

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА З ФАЗОВАНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ (тема)

Виконав:
студент II курсу, групи ІРТМ-22-1
Роєнко О.Г.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Освітня програма Інформаційних радіотехнологій
(повна назва освітньої програми)

Керівник д.т.н., проф. Цопа О.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

В.о. зав. кафедри _____
(підпис)

Зрудний О.А.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Освітня програма Радіоелектроні пристрої, системи та комплекси
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Роєнко Олегу Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Радіолокаційна система з фазованою антенною решіткою

затверджена наказом університету від 20.10.2023 р. № 1221Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 8 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

літературні джерела та електронні ресурси за темою кваліфікаційної роботи

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

перелічити назви всіх розділів роботи від вступу до додатків (див. зміст)

Вступ. 1 АНАЛІЗ ПЕРЕВАГІВ І БУДІВЕЛЬ РЛС З ФАР 2 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ
СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РЛС 3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ. Висновки.

Перелік джерел посилання. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|--|---|------|
| | | підпис | дата |
| Основна частина | Проф. Цопа О.І. | | |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз переваг і будівель рлс з фар | 21.10.23- 29.10.2023 | вик. |
| 2 | вибір і обґрунтування структурної схеми рлс | 30.10.2023-10.11.2023 | вик. |
| 3 | вибір і розрахунок основних вузлів | 11.11.2023-20.11.2023 | вик. |
| 4 | Висновки | 21.11.2023-15.12.2023 | вик. |
| 5 | Оформлення пояснювальної записки | 16.12.2023-07.01.2024 | вик. |
| 6 | Представлення роботи на кафедрі | 8.01.2024 | вик. |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання 20 жовтня 2023 р.

Студент _____ (підпис) Росенко О.Г. (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ (підпис) проф. Цопа О.І. (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра містить 73 сторінки тексту, 27 рисунків, 15 джерел посилання, 2 додатки.

РАДІОЛОКАЦІЯ. ІНФОРМАЦІЯ. АНТЕНА. РЕШІТКА. ДІАГРАМА.

Предметом дослідження є радіолокаційна система.

Мета роботи – розробка РЛС з дозованою антенною решіткою.

У наслідок виконаної роботи Розраховано та побудовано діаграми спрямованості стрижневої діелектричної антени. Проведено розрахунок та побудова діаграми спрямованості стрижневої діелектричної антени. Розроблено структурні схеми приймача та передавача РЛС

Результати дослідження можуть бути використані для подальшої розробки та розрахунку параметрів антен РЛС.

ABSTRACT

The explanatory note of the master's thesis contains 73 pages of text, 27 figures, 15 reference sources.

Keywords: RADAR. INFORMATION. ANTENNA. LATTICE. CHART.

The subject of research is a radar system.

The goal of the work is the development of a radar with a dosed antenna array.

As a result of the work performed, directivity diagrams of the rod dielectric antenna were calculated and constructed. The calculation and construction of the directional diagram of the rod dielectric antenna was carried out. The construction diagrams of the radar receiver and transmitter have been developed

The research results can be used for further development and calculation of radar antenna parameters.

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І СКОРОЧЕНЬ .. | 6 |
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ І БУДІВЕЛЬ РЛС З ФАР | 9 |
| 1.1 Принципи побудови радіолокаційних систем та пристроїв..... | 9 |
| 1.2 Класифікація РЛС..... | Error! Bookmark not defined. 20 |
| 1.3 Введення в теорію ФАР та АФАР | Error! Bookmark not defined. |
| 1.4 Радіолокаційні цілі | 32 |
| 2 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РЛС | 40 |
| 2.1 Фазована антенна решітка | 43 |
| 2.2 Вибір хвилеводу | Error! Bookmark not defined. 45 |
| 2.3 Розрахунок збудливого пристрою | 48 |
| 2.4 Вибір діелектричного стрижня | 49 |
| 2.5 Конструкція випромінювача..... | 51 |
| 3 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ | 53 |
| 3.1 Розрахунок та побудова діаграми спрямованості стрижневої діелектричної антени | 53 |
| 3.2 Р Розрахунок та побудова діаграми спрямованості стрижневої діелектричної антени | 54 |
| 3.3 Визначення кількості елементів решітки та відстань між ними..... | 55 |
| 3.4 Приймально-передавальний модуль | 58 |
| ВИСНОВКИ | 61 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 62 |
| Додаток А – КОПІЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ..... | 65 |
| Додаток Б – ВІДОМОСТІ АТЕСТАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ | 72 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І СКОРОЧЕНЬ

ДС – діаграма спрямованості;

РЛС – радіолокаційна система;

АР - антенна решітка;

ФАР - фазована антенна решітка;

АЦП – аналого-цифрове перетворення;

ППЧ – підсилювач проміжної частоти;

РЛВ – радіолокаційний відповідач;

ВСТУП

Радіолокація представляє собою галузь радіоелектроніки, що вирішує завдання радіолокаційного спостереження за різними об'єктами, такими як виявлення, вимірювання координат та параметрів руху. Також вона включає в себе виявлення структурних чи фізичних властивостей за допомогою відбитих чи перевипромінюваних об'єктами радіохвиль або їх власного радіовипромінювання. Термін "локація" виникає від латинського слова "locatio", що означає розміщення чи розташування.

Інформація, отримана під час радіолокаційного спостереження, називається радіолокаційною. Пристрої для радіолокаційного спостереження отримали назву систем радіолокації або радіолокаторів, а об'єкти спостереження - радіолокаційні цілі або просто цілі.

Радіолокаційні цілі включають літальні апарати, гідрометеоутворення, річкові та морські судна, наземні об'єкти та інші. Особливим видом цілей є астрономічні.

Радіолокація, її розвиток та використання у справах державної безпеки надають можливість виявляти та знищувати засоби потенційного противника незалежно від часу доби, погодних умов, на різних висотах та відстанях.

Системи радіолокації мають різні розміри - від великих наземних станцій систем протиракетної оборони до компактних радіолокаційних систем для захисту від грабіжників.

Сучасні радіолокаційні засоби є складними системами радіоелектронного озброєння, які використовують останні технології в галузі радіоелектроніки, такі як фазовані антенні решітки.

Антенна решітка - це складна спрямована антена, яка складається з групи окремих слабоспрямованих антен (випромінюючих елементів), розташованих у просторі особливим чином. Вони дозволяють підвищити посилення системи, управляти формою діаграми спрямованості, здійснювати електричне сканування та багатопроменеву роботу.

Мета роботи - розробка РЛС з дозованою антенною решіткою

Задачі – провести аналіз переваг і будівель рлс з фар, вибір і обґрунтування структурної схеми рлс, вибір і розрахунок основних вузлів.

1 АНАЛІЗ ПЕРЕВАГІВ І БУДІВЕЛЬ РЛС З ФАР

1.1 Принципи побудови радіолокаційних систем та пристроїв

Сфера застосування радіолокаційної техніки на сучасному етапі широка і неперервно розширюється завдяки досягненням сучасної схемотехніки, радіоелектронних технологій та обчислювальної техніки. Унікальні властивості радіовипромінювання дозволяють проводити різноманітні дослідження з широким спектром об'єктів. Тому розгляд основних принципів, що використовуються при побудові радіолокаційних пристроїв та систем, є надзвичайно актуальним.

При створенні продуктивних відомчих систем зв'язку (ВСС), однією з основних вимог, що пред'являються до таких систем, є забезпечення не тільки високої продуктивності, а й захищеності цих систем. [1]

Фізичною основою радіолокації є розсіювання радіохвиль об'єктами, що відрізняються своїми електричними характеристиками від відповідних характеристик навколишнього середовища при їх опроміненні. Інтенсивність розсіювання чи відбиття радіовипромінювання залежить від ступеня відхилення електричних характеристик об'єкта та середовища, форми об'єкта, співвідношення його розмірів та довжини хвилі, а також від поляризації радіовипромінювання. Результуюче вторинне електромагнітне поле складається з поля відображення, що розповсюджується у бік опромінюючого первинного поля, і тіньового поля, що розповсюджується за об'єктом (в тому ж напрямку, що і первинне поле).[2]

За допомогою приймальної антени та приймального пристрою (Прм) можна отримати частину розсіяного сигналу, його перетворити та посилити для подальшого виявлення. Таким чином, найпростіша радіолокаційна система може складатися з передавача (Прд), який формує та генерує радіосигнали, передає їх антені для випромінювання, приймальної антени для отримання відображених сигналів, радіоприймача для підсилення та перетворення сигналів, і, нарешті,

вихідного пристрою (ВУ), який обробляє сигнали (рисунок 1.1). Зазвичай амплітуда (або потужність) прийнятого сигналу невелика, і сам сигнал має випадковий характер. Низька потужність сигналу пояснюється великою відстанню до об'єкта (цілі) та поглибленням енергії сигналу в процесі його поширення. Крім того, розміри цілей значно впливають на інтенсивність відбитого сигналу. Випадковий характер сигналу виникає через флуктуації відбитого сигналу внаслідок випадкового руху елементів складної форми цілі під час відбиття радіовипромінювання, багатонапрявленого радіовипромінювання, хаотичних змін амплітуди сигналу під час поширення та інших факторів. У результаті прийнятий сигнал за своєю природою, інтенсивністю та характером змін схожий на шуми та перешкоди в приймальному тракті. Тому основним завданням радіолокаційної системи є виявлення корисного радіосигналу, тобто прийняття рішення про наявність корисного сигналу в умовах спільного прийому корисного сигналу та перешкод, що називається вхідною реалізацією. Це статистичне завдання розв'язується за допомогою спеціального пристрою - виявника, в якому використовують алгоритм оптимального (найкращого) виявлення. Якість процесу виявлення характеризується ймовірністю правильного виявлення, коли наявний у вхідній реалізації сигнал розпізнається як такий, а також ймовірністю помилкової тривоги, коли перешкода розпізнається як корисний сигнал, хоча сам сигнал відсутній.

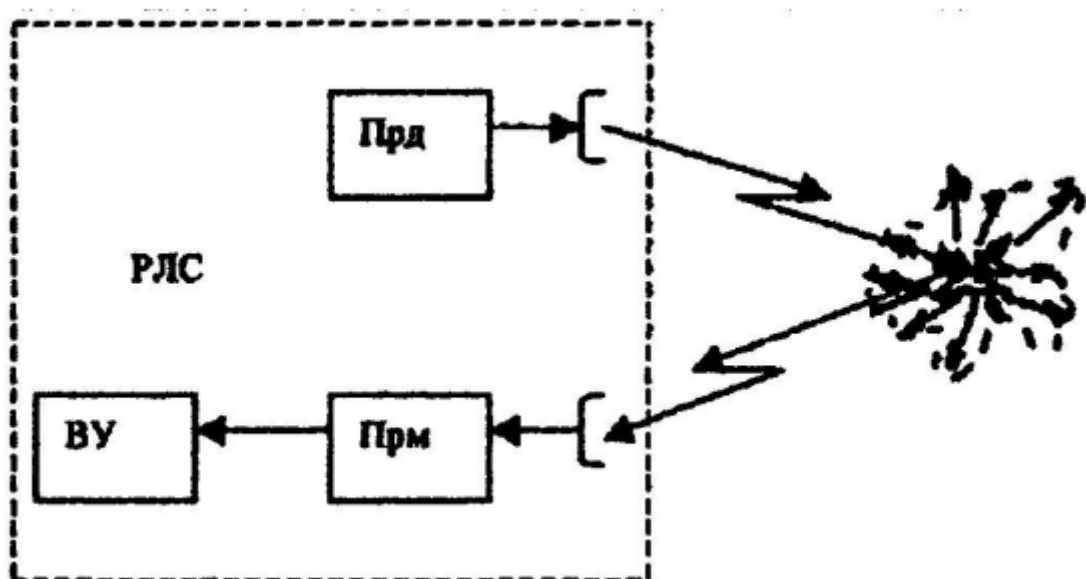


Рисунок 1.1 – принцип дії РЛС

Більшість параметрів радіосигналу апріорі невідомі, тому при виявленні необхідно проводити пошук потрібного параметра сигналу, відокремлюючи його від супутніх шумів і перешкод.

Передавач формує потужні високочастотні коливання. Залежно від того, яка антена використовується в радіолокаційній системі, передавач може бути реалізований у модульному варіанті і вбудованим в активну фазово-антенну решітку або у вигляді модулятора та одно- або багатокаскадного генератора радіочастоти для пасивної фазово-антенної решітки чи дзеркальної антени.

Приймач забезпечує прийом, обробку та виділення інформації з отриманого сигналу.

Короткі зондуючі імпульси, випромінені через антену, розсилаються у простір. Якщо на шляху поширення радіохвиль є об'єкт (ціль), частина електромагнітної енергії відбивається назад у бік радіолокаційної системи. Відбитий сигнал потрапляє до приймача, підсилюється та подається на вихідний пристрій для індикації та/або подальшої обробки (виявлення, вимірювання). [3]

Побудова РЛЗ з урахуванням сучасних технологій обробки інформації полягає:

- у використанні як антен фазованої антеної решітки (ФАР), що працює на передачу та прийом сигналів;

- як генератор пускових імпульсів синтезатора частоти – синхронізатора, що регламентує у часі порядок роботи та взаємодії основних блоків РЛС;

- як вихідний пристрій – цифровий процесор.

У результаті перспективна РЛС складається з ФАР, синтезатора синхронізатора, аналогового процесора (приймача), цифрового процесора та устрою відображення інформації.

Антена, призначена для прийому сигналів від цифрової обчислювальної машини (ЦВМ), відповідає за формування променів та їх переміщення для огляду простору. Радіопередавач генерує зондувальні сигнали, які випромінюються через антену. Радіоприймач підсилює слабкі відбиті сигнали

від мети та отримані антеною. Оскільки ці сигнали надходять у суміші з шумами та перешкодами, їх відділення виконується за допомогою узгоджених фільтрів зосередженої селекції та цифрових фільтрів. Зазвичай процесор сигналів (приймач) генерує електричні сигнали у цифровому форматі. Подальша обробка сигналів виконується у процесорі даних за програмами, вбудованими в нього алгоритмами обробки. Робочі частоти та часові інтервали в РЛС встановлюються за допомогою синтезатора-синхронізатора. Пристрій відображення інформації (УОІ) зазвичай реалізується на індикаторі з електроннопроменевою трубкою або на дисплеї процесора.

Кількість одночасно виявлених і супроводжуваних цілей визначається швидкістю систем обробки інформації - вихідним пристроєм, як правило, обладнаним цифровим процесором.

На рисунку 1.2а подано типове зображення кругового огляду (ІКО) радіолокаційної системи управління повітряним рухом (УВС). У цьому зображенні можна виділити радіальні та кругові мітки. РЛС розташована у центрі екрану, а яскраві точки є позначками цілей. Дальність можна визначити за радіусом, азимут мети - за кутом повороту радіуса, що проходить через позначку мети, відносно вертикалі, яка проходить через центр екрану. Кожна позначка на екрані супроводжується формуляром із необхідною інформацією про бортовий номер, висоту, дальність та азимут літака (рисунок 1.2, б). Щоб покращити помітність, на рисунку 1.2 здійснено інвертування зображення.

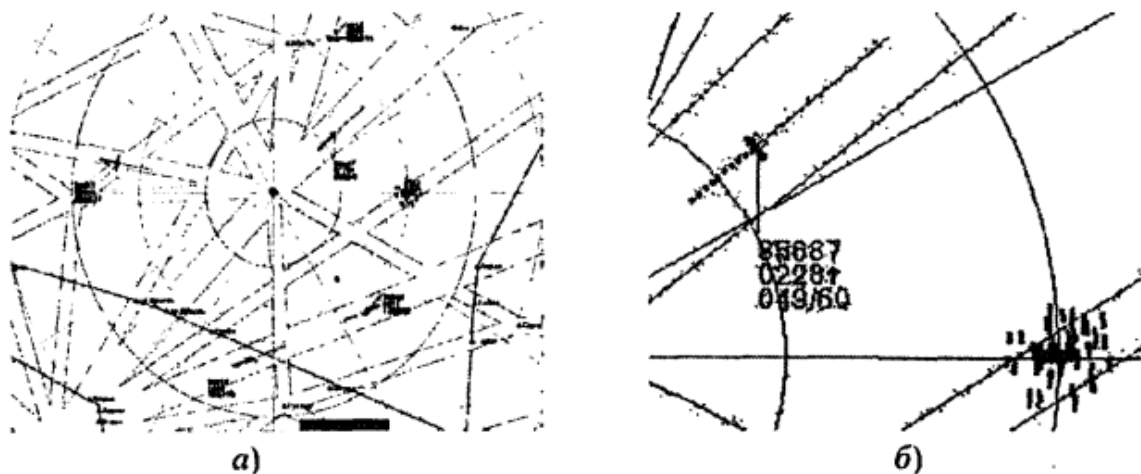


Рисунок 1.2 - Вид екрану РЛС

Отже, простіша радіолокаційна система (РЛС) складається з передавача (Прд), приймача (Прм), антенного пристрою, обчислювального пристрою та пристрою відображення інформації (УОІ). УОІ РЛС, крім виявлення об'єктів, виводить іншу інформацію про цілі, що дозволяє ідентифікувати об'єкти.

За розміщенням апаратури в просторі виокремлюють однопозиційні, двопозиційні (бістатичні) та багатопозиційні РЛС. Двопозиційні та багатопозиційні РЛС відрізняються тим, що їхні елементи розташовані у просторі, і ці системи можуть функціонувати як самостійно, так і спільно (розподілена радіолокація). Це дозволяє досягти великої інформативності та стійкості до перешкод, але водночас ускладнює саму систему.

Однопозиційні системи радіолокації (ОПРЛС) відрізняються тим, що вся апаратура розташована на одній позиції. Такі системи можуть працювати в активному чи пасивному режимі радіолокації. При активній радіолокації апаратура запитувача та відповідача розміщується на різних позиціях у просторі. Залежно від призначення РЛС та типу використовуваних сигналів, структури ОПРЛС можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Для розгляду роботи імпульсної активної РЛС виявлення повітряних цілей для управління повітряним рухом (УВС) розглянемо структуру, представлену на рисунку 1.3. Пристрій керування оглядом відповідає за зміну напрямку антени для огляду простору (зазвичай кругового) променем, який є вузьким у горизонтальній площині та широким у вертикальній. [4]

У розглянутій однопозиційній радіолокаційній системі (ОПРЛС) використовується імпульсний режим випромінювання. Після закінчення кожного зондувального радіоімпульсу антена, яка служить як передавач (Прд) та приймач (Прм), перемикається від Прд до Прм. Вона використовується для прийому до моменту генерації наступного зондувального радіоімпульсу, після чого антена знову підключається до передавача і так далі.

Ця операція виконується перемикачем приймання-передача (ППП). Імпульси запуску, які визначають період повторення сигналів зондуючих і синхронізують роботу всіх підсистем ОПРЛС, генеруються синхронізатором

(Сінх). Сигнал з приймача (Прм) після аналого-цифрового перетворення (АЦП) надходить на апаратуру обробки інформації – процесор сигналів. Тут відбувається первинна обробка інформації, яка включає виявлення сигналу та вимірювання координат цілі. Позначки цілей та траси траєкторій формуються під час вторинної обробки інформації у процесорі даних.

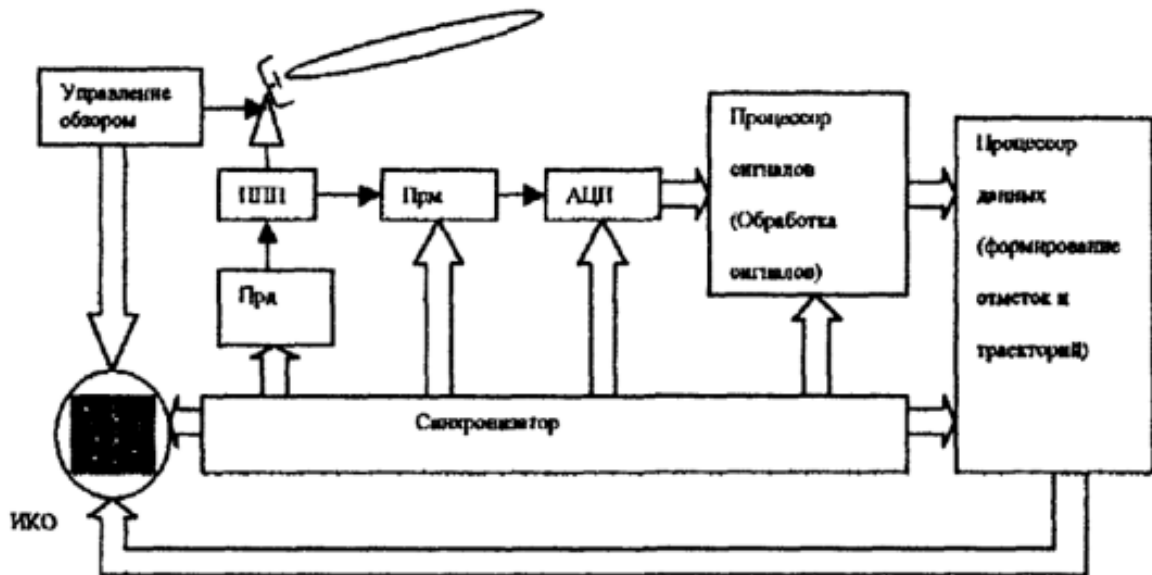


Рисунок 1.3 - Структурна схема РЛС виявлення повітряних цілей

Сформовані сигнали, разом із інформацією про кутове положення антени, передаються для подальшої обробки до командного пункту та для контролю на ІКО. При автономній роботі радіолокатора, ІКО є основним елементом спостереження повітряної обстановки. Така РЛС зазвичай веде обробку інформації у цифровій формі, для чого передбачено пристрій перетворення сигналу на цифровий код (АЦП).

Багатопозиційні радіолокаційні системи (МПРЛС) (рисунок 1.4) у загальному випадку поєднують однопозиційні (ОПРЛС1 і ОПРЛС2), бістатичні (БіРЛС1 - БіРЛС6) і пасивні (ПРЛС1 - ПРЛС4) РЛС, розташовані в різних точках простору. Відстань між позиціями РЛС називається базою (Б).

На рисунку 1.5 показана структура напівактивної МПРЛС із загальною передавальною та трьома рознесеними приймальними позиціями. МПРЛС

такого типу відомі як напівактивні. Видом напівактивної системи є БіРЛС. МПРЛС мають кілька баз, позначених як B_{jk} , де індекси j та k відповідають номерам або назвам позицій. Важливо відзначити, що в залежності від тактичного призначення та розташування елементів МПРЛС бази системи можуть змінювати своє положення та розміри під час перебазування або при розміщенні апаратури МПРЛС на рухомих об'єктах, включаючи атмосферні літальні апарати. Часто використовується комбіноване базування МПРЛС, наприклад, з передавальною апаратурою на ЛА та приймальною на Землі, або навпаки. Якщо під час переміщення чи перебазування взаємне розташування позицій залишається незмінним, тобто $B_{jk} = \text{const}$, то такі МПРЛС називаються МПРЛС з нерухомими базами. Всі інші системи входять до категорії МПРЛС з рухомими базами.

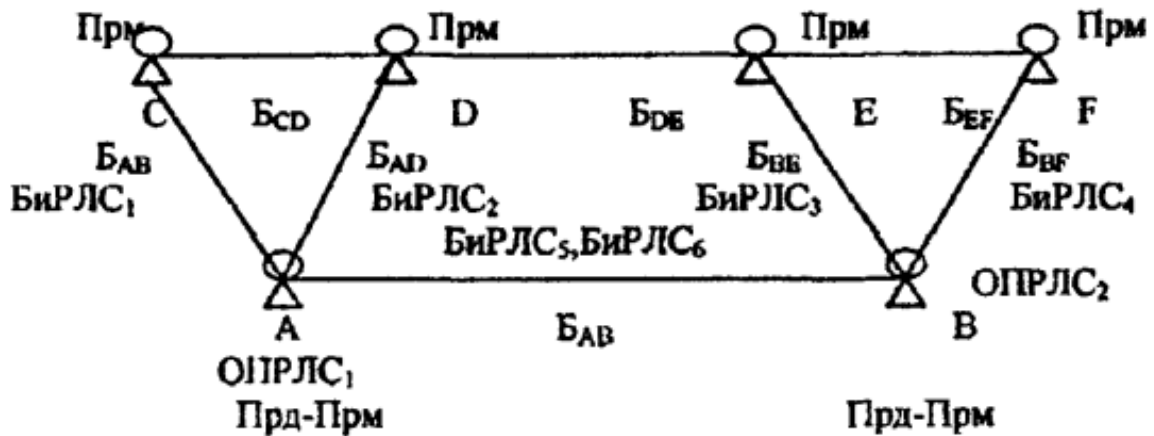


Рисунок 1.4 - Варіант структури МПРЛЗ

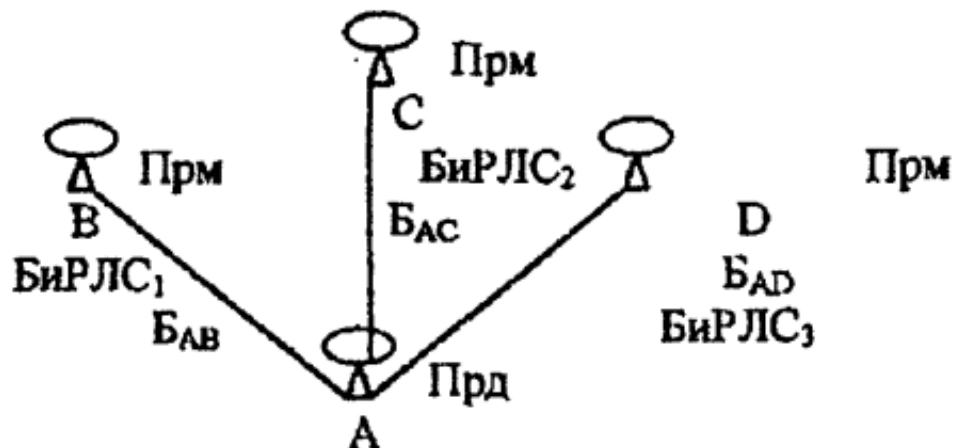


Рисунок 1.5 - Структура МПРЛС, що складається з БиРЛС

У сучасних МПРЛС використовуються як окремі види радіолокації, так і їх сукупність, і можна застосовувати різні методи визначення цілей у просторі. Ці особливості призводять до більшої перешкодозахищеності системи в цілому. При рознесенні РЛС у просторі кожна позиція може містити приймальну апаратуру (пасивна МПРЛС), приймальну та передавальну апаратуру (пасивно-активна МПРЛС) чи апаратуру ОПРЛС (активна МПРЛС).

У загальній структурі МПРЛС (рисунок 1.6) можна виділити основні компоненти системи: апаратуру рознесених позицій (П), канали передачі інформації (1), канали синхронізації (2) і пункт обробки інформації (ПОІ), де сигнали від рознесених позицій та інформація об'єднуються і обробляються спільно. Це дозволяє реалізувати ряд переваг МПРЛЗ перед однопозиційною РЛЗ.

Основними з цих переваг є:

- можливість формування складних просторових зон огляду;
- найкраще використання енергії в системі;
- велика точність вимірювання розташування цілей у просторі;
- можливість виміру повного вектора швидкості цілей.
- підвищення перешкодозахищеності відносно активних та пасивних перешкод, а також збільшення надійності виконання тактичного завдання. [5]

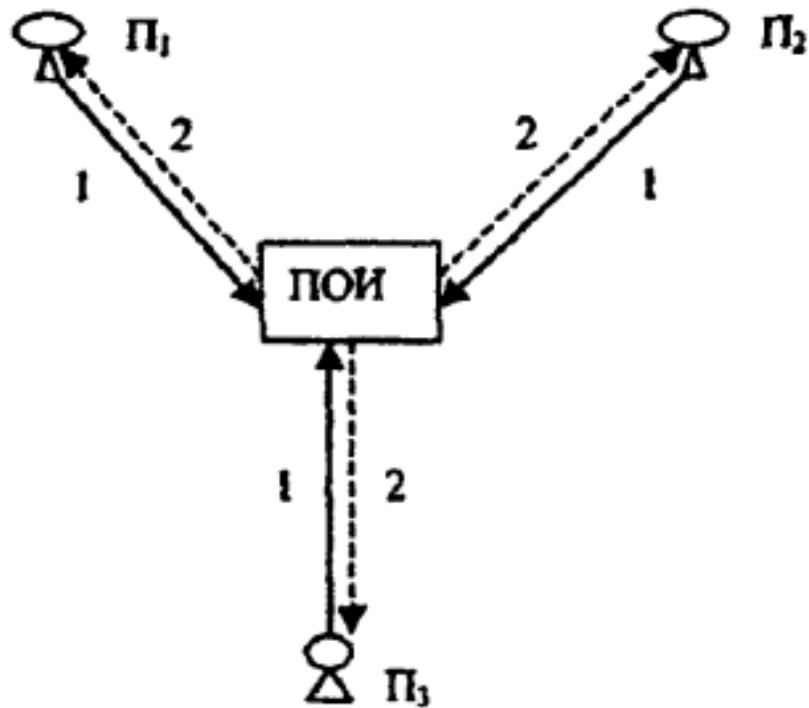


Рисунок 1.6 - Узагальнена структурна схема МПРЛЗ

Однак ці переваги досягаються ціною збільшення складності та вартості системи. Виникає необхідність синхронізації роботи позицій (зокрема під час огляду простору) та організації ліній передачі. Зростає і складність обробки інформації через великий обсяг. Однак, незважаючи на зазначені недоліки, МПРЛС набули широкого поширення в практиці радіолокації.

Залежно від завдання, яке вирішується в процесі обробки інформації в МПРЛЗ, розрізняють первинний, вторинний та третинний види обробки. Первинна обробка полягає в виявленні сигналу мети та вимірюванні її координат з відповідними якістю або похибками. Вторинна обробка передбачає визначення параметрів траєкторії кожної мети за сигналами однієї чи кількох позицій МПРЛС, включаючи операції ототожнення позначок цілей. При третинній обробці поєднуються параметри траєкторій цілей, отриманих різними приймальними пристроями МПРЛЗ з ототожненням траєкторій.

Залежно від використання фазової інформації, що міститься у відбитих від мети сигналах на рознесених позиціях, виділяють МПРЛС з просторовою когерентністю, короткочасною просторовою когерентністю та попространственно-некогерентні.

Просторова когерентність визначається здатністю зберігати жорсткий зв'язок фаз високочастотних сигналів на рознесених позиціях. Ступінь просторової когерентності залежить від довжини хвилі сигналу, величини баз МПРЛС та розмірів мети, а також від неоднорідностей параметрів трас поширення радіохвиль.

Якщо мету вважати точковою, то фазовий фронт хвилі має форму сфери, а прийняті на рознесених позиціях сигнали жорстко пов'язані фазою і когерентні. При протяжних цілях фазовий фронт формується у процесі інтерференції електромагнітних хвиль від локальних центрів відбиття («блискучих» точок) мети. Велика довжина цілі призводить до флуктуацій фазового фронту, які можуть порушити просторову когерентність (кореляцію) сигналів, прийнятих на рознесених позиціях.

Просторово-когерентні МПРЛС отримують всю інформацію, що міститься в просторовій структурі поля радіовипромінювання, аж до фазових співвідношень. У цих МПРЛС фазові набіги в каналах прийому та обробки сигналів різних просторових позицій однакові в інтервалах часу, що набагато перевищують тривалість сигналу (істинно когерентні системи). Тому апаратура позицій синхронізується в часі, а також за частотою та фазою високочастотних коливань. Рознесені позиції утворюють специфічно розташовану фазово-антенну решітку (ФАР).

Системи з короткочасною просторовою когерентністю мають сталість фазових співвідношень у трактах апаратури позицій у межах тривалості використовуваного сигналу (псевдокогерентні системи). У таких системах можна витягувати інформацію про доплерівські частоти зміни фаз в межах тривалості сигналу, але неможливо здійснювати фазову пеленгацію, оскільки сигнали, що приймаються на позиціях, некогерентні в той самий момент часу. Апаратура позицій синхронізується за часом і частотою, але не фазою.

Просторово-некогерентні РЛС обробляють сигнали після їх детектування, але до об'єднання на пункті обробки інформації МПРЛС. Тут не потрібна синхронізація апаратури позицій за частотою та фазою. Слід зазначити, що

просторова некогерентність не суперечить тимчасовій когерентності сигналів, які у апаратурі кожної позиції. Тому на кожній позиції можна вимірювати радіальну складову швидкості за доплерівським зсувом частоти.

У пункті обробки інформації можливе поєднання когерентних сигналів (когерентне об'єднання), відеосигналів, виявлених позначок та одноразових вимірювань (результатів одноразового вимірювання параметрів сигналу та інших елементів), а також поєднання траєкторій.

Когерентне об'єднання – найвищий рівень поєднання інформації. Радіочастотні сигнали від позицій МПРЛС надходять на центральний пункт обробки інформації, де виконуються всі операції виявлення, ототожнення та визначення параметрів руху мети та її розташування. Система, в якій здійснюється когерентне об'єднання сигналів, має найбільші можливості, оскільки в ній можна використовувати просторову когерентність сигналів, при якій відсутні випадкові зміни різниці фаз сигналів, що приймаються на позиціях МПРЛС. Така система відрізняється найбільшою простотою апаратури приймальних позицій, проте ускладнюється пунктом обробки інформації та потребує широкосмугових ліній передачі сигналів з високою пропускнуою здатністю.

Об'єднання траєкторій – це нижчий рівень поєднання інформації. Сигнали надходять з позицій після вторинної обробки та відсіювання помилкових позначок цілей, тому більшість обчислювальних операцій виконується на позиціях МПРЛС, апаратура яких є найбільшою за складністю. Апаратура центру обробки інформації спрощується, а лінії зв'язку працюють у більш сприятливих умовах.

Отже, за характером розміщення частин апаратури у просторі виділяють однопозиційні, двопозиційні (бістатичні) та багатопозиційні РЛС. У МПРЛС обробка інформації проводиться на кількох етапах та об'єднується. Рівень об'єднання інформації, тобто чим менше інформації втрачається на приймальних позиціях до спільної обробки, тим вищі енергетичні та інформаційні можливості

МПРЛЗ, але тим складніша апаратура центрального пункту обробки та вищі вимоги до пропускну здатності ліній передачі. [6]

1.2 Класифікація РЛС

Слово "Радар" є аббревіатурою для RAdio Detection And Ranging, що означає радіовиявлення та вимірювання координат і властивостей різних об'єктів за допомогою радіохвиль. У загальному випадку радіолокаційні системи використовують модульовані сигнали та спрямовані антени для передачі електромагнітної енергії в певну область простору для пошуку цілей. Об'єкти або мети в області пошуку відображають частини цієї енергії (радарні ехо або луна-сигнали) назад у бік радара. Ці ехо-сигнали потім обробляються приймачем радіолокатора для отримання цільової інформації, такої як дальність, швидкість, кутове положення та інші характеристики для ідентифікації цілей.

Радари можуть бути класифіковані як наземне базування, повітряне, космічне або корабельне базування радіолокаційної системи. Їх також можна розділити на численні категорії на основі конкретних характеристик радара, таких як смуга частот, тип антени та форм сигналів, що використовуються. Інша класифікація стосується місії та/або функціональності радара, що включає:

- РЛС виявлення;
- РЛС управління та стеження;
- панорамні РЛС;
- РЛС бокового огляду;
- метеорологічні РЛС;
- РЛС цілевказівки;
- РЛС контрбатареїної боротьби;
- РЛС огляду ситуації.

Фазовані антенні решітки широко використовуються в радарх і часто відомі як багатофункціональні або багатомодові радари. Фазована решітка є композитною антеною, яка складається з двох або більше елементарних випромінювачів. Такі ґрати антенн синтезують вузькі та спрямовані промені, які

можуть бути керовані механічним чи електронним способом. Електронне керування променем досягається зміною фази електричного струму, що живить елементи решітки, і це визначає назву фазованих систем.

Радіолокатори найчастіше класифікуються за типами випромінюваних сигналів, або робочою частотою. Розглянемо спочатку типи сигналів, які використовуються радарями, такі як безперервне випромінювання (CW) або імпульсні радари (PR). Радіолокатори безперервного випромінювання постійно випромінюють електромагнітну енергію та використовують окремі передавальні та приймальні антени. Немодульовані радіолокатори CW можуть точно вимірювати радіаційну швидкість мети (через зсув доплерів) і кутове положення. Інформацію про відстань до мети можна отримати лише за умови використання будь-якої форми модуляції. Основне застосування немодульованих радарів CW полягає в пошуку та відстеженні швидкості, а також в керуванні ракетами. На рисунку 1.7 показана безперервна хвиля та імпульсні випромінювання.

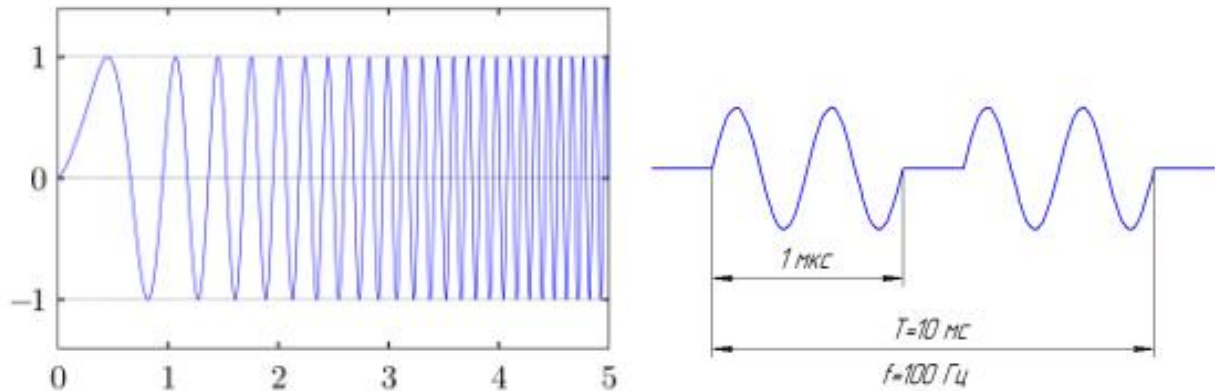


Рисунок 1.7 - Безперервна хвиля та імпульсні випромінювання

Імпульсні радіолокатори використовують послідовність імпульсних сигналів, часто з модуляцією. Радіолокаційні системи цієї категорії можна класифікувати залежно від частоти повторення імпульсів (PRF) на низькочастотні PRF, середні PRF та високочастотні радіолокаційні станції.

Радари з низькою частотою повторення імпульсів переважно використовуються для визначення відстані до мети, при цьому швидкість мети (доплерівський зсув) не є основною ціллю. Радіолокатори з високою частотою

PRF в основному використовуються для вимірювання швидкості мети. Як безперервні, так і імпульсні радары можуть вимірювати як відстань до мети, так і радіальну швидкість, використовуючи різні схеми модуляції. [7] В таблиці 1.1 приведена класифікація РЛС згідно з робочою частотою

Таблиця 1.1 - Класифікація РЛС згідно з робочою частотою

| Позначення IEEE/ITU | Частоти | Довжина хвилі | Примітки |
|---------------------|--------------|---------------|---|
| HF | 3-30 МГц | 10-100 м | Радари берегової охорони, «загоризонтні» РЛС |
| P | < 300 МГц | > 1 м | Використовувався у перших радарах |
| VHF | 50-330 МГц | 0,9-6 м | Виявлення на великих дальностях, дослідження Землі |
| UHF | 300—1000 МГц | 0,3—1 м | Виявлення на великих дуальностях (наприклад, артилерійського обстрілу), дослідження лісів, поверхні Землі |
| L | 1—2 ГГц | 15—30 см | спостереження та контроль над повітряним рухом |
| S | 2—4 ГГц | 7,5—15 см | керування повітряним рухом, метеорологія, морські радары |

Продовження таблиці 1.1

| Позначення IEEE/ITU | Частоти | Довжина хвилі | Примітки |
|---------------------|-----------|---------------|--|
| C | 4—8 ГГц | 3,75-7,5 см | метеорологія, супутникове мовлення, проміжний діапазон між X та S |
| X | 8—12 ГГц | 2,5-3,75 см | управління зброєю, наведення ракет, морські радары, погода, картографування середнього дозволу; у США діапазон 10,525 ГГц \pm 25 МГц використовується в РЛС аеропортів |
| Ku | 12-18 ГГц | 1,67-2,5 см | картографування високої роздільної здатності, супутникова альтиметрія |
| K | 18—27 ГГц | 1,11-1,67 см | використання обмежене через сильне поглинання водяною парою, тому використовуються діапазони Ku та Ka. Діапазон K використовується для виявлення хмар, поліцейських дорожніх радарах (24,150 \pm 0,100 ГГц). |
| Ka | 27-30 ГГц | 0,75-1,11 см | Картографування, керування повітряним рухом на коротких |

| | | | |
|----|------------|------------|--|
| | | | дистанціях, спеціальні радары, керуючі дорожніми фотокамерами (34,300±0,100 ГГц) |
| mm | 30—300 ГГц | 1—7,5 мм | міліметрові хвилі, поділяються на два наступних діапазону |
| V | 40-75 ГГц | 4,0-7,5 мм | медичні апарати КВЧ, що застосовуються для фізіотерапії |
| W | 75-110 ГГц | 2,7-4,0 мм | сенсори в експериментальних автоматичних транспортних засобах, високоточні дослідження погодних явищ |

Високочастотні (HF) радары використовують відбиток електромагнітних хвиль від іоносфери виявлення цілей за горизонтом.

Смуги дуже високої частоти (УКХ) та надвисокої частоти (УВЧ) широко використовуються для радарів раннього попередження дальнього радіусу дії (EWR). Прикладами можуть бути системи пошуку раннього попередження про балістичні ракети (BMEWS), які працюють на частоті 245 МГц, та радіолокаційний приймач (PAR) з фазованими антенними решітками. Ці системи мають велику довжину хвилі та вимагають великих апертур для забезпечення високої чутливості для вимірювань на великому діапазоні відстаней.

Радары в L-діапазоні використовуються як наземні, так і суднові системи для спостереження за військовим і повітряним рухом на великі відстані. Наземні та корабельні радары середнього радіусу дії часто працюють у S-діапазоні.

X-діапазон використовується для радіолокаційних систем, де розмір антени обмежується фізичними обставинами, включаючи багатофункціональні бортові радары у військових літаках. Також, радарні системи, які потребують високої здатності виявлення цілей і не можуть переносити атмосферне згасання в більших смугах частот, можуть використовувати X-діапазон. Високі смуги частот, такі як Ku, K і Ka, часто обмежені атмосферним згасанням і суворими погодними умовами. Тому радары, які використовують ці смуги частот, можуть бути призначені для застосувань із малим радіусом дії, такими як поліцейські радары, а також для коротких відстаней та рельєфних зон.

Основними тактичними характеристиками радіолокаційних систем є зона і період огляду, вимірювані параметри мети, роздільна здатність, точність вимірювань, перешкодозахищенність, мобільність та надійність. Ці характеристики визначають можливості практичного використання радіолокаційних засобів.

Зона огляду – це область простору, з якої станція радіолокації періодично витягує інформацію про просторові, швидкісні та, можливо, інші параметри цілей, які знаходяться в цій області. У сферичній системі координат зона огляду обмежується мінімальною та максимальною дальністю дії, а також граничними значеннями кутів азимуту та кута місця. Іноді зону огляду розглядають у багатовимірному просторі, координатами якого є дальність, кути місця та азимуту, а також швидкість та прискорення.

Період огляду – це час, за який радіолокаційна система завершує вивчення всієї зони огляду та отримує дані про всі цілі в цій області. Ця характеристика важлива для визначення частоти оновлення інформації, що вивчається системою, і впливає на здатність системи вчасно виявляти та відстежувати рух цілей в обраній зоні огляду.

До інших важливих вимірюваних параметрів мети можуть належати відстань до цілі, її азимут, кут місця, швидкість та інші. Важливою є також роздільна здатність, яка визначає здатність системи виділяти дві близькі цілі та розрізняти їх одна від одної. Висока роздільна здатність дозволяє системі точніше визначати параметри окремих цілей в щільних областях. [8]

Дальність дії радіолокаційних засобів (РЛЗ) залежить від їхнього призначення. Наприклад, дальність дії РЛС огляду льотного поля може становити кілька кілометрів, у посадочних РЛС – десятки кілометрів, а в загоризонтних РЛС систем ПРО – тисячі кілометрів.

Період огляду є важливою характеристикою РЛЗ і визначає час, протягом якого проводиться огляд зони дії. Вибір періоду огляду залежить від швидкості переміщення цілей: чим вища швидкість, тим коротший повинен бути період огляду для забезпечення безперервного спостереження.

Вимірювані параметри цілі включають дальність, азимут і висоту

політного об'єкта. Зондувальні РЛЗ можуть вимірювати лише дві координати для наземних і надводних цілей, але для повітряних цілей вимагається вимірювання третьої координати – висоти польоту.

Точність виміру координат визначається призначенням РЛЗ. РЛС контрбатареї та контрракетної боротьби мають високу точність вимірювання координат порівняно з РЛС далекого виявлення.

Роздільна здатність РЛС характеризує можливість роздільного спостереження близько розташованих цілей. Роздільна здатність може бути за дальністю, напрямком та швидкістю.

Перешкодозахищеність визначається здатністю РЛЗ працювати в умовах різних природних і штучно створених перешкод.

Надійність – властивість РЛЗ зберігати свої тактичні характеристики при заданих умовах експлуатації. Кількісна надійність визначає ймовірність безвідмовної роботи протягом встановленого часу.

Технічні параметри включають довжину хвилі, ширину спектра сигналу, тривалість та період повторення, чутливість приймального пристрою, ширину діаграми спрямованості антени, рівень бічних пелюсток тощо. Ці характеристики повинні забезпечувати виконання тактичних характеристик, заданих у технічному завданні проектування.

1.3 Введення в теорію ФАР та АФАР

Антенa, призначена для встановлення зв'язку зі штучним супутником Землі, повинна мати зосереджений промінь, який точно спрямований на об'єкт зв'язку. Однак для здійснення стеження за об'єктом зв'язку за допомогою, наприклад, наземної параболічної антени розміром близько десяти метрів, необхідно повертати всю цю габаритну систему. У таких випадках потрібна антенa, яка має напрямок променя, пов'язаний з орієнтацією всієї антени як механічної конструкції. Це може бути реалізовано за допомогою антени з електронним скануванням, де огляд простору в заданому секторі кутів відбувається за допомогою електронного, а не механічного руху променя антени.

Найбільш поширеним рішенням для такого типу антен є фазовані решітки

з електронним скануванням. Елементами цієї решітки можуть бути як прості випромінювачі, так і самостійні антенні пристрої, такі як параболічні дзеркальні антени. Ланцюги живлення таких випромінювачів організовані так, що хвиля, що формується кожним елементом решітки, когерентна з випромінюванням всієї системи. У той час як фаза цих сигналів може змінюватись за необхідними вимогами (рисунок 1.8).

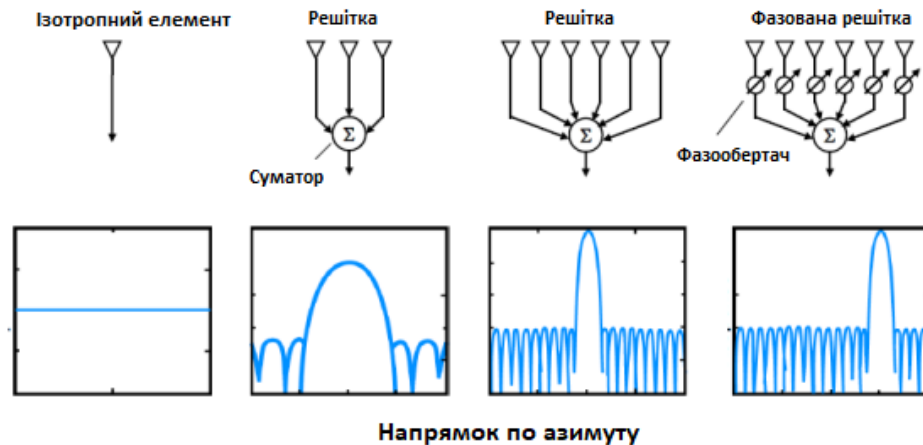


Рисунок 1.8 - Узагальнена схема ФАР

Таким чином, керуючи фазою випромінюваної хвилі кожного окремого елемента та фазовим розподілом системи в цілому, можна формувати промінь антени в заданому напрямку.

1.4 Аналіз переваг та будов РЛС з ФАР

З аналізу технічних вимог, що пред'являються до радіолокаційної системи, випливає, що їй необхідно мати високі пошукові можливості при високих точнісних характеристиках і забезпечувати гарантоване функціонування у складній електромагнітній та перешкодовій обстановці.

Джерелом інформації радіолокації є радіолокаційний сигнал. Залежно від способів його отримання розрізняють такі види спостереження радіолокації.

Радіолокація з пасивною відповіддю ґрунтується на тому, що випромінювані РЛС коливання (зондуєчий сигнал) відбиваються від мети і потрапляють у приймач РЛС у вигляді відбитого сигналу, або, як його ще називають, ехо-сигналу (рисунок 1.9а). Такий вид спостереження іноді

називають активною радіолокацією з пасивною відповіддю. Він є найпоширенішим. Важливою вимогою до цілей у цьому випадку є відмінність їх властивостей, що відбивають, від властивостей навколишнього середовища (радіолокаційний контраст).

Радіолокація з активною відповіддю, відома як активна радіолокація з активною відповіддю, або просто активна радіолокація, або вторинна радіолокація, відрізняється тим, що сигнал у відповідь є не відображеним, а перевипромінюваним за допомогою спеціального відповідача – ретранслятора (рисунок 1.9б). Наприклад, цей підхід застосовується для спостереження штучних супутників Землі, а також для визначення державної власності літаків за допомогою спеціальних кодів.

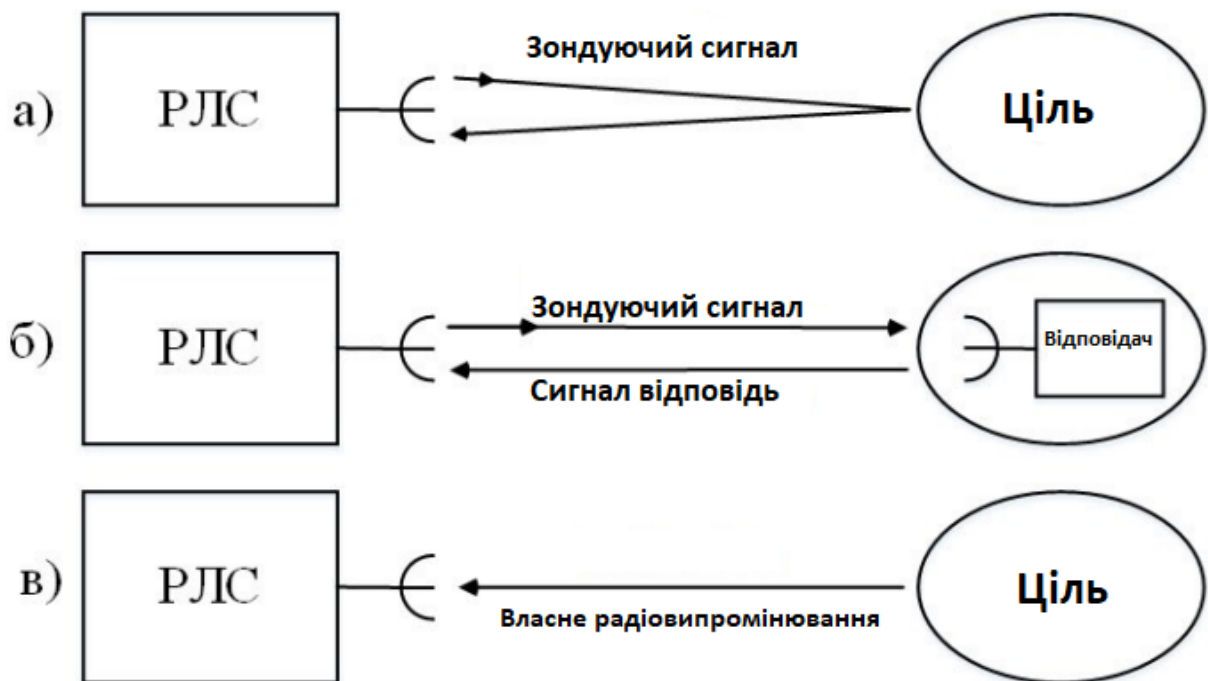


Рисунок 1.9 - Види радіолокаційного спостереження

У цивільній авіації метод активної відповіді використовується досить широко, оскільки сигнал у відповідь може містити багато додаткової корисної інформації (висота польоту, яку може надати бортовий висотомір точніше, ніж наземні РЛС, інформація про кількість палива, номер літака та інше), яка

необхідна для управління повітряним рухом (УПР), особливо при використанні автоматизованих систем УПР (АС УПР).

Пасивна радіолокація (пасивне радіоспостереження) ґрунтується на прийомі власного радіовипромінювання цілей (рисунок 1.9в). Якщо зондуєчий сигнал у двох попередніх випадках може бути використаний як опорний, що забезпечує можливість вимірювання дальності та швидкості, то в даному випадку така можливість відсутня. За допомогою термічного радіовипромінювання у міліметровому, сантиметровому, дециметровому діапазонах можна вирішувати різноманітні господарські завдання, такі як спостереження за станом посівів, визначення вологості ґрунту, виявлення лісових та підземних пожеж, льодова розвідка, а також деякі навігаційні завдання (наприклад, вимірювання дорожньої швидкості). Відомі також військові застосування, пов'язані із виявленням штучних об'єктів. Крім того, різновидом пасивної радіолокації є спостереження за грозами (у довгохвильовому діапазоні).

Загальна характеристика каналу радіолокації. Систему РЛС можна розглядати як радіолокаційний канал, аналогічний радіоканалам зв'язку та телеметрії. Основними складовими частинами РЛС є передавач, приймач, антени та кінцеві пристрої. У більшості РЛС передавальні та приймальні антени розташовані в безпосередній близькості одна від одної, а РЛС з імпульсною модуляцією зазвичай має одну антену, обладнану спеціальним перемикачем для зміни режиму передачі в режим прийому і навпаки. Такі РЛС називаються однопозиційними (сумісними або моностатичними). В деяких випадках, наприклад, для стеження за космічними об'єктами, що перебувають на орбіті, можуть застосовуватися РЛС з великим розміщенням передавальних та приймальних пристроїв. Ці РЛС називаються багатопозиційними (віддаленими або бістатичними). Розмір дистанції розташування повинен бути значно більшим за величину помилки вимірювання дальності даної РЛС.

Передавач РЛС генерує високочастотні (НВЧ) коливання, які модулюються за амплітудою, частотою або фазою, іноді дуже складним чином. Ці коливання подаються в антенний пристрій і формують сигнал, який зондує

оточуючий простір. Зонduючий сигнал у вигляді послідовності коротких радіоімпульсів, рівновіддалених за часом, знаходить найбільше застосування. Крім простих ("гладких") радіоімпульсів, можуть використовуватися внутрішньоімпульсна частотна модуляція та фазова маніпуляція (ФМ). Іншим видом зондувального сигналу є неперервний сигнал. Тут, окрім гармонійних коливань, можуть використовуватися частотномодульовані (ЧМ) та інші типи.

Після того, як електромагнітна хвиля, яка падає на ціль (первинна хвиля), викликає в її тілі вимушені коливання електричних зарядів, ціль, аналогічно звичайній антені, створює своє електромагнітне поле. Це поле є вторинним, тобто відбитим, електромагнітним випромінюванням, яке створює в РЛС радіолокаційний сигнал, який несе інформацію про ціль. Так, амплітуда сигналу в певному розумінні характеризує розміри і відбивають властивості цілі, час запізнення відносно початку випромінювання зонduючого сигналу використовується для вимірювання дальності, а частота коливань завдяки ефекту Доплера несе інформацію про радіальну швидкість цілі.

Поляризаційні параметри відбитої хвилі можуть бути використані для оцінки властивостей цілі (її форми, співвідношення між розмірами). Нарешті, напрям приходу відбитої хвилі містить інформацію про кутові координати цілі.

Приймач РЛС необхідний для виділення корисного сигналу з перешкод (так звана первинна обробка сигналу). Вихідний пристрій служить для подання радіолокаційної інформації у відповідній формі споживачеві. Якщо споживачем є людина-оператор, використовується візуальна індикація. Для споживача у формі обчислювального пристрою дискретної дії (або сучасного електронно-обчислювального пристрою - ЕОМ), використовується радіолокаційна інформація, перетворена на двійковий код. При цьому в ЕОМ відбувається подальша, так звана вторинна обробка сигналу (аналогічна діям людини-оператора).

Важливою складовою радіолокаційного каналу, як і будь-якого радіоканалу, є перешкоди. Внутрішні шуми викликають придушення корисного сигналу, а також поява помилкового сигналу і вносять помилки вимірювані

координати. Поруч із флуктуації швидкості і напрями поширення радіохвиль у атмосфері можна як перешкоди. Таку ж дію надають пасивні перешкоди – джерела хибних відбитків (наприклад, відбиття від земної поверхні під час спостереження цілей). Іншим джерелом перешкод є флуктуації центру відображення мети, що рухається щодо траєкторії руху. Це призводить до флуктуацій, зокрема до випадкових пропадань відбитих сигналів, які також можна розглядати як перешкоди. Джерела радіовипромінювань, що заважають, утворюють активні перешкоди (проти РЛС військового призначення можуть спеціально створюватися організовані активні перешкоди, можливі також організовані пасивні перешкоди).

В умовах великої насиченості радіозасобами помітний вплив можуть надавати активні взаємні перешкоди. Заходи, створені задля їх придушення, забезпечують електромагнітну сумісність.

Головні етапи радіолокаційного спостереження – це виявлення, вимірювання, дозвіл та розпізнавання.

Виявленням називається процес прийняття рішення про наявність цілей із припустимою ймовірністю помилкового рішення.

Вимір дозволяє оцінити координати цілей і параметри їх руху з допустимими похибками.

Існуючі РЛС виявлення різних типів повітряних цілей є РЛС кругового огляду, які для режиму супроводу цілей можуть забезпечити частоту їх обслуговування, що визначається швидкістю обертання антени РЛС, і складову не менше 3 с.

За допомогою антен з електричним скануванням можна отримати більшу швидкість огляду простору.

Досвід показав, що електричне сканування зручно здійснювати за допомогою багатоелементних антен (решіток). Антенні решітки (АР) з електрично керованим променем отримали назву антенних решіток з електричним скануванням.

Вони поділяються на:

- фазовані антенні решітки (ФАР), у яких фазовий розподіл регулюється за допомогою фазообертачів, включених у лінії живлення випромінювачів;
- ґрати з комутаційним скануванням, які мають фаза поля (струму) кожного випромінювача приймає лише кілька дискретних значень;
- решітки із частотним скануванням, у яких зміна робочої частоти регулює фазовий розподіл.

Знаходять застосування також АР з обробкою сигналу. Шляхом відповідної (наприклад, логічної, кореляційної) обробки сигналів, що надходять від елементів антеної решітки, досягаються задані електричні параметри у таких антен: ширина ДН, відношення сигнал/шум, рівень бічних пелюсток.

Сканування може бути одномірним (положення головної пелюстки змінюється тільки по одній кутовій координаті) і двовимірним (положення головної пелюстки змінюється по обох кутових координатах).

Для супроводу маневруючих цілей, таких як безпілотні літальні апарати, гіперзвукові крилаті ракети швидкість супроводу мети для запобігання можливості скидання її з супроводу повинна бути не більше ніж 1 с. За допомогою застосування ФАР можна забезпечити таку частоту обслуговування цілі.

1.4 Радіолокаційні цілі

Об'єктами (цілями) локації є аеродинамічні (літаки, автоматичні аеростати, повітряні кулі) і ракетні ЛА, що рухаються в атмосфері, а також підводні кораблі.

Залежно від геометрії ЛА, їх радіолокаційних та льотнотехнічних характеристик розрізняють:

- літаки стратегічної авіації (СА);
- літаки тактичної та палубної авіації (ТА);
- стратегічні крилаті ракети (СКР) - ударні безпілотні літаки, що не повертаються;
- авіаційні та зенітні ракети різних класів;

- безпілотні або дистанційно пілотовані ЛА;
- автоматичні дрейфуючі аеростати (АДА) та повітряні кулі (у перспективі, можливо, і дирижаблі);
- бойові кораблі у надводному положенні.

Для вирішення завдань РЛО та супроводу цілей розміри елементів дозволу РЛС РТВ повинні вибиратися так, щоб цілі можна було вважати «точковими» об'єктами. Застосований метод послідовного кругового огляду вузькими по азимуту променями з темпом $T_{обз} = 10$ (5) з призводить до малих часів опромінення мети $t_{обл} = 30 \dots 120$ мс, отже, і тимчасовий контакт РЛС з метою вважатимуться «точковим».

Основною радіолокаційною характеристикою мети є ефективна площа розсіювання (ЕПР) радіохвиль оц, яка визначається виключно конкретною геометрією та матеріалами поверхні об'єкта локації. Під ЕПР об'єкта розуміють таку поверхню ідеалізованого об'єкта, яка рівномірно розсіює всю енергію, що падає на нього, створюючи в точці прийому таку ж щільність потоку відбитої енергії, як і реальний ланцюг.

Величина ЕПР оц кожної конкретної мети є змінною і випадковою для спостерігача величиною, яка залежить від результату інтерференції радіохвиль, відбитих домінуючими відбивачами мети – «блискучими» точками. Значення ЕПР оц залежить від ракурсу θ оц мети, довжини хвилі λ РЛС, кількості та взаємного розташування «блискучих» точок та їхнього вкладу в сумарний ехо-сигнал. На рисунку 1.10 показано діаграми зворотного вторинного випромінювання літака

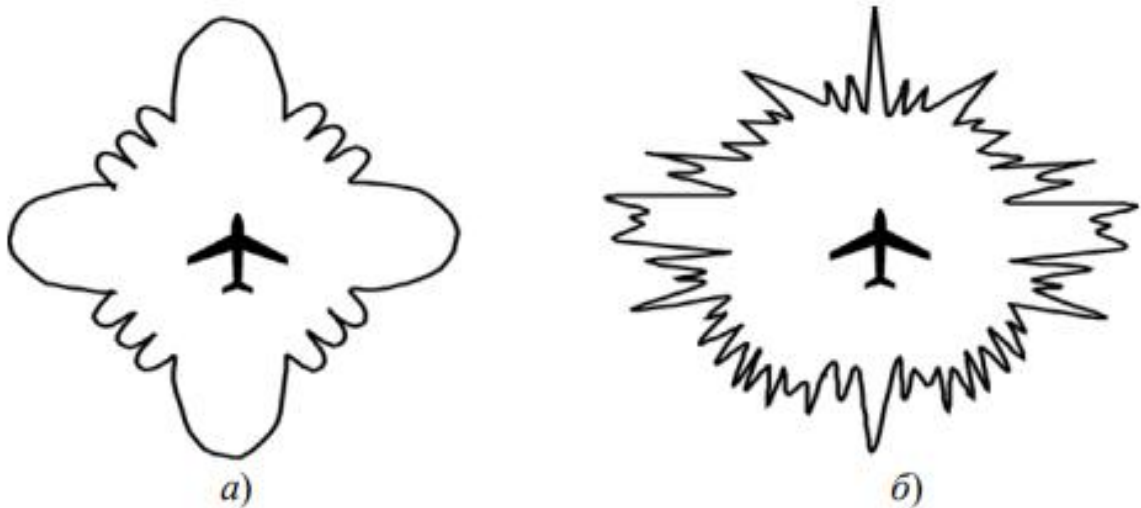


Рисунок 1.10 - Діаграми зворотного вторинного випромінювання літака у горизонтальній площині при $\lambda = 3..5$ м (а) та $\lambda = 10$ см (б)

У будь-якій меті, що летить з параметром щодо РЛС, кут θ ц безперервно змінюється, що призводить до змін середнього значення σ ц за час опромінення тобл і навіть від імпульсу до імпульсу, викликаним обертанням турбін (гвинтів) ЛА та вібраціями елементів конструкції в польоті.

При виявленні цілей на граничних дальностях використовують суму ехосигналів за час обл t , тому основними даними для характеристики цілей є дані про середнє значення σ ц і характер флюктуацій (закон їх розподілу).

Порізаність діаграми σ ц(θ ц) (рисунок 1.10) та міжоглядові флюктуації ехосигналів, аж до глибоких завмирань, в основному виявляються на більш коротких дециметрових (ДМВ) та сантиметрових (СМВ) хвилях і при збільшенні розмірів та складності форми ЛА зростають. Тому в РЛС сантиметрового діапазону хвиль отримати коефіцієнт провідки $K_{\text{пров}} = 0,8 \dots 0,9$ мети в ЗО можна лише за рахунок невиправданого збільшення потенціалу РЛС, а в метровому діапазоні хвиль (МВ) безперервне проведення Цілі ($K_{\text{пров}} = 1$) порівняно легко забезпечується (імпульсна потужність РЛС СМВ досягає $1 \dots 3$ МВт, а РЛС МВ - сотень кВт).[10]

Якщо зондуєчий сигнал досить вузькосмуговий і ціль можна вважати точковою, зміною величини σ ц в межах ширини спектра сигналу можна знехтувати, але для різних ділянок робочого діапазону частот РЛС залежність

$\sigma_{\text{ц}}(f_0)$ відчутна. Так, при фіксованому ракурсі $\theta_{\text{ц}}$ на різних несучих частотах f_{0i} , $i = 1, 2$ значення випадкової величини $\sigma_{\text{ц}}$ можна вважати незалежними, якщо різниця частот $\Delta f_{ik} = f_{0i} - f_{0k}$ досить велика.

Цей фактор використовується в багаточастотних РЛС РТВ для зменшення шкідливого впливу флюктуацій $\sigma_{\text{ц}}$, але він знижує точність вимірювання кутових координат мети в РЛС з частотним скануванням променя антени.

Противник прагне зменшити ЕПР своїх СВН. Це досягається як супутній ефект при вдосконаленні аеродинамічної форми ЛА, зменшенні їх розмірів (до одиниць метрів для СКР та безпілотних літальних апаратів – БПЛА) та усунення елементів зовнішньої підвіски. При цьому зменшується видимий переріз ЛА, збільшується частка «дзеркального» відбиття та зменшується зворотне (у бік однопозиційної РЛС) розсіювання радіохвиль. Пік «дзеркального» зворотного відбиття при положенні ЛА «бортом до РЛС» може бути більшим, але ймовірність такого ракурсу мети дуже мала і в цілому величина $\sigma_{\text{ц}}$ зменшується. Зазначені ефекти сильно виявляються в сантиметровому діапазоні і практично несуттєві у метровому.

Другий шлях зниження ЕПР мети пов'язані з використанням спеціальних покриттів елементів ЛА, насамперед гострих кромek, або із застосуванням спеціальних заходів. Поглинаючі матеріали збільшують ЛА і збільшують ризик їх вогневого ураження. Тому перевага, мабуть, надаватиметься перевипромінюючим покриттям, розрахованим на певні ділянки сантиметрового діапазону хвиль. Так, комплекс заходів за програмою «Stelth» має забезпечити зниження ЕПР літаків СА та ТА США у кілька разів.

Найбільш повні описи ЕПР цілей дають поляризаційні матриці розсіювання, які теоретично можуть бути використані для розпізнавання об'єктів. При поляризаційної селекції цілей на тлі перешкод можливе використання розбіжності поляризації випромінювання та прийому, аж до їхньої ортогоналізації. Однак це може призводити до додаткового зменшення ЕПР цілей на 3...7 дБ.

Заважаючими є всі відбивачі-неоднорідності середовища поширення радіохвиль, які є радіолокаційними цілями.

Відлуння «точкових» ізольованих відбивачів створюють імітуючі пасивні перешкоди (ПП), які перевантажують систему обробки РЛС; розподілені у просторі сукупності відбивачів створюють маскуючі пасивні перешкоди (МПП).

Джерелами МПП є опромінювані РЛС:

- ділянки земної поверхні;
- хмари гідрометеорів;
- хмари штучних металевих (металізованих) відбивачів - диполів, стрічок або спеціалізованих аерозолів;
- пилові хмари, великі птахи, комахи, турбулентна атмосфера;
- штучно іонізовані області.

РТВ утворюють багатопозиційну систему радіолокації, але кожна РЛС працює індивідуально, використовуючи для отримання РЛІ тільки власне випромінювання. Тому для кожної РЛС будь-які сторонні випромінювання, що впливають на приймальний тракт, створюють перешкоди ехолокації, які називають активними перешкодами (АП). Джерелами АП для РЛС РТВ можуть бути:

- авіаційні станції АП, що встановлюються на борту постановників активних перешкод (ПАП) – ударних СВН або літаків, вертольотів, БПЛА з метою радіоелектронної боротьби (РЕБ);
- станції АП корабельного та наземного базування;
- малогабаритні передавачі, що закидаються, перешкод одноразового використання (ППОІ);
- свої РЕМ, у т. ч. РЛС РТВ, що випромінюють у відповідних частотних діапазонах у межах радіовидимості;
- природні (природні) джерела електромагнітних випромінювань;
- сфери ядерних вибухів.

За характером впливу на РЛС АП можуть бути маскуючими (МАП) та імітуючими (ІАП). Основним видом навмисних перешкод є маскуючі шумові

перешкоди. Взаємні перешкоди з інших РЕМ для РЛС РТВ зазвичай є імпульсними, тобто імітуючими. За ступенем концентрації спектра потужності за частотою та спрямованістю випромінювання АП діляться на прицільні та загороджувальні.

Тенденція розвитку засобів постановки перешкод показує, що слід очікувати застосування загороджувальних АП з великою шириною спектру: на метрових хвилях – до 50–100 МГц; на дециметрових – до 100–300 МГц; на сантиметрових – до 500–1000 МГц. Прицільні за частотою АП створюються із шириною спектра від 2–3 до 10–15 МГц, що забезпечує зростання спектральної густини потужності АП. Технічно можлива подальша концентрація спектра МАП аж до надприцільності - точної відповідності спектра безперервної відповідної шумової перешкоди спектру зонduючого сигналу РЛС навіть при швидкій перебудові частоти.

Ковзаючі по частоті МАП забезпечують поєднання прицільного та загороджувального режимів. При цьому перешкода характером може змінюватися від маскуючої до хаотичної імпульсної.

Для створення МАП зазвичай використовують частотно-модельоване шумове випромінювання (ЧМШ-перешкоду), а не прямошумову перешкоду, оскільки вона має максимальний ефект маскування. Використання ЧМШ-перешкоди дозволяє уникнути амплітудної модуляції, що призводить до зниження середньої потужності генераторних приладів. Приймач РЛС зазвичай впливає лише на частину спектру ЧМШ-перешкоди, яка нормалізується і стає практично гаусовою, тобто прямошумовою.

Взаємні перешкоди від РЕМ при наземному базуванні зводяться до мінімуму за рахунок дотримання норм частотно-територіального розподілу та інших заходів для забезпечення електромагнітної сумісності РЕМ під час їх розробки та експлуатації. Також використовується апаратура перешкодозахисту.

Телевізійні перешкоди, як правило, впливають на метровому діапазоні, і їх контролюють спеціальними каналами захисту. У горах і передгір'ях можлива специфічна активно-пасивна взаємна перешкода, що маскує РЛС, які працюють

в одному діапазоні, за рахунок прийому потужних перевідбиттів зондуючих сигналів сусідньої РЛС.

Електромагнітне випромінювання атмосферних (грозових) розрядів та областей ядерних вибухів є короткочасним явищем, і для РЛС РТВ важливою є не завада, а вражаюча дія цих факторів. У метровому діапазоні випромінювання Сонця створює відчутну шумову перешкоду, особливо якщо воно розташоване під малими кутами (від 0 до 17 градусів). Це може призводити до зменшення дальності розпізнавання цілей на 5–10% в азимутальному секторі від 20 до 40 градусів.

Основними тактичними характеристиками РЛС є:

- форма та розміри ЗО;
- склад інформації, що видається;
- точність виміру координат цілей;
- роздільні можливості по вимірюваних координатах;
- інформаційна спроможність;
- схибленість;
- експлуатаційна надійність;
- мобільність;
- живучість.

Зону виявлення РЛС називають областю простору, в межах якої забезпечується виявлення цілей з заданою ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР) і ймовірностями правильного виявлення та помилкової тривоги, які відповідають встановленим вимогам. Форма та розміри зони визначаються типом РЛС (далекомірною, висотомірною), енергетичними характеристиками, діапазоном хвиль та іншими факторами.

Під обсягом інформації розуміється повний перелік параметрів цілей радіолокації, таких як координати, закон руху, тип цілі, склад, державна приналежність і характер дій. Цю інформацію РЛС може надавати після одного або кількох оглядів. Склад інформації визначається можливостями РЛС та вимогами користувачів інформації та рішеними завданнями.

Точність вимірювання координат характеризується похибками вимірювань, різницею між істинними і виміряними значеннями координат цілей в момент вимірювань. Оскільки ці різниці є випадковими величинами, для кількісної оцінки точності зазвичай використовується середньоквадратичне відхилення вимірювань, яке іноді представляє максимальну похибку в 80% вимірів.

Вимоги до точності інформації, яку надає РЛС, залежать від складності завдань, які вирішуються за допомогою цієї інформації. При визначенні вимог до точності слід проаналізувати її вплив на виконання кожного завдання, особливо, якщо вирішуються декілька завдань. Навіть якщо вимоги формулюються для одного конкретного завдання, важливо врахувати можливі помилки системи, яка включає РЛС та інші елементи.

Роздільна здатність РЛС по цій координаті вважається мінімальний інтервал між двома цілями по цій координаті, при якому значення її для кожної мети можна визначити окремо за умови, що всі інші координати цілей збігаються. Іноді як міру роздільної здатності РЛС по всіх координатах (просторових) використовують імпульсний (дозволений) обсяг.

Інформаційна здатність РЛС визначається максимальною кількістю цілей, координат і характеристик яких можуть бути отримані пристроєм знімання та обробки інформації протягом одиниці часу. Ця здатність безпосередньо залежить від способу збору інформації - візуального чи автоматизованого (автоматичного).

Перешкодозахищеність - це кількісна характеристика здатності РЛС виконувати бойові завдання в умовах радіоперешкод. Різноманіття характеру перешкод і специфіка їхнього впливу на РЛС ускладнюють визначення єдиних показників перешкодозахищеності. Наразі показники цієї характеристики введені окремо для різних видів радіоперешкод (активних - наприклад, сектор ефективного приглушення, коефіцієнт приглушення перешкод у напрямку бічних пелюсток ДНА; пасивних - такі як коефіцієнт приглушення та коефіцієнт підперешкодної видимості).

Експлуатаційна надійність РЛС характеризується її здатністю до безпечної роботи та швидкого відновлення після відмови. Основними показниками експлуатаційної надійності є можливість безвідмовної безперервної роботи протягом тактично необхідного часу (іноді використовується усереднений показник - середній час безвідмовної роботи) та середній час відновлення.

Мобільність РЛС включає часи розгортання, згортання, включення, вимикання; можливості, способи та швидкість транспортування; кількість, масу та габарити транспортних одиниць.

Живучість РЛС характеризується стійкістю функціонування її систем під впливом вражаючих факторів ядерної та осколково-фугасної зброї. Найбільш вразливою є антенна система РЛС, оскільки решта апаратури може розташовуватися в укриттях. Тому висувуються підвищені вимоги до механічної міцності конструкції антеної системи та можливостей її швидкої заміни. Живучість РЛС в мирний час характеризується допустимою швидкістю вітру та товщиною зледеніння антеною системи, які не призводять до її поломки.

Технічні характеристики РЛС повинні відповідати тактичним вимогам і служити основою для забезпечення її бойових можливостей.

2. ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РЛС

Імпульсні радіолокаційні системи (РЛС) мають свої переваги та недоліки. До основних переваг імпульсних РЛС можна віднести простоту вимірювання дальності до цілей та можливість використання однієї антени для передачі зондувальних сигналів та прийому ехо-сигналів.

Однак, серед недоліків імпульсних РЛС вказують на потребу у використанні передавачів з більшою імпульсною потужністю при простих зондувальних сигналах. Також відзначають труднощі вимірювання швидкості цілей, особливо з високою точністю.

З іншого боку, РЛС з безперервним випромінюванням мають можливість відбирати цілі за швидкістю і вимірювати їх швидкість у широкому діапазоні. Також вони не вимагають великої потужності випромінювання. Проте основним недоліком таких РЛС є складність розв'язку приймального та передавального трактів, особливо при спостереженні за великою кількістю цілей за декількома параметрами.

У РЛС з безперервним випромінюванням можуть використовуватися як частотно модульовані коливання, так і немодульовані незагасаючі коливання. Важливо відзначити, що імпульсні РЛС можна поділити за типами зондувальних сигналів на не-когерентні, когерентні (істиннокогерентні з істинною внутрішньою когерентністю, псевдокогерентні з еквівалентною когерентністю).

Когерентні РЛС з внутрішньою імпульсною модуляцією можуть бути частотно або фазово модульованими (широкополосними). Кожен тип РЛС має свої переваги та обмеження в залежності від конкретного застосування та вимог системи. [11]

Залежно від частоти повторення зондувальних імпульсів, когерентні РЛЗ із системою селекції рухомих цілей (СДЦ) відносять: до РЛЗ із низькою частотою повторення $F_p < 5$ кГц і РЛС із високою частотою повторення $F_p > 50$ кГц. РЛС з високою частотою повторення так само називаються імпульсно-доплерівськими, або квазінеперервними.

РЛС із середньою частотою повторення імпульсів (СЧП) характеризуються тим, що частота повторення імпульсів знаходиться у діапазоні від 5 кГц до 50 кГц. РЛС із низькою частотою повторення імпульсів (НЧП), які мають велику шпаруватість, характеризуються великим інтервалом однозначного вимірювання дальності та малим інтервалом однозначного вимірювання швидкості.

Імпульсно-доплерівські РЛС надають можливість вимірювати швидкість у великому діапазоні, проте їхній інтервал однозначного виміру дальності є невеликим, і кількість каналів дальності теж обмежена (зазвичай 5–10). РЛС із середньою частотою повторення імпульсів не забезпечують однозначного вимірювання швидкості чи дальності в потрібних діапазонах, проте використання кількох близьких середніх частот повторення дозволяє розширити ці діапазони.

За способом забезпечення когерентності РЛС із СДЦ поділяються на РЛС із зовнішньою та внутрішньою когерентністю. У РЛС із зовнішньою когерентністю, когерентність обробки пачки імпульсів досягається спільним надходженням на вхід радіолокаційного приймача сигналів рухомої мети і відбиття від нерухомого фону. У РЛС із внутрішньою когерентністю використовують внутрішні методи забезпечення когерентності.

Залежно від числа радіолокаційних каналів РЛС поділяються на одноканальні та багатоканальні. Багатоканальні РЛС можуть бути просторово-багатоканальними, частотно-багатоканальними і просторово-частотно-багатоканальними. У просторово-багатоканальних РЛС сигнали випромінюються та приймаються на єдиній частоті для всіх кутів місця зони виявлення. У частотно-багатоканальних РЛС використовуються різні частоти для кожного кута, але в межах однієї пелюстки ДСА.

У просторово-частотно-багатоканальних РЛС у кожному з парціальних пелюстків ДН сигнали випромінюються і приймаються на своїй частоті. В інших варіантах РЛС випромінюється складно-частотно-модульований сигнал у межах однієї пелюстки передавальної ДН у всій зоні кутів місця, а прийом ехо-сигналів

ведеться парціальними пелюстками, рознесеними по кутку місця, і кожен на своїй частоті. Перевагою багатоканальних РЛС є підвищена завадозахищеність і дальність дії, що забезпечується збільшенням сумарної випромінюваної потужності при допустимих значеннях імпульсної потужності кожного каналу. Недоліком є складність технічних рішень (особливо антенних систем і високочастотних трактів) і мала мобільність.

У цій роботі РЛС будується за схемою трикоординатного імпульсного радіолокатора з однією приймально-передавальною фазованою антеною решіткою і однією антеною НРЗ.

Радіолокаційні системи призначені для виявлення та визначення поточних координат об'єктів, а саме: дальності, швидкості, кута місця та азимуту. РЛС випромінює електромагнітну енергію і дозволяє виявити ехо-сигнали, що надходять від відображених об'єктів, а також дає можливість визначити їх характеристики. Структурна схема РЛС зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурна схема побудови РЛС

Антенна решітка відповідає за підвищення посилення усієї системи, а також отримання можливості керування формою діаграми спрямованості. При виявленні мети в межах досяжності запитувачем (НРЗ) на неї випромінюється пакет запитних сигналів. Якщо виявлена мета своя, то відповідач, встановлений на ній, приймає запитні сигнали, декодує їх, і видає кодовані сигнали у відповідь. Система обертання та розгортання антени призначена для забезпечення обертання антени в азимутальній площині, а також для згортання та розгортання. Приймальна частина поділяється на дві складові. Приймальна система призначена для попередньої фільтрації та посилення високочастотного ехосигналу, прийнятого з ППМ антени, для аналого-цифрового перетворення (АЦП). У передавальній системі проводиться перетворення частоти та посилення до рівня потужності.[12]

Обчислювальний пристрій призначений для прийому та обробки інформації, що приймається з приймального пристрою. Робоче місце оператора призначене для централізованого управління режимами роботи виробу при штатній роботі, оперативних та технічних формах обслуговування, проведення регламентних робіт.

2.1 Фазована антенна решітка

Антенна решітка – це складна спрямована антена, яка складається з сукупності окремих слабоспрямованих антен (випромінюючих елементів), розташованих у просторі особливим чином. Антенні ґрати використовуються підвищення посилення всієї, і навіть отримання можливості управління формою діаграми спрямованості.

Стрижневі діелектричні антени застосовуються на межі сантиметрового та дециметрового діапазонів у смузі частот від 2 до 10 ГГц.

Діелектричні стрижневі антени відносяться до антен хвилі, що біжить, з уповільненою фазовою швидкістю

Одними з основних елементів стрижневих діелектричних антен є: хвилевід 1, обойма 2 діелектричний стрижень 3 (рисунок 2.2). Застосовуються стрижні прямокутного та круглого перерізу.

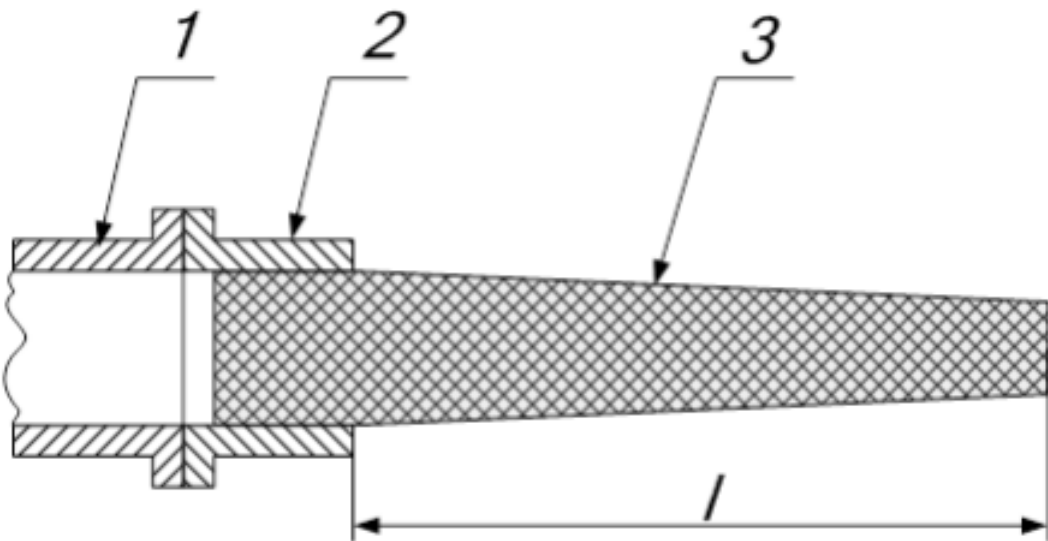


Рисунок 2.2 – Стрижнева діелектрична антена

Поряд зі стрижнями також застосовуються і діелектричні трубки.

Поперечний переріз трубок частіше залишається постійним по всій довжині, а стрижнів, як правило, звужується від обойми до вільного кінця. Конічна форма стрижня свідчить, що у разі антена добре узгоджується з вільним простором.

Трубки та стрижні круглого перерізу більш поширені через конструктивні та технологічні переваги. Внутрішня порожнина металевої обойми збуджується за допомогою коаксіального фідера або хвилеводу і сама є, по суті, відрізком хвилеводу, отже, обойма збуджує діелектричний стрижень, який є по суті діелектричним хвилеводом.

З теорії діелектричних хвилеводів відомо, що вони можуть поширюватися як симетричні і несиметричні хвилі. Симетричні хвилі, як правило, не застосовуються в стрижневих діелектричних антенах, оскільки внаслідок осової симетрії вони не випромінюють уздовж осі стрижня. Найбільш сприятливим для випромінювання енергії є тип хвилі HE_{11} , на рисунку 2.3 зображена конфігурація електричного поля цього типу хвилі.

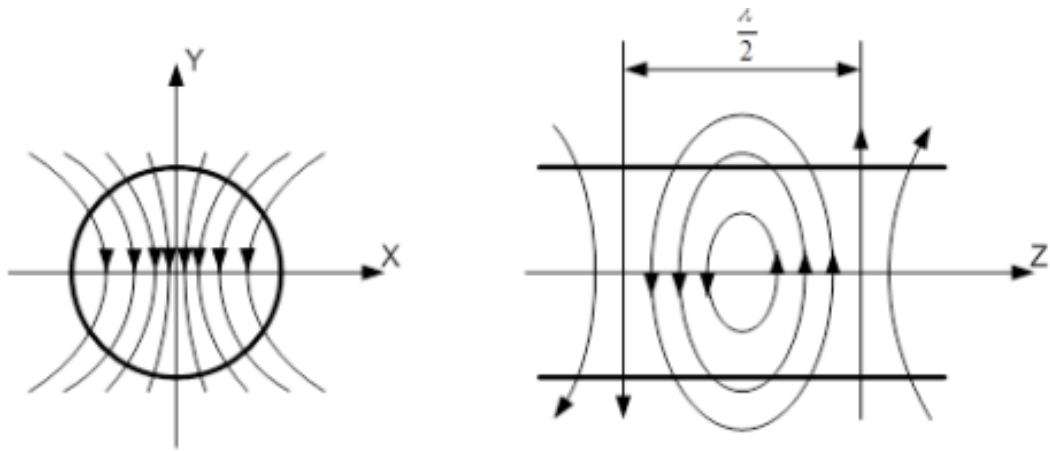


Рисунок 2.3 – Конфігурація електричного поля для хвилі HE_{11}

За допомогою одного стрижня вдається сформувати діаграму спрямованості (ДН) завширшки не менше 20-25 градусів. Якщо дана ширина ДН не задовольняє пред'явленим вимогам, то використовують ґрати з діелектричних випромінювачів, в яких стрижневі діелектричні антени є окремими випромінювачами.

Малі поперечні розміри та простота конструкції є перевагами діелектричних антен. Діелектричні антени є антенами хвилі, що біжить, тому звуження ДН таких антен відбувається за рахунок збільшення поздовжніх, а не поперечних розмірів.[13]

2.2 Вибір хвилеводу

Робоча довжина хвилі визначається формулою:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad 2.1$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі,

$f = 6 \cdot 10^9$ Гц – робоча частота. $\lambda = 5$ см.

Перехід від прямокутного хвилеводу з хвилею H_{10} до круглого хвилеводу з хвилею HE_{11} здійснюється шляхом поступової деформації поперечного перерізу хвилеводу, від прямокутного до круглого (рисунок 2.4).

Якщо довжина переходу становить приблизно довжину хвилі у хвилеводі або більше її, то його смуга пропускання дорівнює смузі частот круглого хвилеводу з хвилею типу HE_{11} . Розміри хвилеводів вибираються такими, щоб у їх заданому діапазоні частот могли поширюватися лише нижчі типи хвиль, відповідно HE_{10} - в прямокутному і HE_{11} - в круглому хвилеводі.[14]

Якщо довжина такого переходу перевищує довжину хвилі, то відображення у широкій смузі частот виявляються незначними.

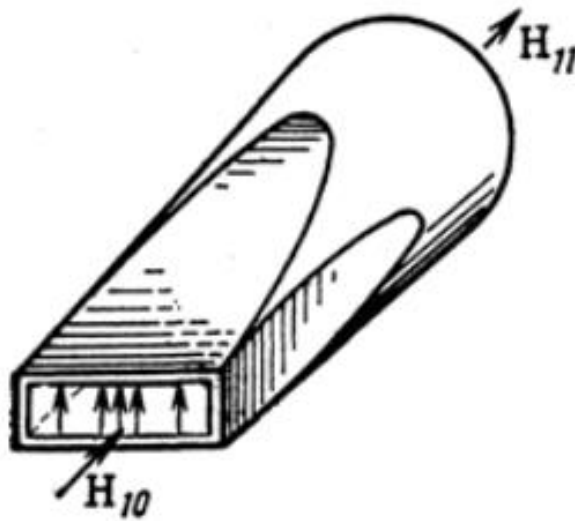


Рисунок 2.4 - Перехід від прямокутного хвилеводу до круглого

Для зменшення розмірів переходу можна використовувати компактні, але вузькосмугові ступінчасті переходи (рисунок 2.5). В даному випадку зчленування співвісних прямокутного та круглого хвилеводів здійснюється через узгоджувальну чвертьхвильову вставку з овальною формою поперечного перерізу.

Розрахунок розмірів хвилеводу

Вибір розмірів поперечного перерізу прямокутного хвилеводу a і b проводиться з умови поширення хвилеводі тільки основного типу хвилі HE_{10} :

$$0.5 \lambda \leq a \leq \lambda \quad 2.2$$

Розмір b повинен задовольняти умову $b < \frac{\lambda}{2}$ і може бути обраний рівним $\frac{a}{2}$.

$$a = 0,52 \cdot \lambda = 3,48 \text{ см} = 3,48 \text{ см} \quad 2.3$$

$$b = \frac{a}{2} = 1,57 \text{ см} = 1,57 \text{ см} \quad 2.4$$

Радіус перерізу круглого хвилеводу вибирається також з умови поширення тільки одного основного типу хвилі HE_{11} . Хвиля з такою частотою може поширюватися у круглому хвилеводі внутрішнім діаметром 3,48 см.

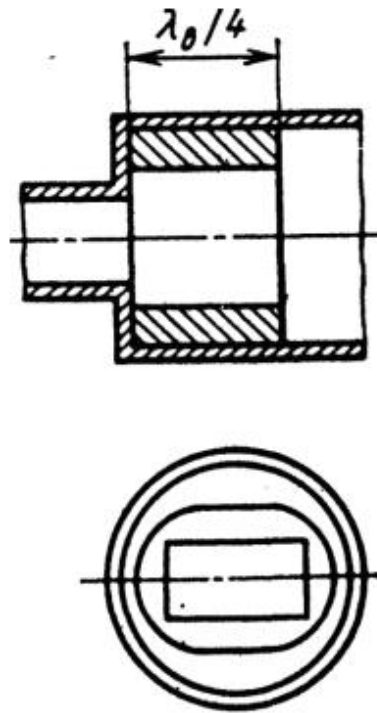


Рисунок 2.5 - Ступінчастий перехід від прямокутного хвилеводу до круглого

2.3 Розрахунок збудливого пристрою

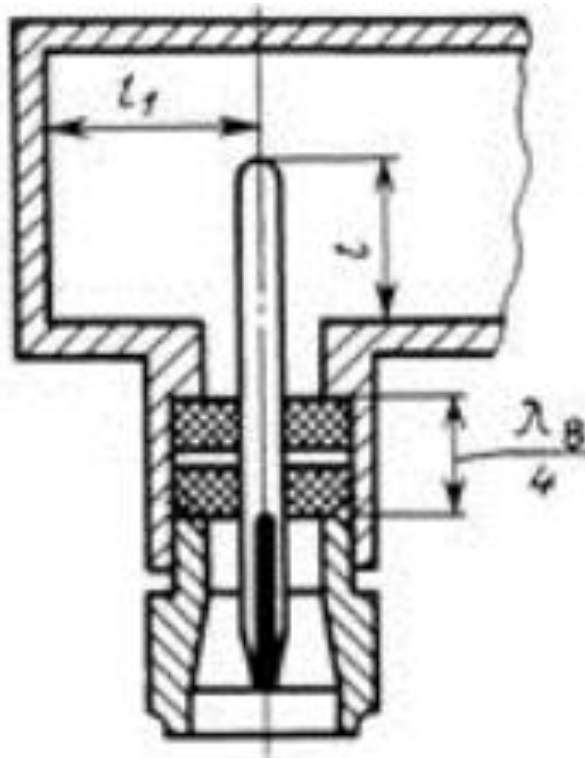
Розглянемо деякі варіанти переходів від коаксіальної лінії хвилеводу. У більшій частині переходів використовується електричний зв'язок, хоча за деякого ускладнення конструкції може бути реалізований також метод магнітного зв'язку.

Критерієм узгодження збудливого пристрою з хвилеводом служить режим хвилі, що біжить в коаксіальному живильному фідері, тобто рівність вхідного опору збудливого пристрою Z_{BX} хвильовому опору фідера ρ_{ϕ} .

На рисунку 2.6 зображено найбільш поширений пристрій зондового типу у вигляді несиметричного штиря, розташованого паралельно електричним силовим лініям.

Діелектрична шайба, що фіксує положення штиря у хвилеводі, є деталлю коаксіального з'єднання. Діаметр зовнішнього провідника біля шайби збільшується для того, щоб зберегти опір хвилі в області, заповненій діелектриком, рівним ρ_{ϕ} . Довжина шайби береться рівною чверті хвилі у діелектриці.

Вхідний опір штиря у хвилеводі, як і несиметричного вібратора у вільному просторі, є загальному випадку комплексною величиною. Активна частина вхідного опору залежить переважно від довжини штиря, реактивна від довжини і товщини. На відміну від вільного простору вхідний опір штиря у хвилеводі залежить від структури поля у хвилеводі поблизу штиря.[15]



Рисунку 2.6 - Коаксіальний перехід

Розрахунок реактивної складової вхідного опору дає неточні результати та проводити його немає сенсу. Для забезпечення узгодження реактивна складова вхідного опору повинна дорівнювати нулю. Активну складову вхідного опору вважатимуться рівною опору випромінювання штиря в хвилеводі R_{Σ} . Вона повинна дорівнювати хвильовому опору фідера.

$$R_{вх} = \rho_{\phi}$$

Хвильовий опір фідера $\rho_{\phi}=50$ оМ.

Опір випромінювання штиря в прямокутному хвилеводі в режимі хвилі, що біжить, визначається наступним співвідношенням:

$$R_{\text{ВХ}} = R_{\Sigma} = \frac{2\rho_{\phi}h_{\text{д}}^2}{a \cdot b} \sin^2\left(\frac{\pi}{a} \cdot x_1\right) \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{\text{В}}} \cdot i_1\right) \quad 2.6$$

де i_1 рекомендується брати рівним $\lambda_{\text{В}}/4$

$$\lambda_{\text{В}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}} \quad 2.7$$

У хвилеводі поширюються лише хвилі основного типу HE_{10} . Знайдемо критичну довжину хвилі для цього типу.

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} = 7 \text{ см} \quad 2.8$$

$$\lambda_{\text{В}} = \frac{0,05}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,05}{0,057}\right)^2}} = 7,2 \text{ см} \quad 2.9$$

Знайдемо відстань від штиря до стінки хвилеводу, що закорочує.

$$i_1 = \frac{\lambda_{\text{В}}}{4} = 1,8 \text{ см} \quad 2.10$$

Геометрична висота штиря у хвилеводі $i=0,38$ см

Чинна висота штиря у хвилеводі визначається за формулою:

$$h_{\text{д}} = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \left(1 - \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} i\right)\right) = 0,283 \text{ см} \quad 2.11$$

Хвильовий опір хвилеводу виразом:

$$\rho_{\text{В}} = 120\pi \frac{\lambda_{\text{В}}}{\lambda} = 541,3 \text{ Ом} \quad 2.12$$

Найчастіше розташування штиря на широкій стінці хвилеводу посередині тому $x_1 = 1,7$ см.

$$R_{\text{ВХ}} = R_{\Sigma} = \frac{2\rho_{\phi}h_{\text{д}}^2}{a \cdot b} \sin^2\left(\frac{\pi}{a} \cdot x_1\right) \sin^2\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{\text{В}}} \cdot i_1\right) = 500 \text{ Ом} \quad 2.13$$

Збудливий пристрій з хвилеводом узгоджено, оскільки виконано умову (2.5).

2.4 Вибір діелектричного стрижня

У діелектричних антенах, як правило, немає небезпеки збудження

симетричних хвиль, тому є можливість вибирати діаметр діелектричного стрижня таким, щоб запобігти поширенню несиметричних хвиль тільки вищого типу (HE_{11} , EH_{12}). На рисунку 2.7 показано Графік залежності $\frac{v}{c}$ від $\frac{R}{\lambda}$

Щоб це реалізувати потрібно вимагати виконання умови:

$$d_{max} \leq \frac{2.61\lambda}{\sqrt{\pi(\epsilon-1)}} = \frac{2.61 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{\pi(2-1)}} = 2,80 \text{ см} \quad 2.14$$

$$d_{min} \leq \frac{\lambda}{\sqrt{2.5\pi(\epsilon-1)}} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2.5\pi(2-1)}} = 1,8 \text{ см} \quad 2.15$$

$$d_{cp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2} = 2,3 \text{ см} \quad 2.16$$

Для визначення оптимальної довжини стрижня необхідно знайти фазову швидкість, для чого знайдемо співвідношення $\frac{R}{\lambda}$:

$$R = \frac{d_{max}}{2} = 0.014 \quad 2.17$$

$$\frac{R}{\lambda} = 0.282 \quad 2.18$$

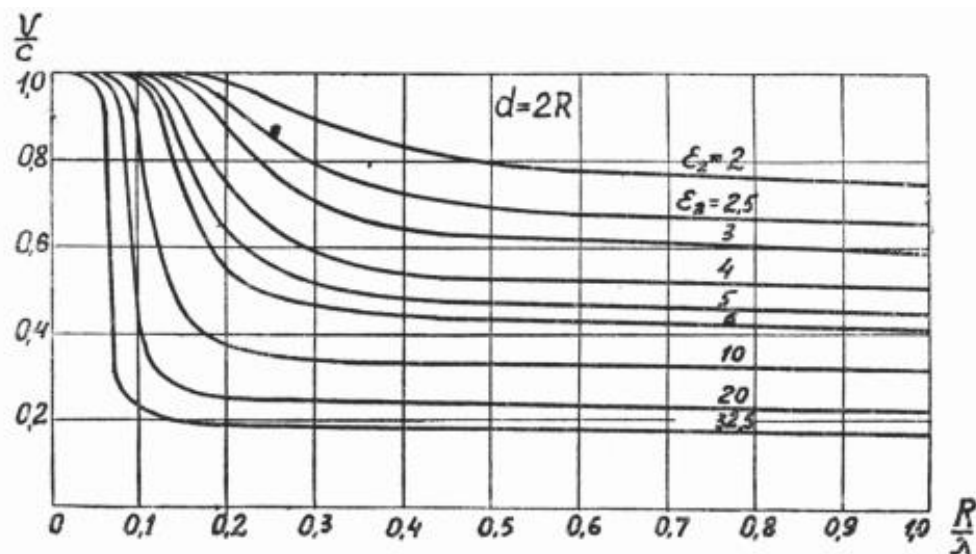


Рисунок 2.7 - Графік залежності $\frac{v}{c}$ від $\frac{R}{\lambda}$

З наведеного рисунку 2.7 графіка коефіцієнт $\frac{v}{c} = 0.9$, отже

$$v = 0.9c = 2.7 \cdot 10^8 \text{ м/с} \quad 2.19$$

$$\gamma = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.7 \cdot 10^8} = 1.11 \quad 2.20$$

$$l_{opt} = \frac{\lambda}{2(\gamma-1)} = 22.5 \text{ см} \quad 2.21$$

2.5 Конструкція випромінювача

У круглому хвилеводі збуджується хвиля Н₁₁. за допомогою плавного переходу від прямокутного хвилеводу до круглого. Глибину занурення діелектричного стрижня в хвилевод виберемо $d = 2.5$ см (опір трансформується 1:1), цього достатньо, щоб стрижень надійно тримався у хвилеводі. Креслення випромінювача наведено на рисунку 2.8.

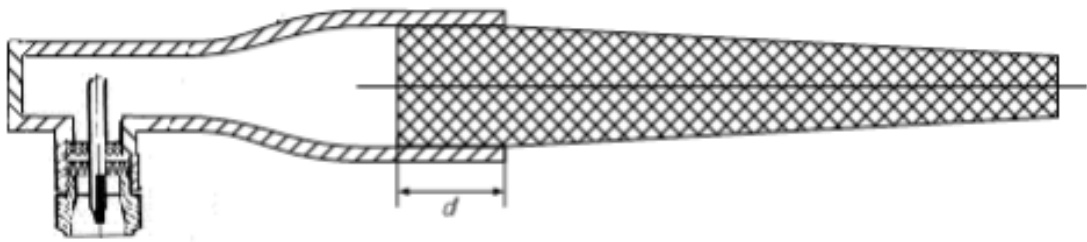


Рисунок 2.8 - Стрижнева діелектрична антена

2.6 ККД та коефіцієнта посилення діелектричної стрижневої антени

$$\eta = \frac{\beta_{\Sigma+\beta_{\Pi}} e^{-2(\beta_{\Sigma}+\beta_{\Pi})l}}{\beta_{\Sigma}+\beta_{\Pi}} \quad 2.22$$

$$\beta_{\Sigma} = \frac{1}{I_{\text{опт}}} = 1.44 \quad 2.23$$

$$\beta_{\Pi} = \pi \cdot \varepsilon \frac{R}{\lambda} \operatorname{tg}(\delta) \quad 2.24$$

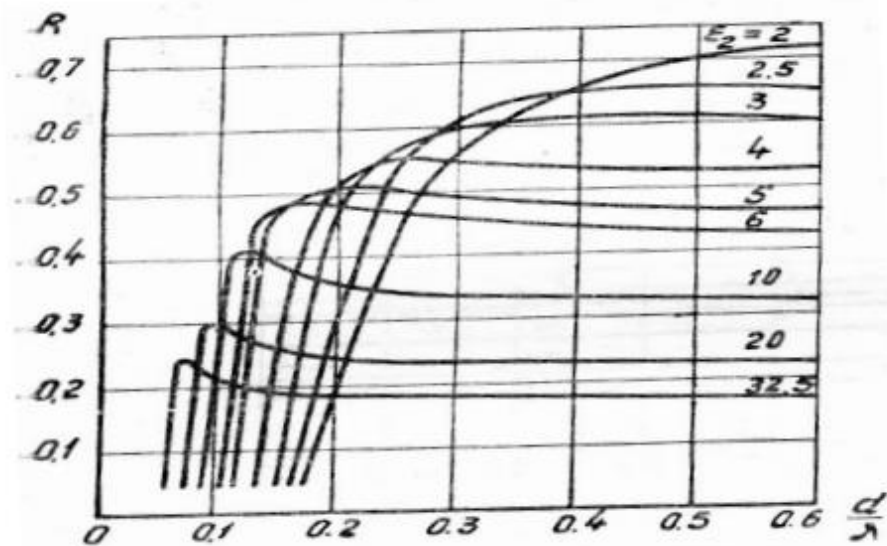


Рисунок 2.9 - Графік залежності фактора згасання від $\frac{d}{\lambda}$

За кривими, зображеними на рисунку 2.9 знаходимо фактор загасання R , для чого знайдемо співвідношення

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{d_{\text{ср}}}{\lambda} = 0.46 \quad 2.25$$

Тоді $R=0.7$

$$\beta_{\Pi} = \pi \cdot 2 \cdot \frac{0.72}{3 \cdot 10^{-2}} \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0.018 \quad 2.26$$

$$\eta = \frac{\beta_{\Sigma} + \beta_{\Pi} e^{-2(\beta_{\Sigma} + \beta_{\Pi}) \cdot \lambda}}{\beta_{\Sigma} + \beta_{\Pi}} = 0.999 = 99.9\% \quad 2.27$$

За визначенням коефіцієнт посилення антени дорівнює:

$$G = \eta D \quad 2.28$$

$$D = \frac{7}{8} \cdot \frac{I_{\text{опт}}}{\lambda} = 33.75 \quad 2.29$$

$$G = 0.996 \cdot 34 = 33.3 \quad 2.30$$

3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ

3.1 Розрахунок та побудова діаграми спрямованості стрижневої діелектричної антени

У Е-площині

$$F_E(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot l_{\text{опт}}}{\lambda}(\gamma - \cos(\theta))\right)}{\frac{\pi \cdot l}{\lambda}(\gamma - \cos(\theta))} \cdot \cos(\theta) \quad 3.1$$

У Н-площині

$$F_E(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot l}{\lambda}(\gamma - \cos(\theta))\right)}{\frac{\pi \cdot l}{\lambda}(\gamma - \cos(\theta))} \quad 3.2$$

ДН стрижневої діелектричної антени у відповідних площинах показані на рисунках 3.1, 3.2.

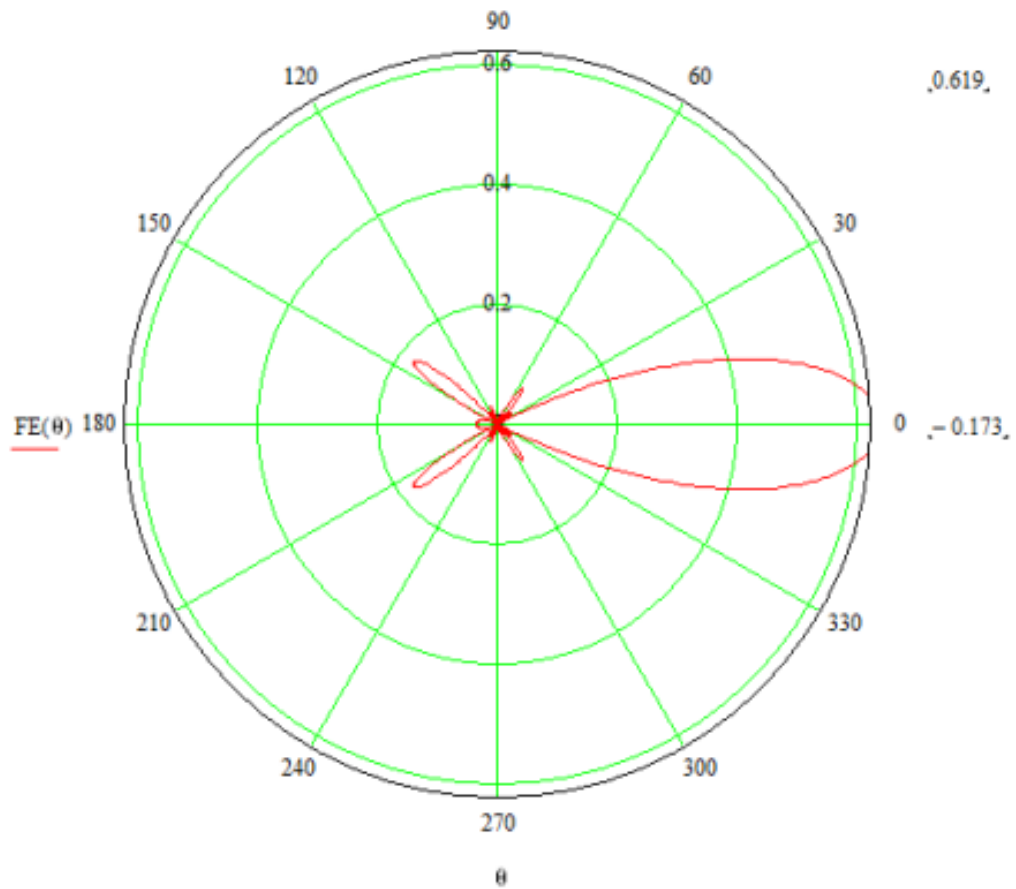


Рисунок 3.1-Діаграма спрямованості діелектричної стрижневої антени в Е площині

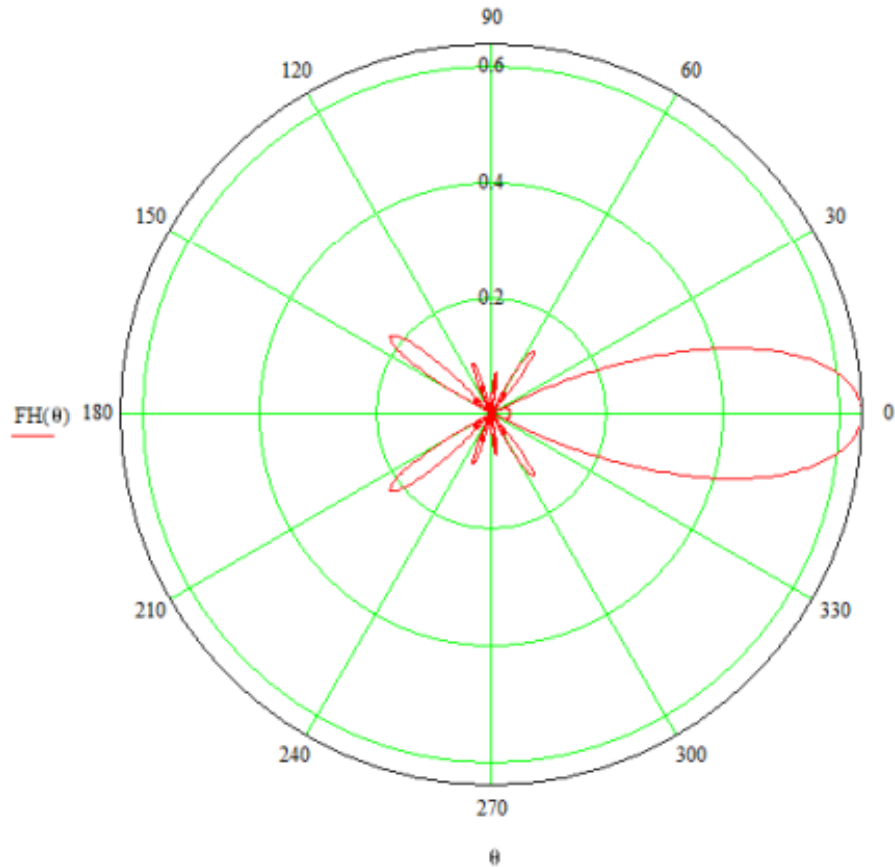


Рисунок 3.2 - Діаграма спрямованості діелектричної стрижневої антени Н площині

Ширина ДН на нульовому рівні визначається співвідношенням:

$$\Phi_0 = 115^\circ \sqrt{\frac{\lambda}{l}} \quad 3.3$$

$$\Phi_0 = 115^\circ \sqrt{\frac{0.03}{0.136}} = 69.705^\circ \quad 3.4$$

Ширина ДН на рівні половинної потужності визначається виразом:

$$\Phi_{0.5} = 0.53\Phi_0 \quad 3.5$$

$$\Phi_{0.5} = 0.53 \cdot 69.705 = 36.9^\circ \quad 3.6$$

3.2 Розрахунок решітки стрижневих діелектричних антен

Антенна решітка застосовується у тому випадку, коли потрібно звужити ДН, підвищити КНД та зменшить рівень бічних пелюсток. ДН решітки можна

представити як добуток $F1(\theta)$ – множник одиночного випромінювача; $F\Sigma(\theta)$ – множник решітки. Структурна схема АР зображено рисунку 3.3

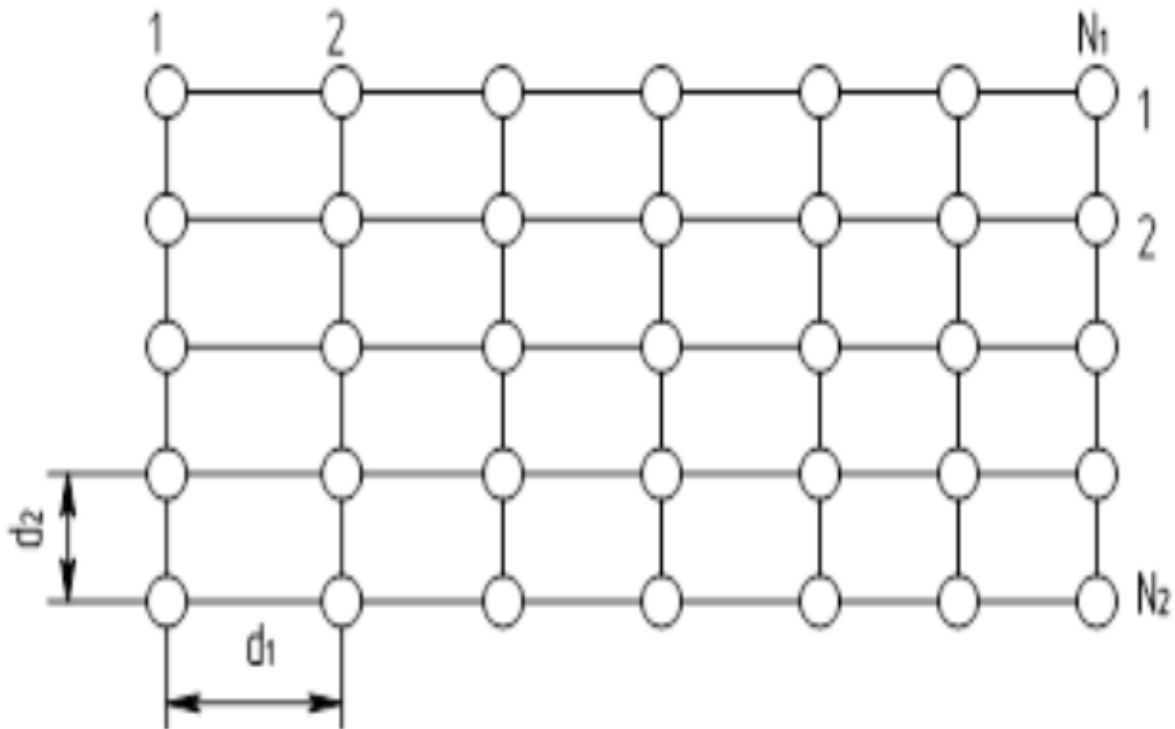


Рисунок 3.2 - Структурна схема антеної решітки

Тут $N1$ – число елементів у рядку, $N2$ – число елементів у стовпці, $d1$ – відстань між елементами (випромінювачами) у рядку, $d2$ – відстань між елементами у стовпці.

3.3 Визначення кількості елементів решітки та відстань між ними

Відстань між елементами слід вибрати оптимальним, т.к. якщо ця відстань виявиться більше, почнуть з'являтися дифракційні пелюстки.

$$d_{\text{опт}} = \frac{\lambda}{\sin\left(\frac{\phi_0}{2}\right)} = \frac{0.03}{\sin\left(\frac{54}{2}\right)} = 7.3 \text{ см} \quad 3.7$$

Розмір ґрат заданий і не повинен перевищувати $1,6 \times 1,6 \text{ м}^2$ тоді число елементів решітки буде дорівнює:

$$N = \frac{1.5}{d_{\text{опт}}} = 22 \quad 3.8$$

Множник решітки при синфазному живленні елементів має вигляд:

$$F_{\Sigma}(\theta) = \frac{\sin(N \cdot T)}{N \cdot \sin(T)} \quad 3.9$$

$$T = \frac{k \cdot d_{\text{опт}} \cdot \sin(\theta)}{2} \quad 3.10$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad 3.11$$

$$F_{\Sigma} = \frac{\sin\left(N \cdot \frac{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} d_{\text{опт}} \cdot \sin(\theta)}{2}\right)}{N \cdot \sin\left(\frac{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} d_{\text{опт}} \cdot \sin(\theta)}{2}\right)} \quad 3.12$$

Як було сказано раніше, ДН антени є добутком ДН одного випромінювача на ДН множника ґрат.

Відповідно до ДН антени в площині Н:

$$F_{H\Sigma} = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot 1}{\lambda} (\gamma - \cos(\theta))\right)}{\frac{\pi \cdot 1}{\lambda} (\gamma - \cos(\theta))} \cdot \frac{\sin\left(N \cdot \frac{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} d_{\text{опт}} \cdot \sin(\theta)}{2}\right)}{N \cdot \sin\left(\frac{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} d_{\text{опт}} \cdot \sin(\theta)}{2}\right)} \quad 3.13$$

ДН антенних ґрат, у відповідних площинах, показані на рисунках 3.3, 3.4.

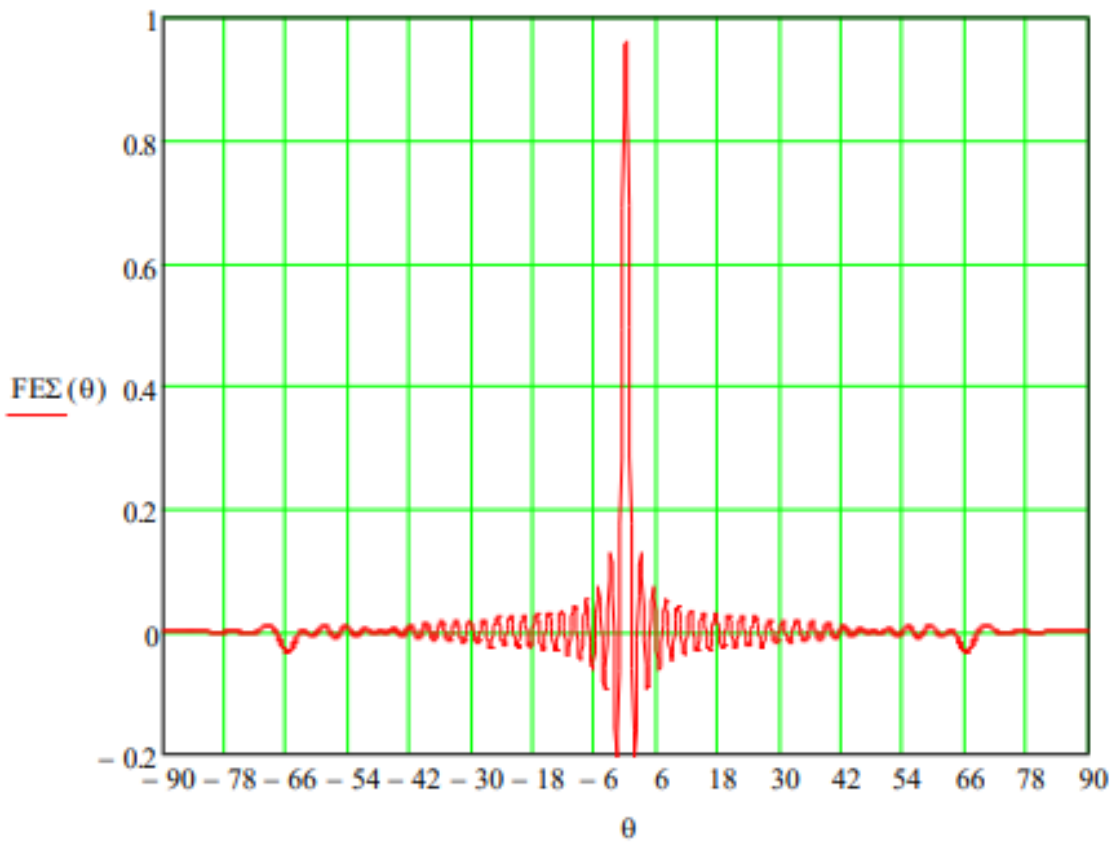


Рисунок 3.3 - Діаграма спрямованості діелектричної стрижневої антени в площині Е

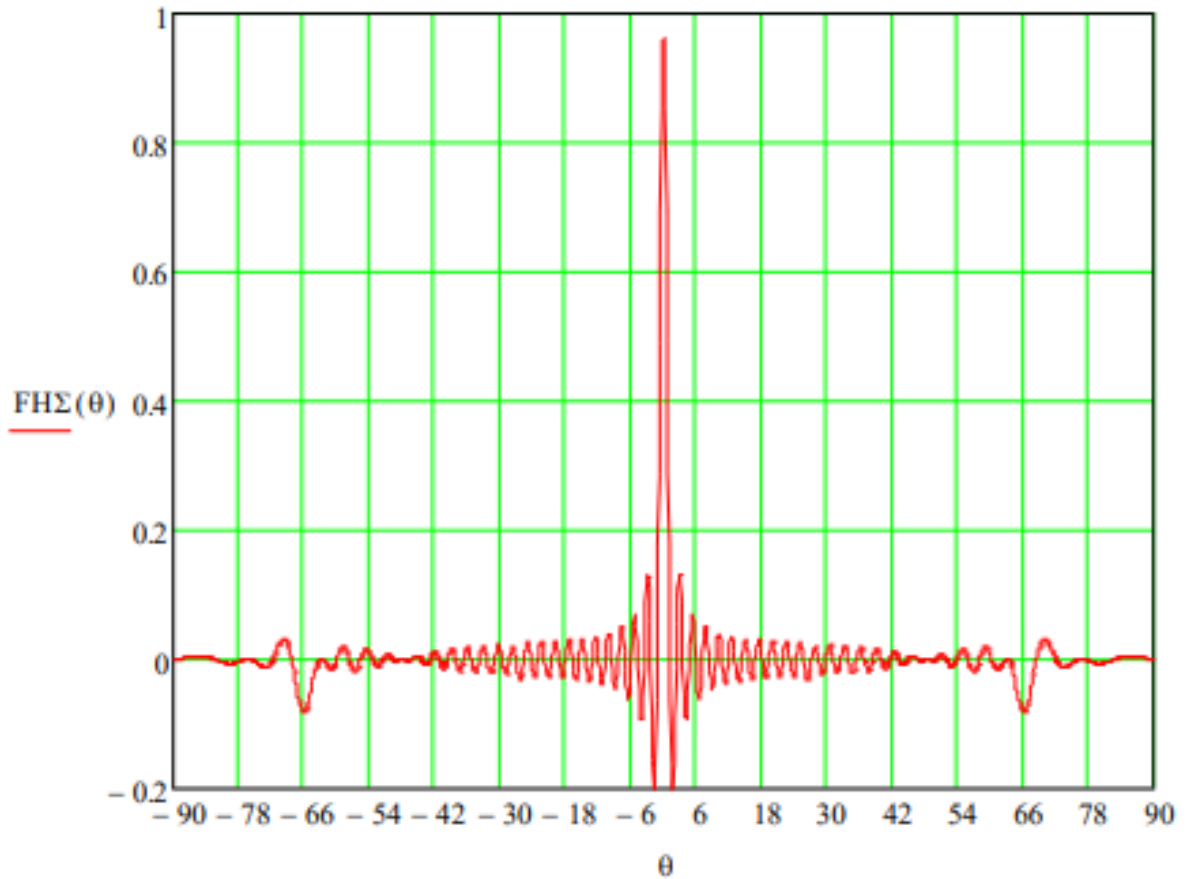


Рисунок 3.4 - Діаграма спрямованості діелектричної стрижневої антени в Н площині

Ширина ДН на нульовому рівні визначається співвідношенням:

$$\Phi_0 = 115^\circ \frac{\lambda}{d_{\text{опт}} \cdot N} = 2.815^\circ \quad 3.14$$

Ширина ДН на рівні половинної потужності визначається виразом:

$$\Phi_{0.5} = 0.53 \Phi_0 \quad 3.15$$

$$\Phi_{0.5} = 0.53 \cdot 2.815^\circ = 1.47^\circ \quad 3.16$$

Для числа випромінювачів >10 КНД визначається за такою формулою:

$$D = N D_1 \quad 3.17$$

Де D_1 - КНД одного випромінювача.

$$D = 484 \cdot 34 = 16456 \text{ раз} \quad 3.18$$

$$D_{\text{дБ}} = 10 \lg(D) = 42.1 \text{ дБ} \quad 3.19$$

Коефіцієнт підсилення:

$$G = \eta D \quad 3.20$$

$$\eta = 99.9\% \quad 3.21$$

Коефіцієнт посилення з урахуванням втрат у діелектриці:

$$G = 0.996 \cdot 16456 = 16390.2 \quad 3.22$$

$$G_{\text{дБ}} = 10\lg(D) \approx 42.1\text{дБ} \quad 3.33$$

3.4 Приймально-передавальний модуль

На рисунку 3.5 зображено структурну схему ППМ. Сигнал, що надходить від передавача, потрапляє на фазер, який забезпечує необхідний зсув фази між ППМ. Далі він ділиться на 22 частини і надходить в циркулятор. Потім сигнал через коаксіальний перехід потрапляє в діелектричну антену, звідки випромінюється в простір.

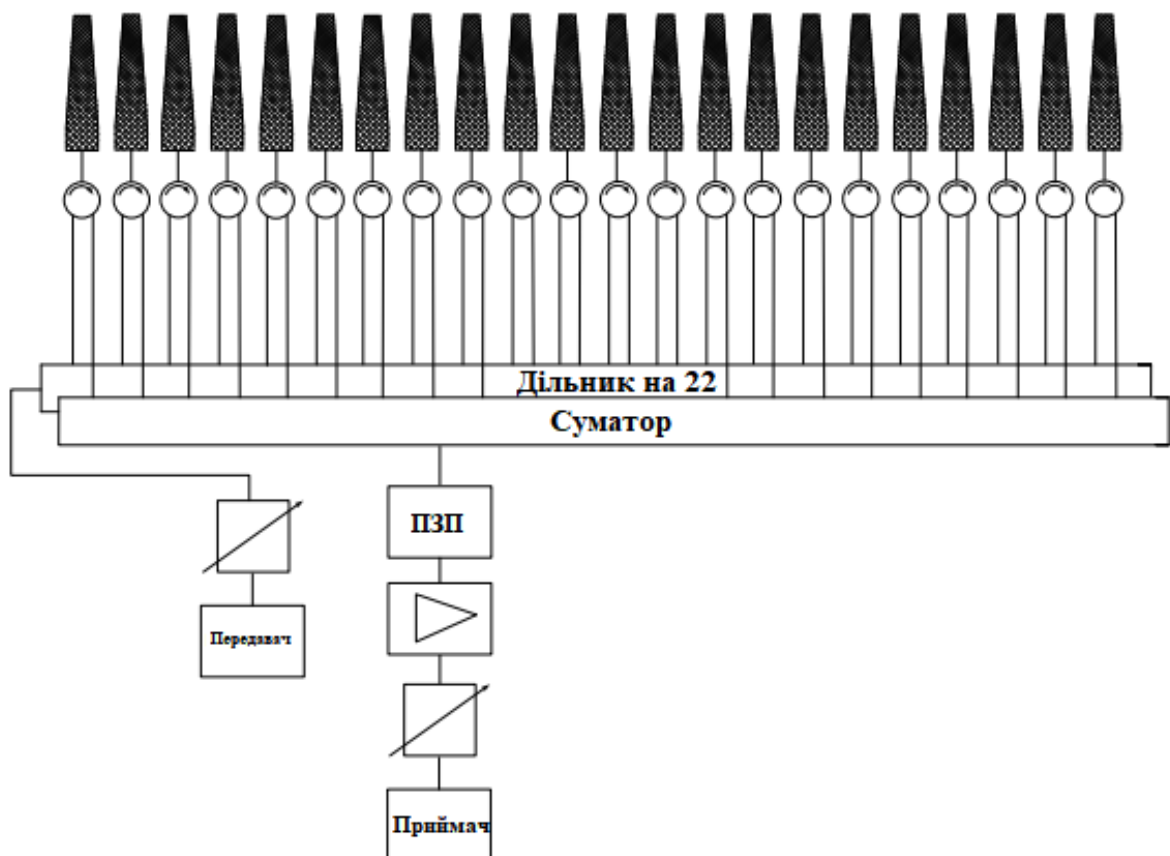


Рисунок 3.5 - Структурна схема прийомопередавального модуля

Відбитий ехосигнал приймається тими ж антенами випромінювачами і після циркулятора потрапляє до суматора, де складається сигнал всіх випромінювачів ППМ. Після суматора прийнятий сигнал проходить пристрій

захисту приймача потрапляє в малошумний попередній УВЧ, де посилюється до необхідного рівня, а потім через фазообертачі надходить у приймач.

У приймальному тракті, схема якого представлена на рисунку 3.6, проводиться посилення, фільтрація і перетворення частоти на ПЧ. Приймальний канал повинен мати низький коефіцієнт шуму, крім того необхідно реалізувати заходи для захисту активних пристроїв каналу від перевантаження виходу з ладу при великому рівні падаючої потужності.

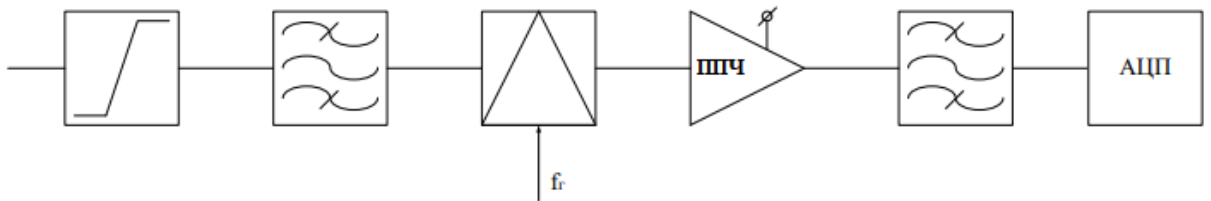


Рисунок 3.6 - Структурна схема приймального тракту

На вході приймального тракту передбачені обмежувачі потужності захисту прийомних каналів від впливу потужних синхронних і асинхронних перешкод. Фільтр, що стоїть перед змішувачем, призначений для формування смуги приймального каналу та для фільтрації дзеркального каналу. Смуга пропускання цього фільтра від 5 до 7 ГГц. Частота гетеродина подається змішувач від синтезатора частот. Фільтр, що стоїть після УПЧ, призначений для фільтрації та його смуга дорівнює смузі сигналу. Після сигнал надходить на АЦП.

У системі, що передає, схема якої представлена на рисунку 3.7, проводиться генерація сигналу, перетворення частоти і посилення до потрібного рівня потужності.

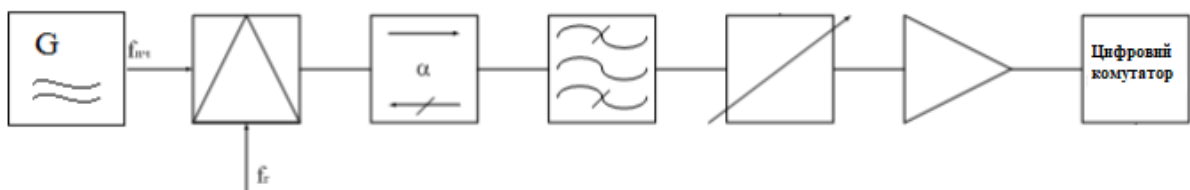


Рисунок 3.7 - Структурна схема передавальної системи

Частота гетеродина подається на перетворювач вгору від частоти генератора. У синтезаторі передбачено перемикання частот залежно від робочої точки. Вентиль, встановлений на виході перетворювача, призначений захисту виходу перетворювача вгору від відбитої потужності. Смуга фільтра лежить у межах від 5 до 7 ГГц. Атенюатор призначений для регулювання рівня вихідної потужності передавальної системи. З підсилювача сигнал надходить на цифровий комутатор.

Залежно від режиму роботи РЛС сигнал з цифрового комутатора розходить на ППМ.

Режими роботи РЛС:

-Для створення широкої діаграми спрямованості по куту місця на передачу працюють верхні два ППМ. Таким чином виходить перекрити простір від 0° до 60° .

-Для створення вузької діаграми спрямованості по куту місця на передачу працюють всі ППМ.

ВИСНОВКИ

Радіолокаційні засоби характеризуються широтою та різноманіттям застосування. Найпростіша РЛС складається Прд, Прм, антенного пристрою, обчислювального пристрою та УОІ. Окрім виявлення об'єктів, УОІ РЛС виводить й іншу інформацію про цілі, що дозволяє ідентифікувати об'єкти. За характером розміщення частин апаратури у просторі розрізняють однопозиційні, двопозиційні (бістатичні) та багатопозиційні РЛС.

У представленому дипломному проекті була розроблена фазована антенна решітка для станції радіолокації сантиметрового діапазону. У проекті достатньо представлені конструкторські та електричні розрахунки, необхідні розробки пристрою. Розглянуто конструкторські рішення, необхідні для забезпечення надійності антени, що розробляється.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ганшин Д. Г. Исследование защищенности системы связи с многочастотными сигналами. / Д. Г. Ганшин, В. В. Маслий, А. И. Цопа // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2013. – Выпуск № 173. – С. 195-203.
2. Andre GM Lima, Leonardo Menezes. Smart antennas as an approach to instantaneous air interface with software-defined radios. IEEE antennas & propagation magazine vol. 49, No. 3, June 2007.
3. Hamid Krim, Mats Viberg. Two decades of array signal processing research. The parametric approach.// IEEE signal processing magazine. July 1996.
4. Теоретические основы радиолокации, под ред. Я. Д. Ширмана, М., 1970.
5. 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.
6. Грехов А. М. Радіолокаційна станція // Велика українська енциклопедія. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vue.gov.ua/> Радіолокаційна станція. (Дата звернення 10.11.23)
7. Jayamohan, "Not Your Grandfather's ADC: RF Sampling ADCs Offer Advantages," 2015.
8. Радіолокаційні станції розвідки рухомих цілей міліметрового діапазону [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/104-> (Дата звернення 10.11.23)
9. J. G. Proakis and D. K. Manolakis, "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Application," 4th Edition, Pearson, 2006.
10. Радіолокаційна станція П-190У [Електронний ресурс] –Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/108-radiolokatsionnayastantsiya-p-190u>
11. Мобільна станція дальньої радіотехнічної розвідки «Кольчуга» [Електронний ресурс]– Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika-pvo/rls/111-> (Дата звернення 10.11.23)

12. Модернізований рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА [Електронний ресурс]– Режим доступу: <https://uos.ua/produksiya/tehnika/rvo/rls/110-> (Дата звернення 10.11.23)
13. Воробьев Е.А. Расчет производственных допусков устройств СВЧ. – Л.: Судостроение, 1980. – 148с
14. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Советское радио, 1974. – 536с.
15. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. – М.: Энергия, 1966. – 648с.