання визначає користувач. Мікроконтролери є основою для побудови вбудованих систем, їх можна зустріти в багатьох сучасних приладах, таких, як телефони, пральні машини.

На сучасному ринку представлено величезну різноманітність мікроконтролерів (МК), що може викликати подив. Проте всі ці численні варіанти можна умовно розділити на три основні категорії:

- вбудовані 8-розрядні МК
- 16- та 32-розрядні МК
- цифрові сигнальні процесори.

Промисловість випускає широкий асортимент вбудованих мікроконтролерів. Їхня конструкція передбачає інтеграцію на одному кристалі разом із процесорним ядром усіх необхідних ресурсів, таких як пам'ять, пристрої вводу-виводу тощо. Досить лише подати живлення та тактові імпульси на відповідні входи, і мікроконтролер буде готовий до роботи. Зазвичай у вбудованих МК присутня значна кількість допоміжних пристроїв, що дозволяє інтегрувати їх у реальні системи з використанням мінімуму додаткових компонентів.

Одноплатні комп'ютери — це невеликі повноцінні комп'ютери. Вони забезпечують поточні стандартні орієнтовані на споживача інтерфейси, такі як HDMI, USB, Wi-Fi і Bluetooth. Вони пропонують SD-карти або невеликі SSD для зберігання даних і мають кілька ядер процесора та оперативну пам'ять. В одноплатних комп'ютерах встановлена повна операційна система, як правило, Linux або Windows, і тому надається величезний вибір апаратного забезпечення загального призначення.

Можливі гібридні платформи, коли на платі розташований мікроконтролер і процесор. Ідея цілком зрозуміла, залишити потужні складні

завдання – процесору, такі як: вихід до мережі, оброблення медіасигналів тощо. А мікроконтролеру функцію точного керування, наприклад, керування приводами чи датчиками.

	Плати на мікроконтролері	Одноплатний комп'ютер
Продуктивність	1 ядро, сотні МГц, десятки КБ оперативної пам'яті, сотні КБ постійної пам'яті.	Від 1 ядра, тисячі МГц, сотні МБ оперативної пам'яті, ГБ- ти постійної пам'яті.
Багатозадачність	Ні	Так
Швидкість реагування	Повний контроль над часом і тривалості сигналів.	Можливі проблеми через багатозадачність.
Доступ до мережі	Потрібні додаткові модулі.	Присутній вбудований мережевий адаптер.
Мови програмування	Paskal, C / C++, Assembler.	Perl, C / C++, Java, JavaScript, Python та інші.
Робота від батареї	Споживання десятків мА. Час роботи до місяця в економному режимі.	Споживання сотні-тисячі мА. Час роботи великого акумулятора до одного дня.

Таблиця 1. Порівняння параметрів мікроконтролера та одноплатного комп'ютера

Одноплатні комп'ютери є більш потужними та універсальними, придатними для складних додатків і здатними працювати з повноцінними операційними системами, тоді як мікроконтролери розроблені для малопотужних додатків керування в режимі реального часу з обмеженими ресурсами та спеціалізованим мікропрограмним забезпеченням. Одноплатні комп'ютери зазвичай споживають більше енергії завдяки потужнішим процесорам і додатковій периферії, мікроконтролери, в свою чергу, розроблені для роботи з низьким енергоспоживанням, що робить їх придатними для додатків, що живляться від батарейок або з обмеженим енергоспоживанням.

1.4 Існуючі модулі управління

Модуль управління – це система, яка отримує та оброблює вхідні данні з периферії та керує окремими частинами на основі обрахованих значень. Роль модуля управління займає польотний контролер. Контролери польоту відіграють вирішальну роль в автономній роботі та стабільності БпЛА. Зазвичай вони об'єднують кілька датчиків, у тому числі акселерометри, гіроскопи, магнітометри, барометри та GPS-приймачі, щоб надавати точні дані про орієнтацію, висоту та положення літака. Це злиття датчиків досягається за допомогою вдосконалених алгоритмів, таких як фільтри Калмана, які поєднують дані з різних датчиків, щоб забезпечити надійну оцінку стану.

Програмне забезпечення контролера польоту відповідає за інтерпретацію даних датчиків і виконання алгоритмів керування для підтримки стабільного польоту. Ці алгоритми часто використовують пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання (PID) алгоритми, які безперервно обчислюють похибку між бажаним і фактичним станом літального апарату та відповідно регулюють вихід двигуна або сервоприводу.

Контролери польоту також керують різними режимами польоту, такими як ручне керування, автономна навігація за маршрутними точками, утримання висоти за допомогою барометру або GPS, стабілізацію пристрою у повітрі. У режимі ручного керування польотний контролер інтерпретує вхідні дані від пульта дистанційного керування або наземної станції та перетворює їх у команди двигуна. В автономному режимі диспетчер польоту слідує заздалегідь визначеному плану польоту або набору маршрутних точок, коригуючи рух БпЛА, щоб точно досягти кожної маршрутної точки.

Відмовостійкі процедури мають вирішальне значення для забезпечення безпеки літака та його оточення. Контролери польоту зазвичай включають механізми безпеки, які запускають певні дії в разі втрати сигналу, низького заряду батареї або інших критичних подій. Ці дії можуть включати повернення до попередньо визначеної вихідної позиції або негайного приземлення.

Удосконалені контролери польоту також можуть включати додаткові функції, такі як журнал телеметрії, передача даних у реальному часі на наземні станції та підтримку додаткових датчиків, таких як системи зору або лазерні далекоміри. Ці функції дозволяють використовувати більш розширені програми, такі як автономне уникнення перешкод, картографування місцевості та розширені можливості навігації.

Загалом диспетчери польоту є мозком БПЛА, відповідальними за підтримку стабільного польоту, виконання складних маневрів і забезпечення безпеки за допомогою різноманітних механізмів захисту від відмов і вдосконалених алгоритмів.

Розглянемо готові рішення польотного контролера від світових виробників

Польотний Контролер	Стабілізація	Утримання позиції	Політ по точкам	Телеметрія	Вартість
KarpeinKuk	+	-	-	-	30\$
MultiWii	+	+	+	+	50\$
ArduCopter	+	+	+	+	70\$
DJI Naza	+	+	+	+	250\$-1000\$
XAircraft	+	+	+	+	400\$-600\$
Zero UAV	+	+	+	+	400\$-2500\$

Контролери сімейства KarpeinKuk – одні з перших та недорогих контролерів. Мають відкритий вихідний код, мінімальний набір датчиків та периферії.

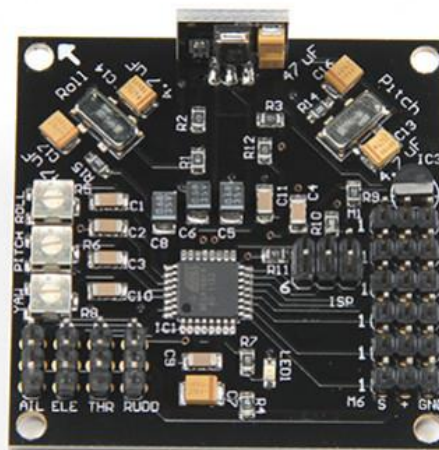


Рисунок 1.8 KK Multicopter V5.5

Багатороторна плата керування KK Multicopter V5.5 керується 8-розрядним мікроконтролером Atmega168PA на основі RISC і має 3 одноосьові гіроскопи ENC-03RC x3 для надійності.

Технічні характеристики:

ІС: Atmega168PA

Гіроскоп: ENC-03RC x 3

Кількість налаштувань та можливостей мінімальна, проте завдяки простоті низькою ціною ці моделі мають своїх покупців та невелику нішу на ринку. Але, загалом, зараз використання цих систем недоцільно.

Польотний контролер MultiWii популярний завдяки невеликим цінам та відкритістю кодів. Компіляція програми здійснюється за допомогою Arduino IDE. Останні версії Multiwii мають більшість функцій, необхідних для польоту, зокрема політ по точках. На даний момент підтримує велику кількість сенсорів.



Рисунок 1.9 MultiWii 328P

Контролер польоту на основі гіроскопа/акселерометра, який містить багато функцій. Ця версія MultiWii підтримує функцію супутникового приймача, сумісного з DSM2. Завдяки можливостям розширення та повному програмуванню цей пристрій може керувати будь-яким типом БПЛА.

Технічні характеристики:

Конструкція SMD-компонента з Atmega328P

Потрійний осьовий гіроскоп ITG3205

Акселерометр BMA180

Барометр BMP085

Магнітометр HMC5883L

ArduCopter – це польотний контролер з відкритим вихідним кодом, який використовується для створення безпілотних літальних апаратів, мультикоптерів і марсоходів, обидва зі зміною мікропрограми за допомогою того самого апаратного забезпечення. Контролер може виконувати заздалегідь запрограмовані автономні місії за допомогою програмного забезпечення GCS і

багатосторонніх місій за допомогою бортового компаса, що робить його вдосконалим контролером польоту. Вбудовані 3-осьові IMU та бортова реєстрація за допомогою мікросхеми ATmega роблять цей польотний контролер більш досконалим і зручнішим у використанні для автоматизованих місій із спеціальними безвідмовними режимами.

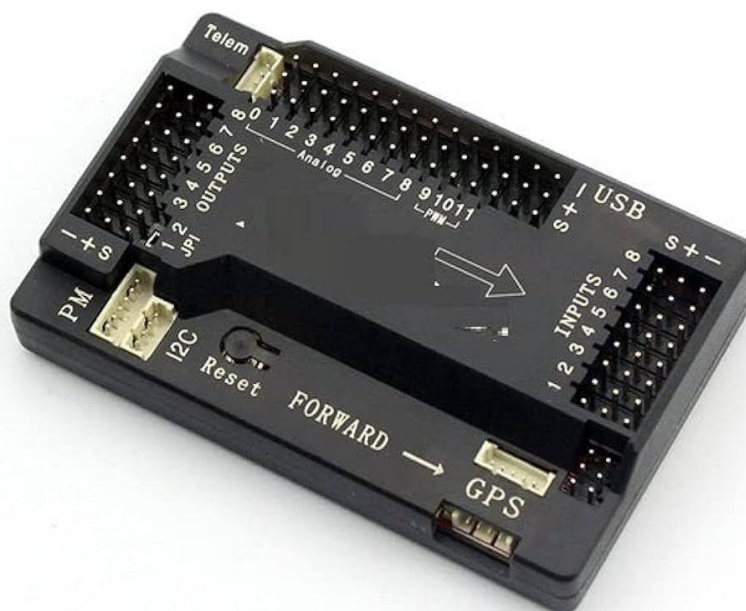


Рисунок 1.10 ArduCopter 2.8

Апаратна платформа

- Процесор: ATmega2560 (8-бітний AVR, тактова частота 16 МГц)
- Оперативна пам'ять: 8 КБ
- Флеш-пам'ять програм: 256 КБ
- Порти: UART (x4), SPI, I2C, аналогові входи (8 каналів)
- Роз'єми для під'єднання модулів: GPS, телеметрія, радіоприймач, додаткові датчики

Датчики

- Акселерометр: ADXL335
- Гіроскоп: ITG3200/MPU6000
- Барометр: MS5611
- Магнітометр: HMC5883L

DJI Naza — це вдосконалений польотний контролер з повністю вдосконаленими функціями, який підтримує до дев'яти типів мультироторів. Він поставляється з налаштованим GPS, допоміжним програмним

забезпеченням для смартфонів і безкоштовною наземною станцією керування. Польотний контролер оснащений захистом від виходу живлення, інтелектуальним керуванням роботою, режимами польоту та кількома периферійними протоколами зв'язку, які допомагають йому підключатися до вихідних датчиків для даних і прийняття рішень, що, у свою чергу, робить його більш унікальним.



Рисунок 1.10 NAZA-M V2

- Апаратна платформа:
 - Процесор: 32-бітний ARM мікроконтролер, точна модель процесора не розголошується, але це потужний чіп для вбудованих систем
 - Типова тактова частота - від 168 МГц до 360 МГц
 - Оперативна пам'ять (RAM) - зазвичай 64-128 КБ
 - Флеш-пам'ять для зберігання прошивки - від 256 КБ до 1 МБ
- Датчики
 - Вбудована інерційна вимірювальна система (IMU) з 3-осьовим гіроскопом, акселерометром та магнітометром
 - Барометричний висотомір
 - Вбудований роз'єм для підключення GPS модуля
 - Підтримка підключення телеметричних радіомодулів

Зважаючи на вказані переваги і недоліки доступних польотних контролерів для побудови лабораторного макета було обрано польотний контролер ArduCopter Mega, який має відкритий вихідний код, невисоку ціну,

отримує постійні оновлення та розвиток функціоналу, має вбудовані периферійні пристрої та підтримує підключення сторонніх модулів.

1.5 Постановка задачі для проекту

Розробити лабораторний макет польотної платформи на базі польотного контролера ArduCopter Mega (APM) версії 2.8 з метою створення навчального середовища для вивчення принципів автономного керування та управління безпілотними літальними апаратами. Завдання включають підключення окремих елементів макета, програмне налаштування польотного контролера для керування польотними режимами, калібрування датчиків, налаштування системи автопілоту та виконання польотних експериментів. Основними цілями є навчання студентів принципам роботи безпілотних платформ, вироблення навичок програмування та конфігурування систем автономного керування, а також практичне засвоєння принципів і методів управління повітряними апаратами.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

2.1 Типи двигунів

В принцип роботи будь якого електричного двигуна базується на дії електромагнітної індукції. Електрична машина складається з двох частин: нерухомої частини – це статор для двигунів змінного струму (асинхронних і синхронних) або індуктора для двигунів постійного струму, рухомої частини - ротора (для синхронних та асинхронних двигунів змінного струму) або якоря (для двигунів постійного струму). Фізично в ролі індуктора на двигунах постійного струму застосовують постійні магніти. Для пристроїв з радіокеруванням зазвичай використовують безколекторні або колекторні двигуни. У цій главі досліджено їх та визначено, який більше підходить для нашої системи.

Колекторний електродвигун

У цьому типі двигуна електричний струм пропускається через котушки, розташовані в фіксованому магнітному полі. Струм створює магнітні поля в котушках; це змушує котушку обертатися, оскільки кожна котушка відштовхується від подібного полюса і тягнеться до протилежного полюса фіксованого поля. Щоб підтримувати обертання, необхідно постійно змінювати

струм, щоб полярності котушок постійно змінювалися, змушуючи котушки продовжувати переслідувати різні фіксовані полюси. Живлення котушок подається через нерухомі провідні щітки, які контактують з обертовим комутатором; саме обертання колектора спричиняє реверсування струму через котушки. Колектор і щітки є ключовими компонентами, які відрізняють щітковий двигун постійного струму від інших типів двигунів

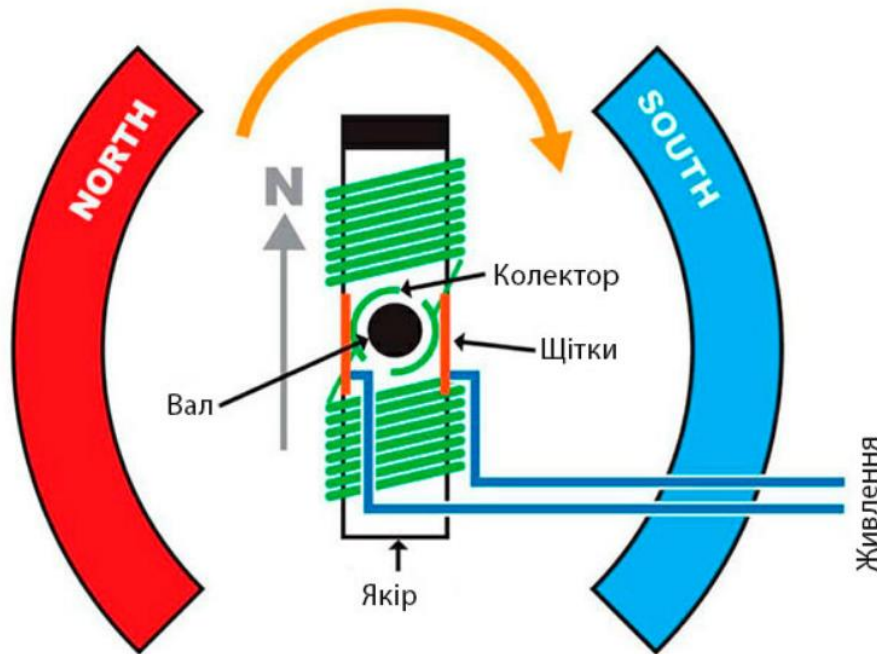


Рисунок 2.1 Колекторний двигун

Колекторні двигуни постійного струму забезпечують високий пусковий момент і можуть працювати на високих швидкостях, незважаючи на свою просту структуру. Наприклад, підключивши відповідну напругу від батареї або акумулятора до двох проводів двигуна, запускається обертання його вала. У колекторного типу двигунів ряд переваг: мала вага, малий розмір, низька вартість, можливість прямого підключення до джерела струму, проте є і суттєвий недолік - постійний контакт між щітками та комутатором під час обертання двигуна може привести до іскріння при перегріванні та спричиняє знос, і це створює необхідність регулярного технічного обслуговування для заміни зношених частин.

Тому цей тип двигуна зазвичай встановлюють у недорогих комплектаціях моделей або в моделях для новачків.

Безколекторний електродвигун

Висока ефективність (коефіцієнт корисної дії) і зносостійкість досягається завдяки відсутності щітково-колекторного вузла. Безколекторні мотори є більш потужними, ніж колекторні мотори того ж розміру. Головною зовнішньою відмінністю безколекторного мотора від колекторного є наявність у нього трьох проводів замість двох. У безколекторного двигуна рухомою

частиною є якраз статор (корпус) з постійними магнітами, а нерухомою частиною - ротор з трифазної обмоткою. Перемикання обмоток відбувається за рахунок досить складної електронної схеми - регулятора. Безколекторний двигун приводиться в обертання трифазним змінним струмом, тому для їх роботи необхідний спеціальний контролер швидкості (регулятор), що перетворює постійний струм від акумулятора в змінний. Як безколекторний двигун, так і регулятор для безколекторного двигуна має більш складну конструкцію, в силу чого, вартість зростає.

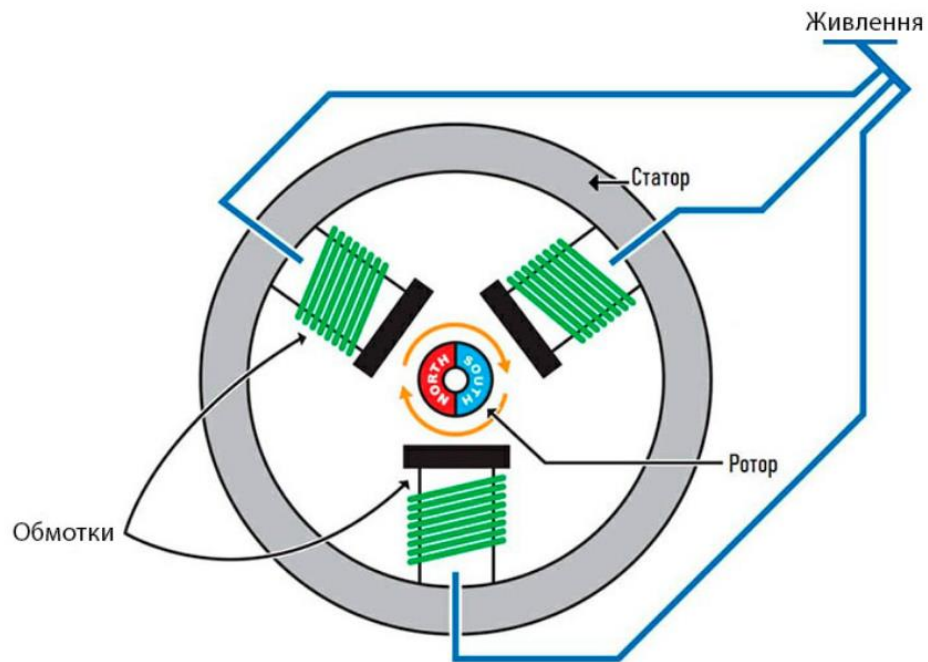


Рисунок 2.2 Безколекторний двигун

Отже, основними перевагами безколекторного типу двигунів є: – зносостійкість; – більша потужність, кращий ККД; Недоліком можна вважати високу вартість та необхідність використання регуляторів, які також підвищують кінцеву вартість системи.

При створенні лабораторного макета було обрано безколекторний мотор A2212/13T-1000kv. Чотири таких мотора зможуть створювати тягу до 2,5 кг.



Рисунок 2.3 Безколекторний мотор A2212/13T-1000kv

Технічні характеристики:

- KV: 1000 об/Вольт;
- Аккумулятор: 7.4-11.1В (2-3S LiPo);
- Струм холостого ходу при 10В: 0.6А;
- Максимальне навантаження по струму: 15.6А;
- Максимальна потужність: 173Вт;
- Максимальна тяга: 885г;
- Розміри: 27.8x27мм;
- Вага: 48г.

2.2 Електронний регулятор швидкості

Роль електронний регулятора швидкості (ESC) полягає в тому, щоб діяти як регулюючий посередник між батареєю та електродвигуном. Він контролює обертання двигуна, подаючи електричні сигнали, які транслюються в зміни швидкості. Він використовує постійний струм від батареї в поєднанні з системою перемикачів для досягнення змінного трифазного струму, який надсилається до двигуна. Електронний регулятор швидкості використовується для зміни швидкості двигуна. У ESC є ряд важливих компонентів, у тому числі мікроконтролер, драйвер затвора та MOSFET.

Мікроконтролер відіграє три ключові ролі в роботі ESC: містить програмне забезпечення, яке інтерпретує сигнал від контролера та подає його в контур керування, відстежує положення двигуна, щоб забезпечити плавне прискорення, надсилає імпульси. До драйвера затвора, щоб отримати бажану команду

Робота драйвера затвора полягає в тому, щоб діяти як посередник між контролером і затвором MOSFET. Отримавши сигнал низької напруги від мікроконтролера, драйвер затвора підсилює сигнал і передає сигнал високої напруги на MOSFET. Драйвер має нижчий опір, ніж мікроконтролер, тому може видавати більший струм, що також збільшує швидкість сигналу. Це забезпечує швидше перемикачів та менше виділення тепла. Деякі ESC мають ізоляційні оптичні мікросхеми між низьковольтним мікроконтролером і високовольтними транзисторами.

Металооксидні напівпровідникові польові транзистори – це перемикачі, які забезпечують живлення двигуна. ESC має шість таких транзисторів, і кожен дріт від двигуна підключений до двох з них. МОП-транзистори отримують сигнали від мікроконтролера, а потім подають живлення на двигун, так що кожна з його котушок перебуває в одній із трьох фаз: високої напруги, низької напруги або вимкнено/заземлено. Коли двигун обертається, сигнали від MOSFET перемикають фази котушок, тому ротор продовжує обертатися. ESC використовує постійний струм у поєднанні з системою перемикача для досягнення змінного трифазного струму. Чим вищий вхід дросельної заслінки, тим швидша частота перемикання, що призводить до вищих обертів двигуна

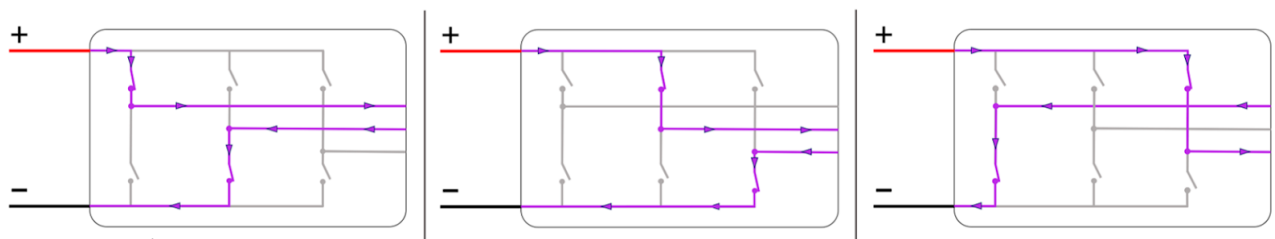


Рисунок 2.4 Розмикання та замикання перемикачів у ланцюзі ESC

При створенні лабораторного макета було обрано безколекторний регулятор Readytosky 30A. Такий регулятор потрібно встановити до кожного з моторів.

Технічні характеристики:

- Вихідний струм: 30A неперервний;
- Короткочасний: 40A до 10с;
- Вхідна напруга: 5.5-12.6В;
- Батарея для живлення: 2-3S Li-Po, 5-9S NiCd / NiMH;
- ВЕС: 1A/5В (лінійний режим);
- Максимальна швидкість обертів:
 - 210000 обертів на хвилину для 2-х полярних моторів;
 - 70000 обертів на хвилину для 6-х полярних моторів;
 - 35000 обертів на хвилину для 12-х полярних моторів;;
- Розміри: 45x24x11мм;
- Вес: 25г.

2.3 ArduCopter 2.8

ArduCopter 2.8 - це широко розповсюджена система польотний контролер з відкритим вихідним кодом, яка надає повний набір функцій для керування польотом і навігацією безпілотних літальних апаратів, зокрема мультироторів, літальних апаратів із нерухомим крилом та інших БПЛА. Він включає вдосконалені датчики, такі як акселерометр, гіроскоп і вбудований компас, і може бути налаштований для роботи з різними планерами.

Мозком плати є процесор ATmega2560-16AU від Atmel — це 8-розрядний високопродуктивний малопотужний мікроконтролер AVR .. ATMEGA2560-16AU — це мікроконтролер із архітектурою RISC(Комп'ютер зі скороченим набором інструкцій) і 256 КБ флеш-пам'яті. На мікросхемі мікроконтролера також є 4 КБ EEPROM(енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій), 8 КБ внутрішньої SRAM і 86 ліній введення виведення. Три регульованих таймера/лічильника, послідовний USART, порт SPI, 10-бітний АЦП і п'ять програмованих режимів енергозбереження також включені в пристрій. Діапазон робочої напруги – від 1,8 до 5,5 В. Суфікс А вказує на те, що мікроконтролер упакований у корпус TQFP, тоді як U означає, що він має «промисловий» температурний діапазон.

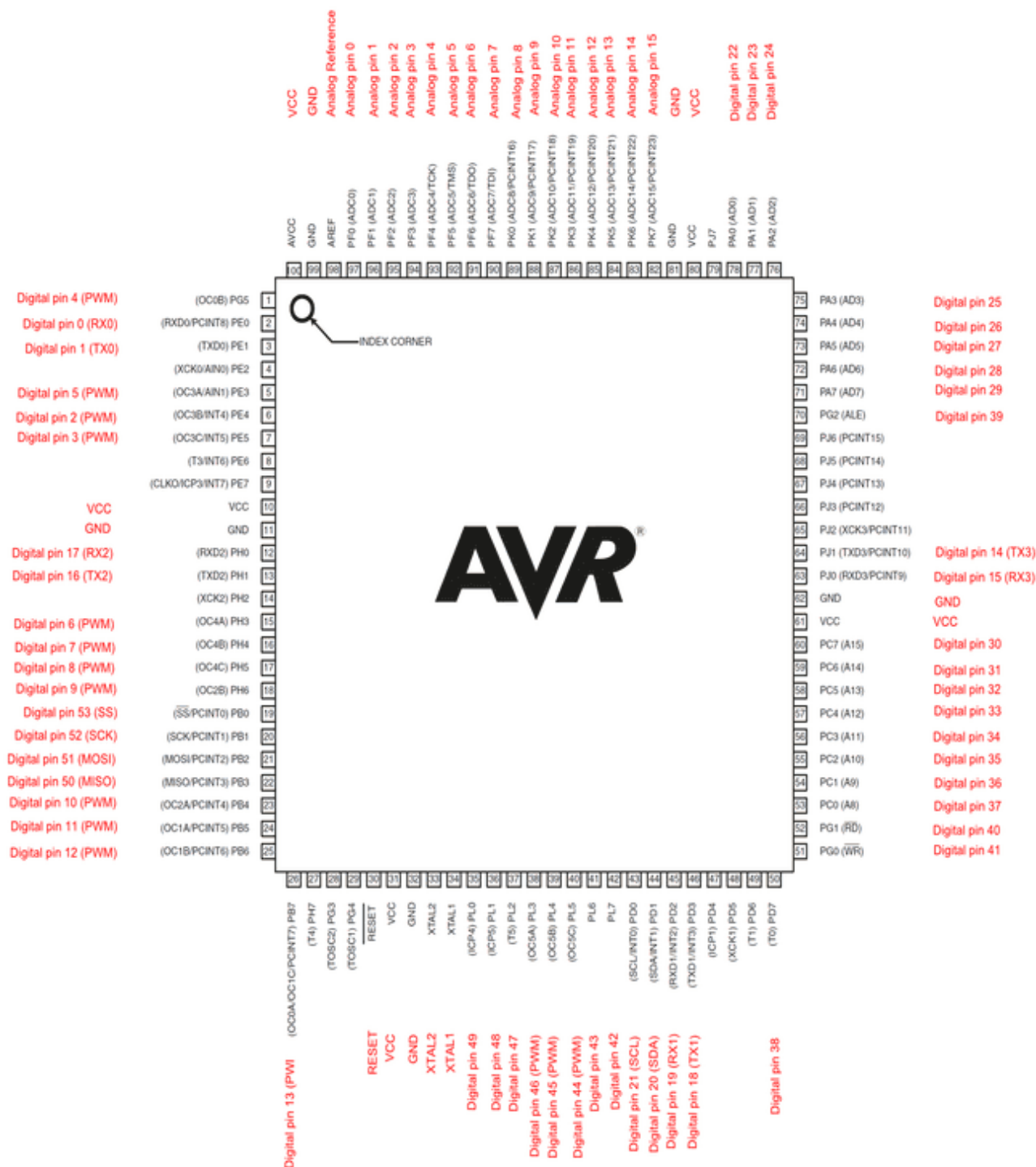


Рисунок 2.5 Розпіновка процесора ATMEGA2560

Ядро AVR має 32 робочих регістри загального призначення та великий набір інструкцій. Арифметико-логічний пристрій (ALU) безпосередньо підключено до всіх 32 регістрів, що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів в одній інструкції, що виконується за один такт. Отримана архітектура ефективніша за використання коду, ніж традиційні мікроконтролери CISC, з пропускнуою здатністю до десяти разів швидшою.

Особливої уваги треба приділити групі датчиків, завдяки яким платформа орієнтується в просторі, так звана інерціальна вимірювальна система (IMU): Включає гіроскоп, акселерометр, магнітомер. Ці датчики передають дані про орієнтацію, швидкість та прискорення платформи на центральний процесор, що є важливим для стабілізації та навігації. Всі перераховані пристрої вже інтегровані в плату мікроконтролера.

Осьовий гіроскоп та акселерометр MPU-6000

MPU6000 — це мікроелектромеханічна система (MEMS), яка складається з 3-осьового акселерометра та 3-осьового гіроскопа всередині нього. Це допомагає нам вимірювати прискорення, швидкість, орієнтацію, переміщення та багато інших пов'язаних з рухом параметрів системи чи об'єкта. Додатково прилад має цифровий процесор руху, який має доволі значну продуктивність для виконання складних обчислень, спрощуючи роботу мікроконтролера. Модуль додатково має два допоміжні контакти, для підключення інтерфейсів зовнішніх модулів ПС, таких як магнітометр. MPU-6000 оснащений трьома 16-розрядними аналого-цифровими перетворювачами (АЦП) для оцифрування вихідних сигналів гіроскопа і три 16-розрядних АЦП для оцифрування виходів акселерометра. Для забезпечення гнучкості джерела живлення MPU-6000 працює від напруги джерела живлення VDD у діапазоні 2,375-3,46 В.

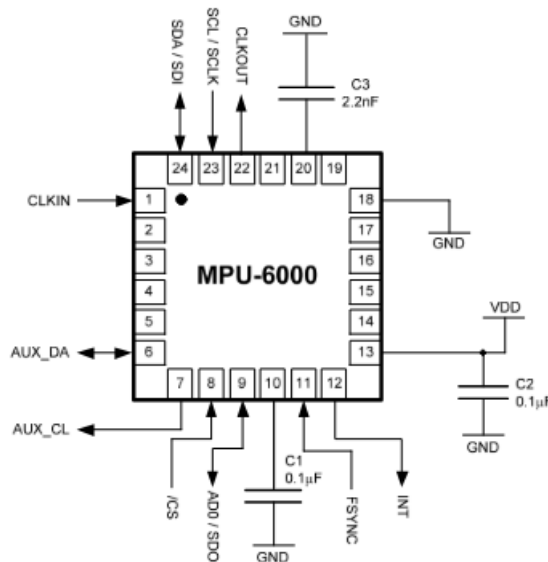


Рисунок 2.6 Типова схема MPU-6000

Як працює гіроскоп MEMS?

Робота гіроскопа MEMS заснована на ефекті Коріоліса. Ефект Коріоліса стверджує, що коли маса рухається в певному напрямку зі швидкістю і до неї прикладається зовнішній кутовий рух, генерується сила, яка викликає перпендикулярне зміщення маси. Сила, яка створюється, називається силою

Коріоліса, а це явище відоме як ефект Коріоліса. Швидкість переміщення буде прямо пов'язана із застосованим кутовим рухом.

Гіроскоп MEMS містить набір із чотирьох пробних мас і підтримує безперервний коливальний рух. Коли застосовується кутовий рух, ефект Коріоліса викликає зміну ємності між масами залежно від осі кутового руху. Ця зміна ємності визначається, а потім перетворюється на показання.

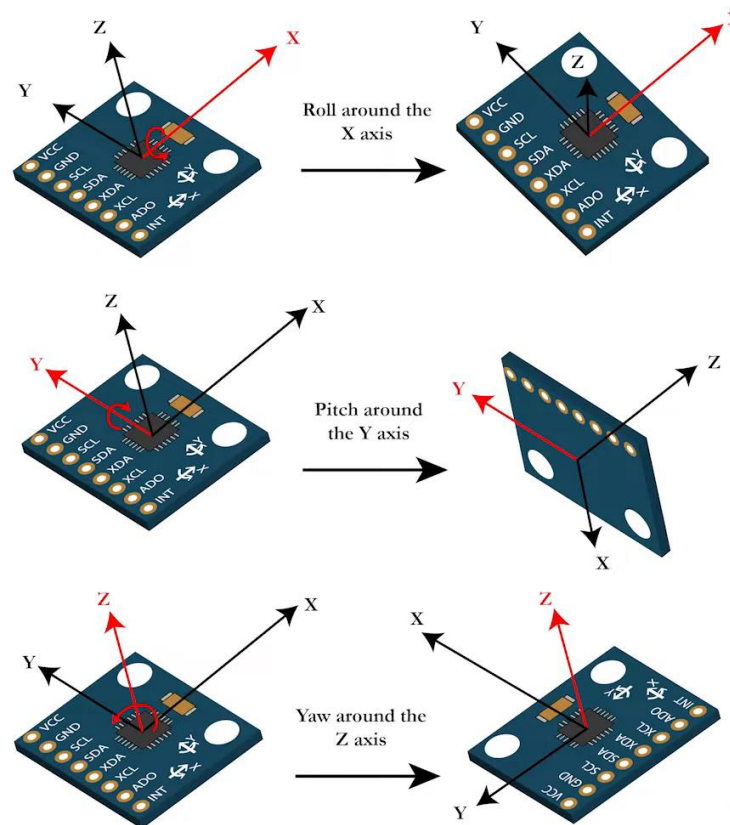


Рисунок 2.7 Принцип роботи гіроскопа

2.4 Приймач

Моделі потрібен приймач, щоб чути радіосигнали та інтерпретувати їх. Приймачі мають лише чотири області диференціації: канали, стиль антени, частоту та модуляцію. Однак вибір між приймачами часто означає лише визначення кількості каналів управління. Кожен канал – це окремий потік інформації. Зазвичай це визначає, скільки окремих пристроїв може контролювати передавач. Таким чином, шасі дуже простого літака може керуватися по одному каналу, а кермо — по іншому. Кількість каналів коливається від трьох до восьми для звичайного спорядження, обладнання високого класу часто має більше десятка каналів. В нашому випадку було вибрано приймач flysky fs-ia6b. Він складається з низки контактів для

керування двигунами, входу для живлення логіки приймача, а також певної антени для прийому сигналів



Рисунок Приймач Flysky fs-ia6b

Даний приймач має 6 каналів

Канал 6-5 керування додаковими інструментами на платформі такими як сервоприводами, перемикання між камерами, шасі.

Канал 4 – керування кутом оберту в площині Z (Yaw)

Канал 3 – керування напругою на моторах, тобто регулювання швидкістю платформи

Канал 2 – керування кутом оберту в площині X (Roll)

Канал 1 – керування кутом оберту в площині Y(Pitch) або використовується для імпульсно-позиційна модуляції сигналів. Це потрібно для об'єднання сигналів для передачі команд на польотний контролер по одному проводу, замість того щоб передавати кожен сигнал із пульта керування по власному кабелю.

2.5 GPS модуль Ublox NEO-M8N

GPS-модуль NEO-M8N є важливою складовою системи автопілоту для дронів та інших автономних платформ. Він надає точні географічні координати, які можуть бути використані для навігації, планування місій та виконання автономних завдань. Пристрій використовує комбінацію сигналів від супутників GPS, GLONASS, Galileo та інших систем навігації для визначення точного місцезнаходження та часу. NEO-M8N має високу чутливість і точність, що дозволяє отримувати надійні дані про місцезнаходження навіть у складних умовах, таких як містобудівельний рельєф або висока швидкість руху.

Особливості даного модулю:

- 72-ух каналний приймач u-blox m8 engine;
- вбудований компас із частотою оновлення 10 ГГц;
- підтримка GPS+BD+SBAS, або GPS+GLONASS+SBAS;
- чутливість навігації -167 dBm;

- робоча температура від -40°C до 85°C ;
- живлення від 1.65V до 3.6V ;

РОЗДІЛ 3 Збірка макета та формулювання лабораторного завдання

3.1 Лабораторний макет

Складемо раму, поверхня має вбудовану плату живлення

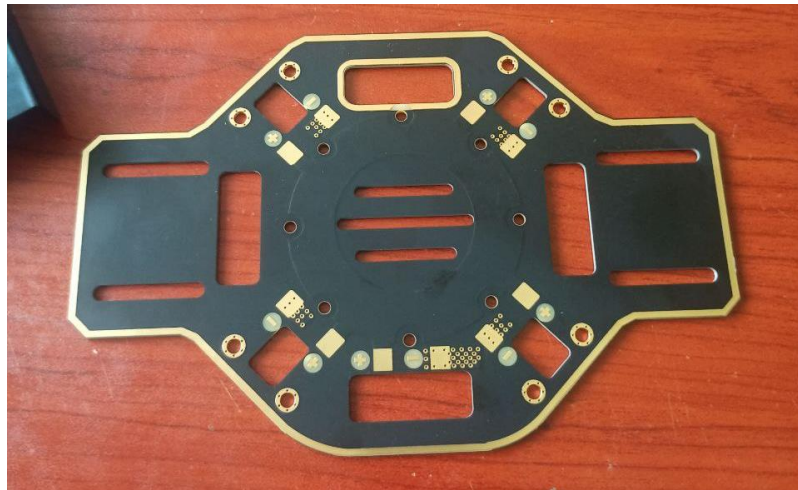


Рисунок 3.1 Поверхня корпусу з вбудованою платою живлення

Наступним кроком, буде пайка силового блоку – регулятори швидкості та конектор для акумулятора,

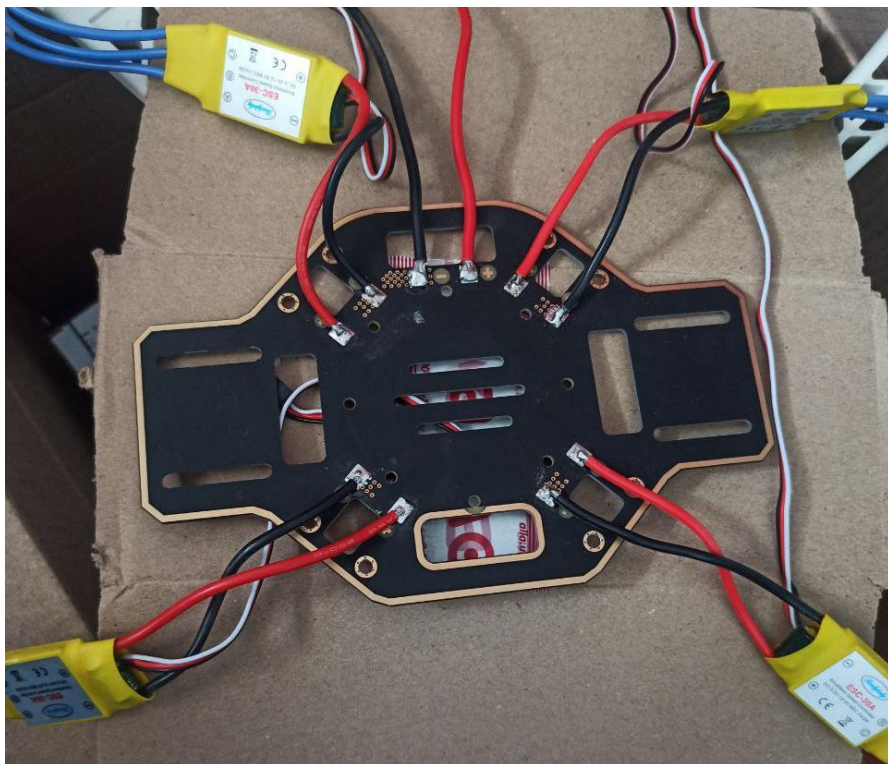


Рисунок 3.2 Зібрана силова частина платформи

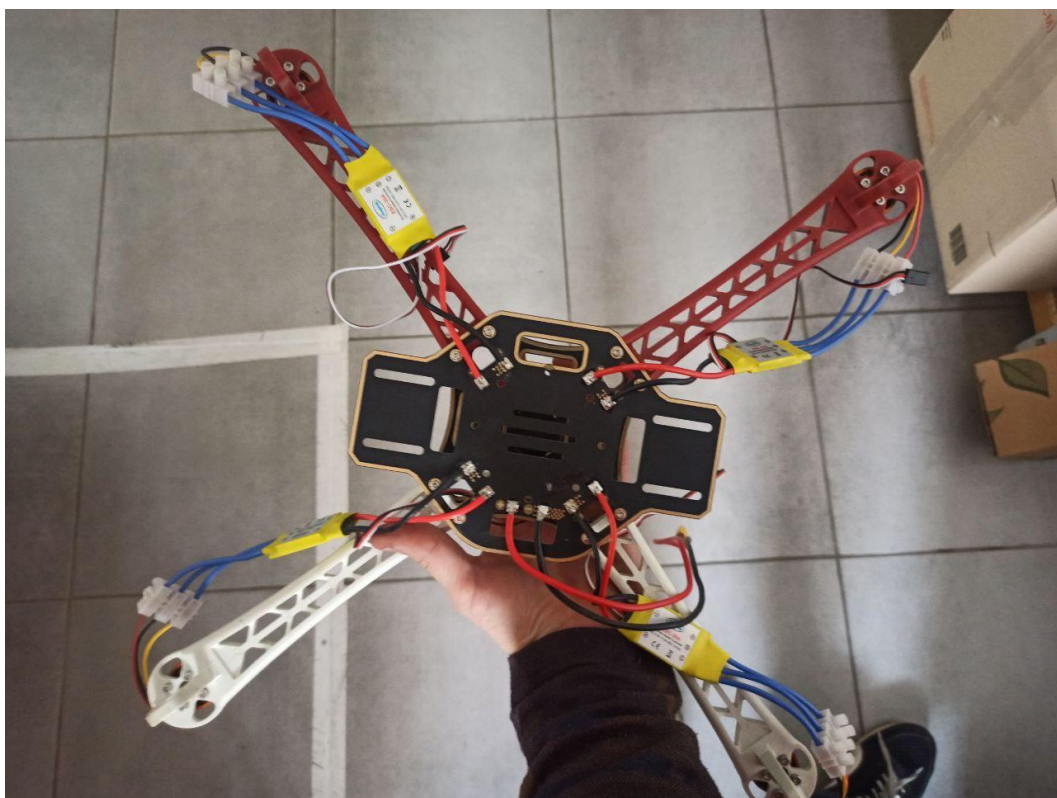


Рисунок 3.3 Встановлення шасі

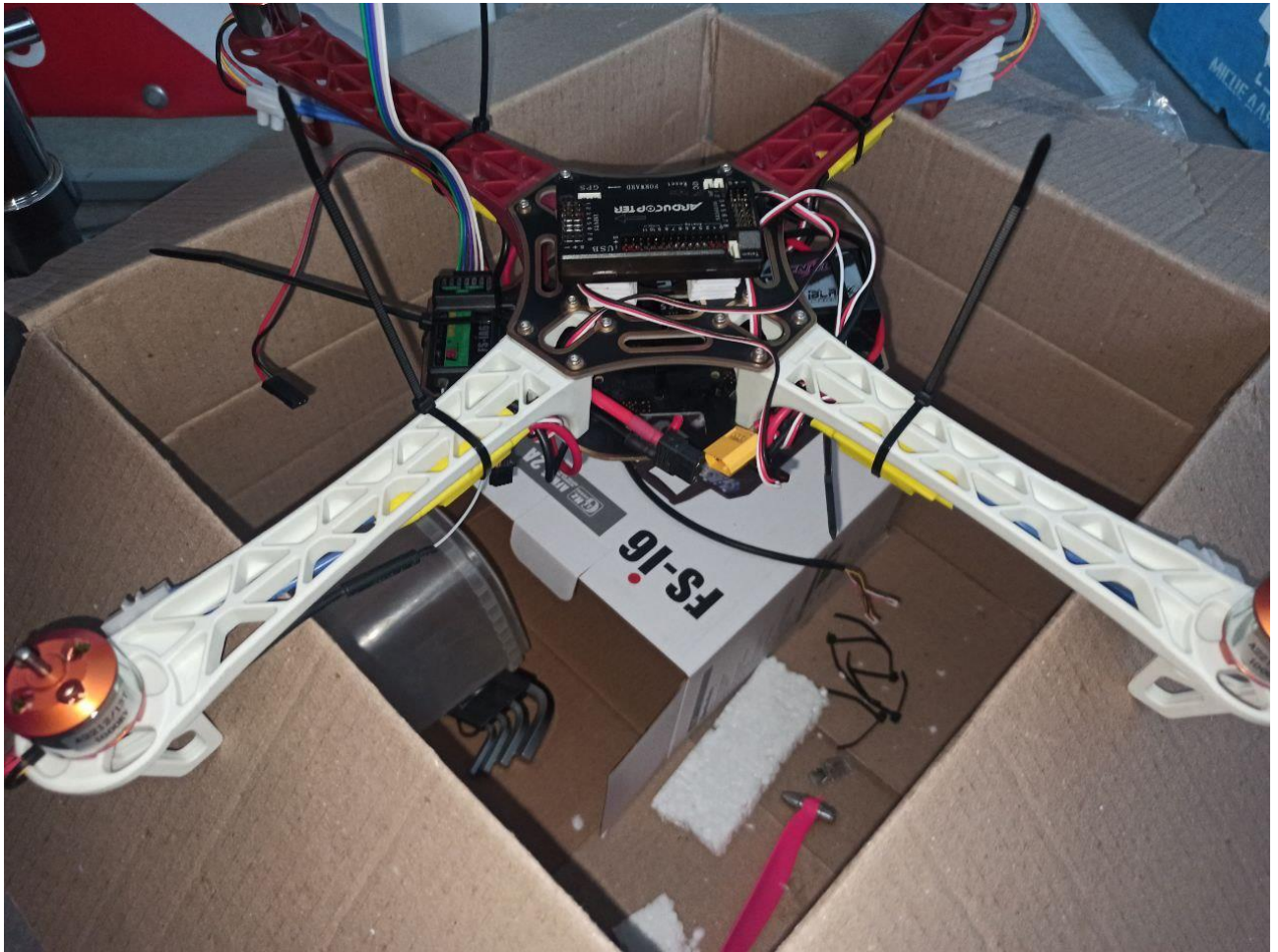


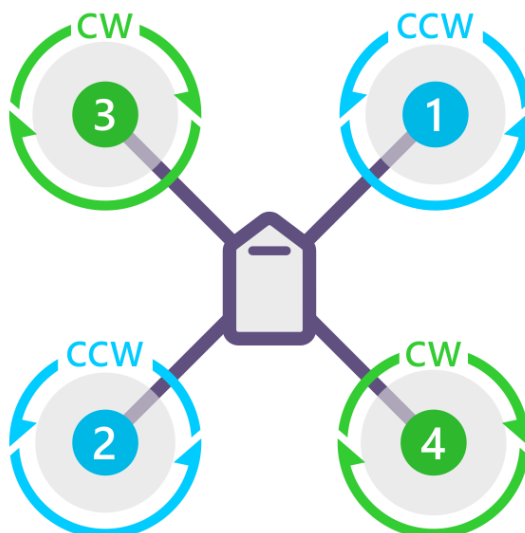
Рисунок 3.4 Повністю зібраний лабораторний макет

3.2 Лабораторне завдання

Мета лабораторного завдання: Дослідити принципи роботи польотної платформи.

Хід роботи

1. Визначте напрямок руху платформи дивлячись на вказівну стрілку на польотному контролері, приєднайте ESC та приймач до плати за цією схемою



QUAD X

Рисунок 3.5 Схема руху моторів

2. Завантажте середовище Mission Planner.
3. Під'єднайте APM 2.8 до комп'ютера виберіть потрібний COM-порт та завантажте прошивку типу квадрокоптер після завантаження натисніть Connect

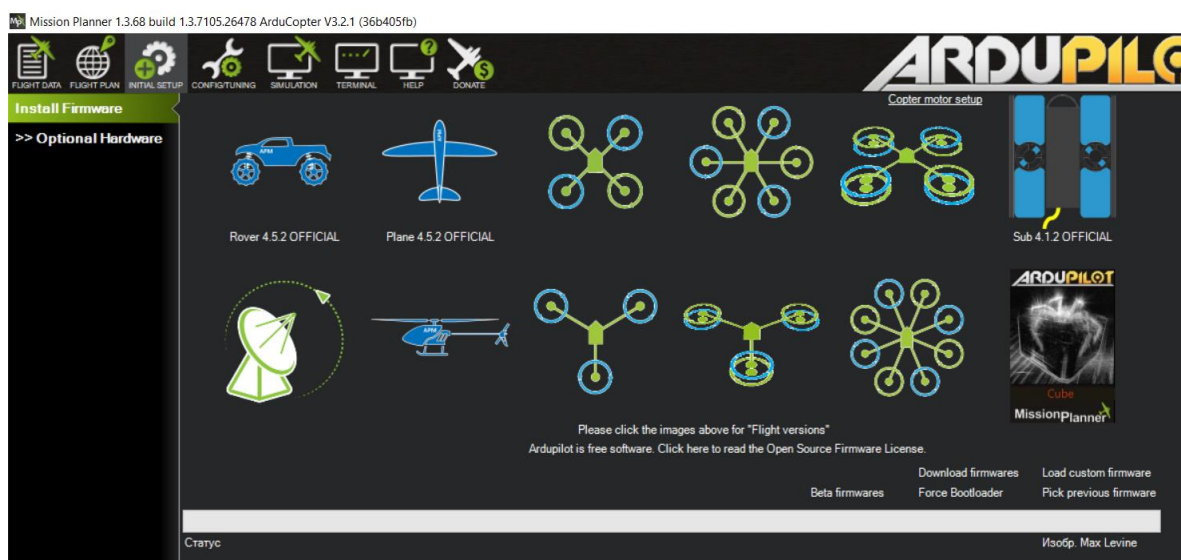


Рисунок 3.6 Вибір прошивки в Mission Planner

4. Перейдіть на вкладку Initial setup Mandatory Hardware та відкалібруйте всі наявні датчики, виконуючи описані в Mission Planner вказівки та приймач визначивши мінімальні та максимальні положення стіків пульта управління.

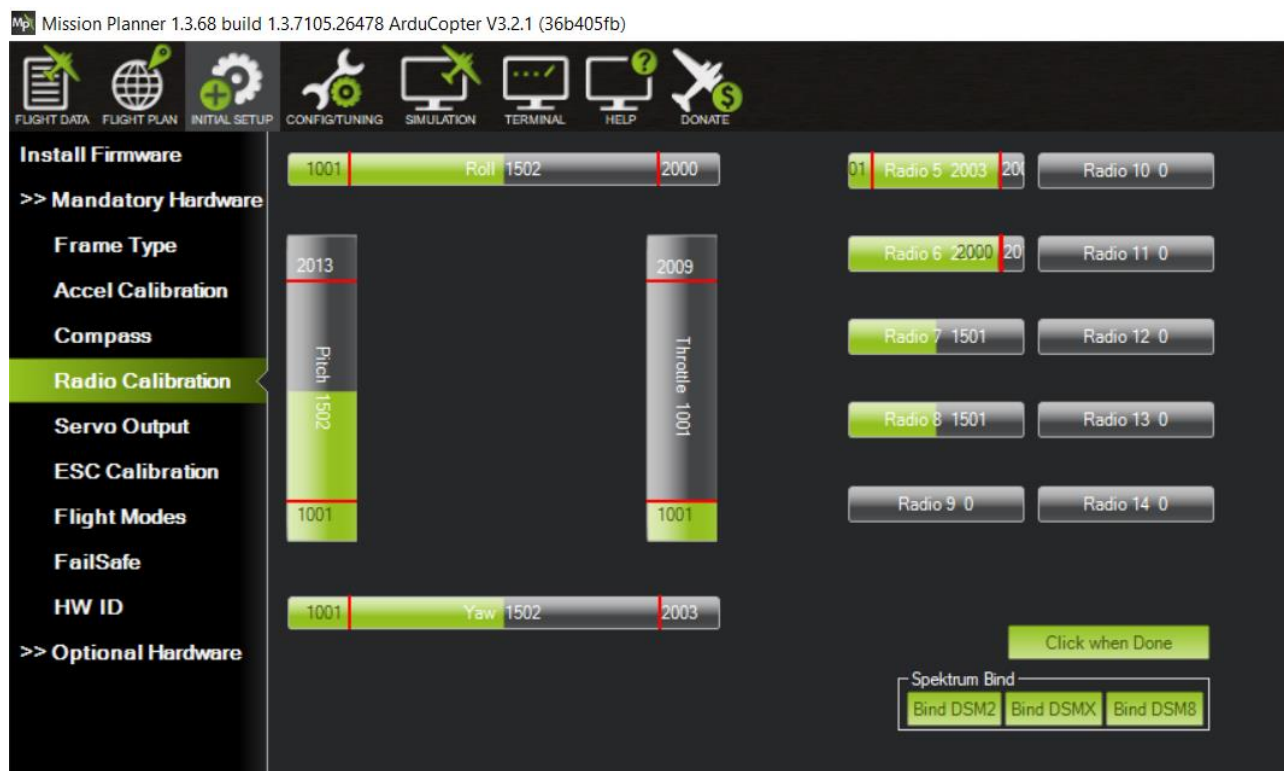


Рисунок 3.7 Калібрування стіків пульта управління

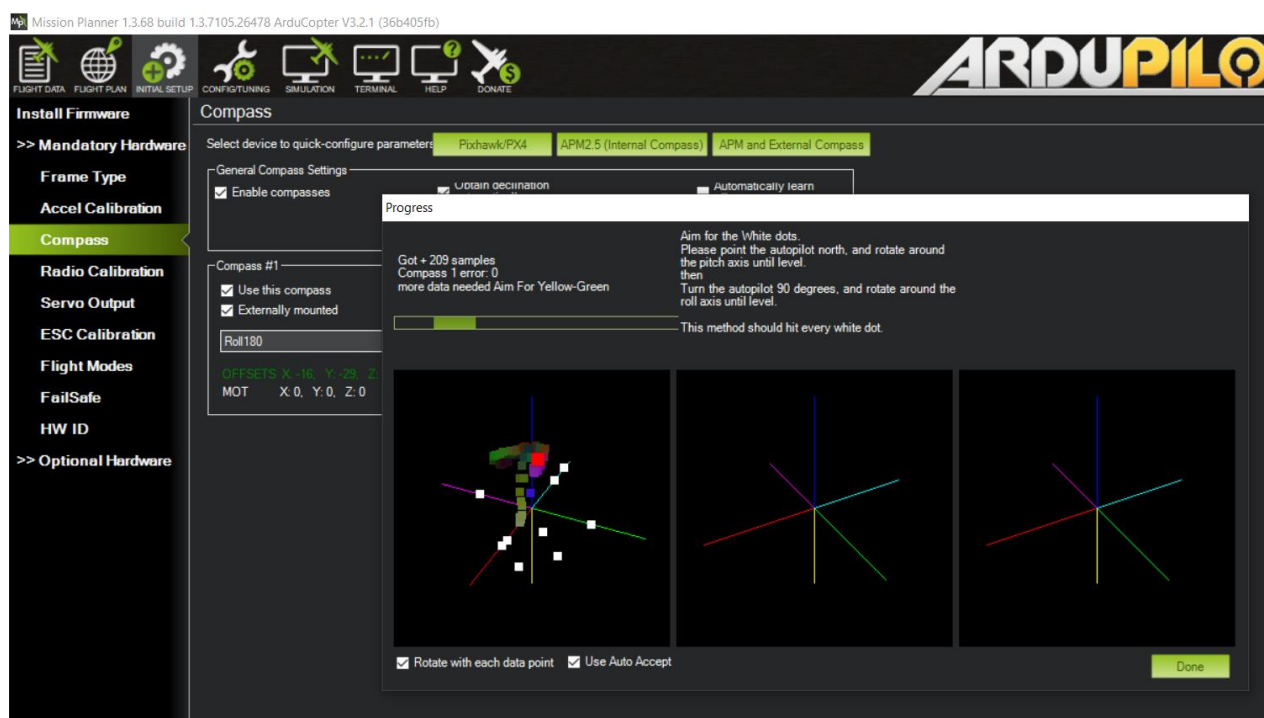


Рисунок 3.8 Калібрування компаса

5. Калібрування регуляторів обертів. Від'єднайтесь від програми та комп'ютера та підключіть LiPo батарею. Дочекавшись характерного звуку регуляторів(перехід у режим калібрування) вимкніть та під'єднайте батарею. Переведіть стік газу на максимум та дочекавшись закінчення звукових сигналів переведіть у стік у

мінімальне положення має прозвучати сигнал рівний кількості банок у батареї(3 в нашому випадку).

6. Налаштуйте на один із перемикачів три режими польоту



7. Зафіксуйте гвинти на двигунах та зробіть тестовий політ.

3.3 Висновок

Завдяки мікроконтролеру плати ArduCopter 2.8 , який взято за основу проекту, було розроблено демонстраційний макет польотної платформи та розроблено лабораторне завдання. Фізична взаємодія із машиною відбувається шляхом відправлення запитів до контролеру за допомогою радіоприймача. Керування положенням платформи налаштовується за допомогою гіроскопа, акселерометра, барометра та магнітометра в корпусі GPS модуля. Керування моторами платформи відбувається за рахунок подачі сигналів на електронні регулятори швидкості. Розроблений демонстраційний макет може бути використаний у якості демонстрації наочного прикладу дистанційного керування платформою розробки в курсах «Периферійні пристрої», «Мікропроцесорна техніка»,

«Схемотехніка» та «Програмування вбудованих систем».

Використана література

1. Офіційний сайт Arduino URL: <https://www.arduino.cc/>.
2. Building Your Own Drones: A Beginner's Guide to Drones, UAVs, and ROVs, John Baichtal
3. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікро-процесори та мікро- контролери: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – Київ: Вища шк., 2004. 399 с.: іл.
4. DIY Drone and Quadcopter Projects By The Editors of Make
5. AVR® MCU Peripherals Quick Reference Card URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-andmicroprocessors/8-bit-mcus/>.
6. Офіційний сайт ArduPilot <https://ardupilot.org/>