

Розділ IV

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



Тема 8. “РЛС безперервного та імпульсного випромінювання”

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

Київ 2012

Навчальна та виховна мета

1. Ознайомити з принципами побудови, особливостями та способами отримання інформації про цілі РЛС безперервного та імпульсного випромінювання.
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. [РЛС безперервного випромінювання.](#)
2. [Некогерентні імпульсні РЛС.](#)
3. [Когерентні імпульсні РЛС.](#)
4. [Застосування РЛС безперервного та імпульсного випромінювання.](#)

Контрольні завдання (РЛС Б І В)

1. Поясніть, як застосувати функцію та діаграму невизначеності зонduючого сигналу для аналізу відбитих сигналів у виявлячі (1 бал).
2. В РЛС дальність визначається двохчастотним фазовим методом. Якою повинна бути різниця частот зонduючих сигналів 3-см і 10-см діапазонів такої РЛС для однозначного вимірювання дальності до 300 км (1 бал)?
3. Поясніть, чому функція невизначеності некогерентної пачки радіоімпульсів співпадає з діаграмою невизначеності одиночного імпульсу пачки (1 бал).
4. Поясніть, чому функція невизначеності когерентної пачки радіоімпульсів має періодичну багатопікову структуру (1 бал).
5. Як впливає на роботу доплерівського вимірювача швидкості і кута зносу вертикальна складова швидкості літака (1 бал)?
6. Як вплине на якість селекції рухомих цілей послідовне включення двох пристроїв черезперіодної компенсації (1 бал)?
7. Запропонуйте і обґрунтуйте оптимальне розміщення антен радіовисотоміра малих висот на літаку Ан-70 (1 бал)?
8. Як впливає на роботу доплерівського вимірювача швидкості і кута зносу ширина діаграми спрямованості антени (1 бал)?
9. Як уникнути впливу кренів і тангажу літака на роботу радіовисотоміра (1 бал)?

Примітка. Мінімальна сума балів по цій темі для отримання позитивної оцінки – 3.0.
Максимальна сума зарахованих балів по темі – 5.0.



I. РЛС безперервного випромінювання

Принципи побудови

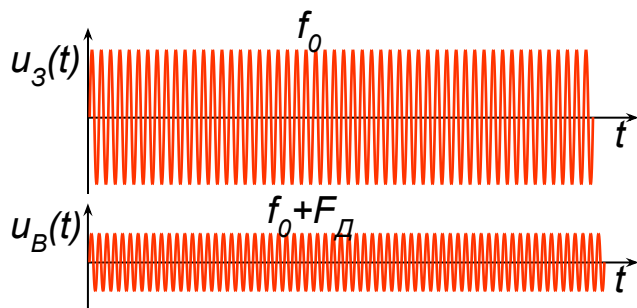
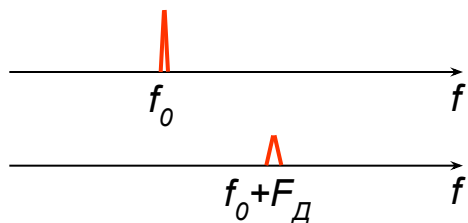
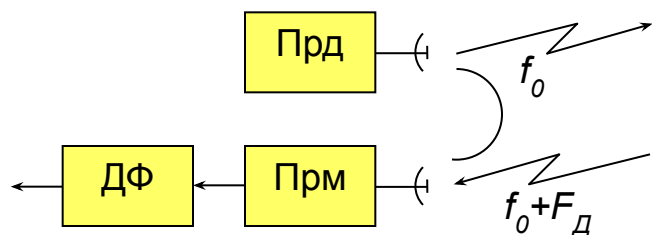
Переваги безперервного випромінювання:

- максимально можливе заповнення випромінюванням часу опромінювання цілі (*скважність* $Q = T_{\text{п}}/\tau_i = 1$);
- малий рівень сигналів у передавачі – невеликі габарити і маса РЛС;
- ефективно когерентне накопичення відбитих сигналів;
- відсутня “мертва зона”;
- вимірювання швидкості прямим *доплерівським* методом.

Недоліки безперервного випромінювання:

- необхідно мати *окремі* передаючу і прийомну антени з *високою степенню розв'язки*;
- неможливо стробувати сигнали по дальності;
- неможливо вимірювати дальність імпульсним методом.

Особливості радіолокації при безперервному випромінюванні



Особливість умов роботи цих РЛС полягає в тому, що слабкий сигнал, відбитий ціллю, треба спостерігати *на фоні безперервно випромінюємих потужних сигналів* власного передавача.

Тому в РЛС безперервного випромінювання не тільки використовують окремі антени для передаючого та приймального каналів, але ще і вживають всі можливі заходи для послаблення зв'язку між цими антенами:

- розміщують антени якомога далі одну від одної з урахуванням взаємного розташування їх діаграм спрямованості в горизонтальній площині,

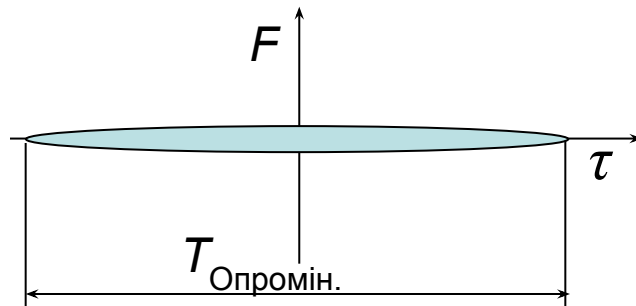
- максимально використовують екрануючі властивості елементів конструкції носіїв РЛС,

- створюють для цього спеціальні екрани.

*

Навіть при безперервній роботі передавача *опромінення цілі обмежено у часі* внаслідок пошукового переміщення антени РЛС при огляді чи взаємного переміщення літака з РЛС і цілі.

Діаграма невизначеності зонduючого сигналу РЛС БВ така ж, як у одиночного радіоімпульсу і розтягнута по осі часу ($\tau_f = T_{\text{Опромін.}}$) та відповідно стиснута по осі частоти. Такий сигнал *непридатний* для вимірювання *дальності імпульсним методом*, бо ширина діаграми впродовж осі часу значно більша за величину затримки сигналів від найбільш удаленої цілі, і оптимальний для вимірювання *швидкості доплерівським методом*, бо її ширина впродовж осі частот значно менша можливого доплерівського зсуву частоти відбитих сигналів



Виявлення цілей і визначення їх кутових координат здійснюється звичайним способом – по положенню антени в момент виявленні цілі.

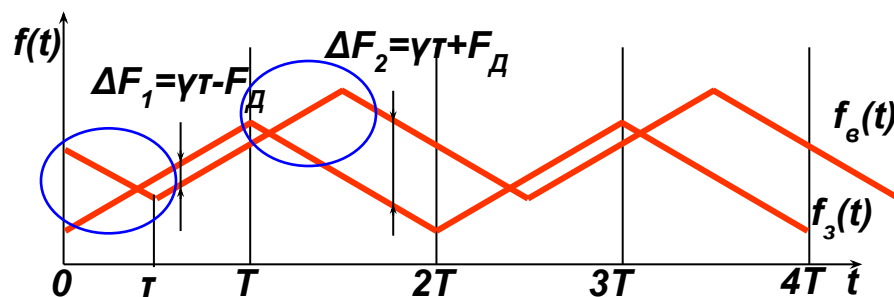
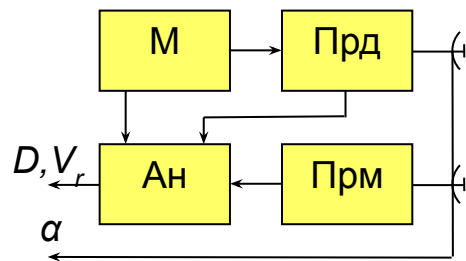
Швидкість зближення вимірюється доплерівським методом. Для цього РЛС повинна працювати в когерентному режимі – інтервал когерентності повинен перевищувати час опромінювання цілі.

Дальність можна визначати не по затримці самого сигналу, а по *затримці додаткового сигналу, яким в передавачі модулюється зонduючий сигнал.*

Вимірювання дальності частотним методом

Дальність визначається по затримці сигналу, яким модулюється частота – звичайно у вигляді пилки (симетричної або несиметричної) чи синусоїди. Чутливим елементом в аналізаторі являється частотний детектор.

Щоб компенсувати чи врахувати доплерівський зсув частоти, зондування здійснюється тактами з протилежними законами модуляції:

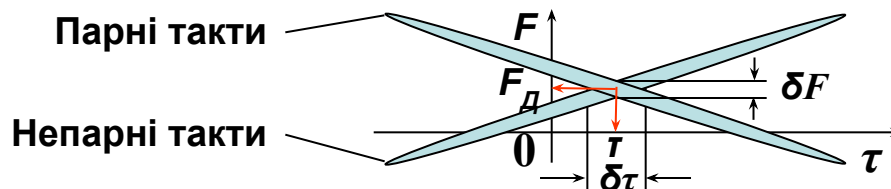


При симетричній пилкоподібній модуляції $\Delta F_1 + \Delta F_2 = 2\gamma T$, $\Delta F_2 - \Delta F_1 = 2F_d$ і тому:

$$T = (\Delta F_1 + \Delta F_2) / 2\gamma, \quad F_d = (\Delta F_2 - \Delta F_1) / 2$$

В зонах обертання (синій пунктир) ця залежність порушується.

Діаграми невизначеності відбитих ЛЧМ сигналів зміщені відносно початку координат на F_d по частоті і на τ в часі.

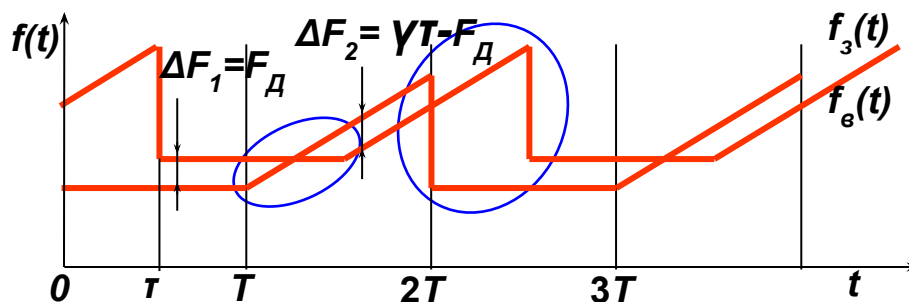


При несиметричній пилкоподібній модуляції $\Delta F_1 = F_D$, $\Delta F_2 = \gamma T + F_D$ і тому

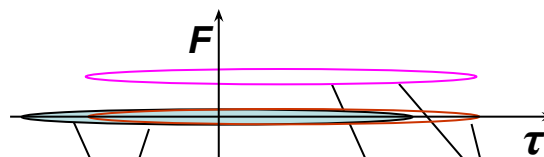
$$\tau = (\Delta F_2 - \Delta F_1) / \gamma, \quad F_D = \Delta F_1.$$

Як і при симетричній пилкоподібній модуляції, є зони обертання, в яких порушуються наведені співвідношення.

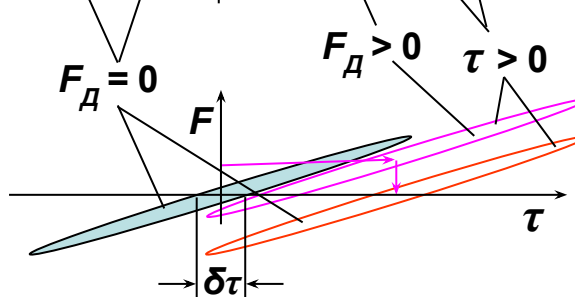
Технічними засобами *вимірюється середня за період модуляції, а не миттєва частота*. Помилки вимірювання дальності і швидкості зближення через наявність зон обертання малі, якщо максимальна затримка відбитого сигналу $\tau_{\max} \ll T$.



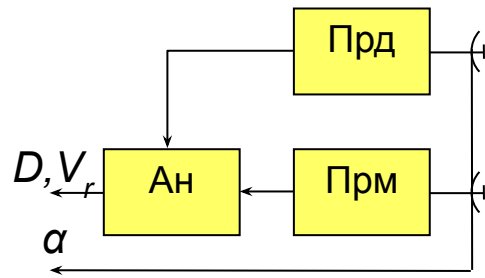
1-ий такт (без модуляції)



2-ий такт (з ЛЧМ)



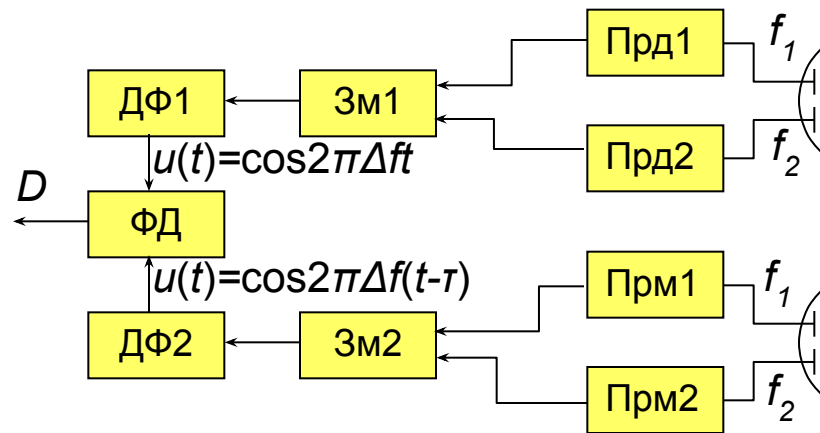
Вимірювання дальності фазовим методом



$$u_3(t) = U_3(t) \cdot \cos 2\pi f t$$

$$u_B(t) = U_B(t) \cdot \cos 2\pi f (t - \tau)$$

$$\Delta\varphi(\tau) = 2\pi f \cdot \tau$$



Чутливим елементом в аналізаторі являється фазовий детектор, який може однозначно визначати різницю фаз тільки в межах $\pm\pi/2$, тобто для однозначного вимірювання великих дальностей треба застосовувати наддовгі хвилі, що в більшості випадків виключено.

Тому для вимірювання дальностей застосовуються *двохчастотні РЛС* безперервного випромінювання з *близькими частотами* зондування f_1 і $f_2 = f_1 + \Delta f$. В них *однозначно* вимірювана дальність знаходиться по затримці τ фази віртуального відбитого сигналу **різницевої частоти** $f_2 - f_1 = \Delta f$ відносно фази віртуального зондуючого сигналу **різницевої частоти** Δf . Напряга на виході фазового детектора $u_{\text{ФД}}(\tau)$ пропорційна $\sin \Delta\varphi = \sin 2\pi\Delta f \cdot \tau$. Однозначно вимірювана дальність *обмежується довжиною хвилі різницевої частоти* $\lambda = c/\Delta f$.

Особливості та області застосування РЛС БВ

Особливості.

Імпульсна потужність дорівнює середній, малі габарити і маса, полегшений режим роботи.

Дві антени з високою розв'язкою.

Високий рівень прямого сигналу в приймачі.

Неможливість розділення сигналів по дальності при фазовій дальнометрії.

Вплив доплерівського зсуву частоти при частотній дальнометрії.

Складність індикації.

Наявність “зон обертання” при періодичній модуляції.

Відсутність “мертвої зони” дозволяє вимірювати дальності, починаючи з нульової.

Області застосування.

Висотоміри малих та середніх висот.

Голівки самонаведення ракет.

Радіопідірвачі.

Доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу.

Доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу

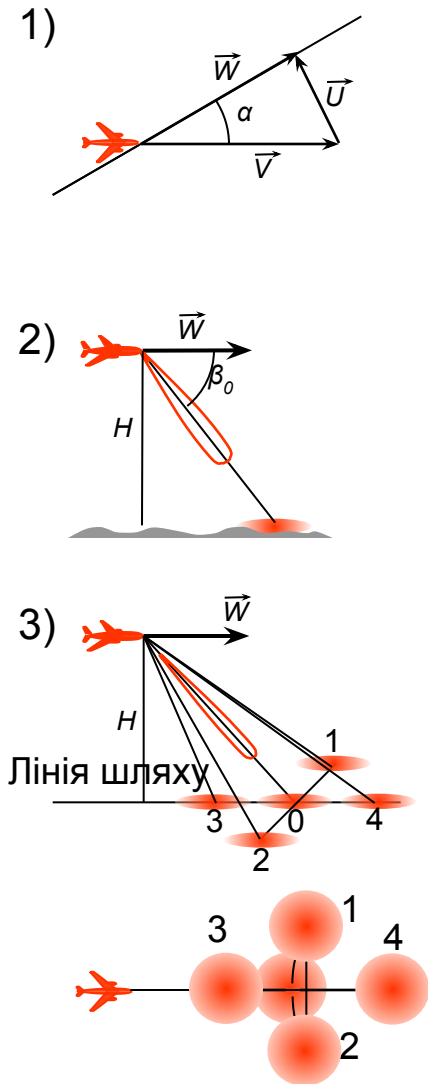
Вектор *шляхової швидкості* (1) W є сума векторів *повітряної швидкості* літака V і *швидкості вітру* U .

В однопроменевому вимірювачі під час горизонтального польоту без крену і тангажу (2) швидкість зближення з ділянкою підстилаючої поверхні в напрямку β_0 і доплерівський зсув частоти відбитого сигналу пропорційні його *шляховій швидкості*.

Через боковий вітер (1) виникають помилки не тільки в визначенні величини шляхової швидкості, але і в положенні її вектору.

При польоті (3) з креном (опромінюються ділянки 1 або 2) або тангажем (опромінюються ділянки 3 або 4) внаслідок зміщення вбік відносно лінії шляху або впродовж лінії шляху ділянки поверхні, що опромінюється, виникають додаткові помилки вимірювання шляхової швидкості.

В реальних доплерівських вимірювачах шляхової швидкості W і кута зносу α (ДВШКЗ) для усунення впливу бокового вітру, крену і тангажу літака застосовують трьохпроменеві або чотирьохпроменеві антенні системи.



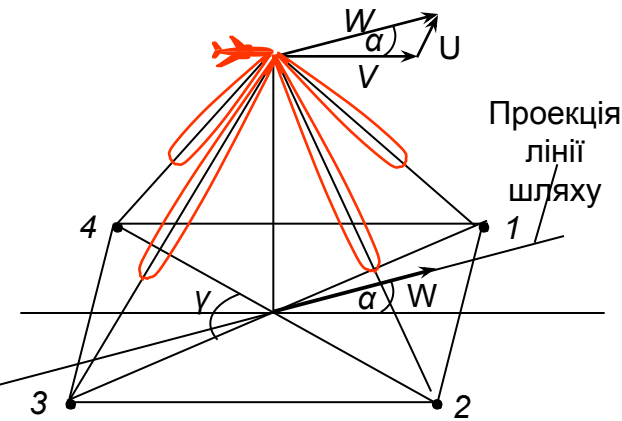
*

В чотирьохпроменевому вимірювачі швидкість зближення з ділянками підстилаючої поверхні 1 ... 4 залежить від повітряної швидкості літака V , вектор якої співпадає з віссю літака, і вектору швидкості вітру U . Різниці доплерівських зсувів частоти сигналів, що надійшли від діагональних (непарних та парних) ділянок підстилаючої поверхні, становлять:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta F_{1-3} = \frac{4W}{\lambda} \cos \beta_0 \cos(\gamma - \alpha) \\ \Delta F_{2-4} = \frac{4W}{\lambda} \cos \beta_0 \cos(\gamma + \alpha) \end{array} \right.$$

По виміряним ΔF_{1-3} і ΔF_{2-4} шляхом рішення системи цих двох рівнянь знаходиться шляхова швидкість і кут зносу літака.

Аналіз багатопроменевих систем показує, що вони мало чутливі до зміни просторового положення літака і ступеня когерентності зондуючих сигналів.

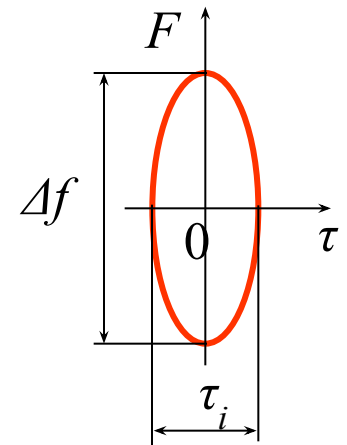
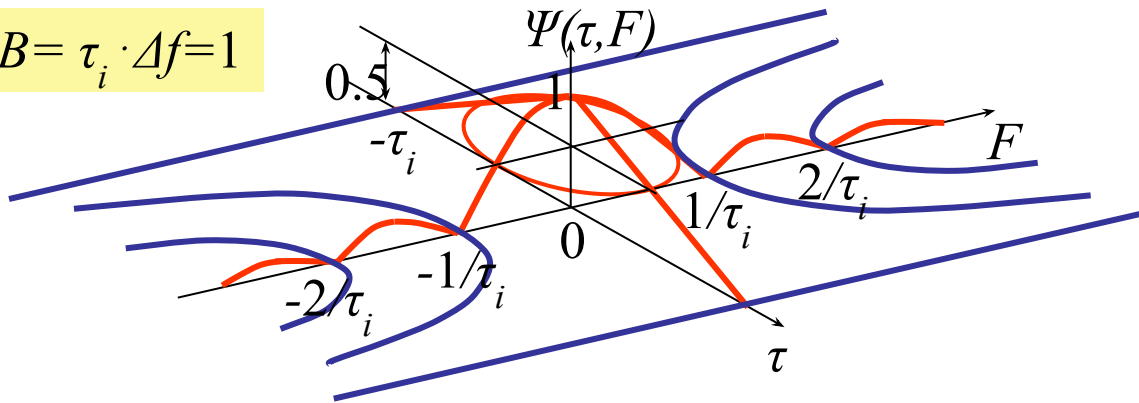


2. Некогерентні імпульсні РЛС

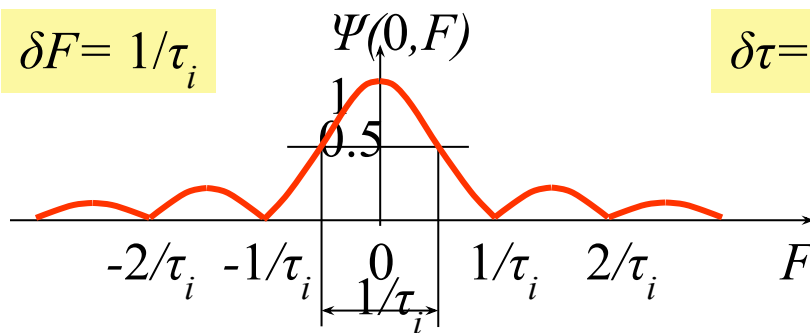
Принципи побудови

Функція невизначеності некогерентної пачки однакових періодичних радіоімпульсів з прямокутною обвідною така ж, як у одиночного імпульсу пачки. Тривалість імпульсу значно менша тривалості пачки і часу опромінювання. Тому діаграма невизначеності вузька впродовж осі τ і широка впродовж осі F . Це дозволяє вимірювати дальність імпульсним методом, але визначення швидкості доплерівським методом неможливе.

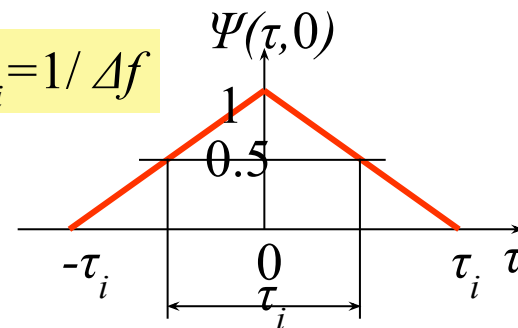
$$B = \tau_i \cdot \Delta f = 1$$



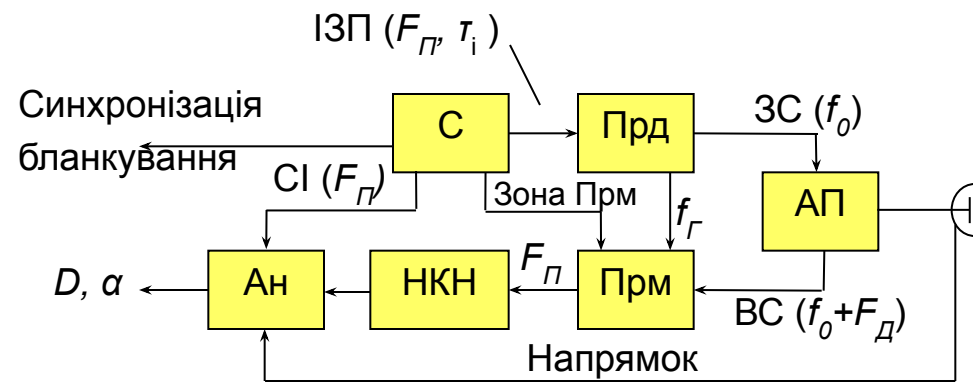
$$\delta F = 1/\tau_i$$



$$\delta \tau = \tau_i = 1/\Delta f$$



*



В некогерентних імпульсних РЛС зондуючі сигнали найчастіше є періодичними послідовностями однакових радіоімпульсів з випадковими початковими фазами.

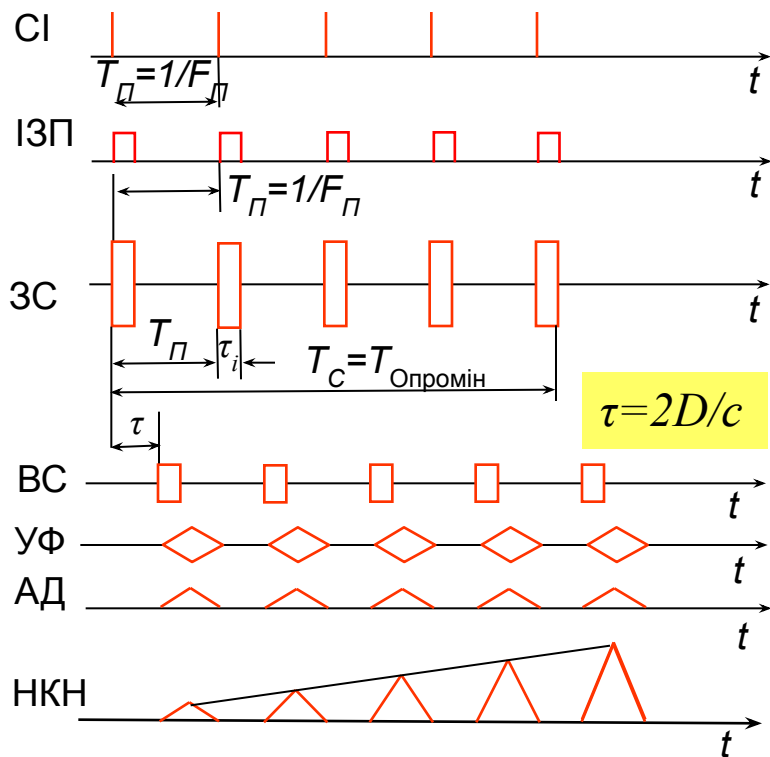
В цих РЛС зондування

здійснюється з низькою частотою повторення F_{Π} , величина якої вибирається з умови однозначного вимірювання дальності імпульсним методом: $F_{\Pi} < 1/t_{\max}$ і задається синхронізатором (С). Імпульси запуску передавача (ІЗП) синхронізатора частоти F_{Π} і тривалістю τ_i запускають передавач (Прд), який формує зондуючий сигнал (ЗС) - періодичну послідовність *радіоімпульсів* робочої частоти f_0 . Через антенний перемикач (АП) вони випромінюються у напрямку, в якому орієнтована діаграма спрямованості антени (ДСА).

Відбитий сигнал (ВС) від рухомої цілі з доплерівським зсувом частоти F_{Δ} обробляється супергетеродинним приймачем (Прм) без підсилювача високої частоти. Напряму гетеродина частотою $f_{\Gamma} = f_0 \pm f_{\Delta}$ формується в передавачі системою *автопідстроюки частоти* (АПЧ). За період повторення синхронізатор видає в приймач *імпульс зони прийому*, який відкриває приймач двічі: 1) для прийому відбитих сигналів в діапазоні дальностей $D_{\min} \dots D_{\max}$ і 2) для оцінки рівня шумів з метою його стабілізації системою автоматичного регулювання (підтримується заданий рівень ймовірності помилкових тривог $P_{\Pi T}$).

*

Часові діаграми (без перешкод)



Функції узгодженого фільтра (УФ) виконує підсилювач проміжної частоти зі смугою пропускання, ширина якої відповідає ширині спектра корисного сигналу $\Delta f = 1/\tau_i$. Після амплітудного детектора (АД) періодична послідовність відеоімпульсів цілі, спотворена перешкодами, надходить і в некогерентний накопичувач (НКН). Сумарний сигнал з виходу НКН в аналізаторі (Ан) порівнюється з порогом – приймається рішення про виявлення.

При необхідності *швидкість* знаходиться непрямым методом як *похідна від дальності*.

Основним недоліком імпульсних РЛС є так звана “мертва зона” тривалістю не менше $c \cdot \tau_i / 2$, впродовж якої приймати слабкі відбиті сигнали на фоні потужних власних зондуючих сигналів неможливо.

Синхронізатор РЛС формує і видає бортовому РЕО *синхронізуючі* (для узгодження часових графіків) і *бланкуючі* (для захисту від потужних зондуючих сигналів) імпульси.

Некогерентні імпульсні РЛС *прості*: вимірюють дві або три координати, мають мертву зону, одну антену, систему автоматичної підстройки частоти (АПЧ) гетеродину, великі розміри і масу, не можуть вимірювати швидкість доплерівським методом.

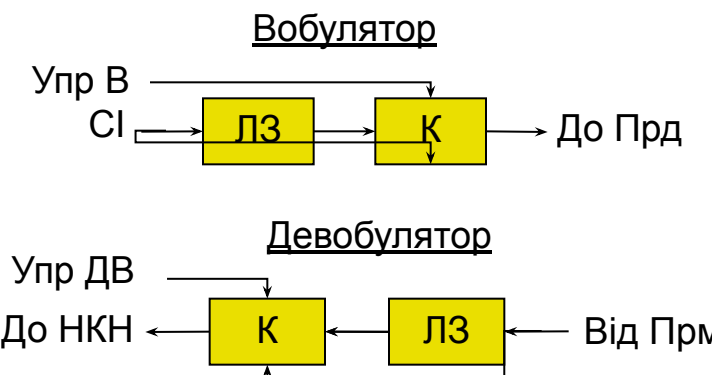
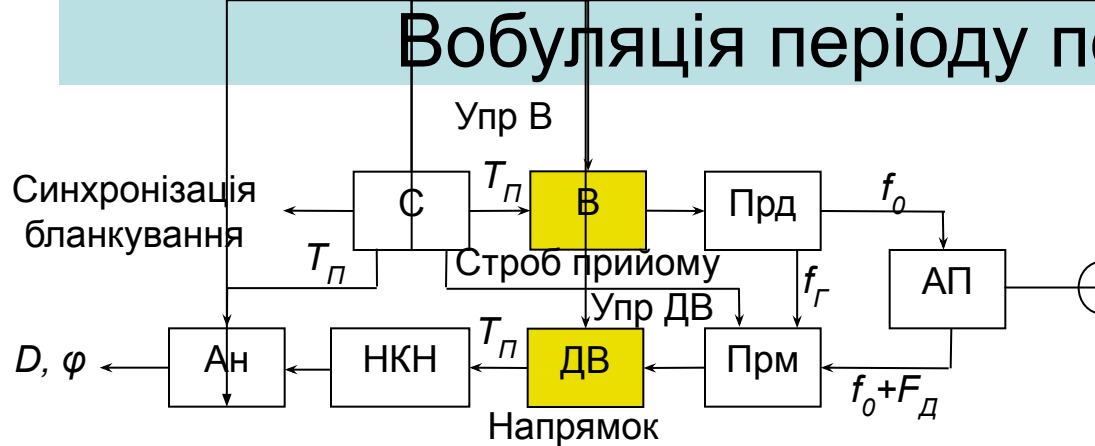
Бортові НКІ РЛС *багаторежимні*. Основні режими: *огляд* (багатоцільовий режим), *супроводження цілі* (одноцільовий режим), *маяк* (режим з активною відповіддю).

Якщо РЛС повинна забезпечувати спостереження цілей до дальностей D_{\max} (затримка відбитих сигналів $t_{\max} = 2D_{\max}/c$), то частота повторення повинна відповідати умові $F_{\text{п}} \leq 1/t_{\max}$.

Якщо з енергетичних міркувань це неможливо, то застосовують більш високу середню частоту повторення з модуляцією періоду повторення $T_{\text{п}} = 1/F_{\text{п}}$, – з *вобуляцією* періода повторення.

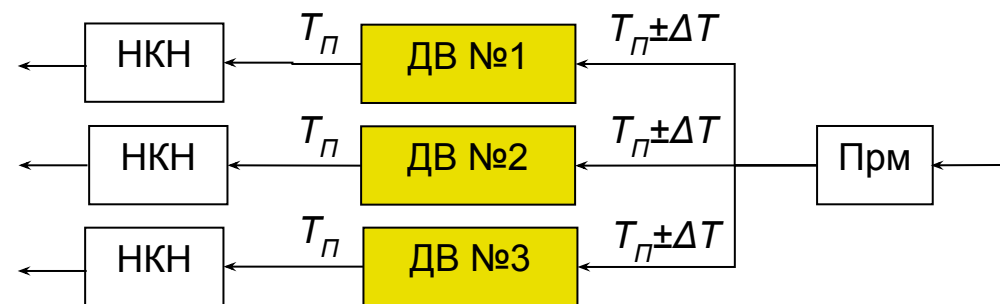
Внаслідок вобуляції (маніпуляції періоду повторення послідовності імпульсів) синхроімпульсів, наприклад, по закону 0, $-\Delta T$, $-\Delta T$, 0, $-\Delta T$, $-\Delta T$... отримаємо *вобульовану* послідовність з періодами $T_{\text{п}} + \Delta T$, $T_{\text{п}}$ і $T_{\text{п}} - \Delta T$, яка періодично повторюється, але вже з періодом $3T_{\text{п}}$. При цьому однозначно вимірюєма дальність зросте до $D_{\max} = c \cdot 3T_{\text{п}}/2$.

Вобуляція періоду повторення



Вобуляція і девобуляція здійснюються шляхом додаткової затримки частини синхроімпульсів у вобуляторі (В) та частини відбитих сигналів у девобуляторі (ДВ). Внаслідок вобуляції (маніпуляції періоду повторення періодичної послідовності) синхроімпульсів, наприклад, по закону $0, \Delta T, \Delta T, 0, \Delta T, \Delta T, \dots$ (на часових діаграмах [слайду 18](#) закон вобуляції показано в прямокутних рамках червоного кольору) отримаємо вобульовану послідовність з періодами $T_p + \Delta T, T_p$ і $T_p - \Delta T$, яка періодично повторюється, але вже з періодом $3T_p$.

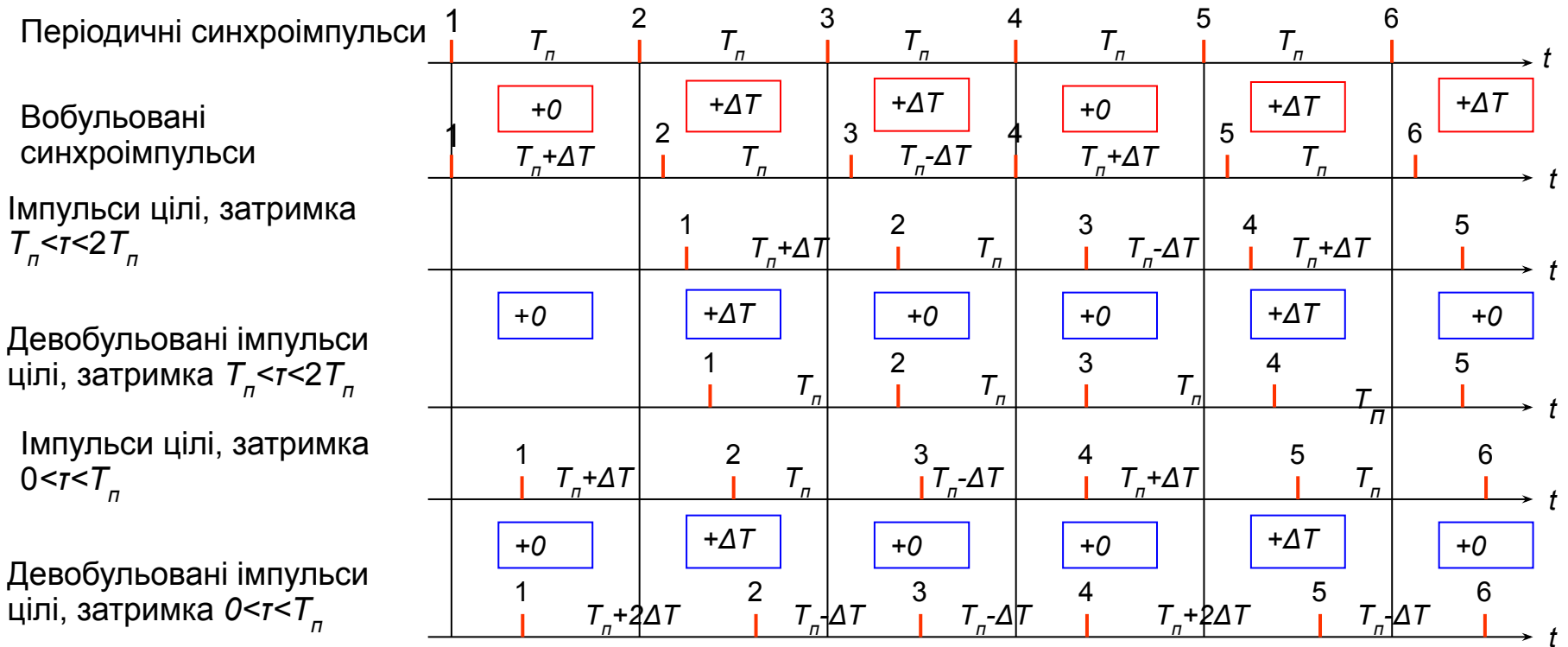
Прийняті від цілей сигнали розподіляються по трьом каналам дальності, в яких здійснюється їх девобуляція. Закон девобуляції є інверсним до закону вобуляції, Девобуляція в каналах здійснюється по однаковим законам, але з затримкою: в першому каналі - без затримки, в другому каналі - з затримкою на величину періоду повторення T_p , а в третьому – з затримкою на $2T_p$.



Закони девобуляції каналів:
 №1: $+\Delta T, 0, 0, +\Delta T, 0, 0, \dots$
 №2: $0, +\Delta T, 0, 0, +\Delta T, 0, \dots$
 №3: $0, 0, +\Delta T, 0, 0, +\Delta T, \dots$

*

Канал №2



Закон девобуляції для сигналів, затримка яких $T_n < \tau < 2T_n$, тобто для *другого прийомного каналу*, показано в прямокутних рамках *синього кольору*. Після девобуляції цих сигналів вони перетворюються в періодичну послідовність з періодом T_n , яка може бути виділена шляхом некогерентного накопичення.

В послідовності відбитих сигналів з затримкою $0 < \tau < T_n$ в результаті її девобуляції в другому прийомному каналі відсутні імпульси з періодом T_n , тобто вона не буде виділена некогерентним накопичувачем другого прийомного каналу.

Особливості та області застосування

Насьогодні ще експлуатується велика кількість РЛС, які по принципам побудови відносяться до некогерентних імпульсних.

Особливості НКІ РЛС:

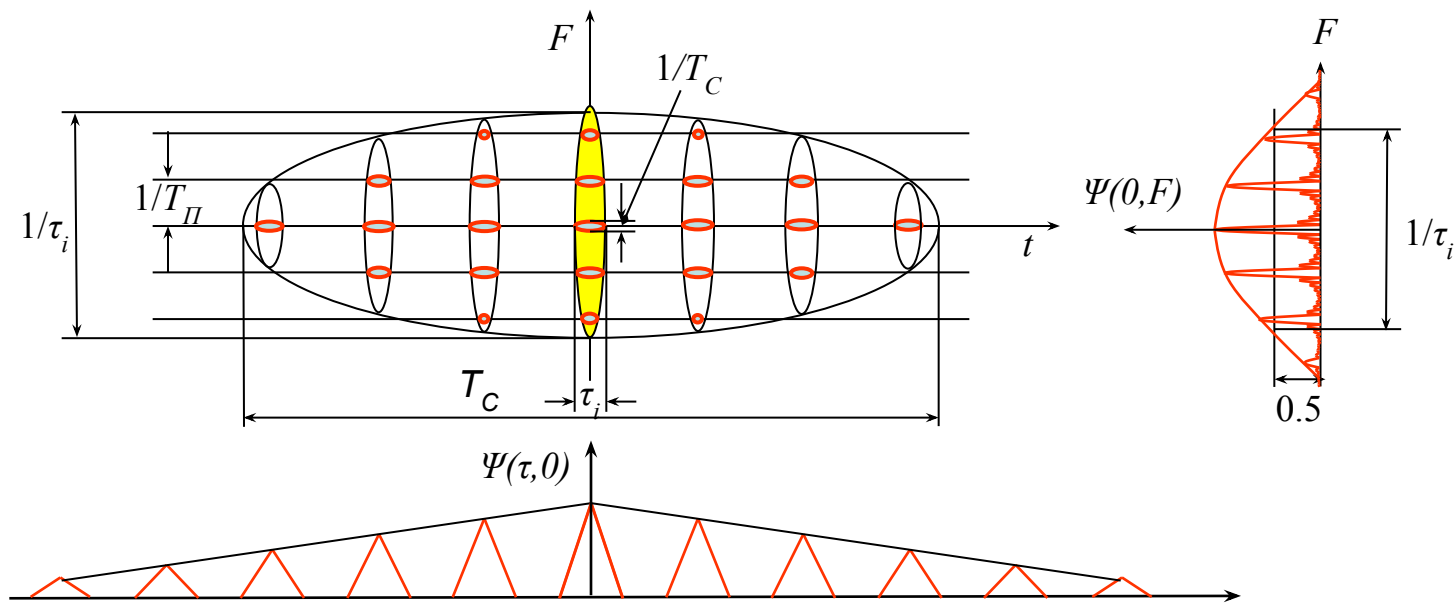
- в передавачі застосовують магнетрон;
- швидкість зближення визначається непрямим методом – як похідна від дальності;
- неефективне накопичування відбитих сигналів;
- проблеми через пасивні перешкоди від нерухомих об'єктів.

Області застосування НКІ РЛС:

- огляд земної та водної поверхні;
- огляд повітряного простору;
- радіовисотоміри;
- метеорологічні РЛС;
- системи розпізнавання державної приналежності;
- системи з активною відповіддю;
- складові систем і комплексів навігації;
- складові систем і комплексів управління зброєю.

3. Когерентні імпульсні РЛС

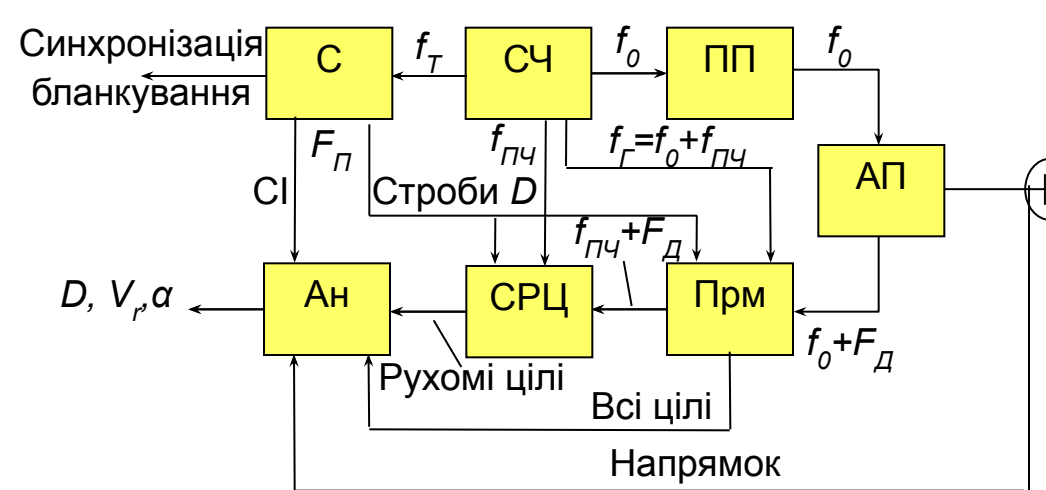
Принципи побудови



В когерентно-імпульсних РЛС (КІ РЛС) завдяки малій ширині піків функції невизначеності впродовж осі частот ($1/T_C$) виникла можливість роздільно спостерігати сигнали цілей, які рухаються з різними швидкостями відносно РЛС, а при достатньо великій тривалості пачок T_C – навіть вимірювати швидкість зближення доплерівським методом. Ці можливості зростають при збільшенні частоти повторення $F_{\Pi} = 1/T_{\Pi}$.

В реальних ситуаціях можлива неоднозначність визначення дальності та швидкості зближення.

*



- С – синхронізатор
- СЧ – синтезатор частот
- ПП – підсилювач потужності
- АП – антенний перемикач
- Прм – приймач
- СРЦ – селектор рухомих цілей
- Ан - аналізатор

Когерентний режим роботи забезпечується формуванням в синтезаторі частот (СЧ) пачки зондуючих сигналів з гармонічного сигналу високостабільного опорного генератора та обробкою відбитих сигналів з урахуванням їх відомої фазової структури.

При формуванні та обробці сигналів широко застосовуються цифрові технології, а в сучасних КІ РЛС – програмні методи.

Опорний сигнал, f_{oc}

Тактові імпульси, f_T

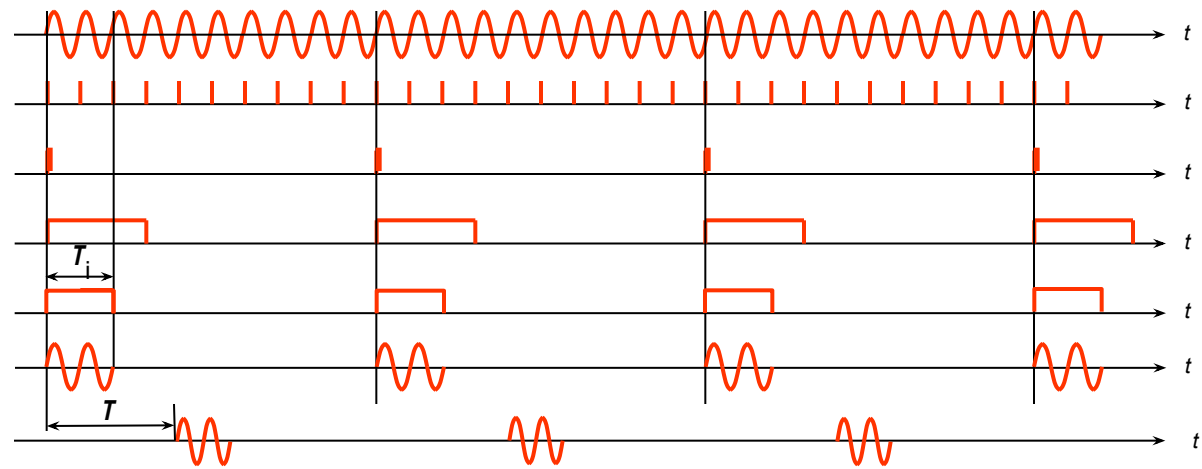
Синхроімпульси, $F_{П}$

Бланкуючі імпульси, $F_{П}$

Імпульси запуску передавача, $F_{П}, \tau_i$

Зондуючі сигнали, $f_0, F_{П}, \tau_i$

Відбиті сигнали, $f_0 + F_D, F_{П}, \tau_p, \tau$



*

Когерентні імпульсні РЛС (КІ РЛС) мають кращі характеристики, ніж некогерентні, тому що в них під час обробки прийнятих сигналів додатково використовується інформація про співвідношення фаз когерентної послідовності радіоімпульсів цілей.

Проте такі РЛС більш складні через потребу формування когерентних (звичайно періодичних) послідовностей сигналів і через ускладнення прийомного каналу з метою використання інформації про фазову структуру відбитих сигналів. Є можливість розподілу цілей залежно від їх швидкості на *рухомі* і *нерухомі*.

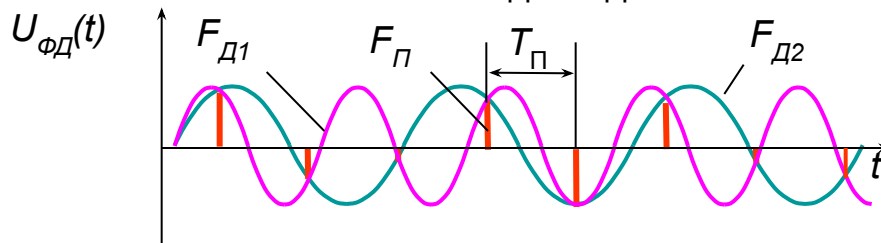
Оскільки споживачів звичайно цікавить інформація про рухомі цілі (літаки, кораблі, ракети, танки, тощо), то до складу КІ РЛС включають канал *селекції рухомих цілей* (СРЦ). Потреба в такому каналі виникає за необхідності спостерігати слабкі сигнали рухомих цілей (танк, літак, катер, тощо) на фоні потужних сигналів перешкод від підстилаючої поверхні, об'єктів на ній або від грозових хмар чи хмар дипольних відбивачів.

Селекція рухомих цілей

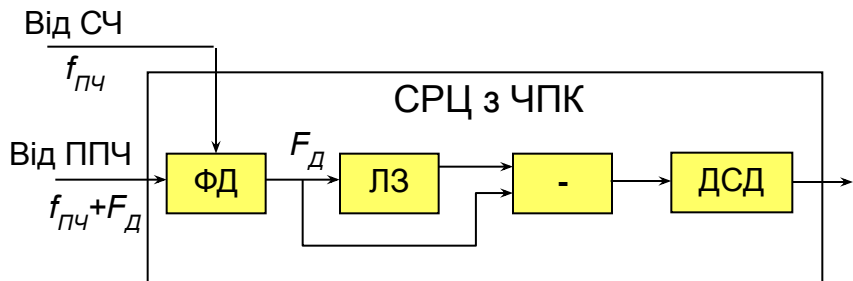
Метод черезперіодної компенсації (ЧПК)

Радіоімпульси цілей проміжної частоти з доплерівськими зсувами і опорний сигнал проміжної частоти синтезатора фазовим детектором перетворюються у двохполярну послідовність відеоімпульсів (червоного кольору), які являються відліками сигналу доплерівської частоти F_D через період повторення зондуючих сигналів T_{Π} . Якщо ціль рухається відносно РЛС ($F_D \neq 0$) і $F_D \neq i \cdot F_{\Pi}$, то сусідні відліки мають різну величину, що і є ознакою рухомої цілі.

У повітряних цілей звичайно $F_D > F_{\Pi}$, тому порушуються умови теорему відліків Котельникова, згідно якій безперервну функцію можна відновити, якщо частота дискретизації при отриманні відліків $F_{\Pi} \geq 2F_D$. Тому в КІ РЛС неможливе безпосереднє однозначне вимірювання швидкості зближення з ціллю – можна тільки встановити факт руху цілі. Можлива ситуація, коли дві цілі рухаються з різними швидкостями (на малюнку $F_{D1} > F_{D2}$), але дають однакові відліки.



В СРЦ з ЧПК порівняння двох сусідніх (через період повторення T_{Π}) відліків сигналу з фазового детектора здійснюється шляхом віднімання (-) від періодичної послідовності імпульсів з фазового детектора (ФД) тієї самої послідовності, але затриманої на період повторення T_{Π} (ЛЗ). Двохсторонній детектор (ДСД) формує сигнал, по величині якого приймається рішення про наявність сигналу доплерівської частоти, тобто про наявність рухомої цілі.



ФД – фазовий детектор

ЛЗ – лінія затримки на період повторення

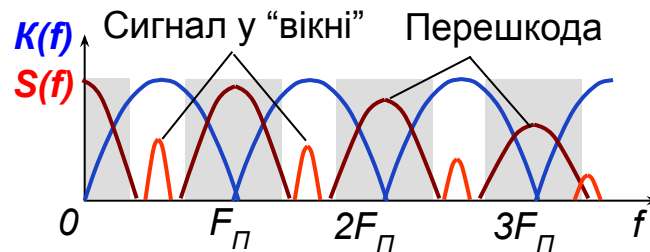
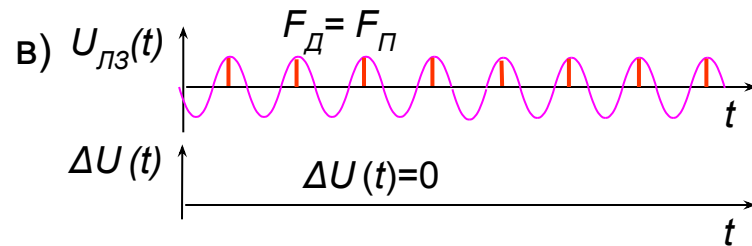
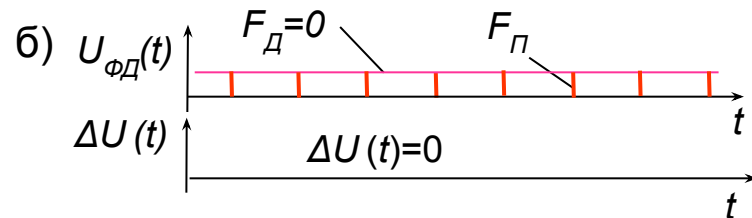
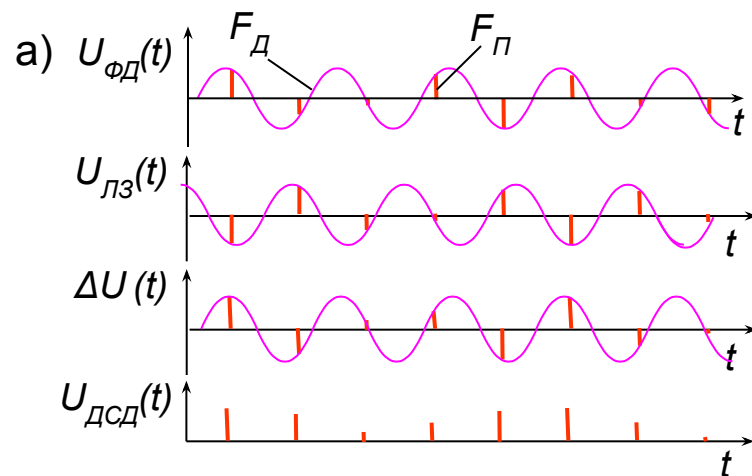
- - вузол віднімання імпульсів

ДСД – двохсторонній детектор

Якщо $F_{Д} \neq 0$ і $F_{Д} \neq k \cdot F_{П}$ (а), то сусідні відліки мають різну величину, амплітуда різницевого імпульсів має змінну величину і полярність (їх обвідна є сигнал частоти $F_{Д}$). Після приведення до одної полярності імпульси ДСД можна накопичувати.

Якщо $F_{Д} = 0$ (б) або $F_{Д} = k \cdot F_{П}$ (в), то сусідні відліки будуть однакової величини і взаємно зкомпенсуються при відніманні.

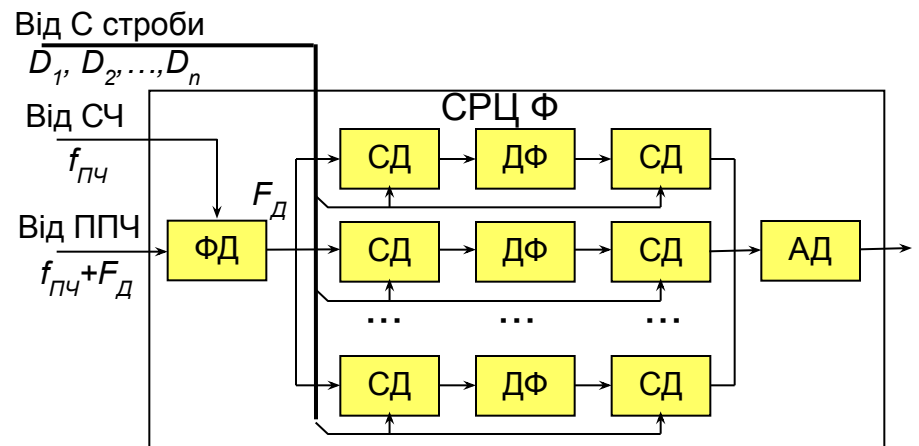
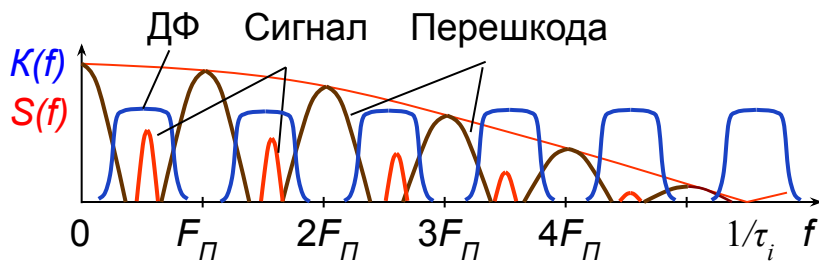
Частотна характеристика $K(f)$ пристрою ЧПК має гострі провали при $F_{Д} = k \cdot F_{П}$, де знаходяться спектральні складові перешкод від нерухомих об'єктів. Корисний сигнал від рухомої цілі може спостерігатись на фоні інтенсивних перешкод від малорухомих об'єктів, якщо між зонами інтенсивних перешкод є "вікна" з низьким рівнем перешкод і його спектр $S(f)$ попадає в ці "вікна".



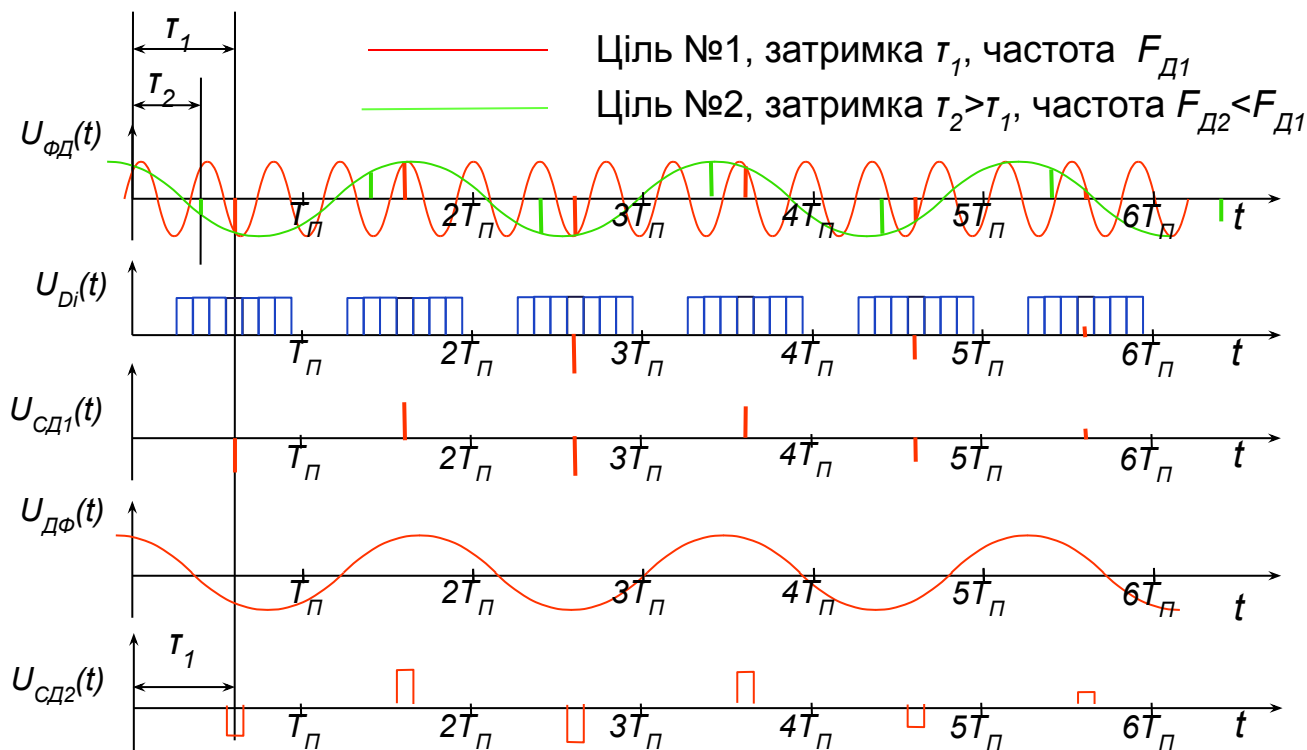
Фільтровий метод СРЦ

Перешкоди створюються сигналами підстилюючої поверхні, які надходять по нижнім боковим пелюсткам ДСА. Спостереження корисного сигналу можливе лише при умові, що його спектральні складові (червоного кольору) не співпадають із спектральними складовими перешкод (коричневого кольору). Для виділення сигналів рухомих цілей потрібна **“гребінка” вузькосмугових доплерівських фільтрів (ДФ)**, настроєних на гармоніки спектру корисного сигналу (їх частотні характеристики показані синім кольором). Гребінка настроєних доплерівських фільтрів пропускає лише ті спектральні складові, які знаходяться між зонами інтенсивних перешкод навколо частот $F_D = kF_{\Pi}$.

Щоб *спростити* вузол СРЦ і зберегти можливість *одночасного спостереження цілей на різних дальностях* в кожному з каналів дальності використовують лише **один доплерівський фільтр (ДФ)**, настроєний на **першу гармоніку** спектру корисного сигналу. На виході фільтру сигнал губить імпульсну структуру – стає *квазібезперервним*, при цьому *інформація про дальність губиться*. Для її відновлення в багатоканальному по дальності приймачі за допомогою селектрів дальності (СД) застосовують *стробування* кожного з каналів своїм стробом дальності D_1, D_2, \dots, D_n .

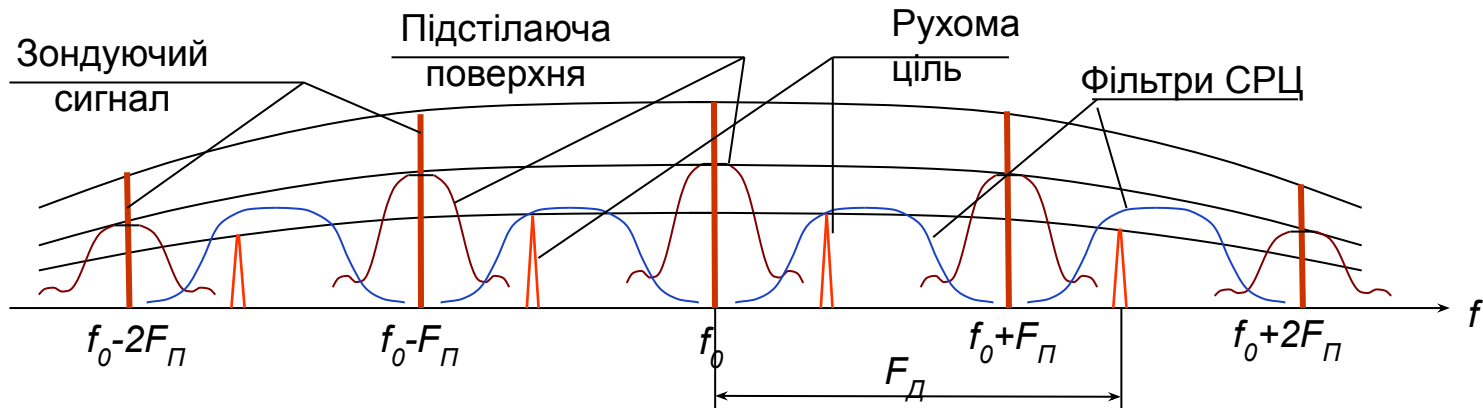


В КІ РЛС *період повторення* зонduючих сигналів обирається за умови *однозначного вимірювання дальності імпульсним методом*: $T_{\text{п}} > (2D_{\text{max}}/c)$. Завдяки стробуванню по дальності в доплерівський фільтр каналу проходять тільки сигнали, затримка яких відповідає положенню стробу дальності. Внаслідок вузькосмугової доплерівської фільтрації модульована по амплітуді послідовність відеосигналів рухомих цілей трансформується у квазібезперервний сигнал. Для відновлення імпульсної структури шляхом стробування квазібезперервний сигнал дискретизується тим же стробом дальності.



*

Особливості та області застосування



В КІ РЛС частоти повторення F_{Π} , як і в некогерентних РЛС, вибирають з умови можливості однозначного вимірювання дальності до D_{\max} :

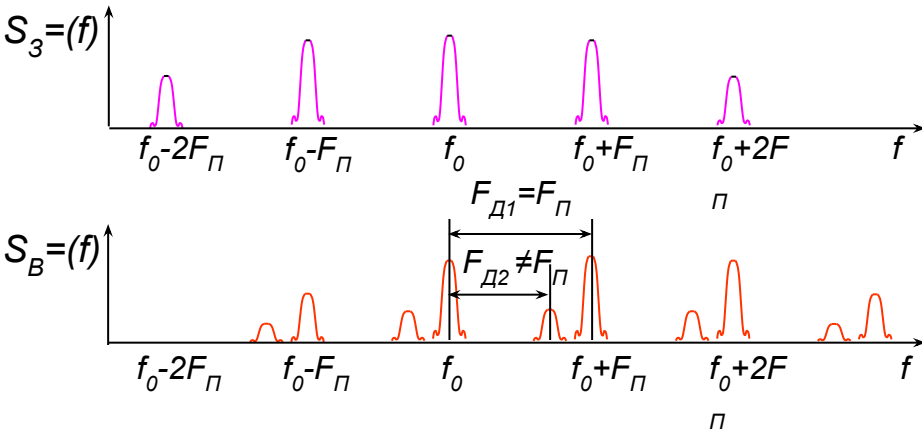
$$F_{\Pi} = 1/T_{\Pi} \leq (c/2D_{\max}) .$$

Тому при спостереженні повітряних цілей звичайно $F_{\text{Д}} \gg F_{\Pi}$ і через велику неоднозначність швидкість доплерівським методом не визначається.

В КІ РЛС мають місце так звані “сліпі” фази, дальності і швидкості, при яких спостереження цілей неможливе.

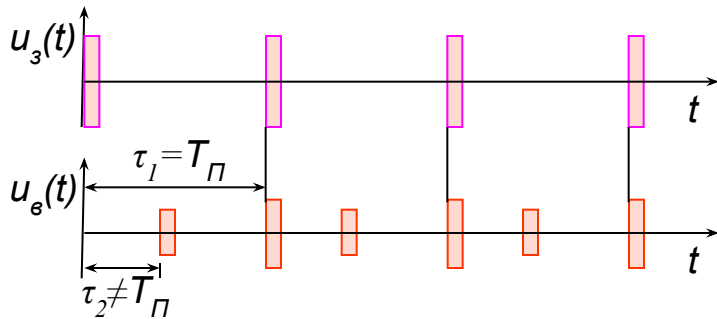
Сліпі фази виникають, коли *відбитий і опорний сигнали* знаходяться в *квадратурі*, тобто їх фази відрізняються на $\pm 90^\circ$. При цьому сигнал на виході фазового детектора відсутній. Для позбавлення від сліпих фаз *приймач роблять двохканальним*: в каналах опорні сигнали для фазових детекторів каналів повинні бути в *квадратурі*.

Сліпі швидкості та сліпі дальності



“**Сліпі**” швидкості мають місце, коли спектральні складові відбитих сигналів $S_B(f)$ (коричневого кольору) співпадають із спектральними складовими зонduючих сигналів $S_3(f)$ (фіолетового кольору) і пасивних перешкод:

$$F_{\text{ДСл}} = i \cdot F_{\text{п}}$$



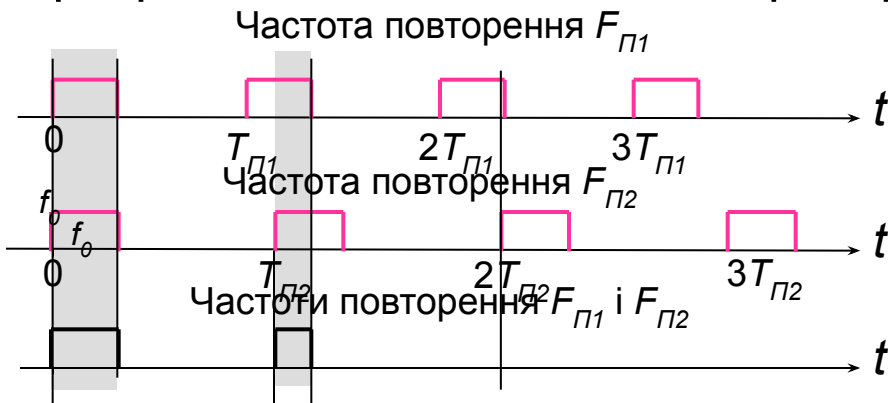
Якщо частота повторення зонduючих сигналів не вибирається з умови однозначного вимірювання дальності імпульсним методом, то можливі і **сліпі дальності**, коли відбиті сигнали $u_e(t)$ надходять у приймач в моменти випромінювання чергових зонduючих сигналів $u_3(t)$:

$$T_{\text{Сл}} = i \cdot T_{\text{п}}$$

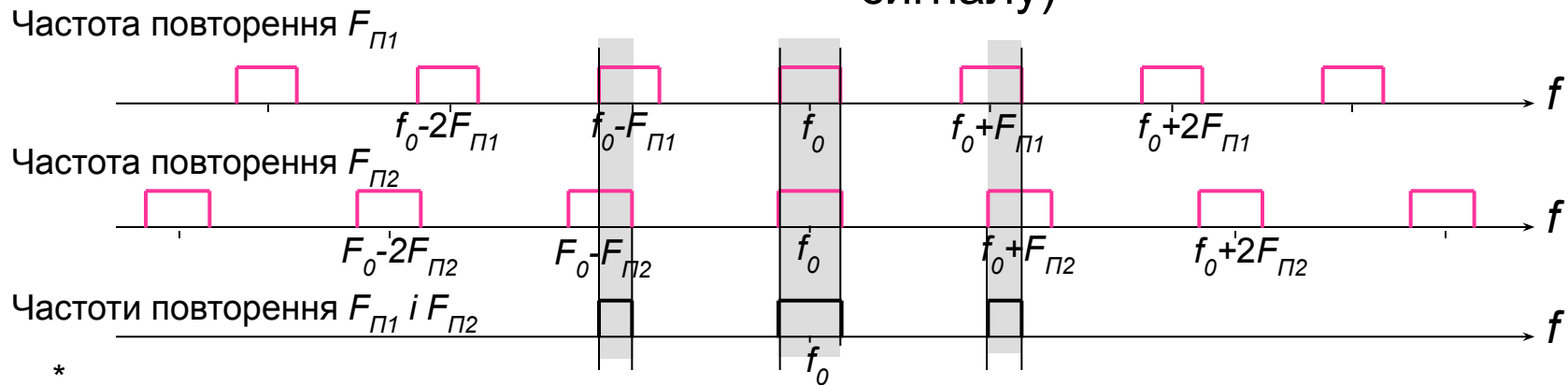
В обох випадках неможливе спостереження дуже слабких відбитих сигналів на фоні потужних перешкод від власних зонduючих сигналів.

Усунення сліпих дальностей та сліпих швидкосей

Для усунення *сліпих дальностей* зондування в кожному напрямку здійснюється на *декількох спеціально підібраних частотах повторення*, наприклад, $F_{\pi 1}$ і $F_{\pi 2}$. Зони “непрозорості” (фіолетового кольору) тривалістю T_i на обох частотах повністю співпадають (залива сірого кольору) при затримках $0 < t < T_i$, частково співпадають при затримках $T_{\pi 2} < t < T_{\pi 1} + T_i$ і не співпадають при більших затримках. Створюються зони “прозорості” хоча б на одній з частот повторення (наприклад, при $T_i < t < T_{\pi 2}$) і далі від $t > T_{\pi 1}$ до затримки t , при якій $(k+1)$ -а зона непрозорості на частоті $F_{\pi 1}$ почне перекриватись з k -ю зоною непрозорості на частоті $F_{\pi 2}$.



Для усунення *сліпих швидкосей* теж в кожному напрямку здійснюється зондування на *декількох спеціально підібраних частотах повторення*. При цьому на всіх частотах повторення *навколо частоти f_0* зберігається зона непрозорості шириною ΔF (ширина спектру зондуючого сигналу)



*

Вікна прозорості

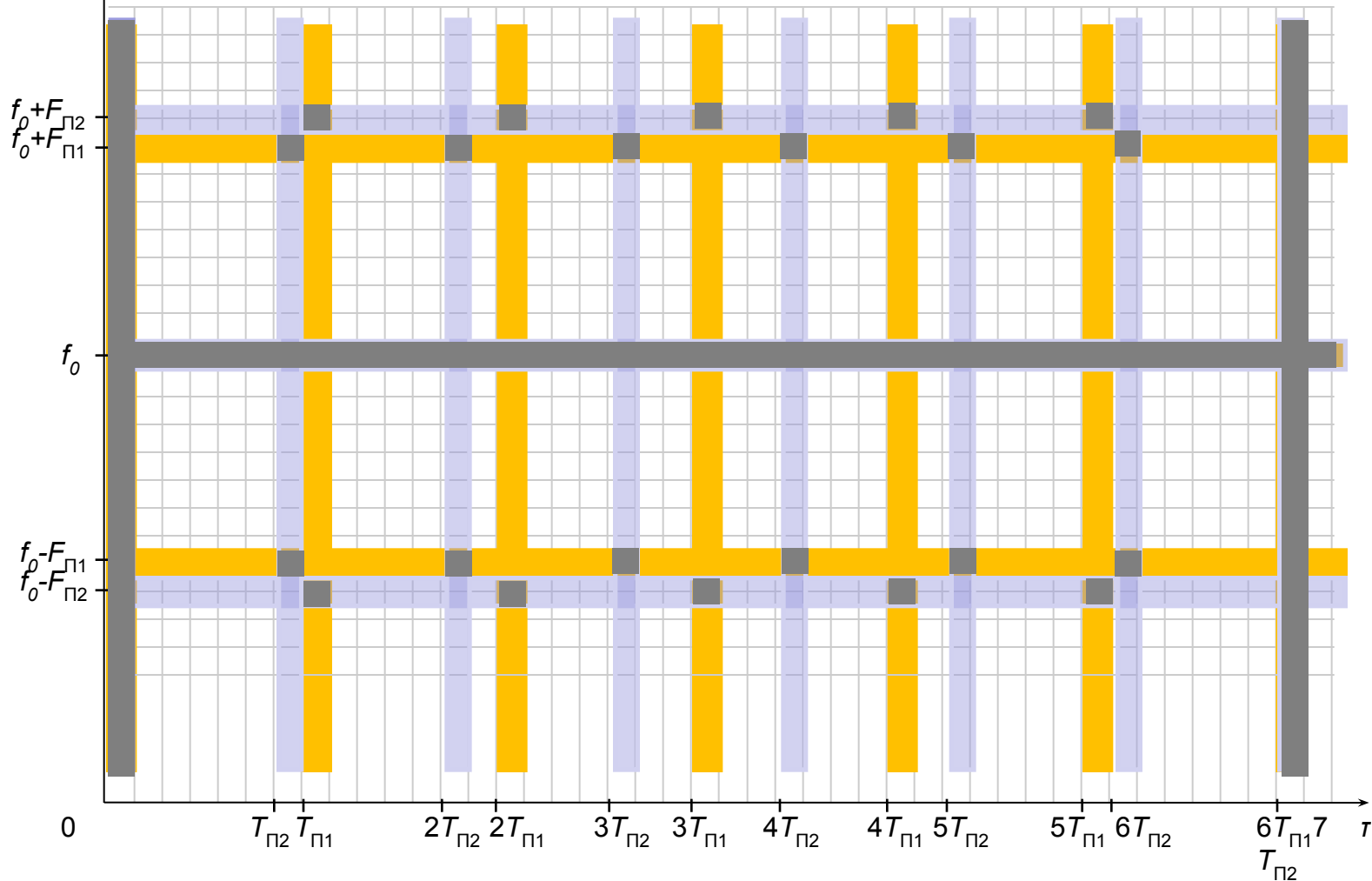
При будь-якому наборі частот (періодів) повторення залишається непрозорою по часу зона в межах $0 \dots \tau_i$ і по частоті в межах $f_0 \pm \Delta f/2$ (суцільна темна заливка). Часто періоди повторення T_{Π} кратні тривалості імпульсу. Тоді при затримці, рівній найменшому спільному кратному (НСК) відносних періодів повторення (скважностей $Q_{C_i} = T_{\Pi} / \tau_i$) створюється наступна зона непрозорості шириною τ_i . По частоті ситуація аналогічна. В межах вікна прозорості залишаються острівці непрозорості розміром $\Delta f \cdot \tau_i$ (суцільна темна заливка).

$$Q_{C1} = 7$$

$$Q_{C2} = 6$$

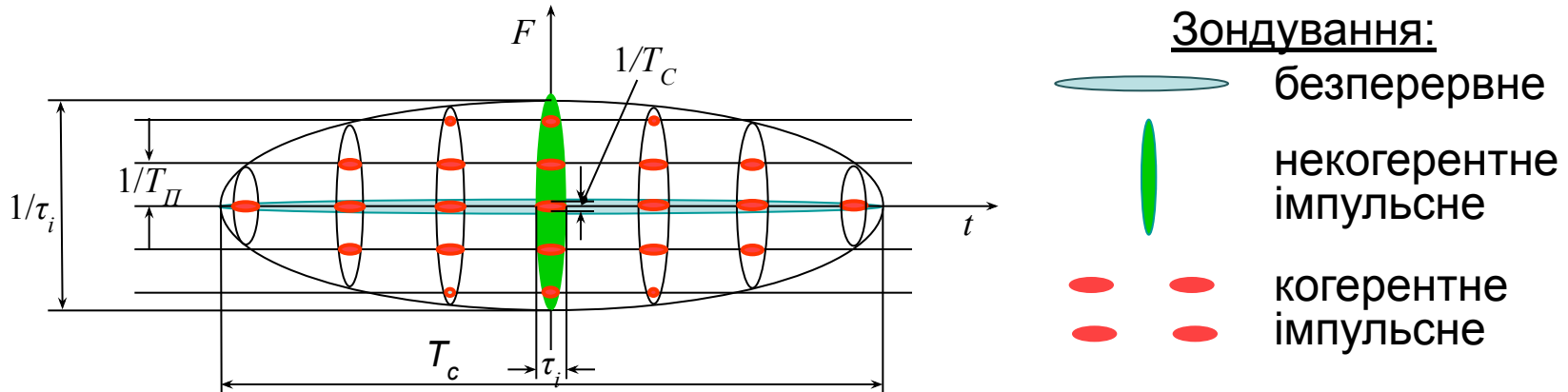
$$\text{НСК} = 42$$

$$\Delta f = 1/\tau_i$$



4. Застосування РЛС безперервного та імпульсного випромінювання

Залежність потенційних можливостей РЛС від типу випромінювання



Із співставлення діаграм невизначеності однакового масштабу видно:

- безперервний сигнал непридатний для розділення цілей по дальності і вимірювання дальності імпульсним методом, але забезпечує високоякісне розділення і вимірювання швидкості доплерівським методом;
- некогерентний імпульсний сигнал непридатний до розділення і вимірювання швидкості доплерівським методом, але забезпечує розділення і вимірювання дальності імпульсним методом;
- когерентний імпульсний сигнал забезпечує розділення, а при достатньому інтервалі когерентності - і вимірювання швидкості доплерівським методом та розділення і вимірювання дальності імпульсним методом, але має місце неоднозначність по швидкості і по дальності.

*

Застосування РЛС безперервного випромінювання

Області застосування.

Висотоміри малих та середніх висот.

Голівки самонаведення ракет.

Радіопідірвачі.

Доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу.

Застосування РЛС імпульсного випромінювання

Області застосування НКІ РЛС.

Огляд земної та водної поверхні.

Огляд повітряного простору.

Радіовисотоміри.

Метеорологічні РЛС.

Системи розпізнавання державної приналежності.

Системи з активною відповіддю.

Складові систем і комплексів навігації.

Складові систем і комплексів управління зброєю.

Області застосування КІ РЛС.

Огляд земної та водної поверхні.

Огляд повітряного простору.

Радіовисотоміри.

Метеорологічні РЛС.

Доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу.

Голівки самонаведення ракет.

Складові систем і комплексів навігації.

Складові систем і комплексів управління зброєю.

Радіопідірвачі.

Питання для самоконтролю

1. Особливості РЛС з різними режимами випромінювання.
2. Особливості РЛС з низькими частотами повторення зондуючих сигналів.
3. Принципи побудови і особливості РЛС безперервного випромінювання.
4. Доплерівські вимірювачі шляхової швидкості і кута зносу.
5. Принципи побудови і особливості некогерентних імпульсних РЛС.
6. Принципи побудови і особливості когерентних імпульсних РЛС.
7. Усунення сліпих швидкостей і сліпих дальностей.
8. Селекція рухомих цілей в когерентних РЛС.

Завдання на самотійну роботу

1. Конспект по темі заняття доповнити матеріалом з навчального посібника і підручників.
2. Отримати практичні навички по встановленню потенційних можливостей РЛС шляхом аналізу функцій невизначеності їх зондуючих сигналів.
3. Презентація ФО РЛС Б І В.ppt.
4. Радиоэлектронное оборудование. Под ред. В.М. Сидорина. – М.: Воениздат, 1990, с. 184-189.
5. В.А.Войчук та ін.. Бортові радіоелектронні системи. Ч.1. – К.: НАУ, 2006, с. 101-105, 107-121.
6. В.А.Войчук, В.І.Романенко, Д.В.Васягін. Експлуатація й ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. (Електронний підручник ЕП001). – К.: НАУ, 2011, тема 8.