

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

«РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО КВАДРОКОПТЕРА»

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ЕМ-206
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

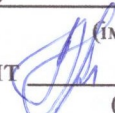
Олексій ПЕЧЕНЮК 

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник к.т.н. доцент кафедри КЕМСК


Дмитро ПРОЦЕНКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Рецензент  К.І.К., доц. каф. ЕЕМ Бабенко О.Б.

(Прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту 
Зав. кафедри КЕМСК Можноріз М.М.
« 22 » 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

Мошноріз М.М.

«11» 03 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Печенюку Олексію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка навчального модульного квадрокоптера»

керівник роботи Проценко Дмитро Петрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» 03 2024 року № 10

2. Строк подання студентом роботи _____

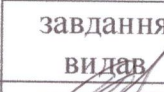
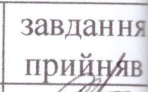
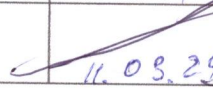
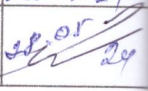
3. Вихідні дані до роботи: оптимальна маса підйому вантажу разом з квадрокоптером 20 кг; задана швидкість руху 50 км/год; кількість електродвигунів 4шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Загальна характеристика безпілотників та режимів їх роботи. 2 Принципи роботи квадрокоптера. 3 Огляд існуючих рішень. 4 Техніко-економічне обґрунтування системи живлення квадрокоптера. 5 Вибір та розрахунок основних елементів квадрокоптера. 6 Розробка системи керування електромеханічної системи квадрокоптера. 7 Розробка алгоритму оптимальних налаштувань в спеціалізованому програмному середовищі. 8 Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Мета, задачі, об'єкт та дослідження. 2 Загальна характеристика безпілотників та

їх режимів роботи. 3 Принцип роботи квадрокоптера. 4 Огляд існуючих електродвигунів та систем керування. 5 Порівняння польотних контролерів. 6 Порівняння систем живлення квадрокоптера. 7 Техніко-економічне обґрунтування системи живлення. 8 Вибір та розрахунок основних елементів квадрокоптера. 9 Вибір польотного контролера. 10 Розробка конструкції рами. 11 Розробка системи керування електромеханічної системи квадрокоптера. 12 Схема електрична принципова. 13 Розробка алгоритму оптимальних налаштувань в спеціалізованому програмному середовищі. 14 Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Проценко Д.П., к.т.н., доцент кафедри КЕМСК	 11.03.24	 28.05.24
Охорона праці	Зав. Каф. БЖДПБ. д.пед. н., проф. Кобилянський О.В.	 11.03.24	 28.05.24

7. Дата видачі завдання 11.03 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	13.06.2024	

Студент

Керівник бакалаврської дипломної роботи


(підпис)

Печенюк О.О.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Проценко Д.П.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Печенюк О.О. Розробка навчального модульного квадрокоптера: бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 141 Електроенергетика електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2024. 116 с. Бібліогр.: 21 назв ; рис. : 48; табл. 16.

У бакалаврській дипломній роботі проведено аналіз стану існуючих систем БПЛА. Було проведено аналіз аналогів, визначено їх переваги і недоліки та доведено доцільність розробки власного проєкту.

Виконане обґрунтування вибору елементів та середовища налаштування, а також технологій, які були використані під час розробки системи.

У роботі розглянуто основні аспекти проектування, виготовлення та тестування квадрокоптера. Особливу увагу приділено вибору матеріалів та компонентів, оптимізації вагових характеристик, забезпеченню стабільності та надійності польоту. Проведено аналіз різних варіантів конструкції рами, враховуючи їх вплив на аеродинамічні характеристики та довговічність.

Розроблено алгоритм розробки та реалізації конструкції квадрокоптера, який може бути легко адаптований до різноманітних навчальних сценаріїв, включаючи базові і просунуті курси з робототехніки, програмування та аеродинаміки.

Робота має практичну цінність і може бути використана як у навчальних закладах, так і для індивідуального навчання.

Ключові слова: квадрокоптер, аеродинаміка, електродвигун, оптимізація аналіз.

Annotation

Pecheniuk O.O. Development of an educational modular quadrocopter: bachelor's thesis on the specialty 141 Electric power engineering and electromechanics, educational program - Electromechanical. Vinnytsia: VNTU, 2024. 116 p. Bibliogr. : 21 titles 48; Fig 16.

The bachelor's diploma work analyzed the state of existing UAV systems. An analysis of analogues was carried out, their advantages and disadvantages were determined, and the expediency of developing one's own project was proven. The justification of the selection of elements and the setting environment, as well as the technologies that were used during the development of the system, was carried out.

The work considers the main aspects of designing, manufacturing and testing a quadcopter. Special attention was paid to the selection of materials and components, optimization of weight characteristics, ensuring stability and reliability of flight. An analysis of various frame design options was carried out, taking into account their impact on aerodynamic characteristics and durability.

An algorithm for the development and implementation of a quadcopter design has been developed, which can be easily adapted to a variety of educational scenarios, including basic and advanced courses in robotics, programming, and aerodynamics.

The work has practical value and can be used both in educational institutions and for individual training.

Keywords: quadrocopter, aerodynamics, electric motor, optimization analysis.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗПІЛОТНИКІВ ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ.....	8
1.1 Актуальність теми в сучасному світі та роль у житті людини	8
1.2 Класифікація безпілотних літальних апаратів	12
1.3 Застосування БПЛА	16
2.1 Основоволожні принципи польоту мультикоптерів	19
2.2 Мікроелектрона база коптера	21
3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	24
3.1 Існуючі мультироторні системи та їх недоліки	24
3.2 Різновиди електродвигунів та їх особливості.....	26
3.3 Сучасні модулі керування.....	29
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ КВАДРОКОПТЕРА	36
4.1 Аналіз існуючих систем живлення.....	36
4.2 Порівняння різних систем живлення	38
4.3 Розрахунок економічних параметрів.....	39
5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРОКОПТЕРА	41
5.1 Кінематична схема електропривода квадрокоптера.....	41
5.2 Вибір параметрів пропелерної групи	42
5.3 Попередній вибір потужності приводного двигуна.....	46
5.4 Вибір електродвигуна для системи ЕП літального апарату.....	47
5.5 Вибір польотного контролера	49
5.5 Матеріал рами.....	54
5.7 Розробка конструкції рами	55
5.8 Проведення розрахунку на міцність в середовищі Ansys	57
5.9 Вибір елементів живлення квадрокоптера.....	58

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КВАДРОКОПТЕРА	62
6.1 Розробка схеми електричної функціональної	62
6.3 Синхронний DC/DC перетворювач	65
6.4 Сенсор напруги	67
6.5 Автономний інвертор напруги	68
6.6 Схема електрична принципова	69
7 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАШТУВАНЬ В СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	71
7.1 Наладка квадрокоптера в спеціалізованому програмному середовищі	71
8 ОХОРОНА ПРАЦІ	83
8.1 Технічні рішення для безпечної організації робочого простору	83
8.1.2. Електробезпека	85
8.2 Технічні рішення щодо виробничої санітарії	86
8.2.1 Мікроклімат	86
8.3 Пожежна безпека	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	95
ДОДАТОК А (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) Технічне завдання	98
ДОДАТОК Б (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) Ілюстративні матеріали	102
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	116

ВСТУП

На сьогоднішній день технології все більше наповнили життя людства, сучасна людина вже, навіть, у побуті використовує різні роботизовані системи, не кажучи вже про виробництва. Зараз активно впроваджуються технології для зменшення розмірів, спрощення та подовження тривалості роботи людини за допомогою автоматизації. Це включає створення роботів, комп'ютерних систем у транспорті, "розумних домів" та інших пристроїв, які полегшують життя та навіть рятують його. Такі системи використовуються для моніторингу, розмінування, пошуку людей після катастроф та контролю стану середовища у важкодоступних місцях.

Одним з ключових інструментів для цих задач стали безпілотні літальні апарати (БПЛА). Існує багато видів БПЛА, включаючи багатоцільові, експериментальні, оперативні, розвідувальні, ударні та з модульним навантаженням. БПЛА активно використовуються для спостереження, розвідки та моніторингу під час бойових дій, катастроф та масштабних аварій. Вони виконують різні завдання, від фотографування та відеоспостереження до тепловізійної та лазерної зйомки. Серед пріоритетних напрямів — оборона та рятувальні операції, правоохоронна та природоохоронна діяльність, наукові дослідження та екологічний моніторинг. Все більш актуальні освоєння Арктики, робота з охорони навколишнього середовища середовища. [1]

Безпілотні літаючі роботи входять в аварійні ядерні реактори, підіймаються у верхні шари атмосфери, спускаються в жерла вулканів, ефективно патрулюють сухопутні та морські рубежі. Іними словами, розвиток технологій, нові можливості в області безпеки дозволяють людині все активніше відправляти безпілотні апарати-роботи замість себе в самі труднодоступні місця. [1]

Оператори безпілотників отримують в режимі реального часу точну інформацію про досліджувану територію без додаткового ризику для себе, незалежно від погодних умов, відстані та інших факторів. БПЛА можуть

виявляти осередки пожежі, масштаби аварій, кількість ворожих сил, ідентифікувати обличчя та деталі зовнішнього вигляду.

Проте існують проблеми, пов'язані з керуванням БПЛА. Стабільність польоту залежить від регуляторів у системі управління, яка обробляє команди наведення і забезпечує стійкість руху.

Об'єктом дослідження є проєктування електромеханічних систем, систем керування, процеси налаштування і тестування навчального модульного квадрокоптера, дослідження апаратної частини, що може бути корисним для навчання.

Предметом дослідження є конструктивні рішення, включаючи сам квадрокоптер, його окремі елементи (електронні компоненти, сенсори, привідні двигуни, акумуляторну систему та каркас), а також програмне забезпечення для керування і налаштування польотних режимів.

Метою бакалаврської дипломної роботи є модернізація засобу для практичного навчання управління безпілотними літальними апаратами, за рахунок розробки методу оптимальних налаштувань управління і польоту квадрокоптера, сприяючи підвищенню кваліфікації операторів, так і покращення експлуатаційних характеристик системи.

Під час виконання мети дослідження слід вирішити наступні задачі:

- навести загальну характеристику безпілотників та режими їх роботи;
- вибрати та виконати розрахунок основних елементів квадрокоптера;
- виконати техніко-економічне обґрунтування квадрокоптера та обрати оптимальні варіанти електродвигунів, акумуляторів для забезпечення хороших показників в процесі експлуатації.
- провести вибір та розрахунки для додаткових елементів системи, які будуть впроваджуватися в систему квадрокоптера задля оптимізації його роботи.

- виконати розрахунок, вибір і розробку електричної принципової та функціональної схеми системи квадрокоптера, використовуючи сучасні мікропроцесорні технології.
- для даної системи виконати оптимальне налаштування, яке забезпечувало б хороші динамічні характеристики.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувалися:

аналіз існуючих модульних квадрокоптерів та їхніх технічних характеристик;

теоретичне вивчення властивостей компонентів, що використовуються в системі;

моделювання роботи квадрокоптера з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

розробка і випробування прототипу навчального модульного квадрокоптера з подальшою оцінкою його функціональності та ефективності.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗПІЛОТНИКІВ ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ

1.1 Актуальність теми в сучасному світі та роль у житті людини

Актуальність розробки

Забруднення оточуючого середовища стає однією з причин екологічних катастроф у всьому світі, а також фактором різноманітних захворювань і передчасної смертності. Відповідно до досліджень вчених, кожен четвертий випадок смерті річно пов'язаний із хворобами, спричиненими забрудненим навколишнім середовищем. Велику роль у цьому відіграє накопичення шкідливих та токсичних хімічних речовин, смертність від яких постійно зростає. Тому контролювати стан навколишнього середовища залишається актуальною проблемою сучасності.

Після вторгнення російської федерації наша країна бореться не лише з окупантами, але й з наслідками цього конфлікту. Дослідження стану навколишнього середовища в Україні набуває все більшої важливості, оскільки стає актуальним визначення та контроль негативних впливів, що перш за все впливають на стан різноманітних природних ресурсів. Через неможливість доступності до місць спостереження в якості приладів скрінінгу застосовуються дрони, які мають різноманітний і ефективний функціонал та спеціалізацію. Використання прогресивних досліджень в області контролю та визначення різних факторів, які мають вплив на параметри того чи іншого об'єкту дослідження визначає розвиток прогресивного суспільства та країни загалом.

Фундаментальною перевагою дрона є безпека людини, яка керує ним, тобто, оператора, відбувається на певній безпечній відстані, або автоматизовано згідно за завчасно прокладеного шляху. В реаліях техногенних катастроф це є важливим. Необхідно сказати, що ефективність їх

використання залежить від правильного підбору засобу під конкретно поставлене завдання.

Доступний кожному

Одразу можна виділити, що найдоступнішим пристроєм є дрони цивільного призначення. Вони хороші для зйомки відео, але зазвичай мають не велику дальність в залежності від конфігурації (близько 100-300 метрів) і приблизну тривалість польоту в рамках 15-30 хвилин. Ще корисною функцією є можливість відстеження дрона та оператора апаратури DJI за наявності спеціалізованої станції DJI Aeroscope [2] (яку не може купити пересічний громадянин, але може придбати держава).

Ця технологія дозволяє зменшити ризики у повітряному просторі поблизу критичних інфраструктурних об'єктів, забезпечуючи захист від небажаних спостережень та уникнення присутності безпілотних літальних апаратів у зонах польотів інших літальних засобів і апаратів. Важливою перевагою є доступна ціна, спрямована саме на широкого споживача.



Рисунок 1.1 – DJI Aeroscope

Користь для суспільства

Наступною категорією безпілотних літальних апаратів є ті, що використовуються у комерційних цілях. Ці рішення охоплюють практично всі сфери. Наприклад, можна згадати дрони-кур'єри. Такі пристрої суттєво спрощують процес доставки товарів від постачальника до споживача, оскільки мінімізується роль людини. Це дозволяє зменшити витрати на оплату операторів дронів, зробити доставку більш доступною, екологічно чистою та швидшою. Умови конкуренції на ринку підтримують використання таких інновацій, що гарантує популярність серед споживачів. За таким підходом діє Amazon з 2016 року,[3] що стало їхньою невід'ємною перевагою.



Рисунок 1.2 – Дрон-кур'єр

Відновлення природних ресурсів

Сучасні технології використовуються і як інструмент для відновлення балансу в природі після пожеж, ураганів та цунамі. Завдяки спеціально розробленому безпілотному літальному апарату (БПЛА) стало можливим відновлення мангрових заростей, які є середовищем для проживання птахів, водних мешканців та ссавців. Дрон може розповсюджувати 750 кульок з насінням на один гектар за 5 хвилин. З такою ефективністю можна бути впевненим, що загроза таким лісам є тимчасовою і людина може допомогти у їх відновленні.

Контроль шкідливого забруднення

Необхідно також пам'ятати, що більшість катастроф можна уникнути, [4] переконані в Європейському агентстві з морської безпеки. Для цього розроблено безпілотний літальний апарат, який виконує патрулювання Північного моря та аналізує концентрацію викидів сірки та азоту, що є наслідком людської діяльності та використання суден в якості транспортних засобів. Цікаво, що цей апарат може бути використаний також для координації та контролю трафіку суден, спостереження за рибальством для запобігання порушень встановлених норм та пошуку та рятування людей у разі необхідності.



Рисунок 1.3. – БПЛА-спостерігач

Підсумок

Аналізуючи області застосування дронів, можна зробити висновок, що ця техніка дуже різноманітна як за призначенням, так і за виробниками. Однак, її об'єднує важливість у сучасному житті завдяки функціоналу, який надає інформацію та можливість контролю екологічних проблем, а головне – запобігання катастроф, зберігаючи людські життя. Використання дронів в Україні стало звичним явищем. Метою нашого подальшого дослідження є застосування дронів для контролю стану екології в Україні під час та після війни, щоб забезпечити безпеку життя населення в нашій країні.

1.2 Класифікація безпілотних літальних апаратів

Безпілотні літальні апарати становлять основну складову безпілотного авіаційного комплексу, який забезпечує його функціонування. Безпілотний авіаційний комплекс (БАК) [5] включає в себе низку елементів, таких як безпілотні літальні апарати, наземні пункти дистанційного керування, персонал, який керує і забезпечує його роботу, а також системи зв'язку і керування для спілкування з операторами та отримання результатів функціонування.

Типовий склад компонентів БАК включає командування, управління, зв'язок і необхідний персонал. - один або декілька керованих БПЛА; пункт наземного керування.

Широкий спектр різноманітних принципів побудови безпілотних авіаційних комплексів (БАК) та їх функціональних характеристик потребує різних підходів до класифікації. Різні дослідники пропонують різноманітні критерії класифікації БАК, такі як максимальна злітна маса, розміри, умови експлуатації, здатність функціонування та інші параметри безпілотних літальних апаратів. Залежно від типу польотного завдання та функціональних можливостей БПЛА, їх можна класифікувати за розмірами, діапазоном дії, швидкістю, вагою тощо.

Інший підхід до класифікації БАК ґрунтується на рівнях автономності БПЛА, де для визначення автономності використовують рівні автономного керування та контролю. Найбільш поширеною є поділ на десять рівнів, заснований на вимогах до польотних ситуацій, аналізі ситуацій, координації, прийнятті рішень та функціональних можливостях систем та обладнання БПЛА.

- рівень 0. БПЛА керується дистанційно;
- рівень 1. БПЛА самостійно виконує поставлене раніше завдання;
- рівень 2. Планується зміна мети польоту;

- рівень 3. Реакція на зміну оточуючого середовища відбувається у реальному часі;
- рівень 4. БПЛА реагує на зміни оточуючої обстановки;
- рівень 5. Узгодження групових польотів;
- рівень 6. Організація групових польотів;
- рівень 7. Отримання актуальної інформації щодо динаміки виконання польотного завдання;
- рівень 8. Використання актуальної динамічної інформації для виконання завдання;
- рівень 9. Ефективне виконання завдання відповідно до змінних обставин;
- рівень 10. БПЛА повністю незалежний.

Слід визначити дві ключові сфери застосування безпілотних літальних апаратів: військову та цивільну.

Класифікація БПЛА за функціональним призначенням наведено на рис.

1.4

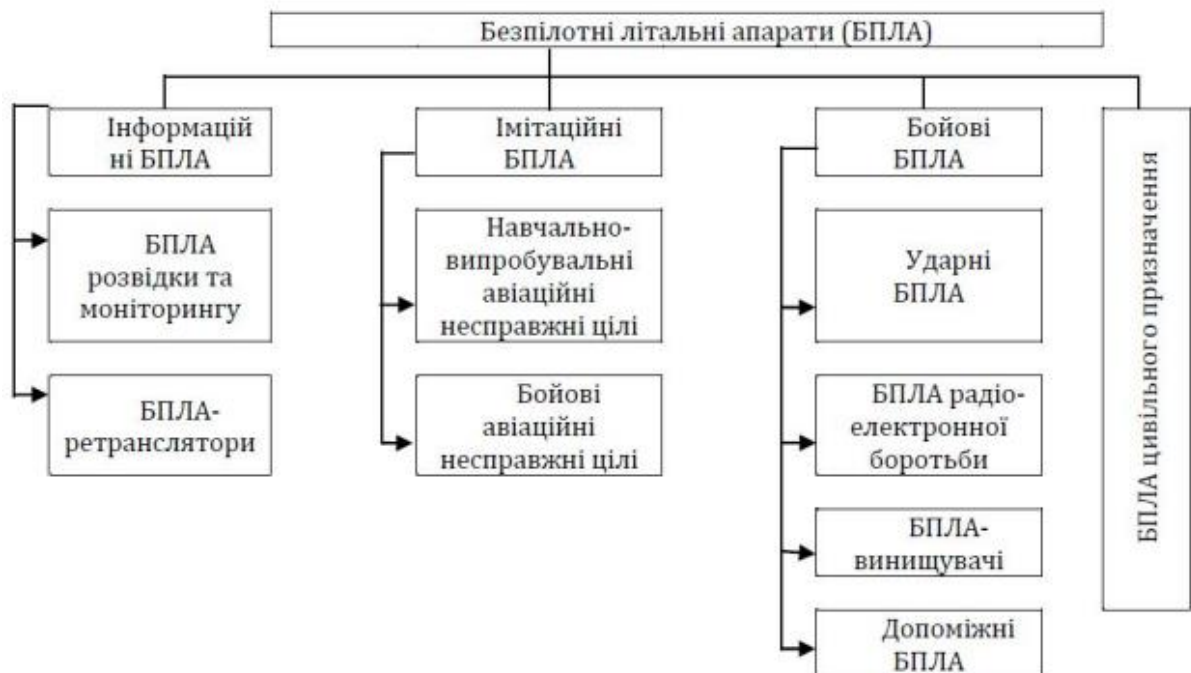


Рисунок 1.4 – Класифікація БПЛА за функціональним призначенням

Безпілотні літальні апарати можуть бути розділені на різні категорії з урахуванням численних характеристик експлуатації. Такі параметри, як маса, час автономності, дальність польоту, швидкість та навантаження на крило, визначаються як ключові показники, які різниціують різні види БПЛА та допомагають у створенні класифікаційних систем. Параметри такі, як витривалість польоту та максимальна висота польоту, також можуть вважатися важливими для порівняння та класифікації БПЛА.

Важливі параметри БПЛА:

- вага;
- витривалість і запас ходу.;
- максимальна висота;
- завантаження крила;
- тип двигуна;
- навантаження потужності / тяги.

В Таблиці 1.1 представлені приклади БПЛА для певних експлуатаційних параметрів.

Таблиця 1.1. – Приклади БПЛА для певних експлуатаційних параметрів.

Вага, kg	Витривалість і запас ходу, hrs	Максимальна висота, ft	Радіус місії, km	Приклади БПЛА
<5	<1	<400	5	Black Window, Raven
5-25	2-8	<3000	25	Aerosonnde, Scan Eagle, Pumma

Продовження таблиці 1.1

25-150	4-12	<5000	50	Manta BC
150-600	8-14	<10000	200-500	SIERA, Viking 400, TigerSharker
>600	>20	<18000	1000	Ikana (Predator SE)
>600	>24	>18000	5000	Global Hawk MA

Класифікація за вагою БПЛА включає широкий спектр ваги, починаючи з мікро-БПЛА, що мають лише кілька фунтів, і досягаючи масивного Global Hawk MA (рівень III), який важить понад 11 тонн.

Найбільше представники БПЛА можуть розділятися на категорії згідно з їх вагою, що надає чотири класифікації.

Перша - це "надважкі" БПЛА, які мають злітну вагу понад 2 тони, включаючи X-45, Darkstar, Predator B та Global Hawk.

Наступною класифікацією є "велика вага", що охоплює БПЛА вагою від 200 до 2000 кг, такі як Outrider і Fire Scout.

Третя класифікація - "середня вага", з вагою від 50 кг до 200 кг, що включає Raven до Phoenix. І "легкі" БПЛА вагою від 5 до 50 кг.

Крім того, існує класифікація мікро БПЛА (МБПЛА) для БПЛА вагою до 5 кг, що включає Dragon Eye, FPASS, Pointer та SilentEyes. Багато інших характеристик пов'язані з вагою БПЛА, таких як витривалість, дальність польоту, розмах крил і тип двигуна.

Класифікація за витривалістю та дальністю БПЛА визначається на основі їх здатності бути в повітрі на тривалий час і велику дистанцію польоту. Ці параметри взаємопов'язані, оскільки більша витривалість дозволяє більшому радіусу дії.

Існують три класи в залежності від тривалості польоту: тривала, середня та коротка витривалість. БПЛА з тривалою витривалістю можуть залишатися в повітрі протягом 24 годин і більше, такі як Global Hawk MA. БПЛА середньої витривалості можуть літати від 5 до 24 годин, включаючи Predator. БПЛА з низькою витривалістю можуть літати менше 5 годин і використовуються для короткочасних місій.

Класифікація за максимальною висотою визначається висотою польоту БПЛА. Мала висота - це БПЛА, які літають до 1000 м, такі як Dragon Eye. Середня висота - це категорія БПЛА з максимальною висотою від 1000 до 10000 метрів, як Shadow 600 до Predator. Велика висота - це БПЛА, які можуть пролетіти більше 10000 метрів, такі як X-45 і Global Hawk.

Класифікація за завантаженням крила визначається здатністю крила переносити вагу. Вона поділяється на три класи залежно від навантаження на крило: високонавантажені, середні навантаження та низькі навантаження. Ця класифікація впливає на тип двигуна, витривалість та інші характеристики БПЛА.

Класифікація за типом двигуна враховує різні типи двигунів, що використовуються в БПЛА, такі як турбовентилятори, поршневі, електричні та інші. Вибір типу двигуна впливає на витривалість, дальність польоту та ефективність місій БПЛА.

1.3 Застосування БПЛА

Оскільки безпілотні літальні апарати володіють перевагами перед традиційними засобами дистанційного зондування через менше споживання енергії, менший ризик для людей, простоту збору даних, стійкість та високу просторову роздільну здатність, їх значення виявляється в цивільних, логістичних, сільськогосподарських та оборонних секторах. На рисунку 1.3 наведено потенційні області застосування безпілотників у цивільних, екологічних та оборонних галузях.

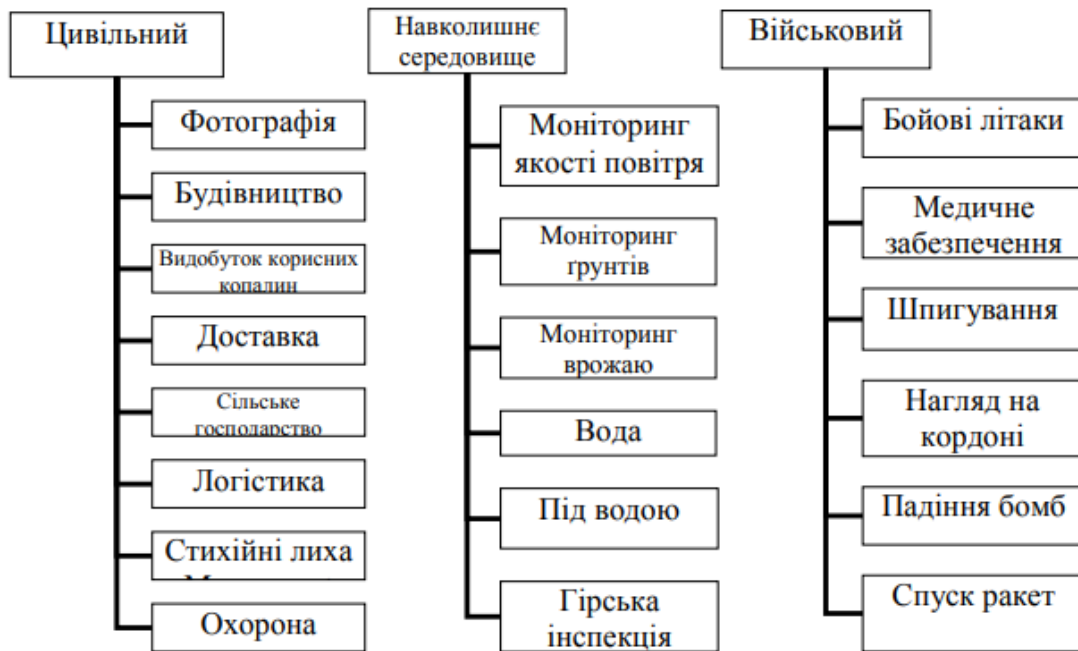


Рисунок 1.5 – потенційне застосування БПЛА у різних сферах

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) широко застосовуються у різних галузях цивільної авіації, від електроенергетики до залізничного транспорту. Енергетичні компанії використовують їх для інспекції ліній електропередачі та відключення електропостачання. Залізничні компанії використовують БПЛА для моніторингу та інспекції колії в обмежених зонах. Уряд Індії планує використання тривимірного картографування для залізничних магістралей. "Amazon" випробувала доставку посилок дронами, а поліція Ченнаї в Індії продемонструвала використання БПЛА для пошуку людей в горах та провела рятувальні операції в затоплених районах. БПЛА також використовуються для медичних доставок у різних країнах, включаючи США. Крім того, досліджується виробництво електроенергії за допомогою безпілотних літальних апаратів.

У сфері військової діяльності значна частина робіт з безпілотними літальними апаратами зосереджена на військовому використанні. Різні вимоги до військових місій спонукали до розробки різних типів БПЛА, тому класифікація їх за цільовими можливостями є важливою. Згідно з БПЛА

Roadmap 2002, можна виділити наступні можливі категорії в залежності від місії:

- розвідка, Спостереження, Ціль (ISTAR);
- бойова (UCAV);
- багатоцільова;
- вертикальний зліт і посадка (VTOL);
- радар і передача зв'язку;
- повітряна досавка.

Лідери у розробці та застосуванні військових безпілотників є Сполучені Штати Америки, Сполучене Королівство, Туреччина, Індія та Ізраїль. Зовсім нещодавно, було помітне прискорення поширення як військових, так і цивільних безпілотників, з відзначенням максимальної активності в ударах безпілотників, здійснених США та Великобританією. Недавно Індія розробила систему середньої висоти довготривалості (MALE), яка включає DRDO Lakshya, DRDO Aura, DRDO Rustom, і призначена для різноманітних завдань, включаючи отримання цілей, випуск ракет, скидання бомб та виконання бойових місій.

Також безпілотні літальні апарати відіграють важливу роль у лісництві, рибальстві та охороні дикої природи. Вони допомагають перебороти обмеження супутникових знімків, спричинені недостатньою доступністю та хмарним покриттям, здійснюючи широкий спектр завдань. Ці завдання включають вимірювання висоти, відстеження руху лісових тварин, підтримку охорони лісів, виявлення та запобігання лісовим пожежам, а також обстеження та картографування лісових масивів. Використання дистанційно керованих БПЛА з тепловими та гіперспектральними датчиками на борту дозволяє точно визначати та моніторити цілеспрямовані лісові пожежі. Крім того, БПЛА, оснащені тепловими датчиками та супутниковими системами, використовуються для моніторингу, маркування та підрахунку тварин, сприяючи боротьбі з браконьєрством та збереженню дикої природи.

2 ПРИНЦИПИ РОБОТИ КВАДРОКОПТЕРА

2.1 Основоволожні принципи польоту мультикоптерів

Квадрокоптер складається з кількох важливих компонентів, без яких стабільний політ неможливий. Перш за все, є польотний контролер, що обробляє всю надходячу інформацію та виробляє сигнали для електродвигунів. Контролер отримує вхідну інформацію у вигляді цифрового сигналу з модуляцією широти імпульсів.

Для забезпечення повної стабільності у повітрі квадрокоптеру потрібні чотири основних канали: газ, рух вправо-вліво (рискання), рух вгору-вниз (тангаж) і нахил вперед-назад (крен). До входів процесора під'єднані сенсори, які визначають положення безпілота в просторі.

Отримуючи вхідні сигнали від цих сенсорів, контролер розуміє та одразу автоматично корегує сигнал який йому приходить та забезпечує стабільність і точність в управлінні.

Після того, як сигнали оброблені таким чином, щоб на виході отримувати відповідні значення напруги, пропорційні швидкості обертання кожного з гвинтів, апарат отримує здатність до виконання польотних маневрів.

Базові принципи польотів різних видів авіатехніки, включаючи квадрокоптери, детермінуються аеродинамікою. Три вісі обертання визначають орієнтацію в просторі квадрокоптера та його напрямок руху, не зважаючи на його положення в повітрі.

Вихідний сигнал від польотного контролера є широтно-імпульсно промодульованим і подається на PID-регулятор. Цей PID-регулятор керує сигналом значної потужності, потім цей сигнал безпосередньо подається на електродвигун.

Дана система управління дозволяє раціонально впливати на обертання кожного пропелера, забезпечуючи постійність та точність керування апаратом.

Принципова схема роботи квадрокоптера представлена на рисунку 2.1.

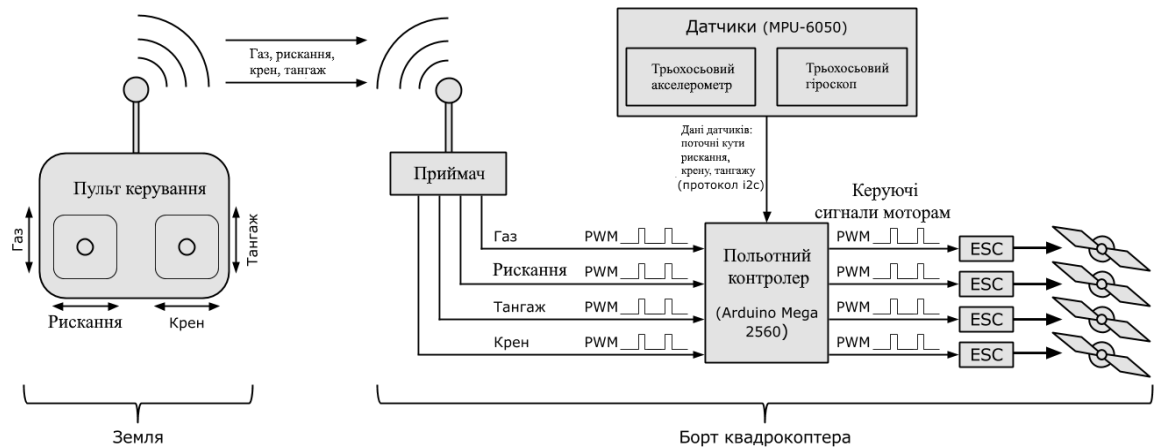


Рисунок 2.1 – Принципова схема роботи квадрокоптера

Три вище перераховані вісі заведено правильно називати креном (roll), рисканням (yaw) і тангажем (pitch), що наведено на рисунку 2.2.

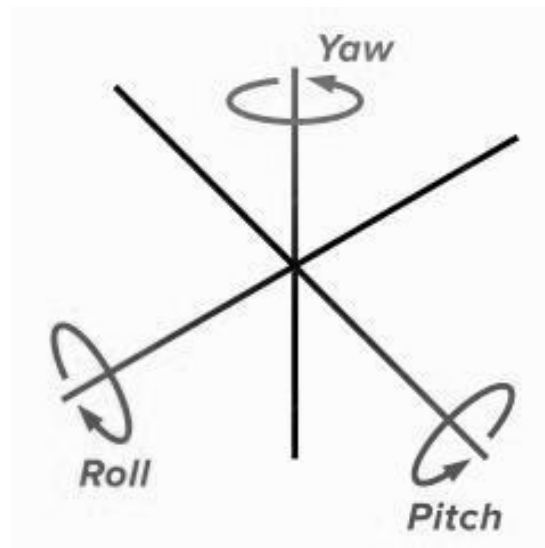


Рисунок 2.2 – Кути – крену, тангажу та рискання

Під поняттям тангажу розуміють поворот навколо поздовжньої осі, креном – поздовжньої осі, а рисканням – навколо вертикальної осі.

У гвинтокрила головний гвинт безпосередньо керує тангажем і креном, тоді як хвостовий гвинт компенсує обертовий момент. Рискання гелікоптера залежить від швидкості обертання хвостового гвинта і його положення. У випадку з квадрокоптером ситуація трохи відрізняється. Він має чотири гвинти: два обертаються за годинниковою стрілкою, а два - у протилежному напрямку. Коли всі гвинти обертаються з однаковою швидкістю, всі характеристики взаємно компенсуються.

Однак, якщо швидкість обертання одного з гвинтів збільшується, баланс порушується. Зменшення швидкості гвинта, що обертається в протилежному напрямку, пропорційно може відновити рівновагу, але це може призвести до зміни тангажу або крену.

Якщо одночасно збільшити оберти цих двох гвинтів у одному напрямку і зменшити їх на інших, то це призведе до зміни кута рискання. Керування обертанням гвинтів БПЛА, відбувається за допомогою пульта радіодистанційного керування. Під час проектування та створення квадрокоптера слід провести всі необхідні обрахунки з метою досягнення оптимального балансу між масою ЛА та потужністю вибраних електродвигунів та іншими факторами.

2.2 Мікроелектрона база коптера

Для керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) необхідна система управління з передавальною частотою. Це може бути звичайний радіопульт, що часто використовується авіамоделістами, або спеціальний радіопередавач, який дозволяє керувати безпілотником з комп'ютера.

У нашій роботі буде розглянута система управління на базі 12-канального пульта, яка складається з самого пульта, його передавального модуля і приймача, який встановлюється в мультиротор і забезпечує управління ним. Більшість систем управління БПЛА працюють за таким принципом та використовують радіоканал для передачі сигналів.

Нижче будуть розглянуті більш детальні критерії для пошуку системи керування. Перейдемо до вибору системи керування, який потрібно здійснювати з урахуванням умов експлуатації безпілотної, таких як локація, дистанція польоту, обмеження для використання частот, урахування складності управління, яка може потребувати використання двох або більше каналів. Крім того, необхідно зауважити можливість використання двох діапазонів одночасно: один для керування ЛА та інший для периферійних систем, наприклад, передачі відеосигналу.

Критерії вибору такі: частота передавальних сигналів. Чим вища частота, тим більш стійкий до перешкод сигнал. На практиці іноді обладнання, що працює на нижчих частотах, у певних умовах показує набагато надійніші результати. У сучасному авіамоделюванні використовуються частоти: 0,433 ГГц, 1.2 ГГц, 2.4 ГГц, 5.8 ГГц та інші. Нижчі частоти переважно використовуються для низьких або дальніх польотів (а не високих). З належним посиленням сигналу за допомогою підсилювачів можна досягти зони покриття на кілька десятків кілометрів при частоті 1.2 ГГц. Вищі частоти характерні для більш місцевих польотів (особливо висотних), які так само за належного посилення можна розширити діапазон можливого польоту.

При використанні БПЛА з додатковим частотним каналом (для передачі відео), важливо підбирати частотний діапазон, який не використовується системою управління. Наприклад, система управління мультиротором може використовувати частоту 1.2 ГГц для передачі сигналу, що управляє, тоді як передача якісного відеосигналу може використовувати 2.4 ГГц. Таким чином, частоти не будуть перекриватися, а політ залишиться надійним і безпечним. Важливо також правильно налаштувати елементи управління, такі як «Elevator» (вгору-вниз) та «Aileron» (вправо-вліво). Для управління БПЛА типу літака зазвичай достатньо 2 каналів, але в даній роботі ми не будемо розглядати цю можливість. Використання додаткових каналів дозволяє встановлювати на БПЛА додаткові елементи управління, такі як елементи

керування кількістю обертів, додаткові сервомотори (наприклад, керований підвіс для камери з можливістю повороту), і багато іншого. Кожен такий елемент вимагає принаймні один канал, але при цьому можливості БПЛА значно збільшуються. Деякі системи управління мають більше 12 каналів, але більшість мультироторів рідко використовують більше 8, оскільки вартість багатоканальних систем значно вища.

3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

3.1 Існуючі мультироторні системи та їх недоліки

Квадрокоптер є найбільш стійким серед різних багатороторних систем. Завдяки чотирьом двигунам забезпечується більш ефективне керування системою. Такий підхід вважається оптимальним, оскільки збільшення кількості двигунів практично не впливає на стабільність, але значно підвищує споживання електроенергії.

Приклад квадрокоптера показано на рисунку 3.1.

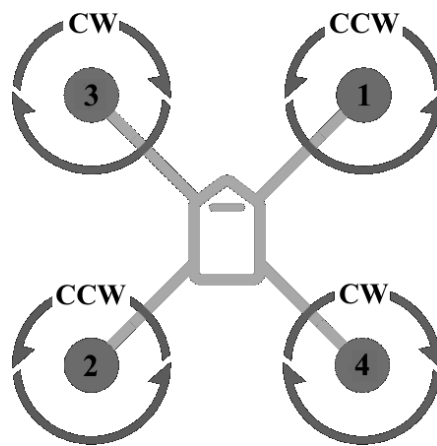


Рисунок 3.1 – Схема квадрокоптера

Завдяки своїй будові та достатній кількості потужних електроприводів, апарати із декількома двигунами пересуваються на великих швидкостях та дуже швидко міняють напрямок руху, фактично уникаючи виявлення спостерігачами.

З цього можна зробити висновок, що система передачі та прийому сигналу повинна бути достатньо потужною, щоб не допустити втрат сигналу на далеких відстанях і забезпечити стабільну обмін даними. Особливо це важливо для бездротового з'єднання пристроїв, єдиним оптимальним варіантом є використання радіосигналів.

У таблиці 2.1 наведено деякі розповсюджені бездротові технології, які є актуальними сьогодні.

Таблиця 3.1 – Опис радіостандартів

№	Радіотандарт	Частота	Опис
1	802.11 a	2,4 ГГц; 5 ГГц	Wi-Fi [12]
2	802.15.1	2,4 ГГц	Bluetooth [11]
3	802.15.4	2,4 ГГц	ZigBee
4	3GPP TS 45.005	40/20 МГц	GSM, LTE

З таблиці можна побачити, що дані технології можуть працювати на частоті сигналу 2,4 ГГц, який в свою чергу дозволяє кидати дані на великі відстані. Але для роботи на такій відстані, як 1 км, простих технологій виявляється недостатньо.

У сучасних мережах активно використовується частота 5 ГГц, оскільки вона забезпечує вищі швидкості передачі даних. Проте, важливо зауважити, що із зростанням частоти сигнал швидше втрачає енергію. У мобільних мережах можлива передача інформації на великі відстані, але для цього необхідна ліцензія. Таким чином, звичайні технології, що використовуються у повсякденному житті, недостатньо ефективні для цього проєкту.

Для вирішення цієї задачі рекомендується звернутися до провідних виробників радіоапаратури для радіокерованих пристроїв. Кожен з них має свій власний стандарт передачі даних, який є запатентованим і включає різноманітні заходи захисту від перешкод, інтерференції та інших сигналів на їхній власній частоті.

Існує досвід, який підтверджує, а також заяви виробників, що використання пари передавачів і приймачів від одного виробника може забезпечити стійкий сигнал на відстані від 100 метрів до 10-15 кілометрів.

Частина цих систем також включає можливість відправки зворотнього сигналу від приймача до передавача, таким передаючи інформацію про апарат.

Даний процес називають телеметрія. Він дозволяє отримувати додаткові дані про віддалені об'єкти. Частина найпоширеніших протоколів від деяких виробників:

- D8 / D16 (FrSky);
- DSM / DSMX (Spektrum);
- AFHDS 2A (FlySky);
- FASST (Futaba).

3.2 Різновиди електродвигунів та їх особливості

В основі роботи більшості електродвигунів, що використовуються в сучасних технологіях, лежить принцип електромагнітної індукції. Цей фундаментальний принцип ґрунтується на взаємодії магнітного поля, яке створюється статором або індуктором, з ротором або якорем, що призводить до їх обертального руху. Різноманітність конструкцій електродвигунів та джерел живлення обумовлює варіативність застосування цього принципу.

На відміну від ротора або якоря, що обертається, статор або індуктор електричної машини залишається нерухомим. У двигунах постійного струму для створення магнітного поля часто використовуються постійні магніти, що робить конструкцію простішою та економнішою з точки зору енергоспоживання.

В радіокерованих моделях, де пріоритетами є ефективність та мінімальна вага, використовуються два типи електродвигунів: щіткові та безщіткові. Щіткові двигуни, хоча й простіші за конструкцією, мають

недоліки у вигляді щіток та комутатора, що з часом зношуються, знижуючи ефективність роботи. На противагу їм, безщіткові двигуни не мають цих проблем, завдяки чому вони більш довговічні та економні.

На відміну від щіткових двигунів, які з часом втрачають ефективність через знос щіток та комутатора, безщіткові двигуни, що стають все більш популярними, використовують електронні регулятори для керування напрямком струму.

Завдяки відсутності тертя та зносу, безщіткові двигуни демонструють кращу ефективність, довговічність та потребують меншого обслуговування.

Незважаючи на те, що кінцева мета обох типів двигунів - обертання валу, їх конструкції суттєво відрізняються. Колекторні двигуни, також відомі як щіткові, мають щітково-колекторний вузол, що й обумовлює їх назву. Цей вузол складається з ротора (рухомої частини) та статора (нерухомої частини), а щітки статора контактують з колектором.

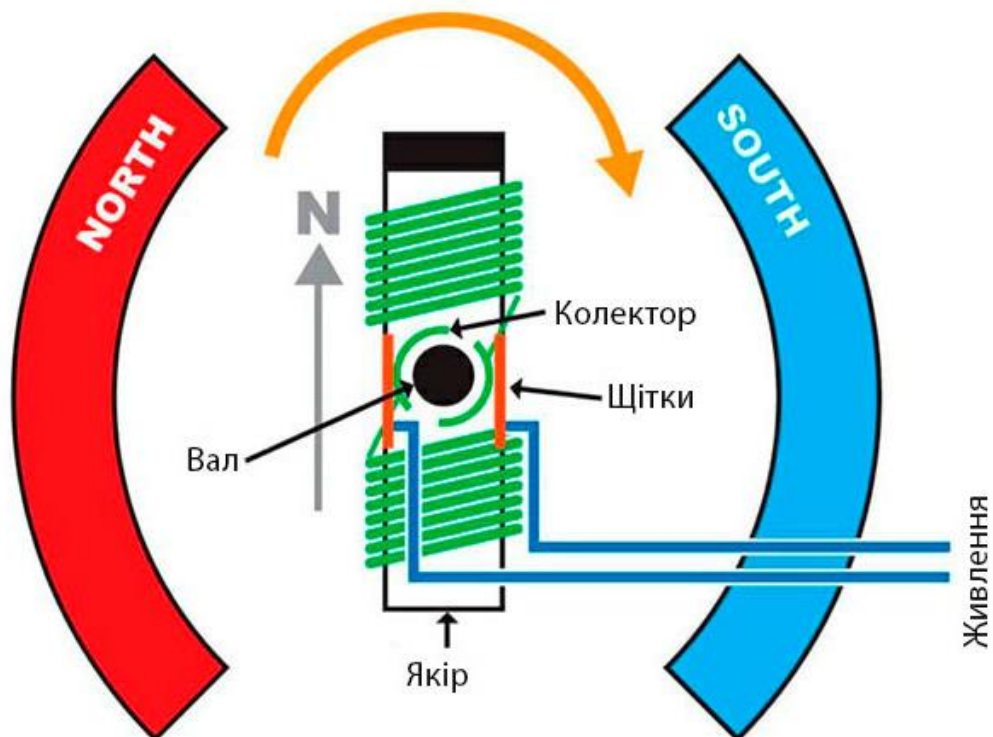


Рисунок 3.2 – Схема колекторного двигуна

Колектор в колекторних двигунах забезпечує подачу струму на обмотку ротора, яка, в свою чергу, з'єднана з обмоткою статора. Ця проста конструкція має лише два дроти з позитивним та негативним полюсами, що робить підключення до регулятора швидкості нескладним. Такі двигуни можуть живитися безпосередньо від джерела живлення, наприклад, акумулятора або батарейок, але за умови дотримання допустимої для двигуна напруги. Без регулятора швидкості мотор буде працювати на максимальних обертах, що відповідають даній напрузі.

Безколекторні двигуни відрізняються від колекторних відсутністю щіток, що робить їх більш зносостійкими та економними. Проте, для їх роботи необхідний трифазний змінний струм, а регулятори для колекторних двигунів не підходять. Ці двигуни мають три дроти для підключення та складнішу конструкцію, що й зумовлює їхню вищу вартість.

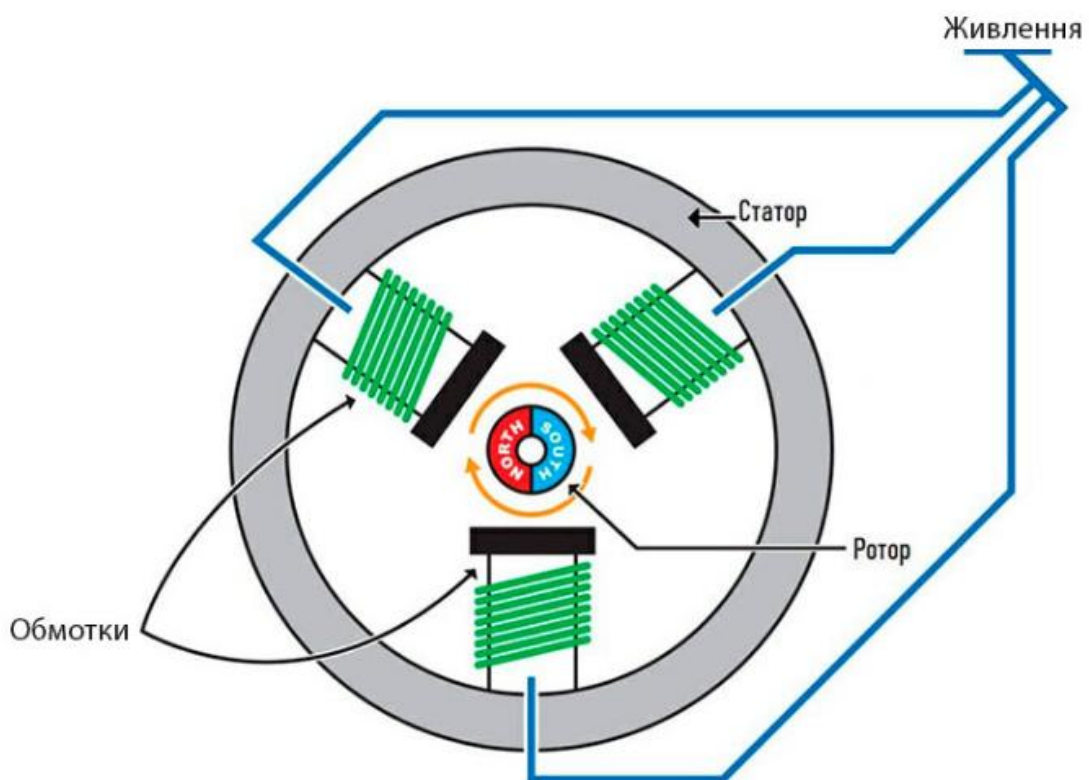


Рисунок 3.3 – Схема безколекторного двигуна

Принцип роботи значно відрізняється - в даному випадку статор обертається, а ротор зафіксований з трифазною обмоткою. Для перемикання обмоток відповідає спеціальний регулятор.

Переваги та недоліки щіткових двигунів

Прийнято вважати головною перевагою низьку вартість таких механізмів, саме через невибагливу конструкцію колекторні двигуни набагато дешевше. Окрім цього, можна ще відзначити: їхню компактність, меншу вагу від їх конкурентів та можливість використовувати у складних умовах таких як вологе середовище.

Основним недоліком можна вважати низький рівень зносостійкості. Колекторний механізм, нажаль, має обмежений ресурс і швидше стає несправним. Під словом "швидше" маємо мати на увазі, що за запасом часу роботи колекторні двигуни значно поступаються безколекторним. Однак, при цьому, при належній експлуатації можуть пропрацювати тривалі час.

Переваги та недоліки безколекторних електродвигунів

У випадку коли радіокерована модель забезпечується безщітковими електродвигунами, її вартість відчутно зросте. Це пов'язано з тим, що до самого мотора ще потрібен дороговартісний регулятор. Певно, лише вартість є значним недоліком.

Отож головні переваги:

- високий рівень надійності (стійкості до зношування),
- велика потужність і тяга,
- велика швидкість (частота обертання),
- довговічність.

До того ж безщіткові двигуни, зазвичай, мають більш міцний корпус закритого типу, який захищає елементи від пилу і вологи.

3.3 Сучасні модулі керування

Визначення модуля управління, який відповідає за керування іншими модулями, може бути визначена у абстрактному контексті. У сфері

радіолюбителів, цей модуль часто називається "польотним контролером". У подальшому ми будемо використовувати саме цей термін.

Польотний контролер - це мікроелектронний пристрій, що безпосередньо керує літальним апаратом. Даним визначенням найчастіше прийнято називати для безпілотних апаратів, включаючи авіамоделі.

Головним функціями польотних контролерів прийнято вважати:

- стабілізацію літального апарата в повітрі;
- утримання висоти за використання спеціальних датчиків;
- автоматизований політ за заданим маршрутом;
- передача оператору телеметрії;
- забезпечення безпеки і стабільності польоту.

Також від рівня автономності автономні контролери можуть мати різні можливості. Для деяких дронів можуть знадобитися заздалегідь запрограмовані плани польоту, де маршрут і дії визначаються заздалегідь. Інші здатні приймати рішення в реальному часі, використовуючи алгоритми штучного інтелекту (AI) і методи машинного навчання для аналізу даних датчиків і реагування на зміни умов.

Ці передові автономні дрони можуть адаптувати траєкторію польоту, уникати перешкод, відстежувати цілі та виконувати складні завдання без постійного втручання людини. [1].

У таблиці 3.1 наведено перевірені контролери польоту від відомих виробників у всьому світі. Як правило, вони широко використовуються для швидкого створення багатороторних систем, оскільки вже містять готову складну програмовану логіку управління двигунами.

Таблиця 3.2 – Характеристика польотних контролерів

Контролер	Стабілізація	Утримання позиції	Політ по точкам	Телеметрія	Вартість
KarpeinKuk	+	-	-	-	30\$
MultiWii	+	+	+	+	50\$
ArduPilot	+	+	+	+	150\$
PixHawk	+	+	+	+	150\$-500\$
DJI Naza	+	+	+	+	250\$-1000\$
XAircraft	+	+	-	-	400\$-600\$
Zero UAV	+	+	+	+	400\$-2500\$

У таблиці представлені провідні виробники систем керування польотом, але варто зазначити, що деякі з цих виробників втратили актуальність у зв'язку з появою конкурентних китайських моделей та імітацій.

Зверніть увагу, що практично всі виробники включають обов'язковий набір функцій, необхідних для успішної реалізації нашого проекту. Це демонструє стандартизацію та доступність функціональних можливостей, необхідних розробникам у цій галузі.

Але більшість із них не мають вбудованих периферійних пристроїв, тобто такі системи, як GPS, гіроскоп, барометр, радіоприймач тощо, потрібно купувати окремо, і вони не входять у вказану вартість.

Історично KarpeinKuk, який показано на малюнку 2.3 був одним із піонерів у виробництві контролерів польоту з вбудованими системами стабілізації.

Контролер вражає своєю простотою, без додаткових периферійних компонентів.



Рисунок 3.3 – Польотний контролер KapteinKuk

Цей контролер, зображений на рисунку 2.4, завдяки своїй доступності та відкритому програмному забезпеченню, здобув велику популярність. Код для нього можна скомпілювати у середовищі Arduino IDE.

Останні версії MultiWii включають в себе різноманітні функції, включаючи політ по заздалегідь визначеним точкам. Проект є некомерційним та підтримується зацікавленими ентузіастами, хоча на сьогодні його вважають застарілим .



Рисунок 3.4 – Польотний контролер MultiWii

ArduPilot, як показано на рисунку 2.5, є одним із відкритих контролерів польоту, що базується на платформі Arduino. Подібно до MultiWii, він включає всі необхідні функції для реалізації польоту, такі як автоматизований політ, обробка відеосигналу (OSD) і підтримка геолокації . Крім того, існують китайські аналоги, такі як HKPilot, доступні за приблизно 50 доларів. Хоча

основна плата АРМ забезпечує лише базові функції, інші модулі, такі як GPS, OSD і модем, можна придбати окремо.



Рисунок 3.5 – Польотний контролер ArduPilot

PixHawk, як показано на рисунку 2.6, є одним з найефективніших контролерів польоту з відкритим кодом, доступних на ринку. Розроблений компанією 3D Robotics, він призначений для заміни застарілого ArduPilot, що використовує 8-розрядну архітектуру процесора. Хоча вони повністю сумісні за апаратними можливостями та функціональністю, PixHawk побудований на сучасній 32-розрядній мікроконтролерній платформі STM32, заснованій на ядрах ARM7.



Рисунок 3.6 – польотний контролер PixHawk

Контролери від DJI [3], зображені на рисунку 2.7, високо оцінюються користувачами за відмінну стабільність польоту, яка значно перевершує більш економічні аналоги. Незважаючи на обмежену функціональність вбудованих контролерів, їхні можливості можуть бути суттєво розширені за допомогою зовнішніх модулів .

Наприклад, для бездротового налаштування можна придбати модуль Bluetooth за \$50. Для ведення розширених журналів польотів доступний DJI iOSD MARK II за \$255. Для польотів до маршрутних точок, передачі телеметричних даних або керування з планшета потрібна наземна станція Bluetooth iPad 2.4G Datalink за \$300.

Висока функціональність цих пристроїв супроводжується значною ціновою міткою.



Рисунок 3.7 – Плата контролера DJI Naza

XAircraft, який відіграв піонерську роль у розвитку контролерів польоту, випустив просте у використанні програмне забезпечення для налаштування з комп'ютера та модуль GPS декілька років тому. Однак деякі власники висловили претензії до роботи контролера стабілізації, тому на даний момент не рекомендується придбання моделей, таких як

XAircraft 450 та XAircraft 650. Недавно вийшла остання версія контролера XAircraft SuperX, зображена на рисунку 2.8, про яку стверджується, що вона враховує минулі недоліки. Проте, через обмежену кількість власників цієї системи наразі складно сформулювати статистичну оцінку її ефективності.



Рисунок 3.8 – Польотний контролер XAircraft

Як показує практика, проблеми з надійністю програмного забезпечення стають актуальними навіть для світових брендів. Хоча програмне забезпечення для пілотованих літальних апаратів або професійних дронів проходить тестування на надійність і сертифікацію, такі процедури не проводяться для диспетчерів повітряного руху масового виробництва [10]. Це може впливати на загальну безпеку та ефективність використання таких систем у різноманітних сценаріях.

Виробники не мають можливості заздалегідь провести повне тестування продуктивності своїх пристроїв, призначених для управління несертифікованими двигунами. Гарантувати, що електроніка покупця, яка взаємодіє з регулятором, відповідає всім необхідним вимогам і не має пошкоджень, неможливо. В результаті існує значний ризик нещасних випадків через програмні помилки.

Всі розглянуті варіанти конфігурацій мультикоптерів можуть використовувати коаксіальну схему, що включає розміщення двох моторів один над одним на одному валу.

Ця конфігурація має ряд переваг, зокрема, більшу стійкість при поломці двигуна і менші габаритні розміри при майже однакових характеристиках тяги.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ КВАДРОКОПТЕРА

4.1 Аналіз існуючих систем живлення

Для початку, щоб визначити економічну доцільність використання тих чи інших засобів живлення, потрібно визначити їхній тип. Існуючих джерел живлення розділили на багато видів. В даному розділі спробуємо знайти найбільш доцільне джерело живлення.

Існує багато типів акумуляторів, які відрізняються своїми характеристиками та придатністю для різних цілей. Найпоширенішими є свинцево-кислотні, літій-іонні, нікель-кадмієві, літій-полімерні та нікель-металево-гідридні. Кожен з них має свої переваги та недоліки, тому важливо зробити правильний вибір, враховуючи конкретні потреби.

Свинцево-кислотні

Свинцево-кислотні акумулятори (АКБ) - це один з найпоширеніших та найдоступніших типів батарей. Їхня універсальність та порівняно низька вартість роблять їх популярним вибором для широкого спектру застосувань. В основі роботи свинцево-кислотних АКБ лежить оборотна хімічна реакція між свинцевими пластинами та сірчаною кислотою [6]. Ця реакція генерує електричний струм під час розряду та відновлюється під час заряду. При підключенні навантаження до АКБ хімічна реакція призводить до утворення сульфату свинцю на пластинах, що генерує електричний струм. При підключенні зарядного пристрою струм проходить в зворотному напрямку, розкладаючи сульфат свинцю та відновлюючи початковий заряд пластин.

Для даного проєкту головним недоліком такого виду акумулятора буде його значна вага та розміри.

Літієві

Літієві акумулятори - це тип джерел живлення, що використовують літій,

як активний елемент в електроді. Вони стали найбільш поширеними та ефективними джерелами живлення для різноманітних електронних пристроїв, завдяки своїм численним перевагам.

Літій має найменшу електронну віддачу з усіх металів, що робить літієві акумулятори компактними, легкими та здатними зберігати більше енергії на одиницю маси. Літієві акумулятори мають значний ресурс циклів зарядки-розрядки та зберігають заряд протягом тривалого часу. Літієві акумулятори можна заряджати швидко та мають високий коефіцієнт корисної дії, що зменшує втрати енергії під час зарядки та розрядки.

Попри це в літієвих акумуляторах є ряд недоліків, а саме їх висока ціна в порівнянні з іншими джерелами живлення, ємність літієвих акумуляторів значно знижується при низьких температурах, що робить їх менш ефективними в холодну пору року, при пошкодженні або неправильному використанні літієві акумулятори можуть вибухати або займатися, що робить їх потенційно небезпечними.

Нікель-кадмієві

Нікель-кадмієві акумулятори відзначаються своєю надійністю та довговічністю. Вони працюють стабільно при температурах від -50°C і вище, витримують високий пусковий струм і підтримують швидку зарядку. Хоча вони мають ефект пам'яті, що вимагає повного розрядження перед зарядкою, ці батареї можна відновлювати з ймовірністю 60%. Корпус із удароміцного пластику стійкий до ударів, падінь та вібрацій. Нікель-кадмієві батареї використовуються в пристроях з високими струмами розряду, забезпечуючи стабільну потужність без перегріву навіть при максимальній напрузі. Вони застосовуються в переносних радіостанціях, авіації, енергетичній інфраструктурі, нафтогазовій промисловості та різних транспортних засобах, таких як тролейбуси та електрокари.

Конструкція Ni-Cd акумулятора включає два електроди: позитивний, виготовлений з нікелевого гідроксид-оксиду, і негативний, зроблений з

кадмію, розділені сепаратором і занурені в високоактивний лужний електроліт. Корпус герметичний, що запобігає втраті електроліту, і має отвір для виходу надлишкових газів. При розряді анод реагує з іонами електроліту, утворюючи гідрат закису нікелю, а кадмієвий катод формує гідрат окису кадмію, що створює різницю потенціалів і напругу в зовнішньому ланцюзі. Під час заряджання аноди окислюються, утворюючи гідрат окису нікелю, а на катоді утворюється кадмій.

Переваги лужних Ni-Cd батарей включають:

- стійкість до агресивних середовищ;
- проста і швидка зарядка, навіть після тривалого простою;
- можливість заряджання при низьких температурах;
- тривале зберігання незалежно від стану заряду;
- широкий вибір моделей з різними розмірами та характеристиками.

До недоліків належать відносно низька щільність енергії, високий саморозряд і вміст токсичних металів.

4.2 Порівняння різних систем живлення

Згідно попереднього пункту можна визначити основні переваги та недоліки даних систем живлення. Структуруємо їх в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння джерел живлення

Тип джерела	Свинцево-кислотні	Літієві	Нікель-кадмієві
Номінальна напруга, В	6 або 12	3,2	1,4
Циклічний ресурс	-	2000	1800-2300

Продовження таблиці 4.2

Діапазон робочих температур, °С	-50 до+70	-10до+60	-40 до +46
Швидкість заряду, год	8-12	2-3	12-16
Допустима глибина розряду, %	-	100	100

Порівнюючи дані джерела живлення можемо обрати оптимальний для проєкту. Основними вимогами є компактні розміри, не велика вага, швидкість заряду. Під ці критерії ідеально підходять літєві акумулятори. Далі в проєкті будемо використовувати саме їх модифікацію, а саме літій-полімерні.

4.3 Розрахунок економічних параметрів

Проведемо розрахунок для Li-Po акумулятора, для цього потрібен зарядний пристрій, будемо використовувати SkyRC iMAX B6 (вольтаж - 18 В, струм зарядки – 6 А) [7].

Енергія, яку споживає акумулятор до повної зарядки:

$$E_{\text{спож}} = U_a \cdot I_3 \cdot t_3, \quad (4.1)$$

де U_a — напруга зарядки АКБ

t_3 — час для зарядки АКБ

I_3 — струм зарядки АКБ

Ціну одного циклу заряджання Π_3 визначимо за формулою:

$$\Pi_3 = \Pi_{\text{кВт}} \cdot E_{\text{спож}} \quad (4.2)$$

де $\Pi_{\text{кВт}}$ – ціна 1 кВт енергії($\Pi_{\text{кВт}}=4,32$ грн).

Для Li-Po АКБ:

$$E_{\text{спож}} = 18 \cdot 6 \cdot 2 = 216(\text{Вт} \cdot \text{год})$$

$$\Pi_3 = 4,32 \cdot 0,216 = 0,933.$$

5 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРОКОПТЕРА

5.1 Кінематична схема електропривода квадрокоптера

Квадрокоптер — літальний апарат із чотирма гвинтами. Гвинти встановлені на двох поперечних балках і попарно обертаються в протилежних напрямках, як показано на малюнку 5.1. Центр мас квадрокоптера знаходиться на перетині пучків, тобто його геометричний центр. Позначимо осі глобальної системи координат E , що відносяться до Землі, як X, Y, Z , а осі локальної системи координат B , пов'язані з центром мас квадрокоптера, - x, y, z .

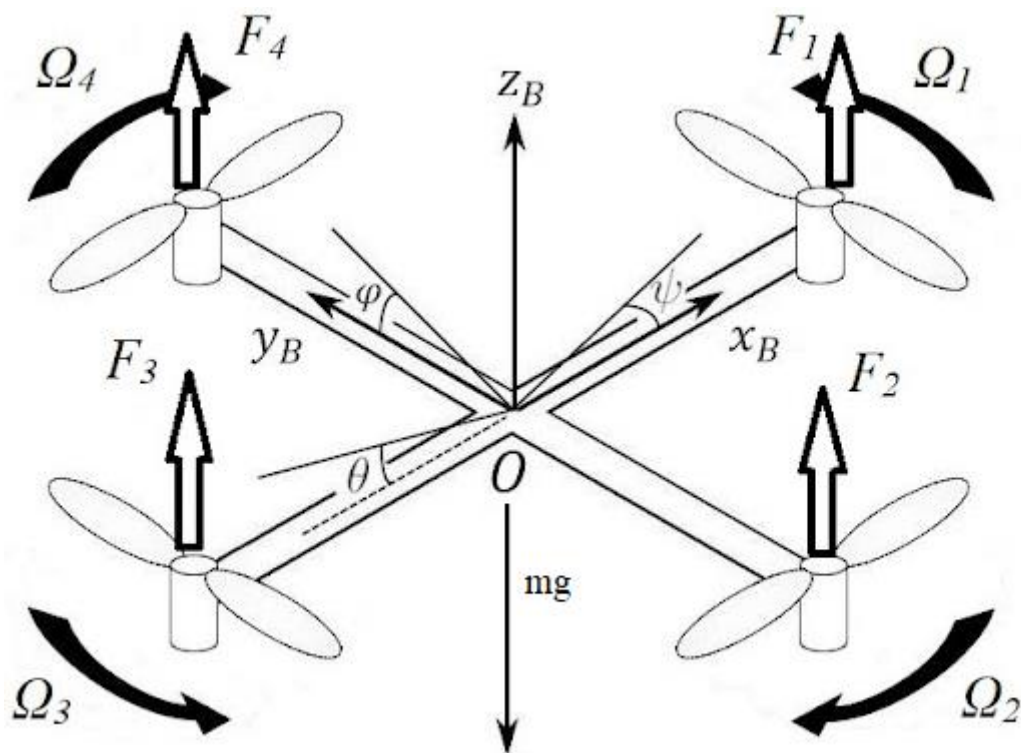


Рисунок 5.1 – Кінематична схема електропривода квадрокоптера

На квадрокоптер впливає аеродинамічна тяга гвинтів $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ і Ω_4 , які прикладені до центрів мас роторів A_1, A_2, A_3 і A_4 відповідно, і сила

тяжіння корпусу mCg і гвинта Mg (рис. 5.1), опір обертанню гвинта, опір переміщенню корпусу квадрокоптера в повітряному середовищі та сили, створювані відносним рухом повітряного корпусу дрон (тривожна поведінка). Положення квадрокоптера визначається інерціальною системою координат x, y, z і ξ .

Кутове положення визначається в інерціальній системі з трьома кутами Ейлера. Кут нахилу визначає поворот квадрокоптера навколо осі Y . Кут крену φ визначає поворот навколо осі x , а кут ψ повороту навколо осі z . Вектор q представляє вектори лінійного та кутового положення осі.

5.2 Вибір параметрів пропелерної групи

На рисунку 5.2 приведена рухома система координат (РСК), пов'язана з квадрокоптером, прив'язана до центру мас дрона, а осі X, Y, Z направлені так, як осі суцільної системи.

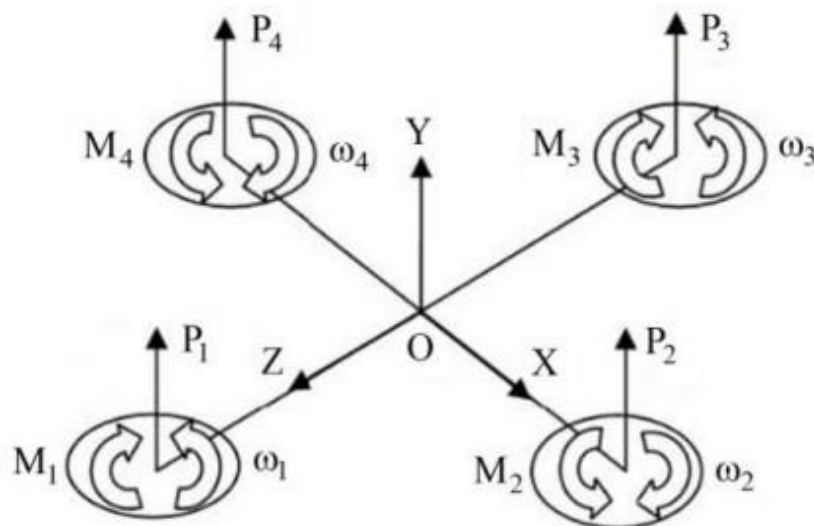


Рисунок 5.2 – РСК та нумерація приводних гвинтів

Розрахуємо необхідні параметри в розрахунку на задані параметри його функціонування.

Оптимальна вага підняття вантажу разом з масою самого квадрокоптера:

$$m=2 \text{ кг.} \quad (5.1)$$

Оптимальна швидкість руху:

$$V = 50 \text{ км/год.} \quad (5.2)$$

Сила тяжіння яка діє на дрон і тяга необхідна, щоб він міг зависнути в повітрі 2 кг:

$$F_3 = m \cdot g \quad (5.3)$$

$$F_3 = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ Н}$$

Щоб дрон мав можливість рухатися по осям x , y , z необхідно щоб гарантовано виконувлася умова $F_x > 0$, $F_y > 0$, $F_z > mg$. Оскільки діаграма, показана на малюнку 5.3, розглядатиме втрати потужності під час обертання лопатей, на літальний апарат діятиме лише сила тертя під час руху вперед, тому ми вибираємо Fm в цьому діапазоні $Fm > 2F_3$.

Тяга електродвигуна:

$$F_{md} > \frac{2 \cdot F_3}{4} = \frac{2 \cdot 19,62}{4} = 9,81 \text{ Н} \quad (5.4)$$

Тяга гвинта:

$$F = a \cdot p \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (5.5)$$

Необхідна потужність електродвигуна:

$$P = \frac{\beta}{75} \cdot p \cdot n^3 \cdot D^5 \quad (5.6)$$

Кофіцієнт тяги гвинта:

$$\alpha = \frac{\eta \cdot \beta}{\lambda} \quad (5.7)$$

Відносний хід гвинта:

$$\alpha = \frac{\eta \cdot \beta}{\lambda} \quad (5.8)$$

Відносний крок гвинта:

$$h = \frac{H}{D} \quad (5.9)$$

Сила опору повітря

$$F_{\text{пов}} = C \cdot S \cdot p \cdot \frac{v^2}{2} \quad (5.10)$$

Зміна діаметра D призводить до збільшення геометричних розмірів квадрокоптера, ваги рами і лопатей, а також до збільшення опору вітру. Залежно від формули сила опору повітря пропорційна площі і, в другу чергу, пропорційна швидкості. Отже, зміна діаметра лопатів меншій мірі впливає на опір повітря, ніж зміна лінійної швидкості лопаті.

Зних геометричні розміри квадрокоптера не є остаточними, а зусилля дуже важливо. Підбір геометричних параметрів лопастей та їхню частоту обертання будемо проводити згідно з діаграмою на рисунку 5.3.

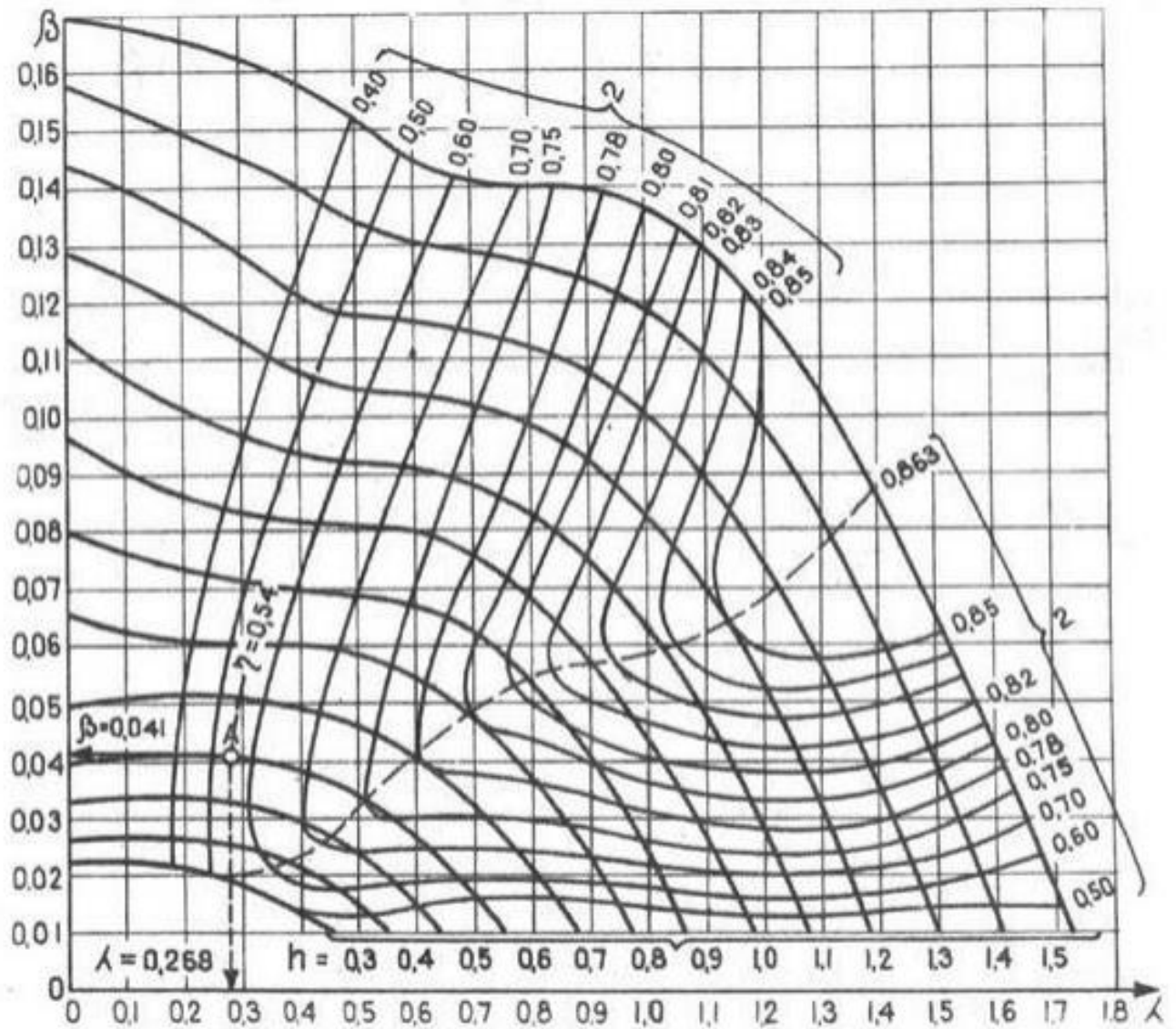


Рисунок 5.3 – Діаграма характеристик повітряних гвинтів

Зберемо дані згідно яких далі буде проводитися аналіз підбору параметрів. З діаграми вибираємо оптимальні значення η , β і λ .

Таблиця 5.1 – Характеристики повітряних гвинтів

D , дюйм	λ	β	η , %	h	n , об/с	F , Н	P , Вт	α
6	0.63	0.15	0.654	0.84	41.06	72.07	1171.41	0.21
6	0.34	0.062	0.6	0.21	75.12	83.88	1516.47	0.4
6	0.72	0.122	0.75	0.75	36.06	64.16	897.35	0.21
6	0.3	0.013	0.77	0.52	69.35	76.3	1223.61	0.5
6	0.2	0.126	0.56	0.56	40.18	47.6	649.67	0.21
6	0.522	0.054	0.7	0.83	60.58	58.32	820.81	0.6
7	0.55	0.15	0.65	0.84	30.59	86.38	1343.11	0.21
7	0.355	0.03	0.66	0.22	75.52	95.55	1458.88	0.4
7	0.41	0.033	0.7	0.3	41.8	93.3	453	0.054
7	0.421	0.13	0.76	0.15	63.3	80.53	1439.14	0.5
7	0.7	0.16	0.7	0.85	32.7	55.73	748.26	0.21
7	0.522	0.054	0.75	0.48	40.8	65.56	950.91	0.6
8	0.656	0.15	0.65	0.38	37.369	95.23	1459.62	0.21
8	0.35	0.2	0.655	0.21	69.44	105.89	1686.15	0.4
8	0.74	0.12	0.75	0.45	34.752	100.67	1294.62	0.21
8	0.42	0.3	0.76	0.235	60.45	115.38	1647.29	0.045

5.3 Попередній вибір потужності приводного двигуна

Спираючись на дані з таблиці, вибираємо лопасть пропелера розміром 7 дюймів. Згідно з таблицею 5.1 та із зауваженням діаграми на рисунку 5.3 робимо вибір коефіцієнтів, які наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Вибір характеристик електропривода БПЛА

D, дюйм	λ	β	η , %	h	n, об/с.	F, Н	P, Вт	α
7	0,41	0,033	0,7	0,3	41,8	93,3	453	0,054

Розраховуємо необхідний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{453}{6,28 \cdot 41,8} = 2,03 (\text{Н} \cdot \text{м}) \quad (5.11)$$

Розраховуємо необхідну швидкість двигуна:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 6,28 \cdot 41,8 = 262 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \quad (5.12)$$

5.4 Вибір електродвигуна для системи ЕП літального апарату

Перспективним варіантом побудови модульних тягових електроприводів є використання безщіткових вентильних двигунів (БВД) – це магнітоелектричні синхронізатори з трапецієподібним розподілом магнітного поля з використанням сенсорів положення ротора (DPR) і напівпровідникових перемикачів.

На основі проведених розрахунків та вибору параметрів обираємо на двигун типу 110ZYT78/H1. Паспортні дані двигуна приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 5.3 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	110ZYT78/H1
Номінальна потужність P_n , Вт	450
Номінальна швидкість обертання ω_n , рад / с	261
Номінальний момент M_n , Н · м	2,05
Номінальна лінійна напруга статора U, В	12

Продовження таблиці 5.3

Кількість пар полюсів, p	2
Номінальний к.к.д. %	70
Номінальне діюче значення фазного струму статора I_n , А	48

При виборі електродвигуна перевага надається безконтактним синхронним машинам з магнітним збудженням, які характеризуються найменшими габаритами та масою, не вимагають обслуговування в експлуатації. Електродвигуни комплектуються контролером управління, який містить транзисторний інвертор та забезпечує взаємодію з органами управління та датчиками, а також здійснює регулювання приводу.

Вентильний двигун – це тип безщіткового двигуна. У вентильного двигуна зменшений механічний знос і підвищена ефективність двигуна.

Вентильні двигуни здатні виробляти більший обертовий момент на ват та вагу, що робить ці двигуни більш надійними. Вентильний двигун має постійні магніти і основним принципом роботи є позиціонування постійних магнітів на роторі та електромагнітного імпульсу на обмотках.

На статорі безколекторного синхронного двигуна розташовується трифазна обмотка, осі яких зсунуті в просторі відносно один одного на 120 градусів. Кожна з цих осей складається із двох секцій, які включені зустрічно. Така реалізація дозволяє створити позитивний та негативний полюси всередині двигуна при протіканні електричного струму, до цих полюсів у свою чергу притягується магнітний ротор. Почергове зміна струмів, які у обмотках, здійснює перемикання полюса обмоток, завдяки чому виникає крутний момент, при обертанні ротора за полем[6-8].

Переваги вентильних безколекторних (безконтактних) двигунів:

- може використовуватись у небезпечних умовах на відміну від двигунів з щітками;
- відносно велика надійність і довгий строк експлуатації;

– забезпечує безпечне обертання з максимальним навантаженням.

Висновок: Для забезпечення оптимального відношення потужності до ваги було вибрано вентильний двигун типу 110ZYT78/H1 згідно розрахованої необхідної потужності, швидкості та моменту.

5.5. Вибір польотного контролера

В якості системи керування для електромеханічної системи БПЛА вибираємо існуючий польотний контролер CubePilot HEX Pixhawk 2.1 CubeOrange+ на платі ADS-B. Зовнішній вигляд контролера приведено на рисунку 5.4



Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд політного контролера CubePilot

Схема підключення до контролера периферійних модулів навігації, телеметрії, вимірювань та інших блоків приведена на рисунку 5.4.

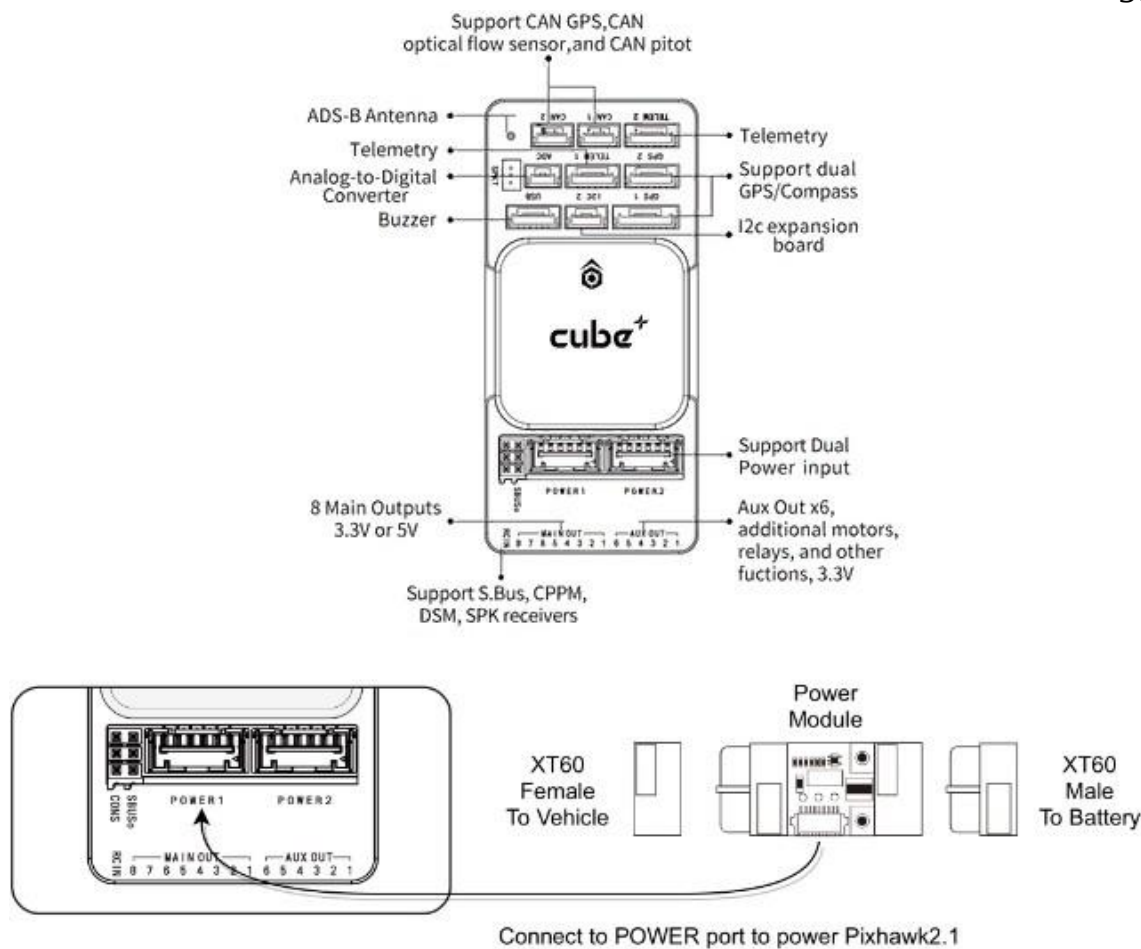


Рисунок 5.5 – Схема підключення контролера CubePilot в системі квадрокоптера

Основні характеристики контролера Cube Pilot HEX Pixhawk 7.2 CubeOrange приведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Основні характеристики контролера CubePilot

Найменування характеристики	Показники
Барометр (вбудований)	MS5611
Кількість PWM-виходів	14
Інтерфейс периферії	ADC CAN DigitalLED I2C S.BUS SPI SWD SmartAudio UART
Інтерфейс приймача	DSM PPM S.BUS

Продовження таблиці 5.4

Протоколи обміну	DShot1200 Dshot150 Dshot300 Dshot600 Multishot OneShot125 Oneshot42 PWM PWM (колл. двигатели) Proshot1000
Кількість портів UART	6
Кількість портів I2C	2
Кількість портів SPI	2
Кількість портів CAN	2
OSD	зовнішній
USB порт	присутній
Сенсор струму	Зовнішній
Сенсор напруги батареї	зовнішній
Інтерфейс налагодження	4 — 5.7 В
BlackBox	MicroSD
Функції	Повернення додому Політ по точках Режим POI Утримання у точці Утримання висоти
Політ по компасу	Так
Жвилення приймача від USB	ні
Основний контролер	STM32H7
Прошивка	ArduPilot
Стабілізація	ICM42688 (6DOF 32KHz) ICM20648 (6DOF 32KHz) ICM20949 (6DOF 32KHz)
Компас	Зовнішній

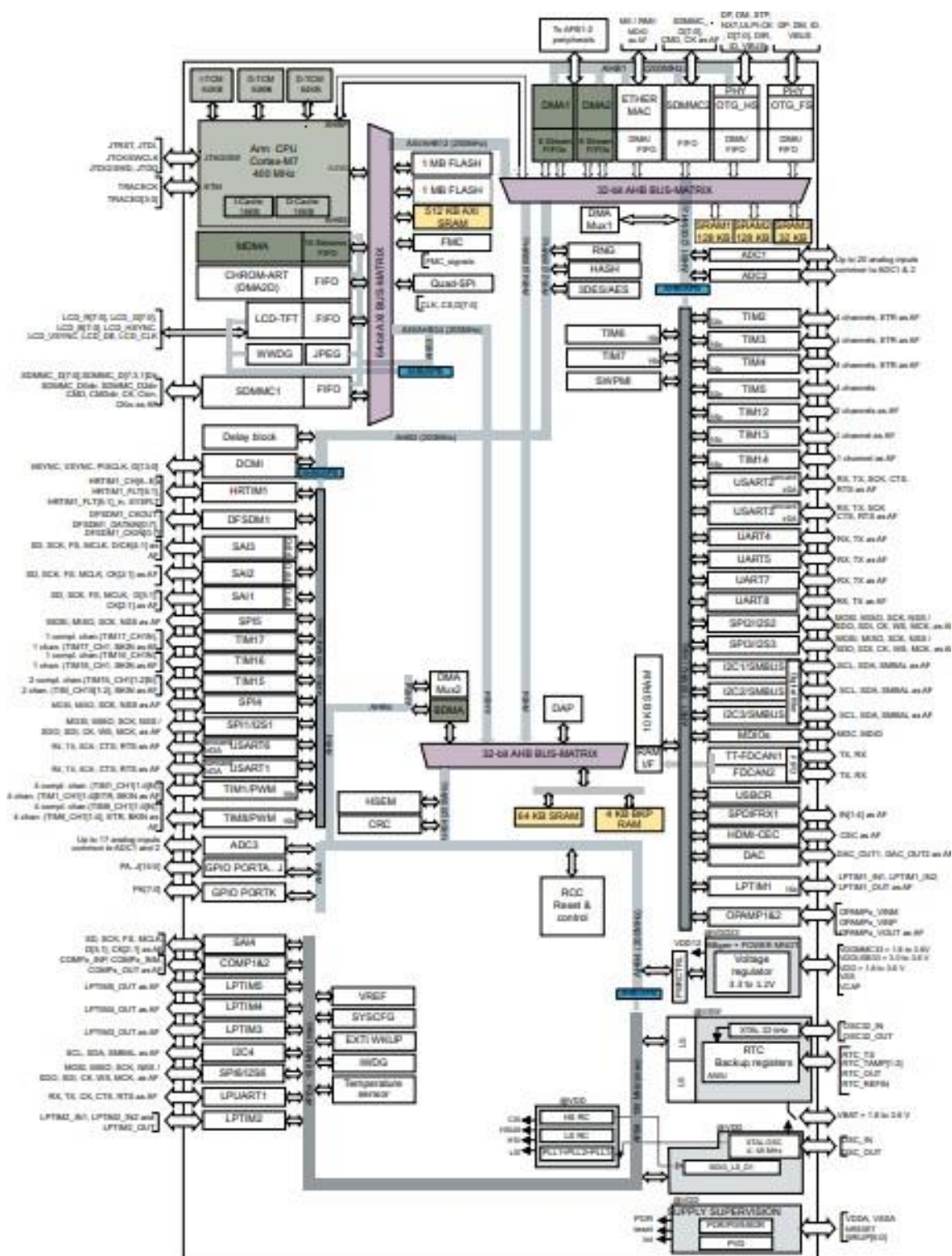


Рисунок 5.6 – Функціональна блок-діаграма основної мікросхеми STM32H7

Схема живлення основної мікросхеми STM32H7 політного контролера CubePilotHEXPixhawk 2.1 приведена на рисунку 5.7.

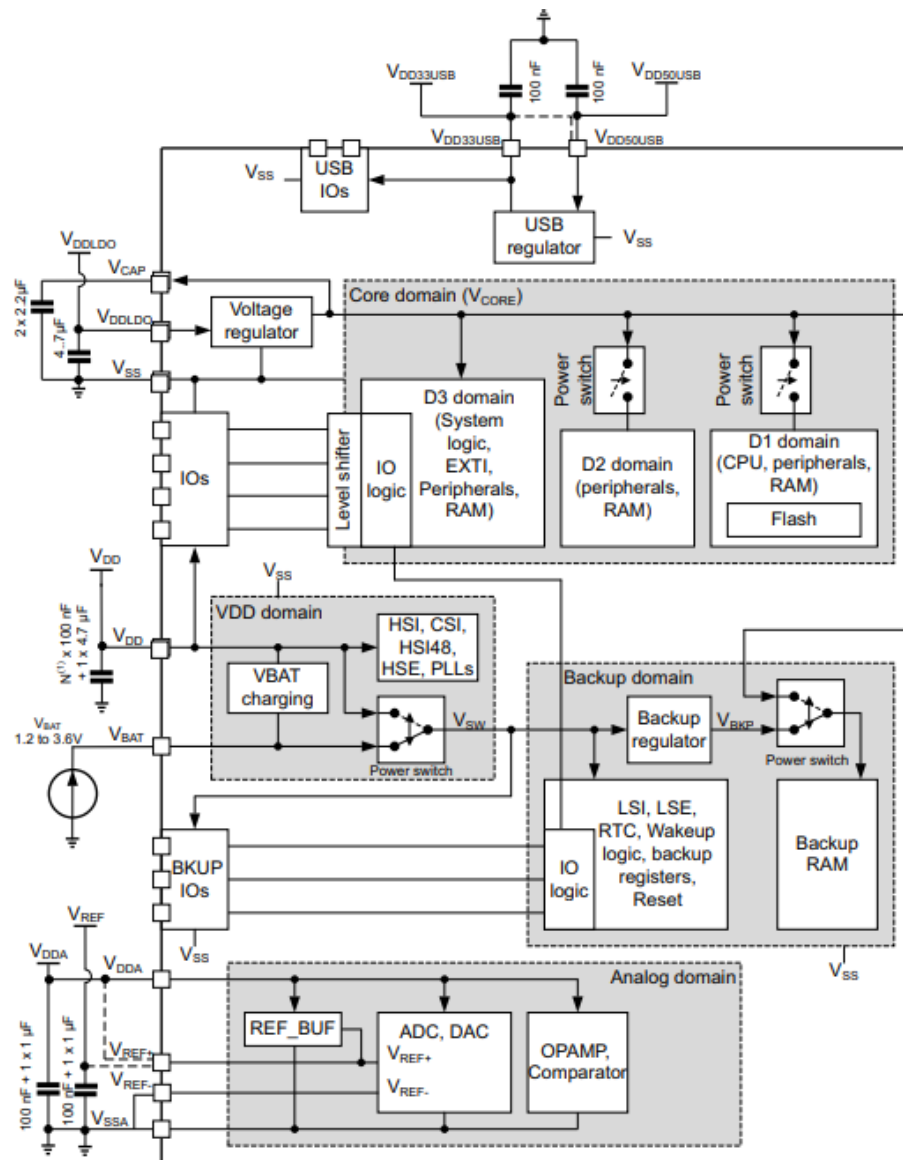


Рисунок 5.7–Функціональна електрична схема живлення мікросхеми STM32H7

Для управління польотом квадрокоптера користуються сигналами від датчиків (наприклад, 3-осьовий гіроскоп, акселерометр тощо). Отримані значення будемо порівняти значення міри з необхідною уставкою та застосувати виправлення до системи на основі помилки.

Параметри алгоритму управління визначаються за методикою, основу якої лежить мінімізація відхилення реальної траєкторії від заданої. Аналогічні

алгоритми управління розроблені для руху квадрокоптера при спуску та русі по заданій траєкторії.

5.5 Матеріал рами

Нижче перераховані найпоширеніші матеріали, що використовуються для виготовлення рам мультироторних дронів, хоча цей список не є вичерпним. Ідеальна рама повинна бути жорсткою і мінімізувати передачу вібрацій.

Поролон (піна) рідко використовується як єдиний матеріал для виготовлення рам БПЛА, зазвичай його застосовують у комбінації з жорстким каркасом або посиленою конструкцією. Його також використовують для стратегічних цілей, таких як захист несучих гвинтів (пропелерів) і шасі, або як демпфер. Поролон буває різних типів: від м'якого до відносно жорсткого.

Дерево є чудовим варіантом, якщо пріоритетом є економічність конструкції, оскільки воно значно скорочує час складання та виготовлення запасних частин. Деревина досить міцна і є перевіреним часом матеріалом. Важливо, щоб для виготовлення рами використовувалася ідеально пряма деревина без вигинів і деформацій.

Пластик доступний для більшості користувачів у вигляді пластикових листів та має тенденцію до вигину, що не завжди ідеально. Однак він дуже добре підходить для виготовлення захисного каркаса або шасі. Якщо ви розглядаєте можливість 3D друку, слід враховувати час виготовлення, можливо, буде простіше придбати готовий комплект для удосконалення рами БПЛА. Технологія 3D друку деталей вже успішно використовується при створенні невеликих квадрокоптерів.

Алюміній надається споживачам у різних формах та розмірах. Ви можете використовувати листовий алюміній для виготовлення корпусу або екструдований алюміній для створення променів дрона. Хоча алюміній не такий легкий, як вуглецеве волокно або G10, його ціна і довговічність є

головними перевагами цього матеріалу. Натомість алюміній, на відміну від руйнування або утворення тріщин, має тенденцію до вигину. Для роботи з цим матеріалом вам знадобиться лише пила та дріль.

Отже, після проведеного аналізу, було відкинуто використання деревно-стружкових матеріалів. На підсумок, для подальшого порівняння за міцністю були обрані такі матеріали: листова дюралюмінієва пластина Д16Т за стандартом ГОСТ 4784-97 товщиною 1,5 мм. Вибір матеріалу для стандартних кріпильних елементів, таких як стійки і гвинти, був здійснений з урахуванням мінімізації маси. Тому для них був обраний нейлон, оскільки він має меншу щільність порівняно з металевими матеріалами.

5.7 Розробка конструкції рами

Розробка відбувалася за допомогою програмного забезпечення AutoCAD. Спочатку було проведено зняття всіх геометричних характеристик форм і розмірів, що використовуються на борту апаратури. Потім розроблялася геометрія основних посадочних місць для неї та електродвигунів. Після цього були вибрані елементи кріплення для з'єднання аркушів матеріалу між собою та для надання майбутній конструкції додаткової міцності. При цьому були вивчені списки таких елементів за довідниками, і були обрані установчі шестигранні стійки (за стандартами ГОСТ 20865-81 та ГОСТ 20862-75) та гвинти (за стандартом ГОСТ 17473-80).

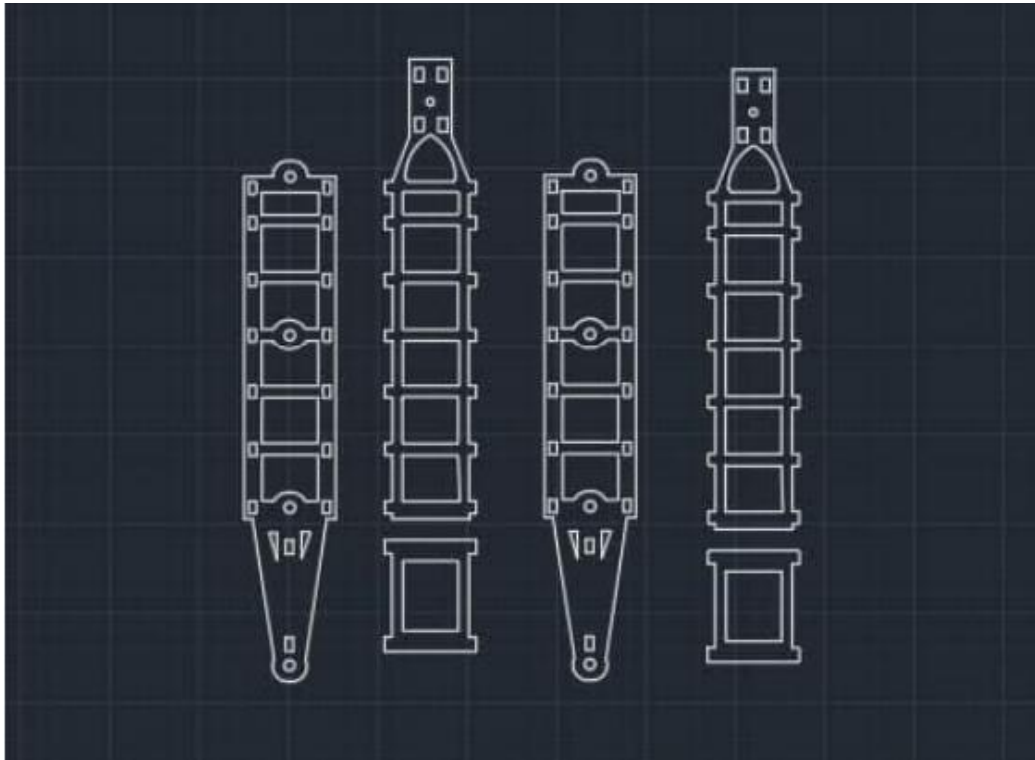


Рисунок 5.8 - Креслення рами

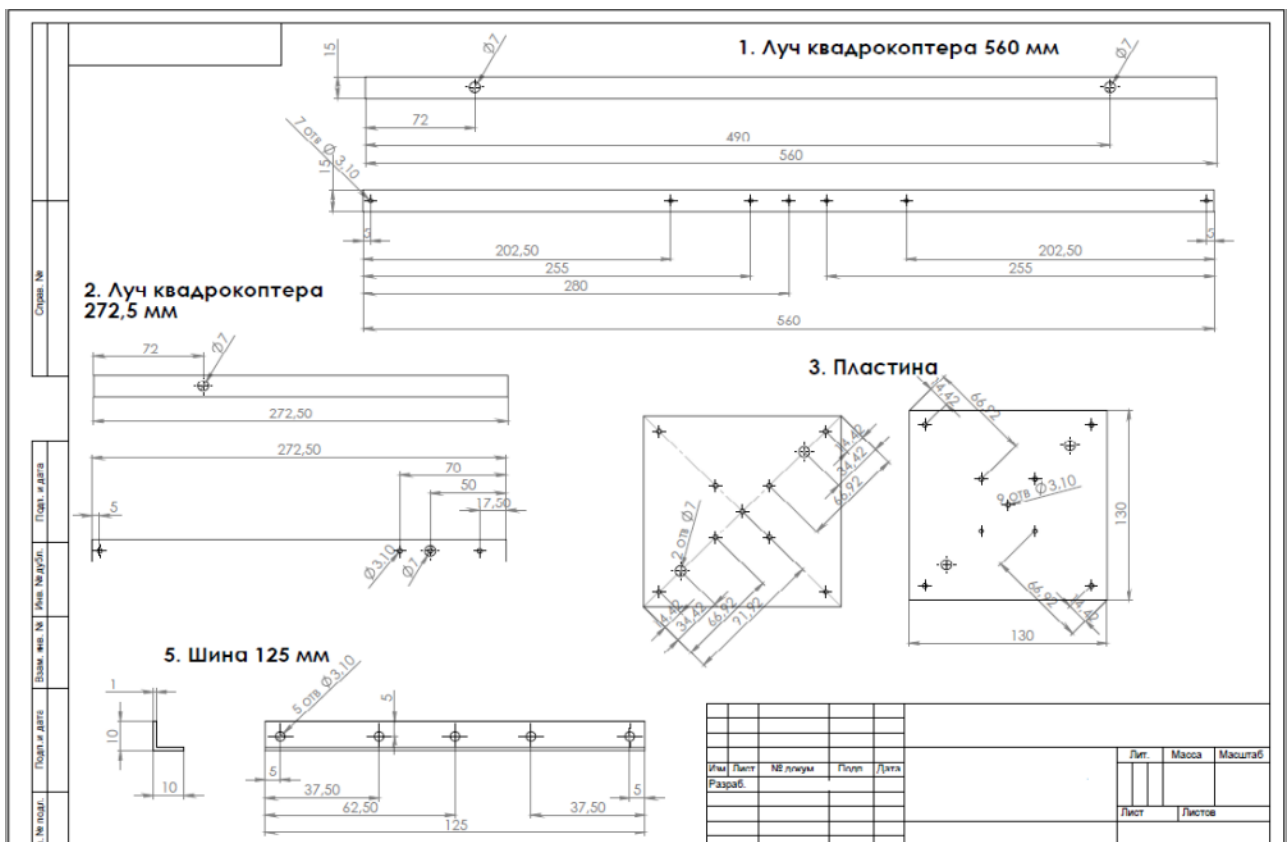


Рисунок 5.9 - Креслення коптера

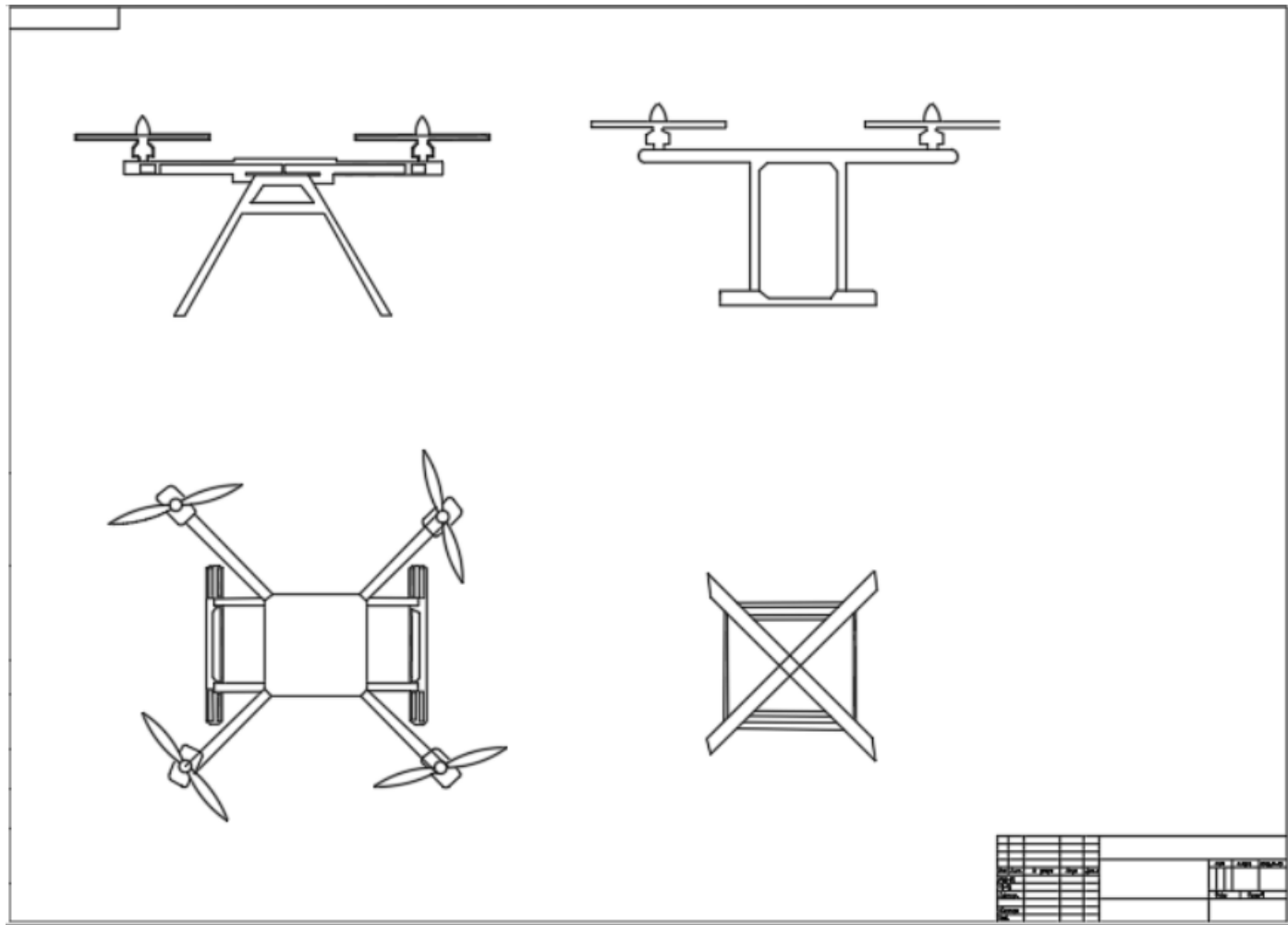


Рисунок 5.10 - Креслення коптера

5.8. Проведення розрахунку на міцність в середовищі Ansys

Розрахунок на міцність виконувався за допомогою програмного забезпечення кінцево-елементного аналізу Ansys (з використанням ANSYS Workbench). Під час моделювання описаної раніше ситуації тривимірна модель конструкції променя рами була закріплена вздовж площин розрізу центральної платформи, з виключенням будь-якої можливості руху. Також була визначена вертикальна сила, яка діє на ось установки повітряного гвинта і електродвигуна. Ця сила дорівнює сумі алгебричної максимальної тяги однієї гвинто-моторної групи і сили тяжіння, що діє на неї.

$$F = F_{\text{тяги}} - m_{\text{дв}} \cdot g = m_{\text{тяги}} \cdot g - m_{\text{дв}} \cdot g \quad (5.13)$$

$$F = 0.6592 \cdot 9.81 - 0.0712 \cdot 9.81 = 6.18 \text{ (H)}$$

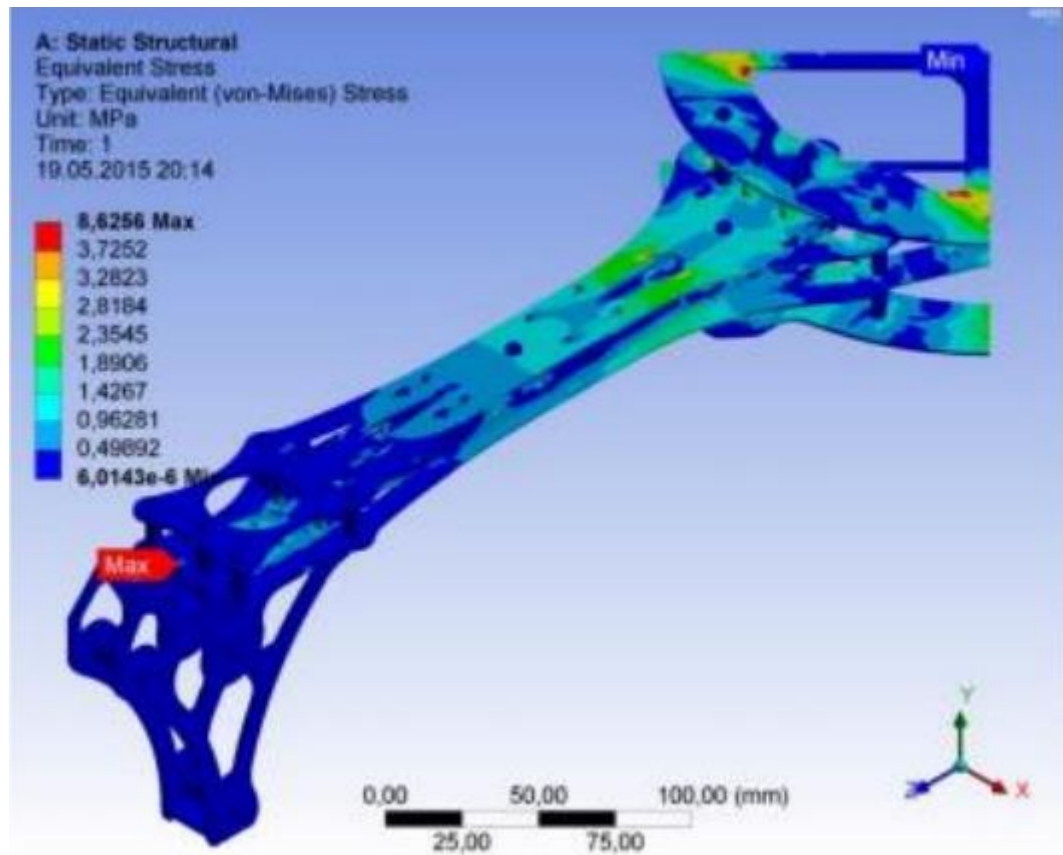


Рисунок 5.10 - Розрахунок еквівалентних напруг

5.9 Вибір елементів живлення квадрокоптера

Акумуляторна батарея є одним з найважливіших компонентів квадрокоптера, адже вона забезпечує його енергією.

Вибір правильної літій-полімерної батареї вплине не лише на час польоту, але й на продуктивність дрона.

Завжди зручно мати довговічну батарею, яка забезпечить максимальний час польоту при невеликих розмірах і меншій вазі. В даному розділі розглянуті основні параметри батареї, які допоможуть обрати батарею для квадрокоптера.

Для даної роботи будемо розглядати LI-PO акумулятори, тому що вони мають ряд переваг серед конкурентів, такі як невелика вага, швидка зарядка, велика кількість циклів заряду та ін.

LIPO означає літій-іонний полімерний акумулятор або літій-полімерний акумулятор. Аббревіатури цієї батареї такі: Lipo, LIP, Li-poly тощо. Це літій-іонна технологія з використанням полімерного електроліту замість рідкого. Ці батареї забезпечують вищу питому енергію порівняно з іншими типами літієвих батарей. Вони використовуються в програмах, де вага є критичною характеристикою, як-от мобільні пристрої та радіокеровані дрони та літаки.

Літій-полімерна батарея побудована з прямокутних елементів. Підвищити напругу акумулятора можна за допомогою послідовного з'єднання елементів. Крім того, здійснивши паралельне з'єднання елементів, збільшиться струм акумулятора. Номінальна напруга літій-полімерного елемента становить 3,7 В. Напруга блоку з трьома елементами (3S) становить 11,1 В, блоку з чотирма елементами (4S) – 14,8 В. Діапазон безпечної робочої напруги LIPO становить від 3 В до 4,2 В. [9]

Також важливим параметром є ємність. Вона вказує батареї, скільки потужності/енергії може вмістити батарея. Ємність LIPO вимірюється в мАг (міліампер-години). По суті, термін мАг означає силу струму, яку ви можете споживати від батареї протягом години, поки вона не розрядиться. На рис .3.7 наведеному нижче зображенні ємність акумулятора становить 5200 мАг=5,2 ампер-год (5,2Аг).



Рисунок 5.11 - Акумулятор ємністю 5200 (мА/год)

Збільшення ємності акумулятора дасть довший час польоту, але він також стане важчим за вагою та більшим за фізичними розмірами.

Кожна Li-Po батарея має рейтинг C (швидкість розряду), він допомагає знайти максимальне струм розряду.

Максимальний струм розряду:

$$I_{\text{роз}} = C \cdot C_i \quad (5.14)$$

Згідно цього параметру обираємо акумулятор для даного проєкту, який буде задовільняти параметри двигунів та іншої електроніки.

Максимальний струм розряду:

$$I_{\text{роз}} = C \cdot C_i = 3 \cdot 30 = 90 \text{ (A)}$$



Рисунок 5.12 - Акумуляторна батарея Orange 3000mAh 3S 30C/60C
Lithium polymer battery Pack (LiPo)

Дана батарея повністю задовільняє вище розраховані параметри, тому вибираємо її.

6 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КВАДРОКОПТЕРА

6.1 Розробка схеми електричної функціональної

Живлення всієї системи забезпечується блоком акумуляторної батареї (АКБ). Для узгодження рівня напруги між ланкою постійного струму (ЛПС) та АКБ використовується DC-DC перетворювач. Блок АКБ складається із акумулятора та системи керування.

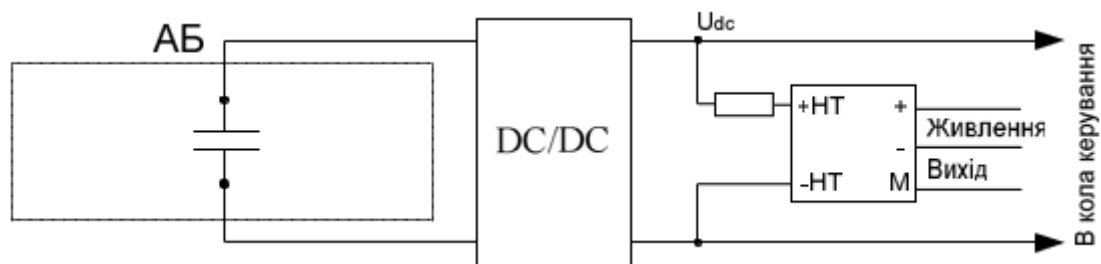


Рисунок 6.1 – Підключення квідрокоптера до акумулятора

Вихідними сигналами системи керування є шпаруватість γ , необхідна для формування комутаційних функцій алгоритму перемикання ключів DC/DC-перетворювача. Перемикання ключів АІН виконується за допомогою таблиці перемикань у функції швидкості ротора, при цьому формуються комутаційні функції $S1 - S12$ на відповідні ключі АІН. Швидкість обертання двигунів оцінюється вбудованим електронним сенсором швидкості.

На рисунку 6.2 приведена спрощена функціональна схема системи стабілізації швидкості квідрокоптера на базі безколекторних двигунів постійного струму з живленням від автономних інверторів напруги АІН.

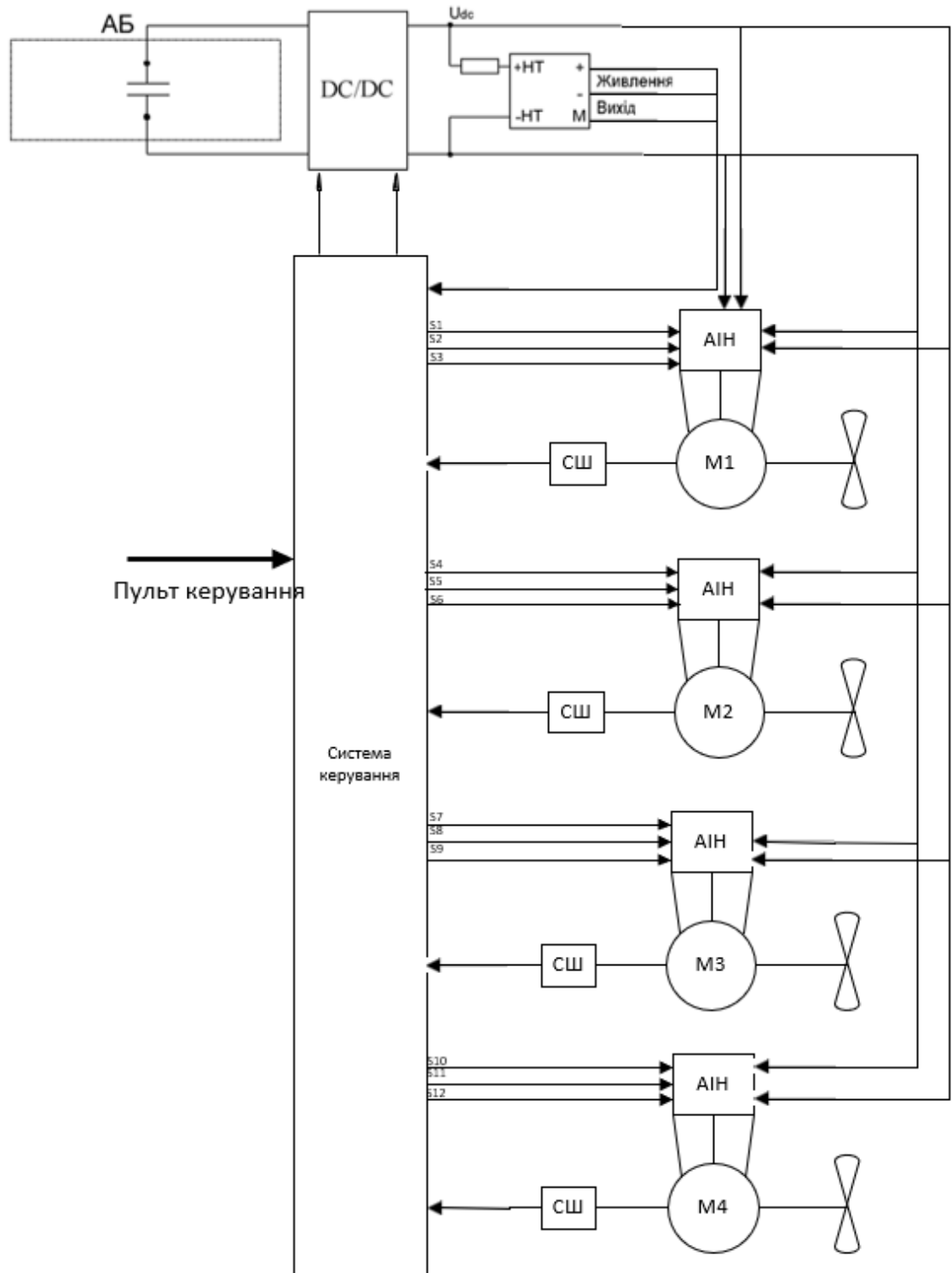


Рисунок 6.2 – Функціональна схема системи регулювання електропривода квадрокоптера

Кожна складова системи регулювання / регулятора (пропорційна, інтегральна та диференціальна) виконує своє завдання, надаючи свій специфічний вплив на функціонування системи: пропорційна складова

відповідає за цей час, реагуючи на поточну помилку регулювання; диференціальна складова визначає майбутнє, реагуючи на тенденцію зміни помилки; інтегральна складова відповідальна за минуле, накопичуючи попередні помилки та згладжуючи високочастотні шуми.

Виходи цих елементів складаються між собою та формують керуючий сигнал на вході системи. ПІД-регулятори ефективні в управлінні різними об'єктами та процесами, у тому числі й система стабілізації швидкості транспортних систем.

Контур регулювання швидкості – це контур, який забезпечує плавну зміну швидкості, відсутність статичної помилки регулювання та стійкість до перешкод. Для вирішення поставлених завдань можливий синтез ПІ або ПІД-регулятора. Якщо регулювання швидкості здійснюється за допомогою ПІ-регулятора, рівняння регулятора має такий вигляд:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_1 \int_0^t e(t) dt, \quad (6.1)$$

$$e(t) = x_0(t) - y(t), \quad (6.2)$$

де $e(t)$ – сигнал помилки регулювання; x_0 – задаючий вплив; $y(t)$ – вихідний сигнал об'єкта управління; $U(t)$ – вихідний сигнал регулятора, який є керуючим впливом; K_p , K_1 – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових відповідно.

Якщо ж регулювання швидкості здійснюється за допомогою ПІД регулятора, то рівняння матиме вигляд:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_1 \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t), \quad (6.3)$$

де K_D – коефіцієнт диференційної складової.

Одним із поширених методів стабілізації швидкості є система стабілізації з ПД регулятором, заснованим на емпіричному підході, при якому закон управління вибирається за будь-яких логічних структур і строгому математичному описі [11].

6.3 Синхронний DC/DC перетворювач

До компонентів електричних транспортних засобів висуваються підвищені вимоги надійності та безпеки. Внаслідок чого до DC/DC перетворювачів, що застосовуються у складі силового електроустаткування електричних транспортних засобів, також пред'являються аналогічні вимоги при розробці: відповідність номінальної вхідної напруги перетворювача напруги блоку акумуляторної батареї; відповідність меж зміни вихідної напруги перетворювача напрузі на вході трифазної інвертора; стабілізація вихідної напруги перетворювача незалежно від рівня заряду акумуляторної батареї; сигналізація про підвищення вхідної та вихідної напруги вище максимального значення; захист від коротких замикань та перевантажень; забезпечення безперебійної роботи при впливі різних механічних та кліматичних факторів; забезпечення двонаправленої передачі потужності рекуперації у гальмівних режимах електричного транспортного засобу [10-14].

Однофазний двонаправлений перетворювач, схема якого приведена на рисунку 6.3, може працювати у режимі зниження і підвищення напруги як жорсткої, так і м'якої комутації [11].

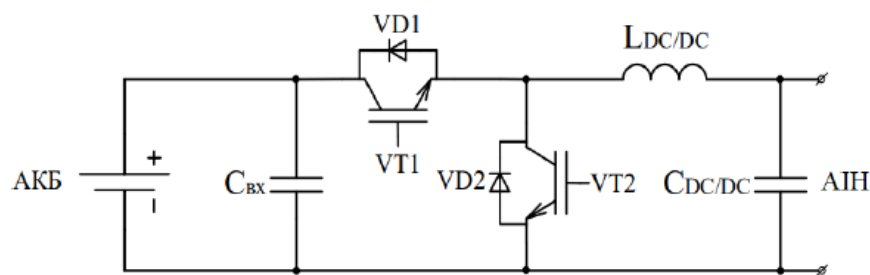


Рисунок 6.3 – Схема синхронного DC/DC перетворювача

Перетворювач складається з двох силових напівпровідникових ключів VT1 та VT2, двох конденсаторів $C_{вх}$ та $C_{DC/DC}$, а також індуктивності $L_{DC/DC}$.

Ключі VT1 і VT2 є комплементарними, тобто у провідному стані завжди знаходиться лише один із двох ключів, що означає відсутність наскрізних струмів у схемі.

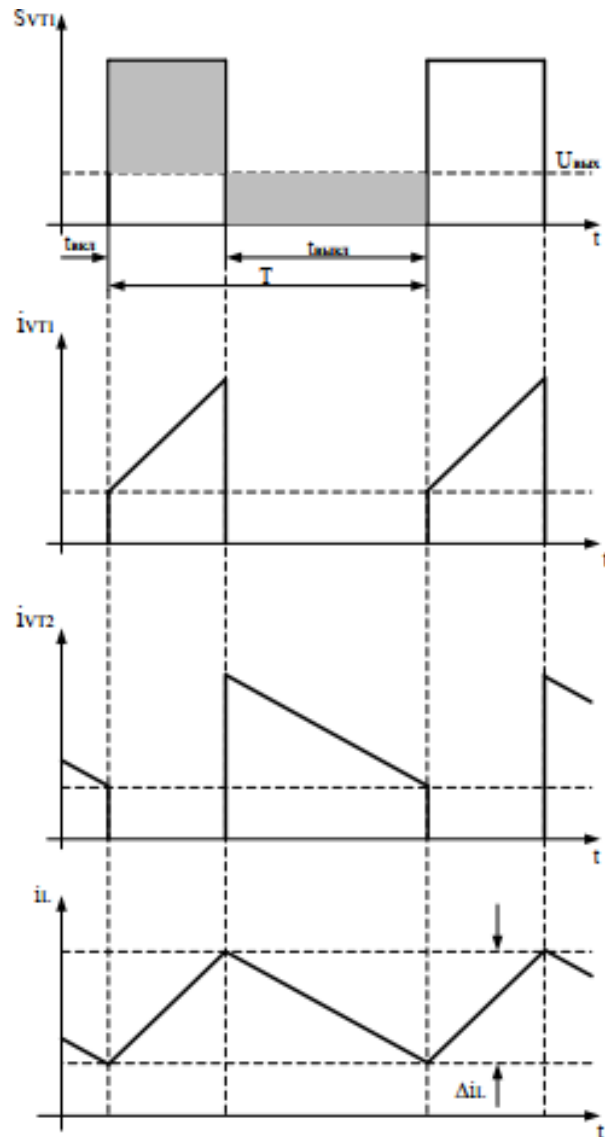


Рисунок 6.4 – Осцилограми: а) форма імпульсів, що управляють, на ключ VT1; б) осцилограма струму, що протікає через ключ VT1; в) осцилограма струму, який протікає через ключ VT2; г) осцилограма струму, що протікає через індуктивність

Форма керуючих імпульсів, що надходять на ключ VT1, представлена на рисунку 6.4. Осцилограми струмів, що протікають через ключ VT1, ключ VT2 та індуктивність LDC/DC приведені на цьому ж рисунку.

Варто зазначити, що схема DC/DC перетворювача може працювати в двох режимах: безперервної та переривчастої провідності. У режимі безперервної провідності струм навантаження, що протікає через індуктивність LDC/DC, ніколи не знижується до нуля. У режимі переривчастої провідності струм навантаження через індуктивність LDC/DC іноді може дорівнювати нулю. Однофазний двонаправлений перетворювач зазвичай проектується та конструюється так, щоб пульсації струму становили 20-50% від номінального струму навантаження. Регулюючи шпаруватість керуючого імпульсу на ключі DC/DC перетворювача, можна змінювати напругу ланки постійного струму від $U_{\min}$ до UАКБ.

6.4 Сенсор напруги

Сенсор напруги (СН) в ланці постійного струму потрібен для індикації рівня заряду акумуляторної батареї. Розрахуємо його за максимальним значенням напруги джерела живлення $U_{\text{дн}} > U_{\text{дж}}$. Обираємо пристрій типу LEM LV100, параметри якого приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики сенсора напруги

Діапазон вимірювання напруги	$\Delta U = 0 - \pm 150 \text{ В}$
Номінальний первинний струм	$I_{\text{пн}} = 100 \text{ мА}$
Номінальний вторинний струм	$I_{\text{вн}} = 50 \text{ мА}$
Напруга живлення	$U_{\text{ж}} = \pm 15 \text{ В}$

Спосіб підключення сенсора напруги показаний на рисунку 6.5.

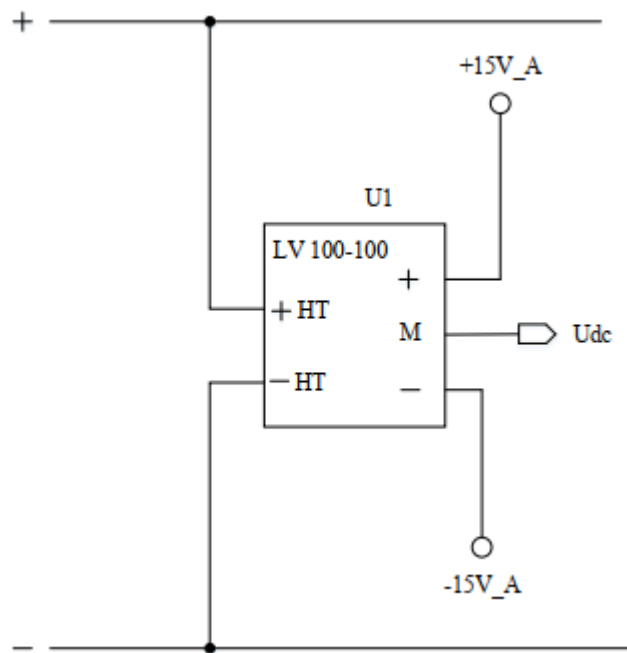


Рисунок 6.5 – Спосіб підключення сенсора напруги після DC/DC

6.5 Автономний інвертор напруги

Інвертор напруги необхідний для перетворення електричної енергії відповідно до закону керування двигунами. В якості силових ключів обрано транзистори типу MOSFET з діодами, оскільки вони мають вищу швидкість комутації та енергетичну ефективність при роботі на низькій напрузі. [16].

Крім того, така схема може витримувати високі напруги блокування і підтримувати високий струм. Принципова електрична схема АІН приведена на рисунку 7.6.

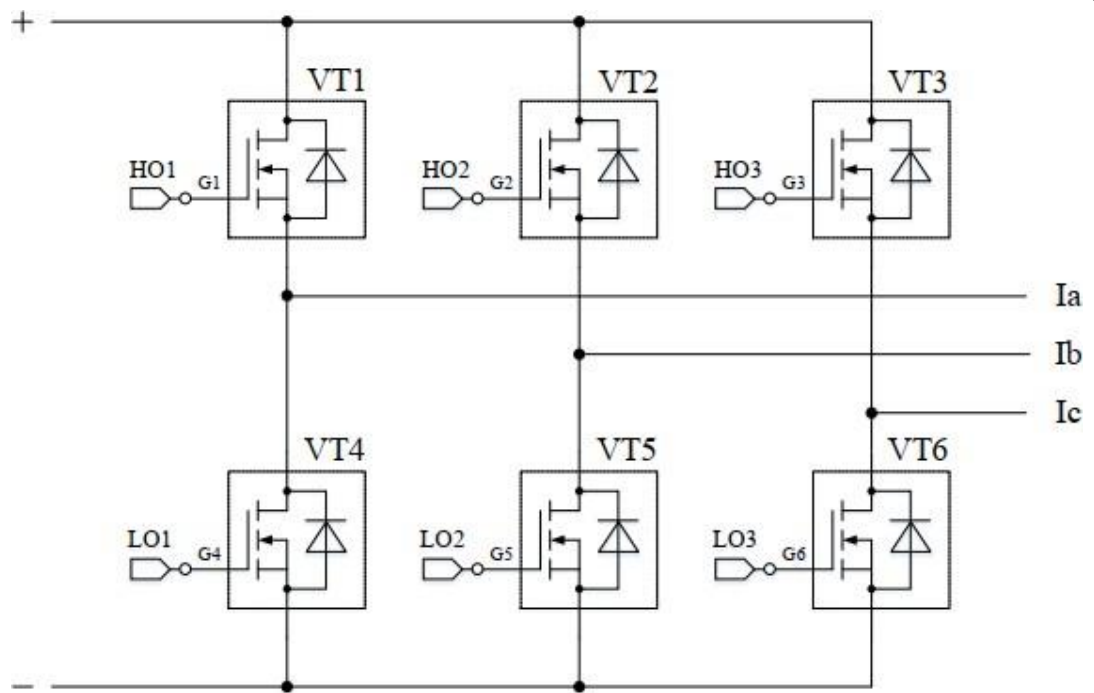


Рисунок 6.6 – Автономний інвертор напруги електропривода
квадрокоптера

6.6 Схема електрична принципова

Із врахуванням вище приведених схем окремих вузлів системи електропривода літального схема електрична принципова приведена на рисунку 6.7.

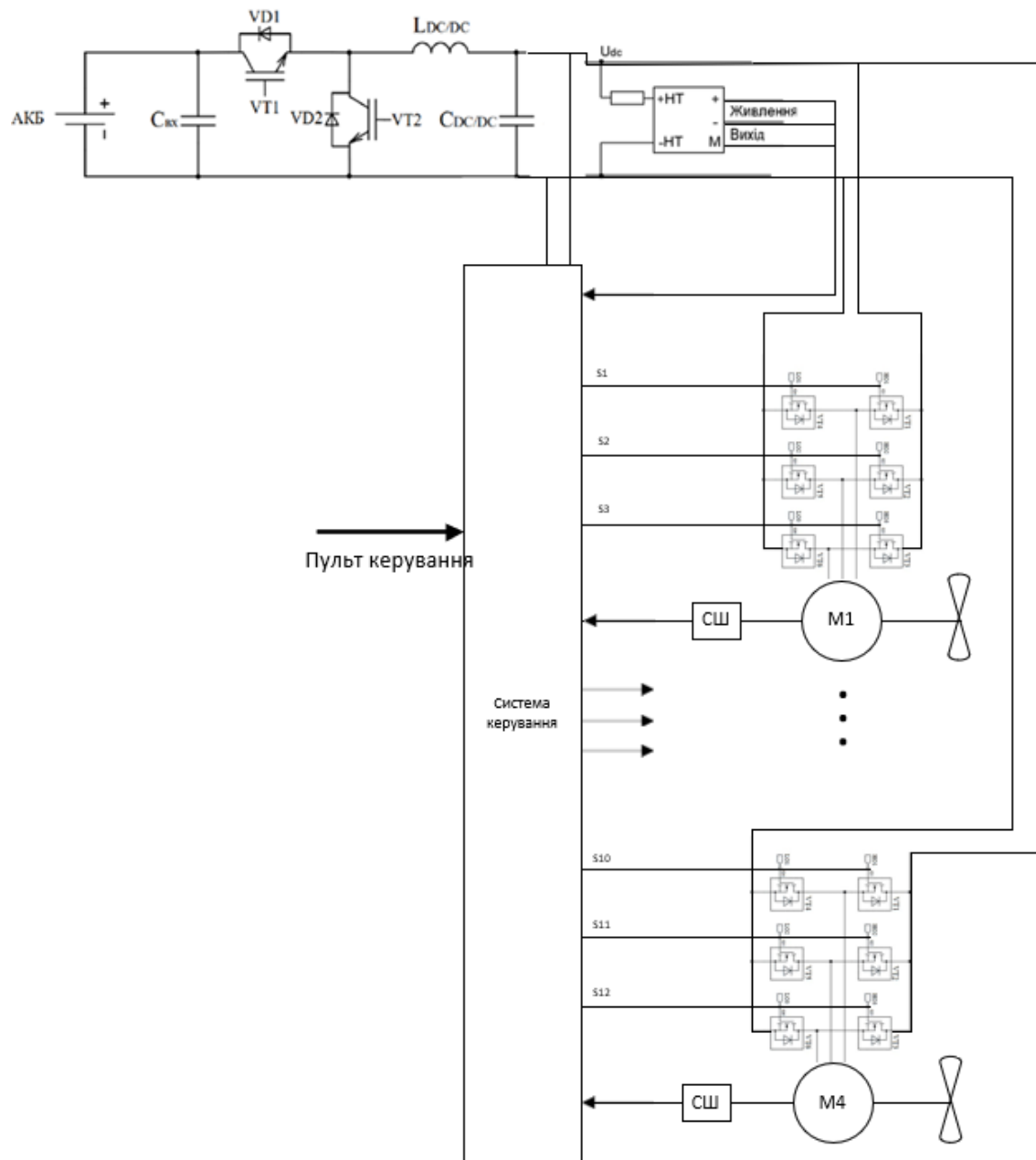


Рисунок 6.7 – Схема електрична принципова квадрокоптера

Розроблена електрична, функціональна та принципова схема системи регулювання електропривода квадрокоптера. Виконано опис та створення електричних схем основних компонентів функціональної електричної системи, зокрема: синхронного DC/DC-перетворювача, АПН, сенсора напруги, мікроконтролера та периферійних пристроїв.

7 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНИХ НАЛАШТУВАНЬ В СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

7.1 Наладка квадрокоптера в спеціалізованому програмному середовищі

Для щоб, виконати оптимальні налаштування будемо використовувати програмне забезпечення Mission Planner – це станція наземного управління для різноманітних типів безпілотників, вона сумісна лише з операційною системою Windows. Під час використання Mission Planner можливо здійснити налаштування низькорівневої прошивки БПЛА для оптимальної роботи.

Щоб виконати початкове налаштування та встановити ОС на Pixhawk, вам потрібно буде виконати наступні дії:

1. Запустити Mission Planner;
2. Підключити Pixhawk до комп'ютера за допомогою USB-кабелю;
3. Перейти до пункту меню Initial setup та обрати підпункт Install Firmware (рис. 7.1);
4. Обрати пункт APM Copter V3.5.7 Quad;
5. Програма запропонує від'єднати USB-кабель, натиснути ОК і під'єднати USB-кабель знову, після чого почнеться встановлення ОС на контролер польоту;
6. Після завершення установки натиснути кнопку Connect та перейти до підпункту Wizard;
7. У вікні Wizard обирати пункт Multicopter, потім обирати чотирипроменевий тип рами (рис. 7.2).

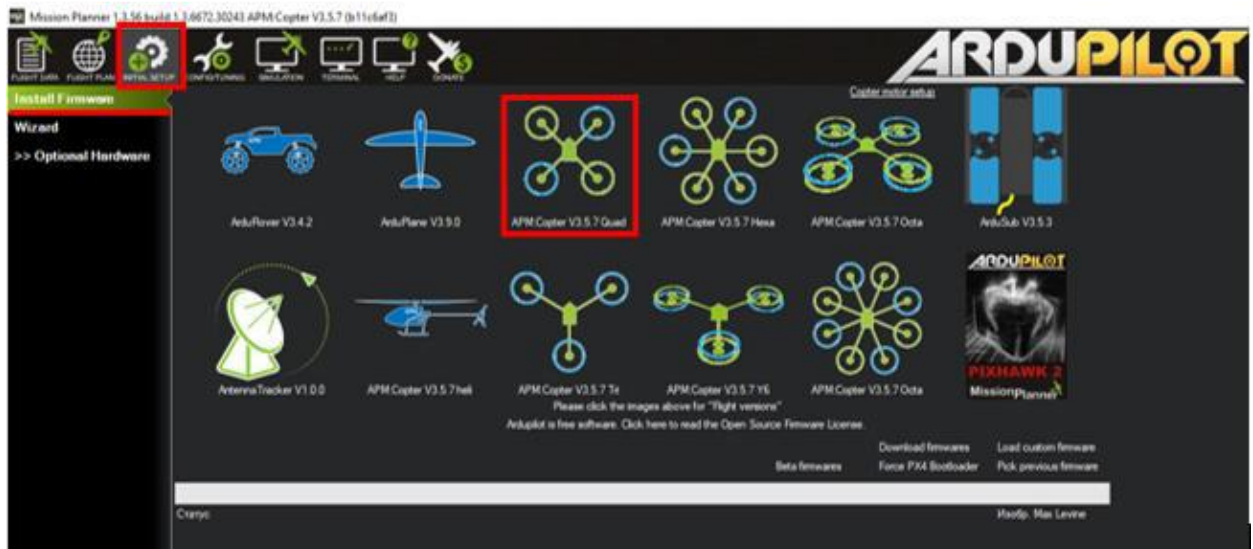


Рисунок 7.1– Пункт меню Mission Planner Initial setup

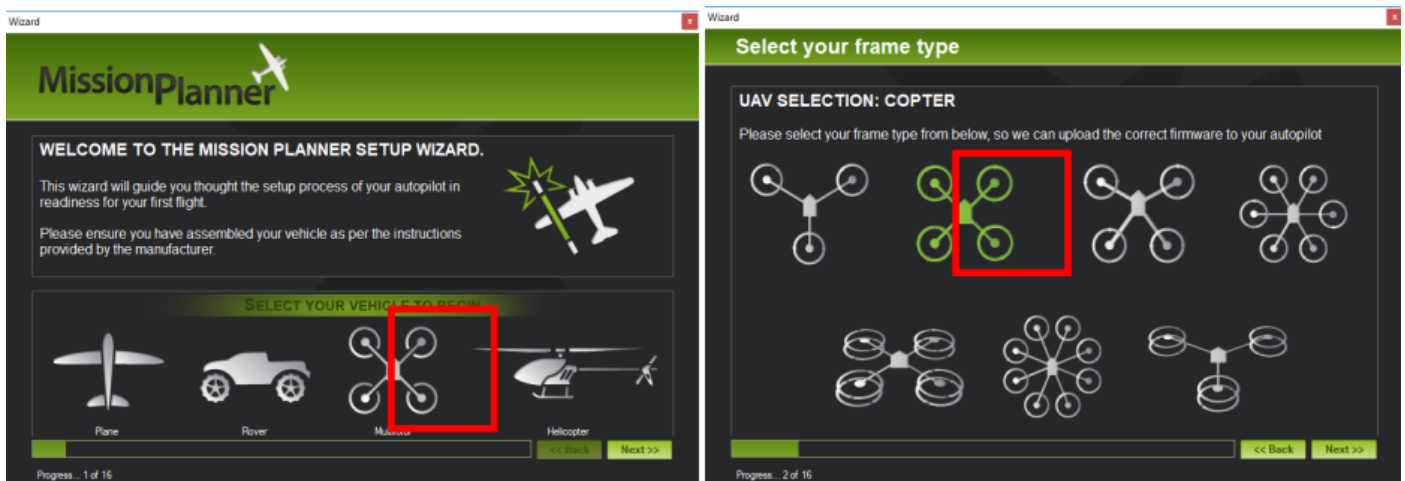


Рисунок 7.2 – Вибір пунктів Multirotor та чотирипроменевий тип рами

Налаштування сенсорів польотного контролера. Проводимо калібрування акселерометра. Для цього виконуємо дії, що вказані на рисунках 4–9.

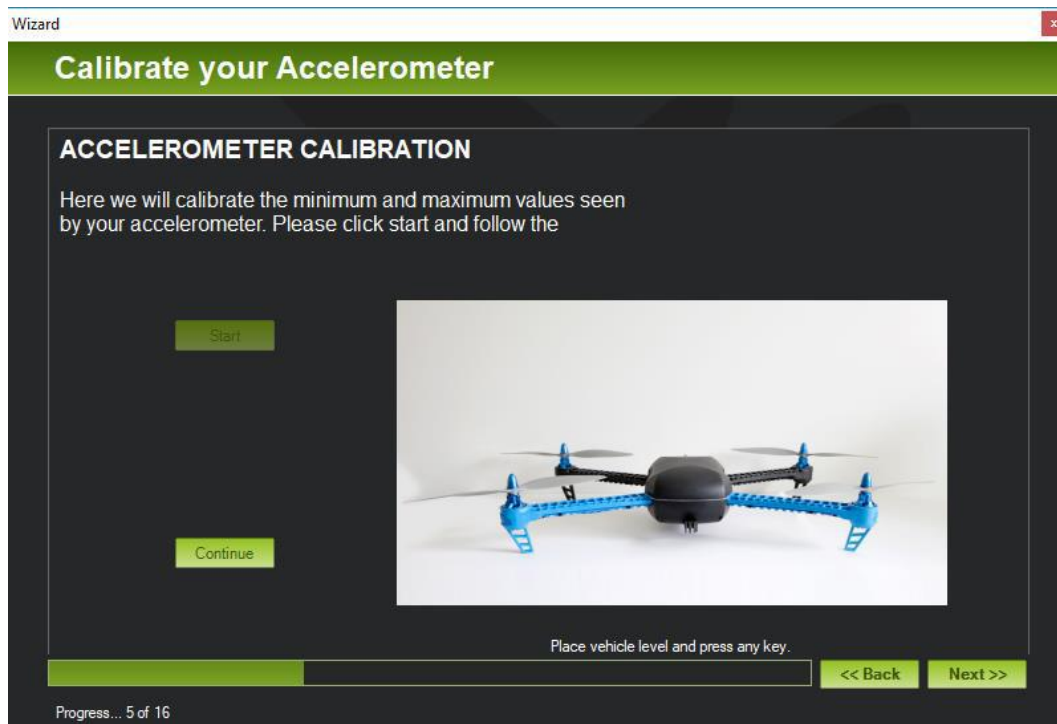


Рисунок 7.3. – Вікно калібрування пропонує поставити апарат на рівну поверхню

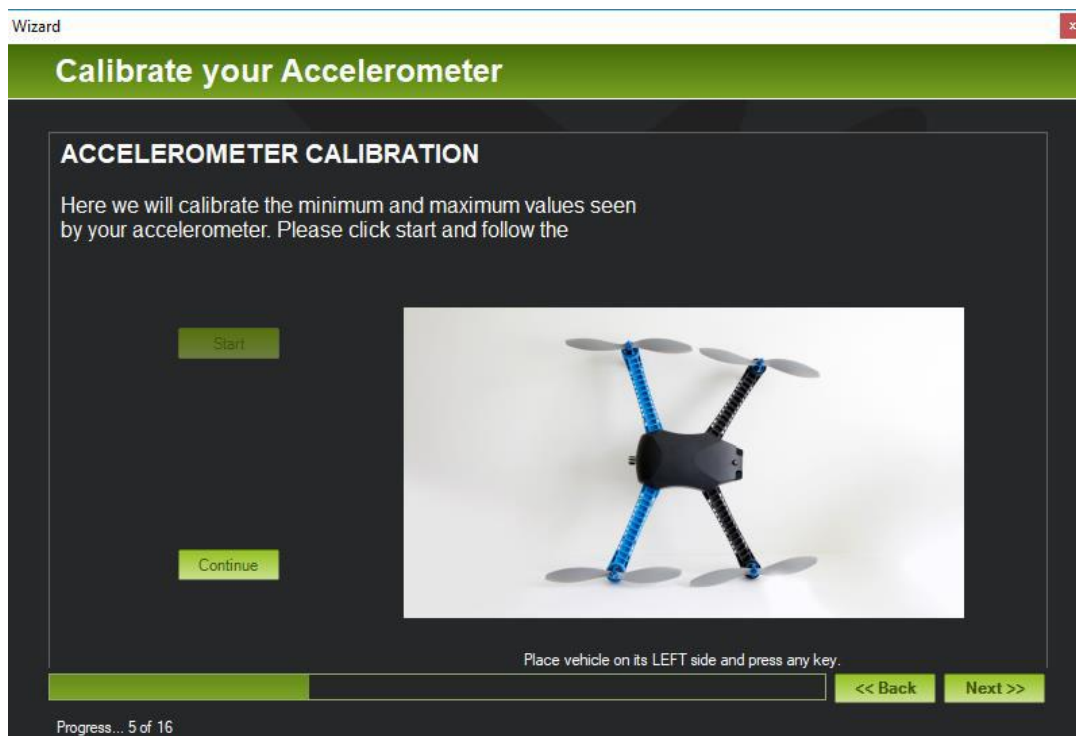


Рисунок 7.4 – Вікно калібрування пропонує поставити апарат на лівий бік

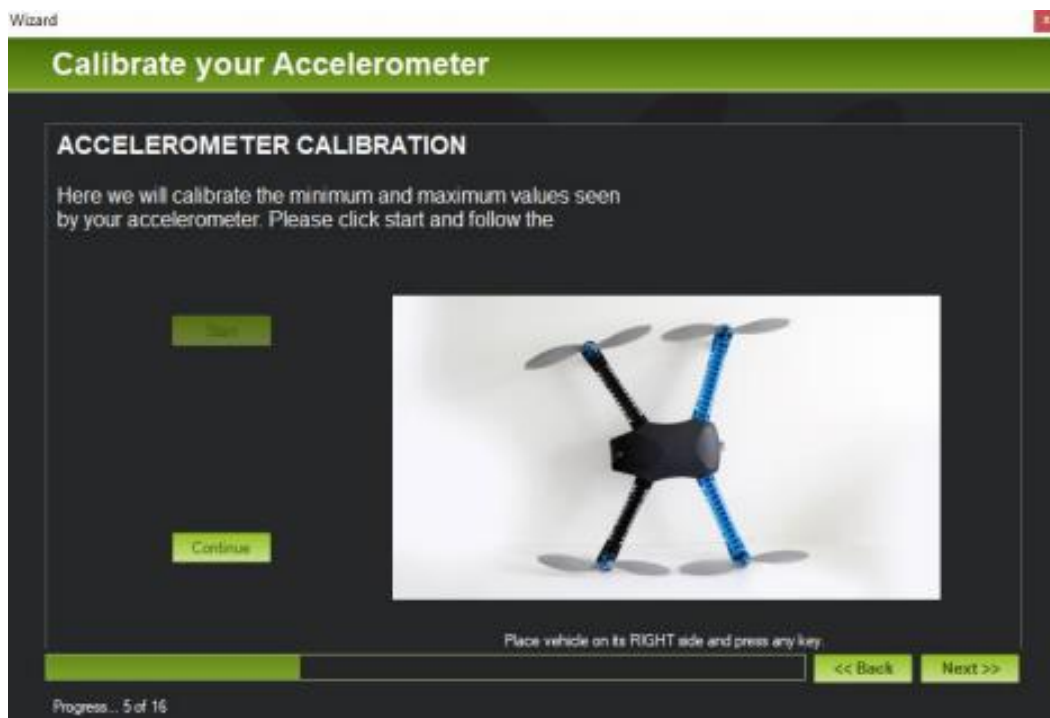


Рисунок 7.5 Вікно калібрування пропонує поставити апарат на правий бік

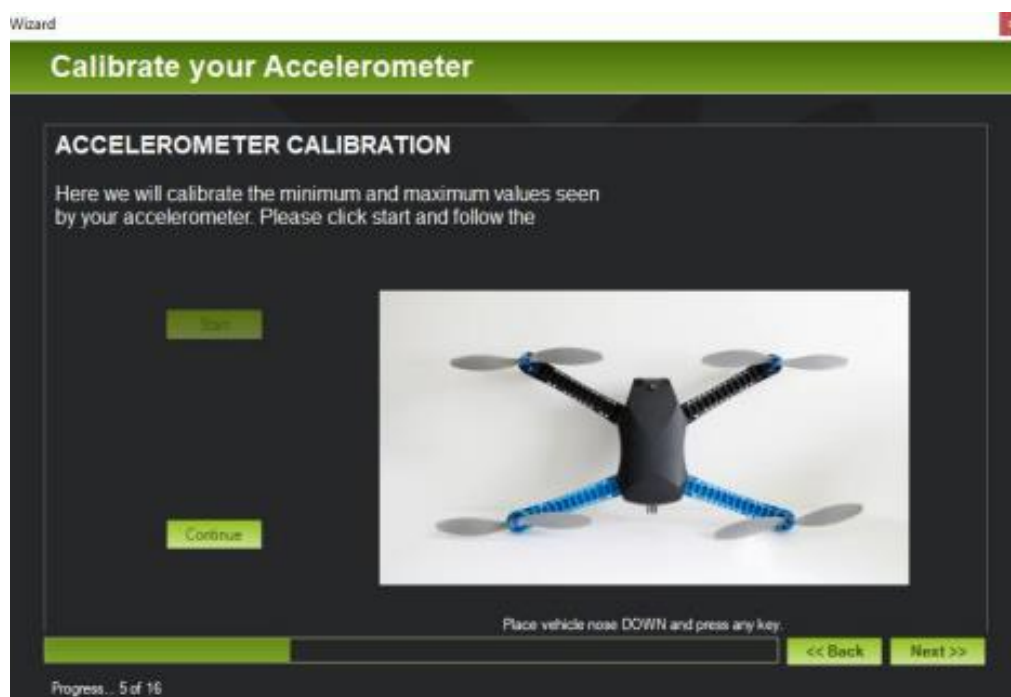


Рисунок 7.6 – Вікно калібрування пропонує поставити апарат носовою частиною вниз

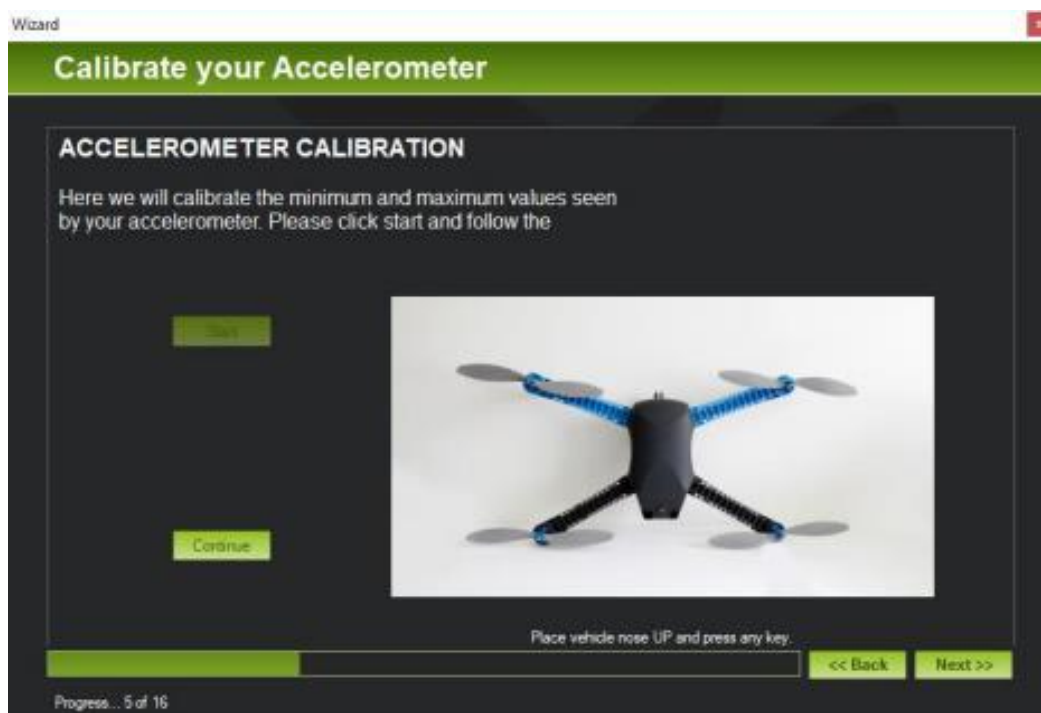


Рисунок 7.7 – Вікно калібрування пропонує поставити апарат носовою частиною вгору

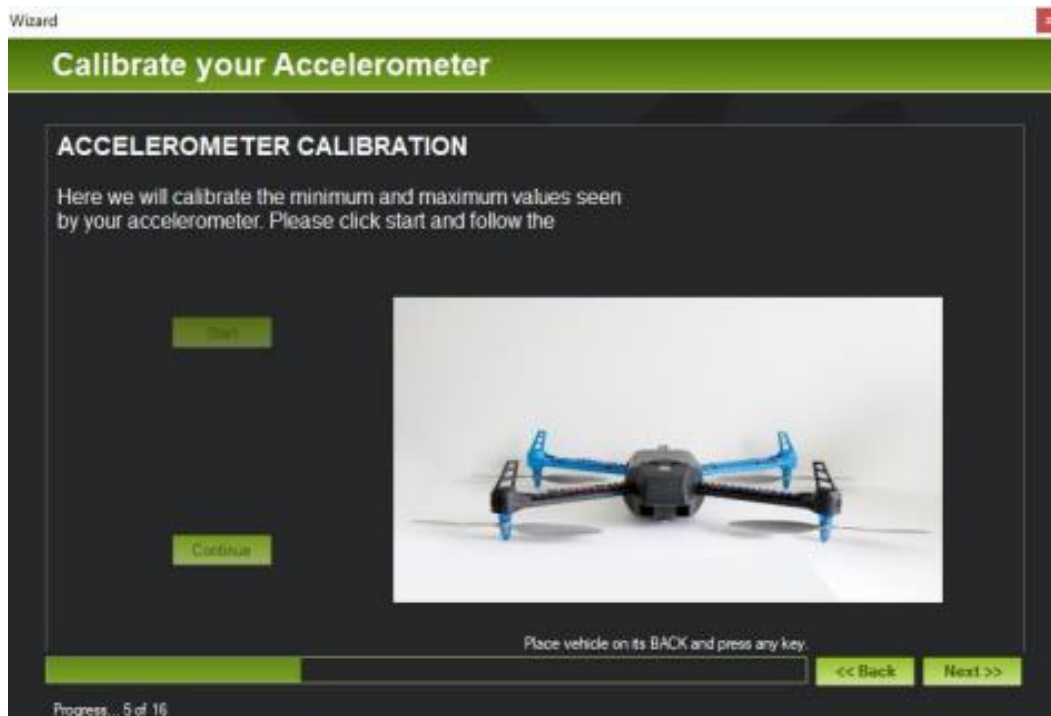


Рисунок 7.8. – Вікно калібрування пропонує поставити апарат гвинтами донизу

Калібрування компаса. Натискаємо кнопку Live calibration, прибираємо відмітку Use Auto Асерт і повертаємо БПЛА по кожній з осей (рис. 7.10). Отримаємо графік як на рисунку 7.11.

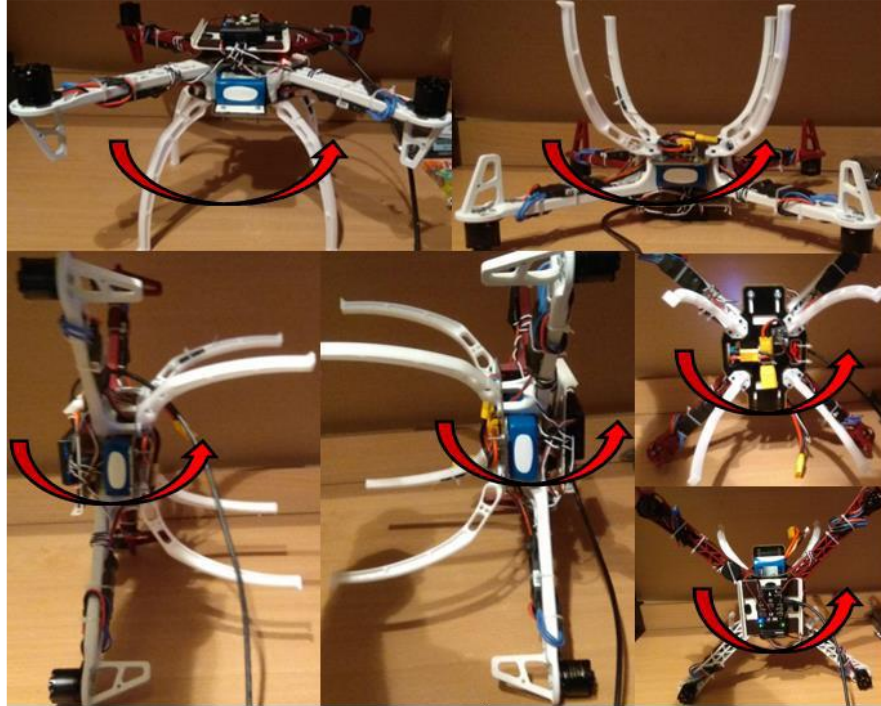


Рисунок 7.10 – Обертання БПЛА для калібрування компаса

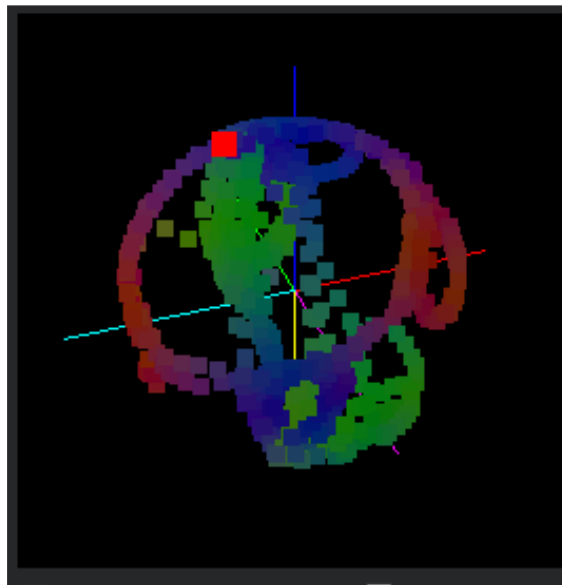


Рисунок 7.11 – Кінцевий графік заповнення осей точками калібрування

Наступним кроком є введення ємності акумулятора, який використовується. У нашій спроектованій системі це 5000 мАг. Потім у вікні Radio calibration натискаємо "Continue", після чого з'являється вікно Radio endpoint calibration. Тут натискаємо "Calibrate radio" і максимально задіюємо всі важелі пульта керування, які прив'язані до каналів з 1-го по 8-й. У вікні Flight Modes з випадаючого списку обираємо для Flight mode 1 - Loiter, для Flight mode 4 - Stabilize, і для Flight mode 5 - AltHold. У вікні Verify проводимо Pre-Arm Test: одночасно затискаємо Safe Button і нахиляємо важіль тяги в нижній правий кут. Після цього пункт Verify Pre-Arm Test підсвітиться зеленим. Завершуємо налаштування Failsafe та програмування регуляторів ходу.

Після завершення попереднього калібрування переходимо до розділу Mandatory Hardware і вибираємо підрозділ Failsafe. У налаштуваннях Battery у випадаючому списку Low Battery вводимо значення 10,5, в поле Reserved mAh вводимо 800, а в останньому випадаючому списку вибираємо опцію Land.

Потім переходимо до параметра ESC Calibration. Натиснувши Calibrate ESCs, потрібно від'єднати USB і батарею, підняти важіль тяги догори, увімкнути батарею. Коли світлодіод почне мерехтати червоним, зеленим та синім кольором, натискаємо Safe Button на квадрокоптері. Регулятори швидкості просигналізують двома короткими гудками, що означає знайдення верхньої точки тяги. Після цього опускаємо важіль тяги вниз. Регулятори просигналізують трьома короткими гудками (вказуючи на використання 3-коміркової батареї) та одним довгим. Відключаємо батарею і повторюємо попередні дії до натискання Safe Button. Чекаємо 4–5 секунд, після чого регулятори швидкості просигналізують спеціальним звуковим сигналом, що означає вхід до режиму програмування. Потім, слідуючи довідковим сигналам та таблицям, очікуємо переходу на п'ятий рядок. Опускаємо важіль тяги, далі чекаємо переходу на третій стовпчик і піднімаємо важіль тяги. Очікуємо переходу на дванадцятий рядок, опускаємо важіль тяги, чекаємо переходу на

третьої стовпчик і піднімаємо важіль тяги. Виходимо з режиму програмування, перейшовши на чотирнадцятий рядок, після чого знову опускаємо важіль тяги.

Одним із ключових етапів налаштування БПЛА є налаштування ПІД-регулятора. Ріхhawk використовує пропорційні, інтегральні та ПІД-контролери, які є багаторівневими. Контролер більш високого рівня передає свої результати до контролера нижчого рівня. Найнижчий рівень у БПЛА – це регулятор швидкості, за яким слідує контролер положення. Налаштування ПІД-регулятора повинно виконуватися у тому ж порядку, починаючи з регулятора швидкості.

Контролер швидкості є внутрішнім контуром з трьома незалежними ПІД-регуляторами для управління напрямками корпусу:

Контроль повороту по осі X – «Roll» (MC_ROLLRATE_P, MC_ROLLRATE_I, MC_ROLLRATE_D);

Контроль повороту по осі Y – «Pitch» (MC_PITCHRATE_P, MC_PITCHRATE_I, MC_PITCHRATE_D);

Контроль повороту по осі Z – «Yaw» (MC_YAWRATE_P, MC_YAWRATE_I, MC_YAWRATE_D). Параметри та їх значення наведені у таблиці 7.1.

Регулятор положення управляє орієнтацією за допомогою таких параметрів (табл. 7.2–7.3):

- Контроль «Roll» (MC_ROLL_P);
- Контроль «Pitch» (MC_PITCH_P);
- Контроль «Yaw» (MC_YAW_P).

Таблиця 7.1 – ПД-параметри регулятора швидкості

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,135
MC_ROLLRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll» Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,9
MC_ROLLRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Roll». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0036
MC_PITCHRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,254
MC_PITCHRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,7544
MC_PITCHRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Pitch». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0092
MC_YAWRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Yaw». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,415
MC_YAWRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,552
MC_YAWRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,00223

Регулятор положення управляє орієнтацією за допомогою таких параметрів (табл. 7.2–7.3):

Таблиця 7.2 – П-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLL_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: необхідна кутова швидкість X в рад/с для помилки 1 рад	0,547
MC_PITCH_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Pitch» Коментар: необхідна кутова швидкість Y в рад/с для помилки 1 рад	0,765
MC_YAW_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Yaw» Коментар: необхідна кутова швидкість Z в рад/с для помилки 1 рад	0,744

Контролер орієнтації значно легше налаштувати, оскільки більшість значень можна залишити за замовчуванням. Щоб налаштувати регулятор

положення, потрібно перейти в стабілізований режим і поступово збільшувати коефіцієнт П. Якщо з'являються коливання або викиди, посилення занадто велике. Наступні параметри також можуть бути відкориговані. Вони визначають максимальні швидкості обертання навколо всіх трьох осей:

Максимальна «Roll» (MC_ROLLRATE_MAX);

Максимальна «Pitch» (MC_PITCHRATE_MAX);

Максимальна «Yaw» (MC_YAWRATE_MAX) [10].

Таблиця 7.3 – П-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Roll» значення	850
MC_PITCHRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Pitch» значення	850
MC_YAWRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Yaw» значення	850

Для налаштування за допомогою функції AutoTune перейдіть у вкладку Config Tuning та оберіть пункт Extended Tuning. У випадаючому списку Ch7 Opt виберіть параметр Auto Tune (рис. 7.11). Для виконання функції Auto Tune підніміть БПЛА у повітря в умовах відсутності або слабкого вітру в режимі AltHold. Активуйте перемикач, прив'язаний до сьомого каналу RC-приймача. Після цього розпочнеться процес автоналаштування, який триватиме 12–15 хвилин. По його завершенню прозвучить спеціальний сигнал, після чого потрібно приземлити БПЛА. Цей процес можна повторювати кілька разів, якщо результат автоналаштування вас не влаштовує. [11]



Рисунок 7.11 – Вікно Extended Tuning та прив'язка функції Auto Tune до 7-го каналу

Для використання функції Save Trim потрібно перейти до вкладки Config Tuning, обрати пункт Extended Tuning, а у випадаючому списку Ch7 Opt обрати параметр Save Trim рисунок 7.12. Щоб виконати цю функцію, важливо підняти БПЛА у повітря у безвітряному або маловітряному середовищі у режимі Stabilize. Потім, за допомогою кнопок корекції зміщення на пульті керування (14), коригуємо крен БПЛА, зміщуючи їх в протилежний бік. Це триває до тих пір, поки БПЛА не зможе стабільно утримуватися у повітрі. [10]



Рисунок 7.12 – Вікно Extended Tuning та прив'язка функції Save Trim до 7-го каналу

Після чого садимо БПЛА на землю, блокуємо запуск (важіль тяги в нижній лівий кут) та вмикаємо перемикач, що прив'язаний до сьомого каналу РС приймача та повертаємо значення кнопок кореляції зміщення у початкові позиції. Цей процес також можна повторювати кілька разів, якщо результат виконання корегування нас не влаштовує.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час розробки навчального модульного квадрокоптера. На спеціалізований персонал, що здійснює розробку та обслуговування електромеханічної частини літального апарату, впливають такі шкідливі виробничі фактори [19-21]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, , швидкість руху повітря вологість, інфрачервоне випромінювання); вібрація (локальна, загальна); виробничий шум, освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці.

Важкість роботи визначається загальними енерговитратами організму або рівнем фізичного динамічного навантаження, вагою вантажу, який потрібно підняти і перемістити, загальною кількістю нерухомих робочих рухів, рівнем статичного навантаження, робочою позою., простір Характеризується поведінкою..Інтенсивність праці характеризується інтелектуальним навантаженням, сенсорним навантаженням, емоційним навантаженням, ступенем монотонності навантаження, режимом праці.

8.1 Технічні рішення для безпечної організації робочого простору

Робоче місце для проведення розробки і макетування електромеханічної системи електропривода для роботи з комп'ютером, повинно комплектується одномісним столом і стільцем, які повинні бути виконані з дотриманням нормативних вимог. Робоче місце – це така зона простору, що оснащена

необхідним обладнанням, де відбувається робоча діяльність одного працівника або групи працівників.

Стіл працівника має дві різновисотні плоскі горизонтальні поверхні – робочу і додаткову. Глибина і ширина робочої зони столу та додаткового поверхні забезпечує виконання завдання у межах моторного поля і становить 750 на 600 мм та 750 на 350 мм відповідно. Ці дві поверхні повинні регулюються, зокрема, по висоті у межах 460 – 760 мм. Стіл працівника, який використовується для устаткування комп'ютеризованого робочого місця повинен мати кріплення до підлоги.

Під час розміщення робочого місця було виконано такі основні вимоги: відстань від стін з вікнами становить 1м, від інших стін – 0,5м; відстань між бічними поверхнями моніторів – не менше 1,2м.

При роботі з комп'ютером головну роль відіграє дотримання правильного режиму роботи і відпочинку. Інакше у працівників виникає стомленість зорового апарату з появою нарікань на незадоволеність роботою, мігрень, дратівливість, порушення сну, стомленість і нездорові відчуття в очах, в поясиці, в області шиї і руках.

Позиція екрану визначається:

відстанню читання (0,6-0,7м);

кутом читання, лінією погляду на 20 нижче горизонталі до центру монітору, при чому екран перпендикулярний відносно цього напрямку.

Необхідно також передбачати можливість регулювання монітору:

по висоті + 3 см;

по нахилу від –10 до +20 щодо вертикалі;

в правому і лівому напрямках.

Вагоме значення для ефективної і якісної роботи за комп'ютером мають розміри символів, густину їх розташування, контраст і співвідношення яркості символів і фону монітору. Якщо відстань від очей працівника до екрану монітора становить 60-80см, то висота символу повинна бути не менше

3 мм, влучним співвідношення ширини і висоти символу становить 4:3, а відстань між знаками – 15-20% їх висоти. Пропорція яскравості зображення і знаків – від 1:2 до 1:15.

8.1.2. Електробезпека

Електробезпека - це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людини від шкідливої і небезпечної дії струмів, дуг, електричних полів і статичної електрики [20].

Живлення силового устаткування дослідної лабораторії та системи освітлення відбувається від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 на 220В (фазна напруга (так звана фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна напруга (фаза – фаза) – 380В).

Категорія станів, пов'язаних з ризиком ураження електричним струмом, не передбачає підвищеного ризику.

Персонал, який обслуговує електричні системи, повинен бути оснащений перевіреним захисним обладнанням. Перед використанням засобів захисту персонал повинен перевірити їх справність і відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити засоби захисту від пилу та перевірити на клеймах дату наступного огляду. Використання захисних засобів після закінчення терміну придатності заборонено.

Щоб запобігти ураженням електричним струмом на території, буде реалізовано наступне:

Технічні рішення щодо запобігання електротравм, викликаних дотиком до струмоведучих елементів електрообладнання - ізоляція струмопровідних елементів електрообладнання.правила.

Технічні рішення щодо запобігання електротравматизму при передачі напруги на нормально неструмоведучі елементи електрообладнання - захисне заземлення природними заземлювачами.

Електричні системи використовують засоби орієнтування, такі як таблички з іменами, знаки та попереджувальні знаки.

При подачі напруги до 1000 В від трипровідної мережі до однофазних споживачів електроенергії застосовують захисні провідники нейтралі. Якщо корпус зламається під час використання, це може спричинити коротке замикання. Спрацьовує захист від короткого замикання і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Використання основних засобів електрозахисту. Основними засобами електрозахисту є засоби, ізоляція яких здатна тривалий час витримувати робочу напругу і допускає контакт з струмоведучими частинами. До них відносяться (до 1000В): ізоляційних стрижня. Ізольовані кледи для вимірювання струму. індикатор напруги. діелектричні рукавички. Слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Застосування додаткових засобів електрозахисту - це пристрої, що захищають персонал від контактних і крокових напруг і попереджають персонал про можливі неправильні дії. До них (до 1000 В): діелектричних калош. Діелектричний килимок. Переносне заземлення. Ізоляційна підкладка та підставка. Захисний пристрій. Плакати та знаки безпеки.

8.2 Технічні рішення щодо виробничої санітарії

8.2.1 Мікроклімат

До нормованих параметрів мікроклімату відносять температуру ($t^{\circ}\text{C}$) і відносну вологість ($W, \%$), швидкість їх руху (м/с), потужність теплового випромінювання (Вт/м^2). Мікроклімат робочого місця дослідника регламентується згідно з ДСНЗ.3.6.042- 99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [20].

Робота по дослідженню напівпровідникових елементів за енерговитратами належить до категорії Ia [21].

Підходящі параметри мікроклімату згідно категорії 1а відповідно до [20] показані в табл.8.1.

Таблиця 8.1 – Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Оптимальні		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22 - 28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	21 - 25	Не більше 75	Не більше 0,1

Задля забезпечення необхідних згідно нормативами параметрів мікроклімату проєктом передбачено[20]:

У холодний пору року для опалення будівлі використовується централізоване опалення.

Забезпека допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні виконується за допомогою системи вентиляції, а саме припливно-витяжної тарегулярного провітрювання.

Склад повітря робочої зони

У приміщенні, для дослідження та макетування системи квадрокоптера використовуються генератори сигналів, амперметри, осцилографи, вольтметри та інше обладнання, тому не виключено, що шкідливими речовинами у повітрі є озно, пил та фенол. Окрім припою та флюсу, які використовуються для робіт, пов'язаних із паянням та створенням комп'ютерних моделей, припій та флюс містять такі речовини: ацетон, смола соснова, олово, свинець, спирт етиловий.

Забруднення повітря робочого місця регламентується гранично допустимим концентраціями (ГДК) в мг/м³.

Вміст небезпечних речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати граничні концентрації (ГДК). ГДК небезпечних речовин у повітрі робочого місця наведені у табл. 8.2

Таблиця 8.2 – ГДК шкідливи хречовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,6	0,03	4
Ацетон	0,35	0,35	4
Олово	-	0,02	3
Свинець	0,001	0,0003	1
Спирт етиловий	5,0	5,0	4

Для забезпечення складу повітря робочого простору згідно з [21] проєктом передбачені наступні рішення:

Вентиляцію дослідницьких приміщень;

Вентиляцію окремих робочих місць, для запобігання отруєнню працівників;

Технічні перерви для працівників.

Виробниче освітлення

У приміщенні де проводиться дослідження використовується штучне та природнє освітлення.

Характеристика зорової роботи – високої точності. Розряд зорових робіт – III, Підрозряд зорової роботи – а.

Таблиця 8.3 – Нормовані значення виробничого освітлення

Харак-ка зорової роботи	Найменши й або еквівалент - ний розмір об'єкта розрізнєнн я, мм	Розряд зорової роботи	Підрозро д зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{н пр}$	Суміщ ене $E_{н сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5	III	a	Малий	Темний	2000	200	3,0	1,2

Задля забезпечення нормативного показника комбінованого освітлення передбачено наступне:

Використання світлодіодних джерел освітлення, для забезпечення достатнього освітлення кожної робочої зони;

Наявність в лабораторному приміщенні необхідної кількості вікон, для повсемісного освітлення приміщень.

Систематичне очищення вікон від бруду – не рідше двох разів на календарний рік.

Виробничий шум

Задля відносної логарифмічної шкали використовуються в якості нульових рівнів деякі обрані показники, що характеризують мінімальну межу сприйняття звуку людським органами слуху на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, що регламентує рівні виробничого шуму для різних категорій робочих зон службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [20].

Таблиця 9.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц							
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000
Виконання усіх видів на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства.	86	70	61	54	49	45	42	40

Методи боротьби із шумом розділяють на заходи індивідуального захисту та заходи колективного захисту, залежно від кількості людей на яких впливає цей шум- «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для забезпечення зручних параметрів шуму (покращення шумового клімату) в приміщенні роботою проєктом:

Своєчасне здійснення профілактичних робіт устаткування;

Зменшення аеродинамічного шуму, (робота системи вентиляції, здійснюється шляхом звукової ізоляції джерела;)

Розташування на шляхах поширення звукових хвиль звукоізолюючого загородження у вигляді стін та різноманітних перегородок.

8.3 Пожежна безпека

Правила пожежної безпеки в Україні регламентують пожежну безпеку для промислових і інших об'єктів [21]. Пожежо-вибухонебезпечність речовин, елементів і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019, за якою передбачена категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою.

Виробничий об'єкт відноситься до категорії Д за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечною. Речовини та/або матеріали, перелічені вище для категорії об'єкта В (за винятком легкозаймистих газів, горючого пилу та/або волокон), а також негорючі речовини та/або матеріали, за умови, що речовини та/або матеріали, перелічені вище (зберігання, обробка), транспортні) об'єкти не знаходяться в категоріях А, Б або Б зони П-ІІІ (суцільні місця). зберігаються легкозаймисті матеріали).

Пожежно-вибухові властивості речовин і матеріалів — це сукупність властивостей, що характеризують їх здатність ініціювати і поширювати горіння. Залежно від швидкості та умов потоку опіки можуть призвести до пожежі або вибуху. Пожежно-вибухові властивості речовин і матеріалів визначають за показниками, а вибір показників залежить від сукупного стану речовини (матеріалу) та умов його використання.

Будівля, в якій розміщені ці приміщення, характеризується ІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІ класу вогнестійкості належать будинки з несучими конструкціями або закритими конструкціями з природного каменю, штучного каменю, бетону, залізобетону з використанням негорючих дощок тощо. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню вздовж нього (см) за ДБН В.1.1.7-2016[15] наведено в таблиці 8.5.

Протипожежні відстані між житловими будинками, побутовими будівлями громадських, адміністративних і промислових підприємств, гаражами слід визначати за таблицею 4.7 (числові значення). В умовах

існуючої забудови необхідно визначити протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд. Для інших цілей необхідно визначати протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративних і побутових будівель до промислових підприємств, гаражів і виробничих приміщень., складські будівлі та споруди визначаються відповідно до протипожежних вимог, зазначених у таблиці 8.5 та згідно таблиці 8.7

Таблиця 8.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогне- стійкості будин- ків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і Максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло- ни	Сходові пл ощад-ки, костури, сходи, балки, маршісхо довихкліт ок	перекриття між по- верхові(у т.ч. горищні та над підва- лами	Елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходо- вихкліт к	само- несучі	зов- ніш-ні не- несу- чі	внут- рішні не- несучі (пере- город- ки				плити, насти- ли, прого- ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і граничні межі їх вогнетривкості за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Протипожежні перешкоди та граничні межі їх вогнетривкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 8.7 – Протипожежні відстані

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	6/9	8/9	10/12

На території встановлено 11 вогнегасників ВВП-8(ВП-5) [21]

Висновки: Проведено огляд та планування необхідних заходів задля безпечної експлуатації об'єкта дослідження із чітким врахуванням режимів його функціонування.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на тему "Розробка навчального модульного квадрокоптера" було проведено всебічне дослідження та реалізацію проєкту, що охоплює основні аспекти розробки і впровадження навчальних БПЛА. Основні досягнення та висновки, отримані в ході виконання роботи, наведені нижче:

Проведено аналіз основних вимог до навчальних квадрокоптерів, включаючи безпеку, надійність, модульність та простоту експлуатації. Вибрані та протестовані компоненти, які відповідають цим вимогам, зокрема контролери польоту, двигуни, пропелери та системи живлення. Спроектовано модульну конструкцію квадрокоптера, що дозволяє легко змінювати компоненти для навчальних цілей. Використано легкі та міцні матеріали для створення рами, що забезпечує достатню стійкість та довговічність. Розроблено та інтегровано систему управління польотом на базі контролера Pixhawk, що забезпечує точність та надійність управління.

Впроваджено алгоритми стабілізації та автоматизованого польоту, що підвищують зручність використання квадрокоптера в навчальному процесі. Проведено серію тестових модельованих польотів для перевірки працездатності системи та внесення необхідних коригувань. Виконано налаштування параметрів контролера польоту та системи стабілізації для досягнення оптимальних характеристик. Розроблено навчальні матеріали та методичні рекомендації для використання квадрокоптера в освітньому процесі. Результати роботи показують, що розроблений навчальний модульний квадрокоптер повністю відповідає поставленим вимогам і може бути ефективно використаний у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі безпілотних літальних апаратів. Отримані знання та досвід можуть бути основою для подальших досліджень і розробок у цій сфері.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Биард У. Рэндал, МакЛэйн У. Тимоти Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн — Киев: Изд. дом «СВАРОГ», 2023. — 312 с.
2. DJI - Official Website [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/global>
3. Офіційна сторінка Amazon з детальною інформацією про доставку дронами. URL: <https://www.amazon.com/Amazon-PrimeAir/b?ie=UTF8&node=8037720011>
4. Автоматизована система моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на основі міні безпілотних літальних апаратів : монографія / А.Г. Ткачук, А.В. Коваль, А.А. Гуменюк, М.В. Богдановський. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – 145 с.
5. What does "Unmanned Aircraft System (UAS)" mean? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.globeair.com/g/unmanned-aircraft-system-uas>
6. Типи акумуляторних батарей: повний огляд [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://deps.ua/ua/knowledge-base/reference-information/10591.html>
7. iMAX B6 V2 Charger [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.skyrc.com/b6v2>
8. The Ultimate Guide to Autonomous Drones [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.jouav.com/blog/autonomous-drones.html>
9. How to Choose Lithium Polymer Battery for your RC Drone Drones [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://robu.in/how-choose-lithium-polymer-battery-for-drone/>
10. EMSA drones monitor sulphur and nitrogen emissions from ships in the English Channel. URL: <https://safety4sea.com/emsa-drones-monitor-sulphur-andnitrogen-emissions-from-ships-in-the-english-channel/>

11. Bluetooth® Technology Website [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bluetooth.com>
12. WiFi Technology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fireflynetworks.co.in/blog/wifi-technology>
13. Koval A. Mobile wireless system for outdoor air quality monitoring / A.Koval, E.Irigoyen // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2017. – Vol. 251. – P. 139–145 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.scientific.net/SSP.251.139>.
14. Регулятор скорости Spedix ES30 HV 30A 3-6S BLHeli_S ? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://flymod.net/item/es30_hv_speed_controller_spedix
15. Способи керування частотою обертання вентильних двигунів / В. І. Ткачук, В. Г. Гайдук / *Вісн. Львів. політ. ін-та*. – 2001. – с. 202 – 208.
16. О.І.Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В. Ф. Третяк, І. В. Рубан. Класифікація безпілотних літальних апаратів. Системи озброєння і військова техніка. Харків. 2007. 66 с.
17. Johan Holtz, Juntao Quan “Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a nonlinear inverter model and parameter identification”/ *IEEE Transactions on industry applications*, Vol. 38, No. 4, July/Aug2002, pp. 1087-1095.
18. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.
19. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с. управління моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. *Известия Томского политехнического университета*. 2011. Т. 319. № 4.

20. НПАОП 40.1-1.32-01.(ДНАОП 0.00-1.32-01).Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.[Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

21. Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14— Відомості Верховної Ради України, 1992 р. — 668 с.

Додаток А (обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., проф. М.М. Мошноріз

« 02 » 04 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО КВАДРОКОПТЕРА

08-24.БДР.011.00.000 ТЗ

Керівник дипломної роботи

Дмитро ПРОЦЕНКО

« 02 » 04 2024р.

Розробив студ. гр. 1ЕМ-206.

Олексій ПЕЧЕНЮК

« 02 » 04 2024р.

Вінниця ВНТУ 2024

20. НПАОП 40.1-1.32-01.(ДНАОП 0.00-1.32-01).Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.[Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

21. Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14— Відомості Верховної Ради України, 1992 р. — 668 с.

Додаток А (обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри КЕМСК
_____к.т.н.,доц. М.М. Мошноріз
«____» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу
РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО КВАДРОКОПТЕРА
08-24.БДР.011.00.000 ТЗ

Керівник дипломної роботи
Дмитро ПРОЦЕНКО
«____» _____ 2024р.

Розробив студ. гр. 1ЕМ-206.
Олексій ПЕЧЕНЮК
«____» _____ 2024р.

1 Загальні відомості

Бакалаврська дипломна робота «Розробка навчального модульного квадрокоптера».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Призначенням є створення інноваційного засобу для практичного навчання управління безпілотними літальними апаратами, сприяючи підвищенню кваліфікації операторів, так і покращення експлуатаційних характеристик системи.

Галузь застосування – цивільна та військова сфери.

4 Вимоги до розробки

Основні конструктивно-технологічні та експлуатаційні характеристики:

- простота конструктивного виконання;
- надійна довготривала робота в умовах зовнішніх збурень;
- економічність в розрахунку на живлення електроприводу від бортового джерела електроенергії;
- ефективність здійснення керування БПЛА незалежно від його віддалення від оператора.

Ефективність керування

А також наступні техніко-економічні показники:

- високі масо-габаритні характеристики;
- високі значення швидкості та кута відхилення рулів;
- високі показники енергоефективності.

5 Комплектація розробки

Живлення всієї системи здійснюється від блоку акумуляторної батареї (АКБ). Для узгодження рівня напруги між ланкою постійного струму (ЛПС) та АКБ використовується DC-DC перетворювач. Блок АКБ складається з набору акумуляторів та системи управління. Система стабілізації швидкості включає три контури регулювання. Зовнішній контур регулювання відповідає за стабілізацію лінійної швидкості транспортного засобу за допомогою ПІД-регулятора. Сигнали зворотного зв'язку надходять від електронних датчиків швидкості обертання двигунів та акселерометрів.

6 Технічні характеристики

Таблиця 5.3 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	110ZYT78/H1
Номинальна потужність P_H , Вт	450
Номинальна швидкість обертання ω_n , рад / с	261
Номинальний момент M_n , Н · м	2,05
Номинальна лінійна напруга статора U, В	12
Номинальне діюче значення фазного струму статора I_n , А	48
Кількість пар полюсів, p	2
Номинальний к.к.д. %	70

7 Перелік технічної документації, що пред'являється по закінченню робіт:

- пояснювальна записка до бакалаврської дипломної роботи;
- технічне завдання;
- ілюстративні матеріали.

8 Конструктивне виконання

Складові системи квадрокоптера виготовляються окремими модулями, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

9 Стадії і етапи розробки

Основна частина	
Графічна частина	

10 Умови експлуатації

Електромеханічна система літального апарату має забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі при заданому циклі польоту. Тривалість циклу вимірюється тривалістю часу перебування в повітрі або запасом заряду акумулятора.

12 Живлення системи автоматизації

Живлення квадрокоптера здійснюється від акумуляторної батареї Orange 3000mAh 3S 30C/60C Lithium polymer battery Pack (LiPo)

Додаток Б

Ілюстративні частина

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є проєктування електромеханічних систем, систем керування, процес налаштування і тестування навчального модульного квадрокоптера, дослідження апаратної частини, що може бути корисним для навчання.

Предметом дослідження є конструктивні рішення, включаючи сам квадрокоптер, його окремі елементи (електронні компоненти, сенсори, привідні двигуни, акумуляторну систему та каркас), а також програмне забезпечення для керування і налаштування польотних режимів.

Метою бакалаврської дипломної роботи є модернізація засобу для практичного навчання управління безпілотними літальними апаратами, за рахунок розробки методу оптимальних налаштувань управління і польоту квадрокоптера, сприяючи підвищенню кваліфікації операторів, так і покращення експлуатаційних характеристик системи.

Під час виконання мети дослідження слід вирішити наступні задачі:

- навести загальну характеристику безпілотників та режими їх роботи;
- вибрати та виконати розрахунок основних елементів квадрокоптера;
- виконати техніко-економічне обґрунтування квадрокоптера та обрати оптимальні варіанти електродвигунів, акумуляторів для забезпечення хороших показників в процесі експлуатації.
- провести вибір та розрахунки для додаткових елементів системи, які будуть впроваджуватися в систему квадрокоптера задля оптимізації його роботи.
- виконати розрахунок, вибір і розробку електричної принципової та функціональної схеми системи квадрокоптера, використовуючи сучасні мікропроцесорні технології.
- для даної системи виконати оптимальне налаштування, яке забезпечувало б оптимальні динамічні характеристики.

Загальна характеристика безпілотників та їх задачі



Рисунок 1.1 – DJI Aeroscope



Рисунок 1.2 – Дрон-кур’єр



Рисунок 1.3. – БПЛА-спостерігач



Рисунок 1.4 – Класифікація БПЛА за функціональним призначенням

Вага, kg	Витривалість і запас ходу, hrs	Максимальна висота, ft	Радіус місії, km	Приклади БПЛА
<5	<1	<400	5	Black Window, Raven
5-25	2-8	<3000	25	Aerosonnde, Scan Eagle, Pumma

Таблиця 1.1. – Приклади БПЛА для певних експлуатаційних параметрів

Принципи роботи квадрокоптера

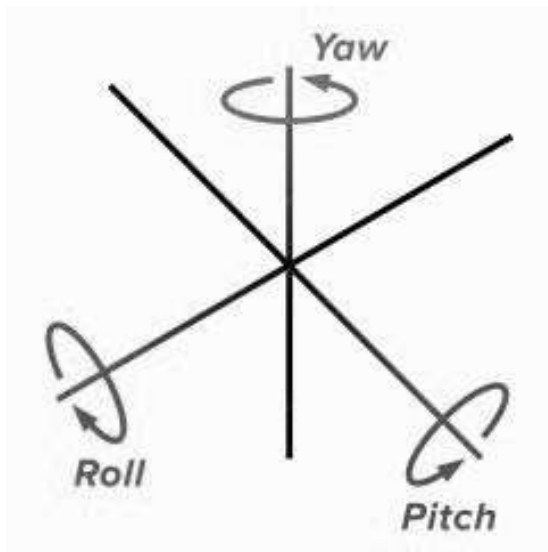


Рисунок 1.5 – Кути – крену, тангажу та ристання



Рисунок 2.3 – Принцип керування БПЛА

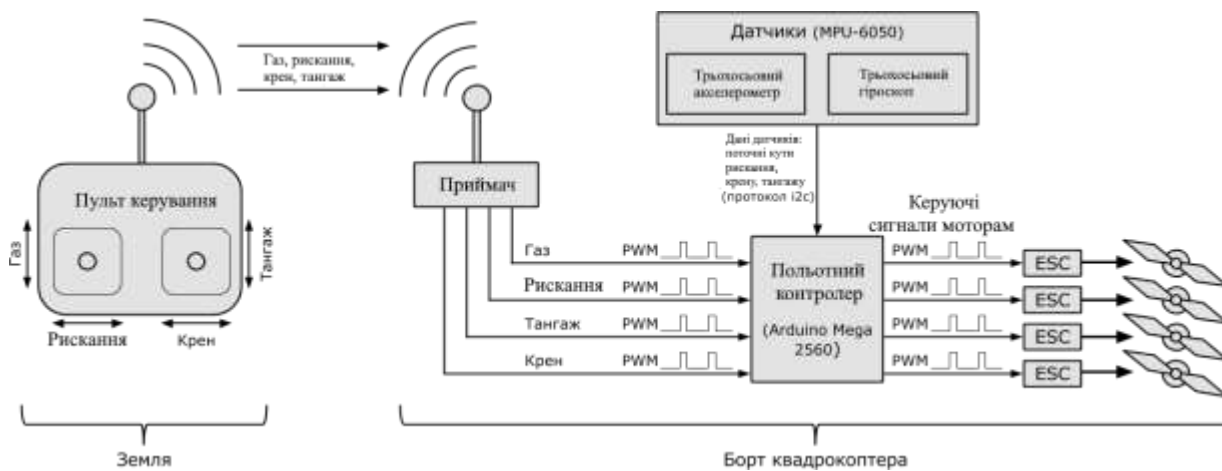


Рисунок 1.7 – Принципова схема роботи квадрокоптера

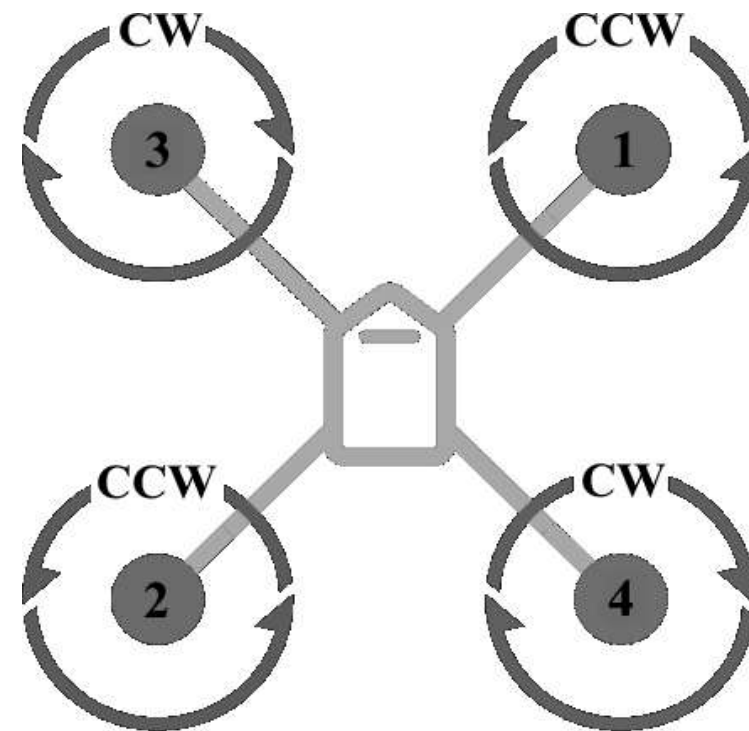


Рисунок 1.8 – Схема роботи двигунів квадрокоптера

Огляд існуючих електродвигунів та систем керування

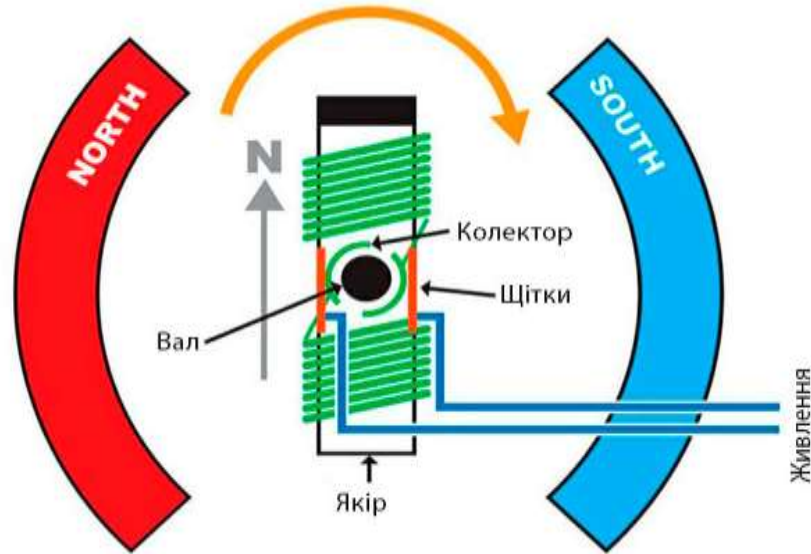


Рисунок 1.9 – Схема колекторного двигуна

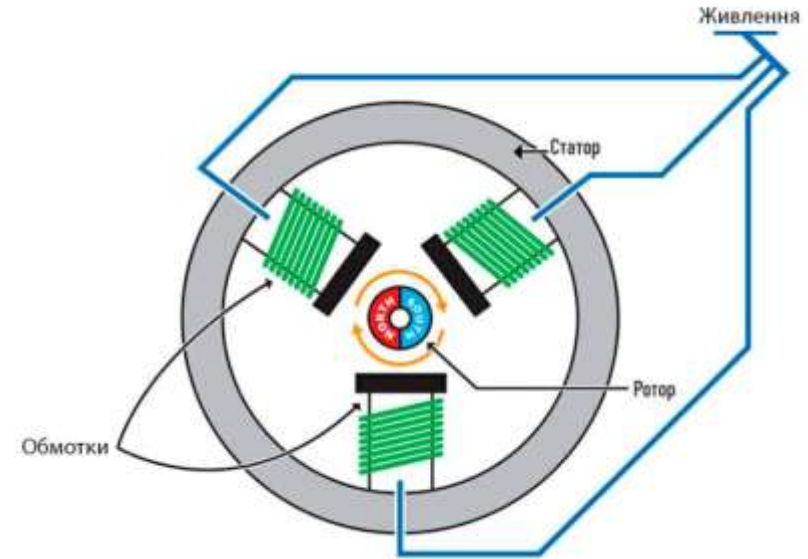


Рисунок 1.10 – Схема безколекторного двигуна



Рисунок 1.11 – Польотний контролер KapeinKuk



Рисунок 1.12 – Польотний контролер ArduPilot



Рисунок 1.13 – Польотний контролер DJI Naza

Порівняння польотних контролерів

Контролер	Стабілізація	Утримання позиції	Політ по точкам	Телеметрія	Вартість
KapteinKuk	+	-	-	-	30\$
MultiWii	+	+	+	+	50\$
ArduPilot	+	+	+	+	150\$
PixHawk	+	+	+	+	150\$-500\$
DJI Naza	+	+	+	+	250\$-1000\$
XAircraft	+	+	-	-	400\$-600\$
Zero UAV	+	+	+	+	400\$-2500\$

Порівняння систем живлення квадрокоптера

Тип джерела	Свинцево-кислотні	Літієві	Нікель-кадмієві
Номінальна напруга, В	6 або 12	3,2	1,4
Циклічний ресурс	-	2000	1800-2300
Діапазон робочих температур, °С	-50 до+70	-10до+60	-40 до +46
Швидкість заряду, год	8-12	2-3	12-16
Допустима глибина розряду, %	-	100	100

Техніко-економічне обґрунтування системи живлення

Проведемо розрахунок для Li-Po акумулятора, для цього потрібен зарядний пристрій, будемо використовувати SkyRC iMAX B6 (вольтаж - 18 В, струм зарядки – 6 А) [7].

Енергія, яку споживає акумулятор до повної зарядки:

$$E_{\text{спож}} = U_a \cdot I_z \cdot t_z ,$$

де U_a — напруга зарядки АКБ

t_z — час для зарядки АКБ

I_z — струм зарядки АКБ

Ціну одного циклу заряджання Ц_z визначимо за формулою:

$$\text{Ц}_z = \text{Ц}_{\text{кВт}} \cdot E_{\text{спож}}$$

де $\text{Ц}_{\text{кВт}}$ — ціна 1 кВт енергії($\text{Ц}_{\text{кВт}}=4,32$ грн).

Для Li-Po АКБ:

$$E_{\text{спож}} = 18 \cdot 6 \cdot 2 = 216(\text{Вт} \cdot \text{год})$$

$$\text{Ц}_z = 4,32 \cdot 0,216 = 0,933.$$

Вибір та розрахунок основних елементів квадрокоптера

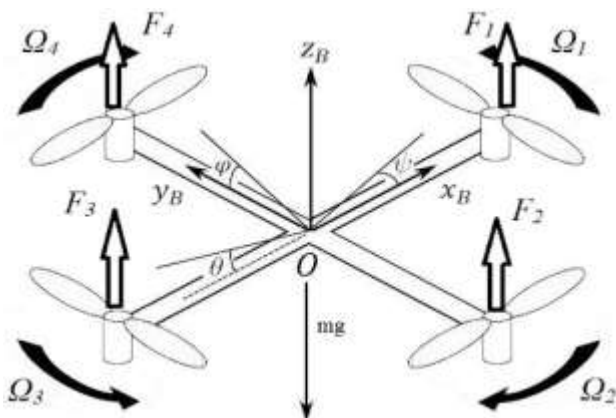


Рисунок 1.14 – Кінематична схема електропривода квадрокоптера

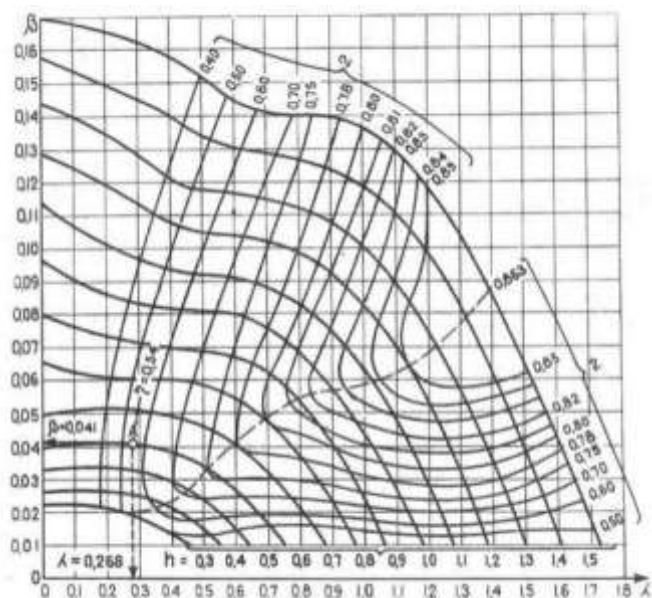


Рисунок 1.15 – Діаграма характеристик повітряних гвинтів

Таблиця 1.4 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	110ZYT78/H1
Номінальна потужність P_H , Вт	450
Номінальна швидкість обертання ω_n , рад / с	261
Номінальний момент M_n , Н · м	2,05
Номінальна лінійна напруга статора U, В	12
Номінальне діюче значення фазного струму статора I_n , А	48

Таблиця 1.5 – Характеристики повітряних гвинтів

$D, \text{ дюйм}$	λ	β	$\eta, \%$	h	$n, \text{ об/с}$	F, H	P, Bm	α
6	0.63	0.15	0.654	0.84	41.06	72.07	1171.41	0.21
6	0.34	0.062	0.6	0.21	75.12	83.88	1516.47	0.4
6	0.72	0.122	0.75	0.75	36.06	64.16	897.35	0.21
6	0.3	0.013	0.77	0.52	69.35	76.3	1223.61	0.5
6	0.2	0.126	0.56	0.56	40.18	47.6	649.67	0.21
6	0.522	0.054	0.7	0.83	60.58	58.32	820.81	0.6
7	0.55	0.15	0.65	0.84	30.59	86.38	1343.11	0.21
7	0.355	0.03	0.66	0.22	75.52	95.55	1458.88	0.4
7	0.41	0.033	0.7	0.3	41.8	93.3	453	0.054
7	0.421	0.13	0.76	0.15	63.3	80.53	1439.14	0.5
7	0.7	0.16	0.7	0.85	32.7	55.73	748.26	0.21
7	0.522	0.054	0.75	0.48	40.8	65.56	950.91	0.6
8	0.656	0.15	0.65	0.38	37.369	95.23	1459.62	0.21
8	0.35	0.2	0.655	0.21	69.44	105.89	1686.15	0.4
8	0.74	0.12	0.75	0.45	34.752	100.67	1294.62	0.21
8	0.42	0.3	0.76	0.235	60.45	115.38	1647.29	0.045

Вибір польотного контролера

Таблиця 1.6.— Основні характеристики контролера CubePilot



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд політного контролера CubePilot

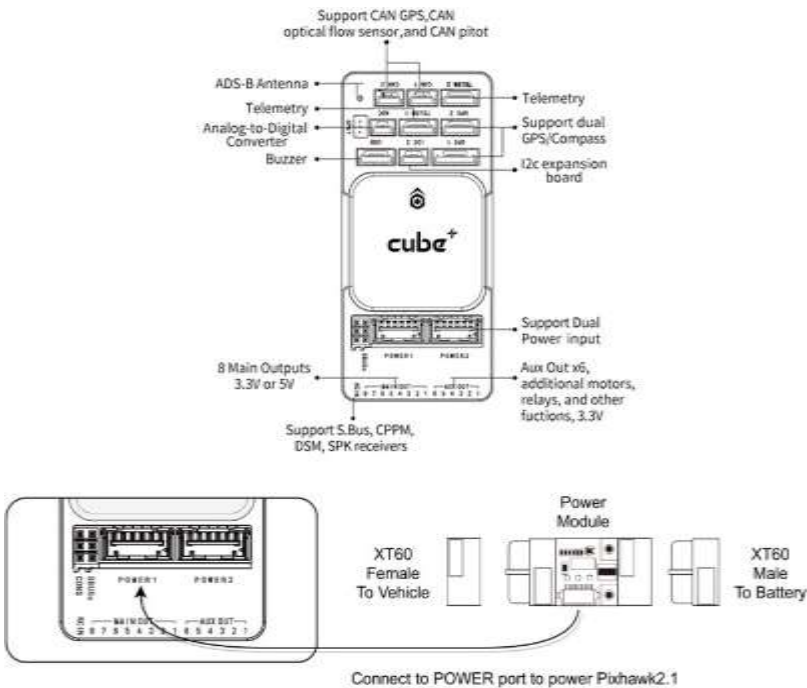


Рисунок 1.17 – Схема підключення контролера CubePilot в системі квадрокоптера

Найменування характеристики	Показники
Барометр (вбудований)	MS5611
Кількість PWM-виходів	14
Інтерфейс периферії	ADC CAN DigitalLED I2C S.BUS SPI SWD SmartAudio UART
Інтерфейс приймача	DSM PPM S.BUS
Протоколи обміну	DShot1200 Dshot150 Dshot300 Dshot600 Multishot OneShot125 Oneshot42 PWM PWM (колл. двигатели) Proshot1000
Кількість портів UART	6
Кількість портів I2C	2
Кількість портів SPI	2
Кількість портів CAN	2
OSD	зовнішній
USB порт	присутній
Сенсор струму	Зовнішній
Сенсор напруги батареї	зовнішній
Інтерфейс налагодження	4 — 5.7 В
BlackBox	MicroSD
Функції	Повернення додому Політ по точках Режим POI Утримання у точці Утримання висоти
Політ по компасу	Так
Живлення приймача від USB	ні
Основний контролер	STM32H7
Прошивка	ArduPilot

Розробка конструкції рами

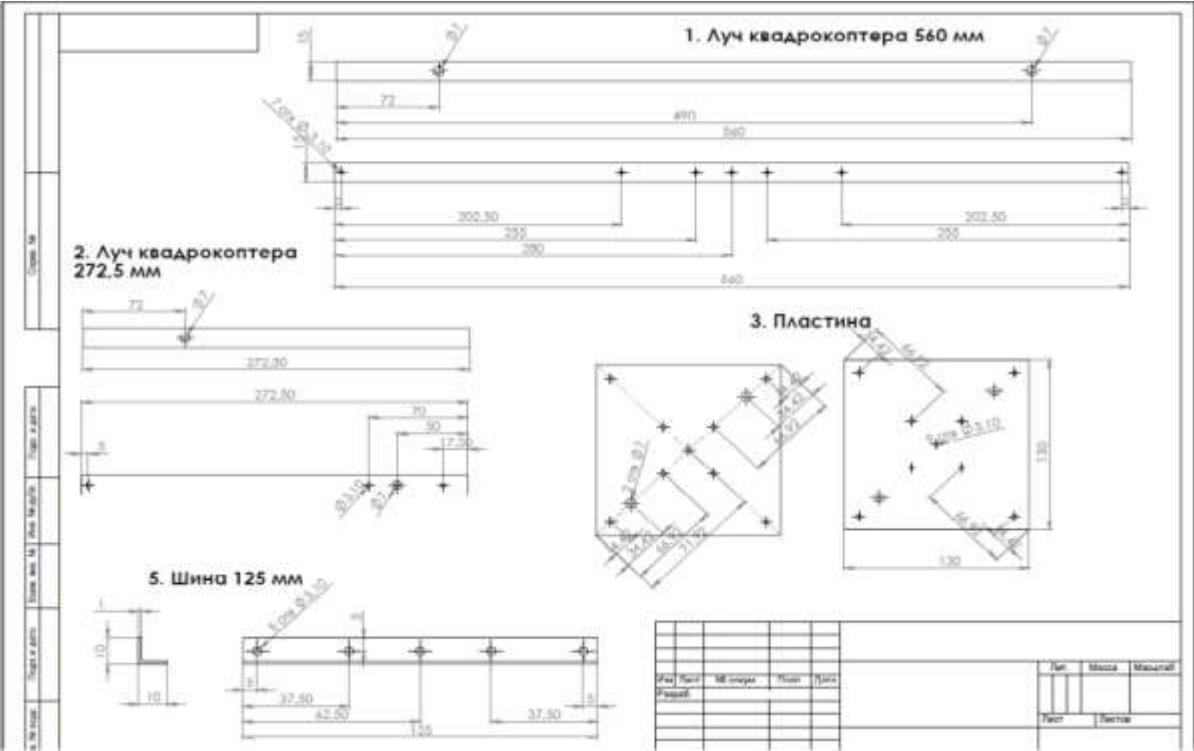


Рисунок 1.18 - Креслення коптера

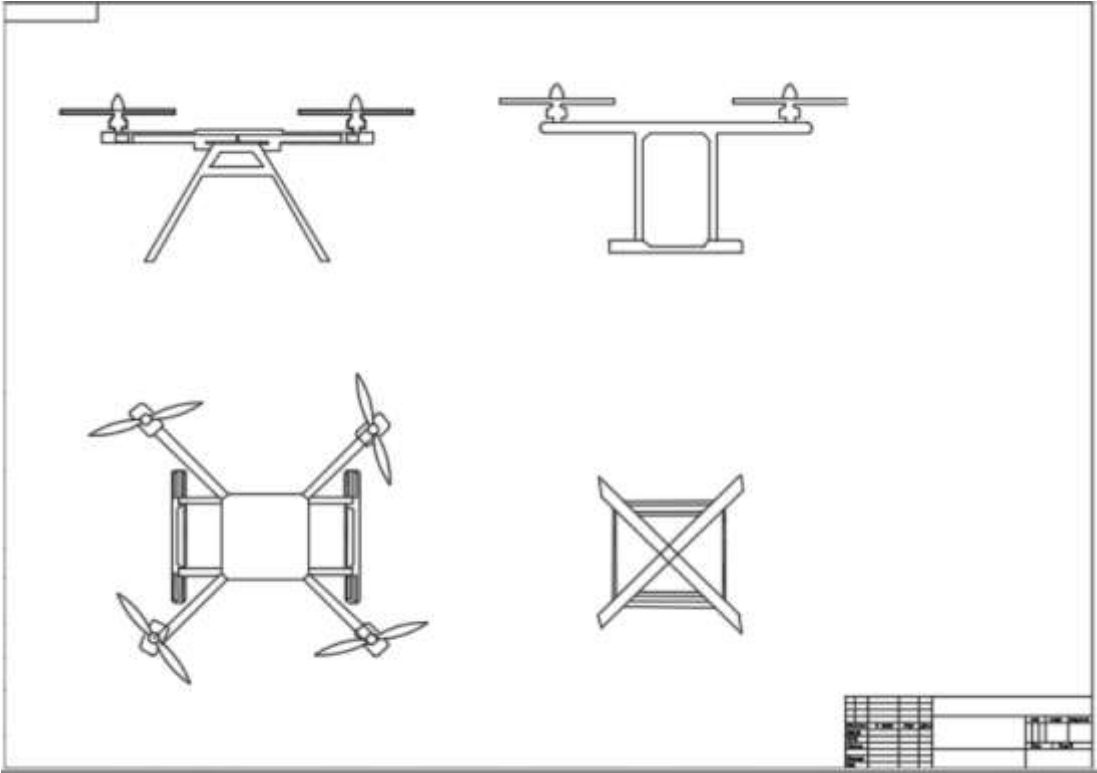


Рисунок 1.19- Креслення коптера

Розробка системи керування електромеханічної системи квадрокоптера

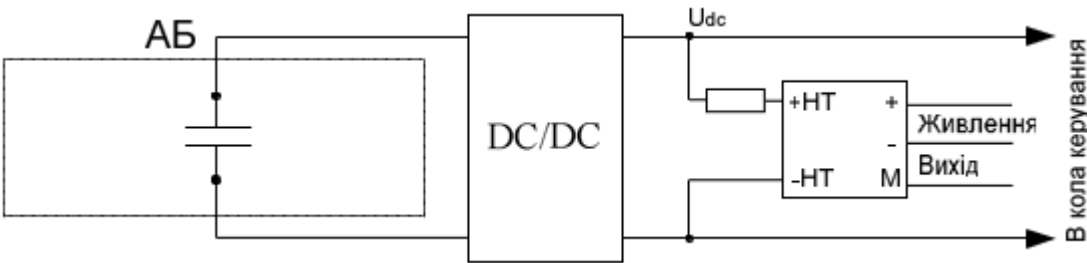


Рисунок 1.20 – Підключення кіл квадрокоптера до акумулятора

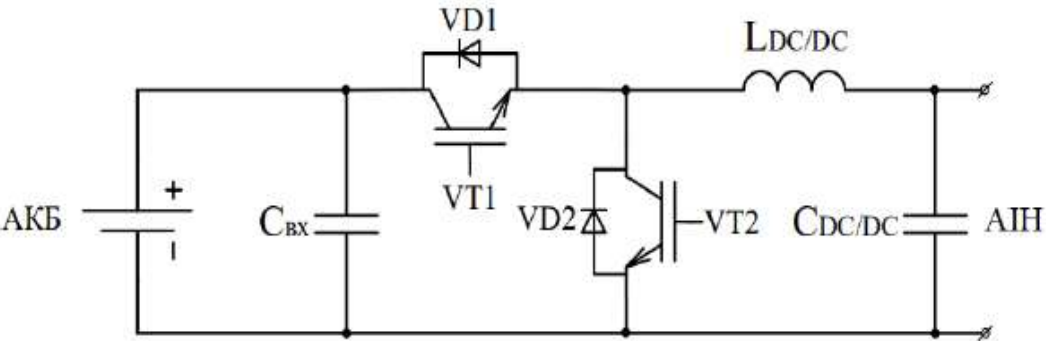


Рисунок 1.21 – Схема синхронного DC/DC перетворювача

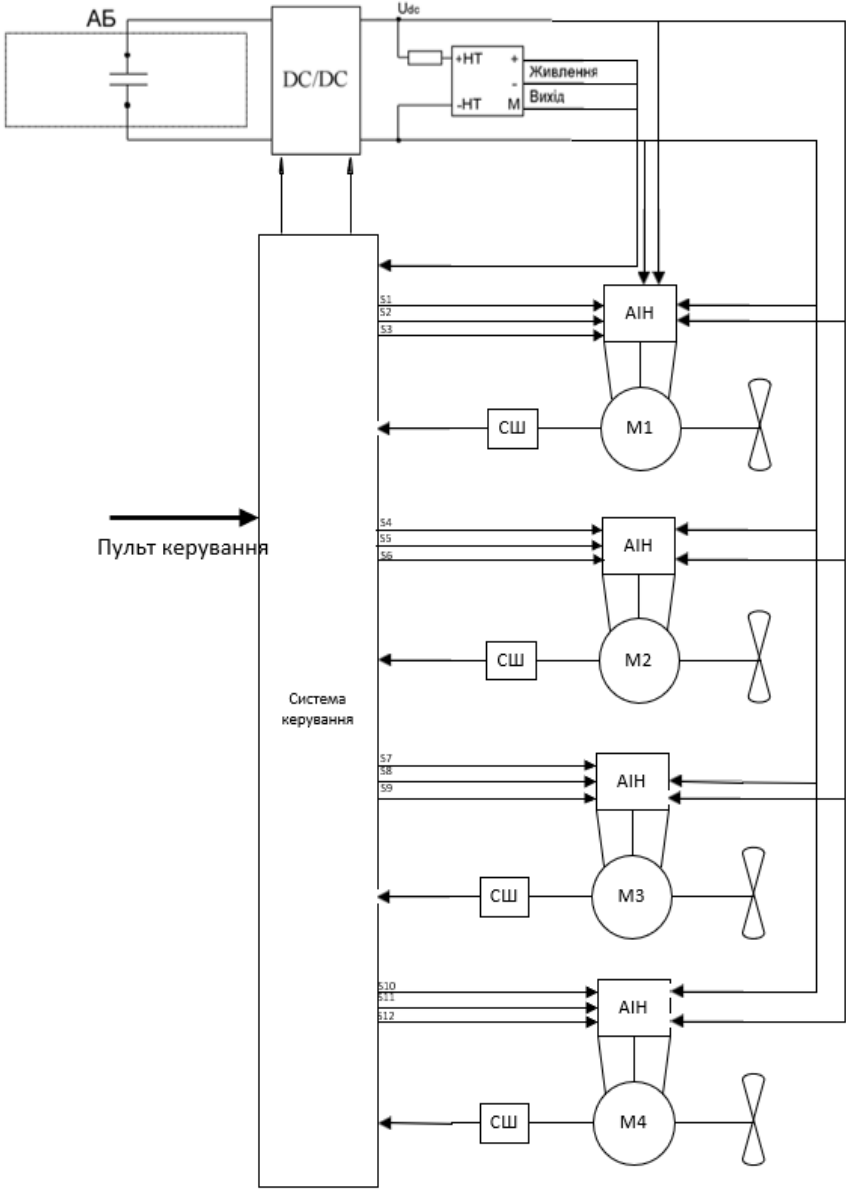


Рисунок 1.22 – Функціональна схема системи регулювання електропривода квадрокоптера

Схема електрична принципова

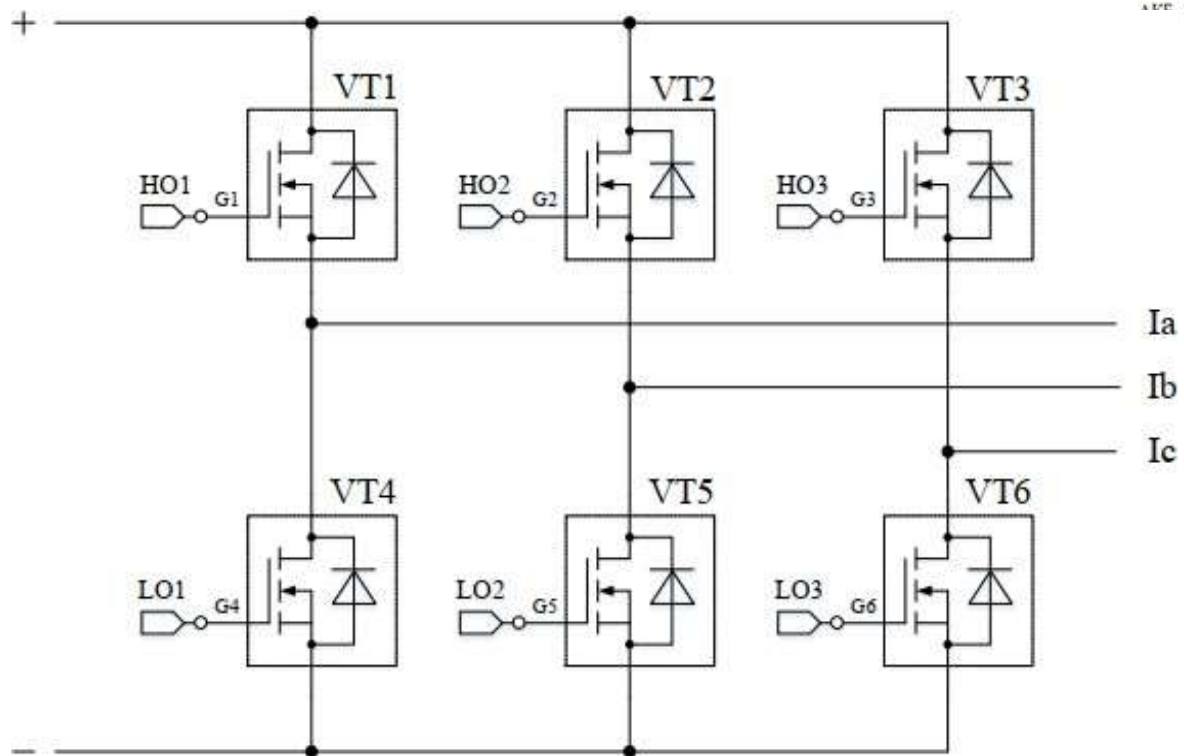


Рисунок 1.23 – Автономний інвертор напруги електропривода квадрокоптера

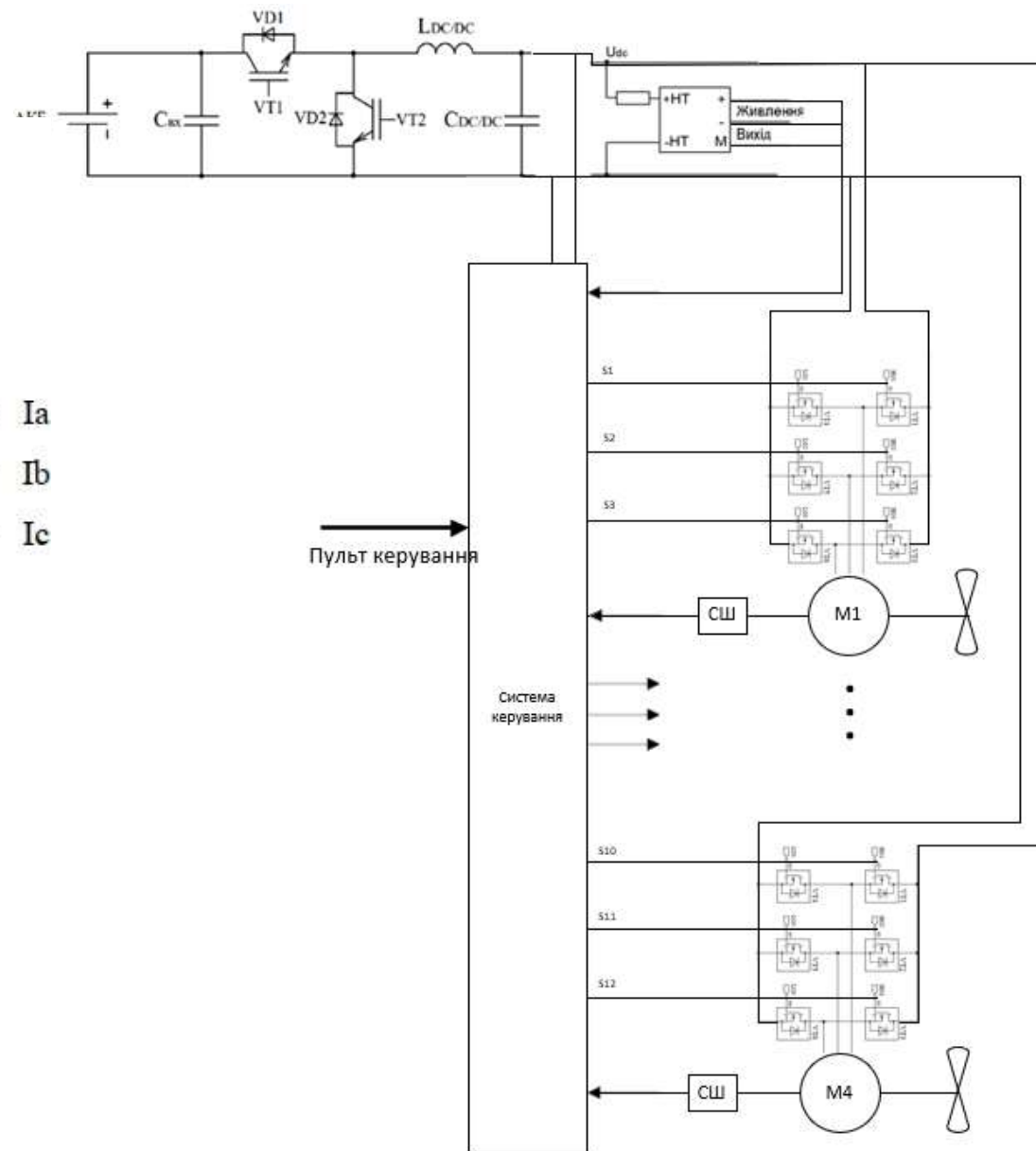


Рисунок 1.24 – Схема електрична принципова квадрокоптера

Розробка алгоритму оптимальних налаштувань в спеціалізованому програмному середовищі



Рисунок 1.25 – Вікно налаштувань Mision Planner

Таблиця 1.8 – П-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLL_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: необхідна кутова швидкість X в рад/с для помилки 1 рад	0,547
MC_PITCH_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Pitch». Коментар: необхідна кутова швидкість Y в рад/с для помилки 1 рад	0,765
MC_YAW_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Yaw». Коментар: необхідна кутова швидкість Z в рад/с для помилки 1 рад	0,744

Таблиця 1.7 – ПД-параметри регулятора швидкості

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,135
MC_ROLLRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,9
MC_ROLLRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Roll». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0036
MC_PITCHRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,254
MC_PITCHRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,7544
MC_PITCHRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Pitch». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0092
MC_YAWRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Yaw». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,415
MC_YAWRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,552
MC_YAWRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,00223

Таблиця 1.9 – П-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Roll» значення	850
MC_PITCHRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Pitch» значення	850
MC_YAWRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Yaw» значення	850

Висновки

У дипломній роботі на тему "Розробка навчального модульного квадрокоптера" було проведено всебічне дослідження та реалізацію проєкту, що охоплює основні аспекти розробки і впровадження навчальних БПЛА. Основні досягнення та висновки, отримані в ході виконання роботи, наведені нижче: Проведено аналіз основних вимог до навчальних квадрокоптерів, включаючи безпеку, надійність, модульність та простоту експлуатації. Вибрані та протестовані компоненти, які відповідають цим вимогам, зокрема контролери польоту, двигуни, пропелери та системи живлення. Спроєктовано модульну конструкцію квадрокоптера, що дозволяє легко змінювати компоненти для навчальних цілей. Використано легкі та міцні матеріали для створення рами, що забезпечує достатню стійкість та довговічність. Розроблено та інтегровано систему управління польотом на базі контролера Pixhawk, що забезпечує точність та надійність управління.

Впроваджено алгоритми стабілізації та автоматизованого польоту, що підвищують зручність використання квадрокоптера в навчальному процесі. Проведено серію тестових модельованих польотів для перевірки працездатності системи та внесення необхідних коригувань.

Виконано налаштування параметрів контролера польоту та системи стабілізації для досягнення оптимальних характеристик. Розроблено навчальні матеріали та методичні рекомендації для використання квадрокоптера в освітньому процесі. Результати роботи показують, що розроблений навчальний модульний квадрокоптер повністю відповідає поставленим вимогам і може бути ефективно використаний у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі безпілотних літальних апаратів. Отримані знання та досвід можуть бути основою для подальших досліджень і розробок у цій сфері.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Розробка навчального модульного квадрокоптера»

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. 1ЕМ-20Б

Науковий керівник: к.т.н., доц. Проценко Д.П.

(прізвище, ініціали, посада)

Оригінальність	94,0 %
Схожість	6,0 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

(підпис)

Печенюк О.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Проценко Д.П.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.011.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Розробка навчального модульного квадрокоптера	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Печенюк О.О.	<i>[Signature]</i>	28.05				
Перевішив		Проценко Д.П.	<i>[Signature]</i>	28.05				
Т. контр.								
Рецензент		Бабенко О.В.	<i>[Signature]</i>	10.06		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Подоляк	<i>[Signature]</i>	28.05		ВНТУ, гр. 1ЕМ-20Б		
Затверд.		Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	28.05				