

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

«Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно».
Назва теми

КвРКІ 180108.18.01.308 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-18-1


Підпис

Клясний Н.С
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

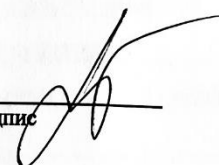
Бармак О.В.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.М. Лисенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та системного
програмування


Підпис

Т.О. Говорущенко
Ініціали, прізвище

« 1 » 06 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Клясному Назарію Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно.

Керівник проекту (роботи) Бармак О.В., д.т.н, професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 05.02.2022 р. №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру .

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Що потрібно знати перед тим, як розробляти безпілотний літальний апарат

Зборка апарату

Підготовка перед польотом

Будівництво безпілотного літального апарату

Програмно-технічний засіб керування

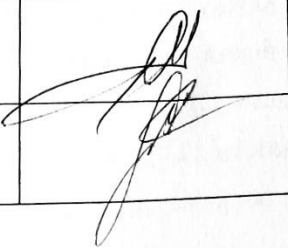

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Схеми апаратних з'єднань

Інтерфейси програмно-апаратного засобу

Блок-схеми програм

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІСП		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІСП		


7. Дата видачі завдання «__» _____ 2022 р.

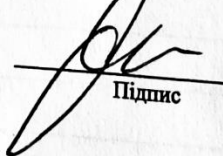
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	ВИКОНАНО
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2022	ВИКОНАНО
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2022	ВИКОНАНО
4	Робота над розділом 2 – проектування системи керування безпілотним апаратом	01.04.2022	ВИКОНАНО
5	Робота над розділом 3 – програмно-технічна реалізація керування безпілотним апаратом	30.04.2022	ВИКОНАНО
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	20.05.2022	ВИКОНАНО
7	Попередній захист ВКР	24.05.2022	ВИКОНАНО
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	03.06.2022	

Студент

Керівник проекту (роботи)


Підпис


Підпис

Н.С. Клясний
Ініціали, прізвище

О.В. Бармак
Ініціали, прізвище

№
Р
я
д
к
а

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно».

Автор роботи: Клясний Назарій Сергійович.

Керівник роботи: Бармак Олександр Володимирович

Пояснювальна записка: 62 с., 56 рис., 5 табл., 4 дод., 47 джерел.

Графічна частина: 8 презентаційних слайдів.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ,
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ARDUINO, МІКРОСХЕМА,
ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ.

Основна ідея проекту – створити недорогий квадрокоптер, який має автономне живлення та алгоритм стабілізації польоту на Arduino.

Метою кваліфікаційної роботи є створення недорогого квадрокоптера, який має автономне живлення та алгоритм стабілізації польоту на Arduino.

Об'єктом дослідження є процес керування літальним апаратом за допомогою спеціального датку та відстеження його розташування.

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно.




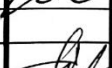

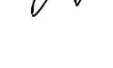
Підпис студента

01.06.2022

Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	4
ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯД ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ.....	7
1.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів	7
1.2 Ознаки для класифікації безпілотників	11
1.3 Огляд необхідних компонентів для розробки дронів	12
1.3.1 Види рам для безпілотників.....	12
1.3.2 Типи двигунів для розробки дронів	15
1.3.3 Вибір плати для керування	16
1.3.4 Акумулятор для безпілотника.....	19
1.3.5 Додаткові елементи для роботи дрону.....	21
1.4 Висновки. Постановка задачі	23
2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ АПАРАТОМ.....	24
2.1. Складання рами дрону.....	24
2.2. Керування безщітковим двигуном за допомогою Ардуїно	27
2.3. Калібрування електронного регулятора швидкості.....	30
2.4. Необхідні модулі для роботи дрона	31
2.4.1 GPS модуль NEO-6M.....	31
2.4.2 Гіроскоп L3GD20H.....	33
2.4.3 Модуль компасу HMC6352	35
2.4.4 Модуль акселерометру ADXL355.....	36
2.5. Підключення акумулятора	38
2.6. Висновки	39
3. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ.....	40

КвРКІ 180108.18.01.08 ПЗ				
Зм.	Арк	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Клясний Н.С		
Перевір.		Бармак О.В		
Н.контр.		Лисенко С.М.		
Затвер.		Говорущенко Т.О.		
Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуїно			Літера	Аркуш
			2	77
ХНУ, КІ-18-1				

3.1	З'єднання необхідних компонентів.....	40
3.1.1	Під'єднання модулів до Arduino.....	44
3.1.2	Під'єднання живлення до дрону.....	50
3.2	Оцінка вартості схеми.....	52
3.3	Додаток для керування пристроєм.....	54
3.4	Тестування системи керування додатку Blynk IoT.....	59
3.5	Висновки.....	65
	ВИСНОВКИ.....	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
	Додаток А Копія креслення «Схеми апаратних з'єднань».....	72
	Додаток Б Копія креслення «Інтерфейси програмно-апаратного засобу».....	73
	Додаток В Копія креслення «Блок-схеми програм».....	74
	Додаток Г Лістинг коду для керування безпілотним апаратом.....	75

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БПЛА – Літаючий пристрій без пілота-людини

UAS – Unnamed Aircraft System

UCAV – Unnamed Combat Aerial Vehicles

BLDC – Brushless DC motors

ESC – Electronic Speed Controller

ШИМ – Широтно-імпульсна модуляція

GPS – Global Positioning System

LiPo – Lithium-Ion Polymer Battery

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сьогодні використання безпілотних літальних апаратів позбавляє необхідності виконання робіт у небезпечних умовах, що виходять за межі фізичних та психофізіологічних можливостей людини, а також відкриває широкий спектр таких функцій, які раніше, можливо, не здавались можливими. Свідченням ефективності та раціональності застосування дронів є щотижневі (якщо не щоденні) повідомлення ЗМІ про успішне застосування дронів збройними силами різних країн у міжнародних конфліктах та інших сферах людської діяльності.

У зв'язку з цим можна зробити висновок що, тема дослідження про створення програмно-технічного засобу керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуїно, є актуальною.

У роботі наведено, процес створення програмно-технічного засобу для керування безпілотного літального апарату з використанням Ардуїно та інших технологій. Розроблено декілька прототипів дронів. У роботі показано, як побудувати дрон з нуля, а також модифікувати його для інших цілей, наприклад, безпілотники для слідування за вами, безпілотники для керування польотами, безпілотники для селфі, планерні безпілотники та гоночні безпілотники, дрони. Також наведено технології обслуговування дронів та розглянуті ситуації по усуненню неполадок.

У першому розділі передбачається провести аналіз та огляд теоретичних матеріалів, а також провести оцінку необхідних речей для створення безпілотного літального апарату.

У другому розділі буде проведено оцінка моделей, які мають бути використанні для конструювання і буде визначено з якими цілями будуть використані відповідні компоненти.

У третьому розділі буде детально описано реалізація схеми, а також додатку, який необхідний для керування безпілотним літальним пристроєм.

Метою кваліфікаційної роботи є створення недорогого квадрокоптера, який має автономне живлення та алгоритм стабілізації польоту на Arduino.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є процес керування літальним апаратом за допомогою спеціального датку та відстеження його розташування.

Предметом дослідження є програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуїно.

Під час реалізації передбачається використання різноманітних методів дослідження, таких як аналіз, синтез, а також моделювання.

Практичне значення полягає у проектуванні і програмно-технічного літальний апарат на базі Ардуїно.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯД ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

1.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів

БПЛА – це літаюча річ без пілота-людини. Тут під "річчю" мається на увазі літальний апарат. Для дронів існує система безіменних літальних апаратів (UAS), яка дозволяє спілкуватися з фізичним дроном та контролером на землі [1]. Дрони зазвичай керуються людиною-пілотом, але вони також можуть керуватися автономно за допомогою системи вбудованої в сам дрон. Отже, що робить UAS, так це здійснює зв'язок між UAS та БПЛА. Простіше кажучи, система, що здійснює зв'язок між дроном та контролером, що здійснюється за командами людини з наземної станції управління, називається як БПЛА [2]. Безпілотники в основному використовуються для того, щоб зробити щось там, куди людина не може потрапити або виконання місії, яка не під силу людині. Дрони використовуються в основному військовими, для наукових досліджень, сільського господарства, спостереження, доставки продуктів, аерофотозйомки, рекреації, керуванні дорожнім рухом, і, звичайно, для терористичних атак та контрабанди наркотиків, які не будуть обговорюватись в цій роботі [1-3].

Безпілотні літальні апарати можна поділити на наступні шість типів залежно від їх завдань [3]:

- 1) бойові;
- 2) логістика;
- 3) цивільні;
- 4) розвідка;
- 5) ціль і приманка;
- 6) дослідження та розробка.

Бойові дрони використовуються для атак у місіях із високим ризиком. Вони також відомі як безіменні бойові літальні апарати (UCAV). Вони несуть ракети для виконання місій [1]. Бойові безпілотники дуже подібні до літаків. Нижче наводиться рисунок 1.1 бойового безпілотника.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7



Рисунок 1.1 – Бойовий безпілотник [1]

Логістичні безпілотники використовують для доставки товарів або вантажів. Існує ряд відомих компаній, таких як Amazon та Domino's, які доставляють товари та піцу за допомогою безпілотників. За допомогою дронів легше доставляти вантажі, коли на вулицях багато транспорту, або коли транспортування по цьому маршруту наземним транспортом важкодоступне. На рисунку 1.2 показаний логістичний безпілотник [1-3].



Рисунок 1.2 – Схематичний приклад логістичного безпілотника [2]

Цивільні дрони призначені для загального використання, наприклад, для моніторингу сільського господарства, збору даних та аерофотозйомки полів, збір даних та ландшафтної зйомки [4-5]. На рисунку 1.3 зображено безпілотник для аерофотозйомки.



Рисунок 1.3 – Цивільний дрон [4]

Види безпілотників для розвідки також відомі як контррозвідувальні дрони. Дрон отримує завдання, виконує його автоматично та зазвичай повертається на базу самостійно, тому вони використовуються для отримання інформації від супротивника на полі бою. Такі дрони повинні бути маленькими і легко прихованими [1-3]. На рисунку 1.4 наведено схему розвідувального безпілотника.



Рисунок 1.4 – схема розвідувального безпілотника [2]

Види дронів для цілі і приманки схожі на бойові дрони, але різниця в тому, що бойовий безпілотник забезпечує атакуючі можливості для виконання високоризикованих завдань, а безпілотники-мішені та хибні цілі забезпечують наземну та повітряну артилерію, що імітує ракету або літак супротивника. Можна подивитися на наступний рисунок , щоб отримати уявлення про те, як виглядає безпілотник-мішень та безпілотник-обманка рисунок 1.5.

Типи безпілотників для дослідження та розробки використовуються для збору даних з повітря. Наприклад, деякі дрони використовуються для збору даних про погоду або для надання інтернету [4-6].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.5 – безпілотник-мішень [4]

Також можна класифікувати дрони за типами крил. Існує три типи дронів залежно від їх крил або механізму польоту [7]:

- 1) фіксоване крило;
- 2) однороторний;
- 3) мультиротор.

Дрон із фіксованим крилом має жорстке крило. Вони схожі на літаки. Ці типи дронів мають дуже гарний час автономної роботи, тому що вони використовують лише один двигун (або менше ніж у багатокрилих). Вони можуть літати на великій висоті. Вони можуть нести більшу вагу тому що вони можуть ширяти на повітрі для крил. Є також деякі недоліки [7-8]:

- 1) вони дорогі та вимагають гарного знання аеродинаміки;
- 2) вони часто ламаються, і для керування ними потрібне навчання;
- 3) на сайті запуск безпілотника утруднений, а посадка цих типів безпілотників складна.

Найважливіше, що потрібно знати про дрони з фіксованим крилом це те, що вони можуть рухатися лише вперед. Щоб змінити напрямок на ліве або праве, необхідно створити тиск повітря у крилі. У цій роботі буде сконструйований один безпілотник із фіксованим крилом [5-6].

Дрони з одним ротором схожі на гелікоптери. Вони міцні та пропелер сконструйований таким чином, що він допомагає як ширяти, так і міняти напрямки. Однороторні дрони можуть ширяти в повітрі тільки вертикально. Вони добре працюють від акумулятора, тому що споживають менше енергії, ніж багатороторні. Вантажопідйомність однороторних дронів хороша. Однак вони складні в управлінні. Їхні крило або пропелер можуть бути небезпечні, якщо вони ослабнуть [5-7].

Мультироторні дрони - найпоширеніші серед дронів. Вони класифікуються залежно від кількості крил, які вони мають, наприклад, трикоптер (три пропелери або ротори), квадрокоптер (чотири ротори), гексакоптер (шість роторів) та октокоптер (вісім роторів). Найбільш поширеним мультиротором є квадрокоптер. На сайті мультиротором легко керувати. Вони добре доставляють корисне навантаження. Вони можуть злітати і приземлятися вертикально, практично будь-де. Політ більш стабільний, ніж одиночного ротору чи фіксованого крила. Одним з недоліків мультиротора є споживання енергії. Оскільки вони мають кілька двигунів, вони споживають багато енергії [7].

1.2 Ознаки для класифікації безпілотників

Мультироторні дрони також можна класифікувати за структурою їхнього корпусу. Вони можуть бути відомі за кількістю використовуваних ними пропелерів. Деякі дрони мають три пропелери. Вони називаються трикоптерами. Якщо пропелерів чи роторів чотири, вони називаються квадрокоптерами. Існують гексакоптери та октакоптери з шістьма та вісьма пропелерами відповідно. Форми та розміри дронів залежать від їх призначення. Якщо потрібно доставити вантаж другий додому, можна використовувати мультиротор або один ротор [4-5]:

1) Ready to Fly (RTF) дрони не вимагають складання деталей після покупки. Користуватись таким дроном можна одразу. Безпілотники RTF відмінно підходять для початківців. Вони не вимагають складних налаштувань чи знань програмування [7];

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2) Bind N Fly (BNF) дрони не постачаються з передавачем. Це означає, що якщо купити передавач для іншого дрону, його можна пов'язати з цим типом дрону і літати. Проблема в тому, що стара модель передавача може не працювати з ними, а дрони BNF призначені для досвідчених пілотів, які вже літають, на дрони з безпекою, і у них є передавач для тестування з іншими дронами [3];

3) The Almost Ready to Fly (ARF) дрони поставляються з усім необхідним для польоту, але деякі деталі можуть бути відсутніми, що може завадити правильному польоту. Жартую! Вони поставляються з усіма деталями, але їх потрібно зібрати разом перед польотом. Під час збирання можна втратити одну або дві деталі. Тому будьте обережні, якщо купуючи безпілотники ARF [5]. Я завжди втрачаю гвинти або запасні дрібні деталі дронів під час збирання. З назви цих типів дронів можна зрозуміти, чому вони так називаються. Дрони ARF вимагають багато терпіння для складання та прив'язки для польоту. Будьте спокійні під час збирання. Не викидайте посібника з експлуатації, як я. У результаті можна зіткнутися або з кишеньковими гвинтами, або з нестачею гвинтів абордеталей.

1.3 Огляд необхідних компонентів для розробки дронів

1.3.1 Види рам для безпілотників

В принципі, рама дрону є найважливішим елементом конструкції дрону. Вона допомагає встановити мотори, акумулятор та інші деталі. Якщо хочеться побудувати коптер або планер, потрібно спочатку вирішити, яку раму купувати або будувати.

Наприклад, якщо обрати трикоптер, дрон буде меншим, кількість двигунів буде три, кількість пропелерів буде три, кількість ESC буде три, і так далі. Якщо обрати квадрокоптер, то для нього потрібно чотири з кожної із попередніх характеристик.

Для планерного дрону кількість деталей буде варіюватися. Тому вибір каркаса дуже важливий, оскільки мета створення дрону залежить від задачі потребника [6-7]. А скелет тіла дрону – це рама. У цьому підрозділі

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

будуватиметься квадрокоптер, тому що це дрон середнього розміру, і на ньому можна сконструювати все, що захочемо.

Якщо хочеться купити раму для дрону, є багато інтернет-магазинів, які продають готові рами для дронів. Перед покупкою обов'язково потрібно ознайомитись із технічними характеристиками [7].

При покупці рами, слід завжди перевіряти кріплення двигуна та інші гвинтові кріплення. Якщо неможливо міцно закріпити мотори - втратиться стабільність дрону у повітрі. Про аеродинаміку польоту дрону буде описано найближчим часом.

На наступному рисунку 1.6 показано кілька варіантів каркасів дронів. Усі вони вже готові та не вимагають жодних розрахунків для збирання [8].



Рисунок 1.6 – Готові варіанти каркасів дронів [8]

Також слід вибрати легкий, але міцний матеріал. Мій особистий вибір – вуглецеве волокно. Але якщо хочеться зекономити трохи грошей, можна купити міцні пластикові рами або акрилові рами. При купівлі рами будуть всі її частини у розібраному вигляді, як говорилося раніше [8].

На наступному рисунку 1.7 показано, як рамка буде надсилатись, якщо придбана в інтернет-магазині.

1.3.2 Типи двигунів для розробки дронів

Існує кілька типів двигунів, які використовуються для створення дронів. Але оскільки безпілотник повинен літати в повітрі, потрібно використовувати потужні двигуни. Дешеві, легкі, невеликі і потужні двигуни, що використовуються в дронах, - це безщіткові двигуни постійного струму (BLDC). Для невеликих дронів не використовуються двигуни BLDC, а замість них використовуються невеликі редукторні двигуни постійного струму [9].

Існує декілька типів регуляторів швидкості. Без використання контролеїв швидкості неможливо контролювати швидкість двигунів безпілотного апарату. Вони дозволяють керувати напругою та струмом двигунів і, отже, контролювати швидкість, яка є першочерговим завданням для переміщення дрону з одного місця до іншого після ширяння в повітрі. Необхідно збільшувати та зменшувати швидкість обертання двигуна (двигунів), щоб переміщати дрон вперед, назад, ліворуч або праворуч [9-10].

З'єднання між платою контролера дрону та ESC (рисунок 1.8), а також батареєю/розподільним щитом живлення (рисунок 1.9), що буде детальніше показано в другому розділі проектування системи керування дроном.



Рисунку 1.8 – Електронний регулятор швидкості [9]

1.3.3 Вибір плати для керування

Плата керування – це одна з найважливіших речей для управління дроном із землі. На ринку представлено безліч плат управління польотом. Деякі з них з відкритим вихідним кодом, а деякі – ні. У наступному списку представлені найвідоміші та висококласні плати управління польотом [11-13]:

- 1) KK 2.0;
- 2) CC3D;
- 3) Naze32;
- 4) KISS;
- 5) ArduPilot;
- 6) Vector;
- 7) 3DR Pixhawk;
- 8) DJI Nava M;
- 9) LUX flight controller;
- 10) Arduino UNO;
- 11) DJI A3.

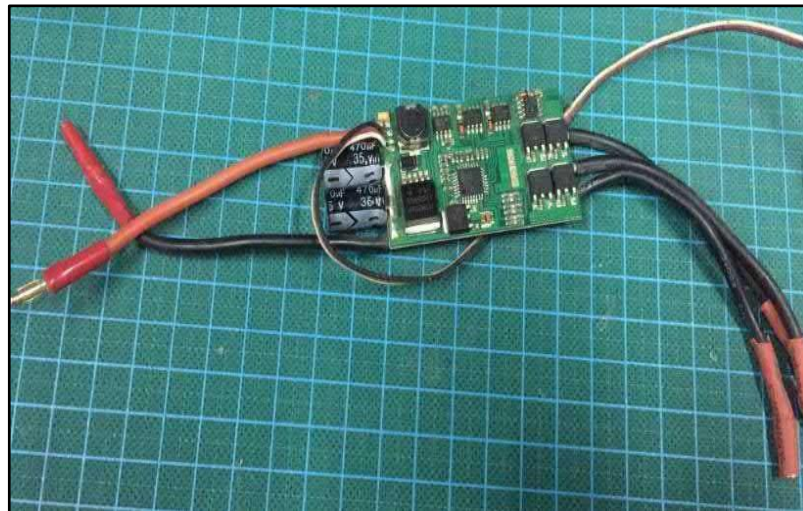


Рисунок 1.9 – Розподільний щит живлення [10]

ArduPilot, що зображено на рисунку 1.10 є одним з кращих польотних контролерів для дронів з наступних причин [13-15]:

- 1) вона має безкоштовну систему автопілота з відкритим вихідним кодом, що підтримує різні типи;
- 2) він підтримує сотні 3d дорожніх точок;
- 3) він дозволяє виконувати автономний зліт, посадку та керування камерою;
- 4) має 4 мб вбудованої пам'яті для реєстрації даних;
- 5) вбудований апаратний стійкий до відмови процесор;
- 6) він дуже простий у налаштуванні.

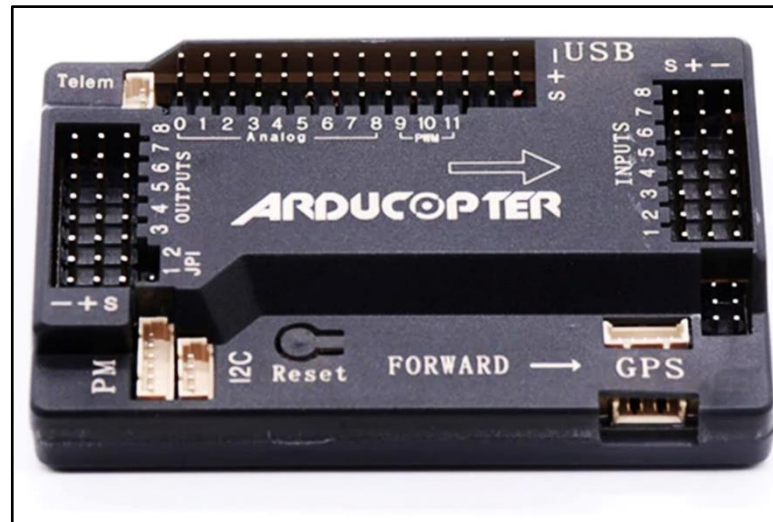


Рисунок 1.10 – ArduPilot [11]

Передавач надсилає сигнал на приймач. Приймач приймає цей сигнал і діє відповідно до команди передавача. Оскільки безпілотник ширяє в небі, йому потрібно посилати сигнали, щоб наказати дрону рухатися чи щось робити. Тому для роботи потрібні передавач та приймач. Існує безліч передавачів та приймачів [15]. На сайті передавач виглядає як пульт дистанційного керування, яким керує пілот дрону, а приймач підключений до польотного контролера. Таким чином, якщо пілот віддає команди з передавача, дрон отримує їх через приймач, а польотний контролер обробляє сигнал і виконує дії відповідно до команди пілота.

Naze32 (рисунок 1.11) – польотний контролер для мінікоптерів. Особливості плати полягають в наступному [11-14]:

- 1) виходи, що настроюються, на мотори. Підтримуються такі типи: Квадро/Гекса/Три/Бі/У4/У6/Окто/Стабілізація камери. (За замовчуванням – Х-Квадрокоптер (Quad-X));
- 2) до 8 вхідних радіоканалів. Підтримуються стандартні приймачі (PPM), приймачі типу PPM Sum (FrSky, наприклад), а також приймачі-сателіти Spektrum;
- 3) вбудований інвертор телеметрії FrSky (разом з основним портом);
- 4) контроль напруги батареї;
- 5) сучасний 32-бітний процесор, запущений на 3.3В/72МГц (STM32F103CB);
- 6) бортовий роз'єм MicroUSB для налаштування та конфігурації;
- 7) яскраві світлодіоди на борту;
- 8) сумісне з MultiWii програмне забезпечення для легкого налаштування;
- 9) версія плати – rev5.

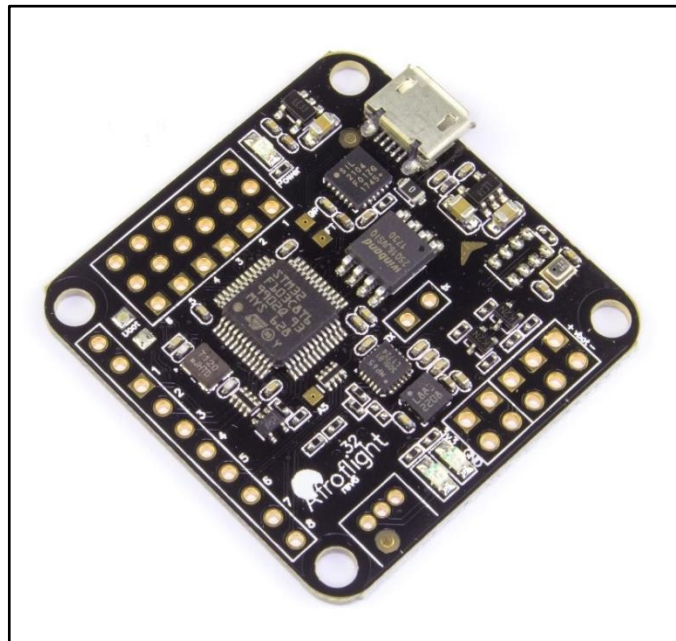


Рисунок 1.11 – Naze32 [11]

Для керування літальним апаратом можна використати також Arduino UNO (риунок 1.12). Це недорога, гнучка та проста у використанні програмована плата мікроконтролера з відкритим вихідним кодом, яку можна інтегрувати в різноманітні електронні проекти. Цю плату можна підключати до інших плат

Arduino, щитів Arduino, плат Raspberry Pi і може керувати реле, світлодіодами, сервоприводами та двигунами як вихід [11-13].

Arduino UNO оснащений мікроконтролером AVR Atmega328, 6 контактами аналогового входу і 14 цифровими контактами вводу [11].

Ця плата містить інтерфейс USB, тобто USB-кабель використовується для підключення плати до комп'ютера, а програмне забезпечення Arduino IDE (Інтегроване середовище розробки) використовується для програмування плати [12].

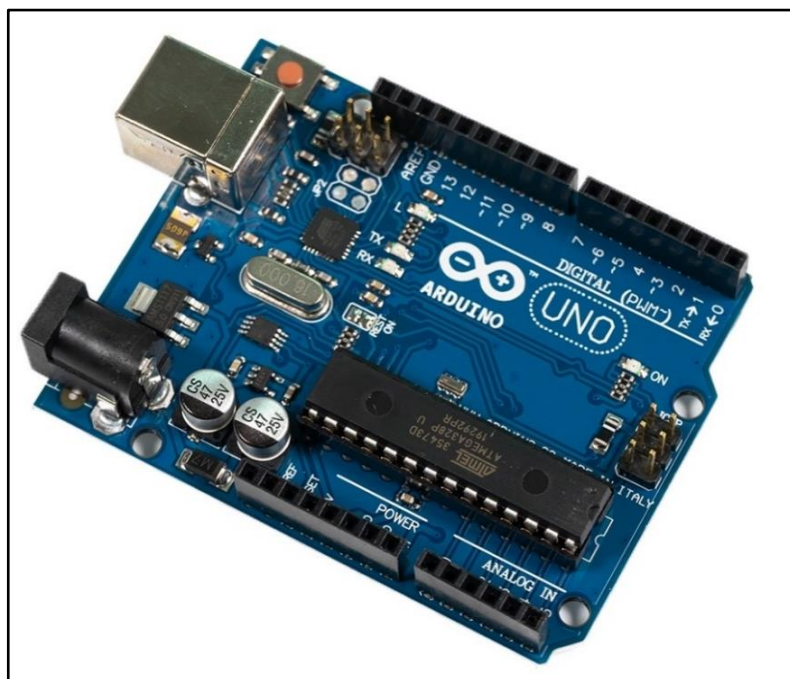


Рисунок 1.12 – Arduino UNO [11]

Пристрій поставляється з 32 КБ флеш-пам'яті, яка використовується для зберігання кількості інструкцій, тоді як SRAM становить 2 КБ, а EEPROM – 1 КБ [11].

Робоча напруга пристрою становить 5 В, що проектує мікроконтролер на платі та пов'язані з ним схеми працюють при напрузі 5 В, тоді як вхідна напруга коливається від 6 В до 20 В, а рекомендована вхідна напруга – від 7 В до 12 В [13].

1.3.4 Акумулятор для безпілота

Дрон марний без акумулятора. Всі двигуни, контролери польоту, радіо та обробка даних вимагають живлення. Але використовувати важку батарею для польоту дрону – не наймудріше рішення, тому, що більшість енергії буде витрачено на тягу дрону до польоту. Тому необхідно вибирати легкі, але потужні батареї [16-18]. У дронах зазвичай використовуються літій-полімерні батареї.

Вибір правильної батареї для дрону – один із найважливіших моментів. Перш ніж вибрати акумулятори для дрона, слід звернути увагу на такі моменти [16]:

- 1) розмір та вага батареї;
- 2) швидкість розряду акумулятора;
- 3) ємність акумулятору;
- 4) напруга акумулятора;
- 5) роз'єм акумулятора.

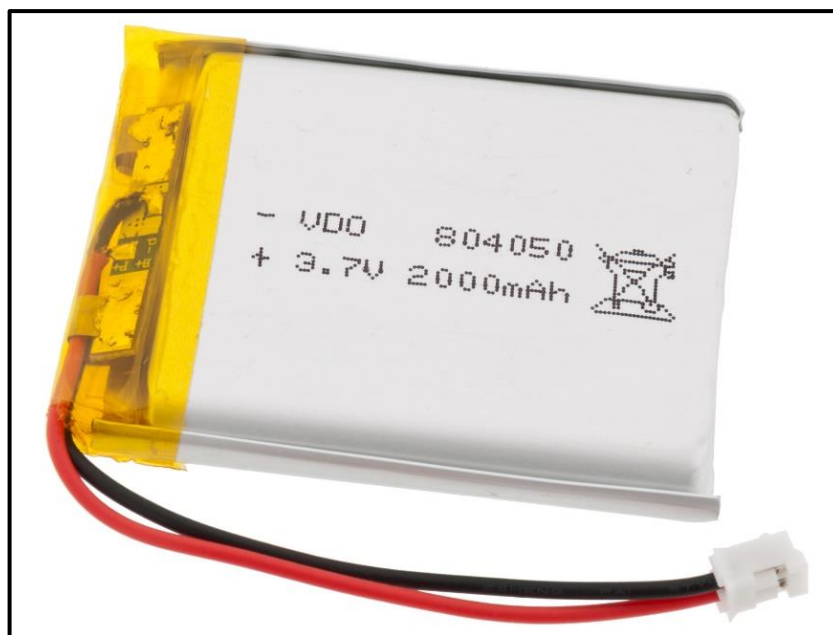


Рисунок 1.13 – LiPo батарея для дрону [16]

Можна легко розрахувати безперервну віддачу струму батареї за допомогою наступної формули. Якщо струм дорівнює I , ємність батареї дорівнює C , а швидкість розряду дорівнює D , тоді миттєве споживання струму дорівнює добутку C , X та D [17].

Тому необхідно завжди обирати батареї найбільшої ємності, залежно від розміру та ваги батарей. LiPo, або літій-полімерний акумулятор, має осередки. Допустимо, в батареї три осередки, кожен з яких має ємність 5 000 mAh, і рейтинг розряду складає 10 C. Таким чином, споживаний струм становить 50 А.

Тут мАч перевелось в Ач шляхом розподілу на 1000. На наступному рисунку 1.13 показані LiPo батареї для дрону.

1.3.5 Додаткові елементи для роботи дрону

Для вибору пропелерів для дрону, необхідно обирати найлегші, але щоб вони були достатньо міцними. Також слід пам'ятати, що пропелери мають бути збалансовані з обох боків. Більшість невдалих польотів дронів відбувається через несправність пропелерів. Тому обирати їх потрібно ретельно. Слід завжди вибирати пропелери правильного розміру. Можна подивитись посібник з експлуатації двигуна, щоб вибрати найбільш відповідний розмір [19-21]. На рисунку 1.14 показані різні типи пропелерів.



Рисунок 1.14 – Різні види пропелерів [19]

Зарядні пристрої необхідні для заряджання LiPo акумуляторів. Існує безліч зарядних пристроїв для LiPo на ринку. Купувати їх необхідно опираючись на

інструкцію до акумулятора. Рекомендується купувати балансний зарядний пристрій, який дозволяє заряджати батарею з балансом для всіх елементів [20].

Рознімання - це найважливіші речі для живлення та інших частин дрону. Якщо рознімання втраяться, з дроном може статися нещасний випадок. Тому купувати рознімання необхідно з особливою обережністю відповідно до системи розподілу живлення дрону.

Також необхідно правильно припаяти роз'єми до батарей, ЕСК та інших частин дрону. Необхідно придбати кульові роз'єми [21], XT60 або Т-подібні роз'єми та використовувати їх там, де вони підходять, що зображені на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 – Кульові роз'єми [19]

Також потрібно розглянути модулі, що дозволяють зробити дрон розумнішим. Існують і інші модулі, що дозволяють зробити дрон ще розумнішим, такі як GPS, модуль Wi-Fi (наприклад, ESP8266), контролери батареї, антени дальності польоту, антени збільшення дальності тощо.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Розподільна плата живлення дрону дозволяє його компонентам отримувати відповідний струм та ідеальну напругу. У нас буде чотири ЕСК; можна купити розподільну плату для подачі струму на всі ESC [22]. На рисунку 1.16 показано плату розподілу живлення дрону.

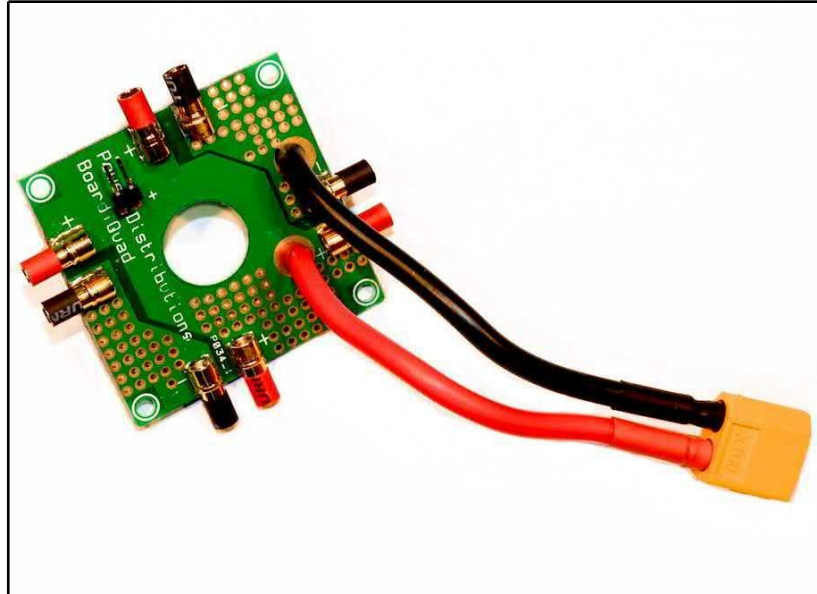


Рисунок 1.16 – Плата розподілу живлення [22]

1.4 Висновки

У розділі було проаналізовано програмно-технічні засоби та складові для створення та керування безпілотними літальними апаратами.

В кваліфікаційній роботі потрібно розв'язати наступну задачу: побудувати програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуїно.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ АПАРАТОМ

2.1 Складання рами дрону

Складання рами дрону вимагає великого терпіння, і необхідно слідувати інструкції з експлуатації, якщо робити це вперше. Для довідки, у цій роботі збиратиметься рама дрону від HobbyKing (S500). Усередині коробки є необхідні предмети, які показані на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Деталі дрону від HobbyKing [23]

Що знаходиться всередині [23]:

- 1) чотири рамкові кронштейни (два сині і два чорні, якщо купується синій колір);
- 2) чотири пластини для ніг;
- 3) два стрижні для кріплення до основи;
- 4) одна верхня пластина;
- 5) одна нижня пластина для кріплення силових ліній;
- 6) і багато гвинтів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ

Арк

24

Для початку необхідно з'єднати деталі, як показано на рисунку 2.2. Для затягування гвинтів використовується викрутка. Не слід тримати гвинти незатягнутими або нахиленими. Тепер підключаються двигуни.

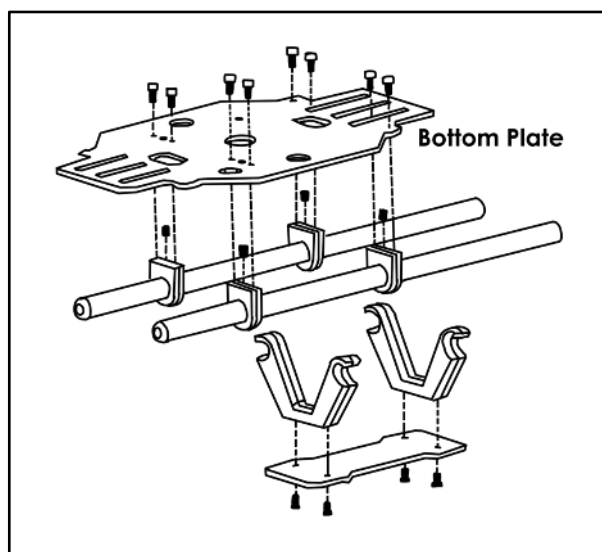


Рисунок 2.2 – Схема з'єднання деталей [24]

Для підключення двигунів необхідно встановити двигун на кронштейн рами та закріпити гвинтами, як показано на рисунку 2.3, переконавшись, що гвинти не затягнуті якнайсильніше, не зламавши кронштейн рами.

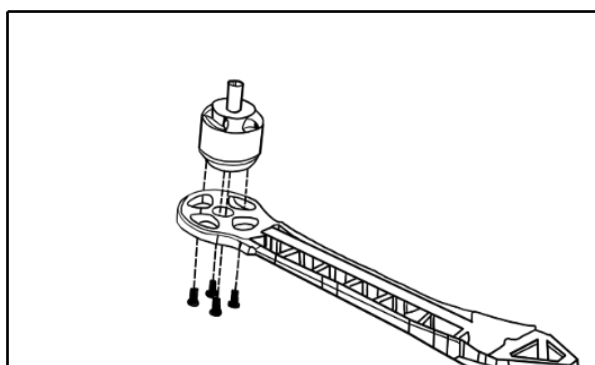


Рисунок 2.3 – Схема підключення двигунів [24]

BLDC має три дроти, що виходять із двигуна. Потрібно припаяти кульовий роз'єм до них, щоб підключити до ESC. Тепер підключити решту трьох двигунів до кронштейнів рами.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Підключення ESC - одне з найважливіших завдань при створенні квадрокоптера або будь-якого іншого дрону. Можна купити чотири ESC або ESC "чотири в одному". Пропонується використовувати ESC "чотири в одному", який легше та простіше у використанні.

Якщо використовується один ESC, необхідно підключити дроти двигуна до ESC, як показано на рисунку 2.4. З'єднання двигуна та ESC не має значення, тому що дроти служать тільки для зміни фази [24-26].

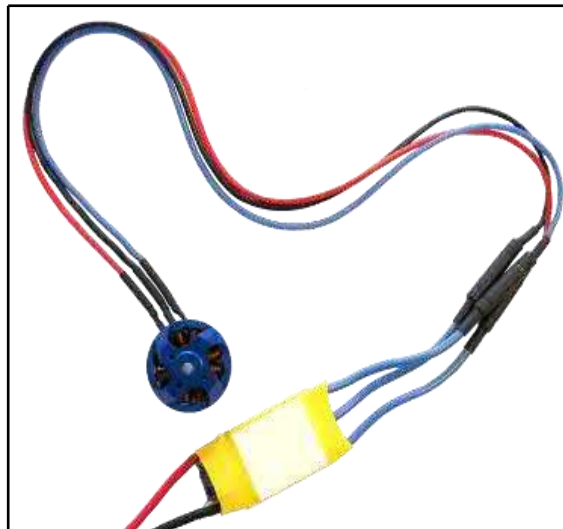


Рисунок 2.4 – Підключення дротів двигуна [26]

Якщо використовувати ESC "чотири в одному", з'єднання також практично однакові. В роботі використовується Multirotor ESC "чотири в одному" від EMAX.

Дванадцять проводів буде підключено до чотирьох двигунів BLDC. Розглянемо конфігурацію дротів. Одиночний ESC має вісім дротів. Три дроти йдуть до двигуна BLDC, два дроти йдуть до блоку живлення, три проводи, що залишилися, призначені для сигналу, заземлення і живлення [26-28]. Якщо конфігурувати ESC за допомогою Ардуїно, схема виглядатиме як на рисунку 2.5.

Для підключення Ардуїно не використовується кабель живлення ESC. Основним дротом є сигнальний кабель. Його використовують для імітації обертання сердечника двигуна. Якщо використати Ардуїно як основну плату управління дрону, то потрібно підключити всі ESC, як показано на попередньому малюнку, вибираючи різні сигнальні контакти.

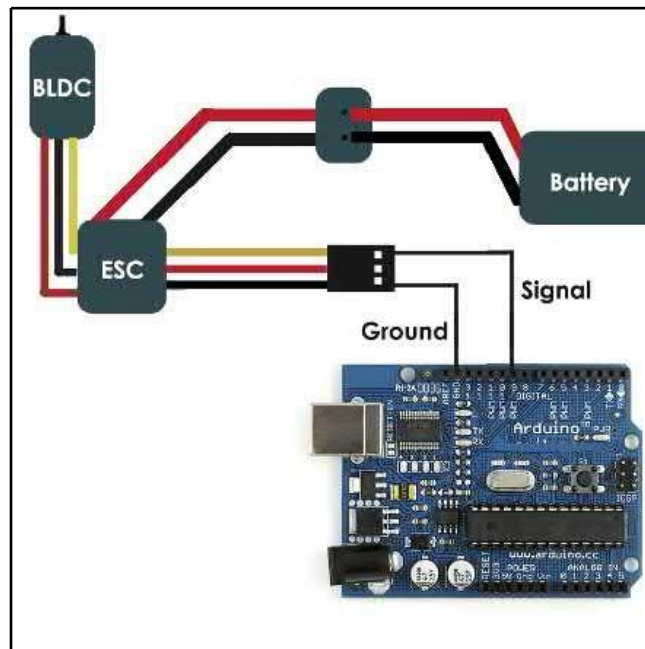


Рисунок 2.5 – Схема конфігурації ЕСК

2.2 Керування безщітковим двигуном за допомогою Ардуїно

Одне з головних завдань робототехніки - артикуляція предметів. Для цього дуже часто використовують електродвигуни. У випадку літаючих роботів, таких як дрони, приводам потрібна висока швидкість обертання, щоб повернути пропелери і дозволити політ. У цьому випадку часто використовуються безщіткові двигуни. Саме тому було прийнято рішення використати його у даній роботі.

Особливість безщіткового двигуна полягає в тому, що він може досягати дуже високих швидкостей порівняно з іншими типами двигунів з меншим крутним моментом, звичайно.

Безщіткові двигуни - це двигуни з трьома обмотками, які називаються трифазними двигунами [28-30]. Це означає, що він створює безперервне обертання [28], коли струми на цих обмотках зміщуються, що зображено на рисунку 2.6.

Генерація профілів струму на кожній котушці, щоб отримати бажану швидкість, вимагає використання регулятора швидкості (так званого ESC, Electronic Speed Controller) [27], який зображено на рисунку 2.7, для перетворення команди ШІМ у швидкість обертання.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

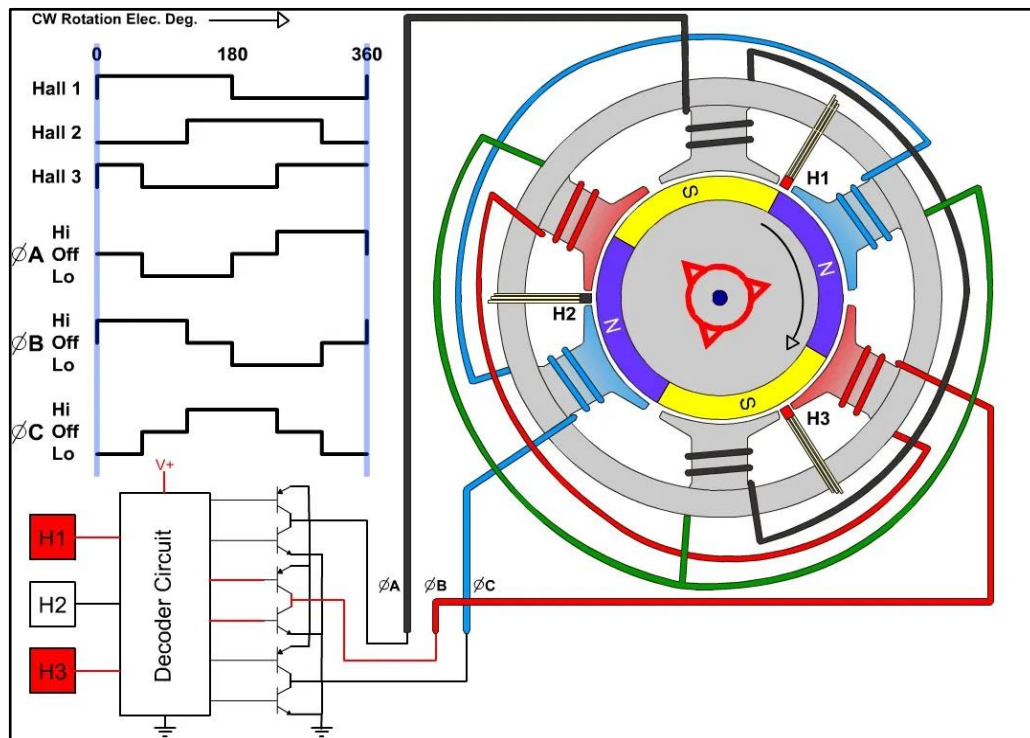


Рисунок 2.6 – Принцип дії безщіткового двигуна [29]

Для належної роботи двигуна потрібен великий струм, тому ESC буде живитися від джерела живлення, зовнішнього по відношенню до мікроконтролера. Елемент керування ESC підключений до слоту ШІМ на мікроконтролері.



Рисунок 2.7 – Електронний регулятор швидкості [30]

Для належної роботи двигуна потрібен великий струм, тому ESC буде живитися від джерела живлення, зовнішнього по відношенню до мікроконтролера. Елемент керування ESC підключений до слоту ШІМ на мікроконтролері [30-32].

Для програмування потрібно спочатку визначити бібліотеку сервоприводів, тому що тому що за допомогою неї можна легко генерувати ШІМ-сигнал 50 Гц, інакше ШІМ-сигнали, які генерує Ардуїно, мають різні частоти.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Потім слід створити сервооб'єкт для керування ESC і визначити змінну для зберігання аналогового входу з потенціометра. У розділі налаштування за допомогою функції `attach()` буде визначено, до якого контакту Arduino керуючий сигнал підключеного ESC, а також визначено мінімальну та максимальну ширину імпульсів ШІМ-сигналу в мікросекундах.

Кожного разу, коли код запускається, ESC повинен виконувати певну процедуру для правильної ініціалізації. Ця процедура описана у функції `initProcedure()` і складається з послідовності команд ШІМ протягом певного часу (відповідає сигналам від пультів дистанційного керування).

У розділі циклу спочатку буде зчитуватися потенціометр, відобразити його значення слід від 0 до 1023 у значення від 0 до 180.

Потім за допомогою функції `write()` потрібно надіслати сигнал на ESC або згенерувати сигнал ШІМ 50 Гц. Значення від 0 до 180 відповідають значенням від 1000 до 2000 мікросекунд, визначеним у розділі налаштування [32-34].

Отже, якщо завантажити код на Ардуїно, а потім підключимо все, використовуючи батарею, то можна буде контролювати швидкість безщіткового двигуна від нуля до максимуму.

Для того щоб перевірити чи працює двигун, слід для початку увімкнути Ардуїно і запустити код, якщо чути звуки ESC, які повідомляють вам про хід ініціалізації (два коротких і один довгий гудок), тоді все добре.

Однак тут є кілька речей, на які потрібно звернути увагу. Під час початкового живлення двигуна значення сигналу має бути таким же або нижчим за мінімальне значення в 1 мілісекунду. Тому двигун подає звуковий сигнал для підтвердження роботи.

У випадку, якщо значення більше під час подачі живлення, що означає, що слід підвищити газ, бо ESC не запустить двигун, доки не буде зменшено його до правильного мінімального значення. Це дуже зручно з точки зору безпеки, тому що двигун не запуститься, якщо є дросель під час подачі живлення.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.3 Калібрування електронного регулятора швидкості

Далі слід розібратися з калібруванням ESC (електронного регулятора швидкості). Кожен ESC має свої високі та низькі точки, і вони можуть дещо відрізнятись. Наприклад, нижня точка може становити 1,2 мілісекунди, а висока — 1,9 мілісекунд [33]. У такому випадку дросельна заслінка не буде робити нічого в перші 20%, поки не досягне нижнього значення в 1,2 мілісекунди.

Щоб вирішити цю проблему, можна відкалібрувати ESC або встановити верхню і нижню точки, як це зображено на рисунку 2.8.

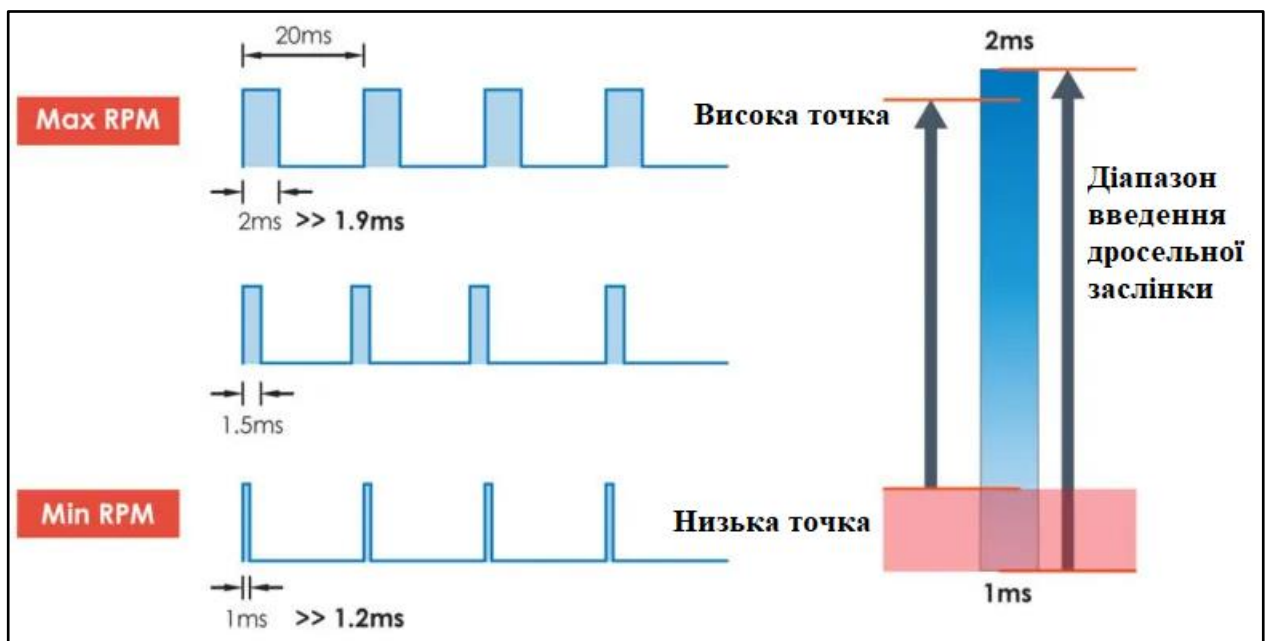


Рисунок 2.8 – Встановлення високої та низької точки

Для цієї мети, перш ніж включити ESC, спочатку потрібно буде збільшити потенціометр до максимуму або значення, що принаймні більше, ніж поточна середня точка [33]. Тоді можна буде включити ESC, і буде чути кілька звукових сигналів від двигуна, які фактично підтверджують, що було встановлено нову високу точку.

Потім через 2 секунди слід перемістити потенціометр у положення, де буде нова нижня точка. І знову буде чути звукові сигнали підтвердження, і на цьому

калібрування ESC буде закінчено. У підсумку дросельна заслінка буде реагувати відразу, і можна буде керувати двигуном у цих нових двох точках.

2.4 Необхідні модулі для роботи дрона

2.4.1 GPS модуль NEO-6M

Для того щоб надати можливість проекту Ардуїно визначати місцеположення слід використати GPS модуль. У даній реалізації буде використано модель NEO-6M, яку зображено на рисунку 2.9.

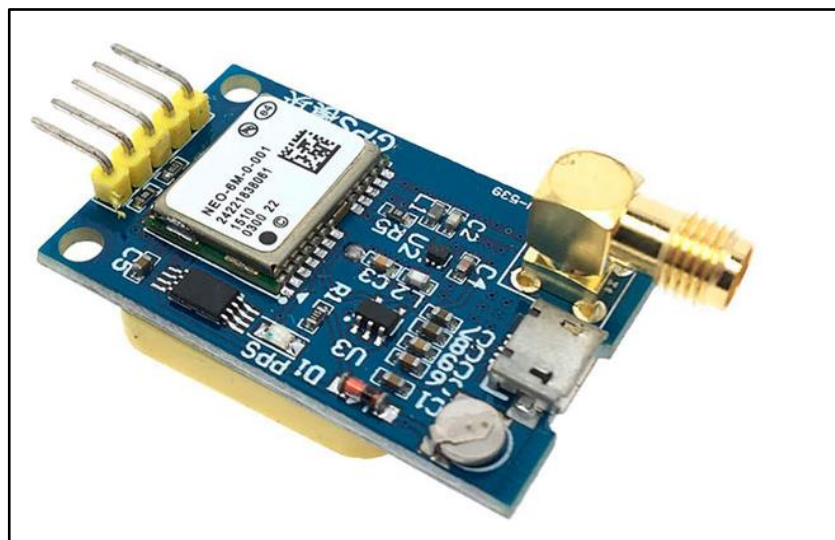


Рисунок 2.9 – GPS модуль NEO-6M [34]

Приймачі GPS насправді працюють, з'ясовуючи, наскільки вони віддалені від ряду супутників [35]. Вони заздалегідь запрограмовані, щоб знати, де в будь-який момент часу знаходяться супутники GPS, що зображено на рисунку 2.10.

Супутники передають інформацію про своє положення та поточний час у вигляді радіосигналів до Землі. Ці сигнали ідентифікують супутники та повідомляють приймачу, де вони розташовані.

Потім приймач обчислює відстань від кожного супутника, з'ясовуючи, скільки часу знадобилося для надходження сигналів. Отримавши інформацію про те, як далеко розташовані принаймні три супутники та де вони знаходяться в

космосі, він зможе точно визначити ваше місцезнаходження на Землі. Цей процес відомий як трилатерація.

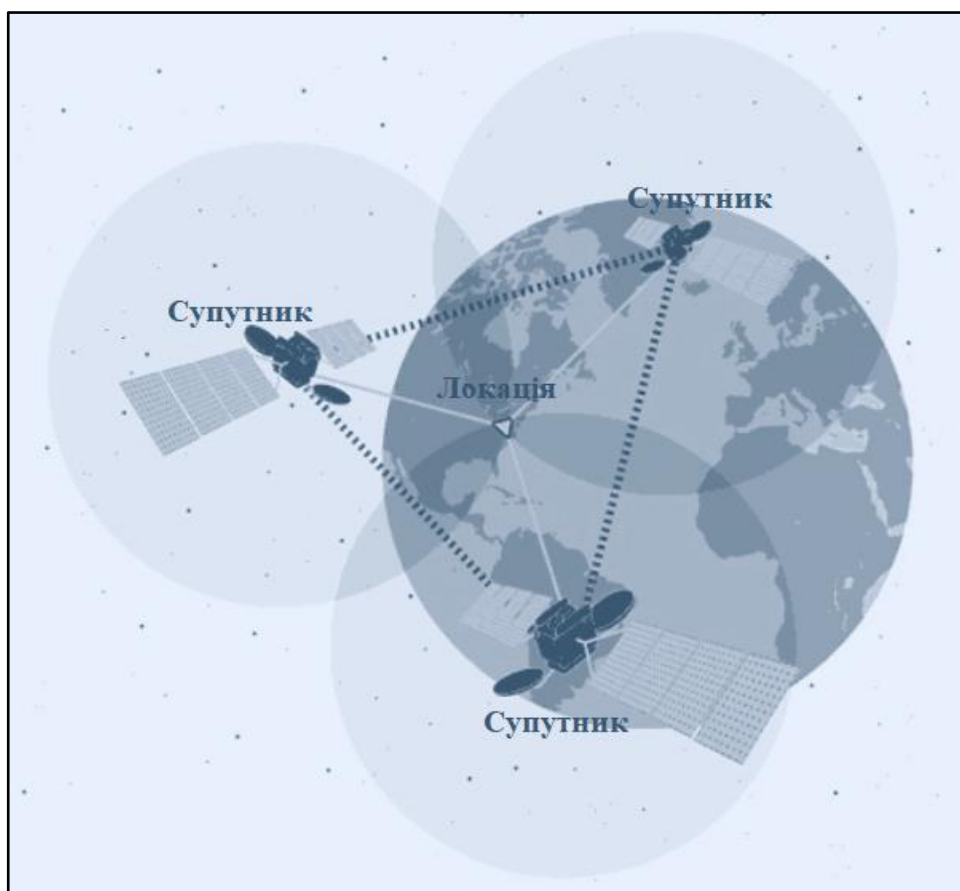


Рисунок 2.10 – Визначення локації за допомогою модуля

Основа модуля – це невеликий GPS-чіп NEO-6M (NEO-6M-0-001) від u-blox з кроком контактів 0.1 мм. Для зв'язку з мікроконтролером використовується UART (TTL) з підтримуваною швидкістю передачі даних від 4800 до 230 400 бод, за замовчуванням 9600 бод. Чіп здатний відстежувати до 22 супутників на 50 каналах з великим рівнем чутливості -161 дБ при споживанні струму живлення лише 45 мА [36-38].

Так як робоча напруга чіпа NEO-6M від 2.7 до 3.6, на модулі встановлено стабілізатор напруги MIC5205 з вихідною напругою 3.3.

Однією з найкращих функцій чіпа є режим енергозбереження (PSM). Це дозволяє знизити енергоспоживання системи шляхом вибіркового вмикання та вимикання частин приймача. Це різко знижує енергоспоживання модуля до 11 мА ,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

що робить його придатним для чутливих до живлення програм, таких як наручний годинник GPS.

На модулі додатково встановлена мікросхема НК24С32 (EEPROM) з пам'яттю 4 КБ, яка підключена до NEO-6М через інтерфейс I2C і батарея, що перезаряджається, яка діє як суперконденсатор. З їх допомогою модуль NEO-6М значно скорочує місцезнаходження, до 1с [36-38]. У EEPROM зберігаються дані годинника, останні дані про місцезнаходження (дані про орбіту) та конфігурацію модуля. Батарейка автоматично заряджається при включенні модуля та зберігає дані до двох тижнів. Також, на модулі встановлений microUSB роз'єм, за допомогою якого можна підключити модуль безпосередньо до комп'ютера, що дозволяє отримувати дані контролер Ардуїно.

2.4.2 Гіроскоп L3GD20H

Гіроскопи вимірюють швидкість обертання навколо однієї або кількох осей. Підключені до Arduino, вони можуть використовуватися для керування орієнтацією дронів, роботів та автономних транспортних засобів або для виявлення руху тіла за допомогою датчиків, які можна носити [39]. Гіроскоп, який ми будемо використовувати в даному проекті – це 3-осьовий гіроскоп L3GD20H. Це, мабуть, найпопулярніший гіроскоп для проектів Ардуїно.

Сенсорний чіп L3GD20H (рисунок 2.11) працює від напруги 3,3 вольт, але якщо плата має регулятор напруги, її можна живити від 5-вольтового джерела живлення Arduino. Гіроскоп має вісім контактів [40]:

- 1) VIN: вхідна потужність. Зазвичай 3,3 вольт, але може бути 5 вольт, якщо є регулятор напруги;
- 2) GND: підключається до землі на Arduino;
- 3) SCL: Для зв'язку I2C;
- 4) SDA: Для зв'язку I2C;
- 5) SDO: Для зв'язку SPI;
- 6) CS: Для зв'язку SPI;
- 7) INT2: Контакт апаратного переривання;

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

8) INT1: Контакт апаратного переривання.

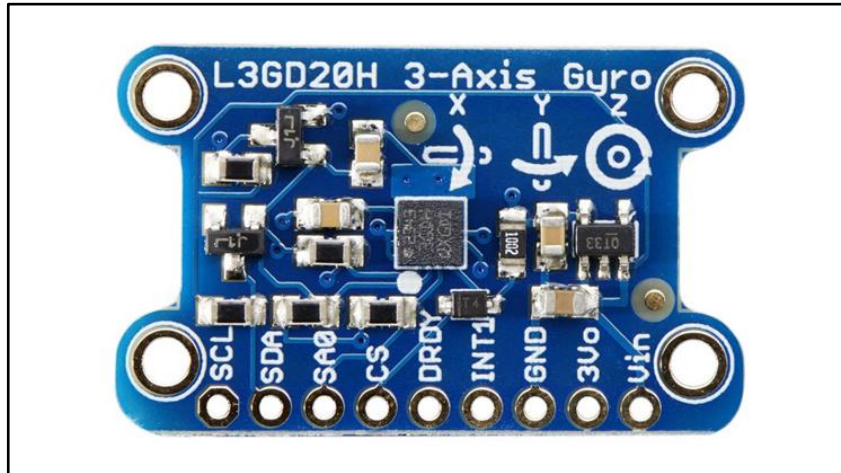


Рисунок 2.11 – Гіроскоп L3GD20H [40]

L3GD20H вимірює швидкість обертання навколо своїх осей x, y і z, що зображено на рисунку 2.12. Тут вісь y відображається як вертикальна вісь, вісь x вказує праворуч, а z виходить вгору за межі площини екрана.

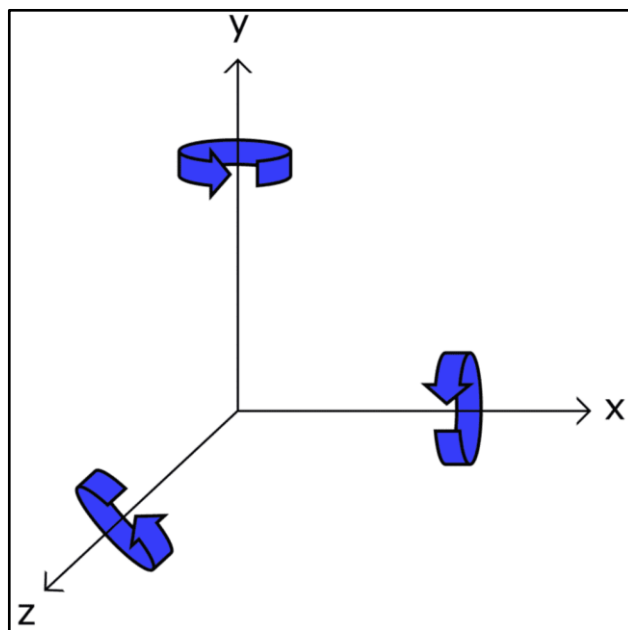


Рисунок 2.12 – осі навколо яких модуль вимірює швидкість

Стрілки напрямків надруковані на верхній частині плати, щоб вказати, як осі датчика орієнтовані по відношенню до друкованої плати. Вісь z спрямована вгору і вниз на 90° до площини друкованої плати.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Гіроскоп виводить значення швидкості обертання для кожної з цих осей. Вихідні дані датчика можуть бути перетворені в градуси за секунду або радіани за секунду.

2.4.3 Модуль компасу HMC6352

Honeywell HMC6352 (рисунок 2.13) – це повністю інтегрований модуль компаса, який поєднує 2-осьові магніторезистивні датчики з необхідними аналоговими та цифровими допоміжними схемами та алгоритмами для обчислення курсу [41].

Об'єднавши сенсорні елементи, обробку електроніку та мікропрограмне забезпечення в LCC-пакет розміром 6,5 x 6,5 x 1,5 мм [42], Honeywell пропонує повний, готовий до використання електронний компас.

Це надає інженерам-конструкторам найпростіше рішення для інтеграції великого об'єму, економічно ефективних компасів у бездротові телефони, побутову електроніку, компас для транспортних засобів та позиціонування антен.



Рисунок 2.13 – Модуль компасу HMC6352 [41]

Схема інтегрованого датчика компаса HMC6352 складається з двох магніторезистивних (MR) датчиків з ортогональною орієнтацією для визначення

горизонтальних компонентів магнітного поля Землі (від 0 до 630 мілігаусів), а також двох підсилювачів, схеми приводу встановлення/скидання, і мікропроцесор (μP) [43]. Найкраща точність досягається в чистих магнітних середовищах (вільне повітря) і утримується рівно або перпендикулярно напрямку гравітації.

У гіршому випадку кожен градус нахилу від орієнтації на рівні може додати два ступені похибки курсу компаса. Магнітні похибки можуть виникнути при експлуатації поблизу джерел сильного магніту, таких як магніти мікрофона або динаміка, трансформатори в випробувальному обладнанні та хомути відхилення CRT у відео-дисплеях/моніторах. Ці магнітні похибки зазвичай можна зменшити або усунути шляхом виконання процедури калібрування.

Якщо розташовувати НМС6352 у щільних друкованих платах, слід вживати запобіжних заходів у місці розташування цього датчика магнітного поля для впливу м'якого заліза, який згинає магнітне поле Землі [43].

Ці ефекти м'якого заліза створені з чорних матеріалів без залишкової намагніченості і, як правило, є такими елементами, як нікелювання на контактах компонентів SMT та захисні матеріали RFI/EMI. Величина відриву НМС6352 від цих м'яких прасок є евристичною і залежить від кількості матеріалу, форми матеріалу та близькості.

У НМС6352 доступний режим калібрування для користувача, щоб зменшити вплив заліза на місцезнаходження кінцевого користувача [42]. Ефекти твердого заліза виникають від сусідніх залізних матеріалів із залишковим магнетизмом, які знижують або підсилюють інтенсивність магнітного поля Землі, що призводить до помилок курсу. Такі ефекти твердого заліза виникають від шасі автомобіля, магнітів динаміків, провідників або слідів ланцюга високого струму.

2.4.5 Модуль акселерометру ADXL355

ADXL345 — це невеликий, тонкий, триосьовий акселерометр малої потужності [44] з високою роздільною здатністю (13 біт) вимірювання ваги до 16 г. Цифрові вихідні дані відформатовані як 16-бітове доповнення до двох і доступні через цифровий інтерфейс SPI (3- або 4-провідний) або I2C.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

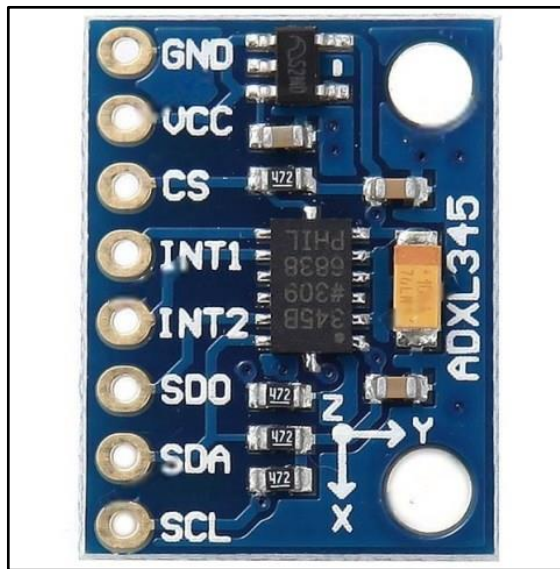


Рисунок 2.14 – Модуль акселерометру ADXL345 [44]

ADXL345 добре підходить для мобільних пристроїв. Він вимірює статичне прискорення сили тяжіння в програмах, що реагують на нахил, а також динамічне прискорення в результаті руху або удару [44]. Його висока роздільна здатність (4 мг/LSB) дозволяє розрізняти зміни нахилу всього на $0,25^\circ$.

Передбачено кілька спеціальних функцій зондування. Розпізнавання активності та бездіяльності виявляє наявність або відсутність руху, а також якщо прискорення на будь-якій осі перевищує встановлений користувачем рівень. Розпізнавання дотиків виявляє одинарні та подвійні натискання.

Функція вільного падіння визначає, чи падає пристрій [45]. Ці функції можна відобразити на вихідні контакти переривання. Інтегрований 32-рівневий FIFO можна використовувати для зберігання даних, щоб мінімізувати втручання хост-процесора.

Режими низької потужності забезпечує інтелектуальне керування живленням на основі руху з датчиком порогового значення та активним вимірюванням прискорення при надзвичайно низькому розсіянні енергії [45]. ADXL345 поставляється в невеликому, тонкому пластиковому корпусі 3 мм x 5 мм x 1 мм, 14-вивідний.

2.5 Підключення акумулятора

Збірка квадрокоптера майже закінчена. Тепер залишилася остання частина – підключити акумулятор [46]. Оскільки в роботі використовується рама S500, вона поставляється з платою, на яку можна підключити батарею, припаявши роз'єм до плати, а потім просто підключити батарею під час польоту дрону. Можна використовувати застібки-блискавки для фіксації батареї під корпусом коптера, як показано на рисунку 2.15.

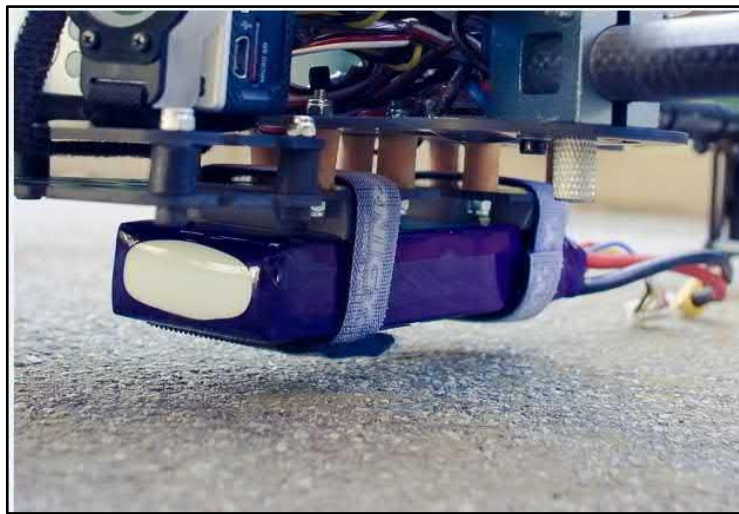


Рисунок 2.15 – Фіксація батареї [46]

Щоб підсумувати з'єднання, слід пригадати. Двигуни BLDC будуть підключені до ЕСК "чотири в одному" (або чотирьох окремих ЕСК). ЕСК буде підключено до вихідних контактів ArduPilot (тільки сигнальні кабелі, кабелі 5 і заземлення).

Кабелі живлення ЕСК будуть безпосередньо підключені до батареї (у цьому випадку спочатку підключалось на пластині корпусу, а потім використовувались контакти гнізда для підключення до акумулятора). Радіо та RC-приймач будуть підключені до контактів Telem та вхідних контактів ArduPilot відповідно [47].

Якщо передач з приймачем успішно пов'язані, то тепер можна перевірити передавач, підключивши кілька серводвигунів до приймача RC і переміщуючи дросель, крену, тангажу або нишпорення передавача. При успішному підключенні сервопривід обератиметься відповідно до обертання ручок чи кардану передавача.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.6 Висновки

У другому розділі було детально розглянуто обрані моделі, які будуть використовуватися для конструювання безпілотного літального апарату. Було розглянуто мету, ціль і принцип з'єднання і програмування кожного компонента, який буде використовувати в третьому розділі.

Конкретно було розглянуто складання рами дрону, керування безщітковим двигуном за допомогою Ардуїно, калібрування електронного регулятора швидкості, різноманітні модулі, а саме: GPS модуль NEO-6M, гіроскоп L3GD20H, модуль компасу HMC6352, модуль акселерометру ADXL355, а також принцип підключення акумулятора

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

3 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

3.1 З'єднання необхідних компонентів

Для реалізації безпілотного літального апарату є необхідні наступні компоненти:

- 1) Arduino UNO;
- 2) Arduino NANO
- 3) ESC;
- 4) мотори;
- 5) Arduino NANO;
- 6) USB Wi-Fi адаптер;
- 7) модуль компасу;
- 8) модуля акселерометру;
- 9) модуль гіроскопу;
- 10) GPS модуль;
- 11) вхідний конвертер;
- 12) живлення;
- 13) дроти.

Корпус дрону та інших елементи для конструкції можна придбати і Інтернет магазині або виготовити їх із підручних засобів. Наприклад, раму можна виготовити зі шматка фанери, а для променів, що утримують двигуни, можуть підійти пластикові труби.

Проектуємо на SolidWorks та роздруковуємо на 3D-принтері корпус майбутнього дрону, як на рисунку 3.1. Як прототип можна взяти одну з існуючих моделей квадрокоптерів, а якщо є навички, то краще допрацювати параметри корпусу за рахунок сот, які знижують загальну вагу пристрою.

Щоправда, тут важливо не перестаратися, тому що надмірно полегшений корпус легко зноситиметься вітром убік, зажадавши відповідного коригування пілотом. Після роздруківки корпусу можна на нього встановити двигуни та

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

припаяти дроти. Це дозволить простіше орієнтуватися у просторі та завжди розуміти, де передня частина дрону, щоб швидше ним керувати у польоті.

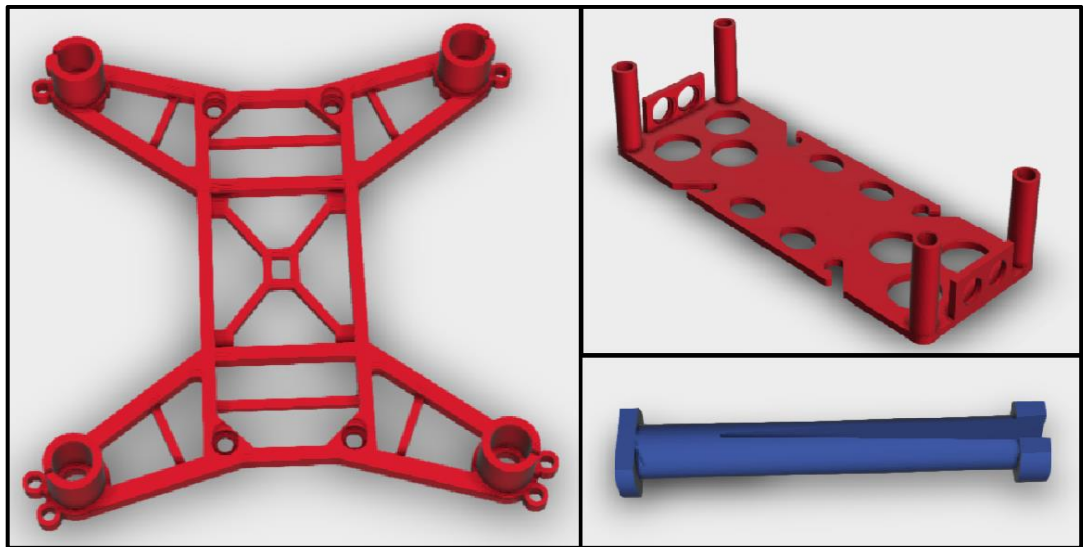


Рисунок 3.1 – Елементи дрону для друку на 3D-принтері

Далі необхідно здійснити з'єднання ESC з моторами майбутнього дрону. Для цього слід під'єднати необхідні контакти двох елементів як це показано на рисунку 3.2. Всього для реалізації потрібно чотири таких компоненти.

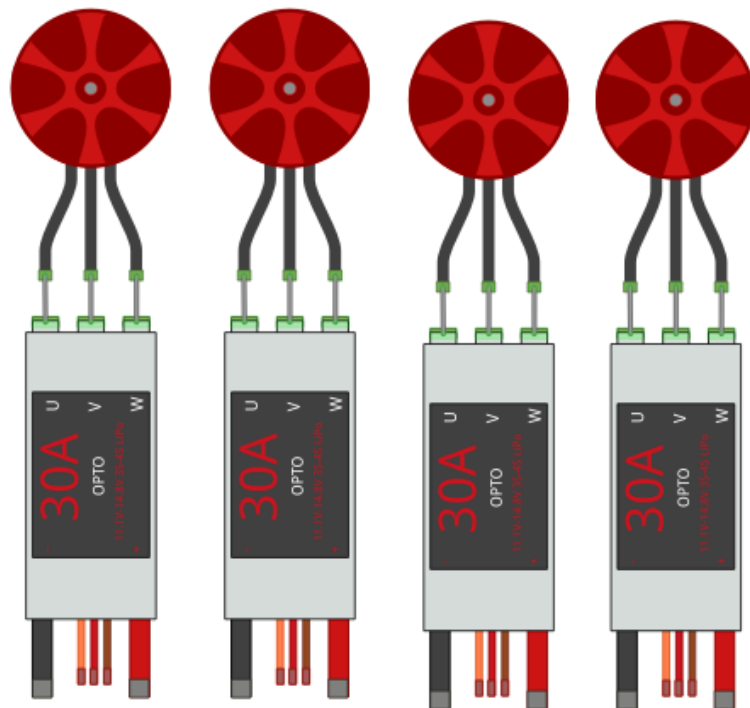


Рисунок 3.2 – Під'єднання ESC до моторів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Наступним етапом є під'єднання Arduino UNO до чотирьох ESC з моторами. Потрібно здійснити з'єднання контактів елементів як це показано в таблиці 3.1. Має вийти готовий результат, який показано на макетній схемі рисунку 3.3.

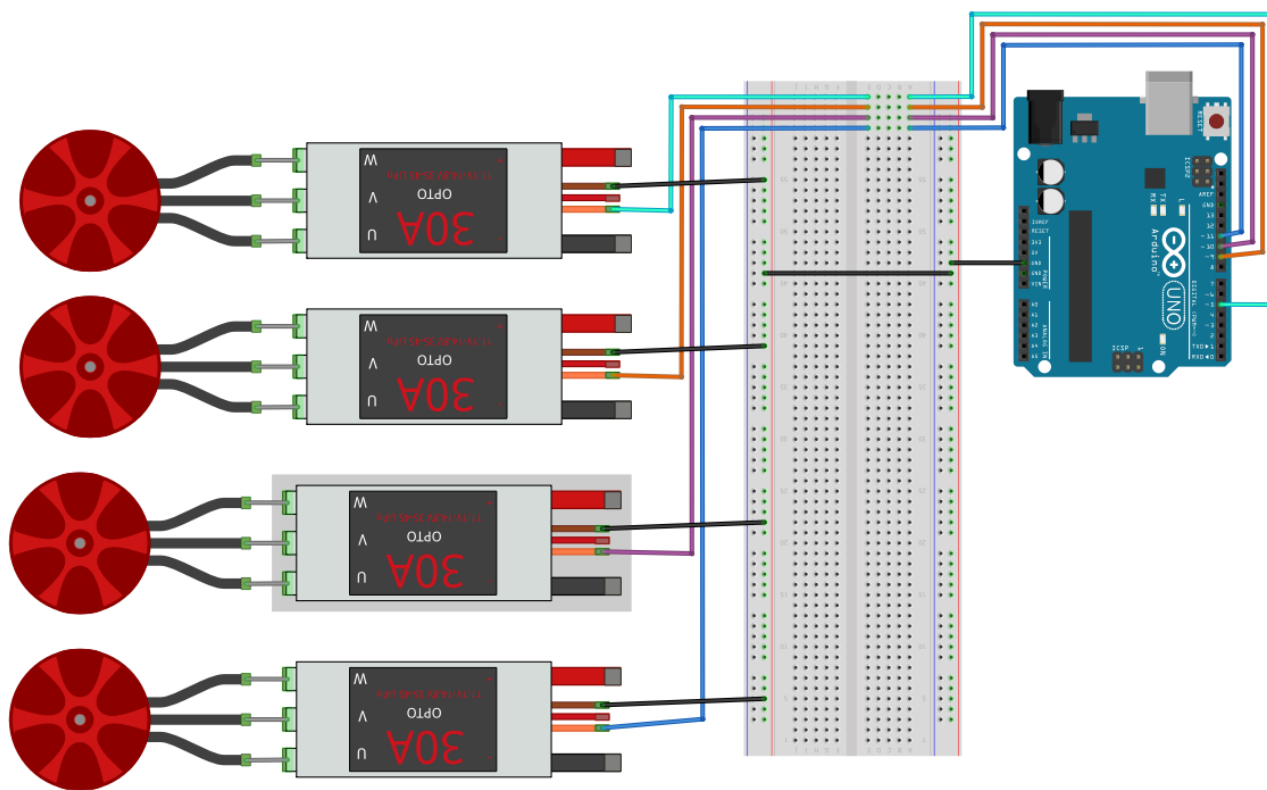


Рисунок 3.3 – Під'єднання ESC до Arduino UNO

Для зображення з'єднань між необхідними елементами для роботи дрона використовується програмне забезпечення Fritzing. За допомогою якого можна виготовити не тільки макетну, а також ініціативну схему, друковану плату та написати код для плат.

Для реалізації безпілотної потрібний також плата Arduino NANO, яку слід під'єднати до Arduino UNO. Для цього слід під'єднати порти GND та VIN обидвох елементів. Повинен вийти результат з'єднання, який зображено на рисунку 3.4.

Для того щоб можна було під'єднати готовий пристрій до мережі, та різних девайсів таких як телефон потрібно використати USB Wi-Fi адаптер з зовнішньою антеною. Також можна було скористатися модулем Bluetooth, але у ході дослідження було обрано даний компонент, який набагато спрощує роботу.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.1 – Контакти з'єднань чотирьох ESC та Arduino UNO

ESC 1	Arduino UNO
GND	GND
DATA	D5
ESC 2	Arduino UNO
GND	GND
DATA	D9
ESC 3	Arduino UNO
GND	GND
DATA	D10
ESC 4	Arduino UNO
GND	GND
DATA	D11

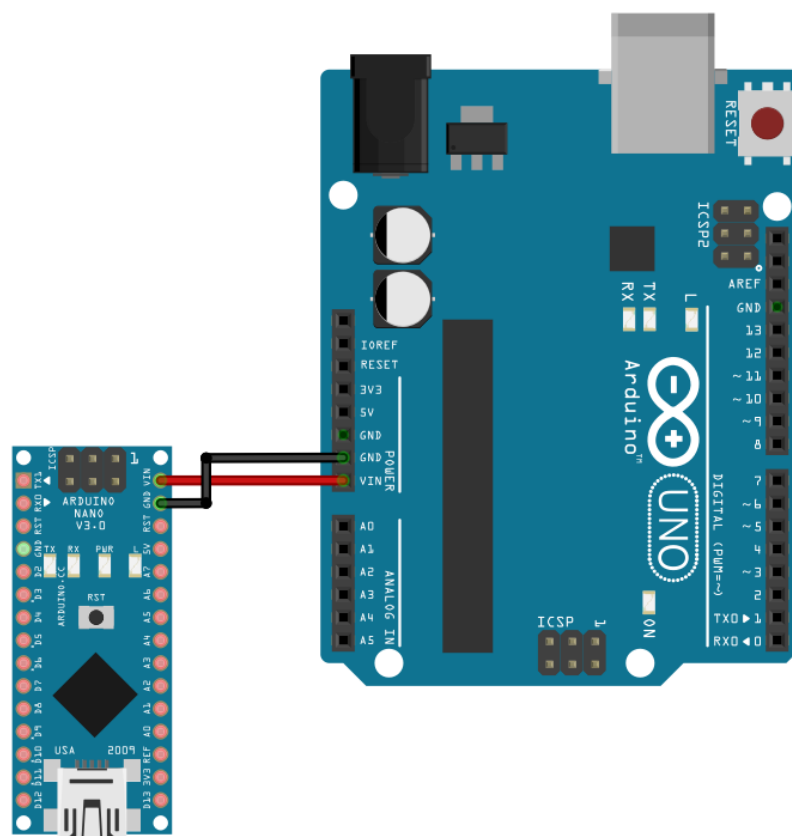


Рисунок 3.4 – З'єднання Arduino NANO та Arduino UNO

У платі Arduino UNO є спеціальний порт роз'єм якого є USB, тому підключення даного компоненту має виглядати так як на рисунку 3.5. USB Wi-Fi адаптер легкий у користуванні та просто підключається до мережі. Він не потребує додаткових проводів і використання спаювання, так як модуль Bluetooth.

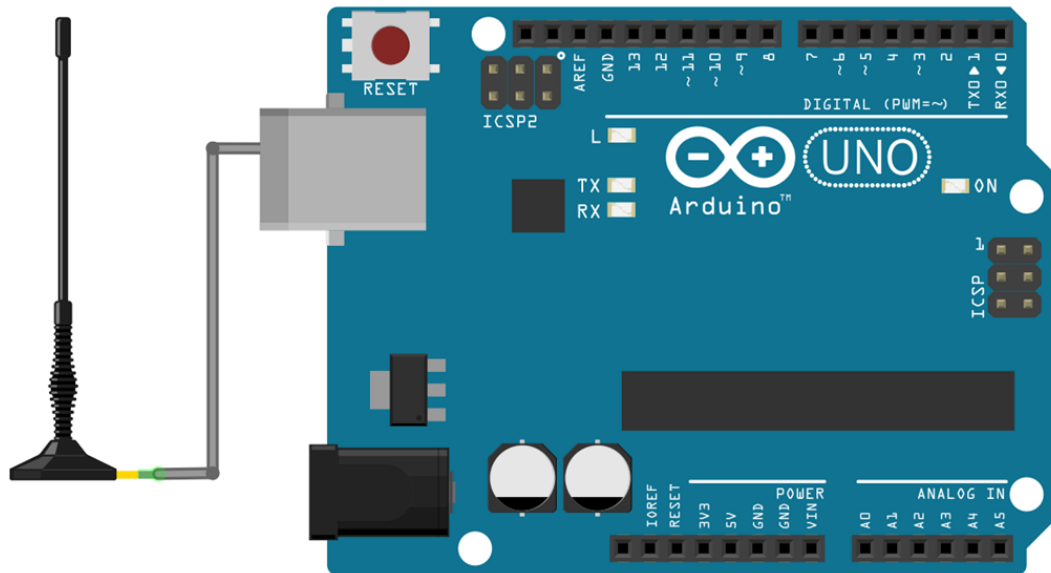


Рисунок 3.5 – Під'єднання USB Wi-Fi адаптер до Arduino UNO

3.1.1 Під'єднання модулів до Arduino

Для повноцінної роботи пристрої потрібно підключити також додаткові модулі до Arduino UNO. Було обрано наступні моделі компонентів:

- 1) модуль компасу HMC6352;
- 2) модуля акселерометру ADXL355;
- 3) модуль гіроскопу L3GD20H;
- 4) NE0-6M GPS модуль.

Спочатку підключимо модуль компасу до Arduino UNO. Модель HMC6352 є проста з градусною роздільною здатністю. Honeywell HMC6352 - це повністю інтегрований компас модуль, що поєднує 2-осьові магніторезистивні датчики з необхідними аналоговими та цифровими схемами підтримки, і алгоритми обчислення курсу

Для підключення слід слідувати таблиці 3.2. І в результаті з'єднання має вийти зображення, що показано на рисунку 3.6.

Таблиця 3.2 – Контакти з'єднань модуля HMC6352 та Arduino UNO

HMC6352	Arduino UNO
3V3	5V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA

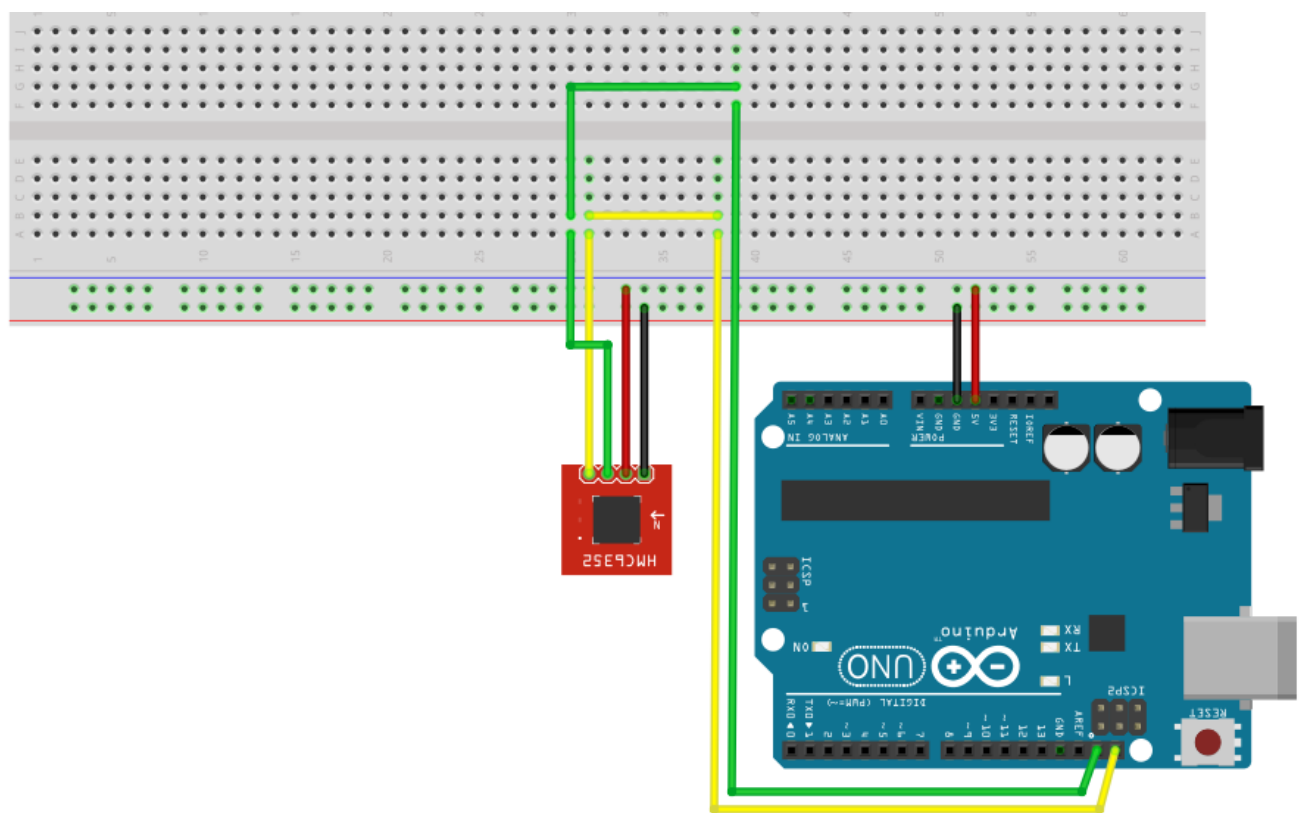


Рисунок 3.6 – Під'єднання модуля компасу HMC6352 до Arduino UNO

Також потрібно підключити модуль акселерометр до плати Arduino UNO. Було використано модель ADXL355, тому що це доступний за ціною малопотужний 3-осьовий MEMS-акселерометр, який підтримує послідовні інтерфейси I2C і SPI. Схема для акселерометра ADXL345 досить проста і не вимагає складних деталей або проводки і може бути підключена безпосередньо до

Arduino UNO. Він має 3-осьовий датчик і, таким чином, може вимірювати компонент прискорення по 3 перпендикулярних осях.

Для правильної роботи слід підключити контакт GND ADXL345 до контакту GND на Arduino, контакт SCL ADXL345 до контакту SCL на Arduino та контакт SDA модуля до контакту SDA на платі. А також слід під контакт 3V3 акселерометру до контакту 3V3 на Arduino. можна використати порт 5V, як це показано в таблиці 3.3. Під'єднаний модуль акселерометру ADXL355 до Arduino UNO зображено на рисунку 3.7.

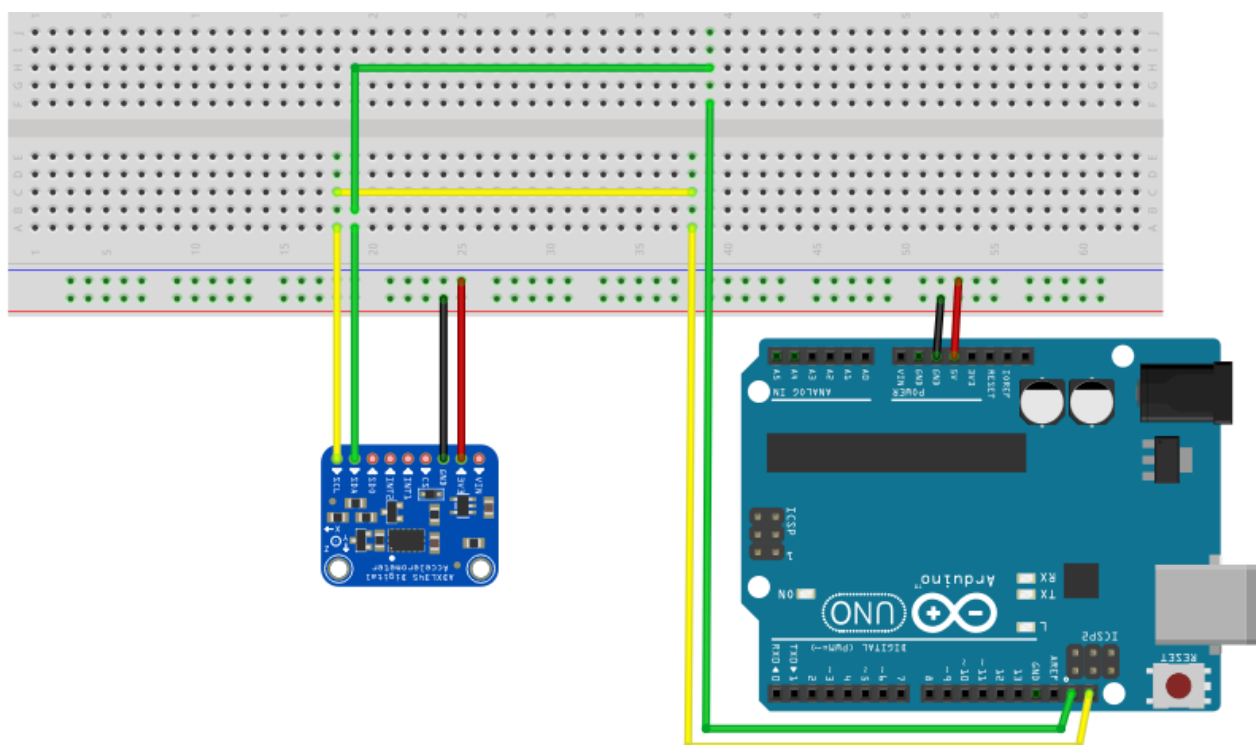


Рисунок 3.7 – Під'єднання модуля акселерометру ADXL355 до Arduino UNO

Таблиця 3.3 – Контакти з'єднань модуля ADXL355 та Arduino UNO

ADXL355	Arduino UNO
3V3	5V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA

Написання коду для зчитування даних з акселерометра є відносно простим процесом завдяки бібліотекам, які можна використовувати. Для цього проекту Arduino буде використана бібліотека “Adafruit Unified Sensor” і “Adafruit ADXL345”.

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
```

Також для роботи літального апарату потрібний гіроскоп. Для даного проекту було обрано модуль контролю моделі L3GD20H.

Гіроскоп вимірює швидкість обертання. Він має 3-осьовий датчик і, таким чином, може вимірювати зміну або швидкість обертання по 3 різних осях.

Для правильної роботи слід поєднати відповідні контакти модуля L3GD20H та Arduino UNO. З’єднання відбувається схожим чином як попередні модулі, а саме потрібно використати заземлення, живлення, лінію тактування та лінію даних.

Відповідні контакти відображені в таблиці 3.4 та фінальний результат з’єднання компонентів на рисунку 3.8.

Таблиця 3.4 – Контакти з’єднань модуля L3GD20H та Arduino UNO

L3GD20H	Arduino UNO
3V3	5V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA

Програмування модуля досить просте і для проекту Ардуїно використовується бібліотека “L3G”. За замовчуванням бібліотека L3G встановлює чутливість на ± 245 градусів на секунду (dps). При такій чутливості 8,75 міліградусів на секунду на необроблену цифру.

```
#include <L3G.h>
```

Не тільки до Arduino UNO слід підключити модуль, а також до Arduino NANO. Для цього слід використати два контакти обидвох компонентів. На модулі потрібно задіяти лінію тактування та лінію даних.

Відповідні з'єднання контактів внесені в таблиці 3.5, а візуалізація під'єднаних компонентів на рисунку 3.9.

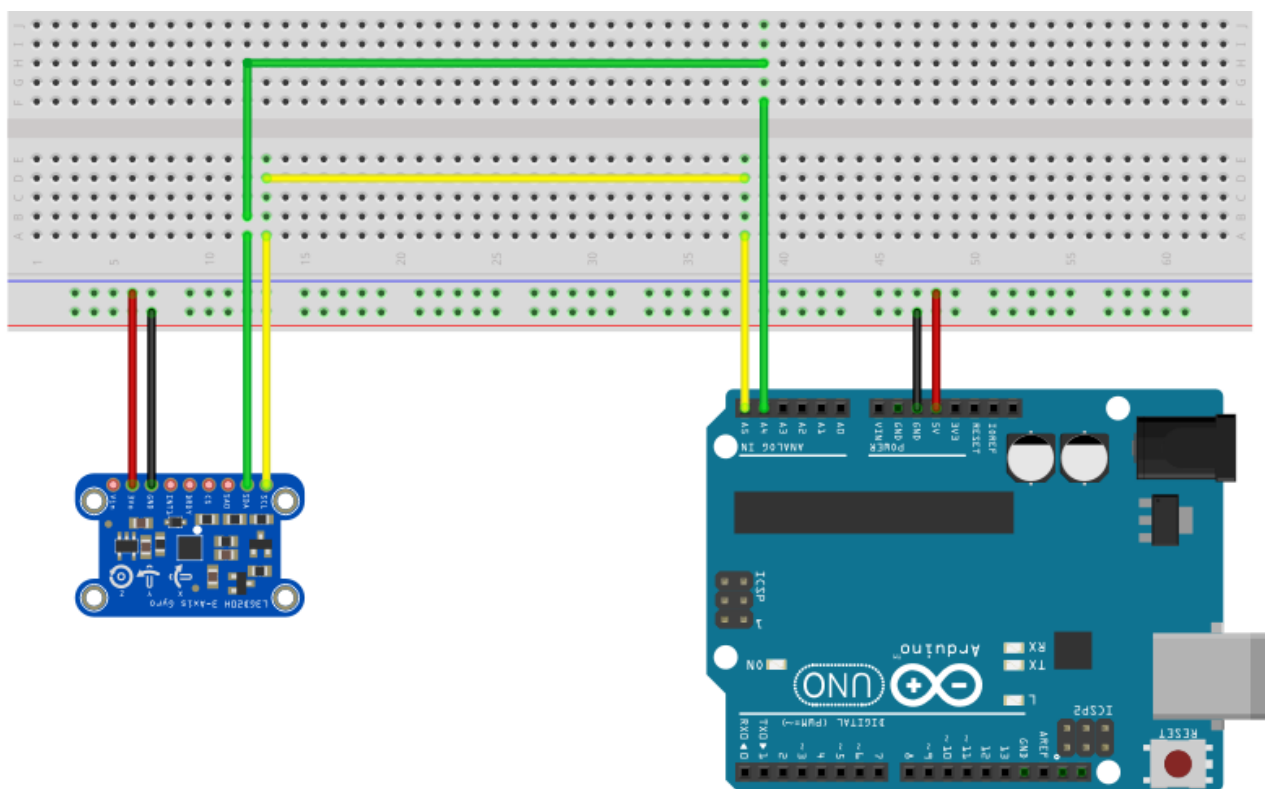


Рисунок 3.8 – Під'єднання модуля гіроскопу L3GD20H до Arduino UNO

Таблиця 3.5 – Контакти з'єднань модуля L3GD20H та Arduino NANO

L3GD20H	Arduino NANO
SCL	D2
SDA	D3

Наступним модулем, який слід підключити це модуль глобальної системи позиціонування (GPS) на чипі NEO-6M (U-Blox). Це дуже популярний, недорогий та високопродуктивний модуль GPS з керамічною антеною, вбудованим чіпом пам'яті та резервною батареєю.

Модуля L3GD20H може відстежувати до 22 супутників на 50 каналах. Він досягає найвищого в галузі рівня чутливості, тобто відстежує -161 дБ, а споживає лише 45 мА струму живлення.

Даний модуль слід підключити тільки до Arduino NANO. Для з'єднання слід використати заземлення, виведення живлення, вивід для передачі даних та для отримання даних модуля GPS.

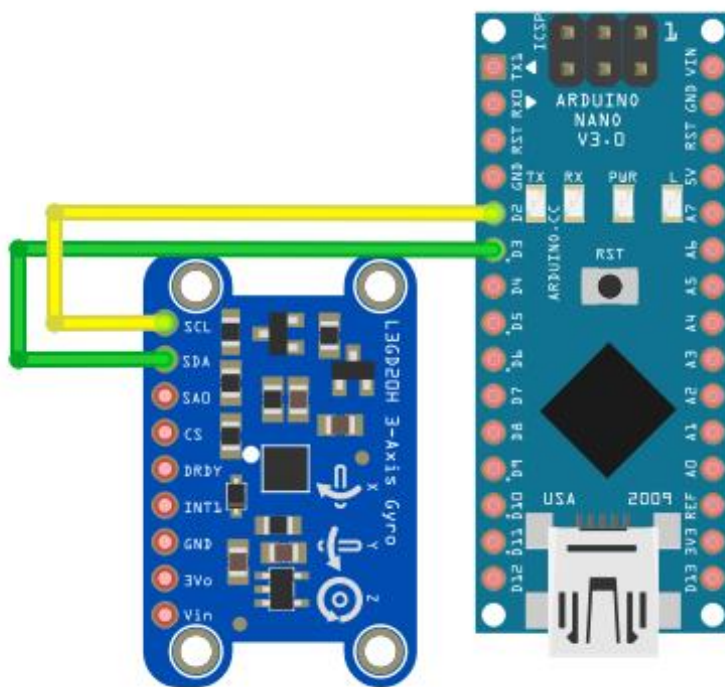


Рисунок 3.9 – Під'єднання модуля L3GD20H до Arduino NANO

Таблиця 3.6 – Контакти з'єднань модуля NE0-6M та Arduino NANO

NANO	Arduino NANO
VCC	3V3
GND	GND
RXD	RD0
TXD	TX1

Контакти з'єднань модуля NE0-6M та Arduino NANO внесені до таблиці 3.6, а фінальне зображення даних компонентів на рисунку 3.10. Для програмування слід

використати бібліотеку “NEO-6M_GPS” або “SoftwareSerial”, у даному проєкті було використано другу.

```
#include < SoftwareSerial.h>
```

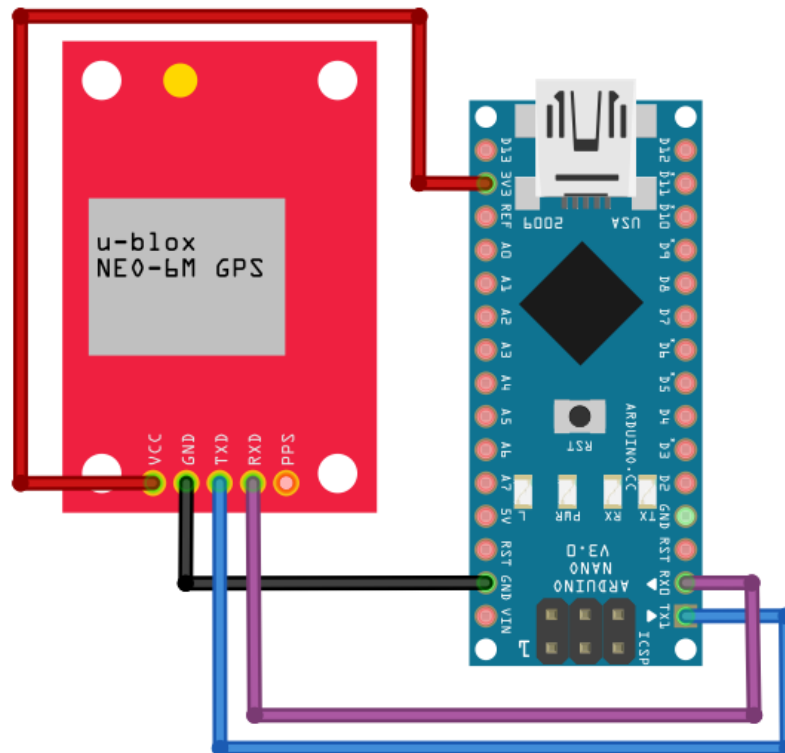


Рисунок 3.10 – Під’єднання NEO-6M GPS модуля до Arduino NANO

3.1.2 Під’єднання живлення до дрону

Невід’ємною складовою багатьох проєктів є живлення, без нього неможливо обійтися і в даному проєкті. Живлення використовується літій-полімерний (LiPo) акумулятор ємністю 2000 mAh, з напругою 3.7 В.

Спочатку слід з’єднати акумулятор та Arduino UNO, для цього слід також використати перетворювач DC-DC. Понижуючий перетворювач (понижуючий перетворювач) — це перетворювач живлення з постійного в постійний, який знижує напругу (підвищуючи струм) від свого входу (постачання) до виходу (навантаження).

Для підключення спочатку акумулятор під’єднаємо до DC-DC перетворювачу за допомогою анода і катода одного компоненту та вхідного анода

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

і катоду іншого. Далі вихідний катод і анод з'єднуємо з землею та живленням на платі Arduino UNO. Під'єднання відповідних контактів внесені до таблиці 3.7 та зображення компонентів схеми на рисунку 3.11.

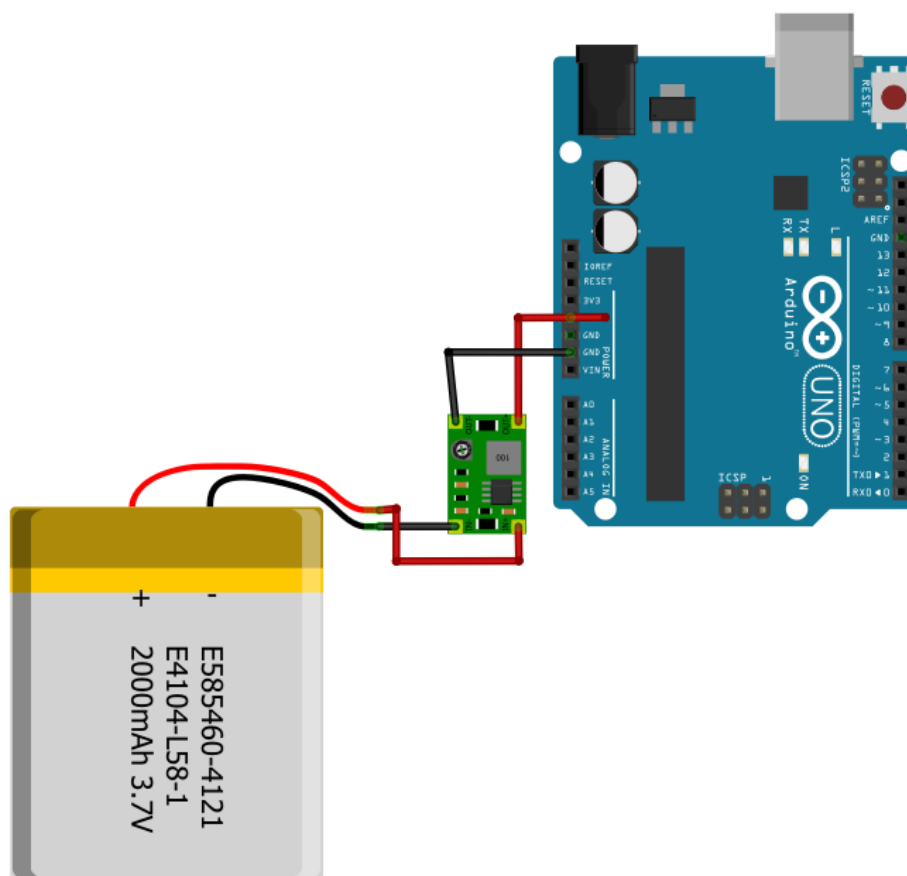


Рисунок 3.11 – Під'єднання акумулятор до Arduino UNO

Таблиця 3.7 – Контакти з'єднань модуля NEO-6M та Arduino NANO

LiPo 2000mA	DC-DC перетворювач
анод (+)	IN+
катод (-)	IN-
DC-DC перетворювач	Arduino NANO
OUT+	5V
OUT-	GND

Живлення також потрібно підключити до чотирьох моторів. Спеціально призначений контакт на кожному ESC слід з'єднати з анодом літій-полімерного

акумулятора. Схему, де під'єднано відповідні елементи до живлення зображено на рисунку 3.12.

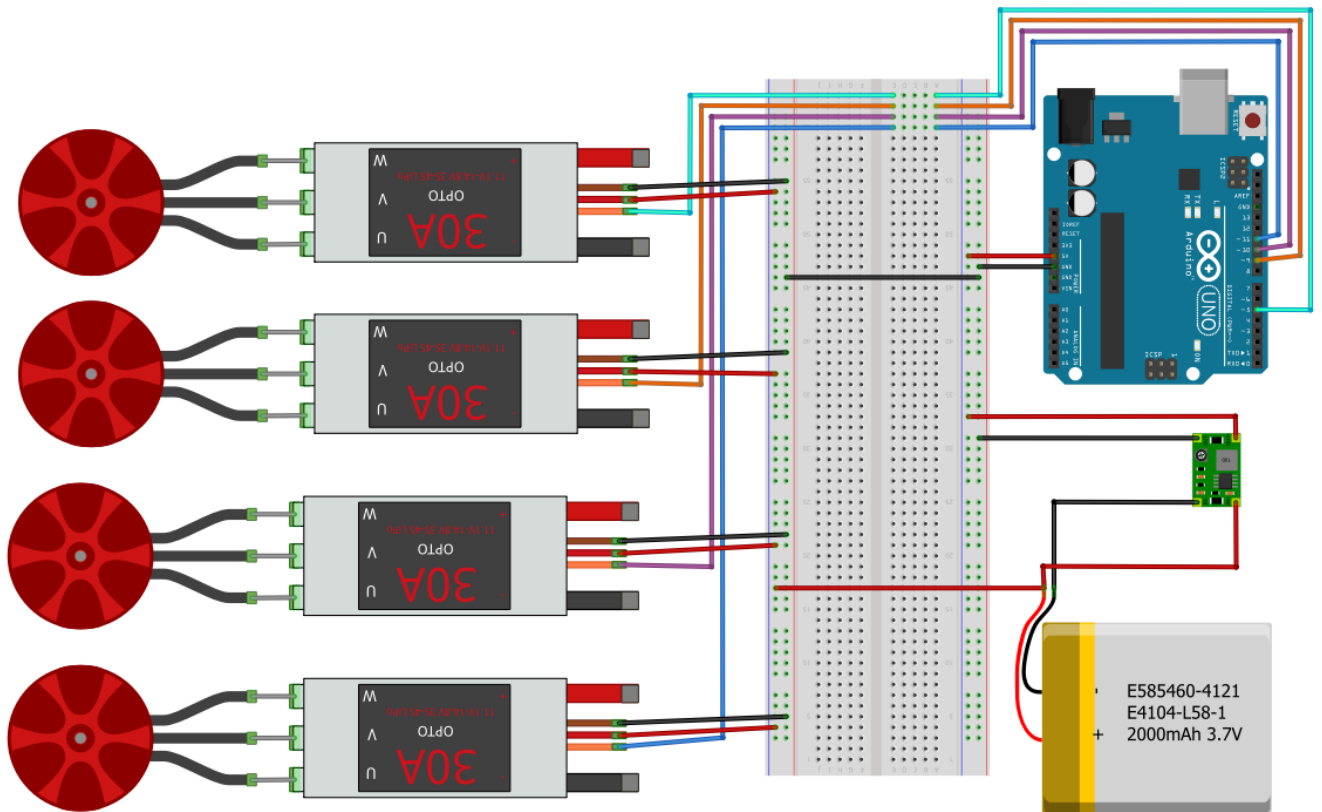


Рисунок 3.12 – Під'єднання акумулятора до ESC

Загальна макетна схема з'єднаних між собою компонентів літального апарату зображено на рисунку 3.13. Дану схему було реалізовано в програмному забезпеченні Fritzing. Також створено ініціативну схему поєднаних між собою елементів, що зображено на рисунку 3.14.

3.2 Оцінка вартості схеми

Після моделювання схеми готового пристрою наступним пунктом є купівля матеріалів для реалізації. Всього вартість всіх компонентів схеми придбаних в Інтернет-магазинах становить 2 792 грн.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

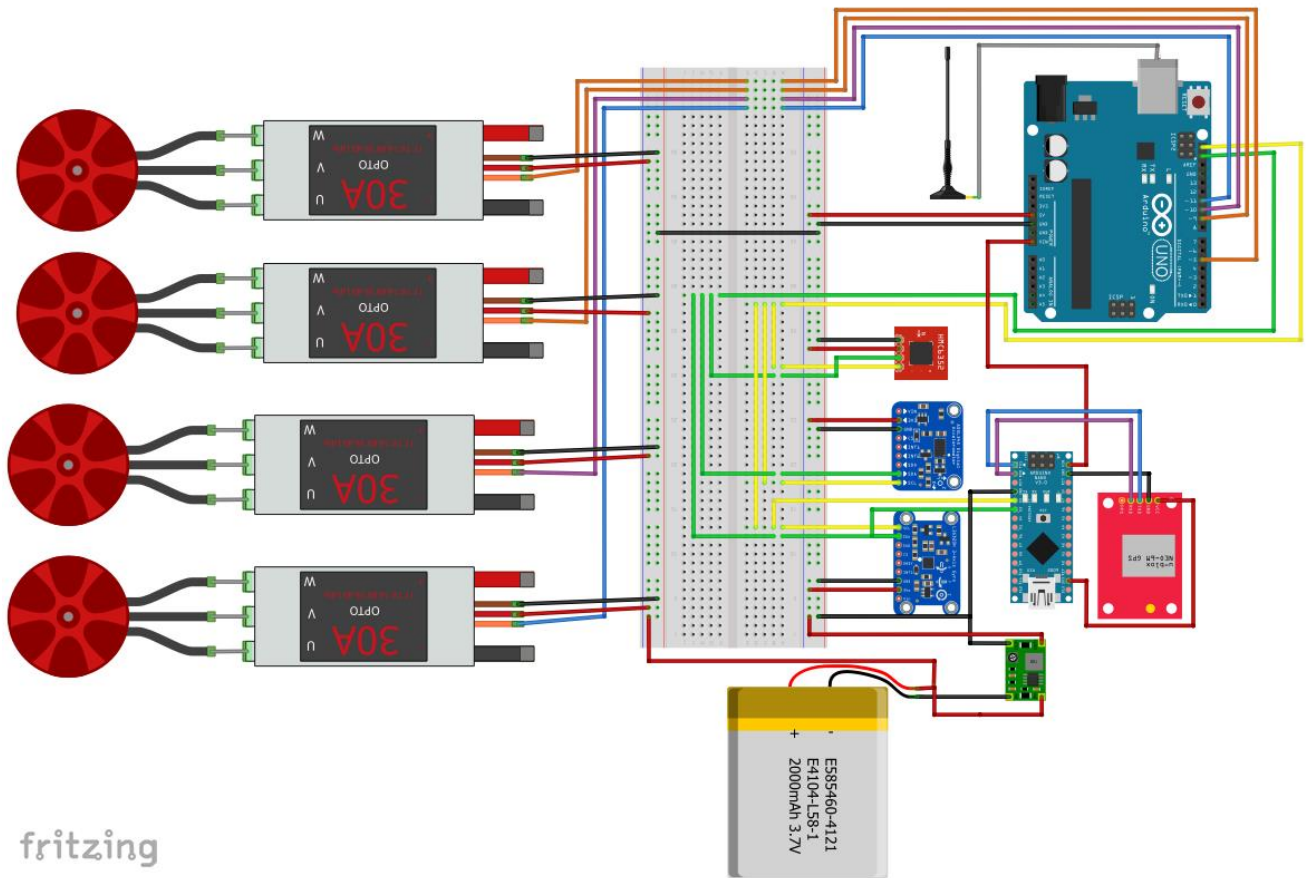


Рисунок 3.13 – Загальна макетна схема літального пристрою

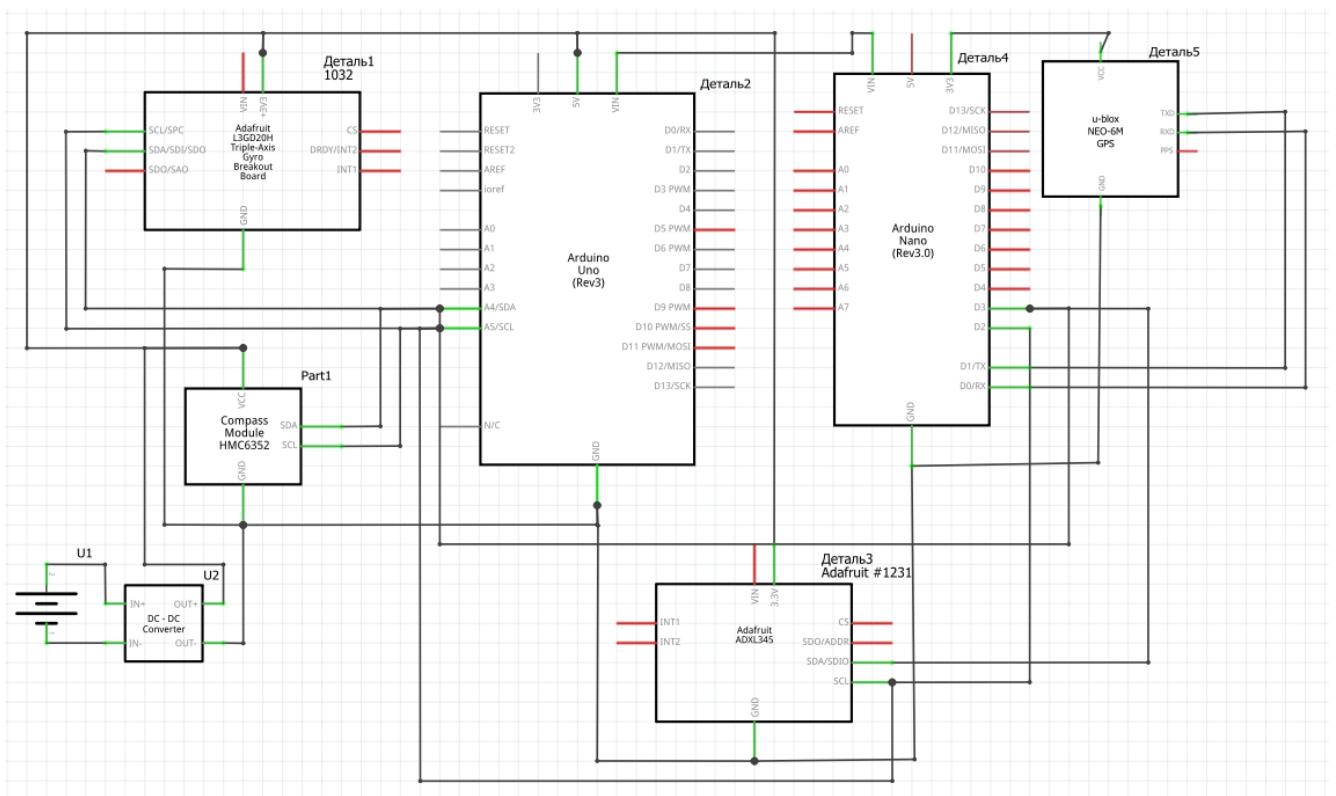


Рисунок 3.14 – Загальна ініціативна схема літального апарату

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ

Арк

53

Детально ознайомитися з ціною кожного елемента можна в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Вартість компонентів схеми

Назва	Модель	Кількість	Ціна за 1 шт. (грн.)	Загальна ціна
Плата	Arduino UNO	1	215,00	215,00
Плата	Arduino NANO	1	250,00	250,00
ESC	ESC 30A	4	275,00	1 100,00
Мотори	CW 580	4	106,00	424,00
USB Wi-Fi адаптер	7601 USB SET TOP BOX WI-FI	1	132,00	132,00
Модуль компасу	HMC6352	1	93,00	93,00
Модуля акселерометру	ADXL355	1	77,00	77,00
Модуль гіроскопу	L3GD20H	1	99,00	99,00
GPS модуль	NE0-6M	1	194,00	194,00
Вхідний конвертер	LM2596	1	48,00	48,00
Акумулятор	LiPo 2000mA	1	160,00	160,00
Загальна вартість: 2 792 грн.				

3.3 Додаток для керування пристроєм

Для створення системи керування дроном було обрано додаток Blynk IoT. Спочатку його слід скачати з Інтернет магазину Play Market, після того відкрити. Далі слід зареєструватися, для цього потрібно ввести свою електронну пошту,

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

потім погодитися з правилами додатку та політикою приватності, а потім натиснути на кнопку “Continue”, що означає продовжити. Після того на пошту має прийти лист-підтвердження, який дозволить створити пароль для акаунту. Після проходження короткого інструктажу можна приступати до роботи.

Для того щоб розпочати роботу в додатку потрібно додати новий пристрій, для цього слід натиснути на кнопку “Add new device”. Потім потрібно обрати спосіб додавання, у даному випадку було обрано “Connect to Wi-Fi”, що означає те що девайс буде підключено за допомогою мережі. Послідовні кроки попередніх дій зображено на рисунку 3.15.

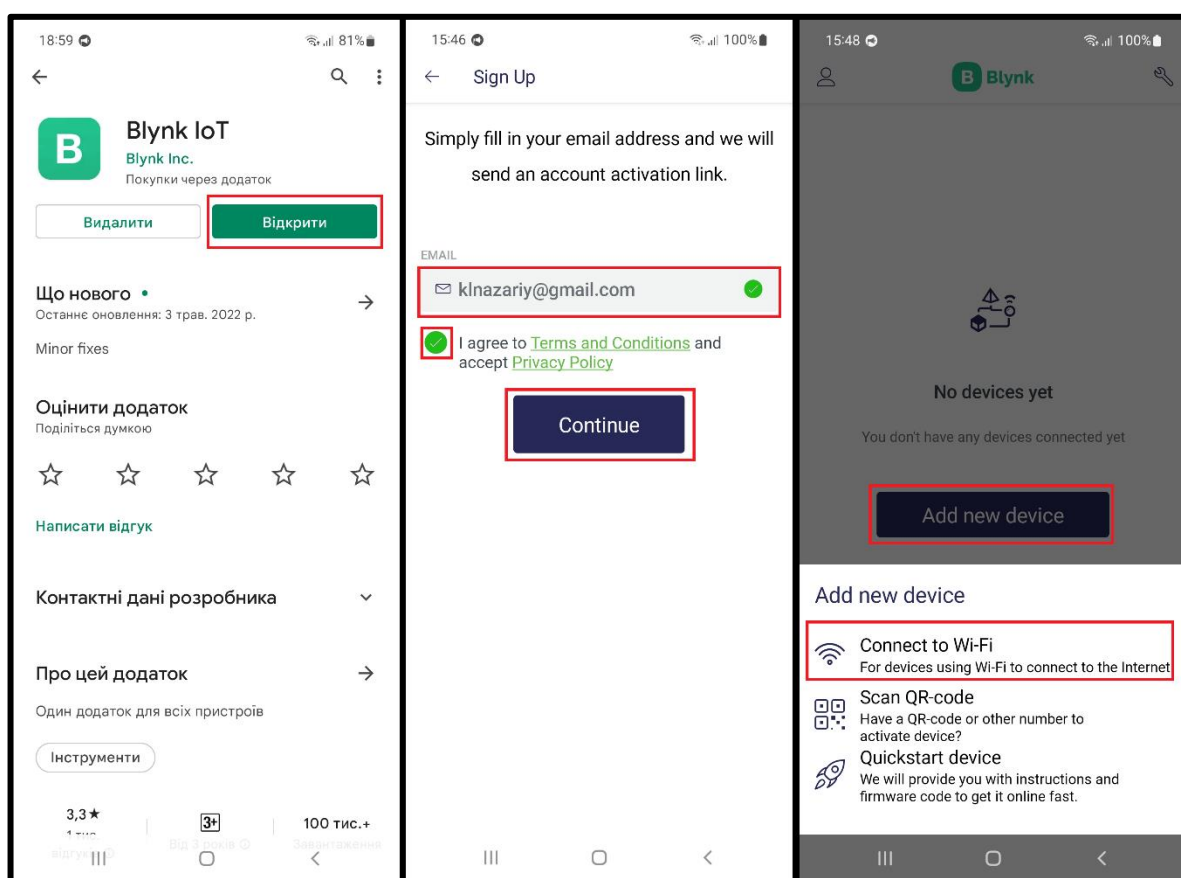


Рисунок 3.15 – Підключення Ардуїно до додатку

Далі буде доступний “Developer mode”, в якому можна створювати різноманітні системи за допомогою віджетів. Спочатку перед нами буде пусте поле, але якщо натиснути на три лінії, як це показано на рисунку 3.16, буде відкрито вкладка віджетів. Деякі з них можна використовувати в преміум версії додатку, але для створення системи вистачить доступних.

Для створення системи було обрано наступні віджети:

- 1) “Button” – кнопка;
- 2) “Joystick” – джойстик;
- 3) “Labeled Value” – поле для значень.

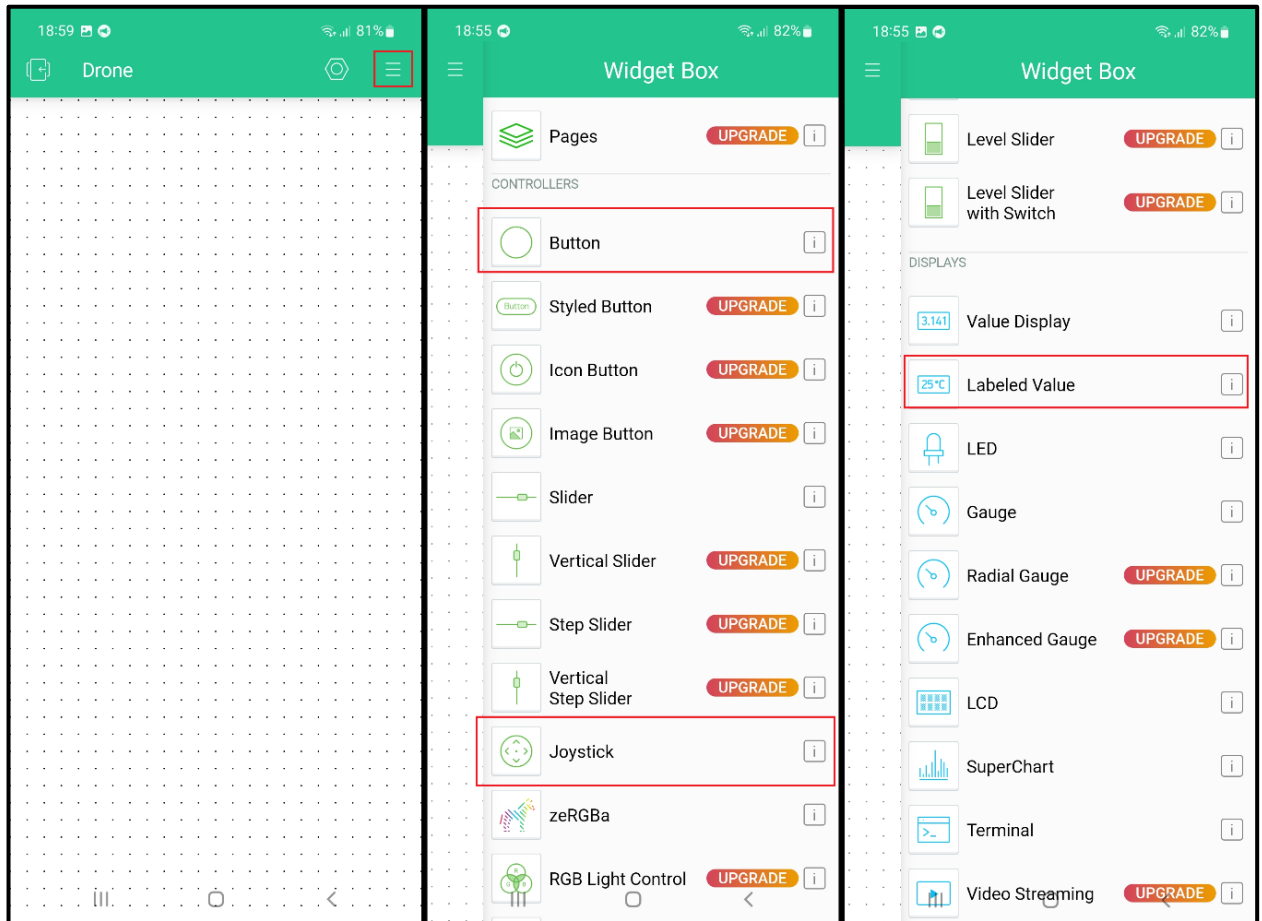


Рисунок 3.16 – Створення системи керування літальним апаратом

Кнопка буде потрібна для того щоб вмикати та вимикати літальний пристрій. Для керування дроном було використано два джойстика.

Також потрібно виводити дані для цього було створено додатково вкладку “Data”, на якій будуть відображатися отримані дані від пристрою, а на вкладці “Controller” було розміщено джойстики та кнопку.

Також дані віджети потрібно підключити за допомогою відповідних змінних до Ардуїно. Для програмування було використано протокол “coptermanager-arduino”, список команд якого вказано в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Список команд для протоколу “coptermanager-arduino”

Ім'я	код	Значення команди	Опис
COPTER_BIND	0x01	тип	Запустіть Процес прив'язки. Хронометраж тут дуже важливий, тому протягом цього часу (макс. 500 мс) процесор блокується. Повертаються значення copterid
COPTER_THROTTLE	0x02	значення газу (діапазон 0x00 - 0xFF)	встановити значення газу (зверху/вниз).
COPTER_RUDDER	0x03	Значення рискання (діапазон 0x34 - 0xCC)	встановити значення рискання (поворот вліво/вправо).
COPTER_AILERON	0x04	Значення “Крену” (діапазон 0x45 - 0xC3)	встановити значення “Крену” (дрифт вліво/вправо).

Кінець таблиці 3.9 – Список команд для протоколу “coptermanager-arduino”

COPTER_ELEVATOR	0x05	значення “Тангажу ” (діапазон 0x3E - 0xBC)	встановити значення “Тангажу” (вперед/назад).
COPTER_DISCONNECT	0x0B	-	відключити коптер

Після розміщення вибраних віджетів було отримано готовий додаток, що зображено на рисунку 3.17.

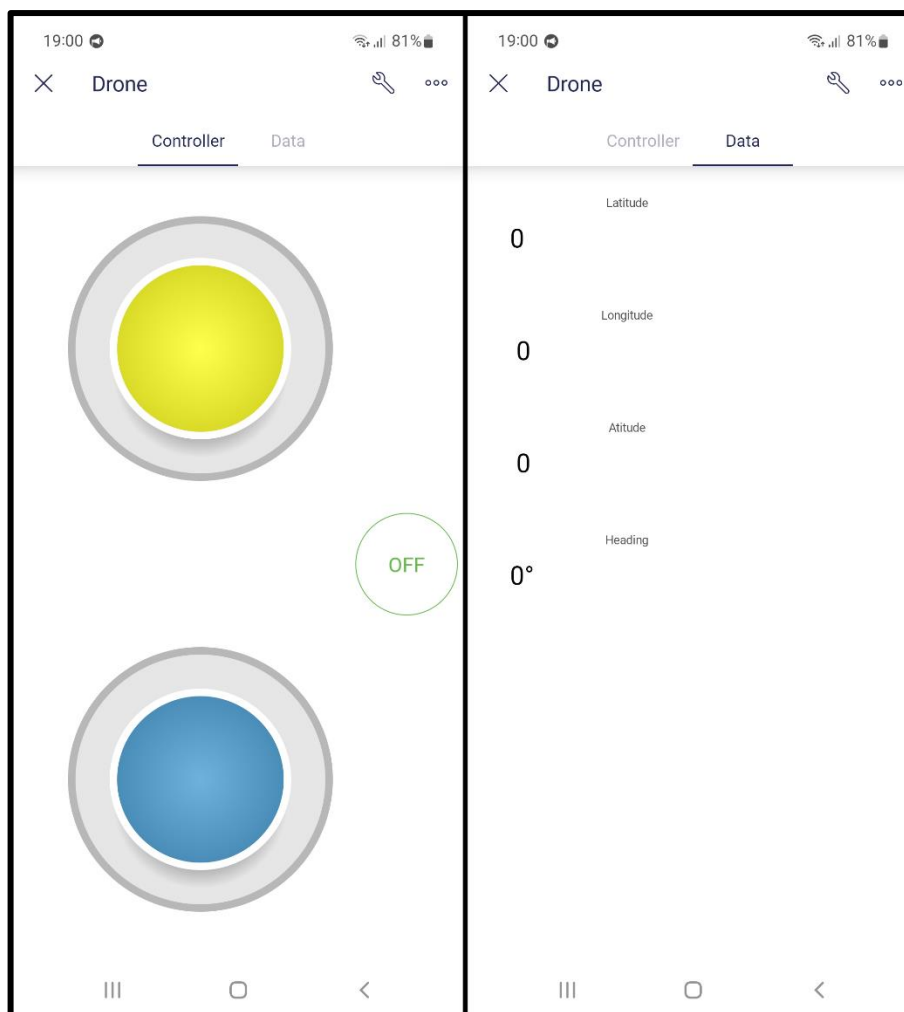


Рисунок 3.17 – Готовий додаток

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ

На вкладці “Data” розміщено чотири поля для відображення значень пристрою, а саме:

- 1) Latitude – широта;
- 2) Longitude – довгота;
- 3) Altitude – висота;
- 4) Heading – курс пристрою.

На вкладці “Controller” було розміщено два джойстики. Лівий стик - відповідає за зліт і зниження дрону, а також за обертання навколо осі, його роботу детально зображено на рисунку 3.18.

Throttle Up - газ, збільшує обороти моторів (при переміщенні вгору дрон злітає). Throttle Down - гальмо, зменшує обороти моторів (при переміщенні вниз дрон знижується).

Yaw Left – при переміщенні ліворуч повертає дрон навколо своєї осі проти годинникової стрілки. Yaw Right – при переміщенні праворуч повертає дрон навколо своєї за годинниковою стрілкою.

Правий стик - відповідає за "Тангаж" та "Крен", тобто нахили дрону на лівий і правий бік, а також вперед і назад (правим стиком пілот задає напрямок польоту), його роботу детально зображено на рисунку 3.19.

Roll Left – здійснює нахили дрону на лівий бік (при цьому дрон зміщуватиметься в ліву сторону по горизонту). Roll Right - здійснює нахили дрону на правий бік (при цьому дрон зміщуватиметься праворуч по горизонту).

Pitch Down – при переміщенні стику нагору нахилляє дрон вперед (при цьому дрон почне зміщуватися вперед). Pitch Up -при переміщенні стику вниз нахилляє дрон назад (при цьому дрон почне зміщуватися назад). Схема керування джойстиками за даним принципом зображено на рисунку 3.20.

3.4 Тестування системи керування додатку Blynk IoT

На наступному етапі було проведено тестування системи керування. Для початку було перевірено роботу кнопки вимикання і включання.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

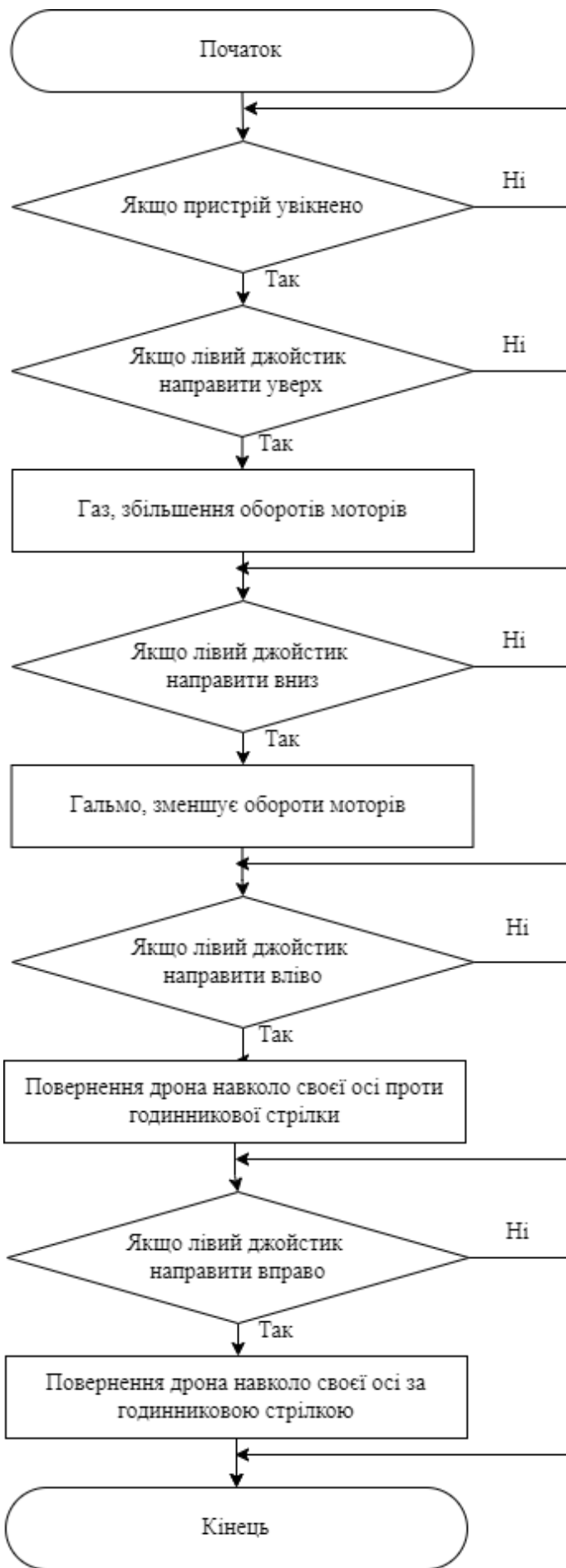


Рисунок 3.18 – Блок-схема управління лівим джойстиком

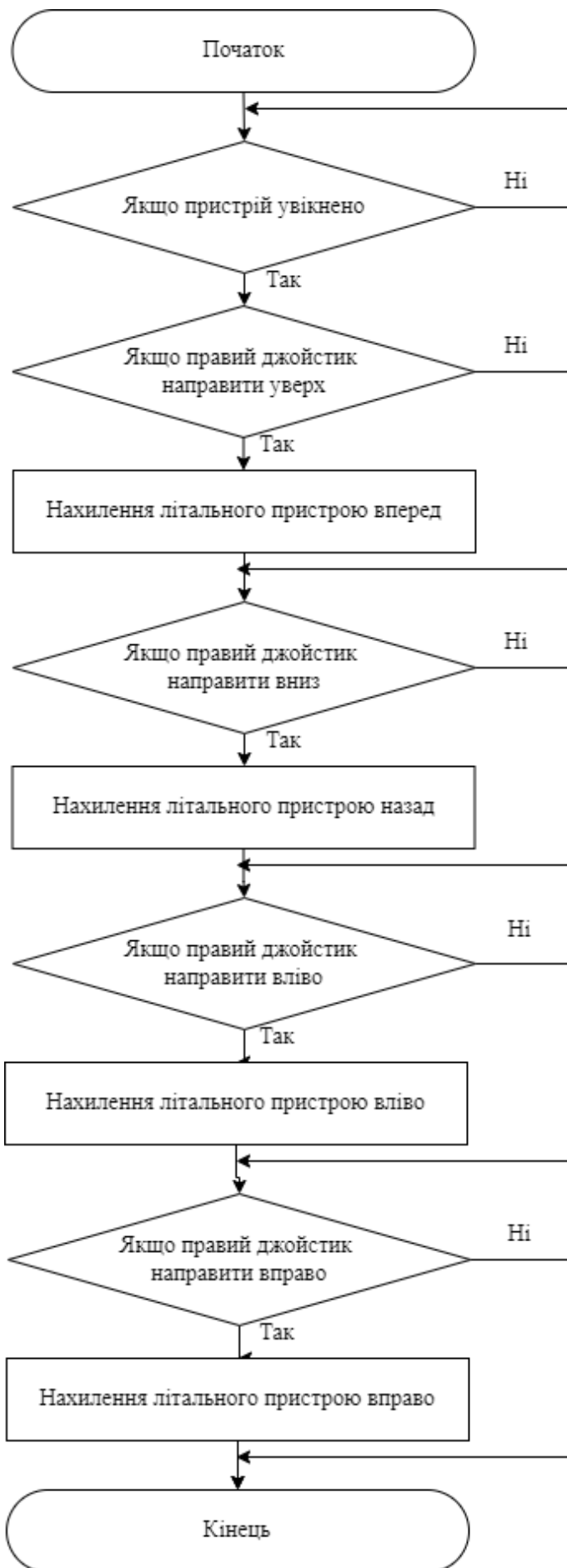


Рисунок 3.19 – Блок-схема управління правим джойстиком

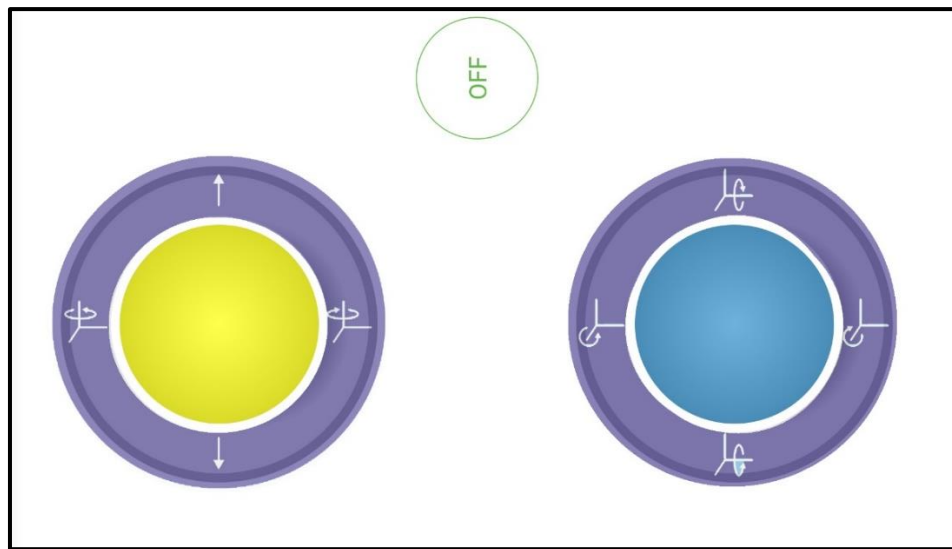


Рисунок 3.20 – Схема керування джойстиком дрону

Далі було здійснено перевірку роботи джойстиків по черзі. Спочатку було перевірено лівий стік, який в ході тестування перемикався без проблем і виконував своє завдання, а саме контроль газу, гальма, обертання навколо осі. Працюючий джойстик зображено на рисунку 3.21.



Рисунок 3.21 – Робота лівого джойстика

Далі слід було перевірити роботу правого джойстика. Він також показав себе добре і виконував відповідні задачі, а саме нахилу дрону в лівий та правий бік,

також вперед і назад. Зображення працюючого правого стику показано на рисунку 3.22.



Рисунок 3.22 – Робота правого джойстика

Потім було перейдено до вкладки “Data”, яка виводить відповідні дані. Висоту та курс пристрою важко визначити, але приблизно він відповідає показаним даним на рисунку 3.23. А от широту і довготу розміщення безпілотної легко визначити за допомогою додатку Google Maps.

Для цього слід перейти в програмне забезпечення на телефоні або ж у браузері та увести в пошукову стрічку місця широту та довготу цілі через крапку, а значення двох змінних через кому, а саме так “49.436022, 27.019200”. Було отримано приблизне місце пристрою, що зображено на рисунку 3.24.

Саме тому у ході тестування було прийнято рішення додати на вкладку “Data” для зручності віджет “Map”, що ілюструє карту. Він має виводити місце розташування пристрою за допомогою двох змінних, а саме довготи і широти.

Після того тестування було проведено ще раз. Було трішки змінено локацію дослідів і в підсумку було отримано наступні результати, що ілюструє рисунок 3.25.

Розташування пристрою приблизно збігається з даними на карті в системі керування. Тепер достовірність даних можна переглянути прямо в додатку Vlynk IoT, та не потрібно переходити в Google Maps.

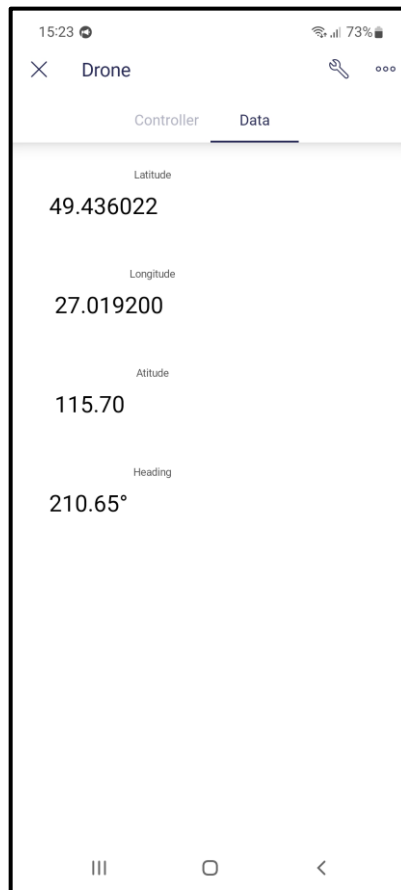


Рисунок 3.23 – Виведення даних пристрою

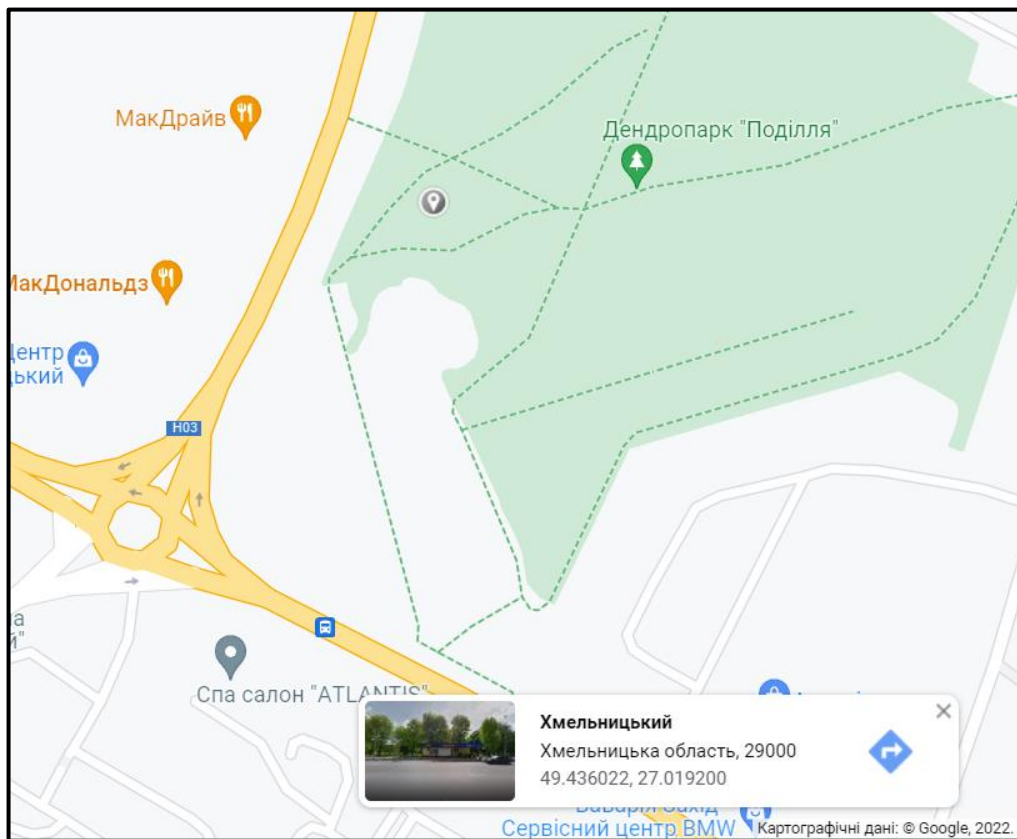


Рисунок 3.24 – Розташування пристрою згідно широти да довготи

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ

Арк

64

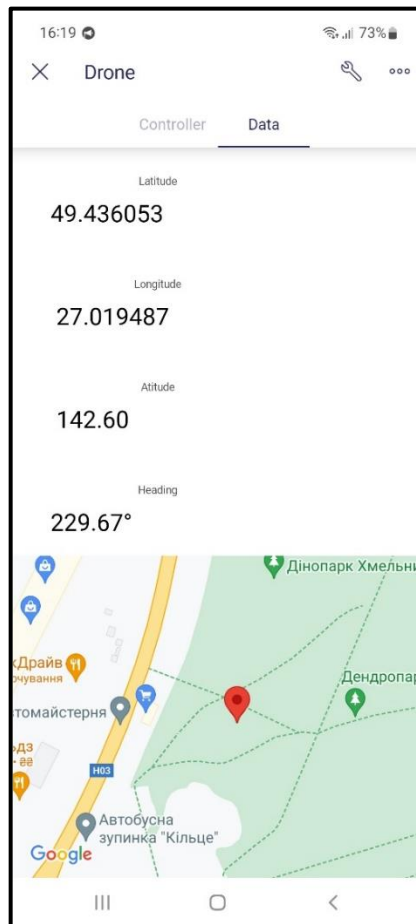


Рисунок 3.25 – Розташування пристрою згідно даних системи

3.5 Висновки

У даному розділі було продемонстровано реалізацію схему і показано засоби підключення необхідних елементів літального апарату один до одного. Було реалізовано загальну макетну та ініціативну схему. Перед збиранням дрона було закуплено необхідні елементи і проведено їх оцінка.

Також було представлено додаток Vlynk IoT за допомогою якого було реалізовано систему для керування пристроєм, а в кінці було проведено тестування системи керування даного додатку.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

У ході реалізації проєкту було теоретично розглянуто основи досліджуваної проблеми, а саме проведено аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань, здійснено порівняльний аналіз переваг та недоліків відомих рішень, а також знайдено різні методологічні підходи до вирішення задачі за темою дослідження.

Отже, було визначено основні етапи для реалізації поставленої задачі з побудови дрона, а саме обрано найкращі методи для підключення необхідних компонентів одне до одного для сформування готового пристрою. Дане дослідження дозволить уникнути критичних недоліків у проєкті та допоможе усунути їх у налаштуванні та у майбутньому керуванні приладом, що дозволить запобігти падінню дрона.

Попередні дослідження стали відправною точкою у конструюванні безпілотного літального апарату. І уже на наступному етапі було створено схему з'єднань компонентів квадрокоптера. Моделювання підключення елементів допомогли у майбутньому правильно все зробити у реальному часі. Оцінка вартості всіх речей необхідних для безпілотника допомогли довести те що пристрій є недорогим у реалізації.

Але для керування літальним апаратом також було розроблено систему у додатку Vlynk IoT, що дозволяє проводити політ пристрою за допомогою звичайного телефону.

Також невід'ємним етапом створення проєкту є тестування. В кінці було проведено тестування системи керування системи управління. У підсумку було визначено що керування здійснюється без помилок, а також у разі загублення літального пристрою з поля зору визначається приблизне розташування згідно широти і довготи, а саме основне показано на карті додатку.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Анк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Mehta P., Gupta R., & Tanwar S. Blockchain envisioned UAV networks: Challenges, solutions, and comparisons. *Computer Communications*. 2020. Pp. 518-538.
2. Zhang Y., Lyu W., Sun T., Zhong F. UAV Antenna Automatic Tracking System Based on Arduino. *In 2021 IEEE 15th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*. 2021. Pp. 438-442
3. Moheddine A., Patrone F., Marchese M. UAV and IoT integration: A flying gateway. *In 2019 26th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*. 2019. Pp. 121-122.
4. Yemelyev A. K., Moldamurat K., Seksenbaeva R. B. Development and Implementation of Automated UAV Flight Algorithms for Inertial Navigation Systems. *In 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2021. Pp. 1-5.
5. Kim S. M., Choi Y., Suh J. Applications of the open-source hardware Arduino platform in the mining industry: a review. *Applied Sciences*. 2020. Pp. 1-17.
6. Lee H. W., Chen X. Z., Tan X. H. The Study of Using Arduino to Control Aircraft Combined with Obstacle Avoidance Warning Function. *In 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*. 2018. Pp. 1-2.
7. Erkovich N. A., & Barsukova N. V. Development of ultra-small uav control system. *In Professional English in Use*. 2018. Pp. 51-55.
8. Patil V., Potphode V., Potdukhe U., Badgujar V., Upadhyaya K. Smart UAV Framework for Multi-Assistance. *In ICT with Intelligent Applications*. 2022. Pp. 241-249.
9. Motlagh N. H., Baga M., Taleb T. UAV-based IoT platform: a crowd surveillance use case. *IEEE Commun. Magaz.* 2017. Pp. 128–134.
10. Oniniwu G., Onojo O., Ozioko O., Nosiri O. Quadcopter design for payload delivery. *J. Comput. Commun.* 2016. Pp. 1–12.
11. Wada A. A surveillance system using small unmanned aerial vehicle (UAV) related technologies. *NEC Tech.* 2017. Pp. 68–72.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Анк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

12. Erdelj M., Król M., Natalizio E. Wireless sensor networks and multi-UAV systems for natural disaster management. *Comput. Netw.* 2019. Pp. 72–86.
13. Jumaah H. J., Kalantar B., Halin, A. A., Mansor S., Ueda N., Jumaah S. Five monitoring system. *Drones. J. Development of UAV-based PM2.* 2021. P. 60.
14. Psilias D., Milidonis A., Voyiatzis I. Architecture for Secure UAV Systems. *In 24th Pan-Hellenic Conference on Informatics.* 2020. Pp. 99-102.
15. Qianqian G., Xiaohui Z. Automatic tracking system of uav antenna based on GPS. *Computer applications and software.* 2017. Vol. 34. No. 6. Pp. 85-90.
16. Fotouhi A., Ding M., Hassan M. Flying Drone Base Stations for Macro Hotspots. *IEEE Access.* 2018. Vol. 6. Pp. 19530-19539.
17. Sumathi O. M., Mudigonda M. Multisensor Data Fusion Based Early Warning System For Wireless Healthcare Monitoring. *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER).* 2018. Vol. 08. Pp. 33-40.
18. Yoon K., Park D., Yim Y., Kim K., Yang S. K., Robinson M. Security Authentication System Using Encrypted Channel on UAV Network. *First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC).* 2017. Pp. 393-398.
19. Baidya S., Shaikh Z., & Levorato M. FlyNetSim: An open source synchronized UAV network simulator based on ns-3 and ardupilot. In Proceedings of the 21st ACM International Conference on Modeling. *Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems.* 2018. Pp. 37-45.
20. Hou A. S., Lin C. E. Uas Delivery Multi-Rotor Autopilot Based on ArduPilot Framework Using S-Bus Protocol. In 2022 Integrated Communication, *Navigation and Surveillance Conference (ICNS).* 2022. Pp. 1-10.
21. Mendoza-Mendoza J. A., Gonzalez-Villela V., Sepulveda-Cervantes G., Mendez-Martinez, M., Sossa-Azuela H. ArduPilot Working Environment. *In Advanced Robotic Vehicles Programming.* 2020. Pp. 19-46.
22. Albayrak Ö. B., Ersan, Y., Bağbaşı A. S., Başaranoğlu A. T., Arıkan K. B. Design of a robotic bicopter. *In 2019 7th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA).* 2019. Pp. 98-103.
23. Indra W. A., Industrial S. G. H., Zamzam N. S., bin Hassim Fakulti N., Zuska F. Development of A Guided Drone Powered by Radio Frequency Energy Harvesting. *In*

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Анк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

2021 IEEE International Conference in Power Engineering Application (ICPEA). 2021. Pp. 127-131.

24. Giernacki W., Horla D., Saska M. In-flight Efficient Controller Auto-tuning using a Pair of UAVs. In 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2020. Pp. 1300-1307.

25. Carroll S., Kalaitzakis M., Vitzilaios N. UAS Sensor Deployment and Retrieval to the Underside of Structures. In 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). 2021. Pp. 895-900.

26. Chandra S. S., & Sastry A. S. C. S. Autopilot quadcopter. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2018. – pp. 326-331.

27. Gong A., MacNeill R., Verstraete D. Performance testing and modeling of a brushless dc motor, electronic speed controller and propeller for a small uav application. In 2018 joint propulsion conference. 2018. P. 454.

28. Nikhil N., Shreyas S. M., Vyshnavi G., Yadav, S. Unmanned aerial vehicles (UAV) in disaster management applications. In 2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT). 2020. Pp. 140-148.

29. Parmar R. P. Decryption and Design of a Multicopter Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Heavy Lift Agricultural Operations. *Agricultural Informatics: Automation Using the IoT and Machine Learning*. 2021. Pp. 189-221.

30. Wu H., Li, H., Wei Z., Zhang N., Tao, X. Secrecy performance analysis of air-to-ground communication with UAV jitter and multiple random walking eavesdroppers. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2020. Pp. 572-584.

31. Gunawan T. S., Yahya W. A., Sulaeman E., Kartiwi M., Janin Z. Development of control system for quadrotor unmanned aerial vehicle using LoRa wireless and GPS tracking. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*. 2020. Pp. 2674-2681.

32. Kim K. S., Ha H. S., Lee J. C. Transponder and Ground Station Systems for Drones. *Journal of the Korea Society of Computer and Information*. 2020. Pp. 9-15.

33. Liu Y., Luo Q., Liang W., Zhou Y. GPS/INS Integrated Navigation with LSTM Neural Network. In 2021 4th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICoIAS). 2021. Pp. 345-350.

					КВПКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Анк
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

34. Zhang S., Xue X., Chen C., Sun Z., Sun T. Development of a low-cost quadrotor UAV based on ADRC for agricultural remote sensing. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019. Pp. 82-87.
35. García J., Molina J. M., & Trincado J. Real evaluation for designing sensor fusion in UAV platforms. *Information Fusion*. 2020. Pp. 136-152.
36. Hu C. Attitude stability control of UAV gyroscope based on neutral statistics for smart cities. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2021. Pp. 1-10.
37. Faisal I. A., Purboyo T. W., Ansori A. S. R. A Review of accelerometer sensor and gyroscope sensor in IMU sensors on motion capture. *J. Eng. Appl. Sci*. 2019. Pp. 826-829.
38. Alzaabi H. A., Elfadel I. M. Gyroscope-Free UAV Navigation. In 2021 Symposium on Design, Test. *Integration & Packaging of MEMS and MOEMS (DTIP)*ю 2021. Pp. 1-4.
39. Youn W., Choi H., Cho A., Kim S., Rhudy M. B. Accelerometer fault-tolerant model-aided state estimation for high-altitude long-endurance UAV. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2020. Pp. 839-853.
40. Ren Z., Fu W., Li Y., Yan B., Zhu S., Yan J. Enhanced attitude control of unmanned aerial vehicles based on virtual angular accelerometer. *IEEE Access*. 2019. Pp. 330-343.
41. Faisal I. A., Purboyo T. W., Ansori A. S. R. A Review of accelerometer sensor and gyroscope sensor in IMU sensors on motion capture. *J. Eng. Appl. Sci*. 2019. Pp. 826-829.
42. Celis R., Cadarso L. An estimator for UAV attitude determination based on accelerometers, GNSS sensors, and aerodynamic coefficients. *NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation*. 2018. Pp. 319-334.
43. D'Amato E., Mattei M., Notaro I., Scordamaglia V. UAV sensor FDI in duplex attitude estimation architectures using a set-based approach. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2018. Pp. 265-275.
44. Eleftheroglou N., Zarouchas D., Loutas T., Mansouri S. S., Georgoulas G., Karvelis P., Benedictus R. Real time diagnostics and prognostics of UAV lithium-

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Анк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		70

polymer batteries. *In Proceedings of the Annual Conference of the PHM Society*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 107-110.

45. Sai P. G., Rani C. S., Nelakuditi U. R. Implementation of power optimization technique for UAVs. *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5(1). Pp. 132-137.

46. Paez G. K. S., Orchard M., Kulkarni C., Goebel K. A hybrid battery model for prognostics in small-size electric UAVs. *In Annual Conference of the PHM Society*. 2018. Vol. 10. No. 1. Pp. 54-57.

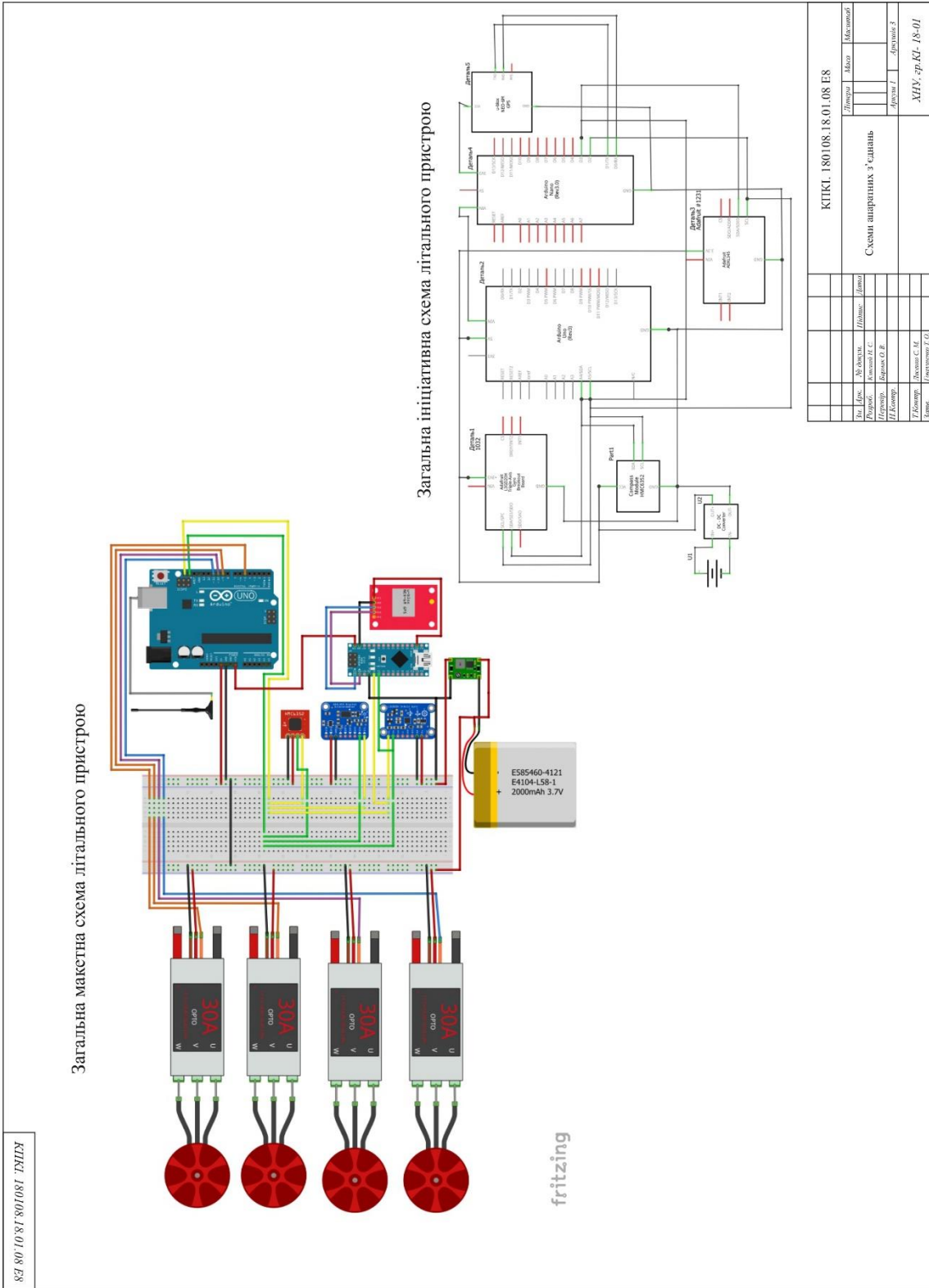
47. Chen J., Ghannam R., Imran M., Heidari H. Wireless power transfer for 3d printed unmanned aerial vehicle (uav) systems. *In 2018 IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia)*. 2018. Pp. 72-76.

					КВРКІ 180108.18.01.08 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

Додаток А

(обов'язковий)

Копія креслення «Схеми апаратних з'єднань»

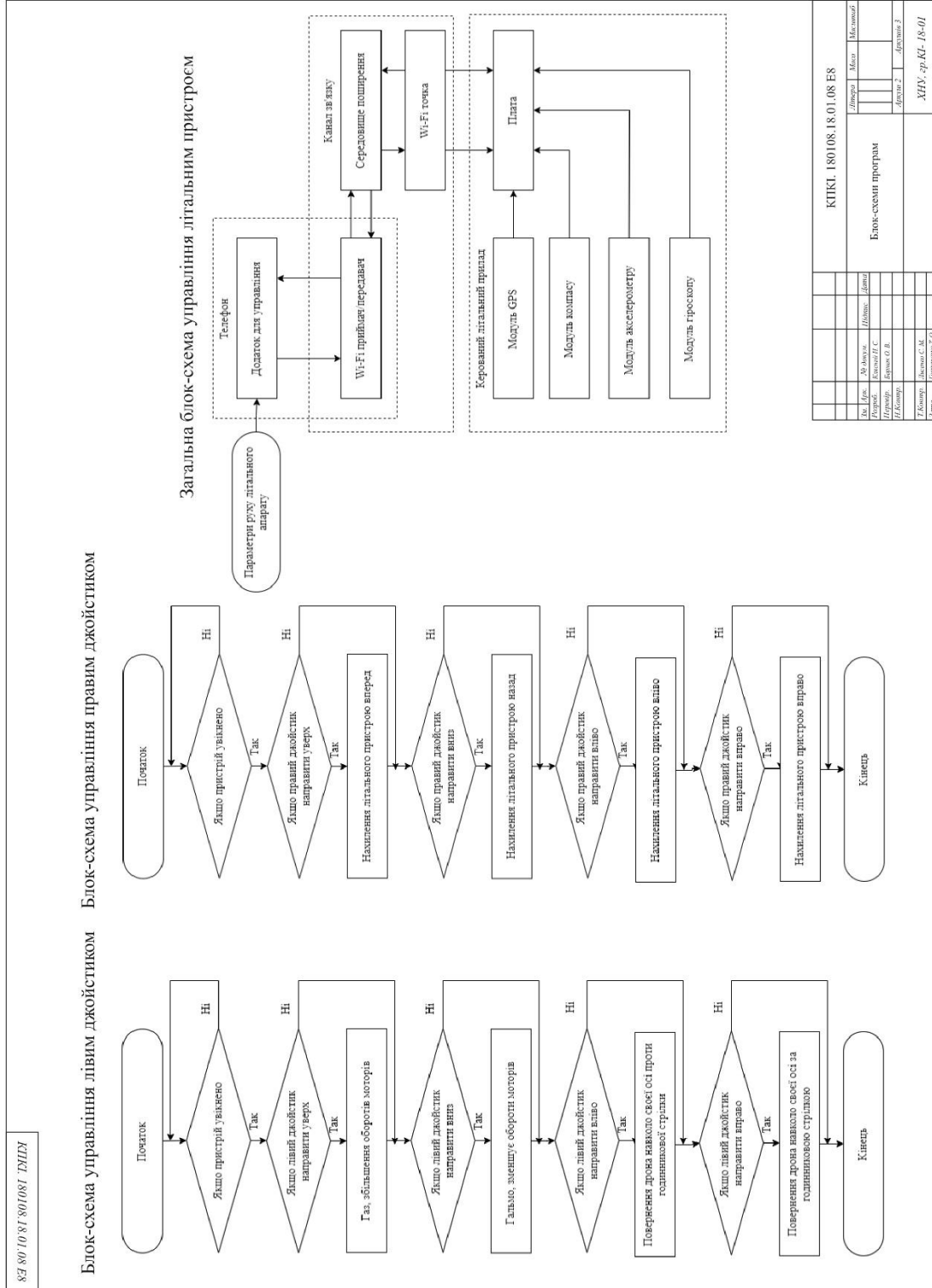


fritzing

Додаток Б

(обов'язковий)

Копія креслення «Блок-схеми програм»



Додаток Г

Лістинг коду для керування безпілотним апаратом

```
typedef union accel_t_gyro_union
{
    struct
    {
        uint8_t x_accel_h;
uint8_t x_accel_l;
        uint8_t y_accel_h;
        uint8_t y_accel_l;
        uint8_t z_accel_h;
        uint8_t z_accel_l;
        uint8_t t_h;
        uint8_t t_l;
        uint8_t x_gyro_h;
        uint8_t x_gyro_l;
        uint8_t y_gyro_h;
        uint8_t y_gyro_l;
        uint8_t z_gyro_h;
        uint8_t z_gyro_l;
    } reg;
    struct
    {
        int x_accel;
        int y_accel;
        int z_accel;
    } temperature;
    int x_gyro;
    int y_gyro;
```

```
myservoT.attach(7); //7-TOP
myservoR.attach(8); //8-Right
myservoB.attach(9); //9-BACK
myservoL.attach(10); //10LEFT
```

```
voidtest_gyr_acc()
```

```
{
error=MPU6050_read(MPU6050_WHO_AM_I,&c,1);if(error!= 0)
{
while(true)
{
digitalWrite(13,HIGH);delay(300);digitalWrite(13, LOW);delay(300);
}}}
```

```
voidstabilize()
```

```
{
P_x=(x_a+rad_tilt_LR)*2.4;P_y=(y_a+rad_tilt_TB)*2.4;
I_x=I_x+(x_a+rad_tilt_LR)*dt_*3.7;I_y=I_y+(y_a+rad_tilt_TB)*dt_*3.7;D_x=x_vel
*0.7;
D_y=y_vel*0.7;
```

```
Bluetooth:
```

```
if(Serial.available() > 0)
{
state = Serial.read();
}
if (state == '0')
```

```
{
```

```
digitalWrite(Pin, LOW); state = 0;
}
else if (state == '1')
{
digitalWrite(Pin, HIGH); state = 0;
}
```

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1011329055

Дата перевірки:
25.05.2022 08:54:10 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
25.05.2022 08:54:24 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Клясний Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ар...

Кількість сторінок: 71 Кількість слів: 8389 Кількість символів: 59012 Розмір файлу: 8.49 MB ID файлу: 1011215216

1.37% Схожість

Найбільша схожість: 0.81% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011215076)

0.58% Джерела з Інтернету

9

Сторінка 73

1.04% Джерела з Бібліотеки

106

Сторінка 73

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

2

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 12%

ID: 103928 Название: Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно Добавлено в БД: 2022-05-25 Авторы: Клясний Н.С Руководители: Бармак О.В. Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	51255	524	298 (1%)	4 (1%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Клясний Назарій Сергійович

Тема: Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є створення безпілотного літального апарата на базі Ардуіно

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано програмно-технічні засоби та складові для створення та керування безпілотними літальними апаратами та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи детально розглянуто обрані моделі, які будуть використовуватися для конструювання безпілотного літального апарату, а конкретно складання рами дрону, керування безщітковим двигуном за допомогою Ардуіно, калібрування електронного регулятора швидкості, різноманітні модулі, а також принцип підключення акумулятора. Було розглянуто мету, ціль і принцип з'єднання і програмування кожного компонента, який буде використовувати в третьому розділі. В третьому розділі кваліфікаційної роботи було продемонстровано реалізація схеми і показано засоби підключення необхідних елементів літального апарату. Реалізовано макетну та ініціативну схему. Демонструвалась робота в додатку Blynk IOT за допомогою якого було реалізовано систему для керування пристроєм, а в кінці було проведено тестування системи керування даного додатку.

4. Позитивні сторони роботи: практичність і легке використання пристрою.

5. Негативні сторони роботи: відсутня повна комплектація пристрою, а саме можливість установки камери відеоспостереження.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Манзюк Едуард Андрійович, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук

“ 31 ” травня 2022 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КІСП
д-ру техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Клясного Н. С.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 4 курсу, групи КІ-18-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

23.05.22

дата



підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Програмно-технічний засіб керування безпілотним літальним апаратом на базі Ардуіно

Автор: Клясний Назарій Сергійович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Бармак Олександр Володимирович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

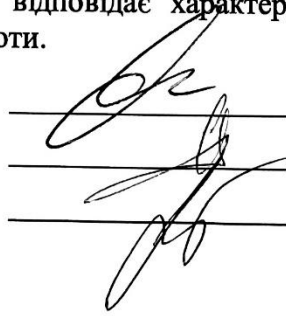
- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами,
- 3) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано бібліотеки підпрограм, які використовуються для розв'язку великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 1.37% і адресується до 115 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП



О. В. Бармак

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко