

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

в. о. зав.кафедри

 Свгеній НЕЛІН

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: Безпілотний літальний апарат для топографії

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РІ-71

Мірошніченко Артем Олексійович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник:

к.т.н., доцент

Шульга Аліна Вікторівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент:

к.т.н., доцент

Товкач Ігор Олегович

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

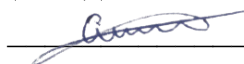
Прізвище, ім'я, по батькові







Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) 

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о.зав. кафедр

 Світлані НЕЛІН

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мірошніченко Артем Олексійович

1. Тема проєкту «Безпілотний літальний апарат для топографії», керівник проєкту Шульга Аліна Вікторівна, доцент, к.т.н. , затверджені наказом по університету від «18»травня 2021 р. №1205-с
2. Термін подання студентом проєкту 8 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту: напруга живлення від 5 В до 14,8 В. Робочі температури від -25 до +40 °С. Струм до 1 А. Габарити до 100x100 мм.
4. Зміст пояснювальної записки: 1 Вступ, 2 Аналіз технічного завдання, 3 Огляд існуючих рішень, 4 Синтез схеми пристрою, 5 Вибір елементної бази, 6 Проектування друкованої плати, 7 Конструкція, 8 Працездатність пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо 1 Схема електрична принципова, 2 Друкована плата, 3 Складальний кресленик друкованого вузла, 4 Структурна схема

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Розробка та аналіз технічного завдання	27.04.2021р	виконано
	Огляд існуючих рішень	30.04.2021р	виконано
	Розробка структурної схеми	20.05.2021р	виконано
	Синтез електрично принципової схеми	30.05.2021р	виконано
	Проектування друкованого вузла	1.04.2021р	виконано
	Розрахунок надійності	26.05.2021р	виконано
	Оформлення текстової та графічної документації	03.06.2021р	виконано

Студент

Арте́м МІРОШНИЧЕНКО

Керівник

Алі́на ШУЛЬГА

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: Безпілотний літальний апарат для топографії

Київ – 2021 року

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект присвячено розробці конструкції контролера польоту для картографічних безпілотних літальних апаратів.

В процесі роботи було проаналізовано існуючі пристрої та вироблено концепцію. Було розроблено електричну принципову схему та спроектовано друкований вузол. Обрано елементну базу яка відповідає технічному завданню.

Результатом виконаної роботи є конструкторська документація, необхідна для виготовлення контролера польоту.

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 55 сторінки, включає 34 рисунка, 9 таблиці, 4 креслень, 36 посилань, 3 додатків.

Ключові слова: БПЛА, контролер польоту, безпілотний літальний апарат.

ANNOTATION

The diploma project is devoted to the development of the flight controller design for cartographic unmanned aerial vehicles.

In the course of work the existing devices were analyzed and the concept is made. An electrical schematic was developed and a printed circuit board was designed. Addressing the element base that corresponds to the technical task.


The result of the work performed is the design documentation required for the manufacture of the flight controller.

The diploma project consists of an explanatory note of 55 pages, includes 34 figures, 9 tables, 4 drawings, 36 references, 3 appendices.

Key words: UAV, flight controller, unmanned aerial vehicle

Зміст

Анотація	6
Annotation	7
Перелік скорочень	3
Вступ	4
1 Аналіз технічного завдання	5
2 Огляд існуючих рішень	6
2.1 Parrot Anafi	6
2.2 Yuneec H520	7
2.3 DJI Phantom 4 RTK	8
2.4 Penguin C UAS	9
2.5 WingtraOne	11
2.6 Контролер польоту Ardupilot Pixhawk 2.48	12
2.7 Порівняння характеристик	13
3 Синтез схеми пристрою	15
3.1 Розробка структурної схем	15
3.2 Синтез схеми електричної принципової	17
4 Вибір елементної бази	22
4.1 Вибір активних компонентів	22
4.2 Вибір пасивних елементів	29
5 Проектування друкованої плати	33
5.1 Аналіз з точки зору технолога	33

					<i>PI71.468213.001 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Мірошніченко			<i>Контролер польоту</i>		
Перев.		Шульга					
Н. Контр.		Попсуй					
Затв.		Шульга					
					Лит.	Арк.	Аркушів
						1	2
					НТУУ "КПІ ім І.Сікорського", РТФ		

5.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати	33
5.1.2 Обґрунтування вибору матеріалу плати	33
5.1.3 Обґрунтування вибору припою	34
5.1.4 Вибір класу точності плати	34
5.2 Розрахунок елементів друкованого монтажу	35
5.3 Розрахунок габаритів друкованої плати	36
5.4 Розрахунок параметрів друкованих провідників	37
5.5 Проектування друкованої плати	39
6 Конструкція	43
7 Працездатність пристрою	46
7.1 Розрахунок надійності	46
7.2 Розрахунок віброміцності	47
Висновки	50
Перелік посилань	51
Додатки	55

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДВЗ — двигун внутрішнього згорання

БПЛА — безпілотний літальний апарат

SPI — Serial Peripheral Interface

UART — Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USART — Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

I2C — Inter-Integrated Circuit

I2S — Inter-IC Sound

SAI — Serial Audio Interface

CAN — Controller Area Network

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В даний час безпілотні літальні апарати набули великого значення, вони використовуються в дуже багатьох сферах діяльності людини, а саме в картографії, в сільському господарстві, промисловості та в воєнній сфері.

Зараз з розвитком штучного інтелекту стали дуже популярними картографічні дрони, зараз вони використовуються для створення карт, формування переліку приладів тощо на великих територіях, в сільському господарстві для виявлення хвороби рослин або недостатнього добрива в конкретних місцях. Саме тому дана тема має актуальність саме зараз.

В даному дипломному проєкті основна мета є розробка універсального контролера польоту для безпілотних літальних апаратів різних типів. Даний пристрій встановлюється всередину літального апарату і надає йому функції автопілоту та контролю даних польоту. Завдяки цьому пристрою можна підвищити точність картографії, яку знімає дрон та розширює його функції до пошукового дрону, завдяки додатковому мікрокомп'ютеру.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Даний прилад призначений для управління польоту та камерами безпілотників.

Необхідно розробити друкований вузол пристрою. Даний контролер повинен бути сумісний з різними типами безпілотників, а саме, з коптерами в яких наявності до чотирьох електродвигунів, планерами в яких можуть бути як електродвигуни так і ДВЗ.

Пристрій повинен бути сумісний з гальванічними елементами котрі стандартно використовуються в безпілотниках, діапазон живлення від 11,1 В до 14,8 В.

Пристрій переносний, використовується в польових умовах. Згідно ГОСТ 15150-69, задано умови експлуатації У2.1, В4.

У2.1 — для макрокліматичних районів з помірним кліматом (У), для експлуатації в якості встроєних елементів всередині комплектних приладів[33]:

- температурний діапазон $-45 \dots +45^{\circ}\text{C}$;
- верхнє значення відносної вологості, 98 % при 25°C /

В4 — возимий прилад:

- синусоїдальна вібрація (діапазон частот, 10...70 Гц, амплітуда прискорення $39,2 \text{ м/с}^2$ або 4 g, тривалість впливу 90 хв);
- механічні удари при експлуатації відсутні, при транспортуванні пікове ударне прискорення 15 g;
- понижена температура, робоча -25°C , гранична -40°C , час витримки при цих температурах 2 год;
- підвищена температура, робоча $+55^{\circ}\text{C}$, гранична $+65^{\circ}\text{C}$, час витримки при цих температурах 2 год.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Зараз на ринку представлено багато різних варіантів БПЛА для картографії та різних контролерів польоту, приклади існуючих рішень представлені нижче:

2.1 Parrot Anafi

Parrot Anafi — найпростіший та найдешевший дрон для картографування, зображений на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 — Parrot Anafi

Дрон оснащений однією камерою 21-мегапіксель. Корпус виготовлено з не авіаційного пластику, через це корпус має не високу надійність. На корпусі розміщено кнопку живлення та індикатор заряду, що доволі зручно для користувача. Прилад має захист IP53, що не дає змогу працювати в поганих погодних умовах. Для живлення використовується змінна LiPo батарея, яка заряджається за допомогою USB-C.

Контроль польоту відбувається за допомогою контролеру або додаткового платного програмного забезпечення, за завдяки ньому дрон може

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

летіти по GPS маршруту заданому перед польотом. Для картографування використовується додаткове платне програмне забезпечення Pix4Dreact[1].

Характеристики:

- вага 320 грам;
- максимальна швидкість польоту 55 км/год;
- максимальний час польоту 25 хвилин;
- дальність польоту до 4-х кілометрів.

До недоліків даного БПЛА відноситься мала дальність польоту, платне програмне забезпечення, неможна замінити камеру та відсутність виявлення перешкод.

2.2 Yuneec H520

Yuneec H520 — широко розповсюджений по світу гексакоптер, зображений на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 — Yuneec H520

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На борту знаходиться 6 моторів, вони забезпечують надійність та безпеку польоту навіть в поганих погодних умов. Дрон має камеру 20 мегапікселів та давачі для детектування перешкод, для забезпечення безпечного польоту в автономному режимі. В комплекті йде пульт управління на базі операційної системи Android для управління не потрібні сторонні девайси або програмне забезпечення. В комплекті йде програмне забезпечення для аналізу зображення та детекції руху. Великим плюсом є відкрите програмне забезпечення, яке дає змогу користувачам створювати свої додатки для конкретних задач[2].

Характеристики:

- вага 1633 грам;
- максимальна швидкість польоту 9 км/ч;
- максимальний час польоту 28 хвилин;
- дальність польоту 1500 метрів.

До недоліків відноситься неможна замінити камеру, дуже мала швидкість та дальність польоту, через те що програмне забезпечення працює через емулятор, його потужність обрахувань нижча за конкурентів та менш енергоефективна.

2.3 DJI Phantom 4 RTK

Phantom 4 RTK — найпопулярніша модель безпілотного літального апарату в світі, зображена на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 — Phantom 4 RTK

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Квадрокоптер розроблений компанією DJI має точність позиціонування до 1 сантиметру. На борту знаходиться камера 20 мегапікселів та давачі для детектування перешкод, що забезпечують безпечний польот в автономному режимі. В дану модель встановлений модуль RTK, який і забезпечує точність польоту та збору даних. Дрон має функцію збереження даних з супутника, що на етапі обробки даних додає точність картографічним даним. Наявність модуля 4G та WiFi дозволяє передавати дані зразу в інтернет, в хмарне сховище. Управління відбувається за допомогою пульта управління, він входить в комплект постачальником, або автопілоту, додаток автопілоту входить в комплект з приладом. Не менш важливо виробник дає доступ до SDK, що в свою чергу дозволяє стороннім розробникам під свої задачі створювати додатки.

За додаткову плату можливо отримати можливість створювати на основі зібраних даних об'ємні карти місця, а також систему для аналізу даних таких як координати об'єктів, їх розміри та інше[3].

Характеристики:

- вага 1391 грама;
- максимальний час польоту 30 хв;
- швидкість до 58 км/год;
- максимальна дальність 7 кілометрів.

До недоліків входить дуже велика ціна, потрібно додатково придбати програмне забезпечення, достатньо невелика дальність польоту та немає можливості замінити камеру на інший тип.

2.4 Penguin C UAS

Penguin C UAS — безпілотник “тяжкого” класу, зображена на рис. 2.4.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



Рисунок 2.4 — Penguin C UAS

Даний безпілотник на борту має двигун внутрішнього згорання, що дає йому змогу знаходитись в повітрі дуже довго, та долати великі дистанції. Оснащений камерою з 30 кратним приближенням в якості 720 пікселі. Дрон має великі габарити 2 на 3 метри, для його запуску потрібно 2 людини та катапульта, яка допомагає апарату отримати початкову швидкість польоту. На борту знаходиться модуль який дозволяє передавати інформацію зі швидкістю 12 Мб/с.

Управління безпілотником відбувається за допомогою наземного контрольного центру який йде в комплектації[4].

Характеристики:

- вага 23 кілограма;
- максимальна дальність польоту 100 кілометрів;
- максимальна продовжуваність польоту 20 годин;
- швидкість до 80 км/год.

До недоліків входить велика ціна, обмеження по заміні камери, складність управління.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 WingtraOne

WingtraOne — безпілотник-крило, зображена на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 — WingtraOne

Малогабаритний дрон, який дозволяє швидко та якісно отримувати картографію місцевості. На борту знаходиться камера 42 мегапікселя, що дозволяє отримувати високу точність місцевості. Готові дані менше мають розривів та склейок через високоточну камеру, через це потрібно менше рейсів для отримання повної карти місцевості. В даного дрону немає ніяких датчиків або камери для виявлення перешкод, тому безпека польоту підлягає сумнівам. Апарат має захист IP54, що не дає йому змогу працювати в поганих погодних умовах.

Управління даної моделі відбувається за допомогою автопілоту та програмного забезпечення яке потрібно попередньо встановити на Android засіб, також передбачено резервне управління пілотом. В комплекті за

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпілотним літальним апаратом йде безкоштовне програмне забезпечення WingtraPilot[5].

Характеристики:

- вага 3,7 кілограм;
- максимальна дальність польоту 10 кілометрів;
- максимальна швидкість 58 км/год;
- максимальний час польоту 59 хвилин;

До недоліків входить висока ціна, через те що програмне забезпечення працює через емулятор, його потужність обрахувань нижча за конкурентів та менш енергоефективна, немає можливості замінити камеру.

2.6 Контролер польоту Ardupilot Pixhawk 2.48



Рисунок 2.6 — Контролер польоту Ardupilot Pixhawk 2.48

Прогресивна система автопілота на базі проекту з відкритим вихідним програмним забезпеченням PX4. Так як контролер підтримує RTOS політ плавний та стабільний завдяки високій швидкості обробки даних. Контролер розроблено на базі ARM CortexM4[6].

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Характеристики:

- процесор STM32F427 Cortex M4;
- акселерометр та магнітометр 6-х осьовий MPU6000
- 5 x UART, 2 x CAN, I2C, SPI

До недоліків входить велика ціна та мала кількість виводів.

2.7 Порівняння характеристик

Загальні характеристики описаних вище аналогів наведені в табл. 2.1 для порівняння.

Таблиця 2.1 — Порівняльна таблиця характеристик аналогів

Назва	Ціна	Тип	Простота експлуатації	Камера	Програмне забезпечення
1	2	3	4	5	6
Parrot Anafi	26000 грн	Квадрокоптер	Простий	20 МП	Закрите з можливістю додавання функціоналу за додаткову плату
Yuneec H520	60000 грн	Квадрокоптер	Простий	20 МП	Базується на платформі Android
Phantom 4 RTK	180000 – 300000 грн	Квадрокоптер	Простий	20 МП	Закрите з можливістю додавання функціоналу за додаткову плату

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
Penguin C UAS	Від 10000 доларів	Планер	Потрібна висока кваліфікація	Можли вість заміни камери	Закрите
Ardupilot Pixhawk 2.48	4000 грн	Контролер польоту	Середня складність	Не підтри мує	Відкрите
WingtraOne	56700 – 108000 грн	Літаюче крило	Простий	20 - 42 МП	Базується на платформі Android

В результаті ми бачимо, що існує велика кількість різних типів БПЛА, це пояснюється тим, що перед ними ставиться великий спектр різних задач, саме топу потрібно розробити універсальний контролер польоту, котрий буде базуватись на відкритому ПО для забезпечення реалізації додаткового функціоналу користувачем та підтримка низькорівневої операційної системи по типу RTOS або MbedOS.

Більшість аналогів не можуть працювати з різними камерами, але найкращі з них мають таку функцію, саме тому нам потрібно забезпечити дану функцію.

3 СИНТЕЗ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка структурної схем

Структурна схема пристрою зображена на рис. 3.1

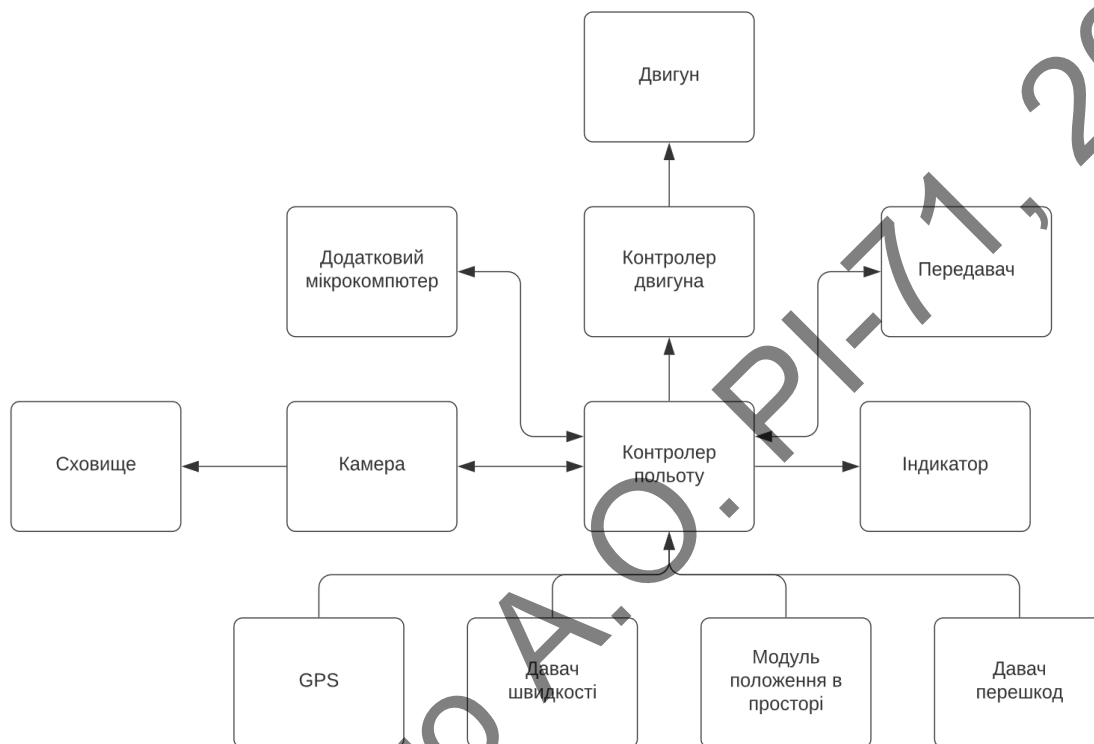


Рисунок 3.1 — Структурна схема

Живлення схеми має бути спільним з живленням всього безпілотної, тобто від гальванічних елементів 3S-4S. Для перетворення напруги в потрібну для мікроконтролера 3,3 В потрібно попередньо стабілізувати її.

Індикація повинна показувати правильність підключення та працездатності підключених елементів до контролера польоту.

Блок виявлення положення в просторі має включати в собі гіроскоп, акселерометр та магнітометр, при поєднанні всіх цих даних та даних GPS ми отримаємо максимальну точність позиціонування дрону в просторі.

GPS – цей модуль цей модуль універсальний, користувач може обрати будь-який, що має UART та зможе підключити до спеціального роз'єму.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Давач швидкості потрібен для підвищення точності позиціонування. Даний модуль повинен базуватись на принципі різності показань тиску.

Так як швидкість нашого безпілотного літального апарату набагато менша за швидкість звуку, ми можемо використати звуковий давач перешкод, котрий буде знаходитись в передній частині безпілота.

Користувач повинен мати змогу сам обрати передавач, для забезпечення цього в нашому контролері повинна бути виділено 4 UART до яких буде можливість підключити 4 канали передавача.

З врахуванням, що у нас універсальний контролер польоту, контролер двигуна повинен підходити до електричних двигунів так і до двигунів внутрішнього згорання.

На борту дрону повинно бути до 2-х камер, одна за камер буде мати свій контролер, її підключення буде відбуватись за допомогою USB, та до цієї камери напряду буде підключатись сховище. Друга камера буде підключена за допомогою USART та не матиме доступу до сховища.

Мікрокомп'ютер — це додаткова функція, котра дозволяє використовувати безпілота в якості пошукового пристрою. Він буде підключатись через USB до польотного контролера. В якості мікрокомп'ютера можна використовувати NVIDIA Jetson Nano рис. 3.2.



Рисунок 3.2 — Зовнішній вигляд NVIDIA Jetson Nano

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3.2 Синтез схеми електричної принципової

Схема електрично принципова зображена на рис. 3.3

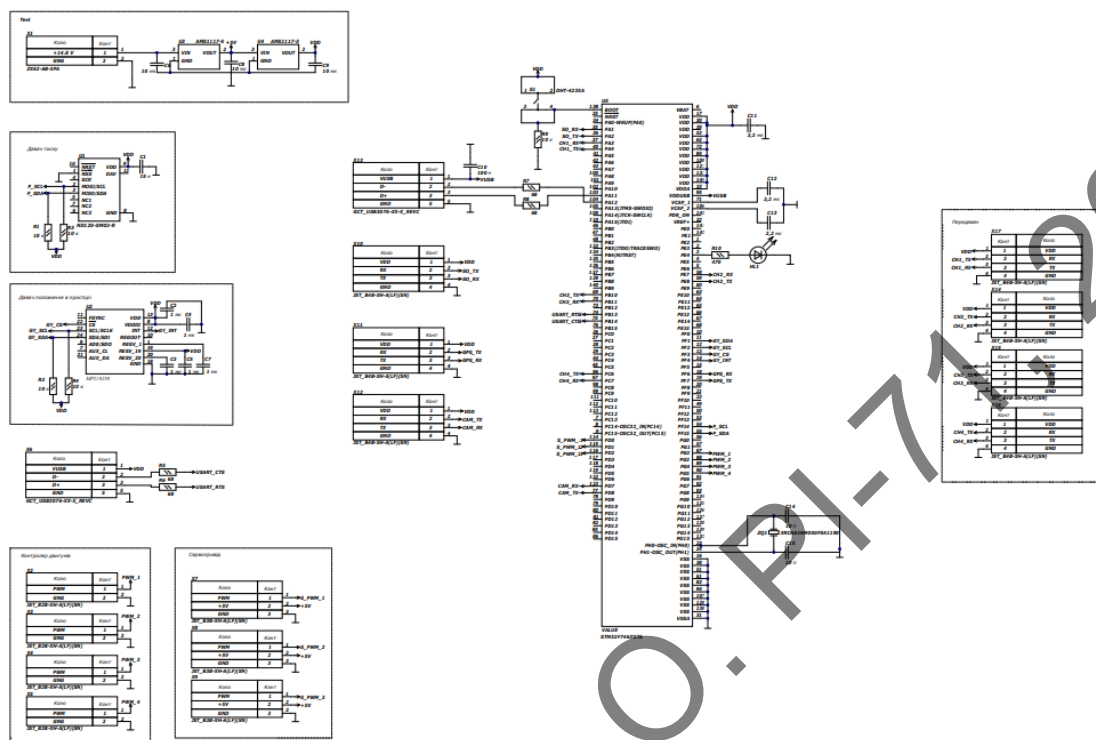


Рисунок 3.3 — Схема електрична принципова

Підключення пристрою до джерела живлення відбувається за допомогою конектора XT60PW, є універсальним для більшості дронів.

Для стабілізації напруги використано два стабілізатори напруги AMS1117-5 та AMS1117-3.3 на виході котрих отримуємо потрібні для нас номінали напруг. За рекомендацією виробника для нівеляції пульсацій та перепадів напруги потрібно використовувати керамічні конденсатори номіналом 10 мкФ, який підключається паралельно виводів живлення. Для наглядного прикладу приведено схему підключення лінійного регулятора напруги AMS1117-3.3, рис. 3.4

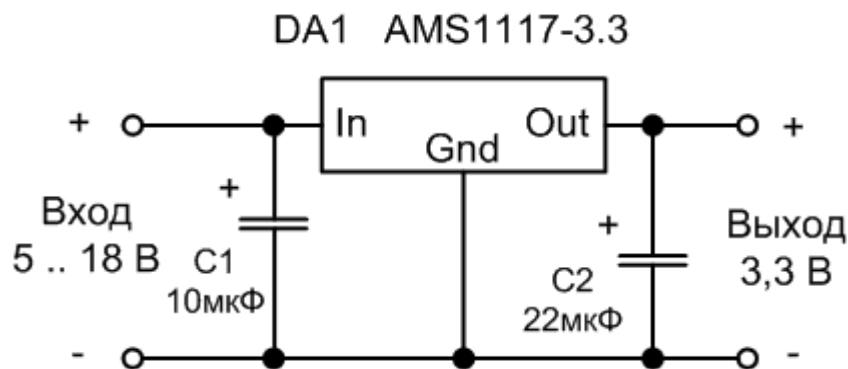


Рисунок 3.4 — Схема стабілізації напруги на базі AMS1117-3.3

Для індикації використовується світлодіод HL1, який підключено через R10, опір якого складає 470 Ом, в результаті світлодіод буде показувати коректність роботи та підключення всіх необхідних модулів для того чи іншого режиму.

S1 — кнопка, функція якої перезапуск роботи мікроконтролера в випадках програмного збою.

ZQ1 — кварцовий резонатор, модель XRCHA16M000F0A11R0 номіналом 16 МГц, виводи котрого підключаються до землі через конденсатори C14 та C14, номіналом 10 пФ кожний. Для мікроконтролера потрібен надійний генератор частоти на який він буде опиратись як на еталон та зрівнювати зі своєю частотою, тому резонатор являється тактозадаючим для мікроконтролера, це необхідно тому, що кристал складається з транзисторів, котрі в ході своєї роботи постійно змінюють свій стан з відкритого на закритий, при цьому процесі спостерігаються короткочасні імпульсні завади, які в свою чергу компенсуються кварцовим резонатором[10].

Також живлення плати можливе за допомогою USB X13, підчас її налаштування. Живлення від USB напряму потрапляє до мікроконтролера, але для згладжування пульсацій використовується керамічний конденсатор C10 ємність 100 нФ[11], рис 3.5.

При підключенні USB роз'ємів X6, X13 до мікроконтролера потрібно використовувати обмежуючі резистори R5-R8, номіналом 68 Ом, на шині

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

передачі даних, приклад підключення мікроконтролера до USB шини[12],
рис 3.6.

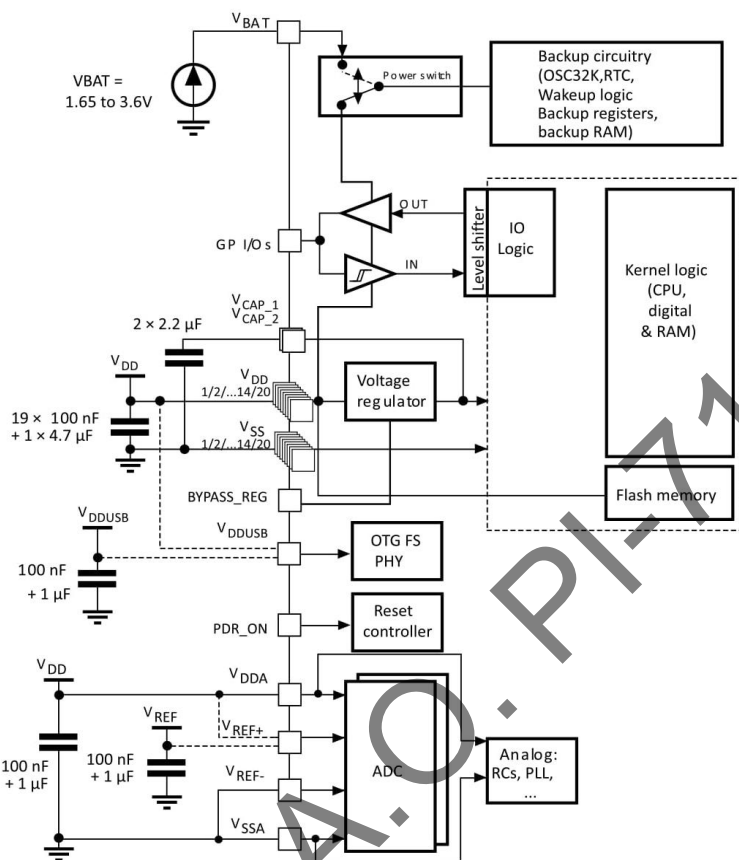


Рисунок 3.5 — Схема підключення живлення до STM32F746ZG

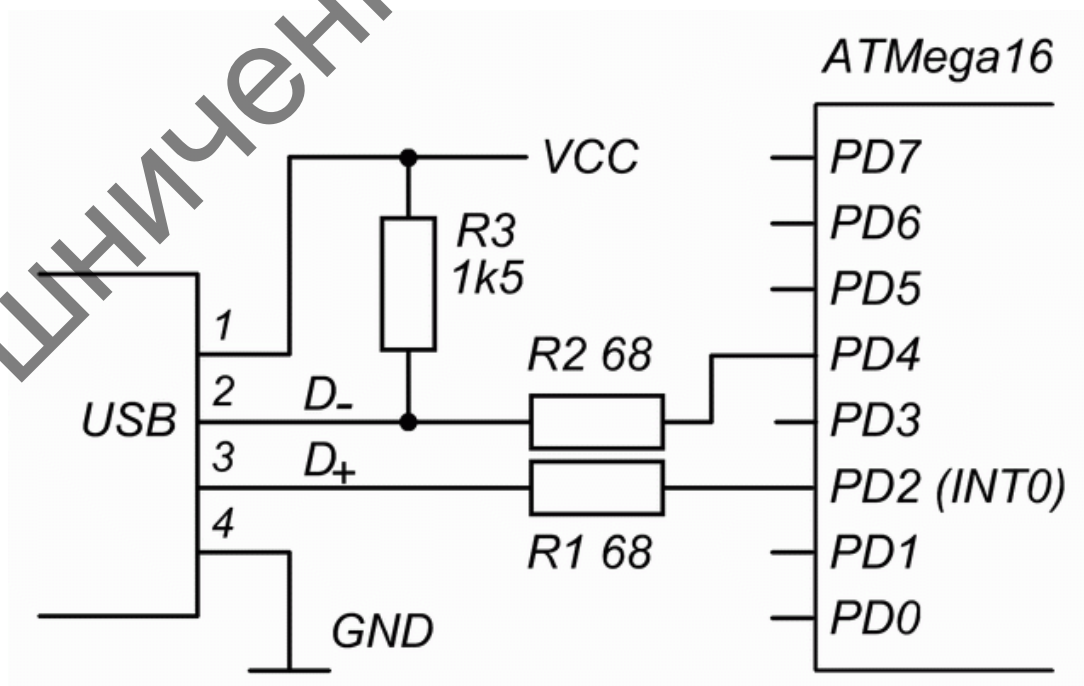


Рисунок 3.6 — Схема підключення мікроконтролера до USB шини

Контролери двигунів X2-X5 підключені напряму до мікроконтролера, який буде створювати PWM сигнал, живлення контролерів повинно бути напряму від гальванічного елемента, тому що струми двигунів можуть досягати сотень ампер і недоцільно проводити такий струм через плату. Схема підключення мікроконтролера, контролера електроприводу та двигуна[13] показані на рис 3.7.

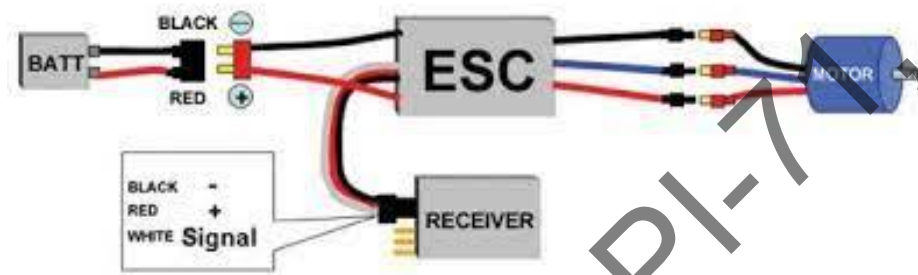


Рисунок 3.7 — Схема підключення мікроконтролера та контролера обертів двигуна

Для повороту елеронів та хвостового оперення використовують сервопривід, для них виведено роз'єми X7-X9, один з виводів кожного роз'єму підключено до мікроконтролера, на виході якого формується PWM сигнал. Схема підключення сервоприводу до мікроконтролера[14], рис 3.8.

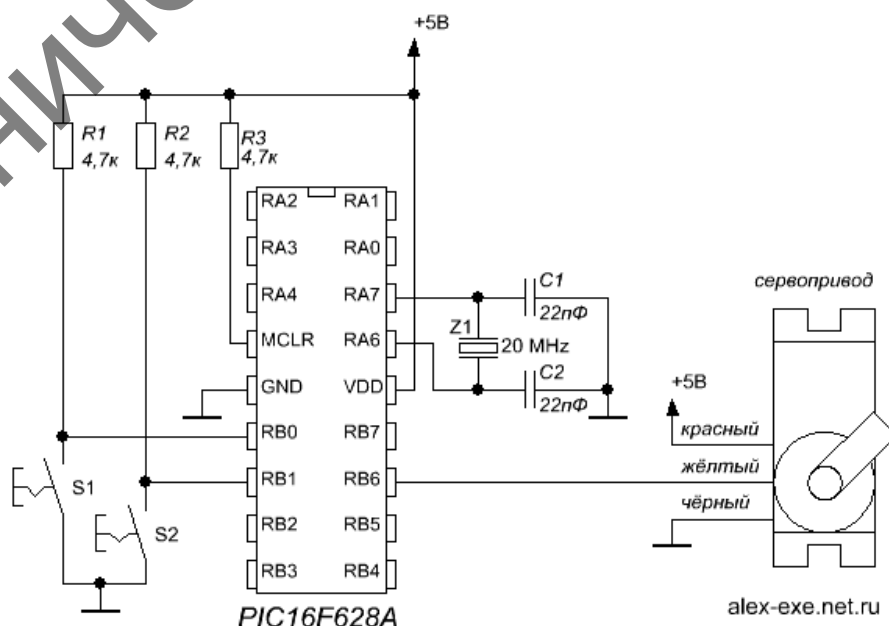


Рисунок 3.8 — Схема підключення мікроконтролера до сервоприводу

Давач положення безпілота в просторі U2 буде працювати по протоколу I2C. Для підсилення сигналу до шини I2C підключено живлення через резистори R2, R4 номіналами 10 кОм. Для його обв'язки та підключення до мікроконтролера використана схема рекомендована виробником[15], рис 3.9.

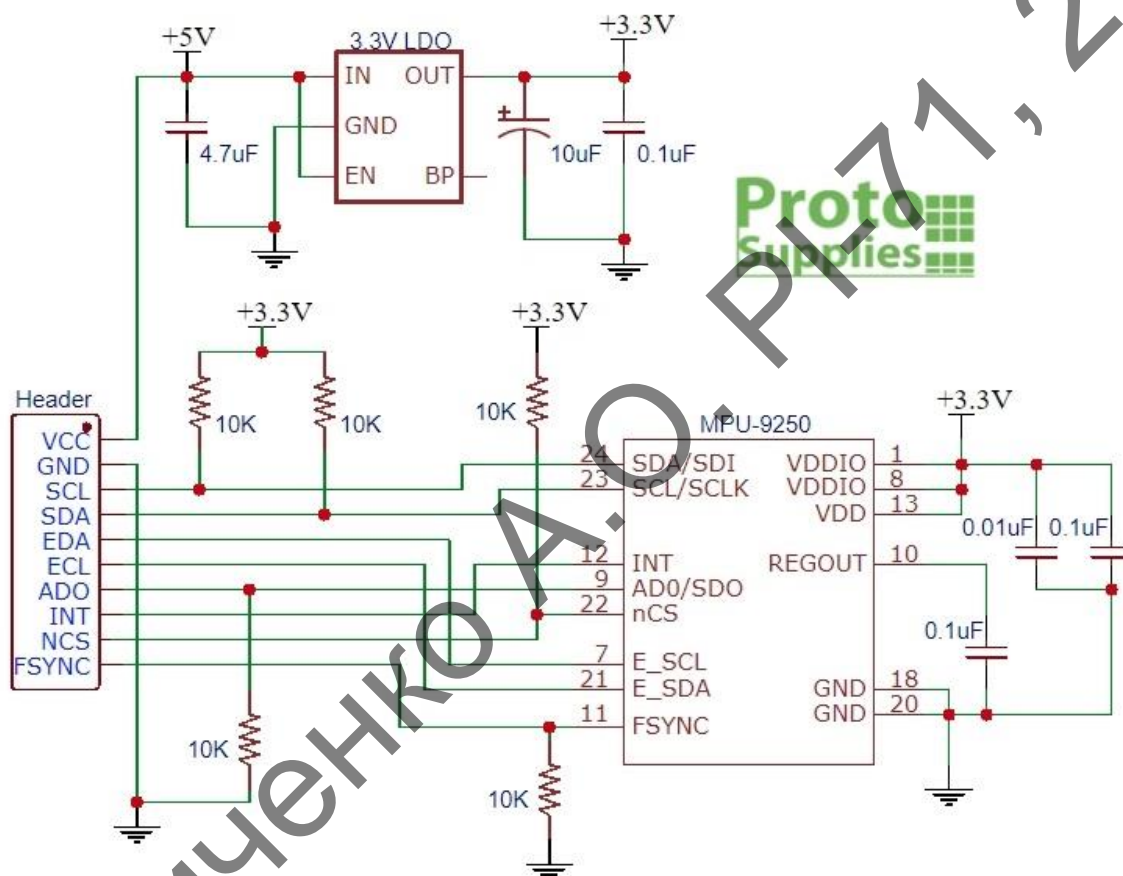


Рисунок 3.6 — Схема підключення живлення до MPU-9250

Давач тиску U1 також працює по протоколу I2C і підключається до відповідних виводів мікроконтролера. Для підсилення сигналу до шини I2C підключено живлення через резистори R1, R3 номіналами 10 кОм.

4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Схема електрично принципова містить в собі активні та пасивні елементи. Активні компоненти в своїй структурі мають джерело електричної енергії. Пасивні елементи, в яких розсіюється або наколюється енергія[21].

При підборі елементної бази потрібно зважати на декілька чинників:

- елементна база має забезпечувати задані електричні параметри та їх точність;
- елементна база має прямий вплив на надійність всього приладу;
- кожний елемент має працювати належним чином в заданих кліматичних умовах;
- тип елемента впливає на технологічність виготовлення приладу;
- елементна база визначає габарити пристрою.

4.1 Вибір активних компонентів

Головним елементом польотного контролера є мікроконтролер на базі архітектури ARM M7, а саме STM32F746ZG, рис. 4.1.

Даний контролер має високу енергоефективність та обчислювальну потужність, щоб забезпечити нам високу працездатність всього пристрою, блок-діаграма мікроконтролера зображена на рис 4.2.

Основні характеристики:

- Ядро: ARM 32-bit Cortex-M7 216 МГц;
- 4 кБ кеш пам'яті;
- 1 МБ флеш пам'яті;
- 320 кБ RAM;
- Підтримка USB 2.0;
- Підтримка швидкісного USB 2.0;
- Підтримка 10/100 Etherne;
- Паралельний інтерфейс камери до 54 Мбайт/с ;
- Інтерфейси SPI, UART, USART, I2C, I2S, SAI, CAN;
- SPDIFRX інтерфейс

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- HDMI-CEC
- Генератор випадкових чисел
- Субсекундна точність
- Календар
- 15 таймерів 16 та 32-х бітних
- Quad-SPI

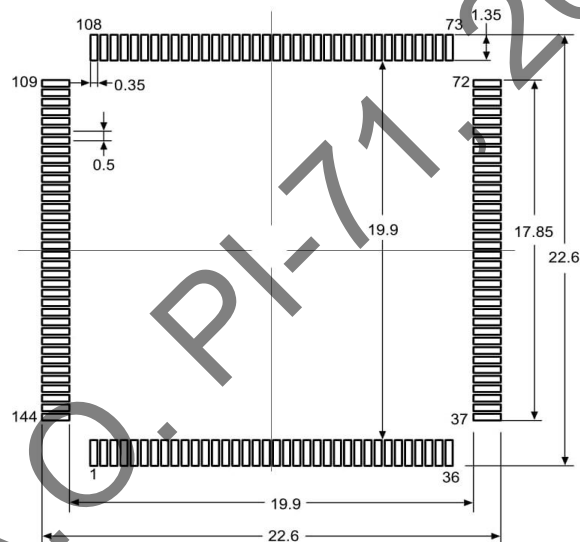


Рисунок 4.1 — Зовнішній вигляд та розміри мікроконтролера STM32F746ZG

Для забезпечення заданого нами функціоналу, використано наступні порти, схема розміщення портів зображена на рис. 4.3:

- VDD — підключення напруги 3,3 В
- GND — земля
- PA1, PA2 — підключення давача перешкод
- PA3, PA4, PB10, PB11, PC6, PC7, PE7, PE8 — підключення передавача
- PA11, PA12, PB13, PB14 — підключення USB
- PD0..PD3 — підключення сервоприводів
- PD7, PD8 — підключення камери
- PG2..PG5 — підключення контролерів двигунів
- PF1..PF4 — підключення давача положення
- PF6, PF7 — підключення GPS модуля

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- PF14, PF15 — підключення давача тиску

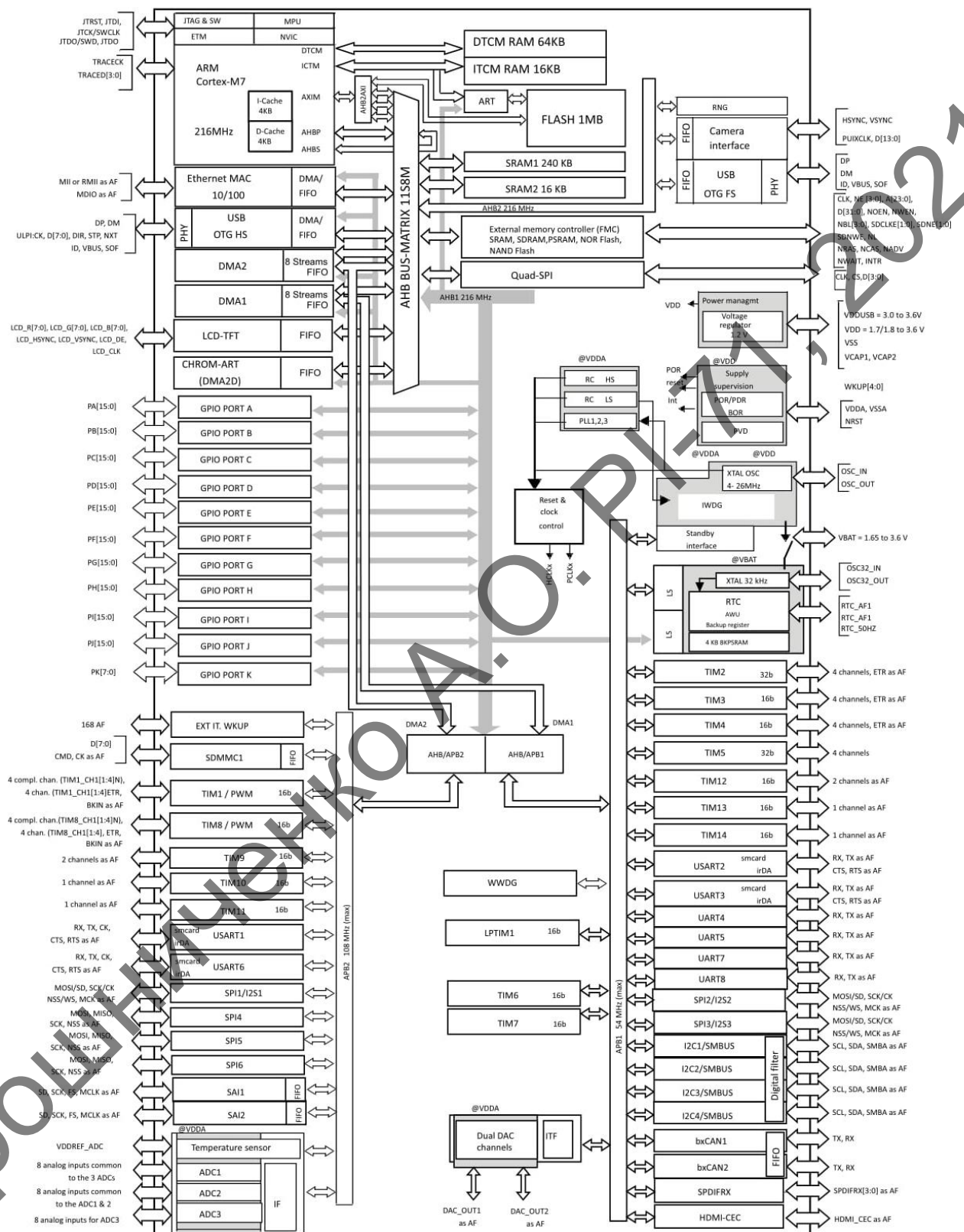


Рисунок 4.2 — Блок-діаграма мікроконтролера

138	BOOT	VBAT	6
25	NRST	VDD	17
24	PA0-WKUP(PA0)	VDD	30
25	PA1	VDD	39
26	PA2	VDD	52
27	PA3	VDD	62
20	PA4	VDD	72
21	PA5	VDD	84
22	PA6	VDD	109
23	PA7	VDD	121
100	PA8	VDD	131
101	PA9	VDD	144
102	PA10	VDDA	33
103	PA11	VDDUSB	95
104	PA12	VCAP_1	71
105	PA13(JTMS-SWDIO)	VCAP_2	106
109	PA14(JTCK-SWCLK)	PDR_ON	143
110	PA15(JTDI)	VREF+	32
46	PB0	PE0	141
47	PB1	PE1	142
48	PB2	PE2	1
123	PB3(JTDO/TRACESWO)	PE3	2
124	PB4(NJTRST)	PE4	3
125	PB5	PE5	4
126	PB6	PE6	5
127	PB7	PE7	59
129	PB8	PE8	59
120	PB9	PE9	60
69	PB10	PE10	63
70	PB11	PE11	64
73	PB12	PE12	65
74	PB13	PE13	66
75	PB14	PE14	67
76	PB15	PE15	68
26	PC0	PF0	10
27	PC1	PF1	11
28	PC2	PF2	12
29	PC3	PF3	13
44	PC4	PF4	14
45	PC5	PF5	15
46	PC6	PF6	19
47	PC7	PF7	19
48	PC8	PF8	20
49	PC9	PF9	21
121	PC10	PF10	22
112	PC11	PF11	49
113	PC12	PF12	50
7	PC13	PF13	53
8	PC14-OSC32_IN(PC14)	PF14	54
9	PC15-OSC32_OUT(PC15)	PF15	55
104	PD0	PG0	56
105	PD1	PG1	57
116	PD2	PG2	87
117	PD3	PG3	88
118	PD4	PG4	89
119	PD5	PG5	90
122	PD6	PG6	91
123	PD7	PG7	92
77	PD8	PG8	93
78	PD9	PG9	124
79	PD10	PG10	125
80	PD11	PG11	126
81	PD12	PG12	127
82	PD13	PG13	128
85	PD14	PG14	129
86	PD15	PG15	132
	PH0-OSC_IN(PH0)		23
	PH1-OSC_OUT(PH1)		24
	VSS		16
	VSS		38
	VSS		51
	VSS		61
	VSS		83
	VSS		94
	VSS		107
	VSS		120
	VSS		130
	VSSA		31

Рисунок 4.3 — Схема розміщення портів мікроконтролера STM32F746ZG

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перетворення 14,8 В в потрібну нам напругу використовуємо 2 стабілізатори напруги AMS1117 на 5 В(AMS1117-5) та на 3,3В(AMS1117-3.3)[22], зовнішній вигляд та назви виводів[23] на рис. 4.4.

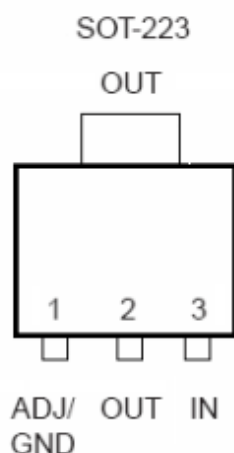


Рисунок 4.4 — Зовнішній вигляд та назви виводів AMS1117

Даний стабілізатор найрозповсюдженіший та не дорогий. Внутрішня структура зображена на рис. 4.5. Характеристики стабілізатора:

- Максимальний струм 1 А
- Температурний діапазон -45 .. +125°C
- Максимальна вхідна напруга 15 В

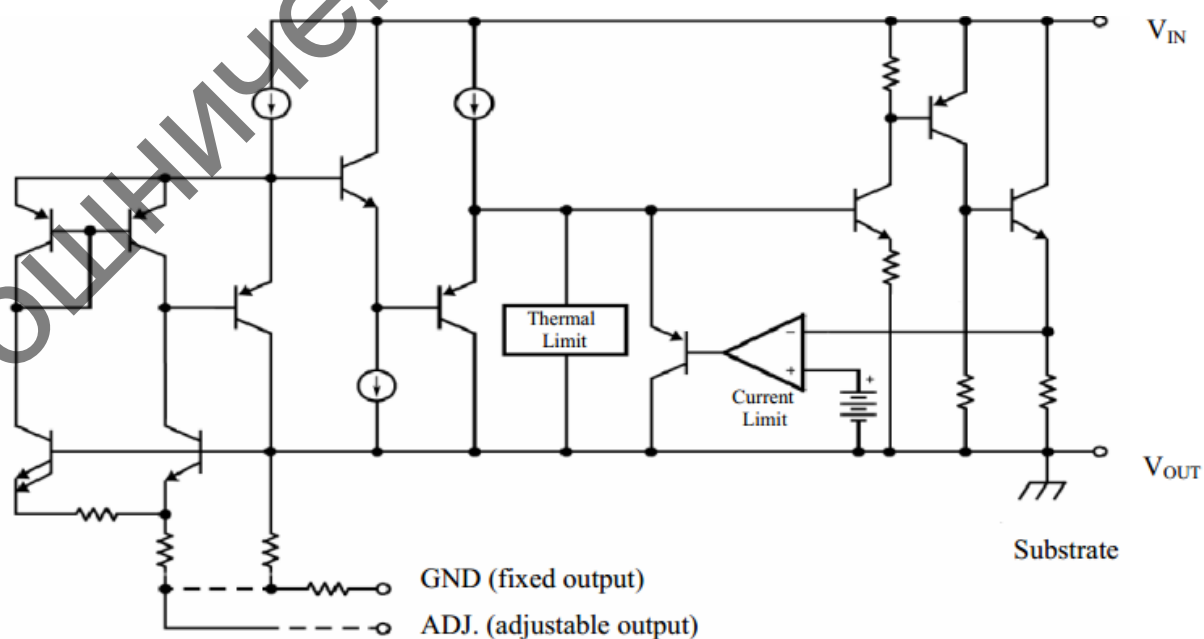


Рисунок 4.5 — Внутрішня структура AMS1117

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Для виміру швидкості руху безпілота обрало давач тиску ND120-SM02-R[24], зовнішній вигляд рис. 4.6.

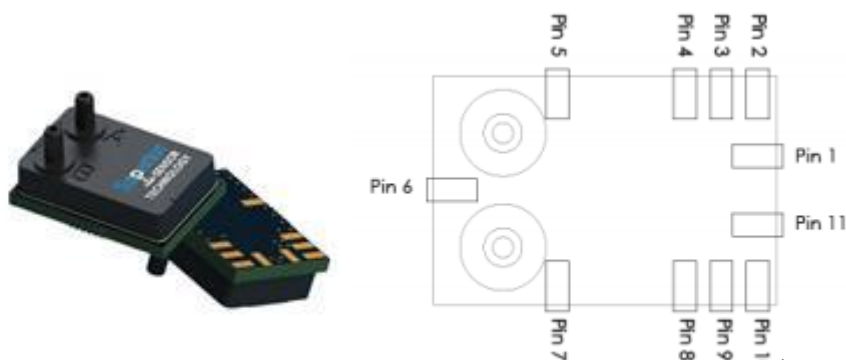


Рисунок 4.6 — Зовнішній вигляд та назва виводів ND120-SM02-R

Внутрішня блок-схема давача ND120-SM02-R, рис. 4.7.

Даний давач тиску має такі характеристики:

- Робоча напруга 2,8 - 3,5 В
- Робочий тиск 1 - 20 Н2О
- Температурний діапазон -45...+85°C

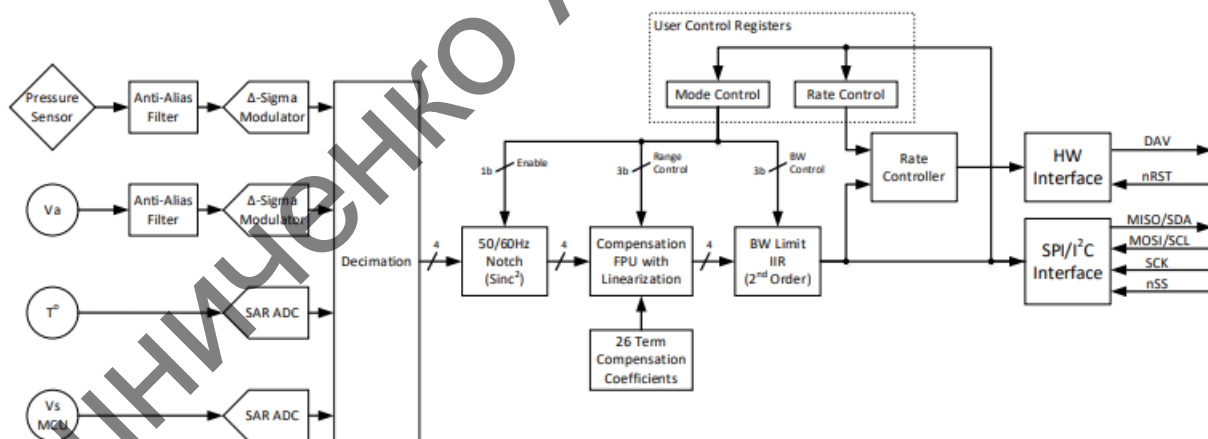


Рисунок 4.7 — Блок-схема ND120-SM02-R

Для виявлення місцезнаходження літального апарату в просторі використовуємо мікросхему MPU-9250[25, 27], рис 4.8, яка в одному корпусі має гіроскоп, акселерометр та магнітометр. Вона підтримує два протоколу зв'язку SPI та I2C. Внутрішня блок-діаграма[26] зображена на рис. 4.9.

Характеристики:

- 9-ти осьовий гіроскоп
- Струм живлення 450 мкА
- Діапазон напруги живлення 2,4...3,6 В
- Діапазон прискорення $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16 \text{ g}$
- Температурний діапазон $-45 \dots +85^\circ\text{C}$

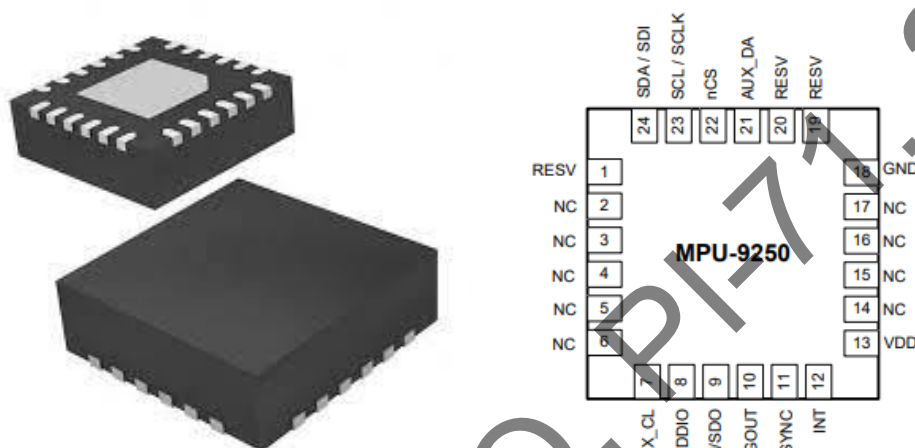


Рисунок 4.8 — Зовнішній вигляд та розпіновка MPU-9250

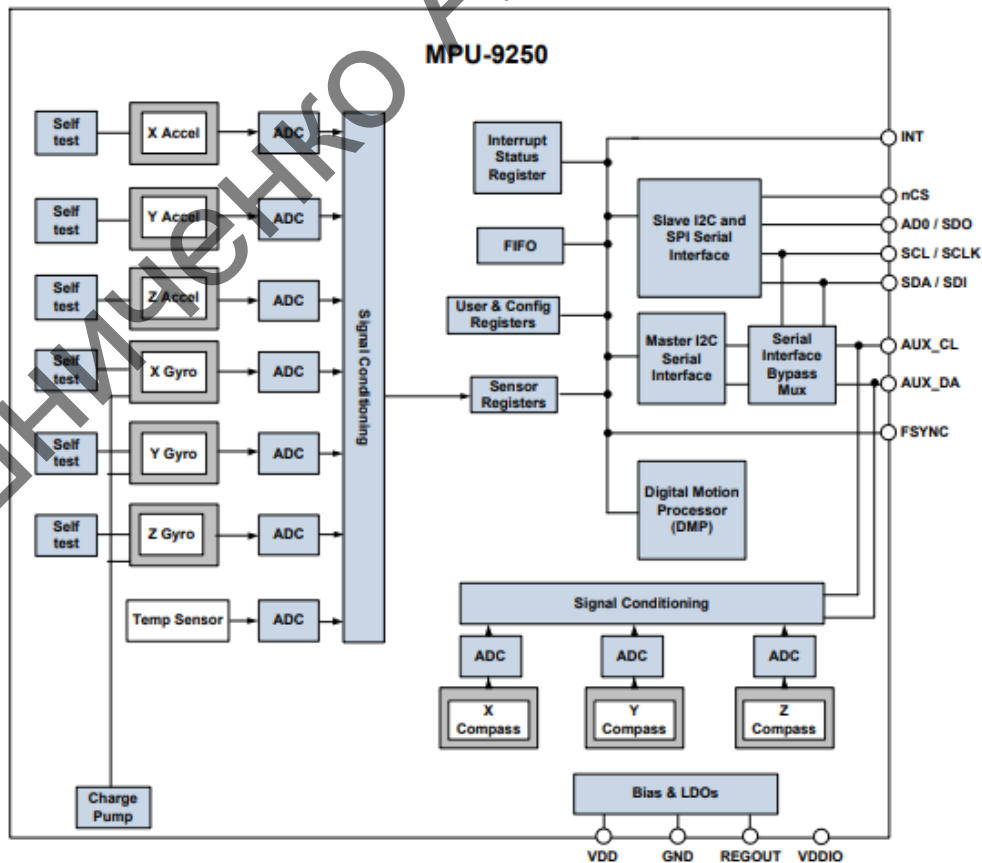


Рисунок 4.9 — Блок-діаграма MPU-9250

4.2 Вибір пасивних елементів

В якості елементів R використовуємо малопотужні SMD резистори. В якості постачальника вибір впав на Hitano, оскільки у цього виробника є всі потрібні для нас номінали. Обраний нами типорозмір 0805[28], зовнішній вигляд зображено на рис. 4.10. Характеристики резисторів:

- Максимальна потужність 0,125 Вт
- Діапазони опорів 68 Ом – 10 кОм
- Точність $\pm 5\%$

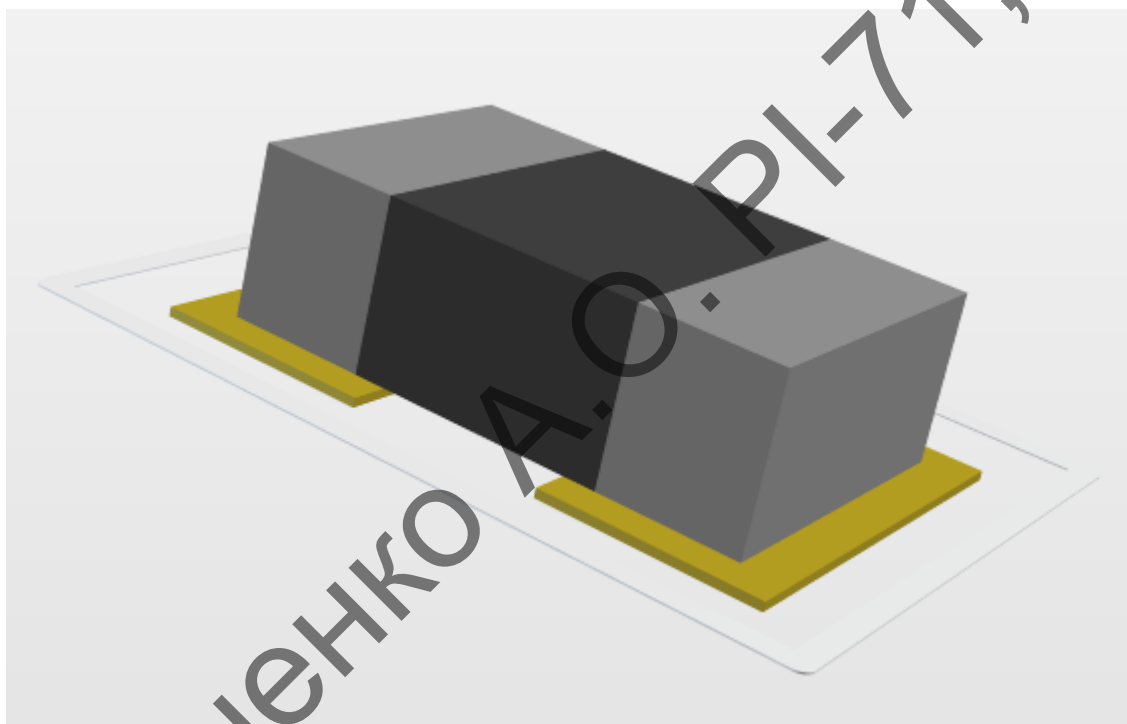


Рисунок 4.10 — 3D модель SMD резистора в середовищі Altium Designer

В якості елементів С обрали SMD конденсатори, для забезпечення технологічності та простоти поставок впав вибір на одного виробника з резисторами, а саме, Hitano. Обраний нами типорозмір 0805, зовнішній вигляд зображено на рис. 4.10. Характеристики:

- Діапазон температур $-55 \dots +125^{\circ}\text{C}$
- Робоча напруга до 1000 В
- Діапазон ємності 10 пФ – 10 мкФ
- Точність $\pm 5\%$

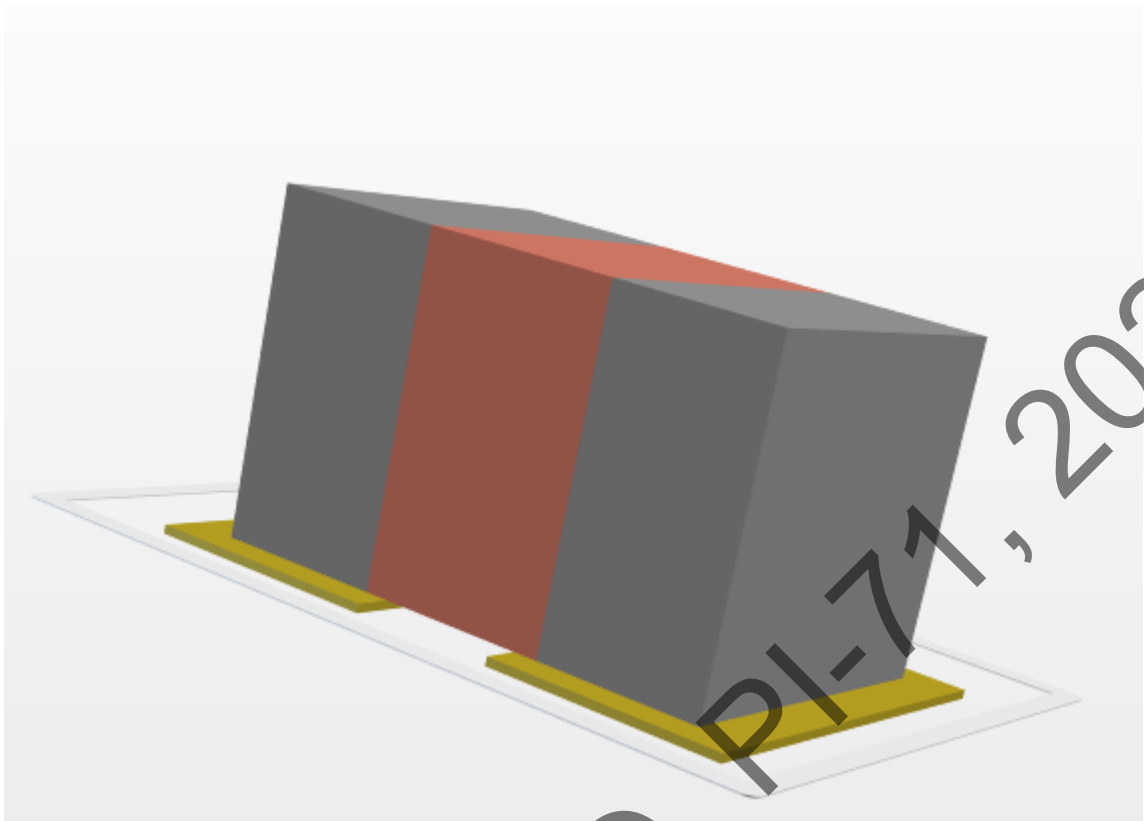


Рисунок 4.11 — 3D модель SMD конденсатора у середовищі Altium Designer

Для швидкого та зручного підключення периферії до плати використовуються конектори на різну кількість виводів від компанії JST, так як має широку розповсюдженість та низьку ціну.

Характеристики:

- максимальний струм 3 А;
- максимальна напруга 250 В;
- діапазон температур -45 .. +125°C;
- опір контактів до 10 Ом
- опір ізоляції не менше 1000 МОм

Чотирьох вивідний конектор, зображено на рис. 4.12.



Рисунок 4.12 — Зовнішній вигляд чотирьох вивідного конектора B4B-XH-A

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд трьох вивідного конектора на рис. 4.13.



Рисунок 4.13 — Зовнішній вигляд трьох вивідного конектора B3B-XH-A

Зовнішній вигляд двох вивідного конектора на рис. 4.14.



Рисунок 4.14 — Зовнішній вигляд двох вивідного конектора B2B-XH-A

Для підключення живлення для плати обрали стандартний 2-й піновий конектор XT60PW-M, рис. 4.13. Він монтується зразу на плату, що дуже зручно.



Рисунок 4.13 — Зовнішній вигляд конектора XT60PW-M

SMD кварцовий резонатор на 16 МГц від YIC вибрано за низьку ціну та доступність, рис 4.14.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.14 — Зовнішній вигляд SMD кварцового резонатора

В результаті обрана нами елементна база підходить по характеристикам до умов технічного завдання. Можемо приступати до розробки друкованого вузла.

Мірошніченко А.О. РІ-71, 2021

					РІ71.468213.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

5.1 Аналіз з точки зору технолога

Наш пристрій буде містити як SMD компоненти так і вивідні, тому доцільно виготовити двосторонню друковану плату.

Оскільки користувачу потрібно замінювати джерело живлення, то роз'єм для його підключення повинен знаходитись в легкодоступному місці. Також потрібно забезпечити легкий доступ для підключення приладу по USB. Тому дані роз'єми потрібно вивести на бокові панелі.

5.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Оскільки у нас велика кількість вивідних елементів та поверхневого монтажу, які будуть розміщуватись на двосторонній платі, доцільно використовувати комбінований метод виготовлення. Комбінований метод об'єднує хімічний та електрохімічний методи, що найбільше підходить для двосторонніх плат. Струмопровідний малюнок отримують шляхом травлення міді, тому при виготовленні в якості основи для виготовлення плати друкованого монтажу використовують фольговані діелектрики. Металізація отворів відбувається шляхом гальванічного нанесення шару мідного покриття.

Перевагами обраного методу є висока роздільна здатність, надійність ізоляції, хороша адгезія елементів з діелектричною основою[30].

Основний недолік це явище бічного підтравлення, котре обмежує роздільну здатність та непродуктивна втрата міді.

5.1.2 Обґрунтування вибору матеріалу плати

Найчастіше для друкованих плат використовується склотекстоліт, він має високу міцність, електроізоляційні властивості та стабільність параметрів[16].

Для виготовлення друкованої плати було обрано склотекстоліт марки FR-4 з шаром металізації 35 мкм і товщиною діелектричного шару 1,6 мм. Даний матеріал має достатню механічну міцність, високий поверхневий опір та низькі втрати. Характеристики склотекстоліту приведені в таблиці 5.1[17]:

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 — Характеристика склотекстоліту FR-4

Характеристика	Значення
Міцність згинання перпендикулярно шарам при нормальних умовах	≥ 340 , МПа
Ударна міцність при згинанні паралельним шарам	≥ 33 ,
Ізоляційний опір при зануренні у воду	$\geq 5,0 \times 10^8$ W
Напруга пробою	≥ 40 кВ
Діелектрична проникність(50 Гц – 1 МГц)	$\leq 5,5$
Тангенс кута втрат(50 Гц – 1 МГц)	$\leq 0,04$
Водопоглинання	≤ 19 мг
Щільність	1,7 – 1,9 г/см ³
Горючість	FV0

5.1.3 Обґрунтування вибору припою

Безсвинцевий припій SAC 305 доступний, його міцність та ціна задовольняє нашим вимогам, тому ми обрали саме цей припій. Він забезпечує міцні паяльні з'єднання та підвищену втомну міцність, сумісний з будь-якими флюсами. Характеристики безсвинцевого припою SAC 305 приведені в таблиці 5.2[18].

Таблиця 5.2 — Характеристика безсвинцевого припою SAC 305

Характеристика	Значення
Температура плавлення	217-219 °C
Густина	7,37 г/см ³
Питома теплоємність	0,232 Дж/(г · К)
Твердість	14,1 HV

5.1.4 Вибір класу точності плати

Плати перших класів прості для виготовлення, але враховуючи специфіку вибраних нами компонентів доцільно обрати третій клас точності.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розрахунок елементів друкованого монтажу

Необхідно провести розрахунки розмірів монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків для вибраної компонентної бази, що буде розміщуватись на друкованій платі.

Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу розраховуються за формулою:

$$D_k = D_v + 0,3$$

де D_k — розміри контактних майданчиків;

D_v — розміри виводів.

Якщо розміри виводів $D_v < 0,4$ мм розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу розраховуються за формулою:

$$D_k = D_v + 0,15$$

Отримані значення наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Розміри контактних майданчиків для SMD елементів

Назва елемента	D_v	D_k
R1-R10	1,3x0,55	1,6x0,85
C1-C15	1,45x0,7	1,6x0,85
S1	0,4x0,4	0,55x0,55
U1	1,0x2,0	1,3x2,3
U2	0,2x0,3	0,35x0,6
U3, U4	0,63x1,0	0,93x1,3
U5	0,35x1,35	0,50x1,65

Діаметри отворів для вивідних елементів розраховуються за формулою:

$$D_0 = D_v + 0,2$$

де D_0 — розміри отворів для вивідних елементів.

Для отворів $D_0 < 1$ мм розміри контактних майданчиків для вивідних елементів розраховується за формулою:

$$D_k = D_v + 0,6$$

Якщо $D_0 > 1$ мм розміри контактних майданчиків для вивідних елементів розраховується за формулою:

$$D_k = D_0 + \frac{2}{3} D_0$$

Отримані значення наведено в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 — Розміри для вивідних елементів

Назва елемента	D_v	D_o	D_k
HL1	0,6	0,8	1,4
X1	2,0	2,2	3,7
X2-X5	0,76	0,96	1,6
X6, X13	0,76	0,96	1,6
X7-X9	0,76	0,96	1,6
X10-X17	0,76	0,96	1,6

Дані для монтажу елементів отримані, можна переходити до проектування друкованої плати.

5.3 Розрахунок габаритів друкованої плати

На площу готової плати впливає загальна площа елементів, які будуть монтуватись на плату. Тому першочергово потрібно підрахувати загальну площу всіх вивідних елементів та поверхневого монтажу, а також площу кріплення друкованої плати.

Для розрахунку мінімальної площі друкованої плати скористаємось формулою:

$$S = \sum K S_k$$

де S — мінімальна площа плати;

K — коефіцієнт, що залежить від габаритів елемента;

S_k — площа елемента.

Розрахунок мінімальної площі друкованої плати проводиться в програмному забезпеченні Microsoft Excel. Результати розрахунку наведені на рис. 5.1.

Назва елемента	N	Sk	K	S
R1-R10	10	7,13	1	71,3
C1-C15	15	8,25	1	123,75
U1	1	288,65	2	577,3
U2	1	18	2	36
U3-U4	2	61,64	2	246,56
S1	1	8,2	1	8,2
U5	1	559,5	2	1119
X1	1	300,25	1	300,25
X2-X5	4	50	1	200
X6, X13	2	55,2	2	220,8
X7-X9	3	63,55	1	190,65
X10-X17	7	78	1	546
Кріплення	4	25	1	100
Загальна площа		3739,81		

Рисунок 5.1 — Результат розрахунку мінімальної площі друкованої плати в мм²

В результаті обчислень площа всіх елементів $S_e = 3739,81 \text{ мм}^2$. Для забезпечення місця під шовкографію та металізацію потрібно додатково додати площу, для цього помножимо отриману площу на коефіцієнт 1,5, в результаті отримаємо $S_{min} = 5609 \text{ мм}^2$, серед стандартних розмірів плат, щоб забезпечити потрібну нам площу, оберемо розмір 75 x 75 мм.

5.4 Розрахунок параметрів друкованих провідників

Головний параметр друкованих провідників, його ширина, для її розрахунку необхідно визначити максимальне значення струму та напруги, що буде проходити в колі.

Аналізуючи параметри компонентів та електричну принципову схему, провідники можна розподілити на три категорії, одну сигнальну і дві силових[19].

Для розрахунку мінімальної ширини провідника по максимально можливому рівню струму, потрібно скористатись формулою:

$$t = \frac{l_s \cdot I_{max} \cdot \rho}{h_s \cdot U_{max} \cdot 0,03}$$

де I_{max} — максимально можливий струм;

l_s — довжина провідника в м;

ρ — питомий опір провідника;

h_s — товщина шару металізації в мм;

U_{max} — прикладена напруга.

Результати обчислення мінімально можливої товщини провідника приведено в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 — Результат розрахунку мінімально можливої товщини провідника

Тип провідника	U_{max} , В	I_{max} , А	Ширина провідника у вузькому місці, мм
Силовий	5,0	1,0	0,135
Силовий	3,6	1,0	0,188
Сигнальний	3,6	0,1	0,012

Обрані значення ширини провідників, з врахуванням класу точності, наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 — Результат розрахунку параметрів провідників

Тип провідника	Ширина провідника у вузькому місці, мм	Ширина провідника у широкому місці, мм
Силовий	0,3	0,55
Силовий	0,25	0,55
Сигнальний	0,25	0,55

Також необхідно розрахувати зазори між елементами друкованого монтажу за формулою:

$$S_{min} = S + \Delta t$$

де S — мінімальна допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами;

Δt — допуск на ширину провідника

Відповідно обраному класі точності дані параметри рівні $S = 0,25$ мм,
 $\Delta t = 0,1$ мм.

В результаті обчислень отримаємо:

$$S_{min} = 0,25 + 0,1 = 0,35$$

5.5 Проектування друкованої плати

Для проектування друкованої плати було обрано середовище проектування Altium Designer, однією з переваг програмного забезпечення є широке використання в світі та просте створення тривимірної моделі проектного продукту.

В середовищі проектування було створено схему електричну принципову, бібліотеку компонентів, що будуть використовуватись, та додано тривимірні моделі всіх цих компонентів.

Всі наведені вище розрахунки проводились для внесення правил у редакторі Altium Designer PCB для розміщення компонентів на платі та розведення провідників.

В результаті роботи було створено друкований вузол 75×75 мм, розміщено на ньому всі елементи та проведено трасування провідників.

Всі отвори з металізацією, як і було обрано в аналізі технологічного процесу.

Верхній шар металізації зображено на рис. 5.2.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

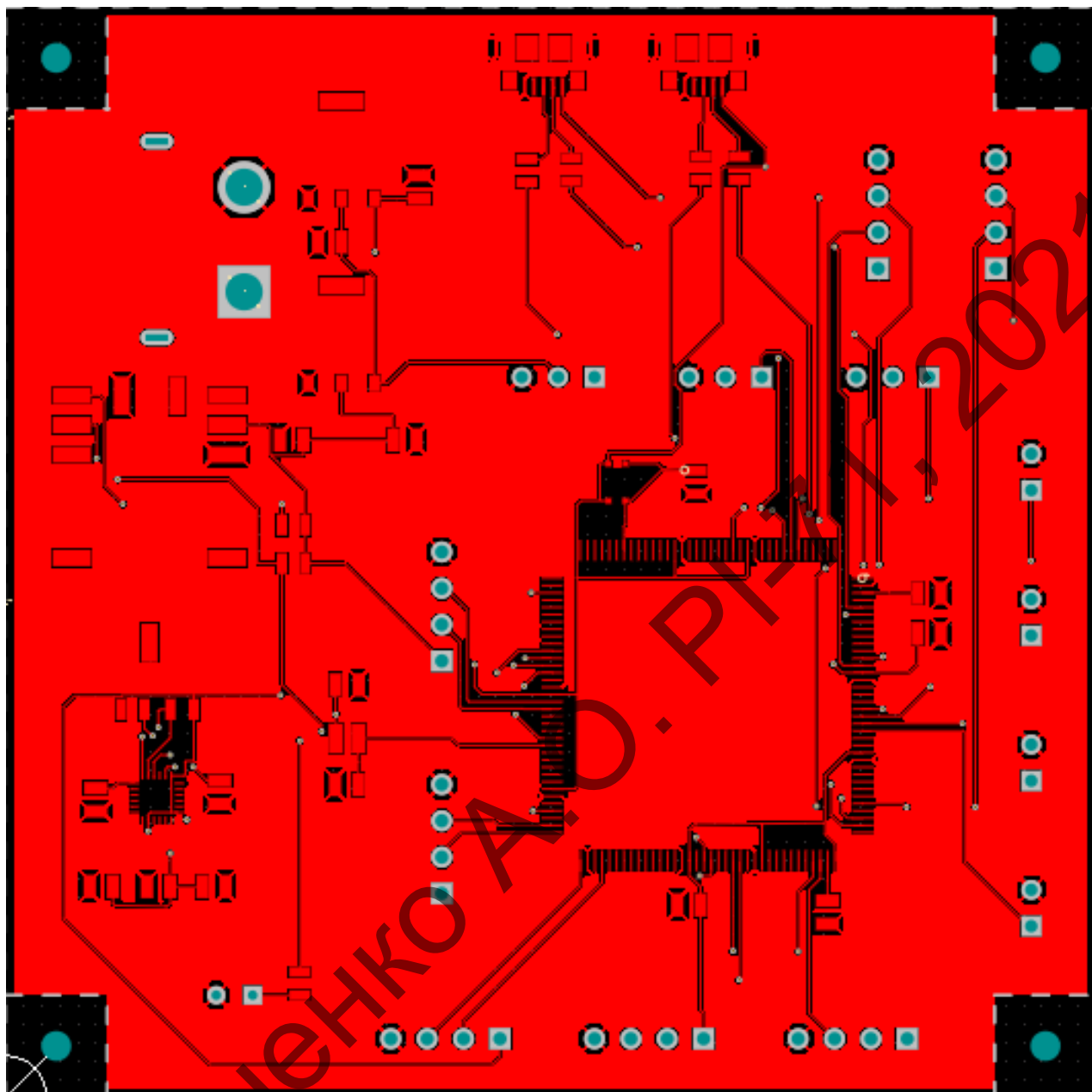


Рисунок 5.2 — Верхній шар металізації

Не було проведено трасування провідників класу землі. Для з'єднання всіх падів котрі мають клас землі використано полігон. Переваги використання полігону очевидні, завдяки йому зменшується втрата травника, трасування друкованої плати полегшується, доступ до шини землі є майже по всій площі плати, запобігання замельних петель. Завдяки полігону створюється екран, хоч і він не має високої ефективності, але це не великим плюсом більшості пристроїв[20].

Нижній шар металізації зображено на рис 5.3.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

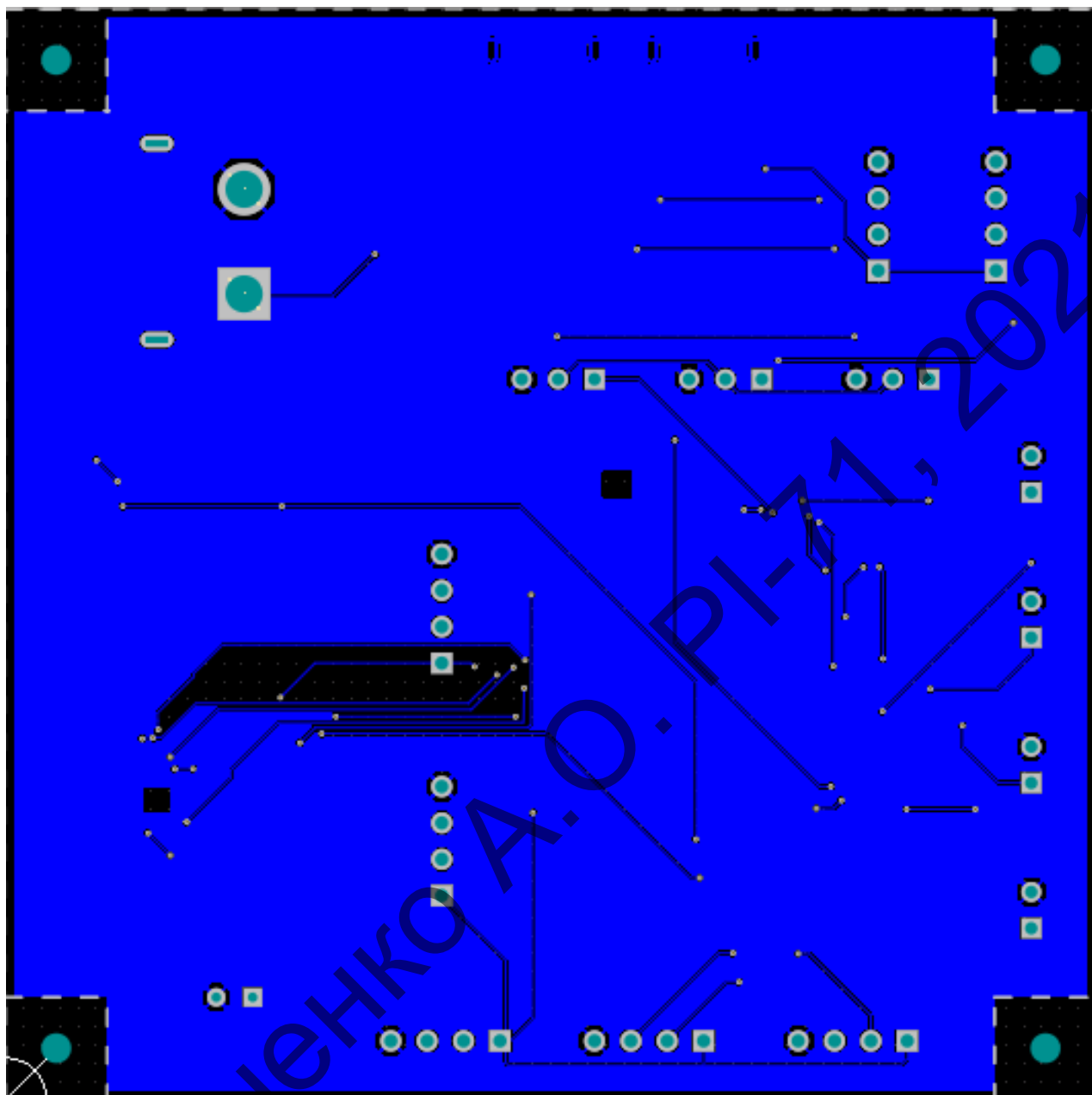


Рисунок 5.3 — Нижній шар металізації

У полігонів було видалено всі “мертві зони”, місця де полігон обмежено іншими провідниками та у нього немає з’єднано з жодним джерелом землі. Відступ між провідниками та площадками рівне відстані між провідниками. Для захисту від короткого замикання біля місця кріплення полігон було видалено.

Була виконана перевірка на відповідність правилам трасування та усунені помилки.

Тривимірна модель друкованої плати у середовищі Altium Designer PCB на рис. 5.4.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

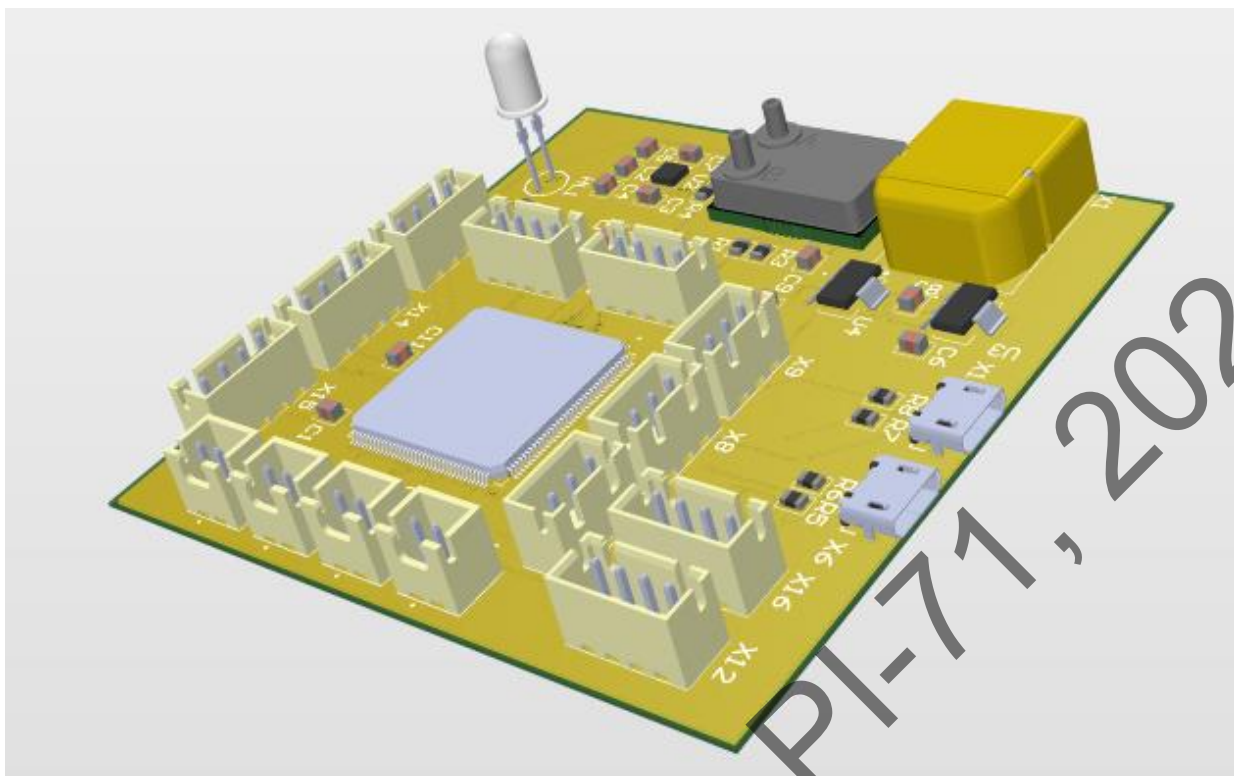


Рисунок 5.4 — Тривимірна модель друкованої плати у середовищі Altium Designer PCB

В результаті проектування друкованої плати було отримано тривимірну модель.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 КОНСТРУКЦІЯ

Через те, що перед нами стоїть задача по створенню універсального пристрою для контролю польоту, то ми повинні врахувати, що наш прилад може знаходитись як на великорозмірних так і на малорозмірних безпілотниках, саме тому для заощадження простору та ваги ми відмовляємось від корпусу для друкованої плати. В разі потреби користувач має можливість використовувати корпус для контролера польоту. При кріпленні контролера рекомендовано використовувати гумові проставки для гасіння вібрацій пристрою.

Приклади корпусів безпілотних літальних апаратів на яких може бути розміщений наш пристрій наведено на рис. 6.1-6.4

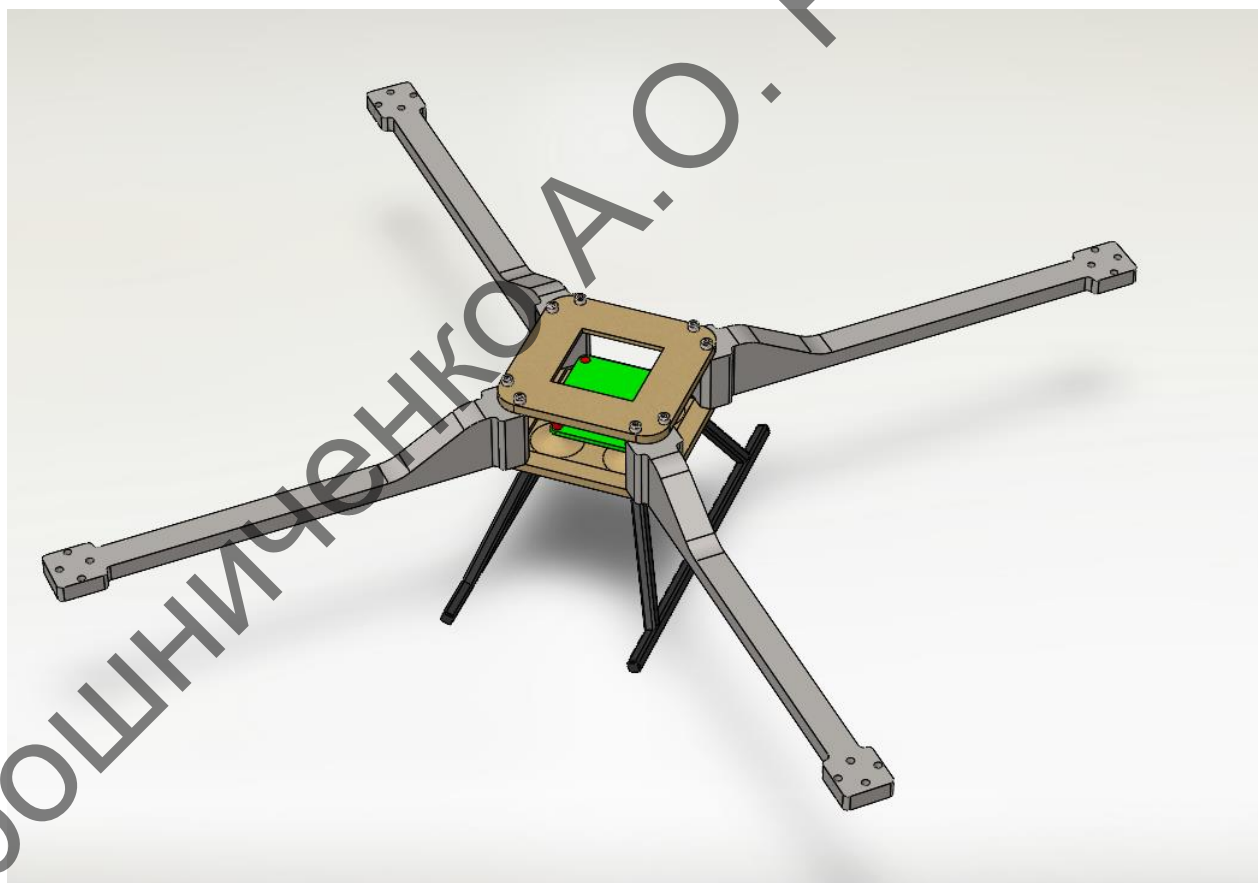


Рисунок 6.1 — Корпус квадрокоптера в середовищі SolidWorks

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

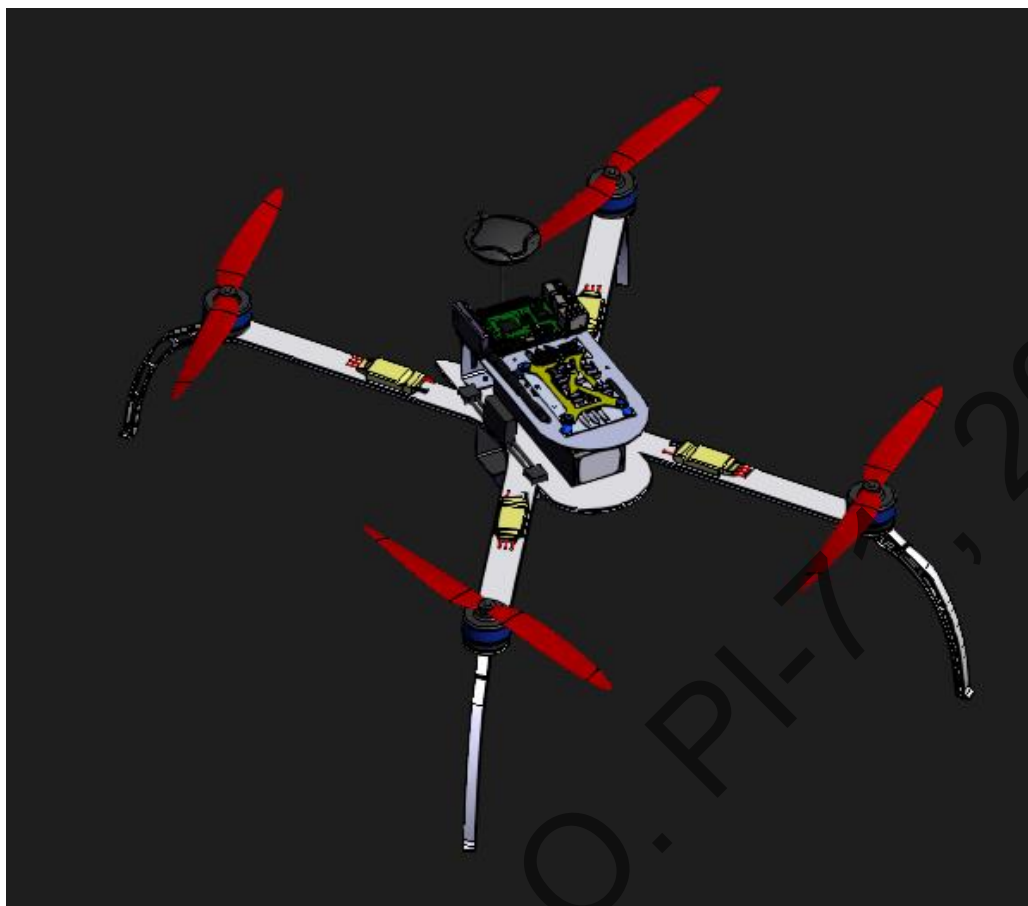


Рисунок 6.2 — Корпус квадрокоптера в середовищі SolidWorks

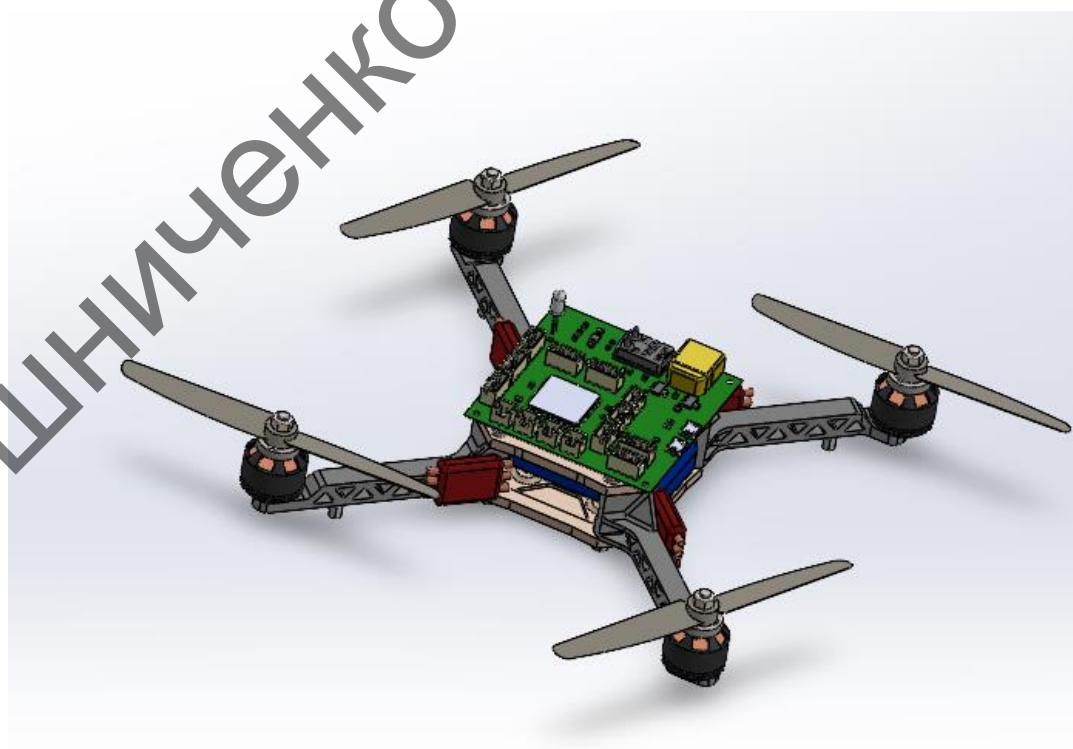


Рисунок 6.3 — Корпус квадрокоптера в середовищі SolidWorks

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

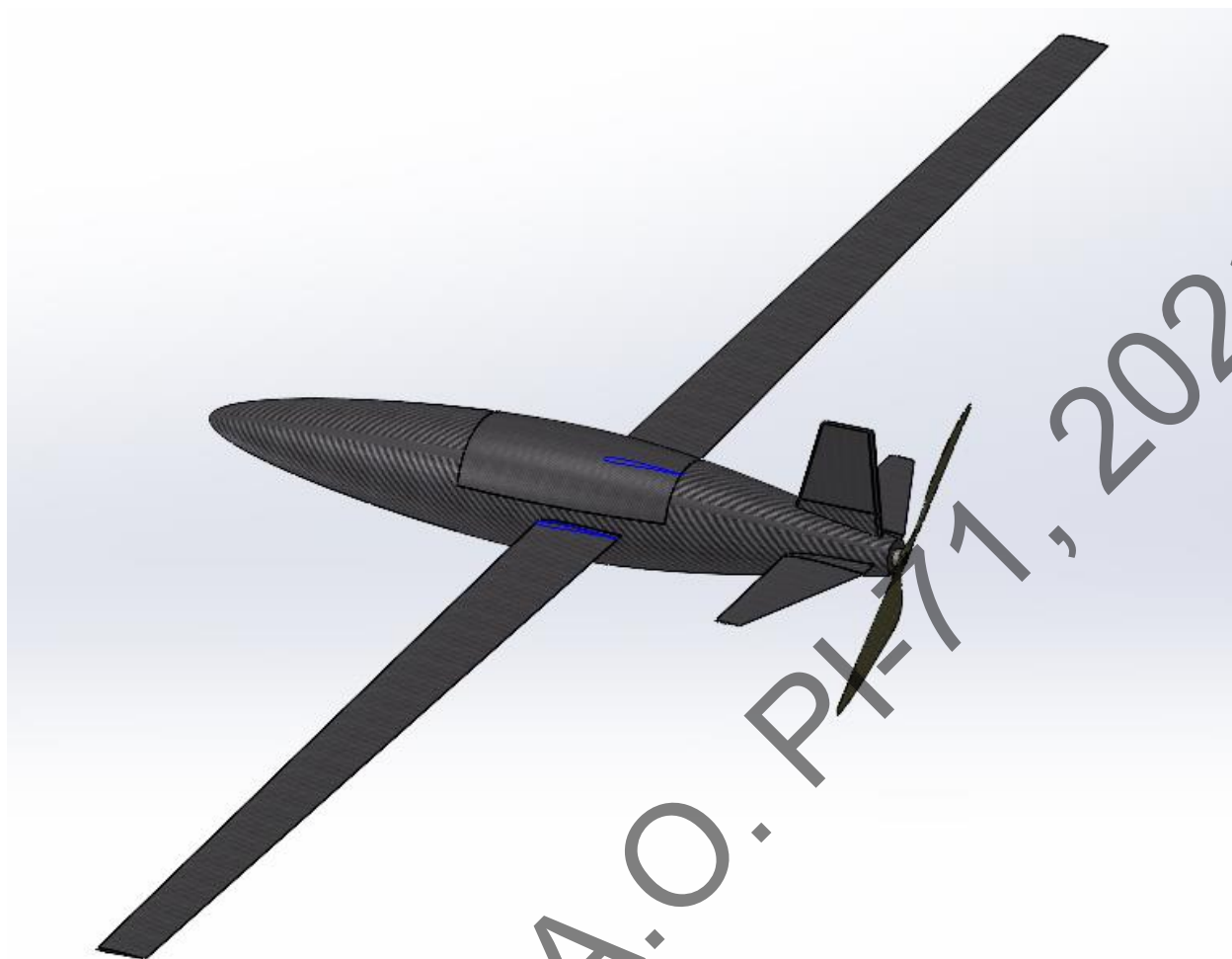


Рисунок 6.4 — Корпус безпілотної в середовищі SolidWorks

В результаті було підібрано 4 різних конструкції безпілотного літального апарату, котрі користувач може використовувати, але на цих конструкціях можливості застосування нашого пристрою не завершуються.

					РІ71.468213.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИСТРОЮ

7.1 Розрахунок надійності

Перед розрахунком надійності потрібно розглянути необхідні умови:

- відмова елементів, випадкова подія;
- наслідком відмови одного елементу є відмова всього пристрою.

Згідно методу розрахунку надійності розроблювального пристрою на стадії проектування, він буде проводитись наближеним методом[31].

Для розрахунку потрібно підготувати дані інтенсивності відмов елементу, робоче значення інтенсивності відмов, поправочний коефіцієнт та кількість елементів[32], ці дані внесені в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 — Параметри надійності елементів

Назва елемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	K_e	$\lambda_p \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	N
Резистор	0,06	2,6	0,156	10
Керамічний конденсатор	0,55	2,6	1,44	15
Керамічний резонатор	0,5	2,6	1,3	1
Стабілізатор напруги	0,7	2,6	1,82	2
Мікросхема	2,5	2,6	6,5	3
Роз'єми	0,2	2,6	0,52	19
Двостороння друкована плата	0,2	2,6	0,52	1

Поправочний коефіцієнт було обрано 2,6, тому що він враховує умови експлуатації, а наш пристрій буде експлуатуватись на безпілотному літальному апараті.

Маючи дані, ми можемо розраховувати параметри відмов електронних груп та механічних частин пристрою, для цього використаємо формулу:

$$\omega_e = \sum_{i=1}^n \lambda_p \cdot N_i,$$

де n — кількість типів елементів;

λ_p — робоче значення інтенсивності відмов;

N_i — кількість елементів одного типу.

Підставивши та обчисливши всі дані, ми отримуємо значення:

$$\omega_e = 58 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$$

Знаючи, що час безвідмовної роботи пристрою обернено пропорційний потоку відмов, отримуємо результат:

$$T_0 = \frac{1}{\omega} = 1,72 \cdot 10^4 \text{ год}$$

Отже, час безвідмовної роботи нашого пристрою складає 17200 годин, що приблизно дорівнює 2 роки.

7.2 Розрахунок вібростійкості

Через те, що у нас обрано стандартну форму плати, ми можемо використати стандартний метод розрахунку вібростійкості друкованої плати. Для даного розрахунку потрібно використати дані наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 — Параметри для розрахунку вібростійкості

Назва параметра	Значення
Довжина плати	75 мм
Ширина плати	75 мм
Товщина	1,6 мм
Маса елементів на платі	10 г
Модуль пружності	$3,02 \cdot 10^{10}$
Щільність	$2,05 \cdot 10^3$
Коефіцієнт Пуассона	0,22

Приведена маса плати обчислюється за формулою:

$$m_n = p h$$

де p — щільність;

h — товщина плати.

Підставивши значення отримуємо:

Приведена маса плати з елементами обчислюється за формулою:

$$m = m_n + m_e$$

Підставивши значення отримуємо:

Циліндрична жорсткість обчислюється за формулою:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \xi)}$$

де E — модуль пружності;

ξ — коефіцієнт Пуассона.

Підставивши значення отримуємо:

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 4,09 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 0,78} \approx 13,2 \text{ кг/м}^2$$

Наша плата має кріплення в чотирьох краях, значення функції $\phi(\beta)$ для цього випадку:

$$\phi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}}$$

де $\beta = \frac{a}{b} = 1$ коефіцієнт співвідношення довжини і ширини плати.

Підставивши значення отримуємо:

$$\phi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{0,28}{1} + \frac{1}{1}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{1} + \frac{1}{1}}} \approx 8,1$$

Для визначення резонансної частоти застосуємо формулу:

$$f_0 = \frac{\phi(\beta)}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Підставивши значення отримуємо:

$$f_0 = \frac{8,1}{0,035} \cdot \sqrt{\frac{13,2}{3,78}} \approx 808 \text{ Гц}$$

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Отже, при розрахунках було отримано резонансну частоту 808 Гц, що перевищує максимальну частоту впливів на плату, це означає, що обраний варіант кріплення повністю задовольняє вимогам віброміцності.

Мірошніченко А.О. РІ-71, 2021

					РІ71.468213.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз ринку безпілотних літальних апаратів та їх комплектуючих. На основі цих даних було визначено вимоги до пристрою та встановлено основний критерій конкурентоспроможності, а саме універсальність використання, відкрите програмне забезпечення та конкурентна ціна, яка становить приблизно 2000 грн.
2. Згідно визначених вимог було створено структурну схему приладу. На її основі було розроблено електрично принципову схему. Напруга живлення пристрою в діапазоні 5..14,8 В.
3. Було обрано елементну базу для пристрою, основним критерієм для вибору слугувала ціна та відповідність елементів температурному діапазону. Також значимим параметром була низьке енергоспоживання, це додає дальність та час польоту літального апарату. Основним елементом друкованої плати стала мікросхема STM32F746ZG, що має велике обчислювальну здатність та низьке енергоспоживання.
4. Було обрано матеріали для виготовлення друкованої плати, клас точності та метод її виготовлення. Проведено обрахунки площі плати та обрано розмір плати 75x75 мм. Проектування плати було проведено в програмному забезпеченні Altium Designer.
5. Обраховано працездатність приладу, а саме його надійність та віброміцність. По результатам розрахунків ймовірність безвідмовної роботи становить 17200 год, що цілком задовольняє вимоги. За результатами розрахунків віброміцності було встановлено, що резонансна частота складає 808 Гц, що набагато більше ніж максимальна частота впливу.

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Parrot | European leader in professional drones — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.parrot.com/>
2. Yuneec Drones Shop — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://corporate.yuneec.com/>
3. Phantom 4 RTK - Next Gen Mapping Solution – DJI — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.dji.com/ru/phantom-4-rtk?site=brandsite&from=nav>
4. UAV Factory | Unmanned Platforms and Subsystems — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://uavfactory.com/>
5. Open Source Drone Software. Versatile, Trusted, Open. ArduPilot. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ardupilot.org/>
6. Altum Integration Guide — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360010025413-Altum-Integration-Guide>
7. PIX4Dreact: drone fast-mapping software for emergency response | Pix4D — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.pix4d.com/product/pix4dreact>
8. The 5 Best Drones for Mapping and Surveying - Pilot Institute — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://pilotinstitute.com/drone-mapping/>
9. Дешевые интегральные LDO стабилизаторы. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://hardelectronics.ru/stabilizator-ams1117-lm1117.html>
10. Современная цифровая техника требует высокой точности, поэтому совсем неудивительно, что практически любое цифровое устройство, какое бы не попало сегодня на глаза обывателю, содержит внут — [Електронний ресурс] — Режим доступу:

					<i>PI71.468213.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

<http://elektrik.info/main/praktika/1222-kvarcevyy-rezonator-struktura-princip-raboty-kak-proverit.html>

11. Differential Pressure Sensors Industrial Applications — [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://ru.mouser.com/datasheet/2/962/SuperiorSensor_01252021_DS_0003A_NDSeries-1960314.pdf
12. Виртуальный USB-порт в лабораторной практике — [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://rfanat.ru/Arduino_projekts/klone/virt_USB-port_laboratory.html
13. Что такое регулятор оборотов? Определение Регуляторы оборотов — в англоязычном сообществе называются — Electric Speed Controller (электронный контроллер) — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://avtika.ru/regulyator-oborotov-dvigatelya-kvadrokoptera/>
14. Alex_EXE » Подключение сервопривода к PIC16F628A — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://alex-exe.ru/radio/robotics/servo-pic/>
15. MPU-9250 3-Axis Accelerometer, Gyroscope & Magnetometer Sensor Module — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://protosupplies.com/product/mpu-9250-3-axis-accel-gryo-mag-sensor-module/>
16. Базовые материалы для производства печатных плат — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/tekhnologiya-proizvodstva-pechatnykh-plat/bazovye-materialy-dlya-proizvodstva-pechatnykh-plat/>
17. Стеклотекстолит FR 4 — [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/FR4_datasheet.pdf
18. Паяльная пластина для бессвинцовой пайки SAC305 — [Электронный ресурс] — Режим доступа:

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<http://m.bbiansolders.com/bar-solder/lead-free-alloy-wave-soldering-bar/sac305-lead-free-wave-silver-soldering-bar.html>

19. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів / Зінковський Ю. Ф. — К.: НТУУ «КПІ», 2012. — 56 с.
20. Используйте земляной полигон всегда, когда это возможно. Советы и рекомендации по компоновке печатных плат — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://radioprogram.ru/post/700>
21. Элементы электрических цепей (Лекция N 1) — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.toehelp.ru/theory/toe/lecture01/lecture01.html>
22. AMS1117-3.3, Линейный регулятор с малым падением напряжения, 800мА, 3.3В, [SOT-223] — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/ams1117-3.3>
23. AMS1117 — Стабилизатор с малым падением напряжения и выходным током 1 А — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://rudatasheet.ru/datasheets/ams1117/>
24. ND120-SM02-R Superior Sensor | Mouser Российская Федерация — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ru.mouser.com/ProductDetail/Superior-Sensor/ND120-SM02-R?qs=eP2BKZSCXI4Iftrhq9aWXg==>
25. MPU-9250 | TDK — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>
26. MPU-9250 Product Specification Revision 1.1 — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>
27. MPU-9250 - РАДИОМАГ РКС КОМПОНЕНТЫ — [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/mpu-9250_108350.html

					PI71.468213.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Mechanical Dimensions for Capacitor Chip Devices, SM Package Sizes
— [Електронний ресурс] — Режим доступу:
http://www.interfacebus.com/Design_Capacitors_Size.html
29. B3B-XH-A(LF)(SN) datasheet by JST Sales | SnapEDA —
[Електронний ресурс] — Режим доступу:
[https://www.snapeda.com/parts/B3B-XH-A\(LF\)\(SN\)/JST%20Sales/datasheet/](https://www.snapeda.com/parts/B3B-XH-A(LF)(SN)/JST%20Sales/datasheet/)
30. Комбінований метод виготовлення друкованих плат. —
[Електронний ресурс] — Режим доступу:
<https://studfile.net/preview/9249885/page/7/>
31. Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів:
Методичні рекомендації до виконання розрахункових а
контрольних робіт... / Уклад. С. М. Перегудов, М. В. Зінченко. – К.:
НТУУ «КПІ», 2012. – 56 с
32. Расчет надежности— [Електронний ресурс] — Режим доступу:
<https://studfile.net/preview/5558304/page/10/>
33. ГОСТ 15150-69, расшифровка исполнений УХЛ1, УХЛ2, УХЛ3,
УХЛ4, УХЛ5, ХЛ1 и других — [Електронний ресурс] — Режим
доступу: https://www.avtomats.com.ua/1639-gost_15150-69_klimaticheskoe_ispolnenie.html
34. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат
друкованого монтажу — [Електронний ресурс] — Режим доступу:
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24954/1/TNNPtaVPDM.pdf>
35. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ —
[Електронний ресурс] — Режим доступу:
<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inrtzp/txt/paliy.pdf>
36. Методи виготовлення друкованих плат — [Електронний ресурс] —
Режим доступу: <http://um.co.ua/6/6-11/6-116440.html>

ДОДАТКИ

Додаток А — Технічне завдання

Додаток Б — Перелік елементів

Додаток В — Специфікація на друкований вузол

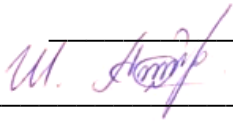
Мірошніченко А.О. РІ-71, 2021

					РІ71.468213.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПОГОДЖЕНО

к.т.н., доц. Шульга А.В.

(керівник)



ЗАТВЕРДЖЕНО

д.т.н., проф. Нелін Є.А.

(Завідувач кафедри КіВРА)

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Малоінерційний керований генератор шуму міліметрового діапазону

Мірошніченко А.О.

(виконавець)



(підпис)

(розшифровка

підпису)

					PI71.468213.001 T3	Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Назва, Підстава для виконня

Пристрій: контролер польоту.

Підставою для виконання є наказ факультету №1205-с від 18 травня 2021р.

1.2 Мета виконання і призначення розробки

Розробка конструкції контролера польоту. Пристрій призначений для управління безпілотним літальним апаратом та камерою.

1.3 Технічні вимоги

1.3.1 Показники призначення

Напруга живлення модуля керування не більше.....14,8 В.

Максимальний струм живлення, не більше.....1А.

1.3.2 Вимоги до життєдіяльності та стійкості до зовнішніх впливів та чинників

Кліматичне виконання – У2.1 (згідно ГОСТ 15150–69).

1.3.3 Вимоги до надійності

Пристрій повинен бути відновлюваний і ремонтпридатний по ГОСТ 27.002-2015.

Середній наробіток на відмовлення, не менше, 12000 годин.

Середній час відновлення, не більше 3 години.

Середній строк служби, не менше 3 років.

1.3.4 Вимоги до технологічності

Вимоги до технологічності по ГОСТ 14.201-83.

					PI71.468213.001 T3	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.5 Вимоги до конструкції

Пристрій повинен бути відновлюваний та ремонтпридатний згідно ГОСТ 27.002-89.

Маса пристрою не повинна перевищувати 50 г.

Габарити не більше:

Довжина.....100 мм.

Ширина.....100 мм.

1.3.6 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Рівень стандартизації та уніфікації повинен відповідати ГОСТ 12.201-83.

Коефіцієнт стандартизації.....не менше 0,4.

Коефіцієнт уніфікації.....не менше 0,6.

1.3.7 Вимоги до дизайну та ергономіки

Вимоги до дизайну не висуваються.

1.3.8 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Вимоги до технологічності згідно ГОСТ 14.201-83. Всі комплектуючі вироби повинні проходити вхідний контроль на відповідність вимогам ТУ.

Пристрій повинен бути відновлюваний та ремонтпридатний згідно ГОСТ 27.002-89.

1.3.9 Вимоги безпеки життя, здоров'я, майна громадян та охорони довкілля

Керуватися положеннями стандартів про вимоги технічної безпеки, електробезпеки, пожежної безпеки.

Утилізація згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773-2001.

					PI71.468213.001 T3	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.10 Вимоги до транспортування, зберігання та експлуатації

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001. В4 — возимо, що встановлюється в автомобілях, на мотоциклах, в сільськогосподарської, дорожньої та будівельної техніки

1.3.11 Вимоги до якості і технічного рівня

Відповідає світовому рівню.

1.4 Вимоги до сировини, матеріалів і ПКВ

Вимоги до сировини та матеріалів не висуваються.

1.5 Вимоги до консервації, пакування та маркування

Маркування: вимоги до маркування не висуваються.

Пакування: прилад необхідно помістити в картонну коробку.

Консервація: не передбачено.

1.6 Вимоги до розроблюваної документації

Документація оформлюється згідно ЄСКД.

					PI71.468213.001 T3	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Мірошніченко А.О. РІ-71, 2021

[illegible]

Позн.	Найменування				Кіл.	Примітки
S1	Кнопка DHT-4235A				1	
HL1	YGD/1618				1	
ZQ1	XRCHA16M000FOA11R0				1	
X1	AMASS_XT60PW-M				1	
X2-X5	JST_B2B-XH-A(LF)(SN)				4	
X6	GCT_USB3076-XX-X_REVC				1	
X7-X9	JST_B3B-XH-A(LF)(SN)				3	
X10-X12	JST_B4B-XH-A(LF)(SN)				3	
X13	GCT_USB3076-XX-X_REVC				1	
X14-X17	JST_B4B-XH-A(LF)(SN)				4	
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	PI71.468213.001 ПЕ	
					2	

ДОДАТОК В

Мірошніченко А.О. РІ-71, 2021

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A2			PI71.468213.001 СК	Складальний кресленик	1	
A1			PI71.468213.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4			PI71.468213.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
				<u>Деталі</u>		
A2		1	PI71.758724.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
		2		Конденсатор C0805N300J500NT	1	С1
		3		Конденсатор 0805B222K101NT	1	С2
		4		Конденсатор 0805B222K101NT	1	С3
		5		Конденсатор 0805B222K101NT	1	С4
		6		Конденсатор 0805B222K101NT	1	С5
		7		Конденсатор 0805B106K160N3	1	С6
		8		Конденсатор 0805B222K101NT	1	С7
PI71.468213.001						
Зм.	Арк.	№ докум	Підп	Дата	<div>Контролер польоту</div> <div>КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ РІ-71</div>	
Розроб		Мірошніченко				
Перевр		Шульга				
Реценз		Попсуй				
Н.Контр		Попсуй				
Затверд		Шульга				
					Літ.	Арк.
						1
						3

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.	
		9		Конденсатор 0805B106K160N3	1	C8	
		10		Конденсатор 0805B106K160N3	1	C9	
		11		Конденсатор C0805B104K250NT	1	C10	
		12		Конденсатор C0805B225K160N3	1	C11	
		13		Конденсатор C0805B225K160N3	1	C12	
		14		Конденсатор C0805B225K160N3	1	C13	
		15		Конденсатор C0805N100J500NT	1	C14	
		16		Конденсатор C0805N100J500NT	1	C15	
		17		Резистор RC0805FR-10000R-Hitano	1	R1	
		18		Резистор RC0805FR-10000R-Hitano	1	R2	
		19		Резистор RC0805FR-10000R-Hitano	1	R3	
		20		Резистор RC0805FR-10000R-Hitano	1	R4	
		21		Резистор RC0805FR-68R-Hitano	1	R5	
		22		Резистор RC0805FR-68R-Hitano	1	R6	
		23		Резистор RC0805FR-68R-Hitano	1	R7	
		24		Резистор RC0805FR-68R-Hitano	1	R8	
		25		Резистор RC0805FR-10000R-Hitano	1	R9	
		26		Резистор RC0805FR-470R-Hitano	1	R10	
		27		Мікросхема ND120-SM02-R	1	U1	
		28		Мікросхема MPU-9250	1	U2	
		29		Мікросхема AMS1117-5	1	U3	
		30		Мікросхема AMS1117-3.3	1	U4	
		31		Мікросхема STM32F746ZGT6	1	U5	
		32		Світлодіод YGD/1618	1	HL1	
				PI71401152.001			2

<i>Форм.</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Позначення</i>	<i>Назва</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Прим.</i>
		33		Кнопка DHT-4235A	1	S1
		34		Кварцовий резонатор		
		35		XRCHA16M000FOA11RO	1	ZQ1
		36		Конектор AMASS_XT60PW-M	1	X1
		37		Конектор JST_B2B-XH-A(LF)(SN)	1	X2
		38		Конектор JST_B2B-XH-A(LF)(SN)	1	X3
		39		Конектор JST_B2B-XH-A(LF)(SN)	1	X4
		40		Конектор JST_B2B-XH-A(LF)(SN)	1	X5
		41		Конектор GCT_USB3076-XX-X_REVC	1	X6
		42		Конектор JST_B3B-XH-A(LF)(SN)	1	X7
		43		Конектор JST_B3B-XH-A(LF)(SN)		X8
		44		Конектор JST_B3B-XH-A(LF)(SN)		X9
		45		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X10
		46		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X11
		47		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X12
		48		Конектор GCT_USB3076-XX-X_REVC		X13
		49		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X14
		50		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X15
		51		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X16
		52		Конектор JST_B4B-XH-A(LF)(SN)		X17

PI71468213.001

3