

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Радіотехнічний факультет  
Кафедра радіотехнічних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри



Сергій ЖУК

« 16 » 06 \_\_\_\_\_ 2025 р.

Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою  
«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»  
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
на тему: «Декодер для системи моніторингу цивільних літальних  
апаратів»

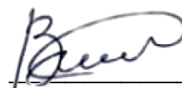
Виконав: студент IV курсу, групи РС-11

Шуляк Микола Сергійович



Керівник:

к.т.н., ст.викл, Вишневий Сергій Валерійович



Рецензент:

ас. Броварник Сергій Анатолійович

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

Студент



Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Радіотехнічний факультет**  
**Кафедра радіотехнічних систем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

*СМЧ* зав. кафедри

Сергій ЖУК

« 14 » 04 20 25 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Шуляк Микола Сергійович**

( прізвище, ім'я по батькові )

1. Тема проєкту «Декодер для системи моніторингу цивільних літальних апаратів»

керівник проекту ст.викл. Вишневий\_Сергій\_Валерійович затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1840-с

2. Строк подання проєкту 16 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту Напруга живлення 5В. Передача даних з приймача на декодер який передає на ПК.

4. Зміст пояснювальної записки 1) Актуальність проблеми 2) Огляд існуючих рішень, 3) Розробка схеми електричної принципової 3) Проектування друкованого вузла 4)Конструювання корпусу та пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу: Схема електрична принципова, складальний кресленик пристрою, презентація 15 сторінок.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


7. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	14.04.25-06.05.25	
2	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	8.05.25-12.05.25	
3	Розробка схеми електричної принципової	15.05.25-20.05.25	
4	Розробка друкованої плати	22.05.25-26.05.25	
5	Розробка конструкторської документації	28.05.25-30.05.25	
6	Оформлення текстової та графічної документації	30.05.25-13.06.25	

Студент:  Микола ШУЛЯК

Керівник проекту: Сергій ВИШНЕВИЙ

  
\_\_\_\_\_

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## АНОТАЦІЯ

У рамках дипломного проєкту розробляється апаратна частина декодера для системи моніторингу цивільних літальних апаратів, зокрема таких, що використовують протокол ADS-B. Робота включає в себе розробку електричної принципової схеми, підбір елементної бази, проектування друкованої плати, аналіз структурної побудови існуючих рішень та обґрунтування вибору компонентів. Проєкт супроводжується пояснювальною запискою обсягом ... сторінок і містить додатки, до яких входять: структурна схема пристрою, електрична принципова схема, специфікація елементів, складальне креслення та креслення друкованої плати, а також специфікація на друкований вузол. Метою проєкту є створення недорогого, функціонального декодера сигналів ADS-B, що здатен приймати дані з радіоприймача та передавати їх у зручному вигляді для подальшої обробки. Основним елементом пристрою є мікроконтролер PIC18F2550, що забезпечує обробку сигналів та передачу даних через USB.

**Ключові слова:** декодер, ADS-B, моніторинг, мікроконтролер, PIC18F2550.

## ANNOTATION

As part of the diploma project, a decoder hardware part is being developed for a civilian aircraft monitoring system, in particular those using the ADS-B protocol. The work includes the development of an electrical schematic diagram, selection of an element base, design of a printed circuit board, analysis of the structural design of existing solutions and justification of the choice of components.

The project is accompanied by an explanatory note of ... pages and contains appendices, which include: a structural diagram of the device, an electrical schematic diagram, a bill of materials, an assembly drawing and a printed circuit board drawing, as well as a specification for a printed assembly.

The aim of the project is to create an inexpensive, functional ADS-B signal decoder capable of receiving data from a radio receiver and transmitting it in a convenient form for further processing. The main element of the device is the PIC18F2550 microcontroller, which provides signal processing and data transfer via USB.

**Keywords:** decoder, ADS-B, monitoring, microcontroller, PIC18F2550.

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Декодер для системи моніторингу цивільних**  
**літальних апаратів»**

Київ – 2025 року

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	7
<b>1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ</b> .....	13
<b>1.1 ADS-B декодер RTL-SDR + Dump1090.</b> .....	14
<b>1.2 Avare ADS-B Receiver (Open Flight Solutions).</b> .....	15
<b>1.3 Mode-S Beast Decoder.</b> .....	16
<b>1.4 Висновок</b> .....	17
<b>2 РОЗРОБКА СХЕМИ ПРИСТРОЮ</b> .....	19
<b>2.1 Синтез структурної схеми</b> .....	20
<b>2.2 Проектування схеми електричної принципової.</b> .....	24
<b>2.3 Вибір елементної бази</b> .....	27
<b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ</b> .....	43
<b>3.1 Проектування та трасування ДП</b> .....	45
<b>4 РОЗРОБКА КОРПУСУ ТА ГОТОВОГО ПРИСТРОЮ</b> .....	47
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	51
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	52
<b>ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ</b> .....	53
<b>ДОДАТОК Б. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ</b> ...	54
<b>ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ</b> .....	59
<b>ДОДАТОК Г. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА</b> .....	60
<b>ДОДАТОК Д. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА</b> .....	61
<b>ДОДАТОК Е. ДРУКОВАННА ПЛАТА</b> .....	62
<b>ДОДАТОК Є. СТРУКТУРНА СХЕМА</b> .....	64

					<b>РС11. 467200.001</b>		
Зм.	Лист	№ Документа	Підпис	Дата			
Розробив		Шуляк М.С.			<b>Лім.</b>	<b>Лист</b>	<b>Листів</b>
Перев.		Вишневий С.В.				7	
Н.Контр.		Піддубний В.О			<b>РТФ НТУУ «КПІ»</b>		
Зав. Каф.							

**Декодер для системи  
моніторингу цивільних  
літальних апаратів**

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДП - друкована плата

ТЗ - технічне завдання

ADS-B - Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

ICAO - International Civil Aviation Organization

SDR - Software Defined Radio

USB - Universal Serial Bus

PCB - Printed Circuit Board

BOM - Bill of Materials

MCU - Microcontroller Unit

ЦЛА - цивільні літальні апарати

ПЗ - програмне забезпечення

ПК - персональний комп'ютер

DRC - Design Rule Check

THT - Through-Hole Technology

RoHS - Restriction of Hazardous Substances Directive

IPC - Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						2
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

## ВСТУП

З розвитком цифрових технологій та систем управління повітряним рухом зростає потреба у точному та безперебійному моніторингу положення літальних апаратів у повітряному просторі. Одним із сучасних рішень, яке широко використовується в цивільній авіації, є технологія **ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)** — система, що дозволяє повітряним суднам автоматично транслювати свої координати, швидкість, висоту та інші дані.

Системи моніторингу на основі ADS-B забезпечують високу точність відстеження літаків у режимі реального часу. Вони використовуються як в державному, так і в цивільному секторі — для управління повітряним рухом, безпеки, аналізу польотів, а також у таких онлайн-сервісах, як **Flightradar24**, що візуалізують переміщення літаків по всьому світу.

Водночас, більшість ADS-B приймачів базуються на програмно-апаратних рішеннях, що можуть бути складними та дорогими для окремих застосувань. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні **простого та доступного апаратного декодера ADS-B сигналів**, який можна інтегрувати до ширших систем моніторингу.

**Мета:** Метою даного дослідження є розробка та створення прототипу апаратного декодера для приймання та попередньої обробки сигналів ADS-B, з подальшою передачею даних на зовнішні пристрої. Рішення має відповідати сучасним вимогам до енергоефективності, компактності та стабільності в умовах роботи з радіосигналами.

**Об'єкт та предмет дослідження:** Об'єктом дослідження є система моніторингу цивільних літальних апаратів на основі ADS-B. Предметом дослідження є апаратна частина декодера — принципова схема, підбір елементної бази, реалізація обробки сигналу за допомогою мікроконтролера PIC18F2550, а також проектування друкованої плати.

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						3
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис _	Дата		

**Актуальність:** Актуальність проекту обумовлена зростаючим використанням безпілотних систем, необхідністю моніторингу повітряного простору в режимі реального часу, а також потребою в низьковартісних апаратних рішеннях для декодування ADS-B сигналів. Крім того, такий пристрій може бути корисним у навчальних, дослідницьких або виробничих цілях, зокрема у сфері оборонної промисловості, де потрібна інтеграція з наземними системами управління та спостереження.

### **Методи дослідження:**

- 1. Аналіз принципу роботи та структури систем ADS-B.** Вивчення специфікації сигналів 1090ES, стандартів ICAO, огляд архітектури типових декодерів (включаючи ті, що використовуються у Flightradar24 та подібних системах), дослідження форматів повідомлень.
- 2. Розробка апаратної частини пристрою, включаючи:**
  - створення електричної принципової схеми;
  - підбір елементної бази (резистори, конденсатори, кварц, інтерфейсні елементи, індикатори, мікроконтролер PIC18F2550 тощо);
  - проектування друкованої плати засобами **Altium Designer**.
- 3. Інтеграція інтерфейсу для виведення даних, що декодуються** (наприклад, через USB або UART), підготовка умов для подальшого прийому та обробки сигналів за участю зовнішнього ПЗ.

### **Очікувані результати:**

- 1. Створення робочого прототипу апаратного ADS-B декодера, який** здатен приймати, попередньо обробляти та передавати повідомлення з літаків, що транслюють на частоті 1090 МГц, без застосування складних ПЗ або SDR-рішень.

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						4
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис _	Дата		

2. **Забезпечення мінімальних габаритів та енергоефективності**, що дозволить інтегрувати розробку в інші системи моніторингу (зокрема — наземні роботизовані комплекси подвійного призначення).
3. **Можливість подальшого вдосконалення та масштабування** пристрою для використання у сфері безпеки, промислових та навчальних систем, або в якості окремого модуля систем контролю повітряного простору.

Для реалізації поставлених завдань та досягнення мети дослідження використовується **Altium Designer** — сучасна САПР для проектування електроніки, яка забезпечує повний цикл створення схеми, топології плати та генерації документації. Також розглядається можливість симуляції схем на рівні передпроектної перевірки працездатності.

					<b>РС11. 467200.001 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа_</i>	<i>Підпис _</i>	<i>Дата</i>		5

## АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

У сучасному світі зростає потреба в ефективному контролі повітряного простору, як у цивільній, так і у військовій сфері. Однією з найпоширеніших технологій для цього є **ADS-B** (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) — система, яка дозволяє літальним апаратам автоматично передавати свої координати, висоту, швидкість та інші параметри через радіосигнал на частоті **1090 МГц**. Дані можуть прийматися безпосередньо без участі супутникового або наземного зв'язку, що робить систему простою та доступною для інтеграції.

**Flightradar24, ADS-B Exchange** та інші системи наочно демонструють, як завдяки таким технологіям можливо відслідковувати пересування тисяч літаків у режимі реального часу. У промисловому секторі такі рішення використовуються для моніторингу повітряної обстановки, раннього виявлення загроз та формування інформаційного поля в реальному часі.

Водночас готові **ADS-B приймачі або системи з використанням SDR (Software Defined Radio)** — дорогі, енергозатратні або потребують складного програмного забезпечення. Розробка **спеціалізованого апаратного декодера**, який виконуватиме лише функцію прийому та розбору повідомлень ADS-B з подальшою передачею даних у зовнішню систему, дозволяє **зменшити собівартість, габарити і споживання енергії**.

Таке рішення буде актуальним:

- для використання в складі **автономних мобільних або наземних систем моніторингу**;
- для військових розробок з **аналітикою повітряної обстановки без передачі інформації в мережу**;

					<b>РС11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						6
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис _	Дата		

- для навчальних цілей або як **блок у складі більших систем БПЛА, РЛС або РЕР.**

Таким чином, розробка компактного декодера ADS-B дозволить суттєво **розширити можливості недорогих систем виявлення та спостереження**, що особливо важливо в сучасних умовах та необхідності оперативного реагування на загрози з повітря.

Вже кілька років використовується нове покоління транспондерів, які підтримують новий режим Mode-S. Цей тип транспондера надсилає більше даних (ADS-B-дані), ніж попередні типи. І вони передають дані, навіть якщо їх не запитують. Ця функція називається сквіттером. Кожен може отримати цю сквіттер-інформацію та створити власне віртуальне радіолокаційне зображення з положенням (та додатковою інформацією) всіх літаків, що видають сквіттер. Близько 70...80 відсотків усіх літаків передають таку інформацію. Таким чином, віртуальний радар дає вам гарне уявлення про повітряний рух у вашому районі.

					<b>РС11. 467200.001 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						7
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа_</i>	<i>Підпис _</i>	<i>Дата</i>		

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ

## Принцип роботи ADS-B та завдання декодера

Система **ADS-B** є сучасним стандартом спостереження за повітряним рухом, який передбачає автоматичну передачу повітряним судном власних параметрів — зокрема координат, швидкості, висоти, напрямку, номера рейсу тощо — без запиту з боку наземних станцій. Інформація передається у вигляді коротких пакетів на частоті **1090 МГц** у вигляді імпульсних сигналів, які приймаються як офіційними авіаційними службами, так і доступними громадськими системами (наприклад, Flightradar24).

На борту літака відповідальним за трансляцію є **транспондер Mode-S з підтримкою Extended Squitter (ADS-B Out)**, який періодично (приблизно двічі на секунду) надсилає бінарні повідомлення з актуальними даними. Отримати цю інформацію може будь-який приймач у зоні прямої видимості, що дозволяє створити розподілену мережу спостереження за повітряним рухом.

У складі такої системи **декодер** виконує критично важливу роль — він приймає сигнал від приймача, виділяє з нього ADS-B відповіді, виконує попередню обробку та перетворення в цифрові дані, які передаються далі на ПК або в іншу систему. Таким чином, функціонально декодер повинен забезпечувати:

- **Виявлення початку повідомлення** у прийнятому сигналі (синхрослово preamble).
- **Оцифрування імпульсної послідовності** тривалістю 112 або 56 біт (залежно від формату).
- **Дешифрування та форматування** даних згідно зі стандартами ICAO (включно з CRC-перевіркою).

- **Передачу розшифрованих даних** у зручному форматі (наприклад, AVR або SBS) до комп'ютера через інтерфейс зв'язку (у даному проєкті — USB).

Оскільки ADS-B повідомлення передаються на високій частоті (1090 МГц), класичні мікроконтролери не мають змоги приймати сигнал безпосередньо. Тому перед декодером обов'язково використовується **високочастотний приймач (наприклад, SDR або спеціалізований аналоговий модуль)**, який знижує частоту та формує потік імпульсів логічного рівня — саме цей потік і є вхідним сигналом для декодера.

### 1.1 ADS-B декодер RTL-SDR + Dump1090.

**Ціна:** ≈ 50 USD (RTL-SDR + антена).

**Опис:** Цей декодер базується на недорогому SDR-приймачі RTL2832U, який у поєднанні з програмою *Dump1090* дозволяє приймати сигнали ADS-B з літаків. Декодування здійснюється програмно на ПК. Підходить для пасивного моніторингу в радіусі до 100–200 км (залежно від антени). Зовнішній вигляд показано на рис. 1.1.

#### Технічні особливості:

- Частота прийому: 1090 МГц
- Метод демодуляції: програмна обробка сигналу
- Вивід координат, висоти, швидкості літаків у реальному часі
- Можливість збереження історії
- Потребує комп'ютера або Raspberry Pi для роботи

#### Переваги:

- Низька вартість
- Програмна гнучкість
- Можливість масштабування

#### Недоліки:

- Вимагає зовнішнього пристрою обробки (ПК або SBC)
- Залежність від якості антени

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						9
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		



Рисунок 1.1 – Ілюстрація RTL-SDR Blog V4

## 1.2 Avare ADS-B Receiver (Open Flight Solutions).

**Ціна:** ≈ 199 USD.

**Опис:** Комерційний приймач сигналів ADS-B, що підключається до планшета або смартфона через Wi-Fi. Призначений для приватного авіаційного використання (General Aviation). Обробляє сигнали та передає вже декодовану інформацію на мобільний пристрій. Зовнішній вигляд показано на рис. 1.2.

### Технічні особливості:

- Вбудований ARM-процесор
- Підтримка протоколу GDL90
- Прийом метеоінформації та трафіку з літаків
- Живлення від USB

### Переваги:

- Повністю автономний пристрій
- Працює з популярними мобільними додатками (Avare, ForeFlight)
- Простота встановлення

### Недоліки:

- Вища вартість
- Закрита архітектура
- Не підлягає гнучкій модифікації або налаштуванню

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						10
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		



Рисунок 1.2 – Ілюстрація Avare ADS-B Receiver

### 1.3 Mode-S Beast Decoder.

**Ціна:**  $\approx$  399 USD.

**Опис:** Це готовий спеціалізований апаратний декодер ADS-B/Mode-S сигналів. Побудований на FPGA та мікроконтролерах. Забезпечує високоякісне декодування авіаційних сигналів з мінімальною затримкою. Поширений серед ентузіастів та у комерційних проектах моніторингу повітряного руху.

Зовнішній вигляд показано на рис. 1.3

#### Технічні особливості:

- Висока чутливість
- Режими роботи: Mode-S, Mode-A/C
- Підтримка протоколу Beast Binary, AVR, SBS
- Передача даних через USB/RS232

#### Переваги:

- Надійність
- Точність та стабільність

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						11
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

- Підтримка мережевого моніторингу (FlightAware, PlanePlotter)

### Недоліки:

- Висока ціна
- Обмежена доступність
- Низька адаптивність для простих проектів

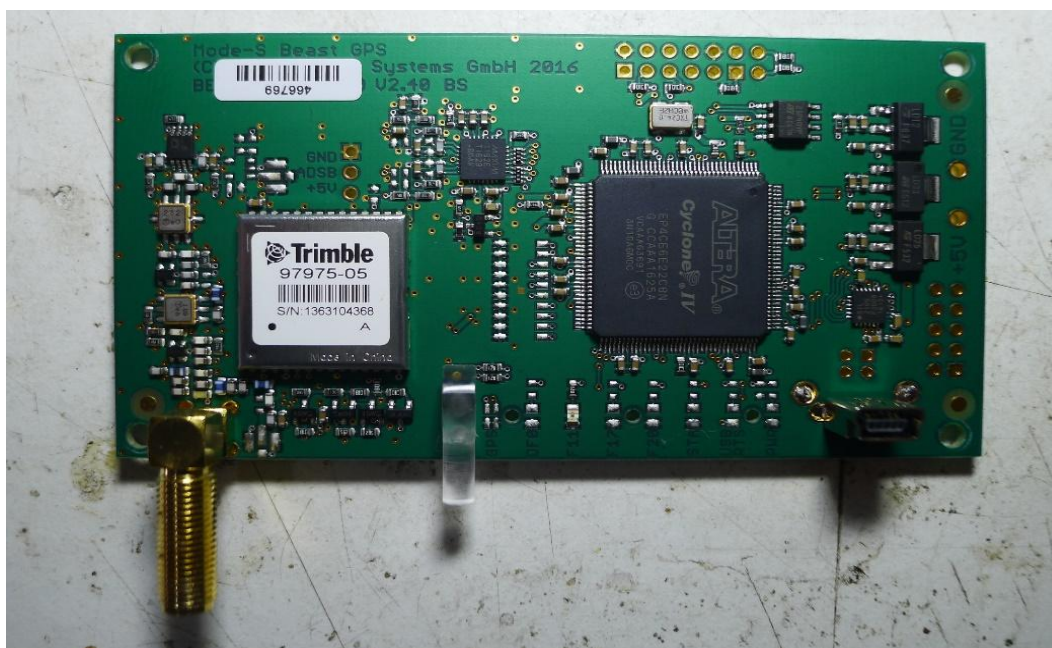


Рисунок 1.3 – Ілюстрація Mode-S Beast Decoder

### 1.4 Висновок

На основі аналізу аналогів видно, що існуючі рішення поділяються на:

- **Програмно-орієнтовані (Dump1090 + RTL-SDR)** – потребують зовнішньої обчислювальної потужності.
- **Готові комерційні модулі (Avare, Mode-S Beast)** – зручні, але коштовні й закриті.
- **Дипломний проект** вирізняється:
  - Вартістю (використовується бюджетний мікроконтролер PIC18F2550)
  - Можливістю гнучкої інтеграції в більші системи

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

- Відкритою архітектурою для модифікацій
- Оптимізацією під конкретні вимоги (наприклад, передача через USB, або вивід у протокол AVR)

Таким чином, створення компактного, енергоефективного та недорогого **апаратного декодера ADS-B** сигналів є доцільним, особливо в умовах обмеженого бюджету, потреби у вбудованому рішенні та простоті інтеграції в більші проекти моніторингу повітряного простору.

					<b>РС11. 467200.001 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа_</i>	<i>Підпис_</i>	<i>Дата</i>		13

## 2 РОЗРОБКА СХЕМИ ПРИСТРОЮ

ADS-B повідомлення надходять у вигляді аналогового відеосигналу, сформованого високочастотним приймачем (наприклад, MiniADS-B або подібними аналоговими модулями). Цей сигнал містить імпульси з амплітудною модуляцією, що відповідають бітовій послідовності ADS-B пакета.

Для подальшої цифрової обробки сигнал повинен бути оцифрований у режимі реального часу. У даному проєкті для цього використовується вбудований аналоговий компаратор мікроконтролера PIC18F2550. Його вхід порівнює амплітуду сигналу з напругою опорного рівня та формує на виході двійковий потік: логічна «1» відповідає високому рівню, а «0» — низькому. Таким чином, компаратор виконує функцію сигналового формувача.

Середній рівень відеосигналу від приймача становить приблизно 700 мВ. Щоб мікроконтролер коректно визначав перепади сигналу, необхідно створити стабільну опорну напругу, трохи вищу за середній рівень (наприклад, близько 800 мВ). У схемі пристрою ця напруга формується без застосування зовнішніх джерел — за допомогою вбудованого ШІМ (широтно-імпульсної модуляції) одного з цифрових виходів PIC.

Зокрема, на вивід 24 подається сигнал ШІМ, який потім проходить через RC-фільтр низьких частот, реалізований на резисторі R7 та конденсаторі C7. Це дозволяє згладити ШІМ і сформувати аналогову постійну напругу, яка подається на вхід 2 компаратора як опорний рівень. Таким чином, мікроконтролер самостійно створює та підтримує необхідну опорну напругу для порівняння сигналу.

На інший вхід компаратора (наприклад, вивід 3) подається сам відеосигнал з приймача. На виході компаратора (вивід 6) формується вже двійковий сигнал, який повертається до мікроконтролера на цифровий вхід (наприклад, вивід 11) для подальшого аналізу.

Такий підхід дозволяє обійтись без окремого АЦП або зовнішніх логічних формувачів, ефективно використовуючи внутрішні ресурси мікроконтролера.

## 2.1 Синтез структурної схеми

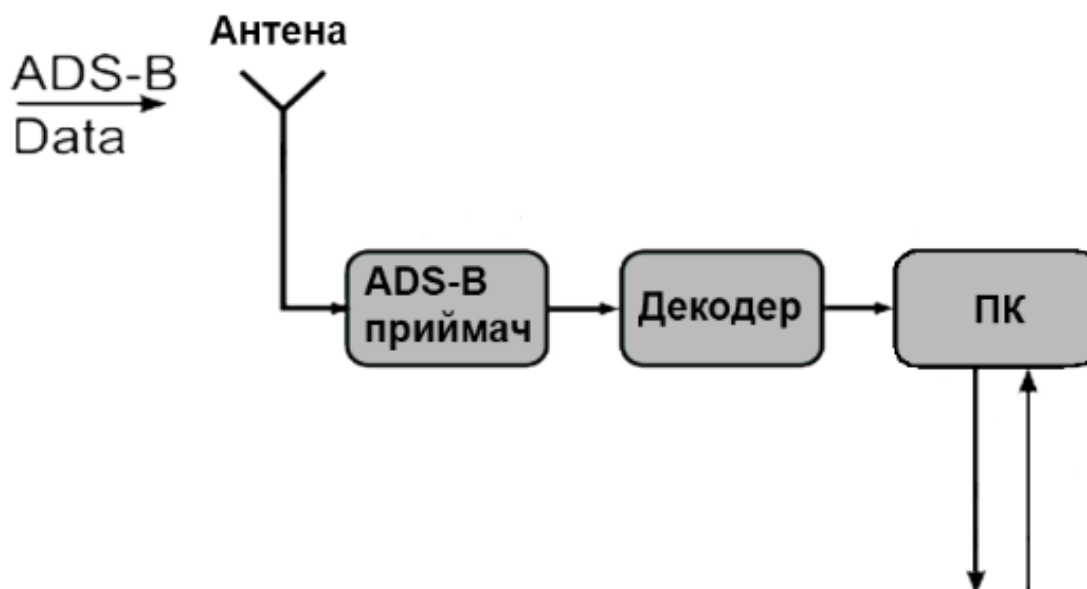


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи для моніторингу

На рисунку представлено структурну схему системи прийому та обробки ADS-B сигналів для моніторингу повітряного руху. Основними функціональними блоками є:

### 1. Антенa

Призначена для прийому радіосигналів у діапазоні 1090 МГц, у якому працює ADS-B. Вона вловлює радіовипромінювання з літаків, що передають інформацію про своє місцезнаходження, швидкість, ідентифікатор тощо.

Сигнали транспондера мають вертикальну поляризацію. Для прийому цих сигналів потрібна вертикально поляризована антенa, налаштована на 1090 МГц. Найпростішим рішенням є вертикальний дрiт або металевий стрижень довжиною 13 см, це половина довжини хвилі

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

сигналу 1090 МГц. Така антена [10] є електричним диполем і приймає сигнали з усіх напрямків. Для покращення чутливості антени можна комбінувати кілька електричних диполів. Але якщо їх розмістити поруч, то антена вже не буде всеспрямованою. Отже, окремі диполі необхідно розмістити один навколо одного. Нарешті, диполі необхідно з'єднати між собою, але верхній і нижній кінець кожного диполя коливаються зі зсувом фази на 180 градусів. Для їх з'єднання необхідно використовувати горизонтальні петлі довжиною 130 мм. Вони працюють як фазозсув на 180 градусів. Диполі та петлі слід зігнути з одного довгого шматка дроту. Його діаметр повинен бути достатньо великим для необхідної стабільності. Найнижча точка цієї групи диполів повинна бути підключена до середнього проводу коаксіального кабелю на 50 Ом. Тепер нам потрібна "заземлена антена", яку потрібно підключити до екрана коаксіального кабелю. Круглий шматок листового металу (радіусом 13 см) був би чудовим варіантом, але замість цього можна використовувати радіальні дроти. Слід використовувати щонайменше 4 дроти (з інтервалом 90 градусів) (заземлена площа-антена). "Заземлена антена" та диполь не повинні торкатися один одного!

Це лише базова конструкція. Імпеданс антени не відповідає імпедансу кабелю (але його можна змінити, згинаючи дроти "заземленої антени" вниз). Довші або коротші з'єднувальні петлі між диполями можуть змінити кут піднесення антени

## 2. ADS-B-приймач

Це модуль або пристрій, який виділяє корисний сигнал з прийнятого радіосигналу, виконує попередню обробку (фільтрацію, підсилення, демодуляцію) та формує цифровий потік даних. Найчастіше це RTL-SDR або інший приймач, що працює на частоті 1090 МГц.

Для прийому сигналів ADS-B на частоті 1090 МГц необхідно

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						16
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

застосовувати спеціалізований приймач. У даному проєкті використовується приймач прямого виявлення miniADS-B, розроблений компанією **Jetvision.de**. Його можливо придбати у вигляді монтажного набору за ціною близько 45 євро. Збірка цього модуля потребує певних навичок у поверхневому монтажі SMD-компонентів. Компактні габарити приймача — приблизно  $2 \times 2 \times 8$  см — дозволяють зручно інтегрувати його до складу портативного або стаціонарного моніторингового пристрою. Вхідним інтерфейсом є коаксіальний роз'єм, до якого під'єднується антена для прийому сигналів у діапазоні 1090 МГц. Вихідний інтерфейс — це аналоговий сигнал, що подається на декодер для подальшої обробки.

Крім антенного входу, приймач має три провідники для підключення:

- живлення (+4 В),
- загальна шина (GND),
- аналоговий вихід.

Передача сигналів до декодера здійснюється через трипровідний кабель, що з'єднує ці три лінії.

Аналоговий вихід здатен видавати струм до 0,4 мА, і його не можна з'єднувати з будь-яким джерелом напруги, оскільки це може призвести до пошкодження вихідного каскаду.

Стабільність та чутливість приймача значною мірою залежать від рівня поданої напруги живлення. Оптимальною є напруга 4 В, однак, щоб захистити приймач від подачі надлишкової напруги або неправильної полярності, в його схемі встановлено діод Шотткі. Цей діод підключений у ланцюг живлення і виконує функцію полярного захисту, а також підвищує оптимальний рівень живлення до 4,5 В. Саме така стабілізована напруга подається з боку мікроконтролерного декодера, розробленого в межах даного проєкту.

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						17
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

### 3. Декодер

Центральна частина системи, що є об'єктом дипломного дослідження. У цьому блоці здійснюється декодування бітового потоку ADS-B повідомлень.

Для реалізації використовується мікроконтролер PIC18F2550, який приймає цифрові сигнали від приймача, обробляє їх згідно з алгоритмами декодування, виділяє поля повідомлень (ICAO-адреса, координати, висота тощо) та передає їх у зрозумілому вигляді на ПК. Декодер з'єднує ADS-B приймач з USB-портом ПК. Відповідно, він має два роз'єми: Через USB-шину він передає дані на ПК та отримує напругу живлення. Інтерфейс до приймача являє собою 3-контактний роз'єм. Він подає на приймач напругу живлення 4,5 В та приймає аналоговий сигнал від приймача.

### 4. ПК (персональний комп'ютер)

Використовується для відображення та зберігання результатів обробки.

З ПК може здійснюватися:

- візуалізація польотної інформації (координати, швидкість, позивний літального апарата),
- ведення логів,
- подальший аналіз та передача в зовнішні системи моніторингу (наприклад, FlightAware, ADSBExchange тощо).

Ще можливий варіант структурної схеми з фільтром:

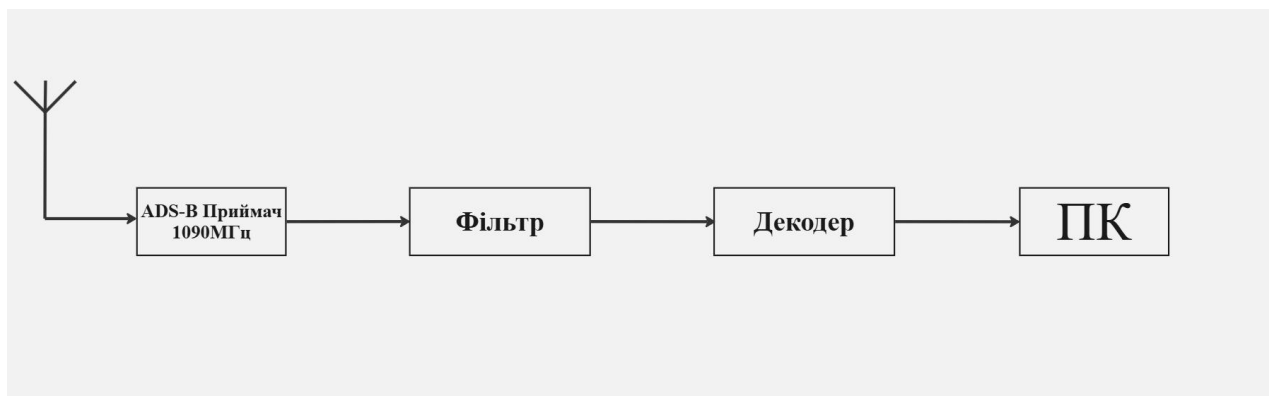


Рисунок 2.2 – Структурна схема з фільтром системи для моніторингу

### Призначення схеми в межах дипломного проекту

Представлена схема ілюструє загальну архітектуру системи, в якій розробка декодера є ключовим компонентом. Основна увага у дипломі приділяється саме реалізації декодера як апаратно-програмного модуля, що дозволяє зменшити навантаження на ПК, підвищити ефективність системи та спростити подальшу інтеграцію в автономні або портативні рішення.

## 2.2 Проектування схеми електричної принципової.

На рисунку 2.3 наведена електрична принципова схема декодера, побудованого на основі мікроконтролера PIC18F2550, що забезпечує прийом, обробку та передачу розшифрованих ADS-B повідомлень до персонального комп'ютера через USB-інтерфейс.

Живлення схеми здійснюється безпосередньо з USB-порту. Для захисту від зворотної полярності на лінії живлення використовується діод VD1 (1N4148). Хоча це не діод Шоттки, він забезпечує базовий захист у схемах з низьким струмовим навантаженням.

Для фільтрації пульсацій і високочастотних шумів у ланцюзі живлення використані керамічні конденсатори C1, C2, C3 номіналом 470 нФ та дросель L1 з індуктивністю 10 мкГн.

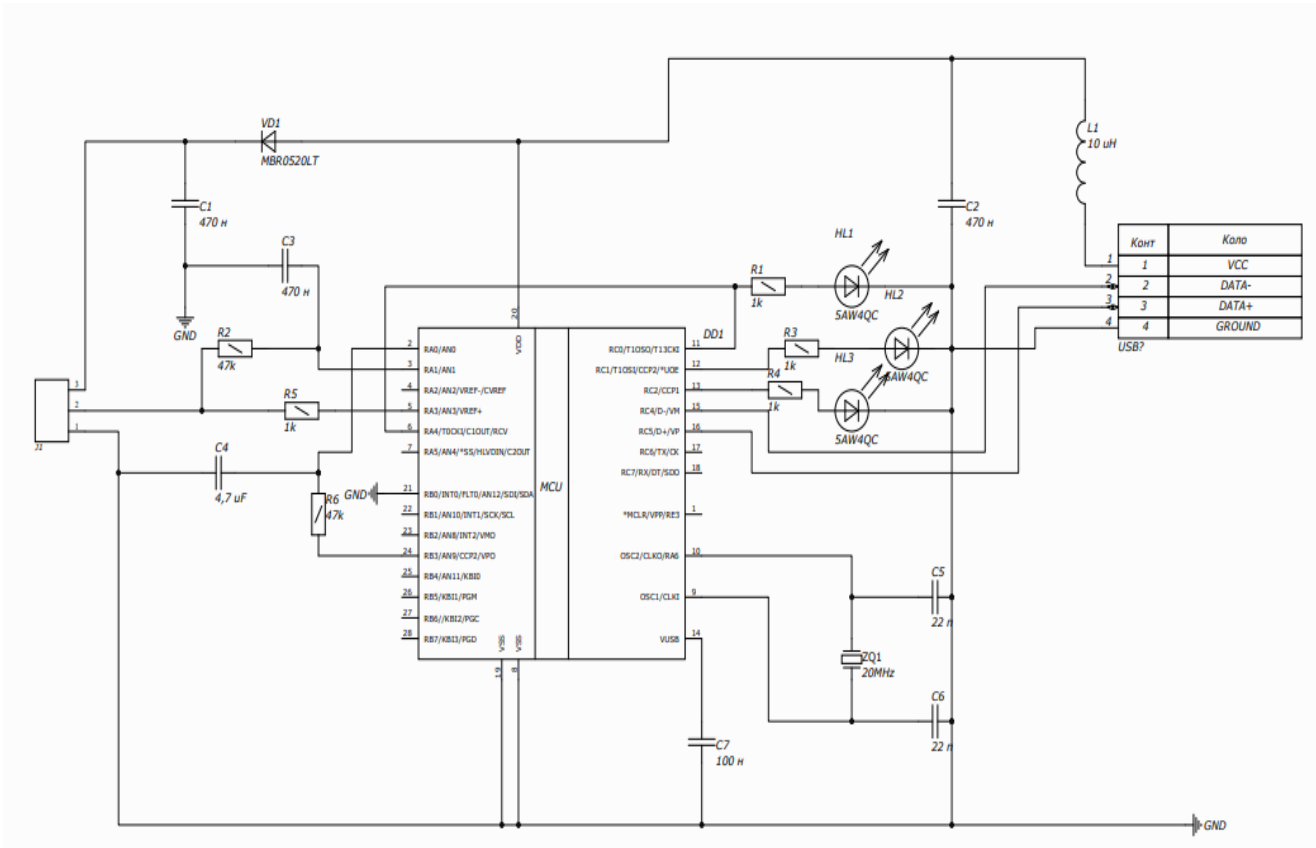


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова

Сигнал з ADS-B-приймача надходить через вхідний роз'єм J1. Для згладжування перешкод використовується електролітичний конденсатор C4 (4,7 мкФ). Далі сигнал подається на вхід RA0/AN0 мікроконтролера, де він обробляється вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). Резистори R2 і R5 формують опорну напругу для входу АЦП, а R6 виконує функцію підтягування до нульового рівня.

Тактова частина мікроконтролера реалізована на кварцовому резонаторі ZQ1 з частотою 20 МГц, що дозволяє мікроконтролеру стабільно працювати з USB-протоколом (через внутрішній PLL-множник частота збільшується до 48 МГц). Для забезпечення правильної роботи резонатора встановлено навантажувальні конденсатори C5 і C6 номіналом по 22 пФ. Конденсатор C7 (100 нФ) служить для локального фільтрування шумів живлення безпосередньо біля мікроконтролера.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

У схемі також реалізовано візуальну індикацію роботи за допомогою світлодіодів HL1–HL3, які підключені до цифрових виходів мікроконтролера через токообмежувальні резистори R1, R3, R4 (1 кОм).

Для зв'язку з ПК застосовується USB-інтерфейс. Лінії DATA+ та DATA– з'єднані з відповідними виводами мікроконтролера. Через цей інтерфейс відбувається передача декодованих даних ADS-B на персональний комп'ютер для подальшої візуалізації, зберігання або передавання в мережу.

### **Функціональні можливості декодера**

На основі оцифрованого сигналу мікроконтролер виконує декодування ADS-B повідомлень. Це включає в себе:

- Виявлення преамбули (сигнатура початку пакета) з точністю до мікросекунд.
- Зчитування бітової послідовності та побітове формування структури повідомлення згідно зі стандартом Mode-S.
- Ідентифікація типу фрейму (DF — Downlink Format), зокрема DF17, DF18, DF19 — основних форматів для ADS-B.

Важливою особливістю системи є перевірка цілісності отриманих фреймів. Кожне ADS-B повідомлення містить в кінці CRC-контрольну суму (Cyclic Redundancy Check), яка дозволяє виявити помилки при передачі. У прошивці PIC18F2550 реалізовано механізм обчислення CRC та порівняння з отриманим значенням. Якщо контрольна сума не співпадає — фрейм вважається пошкодженим і відкидається. Це забезпечує високу достовірність отриманих даних.

Крім того, у прошивці передбачено можливість фільтрації типів повідомлень. Залежно від налаштування, декодер може:

- передавати усі отримані фрейми (для повного аналізу трафіку),
- або лише специфічні типи (наприклад, DF17 та DF18), які містять ідентифікацію судна, координати та швидкість.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис _	Дата

Це дозволяє зменшити навантаження на USB-інтерфейс та обсяг оброблюваної інформації на комп'ютері.

Таким чином, запропонована схема забезпечує повноцінне приймання, формування, перевірку та передачу ADS-B повідомлень без потреби у сторонніх пристроях типу SDR, лише з використанням аналогового приймача та одного мікроконтролера.

### 2.3 Вибір елементної бази

У даному розділі буде проведений підбір елементної бази відповідно до електрично принципової схеми. Обрані елементи мають задовольняти вимоги проєктованого пристрою та бути доступними на ринку.

При проєктуванні апаратної частини ADS-B декодера одним із ключових аспектів було формування надійної та стабільної системи живлення, а також забезпечення високоякісного сигналу для подальшої обробки в мікроконтролері. Усі обрані компоненти мали бути сумісними за напругою, мінімальними за розмірами (у межах прототипу) та доступними на ринку.

#### Система живлення

Живлення пристрою здійснюється безпосередньо від USB-порту персонального комп'ютера, який надає напругу 5 В. Проте USB-шина може бути джерелом електричних шумів, імпульсних завад або просідань напруги при підключенні до ненадійних портів. З метою зниження рівня шуму та забезпечення стабільної роботи електронної частини пристрою, в схемі передбачено фільтрувальні компоненти:

- Індуктор L1 у поєднанні з конденсатором C3 утворює простий LC-фільтр, який ефективно згладжує високочастотні завади та імпульсні коливання на лінії 5 В.
- Конденсатор C2 використовується як шунтувальний — він підключений до внутрішнього стабілізатора напруги

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

мікроконтролера, який формує внутрішні 3,3 В, необхідні для роботи USB-модуля PIC18F2550. Цей елемент критично важливий для стабільності передачі даних через USB.

- Крім того, для живлення зовнішнього приймача (ADS-B модуля) у схемі реалізовано підвищуючий перетворювач напруги. Він складається з діода D1 та конденсатора C6, які забезпечують формування додаткової напруги близько 4,5 В. Такий рівень є оптимальним для стабільної роботи більшості аналогових приймачів, які використовуються для прийому сигналів на частоті 1090 МГц.

### **Розрахунок струму споживання**

#### **Компоненти:**

- PIC18F2550: до 25 мА
- MiniADS-B приймач: ~40 мА
- Світлодіод: ~10 мА
- Інші (фільтрація, втрати): ~20 мА

#### **Загальний розрахунок:**

$$I_{total} \approx 25 + 40 + 10 + 20 = 95 \text{ мА} < 500 \text{ мА}$$

У висновку пристрій без проблем може житись від стандартного USB-порту (до 500 мА).

### **Інтерфейс аналогового сигналу**

Вихідний сигнал з ADS-B приймача має вигляд аналогової імпульсної послідовності, амплітуда якої в середньому становить близько 700 мВ. Щоб забезпечити надійний зв'язок між приймачем і компаратором мікроконтролера, схема містить окремі елементи захисту та фільтрації:

- Резистор R2 встановлено на вході компаратора. Він виконує функцію захисту вхідного каскаду мікроконтролера, обмежуючи струм у разі перенапруги або короткочасних імпульсних завад.
- Фільтр R1–C1 згладжує низькорівневі коливання сигналу, які

можуть виникати внаслідок паразитних шумів або нестабільної роботи приймача.

Окрім цього, вивід мікроконтролера, на який надходить сигнал з компаратора, сконфігуровано на високошвидкісний цифровий вхід, що дозволяє точно фіксувати кожен перехід імпульсу в реальному часі.

#### 1. Мікроконтролер [PIC18F2550-I/SP](#) <sup>[9]</sup>

Мікроконтролер PIC18F2550 є 8-бітним контролером. Він використовується у пристрої як центральний елемент, що виконує функцію декодування сигналів ADS-B та передачі їх у ПК. Має вбудовану Flash-пам'ять 32 КБ, 2 КБ SRAM, частоту роботи до 48 МГц (з зовнішнім резонатором), а також підтримку USB Full Speed. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.4

- Частота тактування: до 48 МГц (зовнішній кварц 20 МГц із PLL)
- Обсяг пам'яті програм: 32 КБ Flash
- Обсяг оперативної пам'яті: 2 КБ RAM
- Інтерфейси: USB 2.0 Full-Speed, SPI, I<sup>2</sup>C, USART
- Напруга живлення: 2В – 5,5В
- Кількість цифрових входів/виходів: до 24
- Робочий температурний діапазон: від -40°C до +85°C
- Корпус: DIP-28

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

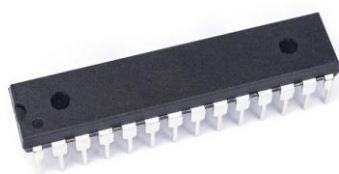


Рисунок 2.4 – Мікроконтролер PIC18F2550

Обґрунтування вибору:

З огляду на вищевказані вимоги, архітектура пристрою має відповідати низці ключових критеріїв:

- підтримка **високошвидкісного цифрового вводу**, здатного приймати послідовність імпульсів тривалістю 0,5–1,0 мкс;
- наявність **апаратного USB-інтерфейсу**, що дозволяє легко передавати дані на ПК;
- достатня **обчислювальна потужність** для обробки в реальному часі бітового потоку;
- **низьке енергоспоживання** та **компактність** для автономного або мобільного використання.

Для реалізації функцій апаратного декодування ADS-B повідомлень у даному проєкті було обрано мікроконтролер **PIC18F2550-I/SP**. Цей контролер є представником 8-бітної серії від компанії Microchip і має низку переваг, які роблять його оптимальним вибором для даної задачі.

Однією з головних вимог проєкту була наявність вбудованого USB-інтерфейсу, через який дані з декодера передаються на ПК. PIC18F2550 підтримує USB 2.0 Full-Speed (12 Мбіт/с) на апаратному рівні, що значно спрощує реалізацію обміну даними. Більшість альтернатив або не мають USB взагалі (наприклад, прості ARM-контролери STM32 без USB), або

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

потребують складнішої реалізації, як-от програмне USB-стекування в AVR (наприклад, V-USB для ATmega).

Ще одна важлива перевага — форм-фактор. PIC18F2550 постачається у DIP-корпусі, що зручно для монтажу на макетній платі та прототипування. Інші популярні мікроконтролери з USB, зокрема ATmega32U4 або STM32F103, зазвичай мають SMD-корпуси, які вимагають складнішого монтажу або спеціального обладнання.

З технічної точки зору PIC18F2550 забезпечує все необхідне для даного проекту. Він має 32 КБ Flash-пам'яті для прошивки, 2 КБ оперативної пам'яті, працює на частоті до 48 МГц завдяки внутрішньому PLL-множнику, і підтримує широке коло периферійних інтерфейсів: USB, UART, SPI, I<sup>2</sup>C, а також ADC. Це дозволяє не лише приймати та обробляти сигнал, але й легко розширювати функціональність пристрою при потребі.

Важливою також є наявність великої кількості прикладів, документації та підтримки з боку розробницької спільноти. Microchip надає безкоштовне середовище MPLAB X, а також MPLAB Code Configurator, який дозволяє швидко згенерувати конфігураційний код навіть без глибоких знань USB-протоколу. Це значно скорочує час розробки.

На фоні альтернатив, таких як ATmega32U4 або STM32F030, PIC18F2550 виграє за сукупністю факторів: простота інтеграції, мінімальна кількість зовнішніх компонентів, зручність прототипування та достатня обчислювальна потужність. Деякі варіанти, наприклад STM32, хоч і мають вищу продуктивність, однак складніші в освоєнні, потребують програматора (ST-Link) і не мають вбудованого USB у доступних корпусах.

Таким чином, вибір мікроконтролера **PIC18F2550-I/SP** був обумовлений його технічною відповідністю вимогам проекту, простотою реалізації, наявністю USB, зручним корпусом та доступністю на ринку. Він дозволяє

створити компактний, надійний і функціональний пристрій з мінімальними затратами часу на розробку та впровадження.

## 2. Діод 1N4148

Діод 1N4148 – це високошвидкісний кремнієвий перемикальний діод, який у схемі використовується для захисту від зворотної полярності живлення через USB-роз'єм. Його характерною особливістю є висока швидкодія та надійність у низькострумових схемах. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.5

- Тип: Кремнієвий імпульсний діод
- Максимальний прямий струм: 300 мА
- Максимальна обернена напруга: 100 В
- Час відновлення:  $\leq 4$  нс
- Падіння напруги в прямому напрямку:  $\sim 0,7$  В при 10 мА
- Робочий температурний діапазон: від  $-65^{\circ}\text{C}$  до  $+175^{\circ}\text{C}$
- Корпус: DO-35 (скляний)

Розрахунок падіння напруги на діоді Шоттки

$$V_{\text{out}} = V_{\text{USB}} - V_D$$

Типовий діод Шоттки:  $V_D \approx 0,4$  В

$$V_{\text{out}} = 5 \text{ В} - 0,4 \text{ В} = 4,6 \text{ В}$$

отримаємо напругу живлення, наближену до оптимальних 4.5–4.6 В.



Рисунок 2.5 – Діод 1N4148

### 3. Конденсатор 22 пФ, 50 В, NP0, Hitano

Конденсатор є керамічним дисковим типом з високою стабільністю та низьким температурним коефіцієнтом. У схемі використовується як навантажувальний конденсатор для кварцового резонатора, забезпечуючи стабільну частоту генерації в коливальному контурі мікроконтролера. Клас діелектрика NP0 гарантує мінімальні відхилення ємності при зміні температури та частоти. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.6

**Тип:** Керамічний конденсатор з діелектриком NP0

**Номинальна ємність:** 22 пФ

**Робоча напруга:** до 50 В

**Допуск:**  $\pm 5\%$

**Температурний коефіцієнт:** NP0 ( $0 \pm 30$  ppm/°C)

**Робочий температурний діапазон:** -25°C ... +85°C

**Корпус:** дисковий, вивідний тип

**Призначення:** навантаження кварцового резонатора, фільтрація високочастотних перешкод

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.6 – Керамічний конденсатор 22 пФ, 50 В, NP0, Hitano

#### 4. Конденсатор 100 нФ, 100 В, поліестеровий, Hitano MER104J2AB

Даний плівковий конденсатор застосовується у схемі як елемент фільтрації та розв’язки живлення, що дозволяє зменшити високочастотні перешкоди та стабілізувати напругу живлення мікроконтролера або інших чутливих вузлів. Виконаний на основі поліестерової діелектричної плівки, конденсатор має хорошу стабільність параметрів та малий рівень втрат. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.7

**Тип:** Плівковий конденсатор (поліестеровий)

**Номинальна ємність:** 100 нФ

**Робоча напруга:** до 100 В

**Допуск:**  $\pm 5\%$

**Матеріал діелектрика:** поліестер (PET)

**Температурний діапазон:**  $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$

**Міжвивідна відстань (крок):** 10 мм

**Габарити:**  $5,5 \times 10 \times 13$  мм

**Призначення:** фільтрація пульсацій, розв’язка живлення, блокування високочастотних шумів



Рисунок 2.7 – Плівковий конденсатор 100 нФ, 100 В, Hitano

### 5. **Керамічний конденсатор 470 нФ, 100 В, X7R, Hitano**

#### **FK26X7R2A474K**

Цей керамічний конденсатор застосовується в електронних схемах для фільтрації пульсацій живлення, розв'язки сигналів та усунення електромагнітних перешкод. Завдяки діелектрику типу X7R, пристрій забезпечує стабільні електричні характеристики в широкому температурному діапазоні та має низький рівень втрат. Підходить для використання в високочастотних та імпульсних ланцюгах. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.8

**Тип:** Керамічний багатошаровий (MLCC)

**Номинальна ємність:** 470 нФ

**Робоча напруга:** до 100 В

**Допуск:**  $\pm 10\%$

**Діелектрик:** X7R (температурна стабільність  $\pm 15\%$ )

**Температурний діапазон:**  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$

**Корпус:** Радіальний ТНТ

**Призначення:** фільтрація, розв'язка, подавлення шумів у ланцюгах живлення та сигналу

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						30
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		



Рисунок 2.8 – Керамічний конденсатор 470 нФ, 100 В, X7R, Hitano

**6. Неполлярний електролітичний конденсатор 4,7 мкФ, 100 В,  
Hitano ENR4R7M2AB**

Даний електролітичний конденсатор застосовується у схемах, де необхідне накопичення та згладжування енергії, зокрема у лініях живлення змінного струму або у сигнальних ланцюгах, де можлива зміна полярності. Завдяки неполярній конструкції допускає підключення в обидві сторони, що забезпечує універсальність застосування у схемах змінної напруги. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.9

**Тип:** Алюмінієвий електролітичний конденсатор (неполярний)

**Номинальна ємність:** 4,7 мкФ

**Робоча напруга:** до 100 В

**Допуск:**  $\pm 20\%$

**Температурний діапазон:**  $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$

**Розміри корпусу:**  $\text{Ø}8 \times 12 \text{ мм}$

**Конструкція:** Радіальний ТНТ

**Призначення:** блокування, фільтрація, зменшення пульсацій, з'єднання сигнальних трактів змінного струму

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.9 – неполярний електролітичний конденсатор 4.7 мкФ, 100 В,  
Hitano

### 7. Дросель радіальний 10 мкН, 0.7 А, НСРК0406-100К

Даний радіальний дросель застосовується для фільтрації високочастотних шумів та пульсацій у ланцюгах живлення, а також для згладжування імпульсів струму у джерелах живлення і перетворювачах. Його індуктивність 10 мкГн дозволяє ефективно гасити перешкоди на частотах, характерних для цифрової та аналогової електроніки.

Максимальний струм 0,7 А забезпечує надійну роботу у низькопотужних пристроях. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.10

**Тип:** індуктивність (дросель) радіальний

**Індуктивність:** 10 мкН

**Максимальний струм:** 0,7 А

**Допуск індуктивності:**  $\pm 20\%$

**Розміри корпусу:** НСРК0406 (4.6 × 4.6 мм приблизно)

**Конструкція:** радіальна (виводи для монтажу через отвори)

**Призначення:** згладжування пульсацій струму, фільтрація шумів у ланцюгах живлення, блокування високочастотних перешкод

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.10 – Дросель радіальний HCRK0406-100K

### 8. Кварцовий резонатор КХ-3Н-20.0 МГц, 20 pF, 30 ppm

Кварцовий резонатор застосовується для формування стабільної частоти генерації в мікроконтролерах, годинникових модулях, радіотехнічних пристроях та інших електронних схемах, де потрібна висока стабільність та точність частоти. Завдяки кварцовому матеріалу резонатор забезпечує низький фазовий шум і високу стабільність частоти в широкому діапазоні температур. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.11

**Тип:** кварцовий резонатор

**Робоча частота:** 20,0 МГц

**Номінальна ємність навантаження:** 20 pF

**Стабільність частоти:**  $\pm 30$  ppm

**Форма корпусу:** циліндрична (циліндр із виводами)

**Конструкція:** радіальна, виводи для монтажу через отвори

**Призначення:** генерація стабільної частоти, тактова підкладка для цифрових систем, годинникові генератори, фільтри та синхронізація сигналів

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.11 – Кварцовий резонатор КХ-3Н-20.0

## 9. Світлодіод 5AW4QC

Даний світлодіод призначений для індикації та підсвічування в електронних схемах, панелях керування, приладах та освітлювальних пристроях. Завдяки своїй яскравості і довговічності використовується у широкому спектрі застосувань від індикаторів живлення до складних світлових систем.

Світлодіод LED3 показує оцифрований сигнал. Через кілька секунд після ввімкнення декодера разом із приймачем він повинен лише трохи тліти.

Світлодіод LED1 блимає, якщо виявлено початок ADS-B-кадру. Якщо вдалося прийняти весь кадр, тоді світлодіод LED2 світиться, доки цей кадр не буде зчитано ПК. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.12

**Діаметр:** 5мм

<b>Робоча температура</b>	-30 ... 80 С
<b>Напруга живлення (номінальна)</b>	2,2 Ст.
<b>Напруга живлення</b>	2,1 ... 2,5 Ст.
<b>Номінальний струм</b>	20 мА
<b>Сила світла</b>	12 Кд



Рисунок 2.12 – Світлодіод 5AW4QC

### 10. Метало-плівковий резистор MFR025FTB-47KR

Цей резистор застосовується у схемах, де потрібна висока точність опору, стабільність характеристик та надійність при номінальних навантаженнях до 0,25 Вт. Завдяки метало-плівковій технології виготовлення, він характеризується низьким температурним коефіцієнтом та високою стабільністю в різних умовах експлуатації. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.13

**Тип:** метало-плівковий резистор

**Номінальний опір:** 47 кОм

**Точність:**  $\pm 1\%$

**Номінальна потужність:** 0,25 Вт

**Робоча напруга:** до 250 В

**Температурний коефіцієнт:** 50 ppm/°C

**Тип монтажу:** вивідний (ТНТ)

**Призначення:** обмеження струму, налаштування фільтрів, встановлення робочих точок транзисторів, стабілізація напруги в ланцюгах постійного струму.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.13 – резистор 47 кОм MFR025FTB-47KR

### 11. Метало-плівковий резистор MFR025FTB-1KR

Цей резистор застосовується у схемах, де потрібна висока точність опору, стабільність характеристик та надійність при номінальних навантаженнях до 0,25 Вт. Завдяки метало-плівковій технології виготовлення, він характеризується низьким температурним коефіцієнтом та високою стабільністю в різних умовах експлуатації. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.14

**Тип:** метало-плівковий резистор

**Номінальний опір:** 1,0 кОм

**Точність:**  $\pm 1\%$

**Номінальна потужність:** 0,25 Вт

**Робоча напруга:** до 250 В

**Температурний коефіцієнт:** 50 ppm/°C

**Розміри корпусу:** 6 × 2,3 мм; діаметр виводів — 0,55 мм

**Тип монтажу:** вивідний (ТНТ)

**Призначення:** обмеження струму, налаштування фільтрів, встановлення робочих точок транзисторів, стабілізація напруги в ланцюгах постійного струму.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата



Рисунок 2.14 – резистор 1 кОм MFR025FTB-1KR

## 12. Конектор USB-A KLS1-180A-W

Ця USB-A вилка призначена для монтажу через отвори (DIP) на друковану плату. Завдяки кутовому розташуванню контактів, вона ідеально підходить для обмежених просторів на платах. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.15

**Тип:** USB-A вилка на плату (DIP)

**Номинальний струм:** 1 А

**Номинальна напруга:** 30 В DC

**Опір ізоляції:**  $\geq 1000$  МОм при 500 В DC

**Температурний діапазон:** від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+105^{\circ}\text{C}$

**Кількість контактів:** 4

**Тип монтажу:** через отвори (ТНТ)



Рисунок 2.15 – Конектор USB-A KLS1-180A-W

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

PC11. 467200.001 ПЗ

Лист

37

### 3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

У процесі розробки апаратної частини декодера ADS-B було спроектовано двосторонню друковану плату. Таке рішення дозволило значно зменшити розміри пристрою, що є критичним для його подальшої інтеграції в мобільні або автономні системи моніторингу повітряного простору. Компактні розміри плати також забезпечують можливість вбудування пристрою в обмежений за габаритами корпус.

Основні елементи пристрою — мікроконтролер PIC18F2550, пасивні компоненти, кварцовий резонатор, інтерфейсний USB-роз'єм — розташовані з урахуванням мінімізації довжин сигнальних трас, особливо у високочастотних ділянках схеми (USB, кварц, живлення). Це дозволило зменшити вплив електромагнітних перешкод та забезпечити стабільність роботи пристрою.

Плата була розроблена у середовищі **Altium Designer**. В процесі трасування використано широкі полігони землі та живлення, а також автоматичну перевірку правил дизайну (DRC). Критичні ділянки (USB-лінії, кварцовий генератор) трасувалися вручну з урахуванням симетрії та узгодження імпедансу.

Усі компоненти монтуються методом пайки через отвори (ТНТ), що спрощує складання та обслуговування пристрою на етапі прототипування. Для паяння обрано **безсвинцевий припій VOREL CYNEL Sn99.3–Cu0.7**, що відповідає вимогам RoHS та має гарні технічні характеристики при роботі з багатошаровими та двосторонніми платами.

Враховуючи щільність розміщення елементів та необхідну точність виготовлення, для даної плати було обрано **третій клас точності** відповідно до стандартів IPC. Це дозволяє забезпечити надійність з'єднань при невеликих міжконтактних відстанях.

					<b>PC11. 467200.001 ПЗ</b>	Лист
						38
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

Для зручності монтажу та інтеграції в корпус USB-роз'єм розміщено на краю плати з невеликим виступом за її межі. Це забезпечує легке підключення до ПК без додаткових кабелів.

### Конструкція плати

Друкована плата має таку будову:

- **Top Layer (GTL)** — сигнальний шар міді товщиною **0,04 мм**.
- **Bottom Layer (GBL)** — сигнальний шар міді аналогічної товщини **0,04 мм**.
- **Міжшарова діелектрична підкладка** — товщиною **1 мм**.
- **Захисні маски (Top Solder / Bottom Solder)** — по **0,02 мм** з обох боків.
- **Легенда (Top/Bottom Overlay)** — шовкодрук для маркування компонентів.

**Загальна товщина плати** може становити приблизно **1,11 мм**, що є оптимальним для компактного пристрою. Але для удешевлення та після аналізу актуальних пропозицій на ринку, було вирішено обрати двосторонній склотекстоліт на 1,6мм.



Рисунок 3.1 – Конструкція плати по-шарово

### 3.1 Проектування та трасування ДП

Після аналізу схем існуючих аналогів та їх рішення щодо розміщення елементів було вирішено, розміщувати елементну базу на платі, якомога компактніше для економії місця та зменшення розмірів ДП. Після була виконана розробка ДП в програмному забезпеченні Altium Designer, за використанням всіх правил розробки та трасування.

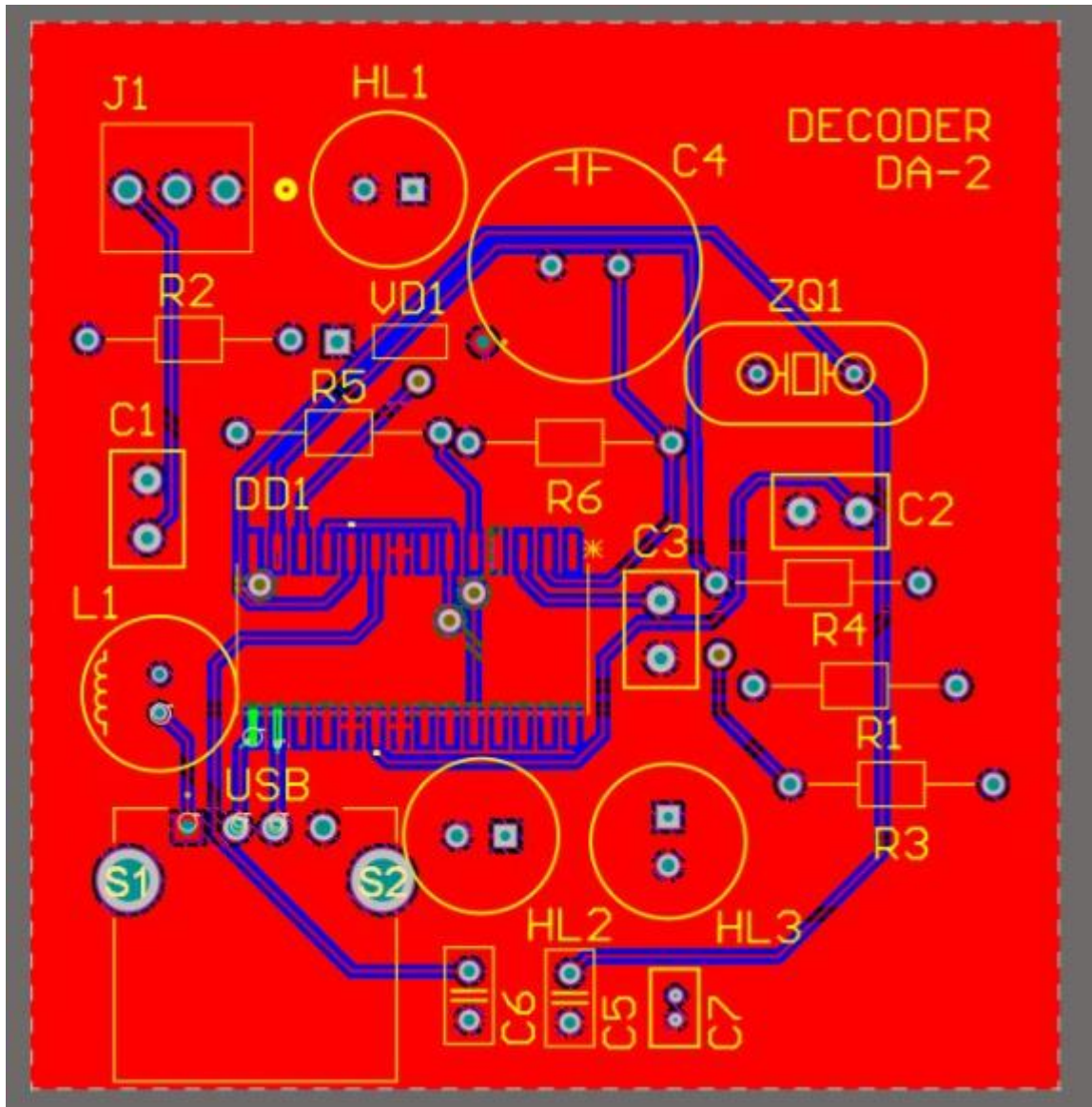


Рисунок 3.2 – Розстановка елементів на ДП та вигляд плати зверху

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

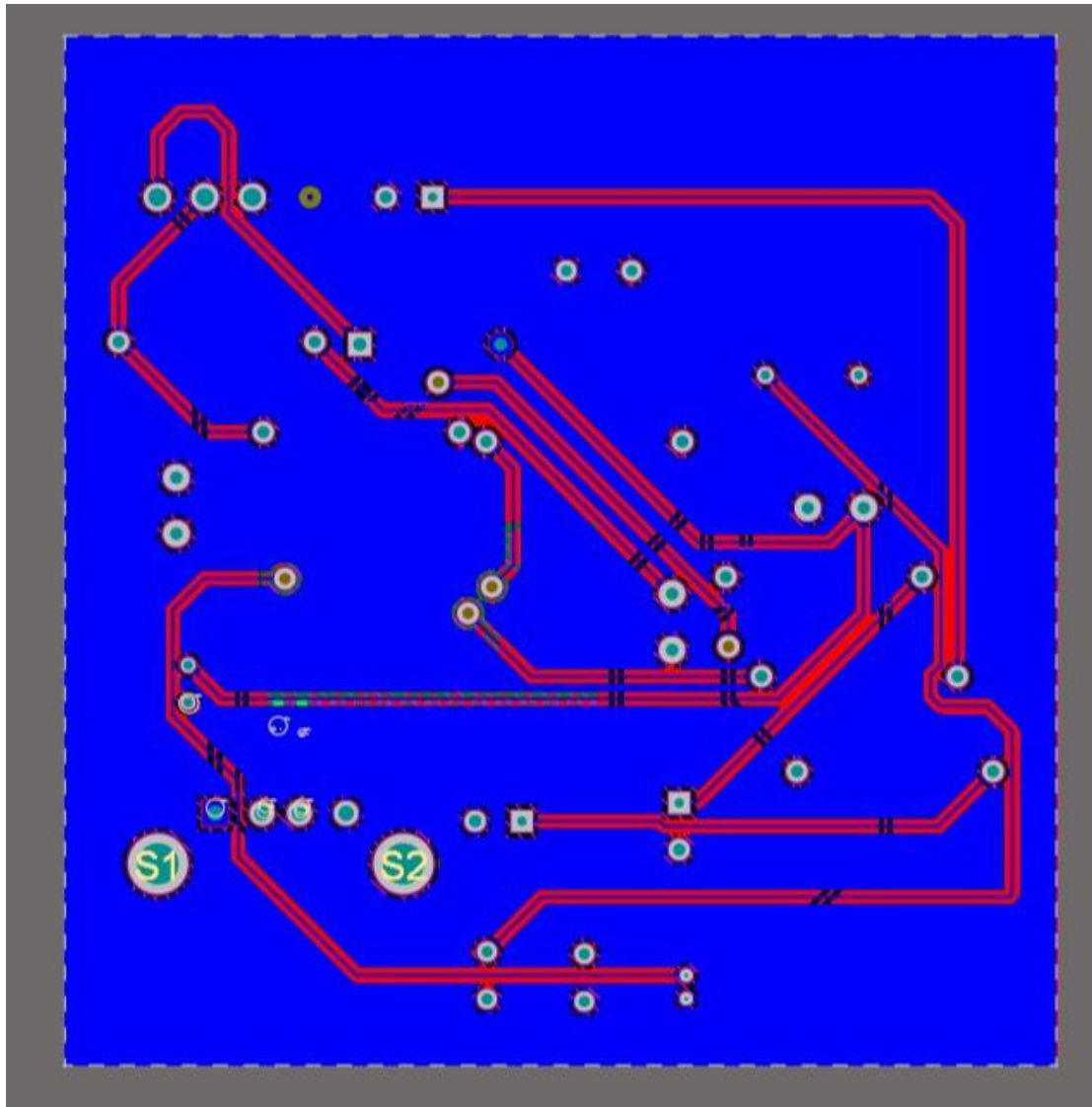


Рисунок 3.3 – Вигляд плати знизу

Після розробки та трасування друкованої плати було проведено перевірку її працездатності. В процесі тестування не виявлено жодних помилок чи зауважень. Таким чином, можна зробити висновок, що друкована плата розроблена коректно і функціонує належним чином.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

#### 4 РОЗРОБКА КОРПУСУ ТА ГОТОВОГО ПРИСТРОЮ

Для наведеної раніше плати, був розроблений корпус який враховує монтування плати без використання гвинтів та за допомогою герметика який додатково дасть захищеність плати до ударів

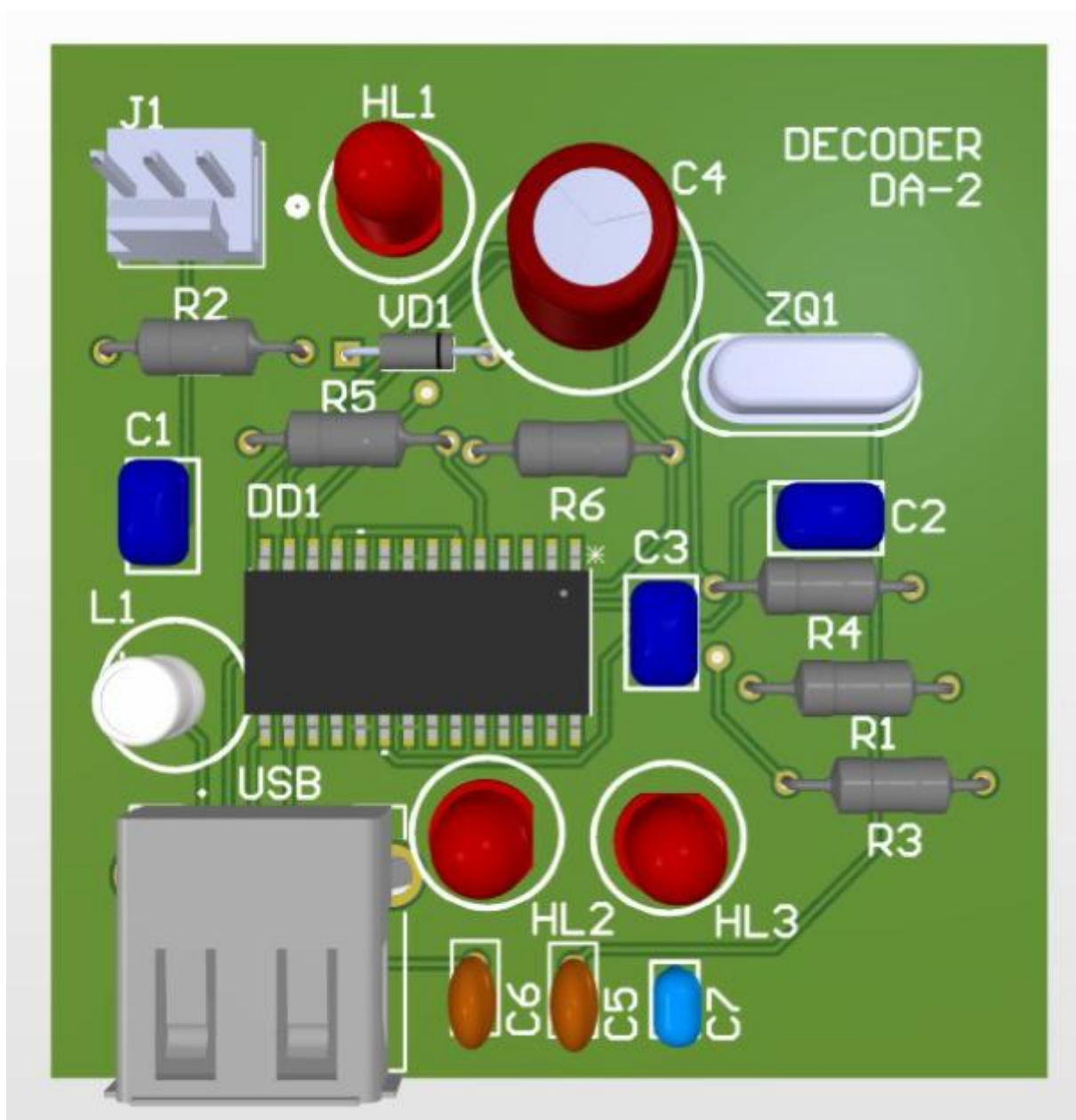


Рисунок 4.1 – 3D-модель ДП вид зверху

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

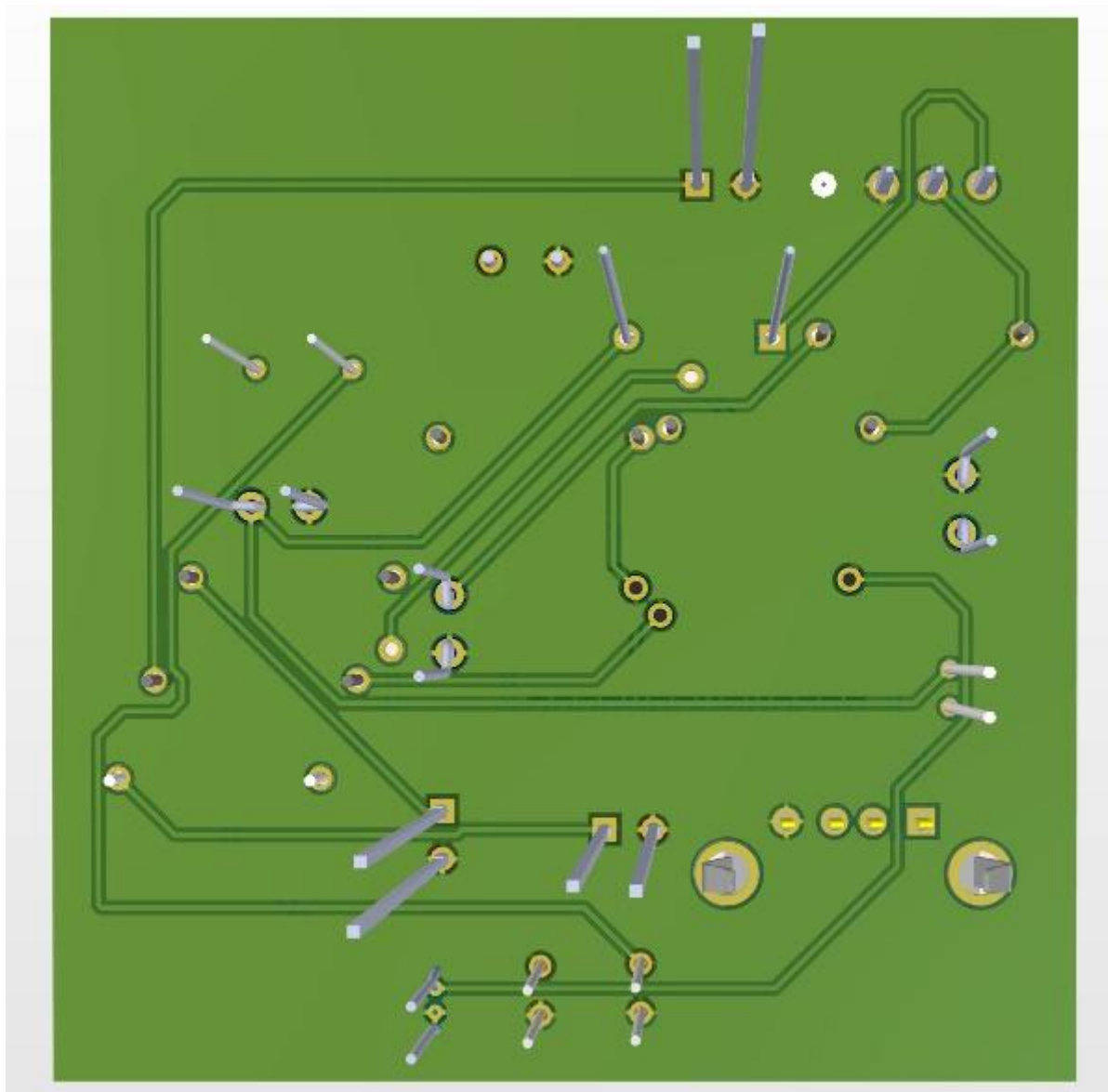


Рисунок 4.2 – 3D-модель ДП вид знизу

Корпус розроблений в формі паралелепіпеда, на верхній кришці чотири отвори для LED індикації та підключення приймача. Для корпусу використовується високоякісний матеріал з пластику типу PETG.

Корпус зображений на рисунку 4.3 та рисунку 4.4.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис _	Дата

PC11. 467200.001 ПЗ

Лист

43

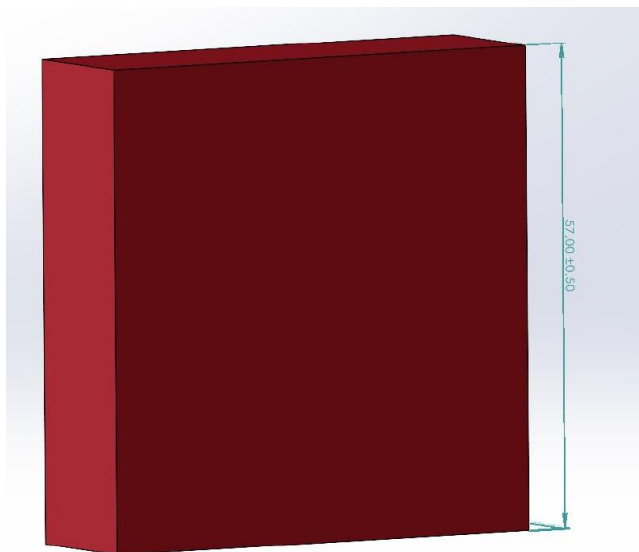


Рисунок 4.3 – 3Д модель корпусу

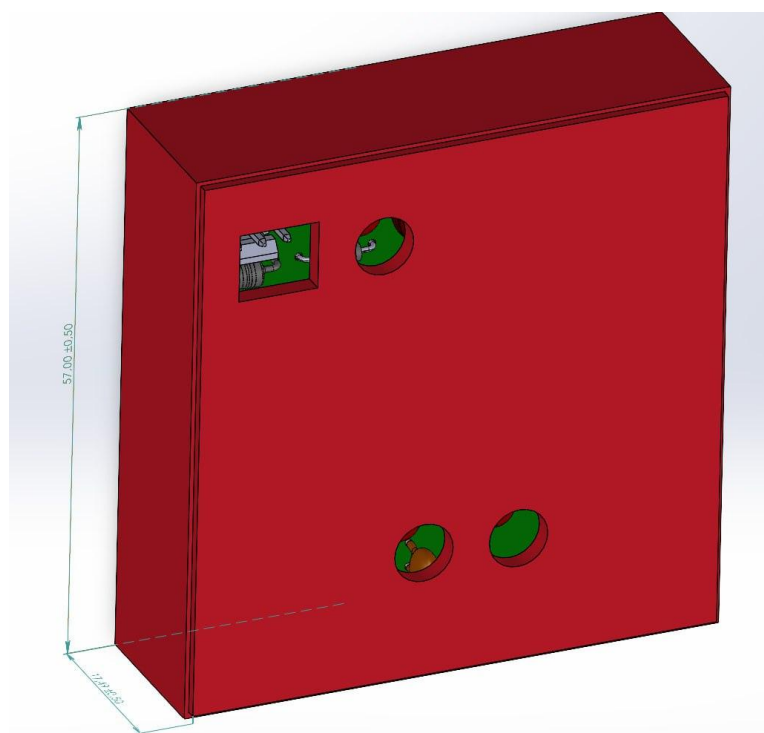


Рисунок 4.4 – 3Д модель корпусу з іншого ракурса

Після завершення розробки конструкції корпусу можна підбити підсумки щодо загального вигляду та ергономіки пристрою. В результаті проектування вдалося створити компактний, функціональний та зручний у користуванні пристрій, який за своїми габаритами та зручністю експлуатації вигідно вирізняється на фоні багатьох існуючих аналогів.

Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата

В процесі аналізу друкованої плати було враховано розміщення основних функціональних елементів, зокрема USB-інтерфейсу та індикаторів, що вимагають виведення за межі корпусу. Саме тому конструктивне рішення передбачає наявність технологічних отворів і вирізів у корпусі — для доступу до порту живлення та передачі даних, а також для візуального контролю роботи пристрою через світлодіодні індикатори.

Таке інженерне рішення дозволяє:

- швидко підключати декодер до ПК або іншого USB-сумісного пристрою;
- здійснювати візуальний контроль стану через світлодіоди;
- забезпечити зручне закріплення пристрою в стаціонарних або мобільних системах.

Отже, розроблений корпус повністю відповідає технічним та експлуатаційним вимогам, а також сприяє підвищенню надійності та ергономіки готового пристрою.

					<i>PC11. 467200.001 ПЗ</i>	Лист
						45
Зм.	Лист	№ Документа_	Підпис_	Дата		

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було розроблено апаратний прототип ADS-B декодера для системи моніторингу цивільних літальних апаратів. На основі проведеного аналізу існуючих рішень у цій сфері були визначені ключові вимоги до функціональності, надійності та компактності пристрою. Після вивчення архітектури аналогічних пристроїв було створено власну структурну та електричну принципову схему. На етапі підбору елементної бази обрані компоненти, що відзначаються високою надійністю, доступністю на ринку та оптимальним співвідношенням ціни й функціоналу. Центральним елементом обрано мікроконтролер PIC18F2550, який забезпечує прийом, обробку та передачу даних через USB-інтерфейс.

Було спроектовано двошарову друковану плату у середовищі Altium Designer з урахуванням вимог до електромагнітної сумісності та мінімізації шумів. Завдяки цьому вдалося досягти компактних габаритів при збереженні повного функціоналу пристрою.

Для забезпечення зручності експлуатації, на основі розведеної плати, був спроектований корпус, що враховує розміщення USB-інтерфейсу, індикаторів та отворів для фіксації. Виконана модель корпусу дозволяє використовувати пристрій як у стаціонарних, так і в мобільних рішеннях моніторингу повітряного простору.

Результатом роботи є прототип апаратного декодера, який забезпечує прийом ADS-B сигналів із подальшою передачею даних на комп'ютер для аналізу та візуалізації. Пристрій вирізняється простотою конструкції, низькою собівартістю, відкритою архітектурою та можливістю подальшої модифікації.



Таким чином, поставлені у дипломному проєкті задачі були повністю реалізовані, а отриманий пристрій продемонстрував перспективність у застосуванні для моніторингу цивільного авіаційного трафіку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *ADS-B message format documentation*. URL: <https://mode-s.org>.
2. *Flightradar24 – офіційний сайт*. URL: <https://www.flightradar24.com>.
3. *Dump1090 open-source decoder*. URL: <https://github.com/flightaware/dump1090>.
4. *Форум RTL-SDR*. URL: <https://www.rtl-sdr.com>.
5. *Статті та обговорення на сайті Hackaday*. URL: <https://hackaday.com/>.
7. *Microchip Technology Inc. [Офіційний сайт PIC18F2550 з документацією та прикладами коду]*. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC18F2550>.
8. *ADS-B System Overview*. URL: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/howitworks>.
9. *PIC18F2550-I/SP Microchip DATASHEET*. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>.
10. *Flightradar24. Обговорення антен*. URL: <https://forum.flightradar24.com/forum/radar-forums/technical-matters-hardware/8806-3-easy-antennas-for-beginners>.
11. *Bohumír Zámečník. Розгляд обладнання для ADS-B*. URL: <https://bohumirzamecnik.cz/blog/2016/adsb-part-2-hardware/>.
12. Зорін В., Кулик І. Основи проектування радіоелектронної апаратури.. Харків : ХНУРЕ, 2016.
13. Мальцев І., Кузнецов С. Архітектура мікроконтролерів і систем на їх основі: навч. Посіб.. Київ : Ліра-К, 2015.
14. Плахотник В. Ю., Сидоренко Ю. Основи цифрової обробки сигналів.. Київ : Видавництво НАУ, 2013.

**ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ**  
**ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ**

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	РС11. 467200.001 ПЗ	Пояснювальна записка	47	
2	A3	РС11. 467200.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
3	A4	РС11. 467200.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
4	A3	РС11. 467200.001СК	Складальний кресленик пристрою	1	
5					

				РС11. 467200.001	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Шуляк М.С.			Лист	Листів
Керівн.	Вишневий С.В.			1	1
Н/контр.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.РТС,Гр. РС-11	
Зав.каф.					
				Декодер для системи моніторингу цивільних літальних апаратів	

# ДОДАТОК Б. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту  
к.т.н., ст.викл,  
Вишневий Сергій Валерійович

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри радіотехнічних  
систем д.т.н., проф. Жук С.Я

\_\_\_\_\_

(дата)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(дата)

\_\_\_\_\_

(підпис)

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

«Декодер для системи моніторингу  
цивільних літальних апаратів»

Київ 2025

## **1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ**

Назва дипломного проекту «Декодер для системи моніторингу цивільних літальних апаратів».

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіотехнічних пристроїв та систем від 14 квітня 2025 р.

## **2. ВИКОНАВЕЦЬ**

Виконавець студент групи РС-11 Шуляк Микола Сергійович.

## **3. МЕТА ВИКОНАННЯ ДП І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ**

Метою дипломного проекту є розробка апаратного пристрою для прийому та декодування ADS-B повідомлень, який забезпечує перетворення імпульсного сигналу з аналогового приймача в цифрові дані для подальшої обробки на ПК. Пристрій призначений для моніторингу цивільного авіаційного руху та може використовуватись у локальних системах стеження, лабораторних установках і дослідницьких цілях

## **4. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ**

### **4.1 Призначення**

Живлення: 5 В від USB-порту.

Максимальний струм споживання: до 150 мА.

Тип обробки: перетворення аналогового відеосигналу з приймача в цифровий двійковий потік.

Тип даних: формат повідомлень DF17, DF18, DF19.

Інтерфейс передавання: USB 2.0 Full-Speed.

Індикація: світлодіодна, сигналізує роботу USB та прийом фреймів.

Габарити: компактні, з можливістю монтажу в корпус.

## **4.2 Конструкція**

Конструкція передбачає встановлення компонентів на друкованій платі та монтаж у 3D-друкованому корпусі з PLA або PETG. Передбачено доступ до USB-роз'єму, індикатора та контактів живлення/приймача. Фіксація плати здійснюється за допомогою пластикових стійок.

## **4.3 Уніфікації і стандартизації**

Використано стандартні електронні компоненти (PIC18F2550, LC-фільтр, діод Шоттки, miniADS-B приймач), що спрощує обслуговування й повторне виготовлення.

## **4.4 Дизайну, ергономіки та технічної естетики**

Корпус має мінімалістичний вигляд, логічно розміщені елементи (USB, індикатор). Орієнтований на настільне або польове використання.

## **4.5 Експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту**

Компоненти встановлені на одній стороні плати, доступ до ключових вузлів забезпечений. Модулі можна легко замінити без повного демонтажу. Всі інтерфейси виведено назовні.

## **4.6 Безпеки життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля**

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

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

## **4.7 Транспортування і зберігання**

Умови транспортування згідно ГОСТ 16019-2001

Зберігання: за ГОСТ 15150-69 за умови 1-Л.

## **4.8 Якості і технічного рівня**

Відповідає світовому рівню.

## **5. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**

Оформлення документації згідно ДСТУ 3008: 2015.

Склад конструкторської документації:

1. Текстова документація (пояснювальна записка, перелік елементів, специфікація на друкований вузол).
2. Графічна документація загальним обсягом не менше п'яти аркушів (схема електрична структурна, схема електрична принципова, друкована плата (кресленик), друкований вузол (складальний кресленик), пристрій (складальний кресленик).

### **5.1 Орієнтовний зміст дипломного проекту:**

Завдання на дипломний проект;

Анотація;

Зміст;

Вступ;

1. Огляд існуючих рішень,
3. Розробка схеми електричної принципової
3. Проектування друкованого вузла
4. Конструювання корпусу та пристрою.

Висновки;

Перелік джерел посилань;

Додаток А Відомість дипломного проекту;

Додаток Б Технічне завдання;

Додаток В Перелік елементів;

Додаток Г Схема електрична принципова;

Додаток Д Складальний кресленик друкованого вузла;

Додаток Е Друкована плата;

Додаток Є Структурна схема;

## 6. СТАДІЇ І ЕТАПИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Робота виконується в 6 етапів

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	До 07.05.25	
2	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	До 13.05.25	
3	Розробка схеми електричної принципової	До 21.05.25	
4	Розробка друкованої плати	До 27.05.25	
5	Розробка конструкторської документації	До 31.05.25	
6	Оформлення текстової та графічної документації	До 14.06.25	

### ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

1. Представлення проміжних результатів дипломного проекту керівнику в зазначені терміни;
2. Представлення завершеного дипломного проекту керівнику;
3. Перевірка дипломного проекту на наявність плагіату;
4. Представлення кафедрі завершеного дипломного проекту за 10 днів до дати захисту;
5. Захист дипломного проекту перед екзаменаційною комісією

Виконавець

Шуляк М.С.



Керівник

Вишневий С.В.

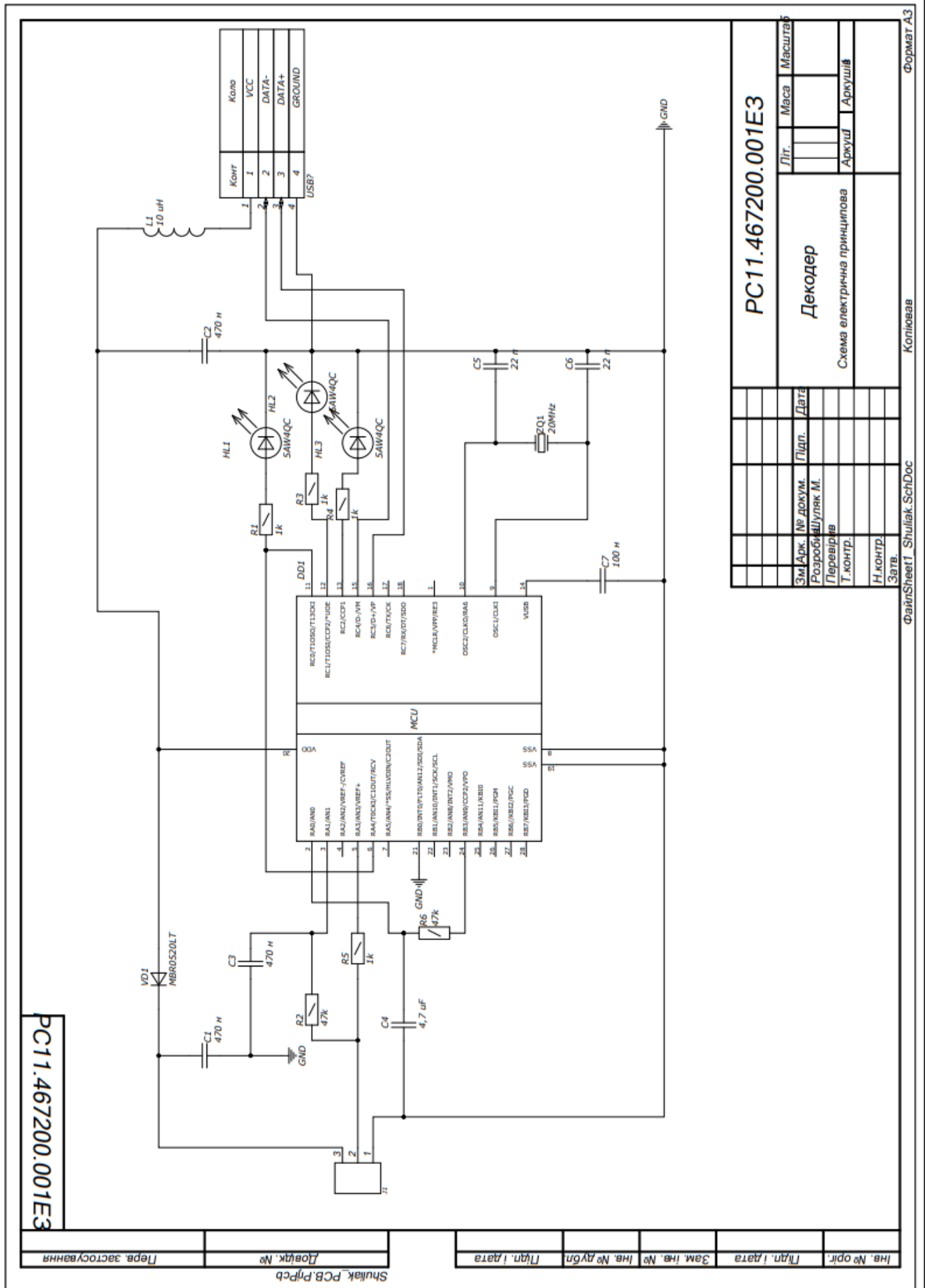


## ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Позначення.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Кондесатори</u>		
C1,C2,C3	Конденсатор 470 пФ 100В ± 10%	3	
C4	Конденсатор 4,7 мкФ 100В ± 10%	1	
C5,C6	Конденсатор 22 пФ 50В ± 5%	2	
C7	Конденсатор 100 пФ 100В ± 5%	1	
	<u>Резистори</u>		
R1,R3,R4,R5	Резистор 1 кОм 0.25В ±5%	4	
R2,R6	Резистор 47 кОм 0.25В ±5%	2	
	<u>Катушки</u>		
L1	Котушка індуктивності 10 мкГн ±10%	2	
	<u>Світлодіоди</u>		
HL1, HL2,HL3	СвітлоДіод 5AW4QC 3-3,2 В 20МА 12000mcd	3	
	<u>Діоди</u>		
VD1	Діод 1N4148	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1	Мікросхема PIC18F2550-ISO	1	
	<u>Інші вироби</u>		
USB	Гніздо USB-AM	1	
ZQ1	Кварцевий резонатор 20 мГц ±30ppm	1	
J1	Конектор CONN_A-6373_MOL	1	

<b>PC11.467200.001 ПЕ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Шуляк		
Перевір.				
Н. контр.				
Затверд.				
Декодер для системи моніторингу Перелік елементів			Лім.	Аркуш
			1	1
			НТУУ "КПІ"	

# ДОДАТОК Г. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

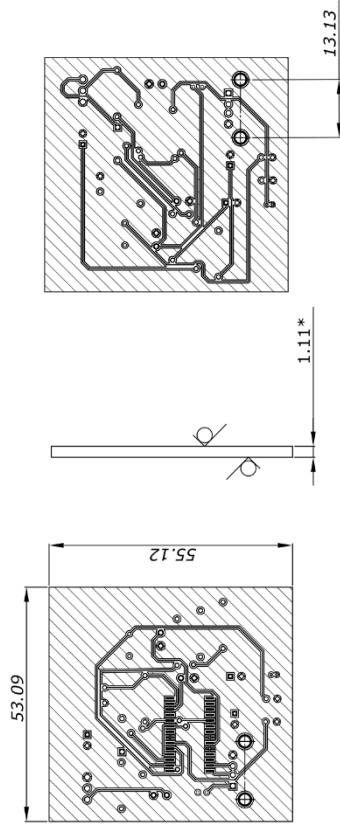




# ДОДАТОК Е. ДРУКОВАННА ПЛАТА



PC11.467200.001



Material	Layer	Thickness	Type	Gerber
Захисна маска	Top Overlay			GTO
<b>Мідь</b>	Top Solder	0.02mm	Solder Mask	GTS
	<b>Top Layer</b>	<b>0.04mm</b>	<b>Signal</b>	<b>GTL</b>
		1.00mm	Dielectric	
<b>Мідь</b>	<b>Bottom Layer</b>	<b>0.04mm</b>	<b>Signal</b>	<b>GBL</b>
Захисна маска	Bottom Solder	0.02mm	Solder Mask	GBS
	Bottom Overlay		Legend	GBO
Total thickness: 1.11mm				

- \*Розміри для довідок.
- Плату виготовляти комбінованим позитивним методом.
- Клас точності плати 4 за ГОСТ 36751-86.
- Топологія плати на електронному носії PCB1\_Shullak.PcbDoc.
- Інші технічні вимоги за ОСТ4.ГО.010.070.014.

Лист, № опиз.	Лист, у дата	Зам. інв. №	Інв. № опиз.	Лист, у дата	Довідк. №	Лист, застосовування
---------------	--------------	-------------	--------------	--------------	-----------	----------------------

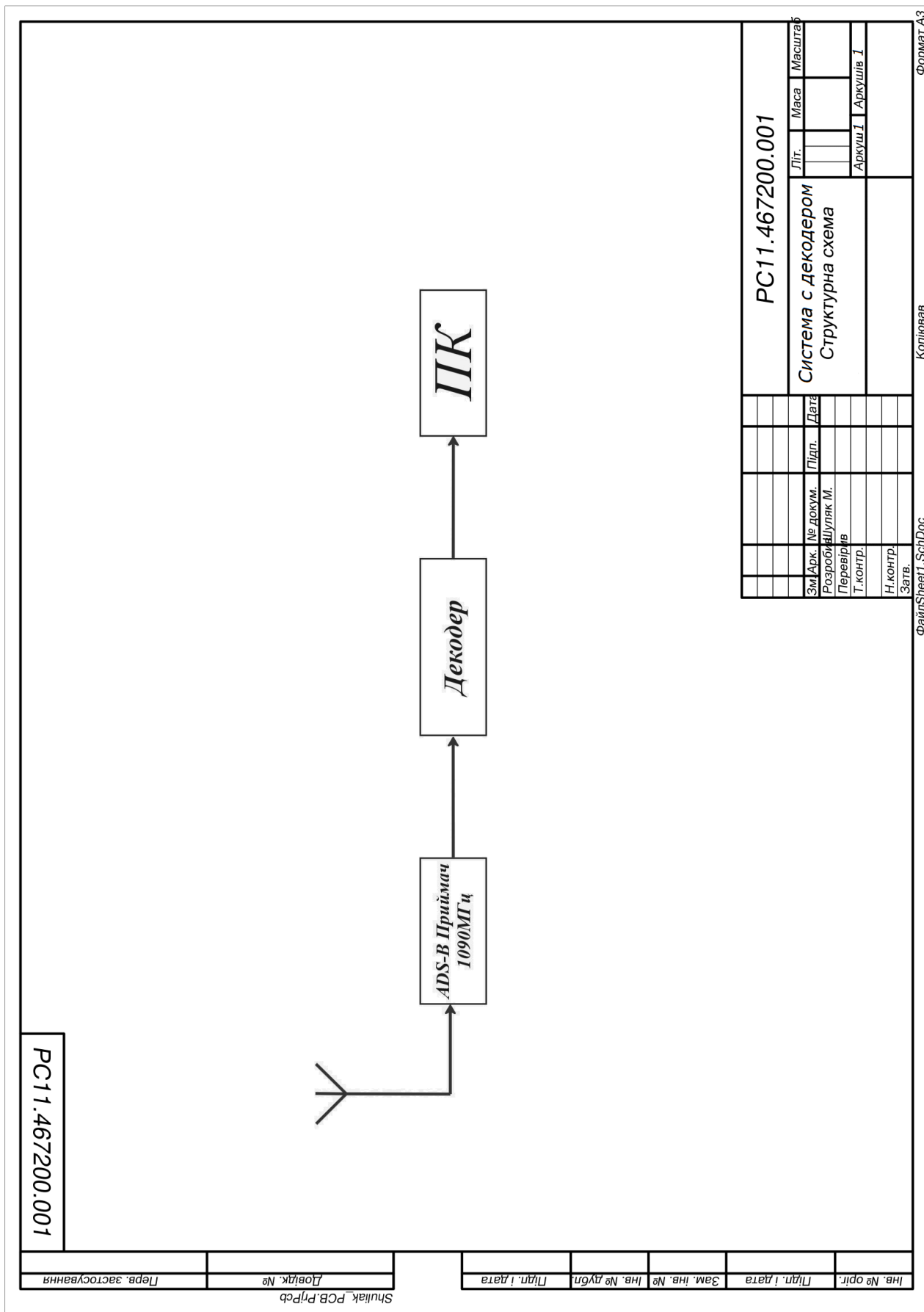
PC11.467200.001			
Літ.	Маса	Масштаб	
		1:1	
Декодер Друківана плата			
Зм. Арк. № док.м.	Підпис	Дата	
Розроб. Шуляк М.			
Перевір.			
Т. контр.	Аркуш	1	Аркушів 2
Н. контр.			
Затв.			

Копіював

Формат А3



# ДОДАТОК Є. СТРУКТУРНА СХЕМА



Інв. № опр.	Ліст. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Ліст. і дата	Ліст. і дата	Ліст. і дата
Ліст. застосування	Ліст. застосування	Ліст. застосування	Ліст. застосування	Ліст. застосування	Ліст. застосування	Ліст. застосування

Shulak\_PCB.PjPcb