

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

До захисту допущено:

В.о.зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«___» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою-професійною програмою «Інтелектуальні технології мікро-
системної радіoeлектронної техніки»
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
на тему: «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літаль-
ного апарату»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи PI-81

Броварник Сергій Анатолійович

Прізвище, ім'я та по батькові



підпис

Керівник:

Ст. викладач. Адаменко Володимир Олексійович

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



підпис

Рецензент:

Доцент, к.т.н. Чмельов Вячеслав Орійович

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

підпис

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

Студент (-ка)



Київ — 2022 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	PI81.202138.001 ПЗ	Пояснювальна записка	59	
3	A1	PI81.202138.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	2	
4	A3	PI81.758724.001	Друкована плата	2	
5	A3	PI81.202138.001 СК	Складальний кресленик друкованого вузла	1	

				PI81.202138.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Броварник С. А.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Адаменко В. О.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ, Гр. PI-81	
Н/контр.						
Зав.каф.						

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Броварнику Сергію Анатолійовичу

1. Тема проєкту «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату», керівник проєкту старший викладач Адаменко Володимир Олексійович, затверджені наказом по університету від «01» червня 2022 р. № 822-с
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2022 року
3. Вихідні дані до проєкту Живлення від акумуляторної батареї з напругою 16,8, керування через радіоканал з частотою 2,4 ГГц, тривалість польоту 35 хвилин, автоматичний взліт/посадка, передача відеосигналу з камери через радіоканал та виведення польотної інформації у відеоформаті поверх сигналу
4. Зміст пояснювальної записки Огляд існуючих рішень, аналіз технічного завдання, розробка схемотехнічного рішення та вибір компонентів, проектування друкованої плати
5. Перелік графічного матеріалу Схема електрична принципова, друкована плата, складальний кресленик друкованого вузла
6. Дата видачі завдання 01 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Узгодження ТЗ	01.06 — 02.06.2022	
2	Огляд існуючих рішень	02.06 — 05.06.2022	
3	Розробка схемотехнічного рішення	05.06 — 10.06.2022	
4	Вибір компонентів	10.06 — 12.06.2022	
5	Проектування друкованої плати	12.06 — 16.06.2022	
6	Формування комплексу конструкторської документації	16.06 — 18.06.2022	

Студент



Сергій БРОВАРНИК

Керівник



Володимир АДАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт на тему «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату» складається з пояснювальної записки обсягом 59 сторінок, що включають 55 ілюстрацій, 1 таблицю, 5 додатків, 3 креслення та 12 посилань.

Метою даного дипломного проєкту було створення компактного безпілотного літального апарату з покращеними характеристиками польоту порівняно з аналогами, без обмежень на польотні зони, відсутності вбудованих механізмів відстеження літального апарату виробником його електронних модулів, а також можливість вносити зміни до програмного забезпечення апарату з метою покращення його польотних або тактичних характеристик, а також можливість подальшої модифікації.

В дипломному проєкті проведено огляд та порівняння аналогічних рішень на ринку, визначено їх основні переваги та недоліки. Розроблено орієнтовну конструкцію літального апарату, його структурну схему, а також схему електричну принципову основного електронного модуля і виконано проектування його друкованої плати, підібрано сторонні електронні модулі для забезпечення необхідного функціоналу та характеристик кінцевого пристрою. Розроблено комплект конструкторської документації

Ключові слова: безпілотний, літальний апарат, дрон, БЛА, відеоспостереження, аеророзвідка.

ANNOTATION

The topic of this diploma project is "Unmanned aircraft complex. Aircraft electronic modules". The diploma is presented on 59 pages, including 55 illustrations, 1 table, 5 appendices, 3 drawings and 12 references.

The aim of this diploma project is to create a compact unmanned aerial vehicle with improved flight characteristics compared to analogues, without restriction flight zones, without built-in manufacturer tracking mechanisms into electronic modules of the aircraft, and with the possibility to make changes to embedded software to improve flight or tactical performance, as well as the possibility of further modifications of this solution.

The diploma project reviews and compares similar solutions on the market, identifies their main advantages and disadvantages.

Over the course of diploma project an approximate design of the aircraft, its structural scheme, electrical circuit diagram of the main electronic module, a design of the printed circuit board, as well as a set of design documentation were developed.

In addition to that, the compatible third-party electronic modules were selected to provide the necessary functionality and characteristics of the device.

Key words: unmanned, aircraft, drone, UAV, video surveillance, aerial reconnaissance.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні
модулі літального апарату»**

Київ — 2022 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	3
1 Огляд існуючих рішень	4
2 Аналіз технічного завдання	8
3 Розробка схемотехнічного рішення та вибір компонентів	9
3.1 Розробка дизайну пристрою	9
3.2 Розробка схеми електричної структурної.....	14
3.3 Вибір електронних компонентів	17
3.4 Обґрунтування вибору сторонніх електронних модулів.....	33
3.5 Розробка схеми електричної принципової	39
4 Проектування друкованої плати.....	43
4.1 Визначення габаритів ДП.....	43
4.2 Розрахунки ширини друкованих провідників.....	46
4.3 Виконання трасування.....	47
Висновки	56
Перелік джерел посилання.....	58
Додаток А. Технічне завдання.....	60
Додаток Б. Розрахунки мінімальної площі ДП.....	65
Додаток В. Розрахунок ширини провідників та зазору між ними.....	66
Додаток Г. Перелік елементів.....	73
Додаток Д. Специфікація на друкований вузол.....	77

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Броварник С.				Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату	Літ.	Лист
Перевірів	Адаменко В.						1
						<i>PI-81, РТФ</i>	
Н. Контр.	Адаменко В.						
Затвер-	Адаменко В.						

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКБ — акумуляторна батарея
БАК — безпілотний авіаційний комплекс
БЛА — безпілотний літальний апарат
БСЗ — базова станція зв'язку
ДП — друкована плата
КР — конструкторська робота
МЕМС — мікроелектромеханічна система
МК — мікроконтролер
ПДК — пульт дистанційного керування
ТЗ — технічне завдання
ШИМ — широтно-імпульсна модуляція
GPS — Global Positioning System
I²C — Inter-Integrated Circuit
LiPo — lithium-ion polymer battery
OSD — On-Screen Display
SPI — Serial Peripheral Interface
UART — Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БЛА) використовуються у таких сферах як картографія, спостереження, розвідка, аерофотознімання, порятункові операції, локалізація пожеж тощо.

Попит на такі апарати зростає з кожним днем, особливо у сьогодення України. Оскільки БЛА як готові вироби зазвичай є дуже дорогими, а апарати аматорського класу, що створені на різних покупних готових модулях є складними для налаштування та суміщення компонентів, то доцільно розробити бюджетний БЛА, що дозволить вирішити сучасні проблеми в області розвідки та спостереження.

Даний дипломний проект є частиною конструкторської розробки безпілотного авіаційного комплексу, завданням якого є розвідка та спостереження за межами лінії горизонту, з ефективною дальністю керування та спостереження — 10 км, а також можливістю розширити радіус дії у прямій видимості до 20 км, що значно більше ніж у сучасних БЛА такого класу.

Основною метою дипломного проекту є створення електронних модулів компактного та ефективного БЛА з доступною ціною та використанням розповсюджених компонентів, що дозволить виготовляти такі вироби у великих кількостях, а також не залежати від локальних постачальників компонентів.

					<i>РІ81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

На ринку існує доволі багато рішень, проте було розглянуто та проаналізовано лише 3 найбільш популярних рішення:

1) **DJI Mavic Pro** [1] — даний безпілотний літальний апарат (БЛА) квадрокоптерного типу є найбільш популярним на ринку, а також його наступні генерації.

Він відрізняється середньою тривалістю польоту (до 30 хв), високою ціною, стабільністю роботи та простотою в користуванні.

Він оснащений 4K-камерою з гіростабілізатором, передніми оптичними давачами перешкод, а також нижніми оптичними давачами позиціонування і ультразвуковим давачем відстані для автоматичної посадки. Радіокерування та відеосигнал є цифровими та передаються через один радіоканал з робочою частотою 2,4 ГГц.

Максимальна горизонтальна швидкість даного БЛА становить 65 км/год, швидкість зниження — 3 м/с, а швидкість підйому — 5 м/с.

Максимальна висота польоту над рівнем моря — 5 км.

Для додаткового позиціонування літальний апарат використовує систему *Global Positioning System (GPS)*.

Максимальна дальність зв'язку становить 7 км прямої видимості.

Габарити у складеному вигляді (В х Ш х Г) — 83 мм х 83 мм х 198 мм.

Маса літального апарату становить 734 г.

Недоліками даного рішення є те, що воно є дорогим, в ньому встановлені обмеження на польотні зони, швидкість польоту, висоту польоту та його тривалість. А також компанія-виробник може отримувати дані про позицію активних БЛА з 2-го покоління даної лінійки літальних апаратів і навіть вимикати їх або перехоплювати керування.

Зображення даного БЛА представлено на рисунку 1.1

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — *DJI Mavic Pro* [1]

2) **Autel EVO II Pro V2** [2] — дане рішення є другим по популярності на ринку.

Даний літальний апарат має гірший дизайн, що виглядає більш дешево, проте його корпус має більш аеродинамічну форму, що незначно покращує його польотні характеристики порівняно з *DJI Mavic Pro*.

Як і у попередньому рішенні сигнали радіокерування та відеопотік передаються у цифровому вигляді через один радіоканал, проте з можливістю вибору між робочою частотою 2,4 ГГц або 5,8 ГГц. Зміна частоти на 5,8 ГГц зменшує ефективну дальність дії, проте збільшує кількість інформації, яку можна передати через радіоканал, наприклад більш якісне відео.

На даний БЛА встановлена 6К-камера, що дозволяє знімати високоякісне відео та фотографії.

Максимальна горизонтальна швидкість літального апарату становить 72 км/год, швидкість підйому — 8 м/с, швидкість спуску — 4 м/с.

Максимальна висота польоту над рівнем моря становить 7 км.

Як і попереднє рішення даний БЛА оснащений системою *GPS*.

Максимальна дальність зв'язку становить 7 км, як і у попереднього рішення.

Габарити у складеному вигляді (В x Ш x Г) — 110 мм x 133 мм x 228 мм.

Маса літального апарату становить 1174 г.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний час польоту становить 37 хв.

Недоліками даного рішення є висока ціна, неможливість зміни параметрів програмного забезпечення БЛА, дуже яскравий колір корпусу, що привертає зайву увагу.

Основними перевагами є збільшена тривалість польоту, більш якісна камера та наявність системи визначення перешкод з будь-якого боку літального апарату, за рахунок великої кількості оптичних давачів перешкод.



Рисунок 1.2 — *Autel EVO II Pro V2* [2]

3) Fimi X8SE 2020 [3] — даний БЛА є найменш популярним рішенням на ринку, проте і самим дешевим. Він має доволі простий дизайн порівняно з попередніми рішеннями.

Як і у попередніх рішеннях сигнали радіокерування та відеопотік передаються у цифровому вигляді через один радіоканал, проте з робочою частотою 5,8 ГГц.

На даний БЛА встановлена 4K-камера, що дозволяє знімати високоякісне відео та фотографії.

Максимальна горизонтальна швидкість літального апарату становить 65 км/год, швидкість підйому — 5 м/с, швидкість спуску — 4 м/с.

Максимальна висота польоту над рівнем моря становить 5 км, проте встановлено обмеження на висоту не вище 500 м від точки підйому.

Як і попереднє рішення даний БЛА оснащений системою *GPS*.

Максимальна дальність зв'язку становить 8 км, що більше ніж у попередніх рішень.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Габарити у складеному вигляді (В х Ш х Г) — 72,6 мм х 106 мм х 204 мм.

Маса літального апарату становить 765 г.

Максимальний час польоту становить 35 хв.

Основними перевагами є більш низька ціна ніж у попередніх рішень та збільшена дальність зв'язку між пультом керування та БЛА, а також захист від дощу.



Рисунок 1.3 — *Fimi X8SE 2020* [3]

Основними недоліками усіх оглянутих рішень є обмеження на зони польоту, доволі великі ціни, мала дальність зв'язку, можливе відстеження БЛА та перехоплення контролю над ним від компанії-виробника, а також неможливість змінювати програмне забезпечення БЛА.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

За результатами аналізу технічного завдання, яке наведено в додатку А, в частині розробки літального апарату отримано наступні технічні характеристики та функції, які необхідно реалізувати для електронних модулів літального апарату:

- Основний електронний модуль повинен керувати безколекторними електродвигунами, потужність яких дозволяє підняти весь літальний апарат у повітря та забезпечити йому достатню маневреність та необхідні параметри швидкостей горизонтального та вертикального польоту: 10 м/с — горизонтальна швидкість, 3 м/с — вертикальна швидкість;
- Час польоту пристрою має становити приблизно 35 хв;
- Маса пристрою не повинна перевищувати 1 кг;
- Пристрій має бути складаним та компактним, для легкості його транспортування;
- Пристрій повинен живитись від акумуляторної батареї з вихідною напругою 16,8 В;
- Керування пристроєм повинно виконуватись через радіоканал з робочою частотою 2,4 ГГц з максимальною дальністю зв'язку — 10 км;
- Пристрій повинен мати змогу знімати відео та передавати відеосигнал оператору по радіоканалу з робочою частотою 1,2 ГГц з максимальною дальністю зв'язку — 20 км;
- Пристрій повинен бути обладнаний необхідними давачами для орієнтації у просторі та стабілізації в процесі польоту;
- Для визначення геолокації БЛА пристрій повинен мати у своєму складі GPS-модуль або мати інтерфейс для його підключення як окремого модуля;
- Акумуляторна батарея пристрою повинна зніматись для швидкої заміни або її заряджання.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ

3.1 Розробка дизайну пристрою

Для більш простого розуміння з яких деталей та електронних модулів повинен складатись кінцевий пристрій, а також для наближеної оцінки масо-габаритних характеристик було розроблено попередній дизайн безпілотного літального апарату з урахуванням дизайнів аналогічних літальних апаратів у програмному пакеті *Solidworks*.

На рисунках 3.1 — 3.4 зображено 4 вигляди дизайну БЛА під різними кутами для визначення необхідних електронних модулів пристрою, визначення розмірів електромоторів, методу кріплення камери, способу охолодження електронних модулів, а також орієнтовної форми друкованої плати основного електронного модуля.

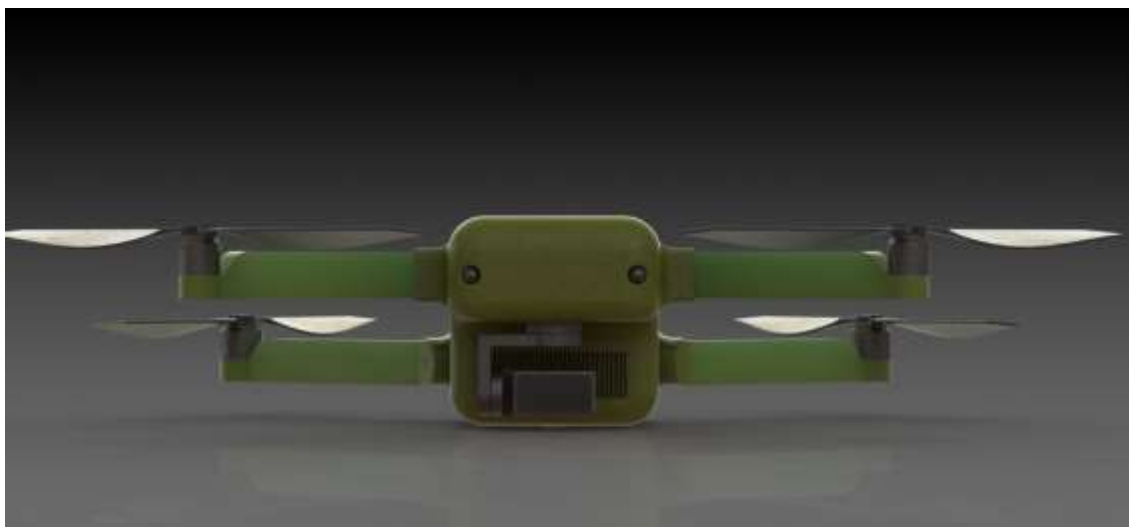


Рисунок 3.1 — Дизайн БЛА (вигляд спереду)

На рисунку 3.1 можна побачити, що було обрано метод кріплення камери на гіростабілізованій платформі, що дозволяє стабілізувати камеру під час зйомки в польоті, навіть при різких рухах БЛА. Таке рішення є необхідним, оскільки в польоті кут між БЛА та поверхнею землі часто змінюється і зображення з жорстко зафіксованої камери може стрибати за рахунок різкої зміни її орієнтації у просторі, можливе виникнення спотворень зображення за

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок вібраційних впливів на чутливу матрицю камери, а також неможливо буде змінити кут нахилу камери під час польоту.

При використанні гіростабілізованої платформи можливо змінювати як кут нахилу, так і кут горизонтального повороту, а також при наявності необхідного програмного забезпечення навіть фіксувати погляд камери на конкретному об'єкті незалежно від переміщення БЛА.

Також на даному рисунку можна побачити оптичні давачі перешкод, які допомагають літальному апарату сповіщати пілота про загрозу зіткнення з перешкодою по курсу БЛА, а також при надмірному наближенні до неї літальний апарат припиняє подальший рух по курсу і зависає поки пілот не створить безпечні умови для польоту по заданому курсу.

Для охолодження електронних модулів передбачено решітку у передній стінці корпусу позаду камери. Аналогічні отвори є у задній частині корпусу, щоб створити шлях для виходу нагрітого повітря з корпусу пристрою.



Рисунок 3.2 — Дизайн БЛА (вигляд зверху)

На рисунку 3.2 видно, що акумуляторна батарея (АКБ) має власний корпус та вставляється у відповідне посадкове місце у корпусі БЛА і фіксується за допомогою спеціального фіксатора ближче до задньої частини корпусу БЛА.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того щоб ввімкнути БЛА в блоці АКБ передбачена кнопка вмикання, яка розміщена ближче до центру літального апарату для зручності. Кнопка розміщена саме у блоці АКБ, оскільки це захищає пристрій від вмикання при використанні сторонніх акумуляторів, які не зможуть сформувати сигнал дозволу на вмикання пристрою. Блок АКБ повинен бути оснащеним спеціальною платою керування, яка зможе контролювати рівень заряду акумулятора, вводити його в режим довгострокового зберігання та захищати від перегріву і короткого замикання, а також передавати інформацію до обчислювального модуля пристрою про стан батареї.

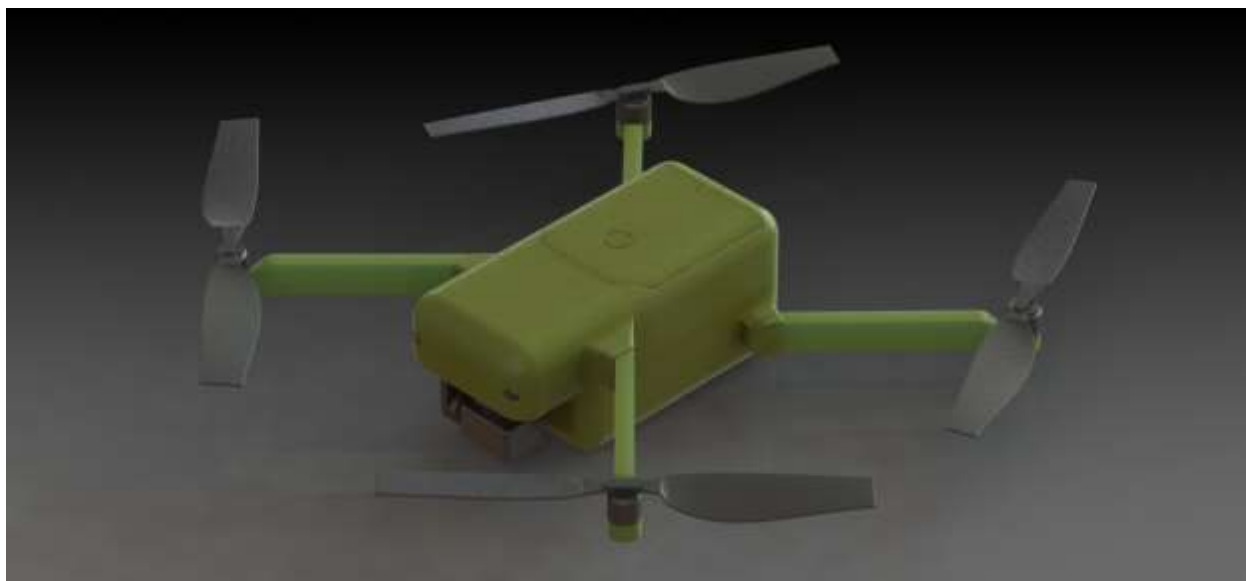


Рисунок 3.3 — Дизайн БЛА (ізометричний вигляд)

На рисунку 3 більш наочно зображено орієнтовну конструкцію пристрою обумовлену створеним дизайном.

Конструкція є складаною, що дозволяє її зручно транспортувати порівняно з БЛА, що мають зафіксовані промені. Також БЛА має захисний колір, що дозволяє краще маскувати його на місцевості. Відповідне орієнтовне зображення пристрою в польових умовах зображено на рисунку 3.5.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						11
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

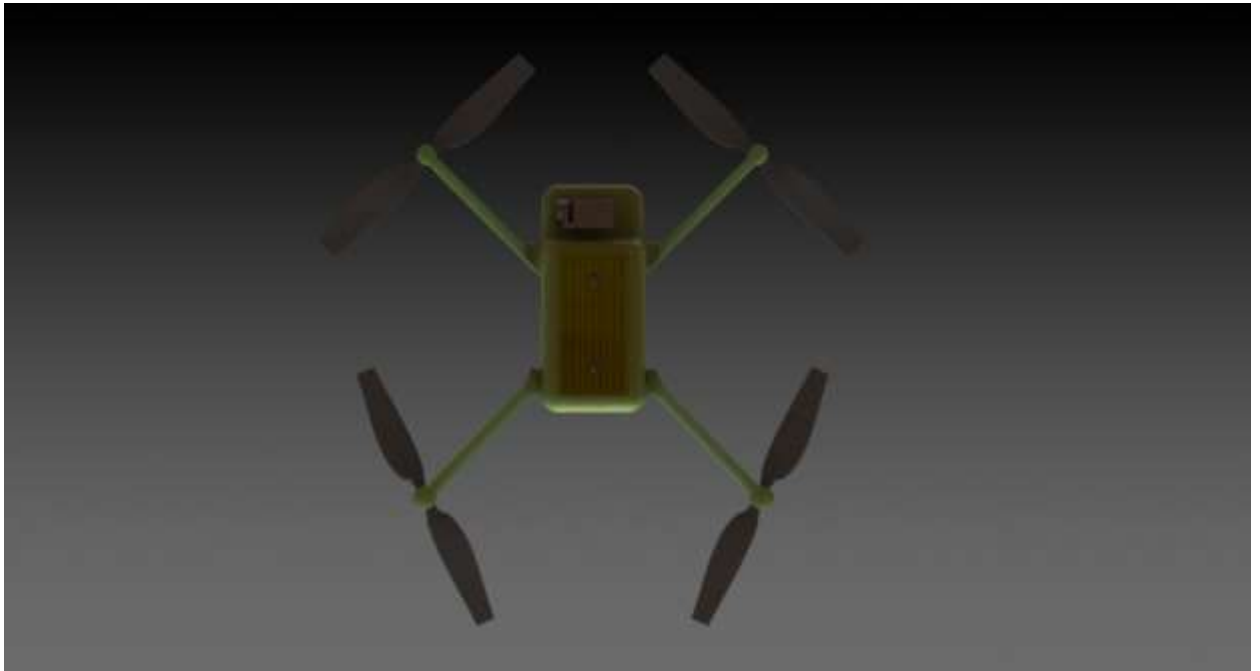


Рисунок 3.4 — Дизайн БЛА (вид знизу)

На рисунку 4 можна побачити, що на нижній частині є радіатор для додаткового охолодження електронних модулів БЛА, який повинен бути виготовлений з алюмінію та пофарбований у захисний колір як і корпус пристрою.

Також на рисунку присутні лазерні давачі відстані, які необхідні для автоматичної посадки БЛА, щоб визначити відстань до поверхні на яку здійснюється посадка.



Рисунок 3.5 — Орієнтовний вигляд БЛА у польових умовах

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 5 можна побачити, що даний дизайн має гарні маскувальні характеристики, оскільки БЛА складно відділити від загального фону навіть з невеликої дистанції. На робочих дистанціях даний літальний апарат буде майже непомітним навіть при спуску для посадки або деталізованої відеофіксації.

Таким чином було визначено загальні характеристики літального апарату та необхідні електронні модулі для реалізації його функціональних особливостей виходячи з розробленого дизайну:

- Електромотори
- Камера
- Гіростабілізована платформа
- Давачі перешкод та відстані до землі
- Плата керування акумуляторною батареєю

Для визначення приблизних габаритів друкованої плати та обмежень на максимальні розміри було створено ескіз літального апарату з нанесеними розмірами (рисунок 3.6).

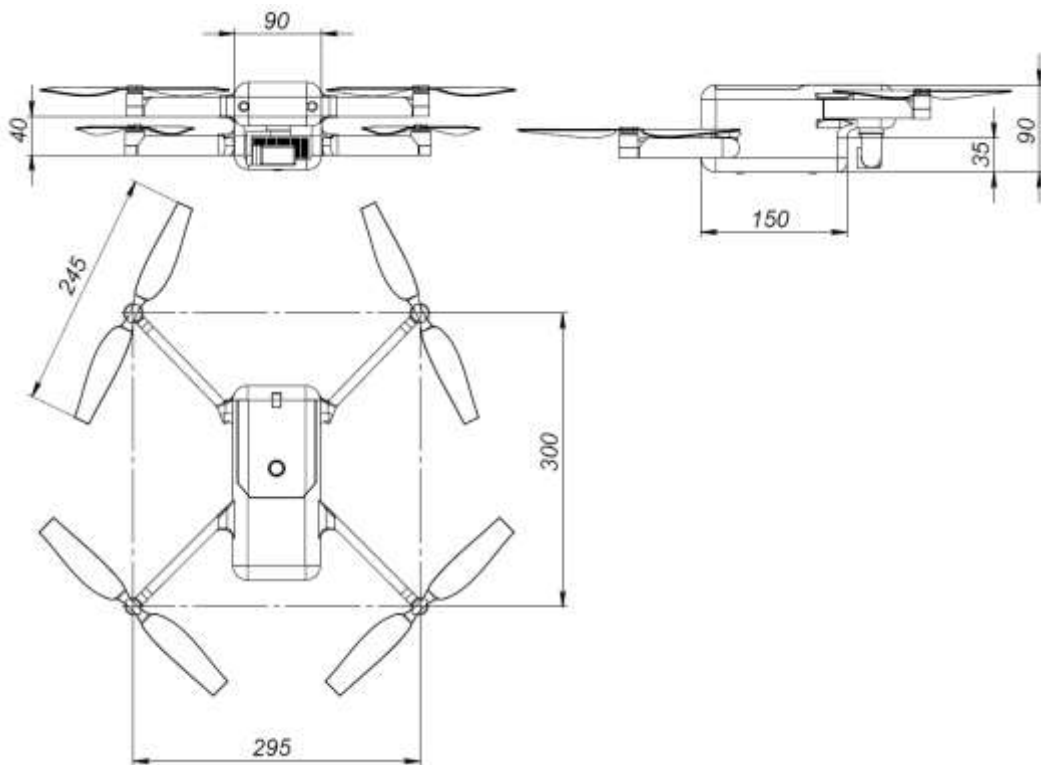


Рисунок 3.6 — Ескіз БЛА з орієнтовними розмірами

					РІ81.202138.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		13

Аналізуючи розроблений дизайн було визначено, що максимальна ширина друкованої плати становить 85 мм, а максимальна довжина становить 145 мм, з врахуванням орієнтовної товщини стінки корпусу рівною 2,5 мм.

3.2 Розробка схеми електричної структурної

Безпілотний авіаційний комплекс (БАК), у складі якого знаходиться даний БЛА складається з наступних пристроїв:

- 1) Безпілотний літальний апарат
- 2) Пульт дистанційного керування з екраном
- 3) Базова станція зв'язку для подовження радіоканалу керування та додаткового позиціонування при посадці БЛА

Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу (БАК) зображена на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 — Структурна схема БАК

На основі отриманих даних після аналізу технічного завдання, огляду аналогів та аналізу розробленого дизайну БЛА було створено схему електричну структурну, яка відповідає необхідному функціоналу пристрою. Дана схема зображена на рисунку 3.8.

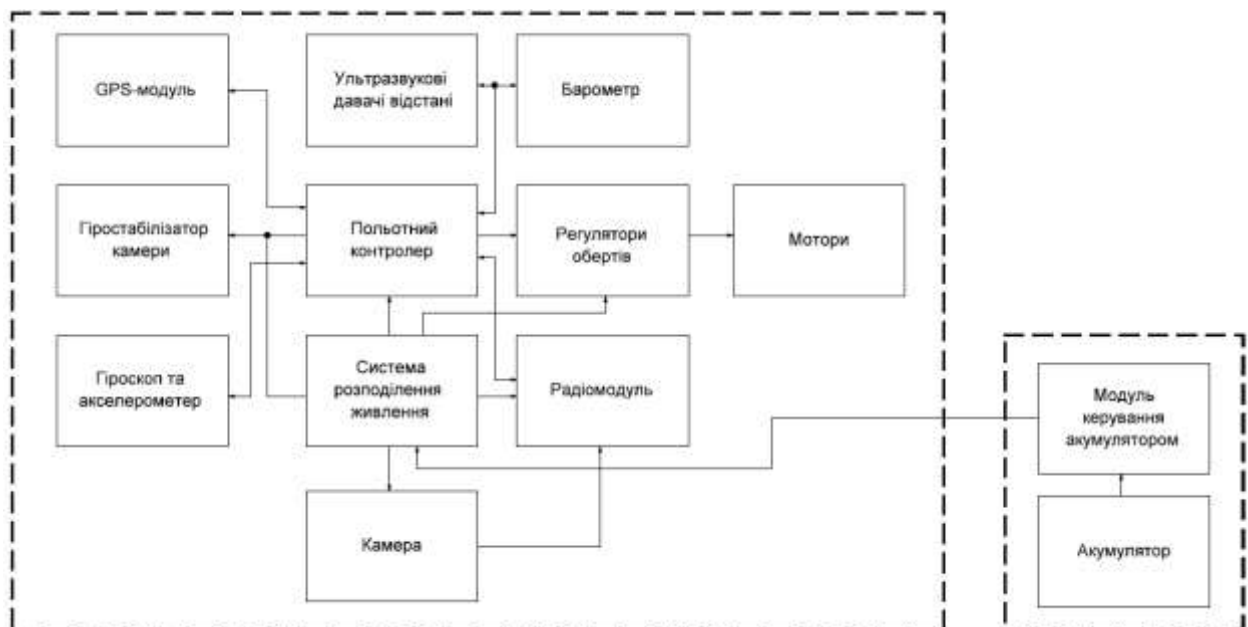


Рисунок 3.8 — Схема електрична структурна БЛА

Перелік периферійних електронних модулів був змінений порівняно з тим, що було визначено після аналізу дизайну пристрою, оскільки використання оптичних давачів перешкод та лазерних давачів відстані є дорогим, тому для зниження собівартості конструкції було прийнято рішення виключити їх і замінити ультразвуковим давачем відстані у нижній частині корпусу, а передні давачі перешкод виключити повністю, оскільки даний БЛА призначений для польоту на більшій висоті ніж переважна кількість можливих перешкод.

Також для спрощення конструкції та її здешевлення власний модуль камери та гіростабілізована платформа будуть замінені на 2 камери: курсову (жорстко зафіксовану) та гіростабілізатор для монтажу екшн-камери при необхідності зйомки відео з високою роздільною здатністю зображення. Таке рішення дозволяє пілоту краще керувати БЛА на великих відстанях, оскільки він буде бачити реальний курс БЛА замість стабілізованого зображення, яке дає неповну інформацію через те, що камера при маневрах БЛА майже не рухається і пілоту важко зрозуміти який ефект на літальний апарат мають його дії, особливо коли пілоту потрібно боротися з поривами вітру.

Для того щоб створити БЛА необхідно створити систему керування електромоторами та периферією у вигляді давачів, камери та електронного гіро-

стабілізатору камери. Така система називається польотним контролером і складається з потужного мікроконтролеру (МК), що здатний швидко обробляти інформацію від давачів, робити складні математичні розрахунки для компенсації зовнішніх сил, що діють на БЛА, визначати власну позицію у просторі з прив'язкою до координат та одночасно керувати моторами з достатньою швидкістю для підтримування необхідної швидкості і маневреності.

У якості давачів використовуються електронний барометр (для визначення поточної висоти на основі даних про зміну атмосферного тиску), гіроскоп та акселерометр (для визначення орієнтації БЛА у просторі та його прискорення у різних напрямках), ультразвуковий давач відстані (для визначення відстані до землі під час автоматичної посадки БЛА), *Global Positioning System (GPS)*-модуль з компасом (*GPS*-модуль дозволяє визначати координати БЛА відносно землі, а також коригувати дані про висоту польоту; компас потрібен для визначення напрямку польоту, на основі даних про орієнтацію самого компаса).

Для отримання високоякісного зображення використовується цифрова камера на гіростабілізованій платформі, що має високу роздільну здатність чутливої матриці, а для отримання відеосигналу від БЛА через радіоканал використовується аналогова курсова камера, що має невелику роздільну здатність та жорстко зафіксована.

Електронний гіростабілізатор уявляє собою трьохосову конструкцію, що побудована на безколекторних електромоторах, які підтримують камеру у потрібному положенні. Мотори керуються спеціальною платою, що складається з МК, який керує моторами та зчитує дані про положення гіроскопа, самого гіроскопа та драйверів електромоторів.

Живлення усіх блоків електронного модуля БЛА відбувається за допомогою 4S-акумулятору, який керується спеціальним модулем керування акумулятора. Даний модуль потрібен для визначення заряду батареї, її зносу, температури і передає деякі з цих даних польотному контролеру для подальшої передачі оператору, а також визначення можливого часу польоту. Окрім

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

цього даний модуль може переводити акумулятор у режим зберігання, розряджаючи його приблизно до 40% заряду, що дозволяє користувачу не слідкувати за тим, що акумулятор розрядиться до критичного рівня при довгому простой.

Оскільки напруга живлення різних компонентів електронного модуля різна, а також електромотори і радіомодулі можуть створювати завади для даних компонентів, то використовується система розподілення живлення, що складається з вхідного фільтра, імпульсного регулятора напруги на 5 В, а також лінійних стабілізаторів на 3,3 В.

Для прийому сигналів керування по радіоканалу використовується приймач від *FlySky*, що працює по інтерфейсу *I-BUS*. Частотний діапазон, у якому працює даний приймач, становить 2,408 — 2,475 ГГц, оскільки це є дозволеним діапазоном частот для цивільних. На даних частотах можна досягнути необхідної дальності зв'язку (10 км) при використанні підсилювача на 2 Вт на передавачі апаратури керування БЛА.

Для передавання відеосигналу від курсової камери через радіоканал використовується передавач на 1,2 ГГц, дальність передавання якого може становити до 35 км при прямій видимості і гарних погодних умовах. В реальних умовах орієнтовна дальність сягає 20 км.

Для керування моторами використовуються регулятори обертів для безколекторних електромоторів, кожен з яких складається з 8-бітного МК, який створює необхідні сигнали керування мотором, мікросхеми драйверу, та 6 польових транзисторів.

3.3 Вибір електронних компонентів

Електронні компоненти обираються таким чином, щоб задовольнити умовам технічного завдання по техніко-економічним характеристикам, а також виходячи з необхідного функціоналу, забезпечення електричних параметрів та схем включення компонентів.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

У якості головного обчислювального вузла був обраний мікроконтролер *STM32F411VET6* у корпусі для поверхневого монтажу *LQFP100*. Даний мікроконтролер обраний через те, що він має достатньо високу тактову частоту — 100 МГц, невеликий споживаний струм — до 37 мА (без навантаження 100 мкА) та має всі необхідні інтерфейси для реалізації необхідних схематичних рішень. Даний мікроконтролер обраний у корпусі *LQFP100* оскільки це найбільший з корпусів для даної мікросхеми, що дозволяє використовувати 4 клас точності при проектуванні друкованої плати та замовляти такі друковані плати у більшості виробників друкованих плат.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.9.

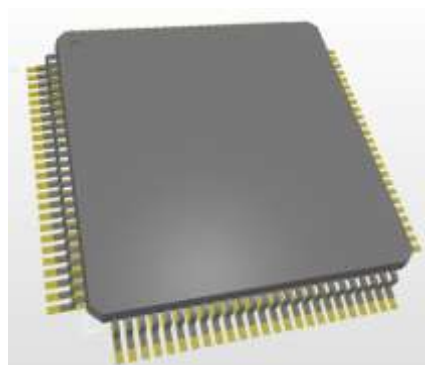


Рисунок 3.9 — Корпус *LQFP100*

Для визначення переміщення та орієнтації БЛА в просторі обрано мікросхему *MPU-6000*, що поєднує в собі мікроелектромеханічний (МЕМС) акселерометр та гіроскоп. Дана мікросхема обрана тому, що це дешевий та надійний пристрій, що повністю задовольняє умовам по точності та надійності і відпрацьований у численних пристроях, у тому числі БЛА. Дана мікросхема має корпус *QFN-24*.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.10.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						18
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

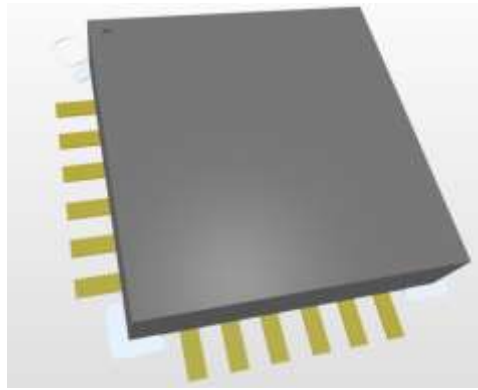


Рисунок 3.10 — Корпус QFN-24

Для визначення висоти на яку піднявся БЛА під час польоту використовується MEMС барометр *BMP280* від компанії *Bosch*. Дана мікросхема була обрана тому, що вона може передавати дані через інтерфейси *Serial Peripheral Interface (SPI)* та *Inter-Integrated Circuit (I²C)*, а також вона є розповсюдженою, має низьку вартість і використовується для вимірювання висоти і корекції даних від системи *GPS*. Дана мікросхема представлена у корпусі *LGA-8*.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.11.

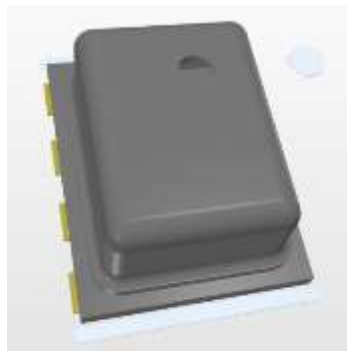


Рисунок 3.11 — Корпус LGA-8

Для накладання корисної для пілота інформації на зображення з камери обрана мікросхема *On-Screen Display (OSD) MAX7456EUI*. Дана мікросхема була обрана внаслідок того, що вона задовольняє техніко-економічним вимогам до електронних модулів БЛА, є стабільною і не вносить значних змін в якість відеосигналу та дозволяє налаштовувати шрифти і інформацію, що потрібно вивести. Також у даної мікросхеми є *SPI*-інтерфейс, що дозволяє зру-

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						19
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

чно керувати нею. Дана мікросхема поставляється у корпусі 28 TSSOP-EP, що зручно, оскільки це корпус для поверхневого монтажу і це дозволяє займати площу поверхні друкованої плати більш ефективно.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.12.

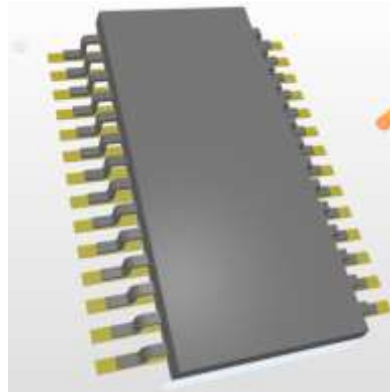


Рисунок 3.12 — Корпус 28 TSSOP-EP

У якості кварцового резонатора, що використовується як зовнішній генератор коливань для мікроконтролера *STM32F411VET6* було обрано кварцовий резонатор розрахований на частоту 8 МГц у корпусі CSM-8A від компанії *ECS Inc. International*. Даний кварцовий резонатор задовольняє техніко-економічним вимогам завдання та має малі габарити і корпус для поверхневого монтажу, тому даний компонент є найбільш оптимальним вибором.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 — Корпус CSM-8A

Кварцовим резонатором на 27 МГц для мікросхеми *MAX7456EUI* було обрано кварцовий резонатор у корпусі ABM3 від компанії *ABRACON*. Даний

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

кварцовий резонатор має корпус для поверхневого монтажу, малі габарити та низьку ціну, тому цілком задовольняє техніко-економічним вимогам завдання.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.14.

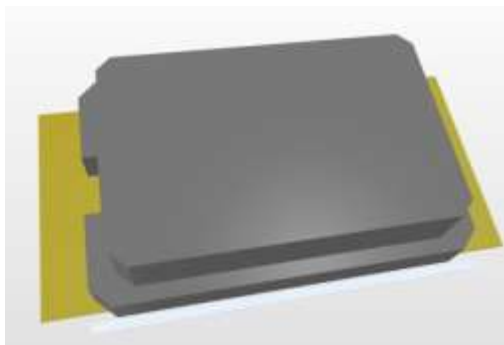


Рисунок 3.14 — Корпус АВМЗ

У якості імпульсного стабілізатора напруги на 5 В було обрано мікросхему *LM2596S*. Дана мікросхема обрана тому, що її вихідний струм може сягати до 3 А, а також тому що це дешеве та перевірене рішення для зниження напруги живлення з гарними характеристиками. Дана мікросхема представлена у корпусі *TO-263 KTT* для поверхневого монтажу.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.15.

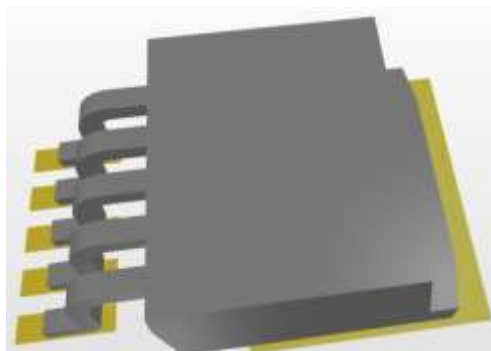


Рисунок 3.15 — Корпус TO-263 KTT

Лінійним стабілізатором на 3,3 В було обрано мікросхему *REG1117-3.3* від компанії *Texas Instruments*, оскільки це стандартний лінійний стабілізатор на 3,3 В з максимальним вихідним струмом 0,8 А. Таких параметрів достат-

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ньо згідно з величин споживаного струму для елементів, які будуть живитись від даних стабілізаторів. Дана мікросхема представлена у корпусі *SOT-223*.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.16.

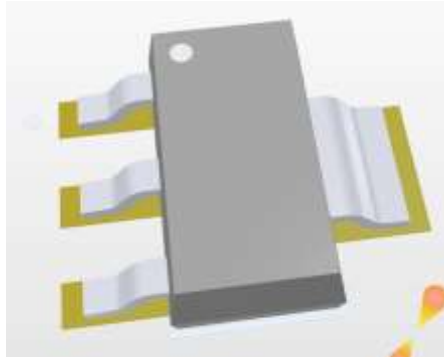


Рисунок 3.16 — Корпус *SOT-223*

У якості котушки індуктивності, що знаходиться у складі фільтру нижніх частот для ланцюгів живлення від акумулятора обираємо дросель *CDRH127LDNP-101MC* від компанії *Sumida* з індуктивністю 100 мкГн у корпусі *CDRH*, оскільки даний дросель відповідає необхідним електричним та техніко-економічним параметрам.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.17.

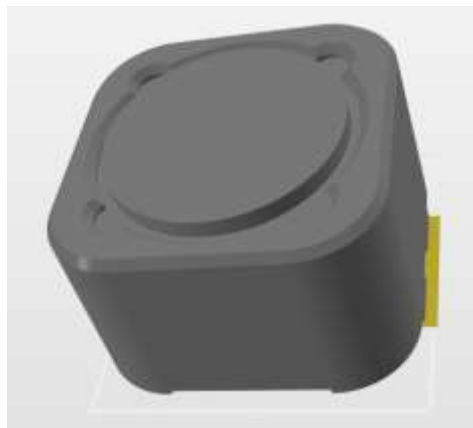


Рисунок 3.17 — Корпус *CDRH*

У якості котушки індуктивності, що знаходиться у вихідних ланцюгах імпульсного стабілізатора напруги на 5 В обираємо дросель *MDH6045C-330MB-P3* від компанії *Murata* з індуктивністю 33 мкГн у корпусі

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						22
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

MDH6045C, оскільки даний компонент задовольняє вимоги, які до нього висуваються.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.18.

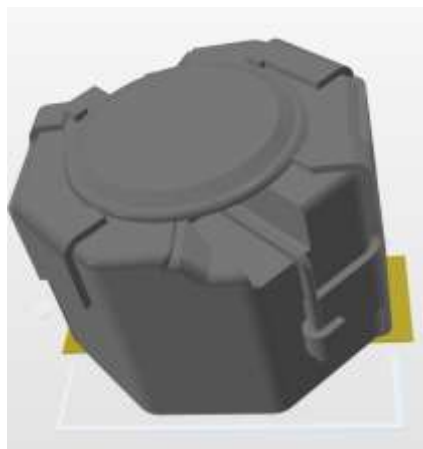


Рисунок 3.18 — Корпус *MDH6045C*

У якості діода Шотткі, що стоїть у вихідних ланцюгах імпульсного стабілізатору напруги на 5 В, було обрано діод *SS54FSH* від компанії Taiwan Semiconductor у корпусі *SOD-128*, оскільки даний компонент у корпусі для поверхневого монтажу, а також його електричні та техніко-економічні характеристики задовольняють умовам поставленого завдання.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.19.



Рисунок 3.19 — Корпус *SOD-128*

Для керування драйверами безколекторних електродвигунів обрано 8-бітний мікроконтролер *EFM8BB21F16G* від компанії *Silicon Labs*. Дана мікросхема обрана у корпусі *QFN-20*, оскільки використовується лише невелика кількість виводів мікросхеми, тому з точки техніко-економічної точки зору

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						23
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільш оптимальним варіантом є саме такий корпус. Даний мікроконтролер є дешевим та використовується для подібних схем технічних рішень.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.20.

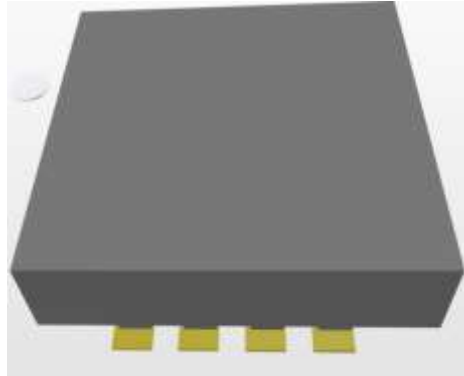


Рисунок 3.20 — Корпус QFN-20

У якості драйверу електромотору була обрана мікросхема *FD6288Q* від компанії *Fortior Tech*. Дана мікросхема була обрана у корпусі QFN-24, оскільки це найбільш оптимальний варіант з точки зору габаритів даної мікросхеми.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.10.

Для керування безколекторним електромотором використовують напівмостову схему з польовими транзисторами *TPN2R203NC* від компанії *TOSHIBA*. Дані транзистори представлені у корпусі *TSOP-8*. Було обрано саме цей компонент, оскільки він є дешевим та потужним. Його вихідний струм може сягати 45 А, тому він чудово підходить для регулятора обертів, оскільки електромотори можуть споживати дуже великі значення струму.

Зображення моделі даного компонента у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.21.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						24
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

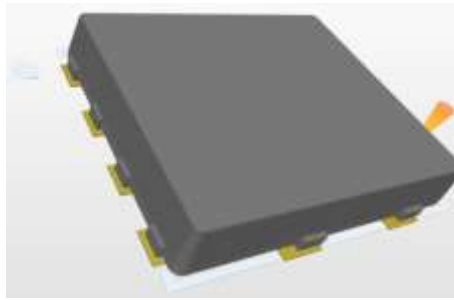


Рисунок 3.21 — Корпус TSON-8

У якості згладжуючого електролітичного конденсатору на вході імпульсного стабілізатору на 5 В було обрано конденсатор *EEEFN1E681UV* з номінальною ємністю 680 мкФ і максимальною напругою 25 В від компанії *Panasonic* у корпусі G з захистом від вібрацій. Таке значення ємності було обрано для компенсації різкого падіння напруги від акумулятора, а також згладжування можливих пульсацій внаслідок роботи електромоторів, а значення напруги обрано з розрахунку на напругу АКБ у повністю зарядженому стані (16,8 В).

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.22.

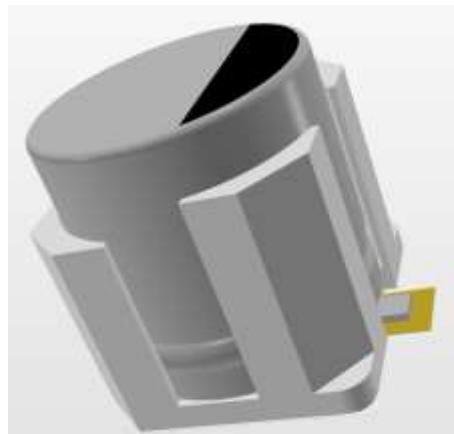


Рисунок 3.22 — Корпус G

У якості згладжуючого електролітичного конденсатору на виході імпульсного стабілізатору на 5 В було обрано конденсатор *EEEFPA221XAV* з номінальною ємністю 220 мкФ і максимальною напругою 10 В від компанії *Panasonic* у корпусі D8 з захистом від вібрацій. Таке значення ємності обумовлено необхідністю згладжувати пульсуючу вихідну осцилограму напруги

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						25
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

імпульсного стабілізатора. Величина напруги обумовлена використанням конденсатора в ланцюгах з напругою 5 В, проте значення було обрано з невеликим запасом.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.23.

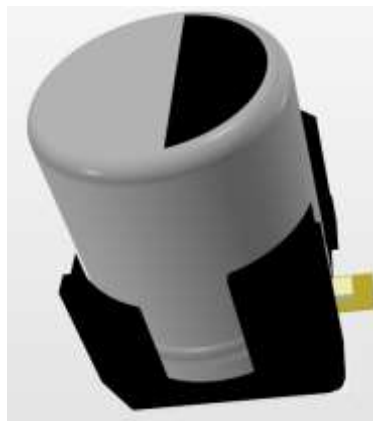


Рисунок 3.23 — Корпус D8

Усі резистори, що використовуються у даній схемі були обрані з номінальною потужністю 0,125 Вт і відповідно типорозміром 0805. Такий вибір обумовлений тим, що в даній схемі нема ланцюгів де виконується обмеження великих значень струму чи ланцюгів з високим значенням напруги, тому розмір для резисторів поверхневого монтажу 0805 є оптимальним для забезпечення необхідної стабільності пристрою та можливості задовольнити вимоги по габаритним розмірам друкованої плати. Виробником резисторів було обрано компанію *HITANO*.

Номінали резисторів обирались з рекомендованих значень виробників для типових схем включення компонентів.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.24.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

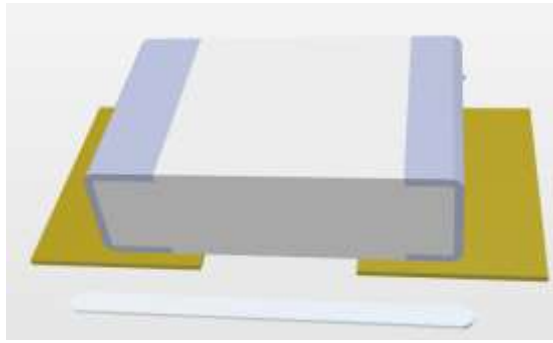


Рисунок 3.24 — Корпус резистору розміру 0805

Усі неполярні конденсатори, що використовуються у даній схеми були обрані з типорозміром 0805 і розраховані на напругу 50 В. Це обумовлено тим, що такий розмір конденсаторів зручний для використання при трасуванні друкованої плати. Також усі необхідні номінали є наявними у цьому типорозмірі конденсаторів поверхневого монтажу. Виробником конденсаторів було обрано компанію *Samsung*, оскільки дана компанія добре контролює якість виробництва і зазвичай має малий процент браку.

Номінали конденсаторів обирались з рекомендованих або широковживаних значень для типових схем включення компонентів.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.25.

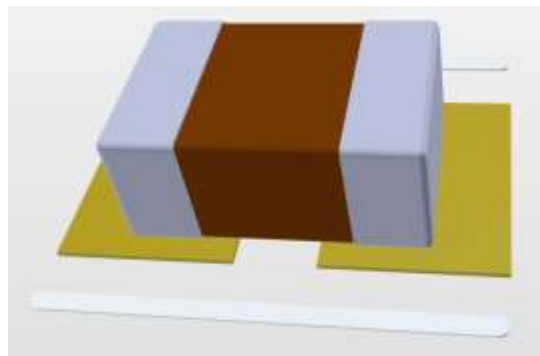


Рисунок 3.25 — Корпус конденсатору розміру 0805

Для підключення живлення від АКБ до основного електронного модуля використовується роз'єм *XT-60* від компанії *Amass*. Це обумовлено тим, що це є типовим рішенням для деяких категорій БЛА, а також тому що максимальний короткочасний струм через даний роз'єм може сягати 180 А, а максимальний постійний струм сягає 60 А, а кожен з регуляторів обертів розрахо-

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						27
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ваний на максимальний струм у 30 А. При цьому середнє значення струму, що споживає один з моторів становить приблизно 5-10 А (залежно від навантаження).

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.26.



Рисунок 3.26 — Корпус XT-60

Для живлення гіростабілізованої платформи використовується роз'єм *S2B-PH-SM4* від компанії *JST*, оскільки струм споживання для стабілізації камери не буде великим, внаслідок порівняно малої маси камери.

Дані роз'єми широко вживаються в конструюванні аматорських БЛА та в різних модулях для них, тому такий вибір є оптимальним.

У даному випадку використано кутовий роз'єм, оскільки платформа-стабілізатор знаходиться в передній частині БЛА і підключення через вертикальний роз'єм було б незручним.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.27.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						28
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

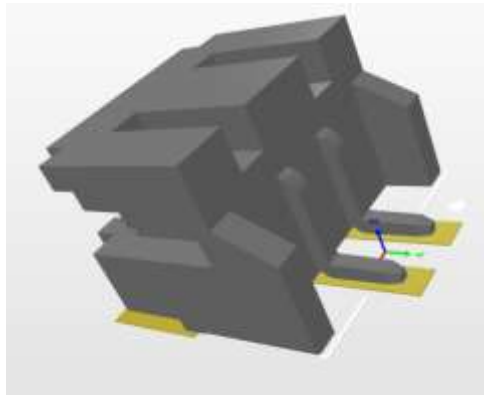


Рисунок 3.27 — Корпус S2B-PH-SM4

Для передачі даних між модулем АКБ та основним модулем через інтерфейс I^2C використовується роз'єм V3B-PH-K від компанії JST. У даному випадку використано вертикальний прямий роз'єм вивідного монтажу. Це обумовлено тим, що модуль АКБ знаходиться над друкованою платою основного електронного модуля і тому це найбільш зручний спосіб з'єднання. Також даний роз'єм обраний тому, що струми, які протікають через нього, є порівняно малими, тому він цілком задовольняє необхідним параметрам для даного елемента схеми. Обрано варіант роз'єму з вивідним монтажем для підвищення міцності з'єднання роз'єму з друкованою платою, оскільки модуль АКБ буде вмикатись в нього без додаткових дротів, тобто напряду, що підвищує навантаження на роз'єм у процесі рознімання частин.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.28.

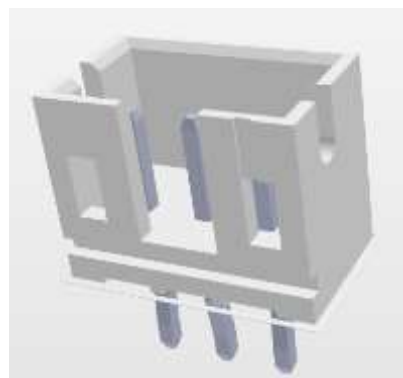


Рисунок 3.28 — Корпус V3B-PH-K

Для підключення ланцюгів керування гіростабілізованою платформою було обрано роз'єм S3B-PH-SM4-TB від компанії JST. Це кутовий роз'єм по-

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						29
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

верхневого монтажу. Даний роз'єм був обраний, оскільки камера знаходиться у передній частині БЛА, тому зручніше за все підключати його з торцевої частини друкованої плати. Також такий роз'єм забезпечує необхідні електричні параметри, зокрема максимальний струм через його контакти, тому даний вибір є оптимальним, зважаючи не те, що він з'єднує сигнальні ланцюги двох модулів, що обумовлює протікання порівняно низьких значень струму через контакти роз'єму.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.29.

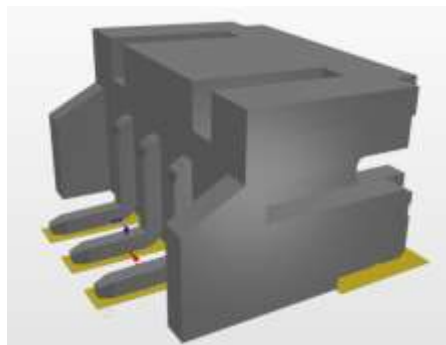


Рисунок 3.29 — Корпус S3B-PH-SM4-TB

Для підключення модуля *GPS* та компасу використовується роз'єм B6B-PH-K від компанії *JST*. Даний роз'єм є прямим для виводного монтажу, оскільки *GPS*-модуль та компас мають знаходитись у верхній частині БЛА, для того щоб створити стійкий та надійний зв'язок зі супутниками *GPS*, а також зменшити вплив компонентів електронних модулів БЛА на роботу компаса, оскільки компас є дуже чутливим до електромагнітних завад, а також до металевих об'єктів поряд.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.30.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

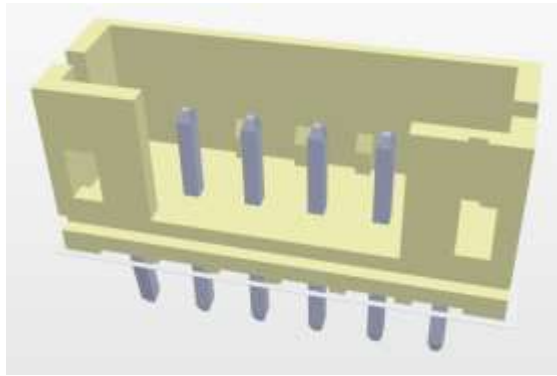


Рисунок 3.30 — Корпус *B6B-PH-K*

Для програмування мікроконтролеру *STM32F411VET6* через інтерфейс *Joint Test Action Group (JTAG)* було вирішено використовувати контактні майданчики, оскільки можливість частого перепрограмування не планується і виведення даного інтерфейсу потрібно лише для налагоджування у випадку непередбачуваної поведінки мікроконтролеру або повторного програмування у випадку втрати з пам'яті мікроконтролеру програмного забезпечення.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 31.

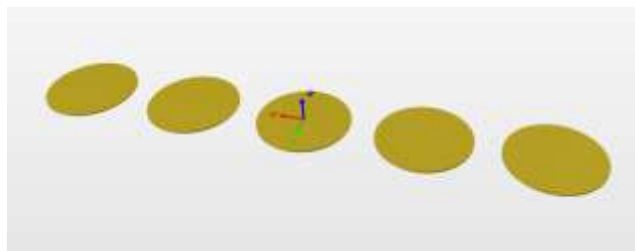


Рисунок 3.31 — Контактні майданчики *JTAG*-інтерфейсу

Для підключення електромоторів було вирішено використовувати контактні майданчики для поверхневого монтажу дротів, оскільки мотори знаходяться далеко від електронного модуля, до якого вони підключаються, а також це дозволить зручніше трасувати силові ланцюги для живлення моторів, оскільки потрібно підводити силові лінії з різних шарів. Контактні майданчики з наскрізними отворами не дозволили б зробити з'єднання тільки окремих шарів друкованої плати, що ускладнює трасування.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.32.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						31
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

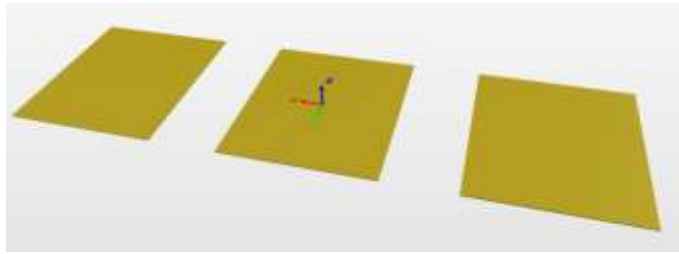


Рисунок 3.32 — Контактні майданчики для підключення електромотору

Для підключення приймача сигналу керування було обрано роз'єм *S3B-PH-SM4-TB* від компанії *JST*. Обрано кутовий роз'єм оскільки приймач повинен розміщуватись у задній нижній частині корпусу БЛА, тому роз'єм має розміщуватись на нижній стороні плати і давати змогу зручно з'єднувати основний електронний модуль та приймач, а також кутовий роз'єм дозволяє зменшити габарити виступаючих компонентів на нижній стороні друкованої плати.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.29.

Для підключення курсової камери було обрано роз'єм *V3B-PH-K* від компанії *JST*. Обрано прямий роз'єм вивідного монтажу, оскільки камера знаходиться вище рівня друкованої плати основного електронного модуля, що робить доцільним саме такий варіант підключення з точки зору зручності та розміщення проводів усередині корпусу БЛА.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.28.

Для підключення відео передавача було обрано роз'єм *S3B-PH-SM4-TB* від компанії *JST*. Кутовий роз'єм було обрано через те, що відеопередавач повинен розміщуватись у нижній задній частині корпусу БЛА, тому більш доцільно з точки зору ефективності прокладання проводів у корпусі з'єднувати дані модулі саме таким чином.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.29.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						32
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підключення ультразвукового давача відстані було обрано роз'єм *B4B-PH-K* від компанії *JST*. Даний роз'єм є прямим вивідного монтажу, оскільки він розміщується на нижній стороні плати для зручного з'єднання з модулем ультразвукового давача відстані.

Зображення моделі даного компоненту у середовищі *Altium Designer* представлено на рисунку 3.33.

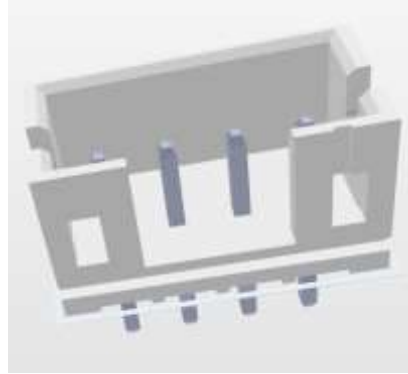


Рисунок 3.33 — Корпус *B4B-PH-K*

3.4 Обґрунтування вибору сторонніх електронних модулів

В якості курсової камери, за якою буде орієнтуватись пілот під час польоту було обрано аналогову камеру *RunCam Phoenix 2 Nano 1000TVL 1/2" CMOS 4:3/16:9 PAL/NTSC* [4] від компанії *RunCam*.

Дана камера має гарну чутливість, може стабільно працювати в умовах недостатньої освітленості, а також при попаданні прямих сонячних променів, не засліплюючи пілота.

Наявне автоматичне регулювання підсилення сигналу.

Напруга живлення від 5 до 36 В, що відповідає умовам, які висуваються до напруги живлення камери.

Зображення камери представлено на рисунку 3.34.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.34 — Камера *RunCam Phoenix 2 Nano* [4]

У якості відео передавача було обрано передавач з робочою частотою 1,2 ГГц та потужністю 200 мВт [5] від компанії *Super Technology Industry Co. LTD*, що дозволяє досягти стабільної передачі відеосигналу через радіоканал на відстань до 20 км. Максимальна відстань на яку можна передати відеосигнал сягає 3.35 км прямої видимості, при використанні чутливої направленої антени, що доведено експериментально розробниками даного модулю.

Зображення передавача представлено на рисунку 3.35.



Рисунок 3.35 — Відеопередавач на 1,2 ГГц [5]

Для прийому сигналів керування БЛА обрано приймач *FlySky FS-X8B 2.4G* [6] на 8 каналів у частотному діапазоні 2,408 — 2,475 ГГц. Даний приймач працює за протоколом *AFHDS 2A* і використовує Гаусівську частотну маніпуляцію. Дальність зв'язку в прямій видимості без підсилювача передавача становить приблизно 3 км. При використанні підсилювача на 2 Вт та антени з підсиленням 12 dBi у схемі передавача дальність зв'язку зростає до 10 км. При використанні базової станції зв'язку (БСЗ) дальність зв'язку зростає до 20 км.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином обраний приймач задовольняє вимогам, які висуваються для приймача радіо керування.

Зображення приймача представлено на рисунку 3.36.



Рисунок 3.36 — Приймач *FlySky FS-X8B 2.4G* [6]

Модуль ультразвукового давача відстані *HC-SR04* [7] від компанії *Adafruit* був обраний тому, що це дешевий та ефективний на малих дистанціях модуль, що задовольняє поставленим технічним вимогам, оскільки він використовується при автоматичній посадці БЛА з висоти 2-3 метри.

Зображення ультразвукового давача відстані *HC-SR04* представлено на рисунку 3.37.



Рисунок 3.37 — Ультразвуковий давач відстані *HC-SR04* [7]

У якості гіростабілізованої платформи було обрано стабілізатор для екшн-камер *Storm32 Hakrc* [8] від компанії *Hakrc*, оскільки це перевірена гіростабілізована платформа зі струмом споживання 350 мА, що задовольняє

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		35

вимогам до стабілізатора камери. Даним стабілізатором можна керувати за допомогою широтно-імпульсного модульованого (ШИМ) сигналу, тому він також є оптимальним рішенням коли потрібно змінити кут нахилу або повороту камери.

Зображення гіростабілізованої платформи з розміщеною на ній екшн-камерою представлено на рисунку 3.38.



XFLYMOB

Рисунок 3.38 — Гіростабілізована платформа з встановленою камерою [8]

У якості GPS-модуля та компасу було обрано модуль *Matek M8Q-5883* [9] від компанії *Matek*. Був обраний саме цей електронний модуль, оскільки компанія *Matek* є доволі популярною і виготовляє високоякісні модулі для БЛА, а також із-за наявності у даному модулі вбудованого компасу і малих габаритів самого модулю. Даний модуль цілком задовольняє вимогам до GPS-модулю та компасу, тому він є оптимальним варіантом для використання у даному БЛА, у тому числі тому що, має стандартизовані інтерфейси для обміну даними I^2C для передачі даних від компасу та *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)* для передачі даних від модулю GPS.

Зображення GPS-модулю з компасом представлено на рисунку 3.39.



XFLYMOB

Рисунок 3.39 — GPS-модуль з компасом [9]

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		36

У якості плати керування акумуляторною батареєю було обрано модуль, що зображений на рисунку 40. Даний модуль не має інтерфейсу I²C для зв'язку з основним електронним модулем БЛА, проте він має захист від короткого замикання акумулятору, захист від перезаряду та надмірно високого струму розряду, функцію балансування АКБ та давач температури для контролю за температурою акумуляторів всередині АКБ під час його експлуатації, також максимальний вихідний струм даного модуля становить 30 А постійно або 60 А короткочасно. Таке рішення було прийнято оскільки більшість модулів контролю АКБ не мають додаткових елементів керування та контролю, а ті які мають зазвичай дорогі та встановлюють зв'язок між модулями через радіоканал.

Таким чином було прийнято рішення відмовитись від функцій контролю за АКБ на даному етапі розробки, проте залишити відповідний роз'єм комунікації між модулями для модифікацій готового пристрою в майбутньому.

Даний модуль задовольняє умовам поставленого завдання, тому його вибір є оптимальним рішенням.

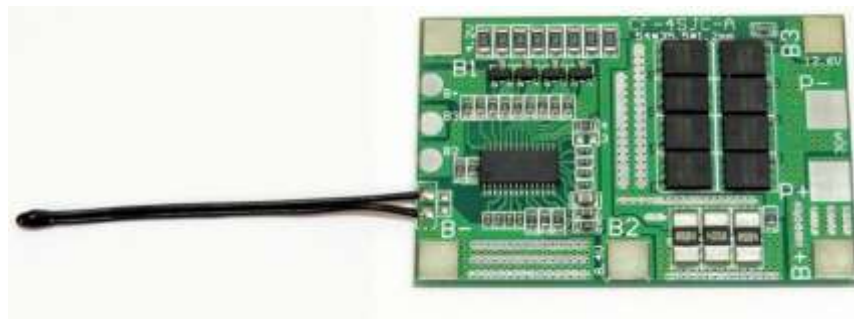


Рисунок 3.40 — Плата керування АКБ [10]

У якості акумуляторів для АКБ було обрано *lithium-ion polymer battery* (LiPo) акумулятори з номінальною ємністю 3830 мАг [11]. Даний тип акумуляторів був обраний тому що, вони мають прямокутну форму і зручно розміщуються у корпусі, попередній дизайн якого можна побачити на рисунку 3.30.

З даних акумуляторів збирається акумуляторна батарея, що складається з 4 секцій, які ввімкнені послідовно, таким чином результуюча напруга при

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						37
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

повністю заряджений АКБ дорівнює 16,8 В, оскільки напруга повністю зарядженої секції становить 4,2 В.

При використанні даної АКБ орієнтовний час польоту має становити приблизно 20–40 хв, залежно від режиму роботи БЛА.



Рисунок 3.41 — Акумуляторна батарея [11]

У якості безколекторних електромоторів було обрано мотори типорозміру 2008 та з коефіцієнтом приросту обертів на 1 В напруги 1400 кВ [12]. Дані мотори можуть ефективно піднімати БЛА такої маси та розмірів, з відповідним розміром авіаційних гвинтів, який можна визначити з рисунку 3.6.

Таким чином дані мотори є оптимальними для літального апарату з заданими характеристиками.

Зображення мотору представлено на рисунку 3.42.



Рисунок 3.42 — Безколекторний електромотор [12]

Таким чином було визначено всі необхідні елементи для створення основного електронного модулю літального апарату, а також визначено покуп-

ні електронні модулі, які необхідні для реалізації необхідного функціоналу пристрою.

3.5 Розробка схеми електричної принципової

У результаті проектування було розроблено схему електричну принципову PI81.202138.001 ЕЗ, що розділена на 2 частини (польотний контролер з периферією та блок регуляторів обертів безколекторних електромоторів),. Дана схема представлена у графічних матеріалах.

Схема побудована на базі мікроконтролера *STM32F411VET6 (DD2)*, що є основним елементом керування та розрахунків. Даний мікроконтролер має ARM-архітектуру з 32-бітним ядром *Cortex-M4*. Його тактова частота становить 100 МГц, що дозволяє швидко обробляти інформацію та керувати периферією.

Живлення БЛА надходить від акумулятору через роз'єм *X1*. Далі воно попередньо фільтрується *LC*-фільтром, що складається з котушки індуктивності *L1* та конденсатору *C6*.

Для формування напруги живлення 5 В компонентів керування використовується схема імпульсного стабілізатора напруги на основі мікросхеми *LM2596-5.0 (DA1)* з максимальним струмом навантаження 3 А, що складається також з фільтру на котушці індуктивності *L2* і конденсаторі *C19*, та діоду Шоттки *VD1*. На вході регулятора стоїть конденсатор *C9*, що виконує функцію згладжування стрибків напруги.

Для формування напруги живлення 3,3 В компонентів керування використовуються лінійні стабілізатори напруги на *AMS1117-3.3*, з конденсатором 4,7 мкФ на вході і 22 мкФ на виході.

Конденсатори *C1 – C5, C7, C8, C10 – C12* та *C14, C16, C18, C20* використовуються для розв'язування виводів живлення один від одного, щоб зменшити вплив шумів на роботу МК *DD2*.

Конденсатори *C22* та *C23* використовуються для запуску кварцового резонатору *ZQ2*.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						39
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Резистор *R3* встановлює високий логічний рівень для виводу скидання МК *DD2*, а конденсатор *C25* призначений для того, щоб прибрати ефект брязкоту контактів.

Для запуску МК *DD2* через резистор *R4* встановлюється низький рівень.

Напруга, що приходить від акумуляторної батареї, додатково вимірюється МК *DD2* через подільник напруги на резисторах *R9*, *R11*.

По інтерфейсу *I²C* до МК *DD2* підключаються такі пристрої:

- 1) Барометр — *BMP280 (DD4)*
- 2) Акселерометр + гіроскоп — *MPU-6000 (DD3)*
- 3) Компас у складі модуля *GPS*
- 4) Контролер АКБ

Для стійкої роботи даного інтерфейсу на сигнальних лініях *SDA* та *SCL* встановлюється високий рівень за допомогою резисторів *R10* та *R12*.

GPS-модуль та компас підключаються за допомогою роз'єму *X5*.

Ультразвуковий давач відстані підключається за допомогою роз'єму *X3*.

Курсова відеокамера підключається за допомогою роз'єму *X4*.

Контролер АКБ підключається за допомогою роз'єму *X9*.

Сигнали керування стабілізатором камери передаються через роз'єм *X8*.

Живлення гіростабілізатора камери підключається через роз'єм *X2*.

Програмування МК *DD2* відбувається через інтерфейс *JTAG*, що під'єднується до контактних майданчиків *X10*.

Сигнали керування БЛА передаються від приймача за допомогою інтерфейсу *I-BUS* через роз'єм *X7*.

Відеосигнал на відео передавач передається через роз'єм *X6*.

Регулятори обертів підключаються до моторів через роз'єми *X11* — *X14*.

DA2 – *DA4*, *DA6*, *DA8*, *DA10* — мікросхеми стабілізатори напруги *AMS1117-3.3*.

Конденсатор *C21* прибирає постійну складову з відеосигналу з курсової камери, а конденсатор *C27* компенсує спотворення вихідного сигналу *OSD*.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

OSD (DD1 — MAX7456) потрібно для накладання на відеосигнал сигналу з корисною інформацією, наприклад час польоту, дальність польоту, заряд АКБ тощо.

Регулятори обертів безколекторного мотора побудовані на основі мікроконтролеру *EFM8BB21F16G* (DD5, DD7, DD9, DD11). Даний мікроконтролер отримує ШІМ-сигнал від МК DD2 і створює сигнали для драйверу *FORTIOR FD6288Q* (DA5, DA7, DA9, DA11)

Драйвер *FD6288Q* керує 6 польовими транзисторами VT1–VT6, по 2 транзистори на одну фазу мотора.

Затвори транзисторів ввімкнені через струмообмежуючі резистори R23 – R28.

З кожної фази мотора через подільники напруги на резисторах R17 – R22, R18 – R21, R19 – R20 знімається сигнал і подається на контролер *EFM8BB21F16G* у якості зворотного зв'язку.

Також на контролер *EFM8BB21F16G* через подільник напруги на резисторах R14 та R15 подається напруга з АКБ для порівняння з напругою на моторах.

Контролер *EFM8BB21F16G* живиться через стабілізатор напруги на 3,3 В DA4, а драйвер *FD6288Q* від загального живлення 5 В.

Для фільтрації живлення і сигналів використовуються конденсатори C36 – C42.

У якості силових транзисторів використані польові транзистори *TPN2R203NO*.

Оскільки блок регулятора обертів однаковий для 4-х моторів, то його схема представлена у вигляді блоків, що повторюються і вони зображуються схематично.

Дана принципова схема була синтезована на основі даних аналізу документації на компоненти схеми. Деякі схемотехнічні рішення були отримані з документації як рекомендовані виробником компонентів для стійкої роботи.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						41
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи, що дублюються у різних схемах і не покращують характеристик кінцевого пристрою були видалені зі схеми.

Також були використані типові схемотехнічні рішення, наприклад використання напівмостової схеми на силових польових транзисторах для керування фазами електромоторів.

Розміщення розв'язуючих конденсаторів на принциповій схемі польотного контролера були розміщені та під'єднані таким чином, щоб було зручніше виконувати трасування друкованої плати, оскільки відповідні конденсатори мають знаходитись якомога ближче до відповідних виводів мікросхеми, які вони розв'язують.

Розв'язування необхідно для зменшення впливу різних частин мікросхеми одна на одну, особливо у випадку використання аналогово-цифрового або цифро-аналогового перетворювача, які можуть створювати високочастотні завади для інших частин мікросхеми та компонентів.

Таким чином була створена схема електрична принципова, що відповідає необхідним блокам на схемі електричній структурній і на основі якої буде побудована друкована плата та електронний модуль.

Дана схема задовольняє поставленому завданню і має виконувати усі необхідні функції.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Перед початком трасування друкованої плати (ДП) необхідно:

- Визначити габарити друкованої плати
- Створити її контур у програмному середовищі Altium Designer
- Розмістити компоненти
- Провести розрахунки ширини друкованих провідників та налаштувати правила проектування, попередньо визначивши які напруги присутні у різних ланцюгах схеми, тип цих ланцюгів (силові або сигнальні)
- Визначити обмеження виробництва, на якому планується виробляти друковану плату, а також обрати кількість шарів металізації та їх товщину, що задовольняють вимоги поставленого завдання, вимоги виробництва пов'язані з його можливостями.

4.1 Визначення габаритів ДП

Для визначення мінімально можливих габаритів друкованої плати потрібно порахувати сумарну площу компонентів з урахування вагових коефіцієнтів, що залежать від кількості виводів компоненту.

Такі розрахунки обумовлені тим, що для кожного компоненту на друкованій платі необхідно мати місце для проведення провідників щоб з'єднати його з іншими компонентами, тому чим більша кількість виводів компоненту, тим, відповідно, буде більше провідників і внаслідок цього необхідна площа для розміщення компоненту буде збільшуватись у певній пропорції до кількості його виводів.

Для спрощення розрахунків було використано перелік елементів, що формує Altium Designer у Excel файлі. Далі кожна з площ множиться на відповідний ваговий коефіцієнт (до 3 виводів $k = 1$; 4 – 8 виводів $k = 1,5$; 9 – 32 виводи $k = 2$; від 32 виводів $k = 3$), додаються площі під посадкове місце кріпильних елементів і сумарне значення буде відповідати мінімальній площі друкованої плати.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						43
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідні розрахунки наведені у додатку Б.

За результатами розрахунків мінімально можлива площа друкованої плати становить 5900 мм². Таким чином всі компоненти можна розмістити на плату квадратної форми зі стороною 77 мм, проте дана форма є незручною, а також вибір габаритів друкованої плати як мінімальних ускладнює виконання трасування провідників, особливо в силових ланцюгах.

Тому прийнято рішення попередньо обрати розмірами друкованої плати габаритні розміри внутрішнього простору корпусу для орієнтовного дизайну пристрою. Зовнішні розміри корпусу зображені на рисунку 3.6.

Враховуючи товщину стінки приблизно 2 мм та зазори між стінками та друкованою платою, то орієнтовні розміри друкованої плати мають становити 145 x 85 мм.

Після розміщення компонентів та отворів кріплення друкованої плати до корпусу було змінено габаритні розміри друкованої плати на 165 x 100 мм для зручного трасування та розміщення компонентів, а також для забезпечення можливості не проводити лінії живлення від АКБ під компонентами, що є чутливими до завад.

Таким чином було отримано наступну форму друкованої плати, що зображена на рисунку 4.1.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						44
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

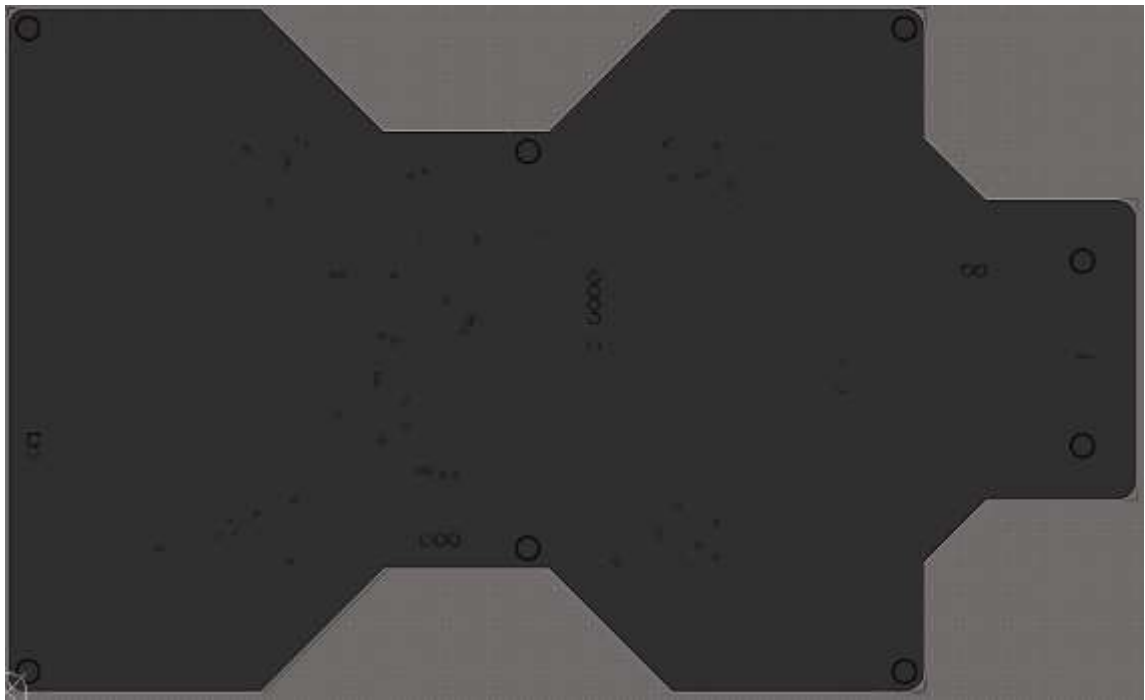


Рисунок 4.1 — Отримана оптимальна форма друкованої плати

Дана форма дозволяє зручно прокладати проводи та розміщувати роз'єми, а також зменшити результуючу масу електронного модуля за допомогою видалення зайвого матеріалу.

Роз'єм живлення від АКБ спеціально був винесений у крайню праву точку друкованої плати, оскільки там повинні бути силові елементи корпусу, які дозволять з'єднувати АКБ з літальним апаратом.

Для того щоб додатково посилити друковану плату у місці найбільшого фізичного навантаження було додано 2 місця кріплення під гвинти М3 біля роз'єму живлення. Таке рішення дозволить зменшити вигин плати під час монтажу та демонтажу АКБ.

Оскільки плата має порівняно велику довжину, то близько до середини плати у її вузькому місці додаткового додано ще 2 точки кріплення, що дозволить уникнути ймовірних провисань ДП або вигинів під дією інших елементів літального апарату, оскільки апарат під час польоту може зазнавати крутильних навантажень у різних площинах, що може призвести до пересікання елементів корпусу або інших електронних модулів з даним електронним модулем та пошкодити його. Додаткові точки кріплення підвищують

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						45
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

жорсткість конструкції і не дозволяють їй вигинатись навіть під дією помірного тиску від сторонніх об'єктів.

У результаті зміни габаритних розмірів друкованої плати вони стали більшими за розміри корпусу літального апарату, тому при подальшій розробці корпусу літального апарату його габаритні розміри будуть переглянуті і актуалізовані під поточну конструкцію електронних модулів.

4.2 Розрахунки ширини друкованих провідників

Ширина друкованих провідників визначається величинами напруги, що прикладена до ланцюгів де проходять дані провідники, струмів, що протікають через дані провідники, та товщиною металізації.

Для розрахунків буде використана товщина металізації 105 мкм (3 oz), оскільки мотори можуть споживати великі значення струму, тому доцільно збільшити товщину металізації щоб зменшити ширину провідників для одних і тих самих ланцюгів. Особливо це стосується силових ланцюгів розрахованих на напругу 16,8 В, оскільки вони є найширшими за рахунок найбільших значень споживаного струму (до 20 А).

Перед початком розрахунків за схемою електричною принциповою P181.202138.001 ЕЗ було визначено для яких ліній треба розрахувати ширину провідників та максимальні струми у даних лініях:

- Силова лінія з напругою 16,8 В (лінія живлення від АКБ та лінія живлення моторів) — орієнтовний максимальний струм становить 20 А;
- Силова лінія з напругою 5 В — максимальний струм 2 А;
- Силова лінія з напругою 3,3 В — максимальний струм 0,5 А;
- Сигнальна лінія з напругою 5 В — максимальний струм 0,2 А;
- Сигнальна лінія з напругою 3,3 В — максимальний струм 0,2 А.

Методика розрахунку та самі розрахунки зображені у додатку В.

Результати розрахунку ширини провідників для різних ланцюгів схеми і мінімальний зазор між елементами провідникового рисунку можна побачити у таблиці 1.

					P181.202138.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1 — Ширина друкованих провідників та мінімальний зазор

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			У вузькому	У широко- му	
Силова	16,8	20	9,5	9,5	0,18
Силова	5	2	0,95	0,95	
Силова	3,3	0,5	0,24	0,3	
Сигнальна	5	0,2	0,18	0,3	
Сигнальна	3,3	0,2	0,18	0,3	

Для визначення обмежень на мінімальну ширину провідника та зазору між елементами провідникового рисунку був обраний 4 клас точності, оскільки у даній схемі використовуються компоненти поверхневого монтажу з щільним розміщенням контактних майданчиків, розміри яких та зазори між ними відповідають класу точності не нижче 4.

Відповідні розрахунки наведені у додатку В.

4.3 Виконання трасування

Враховуючи розміщення компонентів, особливості друкованої плати та призначення електронного модуля було обрано 6-шарову друковану плату, оскільки така кількість шарів дозволяє полегшити трасування та покращити параметри електронного модуля за рахунок більш коротких шляхів до шини землі, а також за рахунок використання заливки полігонів силової лінії 5 В та силової лінії 16,8 В.

Топологія верхнього шару друкованої плати після виконання трасування зображена на рисунку 4.2.

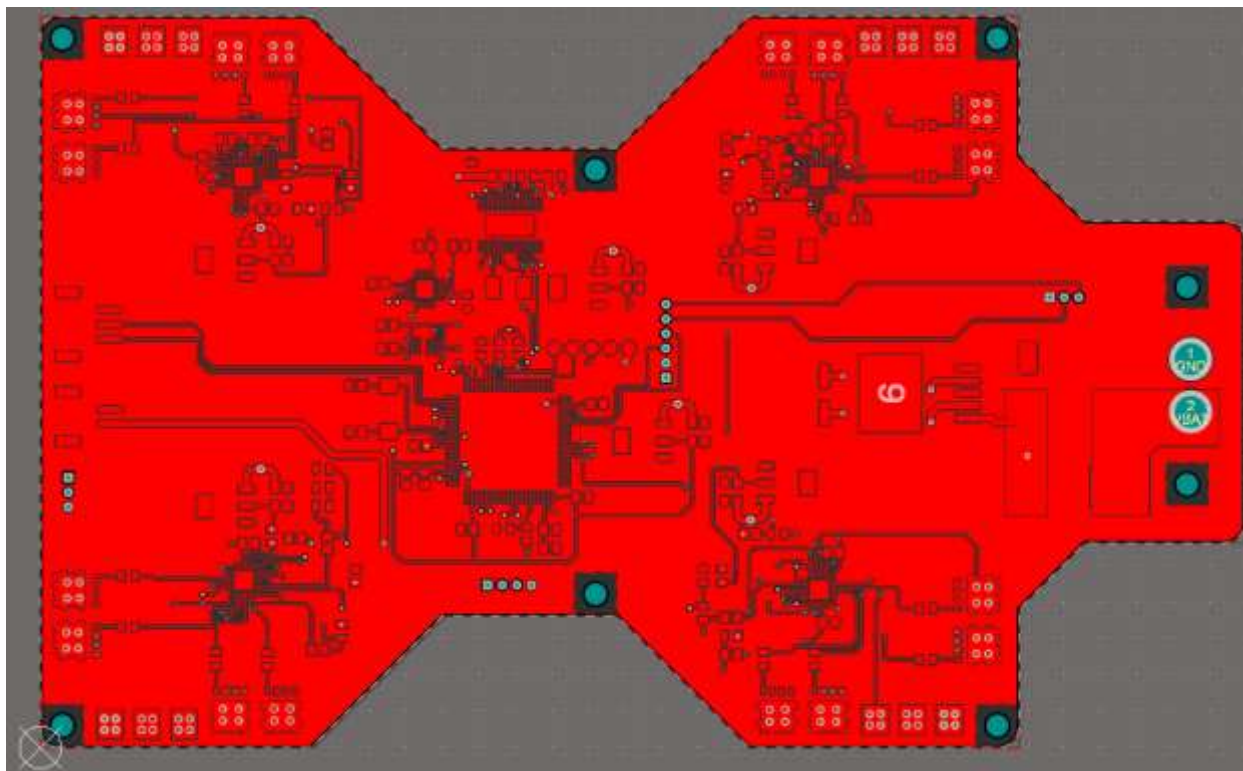


Рисунок 4.2 — Топологія верхнього шару металізації ДП

У даному шарі проведена більша частина трас друкованої плати та виконана заливка полігону землі, що дозволяє зменшити опір земляної шини, а також зменшити кількість матеріалу, що необхідно видалити для створення даної топології, що також збільшує швидкість технологічних процесів виготовлення даної ДП.

Для силової лінії 16,8 В також використано заливку полігонів, оскільки це дозволяє забезпечити необхідні параметри по площі провідникового рисунку, щоб забезпечити нормальне протікання струму без перегріву провідників.

Для переходу на інші шари використовується по декілька перехідних отворів, щоб розподілити між ними струми і не створювати перехідний отвір з великим діаметром.

Топологія другого шару металізації зображена на рисунку 4.3.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

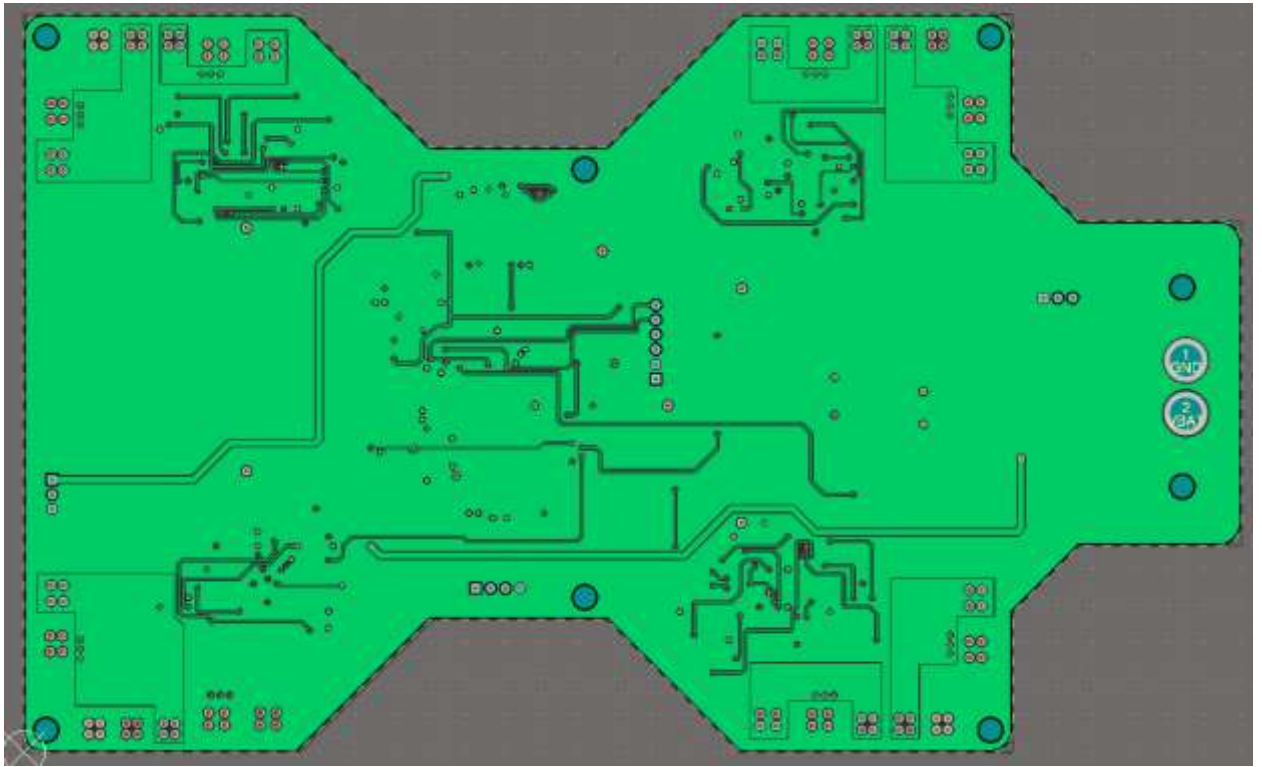


Рисунок 4.3 — Топологія другого шару металізації (сигнального)

У даному шарі виконано трасування декількох силових транзисторів керування електромоторами за допомогою полігонів, а також виконано більшість сигнальних з'єднань, які неможливо було зробити у верхньому та нижньому шарах.

Даний шар, як і верхній, залитий полігоном землі для зменшення опору шини землі, а також для зменшення кількості перехідних отворів, оскільки велика кількість отворів зменшує міцність плати.

Топологія третього шару металізації зображена на рисунку 4.4.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.202138.001 ПЗ

Лис

49

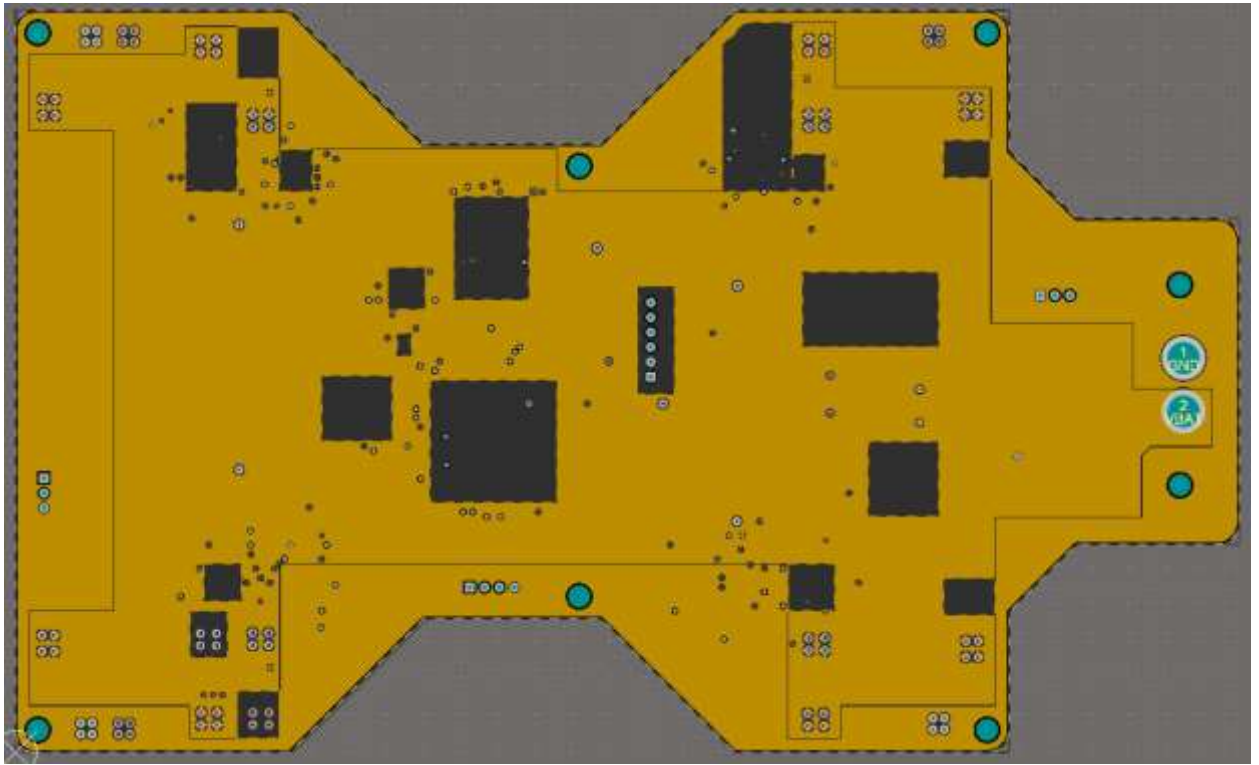


Рисунок 4.4 — Топологія третього шару металізації (силового)

Даний шар призначений для подачі живлення на силові транзистори від АКБ, тому даний шар виконаний за допомогою силового полігону, щоб зменшити його опір та забезпечити необхідну ширину провідника для протікання струму величиною 20 А.

У даному полігоні зроблені спеціальні області без заливки, а саме області під чутливими компонентами, такими як мікроконтролер, давачі і під деякими польовими транзисторами, котрі не під'єднуються до напруги живлення щоб захистити дані компоненти від можливих завад з силового полігону.

Це зроблено тому що, електромотори при своїй роботі стають потужними джерелами електромагнітних завад, які можуть наводити струми у проводах живлення моторів і впливати на інші елементи даного електронного модуля.

Уся інша зона даного шару залита полігоном землі, проте в даному шарі він підключений тільки до землі роз'єму АКБ і до роз'єму керування стабілізатором камери.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність у даному шарі полігону землі обумовлено тим, що це дозволяє видаляти менше матеріалу металізації і прискорювати процеси виготовлення.

Топологія четвертого шару металізації зображена на рисунку 4.5.

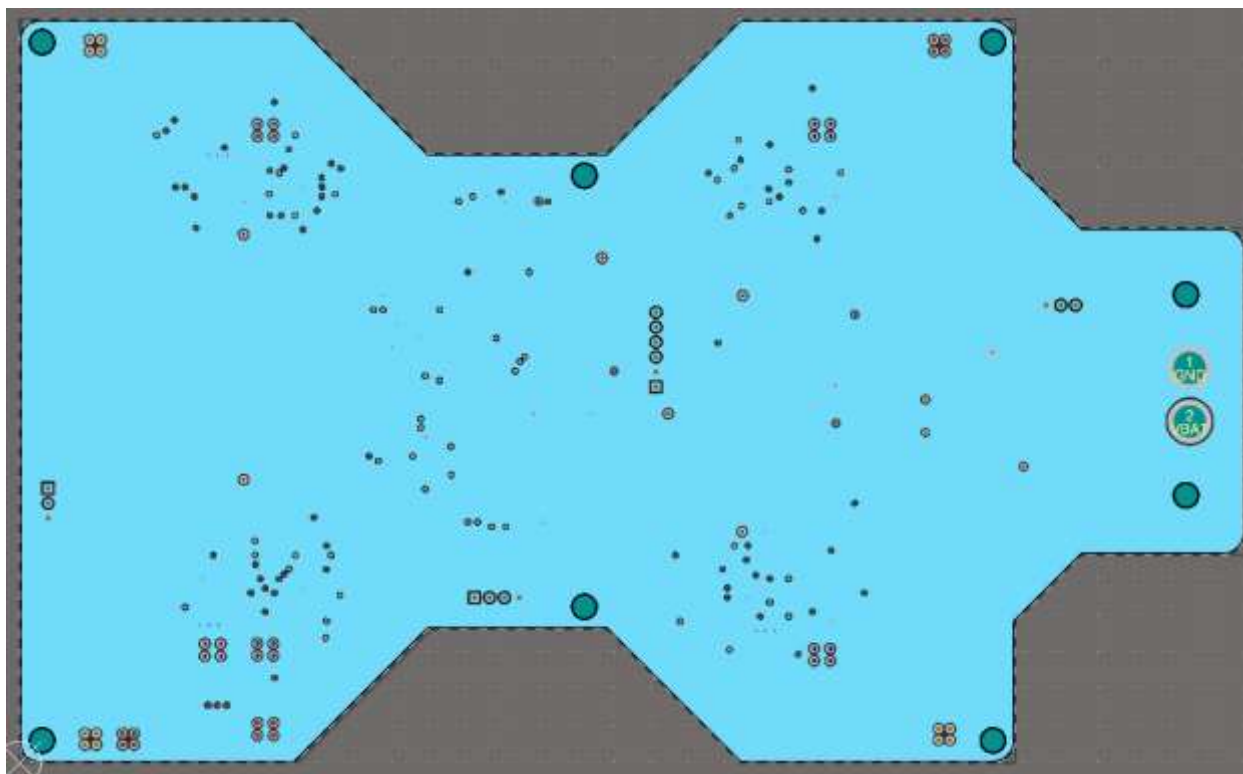


Рисунок 4.5 — Топологія четвертого шару металізації (землі)

Даний шар призначений для об'єднання полігонів землі всіх шарів друкованої плати, а також компонентів, які не можна було підключити до земляної шини у верхньому чи нижньому шарі.

Їх об'єднання дозволяє ще більше зменшити опір земляної шини, а також створює додаткове екранування від завад радіочастотного діапазону, особливо для частот 2,4 або 5,8 ГГц.

Заливка полігону у даному шарі відрізняється від інших, оскільки тут не використовуються термобар'єри для підключення перехідних отворів та контактних майданчиків вивідних компонентів. Це обумовлено тим, що при такому варіанті підключення площа провідника буде найбільшою, що важливо для силових ланцюгів даного електронного модуля.

Топологія п'ятого шару металізації зображена на рисунку 4.6.

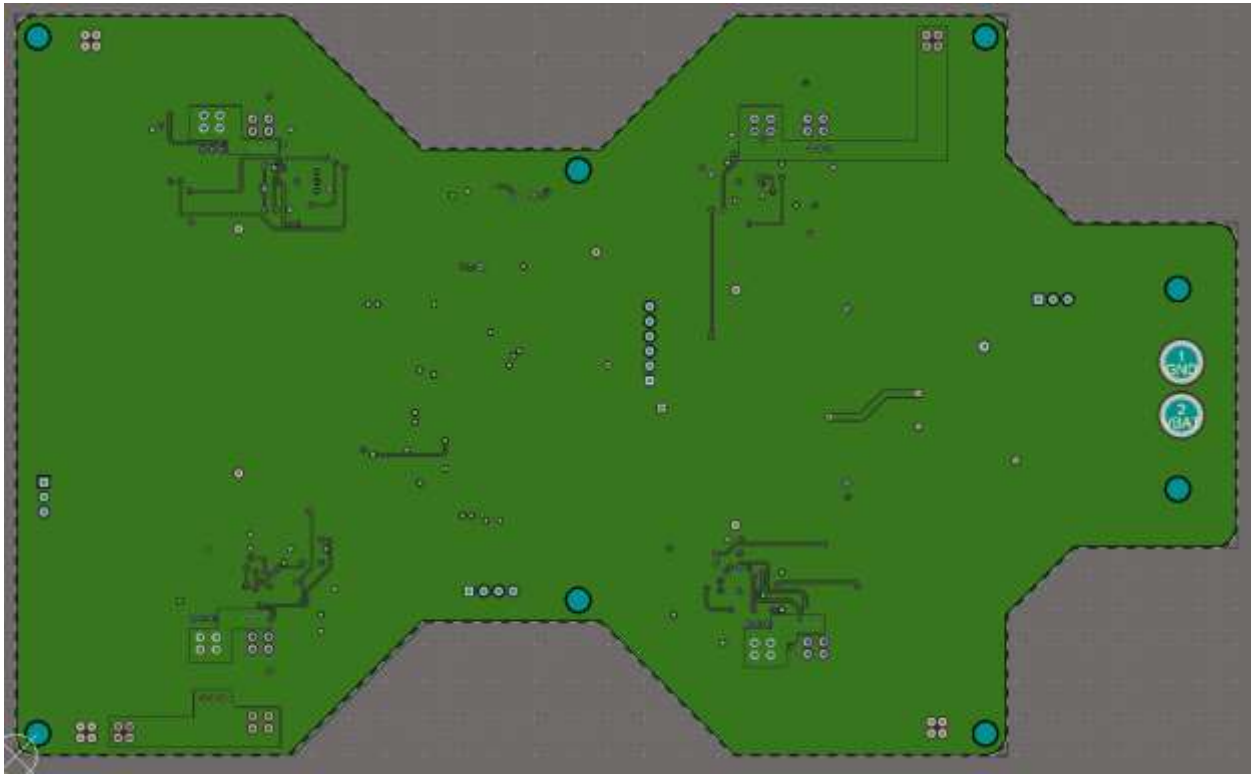


Рисунок 4.6 — Топологія п'ятого шару металізації (силового 5 В)

У даному шарі проведено трасування ланцюгів, які не можна було провести у інших шарах, у тому числі деякі силові ланцюги транзисторів, що керують моторами.

Також основною функцією даного шару є об'єднання усіх компонентів так кіл, що живляться від напруги 5 В, для цього була виконана заливка полігоном живлення, а всі компоненти та кола, що мають до нього під'єднуватись підключаються через перехідні отвори якомога ближче до виводів компонентів.

Топологія нижнього шару металізації зображена на рисунку 4.7.

					РІ81.202138.001 ПЗ	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

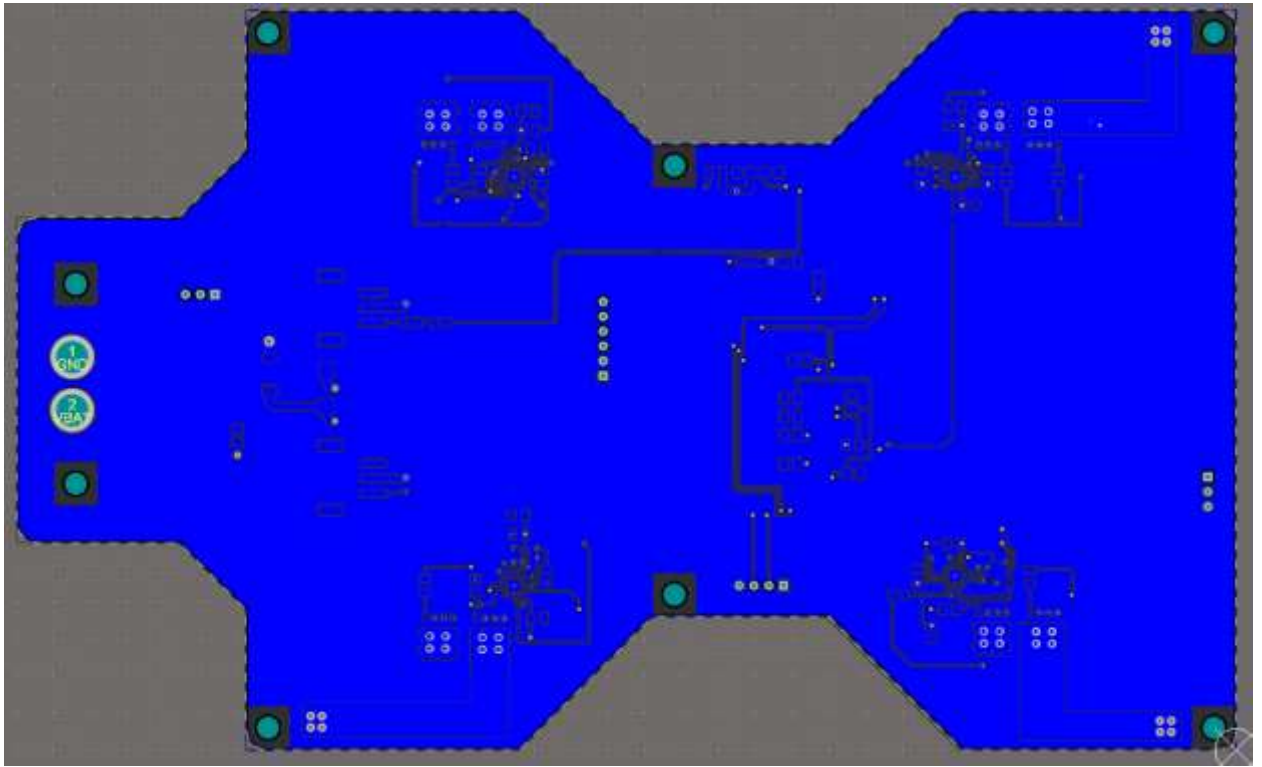


Рисунок 4.7 — Топологія нижнього шару металізації (дзеркально)

У даному шарі виконано трасування деяких сигнальних ланцюгів, а також трасування силових ланцюгів окремих польових транзисторів, оскільки це було зручно робити у даному шарі.

Цей шар має заливку полігоном землі, для гарного з'єднання землі компонентів з землею плати, а також зменшення опору, додаткового екранування від радіочастотних завад і зменшення шляху до землі, що покращує стійкість компонентів до завад.

Зовнішній вигляд (вид зверху) електронного модуля зображений на рисунку 4.8.

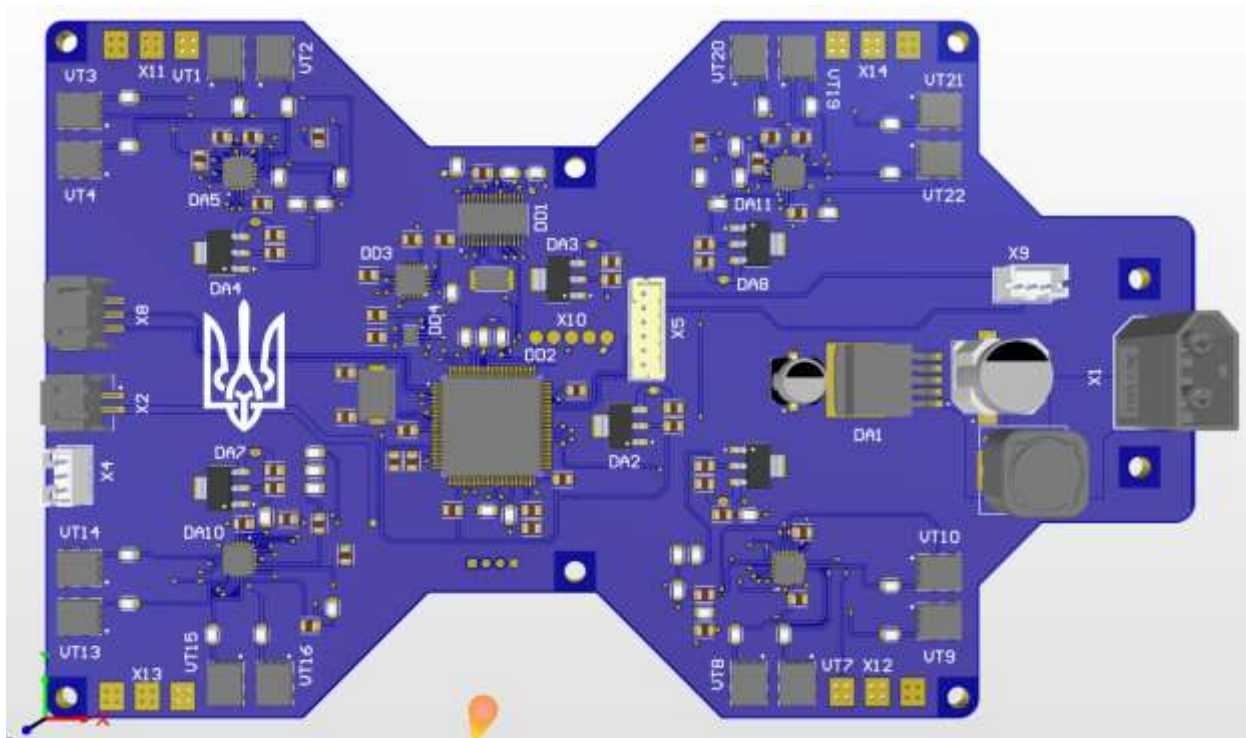


Рисунок 4.8 — Зовнішній вигляд електронного модуля (вид зверху)

Зовнішній вигляд електронного модуля знизу (дзеркально) зображено на рисунку 4.9.

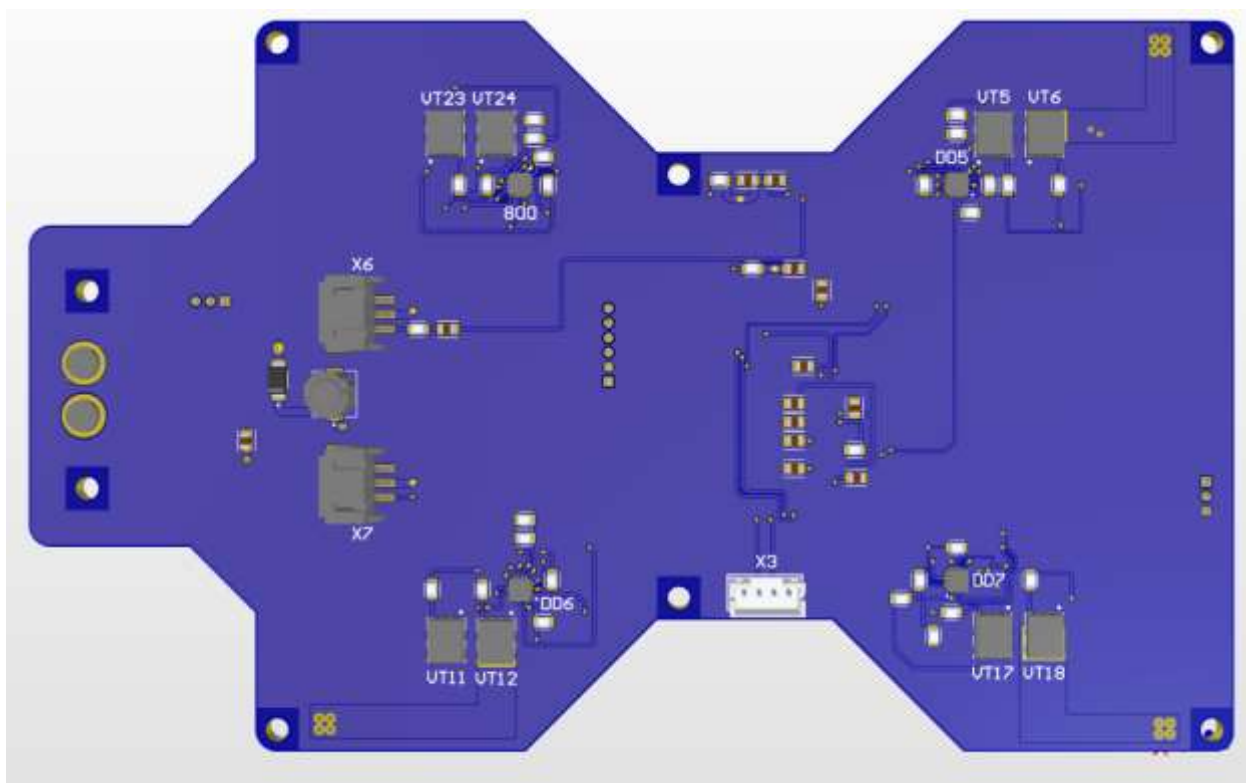


Рисунок 4.9 — Зовнішній вигляд електронного модуля (вид знизу дзеркально)

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.202138.001 ПЗ

Лис

54

На рисунках 4.8 та 4.9 можна побачити як орієнтовно буде виглядати даний електронний модуль у житті якщо його виготовити, а також дані види дають вичерпну інформацію про форму і розміщення компонентів.

Матеріалом друкованої плати був обраний склотекстоліт *FR-4*.

Оскільки друкована плата є багатошаровою, то вона має складну структуру: між кожним шаром металізації, окрім 3 та 4 шарів, знаходиться ізоляційна основа *S1000-2M* (товщина 0,25 мм) від компанії *Shengyi* та препрег 1080 (товщина 79 мкм). Між 3 та 4 шаром знаходиться основа *S1000-2M* без використання препрегу.

Для більшої наочності відповідна структура шарів друкованої плати зображена на рисунку 4.10.

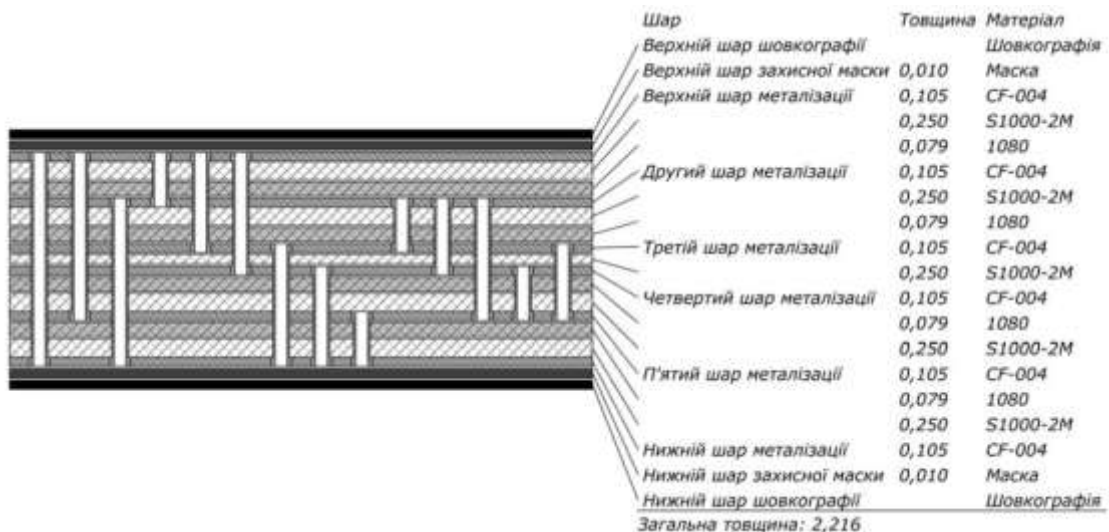


Рисунок 4.10 — Структура друкованої плати та перехідних отворів

Таким чином було розроблено електронний модуль, що задовольняє умовам поставленого завдання і дозволяє реалізувати необхідні функції, має всі необхідні інтерфейси.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу технічного завдання та огляду аналогів проведено розроблення попереднього дизайну БЛА, для визначення його основних габаритів, які склали 300x295x90 мм та орієнтовним вільним місцем під друковану плату розміром 145x85 мм. Також розроблено структурну та електричну принципову схему.

Під час проектування схеми значна увага зосереджувалася на збільшенні дальності передавання сигналів керування та відеопотоку. В результаті прийнятих рішень передбачається зростання дальності передавання даних та керування мінімум вдвічі.

За розробленою схемою проведено вибір електронних компонентів та визначено розміри і форму друкованої плати. В результаті проведених розрахунків мінімально допустимих розмірів силових доріжок та з врахуванням необхідності проведення трасування з урахуванням електромагнітної сумісності прийнято рішення до збільшення габаритних розмірів плати, що принципово не вплине на дизайн БЛА.

Розроблений електронний модуль виконаний на основі 6-шарової друкованої плати, що дозволило зручно виконувати трасування, створити додаткове екранування компонентів за рахунок використання полігонів землі великої площі. Компоненти на друкованій платі розміщені таким чином щоб мінімізувати взаємний вплив у сигнальних ланцюгах.

При розміщенні роз'ємів враховувався дизайн літального апарату та зручність прокладання проводів в його середині.

Форма та габарити друкованої плати обирались таким чином, щоб задовольнити вимоги до масогабаритних характеристик друкованого вузла та його міцності, тому обрано форму яка дозволяє зменшити масу плати, проте забезпечити необхідну міцність. Для збільшення міцності друкованого вузла збільшено кількість елементів кріплення, розміщення яких обумовлено орієнтовними навантаженими зонами друкованої плати.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						56
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

При подальшій роботі над БЛА необхідно провести вдосконалення конструкції в частині розроблення власних модулів для передавача відеосигналу з камери, приймача радіокерування, ультразвукового давача відстані, давача перешкод, модулю керування АКБ та модуля *GPS*. Це дозволить зменшити залежність від наявності готових електронних модулів. Крім того, для покращення якості відеосигналу необхідно розробити модуль кодування відеосигналу з подальшим стисканням відеопотоку.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						57
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Квадрокоптер *DJI Mavic Pro UA CERT. OFFICIAL* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://dji-kyiv.com/kvadrokopter-dji-mavic-pro/> — 12.06.2022. — Назва з екрану.
2. Квадрокоптер *Autel EVO II Pro V2* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://flytechnology.ua/ru/kvadrokopter-autel-evo-ii-pro-v2> — 12.06.2022. — Назва з екрану.
3. *Fimi X8SE 2020* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.fimi.com/fimi-x8-se.html> — 12.06.2022. — Назва з екрану.
4. Камера для *FPV RunCam Phoenix 2 Nano 1000TVL 1/2" CMOS 4:3/16:9 PAL/NTSC* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://flymod.net/item/runcam_phoenix_2_nano — 12.06.2022. — Назва з екрану.
5. Передатчик безпроводной, 200 МВт, 1,2 ГГц, 1,3 ГГц, 35 км [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://aliexpress.ru/item/32794952878.html?gatewayAdapt=glo2nld&sku_id=63906310221 — 12.06.2022. — Назва з екрану.
6. Приемник *FlySky FS-X8B 2.4G* на 8 каналов [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://flymod.net/item/flysky_fs_x8b — 12.06.2022. — Назва з екрану.
7. Датчик расстояния ультразвуковой *HC-SR04* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-rasstoyaniya-ultrazvukovoy-hc-sr04> — 12.06.2022. — Назва з екрану.
8. Трехосевой подвес *Storm32 Hakrc* для стабилизации видео экшн-камер *GoPro 3, 4* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://flymod.net/item/mini_gopro_tilt — 12.06.2022. — Назва з екрану.
9. Мини GPS модуль с компасом *Matek M8Q-5883* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://flymod.net/item/matek_sam-m8q-5883 — 12.06.2022. — Назва з екрану.

					PI81.202138.001 ПЗ	Лис
						58
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Контроллер *BMS 4S 30A* с балансировкой и датчиком температуры [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://bms.com.ua/pcm-bms/44-pcm-bms-4s-30a-with-balancing-temp-sensor.html> — 12.06.2022. — Назва з екрану.

11. Сменный литий-полимерный аккумулятор ZDF для Mavic Pro, интеллектуальная летная батарея 3,8 в, макс. 4,35 в, 3830 мАч, для ремонта и «сделай сам» 2S 3S 4S 6S [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/4000230647638.html?gatewayAdapt=glo2nld&sku_id=10000000934828143 — 12.06.2022. — Назва з екрану.

12. Оригинал, для дрона *Dji Mavic Pro Arm Motor 2008*, КВ, запасные части [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005002969700949.html?algo_exp_id=dc7079a1-d1a8-41e3-a3c7-0d6fe156c712-0&algo_pvid=dc7079a1-d1a8-41e3-a3c7-0d6fe156c712&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000023010566913%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21RUB%21%21767.91%21%21%2122.28%21%21%4021135c3916552531314544267ec100%2112000023010566913%21sea&sku_id=12000023010566911&spm=a2g0o.productlist.0.0.1e6e37c951OMKl — 12.06.2022. — Назва з екрану.

					<i>PI81.202138.001 ПЗ</i>	Лис
						59
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В. о. зав. кафедрою ПРЕ

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«___» _____ 2022 р.

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник проекту

 Володимир АДАМЕНКО

«___» _____ 2022 р.

Безпілотний авіаційний комплекс

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

PI81.202138.001 ТЗ

2022 р.

1. НАЗВА КР, ШИФР І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ КР

1.1 Назва виробу:

Безпілотний авіаційний комплекс.

1.2 Підстава для виконання:

Завдання видане кафедрою прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Наказ №_____ від _____

2. ВИКОНАВЦІ:

Бичков О. Д., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина: «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування»

Броварник С. А., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату»

Євдокімов Д. О., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина «Безпілотний авіаційний комплекс. Базова станція зв'язку»

3. ВИРОБНИКИ

— КПІ ім. Ігоря Сікорського, підготовка комплекту технічної документації.

— Підприємство-виробник друкованих плат: AllPCB (КНР). Виготовлення відповідно до 4-го класу точності за допомогою багатошарової технології методом пошарового нарощування.

— Підприємство-виробник пластикових деталей: Fow Mould (КНР). Допуски деталей відповідно до 14-го квалітету.

4. МЕТА ВИКОНАННЯ КР І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

4.1 Мета виконання:

Створення компактного безпілотного авіаційного комплексу тактичного рівня для оптичного відеоспостереження та автоматичного супроводження об'єктів.

4.2 Призначення продукції:

					PI81.202138.001 T3				
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату	Лім.		Лист	Листів
Розробив	Броварник С.							1	
Перевірів	Адаменко В.								
						PI-81, РТФ			
Н. Контр.	Адаменко В.								
Затвер-	Адаменко В.								

Даний виріб призначений для використання у якості інструменту спостереження за місцевістю, рухомими та нерухомими об'єктами у світлу пору доби за нормальних погодних умов, які знаходяться за межами прямої видимості оператора комплексу.

5. СКЛАД ПРОДУКЦІЇ

Комплекс складається з:

- Безпілотного літального апарату (БЛА);
- Пульта дистанційного керування (ПДК);
- Базової станції зв'язку (БСЗ).

До складу продукції входять наступні покупні комплектуючі вироби:

- Безколекторні електромотори;
- Повітряні гвинти;
- Гіростабілізована платформа оптичного модуля;
- Оптичний модуль у складі денної відеокамери;
- Елементи живлення (аккумуляторні батареї);
- Кріпильні матеріали;
- Провідники, дроти, шлейфи;
- Радіоелектронні компоненти.

6. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

6.1 Вимоги призначення комплексу

- Максимальна дальність радіозв'язку між ПДК та БЛА — 10 км;
- Максимальна дальність радіозв'язку між БСЗ та БЛА — 20 км;
- Максимальний час роботи комплексу без підзарядки — 35 хв;
- Робоча частота — 2,4 ГГц (радіокерування), 1,2 ГГц (передача відеосигналу);

6.2 Вимоги до БЛА

- Максимальний час польоту (без вітру) — 40 хв;
- Максимальний час зависання (без вітру) — 35 хв;

					PI81.202138.001 T3	Лис
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- Максимальна швидкість підйому — 3 м/с;
- Максимальна швидкість спуску — 3 м/с;
- Максимальна швидкість польоту — 10 м/с;
- Максимальна висота польоту (над рівнем моря) — 4 км;
- Максимальна злітна вага — 1 кг;
- Максимальна дальність польоту — 20 км;
- Максимально допустима швидкість вітру — 10 м/с.
- Робота з GPS, Galileo;

6.3 Вимоги до ПДК

- Максимальний час автономної роботи — 5 год;
- Наявність роз'ємів USB Type-C та microSD.

6.4 Вимоги до БСЗ

- Максимальний час автономної роботи (направлена антена) — 2 год;
- Максимальний час автономної роботи (ненаправлена антена) — 5 год;
- Можливість роботи з направленими та ненаправленими антенами;

6.5 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх факторів

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 УХЛ-1.1.

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001, Н7.

6.6 Вимоги надійності

Напрацювання на відмову комплексу (без врахування відмов акумуляторів) — не менше 1000 годин;

Напрацювання на відмову акумулятора — 150 год.

6.7 Вимоги до конструкції

Основні конструкційні вимоги складових частин уточнюють у процесі роботи.

					<i>PI81.202138.001 T3</i>	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

6.8 Вимоги технологічності

Вимоги до виробничої, експлуатаційної та ремонтної технологічності уточнюються у процесі роботи та узгоджуються на етапі підготовки до виробництва дослідного зразка.

6.9 Вимоги уніфікації та стандартизації

Кількісні показники уніфікації та стандартизації не висуваються.

6.10 Вимоги до дизайну і ергономіки

Комплекс повинен мати мінімалістичний та інтуїтивно зрозумілий дизайн.

Пульт дистанційного керування повинен мати ергономічну форму розраховану на користування людьми різного віку та статі.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ВИМОГИ

Середня собівартість виготовлення пристрою при серійному виробництві не має перевищувати 500 доларів США.

8. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація має відповідати вимогам ДСТУ та вимогам Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

9. СТАДІЇ ТА ЕТАПИ ПРОЕКТУ

- Написання ТЗ та його аналіз;
- Технічна пропозиція (аналіз варіантів конструкції);
- Вибір компонентів та матеріалів;
- Проектування оригінального (друкованого) вузла;
- Розрахунки, що підтверджують працездатність;
- Оформлення пояснювальної записки;
- Розробка креслень.

					<i>PI81.202138.001 ТЗ</i>	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

10. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ПРОЕКТУ

При завершенні проекту подаються пояснювальні записки на складові частини п. 5 та набір відповідних проектно-конструкторських документів. Захист проекту проводиться публічно в установленого порядку.

					<i>PI81.202138.001 T3</i>	Лис
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б. РОЗРАХУНКИ МІНІМАЛЬНОЇ ПЛОЩІ ДП

Позначення елемента	Кількість	Ім'я типу посадкового місця	S компоненту, кв. мм	k	S заг., кв. мм
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51, C52	61	CAP_0805	7,6	1	463,6
C9	1	680uF_25V_SMD	140,87	1	140,87
C19	1	220uF_10V_SMD	58,53	1	58,53
DA1	1	TO-263	194,02	1,5	291,03
DA2, DA3, DA4, DA6	6	SOT-223	58,98	1	353,88
DA5, DA9, DA10, DA11	4	QFN24	27,93	2	223,44
DD1	1	28TSSOP-EP	82,2	2	164,4
DD2	1	LQFP100	306,65	3	919,95
DD3	1	QFN24-MPU	27,86	2	55,72
DD4	1	LGA-8	8,61	1,5	12,915
DD5, DD6, DD7, DD8	4	QFN20	14,51	2	116,08
L1	1	CDRH	175,49	1	175,49
L2	1	2524_COIL	49,02	1	49,02
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59	73	RES_0805	6,63	1	483,99
VD1	1	SOD-128	16,88	1	16,88
VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8, VT9, VT10, VT11, VT12, VT13, VT14, VT15, VT16, VT17, VT18, VT19, VT20, VT21	24	TSON-8	39,24	1	941,76
X1	1	XT60-PB-M	137,02	1	137,02
X2	1	S2B-PH-SM4	78,96	1	78,96
X3	1	B4B-PH-K	53,6	1,5	80,4
X4	1	B3B-PH-K	43,39	1	43,39
X5	1	B6B-PH-K	74,01	1,5	111,015
X6	1	S3B-PH-SM4-TB	97,76	1	97,76
X7	1	S3B-PH-SM4-TB	97,76	1	97,76
X8	1	S3B-PH-SM4-TB	97,76	1	97,76
X9	1	B3B-PH-K	43,39	1	43,39
X10	1	JTAG_CONN	27,19	1,5	40,785
X11, X12, X13, ZQ1	4	MOTOR_CONN	58,21	1	232,84
ZQ2	1	2-SMD_CRYSTALL	22,93	1	22,93
	1	ECS-80-20-20A-TR	44,61	1	44,61
M1, M2, M3, M4, M5, M6	8	Гвинт M3	36	1	288
			Мінімальна площа плати, кв. мм		5884,175

ДОДАТОК В. РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ПРОВІДНИКІВ ТА ЗАЗОРУ МІЖ НИМИ

Розрахунок ширини друкованих провідників для всіх присутніх у схемі рівнів сигналу

Для сигнальних провідників з напругою 5 В:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

Вибираємо за 4 класом точності $t_{minD_S} := 0.15 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.03 \text{ mm}$

$$t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.18 \text{ mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $t_{minD_S} := 0.25 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.05 \text{ mm}$

$$t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.3 \text{ mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho_S := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_S := 0.05 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жнв_S} := 5 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.2 \text{ A}$

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \rho}{h_S \cdot U_{жнв_S} \cdot 0.03} = 0.011 \text{ mm}$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричною принциповою та *DataSheet* на корпус. Довжина провідника обирається згідно довжини з'єднання в файлі проекту друкованої плати.

Мінімально допустиму ширину провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.2 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_S := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.095 \text{ mm}$$

Для силових провідників з напругою 5 В:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за 4 класом точності $t_{minD_P} := 0.15 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_P} := -0.03 \text{ mm}$

$$t_{1V_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{no_P}| = 0.18 \cdot \text{mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_P} := 0.25 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_P} := -0.05 \text{ mm}$

$$t_{1III_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{no_P}| = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t_2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників ($\text{Om} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{мм}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_P := 0.05 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жив_P} := 5 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_P} := 2 \text{ A}$

$$t_{2P} := \frac{l_P \cdot I_{max_P} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{жив_P} \cdot 0.03} = 0.111 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t_3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_P} := 2 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику ($\text{A}/\text{мм}^2$)- $j_P := 20 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}$

$$t_{3P} := \frac{I_{max_P}}{h_P \cdot j_P} = 0.952 \cdot \text{mm}$$

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових з напругою 5 В:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_P & \text{у вузькому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_P & \text{у широкому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases}$$

$$t_{min_v_P} := \max(t1V_P, t2_P, t3_P) = 0.952 \cdot \text{mm} \quad t_{min_w_P} := \max(t1III_P, t2_P, t3_P) = 0.952 \cdot \text{mm}$$

Для сигнальних з напругою 5 В:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_S & \text{у вузькому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_S & \text{у широкому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases}$$

$$t_{min_v_S} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.18 \cdot \text{mm} \quad t_{min_w_S} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника $t_{min_w_S} = 0.3 \cdot \text{mm}$

Рекомендована ширина для силового провідника $t_{min_w_P} = 0.952 \cdot \text{mm}$

Якщо не можливо провести провідник шириною $t_{min_w_P} = 0.952 \cdot \text{mm}$ та $t_{min_w_S} = 0.3 \cdot \text{mm}$

то можна використувати ширину провідників $t_{min_v_P} = 0.952 \cdot \text{mm}$ та $t_{min_v_S} = 0.18 \cdot \text{mm}$

Розрахунок зазорів S між елементами друкованого монтажу:

Найменша номінальна відстань S_m між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками)

Мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами (мм)- $S_m := 0.15 \text{mm}$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) (мм)- $\Delta t_{bo} := 0.03 \text{mm}$

$$S_{min} := S_m + \Delta t_{bo} = 0.18 \cdot \text{mm}$$

Для сигнальних провідників з напругою 3,3 В:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за 4 класом точності $t_{minD_S} := 0.15 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.03 \text{ mm}$

$$t1V_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.18 \cdot \text{mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $t_{minD_S} := 0.25 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_S} := -0.05 \text{ mm}$

$$t1III_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_S := 0.05 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жнв_S} := 3.3 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.2 \text{ A}$

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жнв_S} \cdot 0.03} = 0.017 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)- $I_{max_S} := 0.2 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_S := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_S := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t3_S := \frac{I_{max_S}}{h_S \cdot j_S} = 0.095 \cdot \text{mm}$$

Для силових провідників з напругою 3,3 В:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за 4 класом точності $t_{minD_P} := 0.15 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_P} := -0.03 \text{ mm}$

$$t_{1V_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{ho_P}| = 0.18 \cdot \text{mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_P} := 0.25 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{ho_P} := -0.05 \text{ mm}$

$$t_{1III_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{ho_P}| = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_P := 0.05 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жив_P} := 3.3 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_P} := 0.5 \text{ A}$

$$t_{2_P} := \frac{l_P \cdot I_{max_P} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{жив_P} \cdot 0.03} = 0.042 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_P} := 0.5 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_P := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t_{3_P} := \frac{I_{max_P}}{h_P \cdot j_P} = 0.238 \cdot \text{mm}$$

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових з напругою 3,3 В:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_P & \text{у вузькому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_P & \text{у широкому місці} \\ t2_P \\ t3_P \end{cases}$$

$$t_{min_vP} := \max(t1V_P, t2_P, t3_P) = 0.238 \cdot \text{mm} \quad t_{min_wP} := \max(t1III_P, t2_P, t3_P) = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Для сигнальних з напругою 3,3 В:

$$t_{min_v} \geq \begin{cases} t1V_S & \text{у вузькому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases} \quad t_{min_w} \geq \begin{cases} t1III_S & \text{у широкому місці} \\ t2_S \\ t3_S \end{cases}$$

$$t_{min_vS} := \max(t1V_S, t2_S, t3_S) = 0.18 \cdot \text{mm} \quad t_{min_wS} := \max(t1III_S, t2_S, t3_S) = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Рекомендована ширина для сигнального провідника $t_{min_wS} = 0.3 \cdot \text{mm}$

Рекомендована ширина для силового провідника $t_{min_wP} = 0.3 \cdot \text{mm}$

Якщо не можливо провести провідник шириною $t_{min_wP} = 0.3 \cdot \text{mm}$ та $t_{min_wS} = 0.3 \cdot \text{mm}$
то можна використувати ширину провідників $t_{min_vP} = 0.238 \cdot \text{mm}$ та $t_{min_vS} = 0.18 \cdot \text{mm}$

Для силових провідників з напругою 16,8 В:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за 4 класом точності $t_{minD_P} := 0.15 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_P} := -0.03 \text{ mm}$

$$t_{1V_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{no_P}| = 0.18 \cdot \text{mm}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $t_{minD_P} := 0.25 \text{ mm}$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{no_P} := -0.05 \text{ mm}$

$$t_{1III_P} := t_{minD_P} + |\Delta t_{no_P}| = 0.3 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм²/м)- $\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Довжина провідника (м)- $l_P := 0.05 \text{ m}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Прикладена напруга (В)- $U_{жив_P} := 16.8 \text{ V}$

Максимальний струм (А)- $I_{max_P} := 20 \text{ A}$

$$t_{2V_P} := \frac{l_P \cdot I_{max_P} \cdot \rho}{h_P \cdot U_{жив_P} \cdot 0.03} = 0.331 \cdot \text{mm}$$

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $I_{max_P} := 20 \text{ A}$

Товщина фольги (мм)- $h_P := 105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Допустима щільність струму в провіднику (А/мм²)- $j_P := 20 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

$$t_{3_P} := \frac{I_{max_P}}{h_P \cdot j_P} = 9.524 \cdot \text{mm}$$

Для силових з напругою 16,8 В:

Рекомендована ширина для силового провідника $t_{min_w_P} = 0.3 \cdot \text{mm}$

ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	CL21B105KBCGCNC – Samsung 1 мкФ 50 В ± 10%	1	
C2	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1	
C3-C5	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	3	
C6	CL21B107KBCGCNC – Samsung 100 мкФ 50 В ± 10%	1	
C7, C8	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	2	
C9	EEEFN1E681UV – Panasonic 680 мкФ 25 В ± 20%	1	
C10-C13	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	4	
C14	CL21B105KBCGCNC – Samsung 1 мкФ 50 В ± 10%	1	
C15	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	1	
C16	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1	
C17	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	1	
C18	CL21B225KBCGCNC – Samsung 2,2 мкФ 50 В ± 10%	1	
C19	EEEEPA221XAV – Panasonic 220 мкФ 10 В ± 20%	1	
C20	CL21B225KBCGCNC – Samsung 2,2 мкФ 50 В ± 10%	1	
C21	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	1	
C22,C23	CL21B270KBCGCNC – Samsung 27 пФ 50 В ± 10%	2	
C24	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1	
C25	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	1	
C26	CL21B226KBCGCNC – Samsung 22 мкФ 50 В ± 10%	1	
C27	CL21B107KBCGCNC – Samsung 100 мкФ 50 В ± 10%	1	
C28	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1	
C29	CL21B226KBCGCNC – Samsung 22 мкФ 50 В ± 10%	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI81.202138.001 ПЕ Безпілотний авіаційний комплекс. Основний електронний модуль літального апарату	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Броварник						
Перевір.		Адаменко					1	4
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ		
Н. Контр		Адаменко						
Затверд.		Адаменко						

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки				
C30,C31	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	2					
C32	CL21B103KBCGCNC – Samsung 10 нФ 50 В ± 10%	1					
C33,C34	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	2					
C35	CL21B222KBCGCNC – Samsung 2,2 нФ 50 В ± 10%	1					
C36	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1					
C37	CL21B226KBCGCNC – Samsung 22 мкФ 50 В ± 10%	1					
C38	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1					
C39-C42	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	4					
C43-C45	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	3					
C46	CL21B226KBCGCNC – Samsung 22 мкФ 50 В ± 10%	1					
C47	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	1					
C48,C49	CL21B226KBCGCNC – Samsung 22 мкФ 50 В ± 10%	2					
C50,C51	CL21B475KBCGCNC – Samsung 4,7 мкФ 50 В ± 10%	2					
C52-C63	CL21B104KBCGCNC – Samsung 100 нФ 50 В ± 10%	12					
	Мікросхеми						
DA1	LM2596S-5.0/NOPB — Texas Instruments	1					
DA2-DA4	REG1117-3.3/2K5 — Texas Instruments	3					
DA5	FD6288Q — Fortior	1					
DA6-DA8	REG1117-3.3/2K5 — Texas Instruments	3					
DA9-DA11	FD6288Q — Fortior	3					
DD1	MAX7456 — Maxim Integrated	1					
DD2	STM32F411VET6 — STMicroelectronics	1					
DD3	MPU-6000 — InvenSense	1					
DD4	BMP280 — Bosch	1					
DD5-DD8	EFM8BB21F16G-C-QFN20R — Silicon Labs	4					
			Арк.				
			2				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI81.202138.001 ПЕ		

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Котушки індуктивності</u>		
L1	CDRH127LDNP-101MC — Sumida 100 мкГн 2 А ± 20%	1	
L2	MDH6045C-330MB — Murata 33 мкГн 1 А ± 20%	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	RC0805FR-75R — Hitano 75 Ом 0,125 Вт ± 1%	1	
R2-R4	RC0805FR-10KR — Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	3	
R5,R6	RC0805FR-1KR — Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
R7	RC0805FR-75R — Hitano 75 Ом 0,125 Вт ± 1%	1	
R8	RC0805FR-1KR — Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R9	RC0805FR-3KR — Hitano 3 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R10	RC0805FR-4K7R — Hitano 4,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R11	RC0805FR-1K2R — Hitano 1,2 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R12,R13	RC0805FR-4K7R — Hitano 4,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
R14	RC0805FR-6K7R — Hitano 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R15	RC0805FR-1K1R — Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R16	RC0805FR-10KR — Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R17-R19	RC0805FR-1K1R — Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%	3	
R20-R22	RC0805FR-6K7R — Hitano 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	3	
R23-R28	RC0805FR-1KR — Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	6	
R29-R31	RC0805FR-6K7R — Hitano 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	3	
R32	RC0805FR-1K1R — Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R33	RC0805FR-10KR — Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
R34,R35	RC0805FR-1K1R — Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
R36,R37	RC0805FR-10KR — Hitano 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	2	
			Арк.
			3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
		Дата	

PI81.202138.001 ПЕ

Позн		Найменування			Кіл.	Примітки
R38-R44		RC0805FR-1K1R – Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%			7	
R45-R47		RC0805FR-6K7R – Hitano 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%			3	
R48,R49		RC0805FR-1K1R – Hitano 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%			2	
R50-R55		RC0805FR-6K7R – Hitano 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%			6	
R56-R73		RC0805FR-1KR – Hitano 1 кОм 0,125 Вт ± 1%			18	
VD		Діод SS54FSH – Taiwan Semiconductor			1	
VT1-24		Транзистор TPN2R203NC – Toshiba			24	
		<u>Роз'єми</u>				
X1		XT60PB-M – Amass			1	
X2		S2B-PH-SM4-TB – JST			1	
X3		B4B-PH-K-S – JST			1	
X4		B3B-PH-K-S – JST			1	
X5		B6B-PH-K-S – JST			1	
X6-X8		S3B-PH-SM4-TB – JST			3	
X9		B3B-PH-K-S – JST			1	
X10		Контактні майданчики			1	
X11-X14		Контактні майданчики			4	
		<u>Кварцові резонатори</u>				
ZQ1		ECS-80-20-20A-TR – ECS Inc International 8 МГц			1	
ZQ2		ABM32-27MHz-S-R40-C-7GT – ABRACON 27 МГц			1	
					PI81.202138.001 ПЕ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						Арк. 4

ДОДАТОК Д. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНИЙ ВУЗОЛ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Пр.
				<u>Документація</u>		
A3			PI81.202138.001 СК	Складальний кресленик		
A1			PI81.202138.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			PI81.202138.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
A3		1	PI81.758724.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Діод SS54FSH	1	
				Кварцовий резонатор 8 МГц	1	
				ECS-80-20-20A-TR		
				Кварцовий резонатор 27 МГц	1	
				ABM32-27MHz-S-R40-C-7GT		
				Конденсатор 1 мкФ 50 В ± 10%	2	
				Конденсатор 2,2 мкФ 50 В ± 10%	2	
				Конденсатор 4,7 мкФ 50 В ± 10%	12	
				Конденсатор 22 мкФ 50 В ± 10%	6	
				PI81.202138.001		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.	Броварник				Лит.	Арк.
Перев.	Адаменко					1
Т.конт	Адаменко				PI81, РТФ	
Н.конт	Адаменко					
Затв.	Адаменко					
Електронний модуль Літального апарату (основний)					Аркушів	3

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Пр.
				Конденсатор 100 мкФ 50 В ± 10%	2	
				Конденсатор 2,2 нФ 50 В ± 10%	1	
				Конденсатор 10 нФ 50 В ± 10%	1	
				Конденсатор 100 нФ 50 В ± 10%	30	
				Конденсатор 27 пФ 50 В ± 10%	2	
				Конденсатор електролітичний	1	
				220 мкФ 10 В ± 20%		
				Конденсатор електролітичний	1	
				680 мкФ 25 В ± 20%		
				Котушка індуктивності 33 мкГн	1	
				1А ± 20%		
				Котушка індуктивності 100 мкГн	1	
				2А ± 20%		
				Мікроконтролер	1	
				EFM8BB21F16G-C-QFN20R		
				Мікроконтролер STM32F411VET6	1	
				Мікросхема барометр BMP280	1	
				Мікросхема драйвер мотору	4	
				FD6288Q		
				Мікросхема MEMС Гіроскоп	1	
				та акселерометр MPU-6000		
				Мікросхема стабілізатор напруги	6	
				REG1117-3.3/2K5		
				Мікросхема стабілізатор напруги	1	
				LM2596S-5.0/NOPB		
				PI81.202138.001		2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Пр.
				Мікросхема OSD MAX7456	1	
				Резистор 75 Ом 0,125 Вт ± 1%	2	
				Резистор 1 кОм 0,125 Вт ± 1%	27	
				Резистор 1,1 кОм 0,125 Вт ± 1%	16	
				Резистор 1,2 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
				Резистор 3 кОм 0,125 Вт ± 1%	1	
				Резистор 4,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	3	
				Резистор 6,7 кОм 0,125 Вт ± 1%	16	
				Резистор 10 кОм 0,125 Вт ± 1%	7	
				Роз'єм живлення XT-60PB-M	1	
				Роз'єм B3B-PH-K-S	2	
				Роз'єм B4B-PH-K-S	1	
				Роз'єм B6B-PH-K-S	1	
				Роз'єм S2B-PH-SM4-TB	1	
				Роз'єм S3B-PH-SM4-TB	3	
				<u>Матеріали</u>		
				Припій ПОС 61 ГОСТ 21930-76		
				Паста паяльна ПП-140		
				AУ70.033.013 ТУ		