

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА



## ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ

### КАФЕДРА ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

Керівник заняття

завідувач кафедри кандидат технічних наук, доцент  
Глухов Сергій Іванович

2016 р.

# **МЕТА ЗАНЯТТЯ:**

## **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Надати студентам загальні відомості про радіолокацію.**
- 2. Надати матеріал про основні методи вимірювання координат.**

## **ВИХОВНА МЕТА:**

- 1. Виховувати у студентів культуру поведінки.**
- 2. Виховувати студентів у дусі патріотизму.**

# ПИТАННЯ І

# ОСНОВНІ ЗАДАЧІ І ОСНОВИ РАДІОЛОКАЦІЇ

## **Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.**

**Термін «радіолокація» складений із латинського слова «locus»- місце та «radio» - випромінювання. (Визначення місця знаходження за допомогою випромінювання)**

**Радіолокація - це область радіоелектроніки, яка забезпечує одержання відомостей про об'єкти за допомогою прийому та аналізу радіохвиль.**

**Об'єкти радіолокації, тобто фізичні тіла, відомості про які мають практичний інтерес, прийнято називати *радіолокаційними цілями (РЛЦ)*.**

**В залежності від області застосування та походження РЛЦ можуть бути:**

**- аеродинамічні, балістичні та космічні, наземні та надводні, цілі природного походження (іонізовані створення, хмари).**

Сукупність відомостей про цілі прийнято називати радіолокаційною інформацією (РЛІ), а технічні засоби одержання цієї інформації - радіолокаційними станціями (РЛС).

Розглянемо, завдяки яким фізичним явищам можлива локація цілей.

Розрізняють три основні і три додаткові принципи радіолокації:

Перший принцип - випромінювання (перевипромінювання) радіохвиль об'єктами:

- шляхом випромінювання джерелом, яке знаходиться на ньому;

- випромінювання об'єктом, так званих вторинних хвиль (вторинне випромінювання) із-за неоднорідності електричних параметрів середовища на шляху розповсюдження електромагнітних хвиль.

Другий принцип - прямолінійність (направленість) розповсюдження радіохвиль. Це дозволяє визначити напрямок на джерело випромінювання.

## **Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.**

**Третій принцип - постійність швидкості розповсюдження радіохвиль. ( $V = 299792 \pm 0,4 \text{ км/с}$ ). Це дозволяє визначити довжину траєкторії розповсюдження радіохвиль, тобто визначити дальність до цілі.**

**Четвертий принцип - залежність фазової швидкості розповсюдження (групового часу запізнювання) від частоти в дисперсійних середовищах (що приводить до спотворення сигналу).**

**П'ятий принцип - виділення слабих сигналів від цілей та розділення цілей забезпечується за рахунок відмінності сигналів та перешкод.**

**Шостий принцип - інформація про цілі одержується паралельно або послідовно в часі і видається у вигляді інформаційних потоків.**

## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

Процес одержання РЛІ складається з:

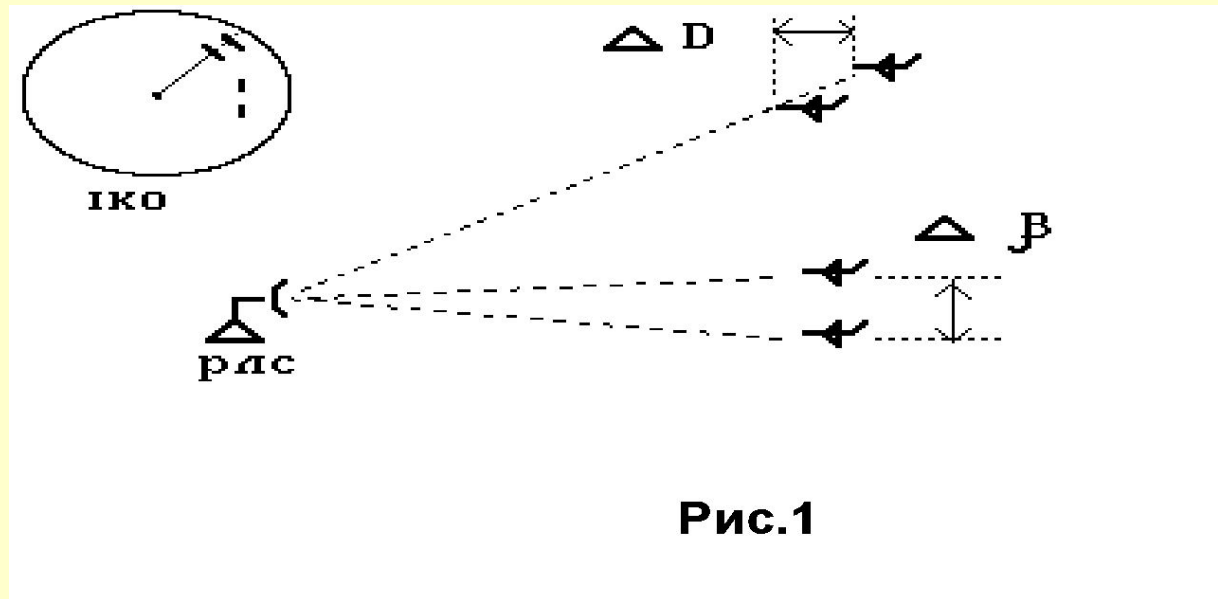
1. *Виявлення цілі* - прийняття рішення про наявність чи відсутність цілі в кожній виділеній ділянці простору з мінімально допустимими імовірностями, помилкових рішень.

2. *Вимірювання координат та параметрів руху* - одержання оцінок координат та параметрів руху цілі з мінімально допустимими похибками. В якості параметрів руху цілі можуть вводитись довільні координати, або інші параметри траєкторії цілі.

3. *Розділення* - виконання задач виявлення та вимірювання параметрів довільної цілі при наявності інших, крім вибраної для спостереження. Розрізняють розділення цілей по дальності, кутовим координатам, висоті і т.п.

## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

*Роздільною здатністю по дальності ( $\Delta D$ ) називається та мінімальна відстань між двома цілями, які знаходяться на одному азимуті, при якій відбиті від них сигнали спостерігаються на екрані індикатора ще роздільно. (рис.1)*





## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

Згідно рис.1 дати аналогічне визначення роздільної здатності по азимуту?

*Роздільною здатністю по азимуту ( $\Delta\beta$ ) називається та мінімальна відстань між двома цілями, які знаходяться на одній дальності, при якій відбиті від них сигнали спостерігаються на екрані індикатора ще роздільно*

Високі роздільні можливості РЛС дозволяють роздільно спостерігати та визначати координати близько розміщених цілей.

*Радіолокаційне розпізнавання цілі - встановлення належності цілі до визначеного класу за результатами обробки відбитих від неї радіолокаційних сингалів.*

## **Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.**

**В залежності від способу випромінювання радіохвиль ціллю розрізняють наступні види радіолокації:**

**1. Пасивна радіолокація виконує прийом та обробку радіолокаційних сигналів, джерелами яких є тільки самі об'єкти локації (наприклад, радіовипромінювання зірок, робота радіонавігаційного обладнання літака). Як правило, пасивні РЛС будуються за багатопозиційним принципом, що дозволяє визначити не тільки факт наявності цілі та виміряти її координати, а і при достатньо високому ступені просторової когерентності позицій можливо найбільш повне використання інформації, яка є в просторовій структурі електромагнітного поля.**

## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

2. Активна радіолокація з пасивною відповіддю - виконується шляхом опромінювання цілі електромагнітною енергією, яка випромінюється антеною РЛС, прийому та аналізу вторинного випромінювання від неї

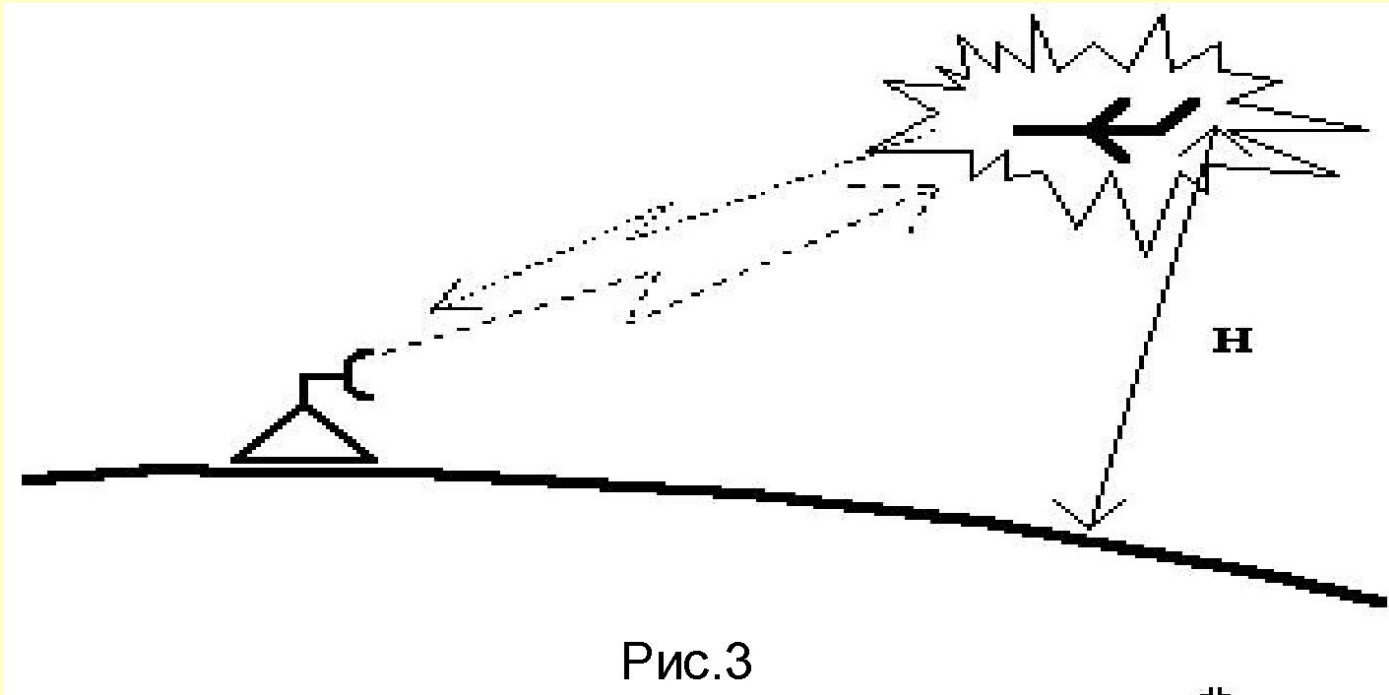


Рис.3

## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

3. Активна радіолокація з активною відповіддю - рознесений у просторі єдиний радіотехнічний комплекс, який складається із запитувача та відповідача, які з'єднані каналами зв'язку. Сигнали обміну, як правило, кодуються для підвищення достовірності інформації.

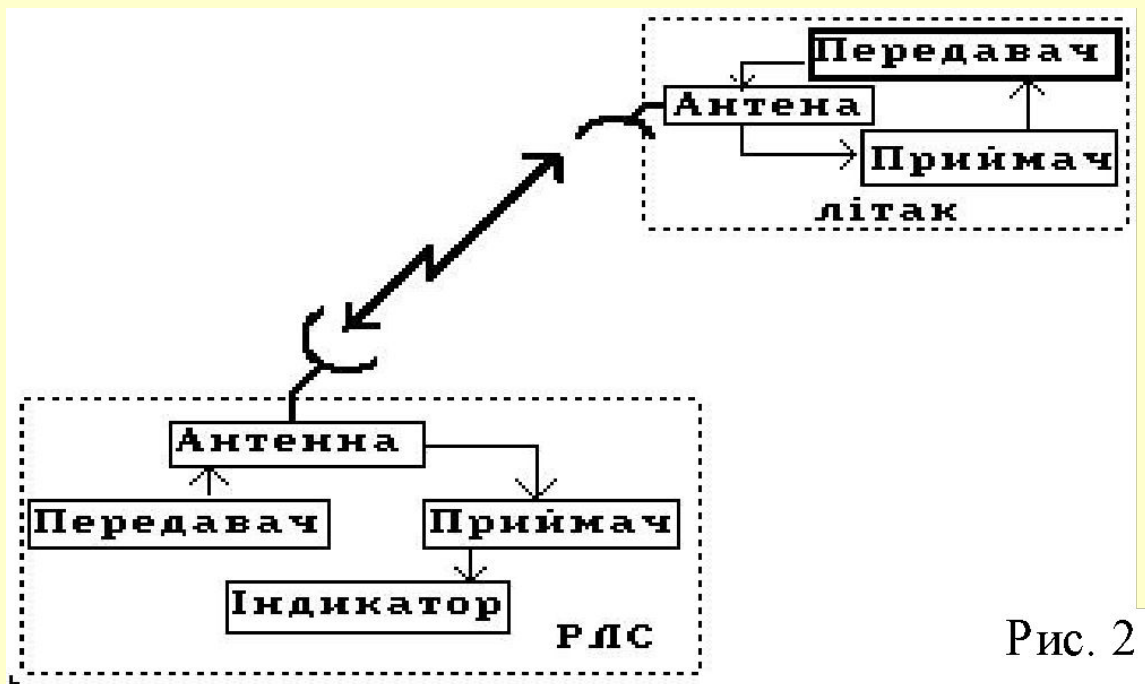


Рис. 2

## Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

Для вирішення задач визначення місця знаходження цілей в наземному просторі використовується земна (нерухома відносна Землі) система координат.

В радіотехнічних військах прийнята *сферична система координат*. За початок координат приймається точка стояння РЛС. (рис. 4.)

Вісь  $OY$  направляється вертикально у верх, вісь  $OX$  пов'язується з напрямком на північ, а вісь  $OZ$  так, щоб одержати праву систему координат.

В сферичній системі координат положення цілі визначається похилою дальністю  $D$  та двома кутами  $\beta$  і  $\varepsilon$  які визначають напрямок вектора похилої дальності  $D$ .

Кут  $\varepsilon$  між векторами та його проекціями на горизонтальну площину називають кутом місця; кут  $\beta$  ,який визначає в горизонтальній площині напрямок проекції  $D$  відносно початку відліку (вісь  $OX$ ), називають азимутом

# Питання 1. Основні задачі і основи радіолокації.

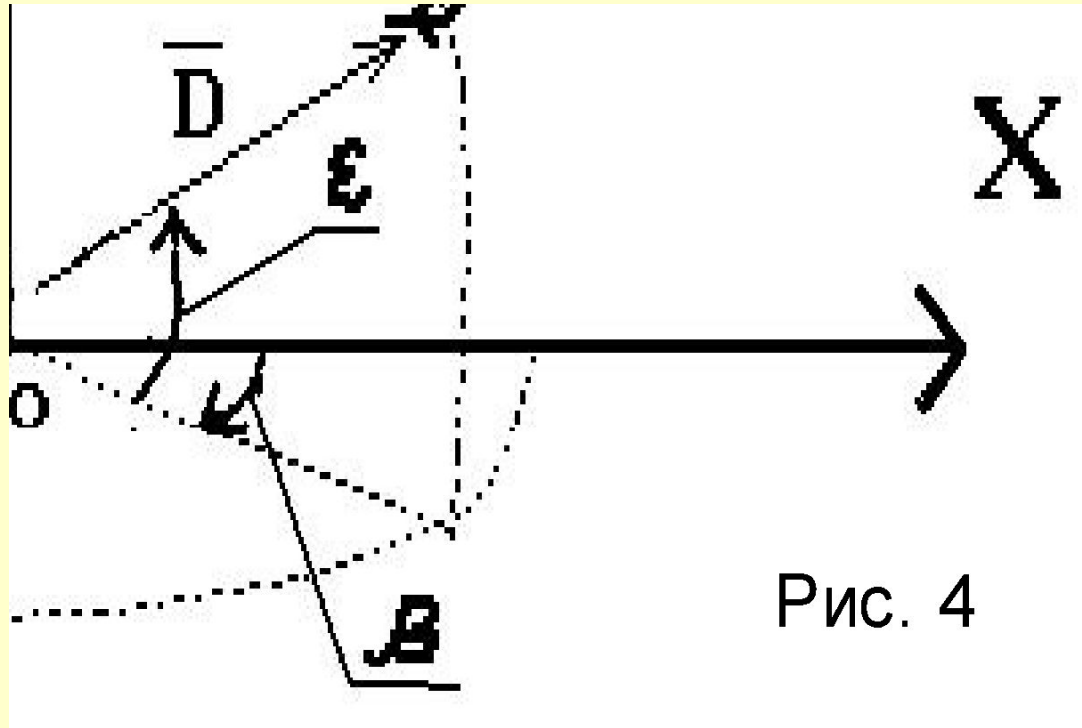


Рис. 4

# **ПИТАННЯ II**

## **МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ**

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ

Визначення дальності до цілі шляхом вимірювання довжини траєкторії розповсюдження радіохвиль до цілі і назад, називається *радіодальнометрією*.

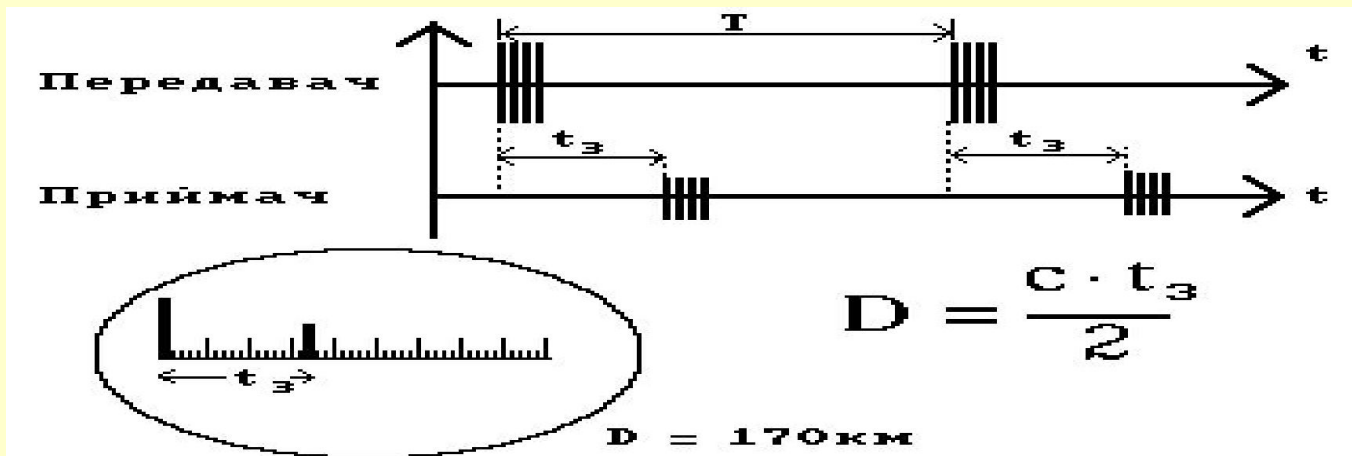
При визначенні похилої дальності до цілі  $D$  вимірюється час запізнення відбитого сигналу відносно зондувального.

Проаналізуємо можливі методи вимірювання дальності.

## 1. Імпульсний метод радіолокації.

В сучасних РЛС для виявлення та визначення координат цілей імпульсний метод набув широкого застосування.

Спрощена структурна схема імпульсної РЛС зображена на рис. 5.





## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

**Суть імпульсного метода радіолокації полягає в тому, що передавач РЛС генерує потужні, короткочасні, високочастотні радіоімпульси, які називаються зондувальними сигналами і які періодично повторюються. Зондувальні імпульси випромінюються направленою антеною в простір. Після закінчення зондувального імпульсу антенний комутатор переключує антену на приймач. В проміжках часу між зондувальними імпульсами відбиті від цілей сигнали поступають з антени через антенний перемикач в приймач. В приймачі вони підсилюються і з виходу детектора подаються на індикаторний пристрій. Індикаторний пристрій дозволяє вимірювати інтервал часу між початком зондувального імпульсу та початком прийому відбитого імпульсу  $t_z$  , тобто визначити відстань від РЛС до цілі.**

## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

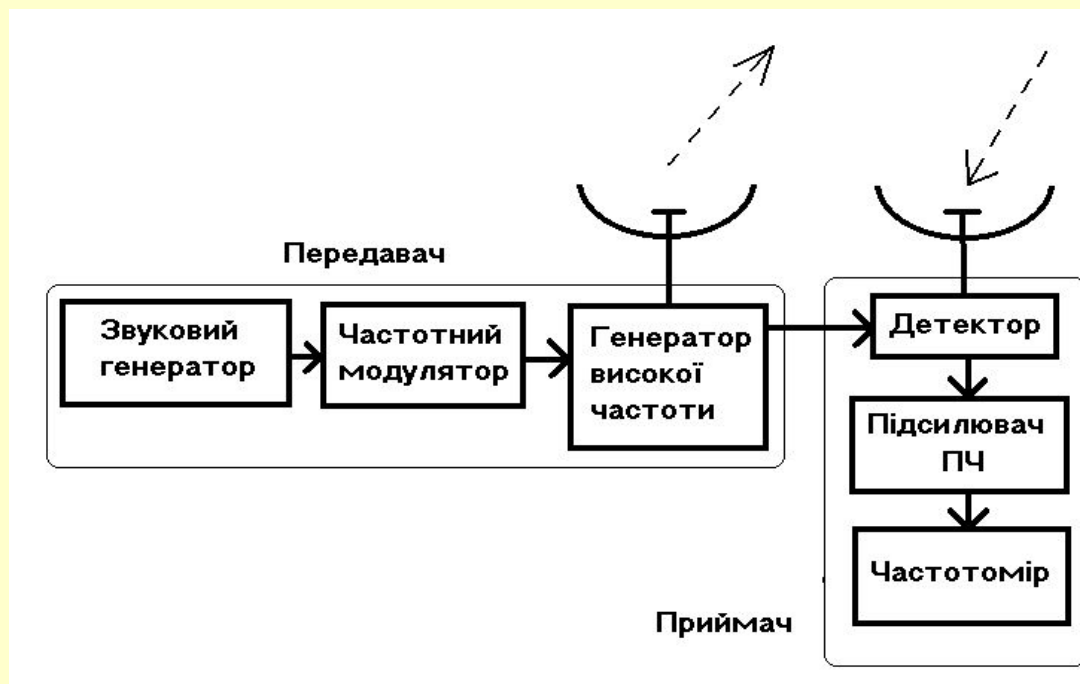
**Для нормальної роботи імпульсної РЛС потрібна синхронізація імпульсного передавача з індикаторним пристроєм, тобто початок випромінювання зондувального імпульсу та початок розгортки індикатора повинні співпадати. Таким чином, роблячи підсумок сказаному, визначення дальності до об'єкта при імпульсному методі зводиться до вимірювання часу запізнення  $t_z$  відбитого сигналу.**

**Перевагою імпульсних РЛС є зручність візуального спостереження одночасно всіх цілей, які опромінюються антеною у вигляді поміток на екрані індикатора, а також почергова робота передавача та приймача на одну загальну антену.**

## Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.

### 2. Частотний метод радіолокації.

Розглянемо принцип дії частотного радіолокатора, спрощена схема якого зображена на рис.6. Від генератора високої частоти на вхід детектора подається модульована за частотою напруга прямого сигналу  $U_1$  (рис.6).



Одночасно на вхід детектора від приймальної антени подається напруга відбитого сигналу  $U_2$ . Якщо відстань від цілі не змінюється, то додаткова модуляція коливань під час відбиття прямого сигналу від цілі не здійснюється. В цих умовах відбитий сигнал на вході відрізняється від прямого тільки за амплітудою. Якщо скласти прямий і відбитий сигнал на вході детектора виникають биття. Результируючий сигнал буде модульований по частоті і по амплітуді. Частота модуляції тим більша, чим більше відстань до цілі. Якщо тепер шляхом детектування результируючого сигналу виділити огибаючу і після підсилення подати цей сигнал на частотомір, то його покази будуть відповідати вимірюваній дальності. Таким чином, кожному значенню частоти биття можна поставити у відповідність похилу дальність до цілі. Так, наприклад, дальність до цілі при лінійній частотній модуляції зондувального сигналу дорівнює

## Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.

де  $c$  - швидкість світла;

$a$  - швидкість зміни частоти.

Якщо відстань між дальноміром та цілю змінюється, то закон биття частоти відбитого сигналу відрізняється від закону зміни частоти прямого сигналу ще й за рахунок ефекту Допплера. У цьому випадку частота биття дорівнює

$$F_B = \left| F_{B0} \pm F_\partial \right| \quad \text{де} \quad F_\partial = \frac{2V_r}{\lambda}$$

$V_r$  - радіальна швидкість цілі,

$\lambda$  - довжина хвилі радіолокатора.

## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

### *3. Фазовий метод радіолокації.*

При фазовому методі радіолокації про відстань до цілі судять по різниці фаз випроміненого та прийнятого відбитого сигналів. Для забезпечення радіодальнометрії фазовим методом потрібно надійно виділити відбитий сигнал тієї цілі, дальність до якої визначається.

Для цього звичайно використовують ефект Допплера. У цьому випадку використовують два передавача, які працюють на різних частотах. Відстань в цьому випадку визначається за допомогою вимірювання різниці фаз коливань двох доплерівських частот.

## **2. ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ.**

**Визначення кутових координат називають радіопеленгацією. Визначення кутових координат об'єктів проводиться за рахунок використання направлено випромінювання та прийому радіохвиль антенами РЛС. Методи визначення кутових координат діляться на амплітудні, фазові та амплітудно - фазові. Найбільшого поширення в РЛС РТВ набули амплітудні методи радіопеленгації. Внаслідок направлено випромінювання та прийому електромагнітної енергії антеною, амплітуда відбитого сигналу залежить від розміщення цілі відносно осі антенної системи. Ця залежність і лежить в основі визначення кутових координат амплітудними методами:**

- метод пеленгації по максимуму відбитого сигналу;**
- метод пеленгації по мінімуму відбитого сигналу;**
- метод рівносигнальної зони. Розглянемо суть цих методів.**

## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

### **1. Метод пеленгації по максимуму відбитого сигналу.**

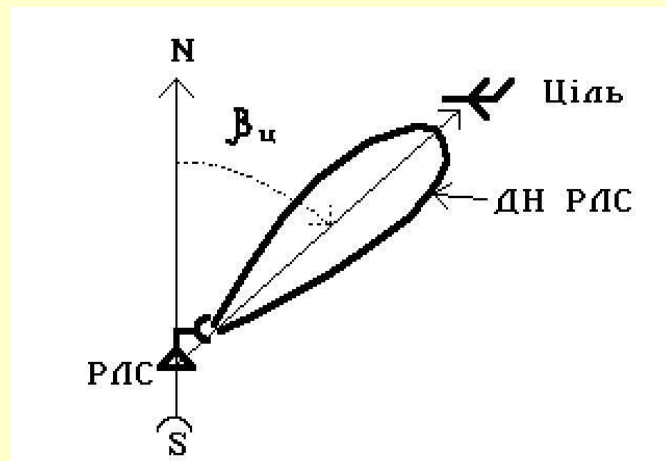
**Так як напрямок максимального випромінювання антени співпадає з геометричною віссю діаграми направленості, то амплітуда відбитого сигналу максимальна, коли напрямок на ціль співпадає з напрямком вісі антени. Напрямок вісі антенної системи при цьому фіксується спеціальними датчиками, які зв'язані з приводом антени і зі шкал яких зчитується як азимут так і кут місця цілі.**

#### **Переваги методу:**

- простота визначення кутових координат;**
- пеленгація виконується при найбільш сприятливому**
- відношенні сигнал/шум.**

**Цей метод одержав широкого розповсюдження в РЛС, які працюють в режимі кругового огляду.**

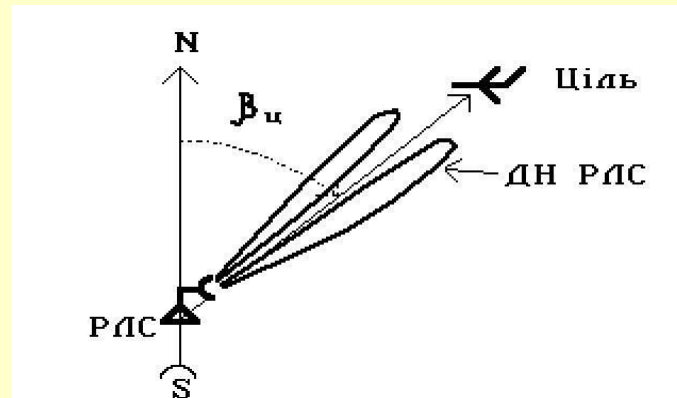




## 2. Метод пеленгації по мінімуму відбитого сигналу.

Для пеленгації по мінімуму відбитого сигналу використовують діаграму направленості, яка має пелюстковий характер (провали).

Кутові координати цілі визначаються по напрямку антени, яке відповідає мінімальній амплітуді відбитого сигналу.

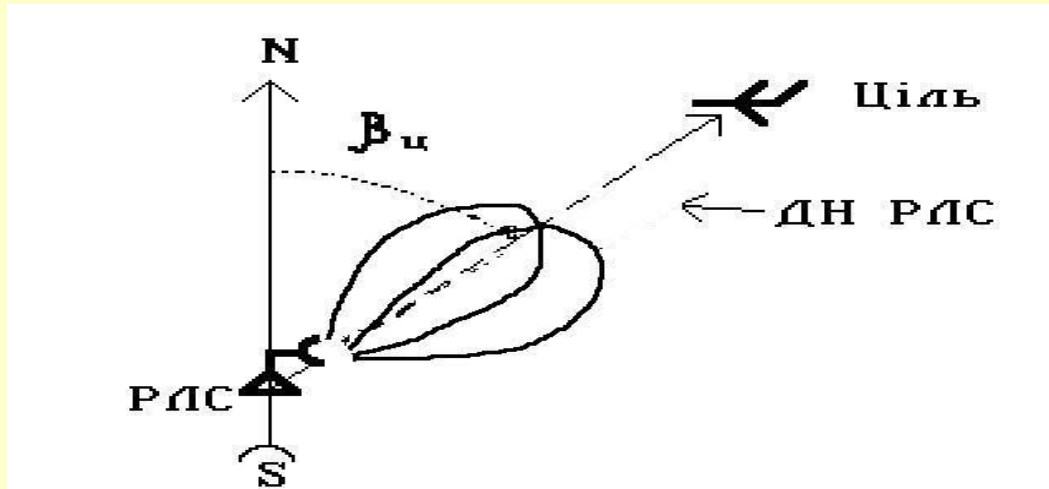


## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

**Основною перевагою методу мінімуму є більш висока точність пеленгації. Але великим недоліком цього методу є скорочення дальності дії станції в момент відліку пеленгу. Крім цього, в момент відліку кутових координат сигнал від цілі на екрані відсутній, що може привезти до хибного пеленгу. Цей метод широкого застосування в радіолокації не одержав. Але в радіонавігаційних системах метод пеленгування по мінімуму є одним із основних.**

### 3. Метод рівносигнальної зони.

Побудований на порівнянні амплітуд відбитих сигналів, які приймаються антеною, яка має дві однакові діаграми направленості. Направлення максимумів цих діаграм розходяться під деяким кутом і частково перекриваються рис.9. При пеленгації оператор повертає антену в площині пеленгації і досягає такого положення, при якому сигнал, який прийнятий від кожної антени, буде рівний між собою. В цей момент оператор відраховує пеленг цілі по приладу, який відповідає кутовому положенню антенної системи. Пеленгація таким методом дає високу точність визначення кутових координат без значного зменшення дальності визначення.



## **Питання 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ І ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ.**

**Рівносигнальний метод знаходить широке використання для визначення кута місця цілі, у тому числі і в РЛС нового парку, які мають парціальні діаграми направленості.**

**Вимірювання кута місця проводиться методом моноімпульсної радіолокації з дискретним відліком. В основному використовуються два методи дискретного відліку: згідно номеру приймального каналу; пороговий.**

**При відліку по номеру приймального каналу за оцінку кута місця цілі приймається напрямок максимуму променя того каналу на виході приймача якого виявлений сигнал. При цьому виникає помилка дискретності відліку. Максимальне значення помилки дискретності буде у тому випадку, коли ціль знаходиться на рівносигнальному напрямку (а за оцінку прийнято положення максимуму одного із сусідніх променів).**

# ПИТАННЯ ІІІ

## МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ

### **Питання 3. МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ**

Для визначення повітряних цілей за допомогою РЛС потрібно забезпечити опромінювання радіохвилями оточуючий простір. Опромінювання оточуючого простору виконується шляхом переміщення випромінюваної електромагнітної енергії, яка сконцентрована за допомогою антени РЛС в межах тілесного кута у вертикальній та горизонтальній площині.

Перетин направленої електромагнітного променя у горизонтальній або вертикальній площині називається діаграмою направленості (ДНА) у відповідній площині.

В залежності від методів переміщення ДНА у просторі розрізняють види огляду: круговий, секторний, гвинтовий, спіральний, конусний, пилкоподібний, кадровий.

### **Питання 3. МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ**

**Графічно вони характеризуються кривою, яку описує кінець лінії максимального значення діаграми направленості антени ( ДНА ) під час її переміщення у просторі. Швидкість радіолокаційного огляду у всіх випадках повинна бути узгоджена з шириною у горизонтальній та вертикальній площинах і з частотою повторення зондувальних імпульсів, для того, щоб забезпечити опромінювання кожної точки простору, тобто надійного виявлення цілей. Застосування видів огляду простору залежить від тактичного призначення РЛС.**

## *КРУГОВИЙ ОГЛЯД*

Круговий огляд використовується у РЛС РТВ, які призначені для створення суцільного радіолокаційного поля. Ці РЛС повинні виявляти повітряні об'єкти у найбільшому діапазоні дальностей та висот. З цією метою ДНА, яка досить широка у вертикальній площині та вузька у горизонтальній, обертається разом з антеною, яка створює таку ДНА у горизонтальній площині з постійною кутовою швидкістю ( $\omega a/c$ ). При цьому за один оберт опромінюється всі цілі в заданій області простору. Для надійного виявлення цілей потрібно, щоб за час, на протязі якого ціль знаходиться в зоні ДНА, вона опромінювалась на менше ніж 5...10 імпульсами. Для існуючих РЛС швидкість обертання антени становить від 3 до 12 об/хв. Перевагами методу кругового огляду є: простота методу, мінімальний час огляду великої області простору, внаслідок високого темпу оновлення інформації по кожній цілі (від 20 до 5 с) може бути одержане майже неперервне відображення повітряної обстановки в зоні огляду.



## Питання 3. МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ

### *СЕКТОРНИЙ ОГЛЯД*

Секторний огляд є похідним випадком кругового огляду. Він відрізняється від першого в тому, що ДНА виконує періодичне переміщення по азимуту у межах заданого сектора. Секторний огляд застосовується у тому випадку, коли відомий можливий напрямок на ціль, або якщо сектори огляду розподілені між окремими станціями.

### *ГВИНТОВИЙ ОГЛЯД*

Гвинтовий огляд простору виконується шляхом кругового руху променя антени по азимуту з одночасним переміщенням по куту місця в деякому заданому кутomisному секторі. Крок по куту місця визначається шириною ДНА у вертикальній площині. Величина кроку не повинна перевищувати половини ширини ДНА у вертикальній площині, для того щоб за один цикл огляду не залишилось непроглянутих областей простору. Гвинтовий огляд застосовується у РЛС, які визначають кутові координати і які мають вузьку ДНА у обох площинах.

## *СПІРАЛЬНИЙ ОГЛЯД*

Спіральний огляд виконується шляхом швидкого переміщення променя по спіралі навколо вісі, яка утворює центр зони огляду. Спіральний огляд застосовують при голчатій ДНА тільки для огляду вузького сектора, який обмежений по азимуту та куту місця. Крок спіралі не повинен перевищувати половину ширини ДНА. Застосовується у РЛС літаків для огляду передньої та задньої напівсфери та у станціях наведення гармат.

## *КОНІЧНИЙ ОГЛЯД*

Конічний огляд є різновидністю спірального. При цьому кут нахилу вісі ДНА не змінюється, а гілчастий кут обертається у просторі, утворюючи конус з вершиною у антени. Кожна точка ДНА описує в просторі коло. Цей метод дозволяє з великою точністю визначати кутові координати. Він застосовується у РЛС для наведення ракет та для автосупроводжування цілей по кутовим координатам.

### **Питання 3. МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ**

#### ***ПИЛКОПОДІБНИЙ ОГЛЯД***

Пилкоподібний огляд досягається шляхом коливання ДНА у межах заданого сектора по куту місця з одночасним обертанням по азимуту. Метод знайшов широке застосування в радіовисотомірах.

#### ***КАДРОВИЙ ОГЛЯД***

Кадровий огляд досягається шляхом швидкого коливання променя антени по одній кутовій координаті (азимуту) і повільного коливання по другій (куту місця). В результаті цього слід променя описує зигзагоподібну лінію в межах деякого кадру. Такий вид огляду використовується в режимі шукання цілей в наземних та корабельних РЛС наведення гармат. В зазначених методах огляд проводиться за допомогою одного променя. Ці методи називають методами послідовного огляду. Перевагою послідовного огляду є відносна простота конструкції локатора.

### **Питання 3. МЕТОДИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ**

Можливий також і змішаний метод огляду . При цьому є декілька променів. При чому огляд по одній кутовій координаті проводиться одночасно, а по іншій - послідовно. Одним із розповсюджених видів змішаного огляду є метод парціальних діаграм по куту місця. Антена РЛС при цьому утворює при прийомі (або випромінюванні і прийомі) пучок голчатих променів, які розходяться віялом і які розміщені в вертикальній площині. Під час обертання віялоподібної ДНА в горизонтальній площині виконується одночасний огляд по куту місця і послідовний - по азимуту. Сигнали, які прийняті окремими парціальними каналами, надходять у свої окремі приймачі. Інформаційні можливості РЛС при цьому підвищуються і можливо забезпечити високу роздільну здатність по куту місця при одночасному збереженню високого темпу огляду. Недоліком цього методу є складність побудови приймального пристрою та антени із-за їх багатоначальності.

# ПИТАННЯ ІV

## ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

## Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

Максимальна дальність дії РЛС - це відстань до цілі, при якій забезпечується виявлення відбитого сигналу на фоні шуму з заданою імовірністю.

Дальність дії РЛС у вільному просторі, без урахування впливу Землі та атмосфери, в першу чергу залежить від основних її параметрів, відбиваючих властивостей та розмірів повітряного об'єкту. До параметрів РЛС, які впливають на максимальну дальність відносяться:

- енергія випромінюваного сигналу;
- чутливість приймача  $P_{pr\ min}$ ;
- коефіцієнт підсилення антени  $G$ ;
- довжина хвилі  $\lambda$ .

До параметрів повітряного об'єкту відносяться: ефективна площа вторинного випромінювання цілі.

## Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

Максимальна дальність дії РЛС визначається формулою:

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_u}{(4\pi)^3 \cdot P_{\text{пр min}}}}$$

де  $P_i$  - імпульсна потужність РЛС

$$P_i = \frac{E_i}{T_i} \text{ (Вт)}$$

$G$  - коефіцієнт підсилення антени РЛС (раз);

$\lambda$  - довжина хвилі випромінюваного радіосигналу (м);

$\sigma$  - ефективна відбиваюча поверхня цілі (м<sup>2</sup>);

$P_{\text{пр. min}}$  - чутливість приймача РЛС (Вт);

$E_i$  - енергія випромінюваного сигналу;

$T_i$  - тривалість зондувального імпульсу.

## Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

Вираз називають основним рівнянням радіолокації для вільного простору.

Аналізуючи формулу, відмітимо, що найбільшого ефекту для збільшення дальності дає збільшення  $G$  та  $\lambda$ . При незмінній довжині хвилі  $\lambda$  збільшення  $D$  досягається збільшенням ефективної площі антени  $S_a$ , яка пропорційна геометричним розмірам антени. Збільшення останньої обмежене конструктивними та тактичними вимогами.

Збільшення  $P_i$ ,  $P_{pr\ min}$  не дуже ефективне. Щоб збільшити  $D$  в 2 рази, треба ці параметри змінити аж в 16 разів.



## Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

Рівняння (1) відповідає випадку, коли між РЛС та цілю є пряма видимість. З урахуванням впливу Землі та прямолінійного розповсюдження електромагнітної хвилі у випадку, коли ціль знаходиться нижче лінії горизонту, вона не буде виявлена, не зважаючи на те, що  $D_{max}$  згідно (5) буде перевищувати реальну дальність до цілі.

Для урахування кривизни Землі введено поняття дальності прямої видимості  $D_{пр}$ , яка обчислюється за формулою (рис. 5)

$$D_{пр} = \sqrt{(R_3 + h_a)^2 - R_3^2} - \sqrt{(R_3 + H_{ц})^2 - R_3^2}$$

Враховуючи, що  $R_3 \gg h_a$ ,  $R_3 \gg H_{ц}$  і  $R_3 = 6375$  км вираз (2) для випадку нормальної рефракції можливо виразити як

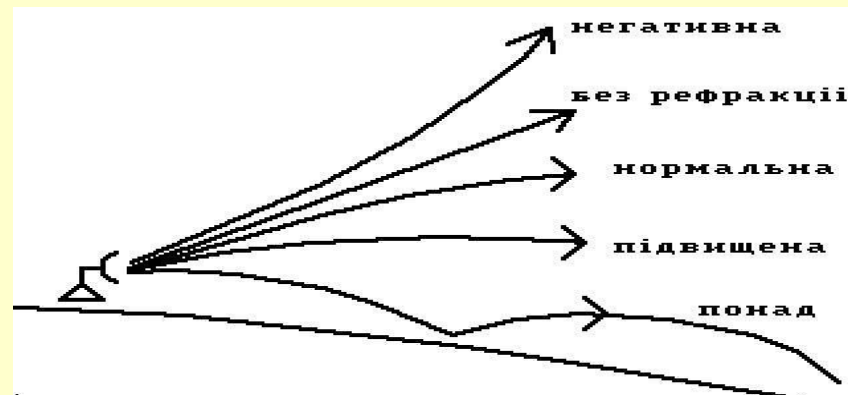
$$D_{пр} = 4,12 \cdot (\sqrt{h_a} + \sqrt{H_{ц}})$$

## Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА

Далі видно, що низьколітаючі цілі будуть виявлені на менших відстанях, чим висотні. Для збільшення  $D_{пр}$  антену РЛС треба розміщувати на підвищеннях, пагорбах, штучних естакадах.

Характер розповсюдження радіохвиль у будь-якому середовищі залежить від її діелектричної проникності  $\mu$ . Із збільшенням висоти над Землею значення  $\mu$  змінюється. Це приводить до переломлення шляху розповсюдження радіохвиль різними шарами атмосфери, тобто до рефракції. Можливі такі випадки рефракції (рис. 6)

негативна  
без рефракції  
нормальна  
підвищена  
зверхрефракція



## **Питання 4. ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ РАДІОЛОКАТОРА**

**Завдяки нормальній рефракції дальність дії РЛС збільшується і є можливість спостереження цілей за лінією горизонту.**

**Класичним методом урахування впливу рефракції радіохвиль базується на представленні про ефективний радіус Землі  $R_e$ , який більше дійсного на відповідну величину, а кривина променя при цьому компенсується ефективною кривиною Землі. У формулі (6)  $R_3$  відповідає нормальній рефракції.**

**Крім цього, в атмосфері із-за наявності в ній кисню і водяних парів відбувається поглинання та розсіювання радіохвиль, внаслідок чого енергія радіохвилі при розповсюдженні зменшується. Поглинання радіохвиль в атмосфері суттєве на хвилях з довжиною хвилі меншої 30 см. Втрати енергії радіохвиль підвищуються по мірі зменшення  $\lambda$ . тому цей фактор обмежує нижню межу довжини радіохвилі, які застосовують в РЛС.**

# ПИТАННЯ V

## КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС

## Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.

Розглянемо загальну структурну схему імпульсної РЛС



Роботу імпульсної РЛС краще усього розглядати з блоку синхронізації. Цей блок задає «ритм» роботи станції: він задає частоту повторення зондувальних імпульсів, синхронізує роботу індикатора та інших імпульсних пристроїв з роботою передавача. Синхронізатор виробляє короткі імпульси запуску з визначеною частотою повторення  $F_n$ . Конструктивно він виконується, у вигляді окремого блоку, або у складі модулятора.

## **Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.**

**Модулятор керує роботою генератора НВЧ, вмикає і вимикає його. Модулятор протягом часу між імпульсами запуску накопичує значний запас енергії з джерела живлення ( високовольтний випрямляч ), потім з надходженням імпульсу запуску, формує потужні прямокутні імпульси потрібної амплітуди та тривалості. В складі модулятора обов'язково входять накопичувач та комутуючий елемент, який повинен своєчасно підключати модулятор до генератора і відключати його. Тривалість роботи генератора НВЧ визначається тривалістю сформованого в модуляторі імпульсу  $t_i$ . Тривалість  $t_i$ , як правило, складає одиниці мікросекунд, а пауза між ними - сотні і тисячі мікросекунд.**

**Під дією напруги модулятора генератор НВЧ генерує потужні радіоімпульси НВЧ, які через антенний перемикач надходять в антену.**

## **Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.**

**Антенний перемикач забезпечує можливість роботи передавача та приймача на одну загальну антену. На час генерації зондувального імпульсу він підключає антену до виходу передавача та блокує вхід приймача, а на час паузи - підключає антену до входу приймача, блокуючи її від передавача.**

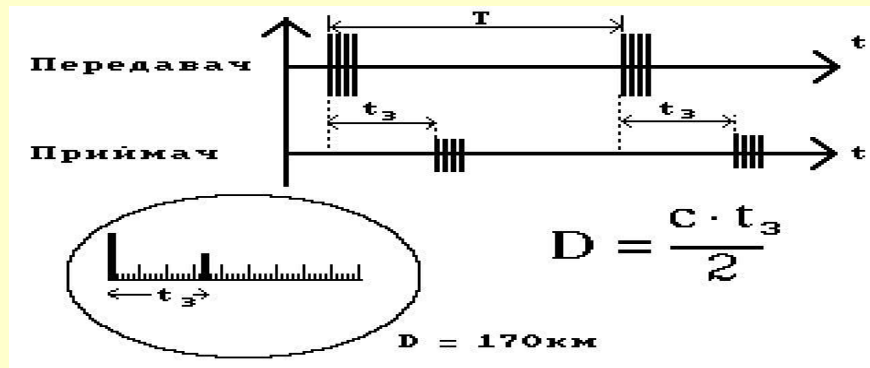
**Антена це складна конструкція, яка складається з випромінювачів та дзеркала. Антена концентрує енергію в вузький промінь, тобто формує діаграму направленості.**

**Відбиті від цілей сигнали приймаються антеною і надходять до приймача, де вони підсилюються та детектуються. Приймач повинен мати високу чутливість та значний коефіцієнт підсилення. З виходу приймача сигнали надходять на вхід апаратури захисту від перешкод. В останній виконується подавлення сигналів від активних та пасивних перешкод, і відокремлення на їхньому фоні сигналів цілей.**

## Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.

Кінцевим пристроєм РЛС є індикатор, який призначений для відображення та візуального визначення радіолокаційної інформації. Крім цього індикатор є пороговим пристроєм оптимального приймача. Для РЛС виявлення та наведення за допомогою індикаторних пристроїв відображається повітряна обстановка і з високою точністю визначаються координати цілей.

Для точного визначення дальності потрібно виміряти інтервал часу  $t_3$ . Суттю метода вимірювання дальності за допомогою електронно-променевої трубки (ЕЛТ) можна пояснити на прикладі використання лінійної розгортки в ЕЛТ з електростатичним відхиленням променя (рис.8).





## Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.

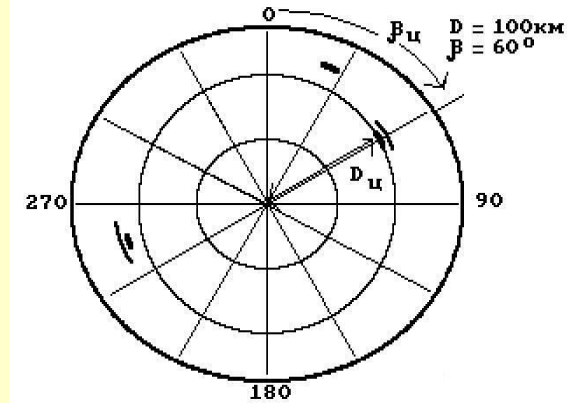
Генератор пилкоподібної напруги вироблює відеоімпульси з амплітудою, яка лінійно змінюється

$U_{гпн} = kt = U$ , де  $k$  - швидкість зміни напруги.

Під дією цієї напруги на горизонтально відхиляючі пластини ЕПТ електронний промінь періодично переміщується з постійною швидкістю зліва направо. Генератор розгортки запускається тим же імпульсом запуску, що і модулятор передавача. Тому рух променя по екрану індикатора починається кожний раз в момент випромінювання зондувального імпульсу. Якщо на вертикально-відхиляючі пластини подати вихідний сигнал приймача, то в момент приходу відбитого від цілі сигналу на індикаторі з'явиться вертикальне відхилення. Відстань відносно початку розгортки, на яку перемістився промінь до моменту приходу відбитого сигналу, залежить від дальності до цілі.

Отож, кожній точці лінії розгортки відповідає свій момент приходу відбитого сигналу, тобто визначене значення дальності.

У РЛС, які працюють в режимі кругового огляду використовується індикатор кругового огляду (ІКО) з електромагнітним відхиленням променя та відміткою яскравості. Антена РЛС з вузьконаправленим променем (діаграмою направленості (ДН) обертається за допомогою пристрою обертання в горизонтальній площині і «здійснює огляд» оточуючого простору. На ІКО лінія розгортки дальності обертається синхронно з антеною, а початок руху електронного променя від центра трубки в радіальному напрямку співпадає з моментом випромінювання зондувального імпульсу. Відбиті сигнали відображаються на екрані індикатора у вигляді помітки з підвищеною яскравістю. ІКО дозволяє одночасно визначати дальність  $D$  та азимут  $\beta$  цілі. Для зручності на екрані ІКО наносять масштабні помітки дальності у вигляді кілець, та масштабні помітки азимута у вигляді яскравих радіальних ліній (рис. 9)



У РЛС нового парку задачу виявлення цілі на фоні шуму виконує не оператор, а спеціальна апаратура первинної обробки інформації (ПОІ). Індикатор у цьому випадку дозволяє оператору слідкувати за повітряним оточенням, керувати роботою спецобчислювача по визначенню координат та параметрів руху цілі (швидкість, курс) та відображати результати роботи спецобчислювача у вигляді формулярів цілі. Розглянутий принцип роботи РЛС має назву амплітудний, тобто виявлення цілі виконується в момент перевищення сигналу від цілі на екрані індикатора якогось енергетичного порогу. При цьому структура відбитого сигналу не розглядається, важлива тільки загальна його потужність. У когерентно-імпульсній РЛС використовується ефект Доплера, який було відкрито австрійським фізиком Доплером у 1842 році.

## Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.

Суть ефекту полягає у тому, що частота спостерігаємих коливань змінюється, якщо спостерігач та джерело випромінювання рухаються один відносно одного.

Нехай передавач випромінює гармонічні коливання частотою  $f$ . Тоді напруженість електричного поля на виході передавача описується виразом

$$E_{II} = E_{\max} \cdot \sin \omega t \quad \text{де}$$

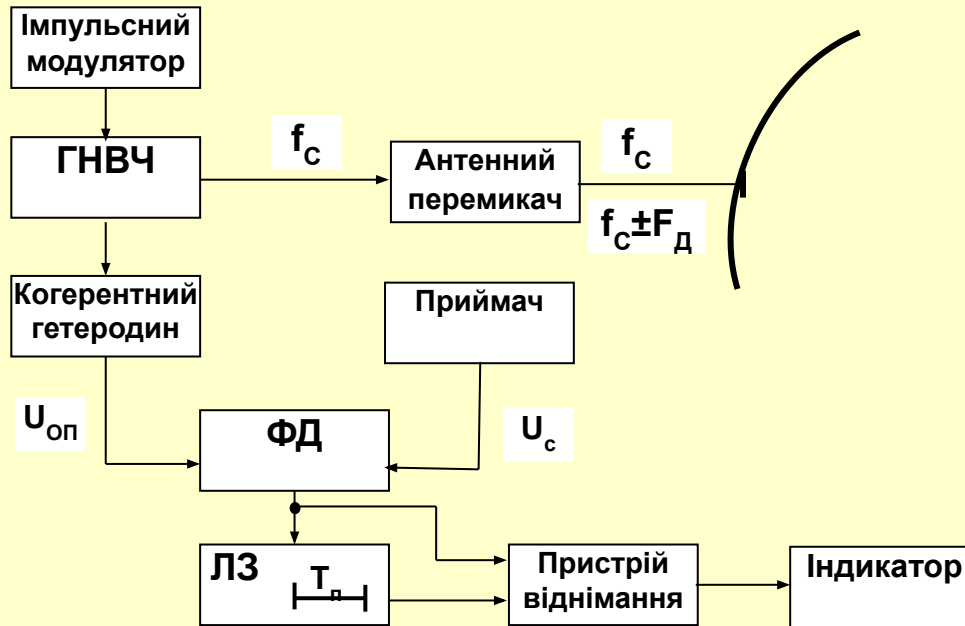
$$\omega = 2\pi f$$

- кутова швидкість.

Якщо ціль нерухома, то відбитті від неї сигнали надходять в приймач з запізненням по відношенню з сигналами, які надійшли від передавача на час  $\Delta t$ .

$$E_{\text{ВІД}} = E_{\text{ВІД}} \cdot \sin \omega(t - \Delta t)$$

## Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.



Коливання високостабільного ВЧ генератора надходять на підсилювач потужності, який крім функції підсилення одночасно з модулятором виконує функцію ключового пристрою. При цьому із гармонічних коливань ВЧ генератора «нарізується» періодична когерентна послідовність радіоімпульсів з стабільною початковою фазою. Коливання ВЧ генератора в якості опорного сигналу порівнюється з відбитим від цілі сигналом у фазовому детекторі (ФД). 53

## **Питання 5. КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНА РЛС.**

**ФД перетворює фазові відмінності відбитого та опорного сигналу в амплітудні.**

**Якщо сигнал одержаний від нерухомого об'єкту, то в кожному періоді «випромінювання-прийом» роботи РЛС фазове зміщення між опорним і прийнятим сигналами буде постійним і на виході ФД сигнал теж буде постійної амплітуди.**

**Якщо ціль рухається, то фазове зміщення в кожному періоді буде змінюватись і на виході ФД амплітуда сигналу буде змінюватись.**

**Пристрій СРЦ компенсує сигнали від нерухомих об'єктів і пропускає сигнали від рухомих цілей.**

# ЛІТЕРАТУРА

1. **ОСНОВИ ПОБУДОВИ РЛС РТВ**  
**ПІД РЕДАКЦІЄЮ Б.Ф. БОНДАРЕНКО, КВІРТУ**  
**ППО, 1987.**
2. **ОСНОВИ ПОБУДОВИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ**  
**ТЕХНІКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ППО,**  
**1989.**
3. **ТХОРЖЕВСЬКИЙ В.І. СИСТЕМИ**  
**РАДІОЛОКАЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ.**  
**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК. ЧАСТИНА 1. КИЇВ,**  
**2007 РІК.**
4. **ТЕОРІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ:**  
**ПІДРУЧНИК / Б.Ф. БОНДАРЕНКО, В.В.**  
**ВИШНІВСЬКИЙ, В. П. ДОЛГУШИН ТА ІНШІ;**  
**ЗА ЗАГАЛЬНОЮ РЕДАКЦІЄЮ С.В. ЛЄНКОВА,**  
**2008.**