

# **Тема 5**

## **Радіоелектронний захист ЗРЛ.**

**Заняття №3 Методи захисту ЗРЛ РТВ від пасивних перешкод.**

# Питання заняття

1. Основні відмінності сигналів, відбитих від цілей і пасивних перешкод.
2. Види когерентності сигналів і методи їх забезпечення.
3. Принцип побудови пристроїв компенсації пасивних перешкод.

# Основні відмінності сигналів, відбитих від цілей і пасивних перешкод

Найбільш відомими способами створення маскуючих ПП є:

- розкидання в атмосфері великої кількості числа дипольних відбивачів;
- політ засобів повітряного нападу на малих висотах.

Джерелами маскувальних ПП можуть бути і різні види метеоутворень.

**До основних відмінностей цілей і перерахованих джерел перешкод можна віднести наступні:**

**1. Літаки, ракети та інші цілі, як правило, є точковими цілями, а маскувальні ПП - розподіленими;**

**2. Швидкість переміщення цілей в більшості випадків перевищує швидкість переміщення джерел ПП (дипольні відбивачі рухаються із швидкістю вітру, а літаки 900-2000км/г і більше), що призводить до відмінності частоти, фази сигналів, відбитих від цілей і ПП;**

**3. Джерела ПП в вигляді гідрометеорів мають форму близьку до сферичної.**

**Реальні цілі, в переважній більшості випадків мають форму, що не володіє властивістю центральної симетрії, а значить буде мати місце відмінність в поляризації відбитих сигналів від цілей і ПП.**

**Перша відмінність використовується оператором РЛС при виявленні ПП і виборі сектора придушення ПП.**

**На основі другої відмінності в апаратурі захисту від ПП широко застосовується "когерентно-амплітудний метод селекції цілей що рухаються" (СЦР), принцип якого оснований на ефекті Допплера (зміні частоти сигналу відбитого від об'єкта, що рухається відносно частоти сигналу, випроміненого антеною РЛС).**

**РЛС випромінює сигнал:**

$$U_1 = U_{m1} \sin(\omega_0 t + \phi_0)$$

**В приймальний пристрій надходить відбитий сигнал:**

$$U_2 = U_{m2} \sin(\omega_0(t - t_3) + \phi_0)$$

$U_1$  - миттєве значення випроміненого сигналу;

$U_2$  - миттєве значення прийнятого сигналу;

$U_{m1}$ ,  $U_{m2}$  - амплітуди випроміненого і прийнятого сигналів відповідно;

$\omega_0$  - несуча частота ЗС;

$\phi_0$  - початкова фаза ЗС;

$t_3$  - час запізнення відбитого сигналу.

Якщо прийняти  $\phi_0$  ЗС незмінною, то фаза відбитого сигналу від нерухомого об'єкта буде незмінною і буде визначатися дальністю до об'єкту.

## *Об'єкт нерухомий.*

В цьому випадку  $\phi_0 = \omega_0 t_3 = \omega_0 2D/C$

$D$  - дальність до об'єкта

$C$  - швидкість поширення ЕМ енергії ЗС.

Т. я. від імпульсу до імпульсу зміни дальності ( $\Delta D$ ) немає, то і приріст фази ( $\Delta\phi=0$ ) буде рівним нулю.

Фаза, в залежності від  $D$  об'єкту може змінюватися від  $0$  до  $2\pi$ .

## **Об'єкт рухається.**

Відстань до об'єкта, в цьому випадку, що володіє радіальною швидкістю ( $V_r$ ) від періоду до періоду повторювання РЛС ( $T_n$ ) буде змінюватися на величину:

$$\Delta D = V_r T_n$$

відповідно буде змінюватися і фаза відбитих сигналів

$$\Delta\phi = \omega_0 \Delta D / C = \omega_0 2V_r T_n / C = 2\pi f_0 2V_r / CF_n$$
$$\Delta\phi = 4\pi f_0 V_r / CF_n = 4\pi V_r T_n / \lambda \quad \Delta\phi = (2V_r / \lambda) 2\pi / F_n = 2\pi F_D / F_n$$

де

$V_r$  - радіальна швидкість цілі;

$\lambda$  - довжина хвилі ЗС РЛС;

$f_0$  - несуча частота ЗС РЛС;

$T_n, F_n$  - період і частота повторення ЗС РЛС.

Тобто приріст фази буде визначатися частотою повторювання РЛС  $F_n$ , несучої частоти  $f_0$ , і радіальної швидкості об'єкту  $V_r$ .



**Як правило розглядають зміну фази в зв'язку з тим, що частота Доплера по відношенню до несучої частоти ПП має малу величину. (Наприклад, при  $f_0=3000\text{МГц}$ ;  $V_r=1200\text{км/г}$ ;  $F_D=6,6\text{кГц}$ .)**

**Отже, використовуючи відмінність в фазі відбитого сигналу від рухомого і нерухомого об'єкту можлива СЦР і ефективне придушення ПП (використовуючи пристрій компенсації).**

**Інформацію про зміну фази сигналу відносно опорної напруги можна отримати використовуючи ФД в приймальному пристрої, отже пристрій СЦР використовує вхідні сигнали приймального пристрою після фазового детектування прийнятих сигналів відбитих від цілей і перешкод.**

Як правило в РЛС використовується два ФД, АФХ яких зсунуті на  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ) для виключення втрати інформації.

Сигнал на виході ФД буде визначатися наступними виразами:

$$U_{вихФД1} = (U_c + U_{on} \sin(\omega_0 t + \Omega_D t)) / 2$$

$$U_{вихФД2} = (U_c + U_{on} \cos(\omega_0 t + \Omega_D t)) / 2$$

де  $\phi_0 = 0$ , початкова фаза ЗС РЛС;

$\Omega_D = 2\pi F_D$  - частота Допплера;

$U_{on}$  - амплітуда опорної напруги;

$U_c$  - амплітуда сигналу.

Тоді  $\Delta\phi = \Omega_D t = 2\pi f_0 2V_r / CF_n$  при  $F_n = 800 \text{ Гц}$ ;  $f_0 = 2500 \text{ МГц}$ ;  
 $V_r = 6 \text{ м/с}$ ;  $\Delta\phi = \pi/4 = 45^\circ$ .

Амплітуда ПП (МП) на виході ФД від імпульсу до імпульсу незмінна, то використовуючи пристрій віднімання (компенсації) сигнали від цілей (рухомих перешкод) будуть присутні на виході пристрою, а сигнали відбиті МП будуть придушенні.

Якість селекції цілей, що рухаються тим вище, чим краще роздільна здатність за частотою. Отже, реалізація принципу СЦР можлива тільки при використанні зондувальних сигналів, що забезпечують одночасно високу роздільну здатність по дальності  $D$  і по швидкості  $V_r$ .

Когерентна пачка вузькосмугових і широкосмугових одинарних радіоімпульсів. При умові, що тривалість пачки перевищує часову протяжність джерела ПП.

$$\tau_{nc} = M_n T_n \gg \tau_n = 2\delta D_n / C$$

При використанні когерентної пачки роздільна здатність за  $D$  визначається шириною спектра одиночного імпульсу:

$$\delta D_n = C / 2\Delta f_n = C / 2\Delta f = C\tau_n / 2$$

і роздільною здатністю за частотою:

$$\delta F = 1 / M_n T_n$$

де  $M_n$  - кількість імпульсів в пачці

$T_n$  - період повторювання РЛС.

**Вимогам високої роздільної здатності по  $D$  і по  $F$  задовольняє також одиночний шумоподібний сигнал з великою тривалістю, але він має суттєві недоліки:**

**- наявність заважаючого фону, на виході фільтру стиснення:  $P_{\phi} = P_{nn} \tau_{nn} / 4\tau_n$  і визначає граничні можливості системи обробки по придушенню ПП.**

**- складності розв'язки ПерП і ПрП, т. я. необхідно використовувати роздільні антени на прийом і передачу.**

**ЗС у вигляді когерентної пачки також має недолік - неоднозначність вимірювання  $D$ .**

**Т. я. вибирають з умови однозначного вимірювання  $D$ , то це призводить до появи "сліпих" швидкостей і до обмеження можливостей селекції (приймають спеціальні заходи для боротьби з сліпими швидкостями). Але в наш час існують ефективні методи послаблення відміченого недоліку, що і визначає широке використання когерентної пачки в сучасних РЛС.**

**В загальному випадку ЗС може уявляти і некогерентну пачку, але обов'язковою умовою є когерентність імпульсів в пачці на вході пристрою режекції ПП.**

**Енергетичний спектр ПП при когерентному періодичному ЗС, як і спектр корисного сигналу, має зубчасту структуру з інтервалом між зубцями рівним частоті слідування зондувальних  $F_n$  імпульсів.**

**Мінімально можлива ширина окремих зубців спектру визначається тривалістю пачки**

$$\delta F = 1/M_n T_n$$

**Реально ширина зубців спектру перешкоди виявляється більшою.**

*Збільшення ширини зубців спектру перешкоди зумовлено:*

- **Взаємне хаотичне переміщення відбивачів в імпульсному об'ємі під впливом вітру, що призводить до міжперіодної випадкової зміни амплітуди і фази перешкоди, а відповідно, до розширення її спектру;**
- **Обертання антени, в результаті чого частина відбивачів в імпульсному об'ємі поновлюється від періоду до періоду слідування ЗС, що також викликає амплітудні і фазові флуктуації ПП;**
- **Нестабільність параметрів РЛС:**
  - частоти, амплітуди ЗС;
  - тривалості імпульсу;
  - періоду повторення;
  - частот місцевого і когерентного гетеродина;
  - приймача;
  - параметрів системи міжперіодної обробки пачки.

**Розширення спектру перешкоди ускладнює виділення методом частотної селекції слабких сигналів на фоні інтенсивної ПП.**

**В зв'язку з цим намагаються перш за все підвищити стабільність частоти і фази ЗС і місцевого, когерентного гетеродина приймача.**

***Звуження спектру флуктуацій ПП досягається:***

- підвищенням роздільної здатності РЛС по координатам;**
- зменшенням швидкості обертання антени (зменшення  $1/M_n T_n$ );**
- збільшенням частоти повторювання імпульсів, т. я. зменшується час між двома сусідніми зондуваннями, а значить менша зміна фази відбитого сигналу, крім того збільшується відстань між зубцями частот, тобто збільшуються ділянки, де можуть бути виділені корисні сигнали.**
- компенсацією швидкості вітру, тобто внесення в опорний сигнал ФД частоти, що відповідає  $F_D$  доплерівській частоті перешкоди, яка переміщується із швидкістю вітру.**

# Види когерентності сигналів і методи їх забезпечення

ЗС може являти собою і некогерентну пачку, але обов'язковою умовою є когерентність імпульсів в пачці на вході пристрою режекції ПП.

Тому розрізняють три методи забезпечення когерентності прийнятого сигналу на вході пристрою режекції ПП:

**1. Метод істинної внутрішньої когерентності**, який використовується в тих випадках, коли потрібно забезпечити великі значення  $K_{nn}$  (40дБ і більше) сигналів, відбитих від МП. Він полягає у використанні одного високостабільного джерела  $f_{nc}$ , за допомогою сигналів якого

- формуються когерентні радіоімпульси ЗС;
- формуються всі імпульси запуску РЛС;
- використовується сигнал  $f_{nc}$  як опорна напруга  $U_{on}$  для ФД.



## *2. Метод еквівалентної внутрішньої когерентності.*

**В наш час застосовується в основному для перевірки технічного стану елементів РЛС. При використанні цього методу РЛС випромінює послідовність імпульсів з випадковими початковими фазами, які запам'ятовуються і виключаються при обробці сигналів, відбитих від цілей і ПП.**

**Отже, використовується сигнал від генератора НВЧ (ПерП). Цей сигнал в якості опорної напруги надходить на ФД.**

**3. *Метод зовнішньої когерентності*** передбачає використання інформації про випадкову початкову фазу ЗС із сигналів ПП, тобто нав'язується фаза перешкоди. Зовнішню когерентність доцільно використовувати при невисоких вимогах до якості подавлення ПП з метою спрощення технічної реалізації апаратури захисту від ПП і зменшення її вартості.

Для виключення подавлення корисного сигналу встановлюють лінію затримки  $t_z = 1/\Pi_n = \tau_n$ .

Крім того, в такій системі з зовнішньою когерентністю не потрібно застосування спеціальних схем компенсації вітру (СКВ), а це дуже важливо для оглядових РЛС.

Але таки КІРЛС не забезпечує компенсації передньої кромки ПП, що ускладнює виявлення цілей в умовах дискретних ПП.

# Принцип побудови пристроїв компенсації пасивних перешкод

Селекція радіолокаційних об'єктів за швидкістю зводиться до селекції за зміною фази сигналу, відбитого від об'єкту. Тобто на виході ФД утворюються відеоімпульси, що змінюють амплітуду з  $F_D$  (пульсуючі) в випадку рухомого об'єкту, і в випадку нерухомого об'єкту на виході ФД відеоімпульси мають постійну амплітуду.

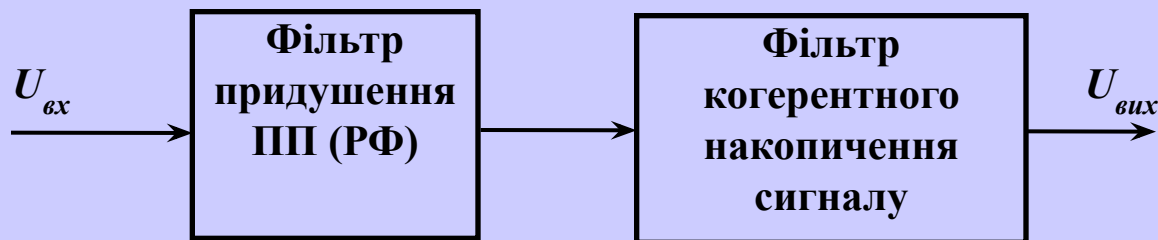
При фазовому детектуванні відбувається зміщення спектрів перешкоди і корисного сигналу на відеочастоту, причому структура їх спектрів виявляється різною. Спектр перешкоди, у якої  $F_D=0$  (нерухома ПП (МП)) має вигляд послідовності одиночних гребенів, що займають на осі частот положення кратне  $kF_n$ .

Гребні спектру корисного сигналу, якщо його  $F_D$  не кратна  $F_n$ , при фазовому детектуванні розкладаються на два гребня, зміщенні в різні сторони від  $kF_n$  на  $\pm F_D$ .

В загальному випадку гребні розташовані в точках

$$f_0 + kF_n \pm F_D$$

Відповідно для придушення перешкоди і виділення корисного сигналу, необхідно провести фільтрацію відбитих сигналів методом застосування режекторного фільтру (придушення) пасивних перешкод (ПП) і фільтру когерентного накопичення корисного сигналу.

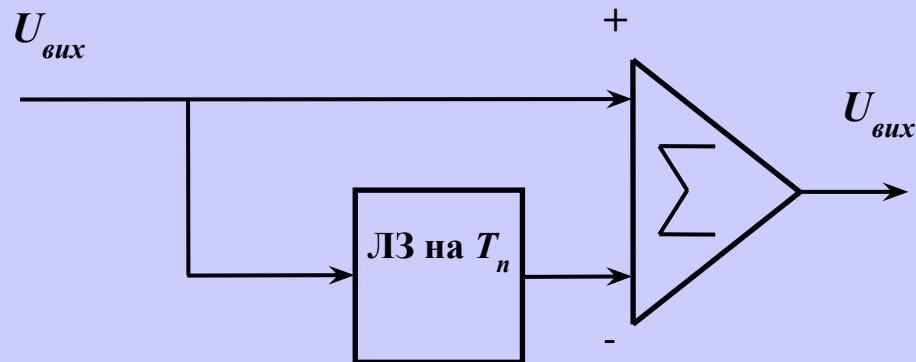


Оптимальний фільтр подавлення практично реалізувати неможливо, т. я. на практиці співвідношення  $N_{nn}/N_{ш}$ , форма і ширина гребнів спектру ПШ можуть суттєво змінюватися, що вимагає зміни АЧХ фільтру.

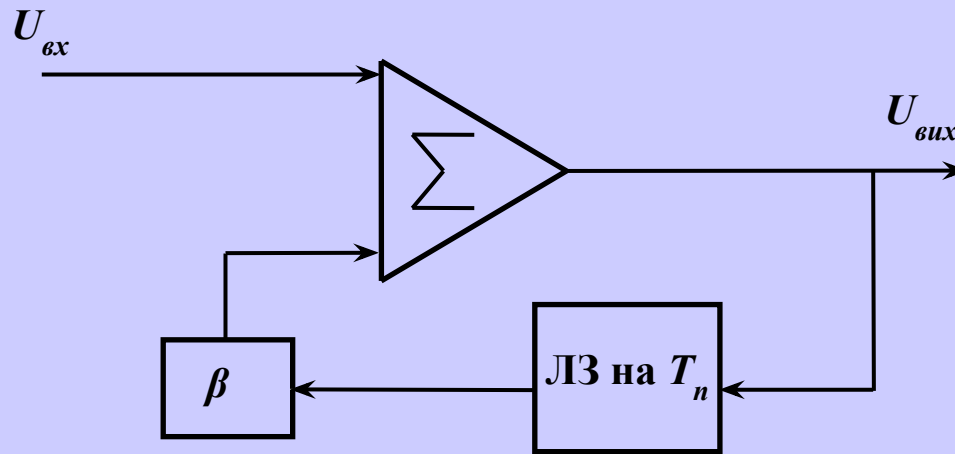
Значні складності уявляє реалізація оптимального фільтру (ОФ) накопичення (т. я. попередньо невідомі значення  $F_D$  в складі відбитого сигналу).

Тому в РЛС застосовують системи обробки, що складаються з квазіоптимального режекторного фільтру і когерентного накопичувача.

*Гребінчастий фільтр подавлення* може бути побудований на основі ЛЗ (на  $T_n$ ) і віднімаючого пристрою:



**Гребінчастий фільтр накопичення для різних доплерівських частот можуть бути побудовані за схемою рециркулятору:**



Настройка на певну  $F_D$  здійснюється підбором аргументу коефіцієнта зворотного зв'язку  $\beta$ .

Отже, в якості квазіоптимального гребінчастого режекторного фільтру подавлення може бути використаний пристрій ЧПК.

Але однократний ЧПК забезпечує малий  $K_{nn}$ , кращий результат дає 2-х кратний ЧПК.

