

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Шутко В.М.
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «ЕЛЕКТРОНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

**Тема: «Електронна система виявлення та супроводження об'єктів з
реалізацією ультразвукового макету»**

Виконавець
студент групи ЕС-207М _____ Оболоник Антон Сергійович

Керівник
д.т.н., професор _____ Яновський Фелікс Йосипович

Консультант розділу
«Охорона праці» _____ Козлітін О.О.

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища» _____ Маджд С.М.

Нормоконтролер _____ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Освітньо-професійна програма «Електронні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.М. Шутко

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

_____ Оболоника Антона Сергійовича _____

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту): **«Електронна система виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету»** затверджена наказом ректора від «2» жовтня 2020 р. № 1900/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): розробити систему виявлення та спостереження за об'єктами з реалізацією ультразвукового макету.
4. Зміст пояснювальної записки: радіолокація. Принципи радіолокації та методи визначення місця розташування об'єктів; огляд радіолокаційних систем та їх можливостей; ідея електронної системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету; конструкторські розрахунки та алгоритм роботи системи; охорона праці; охорона навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, схеми.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Розділ 1. Радіолокація. Принципи радіолокації та методи визначення місця розташування об'єктів	05.10 – 15.10	
2.	Розділ 2. Огляд радіолокаційних систем та їх можливостей	15.10 – 22.10	
3.	Розділ 3. Ідея електронної системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету	22.10 – 05.11	
4.	Розділ 4. Конструкторські розрахунки та алгоритм роботи системи	05.11 – 12.11	
5.	Розділ 5. Охорона праці	12.11 – 26.11	
6.	Розділ 6. Охорона навколишнього середовища	26.11 – 03.12	
7.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	03.12 – 27.12	

7. Консультанти з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата		Підпис
		Завдання видав	Завдання прийняв	
Охорона праці	Старший викладач Козлітін Олексій Олександрович			
Охорона навколишнього середовища	професор, д.т.н., професор Маджд Світлана Михайлівна			

8. Дата видачі завдання: “ 5 ” жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): _____ Яновський Ф.Й.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____ Оболоник А.С.
(підпис здобувача) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Моніторинг радіовипромінювань у реальному часі» містить: сторінок – 116, рисунків – 33, таблиць – 15, джерел посилань – 38.

Мета дипломної роботи: вивчення особливостей сучасних радіолокаційних станцій, що використовуються в Україні, розробка системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету.

Об'єкт дослідження: є радіолокаційні станції з можливістю виявлення та супроводження об'єктів.

Методи дослідження: цифрова та статистична обробка інформації, порівняння технічних характеристик, експериментальне спостереження за розробленою системою та аналіз алгоритму її роботи.

Ключові слова: РАДІОЛОКАЦІЯ, РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МАКЕТ, ВИЯВЛЕННЯ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ, АЛГОРИТМ, ОБ'ЄКТ.

Основні результати: дослідження радіолокаційних станцій з можливістю спостереження за виявленою ціллю дало позитивний результат. За результатами досліджень виявлено, що використання ультразвукового макету, дозволяє значно здешевити систему для того, щоб було легше впровадити розробку в навчальний процес. Простий алгоритм забезпечує швидку та безвідмовну роботу системи, а також мінімізує кількість похибок при виявленні, а застосування мікроконтролера Atmega328P та C-подібної мови програмування відкриває грандіозні можливості для наукових досліджень методів радіолокаційного виявлення та спостереження. Структуровані матеріали, що були отримані в ході досліджень можуть використовуватись в навчальних цілях.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. РАДІОЛОКАЦІЯ. ПРИНЦИПИ РАДІОЛОКАЦІЇ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ	13
1.1. Способи отримання радіолокаційного сигналу	13
1.2. Основні принципи радіолокації.....	17
1.3. Методи визначення місця розташування об'єктів	25
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТЕЙ	29
2.1. Принцип роботи радіолокаційних станцій.....	29
2.2. Сучасні радіолокаційні системи в Україні та їх основні характеристики	32
РОЗДІЛ 3. ІДЕЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕ- ННЯ ОБ'ЄКТІВ З РЕАЛІЗАЦІЄЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МАКЕТУ	52
3.1. Принцип роботи електронної системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету	52
3.2. Структурна схема макету електронної системи	53
3.3. Опис блоків структурної схеми макету	54
3.4. Принципова схема макету та вибір елементної бази та електричні розрахунки.....	59
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	67

4.1. Конструювання друкованої плати	67
4.1.1. Розміри контактних майданчиків та розміри монтажних отворів. 67	
4.1.2. Розрахунок площі плати та вибір її розміру	68
4.1.3. Розрахунок ширини провідників друкованого монтажу	70
4.1.4. Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу	72
4.1.5. Трасування друкованої плати в середовищі DipTrace	72
4.2. Алгоритм роботи мікроконтролера в якості модуля керування	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	75
5.1. Аналіз умов праці.....	75
5.2. Розрахунок параметрів електромагнітного поля	81
5.3. Пожежна безпека.....	82
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	85
Вступ.....	85
6.1. Аналіз проблеми впливу радіолокаційних станцій на стан довкілля.....	86
6.2. Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та оточення. 91	
6.3. Рекомендації щодо зниження негативних чинників електромагнітного поля	93
Висновок	98
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105
ДОДАТОК А. Схема принципова електрична	109
ДОДАТОК Б. Друкована плата.....	110
ДОДАТОК В. Код програми	111

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- АЛП – арифметично-логічний пристрій
- АС КПР – автоматизована система контролю повітряного руху
- АСУ – автоматизована система управління
- ДП – друкована плата
- ЕМП – електромагнітне поле
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
- ЕПР – ефективна площа розсіювання
- ЕПТ – електронно-променева трубка
- ЗІП – запасні інструменти, приладдя
- КПР – контроль повітряного руху
- ЛА – літальний апарат
- ЛП – лінії положення
- МК – мікроконтролер
- НРЗ – наземний радіолокаційний запитувач
- ПО – повітряна оборона
- ПП – поверхня положень
- ППО – протиповітряна оборона
- ПРВ – переносний радіовисотомір
- РЕБ – радіоелектронна боротьба
- РЛІ – радіолокаційна інформація
- РЛП – радіолокаційний пристрій
- РЛС – радіолокаційна система
- САПР – система автоматизованого проектування
- ТТХ – тактико-технічні характеристики
- УМ – ультразвуковий модуль

ЧМ – частотна модуляція

GPS – Global Positioning System

LCD – liquid crystal display

SMD – surface mount device

TFT – thin film transistors

ВСТУП

Актуальність. Ідеї радіолокації виникли набагато раніше їхньої технічної реалізації. Вони з'явилися з розвитком теорії електромагнітних коливань Фарадеєм, Максвеллом, Герцем і особливо з винаходом радіо О.С. Поповим і його першими роботами з радіозв'язку. Останні привели до думки про можливість застосування радіохвиль для виявлення об'єктів і визначення напрямку на них. Про це говориться в звіті О.С. Попова в 1897 році за результатами дослідів у Балтійському морі. У ході дослідів була встановлена можливість виявлення міноносця «Лейтенант Ільїн» у момент перетинання ним лінії радіозв'язку між кораблями «Африка» і «Європа». На основі дослідів було запропоновано використовувати радіохвилі для орієнтації при поганій видимості і ускладненому виявленні, а також сформована сутність вторинного випромінювання радіохвиль. Однак ідеї вченого не були реалізовані в той час, оскільки рівень розвитку радіотехніки був слабкий.

Радіолокація – швидко прогресуюча галузь науки. Її базою є статистична теорія радіолокації, основи якої закладені В.А. Котельниковим в його роботі "Теорія потенціальної перешкодозахищеності". Для техніки радіолокації важливим є розвиток обчислювальної техніки, засобів і систем передачі радіолокаційної інформації, автоматизованих систем керування.

Радіолокаційні вимірювачі класифікуються за такими ознаками:

- безперервне вимірювання поточних координат і швидкостей цілей, зване супроводом (стеженням), може бути ручним (напівавтоматичним) або автоматичним;
- за кількістю каналів вимірювачі поділяються на одноканальні та багатоканальні;
- вимірювачі дальності, азимута, кута місця (висоти), радіальної і кутової швидкості;

- за методом вимірювання – це амплітудний, частотний, фазовий, доплерівський та інші методи, залежно від того, який параметр сигналу служить основою для вимірювання.

Основним джерелом інформації про повітряну обстановку є радіолокаційне спостереження, що здійснюється радіотехнічними засобами України. Радіолокаційне спостереження ведеться черговими радіотехнічними підрозділами.

Виходячи із видів завдань радіолокаційне спостереження повинно відповідати вимогам активності, оперативності та неперервності. Активність радіолокаційного спостереження забезпечується за рахунок правильного вибору радіолокаційних комплексів і станцій для ведення спостереження, своєчасного і правильного встановлення режимів їх роботи, відповідно до повітряної обстановки, що складається. Максимальна картина повітряної обстановки має бути завжди оперативною та актуальною.

Одним із способів забезпечення необхідної оперативності радіолокаційного спостереження є своєчасне та правильне виявлення рухомих цілей у повітрі, а також правильний вибір і установка відповідного режиму роботи радіолокаційних комплексів. У свою чергу, неперервність супроводу повітряних об'єктів також забезпечується своєчасним застосуванням режимів роботи, відповідно дій повітряного судна.

Таким чином радіолокаційна станція має не тільки виявляти цілі, а і супроводжувати їх протягом всього часу руху, де вони є в зоні досяжності РЛС. Це дуже актуальна проблема, адже радіолокаційні станції з такими можливостями коштують дорого, а персонал, що їх обслуговує повинен мати специфічну кваліфікацію.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вивчення особливостей сучасних радіолокаційних станцій, що використовуються в Україні, розробка системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету.

Система повинна мати можливість її використання в навчальному процесі для проведення досліджень на лабораторних та практичних роботах.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- визначити характеристики радіолокації як науки та проаналізувати її види та методи;
- здійснити огляд сучасних радіолокаційних станцій, що використовуються в Україні, оцінити ефективність їх використання при аналізі характеристик та параметрів РЛС різних типів;
- розробити систему виявлення та спостереження за об'єктами з реалізацією ультразвукового макету;
- дослідити можливості розробленої системи та перспективи використання таких систем в навчальному процесі.

Об'єктом дослідження є радіолокаційні станції з можливістю виявлення та супроводження об'єктів.

Методи дослідження. В дослідженнях використані методи цифрової та статистичної обробки інформації, порівняння технічних характеристик, експериментального спостереження за розробленою системою та аналізу її алгоритму роботи.

Наукова новизна отриманих результатів визначається вдосконаленим алгоритмом роботи радіолокаційних пристроїв, що розроблені на основі активної радіолокації.

Практичне значення отриманих результатів. Проведене дослідження радіолокаційних станцій з можливістю спостереження за виявленою ціллю дало позитивний результат. За результатами досліджень виявлено, що використання ультразвукового макету, дозволяє значно здешевити систему для того, щоб було легше впровадити розробку в навчальний процес. Простий алгоритм забезпечує швидку та безвідмовну роботу системи, а також мінімізує кількість помилок при виявленні, а застосування мікроконтролера Atmega328P та C-подібної мови

програмування відкриває грандіозні можливості для наукових досліджень методів радіолокаційного виявлення та спостереження. Структуровані матеріали, що були отримані в ході досліджень можуть використовуватись в навчальних цілях.

Особистий внесок здобувача. Разом з дипломним керівником було обґрунтовано завдання дослідження дипломної роботи та її актуальність.

В роботі було досліджено особливості радіолокаційних систем виявлення та супроводження об'єктів, реалізовано ультразвуковий макет радіолокаційної системи, що наглядно показує принцип роботи радіолокації.

Поширеність технології ультразвукових далекомірів дозволила на практиці перевірити можливість використання їх в якості радіолокаційних антен для виявлення та супроводження цілей.

В ході досліджень було знайдено спосіб використання мікроконтролера Atmega328P та C-подібної мови програмування для аналізу радіолокаційних станцій.

Доцільність даної роботи обґрунтована відсутністю бюджетного промислового рішення для вивчення радіолокаційного спостереження в навчальній діяльності.

РОЗДІЛ 1

РАДІОЛОКАЦІЯ. ПРИНЦИПИ РАДІОЛОКАЦІЇ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

1.1. Способи отримання радіолокаційного сигналу

Радіолокація — це напрям радіоелектроніки, який вирішує завдання радіолокаційного спостереження за різними об'єктами, їх виявленням, знаходженням позиції та параметрів переміщення, а також виявленням деяких властивостей шляхом використання відбитих радіохвиль об'єктами або їх власного радіовипромінювання (слово локація походить від латинського «locatio» — розміщення, розташування).

Інформація, що отримується в ході радіолокаційного спостереження, називається радіолокаційною. Пристрої та системи радіолокаційного спостереження називаються радіолокаційними станціями (РЛС) або радіолокаторами. Самі ж об'єкти радіолокаційного спостереження називаються радіолокаційним цілями або просто цілями. Коли використовуються відбиті радіохвилі, то радіолокаційними цілями є будь-які неоднорідності електричних параметрів середовища (діелектричної та магнітної проникності, провідності), в якій поширюється первинна радіохвиля. До них відносяться літальні апарати (літаки, вертольоти, метеорологічні зонди та ін.), гідрометеоутворення (дощ, сніг, град, хмари і т. п.), річкові та морські судна, наземні об'єкти (дерева, будинки, авто та інші), військові об'єкти і т. п.[1].

Радіолокаційний сигнал – це джерело радіолокаційної інформації. Залежно від способів отримання радіолокаційних сигналів розрізняють такі види радіолокаційного спостереження.

Радіолокація з пасивною відповіддю рис.1.1, заснована на тому, що випромінююче РЛС коливання (зондуєчий сигнал) — відбивається від цілі і потрапляє в приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу або, як його ще називають, ехо-сигналу.

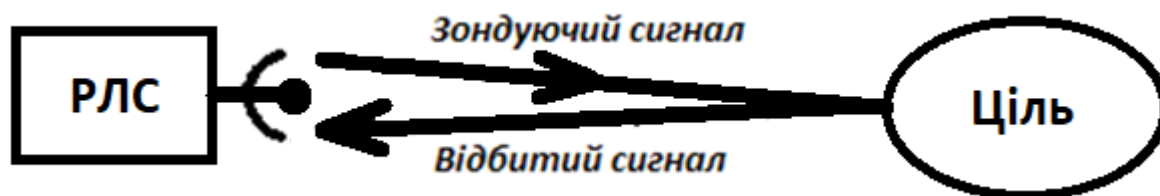


Рис. 1.1. Радіолокація з пасивною відповіддю

Такий вид спостереження називають також активною радіолокацією з пасивною відповіддю, вона є найбільш поширеною. Важливою вимогою до цілей у цьому випадку є відмінність їх властивостей, інформацію про які містить відбитий сигнал, від властивостей навколишнього середовища (радiолокаційний контраст).

Радіолокація з активною відповіддю рис.1.2, іменована активною радіолокацією з активною відповіддю. Просто активна радіолокація або вторинна радіолокація, характеризується тим, що відповідний сигнал є не відбитим, а перевипроміненим за допомогою спеціального відповідача — ретранслятора. При цьому помітно підвищується дальність радіолокаційного спостереження, що дозволяє використовувати даний вид радіолокації, наприклад, для спостереження штучних супутників Землі. Він застосовується для визначення державної належності літаків (за допомогою спеціальних кодів).

У цивільній авіації метод активної відповіді використовується дуже широко, оскільки в відповідний сигнал може бути внесено багато додаткової корисної інформації (висота польоту, обумовлена бортовим висотоміром більш точно, ніж наземними РЛС, відомості про кількість пального, номер літака і т. д.), необхідної для контролю повітряного руху (КПР), особливо при використанні автоматизованих систем (АС КПР)[2].

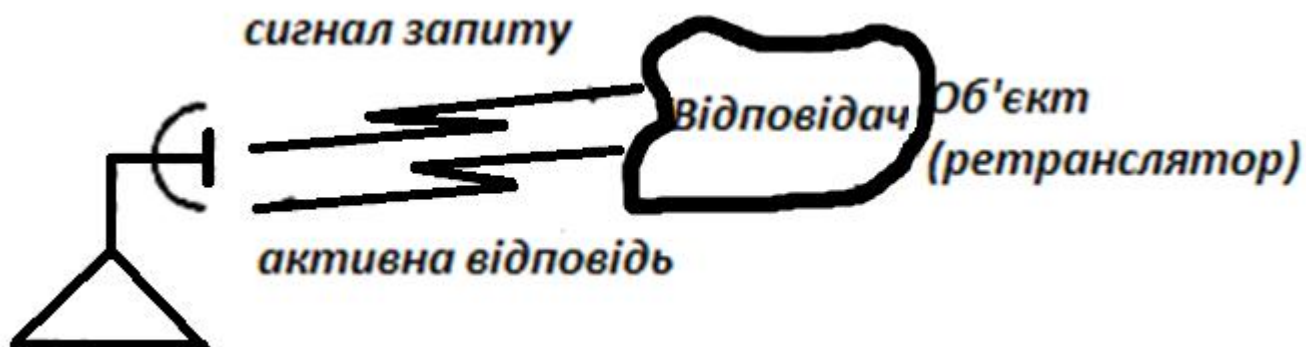


Рис. 1.2. Радіолокація з активною відповіддю

Пасивна радіолокація рис.1.3 заснована на прийомі власного радіовипромінювання цілей. Якщо зондуючий сигнал у двох попередніх випадках може бути використаний як опорний, що забезпечує принципову можливість виміру дальності і швидкості, то в даному випадку така можливість відсутня. За допомогою теплового радіовипромінювання в міліметровому, сантиметровому, дециметровому діапазонах можна вирішувати такі народногосподарські завдання, як спостереження за станом посівів, визначення вологості ґрунту, виявлення лісових і підземних пожеж, а також деякі навігаційні завдання (наприклад, вимірювання шляхової швидкості). Відомі також військові застосування, пов'язані з виявленням штучних об'єктів. крім того, різновидом пасивної радіолокації являється спостереження за грозами (у довгохвильовому діапазоні).

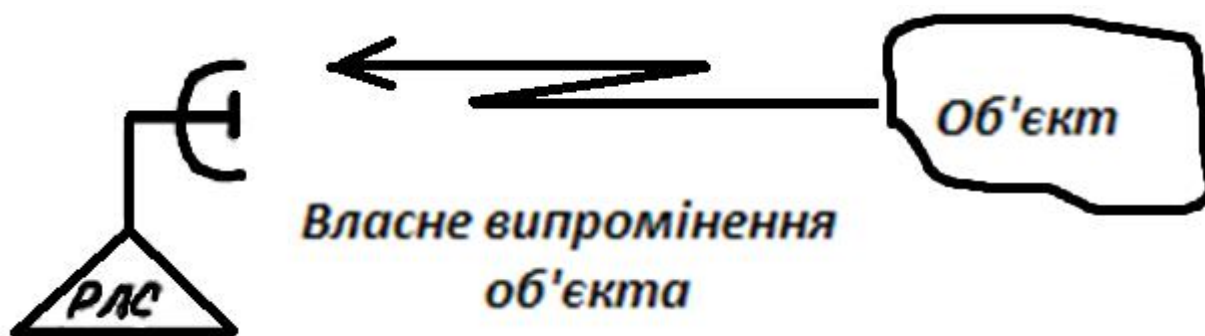


Рис.1.3. Пасивна радіолокація

Виконання регулярних і безпечних польотів в умовах зростаючої інтенсивності повітряного руху вимагає застосування великої кількості радіотехнічних засобів, зокрема радіолокаційних. роль радіолокації зростає ще

більше у зв'язку з переходом до автоматизації літаководіння та управління повітряним рухом.

Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системах УПР є імпульсні РЛС. При цьому для КПП по трасах застосовуються РЛС з дальністю 350 ... 450 км, а в районі аеропортів з дальністю 100 ... 200 км. так як використовувані РЛС, як правило, двокоординатні (дальність, азимут), то третя координата транслюється по «вторинному» каналу (РЛС з активною відповіддю). Система, що включає РЛС з пасивним і активним відповідями і пристрій трансляції радіолокаційної інформації по радіоканалу або по кабелю на пульт управління, іменується радіолокаційним комплексом.

Вводяться автоматизовані системи — АС КПП, в котрих процеси збору, обробки і відображення інформації, а також аналізу повітряної обстановки реалізуються за допомогою ЕОМ. Рішення про необхідність зміни параметрів руху окремих ЛА приймається диспетчером, який може безпосередньо взаємодіяти з комплексом обчислювальних системи.

Великого значення набувають метеорологічні РЛС. Вони застосовуються для виявлення хмар і опадів, можуть бути використані для штормового попередження. крім того, з їх допомогою вимірюють метеорологічні параметри.

У цивільній авіації використовують ряд бортових радіолокаційних пристроїв. до них відноситься бортова РЛС для виявлення небезпечних метеоутворень і перешкод. Зазвичай вона ж використовується для огляду землі з метою автономної навігації за характерними наземним радіолокаційними орієнтирами. Для забезпечення дії згаданого вище активного каналу на борту є спеціальні відповідачі.

Радіолокаційні принципи використовуються і в таких навігаційних приладах, як бортовий радіовисотомір і доплерівський (використовує ефект Доплера) вимірювач шляхової швидкості і кута зносу[3].

1.2. Основні принципи радіолокації

Серед багатьох принципів і методів радіолокації слід розглянути найбільш важливі, пов'язані з дальністю дії РЛС, вимірюванням дальності дії, радіопеленгацією, захистом від пасивних перешкод (метод селекції рухомих цілей), дозволом (метод бічного огляду).

Дальність дії РЛС, в яких використовуються відбиті сигнали (за відсутності пасивних перешкод), при розташуванні приймача і передавача поряд один з одним обчислюється за основним рівнянням радіолокації:

$$R^4 = \frac{PT S_e \sigma}{4\pi \Omega E_{\Pi} L}$$

де R - дальність дії РЛС; P - середня потужність зондувальних сигналів; T - час, протягом якого має бути здійснене виявлення об'єкта або визначення його місця розташування; S_e - ефективна площа приймальної антени; σ - кут, усередині якого ведеться спостереження; E_{Π} - енергія відбитого сигналу, яка необхідна для виявлення об'єкта із заданою вірогідністю або визначення його місця розташування із заданою точністю; L - коефіцієнт втрат, зумовлених відмінністю реальної системи від ідеальної.

Зміни цього рівняння пов'язані зі специфічними застосуваннями РЛС. Так, в наземних РЛС знаходження повітряних цілей, очікуваних на певній висоті, для максимального використання потужності, випромінюваної антеною, обирають антени з такою діаграмою спрямованості, щоб у всьому робочому секторі забезпечувалося сталість сигналів незалежно від їх дальності знаходження. Рівняння дальності дії РЛС, які використовують приймальні сигнали, складаються окремо для 2 однакових відстаней: РЛС - маяк і маяк - РЛС; для кожного з них в залежності дальності від енергетичного потенціалу радіоканалу (від потужності передавача і чутливості приймача) входить R^2 , а не R^4 .

Дальність радіолокаційного спостереження в діапазоні надвисоких частот обмежується кривизною земної поверхні і дорівнює (в км)

$$R = 130(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

де h_1 і h_2 - висота розташування об'єкта і РЛС над поверхнею Землі (в км). Дальність дії значно зростає в діапазоні декаметрових (коротких) хвиль - завдяки їх поширенню з послідовними відображеннями від іоносфери (в середньому на висоті 300 км) і від поверхні Землі[4].

Відкриття Н. І. Кабановим в 1947 році явища дальнього розсієння відображення від Землі декаметрових хвиль з їх відбиванням після віддзеркалення від іоносфери до джерела випромінювання привело до появи принципової можливості створення так званої іоносферної, або заобрійної, радіолокації. Заобрійна радіолокація може здійснюватися в основному за двома схемами: «на просвіт» - з великим діапазоном передавача і приймача та спостереженням за об'єктами, що знаходяться між ними, і зі зворотно-похилим зондуванням - з прийомом сигналів, що приходять назад до місця випромінювання, рис. 1.4.

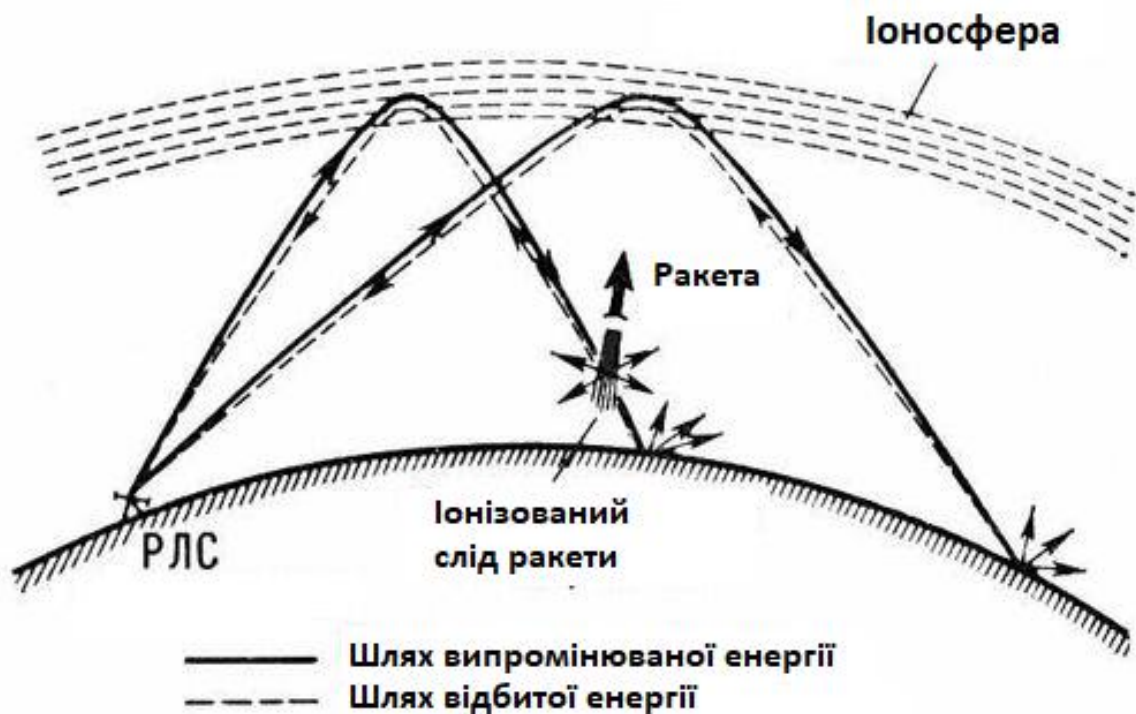


Рис.1.4. Схема заобрійної радіолокації

Вимірювання дальності по відбитих сигналах, зазвичай, відбувається двома способами. В основу першого способу, який називається імпульсним, покладено випромінювання імпульсу та вимірювання часу затримки відбитого сигналу об'єктом імпульсу відносно випроміненого сигналу. Вимірювання покращується, якщо відбитий сигнал не накладається на зондуєчий, тобто об'єкт знаходиться на достатньому віддаленні від РЛС. У найпростішому випадку, рис. 1.5, для реалізації цього способу застосовуються імпульсний передавач, приймач (зазвичай супергетеродинного типу), що задає генератор-синхронізатор для запуску передавача і задання шкали часу, індикатор осцилографічного типу, за шкалою якого можна відраховувати дальність[5].

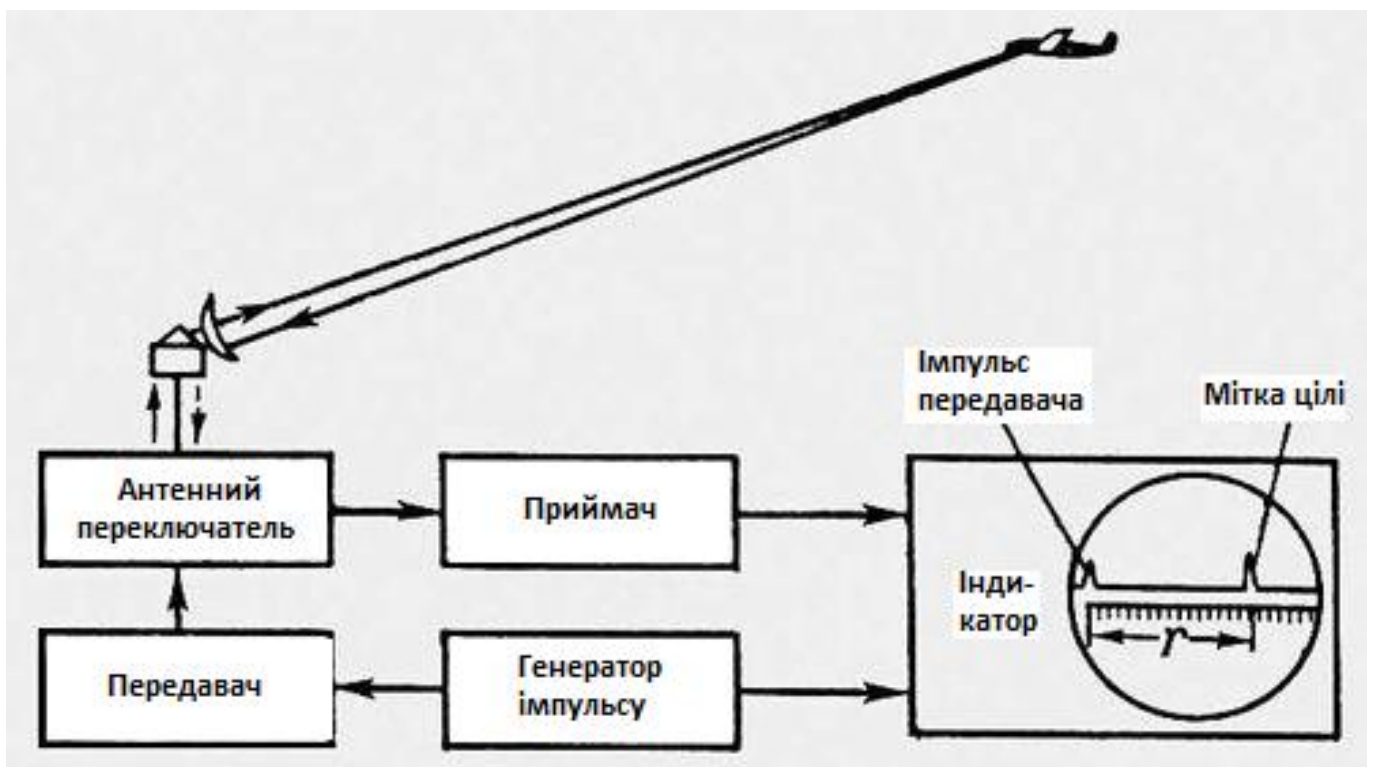


Рис.1.5. Схема вимірювання дальності імпульсним методом

В основу другого способу покладено спостереження інтерференції двох безперервних хвиль, пов'язаних з зондуєчим випроміненням і віддзеркаленням від об'єкту (або ретрансляцією). При реалізації цього способу з зондувальними коливаннями, частота яких модулюється за лінійним законом, в змішувач приймального пристрою, рис. 1.6, надходять коливання передавача і сигналу, в результаті чого виникає модуляція між ними з частотою, пропорційною

вимірюваної дальності. Після детектування, посилення і обмеження сигнали надходять на частотомір - лічильник частоти биття, шкала якого може бути проградуєрована безпосередньо в одиницях дальності.

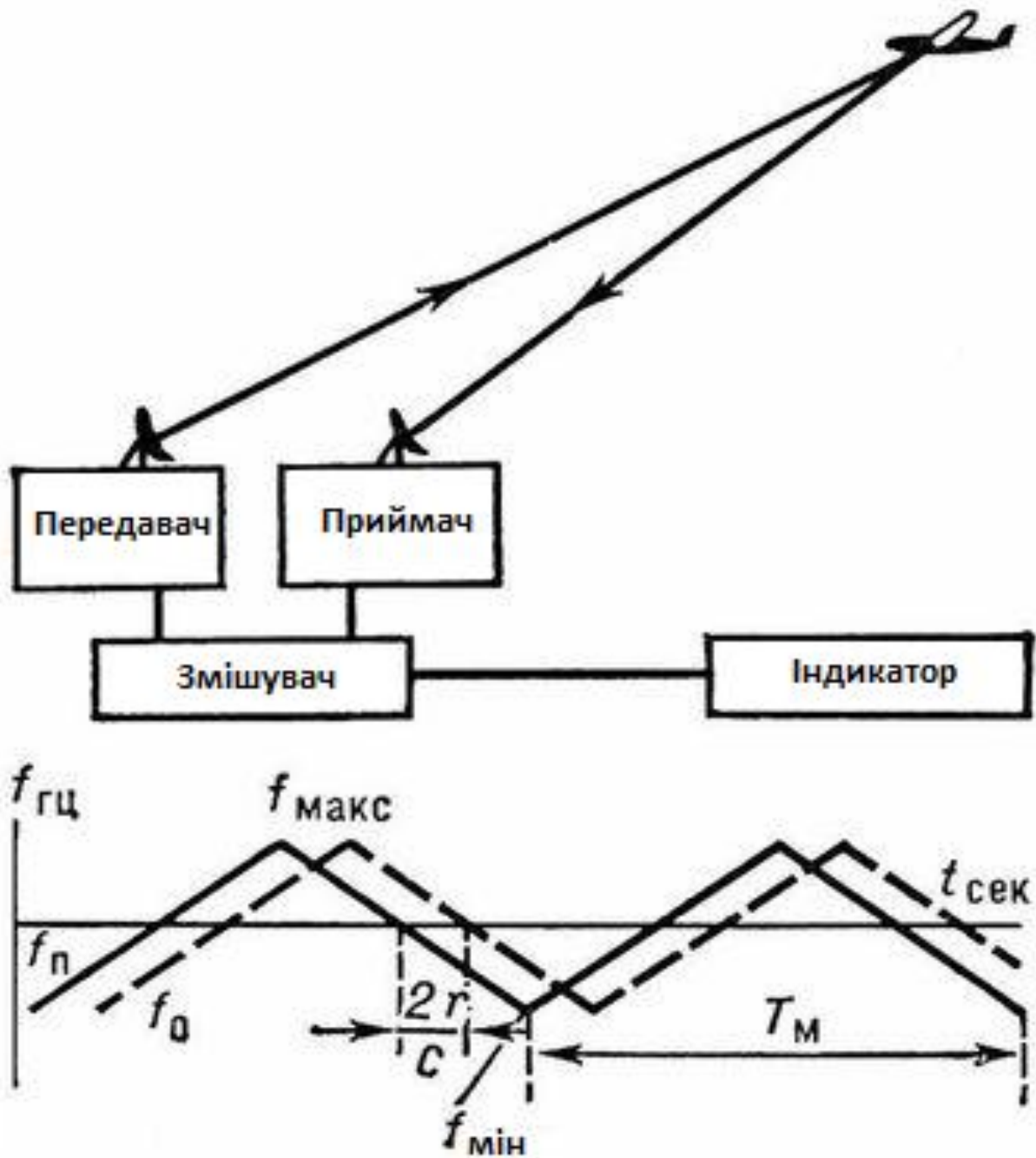


Рис.1.6. Схема вимірювання дальності при неперервних ЧМ коливаннях

Радіальна швидкість об'єкта, як правило, визначається з високою точністю при вимірюванні частоти Доплера. При цьому, щоб отримати високу роздільну здатність по швидкості і високу точність її вимірювання, що пов'язано із застосуванням

сигналів великої тривалості. Однак здобуття високої роздільної здатності по дальності і високої точності її вимірювання пов'язано із застосуванням широкосмугових сигналів. Тому в радіолокації доцільно застосовувати складні широкосмугові сигнали з великою базою. У разі простих сигналів (наприклад, одиночних монохроматичних імпульсів) розширення спектра сигналу з метою отримання кращої роздільної здатності по дальності супроводжувалося б погіршенням точності вимірювання швидкості.

Пеленгація об'єктів може здійснюватися при спостереженні з одного пункту і при рознесеному прийомі з інших пунктів спостереження. У пристроях, розташованих в одному пункті, широке застосування отримав метод пеленгації шляхом порівняння амплітуд сигналів - амплітудний метод, що дозволяє отримати високу точність в поєднанні з автоматичним стеженням за ціллю у напрямку і високим відношенням сигнал / шум. У найпростішому випадку досить порівняти амплітуди сигналів від об'єкта в двох положеннях діаграми спрямованості антени, рис. 1.7, щоб за знаком і величиною різниці цих сигналів судити про величину і знак відхилення напрямку на об'єкт від рівносигнального (в якому сигнал помилки дорівнює нулю). Після посилення сигнал помилки подається в систему, що стежить, яка повертає антену услід за переміщенням об'єкта («стежить» у рівносигнальному напрямку).

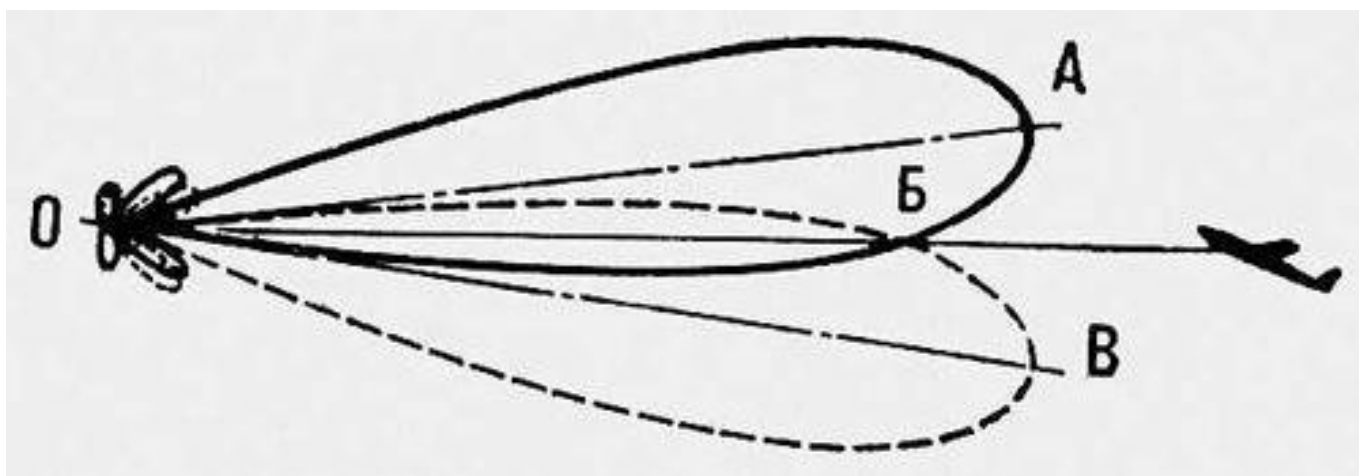


Рис.1.7. Схема пеленгації за методом порівняння, ОБ – рівносигнальні напрями, ОА та ОВ - 2 положення максимуму діаграми направленості

Існують 2 варіанти цього методу. У першому (простішому) необхідний тільки один приймальний канал зв'язку з однією антеною. Шляхом механічної або електронної комутації відповідних ланцюгів отримують два положення діаграми спрямованості антени і виробляють сигнал помилки, який керує системою. Створення порівнюваних сигналів реалізується послідовно (у часі). У другому, моноімпульсному методі, існують 2 окремих приймача каналу зв'язку з 2 антенами і утворення 1-го і 2-го сигналів відбувається одночасно. Моноімпульсний метод вільний від помилок, що викликаються флуктуаціями сигналів.

У РЛС сантиметрового діапазону хвиль перший варіант пеленгації реалізується при конічному скануванні, тобто при обертанні променя, відхиленого відносно осі дзеркала антени (рівносигнального напрямку). Синхронно з обертанням променя виробляються дві ортогональні напруги, що використовуються для комутації (на виході сигналу) фазових детекторів з метою виділення сигналу помилки. У другому варіанті одночасно існують чотири промені і два сигнали помилки (від кожної з ортогональних пар променів).

Крім методу порівняння, також застосовується амплітудний метод аналізу обвідної сигналів, що дозволяє отримати приблизно таку ж точність пеленгації при одночасному огляді вузьким променем сектора, в якому може перебувати кілька цілей.

Методи рознесеного прийому дозволяють досягти високої точності пеленгації шляхом виміру різниці часу приходу сигналів. Залежно від вигляду сигналів такий вимір може вироблятися імпульсним, кореляційним і фазовим способами[6].

Великий розвиток у радіолокації отримав фазовий спосіб пеленгації, заснований на вимірюванні різниці фаз високочастотних коливань, що приймаються антенами, рознесеними на певну відстань, його називають базою. Перевага цього способу - висока точність, що досягається, головним чином, через обов'язкове збільшення бази. Метод вільний від похибок, що викликаються флуктуаціями сигналу, загального (по амплітуді) для каналів фазової системи. При перетворенні

радіочастоти в проміжну (нижчу) частоту в супергетеродинному радіоприймачі різниця фаз зберігається незмінною, і її вимір з точністю $\sim 1^\circ$ не представляє технічних труднощів. При реалізації цього методу важливо зберігати ідентичність і стабільність фазових характеристик окремих приймальних каналів, що пропускають коливання, різниця фаз яких вимірюється, а також підтримувати сталість частоти хвиль, що приймаються і бази (або здійснювати спеціальний контроль за їх зміною).

Фазовий метод досить зручний і для точного вимірювання кутової швидкості випромінюючого об'єкта. Застосовуючи збільшену базу, можна у багато разів підвищити чутливість системи до зміни кутових координат, отримуючи вимірні різниці фаз коливань при незначних кутових переміщеннях об'єкту. Складність вимірювання цими системами кутових координат і їх похідних обумовлена багатоканальністю їх структури, жорсткими вимогами до фазових характеристик каналів, необхідністю використовувати для автоматизації обробки даних ЕОМ з високою продуктивністю.

Розвиток фазових методів вимірювання кутових координат і їх похідних у радіолокації було використано в радіоастрономії, де отримали застосування інтерферометри з наддовгою базою (порядку декількох тисяч км); з їх допомогою досягають кутового дозволу порядку тисячної частки кутової секунди.

Велике значення в радіолокації має метод селекції рухомих цілей - виявлення відбитих цілями сигналів, що маскуються радіохвилями, відбитими від місцевих предметів - будівель, пагорбів, лісу (при спостереженні низько літаючих літаків і снарядів або об'єктів, що рухаються по землі), або від моря (при спостереженні перископів підводних човнів), або від «хмари» пасивних дипольних перешкод (при спостереженні повітряних об'єктів) і т.д. При цьому методу, званому також когерентно-імпульсним, фаза випромінюваних радіохвиль запам'ятовується з тим, щоб при прийомі сигналу, відбитого від об'єкта, у міру руху об'єкту можна було фіксувати зміну різниці фаз між прийнятим і переданим сигналами; для нерухомого або малорухливого фону перешкод зміни різниці фаз в сусідніх періодах повторень

імпульсів близькі до нуля, і за допомогою пристроїв компенсації можна ці сигнали придушити, пропустивши на вихід РЛС тільки сигнали від рухомих об'єктів[7].

Методи оптимальної обробки сигналів дозволили отримувати високу кутову роздільну здатність у РЛС, щодо рухомих об'єктів, навіть якщо розміри антени порівняно невеликі, тобто при широкому радіопромені. Так, для картографування місцевості був розроблений метод бічного огляду з синтезованим розкритвом антени. У РЛС, які використовують цей метод, антена, витягнута уздовж шляху літального апарату (ЛА), приймає від кожної елементарної площадки місцевості сигнали, що розрізняються часом запізнювання (в зв'язку з переміщенням ЛА) і частотою Доплера. Так як при оптимальній обробці сигнали запам'ятовуються і підсумовуються з відповідними фазовими зрушеннями, то можна отримати ефект синфазного складання сигналів, подібно до того як це відбувалося б при нерухомій синфазній антені з еквівалентним розміром D уздовж лінії шляху, визначеним переміщенням ЛА за час когерентного накопичення сигналу T :

$$D = vT,$$

де v — швидкість переміщення ЛА. Внаслідок ефекту Доплера зміна частоти коливань Δf для елементів поверхні, рознесених на ширину радіопромменя $\theta = \lambda/d$ (де λ — довжина хвилі, d — діаметр або сторона розкриття антени), дорівнює

$$\Delta f \approx \frac{v}{\lambda} * \theta = \frac{v}{d},$$

Отже, після оптимальної обробки сигналу тривалість стислого імпульсу τ буде дорівнює

$$\tau \approx \frac{1}{\Delta f} = \frac{d}{v},$$

що відповідає гранично досяжною поздовжньої роздільної здатності уздовж лінії шляху, що дорівнює $d = v\tau$ (або $1/2d$, якщо та ж бортова антена використовується не тільки для прийому, але і для опромінення і забезпечує тобто подвоєння фазових зрушень відбитих коливань)[8].

1.3. Методи визначення місця розташування об'єктів

Існують три основні методи визначення просторових координат об'єктів:

- ліній і поверхонь положення;
- кореляційно-екстремальний;
- обчислення шляху.

Але останні два в даний час застосовуються лише для автономних навігаційних систем, тобто при визначенні місця розташування на самому ЛА. Визначення координат цілей в даний час ґрунтується на застосуванні методу ліній і поверхонь положення.

Спільність фізичних основ радіодальнометрії і радіопеленгації знаходить вираз ще в тому, що місце розташування цілі можна встановити не тільки по її дальності і кутах, виміряним з однієї точки O , а й шляхом вимірювання дальності або кутів з рознесених опорних точок O_1 , O_2 та O_3 , рис. 1.8. Найбільше застосування отримали дальномірний, різницево-дальномірний, кутомірний (пеленгаційний) та дальномірно-кутомірний

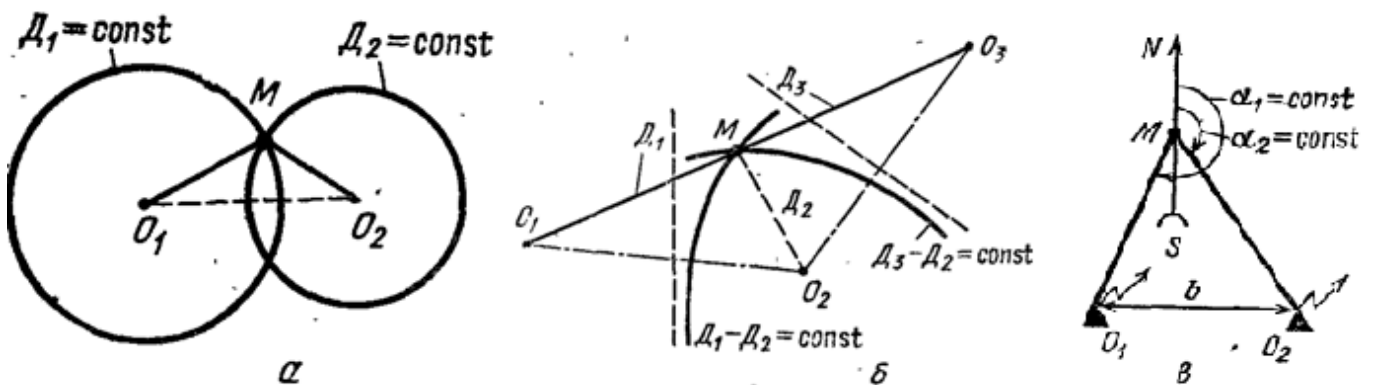


Рис. 1.8. Методи визначення місця розташування об'єктів: а - дальномірний; б - різницево-дальномірний; в – пеленгаційний

У радіолокації для визначення місця розташування цілі (об'єкта) найчастіше застосовують позиційний метод, заснований на використанні поверхонь або ліній

положення для визначення місця об'єкта в просторі або на поверхні Землі. Поверхня положення являє собою геометричне місце точок у просторі, що відповідають умові сталості параметра (вимірюваної координати щодо опорного пункту (дальності, кута і т.п.).

Місцезнаходження цілі в просторі знаходиться як точка перетину трьох поверхонь положення (ПП). Перетин двох поверхонь положення дає лінію положення (ЛП), яка є геометричним місцем точок з постійними значеннями двох параметрів. Щоб розрахувати точку в просторі, потрібно знати перетин трьох поверхонь положення або лінії і поверхні положення. У разі знаходження цілі та опорних пунктів в одній площині досить двох ЛП (визначення декількох координат цілі, які вимірюються двома РЛС), рис. 1.8.

Далекомірний метод полягає у визначенні місця розташування цілі M , рис.1.8.а, вимірюванням відстаней між метою і опорними пунктами O_1, O_2 .

Кожна поверхня положення являє собою сферу з центром в опорному пункті і радіусом, рівним дальності. Так як точки M, O_1, O_2 знаходяться в одній площині, то поверхні положення переходять в круги з радіусами $O_1M = D_1$ та $O_2M = D_2$ з точкою перетину на цілі M . Є ще одна точка перетину кіл, але неоднозначність вимірювань можна виключити.

Різницево-далекомірний метод, рис. 1.8.б, вимагає наявності на площині двох пар опорних пунктів O_1, O_2 та O_2, O_3 . Один з них зазвичай загальний (O_2). Кожна пара станцій використовується для отримання ЛП у вигляді гіпербол з фокусами в опорних пунктах. Ці лінії будуються як геометричні місця точок з постійною різницею відстаней: $D_1 - D_2 = \text{const}$ від O_1 та O_2 ; $D_3 - D_2 = \text{const}$ від O_2 та O_3 . Точка перетину гіпербол збігається з ціллю M .

Кутомірний (пеленгаційний) метод заснований на використанні спрямованих властивостей антен. Цей метод реалізується за допомогою радіопеленгатора,

встановленого на об'єкті M , і двох радіомаяків, розташованих в опорних пунктах O_1 та O_2 , рис. 1.8.в, з базою b .

Радіопеленгатор є радіоприймальним пристроєм з спрямованою антеною, а радіомаяк - передавальний пристрій з ненаправленою антеною. Пеленгатор вимірює азимути α_1 маяка O_1 та α_2 маяка O_2 , і так як ЛП з постійними пеленгами ($\alpha_1 = \text{const}$, $\alpha_2 = \text{const}$) являють собою прямі, що проходять під кутами α_1, α_2 до напрямку південь - північ, то вони мають одну точку перетину, яка є шуканою, тобто збігається з ціллю M [9].

Дальномірно-кутомірний метод, рис. 1.9, вимагає застосування тільки однієї станції, що містить радіодальномір і радіопеленгатор. З точки знаходження станції далекомір визначає похилу дальність до об'єкту $OM = D$, а пеленгатор встановлює напрямок на об'єкт, тобто її азимут α і кут місця β .

Ціль M знаходиться на перетині поверхні положення далекоміра в вигляді кулі радіуса $OM = D$ та ЛП пеленгатора - у вигляді прямої з кутовими координатами α і β , що проходить через точку O . Цей метод найбільш характерний для радіолокації, а інші способи - для радіонавігації. Однак і в радіолокації розташування цілі визначають з двох і більше точок. Наприклад, якщо звичайна РЛС виробляє пеленгацію з великими помилками, то вдаються до далекомірного методу, а якщо далекомірну частина РЛС не можна використовувати через сильні перешкоди або внаслідок застосування пасивної радіолокації, то вдаються до пеленгаційної методу.

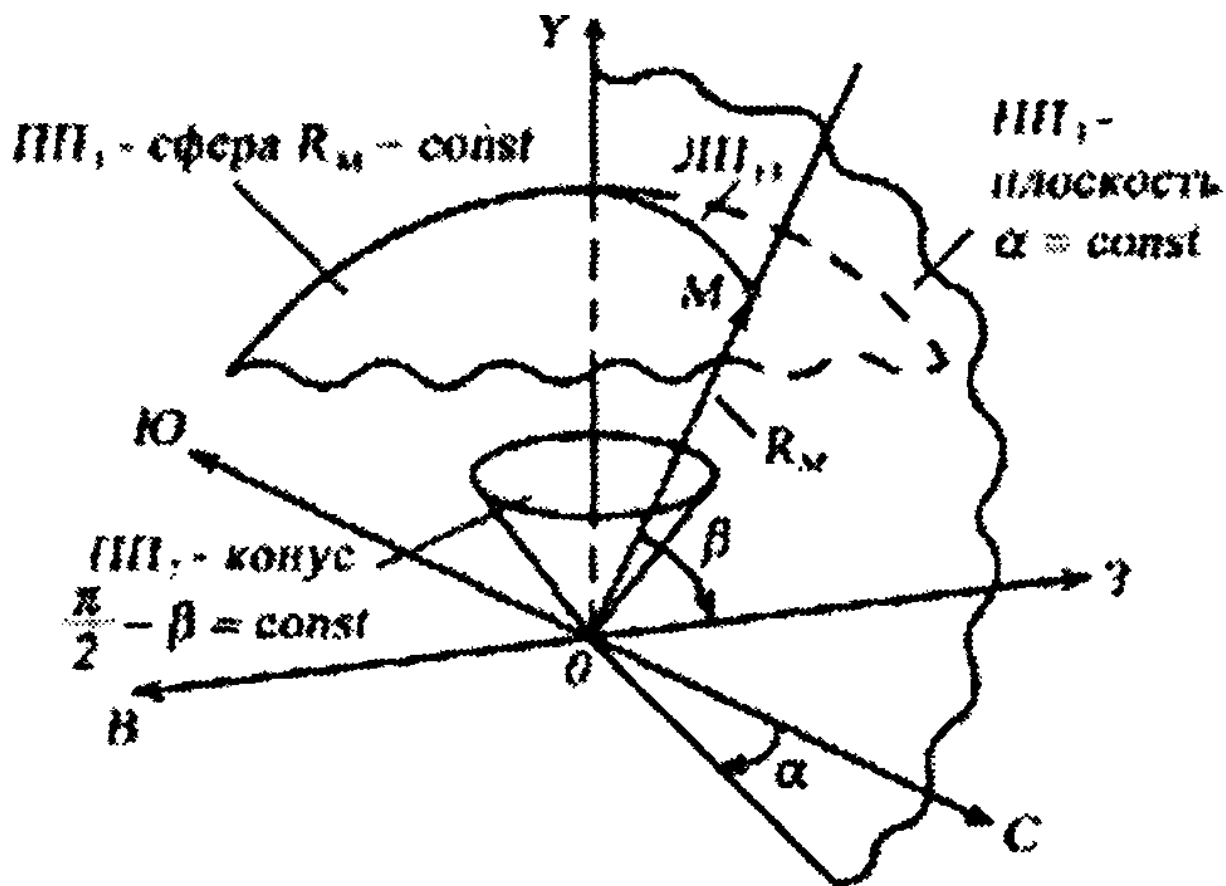


Рис. 1.9. ПП при визначенні місця розташування об'єкта позиційним методом

Таким чином, в радіолокації для визначення місця розташування об'єкта застосовують позиційні методи, засновані на використанні ПП або ЛП. Вибір методу визначає кількість РЛП, що входять в систему[10].

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТЕЙ

2.1. Принцип роботи радіолокаційних станцій

Радіолокаційна станція (РЛС) або радар - від англійської назви radio detection and ranging, «радіохвильове виявлення та ранжування», система для виявлення морських, надземних і наземних об'єктів, а також для визначення координат, фізичних і геометричних параметрів. Використовує метод, що базується на випромінюванні радіохвиль і реєстрації їх віддзеркалень від об'єктів[11].

Принцип роботи. Радар посилає електромагнітні хвилі направленою антеною у визначений об'єм простору для пошуку цілі (об'єкту). За наявності цілі частина падаючої на неї енергії відбивається назад до приймальної антени радару. Відбиті сигнали називають ехом. Ці сигнали обробляються приймачем для отримання інформації про ціль.

Характеристики. РЛС використовує три основні властивості радіохвиль:

- випромінювані радіохвилі відбиваються від об'єктів;
- хвилі розповсюджуються практично по прямій, що дозволяє визначати положення об'єкту відносно станції;
- хвилі розповсюджуються з постійною швидкістю, яка дорівнює швидкості світла (приблизно $3 \cdot 10^8$ м/сек), що дозволяє визначити відстань за затримкою часу на розповсюдження (між надісланим та прийнятим сигналом).

Основними вузлами РЛС є передавач і приймач, розташовані або в одному пункті (сполучена РЛС), або у віддалених один від одного пунктах (дво- і багатопозиційні РЛС). У РЛС для пасивної радіолокації передавач відсутній.

Антенна може бути загальною для передавача і приймача (у сполученій РЛС), яку антенний перемикач підключає в режимі випромінювання до передавача, а після отримання відповіді — до приймача. Можуть застосовуватися різні антени (у багатопозиційних РЛС). РЛС має світловий індикатор для відображення повітряної інформації.

Основними характеристиками РЛС є зона огляду, роздільна здатність, експлуатаційна надійність, заводозахисненість, тактичні дані, термін служби, кількість обслуговуючого персоналу тощо.

Зона огляду РЛС обмежується максимальною й мінімальною дальністю дії та секторами огляду в горизонтальній і вертикальній площинах.

Роздільна здатність РЛС характеризує можливість роздільного спостереження цілей, які відрізняються значенням однієї з координат або швидкістю руху.

Роздільна здатність за дальністю (δR) визначається мінімальною відстанню між двома цілями, що мають однакові кутові координати і швидкості, за яких цілі спостерігаються окремо. Якщо відстань між цілями стане менше δR , то РЛС сприйматиме їх як одну ціль.

Роздільна здатність за кутовою координатою ($\delta\theta$) визначається мінімальним кутом між напрямками на дві цілі, що характеризуються однаковими віддаленням і швидкістю руху, за якого можливо роздільне спостереження цілей.

Роздільна здатність за швидкістю (δVr) визначається мінімальною відмінністю швидкостей двох цілей, які спостерігаються окремо, за умови рівності їх віддалення і кутових координат.

Експлуатаційна надійність РЛС — властивість виконувати задані функції впродовж певного часу в умовах експлуатації.

Тактичні дані РЛС визначаються її технічними характеристиками:

- принципом побудови — за методом одержання радіолокаційних сигналів, видом випромінюваних коливань, методом пеленгації цілі, способом обробки сигналів у приймачі;
- частотою випромінюваних коливань або довжиною хвилі;
- законом модуляції випромінюваних коливань;
- середньою і піковою потужностями випромінювання;
- формою і шириною діаграми спрямованості антени;
- чутливістю приймального пристрою;
- типом вихідного пристрою;
- захищеністю від електромагнітних перешкод;
- мобільністю та ін.

Різновиди. РЛС розрізняють насамперед за конкретними завданнями, які вони виконують: РЛС систем управління повітряним рухом, РЛС виявлення або наведення зенітних керованих ракет, РЛС для пошуку космічних літальних апаратів і зближення з ними, літакові РЛС кругового або бічного огляду тощо.

Специфіка вирішення окремих завдань та їхній широкий спектр привели до великої розмаїтості типів РЛС, які різняться:

- за сферою застосування — на військові і цивільні;
- за призначенням — на РЛС виявлення, РЛС керування та спостереження, панорамні РЛС, РЛС бічного огляду, метеорологічні РЛС, РЛС цілевказівки та наведення, РЛС огляду обстановки;
- відповідно до розташування — на бортові, наземні (стаціонарні та мобільні) та морські РЛС;
- за типом дії — на пасивні, активні з пасивною відповіддю (так звані первинні), активні з активною відповіддю (так звані вторинні) та моноімпульсні;
- за діапазоном частот — на РЛС метрового, дециметрового, сантиметрового і міліметрового діапазонів;
- за кількістю каналів — на одно- та багатоканальні;

- відповідно до методів і режимів роботи — на імпульсні та з безперервним випромінюванням, когерентні (імпульсно-доплерівські) та некогерентні; імпульсні РЛС за видом випромінюваного сигналу поділяють на станції з простим сигналом та зі складним сигналом; складний сигнал може бути фазово-модульованим, лінійно-частотно модульованим і комбінованим;
- за параметрами найважливіших вузлів — передавача, приймача, антени і системи обробки прийнятих сигналів тощо[12].

2.2. Сучасні радіолокаційні системи в Україні та їх основні характеристики

Радіолокаційні станції розвідки рухомих цілей активно використовуються як в інтересах ведення бою, так і при організації систем протидії злочинності і тероризму. Ці РЛС станції призначені для стеження за переміщенням військ та бойової техніки, забезпечення коригування стрільби засобів ураження, охорони рубежів і об'єктів, розпізнавання «свій-чужий».

«Барсук» - портативна РЛС розвідки цілей малої дальності



Рис.2.1. РЛС "Барсук"

Являє собою портативний варіант радіолокаційної станції. Режим розпізнавання дозволяє визначити відстань до цілі, а за характерним звуковим забарвленням спектра сигналу класифікувати об'єкт. Мала вага РЛС дає можливість оператору носити її на грудях. «Барсук» незамінний в умовах патрулювання або переслідування порушників в умовах відсутності оптичної

видимості[13].

Таблиця 2.1. ТТХ РЛС "Барсук"

	112L1 «Барсук»	112L2 «Барсук-Т»
Частотний діапазон, ГГц	36	36
Дальність виявлення, км:		
людини	0,6-0,8	1,6
бронетехніки	2	3,2
автомобіля (ЕПР = 10м ²)	1,6	2
малорозмірного плаваючого засобу (ЕПР > 50м ²)	2	3,2
Зона огляду		
по азимуту, град	360	360
За дальності, км	1,2; 2,4	1,6; 3,2
Роздільна здатність	8°/25 м	8°/25 м
Сектор огляду, град		5-120
Температурний режим	30°...+50°С	30°...+50°С
Потужність передавача, Вт	0,03	0,2
Напруга живлення, В	12	12
Вага, кг	5,5	40,0
Варіант виконання	носимий	На тринозі

79К6 «Пелікан»

Трикоординатна радіолокаційна станція кругового огляду виробництва НВК «Іскра». Призначена для роботи в умовах наявності перешкод природного та навмисного типу. Може бути використана в протиповітряній обороні, для видачі даних про ціль на зенітно-ракетний комплекс, а також як інформаційна ланка з військово-повітряними цілями і підрозділами ППО щодо забезпечення безпеки польотів.



Рис.2.2. 79К6 «Пелікан»

РЛС побудована на базі цифрової фазованої активної решітки. Однією з особливостей даної РЛС є висока середня потужність випромінюваного сигналу, що досягається за рахунок застосування сучасного багатопроменевого клістронного передавача.

Таке значення в понад три рази перевершує значення середньої потужності сучасної транзисторної РЛС. Висока стабільність передавальної системи в поєднанні з високою частотою повторення зондувальних імпульсів дозволяють ефективно гасити пасивні перешкоди і виявляти цілі з малими радіальними швидкостями.

«Пелікан» — радіолокаційна станція кругового огляду з координатним і трасовим виходами, яка працює автономно або у складі регіональних і національних автоматизованих систем управління (АСУ). Уся апаратура цієї РЛС розміщується в одній транспортній одиниці. «Пелікан» використовується як інформаційна ланка в підрозділах Збройних Сил для контролю та управління повітряним рухом. Станція виявляє і супроводжує повітряні об'єкти, визначає їх швидкість без перешкод і за наявності активних і пасивних перешкод, а також при їх комбінованому впливі; визначає державну належність повітряних об'єктів, отримує від своїх літаків індивідуальну та польотну інформацію, виконує інші завдання.

РЛС також можна використовувати для взаємодії з командними пунктами регіональних та національних АСУ, і що особливо важливо — у складі зенітно-ракетних військ для видачі цілевказівок зенітно-ракетним комплексам. Поява в українській армії РЛС 79К6 дозволила автономно застосовувати зенітні ракетні дивізіони С-300ПТ (ПС). Окрім того, можливе застосування цієї РЛС у бригадній структурі (6 дивізіонів).

За основними тактико-технічними характеристиками РЛС 79К6 не поступається зарубіжним аналогам, а її вартість щонайменше вдвічі менша за відомі зразки, наприклад, РЛС AN/TPS-117 виробництва компанії Northrop Grumman[14].

Таблиця 2.2. Тактико-технічні характеристики РЛС 79К6 «Пелікан»

Максимальна дальність виявлення цілі	400 км.
Дальність виявлення цілі на висоті польоту	
100 м	40 км,
1000 м	110 км,
10–30 км	300—350 км.
Робочий діапазон частот	S
Період огляду, с	5, 10
Тип антени	цифрова антенна решітка
Тип передавача:	багатопроменевий клістрон
Пікова потужність передавача, кВт	130
Число променів у вертикальній площині	12
Придушення пасивних завад, дБ	50
Придушення активних завад, дБ	20
Кількість супроводжуваних цілей, більше	300
Апаратура системи розпізнавання державної приналежності	вбудована
Кількість транспортних одиниць	2
Час розгортання/згортання, хв	30

Мобільний трикоординатний радіолокатор 36Д6-М

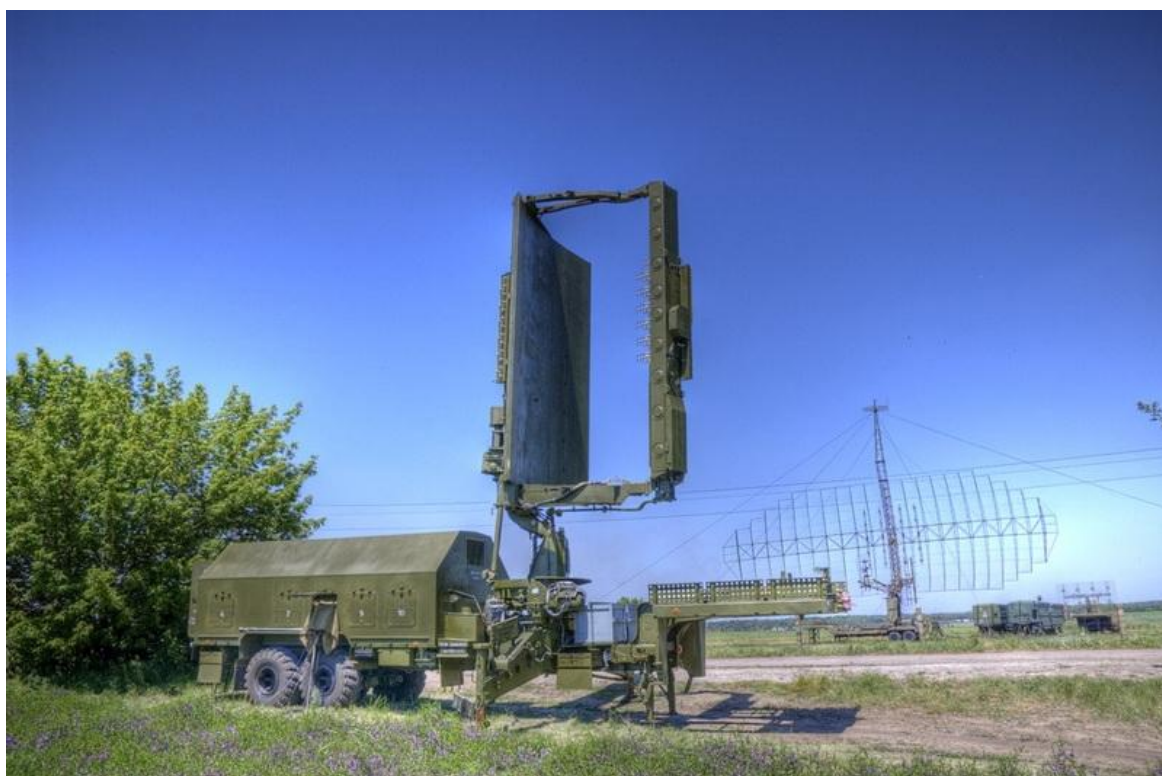


Рис.2.3. РЛС 36Д6-М

Рухома трьох координатна радіолокаційна станція кругового огляду малих і середніх висот, із координатним і трасовими виходами, що працює автономно або в складі регіональних і національних автоматизованих систем управління (АСУ) призначена для використання:

- у складі зенітно-ракетних військ для видачі цілевказань зенітно-ракетним комплексам;
- в якості інформаційного ланки в підрозділах військово-повітряних сил і ППО для контролю та управління повітряним рухом.

РЛС забезпечує:

- виявлення, супровід і вимір трьох координат повітряних об'єктів та їх шляхової швидкості в умовах без завад і при впливі природних і організованих активних і пасивних завад, а також в умовах їх комбінованого впливу;

- визначення державної належності повітряних об'єктів, отримання від своїх літаків індивідуальної та польотної інформації, її відображення і видачу споживачам;
- визначення з кута місця та і азимутальних пеленгів на постановники активних завад; видачу інформації на автономні засоби відображення і взаємодію з командними пунктами регіональних і національних АСУ.

РЛС З6Д6 складається з наступних основних частин:

- формувача зонduючих імпульсів;
- клістронного підсилювача потужності (передавача);
- антенної системи з коаксиально-хвилеводним трактом;
- чотиріканальної приймальної системи;
- чотиріканальної системи придушення пасивних завад і автоматичного виявлення;
- радіолокаційного процесора даних і робочих місць персоналу на основі кольорових TFT моніторів;
- вбудованого запитувача системи розпізнавання.

Огляд простору по азимуту здійснюється механічним обертанням антенної системи. Огляд простору по куту місця здійснюється формуванням чотирьох парціальних променів у вертикальній площині.

Формування чотирьох променів здійснюється методом частотного сканування. Для цього формувач зонduючих імпульсів формує зонduючий імпульс, що складається з чотирьох імпульсів на чотирьох різних частотах. Залежно від частоти в антенній системі формується один з чотирьох фіксованих променів.

Конструкція антенної системи дозволяє формувати чотири промені в зоні кутів $0^\circ - 6^\circ$ протягом одного обороту антени і чотири промені в зоні кутів $6^\circ - 30^\circ$ впродовж іншого повороту антени.

Таким чином, огляд 30° зони по куту місця виконується протягом двох обертів антени по азимуту.

Відбиті сигнали, прийняті антеною системою за допомогою частотних фільтрів, розподіляються між каналами приймальної системи.

У приймальних каналах здійснюється придушення активних завад.

У кожному каналі системи обробки здійснюється:

- аналого-цифрове перетворення;
- стабілізація рівня хибних тривог;
- придушення відображень від пасивних завад;
- автоматичне виявлення[15].

Таблиця 2.3. Основні технічні характеристики

Діапазон робочих частот	S
Межі роботи станції:	
за дальністю, залежно від режиму:	
Мінімальна, км	3.5; 7; 14
Максимальна, км	90, 180, 360
по азимуту, град	360
по куту місця, град	0 – 30
по висоті, км	20
Період огляду, с:	
при куту місця до 6°	5, 10, 20
при куту місця до 30°	10, 20
Дальність виявлення повітряного об'єкта типу «тактичний винищувач», км:	
При висоті польоту 100 м	42
При висоті польоту 1000 м	110
При висоті польоту 10 ... 20 км	300 – 350

Точність визначення координат ПО:	
по азимуту, хв.	15
за дальністю, м	100
По висоті (при дальності 90 км), м	400
Придушення відображень від місцевих предметів, дБ	48 – 50
Кількість одночасно супроводжуваних трас	150 – 200

*Мобільна двокоординатна когерентно-імпульсна РЛС кругового огляду
"Дельта"*



Рис.2.4. РЛС "Дельта"

Основне призначення:

- спостереження за повітряною і наземною обстановкою в зоні розташування особливо важливих об'єктів;
- контроль економічних і митних зон з метою запобігання контрабандним та терористичним діям.

Забезпечує:

- автоматичне виявлення та супроводження літаків, вертольотів, дельтапланів, наземних і надводних цілей;
- реєстрацію відібраних траєкторій цілей і передачу даних по ним поліцейським, прикордонним і митним службам та службі безпеки, а також формування сигналу тривоги.

Встановлюється на будівлях, вишках або на транспортних засобах (автомобілях, БТР, БМП тощо), які при роботі розташовуються на пагорбах або на височинах для забезпечення необхідних умов огляду.

Основні особливості:

- твердотільний прийомо-передавач;
- цифрове формування складномодульованих зондуючих сигналів;
- цифрова обробка сигналів та траєкторної інформації;
- висока ефективність виявлення рухомих цілей на фоні інтенсивних пасивних завад;
- застосування сучасних алгоритмів автоматичного виявлення, що дозволяють позбутися хибних відміток цілей незалежно від існуючої завадової обстановки;
- автоматичне вимірювання координат і формування трас рухомих цілей;
- наочне відображення радіолокаційної обстановки на рідкокристалічному дисплеї;
- автоматизоване керування режимами роботи від панельного комп'ютера;
- документування результатів роботи[16].

Таблиця 2.4. Тактико-технічні характеристики РЛС

Найменування	Дельта
Призначення	Берегова оглядова РЛС
Частотний діапазон	Діапазон X
Кількість вимірюваних координат	2
Точність по куту місця	0,17 ... 0,23о
Точність по дальності	1520 м
Супровід трас по повітряних цілях	100 трас
Супровід трас по надводних цілях	100 трас
Обертання антени	5; 10; 20 об / хв.
Поляризація	Горизонтальна
Коефіцієнт шуму	3,5 dB
Допплерівська	Є апаратура, що реалізовує
Захист від активних перешкод	MTI та FFT
Надійність	Частотне перелаштування, комплексна протидія (рознос частот сигналу, зміна періоду повторення імпульсів, логарифмічна обробка, перелаштування частоти)
Напрацювання на відмову	Висока
Середній час відновлення	8000 годин
Використовувані технології	Сучасні технології
Виявлення повітряних цілей і надводних цілей	Для навідних цілей - радіогоризонт Для повітряних цілей 30 - 35 км (RCS = 2..3м ²)
Індикатор (тактичний індикатор)	- LCD кольоровий - Може бути інтегрована з різними РЛС, лініями зв'язку, системами управління та

	контролю, системами РЕБ і навігаційними системами
Ширина променя	1,2 ° в горизонтальній 10 ° у вертикальній з можливістю управління бісектрисою променя від мінус 10° до плюс 50°
Тип передавача	Твердотільний
Режими роботи передавача	8 частотних каналів
Індикатор відображення обстановки	Дальність 96 км; Відображення відеосигналів і даних про траси цілей в реальному режимі часу
Інтерфейси	Не менш 3 портів RS-232, RS-422 і опціональні дані по трасах (NEMA 183 / Sentense; TTM) доступні (для подальшого використання) Інтерфейс з компасом, GPS, AIS.
Виявлення сплесків / снарядів	РЛС дозволяє виявляти сплески / вибухи снарядів, що падають в море.
Час приведення РЛС в готовність з вимкненого стану, хв.	2
Прийнята на озброєння і пройшла випробування	Пройшла випробування в складі стаціонарного берегового поста в 2010 році і прийнята на озброєння 31.01 2011
Напруга живлення	220 V, 50 Hz

Радіолокаційна станція П-190У



Рис.2.5. РЛС П-190У

Оглядова 2-х координатна РЛС виявлення маловисотних цілей П-190У є новою розробкою в якій реалізовані всі сучасні технічні ідеї та багаторічний досвід роботи.

РЛС П-190У виконує наступні функції:

- виявлення, відображення і автоматичне визначення координат (азимут, дальність) повітряних об'єктів (ПО);
- автоматична зав'язка і супровід трас ПО, розрахунок параметрів їх руху;
- автоматичне і напівавтоматичне керування наземним радіолокаційним запитувачем (НРЗ) і привласнення ознаки впізнання;
- прийом, відображення і обробка РЛІ від аналогічної РЛС або від РЛС, оснащеної екстрактором А-1000М, і формування трас;

- автоматичне керування радіовисотомірами (ПРВ), оснащеними екстракторами А-1000Н, розрахунок і прив'язка висоти до площинних координатах ПО;
- автоматична видача радіолокаційної інформації (РЛІ) по телефонному каналу споживачеві;
- можливість неавтоматизованого («ручного») знімання РЛІ за цифровим даними формулярів ПО в координатах «азимут-дальність» або в квадратах єдиної сітки ППО в неавтоматизованих угрупованнях;
- документування радіолокаційної інформації;
- контроль технічного стану та діагностика стану основних пристроїв РЛС[17].

Таблиця 2.5. Основні тактико-технічні характеристики РЛС

Найменування	Характеристики РЛС
Діапазон робочих частот	820-890 МГц, шаг 0,4 МГц
Вимірювані координати	азимут, дальність
Зона огляду РЛС:	
мін. дальність	
макс. дальність	
Точність вимірювання координат:	
дальність	90м
азимут	0.3°
пеленг постановників АШЗ	1.5°
Роздільні здатності:	
дальність	
азимут	5 °
Режим виявлення цілей, формування трас:	
кількість позначок за огляд	до 1000

кількість трас	до 150
супровід пеленгів постановників АШЗ	до 36
Режим управління радіовисотоміру (опція):	повністю автоматичний, за умови встановлення екстракторів висотомірів
кількість керованих висотомірів	до 4
Умови експлуатації:	
Температура	-40°... +50°
відносна вологість	95%
максимальна висота над рівнем моря	
Бойовий розрахунок, чол.	3
Час включення	40 сек.
Час згортання / розгортання	до 20 хв.

Мобільна станція дальньої радіотехнічної розвідки «Кольчуга»



Рис.2.6. РЛС «Кольчуга»

Таблиця 2.6. ТТХ РЛС «Кольчуга»

Робочі діапазони частот в семи піддіапазонах, МГц	135-471, 750-18000
Чутливість приймача з антенних входів (залежить від діапазону), дБ / Вт	90-110
Діапазон обертання антенної системи по азимуту в ручному й автоматичному режимі, град	±300
Частота обертання, хв-1	
Мінімальна	≤0,07
Максимальна	≥1
Діапазон секторного сканування в будь-якому обраному азимутному напрямку, град	30-240
Смуга панорамного огляду, ГГц	0,135-18
Смуга аналізу, ГГц	0,5
Смуга детального огляду, МГц	0,5-50
Тривалість неперервної роботи, година	24

Мобільна станція дальньої радіотехнічної розвідки «Кольчуга» здатна виявляти і розпізнавати практично всі відомі на цей час активні радіотехнічні засоби, які встановлюються на наземних, морських і повітряних об'єктах, включаючи і ті, що створені на базі «стелс-технологій»

В основу роботи пасивної, наземної, мобільної станції покладений принцип «пасивної» радіолокації. Він полягає в тому, що «Кольчуга» вловлює і аналізує електросигнали, які випускають різні об'єкти, незалежно від того, де вони знаходяться - на землі, на воді або в повітрі. Будь-який зенітно-ракетний комплекс, корабель чи літак-невидимка «Стелз» схожі тим, що всі вони оснащені власними традиційними РЛС. Їх сигналом і «живиться» «Кольчуга», сама залишаючись непомітною, без ризику потрапити під вогонь засобів ураження. У «кольчужний» комплект входять три станції. Рознесення на значне віддалення одна від іншої, у

процесі синхронної роботи всі разом вони і визначають точні координати цілі. Ці дані можна передавати засобом протиповітряної оборони. Комплекс з трьох станцій дозволяє визначати координати наземних і надводних цілей та маршрути їх руху на території до 600 км в глибину (для повітряних цілей на висоті 10 км - до 800 км) і до 1000 км по фронту, що дозволяє реалізувати, зокрема, раннє попередження систем протиповітряної оборони країни. У станції є п'ять антенних систем метрового, дециметрового і сантиметрового діапазонів, що забезпечують чутливість радіотракту в смузі панорамного огляду від -110 до -155 дБ / Вт, залежно від частоти. Паралельний 36-канальний приймач виявлення дозволяє миттєво здійснювати безпошукове за частотою виявлення, аналіз та класифікацію сигналів джерел радіовипромінювання без обмеження щільності вхідного потоку у всьому діапазоні частот від 130 до 18 000 МГц.

Всі операції з виявлення та розпізнавання джерел радіовипромінювання станція виконує повністю автоматично, при цьому потужний бортовий комп'ютер здійснює аналіз та числову обробку, а також розпізнавання виявлених цілей шляхом порівняння їх параметрів з банком даних, а результати виводяться на монітор з картою місцевості. Спеціальні перешкоджаючі селектори дозволяють виключати із відповідної обробки до 24 заважаючих сигналів, а селектори супроводження дозволяють одночасно виділяти й супроводжувати сигнали від 32 цілей. Для виконання станцією всіх основних завдань штатного режиму потрібен лише один оператор (два інших включені до складу екіпажу для забезпечення режиму цілодобової роботи), який керує роботою станції в діалоговому режимі з персональним комп'ютером. Станції «Кольчуга» розміщуються на автомобілях підвищеної прохідності (в українському варіанті - КраАЗи), оснащені автономними джерелами живлення, кондиціонування, вентиляції - і можуть працювати в діапазоні температур від -50 до +50 градусів за Цельсієм[18].

Рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА



Рис.2.7. Рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА

Рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА є рухомою заводо захищеної імпульсної РЛС сантиметрового діапазону.

Радіовисотомір призначений для виявлення, визначення координат (азимут, дальність, висота) при автономній роботі або через екстрактор "А1000-Н" забезпечується автоматичне або напівавтоматичне вимірювання висоти цілей, координати яких задані радіолокаційними станціями П-140МА, П-180у, П-190У.

Обмін інформацією між РЛС і ПРВ здійснюється по інтерфейсу PS-232С. ПРВ-16МА захищений від впливу різних перешкод: від місцевих предметів і пасивних перешкод - системою СРЦ; від активних перешкод (шумових, імпульсних) і несинхронних перешкод - перебудовою частоти.

РВ-16МА у своєму складі має:

- антенно-щогловий пристрій;

- радіоелектронне обладнання з екстрактором;
- електростанція 1Е9.

Все обладнання змонтовано на шасі автомобіля КРАЗ-6322.

Апаратура ПРВ-16МА забезпечує безперервну роботу протягом 24 годин з подальшою перервою на 1 годину.

Компоненти, панелі, субблоки, блоки систем комплексу виконані за модульним принципом, що дозволяє проводити їх стандартну заміну, на аналогічні зі складу ЗП.

Конструктивно апаратура виконана таким чином, що забезпечений зручний доступ до основних вузлів, блоків для їх технічного обслуговування і ремонту. Для технічного обслуговування і ремонту апаратури поставляється комплект одиночного ЗП.

Таблиця 2.7. Основні тактико-технічні характеристики ПРВ-16МА

Найменування	Характеристики
Діапазон робочих частот, мГц	сантиметровий
Середня потужність	300 Вт
вимірювані координати	азимут, дальність, висота
Максимальна дальність	300 км
Дальність виявлення цілей з ЕПР = 1 м ² з Р = 0,5	
Н цілі = 500 м	не менше 65 км
Н цілі = 4000 м	не менше 220 км
Н цілі = 6000-	не менше 250 км
Роздільна здатність	
по дальності	75 м
по азимуту і куту місця	0,5°
Завадозахищеність від пасивних завад	СРЦ
Коефіцієнт придушення місцевих предметів	7 раз

Температура навколишнього середовища	-40° +50°C
відносна вологість	98% при t = 25°C
Максимальна висота над рівнем моря	
Час відпрацювання ЦУ від РЛС, з розворотом на 180 °	не більше 12с
Точність установки антени по ЦУ	не більше 0,35°
час включення	5 хв.
споживана потужність	не більше 30 кВт
Габаритні розміри (ДхШхВ), м	10х3,2х2,72

Активна система радіовисотоміра забезпечує формування в просторі характеристики спрямованості антени у вигляді вузького у вертикальній площині (1°) і більш широкого (3°) в горизонтальній площині променя. Формування такої характеристики спрямованості антени забезпечується параболічним відбивачем, у фокусі якого поміщений рупорний випромінювач.

Для огляду простору таким вузьким променем антена здатна переміщатися по обох кутових координатах - куту місця і азимуту.

Вимірювання похилій дальності до цілі автоматично забезпечується застосуванням імпульсного методу радіолокації.

Переміщення антени за куту місця здійснюється механічним гойданням дзеркала антени разом з випромінювачем. При цьому характеристика спрямованості антени гойдається у вертикальній площині в заданих межах, що дає можливість здійснити пеленг цілі за куту місця. Синхронно з гойданням антени в індикаторі формується вертикальна розгортка променя ЕПТ. Для отримання вертикальної розгортки на індикатор подається постійна напруга, пропорційна синусу кута нахилу антени. Ця напруга виробляється в потенціометричному датчику кута місця, вісь якого жорстко з'єднана з віссю гойдання антени. Таким чином, кожному положенню антени відповідає певне положення розгортки на екрані.

Математичний вираз, що пов'язує висоту цілі над місцем стояння висотоміра з похилою дальністю і кутом місця цілі, з урахуванням кривизни землі і поправки на рефракцію вирішується електричною схемою індикатора висоти. На екрані індикатора періодично висвічуються лінії різних висот або рухома відмітка висоти. Висота цілі визначається або за положенню середини відмітки від цілі відносно ліній рівних висот, або наведенням рухомої відмітки висоти на середину відмітки від цілі. У другому випадку висота визначається за шкалою блоку запусків і дистанційних відміток Н-301М і видається на сполучену з радіовисотоміром апаратуру у вигляді кута повороту осі сельсина-датчика або у вигляді постійної напруги при натисканні тумблера «ЗНІМАННЯ ВИСОТИ».

Переміщення антени за азимуту для спостереження і вимірювання висоти будь-якої заданої цілі здійснюється системою азимутального привода шляхом обертання за азимуту, тобто навколо своєї вертикальної осі, всієї антенної колонки разом з антеною. Поворот антени за азимуту і її зупинка на заданому азимуті можуть здійснюватися в різних режимах як оператором радіовисотоміра, так і за командами цілевказань з далекоміра[19].

РОЗДІЛ 3

ІДЕЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З РЕАЛІЗАЦІЄЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МАКЕТУ

3.1. Принцип роботи електронної системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету

Розглянувши методи та способи радіолокації, а також їх реалізацію у військовій промисловості України, я вирішив реалізувати електронну систему для виявлення та супроводження об'єктів. Система буде відноситись до активної радіолокації, так як вона має знаходити об'єкти, як із локаційними приладами розпізнання, так і без них. Виявлення об'єктів буде відбуватися за принципом зондуючого сигналу, тобто випромінююче коливання відбивається від цілі і потрапляє в приймач системи у вигляді відбитого сигналу або, як його ще називають, ехо-сигналу. Головною вимогою до об'єктів є відмінність їх властивостей, інформацію про які буде містити відбитий сигнал та від властивостей навколишнього середовища (радіолокаційного контрасту).

Для реалізації супроводження знайдених об'єктів я створив алгоритм, котрий не містить складних математичних розрахунків, а отже не потребуватиме обчислювальної потужності для мікроконтролера.

Алгоритм працює так. Спочатку система сканує простір та запам'ятовує кут і відстань на яких знаходиться ціль – це буде першим проходом радару. Тепер при наступних проходах алгоритм буде знаходити різницю для кожного кута і таким чином зможемо фіксувати нові об'єкти. Для слідкування за виявленим об'єктом, потрібно рахувати кількість точок, що знаходяться поруч, на графіку це буде деяка область, яку сканує локаційний пристрій. За ціль можна брати область більшу за певний розмір - це одразу відфільтрує всі шуми та перешкоди.

Отже пристрій може розпізнавати велику область, тобто він знає кут початку області і кут кінця, залишається розрахувати середину області і направити радар в дану область, після цього радар фіксує положення об'єкта – це буде точкою спостереження. Система неперервно продовжує вимірювати відстань від радара до об'єкта і якщо точка спостереження зміниться, то система знову переходить в режим пошуку цілі.

Але після втрати цілі, система не знає в якому напрямку вона рухається і продовжує рухатися в останньому активному напрямі. Потрібно додати другий випромінювач зондуючого сигналу і тоді система зможе визначати в який бік перемістилася ціль і продовжити спостереження без втрати часу. Це збільшує швидкодію пристрою в два рази.

Так як в РЛС, зазвичай, використовують електромагнітні коливання в якості випромінюючого сигналу, що веде за собою розрахунок складних антен та ліній узгодження. Для реалізації макету я вирішив використовувати ультразвук. Це значно здешевить проект макету, а на функціональність і швидкодію не вплине. Адже ультразвук – це акустичні коливання, частота яких більша, ніж високочастотна межа чутного звуку (понад 20 000 Гц). Тому ультразвукові хвилі ідеально підходять для реалізації макету електронної системи виявлення та супроводження об'єктів.

3.2. Структурна схема макету електронної системи

Макет складається з двох ультразвукових модулів; пристрою повороту, для обертання ультразвукових модулів та визначення кута, мікроконтролера, який займається всіма необхідними.

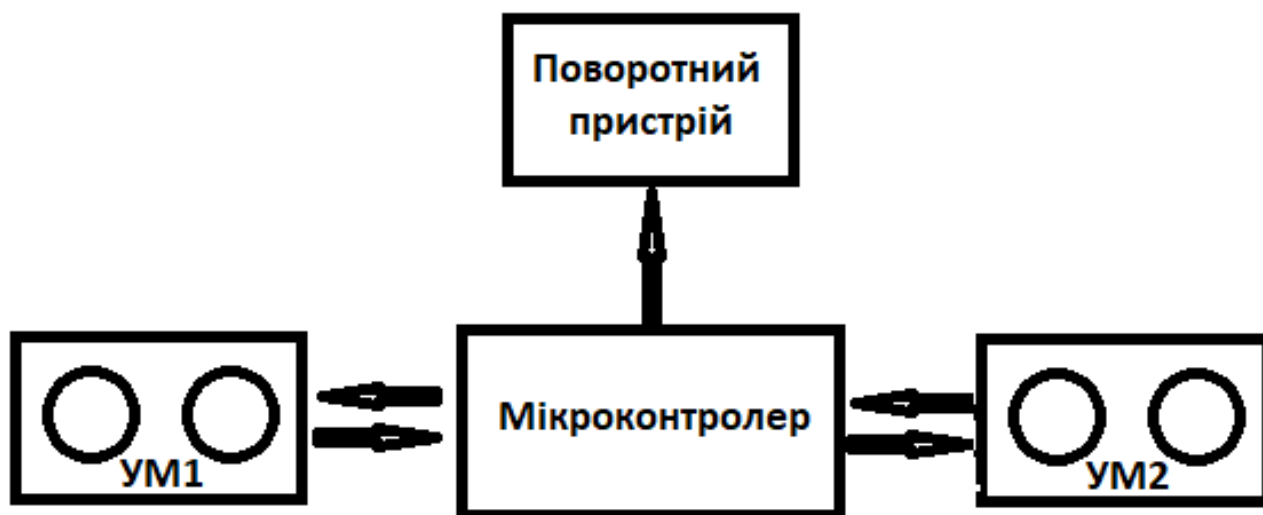


Рис.3.1. Структурна схема електронної системи виявлення та супроводження об'єктів

Структурна схема складається з чотирьох блоків, рис.3.1, кожен із яких виконує свою функцію. Основним блоком схеми є мікроконтролер, який виконує усе управління електронною системою. Мікроконтролер виконує такі функції в даній схемі як: приймає інформацію з ультразвукових модулів, проводить обчислення карти робочої області пристрою, керує кутом повороту сервопривода. Ультразвукові модулі (УМ1, УМ2) генерують та приймають ультразвук для виявлення цілей та передають отримані дані на мікроконтролер. Поворотний пристрій повертає ультразвукові модулі на заданий мікроконтроллером кут.

3.3. Опис блоків структурної схеми макету

В якості керуючого пристрою доцільно обрати мікроконтролер серії Atmega328P. Чому саме Atmega328P?

Мікроконтролер Atmega328P є восьмирозрядним МК сімейства AVR компанії Atmel. Даний МК має хорошу продуктивність, а через будову в 60 нм має низьке

енергоспоживання. З даними МК можна поєднувати безліч датчиків і модулів розширення, сам МК при цьому компактного розміру і має велику швидкість опитування пристроїв, що підключаються. Залежно від величини напруги, що подається в діапазоні від 1,8 В до 5,5 В даний МК може працювати на частоті від 4МГц до 20МГц. Внутрішнє джерело тактування Atmega328p працює на частоті 8МГц, але на практиці їм не користуються через неточності, найчастіше використовуються зовнішнє джерело тактування на 16 - 20МГц.

Ядро AVR об'єднує великий набір інструкцій з 32 робочими регістрами загального призначення. Всі 32 регістра безпосередньо підключені до арифметико-логічного пристрою (АЛП), що дозволяє за допомогою однієї інструкції здійснити доступ до двох різних регістрів і виконати таку інструкцію за один період синхронізації. В кінцевому рахунку, така архітектура має поліпшену ефективність використання програмного коду, дозволяючи на порядок підвищити продуктивність щодо традиційних CISC-мікроконтролерів.



Рис.3.2. Atmega328P відтворений в корпусі TQFP32

Характеристики:

- Виробник: MICROCHIP (ATMEL)
- Тип мікросхеми: мікроконтролер AVR
- Обсяг пам'яті EEPROM: 1 Кб
- Обсяг пам'яті SRAM: 2 Кб
- Обсяг Flash-пам'яті: 32 Кб
- Корпус: TQFP32
- Тактова частота: 4 - 20МГц
- Кількість каналів ШІМ: 6
- Кількість таймерів 8 біт: 2
- Кількість таймерів 16 біт: 1
- Монтаж: SMD
- Напруга живлення: 1,8 ... 5,5В DC
- Робоча температура: -40 ... 85 ° C
- Кількість перетворювачів А / D 10біт: 6
- Інтерфейси: I2C, SPI, USART [20].

Саме мікроконтролер Atmega328P доцільно обрати для побудови макету електронної системи виявлення та спостереження за об'єктами.

В якості ультразвукових модулів УМ1 та УМ2 будуть використані ультразвукові прийомопередавачі HC-SR04.

Опис ультразвукового модулю HC-SR04.

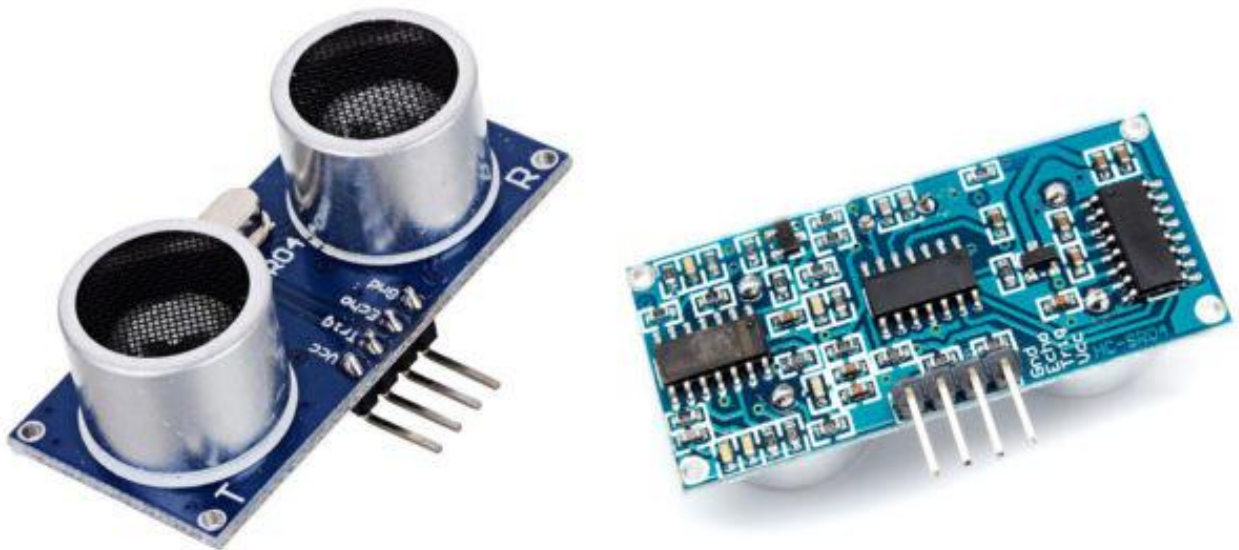


Рис.3.3. Ультразвуковий модуль HC-SR04

Датчик відстані є приладом безконтактного типу, і забезпечує високоточне вимірювання і стабільність. Діапазон дальності його вимірювання складає від 2 до 400 см. На його роботу майже не впливають електромагнітні випромінювання і сонячна енергія. У комплект модуля з HC SR04 також входять приймач та передавач.

Ультразвуковий далекомір HC SR04 має такі технічні параметри:

- Напруга живлення: 5В;
- Робочий струм: 15 мА;
- Сила струму в пасивному стані: <2 мА;
- Оглядний кут: 45 °;
- Похибка вимірювання: 0,3 см;
- Вимірювальний кут: 30 °;
- Ширина імпульсу: 10-6 с.

Датчик має чотири контакти (стандарт 2, 54 мм):

- Контакт живлення позитивного типу: +5 В;
- Trig (Т) – контакт сигналу входу;

- Echo (R) - контакт сигналу виходу;
- GND - контакт «Земля»[21].

Поворотним пристроєм в макеті буде слугувати сервопривід MG995. В макеті використовується сервопривід для повороту в горизонтальній площині, бо кут розсіяння ультразвуку з датчиків компенсує наявність об'єктів у вертикальній площині. Цього досить для макету.

Сервопривід - це пристрій, який забезпечує перетворення сигналу в суворо відповідне цим сигналом переміщення (поворот) виконавчого пристрою. Являє собою прямокутну коробку з мотором, схемою і редуктором всередині і вихідним валом, який може повертатися на суворо фіксований кут, який визначається вхідним сигналом. Існує дуже багато видів сервоприводів, які розрізняються габаритами, матеріалом шестерень (пластмаса, метал), способом управління (аналогові і цифрові), швидкістю обертання валу, діапазоном повороту (120°, 180°, безперервного обертання). Сервопривід MG995, рис. 3.4, має гарний момент до 13кг/см, металеві шестерні і тому часто використовується в робототехніці (наприклад, поворот голови або руки робота).



Рис.3.4. Сервопривід MG995 та комплектуючі.

Технічні характеристики MG995

- Робоча напруга: 4.8-7.2 В
- Кут повороту: 120°
- Момент: 8,5 кг / см (при 4.8 В), 10 кг / см (при 6 В)
- Швидкість: 0,20 сек / 60° (при 4,8 В), 0,16 сек / 60° (при 6 В)
- Матеріал шестерень: метал
- Вага: 55 г
- Розмір: 40x20x42 мм[22].

3.4. Принципова схема макету та вибір елементної бази та електричні розрахунки

Для повноцінної роботи мікроконтролер має певний набір активних та пасивних елементів, які відображені на схемі, рис. 3.5.

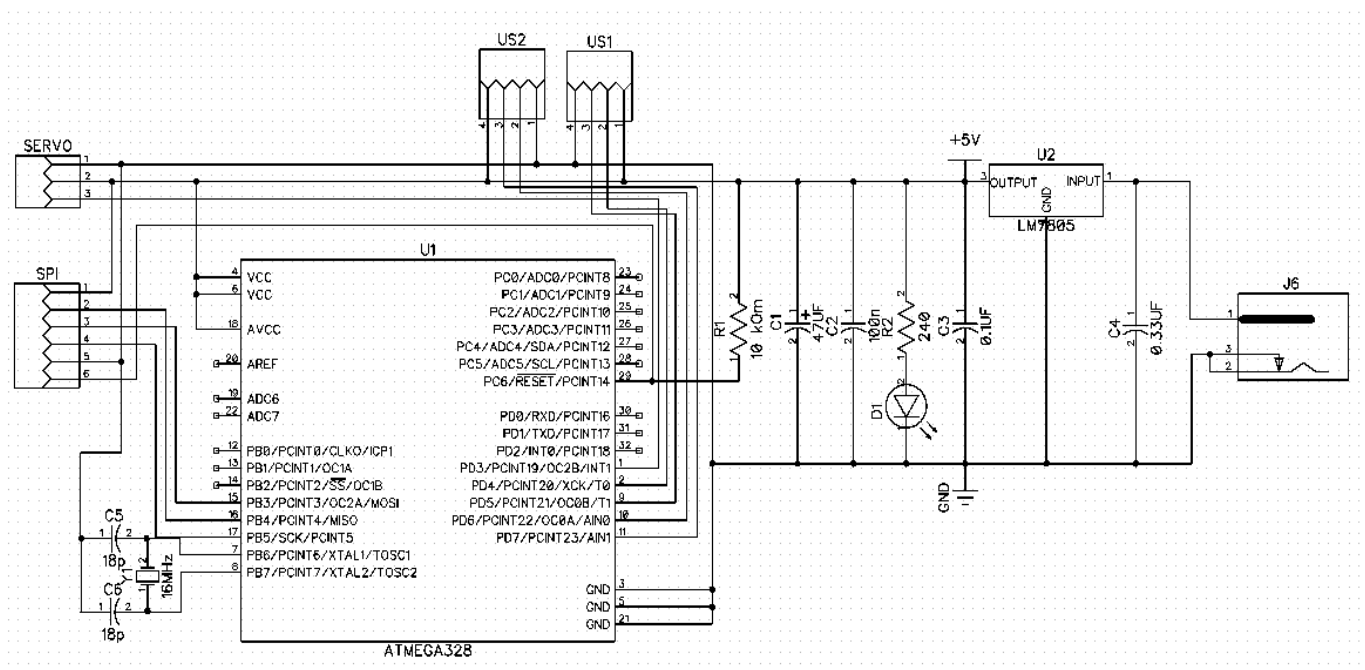


Рис.3.5 Схема електрична принципова

Схема принципова електрична зображена в Додатку А.

В схемі присутній світлодіод D1. Світлодіод сповіщає користувача в тому, що систему увімкнено.

Я використав малопотужний світлодіод зі світлом зеленого кольору від компанії Philips LT-0059. Основні характеристики світлодіода LT-0059 наведено в таблиці 3.1[23].

Таблиця 3.1. Основні характеристики світлодіода LT-0059

Параметр	Значення
Номінальна напруга	2.4 В
Максимальна напруга	3.4 В
Номінальна сила струму	9 мА
Сила світла	8000 мкд
Кут розсіювання	30°
Колір світіння	зелений
Колір корпусу	зелений

Світлодіод виконано в корпусі L-934S. Зовнішній вигляд в цьому корпусі показано на рис.3.6.



Рис.3.6. Зовнішній вигляд світлодіода

Розміри світлодіода в корпусі L-934S наведено на рис. 3.7.

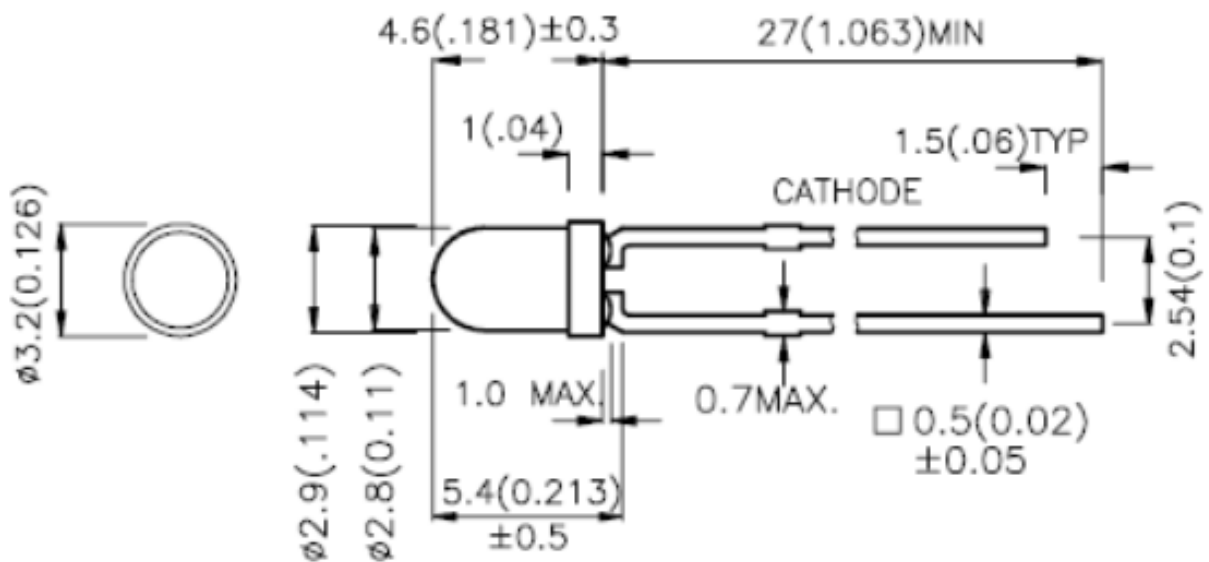


Рис. 3.7. Розміри корпусу L-934S

В схемі присутній лінійний стабілізатор напруги. Всі елементи та блоки макету живляться від напруги 5 В, тому буде доцільно використати лінійний стабілізатор напруги, з номінальною напругою стабілізації 5 В. Максимальна напруга, яка буде подаватись на макет електронної системи 9 В, тоді падіння напруги на стабілізаторі дорівнює:

$$U_{\text{пад}} = U_{\text{макс}} - U_{\text{стаб}} = 9 - 5 = 4 \text{ В},$$

де $U_{\text{пад}}$ – падіння напруги на стабілізаторі, $U_{\text{макс}}$ – максимальна напруга живлення, $U_{\text{стаб}}$ – номінальна напруга стабілізації.

Розрахунок струму, що протікає через стабілізатор. Мікроконтролер з елементами обв'язки споживає приблизно 100 мА, ультразвукові модулі разом 30 мА, сервопривід – приблизно 300 мА. Отже, номінальний споживаний струм:

$$I_{\text{стаб}} = I_{\text{мк}} + I_{\text{ум}} + I_{\text{серво}} = 100 + 30 + 300 = 430 \text{ мА},$$

де $I_{\text{стаб}}$ – струм через лінійний стабілізатор, $I_{\text{мк}}$ – струм споживаний мікроконтролером та обв'язкою, $I_{\text{ум}}$ – струм споживаний двома ультразвуковими модулями, $I_{\text{серво}}$ – струм споживаний сервоприводом.

Тоді, потужність, що буде розсіюватись на лінійному стабілізаторі напруги:

$$P_{\text{стаб}} = U_{\text{пад}} * I_{\text{стаб}} = 4 \text{ В} * 0.43 \text{ А} = 1.72 \text{ Вт},$$

де $P_{\text{стаб}}$ – потужність, що розсіюється на стабілізаторі.

Врахувавши попередні розрахунки, я вирішив використовувати лінійний стабілізатор напруги L7805CD2T компанії ST. В табл.3.2. наведено основні технічні характеристики стабілізатора.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики лінійного стабілізатора напруги L7805CD2T

Параметр	Значення
Максимальна вхідна напруга	35 В
Максимальна розсіювана потужність з радіатором	30 Вт
Максимальна розсіювана потужність без радіатора	2.1 Вт
Номінальна напруга стабілізації	5 В
Робоча температура	-40...+150°C
Температура зберігання	-50...+105°C

Даний стабілізатор випускається в декількох корпусах, виходячи з розрахованої потужності зрозуміло, що використання радіатора не обов'язкове. Отже, вирішено використати корпус TO-263, зовнішній вигляд якого показано на рис. 3.8.

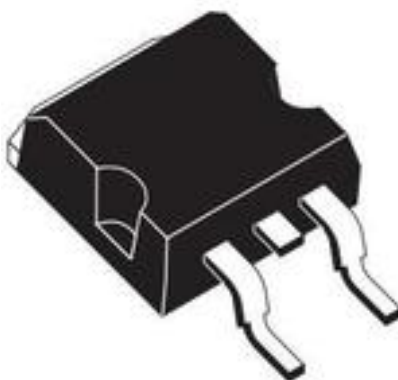


Рис.3.8. Вигляд лінійного стабілізатора напруги L7805CD2T в корпусі TO-263

На рис.3.9 показано розміри стабілізатора в корпусі TO-263, всі розміри вказано в міліметрах[24].

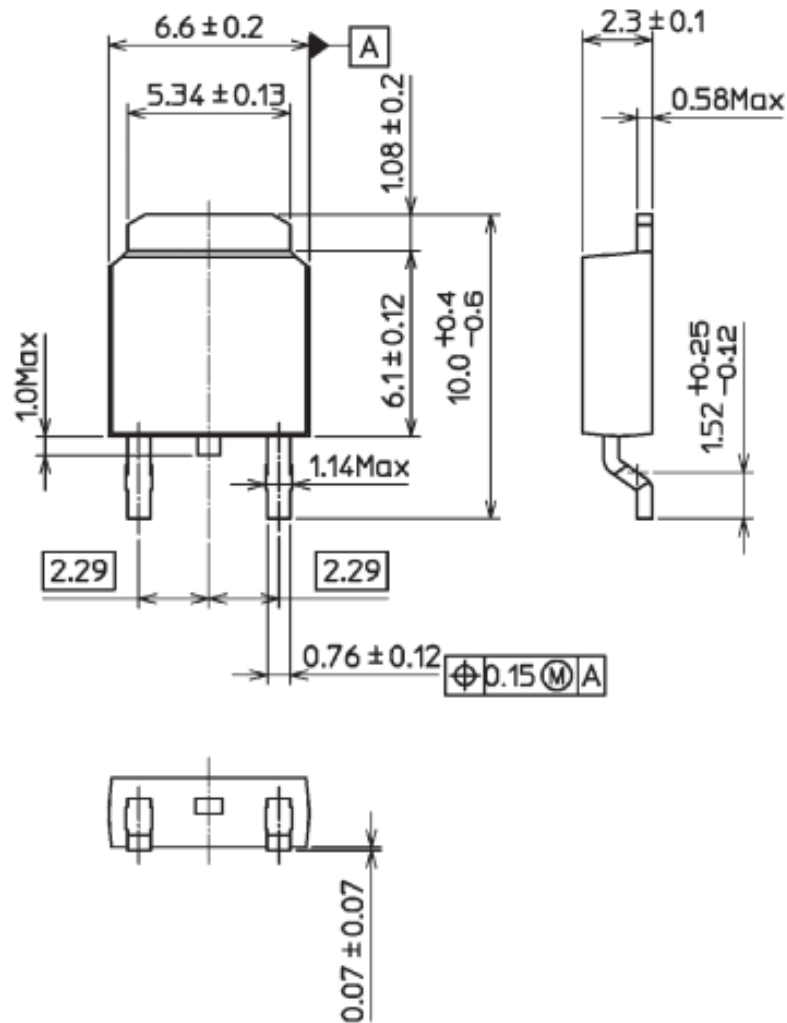


Рис.3.9 Розміри стабілізатора напруги в корпусі TO-263

В схемі присутні резистори. В документації[20] до мікроконтролера Atmega328P рекомендовано підключати пін Reset (RST) до позитивного виводу мікроконтролера через резистор R1 з номіналом 10 кОм. Резистор R1 було вирішено використовувати SMD типу, із типорозміром 0805, а саме - RC0805JR-10KR-Hitano.

Резистор R2 обмежує струм, що протікає через світлодіод D1. В документації до обраного світлодіода вказано номінальний споживаний струм 9 мА, а номінальну напругу – 2,8 В. В схемі світлодіод живиться напругою 5 В.

Звідси, розраховую падіння напруги на резисторі R2:

$$U_{R2} = U_{\text{стаб}} - U_{D1} = 5 - 2,8 = 2,2 \text{ В},$$

де U_{R2} – падіння напруги на резисторі R2; $U_{\text{стаб}}$ – номінальна напруга живлення; U_{D1} – номінальна напруга живлення світлодіода.

Резистор R2 з'єднаний зі світлодіодом D1 послідовно, як відомо, при послідовному з'єднанні струм у всіх точках кола однаковий. Тому через резистор буде протікати номінальний струм світлодіода – 9 мА. Тоді номінальний опір даного резистора розраховується за формулою:

$$R_{R2} = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{2,2}{0,009} = 244 \text{ Ом},$$

де R_{R2} – опір резистора R2; I_{R2} – струм через резистор R2.

Тоді, потужність, що виділятиметься на резисторі розраховується за формулою:

$$P_{R2} = U_{R2} * I_{R2} = 2,2 * 0,009 = 0,02 \text{ Вт},$$

де P_{R2} – потужність, що виділяється на резисторі R2.

З наявних у продажі резисторів, було обрано резистор R2 номіналом 240 Ом та потужністю 0,125 Вт. Резистор R2 було вирішено використовувати SMD типу, із типорозміром 0805, а саме - RC0805JR-240R-Hitano.

В схемі присутні конденсатори C1, C2, C3, C4, C5 та C6. Конденсатори C1, C2, C5 та C6 обрані з рекомендацій в документації[20] до мікроконтролера Atmega328P, C1 – електролітичний конденсатор ємністю 1000 мкФ та напругою 16 В, керамічний конденсатор C2 ємністю 100 нФ для фільтрації живлення мікроконтролера, керамічний конденсатор C5 та C6 ємністю 18 пФ. Конденсатор C1 вирішено використовувати навісного типу - TR 47uF 25V 5*11 105C. Конденсатори C2, C5 та C6 вирішено використовувати SMD типу, із типорозміром 0805, а саме - CL21B12KBCNFNC – Samsung.

Конденсатори C3 і C4 слугують в якості фільтрів високою частоти для стабілізатора напруги. В документації до стабілізатора напруги L7805CD2T показано схему підключення конденсаторів та їх номінальні значення, рис.3.10.

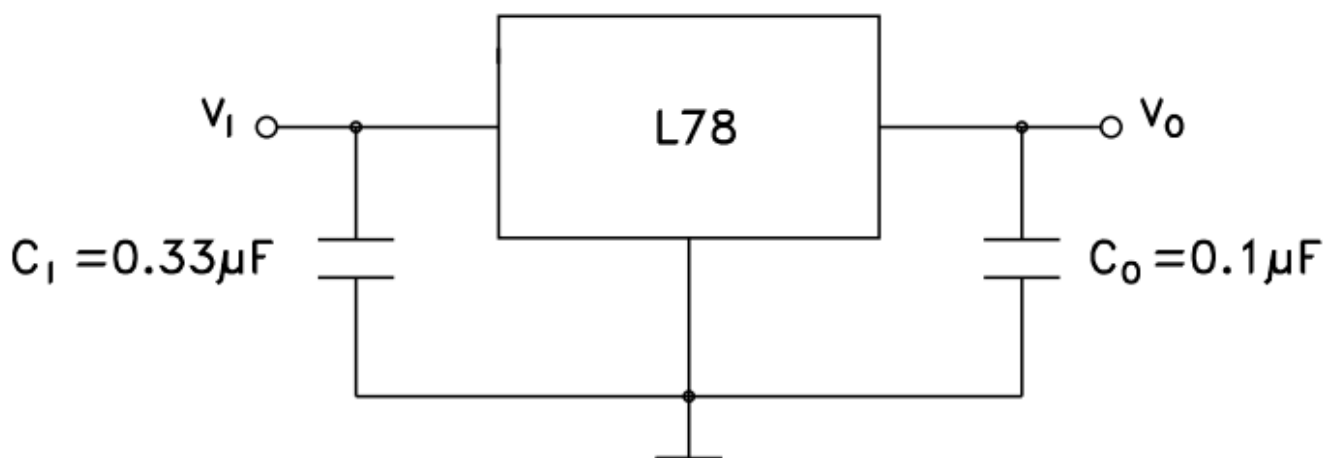


Рис.3.10. Схема підключення та номінали конденсаторів C3, C4

За документацією[24] рекомендується встановити керамічні конденсатори ємністю 0,33 мкФ та 0,1 мкФ відповідно, що і було зроблено на електричній принциповій схемі, рис.3.5. Напруга конденсаторів C3, C4 розраховується за формулою:

$$C_{3,4} = U_{max} * \sqrt{2} = 12 * \sqrt{2} = 16,97 \text{ В,}$$

де $C_{3,4}$ – напруга конденсаторів C3, C4; U_{max} – максимальна напруга живлення.

Отже, номінальну напругу конденсаторів обираємо 25 В. Конденсатори C3, C4 вирішено використовувати SMD типу, із типорозміром 0805, а саме - CL21B104KBCNFNC – Samsung та CL21B332KBCNFNC – Samsung.

Також в схемі присутній кварц з частотою 16 МГц в якості зовнішнього тактування мікроконтролера. Він обраний згідно з документацією до мікроконтролера[20].

Кварцовий резонатор - це радіоелемент, який використовується в радіотехнічних ланцюгах для генерації електричних коливань.



Рис.3.11. Кварцовий резонатор

На рис.3.12 показано розміри кварцового резонатора, всі розміри вказано в міліметрах[25].

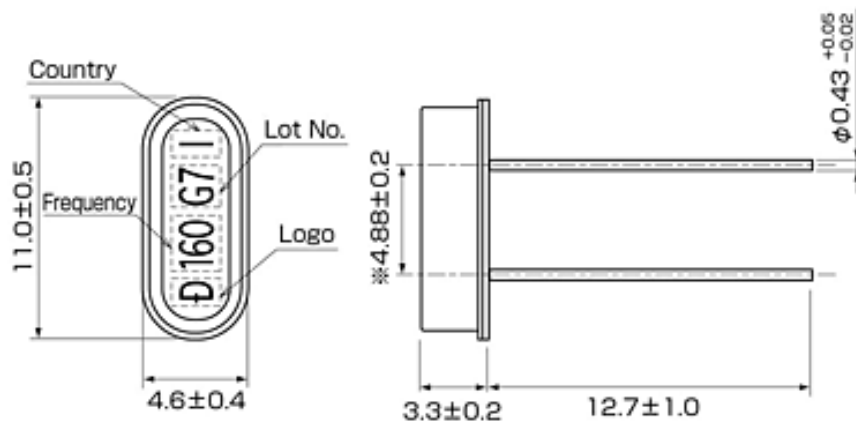


Рис.3.12. Розміри кварцового резонатора

РОЗДІЛ 4

КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

4.1. Конструювання друкованої плати

Оскільки блок керування, у вигляді мікроконтролера Atmega328P, з необхідною обов'язкою буде розміщено на друкованій платі, то необхідно розрахувати всі параметри для її створення.

Для конструйованої системи доцільно використовувати односторонній склотекстоліт фольгований FR-4. Даний матеріал дуже розповсюджений для виготовлення друкованих плат та зарекомендував себе якістю мідного шару. Клас точності виготовлення ДП – третій.

Друкована плата буде мати чотири точки кріплення. Ці точки будуть знаходитись по краях друкованої плати. Таке кріплення є дуже надійним у використанні[23].

4.1.1. Розміри контактних майданчиків та розміри монтажних отворів

В табл.4.1 наведено розміри контактних майданчиків та діаметри отворів вивідних елементів на друкованій платі, згідно з використаними елементами.

Таблиця 4.1. Розміри контактних майданчиків та діаметри отворів

Компонент	d_b , мм	d_o , мм	$D_{км}$, мм	Корпус
Резистори RC0805JR-240R	2x1,25		2,3x1,55	SMD
Конденсатори CL21B0805KBCNFNC	2x1,25		2,3x1,55	SMD
Конденсатор електролітичний	0,7	0,9	2,2	
Світлодіод L-934S	0,7	0,9	2,2	
Кварцовий резонатор	0,43	0,6	2	
Роз'єми	0,7	0,9	2,2	
Роз'єм живлення	0,7x3	0,9x4	4x6	
Мікроконтролер Atmega328P	0,7x1,6		0,9x2,2	TQFP32
Стабілізатор напруги L7805CD2T	1x2,2		1,2x2,5	TO-263

4.1.2. Розрахунок площі плати та вибір її розміру

Для розрахунку мінімально допустимого розміру друкованої плати необхідно використати формулу 4.1[23]:

$$S_{дп} = 1 \sum S_{мг} + 1,5 \sum S_{сг} + 2 \sum S_{вг}, \quad (4.1)$$

де $S_{мг}$ – площа малогабаритних радіоелементів; $S_{сг}$ - площа середньогабаритних радіоелементів; $S_{вг}$ - площа великогабаритних радіоелементів.

Розміри та площі радіоелементів схеми, наведено в табл..4.2.

Таблиця 4.2. Розміри елементів схеми

Радіоелемент	Довжина L, мм	Ширина В, мм	Висота N, мм	Площа Σ , мм ²	Коефіцієнт
Малогобаритні					
Резистори RC0805JR-240R	3,3	2,1	2	6,93	1
Конденсатори CL21B0805KBCNFNC	3,4	2,1	2	7,14	1
Середньогобаритні					
Стабілізатор напруги L7805CD2T	10	4,5	1	45	1,5
Мікроконтролер Atmega328P	9	9	1,2	18	1,5
Світлодіод L-934S	3,2	3,2	5,4	10,24	1,5
Кварцовий резонатор	11	4,6	3,3	50,6	1,5
Конденсатор електролітичний	10,2	10,2	17,2	104,04	1,5
Роз'єм живлення	14	10	11	140	1,5
Роз'єм сервопривода	8	3	8,5	24	1,5
Роз'єм ультразвукового датчика 1	11	3	8,5	33	1,5
Роз'єм ультразвукового датчика 2	11	3	8,5	33	1,5
Роз'єм SPI	8	6	8,5	48	1,5

Як бачимо на платі не будуть використовуватись великогабаритні радіоелементи, отже $2 \sum S_{BG}$ буде дорівнювати нулю.

Тоді за формулою 4.2 розрахуємо площу радіоелементів, розміщених на платі:

$$S_{дп} = 1 * 14,07 + 1,5 * 505,88 = 772,89 \text{ [мм}^2\text{]} \quad (4.2)$$

Звідси, габаритні розміри плати обираємо вдвічі більшою, тобто 50x40 мм.

4.1.3. Розрахунок ширини провідників друкованого монтажу

Необхідно розрахувати мінімальну ширину провідника, яка буде гарантувати безвідмовну роботу системи. Так як, струм, що протікає силовою доріжкою складає 110мА, тоді мінімальне значення ширини доріжки визначається за формулою 4.3:

$$t_{1.min.B} = t_{min} + |\Delta t_{н.о.}|, \quad (4.3)$$

де t_{min} – мінімальне значення номінальної ширини доріжки; $\Delta t_{н.о.}$ – допуск на ширину доріжки[23].

Оскільки друкована плата має третю точність, звідси маємо такі параметри:

$$t_{min} = 0,25 \text{ мм}, \Delta t_{н.о.} = -0,05 \text{ мм}.$$

Підставляємо отримані дані у формулу 4.4:

$$t_{1.min.B} = 0,25 + |-0,05| = 0,3 \text{ мм}, \quad (4.4)$$

Далі розрахуємо мінімальну ширину доріжки у широкому місці. Вона розраховується за формулою .., але має інші параметри: $t_{min} = 0,45$ мм, $\Delta t_{н.о.} = -0,1$ мм.

Підставляємо отримані дані у формулу 4.5:

$$t_{1.min.B} = 0,45 + |-0,1| = 0,55 \text{ мм}, \quad (4.5)$$

Тепер визначимо мінімально допустиму величину ширини доріжки з урахуванням допустимого падіння напруги на ній (3%) . Вона визначається за формулою 4.6:

$$t_{2.min} = \frac{l * I_{max} * \rho}{h * U_{жив} * 0,03}, \quad (4.6)$$

де l – довжина провідника; I_{max} – максимальний струм у колі; ρ – питомий опір провідника; h - товщина фольги; $U_{жив}$ – напруга живлення.

Використовуючи данні розраховані у попередніх пунктах, маємо такі параметри: $l = 150$ мм; $I_{max} = 110$ мА; $\rho = 0,0175$ Ом*мм²/м – питомий опір міді; $h = 35$ мкм; $U_{жив} = 12$ В.

Отже, мінімально допустима величина доріжки дорівнює:

$$t_{2.min} = \frac{0,15 * 0,11 * 0,0175}{0,035 * 12 * 0,03} = 0,023 \text{ мм},$$

Далі потрібно розрахувати мінімально допустиму ширину доріжки з урахуванням допустимого струму, що протікає крізь неї. Вона визначається за формулою 4.7:

$$t_{3.min} = \frac{I_{max}}{h * J}, \quad (4.7)$$

де I_{max} – максимальний струм у колі; h - товщина фольги; J – допустима щільність струму у провіднику, що дорівнює $J = 20$ А/мм².

Підставимо дані у формулу...:

$$t_{3.min} = \frac{0,11}{0,035 * 20} = 0,16 \text{ мм}.$$

Виходячи з отриманих даних, мінімальна ширина силового провідника складає – 0,55 мм. Для надійності вирішено взяти ширину силових провідників друкованого монтажу – 1,2 мм, а сигнальних провідників – 0,6 мм.

4.1.4. Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу

Розрахунок мінімального зазору між елементами друкованого монтажу розраховується за формулою 4.8[23]:

$$S = S_m + \Delta t_{\text{в.о.}} \quad (4.8)$$

де S_m – мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами; $\Delta t_{\text{в.о.}}$ – допуск на ширину провідника. Виходячи з обраного класу точності друкованої плати, маємо такі значення параметрів: $S_m = 0,25$ мм; $\Delta t_{\text{в.о.}} = 0,1$ мм.

Підставляю дані у формулу 4.8:

$$S = 0,25 + 0,1 = 0,35 \text{ мм.}$$

Для надійної роботи пристрою було обрано значення – 0,5 мм.

4.1.5. Трасування друкованої плати в середовищі DipTrace

Розробка друкованої плати була виконана в системі автоматизованого проектуванні DipTrace. В налаштуваннях САПРу було задано параметри трасування, що розраховувались в пунктах 4.1.1. – 4.1.4.

На рисунку 4.1 показано трасування друкованої плати електронної системи для виявлення та супроводження об'єктів, повнорозмірна плата показана в Додатку Б.

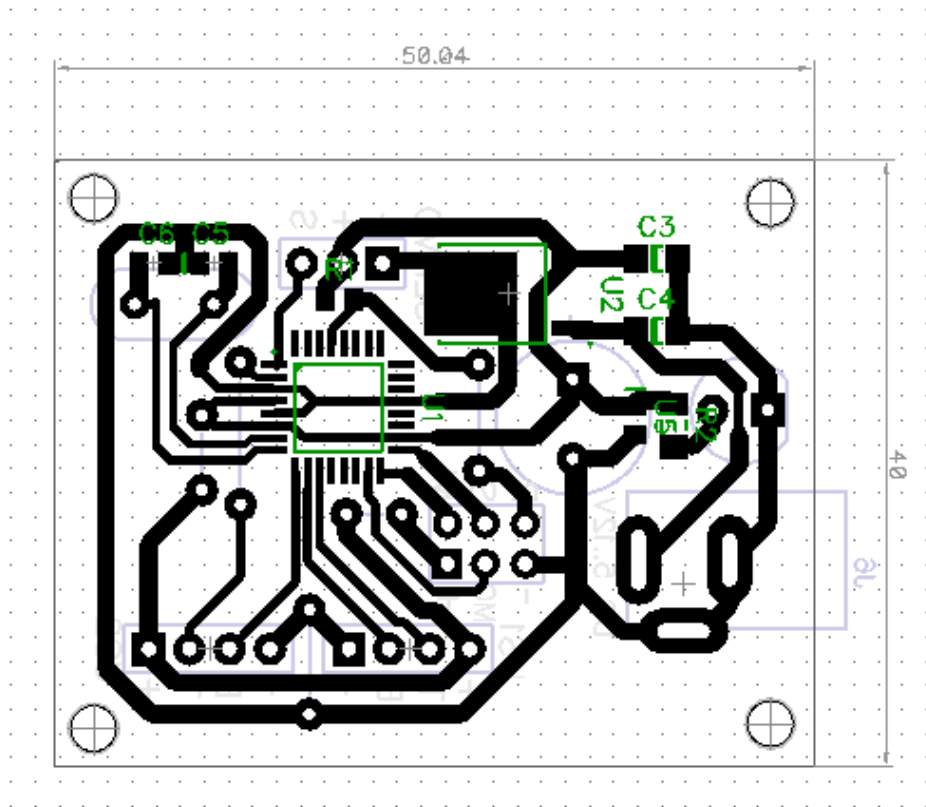
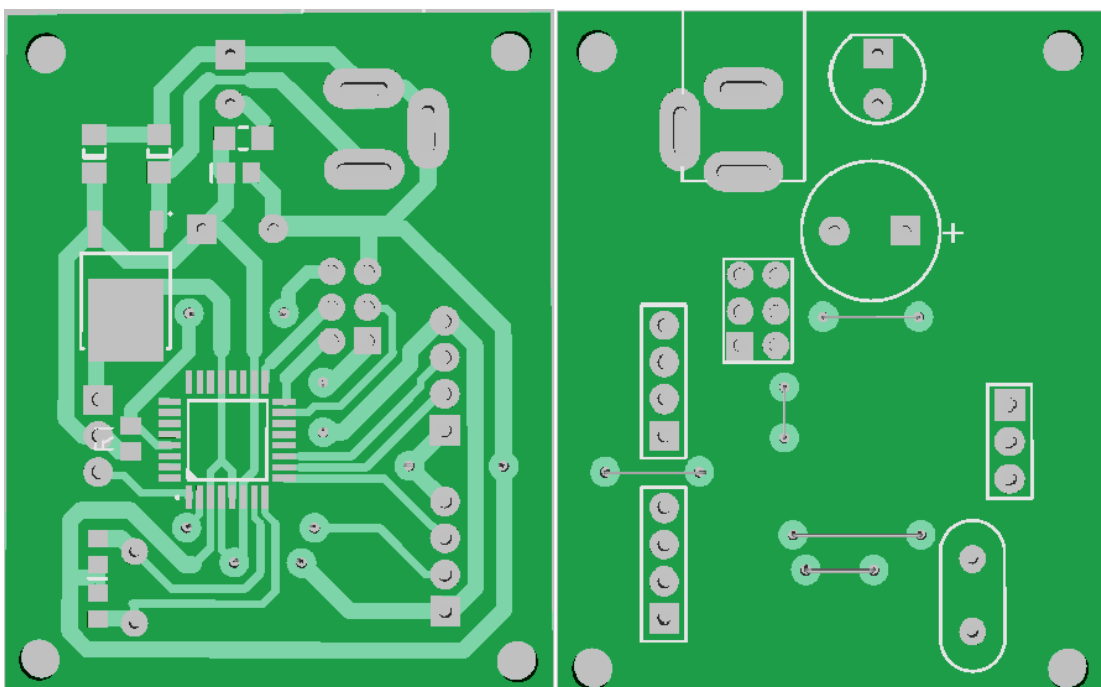


Рис.4.1. Друкована плата електронної системи для виявлення та супроводження об'єктів

На рисунку 4.2 показано 3D модель спроектованої друкованої плати.



4.2. Алгоритм роботи мікроконтролера в якості модуля керування

Алгоритм, за яким працює мікроконтролер, складений таким чином, щоб забезпечити максимальну швидкодію при визначенні відстані до цілі та стеженням за нею.

Як працює алгоритм – сервопривід обертається від «MIN_ANGLE» до «MAX_ANGLE» з кроком 1° . Кожні 2° вимірюється відстань ультразвуковим далекоміром. Перед початком роботи система калібрується: сканує простір і складає " карту" робочої області, після цього запам'ятовується масив відстаней. У режимі «seek» сервопривід обертає ультразвукові модулі вимірювання відстані та порівнює значення з виміряними при калібруванні. Якщо виявляються розбіжності в «DEADZONE», мікроконтролер починає рахувати, скільки буде таких точок. Якщо їх більше «MIN_CATCH» – визначається як "ціль". Таким чином алгоритм фільтрує випадкові маленькі об'єкти і шуми. У підсумку отримуємо кут початку "цілі" і кут кінця. Далі мікроконтролер обчислює середній кут і повертає ультразвукові датчики за допомогою сервопривода на обчислений кут, тобто в центр цілі, це режим «hold». Далі в режимі утримання «цілі» вимірюється відстань, якщо вона відрізняється від раніше обчисленої в зоні «DEADZONE» – система переходить в режим стеження за «ціллю», саме другий ультразвуковий модуль забезпечує виявлення зміни напрямку руху «цілі». Якщо «ціль» не була виявлена за відрізок часу «PWR_TIMEOUT» – система переходить в режим очікування: сервопривід позиціонується в центрі і ультразвукові модулі вимірюють відстань. Якщо було виявлено перешкоду – система знову переходить в пошук «цілі».

Код роботи системи наведено в Додатку В.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

У зв'язку з тим, що тема дипломного проекту передбачає дослідницьку діяльність, суб'єктом охорони праці обрано інженера-дослідника. Оскільки робота інженера-дослідника проводиться в оточенні, в якому знаходяться безліч електричних, теплових та інших чинників, що заважають і можуть становити загрозу йому та якості його праці, постає необхідність розробки заходів з охорони праці для даного суб'єкта.

Для аналізу умов праці було обрано робоче місце у дослідницькій лабораторії, яка знаходиться в будівлі «Західний центр радіотехнічного спостереження».

5.1. Аналіз умов праці

На робочому місці інженера-дослідника, який займається наглядом за технічними характеристиками радіолокаційних станцій, присутні стіл, стілець, та комп'ютер разом з монітором РЛС в реальному часі, що знаходяться на столі.

Розміри приміщення становлять 5×8 м, висота приміщення 2,8 м.

Загальна площа приміщення – 40 м^2 , об'єм – 112 м^3 .

Приміщення лабораторії розраховане на 6 робочих місць.

План дослідницької лабораторії зображений на рис. 5.1.

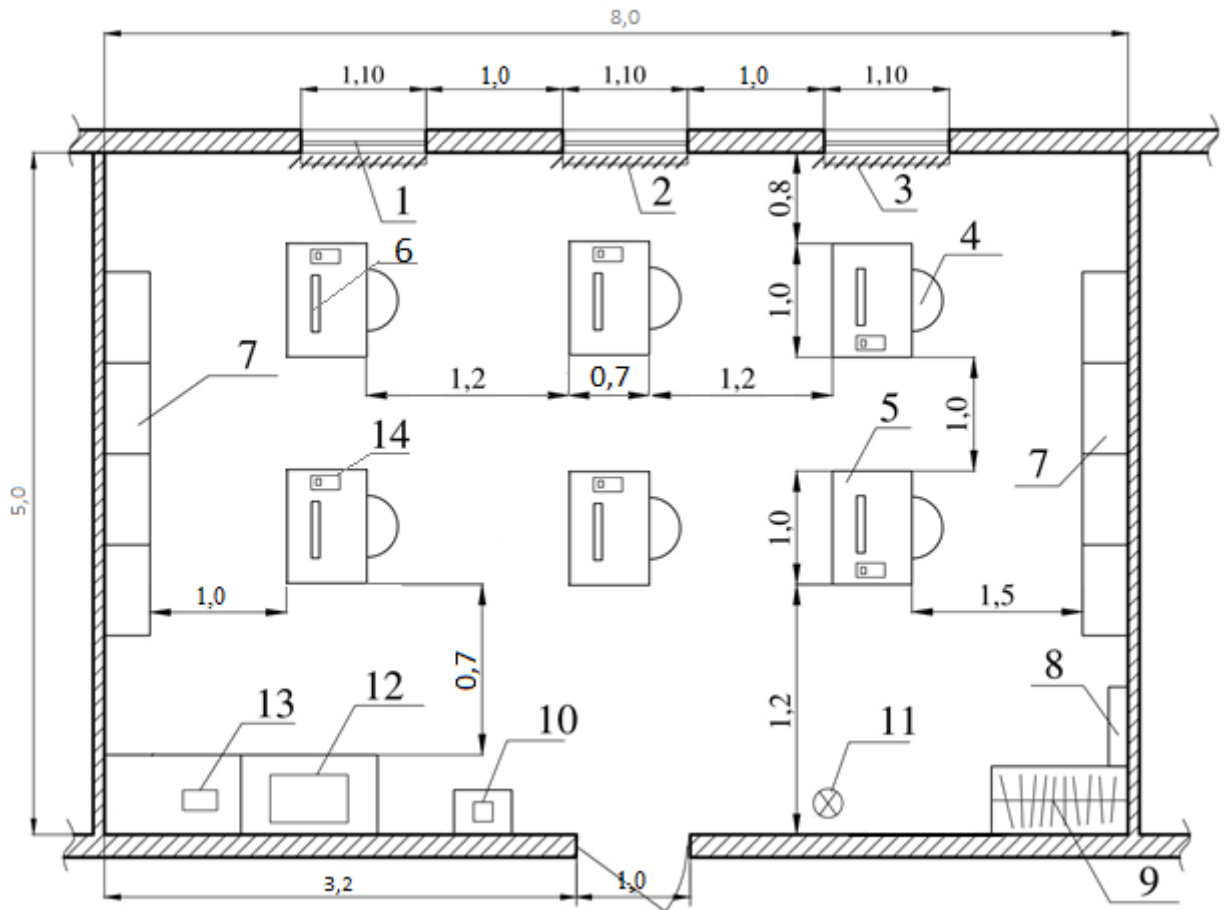


Рис. 5.1. План дослідницької лабораторії

Позначення: 1 – вікно; 2 – батарея опалення; 3 – жалюзі; 4 – стілець; 5 – стіл; 6 – монітор РЛС; 7 – шафа; 8 – кондиціонер; 9 – шафа для одягу; 10 – Wi-Fi роутер; 11 – вогнегасник; 12 – принтер типу МФП; 13 - телефон; 14 – радіо; 15 – комп’ютер.

На суб’єкта охорони праці (інженера-дослідника) в межах лабораторії та його робочого місця діють такі шкідливі та небезпечні виробничі чинники:

- 1) неіонізуючі електромагнітні поля і випромінювання;
- 2) виробничий шум;
- 3) штучне освітлення;
- 4) електрична мережа та підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого при певних ситуаціях може відбутися через тіло людини;
- 5) шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

Неіонізуючі електромагнітні поля і випромінювання

На інженера-дослідника на його робочому місці діють електромагнітні випромінювання промислової частоти від техніки та устаткування і електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону.

Згідно з ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» напруженість електромагнітного поля промислової частоти (50 Гц), що діє на інженера-дослідника не повинна перевищувати 5 кВ/м [26].

Граничні значення для неіонізуючого випромінювання радіочастотного діапазону наведені в табл. 5.1 [27].

Таблиця 5.1. Граничні значення для неіонізуючого випромінювання радіочастотного діапазону

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот				
	1-10кГц	10-60кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц
$E_{гд}, В/м$	1000	700	500	300	80
$EH_{гд}, (В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800
$H_{гд}, А/м$	75	57	50	-	3,0*
$EH_{гд}, (А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	-	0,72*

*ГДР енергетичного навантаження магнітного поля поширюється на діапазон частот 30-50 МГц.

Виробничий шум

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівні шуму в дослідницькій лабораторії, що діє на інженера-дослідника, мають складати 50 дБ, а фактичне значення рівня шуму складає 55-65 дБ. Це пов'язано з наявністю у приміщенні установок кондиціонування повітря, вентиляції та повітряного опалення, які утворюють шум. На робочому місці наявні такі види шумів як механічний, ультразвук, електромагнітний та аеродинамічний; інфразвук відсутній [26].

Рівні звукового тиску, що характеризують ступінь перевищення звукового тиску над певним порогом сенсорного сприйняття даного фактору, для виробничого шуму наведені у табл. 5.2 [27].

Таблиця 5.2. Рівні звукового тиску в дБ для працівників лабораторії

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгерметичними частотами, Гц									Еквівалентні і рівні шуму, Дб А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Наукова діяльність, робочі місця – лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Природне і штучне освітлення

Згідно з ДБН-В.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення» нормовані показники освітленості на робочому місці інженера-дослідника мають складати 300-500 лк, а фактичне значення освітленості складає 250-430 лк. Це пов'язано з застарілістю системи освітлення. Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях визначається, в основному, характеристикою зорової роботи. Нормовані показники носять міжгалузевий характер [27].

Місцеве освітлення – це освітлення, що додається до загального, що створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Чергове освітлення – освітлення за відсутності основного робочого процесу.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки та евакуаційне.

Евакуаційне освітлення: у приміщеннях 0,5 лк, на відкритих ділянках – 0,2 лк.

На робочому місці інженера-дослідника використовується змішане освітлення. В якості природного освітлення в даному приміщенні використовується одностороннє освітлення за допомогою трьох вікон.

Для штучного освітлення в даному випадку необхідні джерела світла з досить великим ККД у світильниках загального освітлення, що розташовуються рівномірно по всій площі приміщення. Найкраще підходять в такому випадку світлодіодні (LED) лампи, які мають один з найвищих показників світловіддачі.

В нашому випадку використовуються світлодіодні (LED) панелі, які розміщені так, як показано на рис. 5.2.

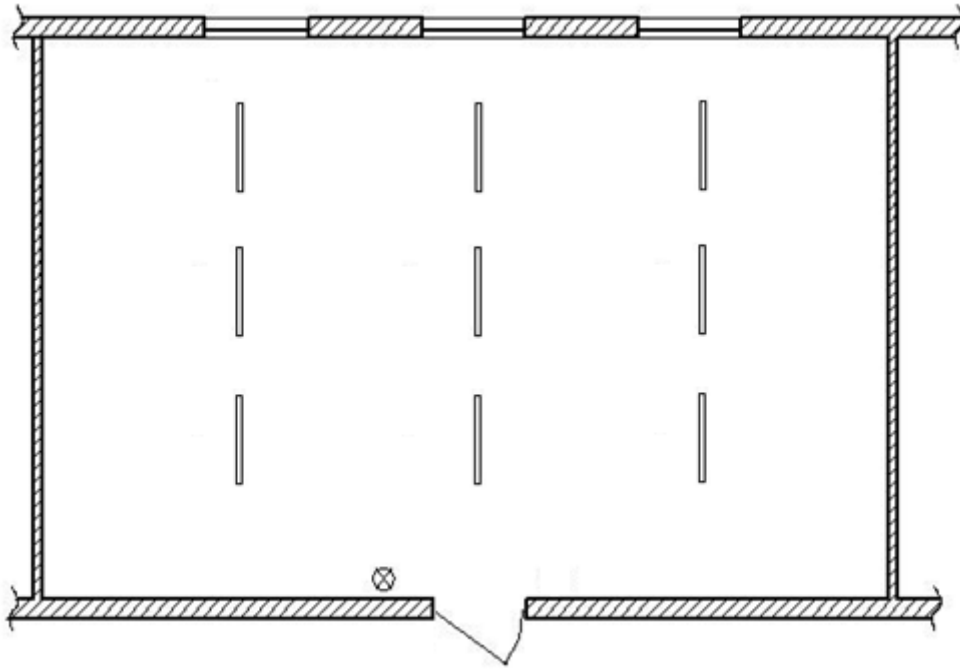


Рис. 8.2. Розміщення ламп та аварійного освітлення

При правильно розрахованому і виконаному освітленні виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети, не стомлюючись. Такі умови сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей. Рациональне освітлення має задовольняти ряд вимог та умов.

Воно має бути:

- достатнім, щоб мати можливість без напруги розрізняти предмети;
- постійним для цього напруга в мережі живлення не повинна коливатися більше ніж на 5%;
- рівномірно розподіленим по робочих поверхнях;
- таким, що не здійснює осліплюючу дію на око людини як від самого джерела світла, так і від поверхонь, що віддзеркалюють його та знаходяться в полі зору інженера;
- не викликати різких тіней на робочих місцях. Цього можна уникнути при правильному розташуванні світильників.

5.2. Розрахунок параметрів електромагнітного поля

Ведемо розрахунки згідно з формулами, представленими в ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів».

Розраховуємо допустимий час перебування в електричному полі за формулою:

$$T_{\text{гд}} = \frac{50}{E} - 2, \quad (5.1)$$

де: $T_{\text{гд}}$ - допустимий час перебування в електричному полі при відповідному рівні напруженості, год; E - напруженість електричного поля у контрольованій зоні, кВ/м, що дорівнює 5 кВ/м.

$$T_{\text{гд}} = \frac{50}{5} - 2 = 8 \text{ год}$$

За одержаними даними розраховуємо допустимі значення енергетичного навантаження протягом допустимого часу перебування в електромагнітному полі частотою 50-300 МГц використовуючи формули [27]:

$$E_{\text{гд}} = \sqrt{\frac{E N_{\text{Егд}}}{T_{\text{гд}}}} \quad (5.2)$$

$$H_{\text{гд}} = \sqrt{\frac{E N_{\text{Нгд}}}{T_{\text{гд}}}} \quad (5.3)$$

де $E_{\text{гд}}$ та $H_{\text{гд}}$ - граничнодопустимі значення напруженості електричного (В/м) та магнітного (А/м) полів, що становлять 10 В/м та 0,28 А/м відповідно; $E N_{\text{Егд}}$ та $E N_{\text{Нгд}}$ - граничнодопустимі значення енергетичного навантаження протягом робочого дня, $(\text{В/м})^2 \cdot \text{год}$ та $(\text{А/м})^2 \cdot \text{год}$.

Після перетворення отримуємо потрібні для розрахунку формули:

$$\sqrt{EH_{E_{гд}}} = E_{гд} \cdot \sqrt{T_{гд}} \quad (5.4)$$

$$\sqrt{EH_{E_{гд}}} = 10 \cdot \sqrt{8};$$

$$EH_{E_{гд}} = 100 \cdot 8 = 800 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{год};$$

$$\sqrt{EH_{H_{гд}}} = H_{гд} \cdot \sqrt{T_{гд}} \quad (5.5)$$

$$\sqrt{EH_{H_{гд}}} = 0,28 \cdot \sqrt{8}$$

$$EH_{H_{гд}} = 0,0784 \cdot 8 = 0,63 \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{год};$$

Отже, згідно з розрахованими даними, допустимий час перебування в електричному полі відповідає часу регламентованого робочого дня, а допустимі значення енергетичного навантаження відповідають граничним значенням, наведеним в табл. 5.1.

5.3. Пожежна безпека

Основними причинами пожеж та вибухів на підприємстві є [28]:

- несправність виробничого обладнання
- несправність та перенавантаження електричного обладнання;
- необережне ставлення до вогню (паління, використання відкритого вогню в недозволених місцях, залишення без нагляду електрообладнання);
- порушення правил пожежної безпеки.

Згідно з НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні», у приміщеннях встановлюються надійні засоби попереднього сповіщення небезпеки виникнення пожежі, та розміщуються схеми евакуації (рис. 5.3). На стелі приміщення встановлюється певна кількість датчиків пожежної сигналізації.

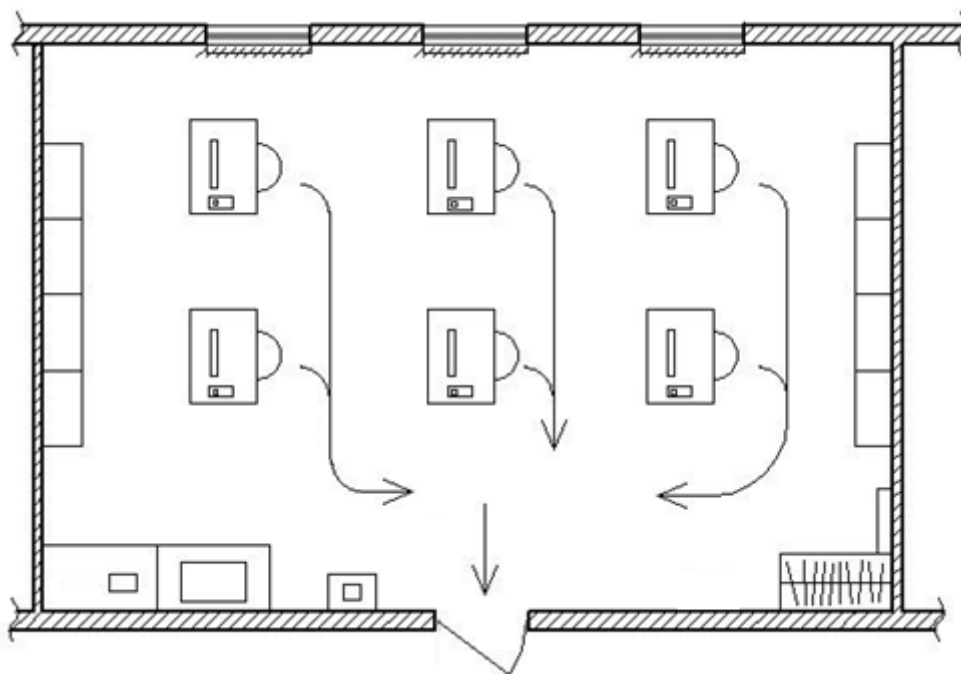


Рис. 5.3. План евакуації з приміщення

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою», дане приміщення належить до категорії «Д». В ньому повинна бути встановлена система пожежної сигналізації типу «ППКП Тирас-4П» (система стикується з пультом пожежної охорони) з димовими пожежними сповіщувачами СПД-3.4, та переносні порошкові вогнегасники ВП-5, в кількості 1 шт.

В даному розділі розглядалося робоче місце інженера-дослідника в дослідницькій лабораторії НДІ.

Основними шкідливими чинниками являються працюючі технічні засоби та устаткування, а саме дія електромагнітного поля та енергетичного навантаження від них на інженера-дослідника протягом робочого дня. Були розраховані допустимий час перебування інженера-дослідника в приміщенні та допустимі значення енергетичного навантаження протягом цього часу. Для даного випадку в якості

захисту можна запропонувати застосування методу екранування – встановити в потрібних місцях стаціонарні екрани, а в якості індивідуального захисту використовувати індивідуальні екрануючі комплекти.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Вступ

Охорона навколишнього середовища — система заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, збереження особливо цінних та унікальних природних комплексів і забезпечення екологічної безпеки. Це сукупність державних, адміністративних, правових, економічних, політичних і суспільних заходів, спрямованих на раціональне використання, відтворення і збереження природних ресурсів землі, обмеження негативного впливу людської діяльності на навколишнє середовище[29].

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є (стаття 3 Закону):

- пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язкове дотримання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;
- запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;
- екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
- обов'язковість екологічної експертизи;
- гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

- науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

- компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

- встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до податкового кодексу України.

Законодавством України встановлюються нормативи використання природних ресурсів та інші екологічні нормативи.

Екологічні нормативи встановлюють гранично допустимі викиди та скиди у навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних та біологічних факторів (стаття 33 Закону).

Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі та рівні шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього є єдиними для всієї території України. Підприємства, установи й організації, діяльність яких пов'язана з шкідливим впливом на навколишнє природне середовище, незалежно від часу введення їх у дію повинні бути обладнані спорудами, устаткуванням і пристроями для очищення викидів і скидів або їх знешкодження, зменшення впливу шкідливих факторів, а також приладами контролю за кількістю і складом забруднюючих речовин та за характеристиками шкідливих факторів (стаття 51 Закону)[29].

6.1. Аналіз проблеми впливу радіолокаційних станцій на стан довкілля

Як відомо, радіолокація (походить від слів radio - радіо і locatio - розміщення, розташування) - галузь науки і техніки, предметом якої є спостереження радіотехнічними методами (спостереження радіолокації) за різними об'єктами (цілями) - їх виявлення, розпізнавання, вимір їхніх координат (визначення місця розташування) та похідних координат і визначення інших характеристик[1]. Під

радіолокацією розуміють також сам процес спостереження (локації) радіолокації об'єктів. Визначення радіолокації необхідно для розуміння фізичного процесу відбиття радіохвиль від об'єктів, предметів тощо.

У радіолокації увага зосереджена на параметрах 2 та 3 гармоніки зворотного від об'єкта сигналу та отриманні найкращого співвідношення сигналу/завади. Енергетичні параметри на 2, а тим більше на 3 гармоніці мають доволі низькі значення, оскільки для їх обробки та виявлення створюються складні електронні модулі, у джерелах наводяться значення прийнятої потужності відбитого сигналу на рівні $2 \cdot 10^{-5}$ - $6 \cdot 10^{-5}$ (Вт). На енергетичних параметрах відбитого сигналу увагу не зосереджують, але саме у відбитому сигналі (першої гармоніки) зосереджений більш значний енергетичний вплив на оператора нелінійного локатора[4].

Розглянемо деякі фізичні параметри, що використовуються у класичній радіолокації. В основу найбільш поширеного вигляду радіолокації покладено радіолокацію із випромінюванням зондування - явище віддзеркалення радіохвиль. Простою характеристикою властивостей об'єкта у спрямованому на приймальну антену РЛС при заданому напрямі поля зондуючого випромінювання, є так звана ефективна площа розсіювання (ЕПР) об'єкта s , яка дозволяє визначити щільність потоку потужності поля у приймальній антені РЛС через щільність потоку потужності випромінювання від об'єкта за формулою:

$$P_1 \times s = P_2 \times 4\pi R^2, \quad (6.1)$$

де R - відстань від об'єкта до РЛС.

За характером віддзеркалення або випромінювання радіохвиль об'єкти радіолокації прийнято розділяти перш за все на зосереджені та розподілені. Розподілені об'єкти, у свою чергу, можуть бути поверхневими й об'ємними. Гладенькі поверхні, розміри нерівностей яких складають незначну долю від довжини опромінюючої хвилі (наприклад, бетонні елементи), відображають дзеркально, тобто при віддзеркаленні спостерігаються певні фазові співвідношення між опромінюючою хвилею і відбитою. При нерівностях, співрозмірних з довжиною

опромінюючої хвилі або більших за неї, має місце дифузне віддзеркалення хвиль, тобто складання хвиль з випадковими фазами, відбитими від різних елементів поверхні. Можна стверджувати, що реальні поверхні створюють відбиті хвилі, що містять як дзеркальну, так і дифузну компоненту. Зіставляючи розміри одиночного об'єкта не лише з об'ємом, вирішуваним РЛС, але і з довжиною хвилі, що випромінюється нею, розрізняють три випадки: розміри об'єкта в багато разів більші за довжину хвилі (так зване оптичне розсіювання - поверхнєве та крайове); розміри об'єкта і довжина хвилі близькі одне до одного (резонансне розсіювання); довжина хвилі набагато перевищує розміри об'єкта (релеївське розсіювання). Ці випадки розрізняються не лише за інтенсивністю віддзеркалення, але й за характером залежності відбитого сигналу від довжини хвилі і поляризації зондуючого сигналу [5].

Під час використання локаторів інтерес може становити випадок величини відношення розмірів об'єкта до довжини хвилі, оскільки в радіолокації використовують хвилі міліметрового діапазону, у якому в більшості об'єктів (чіпи, радіоелектронні компоненти) розміри поверхонь і країв мають перевищувати довжину хвилі. Для такого (оптичного) розсіювання характерні незалежність ЕПР від поляризації сигналу зондування. Як і в оптиці, тут велику роль відіграють "блискучі точки" (явище інтенсивного віддзеркалення хвиль від опуклих частин об'єкта), а також гладкі ділянки поверхні, що дзеркально відбивають. Розрахунок поверхневого розсіювання хвиль заснований на вживанні оптичних методів (переважно на використанні принципу Гюйгенса-Кірхгофа, згідно з яким відбите поле є сумою полів окремих ділянок "освітленої" поверхні).

Для осіб, які пов'язані з роботою з радіотехнічними пристроями, при щільності потоку енергії 25 мкВт/см^2 допустимий час перебування у небезпечній зоні становить 8 годин за добу. Для довідки: межа норми потоку електромагнітного випромінювання в зоні можливого перебування оператора згідно з ГОСТ 12.1.006-84 встановлена на рівні, що дорівнює $200 \text{ мкВт год/см}^2$ за зміну[30].

В Україні зберігають чинність Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСН 239-96). Зазначені санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітної потужності (ЕМП), що створюються радіотехнічними об'єктами, визначають гігієнічні вимоги до передавальних радіо-, телестанцій та інших об'єктів, які випромінюють електромагнітну енергію в навколишнє середовище. Правила поширюються на житлову забудову, забудову, що проектується і споруджується, окремі житлові, громадські і виробничі будинки різного відомчого підпорядкування, місця масового відпочинку населення, які розміщуються в районах їх проживання[31].

Окремо в зазначених нормативах наводяться розрахунки гранично допустимих рівнів ЕМП, що створюються радіолокаційними станціями (імпульсне випромінювання), дані показані у табл. 6.1.

Проаналізувавши дані, наведені в зазначеній таблиці, можна зробити висновок, що допустимий рівень ЕМП для діапазону випромінювань локаторів під час проведення робіт не повинен перевищувати 2,5 мкВт/см².

Таблиця 6.1. Гранично допустимі рівні ЕМП, що створюються радіолокаційними станціями (імпульсне випромінювання)

Призначення РЛС	№ діапазону	Довжина хвилі, см	Режим роботи				
			Швидкість обертання антени об/хв	Період огляду, с	Час опромінення з однопорядковою інтенсивністю	ДСН 239-96 Відношення тривалості випромінювання до загального часу роботи за добу	ГДР, мкВт/см ²
Метеорологічні РЛС та їм подібні за режимом роботи	11	0,8±0,12	6	10	0,03 період огляду	0,5	140
			0	Без огляду	Не більше 12 годин на добу	1	2,5
	10	3,0±0,60	6	10	0,4 період огляду	0,5	60
			0	Без огляду	Не більше 12 годин на добу	1	2,5
	9	10,0±1,50	0	-	Не більше 12 годин на добу	1	20
		10,0±1,50	6	10	0,008 періоду огляду	0,5	40
		17,0±2,55	0	Без огляду	Не більше 12 годин на добу	1	24
			0	-	Не більше 12 годин на добу	1	12
ДСН 239-96 Оглядові РЛС цивільної авіації та інші їм подібні за режимом роботи	9	10,0±2,0	15	4	0,0063 з періоду огляду		15
		23,0±3,45	15	4	0,004 з періоду огляду	1	20
		35,0±5,25	15	4	0,011 з періоду огляду		25
Берегові і судові оглядові РЛС та інші їм подібні за режимом роботи	9	10,0±1,5	25	ДСН 239-96 2,4	0,06 період огляду	1	2,5
					Не більше 12 годин на добу	1	15
					Не більше 12 годин на добу	1	20

6.2. Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та її оточення

Електромагнітне поле - це сукупність електричного і магнітного полів, що породжують один одного при взаємодії електрично заряджених тіл. Хвилею називають зміну стану електромагнітного поля, що поширюється в просторі. Вони бувають: наддовгими (радіохвилі), терагерцеві, інфрачервоні, видиме світло, ультрафіолетові, рентгенівські й жорсткі (гамма). Хвилі поширюються всюди, в тому числі і в вакуумі. Випромінювання - це характеристика загасання поля в міру віддалення від джерела виникнення. Залежить від довжини хвилі. Воно практично без загасання поширюється на величезні відстані, навіть в просторі, заповненим речовиною.

Навколо Землі існують електричне та магнітне поля, інтенсивність яких не залишається постійною. Спостерігаються річні, добові коливання цих полів під дією грозових розрядів, опадів, вітрів, а також під дією сонячної активності (магнітні бурі)[32].

Біосфера впродовж своєї еволюції знаходилась під впливом електромагнітних полів (ЕМП), фонового випромінювання, викликаного природними чинниками. Навколо Землі існують електричне та магнітне поля, інтенсивність яких не залишається постійною. спостерігаються річні, добові коливання цих полів під дією грозових розрядів, опадів, вітрів, а також під дією сонячної активності (магнітні бурі).

У процесі науково-технічного розвитку людство додало до фонового випромінювання цілий ряд факторів, які підсилили це випромінювання в декілька разів (антропогенні ЕМП). У побуті та промисловості набули масового застосування обладнання та прилади, робота яких пов'язана з утворенням електромагнітних випромінювань широкого діапазону частот. Зростання рівня ЕМП різко підсилювалось з початку 30-х років ХХ століття. В окремих районах їх рівень в сотні разів перевищує рівень полів природного походження. Джерелами випромінювань електромагнітної енергії є потужні радіо та телевізійні станції,

ретранслятори, засоби радіозв'язку різного призначення, в тому числі і супутникового, промислові установки високочастотного нагрівання металів, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт, вимірювальні прилади, персональні комп'ютери (ПК).

В аеропортах та на військових об'єктах працюють потужні радіолокатори, які випромінюють в навколишнє середовище потоки електромагнітної енергії. потужність та кількість джерел ЕМП постійно зростає.

Відомо, що навколо провідника, по якому протікає електричний струм, виникають електричне та магнітне поля. Якщо струм постійний, то ці поля існують незалежно одне від одного.

При змінному електричному струмі електричне та магнітне поля пов'язані між собою, становлячи єдине електромагнітне поле. при появі електричної напруги на струмоведучих частинах з'являється електричне поле (ЕП). Якщо електричне коло замкнуте, тобто по ньому протікає струм, це супроводжується появою магнітної складової поля, і в цьому випадку говорять про існування електромагнітного поля (ЕМП). Для характеристики ЕМП введено поняття напруженості його складових — електричного та магнітного полів. Одиницею вимірювання електричної складової поля E прийнято [В/м], а магнітної – H - [А/м].

Електрична та магнітна складові поля визначаються за формулами (6.2) та (6.3):

$$E = \frac{U}{l}, \quad (6.2)$$

$$H = \frac{I}{2\pi * R}, \quad (6.3)$$

де U — величина напруги, В; l — відстань від джерела випромінювання до точки, в якій ведеться вимірювання, м; I - сила струму, А; R — радіус кола силової лінії поля провідника, м.

Оскільки струм, який викликає появу ЕМП, характеризується частотою, то електромагнітне поле також характеризується частотою коливань — довжиною хвилі — λ .

Між ними існує зв'язок, показаний у формулі (6.4):

$$\lambda = \frac{c}{f} = c * T, \quad (6.4)$$

де c — $3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість поширення радіохвиль; f — частота коливань Гц;
 T — період коливань, с.

Електромагнітні випромінювання з частотою від 3 до $3 \cdot 10$ Гц належать до радіочастотного діапазону.

У табл. 6.2 наведена номенклатура діапазонів частот ЕМП.

Таблиця 6.2. Номенклатура діапазонів частот ЕМП

Назва діапазону	Діапазон частот	Довжина хвилі	Назва діапазону довжини хвиль
Низькі частоти НЧ	0.003...0.3 Гц	107...106 км	Інфранизькі
	0.3...3.0 Гц	106...104 км	Низькі
	3.0...300 Гц	104...102 км	Промислові
	300 Гц...30 кГц	102...10 км	Звукові
Високі частоти ВЧ	30...300 кГц	10...1 км	Довгі (кілометрові)
	300 кГц...3 МГц	1 км...100 м	Середні (гектаметрові)
	3...30 МГц	100...10 м	Короткі (декаметрові)
Ультрависокі частоти УВЧ	30...300 МГц	10...1 м	Ультракороткі
Надвисокі частоти НВЧ	300 МГц...3 ГГц	100...10 см	Дециметрові
	3...30 ГГц	10...1 см	Сантиметрові
	30...300 ГГц	10... 1 мм	Міліметрові

Електромагнітні поля діапазону частот 30 кГц — 300 ГГц поширюються у просторі без наявності провідника із струмом зі швидкістю, близькою до швидкості світла (300 000 км/с).

Інтенсивність поля в діапазоні частот 30 кГц — 300 МГц оцінюється напруженістю поля. У діапазоні 300 МГц — 300 ГГц поле оцінюється поверхневою густиною потоку енергії (ГПЕ), тобто кількість енергії, яка припадає в одиницю часу на одиницю площі. одиницею виміру ГПЕ є 1 Вт/м^2 .

6.3. Рекомендації щодо зниження негативних чинників електромагнітного поля

Вибір того чи іншого способу захисту від дії електромагнітних випромінювань залежить від робочого діапазону частот, характеру виконуваних робіт, напруженості та щільності потоку енергії ЕМП, необхідного ступеня захисту.

До заходів щодо зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел ЕМП, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і

налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і радіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спіралью обвитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок не контактуючих проводів [33].

Найбільш ефективним способом захисту є екранування. Електромагнітне поле послаблюється екраном внаслідок створення в його товщі поля протилежного напрямку. Ступінь ослаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщу екрану. Чим більша магнітна проникність екрана і вище частота екрануючого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана. Екранують або джерело випромінювань, або робоче місце.

Крім виконання своєї прямої функції, екранування значно знижує шкідливий вплив електромагнітних випромінювань на організм людини. Воно дозволяє також зменшити вплив електромагнітних шумів на роботу пристроїв.

Під час налагоджування, ремонту, випробування та експлуатації радіоелектронної апаратури електротермічних установок існує можливість опромінення обслуговуючого персоналу.

В зв'язку з цим необхідно здійснювати попередній розрахунок інтенсивності опромінення електромагнітного поля та передбачати використання засобів захисту від випромінювань. [34].

При ізотропному випромінюванні напруженість електричної E та магнітної H складових поля у ближній зоні:

$$E = \frac{Il}{2\pi\omega\epsilon r^3}; \quad (6.5)$$

$$H = \frac{Il}{4\pi r^2}; \quad (6.6)$$

де I - сила струму в провіднику (антені), А; l - довжина провідника (антени), м; ω - кругова частота поля; ϵ - діелектрична проникність середовища; r - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м.

В дальній зоні напруженість електричної та магнітної складових [35]:

$$E = \frac{\sqrt{30P\sigma}}{r}; \quad (6.7)$$

$$H = \frac{\sqrt{P\sigma/30}}{4\pi r}; \quad (6.8)$$

де P - потужність випромінювання, Вт; σ - коефіцієнт підсилення антени.

При напрямленому випромінюванні щільність потоку енергії в ближній зоні по осі діаграми направленості випромінювання:

$$\psi_{Б.З.} = \frac{3P_{СЕР}}{S}; \quad (6.9)$$

де $P_{СЕР}$ - середня потужність випромінювання, Вт; S - площа випромінювальної системи, м².

Для установок, котрі працюють в імпульсному режимі, середня потужність:

$$P_{\text{СЕР}} = \frac{P_{\text{ИМП}} \tau}{T_1}; \quad (6.10)$$

де: $P_{\text{ИМП}}$ - потужність випромінювання в імпульсному режимі; τ - тривалість імпульсу; T - період чергування імпульсів.

У проміжній зоні щільність потоку енергії[36]:

$$\psi_{\text{П.З.}} = \frac{3P_{\text{СЕР}}}{S} \cdot \left(\frac{r_{\text{Б.З.}}}{r} \right); \quad (6.11)$$

де r - відстань від центра розкриття антени до даної точки, розташованої в проміжній зоні.

В дальній точці щільність потоку енергії по осі випромінювання:

$$\psi_{\text{Д.З.}} = \frac{P_{\text{СЕР}} \cdot \sigma}{4\pi r^2}; \quad (6.12)$$

Визначаємо допустиму величину магнітної складової поля з врахуванням, що допустима напруженість поля $E_{\text{П.Д.}} = 5$ В/м (за санітарними нормами)[37]:

$$H_{\text{П.Д.}} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{E_{\text{П.Д.}}}{Xf} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{5}{0,8 \cdot 6 \cdot 10^4} = 13,2 \text{ А/м}$$

Напруженість на робочому місці при відсутності екрана:

$$H_x = \frac{\omega I a^2}{4X^2} = \frac{14 \cdot 380 \cdot 0,1^2}{4 \cdot 0,8^2} = 20,7 \text{ А/м}$$

Необхідна ефективність екранування на робочому місці:

$$H_{\text{Х.Н.}} = \frac{H_x}{H_{\text{П.Д.}}} = \frac{20,7}{13,2} = 1,57.$$

Дійсна ефективність екранування на робочому місці:

$$E_{x.d.} = \frac{Re^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2}\delta\mu_e^1} = \frac{0,35 \cdot 0,3^{\frac{1}{0,32}}}{2\sqrt{2} \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 10,5,$$

де d - товщина екрана, мм; δ - глибина проникнення поля в екран, м; μ_e^1 - відносна магнітна проникність екрана ($\mu_e^1 = \frac{\mu_e}{\mu_0}$).

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_e \gamma_e \omega f}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,55 \cdot 10^7 \cdot 314 \cdot 6 \cdot 10^4}} = 0,32 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d = 1$ мм.

Таким чином, вибраний екран забезпечує необхідний захист на місці, оскільки $E_{x.d.} > E_{x.n.}$ ($10,5 > 1,57$).

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру [38].

Таким чином, усвідомлення небезпеки дії електромагнітних полів та обізнаність у методах захисту від них є необхідною умовою для людини, що здійснює виявлення наявності електромагнітних полів у приміщенні.

Висновок

У зв'язку зі стрімким зростанням числа технологій виробництва радіолокаційних станцій уникнути впливу ЕМП в сучасному світі практично неможливо.

Вплив електромагнітних полів на біо-об'єкти залежить від багатьох чинників: типу поля і його характеристик, самого біо-об'єкта, а також від властивостей середовища, що його оточує. Сам вплив електромагнітних полів багатогранний, але можна зробити висновки, що найбільші зміни відбувається на клітинному рівні. Причому нагрівання тканин організму, за досить високої інтенсивності випромінювання, не значне. Тому можна стверджувати, що вплив на біо-об'єкти обумовлений взаємодіями електромагнітного поля з інформаційними електричними полями організму, що призводить до порушення природних ритмів і спричиняє фізіологічні порушення у вигляді радіохвильової хвороби.

Різні організації як державні, так і міжнародні розробили безліч стандартів і вимог для запобігання якого б то не було впливу електромагнітного поля на людину від радіолокаційних станцій. Майже всі РЛС, що реалізуються в ринкових умовах відповідають цим вимогам. Таким чином, можна зробити висновок, що дотримання санітарних і гігієнічних норм при містобудуванні і виконання необтяжливих рекомендацій з використання РЛС практично нівелює вплив електромагнітних полів на людину. Хоча це питання має і буде досліджуватися далі.

Окрім цього велике значення має дотримання правил дотримання електромагнітного захисту на підприємствах, враховуючи вік працівника, індивідуальні особливості, стан здоров'я.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було вивчено особливості сучасних радіолокаційних станцій, що використовуються в Україні, розроблено систему виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету. Система має можливість використання її в навчальному процесі для проведення досліджень на лабораторних та практичних роботах.

Для досягнення мети було виконано наступні завдання:

- визначено характеристики радіолокації як науки та проаналізовано її види та методи;
- здійснено огляд сучасних радіолокаційних станцій, що використовуються в Україні, оцінено ефективність їх використання при аналізі характеристик та параметрів РЛС різних типів;
- розроблено систему виявлення та спостереження за об'єктами з реалізацією ультразвукового макету;
- досліджено можливості розробленої системи та перспективи використання таких систем в навчальному процесі.

Для того щоб повністю розкрити тему електронна система виявлення та спостереження за об'єктом з реалізацією ультразвукового макету, значна увага в дипломній роботі приділена радіолокаційним станціям, що виробляються та використовуються в Україні. В умовах великої кількості спеціалізованого обладнання для задач радіолокації, що виробляється концерном «УкрОборонПром», основним завданням було віднайти РЛС, яка б мала високу ефективність при здійсненні аналізу радіолокаційної обстановки. Під час проведення досліджень з цього питання було детально розглянуто, види та методи радіолокації, як науки. Дослідження здійснювалось на основі структурних схем та тактико-технічних характеристик РЛС, що дало можливість побачити всю тенденцію розвитку

застосовуваних схемотехнічних рішень. Таким чином визначено, що РЛС, які відносяться до активної радіолокації, мають складні структури та алгоритми роботи, а також дорого коштують і на їх основі важко відтворити макет для лабораторних та практичних робіт в навчальних закладах України. Тобто можна зробити висновок, що такі пристрої не підходять для навчання.

В першому розділі було розглянуто такі питання:

- що таке радіолокація? Радіолокація – швидко прогресуюча галузь науки. Її базою є статистична теорія радіолокації, основи якої закладені В.А. Котельниковим в його роботі "Теорія потенціальної перешкодозахищеності". Для техніки радіолокації важливим є розвиток обчислювальної техніки, засобів і систем передачі радіолокаційної інформації, автоматизованих систем керування.
- класифікація радіолокаційних систем. розрізняють такі види радіолокаційного спостереження:
- радіолокація з пасивною відповіддю, заснована на тому, що випромінююче РЛС коливання (зондуєчий сигнал) — відбивається від цілі і потрапляє в приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу.
- радіолокація з активною відповіддю, іменована активною радіолокацією з активною відповіддю. просто активна радіолокація або вторинна радіолокація, характеризується тим, що відповідний сигнал є не відбитим, а перевипроміненим за допомогою спеціального відповідача — ретранслятора.
- пасивна радіолокація заснована на прийомі власного радіовипромінювання цілей.
- завдання, які вирішуються системами вторинної радіолокації. Такими завданнями в загальному випадку є: - радіолокація (виявлення і визначення координат) об'єктів різного базування — наземних, надводних, повітряних, космічних; - методи визначення місця розташування об'єктів. Існують три основні методи визначення просторових координат об'єктів: ліній і поверхонь положення; кореляційно-екстремальний; обчислення шляху.

В другому розділі було розглянуто такі питання:

- принцип роботи радіолокаційних станцій. Радар посилає електромагнітні хвилі направленою антеною у визначений об'єм простору для пошуку цілі (об'єкту). За наявності цілі частина падаючої на неї енергії відбивається назад до приймальної антени радара. Відбиті сигнали називають ехом. Ці сигнали обробляються приймачем для отримання інформації про ціль.
- характеристики РЛС, яка використовує три основні властивості радіохвиль: випромінювані радіохвилі відбиваються від об'єктів; хвилі розповсюджуються практично по прямій, що дозволяє визначати положення об'єкту відносно станції.
- хвилі розповсюджуються з постійною швидкістю, яка дорівнює швидкості світла (приблизно $3 \cdot 10^8$ м/сек), що дозволяє визначити відстань за затримкою часу на розповсюдження (між надісланим та прийнятим сигналом).
- огляд радіолокаційних систем та їх можливостей. А саме сучасних радіолокаційні системи в Україні, таких як: РЛС "Барсук", 79К6 «Пелікан», РЛС 36Д6-М, РЛС "Дельта", РЛС П-190У, РЛС «Кольчуга», Рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА.

В третьому розділі було розглянуто такі питання:

- принцип роботи електронної системи виявлення та супроводження об'єктів з реалізацією ультразвукового макету. Спочатку система сканує простір та запам'ятовує кут і відстань на яких знаходиться ціль – це буде першим проходом радара. Тепер при наступних проходах алгоритм буде знаходити різницю для кожного кута і таким чином зможемо фіксувати нові об'єкти. Для слідкування за виявленим об'єктом, потрібно рахувати кількість точок, що знаходяться поруч, на графіку це буде деяка область, яку сканує локаційний пристрій. За ціль можна брати область більшу за певний розмір - це одразу відфільтрує всі шуми та перешкоди.

Отже пристрій може розпізнавати велику область, тобто він знає кут початку області і кут кінця, залишається розрахувати середину області і направити

радар в дану область, після цього радар фіксує положення об'єкта – це буде точкою спостереження. Система неперервно продовжує вимірювати відстань від радара до об'єкта і якщо точка спостереження зміниться, то система знову переходить в режим пошуку цілі.

Але після втрати цілі, система не знає в якому напрямку вона рухається і продовжує рухатися в останньому активному напрямі. Потрібно додати другий випромінювач зондуючого сигналу і тоді система зможе визначати в який бік перемістилася ціль і продовжити спостереження без втрати часу. Це збільшує швидкодію пристрою в два рази.

- структурну схему макету електронної системи виявлення та спостереження за об'єктом.
- проведено опис блоків структурної схеми макету.
- запропоновано принципову схему макету та вибрано елементну базу та проведено електричні розрахунки.

В четвертому розділі було розглянуто такі питання:

- конструювання друкованої плати.
- проведено розрахунки контактних майданчиків та отворів під виводи електронних компонентів.
- розрахована площа друкованої плати та обрано її розміри.
- розраховано зазори між елементами на ДП.
- проведено трасування друкованої плати в середовищі DipTrace.

Завершальними етапами дипломного проекту стала робота над розділами присвяченими охороні навколишнього середовища та охороні праці. В них було описано характеристики ЕМП, встановлено його вплив на навколишнє середовище, здійснено оцінку способів захисту від шкідливого впливу ЕМП, розраховано параметри електромагнітного поля на робочому місці та досліджено заходи пожежної безпеки. Робота над вищезгаданими розділами дозволила усвідомити необхідність створення комфортних умов для праці та бережного відношення до навколишнього середовища.

Загалом я задоволений результатами виконання своєї роботи. Під час її реалізації поглибив свої знання в сфері радіолокації, програмування, аналогово-цифрової схемотехніки, набув практичного досвіду в роботі з мікроконтролером Atmega328P та C-подібною мовою програмування.

Ознайомився з можливостями розробленого макету. Найцікавішою виявилась практична частина. На жаль, в зв'язку з браком часу не встиг на практиці здійснити аналіз роботи ультразвукового макету виявлення та спостереження за об'єктами, проте планую продовжити дослідження в цьому напрямі, оскільки вважаю, що вони можуть бути корисними в професійній діяльності.

Рахую, що матеріали даної роботи можна використовувати в навчальному процесі, в якості допоміжних засобів при здійсненні практичних та лабораторних робіт. Глибоко переконаний, що застосування розробленого мною макету та алгоритму в навчальній діяльності здатне підвищити цікавість до навчання у студентів, стати поштовхом до освоєння радіолокації, а також програмних пакетів типу: Arduino IDE, DipTrace та ін.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

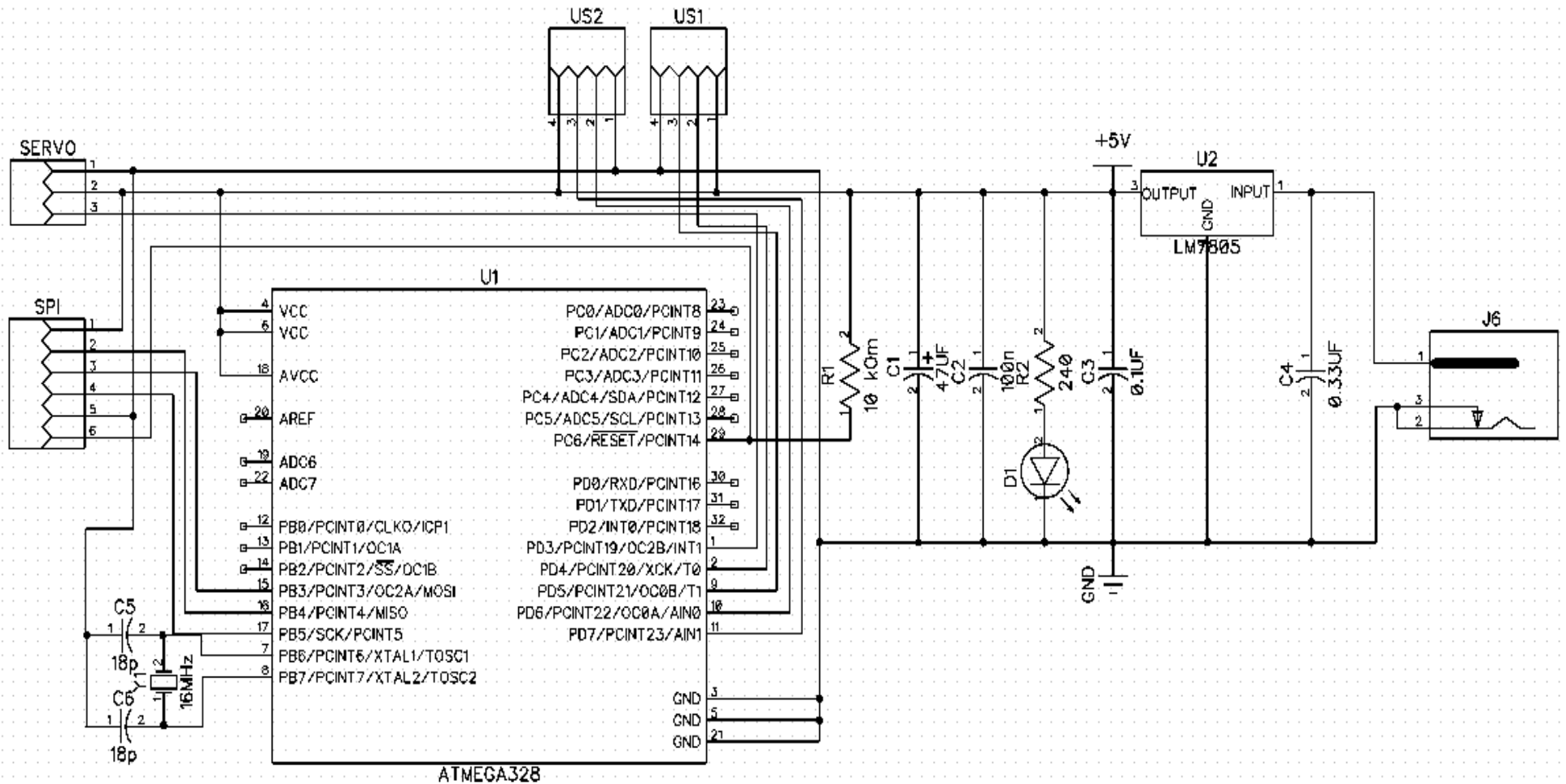
1. Большая Советская Энциклопедия/ред. О.Ю. Шмидт. - М.: Советская Энциклопедия, 1992. - 921 с.
2. Теоретические основы радиолокации, под ред. В. Е. Дулевича, М., 1964
3. Вопросы статистической теории радиолокации, под ред. Г. П. Тартаковского, т. 1—2, М., 1973—74.
4. Теоретические основы радиолокации, под ред. Я. Д. Ширмана, М., 1970
5. RadioUniverse [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.radiouniverse.ru/book/ionosfera-i-ee-issledovanie/glava-chetvertaya-effekt-kabanova>
6. Современная радиолокация, пер. с англ., М., 1969
7. J. Hereford and B. Edgerly. [457kHz Electromagnetism and the Future of Avalanche Transceivers](#) (англ.) // International Snow Science Workshop (ISSW 2000) : journal. — 2000.
8. Бойко І.Ф. Застосування методу стохастичних інтегральних зображень для опису відбиття радіолокаційних сигналів від розподілених об'єктів // Вісник НАУ, № 1. – К.: НАУ, 2004. – С. 12 – 17.
9. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
10. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.
11. Радар [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%80#cite_ref-slyusarsmartantenna1_3-0
12. [Грехов А. М.](#) Радіолокаційна станція // Велика українська енциклопедія. [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://vue.gov.ua/> Радіолокаційна станція.

13. РЛС «Барсук – А» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://ust.com.ua/uk/item/rls-barsuk-a-2/>
14. Радіолокаційні станції розвідки рухомих цілей міліметрового діапазону [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/104->
15. Мобільний трикоординатний радіолокатор 36Д-6 [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/98->
16. Мобільно двокоординатна когерентно-імпульсна РЛС кругового огляду «Дельта» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/102->
17. Радіолокаційна станція П-190У [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/108-radiolokatsionnaya-stantsiya-p-190u>
18. Мобільна станція дальньої радіотехнічної розвідки «Кольчуга» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/111->
19. Модернізований рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/110->
20. Мікроконтролер Atmega328P [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://rudatasheet.ru/datasheets/atmega328/>
21. Ультразвуковий датчик вимірювання відстані HC-SR04 [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>
22. Сервопривід MG995 [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-mechanics/servo-mg995/>
23. Super bright led lamps [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: [https://www.promelec.ru/pdf/l-934s\(sy\).pdf](https://www.promelec.ru/pdf/l-934s(sy).pdf)

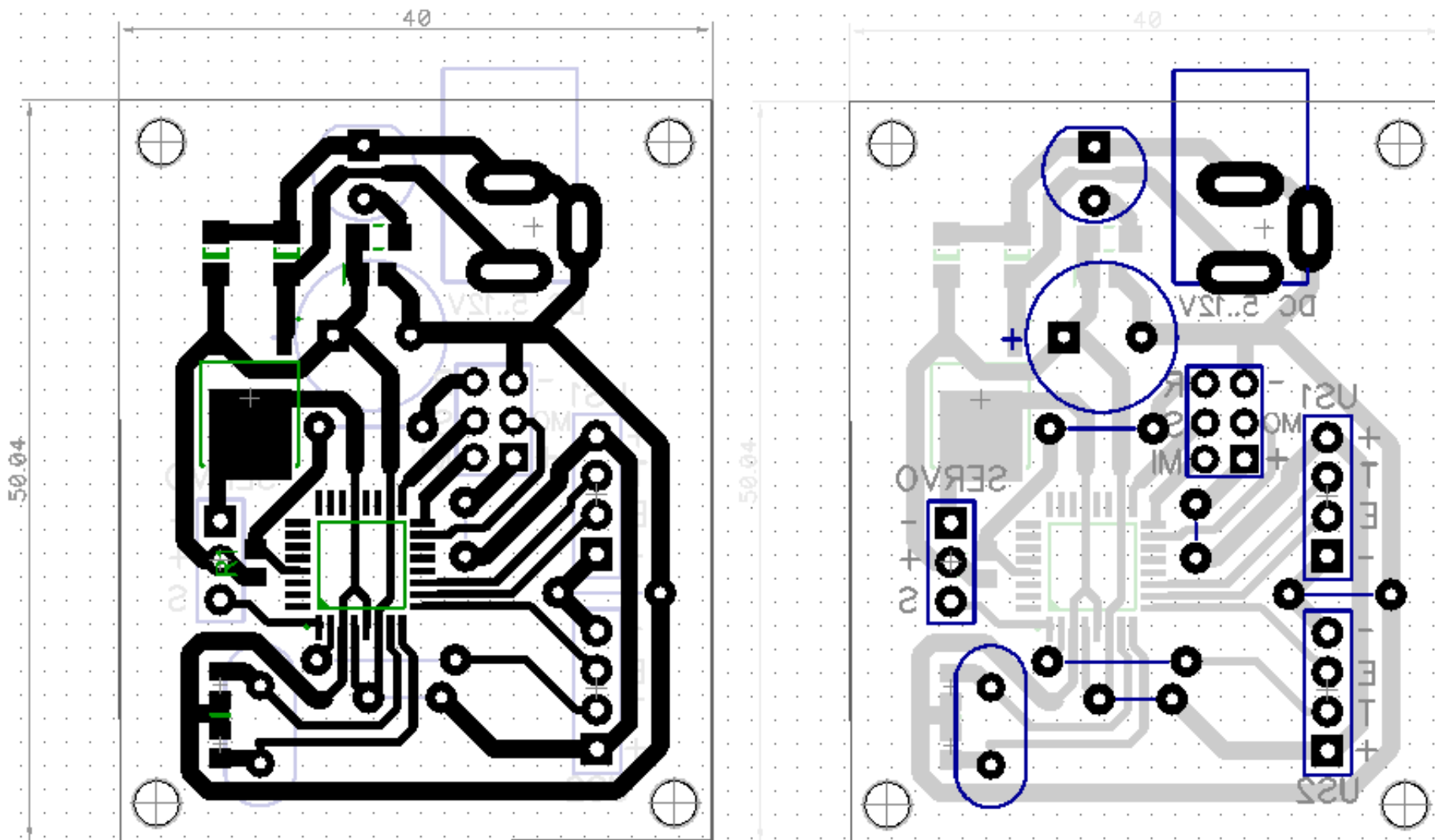
24. Лінійний стабілізатор напруги L7805CD2T [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/7/8/0/L7805CD2T.shtml
25. Кварцевий резонатор [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://www.chipdip.ru/product/16mhz-hc-49s>
26. Охорона праці: Навч. Посібник / За ред.. В. Кучерявого. – Львів: Оріяна – Нова, 2007. – 368 с.
27. Охорона праці в галузі: навчальний посібник/ П.С. Атаманчук, В.В. Мендерецький, О.П. Панчук, Р.М. Білий - К.: «Центр учбової літератури», 2017. - 322 с.
28. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.
29. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
30. Бакулев П.А. Радиолокационные системы : учебник для вузов. / П.А. Бакулев. - М. : Радиотехника, 2004.
31. Наказ Кабміну «Про затвердження державних санітарних правил та норм» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>
32. Електромагнітні поля та електромагнітні випромінювання [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: https://pidru4niki.com/1623042838192/bzhd/elektromagnitni_polya_elektromagnitni_viprominyuvannya
33. Денисенко Ю.П., Высочин Ю.В., Гордеев Ю.В. Влияние электромагнитных полей на функциональное состояние центральной нервной системы // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 7. – С. 33-34;

34. Посудін Ю.І. Фізика і біофізика навколишнього середовища- К.: Світ, 2000. – 303с.
35. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Електродинаміка біосистем та дія фізичних полів на біосистеми, 194с.
36. Вивчення впливу електромагнітних полів на здоров'я людей[Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: https://nkrzi.gov.ua/images/upload/624/9264/UDZR_3.pdf
37. Наказ Кабміну «Про затвердження державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>
38. Захист від електромагнітних випромінювань[Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/9/966.html>

Схема принципова електрична ультразвукового макету виявлення та супроводження об'єктів



Друкована плата ультразвукового макету виявлення та супроводження об'єктів



Код прошивки мікроконтролера Atmega328P

```
#define STEP_DELAY 10    // швидкість серво
#define TIMEOUT 10      // затримка на новий пошук цілі
#define MAX_ANGLE 140   // максимальний кут повороту
#define MIN_ANGLE 0     // мінімальний кут повороту
#define DIST_MAX 100    // максимальна відстань (см)
#define DEADZONE 20     // зона нечутливості
#define MIN_CATCH 15    // мін. к-ть точок, що можна рахувати за ціль
#define MISTAKES 2     // допустима к-ть пропусків
#define TRIG 4
#define ECHO 5
#define TRIG2 6
#define ECHO2 7
#define SERVO 3

#include "Servo.h"

Servo servo;

#include "GyverHacks.h"

GTimer stepTimer(STEP_DELAY);
GTimer sonarTimer(50);
GTimer wakeTimer(1000);

#include <NewPing.h>

NewPing sonar1(TRIG, ECHO, DIST_MAX);
NewPing sonar2(TRIG2, ECHO2, DIST_MAX);

typedef enum {SEEK, HOLD, WAIT};

boolean direct;

boolean next;

const byte steps_num = (MAX_ANGLE - MIN_ANGLE);

short angle = MIN_ANGLE;

byte catch_num;

byte mistakes;

byte mode = 0;
```

```

    byte catch_pos;

    int hold_signal;

    byte direct_seek = 2;

    byte lost_flag = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  servo.attach(SERVO);
  servo.write(MIN_ANGLE);
  delay(1000);      // чекаємо повороту в початкове положення
  calibration();   // заповнення масиву після калібрування
  powerTimer.reset(); // скидання таймеру режиму очікування
}

void loop() {
  switch (mode) {
    case SEEK: seek(); // режим пошуку цілі
      break;
    case HOLD: hold(); // режим утримання цілі
      break;
    case WAIT: wait(); // режим очікування
      break; } }

void wait() {
  if (!wait_flag) {
    turn_to((MAX_ANGLE - MIN_ANGLE) / 2); } // ставимо серво на середину якщо довго немає цілей
  if (sonarTimer.isReady()) {           // перевірка датчиків по таймеру
    int curr_dist1, curr_dist2;
    curr_dist1 = sonar1.ping_cm();      // отримуємо сигнал з датчика
    delay(40);
    curr_dist2 = sonar2.ping_cm();
    if ((curr_dist1 > 1 && curr_dist1 < 10) ||
        (curr_dist2 > 1 && curr_dist2 < 10)) {
      if (wakeTimer.isReady()) {       // переходимо в режим пошуку цілі
        mode = SEEK;

```



```

    wait_flag = false;
    delay(2000);
    powerTimer.reset();    }
} else {
    wakeTimer.reset();    } }}
void seek() {
    if (direct) {          // рух в прямому напрямку
        if (angle < MAX_ANGLE)
            turn_to(MAX_ANGLE); // плавний поворот
        else {
            direct = false;    // зміна напрямку руху
            delay(50); } }    // затримка в крайньому положенню
        else {              // рух в зворотному напрямку
            if (angle > MIN_ANGLE)
                turn_to(MIN_ANGLE); // плавний поворот
            else {
                direct = true;    // зміна напрямку руху
                delay(50); } } // затримка в крайньому положенню
            search(); }      // шукаємо ціль далекоміром
}
void hold() {
    if (!hold_flag) {     // фіксація цілі
        turn_to(catch_pos);
    } else {
        if (sonarTimer.isReady()) {
            byte pos = (angle - MIN_ANGLE);    // записуємо градуси в масив
            int curr_dist1, curr_dist2;
            int diff1, diff2;
            curr_dist1 = sonar2.ping_cm(); // отримуємо сигнал з ультразвукового датчика
        }
        if (curr_dist1 == 0) curr_dist1 = DIST_MAX;
        diff1 = distance1[pos] - curr_dist1;
        delay(50);
    }
}

```

```

curr_dist2 = sonar1.ping_cm(); // отримуємо сигнал з ультразвукового датчика
if (curr_dist2 == 0) curr_dist2 = DIST_MAX;
diff2 = distance2[pos] - curr_dist2;
#ifdef RADAR_DEBUG
    Serial.print(angle);
    Serial.print(",");
    Serial.print((diff1 > 0) ? diff1 : DIST_MAX);
    Serial.print(".");
#endif
if (lost_flag == 0) {
    if (diff1 < DEADZONE) {
        direct_seek = 1;
        lost_flag = 1;    }
    if (diff2 < DEADZONE) {
        direct_seek = 0;
        lost_flag = 1; }
} else if (lost_flag == 1) {
    if (diff1 < DEADZONE && diff2 < DEADZONE) lost_flag = 2;    }
    if (diff1 > DEADZONE && diff2 > DEADZONE) {
        lost_flag = 0;    }
if (lost_flag == 2) {
    if (timeoutTimer.isReady()) {
        mode = SEEK;           // ціль втрачено, переходимо в режим пошуку
        hold_flag = false;
        powerTimer.reset();
        direct = direct_seek;
        lost_flag = 0;
    } else {                   // якщо ціль в зоні видимості
        timeoutTimer.reset(); }}}}
void search() {
    if (/*angle % 2 == 0 &&*/ next) {

```

```
if (powerTimer.isReady()) {
    mode = WAIT;
    wait_flag = false;
    next = false;
    byte pos = (angle - MIN_ANGLE);
    int curr_dist;
    int diff;
    if (direct) curr_dist = sonar2.ping_cm();
    else curr_dist = sonar1.ping_cm();
    if (curr_dist == 0) curr_dist = DIST_MAX;
    if (direct) diff = distance1[pos] - curr_dist;
    else diff = distance2[pos] - curr_dist;
#ifdef RADAR_DEBUG
    Serial.print(angle);
    Serial.print(",");
    Serial.print((diff > 0) ? diff : DIST_MAX);
    Serial.print(".");
#endif
    if (diff > DEADZONE) {
        if (!catch_flag) {
            catch_flag = true;
            catch_pos = angle; }
        catch_num++;
    }
    if (catch_num > MIN_CATCH)
        caught_flag = true;
    } else {
        if (catch_flag) {
            if (mistakes > MISTAKES) {
                catch_flag = false;
                caught_flag = false;
                catch_num = 0;
```

```

    mistakes = 0;
  } else {
    mistakes++; } }
if (caught_flag) {
  mode = HOLD;
  if (direct) catch_pos += (catch_num / 2);
  else catch_pos -= (catch_num / 2);
  hold_flag = false;
  catch_flag = false;
  caught_flag = false;
  catch_num = 0;
  mistakes = 0; } } }
void calibration() {
  for (angle = MIN_ANGLE; angle <= MAX_ANGLE; angle++) {
    servo.write(angle);
    delay(STEP_DELAY); }
  for (angle = MAX_ANGLE; angle >= MIN_ANGLE; angle--) {
    servo.write(angle);
    delay(STEP_DELAY); } }
void turn_to(byte to_angle) {
  if (stepTimer.isReady()) {
    if (angle < to_angle) angle++;
    else if (angle > to_angle) angle--;
    else {
      hold_flag = true;
      wait_flag = true; }
    servo.write(angle);
    next = true;
    if (angle > MAX_ANGLE) direct = false;
    if (angle < MIN_ANGLE) direct = true; } }

```