

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Радіотехнічних пристроїв та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

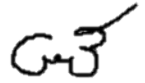
«Радіотехнічні інформаційні технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Квадрокоптер для навчальних задач»

Виконав:

студент III курсу, групи РТ-п81
Залізняк Олександр Сергійович



Керівник:

ст. Викладач
Неуймін Олександр Станіславович

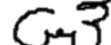


Рецензент:

асистент
Видалко Олег Євгенович



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

Студент (-ка) _____ 

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Радіотехнічних пристроїв та систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіотехнічні інформаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Залізняка Олександр Сергійовичу

1. Тема роботи «Квадрокоптер для навчальних задач», керівник роботи Неуймін Олександр Станіславович, ст. викладач, затверджені наказом по університету від «18» травня 2021 р. №1205-с

2. Термін подання студентом роботи 06.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Спроекувати квадрокоптер для навчальних задач, за наступними параметрами:

Габарити не більше ніж 100 x 100 x 30 мм (Ширина, висота, товщина);

Час польоту не менше 5 хвилин;

Вага не більше 50 грамів;

Використання нової версії Bluetooth V5.2 для радіоканалу.

4. Зміст роботи:

Розділ 1: «ПІДГОТОВКА ДО РОЗРОБКИ»

Розділ 2: «ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ»

Розділ 3: «РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ»

Розділ 4: «ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ»

Розділ 5: «СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА»

Розділ 6: «ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ»

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): структурна схема, схема електрична принципова, друкований вузол

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ПІДГОТОВКА ДО РОЗРОБКИ	12.04.21 – 19.04.21	
2	ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	19.04.21 – 26.04.21	
3	РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	26.04.21 – 03.05.21	
4	ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ	03.05.21 – 10.05.21	
5	СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА	10.05.21 – 26.05.21	
6	ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	26.05.21 – 06.06.21	

Студент

Олександр ЗАЛІЗНЯК

Керівник

Олександр НЕУЙМІН

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є розробка мініквадрокоптеру для різних навчальних задач, яким можуть користуватися учні або студенти.

Проведено аналіз різних літальних дронів, та обрано прототип для розробки міні квадрокоптера. Запропоновано конструкцію на базі двох мікроконтролерів nRF52832 та STM32F4, кожен з яких виконує відведені для нього функції.

За допомогою Altium Designer створені файли технічного процесу. Результатом проведеної роботи є необхідна для виготовлення мініквадрокоптера конструкторська документація.

Дипломна робота включає в себе пояснювальну записку обсягом 57 сторінок, 47 рисунків, 3 креслень, 25 посилань, 3 додатків.

Ключові слова: квадрокоптер, дрон, bluetooth, мікроконтролер.

ANNOTATION

The purpose of the work is to develop a mini quadcopter for various educational tasks, which can be used by students without trouble.

The analysis of various aircraft drones was carried out and a prototype was selected for the development of a mini quadcopter. The design based on two microcontrollers is proposed nRF52832 and STM32F4, each of which performs the functions assigned to it.

Technical process files are created in Altium Designer. The result of this work is a required for the manufacture of mini-quadcopter, design documentation.

Diploma includes an explanatory note of 57 pages, 47 pictures, 3 drawings, 25 links, 3 appendices.

Key words: quadcopter, drone, bluetooth, microcontroller.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

на тему: «Квадрокоптер для навчальних задач»

Київ — 2021 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень	2
Вступ	3
2 Огляд існуючих рішень.....	6
2.1 Blade Inductrix FPV	6
2.2 Meteor 75 Lite	8
2.3 EMAX Tinyhawk 2	9
2.4 Hubsan X4 H107L.....	10
2.5 Crazyflie 2.1	13
2.6 Висновок	14
3 СИСТЕМНА АРХІТЕКТУРА.....	16
4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ	18
4.1 Вибір мікроконтролерів.....	18
4.2 Вибір сенсорів	20
4.3 Вибір резисторів	24
4.4 Вибір конденсаторів	25
4.5 Вибір індуктивностей:.....	25
4.6 Вибір двигунів та опор:.....	25
4.7 Вибір конекторів:	29
4.7.1 Конектор для двигунів.....	29
4.7.2 Micro USB	29
4.7.3 Роз'єм адаптеру відладки:	30
4.7.4 Роз'єм для акумулятора(Female):	30

					РТп81.468319.001 ПЗ		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Квадрокоптер для навальних задач		
Розробив	Залізняк О.С.						
Перевіриє	Неуймін О.С.						
Н. Контр.							
Затвердив	Неуймін О.С.						
					Лім.	Лист	Листів
					1		
					РТ-п81 РТФ		

4.7.5 Роз'єм акумулятора(Male):	30
4.8 Перемикач живлення: ВЗУ-3000Р:.....	31
4.9 Вибір компонентів для блоку радіочастотний підсилювач потужності.....	32
4.9.1 Чіп-антена:	32
4.9.3 Лінійний регулятор напруги	34
4.9.4 Регулятор напруги	35
4.9.5 Контролер навантаження.....	35
4.9.6 Смуговий фільтр	36
4.9.7 Skyworks RFX2411	37
4.10 Вибір частотного резонатору:.....	38
4.11 Вибір транзистору:.....	38
5 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА	39
6.1 Вибір конструкційних матеріалів.....	41
6.2 Розміри плати та оптимальна ширина провідників.....	44
6.3 Трасування плати у 2D	45
6.4 Трасування плати у 3D	46
Висновки	48
Перелік джерел посилань	49
<i>Додаток А Технічне завдання.....</i>	<i>52</i>
<i>Додаток Б Перелік елементів</i>	<i>54</i>
<i>Додаток В Відомості до дипломної роботи.....</i>	<i>57</i>

					РТп81.468319.001 ПЗ		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Квадрокоптер для навальних задач		
Розробив		Залізняк О.С.					
Перевірів		Неуймін О.С.					
Н. Контр.							
Затвердив		Неуймін О.С.			Лім.	Лист	Листів
					1		
					РТ-п81 РТФ		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДП — Друкована плата

ДПТ — Двигунів постійного струму

МД — Міні квадрокоптер

ПЗП — Постійно запам'ятовуючий пристрій

СП — Схема електрична принципова

AD — Altium Designer 20

LiPo — Літій-полімерна батарея

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В наш час існує багато сфер, в яких чудово зарекомендували себе міні-дрони. Наприклад, на фермах вони можуть виявляти хвороби у рослин, керувати водокористуванням, розпилювати всюди або в конкретному місці як пестициди так і інші хімічні добавки. Також їх можна використовувати в приміщеннях, в будинках, які сильно пошкодженні, щоб рятувальники могли їх дослідити перед початком рятувальних місій по пошуку постраждалих після землетрусів і інших стихійних лих. Вони добре себе зарекомендували під час пошукових місій у горах і інших місцевостях.

В військовій справі міні-дрони - це передові системи, які об'єднують в собі багато функцій, і при цьому мають невеликі габарити. Дуже легкий (27г.), майже безшумний і з часом польоту до 25 хвилин, кишеньковий Black Hornet PRS передає оператору відео в реальному часі і нерухомі зображення високої якості. За допомогою отриманої інформації, яку надає дрон, солдати отримують миттєву приховану обізнаність о ситуації, що допомагає їм більш ефективно виконувати завдання. Компанія розробник FLIR поставила Black Hornet по всьому світу структурам оборони і безпеки партіями більш ніж 12 тисяч[1].

Це лише мала частина того, що можуть міні-дрони, але навіть вже це можна покращити, використовуючи технологію «рій». В рою немає лідера або командира; Рій – це самоорганізована система, в якій всі елементи рівні. Рій дозволяє дронам ефективно обшукувати території і літати разом, не зіштовхуючись. Потрібен лише один оператор, щоб контролювати весь рій[2].

Науковці з університету Лафборо створили систему для пошуку і порятунку в горах, в якій використовується команда із десяти міні-дронів, яка запускається вручну. Дрони оснащені тепловізорними камерами, щоб легше знаходити постраждалих альпіністів, і, підтримуючи зв'язок один з одним, здатні забезпечити покриття всієї території.

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідники із Гарвардського інституту Вісса вважають, що в подальшому маленькі дрони можуть стати такою ж частиною нашого навколишнього середовища, як і комахи. Вони працюють над проектом RoboBee, його принцип заключається в розробці дрібних дронів розміром менше скріпки і вагою в одну десяту грама. Тисячі дроно-бджіл можна використовувати для моніторингу погоди, огляду або, навіть, для запилення сільськогосподарської культури.

Науковці із центру розподілу робототехніки при університеті Міннесоти працюють над дронами на сонячних батареях, які будуть працювати в режимі рій, щоб досліджувати великі території сільського господарства з невеликими затратами[3].

Враховуючи актуальність мінідронів, в дипломній роботі розробляється мініквадрокоптер (МД) для використання учнями і студентами в навчальному процесі. Користувачі з легкістю зможуть замінювати для різних потреб та задач компоненти, такі як: двигуни, батарею, кріплення, гвинти. Також для них доступна можливість самим програмувати МД та створювати свої проекти. Наприклад: додати інші датчики, розробляти різні корпуси та багато іншого.

Особливістю запропонованого пристрою є легкість в застосуванні та в заміні компонентів, покращений радіозв'язок.

					РТп81.468319.001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Метою роботи, згідно з технічного завдання, є проектування квадрокоптеру, що використовуватиметься в навчальному процесі учнів або студентів для реалізації їх проектів чи простого програмування базових команд та перевірки їх на працездатність. Основними особливостями пристрою повинні бути простота конструкції, заміна або ж установка нових модулів, та можливість програмування квадрокоптеру.

Для компактності на етапі проектування розміщення елементів буде виконано з двох сторін. А форма плати повинна мати можливість для закріплення двигунів з кріпленнями, що дозволить не проектувати корпус, який тільки збільшив би вагу.

Час польоту та вага залежать від обраної батареї живлення. Також пристрій повинен мати модуль bluetooth V5.2.

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

2.1 Blade Inductrix FPV

Blade Inductrix FPV має широкий захист пропелерів, каналні вентилятори надійно захищені і майже не генерують шуму під час польоту.

Захист на пропелерах дозволяє відштовхуватися від стінок та інших об'єктів без пошкоджень самої моделі, а також майже повністю анулює можливість нанести пошкодження оточуючим або іншим об'єктам.

Рама виконана із пластику і має багато тонких переходів. Для більшої надійності можна докупити «Rakonheli CNC Advanced Upgrade Kit» — рама з карбону, захист із алюмінію. На рамі також є виніс для камери FPV. Це призведе до збільшення ваги та збільшення вартості на 43 долари[5].



Рисунок 2.1.1 — Квадрокоптер Blade Inductrix FPV

Inductrix FPV оснащений відеопередавачем 25 мВт, FPV-камерою, високопродуктивними двигунами і 200 мА/ч. Модель здатна з легкістю літати навіть в самих маленьких приміщеннях.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

6

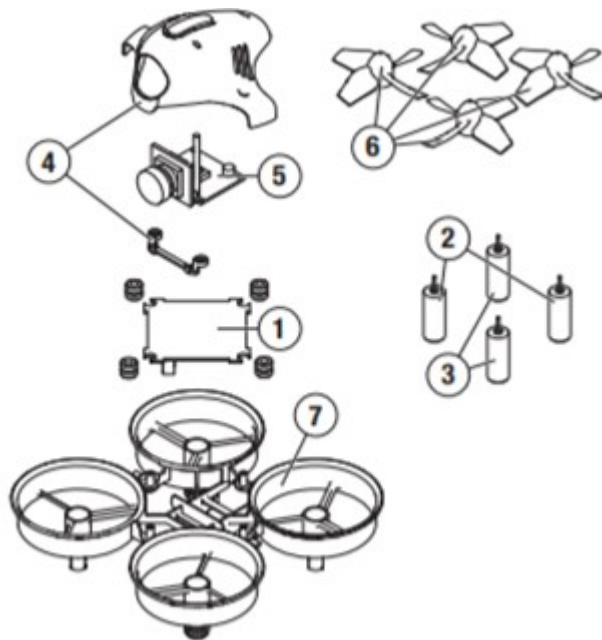


Рисунок 2.1.2 — Конструкція Blade Inductrix FPV

1. Контролер польоту
2. Двигун (за годинниковою стрілкою)
3. Двигун (проти годинникової стрілки)
4. Верхня кришка
5. FPV Камера
6. Пропелери
7. Корпус



Рисунок 2.1.3 Контролер польоту

Основні параметри:

1. Розмір: 83x83x28мм.
2. Вага: 24 г.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

7

3. Двигуни: 6x15мм., вал 0,8мм., 14300 кВ
4. Акумулятор: 1S 200 мВт, Li-Po, 45С
5. Час польоту: 3-5 хвилин
6. Ціна : \$199

2.2 Meteor 75 Lite

Має таку ж саму конструкцію, як і у Blade Inductrix FPV



Рисунок 2.2.1— Квадрокоптер Meteor 75 Lite

На рисунку 2.2.2 зображений контролер польоту

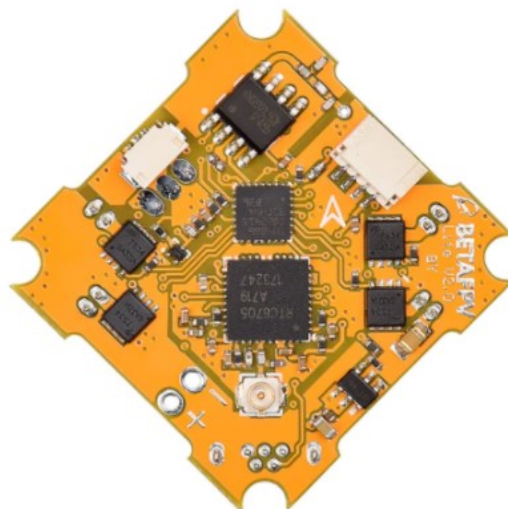


Рисунок 2.2.2 — Контролер польоту Lite F4

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

8

Meteor 75 Lite оснащений потужними безколекторними двигунами, платою керування польотом Lite F4, FPV камерою і відео-передатчиком на 25мВт (5.8ГГц) з підтримкою SmartAudio. Завдяки своїм габаритам, досить безпечний для польотів в приміщенні, також його швидкості вистачить для польотів на вулиці.

Основні параметри:

1. Вага: 48 г
2. Двигуни: Б/К 1102 18000 кВ
3. Акумулятор: 1S 450 мАч, Li-Po.
4. Час польоту: 3-4 хвилин
5. Ціна : \$90

2.3 EMAX Tinyhawk 2

Рама, даного квадрокоптера, виготовлена з поліпропіленового пластику рама з захистом пропелерів.

Безколекторні двигуни з міцними підшибниками забезпечують тривалі польоти без частого технічного обслуговування.



Рисунок 2.3.1— EMAX Tinyhawk 2

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

9

Безколекторні двигуни, менші в масштабі, щоб зменшити вагу квадрокоптера, а також здатні працювати на високих оборотах. Завдяки цьому збільшується вихідна потужність усього квадрокоптера.

На рисунку 2.3.2 спостерігаємо контролер польоту з розміщенням елементів.

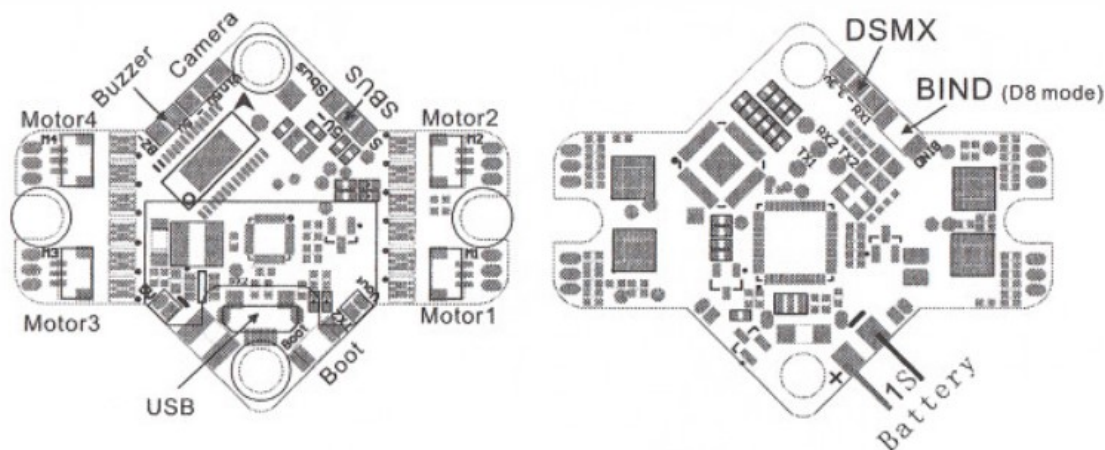


Рисунок 2.3.2 — Контролер польоту

Основні параметри:

1. Розміри: 110x95x35 мм.
2. Вага: 43 г.
3. Двигуни: 8x2,5мм., вал 1,5мм., 15500 кВ
4. Акумулятор: 1S 450 мАч LiPo
5. Час польоту: 3-6 хвилин
6. Ціна : \$100

2.4 Hubsan X4 H107L

Даний квадрокоптер спроможний переносити на собі додаткову вагу у розмірі 20-25 грамів — приблизно стільки важить міні-камера.

На корпусі та біля кожного двигуна встановленні світлодіоди (всього 6: 4 біля двигунів і 2 попереду), які світяться в темряві, при цьому під час польоту передня пара світло діодів горить білим, а задня червоним що допомагає зорієнтуватися в якому положенні знаходиться квадрокоптер.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

10

В даній моделі (в стандартній комплектації) відсутній захист пропелерів, що може, при необачному використанні, привести до поломки[6].



Рисунок 2.4.1 — Квадрокоптер Hubsan X4 H107L

Під кожним двигуном розташовані резинові підкладки (Рисунок 2.4.3, 15. Резинові підкладки) які призначені для зменшення пошкоджень в результаті падіння.

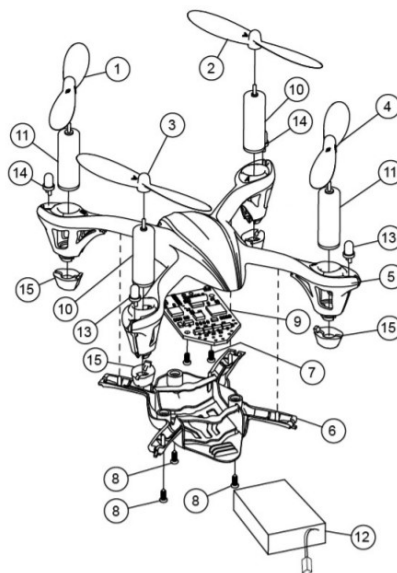


Рисунок 2.4.3 — Конструкція Hubsan X4 H107L

1. Білий пропелер В
2. Білий пропелер А

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

11

3. Чорний пропелер А
4. Чорний пропелер В
5. Верхня кришка
6. Нижня кришка
- 7-8. Гвинти
9. Контролер польоту
10. 720 мотор
11. 720 мотор
12. Li-ро батарея
13. LED-2
14. LED-1
15. Резинові підкладки



Рисунок 2.4.2 — Контролер польоту Lite F4

Основні параметри:

1. Розмір: 68x68x25.4 мм.
2. Вага: 45 г.
3. Двигуни: 0820; без сердечника
4. Акумулятор: літій-полімерний, 3.7V ємністю в 240mAh
5. Час польоту: 5-7 хвилин
6. Ціна: \$40

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.5 Crazyflie 2.1

Остання розробка компанії bitcraze, в якій покращили літальні характеристики, надійність і радіозв'язок.



Рисунок 2.5.1 – Квадрокоптер Crazyflie 2.1

Його розміри ідеально підходять для польотів в лабораторіях, офісах та інших приміщеннях, не пошкоджуючи інтер'єру. Не дивлячись на те, що пропелери обертаються на високих швидкостях, вони м'які, а обертальний момент в двигунах дуже низький в порівнянні з безколекторними двигунами.

Crazyflie 2.1 достатньо швидкий, що може призвести до непередбачених пошкоджень, але навіть якщо він розіб'ється, його вага складає лише 27г, що означає, що кінетична енергія в ході аварії, доволі мала. Під час сильно удару, система квадрокоптера розроблена таким чином, щоб пошкоджувався найдешевший компонент - опори двигунів[7].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

13

Crazyflie 2.1 оснащений 4 двигунами постійного струму без сердечників діаметром 7 мм, які забезпечують максимальну підйомну масу 42 г.

Це дозволяє переносити декілька додаткових модулів, наприклад камеру.

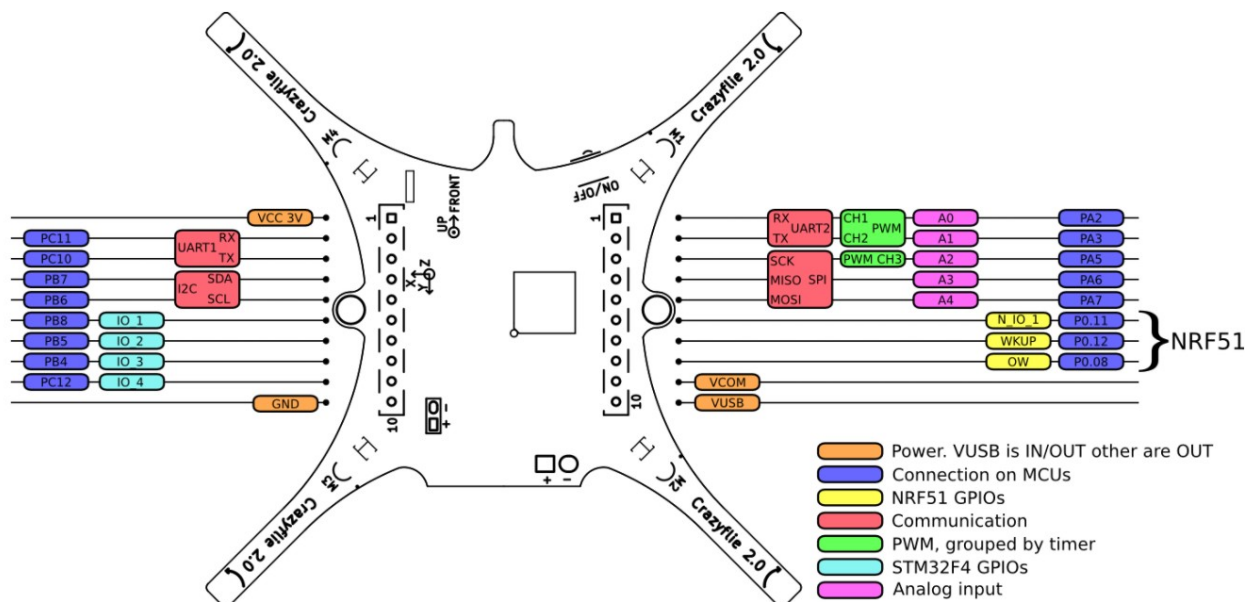


Рисунок 2.5.2 – Конструкція Crazyflie 2.1

Основні параметри:

1. Розміри: 92x92x29 мм.
2. Вага: 27 г.
3. Двигуни: 4x7мм., вал 3,5мм., 14000 кВ
4. Акумулятор: 1S 250 мАч LiPo
5. Час польоту: 6-7 хвилин
6. Ціна : \$195

2.6 Висновок

Переглянуті аналоги показують, що при поставлених вимогах, варіантів конструкції багато, а ціна сильно змінюється. Чим новіший прилад, тим більша його ціна та кращі компоненти. Окрім цінової політики слід зазначити, що у розглянутих аналогів є ряд недоліків, такі як час польоту,

						Лист
						14
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	РТп81.468319.001 ПЗ	

габарити та складність конструкції, що не дає можливості простої заміни пошкоджених елементів.

В якості прототипу послугує розробка шведської компанії, Crazyflie 2.1, його структура ідеально підходить під поставлену задачу. Відсутність корпусу, що не тільки зменшує фінальну вагу але й дає змогу користувачам безперешкодно спостерігати розміщення елементів. В разі непередбачених падінь, в його конструкції передбачено, що основний удар на себе будуть брати опори двигунів, їх заміна являється менш затратною, аніж заміна всього корпусу у аналогів. Із недоліків: застаріла версія Bluetooth, датчики та двигуни. Для покращення приладу, їх потрібно замінити більш сучасними компонентами.

					РТп81.468319.001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

3 СИСТЕМНА АРХІТЕКТУРА

Відповідно до аналізу аналогів структурна схема пристрою, що розробляється, представлена на рисунку 3.1:

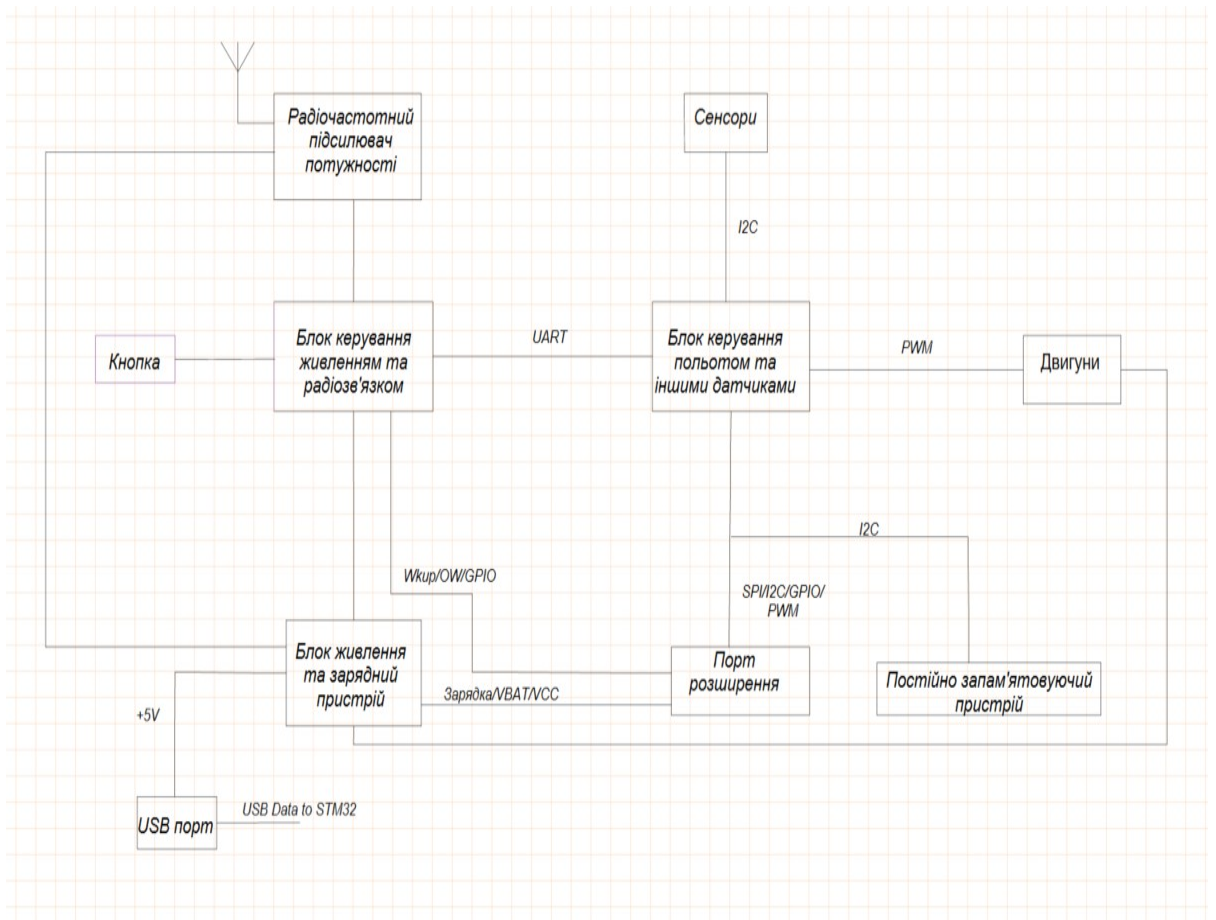


Рисунок 3.1 — Системна архітектура

Блок живлення являє собою акумулятор, який живить весь прилад. Для підзарядки акумулятора використовується блок USB.

До блока «сенсор», відносяться датчики абсолютного барометричного тиску, акселерометр та гіроскоп.

Блок «постійний запам'ятовуючий пристрій», при роботі без програмного пристрою, мікропрограмне забезпечення завантажується з початку в флеш-пам'ять і виконується окремо в центральному процесорі. При послідовній загрузці відбувається обробка кнопки ВКЛ/ВИКЛ і надається інформація о тривалості натиску завантажувачу, щоб він знав що потрібно завантажувати.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Для взаємодії блоку «керування живленням та радіозв'язком», та блоку «керування польотом і датчиками» використовується послідовний порт.

Підсилювач використовується для підсилення потужності у радіопередавачі, що збільшує дальність керування дроном.

Порт розширення використовується для під'єднання інших модулів до квадрокоптеру, що дозволить користувачам з легкістю реалізувати свої ідеї, на базі даного квадрокоптеру.

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

4.1 Вибір мікроконтролерів

Мікроконтролери виконують у пристрої основні задачі.

Обрані мікроконтролери, nRF52832, який знаходиться в блоці керування живленням та радіозв'язком, та STM32F4, який знаходиться в блоці керування польотом та датчиками, мають широке призначення й зарекомендували себе з гарного боку.

Мікроконтролер nRF52832 показаний на рисунку 4.1.1, а STM32F4 на рисунку 4.1.2.

Для nRF52832 – стоять два основних завдання, забезпечення радіозв'язку та керування електроживленням. Основне використання радіо для CRTP(Real-Time Transport Protocol), так і для Bluetooth, але пристрій також підтримує інші протоколи, такі як ANT протокол бездротової сенсорної мережі з низьким споживанням енергії, працює в діапазоні частот 2.4 ГГц. CRTP режим забезпечує канал передачі даних з низькою затримкою 2Мбіт/с. Bluetooth в основному використовується для керування з мобільного телефону або іншого приладу. Основна ідея полягає в тому, щоб зручно і легко керувати дроном за допомогою Bluetooth[10].

Таблиця 4.1.1 Основні характеристики nRF52832

Номер	Характеристика
1	64 МГц Cortex-M4 з FPU
2	512/256 КБ флеш-пам'яті, 64/32 КБ ОЗУ
3	Приймач 2,4 ГГц
4	Bluetooth 5.2 з низьким енергоспоживанням
5	+4 дБм потужність передавача
6	128-бітовий AES
7	UART, SPI, TWI, PDM, I2S

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

18

Інша особливість nRF52832, полягає в тому, що він був розроблений для роботи від монетної батареї, це означає, що він дуже добре підходить для роботи з низькими енергозатратами. Виходячи з цього, в нашому випадку, керувати живленням буде nRF52832.

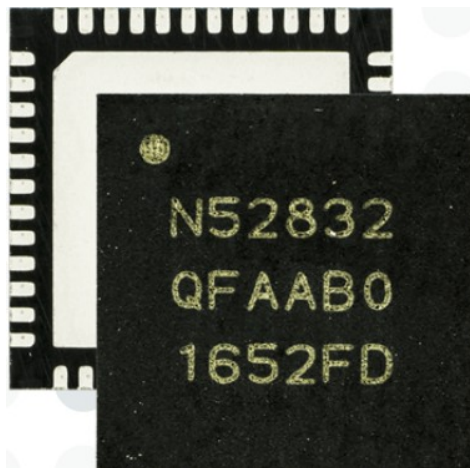


Рисунок 4.1.1 — nRF52832

Це дозволяє відтворити функцію вкл./викл., а кнопка може бути використана для інших функцій.



Рисунок 4.1.2 — STM32F4

Також використовується швидкий Cortex-M4 з великим об'ємом пам'яті. Потужність процесору не являється великим обмежувачем, але пам'ять може стати обмежувачем, якщо користувачі захочуть реалізувати нові функції, для котрих потрібно набагато більше пам'яті. В цьому випадку даного MCU

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

повинно вистачити будь-якому користувачу. Потужність мікроконтролера також дозволить реалізувати більш ресурсозатратні алгоритми.

Даний об'єм пам'яті і обчислювальної потужності також відкриває нові можливості для багатьох речей: STM32F4 має модуль захисту пам'яті, котрий дозволяє запускати задачі в захищеному середовищі і перехоплювати помилки до того, як вони можуть вивезти зі строю прошивку керування.

Кожний МК має чіткі задачі, що дозволяє розробляти і тестувати речі незалежно:

- NRF52 відповідає за:
 1. Логіка ВКЛ / ВИКЛ
 2. Ввімкнення живлення решти системи (STM32, датчики)
 3. Керування зарядом акумулятора і вимірюванням напруги
 4. Радіо завантаження прошивки
 5. Радіозв'язок Bluetooth
 6. Виявлення і перевірка встановлених модифікацій
- За все інше відповідає STM32:
 1. Зчитування датчиків і керування двигунами
 2. Керування польотом
 3. Телеметрія (включаючи напругу акумулятора)
 4. Додаткові користувацькі задачі

NRF52 буде діяти як відомий, а STM32 як керуючий. Використавши радіо-завантаження, можна буде оновлювати прошивку обох МК по бездротовій мережі.

4.2 Вибір сенсорів

Для блоку датчики обираємо рішення від виробника Bosch, який пропонує рішення з двох датчиків ВМІ088(рис.4.2.2) та ВМР390.

Високопродуктивний 6-осьовий інерційний датчик ВМІ088 ІМУ поєднує акселерометр та гіроскоп, що дозволяє з високою точністю

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		20

вимірювати орієнтацію і виявляти рух по трьом ортогональним осям. До складу ВМІ088 входять 16-бітовий цифровий трьохосьовий акселерометр і 16-бітовий цифровий 3-осьовий гіроскоп[11].

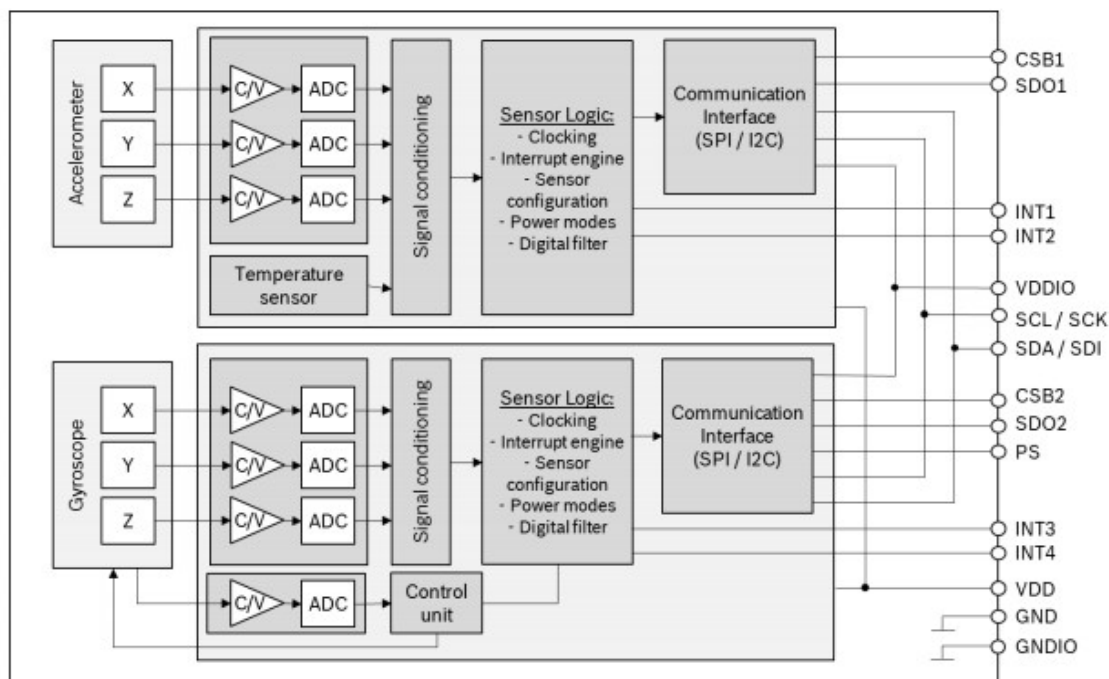


Рисунок 4.2.1 — Діаграма ВМІ088

Висока вібростійкість, відміна температурна стабільність допомагає зменшити затрати на системному та проектувальному рівнях.



Рисунок 4.2.2 — Датчик ВМІ088

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 4.1 — Технічні параметри ВМІ088

Параметр	Технічні характеристики
Цифрове розширення	Акселерометр (А): 16-бітовий Гіроскоп (G): 16-бітовий
Розширення	(А): 0,09 мг (G): 0,004 ° / с
Діапазон виміру та чутливість	(А): ± 3 г: 10920 LSB / г ± 6 г: 5460 LSB / г ± 12 г: 2730 LSB / г ± 24 г: 1365 LSB / г (G): ± 125 ° / с: 262,144 LSB / ° / с ± 250 ° / с: 131,072 LSB / ° / с ± 500 ° / с: 65,536 LSB / ° / с ± 1000 ° / с: 32,768 LSB / ° / с ± 2000 ° / с: 16,384 LSB / ° / с
Нульове зміщення	(А): ± 20 мг (G): ± 1 ° / с
Щільність шуму	(А): 175 мкг / √Гц (G): 0,014 ° / с / √Гц
Пропускна спроможність	5 Гц... 523 Гц
Вибіркова вихідна передача даних	12,5 Гц ... 2 кГц
Цифрові входи/виходи	SPI, I ² C, 4x digital interrupts
Напруга	2,4... 3,6 В
Діапазон температур	-40... + 85 ° С
Використання струму	5,15 мА

Датчик тиску ВМР390(рис.4.2.3). Досить малий, точний, малошумний датчик абсолютного барометричного тиску з низькими енергозатратами. Він ідеально підходить для використання в дронах, так як він забезпечує точне

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

22

відстеження висоти і значно полегшує керування. Він сумісний з іншими датчиками, даного виробника [12].



Рисунок 4.2.3 — Датчик BMP390

На рисунку 4.2.4 показана діаграма BMP390

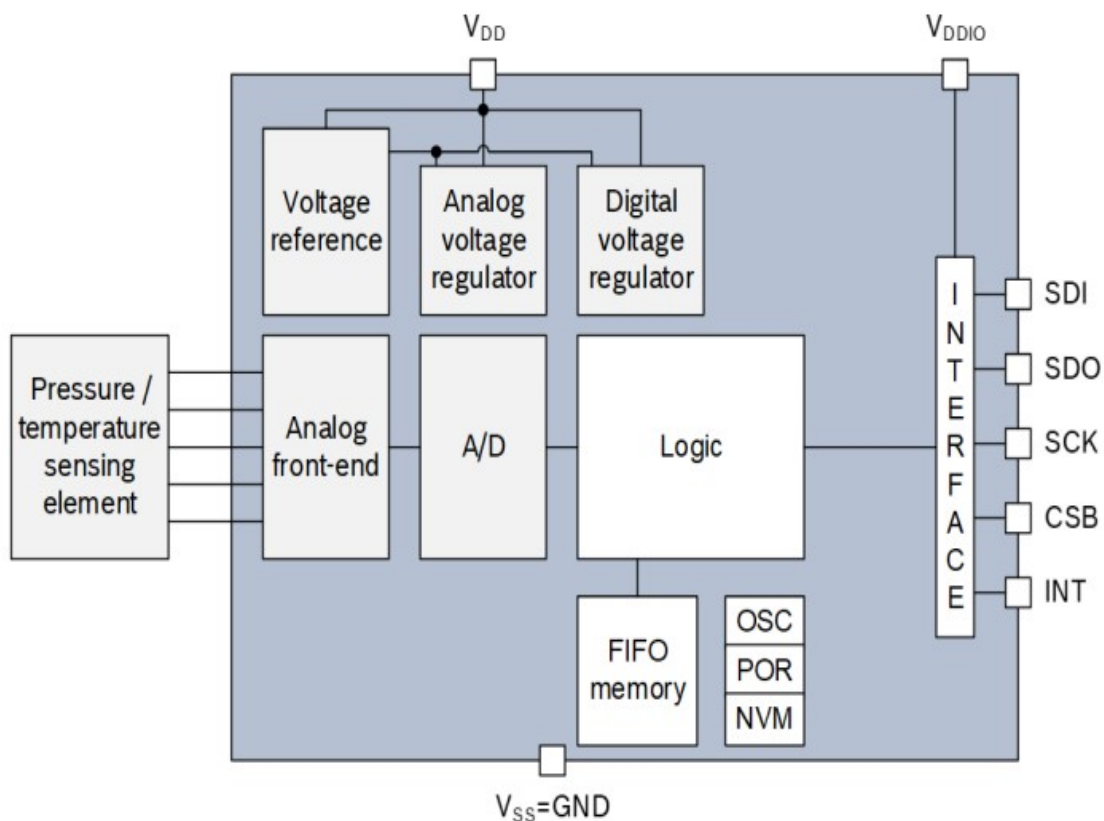


Рисунок 4.2.4 — Діаграма BMP390

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 4.2 — Технічні параметри BMP390

Параметри	Технічні характеристики
Робочий діапазон	Тиск: 300 ... 1250 гПа
Напруга	1,65 В ... 3,6 В
Інтерфейс	I ² C і SPI
Використання струму	3,4 мкА при 1 Гц
Абсолютна точність тиску P = 900 ... 1100 гПа (T = 25 ... 40 ° C)	± 0,5 гПа
Відносна точність тиску P = 900... 1100 гПа (T = 25... 40 ° C)	± 0,08 гПа
Шум тиску (мінімальна полоса пропускання)	0,03 Па
Зміщення температурного коефіцієнту (от -20 °... 65 ° C при 700 гПа до 1100 гПа)	± 0,75 Па / К
Максимальна частота дискретизації	200 Гц

4.3 Вибір резисторів

При виборі резисторів був проведений аналіз серед трьох виробників Bourne, Panasonic і Yageo. За однакові параметри резистори виробника Yageo обійдуться дешевше.

Резистори з типом корпусу (0402) від виробника Yageo:

- RC0402FR-0747RL – Yageo 47 Ом 0.06 Вт;
- SR0402JR-7W1KL – Yageo 1 кОм 0.125 Вт;
- AR0402JR-072K2L – Yageo 2.2 кОм 0.06 Вт;
- RC0402FR-0710KL – Yageo 10 кОм 0.06 Вт;
- RC0402FR-10100KL – Yageo 100 кОм 0.06 Вт;
- RE0402DRE07200KL – Yageo 200 кОм 0.06 Вт;

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		24

4.4 Вибір конденсаторів

Також при виборі конденсаторів було проведено порівняння в якому виробник Yageo за менші гроші пропонує ті ж самі характеристики.

Конденсатори з типом корпусу (0402) від виробника Yageo:

- CC0402CRNPO9BN2R5 – Yageo 2.5 пФ 50 В;
- CC0402FRNPO9BN120 – Yageo 12 пФ 50 В;
- CC0402JPNPO9BN221 – Yageo 220 пФ 50 В;
- CC0402KRX5R8BB105 – Yageo 1 мкФ 25 В;
- CC0402MPX5R5BB475 – Yageo 4.7 мкФ 6.3 В;
- CC0402MRX5R5BB226 – Yageo 22 мкФ 6.3 В;
- CC0402KRX7R9BB102 – Yageo 10 нФ 50 В;
- CC0402KRX7R9BB222 – Yageo 2.2 нФ 50 В;
- CC0402KRX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В;

4.5 Вибір індуктивностей:

Обираємо дешеві та малогабаритні індуктивності. В даному випадку, для проектування квадрокоптеру та з огляду технічного завдання підходять індуктивності, які представлені в списку. Вони мають схожі параметри з аналогами та коштують стільки ж, тому аналізуючи інші фактори, а саме індуктивності виробника Wurth Elektronik та TMS252012ALM-1R0MTAA є більш новими на ринку, при купівлі оптом ціна менша аніж у аналогів також мають більшу кількість світових запасів[13][14]. При прямому заказі, зазначений час виробництва менший за час аналогів, тому було прийнято рішення обрати саме ці:

- TMS252012ALM-1R0MTAA TDK 1 мкГн 4.3 А;
- 7447840010 Wurth Elektronik 1 нГн 300 мА;
- 7447820020 Wurth Elektronik 2 нГн 390 мА;
- 7447840047 Wurth Elektronik 4.7 нГн 300 мА;

4.6 Вибір двигунів та опор:

Двигун постійного струму без сердечника X-DREE. [13]

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		25

Приводи двигунів, оскільки будемо використовувати щіткові двигуни, являє собою простий польовий транзистор (вибір якого наведений у пункті 4.11), як показано на рисунку 4.6.1:

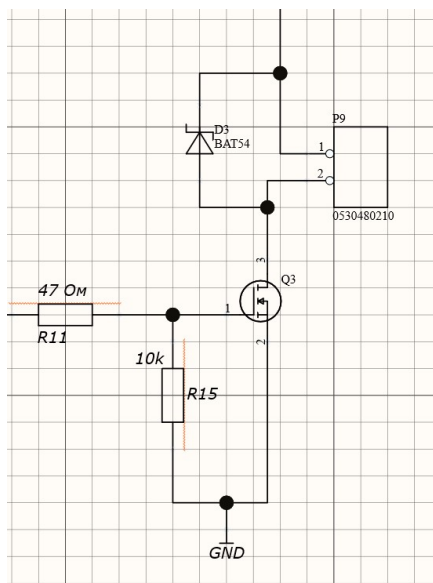


Рисунок 4.6.1 — Привод двигуна

Відмінності від колекторних двигунів постійного струму(ДПТ). Розміщення обмотки на роторі дозволяє відмовитися від щіток і колектора та позбутися тим самим від рухомого електричного контакту, який значно знижує надійність ДПТ з постійними магнітами. З цієї ж причини швидкість у безколекторних двигунів, як правило, значно вище, ніж у ДПТ з постійними магнітами.

Відмінність від синхронних двигунів з постійними магнітами. Синхронні двигуни з постійними магнітами на роторі, дуже схожі на безколекторні ДПТ за конструкцією, однак в них є ряд деяких відмінностей. По-перше термін «синхронний двигун» об'єднує в собі багато різних видів двигунів, частина з яких призначена для безпосередньої роботи від стандартної мережі змінного струму, інші ж (наприклад синхронні серводвигуни) можуть працювати тільки від перетворювача частоти (контролерів двигунів). Безколекторні двигуни, хоча і мають на статорі трифазну обмотку, не допускають безпосередню роботу від мережевої

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

26

напруги, і обов'язково вимагають наявності, необхідного відповідного контролера. Крім того, синхронні двигуни припускають живлення напругою синусоїдальної форми, тоді як безколекторні двигуни допускають живлення змінною напругою ступінчастою форми та навіть припускають використання в номінальних режимах роботи. [14]



Рисунок 4.6.1 — двигун X-DREE

Таблиця 4.3 — механічні та електричні характеристики

Характеристика	Значення
Діаметр	7 мм
Довжина	16 мм
Довжина валу	7 мм
Діаметр валу	0.8 мм
Вага	2.7 г
Довжина проводу	60 мм
Роз'єм	Picoblade 2P
KV	20000 об/хв./В
Номінальна напруга	3 В
Номінальний струм	1000 мА

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

27

Оскільки не планується розробляти корпус, потрібна конструкція яка буде кріпити двигуни до плати. Цією конструкцією стануть опори для двигунів.

Опори виготовлені з пластику, кожна важить по 0.37 г., та мають розмір 30x18x10 мм[15].

На рисунку 4.6.2 показані опори для двигунів, вони кріпляться до плати та попереджають її пошкодження. Також їх легко, при поломці, замінити.

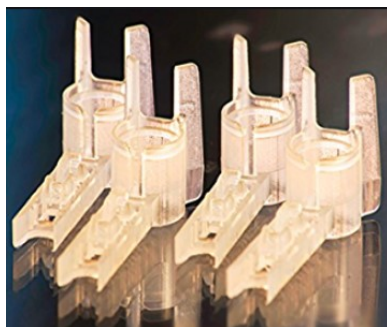


Рисунок 4.6.2 — Опори для двигуна

Дані опори можна замовити лише за 4,5 євро.

Двигун фіксується, як показано на рисунку 4.6.3



Рисунок 4.6.3 — З'єднаний двигун з опорою

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

28

4.7 Вибір конекторів:

4.7.1 Конектор для двигунів

Для обраних раніше двигунів, підходить даний конектор, 0530480210 який зображений на рисунку 4.7.1. Досить компактний і легкий, має робочі температури від -40 до 85 ° С.

Конструкція даного конектору зменшує вірогідність випадкового короткого замикання контактів. Роз'єми HDR виготовленні із фосфорної-бронзи і покриті оловом.

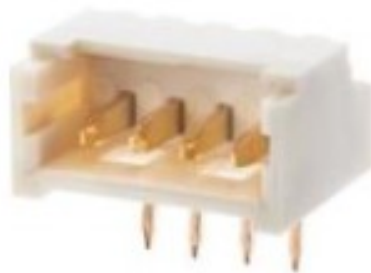


Рисунок 4.7.1 — Конектор 0530480210

4.7.2 Micro USB

Micro USB в основному потрібен для підзарядки. Обираємо ZX62-B-5PA. Корпус виконаний з нержавіючої сталі, покритий олов'яним сплавом, при цьому має робочі температури з -30°C до 85°C, а габаритні розміри на рисунку 4.7.2

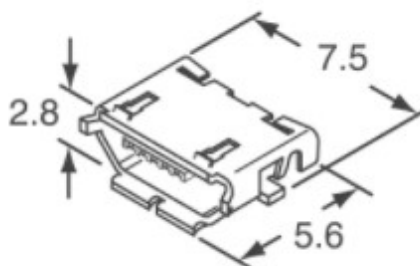


Рисунок 4.7.2 — ZX62-B-5PA

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

4.7.3 Роз'єм адаптеру відладки:

– SM06B-SRSS-TB



Рисунок 4.7.3 — SM06B-SRSS-TB

4.7.4 Роз'єм для акумулятора(Female):

– 51005-0200



Рисунок 4.7.4 — 51005-0200

4.7.5 Роз'єм акумулятора(Male):

– 51006-0200

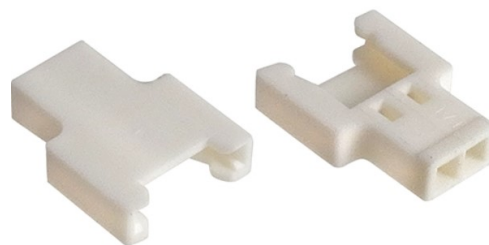


Рисунок 4.7.5 — 51006-0200

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист
30

4.8 Перемикач живлення: В3U-3000Р:

Кнопка може бути використана для інших функцій. таких як двійковий натиск або довготривалий натиск. Також є можливість пробудження системи з одного із контактів в роз'ємі розширення, що дозволяє запускати систему від зовнішнього джерела живлення.

В таблиці 4.4 наведенні основні технічні характеристики, зовнішній вигляд показаний на рисунку 4.8.1, а габарити на рисунку 4.8.2.

Таблиця 4.4 – Характеристики В3U-3000Р

Характеристика	Значення
Спосіб монтажу	Поверхневе кріплення
Довжина клеми	0.5 мм.
Максимальний струм	0.05 А при 12 В постійного струму
Температура	-25... + 70 ° С
Вага	0.022 г.

На рисунку 4.8.1 показаний вигляд перемикача



Рисунок 4.8.1 — Вигляд В3U-3000Р

На рисунку 4.8.2 показані габарити перемикача живлення:

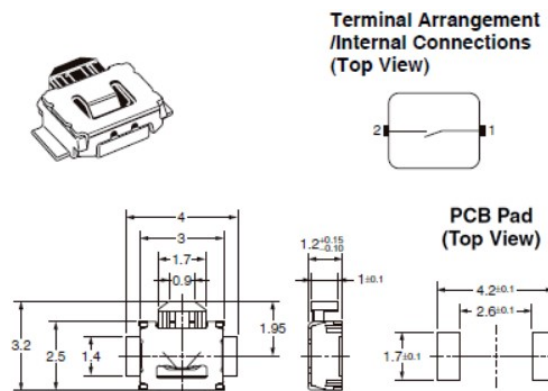


Рисунок 4.8.2 — В3U-3000Р

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

4.9 Вибір компонентів для блоку радіочастотний підсилювач потужності

4.9.1 Чіп-антена:

При виборі чіп-антени, окрім її технічних характеристик, нам також важливий її розмір та ціна. Будемо обирати серед: 2450AD18A7250, 2450AT18B100 виробника Johanson Technology та W3340 виробника PulseLarsen Antennas. Вони мають схожі параметри але W3340 занадто дорога, коли антени від Johanson Technology коштують 1 долар, W3340 обійдеться в 7 доларів.

На рисунку 4.9.1.1 показані S11 характеристики для Johanson Tech. 2450AD18A7250, при 25°C[16].

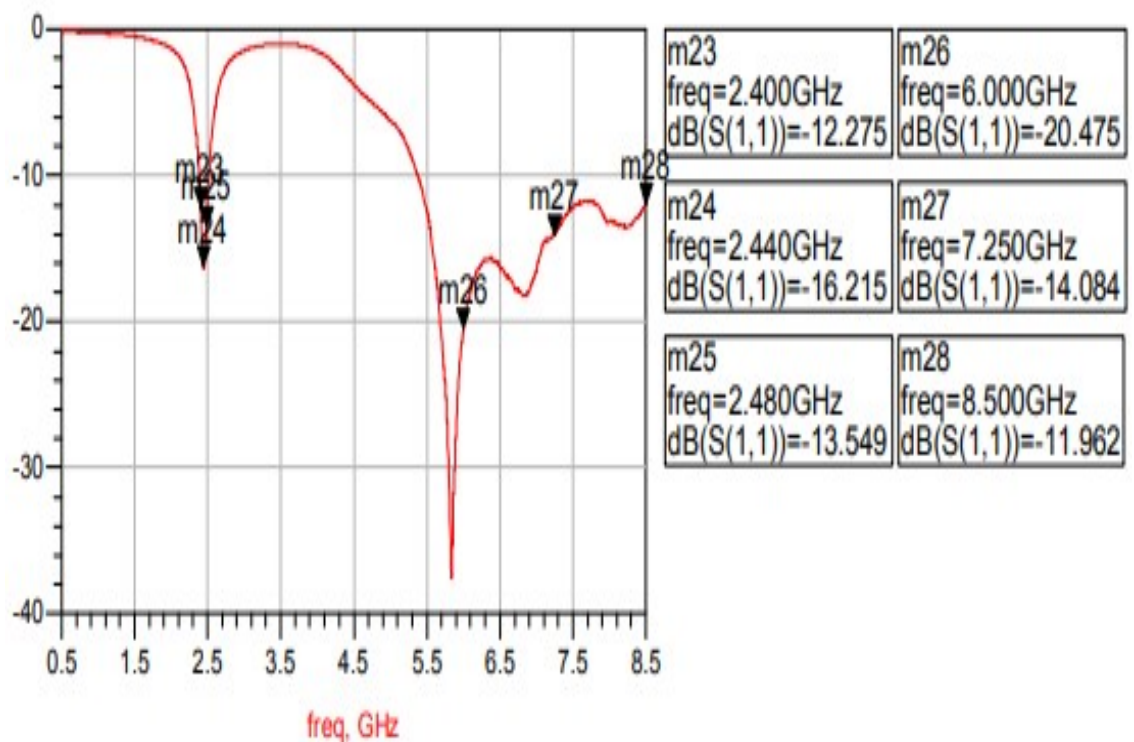


Рисунок 4.9.1.1 — Електрична характеристика 2450AD18A7250

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

На рисунку 4.9.1.2 показані S11 характеристики для Johanson Tech. 2450AT18B100, при 25°C.

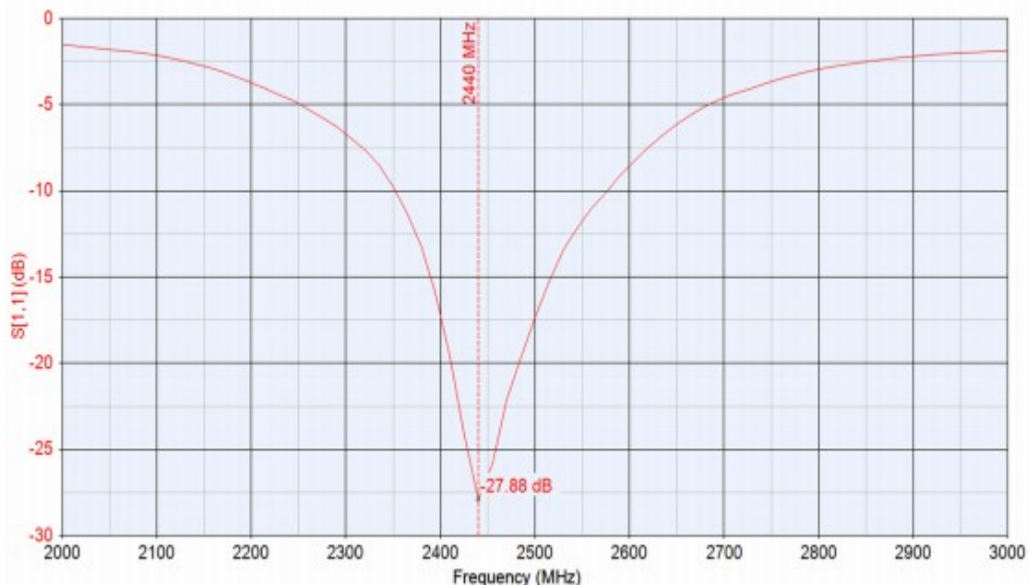


Рисунок 4.9.1.2 — Електрична характеристика 2450AT18B100

При порівнянні антен бачимо, що 2450AT18B100 має менші значення коефіцієнта відбиття хвилі від входу S11 ніж у антени 2450AD18A7250 на частоті 2,4 ГГц. Тому обираємо 2450AD18A7100.

2D діаграма направленості обраної антени при 2.44 ГГц Показана На рисунку 4.9.1.2.

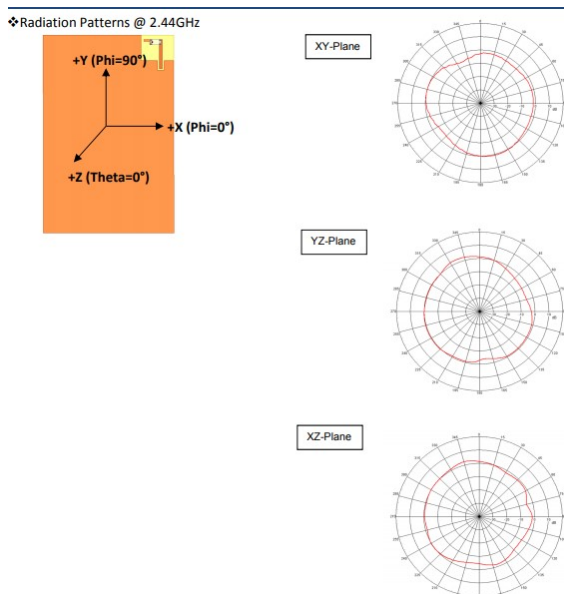


Рисунок 4.9.1.3 — Діаграми направленості

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

4.9.2 24AA64FT-I/OT

Розроблений для передових, малопотужних пристроїв таких як особисті комунікатор або приймач даних. Використовується разом з антеною.

Принцип роботи показаний на рисунку 4.9.2.1

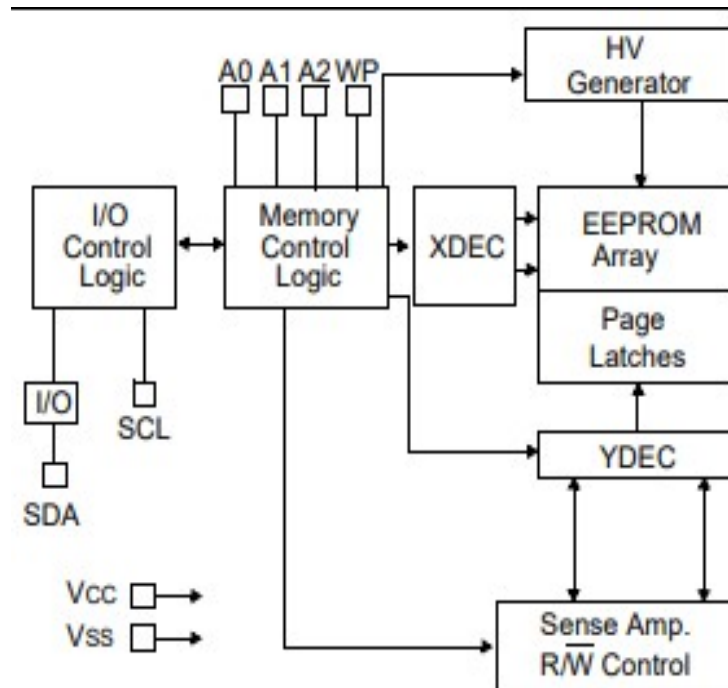


Рисунок 4.9.2.1 — Блок-схема 24AA64FT-I/OT

4.9.3 Лінійний регулятор напруги

NCP702SN30T1G лінійний регулятор напруги, забезпечує стабільність та точну напругу з низьким рівнем шуму та дуже високим коефіцієнтом відхилення джерела живлення, що робить його придатним для радіочастотних модулів. Для досягнення низького рівня шуму не потрібен додатковий конденсатор. Також використовує функцію адаптивного струму для наднизького споживання, в умовах невеликого навантаження.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

На рисунку 4.9.3.1 показаний принцип роботи:

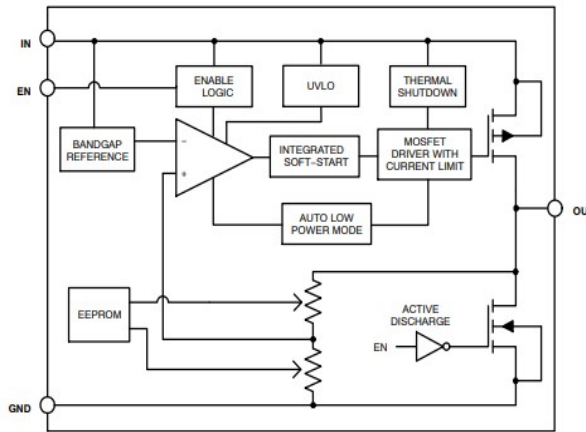


Рисунок 4.9.3.1 — Спрощена блок-схема

4.9.4 Регулятор напруги

Регулятор напруги LP2985-30DBVR досить не дорогий та має безліч функцій, що робить його ідеальним для багатьох пристроїв. Малі габарити, функція вимкнення, що дозволяє регулювати споживання струму, коли пін ВКЛ/ВИКЛ має низький пріоритет, також з легкістю працює з низьким рівнем шуму.

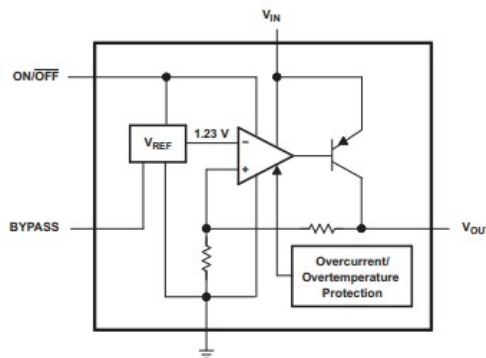


Рисунок 4.9.4.1 — Функціональна діаграма

4.9.5 Контролер навантаження

Контролер навантаження SiP32401ADNP-T1GE4 розрахований на роботу в діапазоні від 1.1 В до 5.5 В. Пристрій гарантує низький опір при 1.2 В на вході. Використовується щоб уникнути надмірний пусковий струм.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Пристрій дає стабільний опір під час експлуатації напруги. Також має систему зворотного блокування, коли пристрій вимкнено не дозволяє струму текти назад на вхід.

Має контролер управління низькою напругою та інтерфейс для цієї взаємодії. Одним з плюсів є функція блокування, що дозволяє запобігати надходженню великих струмів, що надходять до джерела живлення.

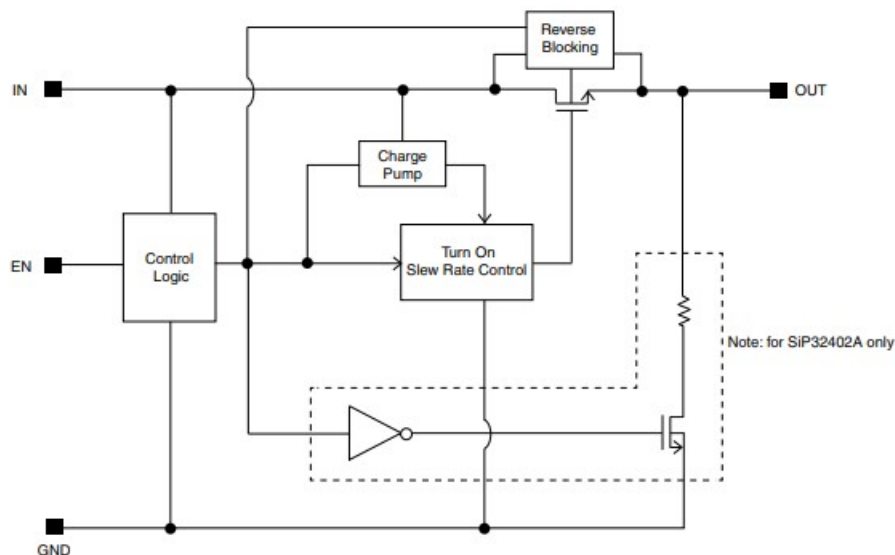


Рисунок 4.9.5.1 — Вигляд RFX2411N

4.9.6 Смоговий фільтр

Смоговий фільтр BFCN-2450+ мініатюрний та високопродуктивний побудовано з використанням багат шарової керамічної технології. Без проблем працює, навіть при високій вологості та екстремальних температурах. Схема BFCN-2450+ наведена на рисунку 4.9.6.1:

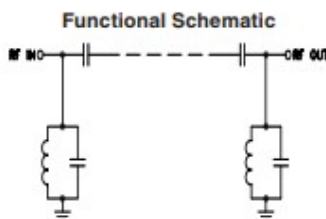


Рисунок 4.9.6.1 — Схема BFCN-2450+

4.9.7 Skyworks RFX2411

Однокристальний Skyworks RFX2411 забезпечують RF-функціональність, необхідну для бездротових додатків / розумної енергії.

Конструкція RFX2411 включає в себе комутаційну схему LNA, PA, передачу і прийом, відповідну мережу узгодження, гармонічний фільтр і перемикач рознесення. Крім того, також включена схема виявлення потужності. Всі ці компоненти інтегровані на CMOS-пристрої. Режим обходу забезпечує максимальну гнучкість у реалізаціях системи.



Рисунок 4.9.7.1 — Вигляд RFX2411N

Інтерфейс RFX2411N розроблений для діапазону ISM 2,4 ГГц і підтримує такі стандарти, як Bluetooth / BT EDR / BLE, 802.15.4, ZigBee, ANT і Thread. RFX2411N. В схемі використовується для розширення діапазону і смуги пропускання. Вимагає мінімальну кількість зовнішніх компонентів

Поєднання чудової продуктивності, високої чутливості, ефективності, низького шуму, малого форм-фактору, низького споживання енергії та низька вартість.

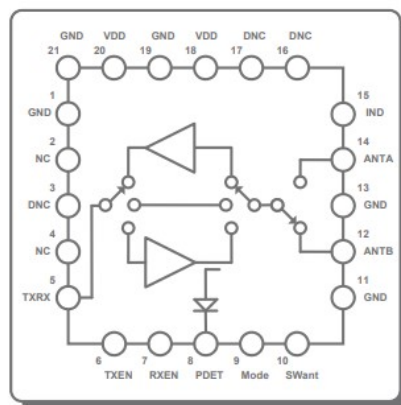


Рисунок 4.9.7.2 — Структура RFX2411N

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

37

4.10 Вибір частотного резонатору:

Провівши порівняння серед ECS-160-8-30B-СКМ та Epson TSX-3225 16.0000MF18X-AC3, обираємо Epson TSX-3225 16.0000MF18X-AC3 він має кращі температурні параметри, і нижчу ціну.

Таблиця 4.5 характеристики Epson TSX-3225 16.0000MF18X-AC3

Характеристика	Значення
Частота	16 МГц
Стабільність при 25 ° С	10 ppm
Стабільність в робочому температурному режимі	18 ppm
Робоча температура	-40... + 85 ° С
Розмір	3.2x2.5x0.6 мм

4.11 Вибір транзистору:

Обираємо PMV31XN.215, даний транзистор у схемі виконує управління двигуном від акумулятора, швидко перемикається та має низьку порогову напругу.

Характеристики наведенні нижче у таблиці 4.6 PMV31XN.215.

Таблиця 4.6 характеристики PMV31XN.215

Характеристика	Значення
Полярність	N
Максимальний струм	5.9 А
Максимальна розсіювальна потужність	2 Вт
Робоча температура	-55... + 150 ° С
Спосіб монтажу	SMD

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

38

5 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

В даному розділі відбувається проектування схеми електричної принципової(СП) квадрокоптеру. Проектування буде відбуватися в середовищі Altium Designer 20(AD).

В першу чергу, відповідно до ГОСТ графічних зображень електричних схем, потрібно створити бібліотеку елементів.

СП, що була отримана у результаті розробки показана на рисунку 5.1:

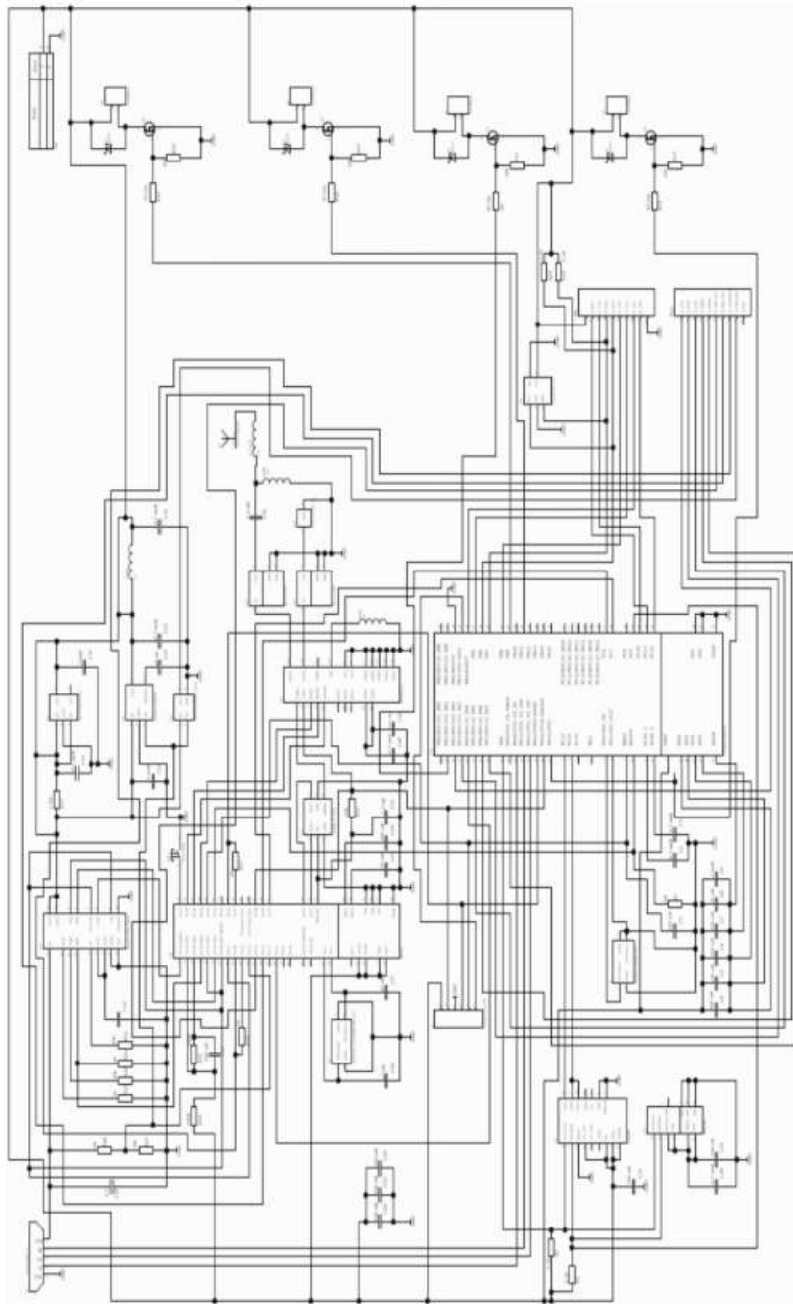


Рисунок 5.1 — Схема електрична принципова квадрокоптеру

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

39

На схемі показане підключення STM32 до двигунів та датчиків, за допомогою яких він і орієнтується в просторі та керує двигунами.

Тоді як nRF52832 відповідає за радіозв'язок та керування живленням всього квадрокоптеру.

Перевірка на працездатність відбувається шляхом моделювання пристрою в середовищі AD.

СП була перевірена в середовищі AD, порушень та помилок не виявлено.

					РТп81.468319.001 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		40

6 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

6.1 Вибір конструкційних матеріалів

В даному випадку плата матиме тип двосторонній двошаровий, оскільки з економічної точки зору він найвигідніший. Монтаж же буде змішаний, оскільки маємо як компоненти поверхневого монтажу так наскрізного.

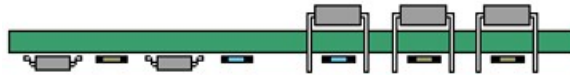


Рисунок 6.1 — Тип встановлення елементів

Метод виготовлення: Комбінований позитивний.

Комбінований метод об'єднує в собі всі методи виготовлення ДП для виготовлення друкованих провідників та металізації отворів. Тому їх називаються комбінованими. Розрізняють:

- комбінований позитивний метод;
- комбінований негативний метод.

Діелектрична основа ламінована з двох сторін мідною фольгою є вихідним матеріалом для позитивного методу.

Свердлимо наскрізні отвори, металізуємо їх. Це перша операція, що впливає на точність (клас) ДП.

Потім виконується хімічне і попереднє гальванічне осадження міді: для металізації отворів та подальшої гальванічної металізації. Цьому передують процес активація — осадження спеціального каталізатора на основі хімічного елементу паладію, що легко осаджується на будь-яку поверхню, в подальшому служить центрами кристалізації міді. Нанесений шар хімічно осадженої міді швидко руйнується, тому його підсилюють шаром гальванічної міді (до 5 мкм). На даному етапі, якість металізації, відіграє важливу роль.

Для захисту металізації наносимо фоторезист. Його нанесення відбувається на спеціальному ламінації за допомогою валків при температурі від 110 до 120°C і тиску 3,5-4 атм. В процесі ламінування із

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

сторони заготовки з фоторезисту видаляється шар поліетиленової плівки, при цьому інша сторона захищена.

Після нанесення фоторезисту виконується суміщення заготовки з позитивними фотошаблонами: зображення на фотошаблонах — позитивне по відношенню до майбутньої схеми. Фотошаблон попередньо виготовляється на фотоплотері зі спеціалізованої фототехнічної плівки товщиною 100-175мкм, в підсумку на фотошаблонах виходять чорно-білі зображення майбутньої топології ДП.

Тепер відбувається експонування фоторезисту: ділянка поверхності, яка прозора на фотошаблоні, засвічується, фотополімеризується та втрачає здатність до розчинення в проявнику. Експонування фоторезисту проводиться на установці з UV лампами високої потужності, перед експонуванням заготовка з суміщеним фотошаблоном попередньо вакуумується для щільного прижиму фотошаблону до заготовки. Фотошаблони видаляються.

Видалення фоторезисту: фоторезист видаляється, оголюючи в зазорах базову мідну фольгу. Видалення фоторезисту відбувається в лужному розчині при температурі 40-50°C .

Травлення міді та подальше видалення металорезисту. Нанесення захисної паяльної пасти для захисту поверхні плати і мідних провідників від подальшого нанесення фінального покриття.

Переваги комбінованого позитивного методу:

- можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високою роздільною здатністю;
- захист ізоляції фольгою від технологічних розчинів, що являє собою надійну ізоляцію;
- хороша міцність на зчеплення металевих елементів з діелектричною основою.

Недоліки комбінованого позитивного методу:

- відносно велика глибина травлення створює бічне підтравлення, що обмежує роздільну здатність процесу;

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

— травлення рисунку по металорезисту обмежує свободу вибору травних розчинів;

— після травлення рисунка схеми, для поліпшення пайки металорезист видаляють або освітлюють, а потім після нанесення паяльної маски знову осаджують фінальні покриття під пайку. З цього випливають додаткові витрати[17].

Друкована плата має електронні компоненти та провідники з двох сторін, тому потрібно обрати матеріал з двома шарами металізації.

Для представлених задач та елементної бази достатньо 3 класу точності виготовлення друкованої плати, оскільки перший з другим не спроможні забезпечити необхідну точність для розведення мікросхем, а четвертий з п'ятим в реалізації більш затратні.

Матеріал для плати: FR4 35/35 (1.5 мм, 35мкм), склотекстоліт 2-сторонній, фольгований.

Це найбільш якісний і поширений матеріал, який застосовується для виготовлення друкованих плат високої якості.

Склотекстоліт типу FR4 - це діелектрик на основі декількох шарів склотканини просочених епоксидною смолою і має ступінь горючості рівну нулю (V - 0).

Хороші діелектричні властивості, стабільність характеристик і розмірів, висока стійкість до впливу несприятливих кліматичних умов.

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 6.1 — Характеристики склотекстоліту FR4

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Горючість	V-0	
Діелектрична проникність	4.5	
Міцність на згин (по основі)	550	МПа
Вологостійкість	0.20	%
Напруга пробою	55	КВ
Поверхневий опір	10^5	МОм

6.2 Розміри плати та оптимальна ширина провідників

Розміри друкованої плати будемо брати як показано на рисунку 6.2.1:

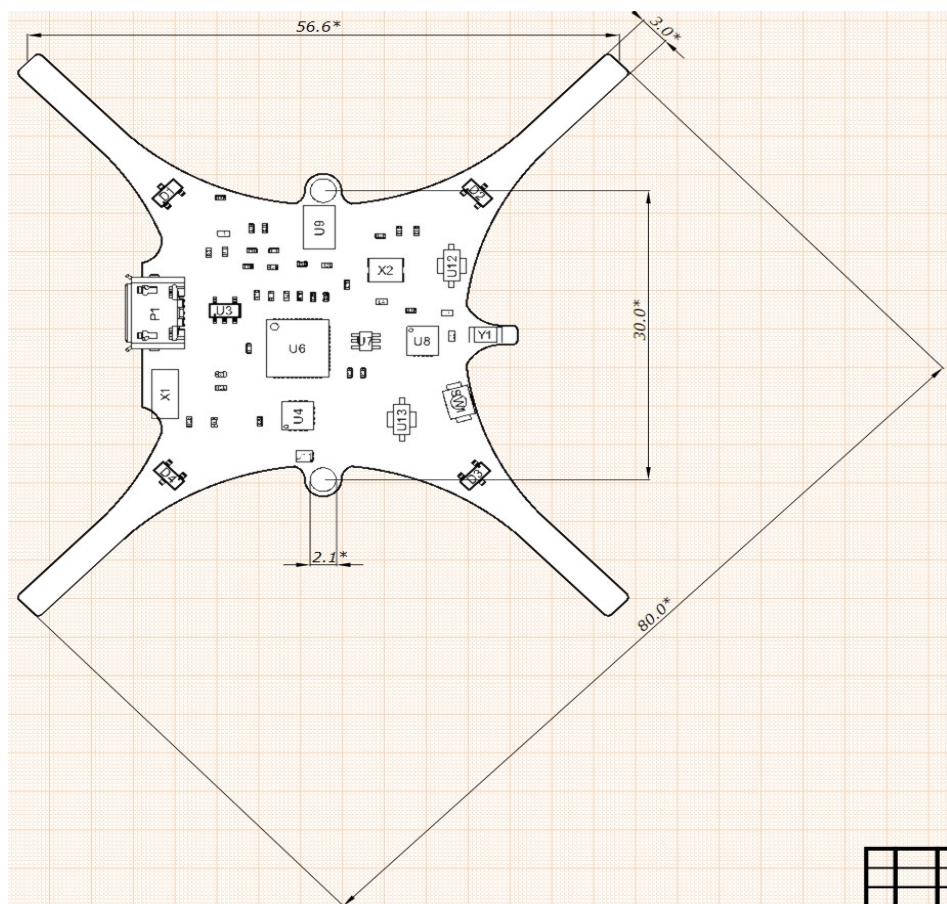


Рисунок 6.2.1 — Розміри плати

Мінімальна допустима ширина провідника визначається по рівню струму, що по ньому протікає:

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

44

Таблиця 6.2 — Оптимальна ширина провідників

Тип	Довжина
Сигнальні	0.2 мм
Силові	0.3 мм

Розведення плати виконується в програмному середовищі AD.

6.3 Трасування плати у 2D

Трасування ДПІ вид зверху, рисунок 6.3.1

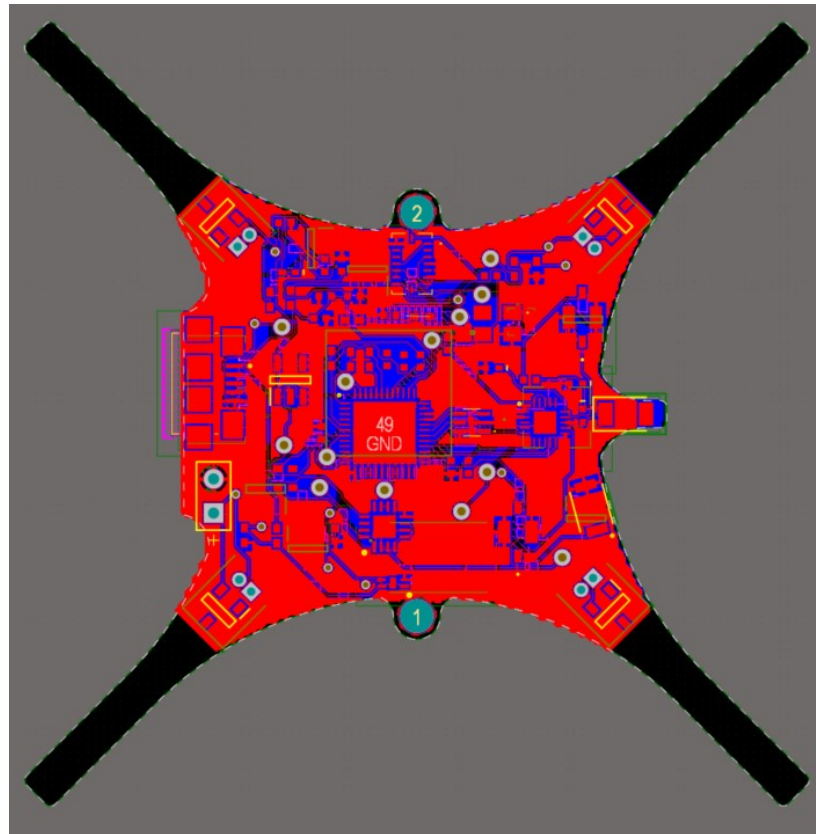


Рисунок 6.3.1 — Трасування у верхньому шарі

Трасування ДП вид знизу, рисунок 6.3.2

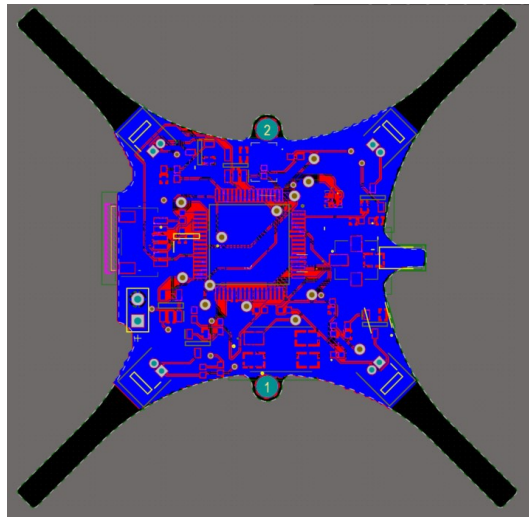


Рисунок 6.3.2 — Трасування у нижньому шарі

Синім кольором показані провідники на верхньому шарі, а червоним на нижньому, всі отвори металізовані. На платі, контакти, покриті захисною маскою. Вільний простір на платі залитий шаром міді, по всій площині, та під'єднаний до землі.

6.4 Трасування плати у 3D

За створеною бібліотекою 3D елементів, спроектовано реальну модель пристрою. Готова конструкція представлена нижче.

Трасування ДП вид зверху, рисунок 6.4.1

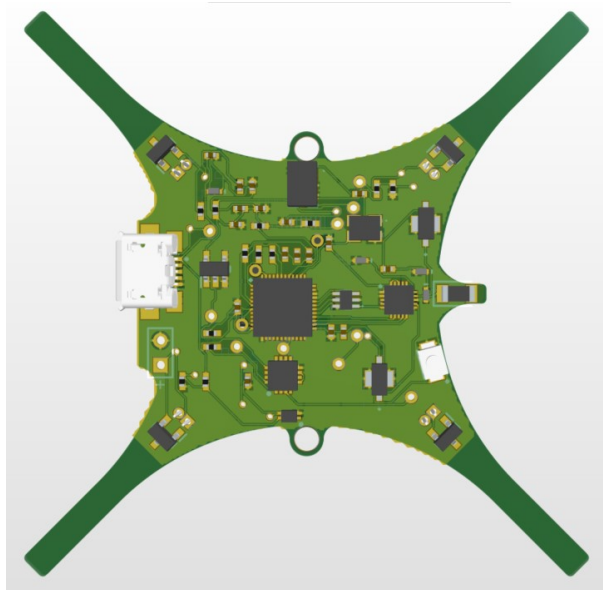


Рисунок 6.4.1 – Трасування у верхньому шарі

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

Лист

46

Трасування ДП вид знизу, рисунок 6.4.1

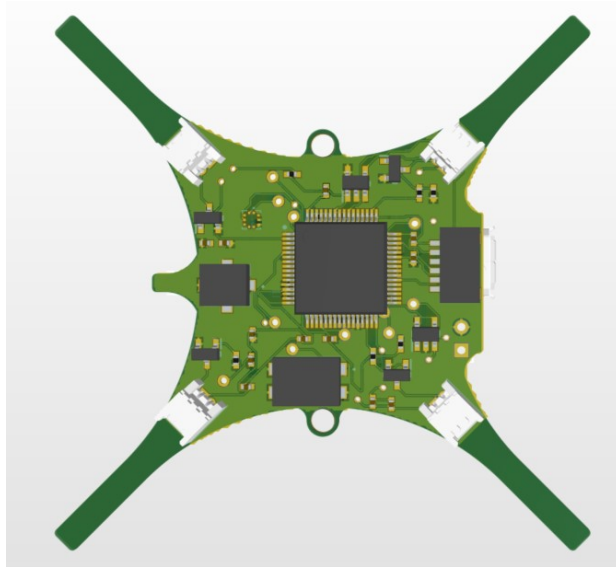


Рисунок 6.4.1 — Трасування у нижньому шарі

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТп81.468319.001 ПЗ

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі був проведений аналіз існуючих рішень, висвітлено їх переваги та недоліки. На основі проведеного аналізу взято за основу квадрокоптер crazyflie 2.1, та покращено його характеристики, замінивши компоненти на більш нові та кращі, а саме новий мікроконтролер nRF52832 з bluetooth v5.2, датчики BMI088 та BMP390 і більш потужні двигуни.

Також, запропоновано структурну схему та схему електричну принципову.

Підібравши елементну базу, яка базується на якісних і не дорогих компонентах, розроблено друковану плату. Показаний загальний вигляд квадрокоптеру та підібраний матеріал, 2-сторонній фольгований склотекстоліт, з якого буде складатися плата.

Значними характеристиками квадрокоптеру є змога, користувачем, програмувати та модифікувати пристрій для реалізації власних проектів.

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		48

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. PD-100 BLACK HORNET PRS [Електронний ресурс] — Режим доступу: [Dynamicshttps://bespilotnik.wordpress.com/2014/10/17/pd-100-black-hornet-prs-%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%88%D0%B5%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%8C-%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE-%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD/](https://bespilotnik.wordpress.com/2014/10/17/pd-100-black-hornet-prs-%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%88%D0%B5%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%8C-%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE-%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD/)
2. Способи застосування квадрокоптеру [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.moyo.ua/news/16_unikalnyh_sposobov_primeneniya_kvadrokovterov.html?admitad_uid=574fa017198d376c4faf1bd498d3b5ce&utm_source=admitad&utm_medium=cpa&utm_campaign=442763&tagtag_uid=574fa017198d376c4faf1bd498d3b5ce
3. The next era of drones will be defined by 'swarms' [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.bbc.com/future/article/20170425-were-entering-the-next-era-of-drones>
4. IoT Agenda [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>
5. Дрономанія [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://dronomania.ru/blade/inductrix-fpv.html>
6. hubsan [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.hubsan.com/na/>
7. bitcraze [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://wiki.bitcraze.io/index>
8. 7 Best Drones For Education To Build, Learn To Code And Configure [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/best-educational-drones-kits-to-build-and-code-uavs/>

					РТп81.468319.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		49

18. Slew Rate Controlled Load Switch [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/427/sip32401a-1764311.pdf>
19. Bandpass Filter [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://ru.mouser.com/datasheet/2/1030/BFCN-2450_2b-1700304.pdf
20. Booster With Diversity Switch for IoT / BLE / ZigBee [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://ru.mouser.com/datasheet/2/472/RFX2411N_204380A-1524730.pdf
21. Würth Elektronik 7447840010 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/Wurth-Elektronik/7447840010?qs=%2Fha2pyFadugFSBpmdpyzFtQ8A3SdggfXu72B5goyLaD9Fuq2Wvw%252B7lg%3D%3D>
22. TDK TMS252012ALM-1R0MTAA [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/TKD/TMS252012ALM-1R0MTAA?qs=%2Fha2pyFadugTvjrT6tIwxZOYpvL3C7dAVirG5VcEQt66t0GE%252BAkRgajHX4g8nhSg>
23. PulseLarsen Antennas W3340 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/PulseLarsen-Antennas/W3340?qs=17cgNqFNU1hSX7uXLkMsda%3D%3D>
24. PMV31XN N-channel TrenchMOS FET [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://assets.nexperia.com/documents/datasheet/PMV31XN.pdf>
25. Skyworks products details [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.skyworksinc.com/en/Products/Front-end-Modules/RFX2411N#>

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломної роботи

ст. Викладач Неуймін О. С.

(дата)

(підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до дипломної роботи
«Квадрокоптер для навчальних задач»

Київ — 2021

					РТп81.468319.001 ТЗ	Лист
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Назва і підстава для виконання роботи

Назва: Квадрокоптер для навчальних задач

Підстава для виконання: Наказ по факультету від «18» травня 2021 р.
№1205-с

2 Мета і призначення ДР

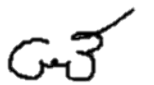
Метою дипломної роботи є розробка квадрокоптеру, яким будуть користуватися учні та студенти, для навчальних цілей і реалізації власних проектів.

3 Вихідні данні для проведення ДР

При виконанні ДР необхідно забезпечити данні характеристики для квадрокоптеру:

1. Габарити не більше ніж 100 x 100 x 30 мм (Ширина, висота, товщина);
2. Час польоту не менше 5 хвилин;
3. Вага не більше 50 грамів;
4. Використання нової версії Bluetooth V5.2 для радіоканалу.

Виконавець
Залізняк О.С.



Керівник
ст. вик. Неуймін О.С.



					РТп81.468319.001 ТЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		3

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки		
<u>Конденсатори</u>					
C1	CC0402KPX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В ±10%	1			
C2,C3	CC0402MPX5R5BB475 – Yageo 4.7 мкФ 6.3 В ±20%	2			
C4-C7	CC0402KPX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В ±10%	4			
C8	CC0402KRX7R9BB102 – Yageo 10 нФ 50 В ±10%	1			
C9,C10	CC0402KPX5R8BB105 – Yageo 1 мкФ 25 В ±10%	2			
C11	CC0402MPX5R5BB475 – Yageo 4.7 мкФ 6.3 В ±20%	1			
C12	CC0402MRX5R5BB226 – Yageo 22 мкФ 6.3 В ±20%	1			
C13	CC0402KPX5R8BB105 – Yageo 1 мкФ 25 В ±10%	1			
C14	CC0402KRX7R9BB102 – Yageo 10 нФ 50 В ±10%	3			
C15-C17	CC0402MPX5R5BB475 – Yageo 4.7 мкФ 6.3 В ±20%	3			
C22	CC0402JPNP09BN221 – Yageo 220 нФ 50 В ±5%	1			
C23-C26	CC0402KPX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В ±10%	4			
C27,C28	CC0402FRNP09BN120 – Yageo 12 нФ 50 В ±1%	2			
C29	CC0402KPX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В ±10%	1			
C30-C32	CC0402MPX5R5BB475 – Yageo 4.7 мкФ 6.3 В ±20%	3			
C33	CC0402KPX5R6BB104 – Yageo 100 нФ 10 В ±10%	1			
<u>Індуктивності</u>					
L1	TMS252012ALM-1R0MTAA TDK 1 мкГн 4.3 А	1			
L2	7447840010 Wurth Elektronik 1 нГн 300 мА	1			
L3	7447820020 Wurth Elektronik 2 нГн 390 мА	1			
L4	7447840047 Wurth Elektronik 4.7 нГн 300 мА	1			
РТп81.468319.001 ПЕ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Загіз'як О.С.			
Перевір.		Неуймін О.С.			
Реценз.		Видалко О.Є.			
Н. Контр.					
Затверд.		Неуймін О.С.			
Квадрокоптер для навчальних задач			Літ.	Арк.	Аркушів
				1	3
РТ-п81 РТФ					

