

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

**Радіотехнічний факультет
Радіотехнічних пристроїв та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«___» _____ 2023р.

Дипломний проект

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Радіотехнічні інформаційні технології» спеціальності 172**

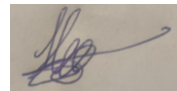
«Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: « Портативна радіолокаційна система виявлення та
пеленгації джерел електромагнітного випромінювання БПЛА »**

Виконав :

студент IV курсу, групи РТ-91

Негода Нікіта Володимирович



Керівник:

к.т.н., доцент,

Чмельов Вячеслав Орійович



Рецензент:

к.т.н., доцент кафедри

Василенко Дмитро Олексійович

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

Студент _____

Київ – 2023 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 інформаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Негода Нікіта Володимирович

1. Тема проєкту «Портативна радіолокаційна система виявлення та пеленгації джерел електромагнітного випромінювання БПЛА», керівник проєкту доцент, к.т.н. Чмельов Вячеслав Орійович, затверджені наказом по університету від «30»_травня 2023 р. №2061-С
2. Термін подання студентом проєкту 21 червня 2023 року
3. Вихідні дані до проєкту: Типи БПЛА – розвідувальні, забезпечувальні, діапазон частот ЕМВ 1000МГц – 6000МГц, імовірність виявлення $P_{\text{вв}} = 0.9$, портативне - це обмеження на масо-габаритні вимоги – перенесення і застосування одною людиною.
4. Зміст пояснювальної записки: провести аналіз завдання; дослідити існуючі методи пеленгації; розробити структурну схему пеленгатора;

розробити електричну принципову схему та плату; обрати елементну базу; розробити корпус цифрового індикатора.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): структурна схема, схема електрична принципова, складальне креслення, друкована плата, презентація.

6. Дата видачі завдання 19 квітня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Дослідити сучасні підходи щодо виявлення БПЛА у повітрі	19.04 – 25.04	Виконано
2	Дослідження основних принципів розробки радіопеленгаторів для виявлення джерел ЕМВ	26.04 – 01.05	Виконано
3	Проаналізувати БПЛА, як джерело електромагнітного випромінювання	02.05 – 08.05	Виконано
4	Дослідити методи амплітудної пеленгація джерела радіосигналу	09.05 – 16.05	Виконано
5	Порівняльний аналіз та вибір методів пеленгації БПЛА	17.05 – 23.05	Виконано
6	Визначення параметрів антенної системи пеленгатора	24.05 – 28.05	Виконано
7	Розрахунок основних параметрів радіолокаційної системи пеленгації БПЛА	29.05 – 4.06	Виконано
8	Розробка структурної схеми радіопеленгатора БПЛА	5.06 – 10.06	Виконано
9	Оформлення документації	11.06 – 20.06.	Виконано

Студент _____

Нікіта Негода

Керівник проекту _____

Вячеслав Чмельов

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 69 сторінок, містить 49 рисунки, 5 таблиць, 7 додатки та 16 посилань.

Мета даного проекту: визначити основні параметри переносної радіолокаційної системи пеленгації електромагнітного випромінювання БПЛА. Розробка структурно схеми та цифрового індикатора для джерела електромагнітного випромінювання. У проекті було розглянуто типи пеленгаторів, методи пеленгації, розраховано антену, розроблено цифровий індикатор. Розглянуто електричну принципову схему, розроблено друковану плату і корпус для цифрового індикатора.

Ключові слова: БПЛА, пеленгатор, пеленгація, ЕМВ.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note with a volume of 69 pages, contains 49 figures, 5 tables, 7 appendices and 16 references.

The purpose of this project: to determine the main parameters of the portable radar system for direction finding of electromagnetic radiation of UAVs. Development of a structural diagram and a digital indicator for a source of electromagnetic radiation. The project considered the types of direction finders, methods of direction finding, calculated the antenna, and developed a digital indicator. The electrical schematic diagram was considered, the printed circuit board and the case for the digital indicator were developed.

Key words: UAV, direction finder, direction finding, EMV.

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему: Портативна радіолокаційна система виявлення та пеленгації
джерел електромагнітного випромінювання БПЛА

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ	9
1 Система контролю руху БПЛА	11
1.1 Сучасні підходи щодо виявлення БПЛА у повітрі	11
1.2 Дослідження принципів розробки пеленгаторів для виявлення джерел ЕМВ	19
1.3 БПЛА, як джерело електромагнітного випромінювання	23
2 Пеленгація БПЛА, як джерела ЕМВ	28
2.1 Методи амплітудної пеленгація джерела радіосигналу	28
2.2 Порівняльний аналіз та вибір методів пеленгації БПЛА	34
3 Радіопеленгатор БПЛА	37
3.1 Параметри антенної системи пеленгатора	37
3.2 Основні параметри радіолокаційної системи пеленгації БПЛА ..	40
3.3 Структурної схеми радіопеленгатора БПЛА	42
3.4 Цифровий індикатор виявлення джерела ЕМВ	50
ВИСНОВКИ	67
Перелік джерел	68
Додаток А	70
Додаток Б	75
Додаток В	76
Додаток Г	78
Додаток Д	79
Додаток Е	80
Додаток Є	81

					РТ91. 467863.001 ПЗ					
ЗМ.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата	Портативна радіолокаційна система виявлення та пеленгації джерел електромагнітного випромінювання БПЛА		Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Негода Н.								7	69
Перевірів	Чмельов В.									
Н. Контр.										
Затвердив					РТ-91, РТФ					

Перелік скорочень

БПЛА - безпілотний літальний апарат

ЕМВ - електромагнітне випромінювання

SDR – Software defined radio

ЦОС - цифрова обробка сигналів

АС - антенна система

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасному світі БПЛА здобувають все більшу популярність і використовуються в різних галузях, таких як військова, цивільна та комерційна сфери. Однак, разом зі зростанням їх числа та розвитком їх можливостей, постає необхідність у розробці радіолокаційних систем, які забезпечували би виявлення та пеленгацію джерел електромагнітного випромінювання таких БПЛА.

Радіопеленгаційна система є ключовим компонентом для забезпечення безпеки, контролю та нагляду в повітряному просторі. Ця система дозволяє виявляти наявність БПЛА, визначати їх положення, швидкість, курс та інші характеристики, що є важливими для забезпечення безпеки польотів, захисту важливих об'єктів та виявлення незаконної діяльності.

На сьогоднішній день, важливим завданням є розробка доступних і компактних мобільних пристроїв, які забезпечують точне визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання.

Мета роботи: визначити основні параметри переносної радіолокаційної системи пеленгації електромагнітного випромінювання БПЛА.

Часткові завдання:

1. Дослідити сучасні підходи щодо виявлення БПЛА у повітрі.
2. Розглянути основні засади створення радіопелегаторів джерел ЕМВ
3. Проаналізувати БПЛА, як джерело електромагнітного випромінювання.
4. Дослідити методи амплітудної пеленгація джерела радіосигналу.
5. Порівняльний аналіз та вибір методів пеленгації БПЛА

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Визначення параметрів антенної системи пеленгатора
7. Розрахунок основних параметрів радіолокаційної системи пеленгації БПЛА
8. Розробка структурної схеми радіопеленгатора БПЛА
9. Проектування цифрового індикатора виявлення джерела ЕМВ.

Очікувані результати: Розраховані основні параметри пеленгатора, такі як вірогідність хибної тривоги і вірного виявлення, відношення сигнал/шум та потенційна дальність виявлення джерела ЕМВ в залежності від частоти. Розроблена структурна схема пеленгатора, обрані елементи. Для цифрового індикатора розроблена електрична принципова схема, складальний кресленик корпусу та друкована плата.

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. Система контролю руху БПЛА

1.1 Сучасні підходи щодо виявлення БПЛА у повітрі

За останні роки БПЛА значно поширилися і стали необхідністю в багатьох галузях життя, включаючи військові дії, пошук та рятувальні операції, дослідження довкілля та транспорт. Проте, наявність БПЛА в повітрі може створювати безпекові ризики, зокрема, порушення конфіденційності, вторгнення в приватний простір та порушення повітряного простору. Оскільки БПЛА можуть бути використані злочинцями та терористами, виникає необхідність у розробці та впровадженні систем виявлення БПЛА у повітрі [1].

До сучасних методів виявлення БПЛА у повітрі відносяться:

1. Оптичний
2. Радіолокаційний
3. Тепловий
4. Радіочастотний (RF)
5. Акустичний

Оптичний метод

В основі оптичного методу виявлення БПЛА полягає у використанні камери, яка визначає місцезнаходження рухомого повітряного об'єкта. Зображення і відео аналізується на основі алгоритмів машинного навчання, що використовують відео зібрані з різних типів камер. На основі розрахованих даних визначається наступна інформація: категорія БПЛА, швидкість, траєкторія польоту. Також може використовуватись база даних сигнатур і профілів БПЛА для точної ідентифікації та класифікації. Проте в такої техніки є певні недоліки, оскільки має серйозну залежність від навколишніх умов, таких як рівень освітлення, змінна освітленість та тіні,

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						11
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

туман, або ж інші об'єкти з якими не буде видно БПЛА. Вночі звичайні камери безкорисні, тому потрібні застосовувати інфрачервоні камери, але в них нижчі характеристики і більша вартість.

Наприклад, одна з систем, що використовує оптичний метод для виявлення та ідентифікації БПЛА - SkyPatriot Sector 30 (Рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – SkyPatriot Sector 30

Система використовує оптичні сенсори та алгоритми комп'ютерного зору для автоматичного виявлення та відслідковування БПЛА. SkyPatriot може ідентифікувати БПЛА та отримувати інформацію про їх польотні характеристики, включаючи місцезнаходження та ідентифікаційні дані [3].

Радіолокаційний метод

Даний метод використовується у радіолокаційних системах, які можуть виявляти безпілотні літальні апарати шляхом відбивання радіохвиль від їх металевої конструкції. Радіолокаційна система випромінює радіохвилі, які можуть бути відбиті або розсіяні об'єктами, з якими вони зіштовхуються.

					<i>РТ91.467863.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i> 12
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Змінені хвилі повертаються до приймача радіолокації, де алгоритми перетворюють їх у формат візуального екрана, що дозволяє отримати інформацію про деякі характеристики об'єкта, такі як його форма, розмір, швидкість, в деяких випадках можна навіть встановити модель БПЛА. Цей метод ефективний навіть при поганих погодних умовах, або в темну пору доби. За допомогою радіолокаційних систем можливо виявляти повітряні, наземні, надводні, або підводні цілі.

Прикладом установки, яка використовує такий метод виявлення БПЛА є ЛИС-2М (Рис. 1.2). Компанія Укрспецтехніка розробила систему, яка дозволяє проводити розвідку наземних та надводних цілей: для охорони державного кордону, військових або адміністративно-господарських об'єктів. Застосування такої системи не залежить від дня доби, чи погодних умов.



Рисунок 1.2 – Лис-2М

Також є комплектації системи яка дозволяє встановити на транспортний засіб (БТР, БМП, автомобіль) та проводити автоматичне горизонтування

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		13

антени за показаннями вбудованих акселерометричних датчиків горизонту при зупинці транспортного засобу.

Тепловий метод

Тепловий метод використовується в теплових (інфрачервоних) камерах які можуть виявляти безпілотні літальні апарати за допомогою детекції теплових відбитків, що випромінюються апаратами. Цей метод не є найбільш ефективним та надійний. Оскільки зазвичай дрон виготовляють з пластикового корпусу, який є поганим теплопровідником, двигун дрона не є головним джерелом тепла і виробляє його набагато менше, ніж здається [4].

Літієві акумулятори є основним джерелом тепла, якого може бути достатньо, щоб людина оператор могла помітити БПЛА.

Американська компанія Orgal на основі даного метода виявлення розробила систему Accuracii XRU HD (Рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Accuracii XRU HD

Accuracii XRU HD — це двоканальна система поворотних камер, яка має одну з найдовших неохолоджуваних фокусних відстаней у поєднанні з

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		14

найвищою чутливістю неохолоджуваних тепловізійних камер, доступних на ринку. Типові застосування цієї системи включають безпеку аеропортів, безпеку міжнародних кордонів, правоохоронні органи, критичну інфраструктуру, безпеку нафто- та газопроводів, безпеку гірничих робіт тощо. Система доступна в різних конфігураціях, включаючи аналогову або IP, і пропонує опції лазерного далекоміра (LRF) і термостабілізації зображення [10].

Радіочастотний метод

Більшість БПЛА використовують радіочастотний спектр для зв'язку зі своїми операторами. Щоб підтримувати зв'язок між приймачем і переданим сигналом, вони об'єднані в пару зі спеціальними чіпами RFID, які не дозволяють іншим пристроям на тій самій частоті обганяти БПЛА.

Радіочастотний метод включає в себе використання радіочастотних датчиків, які пасивно прослуховують і контролюють частоти від 70 МГц до 6 ГГц для передачі каналу зв'язку між БПЛА і пілотом, щоб визначити місцезнаходження БПЛА, а в деяких випадках і пілота [9].

Прикладом системи, яка використовує радіочастотний метод є AARTOS RF Detection (Рис. 1.4).

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – AARTOS RF Detection

Система AARTOS використовує радіочастотні детектори для виявлення БПЛА і пілотів. Радіочастотний детектор досягає діапазону купола до 14 км. Система використовує складні апаратні та програмні компоненти для аналізу радіочастотних сигналів і надання інформації в реальному часі про виявлені сигнали. AARTOS також використовує штучний інтелект для визначення типу загрози шляхом порівняння різних частотних шаблонів. Система може легко відрізнити БПЛА від звичайних радіочастотних сигналів за допомогою вивчених шаблонів і може визначити майже всі типи загроз, а також місцезнаходження пілота БПЛА [14].

Акустичний метод

Акустичний метод включає в себе аналіз всіх звуків, які видає БПЛА під час роботи. Даний метод активно досліджується, а також розглядаються варіанти об'єднання його з іншими методами, наприклад радіолокаційним

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

методом. Найбільшою проблемою методу є те, що виявленню БПЛА заважають шуми навколишнього середовища.

Найбільш сучасною системою яка використовує акустичний метод є Discover G2 (Рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Discovair G2

Discovair G2 використовує запатентовані масиви мікрофонів. Завдяки 128 взаємопов'язаним мікрофонним елементам сенсорні блоки Discovair здатні встановлювати азимут і висоту цілі в режимі реального часу за допомогою вдосконаленої цифрової обробки сигналу. Акустичні датчики утворюють повністю модульне та масштабоване рішення. Discovair G2 можна використовувати для будь-яких цілей, від невеликих мобільних наземних установок до великих периметрів і навіть кордонів. Discovair G2 може працювати незалежно або в поєднанні з іншими технологіями виявлення.

Discovair G2 призначений для цілодобової роботи без втручання користувача. Коли буде виявлено, оператор отримає звукові та візуальні

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

попередження. Під час події виявлення графічний інтерфейс користувача (GUI) Discovair відображатиме карту або супутникове зображення охоронюваної зони.

Висновок:

Кожен метод пеленгації розглянутий вище може без проблем виконувати чітко поставлені задачі. Радіопеленгатори мають кілька переваг порівняно з іншими типами пеленгаторів для виявлення БПЛА:

1. Радіопеленгатори спеціалізуються на виявленні та аналізі радіосигналів, що дозволяє їм ефективно виявляти присутність та місцезнаходження БПЛА.
2. Радіопеленгатори зазвичай мають високу чутливість до слабких радіосигналів, що дозволяє їм виявляти навіть невеликі БПЛА. Крім того, з використанням прецизійних антен та алгоритмів обробки сигналів, радіопеленгатори можуть досягати високої точності в визначенні напрямку на БПЛА.
3. Радіопеленгатори можуть виявляти різні типи БПЛА, незалежно від їх фізичного розміру та конструкції. Вони працюють на принципі виявлення радіосигналів, тому не обмежені конкретними характеристиками апарату БПЛА.
4. Оскільки радіохвилі мають велику дальність поширення та можуть проникати через перешкоди. Це дозволяє радіопеленгаторам виявляти БПЛА на значній відстані та навіть за перешкодами, що робить їх ефективними в різних умовах та середовищах.

1.2 Дослідження принципів розробки пеленгаторів для виявлення джерел ЕМВ

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		18

Радіопеленгатор - це пристрій або система, призначена для визначення напрямку до джерела радіочастотного сигналу.

Радіопеленгація ґрунтується на принципах передачі радіохвиль по найкоротшому шляху з кінцевою швидкістю, використанні ортогональної площини рівних фаз для визначення напрямку поширення хвилі та застосуванні принципів спрямованого радіоприйому.



Рисунок 1.6 – Типова схема радіопеленгатора

Радіопеленгатор складається з наступних компонентів : антенна система, радіоприймальний блок, блок цифрової обробки, інтерфейс.

У сучасних радіопеленгаторах, АС складається з однієї або кількох широкосмугових антен моніторингу. АС зазвичай представлена антенною решіткою, яка складається з N-антенних елементів, розташованих у просторі згідно з певним законом. В більшості сучасних радіопеленгаторів використовуються кільцеві антенні решітки.

У радіопеленгаторів, радіоприймальний блок виконує функції селекції, підсилення та зміни частоти вхідного сигналу. Аналогові сигнали, які надходять з радіоприймального блоку, передаються на блок ЦОС [11].

У ЦОС відбувається перетворення цих аналогових сигналів у цифровий формат. Залежно від методу пеленгування, в ЦОС визначається азимут до джерела радіовипромінювання. Блок ЦОС може також здійснювати спектральний аналіз сигналів, вимірювання їх параметрів,

демодуляцію та декодування повідомлень. Використання ЦОС дозволяє уникнути багатьох недоліків, характерних для аналогових радіопеленгаторів. Він забезпечує синхронізацію прийомних каналів, виправлення помилок фази та амплітуди для антен. Інтерфейс призначений для зручного та логічного відображення результатів роботи радіопеленгатора. Крім відображення результатів пеленгування, спектрального і технічного аналізу, інтерфейс також використовується для управління роботою обладнання радіопеленгатора, збереження баз даних з результатами пеленгування, сигналами для технічного аналізу, формування звітів, протоколів роботи та інших функцій. Основними типами пеленгаторів є амплітудні та фазові [12].

Амплітудний пеленгатор

Амплітудний пеленгатор працює на основі вимірюванні та порівнянні амплітуди сигналу, отриманого від антени, в різних напрямках. Амплітудний пеленгатор має набір антен, які розташовані у певній конфігурації. Сигнали, які надходять на антени, проходять через підсилювачі та інші елементи обробки сигналу для вимірювання їх амплітуди. Це може включати аналогове або цифрове підсилення, фільтрацію та інші операції для підготовки сигналу до вимірювання. Прикладом є структурна схема, яка показана на рисунку 1.7.

					<i>РТ91.467863.001 ПЗ</i>	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

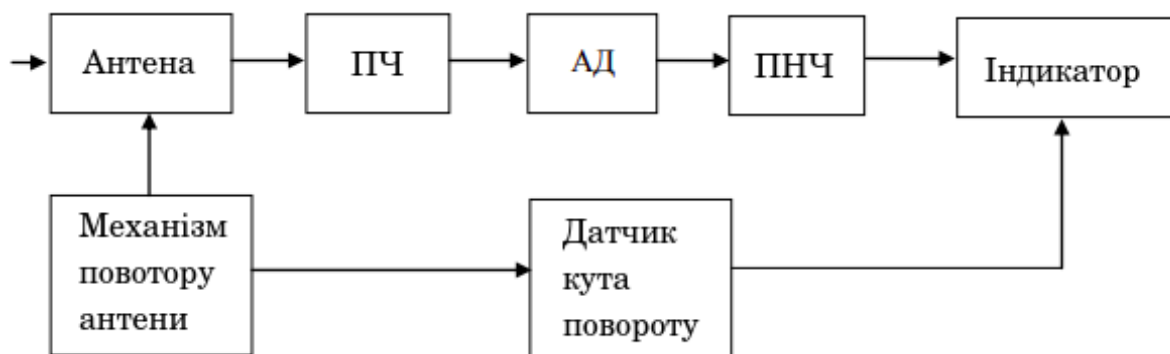


Рисунок 1.7 – Структурна схема амплітудного пеленгатора

Схема пеленгатора складається з антени, ПЧ - підсилювач частоти, АД - амплітудний детектор, ПНЧ - підсилювач низької частоти, індикатора, механізма повороту антени з датчиком кута повороту.

Отримані амплітудні виміри порівнюються між собою для визначення напрямку приходу сигналу. Зазвичай використовується простий порівняльний аналіз, де амплітуди сигналів порівнюються на основі їх відносних значень. Напрямок, який відповідає більшій амплітуді, вважається напрямком приходу сигналу. Результати пеленгування можуть бути відображені на дисплеї або індикаторі.

Фазові радіопеленгатори

Радіопеленгатори, що використовує фазовий метод пеленгування для визначення напрямку приходу радіосигналів. Принцип роботи фазового радіопеленгатора полягає в порівнянні фази сигналів, які отримуються з різних антенних елементів або антенних груп.

Основна ідея полягає в тому, що при належному розташуванні антенних елементів і застосуванні ліній затримки, фаза сигналу, який надходить з певного напрямку, буде співставлена з фазою сигналу, який надходить з іншого напрямку. Це дозволяє встановити діаграму спрямованості антенної системи, яка вказує на напрямки, з яких приходять

сигнали. Для досягнення точності пеленгування зазвичай використовуються не одна, а кілька антенних систем. Це дозволяє уникнути неоднозначностей і забезпечити більш точне визначення напрямку джерела ЕМВ.

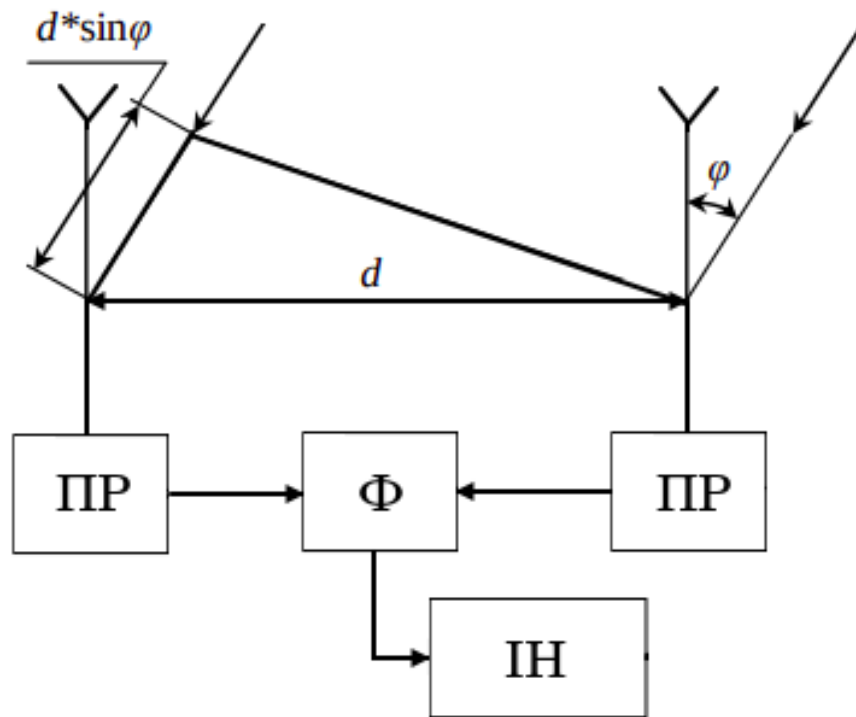


Рисунок 1.8 – Структурна схема фазового пеленгатора

Схема пеленгатора складається з двох антен, П – приймального пристрою, Ф – фазометр. В результаті ЕМВ, що приймається антенами з напрямку, який визначається кутом ϕ , проходять різні відстані, різниця між якими складає $\Delta d = d \sin(\phi)$

Різниця фаз прийнятого ЕМВ в антенах буде:

$$\Delta\phi = (2\pi d/\lambda) * \sin(\phi)$$

Звідки отримуємо: $\phi = \arcsin((\lambda/(2\pi d)) * \Delta\phi)$, де λ - довжина хвилі сигналу.

Істотним недоліком фазових пеленгаторів є неоднозначність відліку пеленгу, зумовлена функцією $\sin(\varphi)$. Тобто для одного і того ж значення фази можуть існувати кілька можливих значень кута φ , що відповідають різним напрямкам на об'єкт.

Висновок:

Після дослідження типів пеленгаторів, було вирішено обрати амплітудний, оскільки він має ряд переваг:

1. Простота в реалізації, амплітудний пеленгатор не потребує складних алгоритмів обробки сигналу або фазового замірювання. Це робить його вигідним для простоти реалізації в портативних пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами.
2. Менші вимоги до точності антени, отже можливо використовувати простіші антени з меншою точністю, що дозволяє зменшити розмір і вагу портативного пристрою.

1.3 БПЛА, як джерело електромагнітного випромінювання.

Класифікація БПЛА за призначенням відіграє важливу роль у визначенні їх функціональних можливостей та застосування в різних галузях. Враховуючи широкий спектр завдань, які можуть виконувати БПЛА, таку класифікацію здебільшого здійснюють на основі їх функцій, завдань або сфери застосування [8]. Основні категорії класифікації БПЛА за призначенням включають наступне:

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						23
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

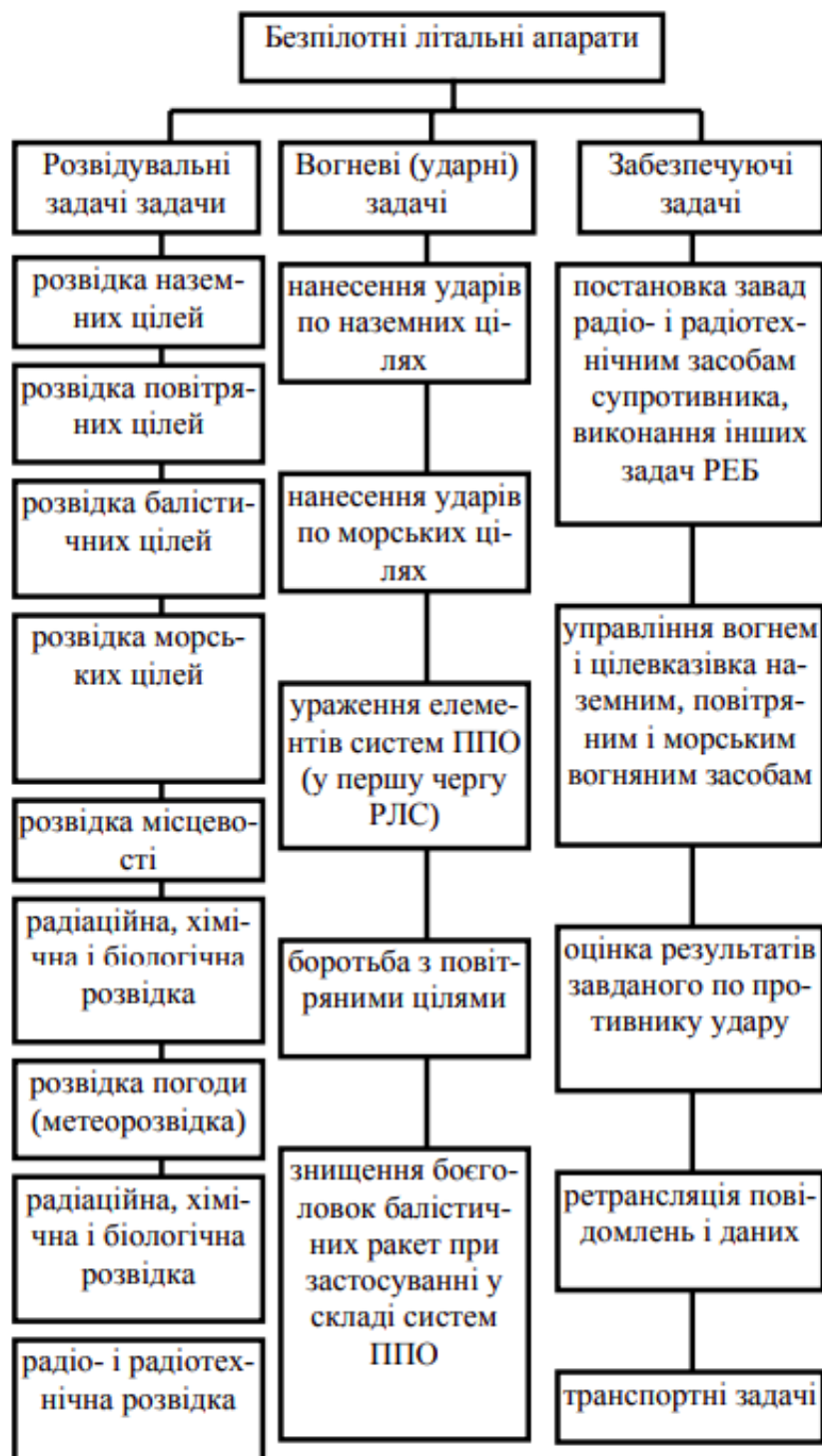


Рисунок 1.9 – класифікація БПЛА

Прикладом розвідувальних БПЛА є: General Atomics MQ-1 Predator, використовується для збору розвідувальної інформації, зокрема зображень і відеозаписів. Він має довгий час польоту і може проводити нагляд та розвідку в режимі реального часу; Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk,

використовується для стратегічної розвідки і має здатність довго перебувати в повітрі на великій висоті. Він забезпечує широкий спектр розвідувальних можливостей, включаючи збір і передачу розвідувальних даних у реальному часі.

До вогневих БПЛА можна віднести: General Atomics MQ-9 Reaper, який використовується для здійснення бойових операцій із великою точністю. Він озброєний керованими ракетами і бомбами і може виконувати ударні завдання проти наземних цілей; China Aerospace Wing Loong II, вогневий БПЛА який використовується для нанесення ударів на наземні цілі та ведення розвідки.

Забезпечувальні БПЛА зазвичай є квадрокоптери, наприклад: DJI Phantom 4 Pro, використовується у фотографії та відеозйомці для створення знімків з повітря. Він має високу якість зображення та стабілізацію камери, що дозволяє отримувати професійні знімки та відеоматеріали; UPS Flight Forward: експериментальних проект компанії UPS для доставки малих пакетів на короткі відстані.

Квадрокоптери варто розглянути окремо, оскільки він є одним з найпопулярніших видів БПЛА і відрізняється своєю конструкцією та здатністю до вертикального польоту. Він складається з чотирьох роторів, розташованих у вигляді квадрата, звідси і його назва. Квадрокоптери мають багато переваг, зокрема високу маневреність, здатність стабільно триматися у повітрі та легкість у керуванні. Ці апарати можуть бути оснащені різноманітними камерами, сенсорами або навіть зброєю, що розширює їх можливості у розвідувальних, вогневих і забезпечувальних операціях. Квадрокоптери також відзначаються своєю компактністю і портативністю, що робить їх зручними у використанні в різних ситуаціях, включаючи військові операції та рятувальні місії. Їх широкий спектр

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						25
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

застосувань і здатність працювати в умовах обмеженого простору робить квадрокоптери незамінними знаряддями для сучасних військових сил.

Враховуючи широку сферу застосування БПЛА, необхідно визначити за допомогою яких вразливих частин можна демаскувати БПЛА. Основною причиною вразливості БПЛА є електромагнітного випромінювання. Електромагнітні демаскуючі ознаки, які спричиняють цю вразливість, включають наступне: сигнали бортового відповідача, радіолокаційні сигнали, які відбиваються від корпусу та агрегатів БПЛА, сигнали від телевізійних ретрансляторів, широкомовних станцій та базових станцій стільникового зв'язку, які відбиваються від БПЛА, команди та передачі даних каналу управління між наземним пунктом управління та БПЛА, а також між БПЛА і супутником-ретранслятором системи навігації, сигнали від бортової радарної системи бокового огляду, канали обміну розвідувальною інформацією та сигнали системи автоматичної посадки на аеродром [7].

Це електромагнітне випромінювання створює потенційні можливості для виявлення та ідентифікації БПЛА, що робить їх більш уразливими перед потенційними загрозами. В якості джерела електромагнітного випромінювання було розглянуто передавачі відеосигналу для квадрокоптерів DJI Mavic 3, Mavic Air 2, DJI Phantom 4.

Таблиця 1.1 – Характеристики передавачів квадрокоптерів

	DJI Mavic 3	Mavic Air 2	DJI Phantom 4
Система передачі	O3+	OcuSync 2.0	Lightbridge
Частота роботи	2.400-2.4835 GHz 5.725-5.850 GHz	2.4 GHz/5.8 GHz Auto-Switching	2.400-2.4835 GHz 5.725-5.850 GHz

					PT91.467863.001 ПЗ		Лис
							26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата			

Максимальна дистанція передачі	FCC: 15 km CE: 8 km	FCC: 10 km CE: 6 km	FCC: 5 km CE: 3.5 km
Потужність передавача	2.4 GHz: FCC: <= 33 dBm CE: <= 20 dBm 5.8 GHz: FCC: <= 33 dBm CE: <= 14 dBm	2.4 GHz: FCC: <= 26 dBm CE: <= 20 dBm 5.8 GHz: FCC: <= 26 dBm CE: <= 14 dBm	FCC: 23 dBm CE: 17 dBm

FCC - Федеральна комісія зі зв'язку (з англ. Federal Communications Commission) в США, яка відповідає за регулювання проводового, радіо-, телевізійного та супутникового зв'язку. Сертифікація FCC гарантує, що БПЛА відповідають цим технічним стандартам і безпечні для використання в США.

CE (Conformité Européenne) — це знак Європейського Союзу (ЄС), який вказує на те, що продукт відповідає вимогам ЄС щодо здоров'я, безпеки та захисту навколишнього середовища.

Як бачимо з результатів таблиці, дані для FCC та CE відрізняються, оскільки процедури тестування також відрізняються. Сертифікація FCC вимагає ретельного тестування, щоб переконатися, що БПЛА відповідають певним технічним стандартам, тоді як сертифікація CE вимагає менш ретельного тестування, щоб переконатися, що БПЛА відповідають вимогам охорони здоров'я, безпеки та захисту навколишнього середовища. Процес затвердження для двох сертифікацій також відрізняється: сертифікація FCC потребує тривалого та складного процесу затвердження, тоді як сертифікація CE є відносно простою.

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2. Пеленгація БПЛА, як джерела електромагнітного випромінювання

2.1 Методи амплітудної пеленгація джерела радіосигналу

Радіопеленгація - це процес визначення напрямку джерела радіосигналу. Вона використовується для визначення положення або напрямку джерела радіохвиль шляхом вимірювання азимутального або антенного кута. У радіопеленгації використовуються антени або антенні системи, які спроможні фіксувати сигнал з різних напрямків. За допомогою цих антен, радіоприймачі можуть виміряти фазову або амплітудну різницю сигналів, які отримуються з різних антен або в різний час. Збираючи ці дані, можна визначити напрямок, звідки приходить сигнал. Завдяки супутниковим навігаційним системам пеленгація навігаційних цілей втрачає свою первинну важливість, проте зростає потреба в визначенні місцезнаходження джерел радіовипромінювання. Це особливо актуально у зв'язку зі зростаючою кількістю і різноманітністю комунікаційного обладнання в різних сферах.

В наш час представлено широкий спектр радіотехнічних систем, які призначені для визначення напрямку на джерела радіосигналу. Методи, що лежать в основі роботи, можна поділити на три категорії: амплітудні, інтерферометричні та доплерівські. Зокрема, останні з них використовують фазові методи.

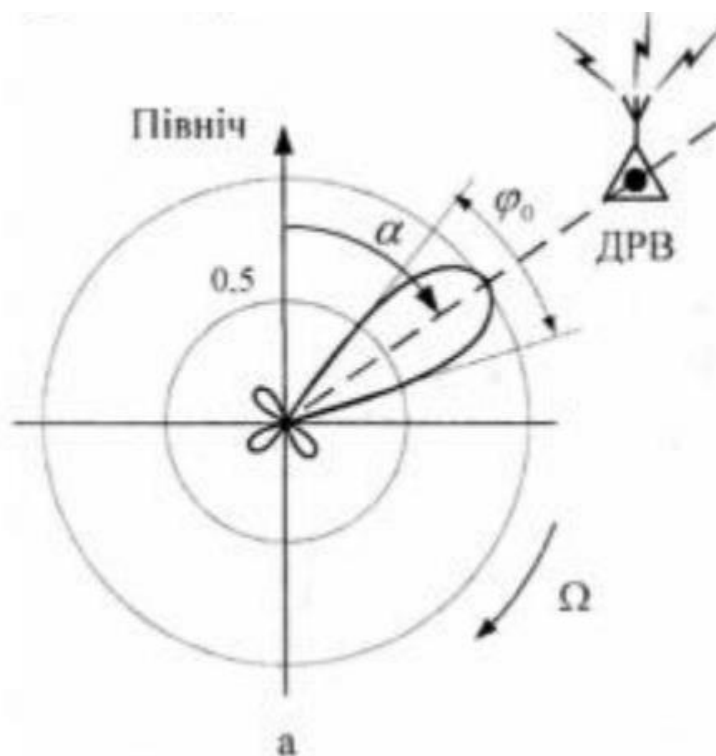
Амплітудні методи пеленгування базуються на використанні спрямованих властивостей антен. При застосуванні вузькоспрямованої антени, амплітуда сигналу на виході приймача залежить від напрямку діаграми спрямованості на ціль. Діаграма спрямованості антени є графічним зображенням залежності потужності, яку випромінює

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						28
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

передавальна система, або залежності електромагнітної енергії, що надходить до приймальної антени [6].

Виділяють чотири різновиди амплітудної пеленгація джерела радіосигналу: по максимуму, по мінімуму, рівносигнальний та сумарно-різницевий .

Пеленгація по максимуму зазвичай використовується для пеленгаторів дециметрового і сантиметрового діапазону, для яких можна використовувати гостроспрямовані антени [11]. В такому разі при пеленгуванні методом максимуму, напрямок на ціль визначається шляхом знаходження максимального значення прийнятого сигналу від цілі. Цей метод застосовується при обертанні антени в коловому русі або її хитанні в певному секторі простору. Для реалізації цього методу використовуються вузькоспрямовані антени, чия діаграма спрямованості має вузьку ширину (Рис. 2.1), що вимірюється в частках або одиницях градусів.



Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.467863.001 ПЗ

Лис

29

Рисунок 2.1 – Діаграма спрямованості для метода максимуму

Результуюча напруга U на виході антени безпосередньо залежить від інтенсивності електромагнітного поля E в місці приймання та діаграми спрямованості антени, де α - азимут, β - зенітний кут [6].

$U = hEF(\alpha, \beta)$, де h - висота антенної системи пеленгатора.

Під час пеленгації антену можна обертати безперервно, тоді її вихідна напруга U модулюється з кутовою частотою її обертання Ω за формулою: $U = U_{\max} F(\Omega t - \alpha)$.

Або ж повертати до моменту отримання максимального значення вихідної напруги, просторове положення діаграми спрямованості антени змінюється, і напрямок її максимуму співпадає з напрямком джерела радіосигналу. Пеленг визначається залежно від кутового положення діаграми спрямованості [9]. Метод пеленгування за максимумом дозволяє досягти більшої дальності, оскільки приймач працює з вищим рівнем сигналу. Точність пеленгування за максимумом є обмеженою, оскільки вона залежить від крутості діаграми спрямованості в області максимуму і зазвичай становить кілька відсотків від ширини діаграми спрямованості при рівні половинної потужності.

Метод пеленгування по мінімуму використовується тоді, коли можливо створити діаграму спрямованості з чітким мінімумом (рис. 2.2), і полягає у повороті діаграми спрямованості до положення, при якому сигнал на виході приймача досягає мінімального значення.

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

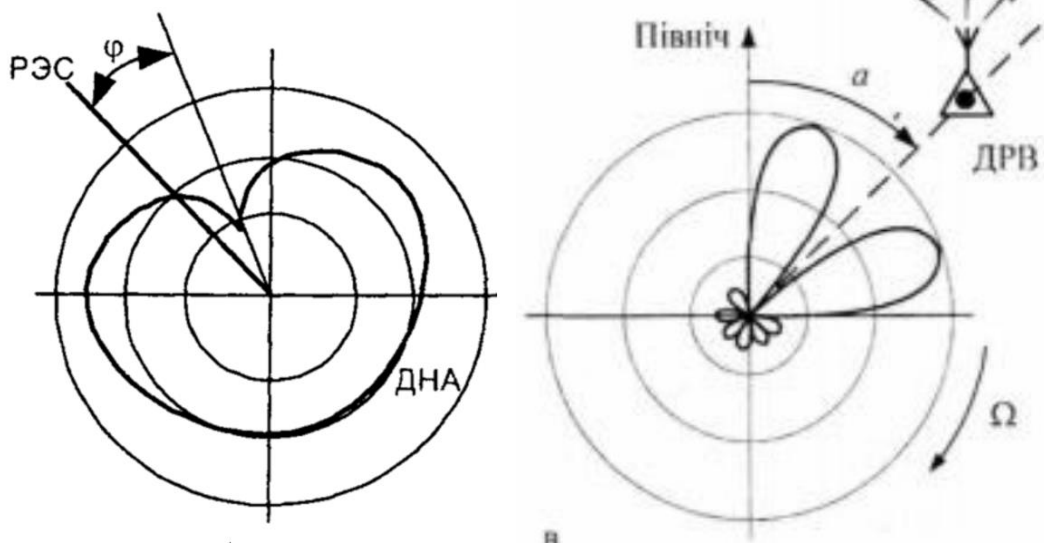


Рисунок 2.2 – Діаграма спрямованості для метода мінімуму

Таку діаграми спрямованості може мати окрема АС, крім цього її можна також сформувати шляхом застосування пари ідентичних антен, кожна з яких має вузьку діаграми спрямованості.

Застосування даного методу пеленгування сприяє досягненню вищої точності вимірювання пеленгу, проте дальність дії пеленгації за методом мінімуму є меншою, ніж при пеленгації за методом максимуму, оскільки рівень прийнятого сигналу є нижчим [7].

Метод рівносигнальної пеленгації базується на вимірюванні напрямку джерела радіовипромінювання шляхом отримання сигналу на двох антенах. Головна особливість цього методу полягає в тому, що діаграми спрямованості обох антен мають однакові головні пелюстки (рис. 2.3).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.467863.001 ПЗ

Лис

31

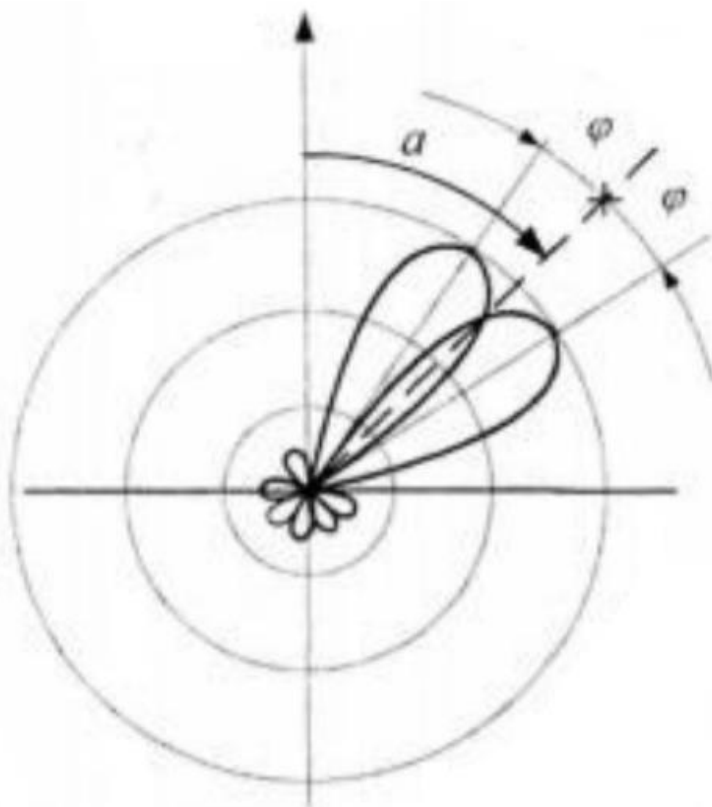


Рисунок 2.3 – Діаграма спрямованості рівносигнального методу

Напрямок на джерела випромінювання визначається як напрямок, який знаходиться між двома максимальними значеннями діаграм спрямованості антен. Оскільки ці антени є ідентичними, то їхні діаграми спрямованості, позначені як $F(\alpha)$, є однаковими і розвернутими на певний кут φ . Тому вихідні сигнали антен можна описати за допомогою функцій $F(\alpha + \varphi)$ та $F(\alpha - \varphi)$ [14].

При пеленгуванні за цим методом завжди можна впевнитися в наявності сигналу від пеленгованого джерела випромінювання, аналізуючи вихідний сигнал будь-якої з антен. Це відрізняється від пеленгування за мінімальним значенням сигналу. Завдяки непарності пеленгаційної характеристики та лінійності її центральної частини, навіть незначне відхилення рівносигнального напрямку від напрямку на джерела

призводить до зміни полярності напруги, а рівень напруги відповідає величині відхилення.

Сумарно-різницевий метод за рахунок використання перетворювачів, що здійснюють операції суми та різниці над сигналами, система формує сумарний та різницевий сигнали, що забезпечує одночасний прийом сигналу різними діаграмами спрямованості [14].

Напрямок на ціль визначається шляхом аналізу амплітуди різницевого сигналу і визначення його мінімального значення. Якщо різниця між сигналами, отриманими від різних антен, є мінімальною, це означає, що ціль розташована у напрямку, в якому сигнали мають однакову амплітуду. Сигнал на виході цього каналу збільшується, коли виникає нерівновага, викликана зміщенням цілі відносно осі.

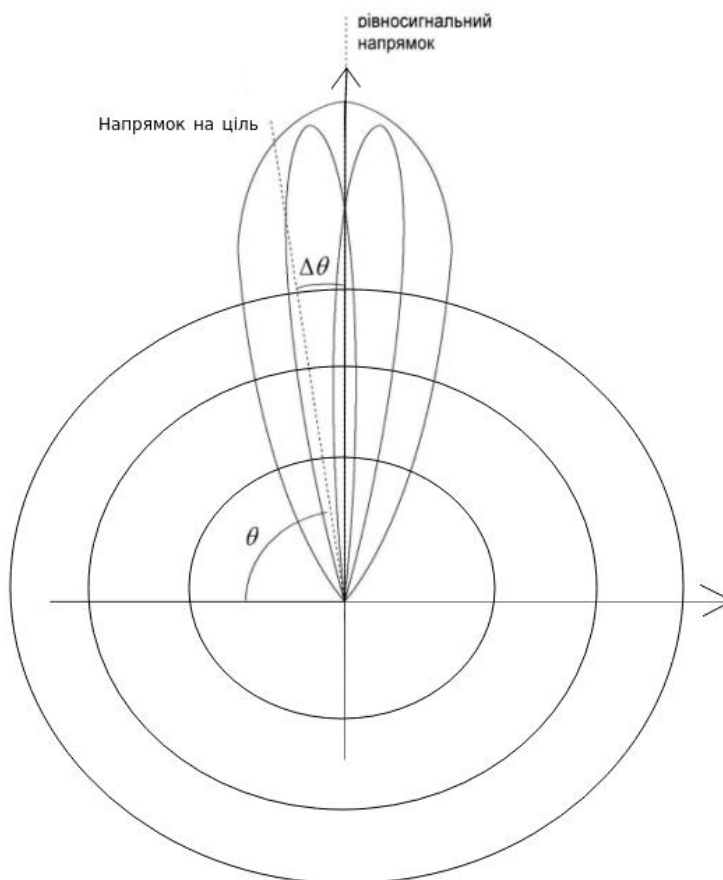


Рисунок 2.4 – Діаграма спрямованості сумарно-різницевого методу

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		33

Сумарний сигнал використовується як базовий сигнал при нормуванні різницевого. Нормування дозволяє компенсувати вплив тимчасових змін амплітуди прийнятого сигналу, яка може коливатися в широкому діапазоні, на кінцевий результат. Крім того, сумарний сигнал використовується для початкового виявлення цілі та відрізнення її від перешкод, визначення дальності та швидкості [6].

Послідовність дій для реалізації пеленгації таким методом проводиться в два етапи:

1. Система виконує огляд простору за допомогою сумарного каналу, що дозволяє виявити ціль та приблизно визначити її напрямок. На цій основі система орієнтується.
2. Далі використовується різницевий канал для отримання точних кутових координат цілі. Також цей канал дозволяє більш точно визначити напрямок на ціль та визначити її положення з високою точністю.

2.2 Порівняльний аналіз та вибір методів пеленгації БПЛА

Метод максимуму

Перевага:

Метод відрізняється простотою з боку технічної реалізації, та процесу пеленгації. Він дозволяє досягти великого співвідношення сигнал/шум під час вимірювань, та забезпечує велику дальність дії. Через це метод максимуму широко використовується в практиці радіолокації, особливо в радіолокаційних системах обзору.

Недолік:

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Виникнення помилок та відносно низька точність виявлення цілі через неточне визначення моменту максимуму головної пелюстки діаграми спрямованості.

Метод мінімуму

Перевага:

Основною перевагою методу є його вища точність порівняно з методом максимуму, оскільки в області нульового сигналу пеленгаційна характеристика має значно більшу крутизну, ніж у області максимального сигналу. Використання відносно простих засобів дозволяє досягати достатньо точних результатів.

Недолік:

Недоліком методу пеленгування за мінімальним значенням сигналу є обмежена точність пеленгування при низькому відношенні сигнал/шум. Це пояснюється тим, що через додаткове зниження рівня сигналу, мінімум відповіді антенної системи пеленгатора може бути таким самим, як відсутність сигналу, що може призвести до помилкового визначення напрямку. Крім того, дальність дії пеленгаторів, які працюють за цим методом, менша в порівнянні з пеленгаторами, які працюють за максимальним значенням сигналу [15].

Рівносигнальний метод

Перевага:

Основна перевага методу порівняно з іншими це більш висока точність вимірювання, а також можливість визначення сторони відхилення цілі від рівносигнального напрямку, при цьому не втрачаючи здатність до вимірювання відстані. За рахунок цього даний метод широко застосовується в практиці.

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Недолік:

Висока складність в реалізації конструкції пеленгатора. Невисока точність виявлення цілі, трохи нижче ніж у метода мінімуму.

Сумарно-різницевий метод

Перевага:

Основними перевагами такого метода є висока точність та швидкість. Швидкодія отримується за рахунок обробки сигналів до їх підсилення, безпосередньо на виході антени.

Недолік:

Формування декількох каналів прийому сигналу, що робить конструкцію такого пеленгатора більш складною

Отже, в результаті порівняльного аналізу методів пеленгації, для портативного пеленгатору вибрано метод максимуму. Це дасть наступні переваги:

- Приймання ЕМВ на великій дальності
- Проста конструкція, що дозволить зробити доволі компактний пеленгатор
- Невеликий вплив шумів за рахунок великого значення співвідношення сигнал/шум

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						36
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. Радіопеленгатор БПЛА

3.1 Параметри антенної системи пеленгатора

Логоперіодична антена є особливим типом антени, яка має широкосмугові характеристики та використовується в різноманітних застосуваннях, включаючи радіо та телевізійні передачі, радіолокацію, бездротові комунікації та інші [12]. Ця антена володіє важливою властивістю - логарифмічною періодичністю, що дозволяє їй працювати в широкому діапазоні частот. Розрахунки логоперіодичної антени включають в себе кілька ключових аспектів, таких як: діапазон частот, коефіцієнт підсилення, діаграма спрямованості, розміри елементів антени.

Оскільки БПЛА зазвичай передають інформацію на частоті 2.4 ГГц, або 5.8 ГГц, то отримуємо наступні параметри антени:

- Діапазон частот: $f_{\min} = 1000 \text{ МГц}$ $f_{\max} = 6000 \text{ МГц}$
- Вхідний опір: $R_0 = 50 \text{ Ом}$
- Діаметр елемента: $d = 0.1 \text{ мм}$
- Діаметра половини бума: $D = 1 \text{ мм}$
- Період структури: $\tau = 0.8$
- Відносний інтервал: $\sigma = 0.143$
- Кут при вершині: 39°
- Коефіцієнт підсилення: 7 дБ

Довжина елементів антени:

$$L1 = 74.9 \text{ мм}$$

$$L2 = 60 \text{ мм}$$

$$L3 = 48 \text{ мм}$$

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		37

L4 = 38.4 мм

L5 = 30.7 мм

L6 = 24.6 мм

L7 = 19.6 мм

L8 = 15.7 мм

L9 = 12.6 мм

L10 = 10.1 мм

L11 = 8 мм

L12 = 6.4 мм

Отримані результати діаграми спрямованості:

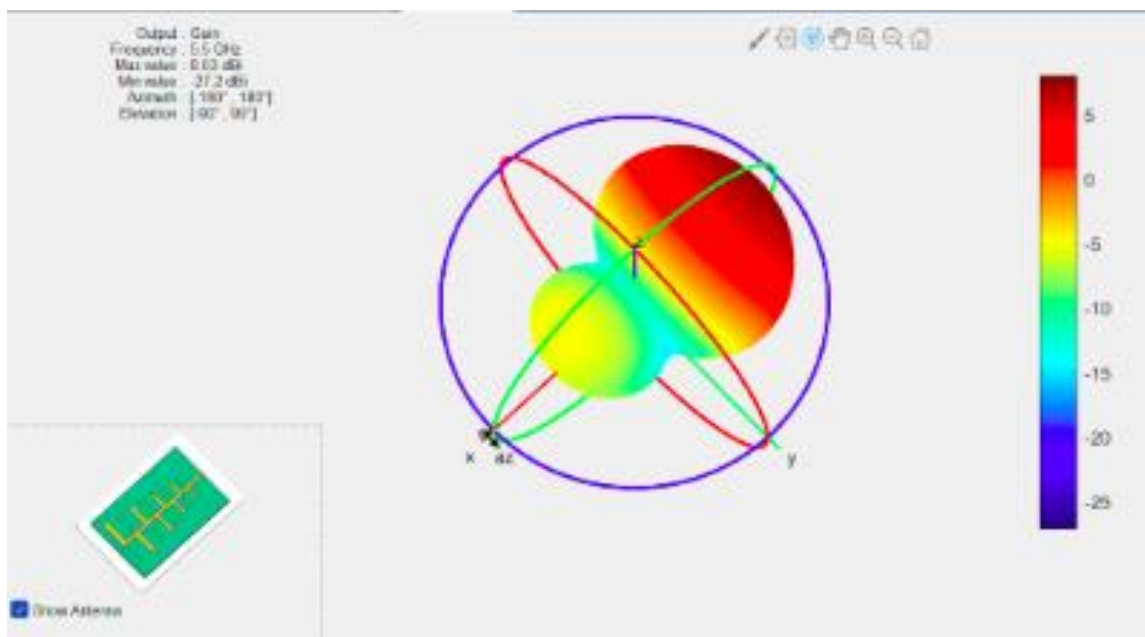


Рисунок 3.1 – 3-Д вигляд діаграми спрямованості

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		38

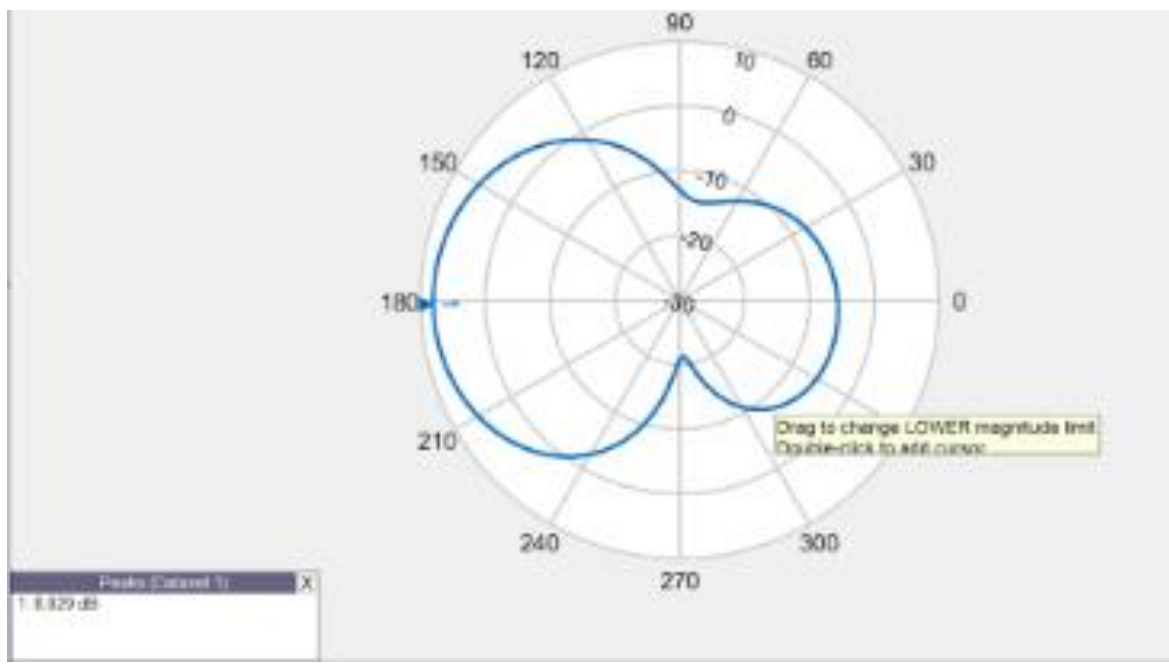


Рисунок 3.2 – діаграма спрямованості на площині Е

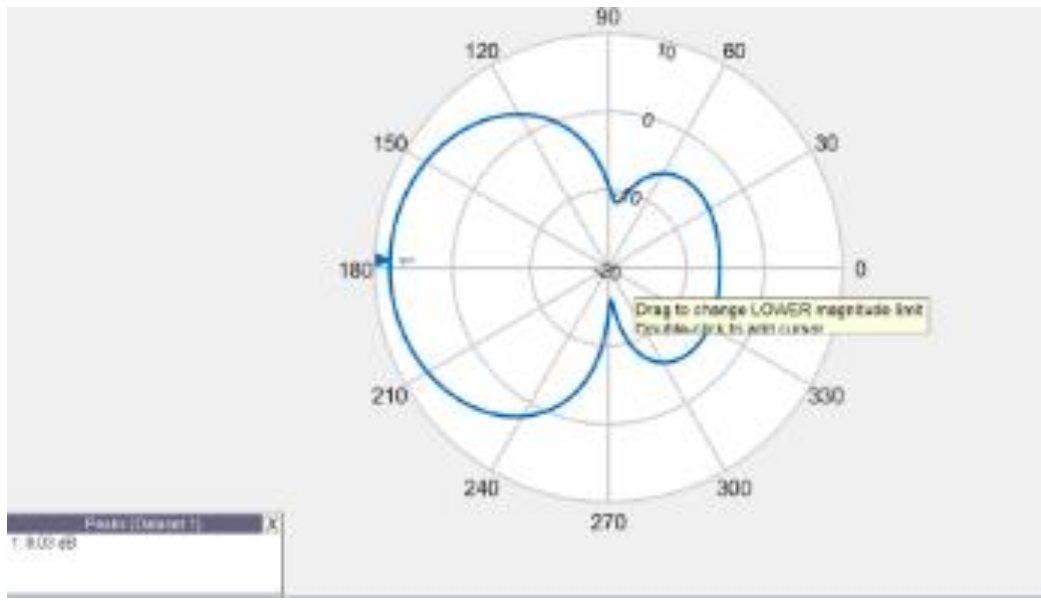


Рисунок 3.3 – діаграма спрямованості по площині Н

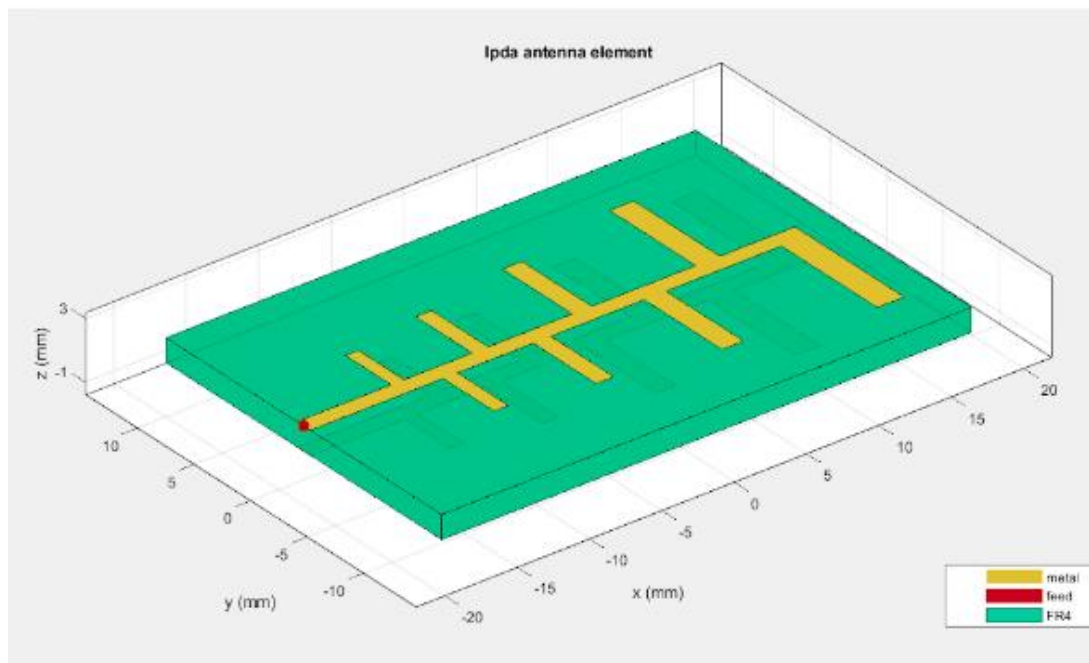


Рисунок 3.4 — Модель логоперіодичної антени на діелектричній підкладці

3.2 Основні параметри радіолокаційної системи пеленгації БПЛА

Радіолокаційна система пеленгації БПЛА має ряд основних параметрів, які визначають її характеристики і можливості. Основними параметрами радіолокаційної системи пеленгації БПЛА є: відношення сигнал/шум, коефіцієнт підсилення антени, коефіцієнт підсилення підсилювача, дальність.

$P_{xt} = 10^{-5}$ - вірогідність хибної тривоги

$P_{vv} = 0.9$ - вірогідність вірного виявлення

$q = 2 \times \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{P_{xt}}\right)}{P_{vv}} - 1 \right) = 216.543$ – необхідне відношення сигнал/шум SNR

В децибелах

$qDt = 10 \times \log(q) = 23.355$ дБ

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Відношення сигнал/шум є мірою відношення потужності або амплітуди корисного сигналу до потужності або амплітуди шуму, присутнього в сигналі. Цей показник використовується для оцінки рівня сигналу порівняно з рівнем шуму, чим більше значення відношення, тим менший вплив шуму на сигнал.

$G_{bpla} = 3.1$ раз – коефіцієнт підсилення всенаправленої типової антени на БПЛА

$$10 \times \log(G_{bpla}) = 4.914 \text{ дБ}$$

$G_{peleng} = 5$ – коефіцієнт підсилення антени пеленгатора

$$10 \times \log(G_{peleng}) = 6.99 \text{ дБ}$$

$G_{ampl} = 100$ – коефіцієнт підсилення підсилювача

$$10 \times \log(G_{ampl}) = 20 \text{ дБ}$$

Коефіцієнт підсилення вказує на співвідношення між амплітудою вихідного сигналу та амплітудою вхідного сигналу. При вираженні коефіцієнта підсилення у вигляді децибелів (Дб), вказується логарифмічне збільшення або зменшення сигналу [16]. Чим вищий коефіцієнт підсилення антени, тим покращити зону покриття та дальність прийому сигналу.

Приклад розрахунку дальності виявлення джерела ЕМВ без підсилювача:

$$R1 = \sqrt{\frac{P \times G_{peleng} \times G_{bpla} \times \lambda_1^2}{(4 \times \pi)^2 \times P_{prmin}}} = 1.988 \times 10^3 \text{ – для } 5.8 \text{ ГГц}$$

$$R2 = \sqrt{\frac{P \times G_{peleng} \times G_{bpla} \times \lambda_2^2}{(4 \times \pi)^2 \times P_{prmin}}} = 4.805 \times 10^3 \text{ – для } 2.4 \text{ ГГц}$$

Приклад розрахунку дальності виявлення джерела ЕМВ з підсилювачем:

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$R1 = \sqrt[2]{\frac{P \times G_{peleng} \times G_{bpla} \times G_{ampl} \times \lambda_1^2}{(4 \times \pi)^2 \times P_{prmin}}} = 1.988 \times 10^4 - \text{для } 5.8 \text{ ГГц}$$

$$R2 = \sqrt[2]{\frac{P \times G_{peleng} \times G_{bpla} \times G_{ampl} \times \lambda_2^2}{(4 \times \pi)^2 \times P_{prmin}}} = 4.805 \times 10^4 - \text{для } 2.4 \text{ ГГц}$$

Висновок до розрахунків дальності пеленгації з підсилювачем і без наголошує на важливості коефіцієнта підсилення для досягнення більшого значення дальності на якій антена може прийняти ЕМВ.

3.3 Структурної схеми радіопеленгатора БПЛА

На рисунку 3.5 зображена загальна структурна схема пеленгатора з використанням методу масимуму пеленгації

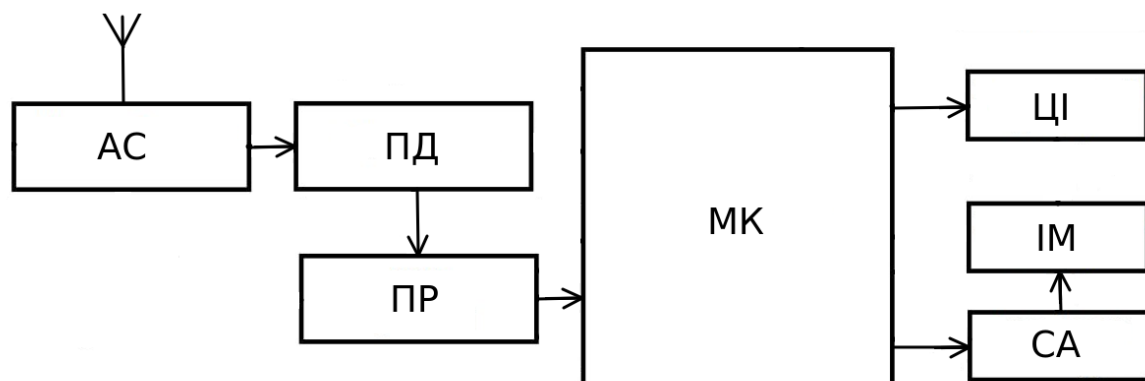


Рисунок. 3.5 – Структурна схема пеленгатора

АС - антенна система

ПД - підсилювач

ПР - приймач

МК - мікрокомп'ютер

ЦІ - цифровий індикатор

СА - спектроаналізатор

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ІМ - інформаційний монітор

АС представлена логоперіодичною антеною, яка отримує ЕМВ та передає його до підсилювача. Логоперіодична антена була обрана, оскільки дозволяє сформувати діаграми спрямованості для метода максимуму.

Підсилювач збільшує амплітуду отриманого сигналу, що дозволяє покращити якість прийому і збільшити дальність роботи пеленгатора. Модель підсилювача була обрана Агатох (Рис. 3.6), з наступними характеристиками:

- Діапазон частот: 5 - 6000 МГц
- Коефіцієнт посилення підсилювача: 20 дБ
- Вихідна потужність: + 21 дБм (100 мВт)
- Робочий струм: 5 В
- Напруга живлення: 5 В постійного струму
- Системи Опір: 50 Ом

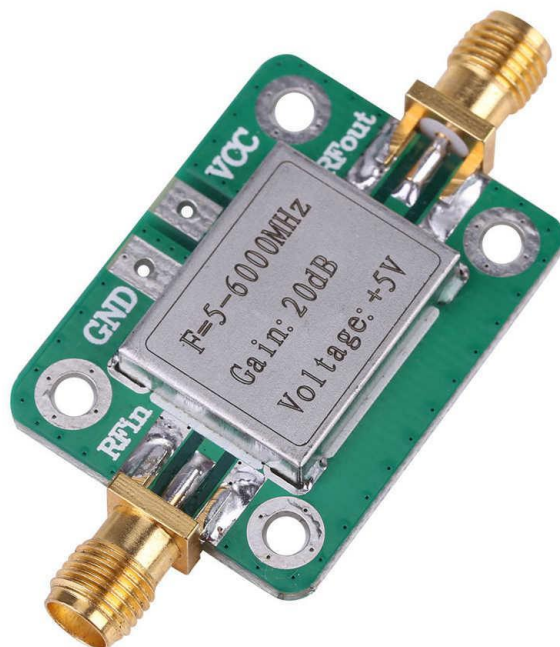


Рисунок 3.6 – Підсилювач Агатох

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		43

Підсилений сигнал передається на SDR приймач, який перетворює сигнал на цифровий для подальшого оброблення. Для приймача було обрано модель Pluto+ (Рис. 3.4), яка керується програмним забезпеченням GNU Radio. SDR приймач призначений для отримання сигналів і перетворення їх у цифровий формат для подальшої обробки на мікрокомп'ютері. Технічні характеристики:

- Робоча частота: 70 МГц-6 ГГц
- Оперативна пам'ять: 512 МБ
- USB: 2.0
- Живлення: 5В±0.5В

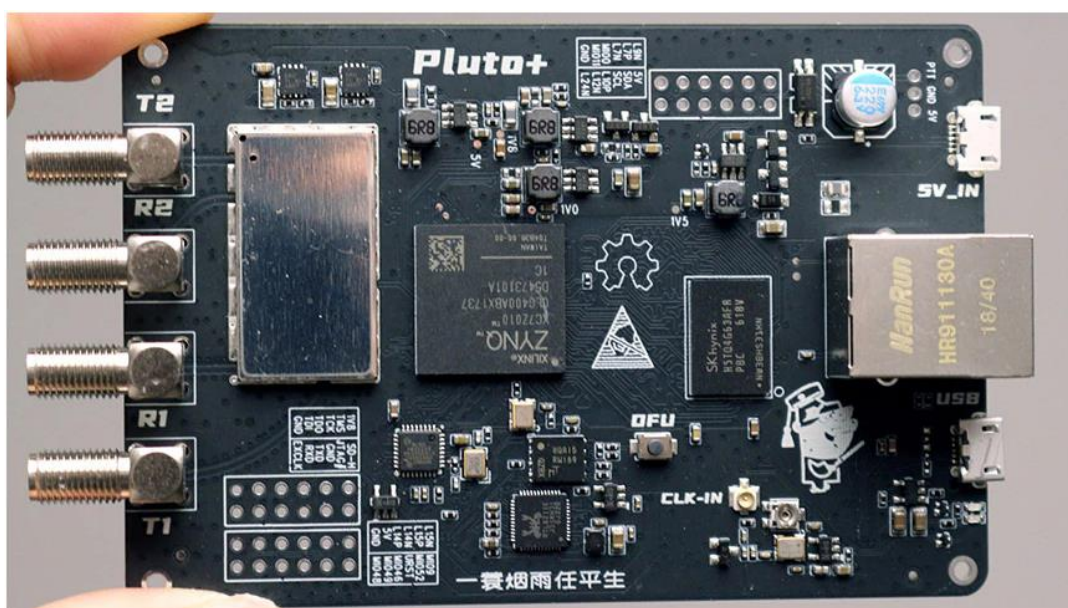


Рисунок 3.4 – Приймач SDR Pluto+

Одним з найголовніших компонентів є мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4. Мікрокомп'ютер використовується для цифрового оброблення сигналів і управління SDR приймачем, а також для використання програми спектроаналізатора. Всі програми написані за допомогою мови програмування Python.

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						44
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

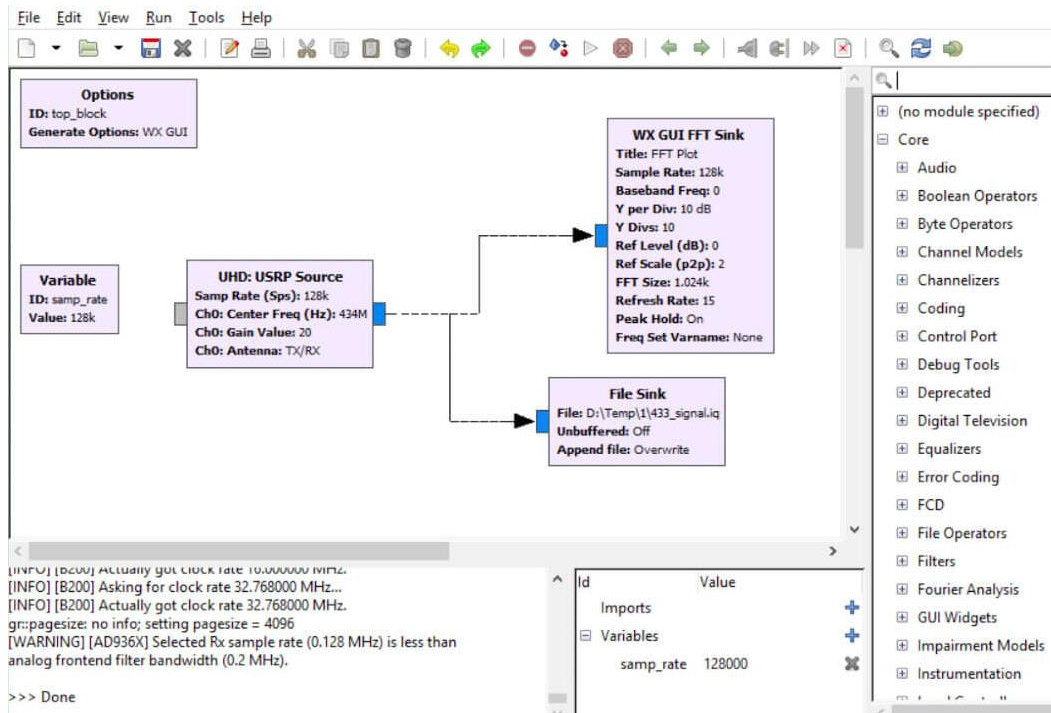


Рисунок 3.5 – Блок схема GNU Radio

Блок Source - джерело і Sink - вихід. RTL-SDR - приймач, FFT GUI - віртуальний спектроаналізатор, File Sink - блок для запису даних в файл.

Приклад коду для взаємодії з SDR приймачем:

```
from gnuradio import eng_notation, gr, wxgui
from gnuradio.wxgui import fftsink2
from grc_gnuradio import wxgui as grc_wxgui
import osmosdr
import time
import wx
```

```
class top_block(grc_wxgui.top_block_gui):
    def __init__(self):
```

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		45

```
grc_wxgui.top_block_gui.__init__(self, title="Top Block")
```

```
self.samp_rate = samp_rate = 2048000
```

```
self.wxgui_fftsink2_0 = fftsink2.fft_sink_c(
```

```
    self.GetWin(),
```

```
    baseband_freq=0,
```

```
    y_per_div=10,
```

```
    y_divs=10,
```

```
    ref_level=0,
```

```
    ref_scale=2.0,
```

```
    sample_rate=samp_rate,
```

```
    fft_size=1024,
```

```
    fft_rate=15,
```

```
    average=False,
```

```
    avg_alpha=None,
```

```
    title='FFT Plot',
```

```
    peak_hold=False,
```

```
)
```

```
self.Add(self.wxgui_fftsink2_0.win)
```

```
self.rtlsdr_source_0 = osmosdr.source(args="numchan=" + str(1) + " " + ")
```

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(samp_rate)

self.rtlsdr_source_0.set_center_freq(100e6, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_freq_corr(0, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_dc_offset_mode(0, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_iq_balance_mode(0, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_gain_mode(False, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_gain(10, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_if_gain(20, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_bb_gain(20, 0)

self.rtlsdr_source_0.set_antenna("", 0)

self.rtlsdr_source_0.set_bandwidth(0, 0)


self.connect((self.rtlsdr_source_0, 0), (self.wxgui_fftsink2_0, 0))

def get_samp_rate(self):

    return self.samp_rate


def set_samp_rate(self, samp_rate):

    self.samp_rate = samp_rate

    self.wxgui_fftsink2_0.set_sample_rate(self.samp_rate)

    self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(self.samp_rate)


def main(top_block_cls=top_block, options=None):

```

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						47
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

```

tb = top_block_cls()

tb.Start(True)

tb.Wait()

if __name__ == '__main__':

    import ctypes

    import sys

    if sys.platform.startswith('linux'):

        try:

            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')

            x11.XInitThreads()

        except:

            print("Warning: failed to XInitThreads()")

    main()

```

Цей код створює графічний інтерфейс за допомогою бібліотеки wxPython і запускає GNU Radio для отримання та обробки сигналів за допомогою програмно-визначеного SDR приймача та відображення спектра в GUI (Рис. 3.6).

Аналізатор спектру використовується для візуалізації спектральних характеристик сигналу, що надходить до пеленгатора. Він дозволяє визначити частотні компоненти сигналу та їх потужності. Основні задачі

					<i>PT91.467863.001 ПЗ</i>	Лис
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізатора - обчислення та відображення спектра. За допомогою алгоритмів обробки сигналу, таких як швидке перетворення Фур'є (FFT), виконується обчислення спектра сигналу. Це дозволяє розкрити частотну структуру сигналу та визначити присутні частотні компоненти. Отримані результати спектрального аналізу відображаються на дисплеї пеленгатора у вигляді спектрального графіку. Графік може показувати потужність сигналу відносно частоти, що дозволяє візуально аналізувати спектральні характеристики сигналу.

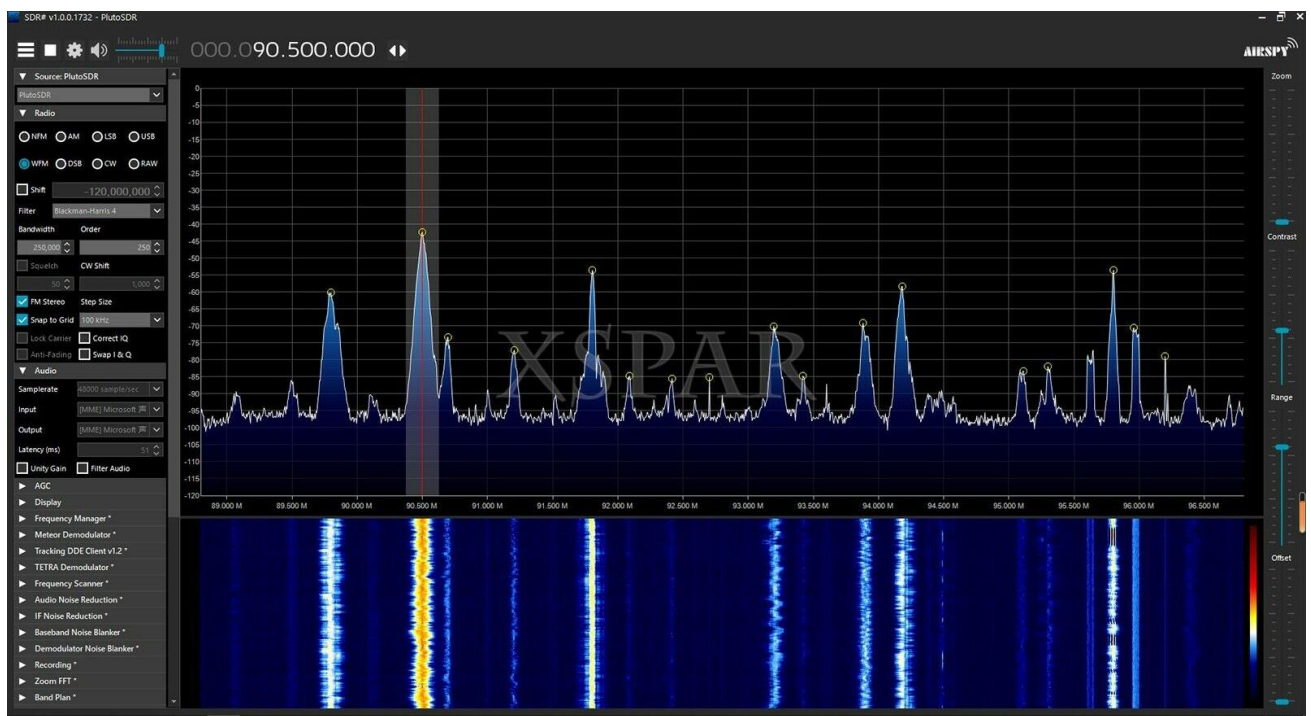


Рисунок 3.6 – Графічний інтерфейс спектроаналізатора

Отримані дані передаються на цифровий індикатор (Рис. 3.7), який оброблює та відображає інформацію на LCD дисплеї про виявленні параметри ЕМВ.

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						49
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Цифровий індикатор виявлення джерела ЕМВ.

Даний пристрій було розроблено вимірювання параметрів отриманого ЕМВ, таких як інтенсивність випромінення, частота... Ці дані відображаються на цифровому дисплеї пристрою, що дозволяє користувачеві слідкувати за ними в режимі реального часу. Для обробки даних використовуються мікросхеми AT89C51CC і ADC0804LCWM, кнопка BTND690F відповідає за функцію перемикання між параметрами, що відображаються на дисплеї. Для більш детального розуміння роботи пристрою на рисунку 3.8 зображена електрична принципова схема.

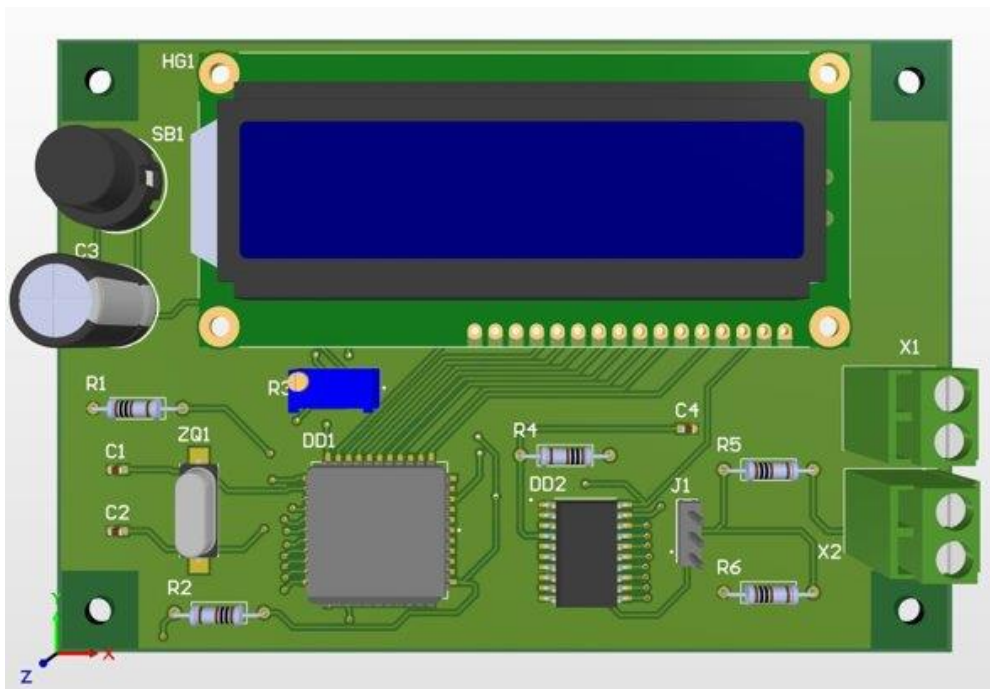


Рисунок 3.7 – Плата цифрового індикатора.

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		50

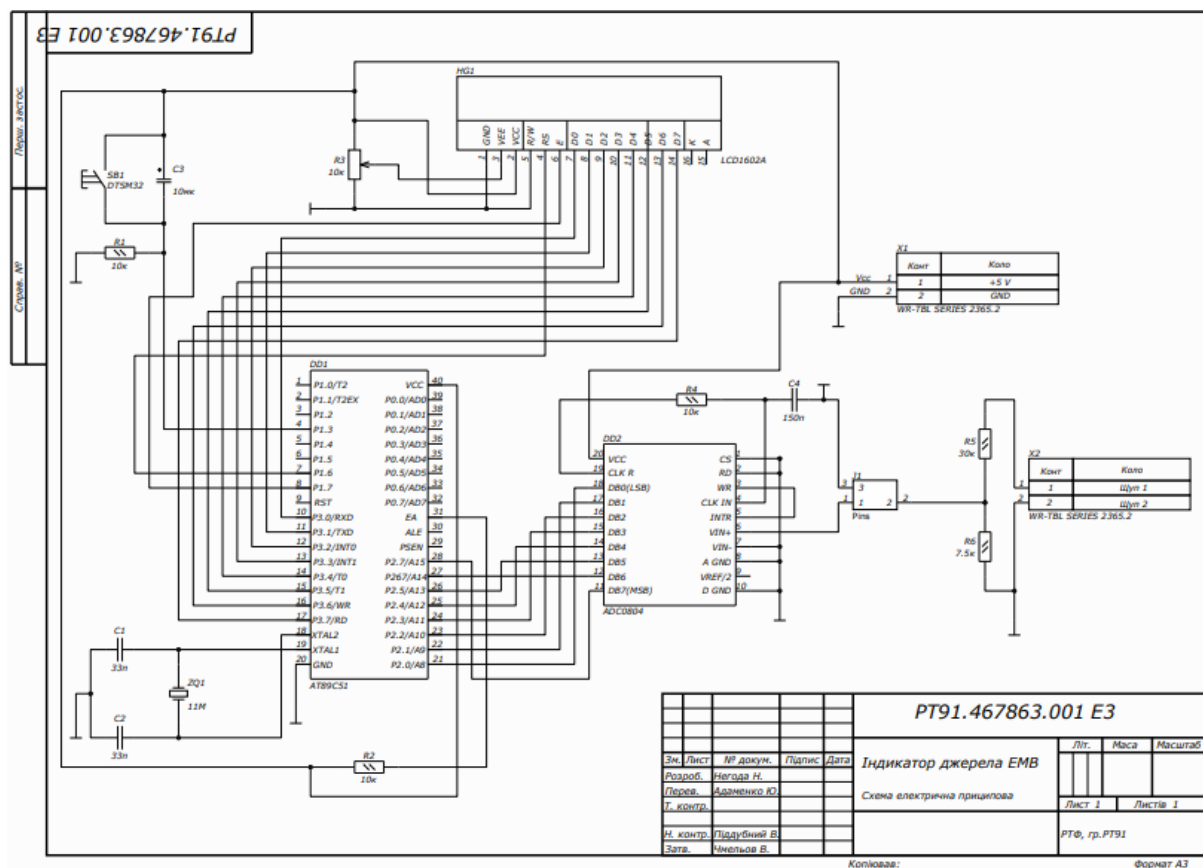


Рисунок 3.8 – електрична принципова схема

Компонентна база

Резистор РТF5610K000ВХЕВ 10 кОм від компанії Vishay (Рис. 3.9).

Технічні характеристики:

Опір: 10 кОм

Потужність: 0.125 Вт

Допустиме відхилення: $\pm 0.1\%$

PT91.467863.001 ПЗ

Лис

51

Зм. Лис № докум. Підпис Дата



Риунок. 3.9 – Резистор PTF5610K000BXEB

Резистори CF18JT (рис. 3.10). В таблиці 3.1 приведені технічні характеристики резисторів, які використовуються у пристрої.

Таблиця 3.1 - Резистори CF18JT

Характеристики	CF18JT30K0	CF18JT7K5
Опір	30 кОм	7.5 кОм
Потужність	0,125 Вт	0,125 Вт
Допустиме відхилення	$\pm 5\%$	$\pm 0.1\%$



Рис. 3.10 – резистори CF18JT

Полярний конденсатор 10 мкФ ЕСА-1СМ100 (рис. 3.11). Технічні характеристики:

Ємність: 10 мкФ

Напруга: 6.3 В

Допуск: $\pm 20\%$



Рисунок 3.11 — полярний конденсатор

Конденсатор 150 пФ 06033C151JAT2A (рис. 3.12), технічні характеристики:

Ємність: 150 пФ

Діелектрик: X7R

Напруга: 3 В

Допуск: $\pm 5\%$

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		53

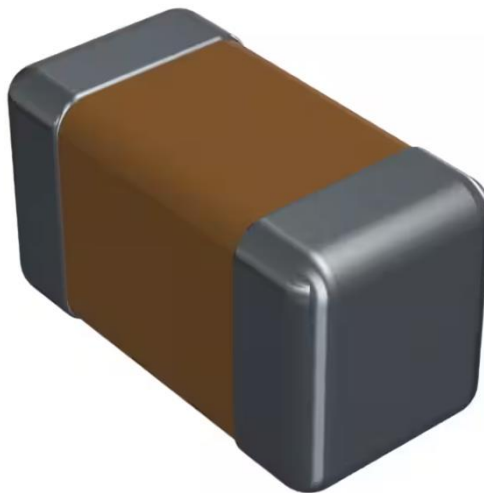


Рисунок 3.12 — конденсатор 06033C151JAT2A

Конденсатор 33 пФ C0603CH1E330K030BA (рис. 3.13), технічні характеристики:

Ємність: 33 пФ

Робоча температура: -25 ... +85°C

Напруга: 25 В

Допуск: ± 10%

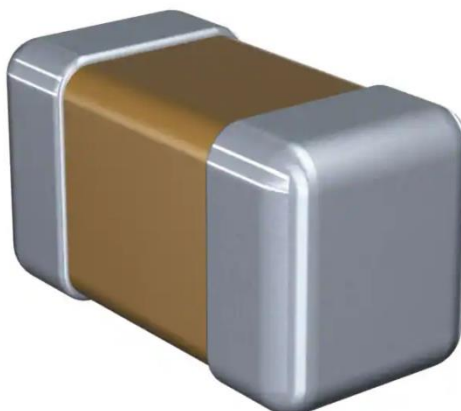


Рисунок 3.13 — конденсатор C0603CH1E330K030BA

Мікросхема AT89C51CC (рис. 3.14), технічні характеристики:

					<i>PT91.467863.001 ПЗ</i>	Лис
						54
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга живлення: 3 ... 5.5 В

Робоча температура: -40 ... +85 °С

Вбудована оперативна пам'ять: 256 байт

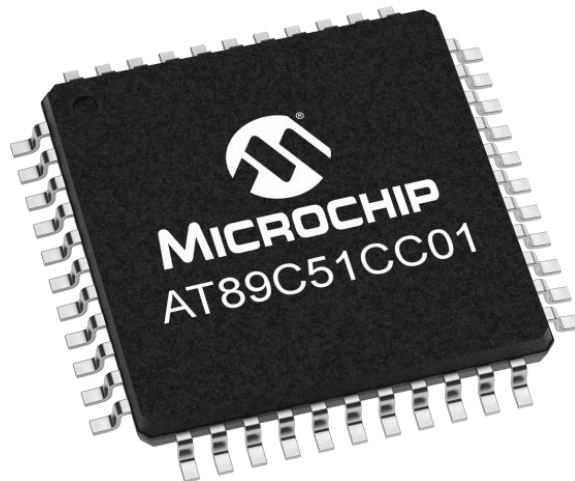


Рисунок 3.14 – Мікросхема AT89C51CC

Мікросхема ADC0804LCWM/NOPB (рис. 3.15), технічні характеристики:

Напруга живлення: 3.5 ... 5.5 В

Робоча температура: 0 ... +70 °С



Рисунок 3.15 – Мікросхема ADC0804LCWM

Піни TSW-101-24-G-T (рис. 3.16), технічна характеристика:

Ізолятор: чорний поліестер зі склонаповнювачем

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						55
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Робоча температура: -55 ... +105 °C

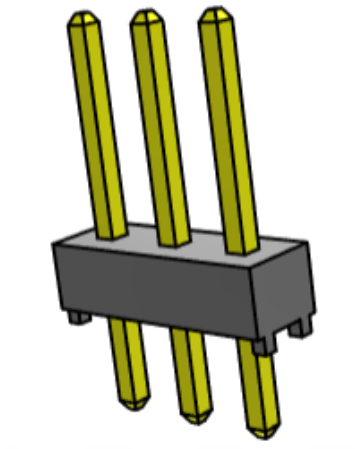


Рисунок 3.16 – піни TSW-101-24-G-T

Змінний резистор 10 кОм 3296W-1-103LF (рис. 3.17), технічні характеристики:

Діапазон опору: 10 Ом ... 2 МОм

Допуск: $\pm 10\%$

Робоча температура: -55 ... +125 °C



Рисунок 3.17 – змінний резистор 3296W-1-103LF

Резонатор 11МГц ECS-110-S-5P-TR (рис. 3.18), технічні характеристики:

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						56
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Діапазон частоти: 3.57 ... 70 МГц

Робоча температура: -10 ... +70 °С

Опір: 50 Ом



Рисунок 3.18 — Резонатор 11МГц ECS-110-S-5P-TR

Дисплей WH1602A-TMI-C (рис. 3.19), технічні характеристики:

Напруга живлення: 4.5 ... 5.5 В

Кількість символів: 16 символів x 2 рядки

Робоча температура: -30 ... +70 °С

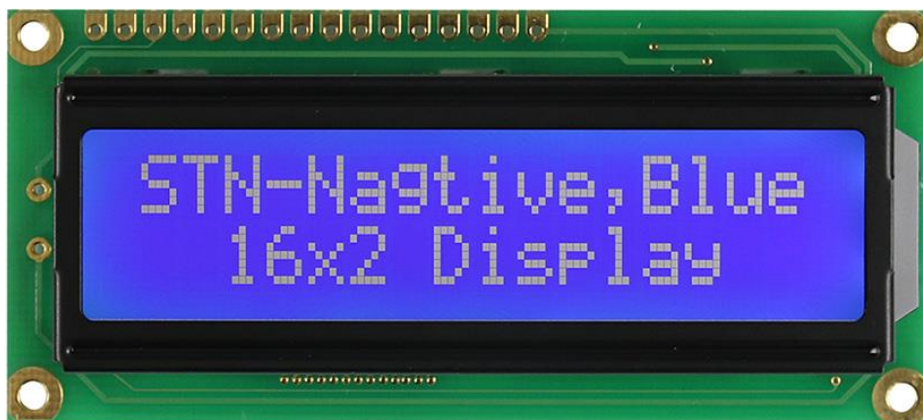


Рисунок 3.19 — Дисплей WH1602A-TMI-C

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		57

Контактний конектор WR-TBL SERIES 2365.2 (рис. 3.20), технічні характеристики:

Тип контакту: штампований

Робоча температура: -30 ... +120 °C

Опір: 20 мОм

Робоча напруга: 3 ... 250 В



Рисунок 3.20 – Конектор WR-TBL SERIES 2365.2

Кнопка BTND690F (рис. 3.21), технічні характеристики:

Робоча температура: -20 ... +85 °C

Максимальна потужність: 3 Вт

Максимальна напруга: 32 В

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		58



Рисунок 3.21 – Кнопка BTND690F

Розрахунок плати

Знаючи дані про розмір кожного елемента, необхідно порахувати площу плати. Під час розрахунків варто враховувати коефіцієнт, який варіюється від 1 до 3, в залежності від площі елемента, та кількості ніжок. Результат розрахунків можна побачити на рисунку 3.22:

Корпус	W	L	n	k	S	Ss
PTF56	2,54	7,62	3	1	58,06	8200,134
CF18JT	2	3,6	2	1	14,4	
ECA1CM100	5,5	12	1	1	66	
06033C151	0,96	1,75	1	1	1,68	
C0603CH1E3	0,33	0,63	2	1	0,414	
TSW-101	2,54	7,62	1	1	10,16	
3296W	4,96	9,53	1	1	47,26	
ECS-110	4,8	13,2	1	1	63,36	
WR-TBL	9	15,4	2	1	277,2	
BTND690F	12	11,4	1	1,5	205,2	
WH1602A	44,5	71,2	1	2	6336,8	
AT89C51	17,4	17,4	1	2,5	756,9	
ADC0804LC	9,3	13	1	3	362,7	

Рисунок 3.22 – розрахунок площі плати

Отримуємо, що мінімальна площа плати — 8200 мм². Загальна оптимальна площа плати — 8250 мм².

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою: $D_k = D_v + 0,3$,

де D_k — розміри контактних майданчиків, D_v — розміри виводів.

Отримані значення наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Розміри для елементів поверхневого монтажу

Назва елемента	D_v	D_k
Capacitor 150pF	0.97x3.4	1,17x3.6
Capacitor 33pF	0.33x0.1	0.63x0.4
Resonator		2x5.5 за datasheet
ADC0804		0.6x2 за datasheet
AT89C51	0.35x2	0.65x2.3

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою: $D_o = D_v + 0,2$, де D_o — розміри отворів для вивідних елементів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + 2/3 D_o$$

Отримані значення наведено в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 — Розміри для вивідних елементів

Назва елемента	D_v	D_o	D_k
Resistor 10k	0.64	0.9	1.5
Resistor 7.5k, 30k	0.48	0.7	1.2
Polar capacitor	0.55	0.8	1.3

Pins	0.64	0.9	1.5
Potentiometer	0.56	0.8	1.3
Connector	1.36	1.6	2.6
Button	0.95	1.2	2

Наступним етапом був розрахунок ширини друкованих провідників та зазорів між елементами, розрахунки проведені у програмі Mathcad. Результати наведено нижче на у відповідних рисунках. Результати розрахунків для сигнальних ланцюгів наведено на рисунку 3.23, для силових — 3.24, узагальнюючі результати – 3.25, зазори між елементами - 3.26.

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому

Вибираємо за класом $t_{minD_S} := 0.15mm$

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

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

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому

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

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

$$t1Ш_S := t_{minD_S} + |\Delta t_{no_S}| = 0.3mm$$

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

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

Довжина провідника (м) $l_S := 0.1m$

Товщина фольги $h_S := 70 \cdot 10^{-3}mm$

Прикладена напруга $U_{жж_S} := 5V$ (В)

Максимальний струм $I_{max_S} := 2.5 \cdot 10^{-3}A$ (А)

$$t2_S := \frac{l_S \cdot I_{max_S} \cdot \rho}{h_S \cdot U_{жж_S} \cdot 0.03} = 4.583 \times 10^{-4}mm$$

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

Максимальний струм $I_{max_S} := 2.5 \times 10^{-3}A$

Товщина фольги $h_S := 70 \cdot 10^{-3}mm$ (мм)

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

Рисунок 3.23 – розрахунки сигнальних

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		61

<u>Силове</u> <u>Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому</u>	
Вибираємо за класом точності-	$t_{minDp} := 0.15mm$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)	$\Delta t_{коп} := -0.03mm$
	$t1Vp := t_{minDp} + \Delta t_{коп} = 0.18mm$
<u>Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому</u>	
Вибираємо за класом точності-	$t_{minDp} := 0.25mm$
Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення)	$\Delta t_{коп} := -0.05mm$
	$t1IIIp := t_{minDp} + \Delta t_{коп} = 0.3mm$
<u>Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):</u>	
Питомий опір провідників (Ом*мм ² /м)-	$\rho := 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
Довжина провідника (м)-	$l_p := 0.1m$
Товщина фольги	$h_p := 70 \cdot 10^{-3}mm$
Максимальна напруга	$U_{макср} := 5V$
Максимальний струм (А)-	$I_{макср} := 0.5A$
	$t2p := \frac{l_p \cdot I_{макср} \cdot \rho}{h_p \cdot U_{макср} \cdot 0.03} = 0.092mm$
<u>Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:</u>	
Максимальний струм (мА)-	$I_{макср} := 0.5A$
Товщина фольги (мм)-	$h_p := 70 \cdot 10^{-3}mm$
Допустима щільність струму в провіднику(А/мм ²)-	$j_p := 20 \frac{A}{mm^2}$
	$I_{максr}$

Рисунок 3.24 – розрахунки силових

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

Для силових:

$$t_{min\_v} \geq \begin{cases} t1Vp & \text{у вузькому місці} \\ t2p \\ t3p \end{cases} \quad t_{min\_w} \geq \begin{cases} t1IIIp & \text{у широкому місці} \\ t2p \\ t3p \end{cases}$$

$$t_{min\_vS} := \max(t1Vp, t2p, t3p) = 0.357 \cdot mm \quad t_{min\_wS} := \max(t1IIIp, t2p, t3p) = 0.357 \cdot mm$$

Для сигнальних:

$$t_{min\_v} \geq \begin{cases} t1VS & \text{у вузькому місці} \\ t2S \\ t3S \end{cases} \quad t_{min\_w} \geq \begin{cases} t1IIIS & \text{у широкому місці} \\ t2S \\ t3S \end{cases}$$

$$t_{min\_vp} := \max(t1VS, t2S, t3S) = 0.18 \cdot mm \quad t_{min\_wp} := \max(t1IIIS, t2S, t3S) = 0.3 \cdot mm$$

Рисунок 3.25 – Узагальнюючі результати

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		62

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)- $S_m := 0.25\text{mm}$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) (мм)- $\Delta t_{\text{во}} := 0.1\text{mm}$

$$S_{\min} := S_m + \Delta t_{\text{во}} = 0.35\text{mm}$$

Рисунок 3.26 – Розрахунок зазорів

Таблиця 3.4 - загальний результат розрахунків

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			в широкому	у вузькому	
Силова	5	0.5	0.357	0.357	0.35
Сигнальна	5	$2.5 \cdot 10^{-3}$	0.3	0.18	0.35

Проектування друкованої плати

Схема має елементи, як поверхневого монтажу, так і вивідні, отже дана плата орієнтовно матиме два шари металізації, тож її краще виготовляти комбінованим позитивним методом.

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR-4 70/70 1.5. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір, підвищена хімічна стійкість. За ГОСТ 23751-86 було обрано клас точності - 4, оскільки мікросхема ADC0804 використовує тип корпусу SOIC.

Розробка плати була проведена в програмі Altium Designer, результати трасування представлені на рисунках 3.27 у верхньому шарі та

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						63
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3.28 у нижньому шарі, вид плати зверху представлений на рисунку 3.29, вид знизу - 3.30.

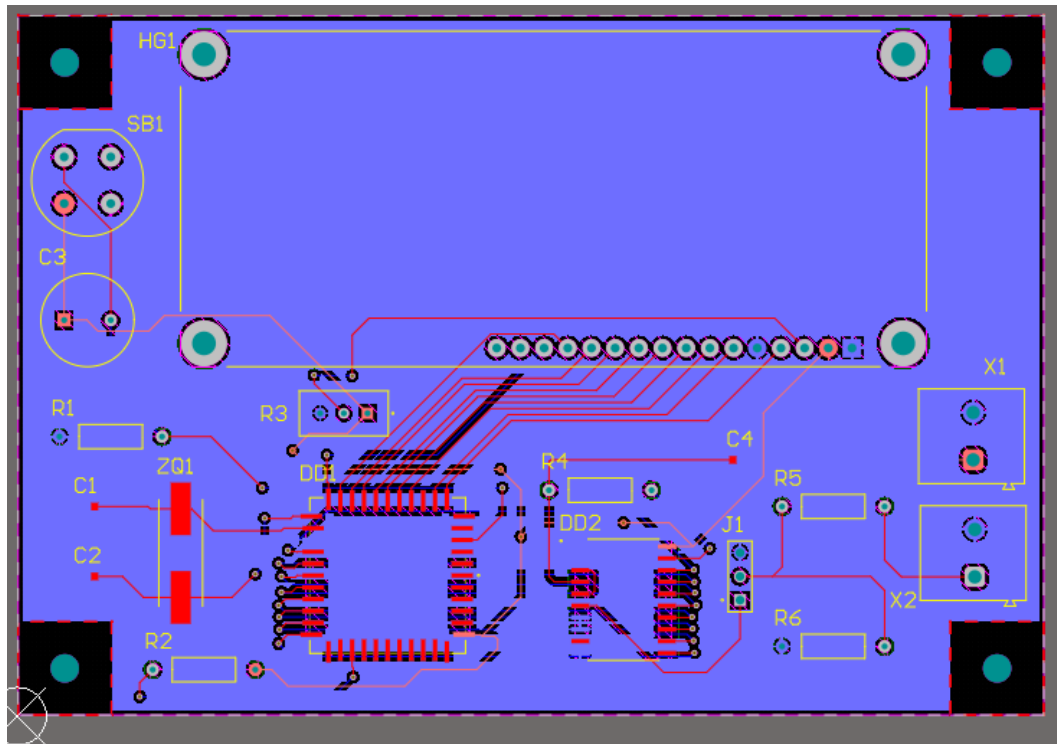


Рисунок 3.27 – Трасування у верхньому шарі

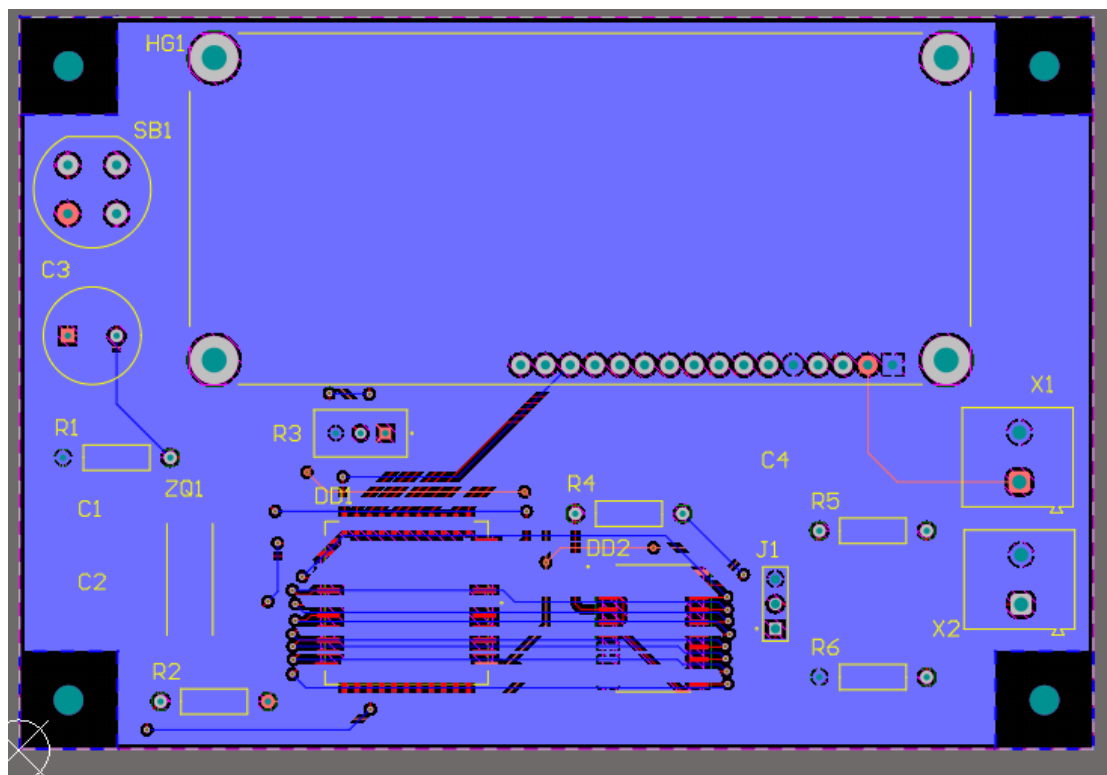


Рисунок 3.28 – Трасування у нижньому шарі

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		64

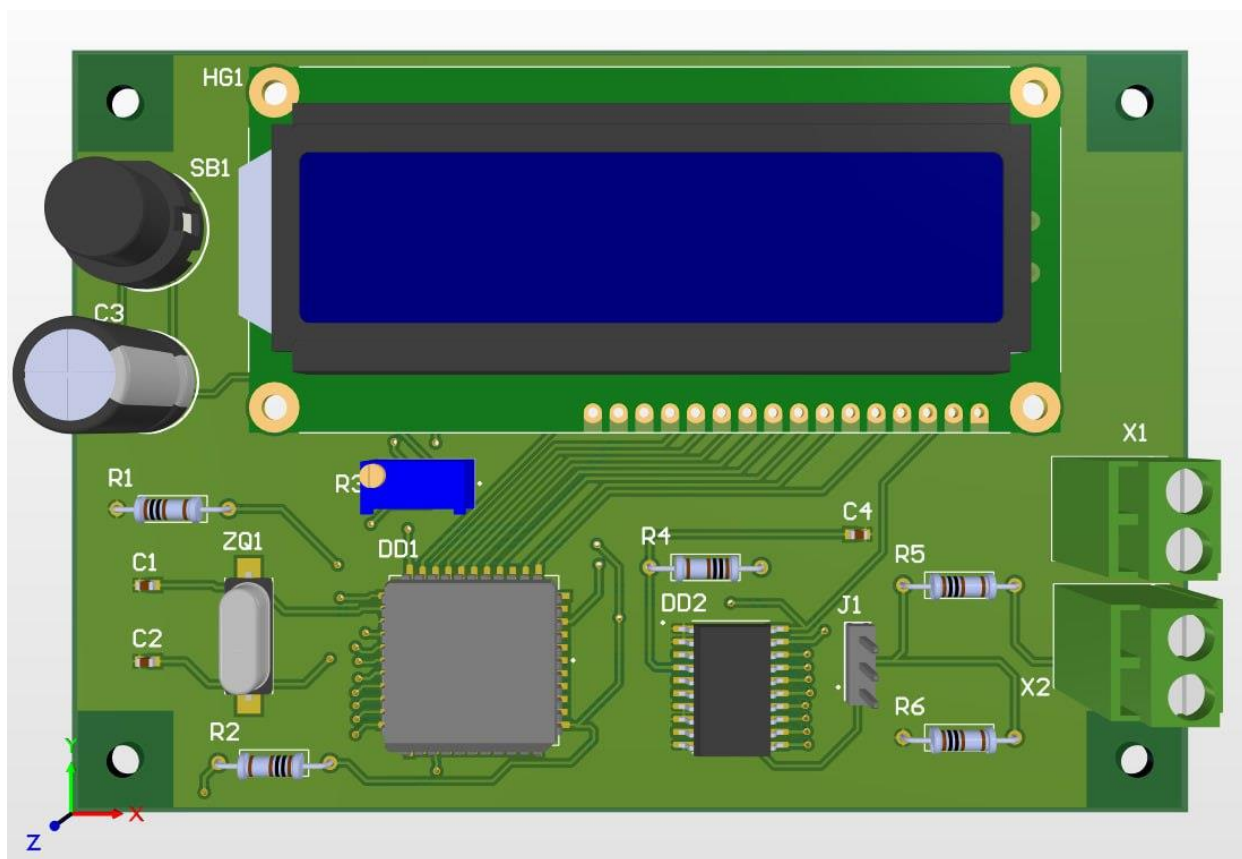


Рисунок 3.29 – вид плати зверху

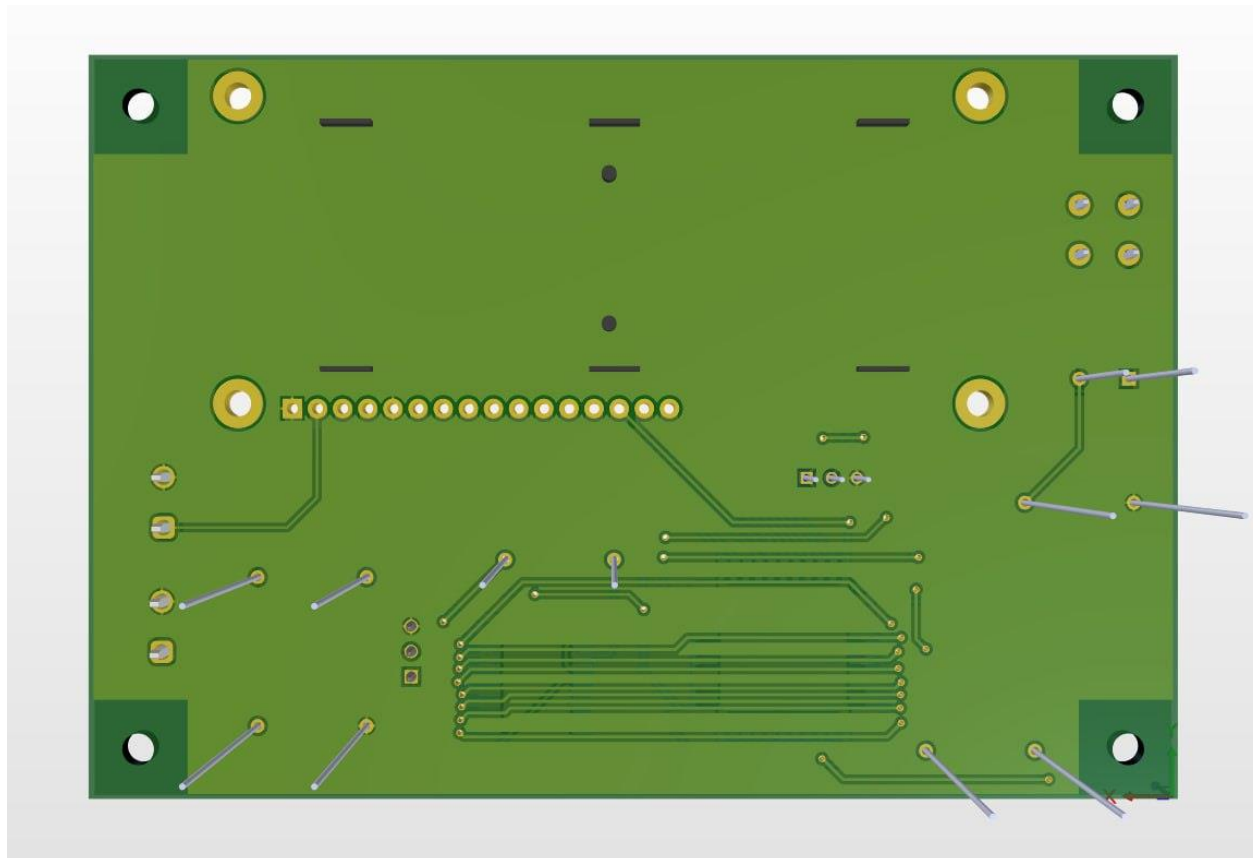


Рисунок 3.30 – вид плати знизу

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		65

Проектування корпусу приладу

Корпус пристрою складається з двох частин: основна частина та кришка. На кришці є скляне вікно для LCD дисплея. Плата закріплюється на основній частині за допомогою гвинтів М3 (рис. 3.31), кришка кріпиться за допомогою клею (рис. 3.32).

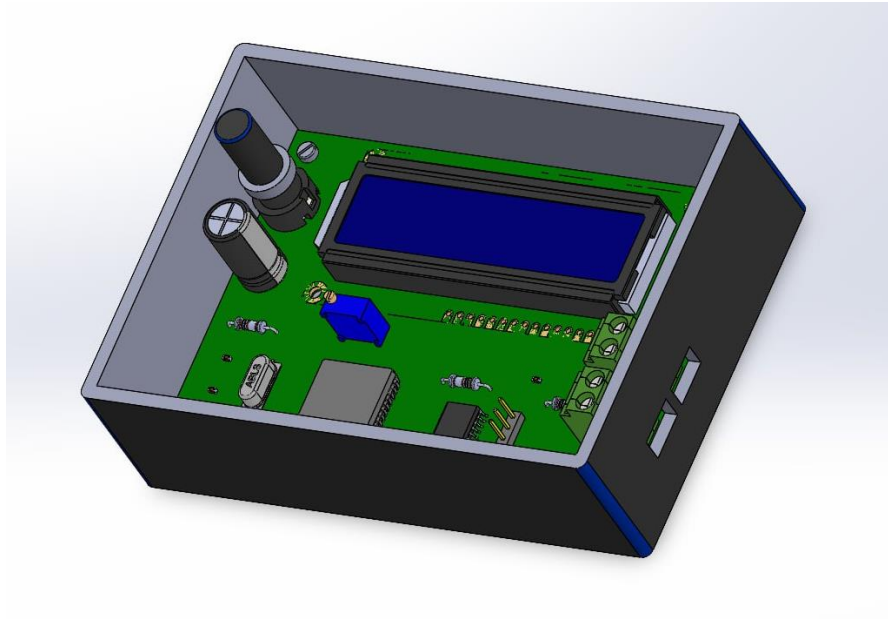


Рисунок 3.31 – кріплення плати до основної частини корпусу

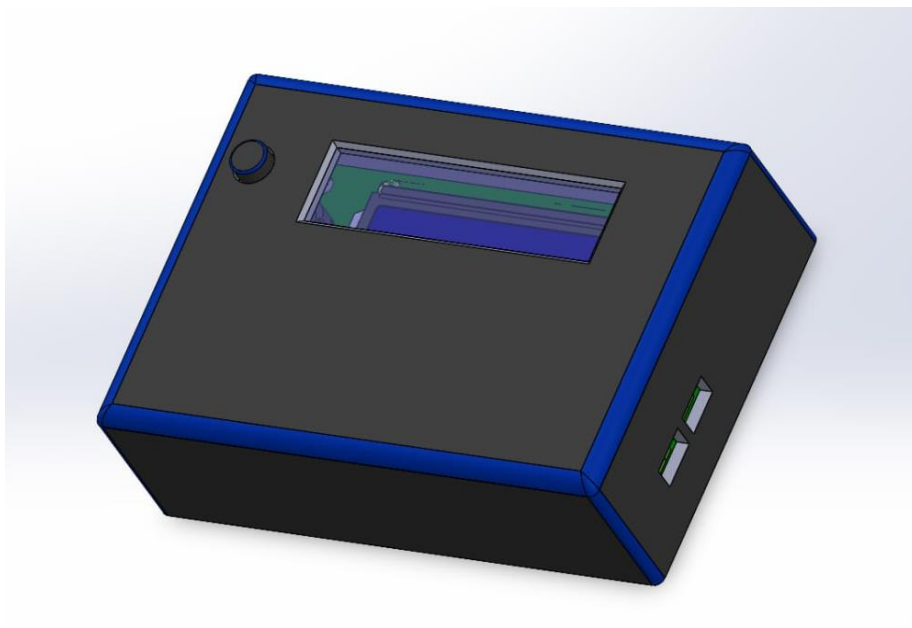


Рисунок 3.32 – загальний вигляд корпусу з кришкою

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

1. БПЛА є джерелом ЕМВ у різних частотних діапазонах, найчастіше використовується частота 2.4ГГц та 5.8 ГГц. ЕМВ використовується для передачі команд, фото та відео, для роботи систем стабілізації та навігації.
2. У ході порівняльного аналізу було обрано амплітудний тип пеленгатора, та метод максимуму пеленгації. Метод максимуму має декілька переваг, таких як простота конструкції, велика дальність виявлення ЕМВ, відносно висока точність.
3. В якості антенної системи була обрана логоперіодична антена. Оскільки БПЛА частіше за все використовують частоту 2.4 ГГц та 5.8 ГГц, то частотний діапазон антени було обрано в межах 1000 МГц – 6000 МГц.
4. При розрахунку основних параметрів було визначено відношення сигнал/шум, та потенціальну дальність виявлення джерела ЕМВ. Проведено порівняльний аналіз дальності виявлення якщо з урахуванням підсилювач. З підсилювачем результат відрізняється в 10 разів.
5. У процесі розробки радіопеленгатора для БПЛА було створено структурну схему радіопеленгатора. Також окремо розроблено пристрій цифрової індикації, включаючи електричну принципову схему, складальний кресленик та друковану плату.

					РТ91.467863.001 ПЗ	Лис
						67
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Drone Detection – Режим доступу: <https://www.911security.com/en-us/knowledg-hub/drone-detection#:~:text=Drones%20operating%20on%20RF%20communication,and%20confirm%20a%20drone%20threat>
2. Системи виявлення дронів і протидронні системи - Режим доступу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/sistemy-obnaruzheniya-dronov-i-protivodronnye-sistemy/>
3. Optical Drone Detection - Режим доступу: <https://olvitech.com/home/security-solutions/optical-drone-detection/>
4. OPGAL Beyond the Visible - Режим доступу: <https://www.opgal.com/products/accuracii-xru-hd/>
5. Squarehead Technology - Режим доступу: <https://www.sqhead.com/drone-detection/#1533498908999-e541f34c-55bb>
6. Теорія радіолокаційних та радіонавігаційних систем : навч. посіб. для студ. внз за напрямком "Радіотехніка" / Я. І. Лепіх ; Одеська нац. морська акад. Одеса : Екологія, 2008. -224 с.
7. Методи виявлення безпілотних літальних апаратів – Режим доступу: https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/14415/1/2020_M_MIRE_S_Lisovy_DV.docx
8. Класифікація безпілотних літальних апаратів – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0/content>
9. Ступак В.С., Долматов СО. Основи радіочастотного контролю: Практичний посібник / За редакцією д.т.н. Олійника В.Ф. Київ, 2004. - 231 с: іл.

					PT91.467863.001 ПЗ	Лис
						68
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Opgal Termal Drone Detection – Режим доступу:
<https://www.opgal.com/products/accuracii-xru-hd/>
11. Основи теорії радіотехнічних систем: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного Університету Львівська політехніка, 2005. -240 с.: іл. ISBN 966-553-439-4.
12. Розробка Антени Аналізу Для Пеленгатора Діапазону 1000-6000 МГц - Режим доступу:
<https://openarchive.nure.ua/handle/document/11061>
13. Нелінійна стохастична фільтрація звукових сигналів безпілотних літальних апаратів – Режим доступу:
<https://openarchive.nure.ua/handle/document/11095>
14. Радіочастотне Виявлення – Режим доступу:
<https://airunit.com.ua/sensor-types-overview-detection-rf/>
15. Приймально-пеленгаторний модуль радіомоніторингу телекомунікаційних мереж з розробкою моноімпульсного аналогоцифрового пристрою вимірювання пеленгу – Режим доступу:
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39327/1/Kutsenko_magistr.pdf
16. Чесановський І. І. Підвищення завадостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах / Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2013. – № 54. – С. 68–74. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7174>

ДОДАТОК А

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту

Вячеслав ЧМЕЛЬОВ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри РТС

Сергій ЖУК

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДИПОМНИЙ ПРОЕКТ

«Портативна радіолокаційна система виявлення та пеленгації джерел
електромагнітного випромінювання БПЛА»

Київ 2023

1 НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту “Портативна радіолокаційна система виявлення та пеленгації джерел електромагнітного випромінювання БПЛА”

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою від 15 квітня 2023 року.

2 МЕТА ВИКОНАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Розробка структурної схеми портативного пеленгатора для визначення джерела електромагнітного випромінювання БПЛА, а також розробка пристрою цифрового індикатора для відображення параметрів ЕМВ.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Вимоги призначення

— Напруга живлення: 5 В.

— Максимальний струм: 0.5 А.

3.2 Вимоги до надійності

Орієнтований час безперебійної роботи з початку використання - 17000 годин.

3.3 Вимоги до конструкції

Ззовні прилад має вигляд прямокутної коробки з заокругленими краями, зверху є вікно для дисплея, та кругла кнопка для очистки даних які відображаються на дисплеї. З правого боку знаходяться два отвори, один для живлення 5 В, другий для передачі сигналу параметри якого будуть оброблятися.

3.4 Вимоги до уніфікації та стандартизації

Використовується єдина та нормативно встановлена база елементів та матеріалів.

3.5 Вимоги до дизайну і ергономіки

Пристрій цифрового індикатора повинен мати невеликі габарити. Може використовуватись в корпусі, як окремий пристрій, або використовуватись як окремий модуль для більш великого пристрою. Корпус має забезпечити захист елементів від пошкоджень.

3.6 Вимоги до експлуатації, зручності технологічного обслуговування та ремонту

Ремонт, або технічне обслуговування пристрою проводиться спеціалістами.

3.7 Транспортування і зберігання

Умови для транспортування обираються за ГОСТ 23216-78.

3.8 Утилізація приладу

Утилізація проходить згідно ГОСТ 30773-2001.

4 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ ТА МАТЕРІАЛІВ

Оптимальним варіантом матеріалу буде такий, який поєднує легкість для задоволення вимог портативності та високу електричну ізоляцію для забезпечення безпечного використання.

5 ВИМОГИ ДО МАРКУВАННЯ, ПАКУВАННЯ ТА КОНСЕРВАЦІЇ

Маркування: Необхідно розмістити логотип назви виробника на нижній частині пристрою. Крім того, необхідно нанести маркування на всі елементи керування та індикацію, а також розмістити попереджувальні написи поруч з елементами живлення.

Пакування: Необхідно обгорнути пристрій в плівку з бульбашками та помістити його в картонну коробку для його перевезення.

Консервація: не передбачена

6 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація оформлюється за ДСТУ 3008:2015.

Зміст конструкторської документації:

1. Текстова документація (пояснювальна записка, специфікація, перелік елементів).
2. Графічна документація (схема електрично принципова, друкована плата, складальний кресленик).

7 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Титульний лист

Завдання на дипломний проект

Зміст

Перелік скорочень

Вступ

1 Система контролю руху БПЛА

2 Пеленгація БПЛА, як джерела ЕМВ

3 Радіопеленгатор БПЛА

Висновки

Перелік джерел

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Специфікація

Додаток В Перелік елементів

Додаток Г Схема електрична принципова

Додаток Д Складальний кресленик

Додаток Е Друкована плата

Додаток Є Відомість Дипломного Проекту

8 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Дипломний проект виконується в 4 етапи

Таблиця А.1 — Етапи дипломного проекту

№	Назва етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Дослідження систем контролю руху БПЛА	15.05 — 22.05	Розділ 1
2	Дослідження БПЛА, як джерела ЕМВ. Вибір метода	23.05 — 29.05	Розділ 2

	пеленгації		
3	Розробка структурної схеми пеленгатора. Розробка цифрового індикатора	30.05 — 14.06	Розділ 3
4	Оформлення документації	15.06 — 16.06	Креслення і додатки

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І

МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ЕТАПІВ І

ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ В ЦІЛОМУ

Проміжні матеріали, що включаються у вигляді розділів, передаються на перевірку у встановлені терміни в рамках дипломного проекту. Після завершення виконання дипломного проекту цей проект представляється та захищається перед Комісією.

Виконавець:

Нікіта НЕГОДА

Керівник:

Вячеслав ЧМЕЛЬОВ

ДОДАТОК Б

Специфікація

[illegible]

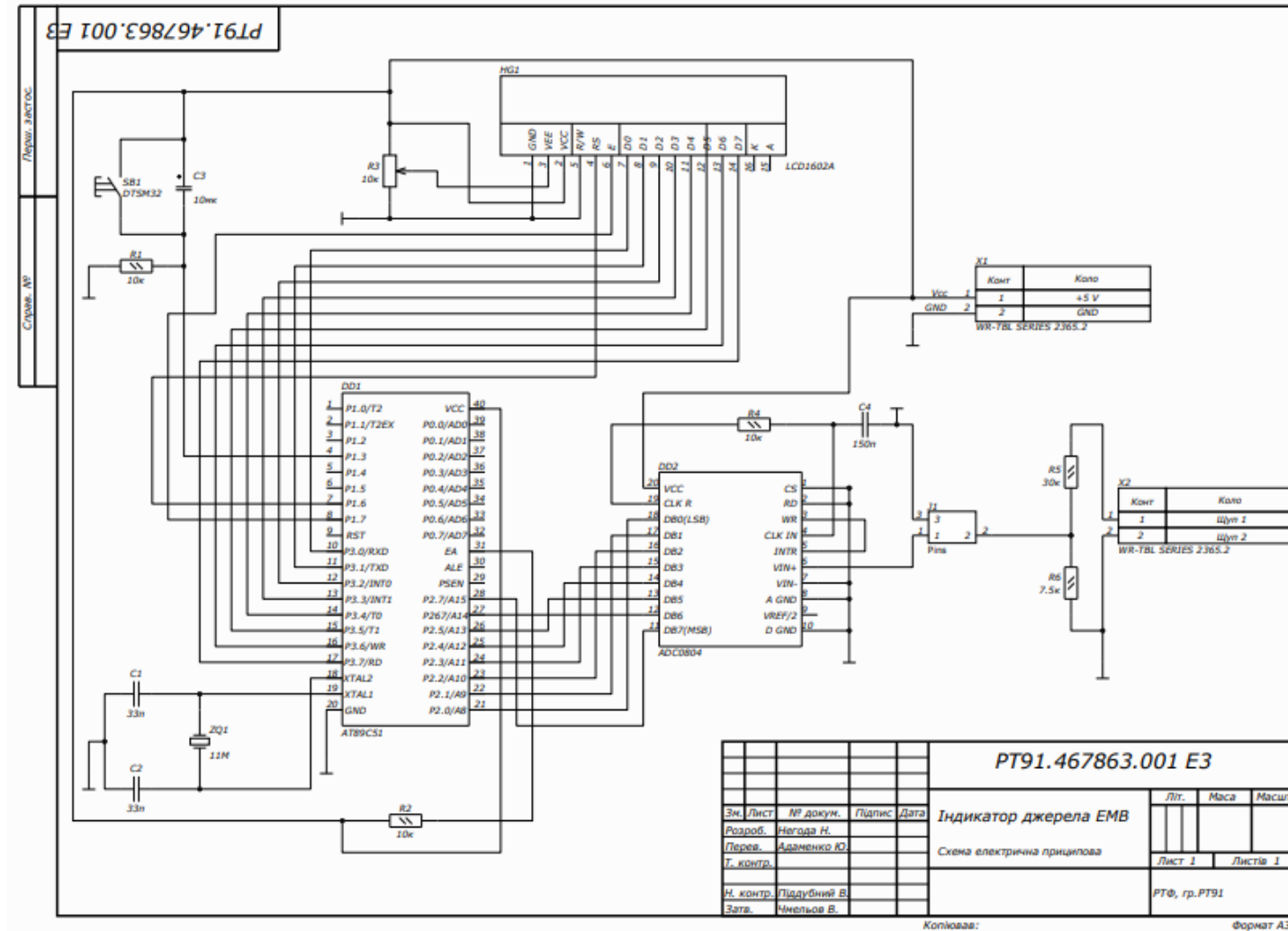
ДОДАТОК В

Перелік елементів

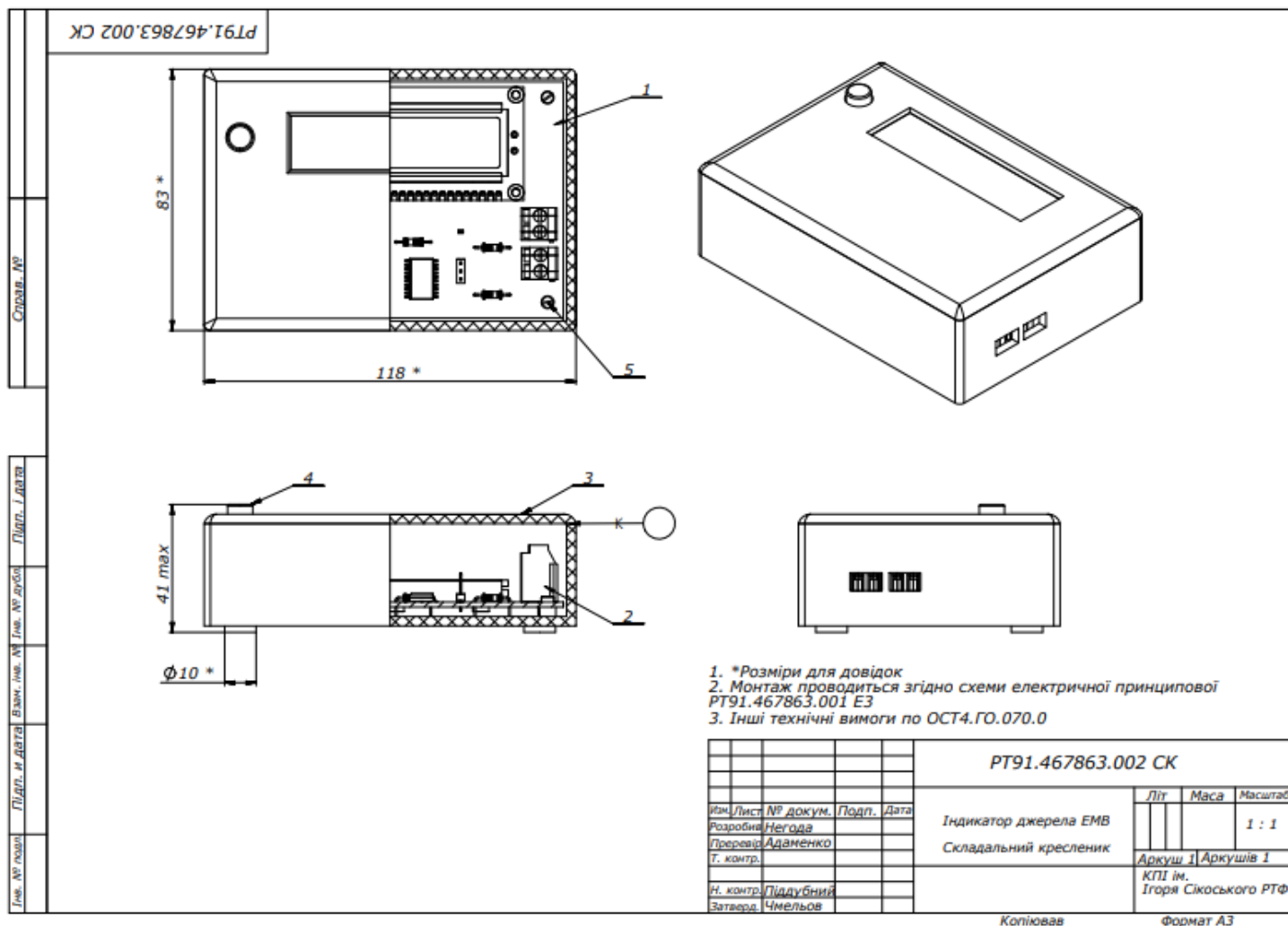
Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	Конденсатори		
C1, C2	C0603CH1E330K030BA-TDK 150nФ 25В ± 10%	2	
C3	ECA1CM100-Panasonic 10мкФ 16В ± 20%	1	
C4	06033C151JAT2A-AVX 150nФ 16В ± 10%	1	
	Мікросхеми		
DD1	AT89C51CC01UA-RLTUM-Atmel	1	
DD2	ADC0804LCWM/NOPB-TexasInstruments	1	
HG1	WH1602A-TMI-C-Winstar 16x2	1	
J1	TSW-101-24-G-T-Samtec	1	
	Резистори		
R1, R2	PTF5610K000BXEB-Vishay 10к Ом 0.125 Вт ± 5%	2	
R3	3296W-1-103LF-Bourns 10к Ом 0.125Вт	1	
R4	PTF5610K000BXEB-Vishay 10к Ом 0.125 Вт ± 5%	1	
R5	CF18JT-Stackpole Electronics 30к Ом 0.125 Вт ± 10%	1	
R6	CF18JT-Stackpole Electronics 7.5к Ом 0.125 Вт ± 10%	1	
SB1	BTND690F-C&K	1	
X1, X2	Коннектор WR-TBL SERIES 2365.2	1	
ZQ1	Резонатор ECS-110-S-5P-TR	1	

ДОДАТОК Г

Схема електрична принципова



Додаток Д Структурна схема

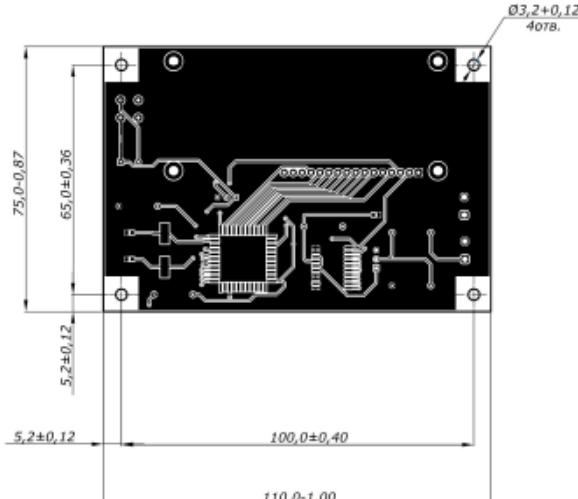


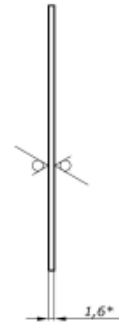
Друкована плата

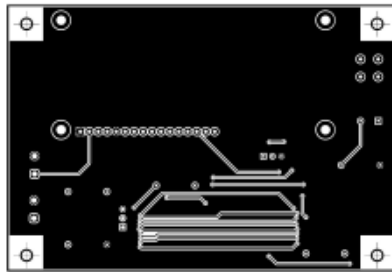
№ з/п
Вид роботи
№ докум.
Дата

1
Розробка
PT91.758724.001
2024.05.15

Ра 6,3







- *Розміри для довідок
- Плату виготовити комбінованим позитивним методом.
- Клас точності плати 4 за ГОСТ 36751-86.
- Контур плати в файлі PCB2.GKO
 Координати для свердління отворів у файлі CAMtastic1.Cam
 Топологія верхнього шару металізації друкованої плати у файлі PCB2.GTL
 Топологія нижнього шару металізації друкованої плати у файлі PCB2.GBL
 Верхня захисна маска у файлі PCB2.GTS
 Нижня захисна маска у файлі PCB2.GBS
 Топологія верхнього шару шовкографії у файлі PCB2.GTO
- Інші технічні вимоги ОСТ4 Г0.010.070.014

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Негода Н.В.		
Перевір.		Адаменко		
Т. контр.				
Н. контр.		Лісодубний		
Затв.		Чмелієва		

PT91.758724.001
Літ.
Маса
Масштаб

Індикатор джерела ЕМВ

1:1

Друковано платів

Аркушів 1

Склятекстоліт FR-4 70/70 1,5

КПІ ім. Ігоря Сікорського РПФ

Копіював
Формат А3

Додаток Є

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	РТ91.467863. 001 ПЗ	Пояснювальна записка	57	
3	A3	РТ91. 467863.001 Е1	Схема електрична принципова	1	
4	A3	РТ91. 467863.002 СК	Складальний кресленик	1	
5	A3	РТ91.758724. 001	Друкована плата	1	

				РТ91. 467863.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Негода			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Чмельов				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТС Гр. РТ-91	