



## Модуль 2

# Радіотехнічні системи управління

Тема 6. Фізичні основи радіолокації – 4 год (ФО РЛ.ppt), 4 бали.

Тема 7. Теоретичні основи радіолокації – 8 год (ТО РЛ.ppt), 5 балів.

Тема 8. РЛС безперервного та імпульсного випромінювання – 8 год (РЛС БІВ.ppt), 5 балів.

Тема 9. Імпульсно-доплерівські РЛС – 8 год (ІД РЛС .ppt), 5 балів.

Тема 10. РЛС авіаційних комплексів – 8 год (РЛС АК.ppt), 5 балів.

Тема 11. Авіаційний комплекс перехоплення повітряних цілей – 8 год (АК ППТ.ppt), 5 балів.

Тема 12. Радіолокаційний прицільний комплекс винищувача – 8 год (РЛПК.ppt), 5 балів.

Тема 13. Радіолокаційна система розпізнавання – 8 год (РЛСР.ppt), 5 балів.

Тема 14. Радіотехнічні системи управління ракетами – 8 год (РС УР.ppt), 5 балів.

Тема 15. Системи розвідки і радіоелектронної боротьби – 10 год (СРІРЕБ.ppt), 5 балів.

Модульний контроль - 2 год, 6 балів.

Оцінка	Кількість балів $N$				
	Максимальна	Незадовільно $N < 60\%$	Задовільно $60\% \leq N < 75\%$	Добре 75% $\leq N < 90\%$	Відмінно $90\% \leq N$
Поточна	49	менше 29	29 – 36	37 – 44	44 – 49
Контрольна	6	менше 4	4	5	6
Підсумкова	55	менше 33	33 – 40	41 – 49	50 – 55

## ***Розділ IV***

# ***“Експлуатація і ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет”***



## ***Тема 6. “Фізичні основи радіолокації”***

**Доцент кафедри  
кандидат технічних наук, доцент Войчук В. А.**

**Київ 2012**

# Навчальна та виховна мета

1. Ознайомити з фізичними основами принципів отримання інформації про цілі шляхом аналізу відбитого ними або власного радіовипромінювання.
2. Виховувати у студентів – майбутніх фахівців авіації Повітряних Сил ЗСУ самостійність, творчу ініціативу, наполегливість та високу відповідальність за якісну організацію технічної експлуатації та вміле бойове застосування автономних засобів радіонавігації.

## Навчальні питання

1. [Принцип дії і характеристики РЛС.](#)
2. [Методи визначення координат цілей.](#)

# Контрольні завдання (ФО РЛ)

1. Поясніть, як співвідносяться ЕПР металевого шару з його видимою площею – тобто з площею його поперечного січення (1 бал).
2. Поясніть, як співвідносяться ЕПР гладкої металевої пластини (дзеркала) з її видимою з різних напрямків площею (1 бал).
3. Поясніть, як співвідносяться ЕПР шороховатої металевої пластини з її видимою з різних напрямків площею (1 бал).
4. Поясніть, як співвідносяться ЕПР тіла з його видимою з різних напрямків площею, якщо його діелектрична проникливість  $\epsilon=1$  (1 бал).
5. Наведіть приклади бортових та наземних авіаційних РЛС активного, напівактивного, з активною відповіддю та пасивного типу (1 бал).
6. Проаналізуйте вплив неоднорідності атмосфери на радіолокаційне спостереження (1 бал).

Примітка. Мінімальна сума балів по темі для отримання позитивної оцінки – 2.4.  
Максимальна сума зарахованих балів по темі – 4.0.

# 1. Принцип дії і характеристики РЛС

## Загальні відомості про РЛС

Радіолокація – галузь радіотехніки, яка займається застосуванням електромагнітних хвиль радіодіапазону для роздільного виявлення, визначення координат, параметрів руху та інших характеристик об'єктів.

Об'єкти радіолокації зветься *радіолокаційними цілями* (або просто *цілями*),

Радіолокаційна інформація про цілі здобувається шляхом *радіолокаційного спостереження*, яке здійснюється *оглядом* відповідної частини простору або поверхні.

При РЛ спостереженні насамперед здійснюється *виявлення* цілей – встановлення факту наявності цілі на основі результатів аналізу прийнятих радіолокаційних сигналів.

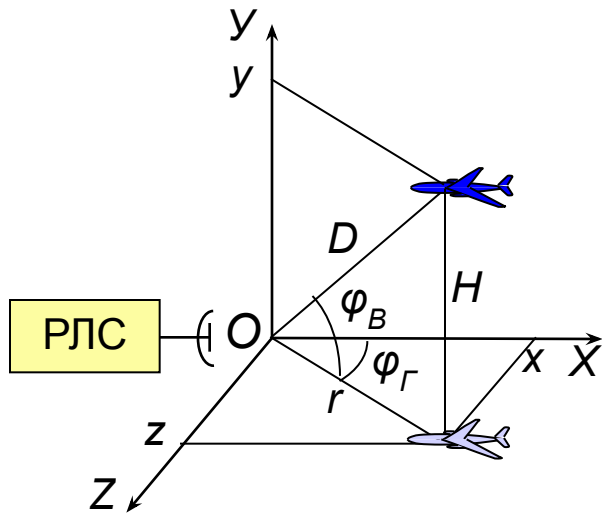
При виявленні цілей треба забезпечити їх *розділення*, тобто окреме спостереження кожної з цілей групи.

Шляхом аналізу прийнятих РЛ сигналів також визначаються *координати, параметри руху* та інші характеристики виявлених цілей.

Технічний засіб, призначений для рішення задач радіолокації, зветься *радіолокаційною станцією* (РЛС) або *радаром*.

Для отримання радіолокаційної інформації РЛС здійснює *зондування* простору або поверхні. В більшості РЛС для цього випромінюються *зондуючі сигнали* (ЗС). Будь-яка неоднорідність простору при її опромінюванні ЗС створює *відбитий сигнал*, частина якого попадає в антену РЛС і несе інформацію про цю неоднорідність.

В радіолокації для визначення місцеположення цілей застосовуються полярна (азимут  $\varphi_{\Gamma}$ , горизонтальна дальність  $r$ ), сферична ( $\varphi_{\Gamma}$ , кут місця  $\varphi_B$ , похила  $D$ ) або циліндрична ( $\varphi_{\Gamma}$ ,  $r$ , висота  $H$ ) системи координат. Для обміну інформацією з іншими джерелами або споживачами звичайно використовується декартова система координат ( $x, y, z$ ). Початок системи координат  $O$  співпадає з місцеположенням РЛС (антени РЛС).



В авіації радіолокаційні станції застосовуються:

а) при рішенні задач **безпеки польотів**:

- радіовисотоміри,
- РЛС забезпечення польоту строєм,
- РЛС попередження зіткнення,
- метеорологічні РЛС,
- РЛС забезпечення маловисотного польоту;

б) при рішенні **навігаційних** задач:

- панорамні РЛС огляду підстилаючої поверхні,
- радіовисотоміри,
- радіодальноміри,
- доплерівські вимірювачі вектора шляхової швидкості;

в) в системах та комплексах **управління зброєю і засобами ураження**:

- РЛС контролю повітряного простору і управління зброєю винищувачів;
- панорамні РЛС контролю поверхні і управління зброєю ударних літаків,
- радіолокаційні голівки наведення самонавідних засобів ураження,
- радіопідірвачі,
- радіолокаційні засоби забезпечення польоту крилатих ракет;

г) в системах та комплексах **розвідки і радіоелектронної боротьби:**

- засоби попередження про опромінювання,
- станції радіотехнічної розвідки,
- станції активних перешкод,
- РЛС контролю повітряного простору, бокового огляду.

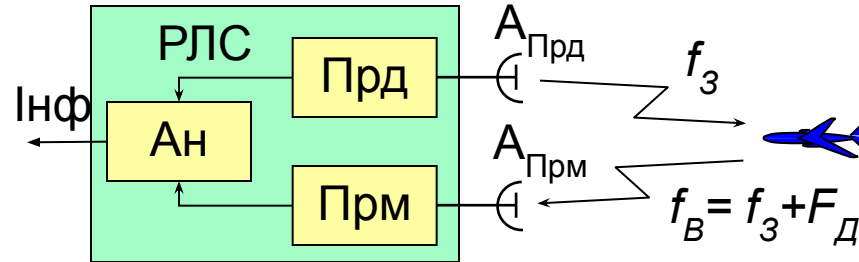
д) в радіолокаційних системах **розпізнавання державної приналежності цілей:**

- радіолокаційні запитувачі,
- радіолокаційні відповідачі.

е) в **пошуково-рятувальних** системах.

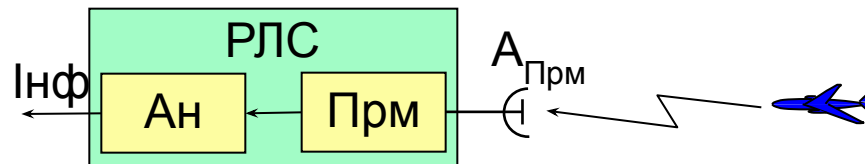


# Принципи отримання інформації в РЛС

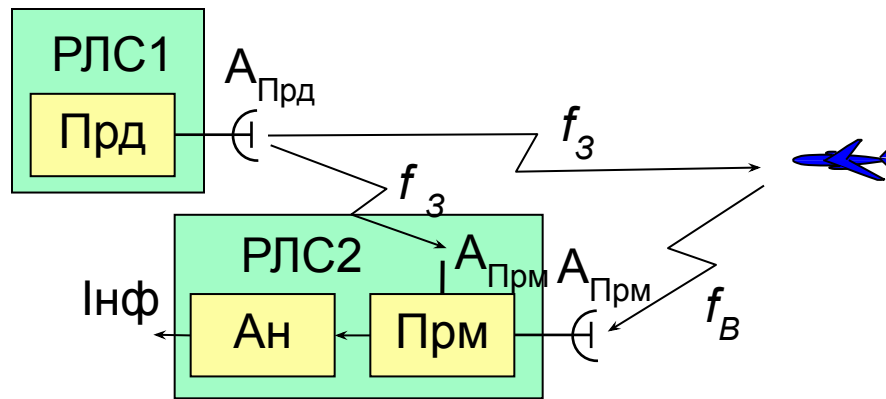


*Активна* РЛС включає прийомо-передавальний тракт (Прм, Прд), передаючу і прийомну антени ( $A_{\text{Прд}}$ ,  $A_{\text{Прм}}$ ) та аналізатор (Ан). Інформація про ціль (наявність цілі, її координати і швидкість) вноситься при відбитті зондуючого сигналу ціллю і вилучається з нього аналізатором.

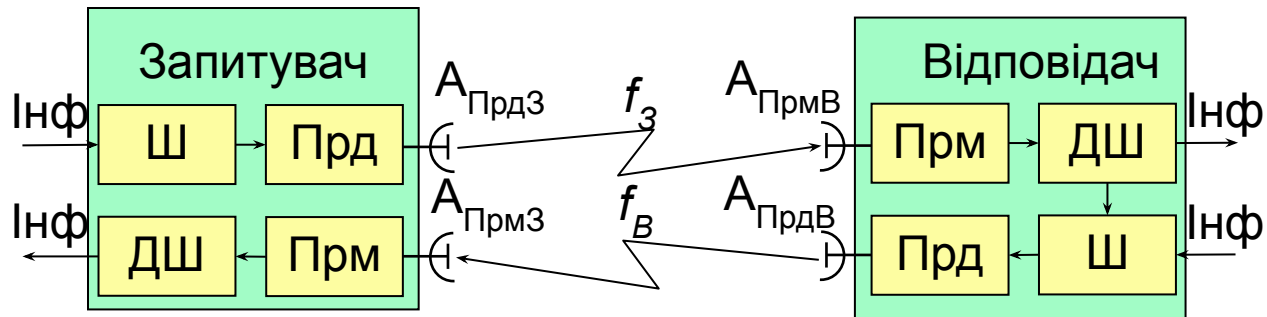
Якщо ціль рухається відносно РЛС (або РЛС рухається відносно цілі), то частота відбитого сигналу відрізняється від частоти зондуючого сигналу на доплерівський зсув частоти:  $f_B = f_3 + F_D$



*Пасивна* РЛС має тільки прийомний тракт. Інформація про ціль міститься в її власному випромінюванні.



*Напівактивна* РЛС складається з двох рознесених у просторі РЛС неповного складу. Інформація про ціль в РЛС2 добувається шляхом співставлення відбитого ціллю сигналу з прийнятим зондуєчим сигналом РЛС1.



РЛС з *активною відповіддю* є система автоматичного обміну інформацією між *запитувачем* і *відповідачем*. Ініціатива належить запитувачу. Інформація в сигнали запиту і відповіді вводиться шифраторами (Ш), а вилучається з сигналів дешифраторами (ДШ).

В залежності від способу розміщення апаратури РЛС ділять на *однопозиційні* і *багатопозиційні*.

Багатопозиційна РЛС – це система з рознесених у просторі передавачів і приймачів з комплексною обробкою інформації з усіх точок прийому.

Найпростіша багатопозиційна РЛС *бістатична* (двохпозиційна), наприклад, РЛС *напівактивного* типу, в якій передавальний (РЛС1) і приймальний (РЛС2) тракти знаходяться на різних позиціях: на винищувачі і на пущеній ракеті (1 передавач і 1 приймач на двох позиціях). Складніші системи: 1 передавач і декілька приймачів або декілька передавачів і 1 приймач на різних позиціях. Можливий варіант пасивної багатопозиційної системи: при цьому в якості зондуючих сигналів використовується випромінювання стороннього джерела.

В багатопозиційній системі здійснюється *синхронізація* апаратури на всіх позиціях, а в більш досконалій – і її *фазування*.

Багатопозиційна система отримує більше інформації про ціль, ніж однопозиційна. Тому об'єкти, в яких реалізована орієнтована на однопозиційні РЛС технологія СТЕЛС, не захищені від спостереження багатопозиційними РЛС.

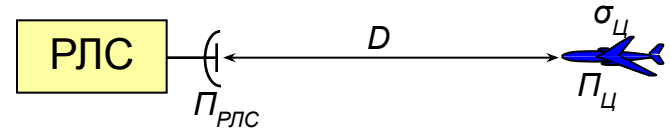
# Ефективна поверхня розсіювання цілі

Ефективна поверхня розсіювання цілі (ЕПР), ефективна відбиваюча поверхня (ЕВП), радіолокаційний поперечник або радіолокаційне січення – це площа поперечного січення удаваної цілі, яка при заміщенні нею реальної цілі, розсіює **всю** падаючу на неї енергію зондуючого сигналу **ізотропно** і створює в точці розміщення РЛС таку ж щільність потоку потужності, як і реальна ціль.

ЕПР **моностатична**, якщо РЛС **однопозиційна**, і **бістатична**, якщо РЛС **багатопозиційна**.

Бістатична ЕПР часто більша за моностатичну, особливо для цілей із застосуванням технології СТЕЛС.

ЕПР цілі залежить від довжини хвилі  $\lambda$  зондуючого сигналу, розмірів і конфігурації цілі та напрямку зондування. Залежність ЕПР від напрямку спостереження описується **моностатичною або бістатичною діаграмою вторинного випромінювання** цілі.



$P_{\Sigma}, P_{\text{прм min}}$  - потужність випромінювання і чутливість приймача,

$G_{\text{прд}}, A_{\text{прм}}$  - коефіцієнт направленої дії передаючої і ефективна поверхня прийомної антен,

$\lambda$  - довжина хвилі.

$P$  - щільність потоку потужності.

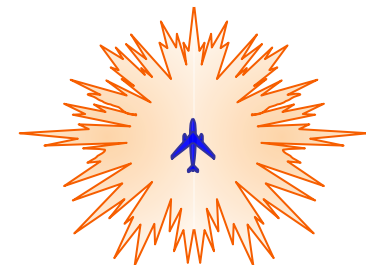
$$P_{\text{Ц}} = \frac{P_{\Sigma} \cdot G_{\text{прд}}}{\pi \cdot D^2}$$

$$P_{\text{РЛС}} = \frac{P_{\text{Ц}} \cdot \sigma_{\text{Ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{P_{\Sigma} \cdot G_{\text{прд}} \cdot \sigma_{\text{Ц}}}{\pi^2 \cdot D^4}$$

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{РЛС}} \cdot A_{\text{прм}} = P_{\text{РЛС}} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot G_{\text{прм}}}{4\pi}$$

Експериментально ЕПР цілі обчислюється по формулі:

$$\sigma_{\text{Ц}} = 4\pi^3 \cdot D^4 \frac{P_{\text{прм}}}{P_{\Sigma} \cdot G_{\text{прд}} \cdot G_{\text{прм}}}$$



# Дальність дії РЛС

РЛС здатна отримувати інформацію про ціль при умові, що потужність сигналу на вході її приймача не менше його чутливості. Тому дальність дії РЛС становить

$$D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{P_{\Sigma} \cdot G_{\text{Прд}} \cdot G_{\text{Прм}} \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_{\text{Ц}}}{4\pi^3 \cdot P_{\text{Прм min}}}}$$

$P_{\Sigma}$  – потужність випромінюваного сигналу,  $P_{\text{Прм min}}$  – чутливість приймача,  $G_{\text{Прд}}$  і  $G_{\text{Прм}}$  – коефіцієнти направленої дії передавальної і приймальної антен,  $\lambda$  – довжина хвилі зондуючого сигналу,  $\sigma_{\text{Ц}}$  – ЕПР цілі.

В РЛС з активною відповіддю розрізняють дальність дії у напрямку запитувач-відповідач  $D_{\text{З-В}}$  і в зворотному напрямку  $D_{\text{В-З}}$ . В збалансованій системі  $D_{\text{З-В}} = D_{\text{В-З}} = D_{\text{max AB}}$

Оскільки сигнал запиту чи відповіді проходить відстань  $D_{\text{max AB}}$  тільки в одному напрямку, то

$$D_{\text{max AA}} = 2 \sqrt{\frac{P_{\Sigma \text{З}} \cdot G_{\text{Прд З}} \cdot G_{\text{Прм В}} \cdot \lambda^2}{4\pi^2 \cdot P_{\text{Прм min В}}}} = 2 \sqrt{\frac{P_{\Sigma \text{В}} \cdot G_{\text{Прд В}} \cdot G_{\text{Прм З}} \cdot \lambda^2}{4\pi^2 \cdot P_{\text{Прм min З}}}}$$

# Радіолокаційні цілі

Цілі поділяються на *точкові* (малих розмірів) і *розподілені* (великих розмірів).

Точкові цілі створюють відбитий сигнал, який відрізняється від зондуючого тільки його параметрами – амплітудою, частотою, початковою фазою, поляризацією. Його потужність залежить від дальності і величини ЕПР. Якщо відстань між РЛС і ціллю змінюється, відбитий сигнал отримує доплерівське зміщення частоти  $F_d$ .

Згідно принципу Гюйгенса-Френеля всі елементи реальної точкової цілі кінцевих розмірів являються джерелами вторинного випромінювання. Відбитий ціллю сигнал в точці прийому є результатом інтерференції цих випромінювань. Через зміну взаємного положення РЛС і цілі, нежорсткість цілі, наявність рухомих елементів та інші причини безперервно змінюються фазові співвідношення між інтерферуючими сигналами – в точці прийому відбитий сигнал змінюється випадковим чином.

Розподілені цілі мають великі розміри і тому відбитий сигнал створюється тільки тими елементами цілі, які опромінюються в даний момент, тобто для розрахунку дальності дії РЛС треба враховувати тільки частину повної ЕПР розподіленої цілі.

Для однорідних розподілених цілей застосовують поняття *питомої ЕПР*  $\sigma_{\Pi}$  – тобто ЕПР одиниці поверхні або одиниці об'єму цілі. В будь-який момент часу відбитий сигнал формує тільки та частина поверхні  $S_P$  або об'єму  $V_P$  цілі з ЕПР  $\sigma_{Ц} = \sigma_{\Pi} \cdot S_P$  або  $\sigma_{Ц} = \sigma_{\Pi} \cdot V_P$ , яка опромінюється зондуючим сигналом.

ЕПР реальних цілей випадкова. Для розрахунку дальності у формулу підставляють математичне очікування ЕПР. Фактична дальність виявлення відрізняється від розрахованої випадковим чином.

В залежності від розміру цілі  $L$  відбитий сигнал формується:

- по законам дифракції при  $L \ll \lambda$ ,
- по законам геометричної оптики при  $L \gg \lambda$ .

В залежності від характеру поверхні цілі має місце дзеркальне відбиття падаючої хвилі від гладкої поверхні або її розсіювання від шороховатої поверхні.

ЕПР сукупності цілей дорівнює сумі ЕПР цих цілей.

При формуванні відбитого сигналу в більшості випадків спостерігається його деполаризація, тобто лінійно поляризована падаюча хвиля створює відбитий сигнал з двох ортогонально поляризованих складових.

# ЕПР деяких цілей простої форми

Тип цілі	ЕПР максим.	Примітка
Напівхвильвий вібратор	$0.86\lambda^2 \cos\varphi$	Середня $0.11\lambda^2$
Шар радіусу $R \gg \lambda$	$\pi R^2$	Не залежить від напрямку
Поверхня подвійної кривизни радіусів $R_1, R_2 \gg \lambda$	$\pi R_1 R_2$	Мало залежить від напрямку
Кутниковий відбивач з трикутними гранями і ребром $a$ 	$4/3 \cdot \pi a^4 / \lambda^2$	Мало залежить від напрямку
Кутниковий відбивач з прямокутними гранями і ребром $a$ 	$12\pi a^4 / \lambda^2$	Мало залежить від напрямку
Гладка пластина розміром $a \times b = S$	$4\pi S^2 / \lambda^2$	Дуже залежить від напрямку

Поверхні подвійної кривизни на цілях складної форми створюють *блискучі точки*, які вносять основний вклад в ЕПР цілі. По положенню характерних блискучих точок можна розпізнавати конкретні цілі великого розміру.



# Тактико-технічні характеристики РЛС

## Тактичні характеристики

1. Призначення, вирішуємі задачі, основні режими роботи.
2. Зона дії та сектори пошуку (огляду).
3. Час огляду сектора пошуку.
4. Вимірюємі координати цілей.
5. Розділююча спроможність по координатам.
6. Точність вимірювання координат.
7. Перешкодозахищеність.
8. Надійність.

## Технічні характеристики

1. Спосіб і параметри огляду.
2. Принципи побудови.
3. Характеристики основних каналів.
4. Маса, конструкція, параметри живлення.
5. Умови застосування.

## 2. Методи визначення координат цілей

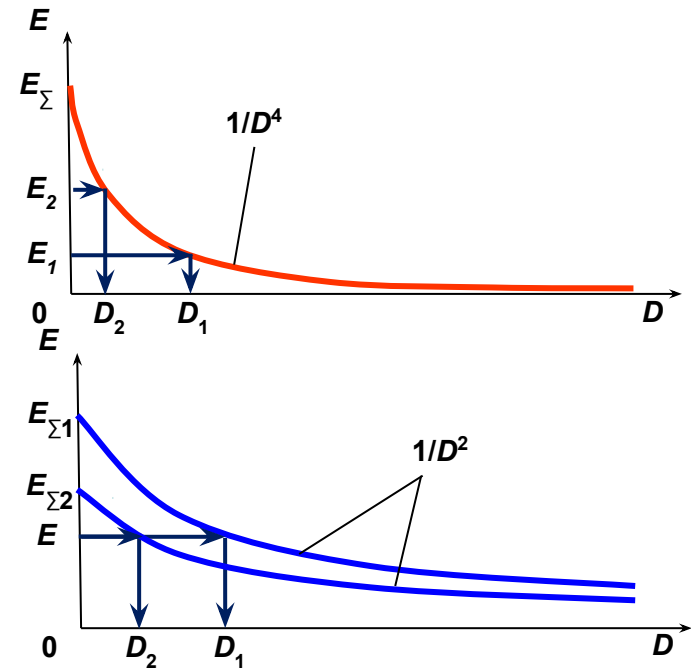
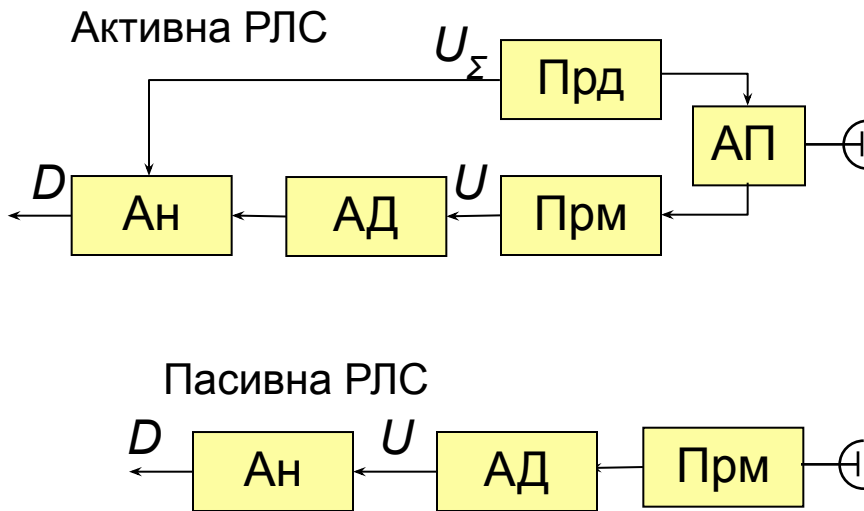
### Визначення дальності

*Розповсюдження радіохвиль супроводжується їх ослабленням (через розсіювання та часткове поглинання середовищем) і затримкою внаслідок кінцевої величини швидкості розповсюдження.*

*Ослаблення радіохвиль залежить від довжини траси їх розповсюдження і характеристик середовища, а для одного і того ж середовища залежить від частоти радіохвиль. Монотонна залежність ослаблення радіохвиль від довжини траси їх розповсюдження являється базою амплітудного методу визначення дальності.*

*Швидкість розповсюдження радіохвиль залежить від електричних характеристик середовища (діелектричної проникливості  $\epsilon$ ): із збільшенням діелектричної проникливості швидкість розповсюдження зменшується, але в реальних середовищах, зокрема, в атмосфері це зменшення невелике. Тому при технічних розрахунках вважається, що швидкість розповсюдження радіохвиль у вільному просторі та в атмосфері однакова і становить  $c=3 \cdot 10^8$  м/с=300000 км/с. Монотонна залежність затримки радіохвиль від довжини траси їх розповсюдження являється базою для імпульсного, частотного та фазового методів визначення дальності.*

# Амплітудний метод вимірювання дальності



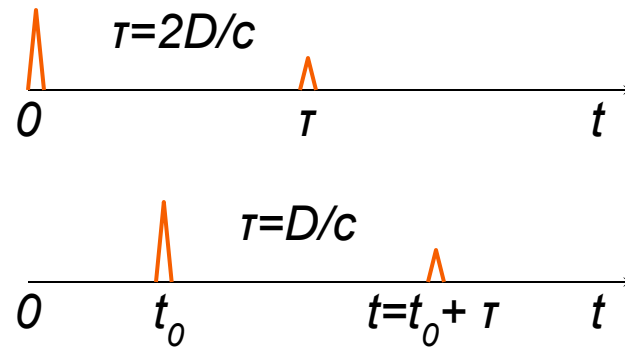
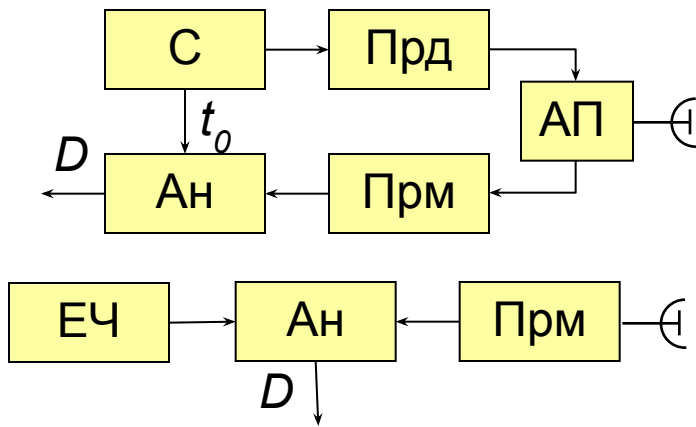
При стабільних і відомих умовах розповсюдження радіосигналів амплітуда прийнятого сигналу обернено пропорційна  $D^4$  для *активної РЛС* або  $D^2$  для *пасивної РЛС* і лінійно залежить від амплітуди випромінювання  $E_{\Sigma}$ . Незнання амплітуди випромінювання при *пасивній радіолокації* вносить великі помилки в результати вимірювання.

Ще одним джерелом помилок являється *нестабільність умов розповсюдження по трасі*.

Амплітудний метод застосовується тільки тоді, коли виключено застосування точніших методів, зокрема, в пасивних розвідувальних РЛС.

\*

# Імпульсний метод вимірювання дальності



Імпульсний метод застосовується в РЛС з імпульсним режимом випромінювання і полягає в вимірюванні інтервалу часу  $\tau$  між моментами випромінювання  $t=0$  і прийому  $t=\tau$  сигналу по величині затримки обвідної прийнятого сигналу.

В активних РЛС для цього із синхронізатора (С) в аналізатор (Ан) часу затримки  $\tau$  видається синхроімпульс нуля дальності  $t_0$ . Тоді дальність

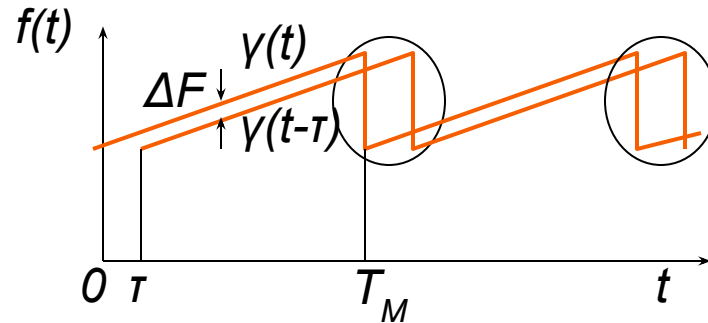
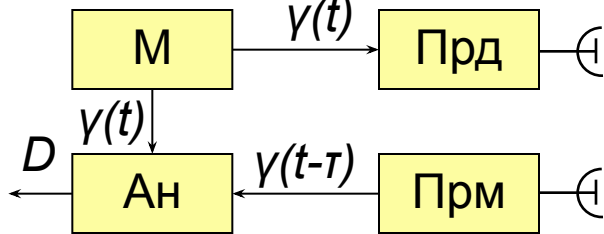
$$D=c\tau/2.$$

В пасивних РЛС за допомогою еталону частоти (ЕЧ) в аналізатор вводиться інформація про момент випромінювання сигналу  $t_0$ , якщо він відомий. В аналізаторі по різниці часу  $t-t_0$  між моментами прийому і випромінювання сигналу визначається дальність:

$$D=c(t-t_0)$$

В імпульсних активних РЛС існує *мертва зона* – неможливість прийому відбитих сигналів при їх затримці  $\tau$ , меншій тривалості зондуючого сигналу. На цьому інтервалі часу антена підключена до передавача.

# Частотний метод вимірювання дальності



Дальність визначається по затримці функції  $y(t)$ , яка описує закон модуляції частоти зонduючого сигналу  $f(t)=f_0+y(t)$ . При  $y(t)=y \cdot t$  впродовж періоду модуляції  $T_M$  різниця миттєвих частот випромінююемого і приймаемого сигналів  $\Delta F=y(t)-y(t-\tau)=y\tau$  і дальність становить

$$D=c \cdot \Delta F/2$$

Оскільки частота сигналу визначається фільтром аналізатора, то фактично вимірюється не миттєва, а середня різниця частот, яка через наявність зон обернення (виділено пунктиром) менше миттєвої різниці. Помилка вимірювання по цій причині найбільша при  $\tau=T_M/2$  незначна при  $\tau \ll T_M/2$ .

# Фазовий метод вимірювання дальності



Поточна фаза зонduючого сигналу  $\varphi_3(t) = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t$ . Поточна фаза відбитого сигналу  $\varphi_B(t) = \varphi_0 + \omega_0 \cdot (t - \tau)$ . Різниця фаз цих сигналів

$$\Delta\varphi = \varphi_3(t) - \varphi_B(t) = \omega_0 \cdot \tau.$$

Різниця фаз визначається фазовим детектором аналізатора.

Дальність цілі становить

$$D = c \cdot \Delta\varphi / 2\omega_0$$

Фазовий метод можна застосувати і в пасивній РЛС, якщо в її складі є еталон часу і відома початкова фаза  $\varphi_0$  джерела випромінювання.

Тоді дальність становить

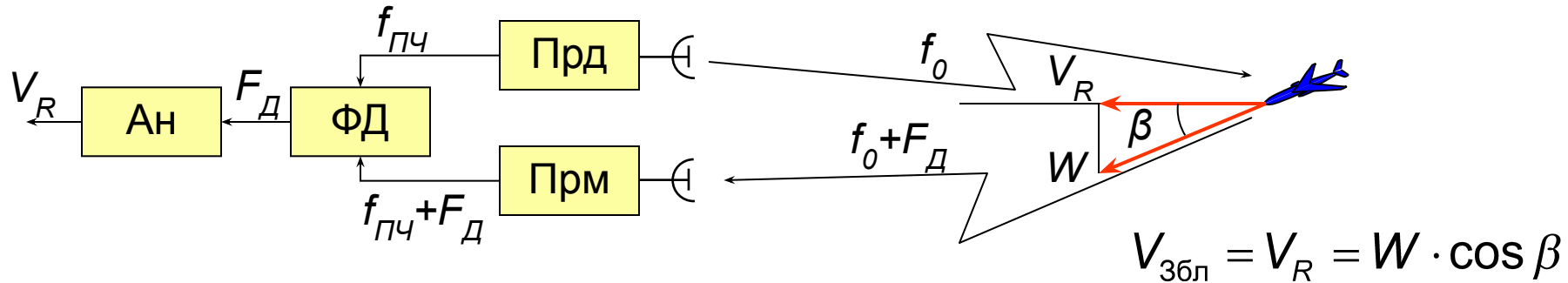
$$D = c \cdot \Delta\varphi / \omega_0$$

Основне обмеження полягає в тому, що фазовий детектор однозначно вимірює різницю фаз тільки в інтервалі  $\Delta\varphi = \pm\pi/2$  і тому однозначне вимірювання дальності можливе тільки в межах  $0 \dots \lambda/2$ .

# Порівняльна характеристика методів вимірювання дальності

Метод	Переваги	Недоліки
Амплітудний	Можна реалізувати в пасивній РЛС Прихованість.	Помилки через незнання потужності випромінювання. Помилки через незнання ослаблення на трасі.
Імпульсний	Простота реалізації в РЛС імпульсного випромінювання. Можна реалізувати в пасивній РЛС з еталоном часу на об'єкті	Наявність <i>мертвої зони</i> . Великі імпульсна потужність випромінювання, габарити і маса.
Частотний	Відсутня <i>мертва зона</i> . Малі потужність випромінювання, габарити і маса.	Складність розділення сигналів випромінюваного і прийнятого. Складність аналізаторів.
Фазовий	Відсутня <i>мертва зона</i> . Малі потужність випромінювання, габарити і маса.	Складність розділення сигналів випромінюваного і прийнятого. Цілі не розділюються по дальності. Неоднозначність.

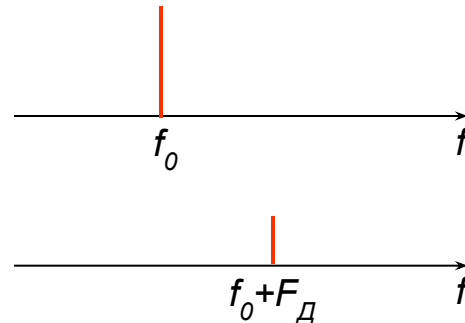
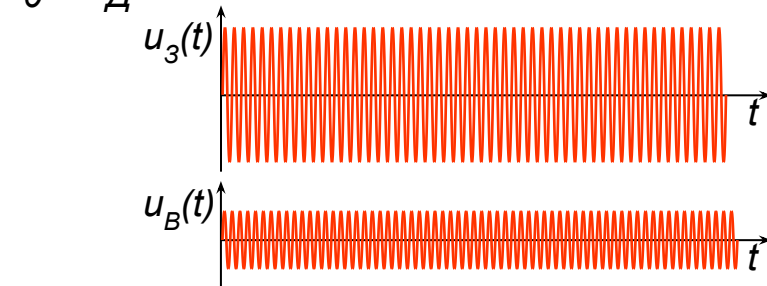
# Визначення радіальної швидкості



Доплерівський зсув частоти  $F_D = 2V_R / \lambda$  в активній РЛС несе інформацію про швидкість зближення з ціллю (радіальну швидкість):

$$V_R = \lambda \cdot F_D / 2.$$

При безперервному випромінюванні гармонічного когерентного (тобто з відомою фазовою структурою) зонduючого сигналу його спектр є спектральна лінія на частоті  $f_0$ , а відбитого – спектральна лінія на частоті  $f_0 + F_D$ :





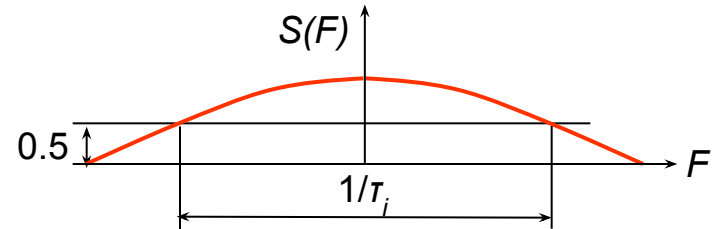
В реальних умовах зонduючий сигнал при імпульсному випромінюванні – послідовність відрізків гармонічних коливань (пачка радіоімпульсів тривалістю  $\tau_i$ , кожен з періодом  $T_{\Pi}$ ) загальною довжиною  $T_C$  чи відрізок гармонічного коливання довжиною  $T_C$  при безперервному випромінюванні. Ширина спектрів зонduючого і відбитого сигналів  $\Delta f = 1/T_C$ , якщо пачка когерентна, або  $\Delta f = 1/\tau_i$ , якщо пачка некогерентна.

Виявлення доплерівського зсуву частоти можливе, коли ширина його спектру  $\Delta f < F_D$ , а вимірювання – коли  $\Delta f \ll F_D$ .

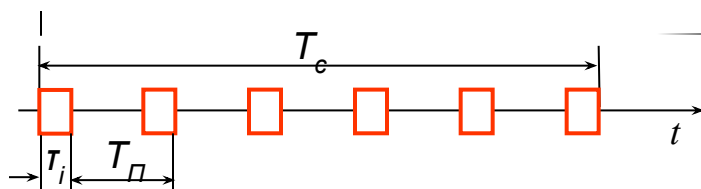
Одиночний радіоімпульс - відрізок гармонічного коливання з прямокутною обвідною



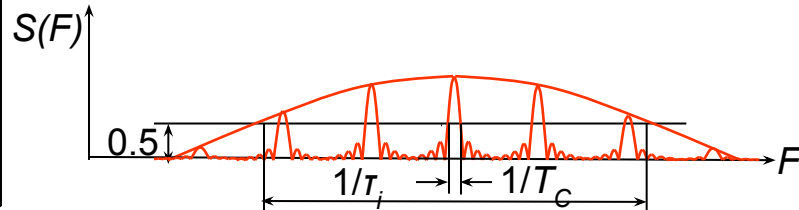
Спектр одиночного імпульсу тривалістю  $\tau_i$



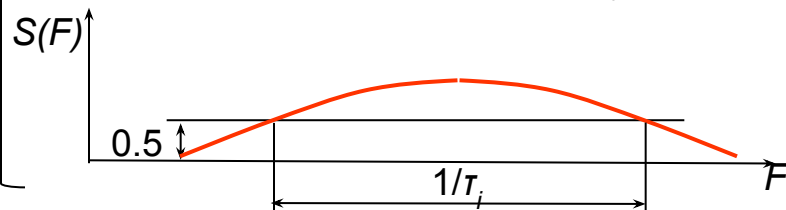
Пачка періодичних радіоімпульсів з прямокутною обвідною



Спектр когерентної пачки імпульсів тривалістю  $\tau_i$



Спектр некогерентної пачки імпульсів тривалістю  $\tau_i$



\*

# Визначення напрямку

Визначення напрямку на джерело радіохвиль базується на припущенні, що в місці прийому фронт радіохвилі сферичний. Щоб визначити напрямок на джерело радіохвиль, тобто на центр сферичного фронту радіохвилі, достатньо встановити положення трьох точок сферичного фронту, які не розташовані на одній прямій.

Тому для визначення напрямку на ціль треба порівняти фазову структуру радіосигналів хоча б в трьох рознесених точках прийому, які не знаходяться на одній прямій. Якщо ціль знаходиться на поверхні, то достатньо двох рознесених точок прийому.

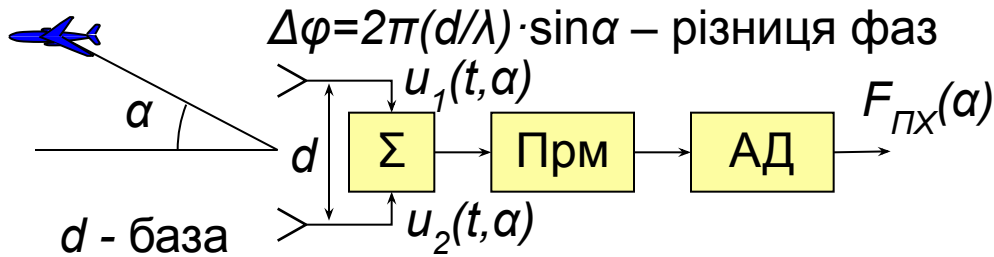
Порівняти фазову структуру двох сигналів можна шляхом аналізу результату їх *інтерференції* (амплітуда суми двох сигналів залежить від співвідношення їх фаз) або за допомогою *фазового детектора*.

Методи визначення напрямку (*пеленгації*) поділяють на *амплітудні* і *фазові*.

Залежність напруги на виході пеленгатора (вимірювача напрямку) від напрямку на джерело випромінювання є його *пеленгаційна характеристика*.

# Амплітудні методи пеленгації

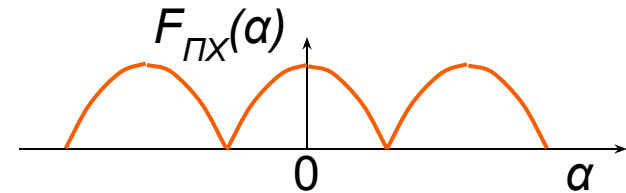
## Метод максимуму.



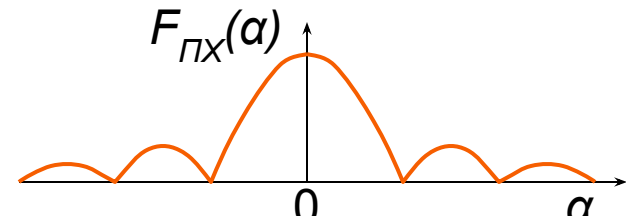
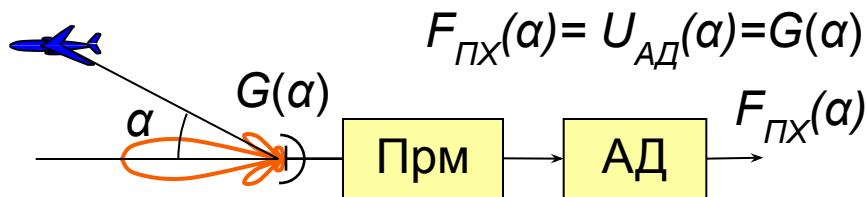
$$u_{1,2}(t, \alpha) = \cos(\omega t \pm \Delta\varphi/2)$$

$$u_{\Sigma}(t, \alpha) = u_1(t, \alpha) + u_2(t, \alpha)$$

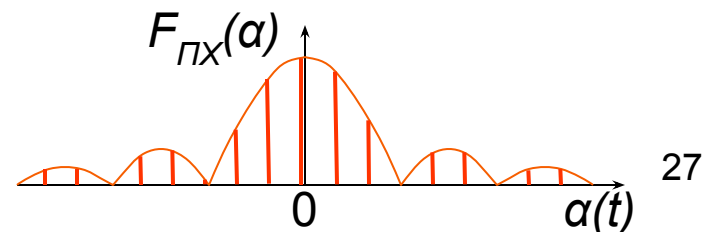
$$F_{\text{ПХ}}(\alpha) = U_{\Sigma}(\alpha) = |\cos[2\pi(d/\lambda) \cdot \sin\alpha]|$$



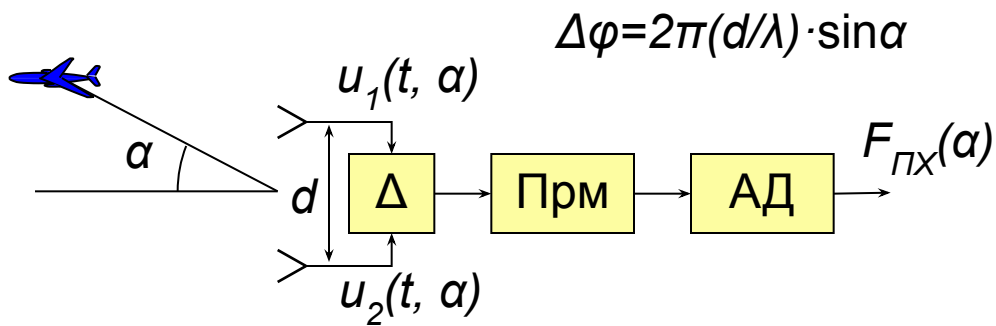
Метод максимуму зокрема реалізується в *апертурних* антенах, де діаграма спрямованості  $G(\alpha)$  формується внаслідок інтерференції парціальних сигналів всіх точок апертури. Пеленгаційна характеристика *парна*.



Пеленгом цілі вважається положення осі антени, при якому сигнал на виході максимальний. В оглядових імпульсних РЛС пеленг цілі визначається різновидом метода максимуму - шляхом аналізу обвідної пачки відбитих сигналів при скануванні антени.



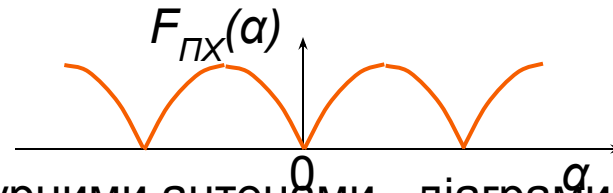
## Метод мінімуму.



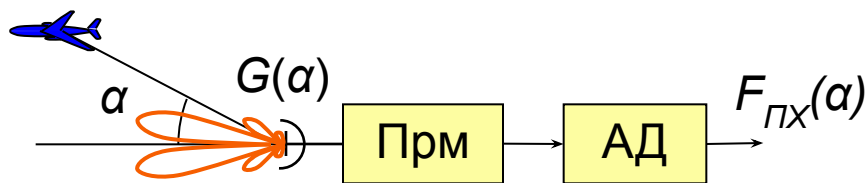
$$u_{1,2}(t, \alpha) = \cos(\omega t \pm \Delta\varphi/2)$$

$$u_{\Delta}(t, \alpha) = u_1(t, \alpha) - u_2(t, \alpha)$$

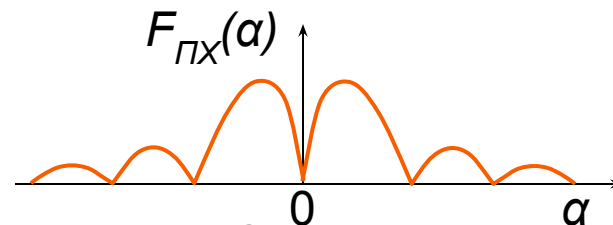
$$F_{\text{пх}}(\alpha) = U_{\Sigma}(\alpha) = |\sin[2\pi(d/\lambda) \cdot \sin\alpha]|$$



Метод мінімуму реалізується також з апертурними антенами, діаграми спрямованості яких  $G(\alpha)$  являється наслідком інтерференції парціальних сигналів всіх точок апертури, але має гострий мінімум. Пеленгаційна характеристика *парна*..



$$F_{\text{пх}}(\alpha) = U_{\text{АД}}(\alpha) = G(\alpha)$$



Метод мінімуму, як і метод максимуму, в оглядових РЛС реалізується шляхом аналізу обвідної амплітуд пачки прийнятих сигналів при скануванні антени.

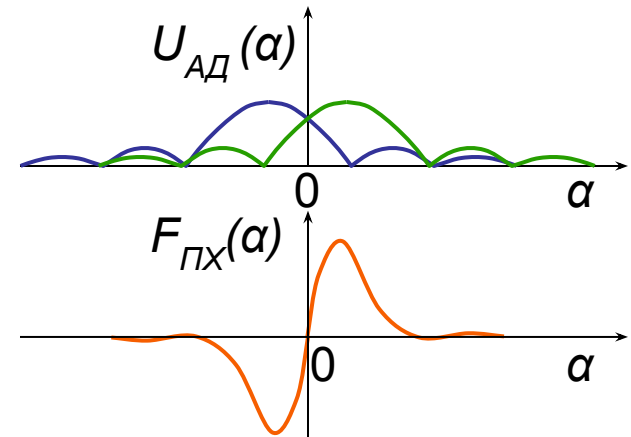
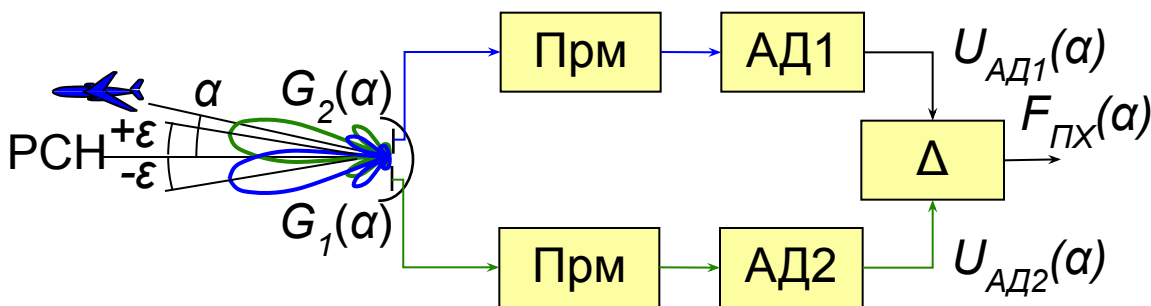
## Метод порівняння.

Метод реалізується в пеленгаторах з апертурними антенами і незалежними прийомними каналами з амплітудними детекторами. Осі діаграм спрямованості антен відхилені від осі об'єднаної антенної системи на кути  $\pm\varepsilon$  в протилежні сторони.

Пеленгаційна характеристика формується шляхом віднімання сигналів з виходів прийомних каналів. В напрямку осі антенної системи напруга обох каналів однакова, а пеленгаційна характеристика проходить через нуль – створюється *рівносигнальний напрямок* (РСН).

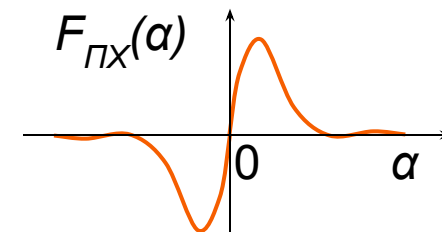
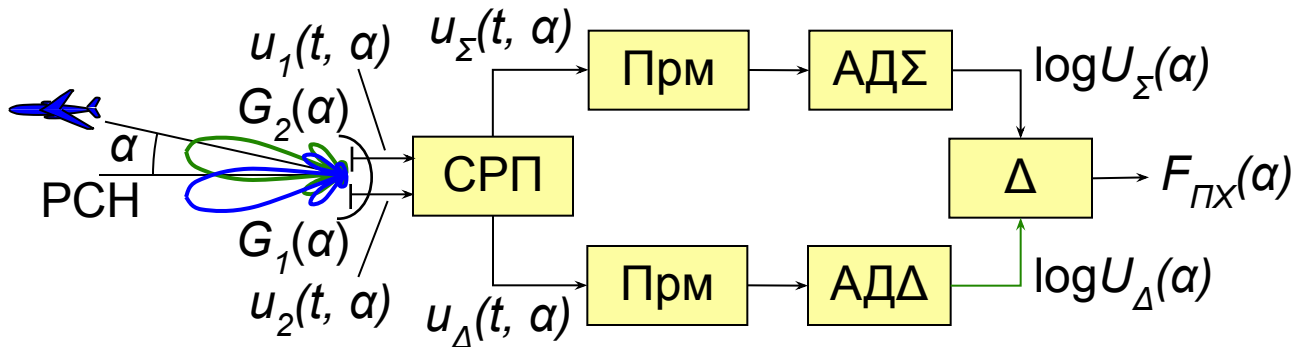
Пеленгаційна характеристика *непарна* – можна встановити величину і сторону відхилення від пеленга, тобто знак кута  $\alpha$ :

$$F_{\text{ПХ}}(\alpha) = U_{\text{АД1}}(\alpha) - U_{\text{АД2}}(\alpha)$$



Оскільки інформація по обом каналам надходить одночасно, то, в принципі, пеленгація цілі можлива по одному прийнятому сигналу. Такі пеленгатори зветься *моноімпульсними*. Одним з недоліків розглянутого пеленгатора являється відсутність сигналу на виході в момент пеленгу:  $F_{\text{пх}}(0)=0$ .

Сучасні амплітудні пеленгатори здійснюють попередню обробку сигналів з виходів антен в сумарно-різницевому перетворювачі (СРП) і мають приймачі з *логарифмічними амплітудними характеристиками*:  $U_{\text{Вух}} = \log U_{\text{Вх}}$ .



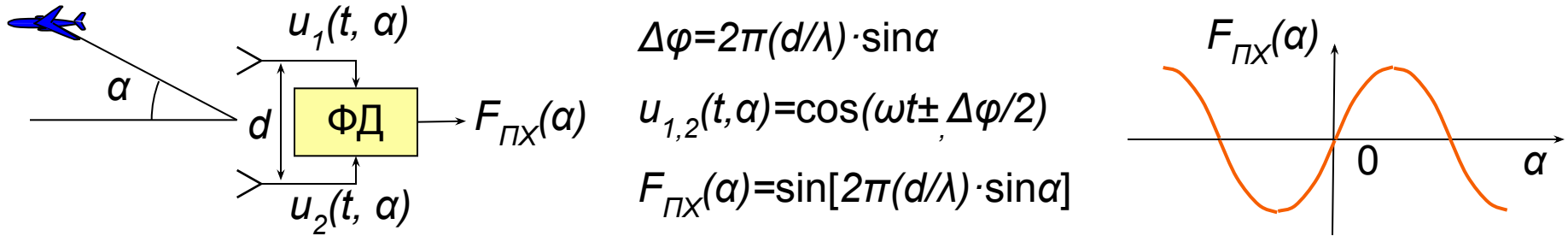
$$u_{\Sigma}(t, \alpha) = u_1(t, \alpha) + u_2(t, \alpha)$$

$$u_{\Delta}(t, \alpha) = u_1(t, \alpha) - u_2(t, \alpha)$$

$$F_{\text{пх}}(\alpha) = \log U_{\Delta}(\alpha) - \log U_{\Sigma}(\alpha) = \log[U_{\Delta}(\alpha)/U_{\Sigma}(\alpha)] \sim \alpha \cdot G'(\varepsilon_0)/G(\varepsilon_0)$$

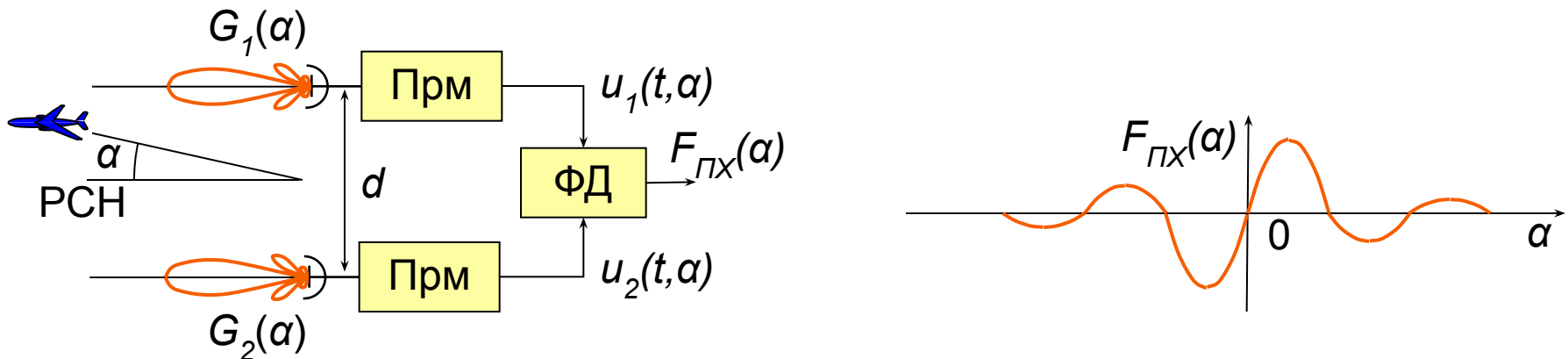
Завдяки сумарно-різницевій обробці усунена *залежність непарної пеленгаційної характеристики від амплітуди* прийнятого сигналу.

# Фазові методи пеленгації



При фазовій пеленгації треба мати рознесені у просторі точки прийому з базою  $d$ . Аналіз фазової структури забезпечує фазовий детектор. Пеленгаційна характеристика *непарна* і періодична, тобто пеленг визначається *неоднозначно*.

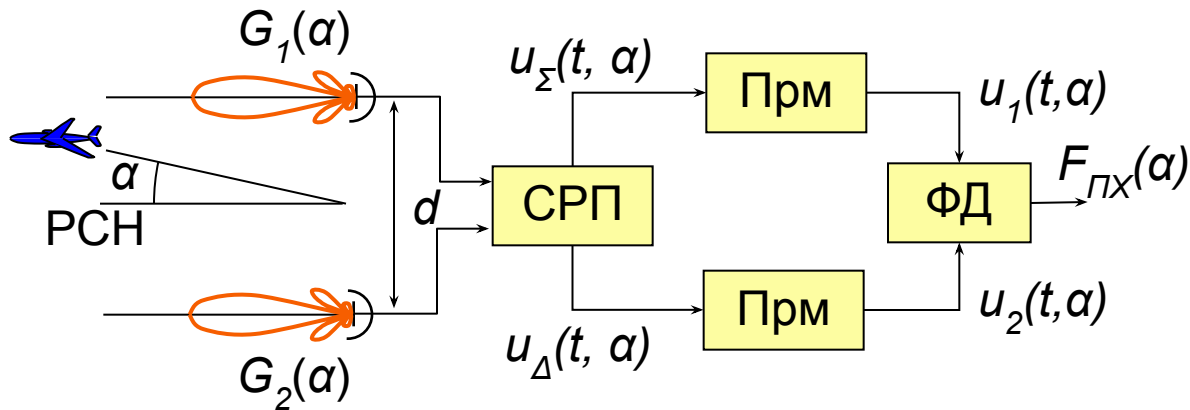
Для усунення неоднозначності в рознесених точках прийому застосовують гостроспрямовані антени, при цьому *осі діаграм спрямованості антен (ДСА) паралельні осі антенної системи*.



\*

Для усунення залежності пеленгаційної характеристики від амплітуди сигналів перед подачею сигналів на входи фазового детектора здійснюється їх двохстороннє обмеження.

В сучасних фазових пеленгаторах також застосовується попередня сумарно-різницева обробка сигналів.





# Питання для самоконтролю

1. Основні терміни і поняття радіолокації.
2. Активний метод радіолокації.
3. Пасивний метод радіолокації.
4. Напівактивний метод радіолокації.
5. Активний з активною відповіддю метод радіолокації.
6. Основні ТТХ радіолокаційної станції.
7. Методи визначення дальності.
8. Методи визначення радіальної швидкості.
9. Методи визначення напрямку.

# Завдання на самостійну роботу

1. Конспект по темі заняття доповнити матеріалом з навчального посібника і підручників.
2. Презентація ФО РЛ.ppt.
3. О.В.Власов, И.В.Смокин. Радиооборудование летательных аппаратов. – М.: Воениздат, 1971, с. 5-13, 33-37.
4. Радиоэлектронное оборудование. Под ред. В.М. Сидорина. – М.: Воениздат, 1990, с. 133-144, 177-192.
5. В.А.Войчук та ін.. Бортові радіоелектронні системи. Ч.1. – К.: НАУ, 2006, с. 6-18, 65-74, 101-107.
6. В.А.Войчук, В.І.Романенко, Д.В.Васягін. Експлуатація й ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. (Електронний підручник). – К.: НАУ, 2011, тема 6.