

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ**



**Тема № 2. Загальні відомості, будова та принцип роботи систем та пристроїв радіолокаційних станцій (РЛС).**

**Заняття № 4. Радіоприймальні пристрої ЗРЛ.  
Групове заняття**

## **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Вивчити призначення, характеристики та класифікацію приймальних пристроїв.**
- 2. Вивчити призначення, характеристики та типи ПВЧ, їх вплив на чутливість приймача.**

## **ВИХОВНА МЕТА:**

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

## **Навчальні питання:**

**Питання 1. Призначення і класифікація приймальних пристроїв.**

**Питання 2. Основні технічні характеристики приймальних пристроїв.**

**Питання 3. Методи поліпшення чутливості приймальних пристроїв.**

**Питання 4. Призначення і основні технічні характеристики вхідних кіл та ПВЧ різних типів.**

**Питання 5. ПВЧ на лампах біжучої хвилі.**

**Питання 6. Параметричні підсилювачі високої частоти. Змішувачі сигналів.**

**Питання 7. Призначення, класифікація і характеристика підсилювачів проміжної частоти (ППЧ).**

**Питання 8. Логарифмічні ППЧ. Детектування сигналів.**

# **ПИТАННЯ І**

## **ПРИЗНАЧЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

# Питання 1. Призначення і класифікація приймальних пристроїв.

Радіоприймальні пристрої (Рпр.Пр.) призначені для селекції сигналів визначеної частоти і форми, їх подальшого підсилення і перетворення у форму, необхідну для спрацьовування кінцевих пристроїв (індикаторів).

Однією із основних функцій радіоприймального пристрою є оптимальне (згідно вибраного критерію) виділення корисного сигналу, який спостерігається на фоні внутрішніх шумів і зовнішніх завад.

**Якість виконання даної функції в основному визначається структурою корисних і заважаючих сигналів, їх інтенсивностями, а також апріорними відомостями про параметри спостерігаємих сигналів.**

**Призначення, склад і структура приймального пристрою визначається:**

- типом радіотехнічного засобу, до складу якого вона входить;**
- видом сигналів, які оброблюються;**
- відомостями про їх параметри (форму, тривалість, вид модуляції);**
- характером просторової обробки, який залежить від методів огляду простору;**

## **Питання 1. Призначення і класифікація приймальних пристроїв.**

**- виду просторово-розподілених завад (активних, пасивних);**

**- вимог до РЛС по якості виявлення, розподілення, розпізнавання цілей, точності вимірювання їх координат.**

**Зазначені особливості приймальних пристроїв визначають основні ознаки їх класифікації.**

## **Приймальні пристрої класифікуються:**

- по типу радіотехнічного засобу і призначенню каналів прийому (наприклад, приймальний канал виявлення оглядової РЛС, приймальний канал РЛС супроводжування);
- по способу реалізації просторової, часової обробки сигналів (наприклад, приймальний пристрій обробки сигналів на фоні завад з просторовою та часовою кореляцією);
- по типу корисних сигналів, які приймаються, і відомостей про їх структуру (наприклад, приймальний пристрій складних або простих сигналів з відомою або невідомою структурою, імпульсні, частотно-модульовані);



# **Питання 1. Призначення і класифікація приймальних пристроїв.**

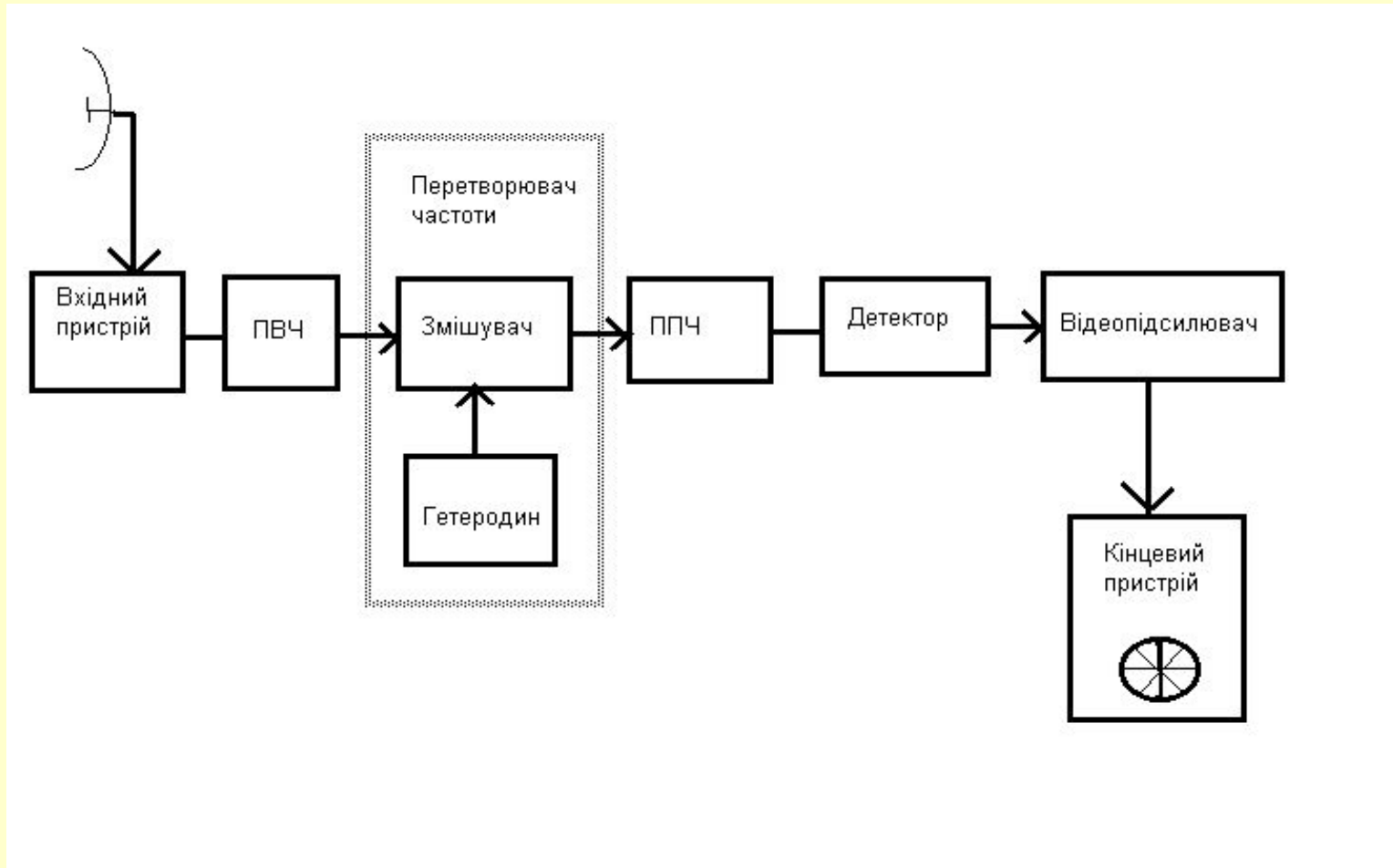
**По способу обробки сигналів приймальні пристрої розділяються на фільтрові, кореляційні, кореляційно-фільтрові, автокореляційні, детекторні, приймачі прямого підсилення.**

**По способу реалізації основних операцій над сигналами розрізняють аналогові, цифрові і аналогово-цифрові приймальні пристрої.**

**Часто при класифікації приймальних пристроїв виділяють ознаки, які характеризують специфічні особливості їх побудови (наприклад, приймальні пристрої широкосмугових сигналів, зі смугою, що перестроюється, великим динамічним діапазоном), експлуатації, розміщення (наземні, бортові).**

**Найбільш розповсюдженим видом РПр.Пр. є супергетеродинний приймач, структурна схема якого зображена на рис. 1.**

# Питання 1. Призначення і класифікація приймальних пристроїв.



# ПИТАННЯ II

## ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

## Питання 2. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Чутливість приймального пристрою характеризує його здатність приймати слабкі радіосигнали. Кількісно вона визначається граничною та реальною чутливістю.

Граничною чутливістю приймача  $P_{пр. \min}$  або  $E_{пр. \min}$  називають таку мінімальну потужність ( ЕРС) сигналу в антені, яка при узгодженні антени та приймача забезпечує на виході його лінійної частини відношення по потужності сигналу до шуму, рівне **одиниці**.

Реальною чутливістю приймача  $P_{pr\ min}$  називають таку потужність в антені, яка забезпечує на виході лінійної частини приймача відношення сигнал-шум, рівний коефіцієнту розрізнення.

На дециметрових і більш коротких хвилях чутливість вимірюється у ватах або децибелах, на метрових і більш довгих хвилях - у вольтах.

$$P_{pr.\ min.} = 10 \lg \frac{P_{r.v.}}{P_{pr.\ min.}}$$

де  $P_{r.\ v.}$  - потужність рівня відліку (як правило  $P_{r.\ v.} = 10^{-5}$  Вт).

## Питання 2. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.

Коефіцієнт шуму вимірюється у відносних одиницях і децибелах, причому  $N$  [дБ] =  $10 \lg N$  [раз]. Для ідеального каскаду  $N = 1$ . Реально у сучасних радіолокаційних приймачах  $N = 1 - 10$ .

Шумові властивості приймача характеризуються також ефективною шумовою температурою  $T_e$ , яка пов'язана з коефіцієнтом  $N$  співвідношенням:

$$T_e = T_0 (N - 1), \text{ де } T_0 = 300 \text{ К.}$$

**Коефіцієнт шуму приймача визначається, в основному, шумами перших каскадів, і для зменшення коефіцієнта шуму і збільшення чутливості приймача перші каскади (каскади ПВЧ) повинні бути з малим рівнем шуму.**

**Коефіцієнт підсилення характеризує підсилювальні властивості приймача. Розрізняють коефіцієнт підсилення по потужності  $K_p$  і коефіцієнт підсилення по напрузі  $K_u$ .**

**Коефіцієнтом підсилення по потужності  $K_p$  називають відношення потужності на виході пристрою до потужності на його вході:**



## Питання 2. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Діапазонність приймача характеризує здатність приймача працювати в діапазоні частот і визначає в основному завадозахищеність приймача під час застосування активних завад. Кількісно вона характеризується коефіцієнтом перестроювання по частоті  $K_f$ , який рівний відношенню максимальної і мінімальної частот, на які може бути перестроєний даний приймач.

Динамічний діапазон характеризує здатність приймача працювати без перевантаження при дії сильних сигналів та завад. Кількісно динамічний діапазон визначається по вхідному  $D_{вх.}$  і вихідному  $D_{вих.}$  сигналам.

Динамічний діапазон по вхідному сигналу D

ВХ називають відношення максимальної вхідної напруги  $U_{вх\ max}$ , при якій відсутнє перевантаження приймача, до мінімальної вхідної напруги  $U_{вх\ min}$ , якій відповідає гранична чутливість приймача:

$U_{вх\ max}$

$$D_{вх} = \frac{U_{вх\ max}}{U_{вх\ min}} .$$

$U_{вх\ min}$

Аналогічно визначають динамічний діапазон по вихідному сигналу:

$U_{вих\ max}$

$$D_{вих} = \frac{U_{вих\ max}}{U_{вих\ min}} .$$

$U_{вих\ min}$ .

# ПИТАННЯ ІІІ

## МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

### **Питання 3. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.**

**Приймач, який забезпечує прийом сигналів при наявності шумів, прийнято називати оптимальним приймачем. Прийом сигналів при наявності шумів приводить до вирішення однієї із наступних задач:**

**- виявлення сигналу, тобто встановлення факту наявності або відсутності сигналу;**

**- виділення сигналу, тобто знаходження форми коливань сигналу або одного (інколи декількох) параметрів цього колювання (амплітуди, часу приходу і т.д.).**

**Задачі виявлення і виділення мають багато спільного і в ряді випадків можуть вирішуватись одночасно. Але ці задачі мають і суттєві відмінності. Тому оптимальний приймач виявлення може бути неоптимальним з точки зору виділення сигналу і навпаки. В радіолокації переважною є задача виявлення.**

### **3.1 КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ ПРИЙМАЧА.**

**В процесі виявлення сигналу можуть бути помилки двох видів:**

- 1) рішення про наявність сигналу, коли насправді є тільки шум (хибна тривога)  $P_{х.т.}$ ;**
- 2) рішення про відсутність сигналу, коли сигнал дійсно є (пропуск сигналу)  $P_{пр.с.}$ ;**

### Питання 3. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.

В залежності від імовірності помилок введені критерії:

Згідно критерію ідеального спостерігача приймач є оптимальним, якщо він забезпечує мінімальну імовірність помилки любого виду.

Згідно критерію Неймана-Пірсона приймач є оптимальним, якщо він забезпечує максимальну імовірність правильного виявлення, мінімальну імовірність пропуску сигналу при заданій імовірності помилкової тривоги. Критерій Неймана-Пірсона найбільше застосовується в радіолокації.

**Відомі інші критерії оптимальності приймача (критерій Байєса, мінімаксний критерій, критерій втрати інформації).**

**В загальному випадку різним критеріям оптимальності відповідають різні структури і властивості оптимального приймача.**

**Розрізняють приймальні пристрої сигналів з відомою структурою і приймачі сигналів з невідомою структурою.**

### **Питання 3. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.**

**При вирішенні задачі виявлення відомого радіолокаційного сигналу можливі два види оптимального приймача - приймач з оптимальним фільтром (тобто з фільтровою обробкою сигналу) та кореляційний приймач.**

**Приймач з оптимальним фільтром може вирішувати дві задачі:**

**- відтворювати з мінімальною середньою квадратичною помилкою повідомлення, яке несе сигнал  $U_c(t)$ ;**

**- відтворювати з мінімальною середньою квадратичною помилкою сигнал  $U_c(t)$ ;**



Для приймача РЛС виявлення головною є задача виявлення сигналу, тому оптимальний приймач можна представити як узгоджений лінійний фільтр, імпульсна характеристика якого  $h(t)$  дзеркальна по відношенню до очікуємого сигналу, з наступним детектуванням (рис.3). Вказана вимога виконується, якщо АЧХ фільтра  $|K(\omega)|$  подібна амплітудно-частотному спектру сигналу  $|g(\omega)|$ , тобто

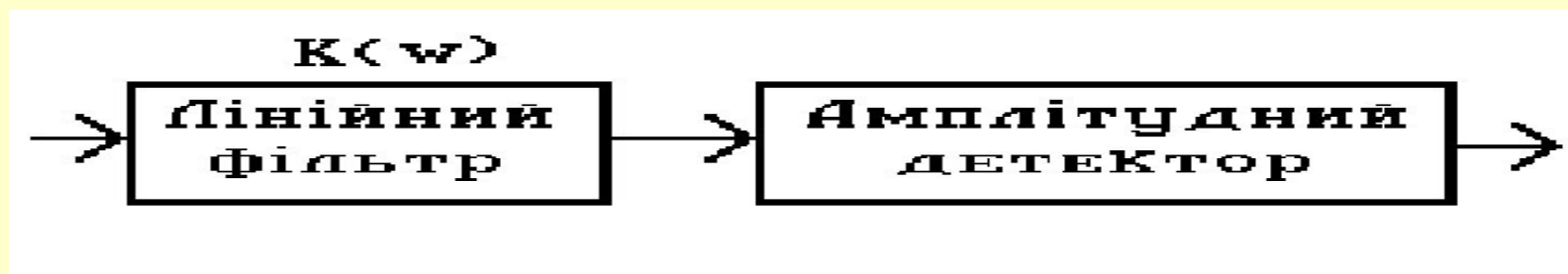
$$(|K(\omega)| \sim |g(\omega)|),$$

а фазо - частотні характеристики і спектр пов'язані виразом

$$\arg K(\omega) = - \arg g(\omega) - \omega t_0 \quad (12)$$

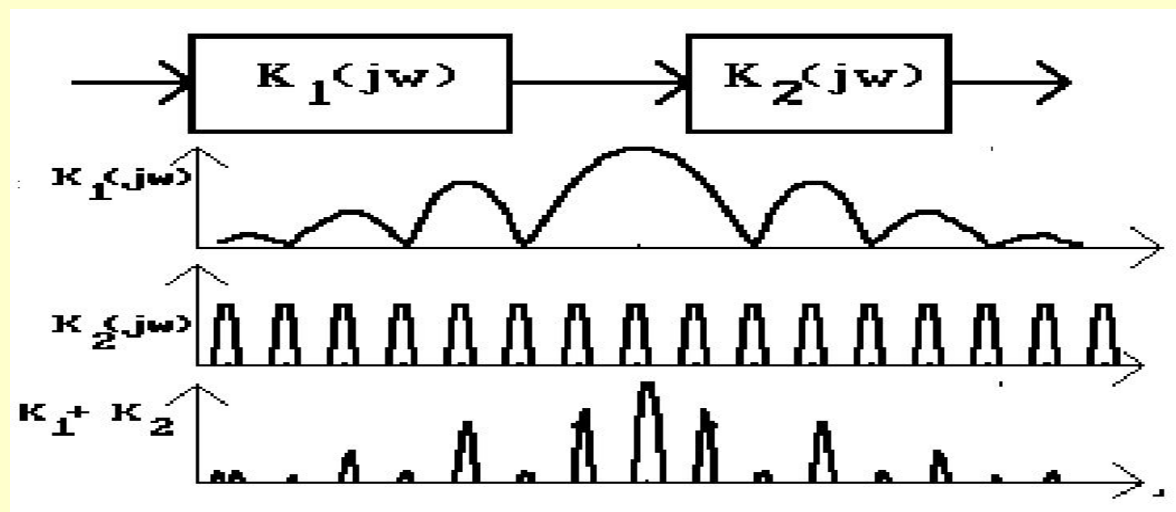
де  $t_0$  - час затримки сигналу у фільтрі.

### Питання 3. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.



Причому оптимальним буде такий лінійний фільтр, який забезпечує на виході детектора максимальне відношення сигнал-шум. Структура фільтра суттєво залежить від спектру сигналу. Оптимальним є фільтр, комплексна частотна характеристика якого пропорційна комплексно-спряженому спектру сигналу прийому. Наприклад, для пакету (послідовності)  $n$ -періодичних радіоімпульсів (для пакета відбитих сигналів від цілі) оптимальний фільтр складається (рис.4) з двох послідовно включених блоків  $K_1(j\omega)$  і  $K_2(j\omega)$  і має гребінчасту частотну характеристику (мал. 4).

### Питання 3. МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.



Блок  $K_1(j\omega)$  уявляє собою оптимальний фільтр для одиночного 1 радіоімпульсу. Структура і частотна характеристика блоку  $K_2(j\omega)$  суттєво залежать від числа імпульсів  $n$ . При  $n \gg 1$  цей блок має гребінчасту частотну характеристику і називається тому гребінчастим фільтром. При кінцевому  $n$  гребінчастий фільтр реалізується у вигляді лінії затримування з  $(n-1)$  відводами і роздільними каскадами РК (рис.5).

## **ПИТАННЯ ІV**

# **ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНИХ КІЛ ТА ПВЧ РІЗНИХ ТИПІВ**

#### **Питання 4. ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНИХ КІЛ ТА ПВЧ РІЗНИХ ТИПІВ**

**Основними елементами вхідних кіл є лінії передачі НВЧ коливань, НВЧ - фільтри, фазообертачі, високочастотні електрично-керовані атенюатори, обмежувачі потужності.**

**В приймальних колах з метою виключення перевантаження каскадів проникаючих зондуючих сигналів, встановлюють обмежувачі потужності сигналів.**

**В якості обмежувачів використовують газові розрядники, феритові циркулятори, а при незначній потужності проникаючих сигналів - діодні обмежувачі.**

**До обмежувачів потужності пред'являються наступні основні **ВИМОГИ:****

**вони повинні характеризуватись великим коефіцієнтом ослаблення і малою просочуємою енергією потужних вхідних сигналів, малим часом відновлення, незначним ослабленням малопотужних корисних сигналів, значною широкою смугою, високою надійністю та технологічністю.**

## **Питання 4. ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНИХ КІЛ ТА ПВЧ РІЗНИХ ТИПІВ**

**Вхідні кола приймача призначені для узгодження антенно-фідерної системи з підсилювачем високої частоти, а при відсутності ПВЧ - безпосередньо з перетворювачем і виконання попередньої селекції.**

**В якості вхідних кіл використовують окремі коливальні системи або сукупність декількох зв'язаних між собою коливальних систем.**

**В діапазонах ДХ, СХ, КХ і початковій ділянці метрового діапазону хвиль (до 150 - 200 МГц) в якості вхідних кіл (а також міжкаскадних) ланцюгів використовують коливальні контури з зосередженими параметрами, які складаються з котушок індуктивності і конденсаторів.**

**На частотах більш як 200 МГц застосовують  
коливальні системи з розподільними  
параметрами, так як з підвищенням  
частоти габарити котушок індуктивностей  
зменшуються і на таких частотах їх  
конструктивно виконати неможливо.  
Крім цього, з підвищенням частоти  
внаслідок росту активного опору  
провідників із-за поверхневого ефекту  
швидко падає добротність коливальних  
систем з зосередженими параметрами.**



#### **Питання 4. ПРИЗНАЧЕННЯ І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХІДНИХ КІЛ ТА ПВЧ РІЗНИХ ТИПІВ.**

**Коливальні контури в діапазоні частот перестроюються за допомогою електричної або механічної зміни одного або декількох параметрів. Електричне перестроювання виконується за допомогою феритів, напівпровідникових конденсаторів, механічна - за допомогою змінних конденсаторів, короткозамкнутих поршнів і т.п. Зв'язок вхідних кіл з джерелом сигналу може бути ємнісним, індуктивним, автотрансформаторним. Для систем з розподільними параметрами можуть застосовуватись зв'язки лінією (пов'язані лінії), отвором або щілиною.**

## **Основними параметрами вхідних пристроїв є:**

- коефіцієнт передачі по напрузі  $K_{увх}$  або по потужності -  $K_{рвх}$ ;**
- смуга пропускання -  $F_{вх}$ ;**
- резонансна частота -  $f_0$ .**

**Під коефіцієнтом передачі вхідного кола по напрузі розуміють відношення напруги (потужності) на виході кола до ЕРС (номінальної потужності) джерела сигналу.**

**Коефіцієнт передачі має максимальне значення при узгодженні АФС з вхідним колом.**

**На практиці значення вказаних параметрів  
вхідних кіл мають порядок:**

$$K = 0,7 - 3; K_p = 0,7 - 0,95; F = 5 - 70 \text{ МГц.}$$

**За принципом побудови коливальних систем  
розрізняють ЕЛЕКТРИЧНІ,  
ТВЕРДОТІЛЬНІ та П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ  
фільтри.**

**Характеристики перерахованих типів  
фільтрів (діапазони робочих частот, смуга  
пропускання, добротність, величина втрат,  
які вносяться, динамічний діапазон) подані  
в таблиці 1.**

Тип фільтра	F <sub>min</sub> , МГц	F <sub>max</sub> , МГц	F / f <sub>0</sub> ,%	Q <sub>0</sub>	a ср, дБ	D вх, дБ
<b>ЕЛЕКТРИЧНІ</b>						
LC – фільтри	100	1000	20...80	5...20	2,1	40
На смушкових лініях	300	3000	2...30	150...200	2,0	45
Коаксіальні	300	10 <sup>4</sup>	0,2...20	10 <sup>2</sup> ...10 <sup>3</sup>	1,1	45
Хвилевідні	3000	4*10 <sup>4</sup>	0,1...8	700..9000	0,1	40
<b>ТВЕРДОТІЛЬНІ</b>						
На діелектричних резонаторах	1000	10000	0,5...3	(2...8)*10 <sup>3</sup>	0,3	40
На монокристалах фериту	3000	40000	0,2...10	(1..2)*10 <sup>3</sup>	0,7	40
<b>П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ</b>						
Дискретні п 'єзокварцові	10 <sup>-4</sup>	300	10 <sup>-3</sup> ...3	30000...200000	0,12	55
Інтегральні п 'єзокварцеві	4,0	250	10 <sup>-3</sup> ...3	10 <sup>4</sup> ...2*10 <sup>5</sup>	0,08	40
На ПАХ	100	2000	0,1...60	1...20	0,48	65

## ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ПВЧ:

коефіцієнт шуму  $N$ ; коефіцієнт підсилення по напрузі  $K$  (по номінальній потужності  $K_{нр}$ ); коефіцієнт стійкого підсилення  $K_{підс.}$

Коефіцієнт стійкого підсилення - це максимальне значення коефіцієнта підсилення по напрузі, при якому каскад підсилення працює стійко і не самозбуджується.

Крім цього, ПВЧ характеризується резонансною частотою, смугою пропускання, вхідною і вихідною провідністю.

Практично ПВЧ сучасних приймачів мають в залежності від частоти  $N = 2 - 10$  ;  $K = 10 - 70$ ;  $K_{нр} = 20 - 300$ ;  $K_{підс.} = 10 - 100$ .

**На частотах до 100 - 150 МГц застосовуються схеми ПВЧ на пальчикових лампах (двокаскадні схеми або каскодні схеми на пентодах і транзисторах) коливальні системи з зосередженими параметрами. На частотах вище 150 - 200 МГц застосовують металокерамічні лампи та транзистори і коливальні системи з розподільними параметрами.**

# ПИТАННЯ V

## ПВЧ НА ЛАМПАХ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ

## **Питання 5. ПВЧ НА ЛАМПАХ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ.**

**Для підсилення коливань сантиметрового і дециметрового діапазону на практиці використовують лампи біжучої хвилі (ЛБХ). Робота цих ламп базується на безперервній взаємодії потоку електронів з надвисокочастотним полем біжучої хвилі, яка розповсюджується. Така взаємодія можлива тільки у тому випадку, якщо хвиля і електрони рухаються з рівними або майже рівними швидкостями. Основним елементом ЛБХ є уповільнююча лінія, по якій розповсюджується ВЧ-поле і в якій зменшується швидкість його розповсюдження. В якості уповільнюючої лінії в ЛБХ застосовують спіраль, уздовж осі якої рухається електронний пучок.**

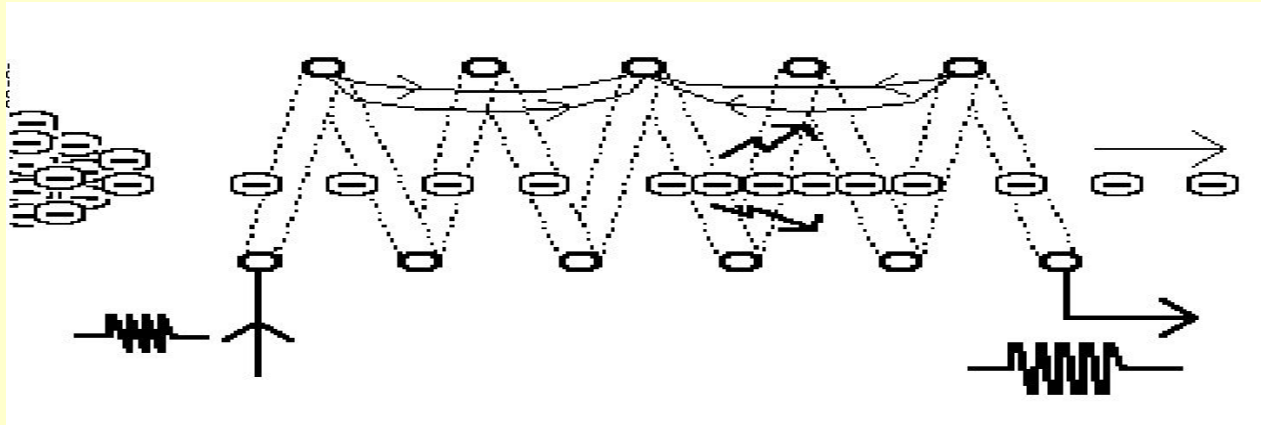


**По спіралі підсилюєма електромагнітна хвиля розповсюджується з швидкістю, приблизно рівній швидкості світла. При цьому на осі спіралі утворюється електричне НВЧ поле, яке переміщується у напрямку розповсюдження хвилі. Швидкість переміщення цього поля менше, чим швидкість світла.**

**Швидкість практично не залежить від довжини хвилі  $\lambda$ , якщо тільки**

$$\lambda > 2,5 \pi D.$$

## Питання 5. ПВЧ НА ЛАМПАХ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ.



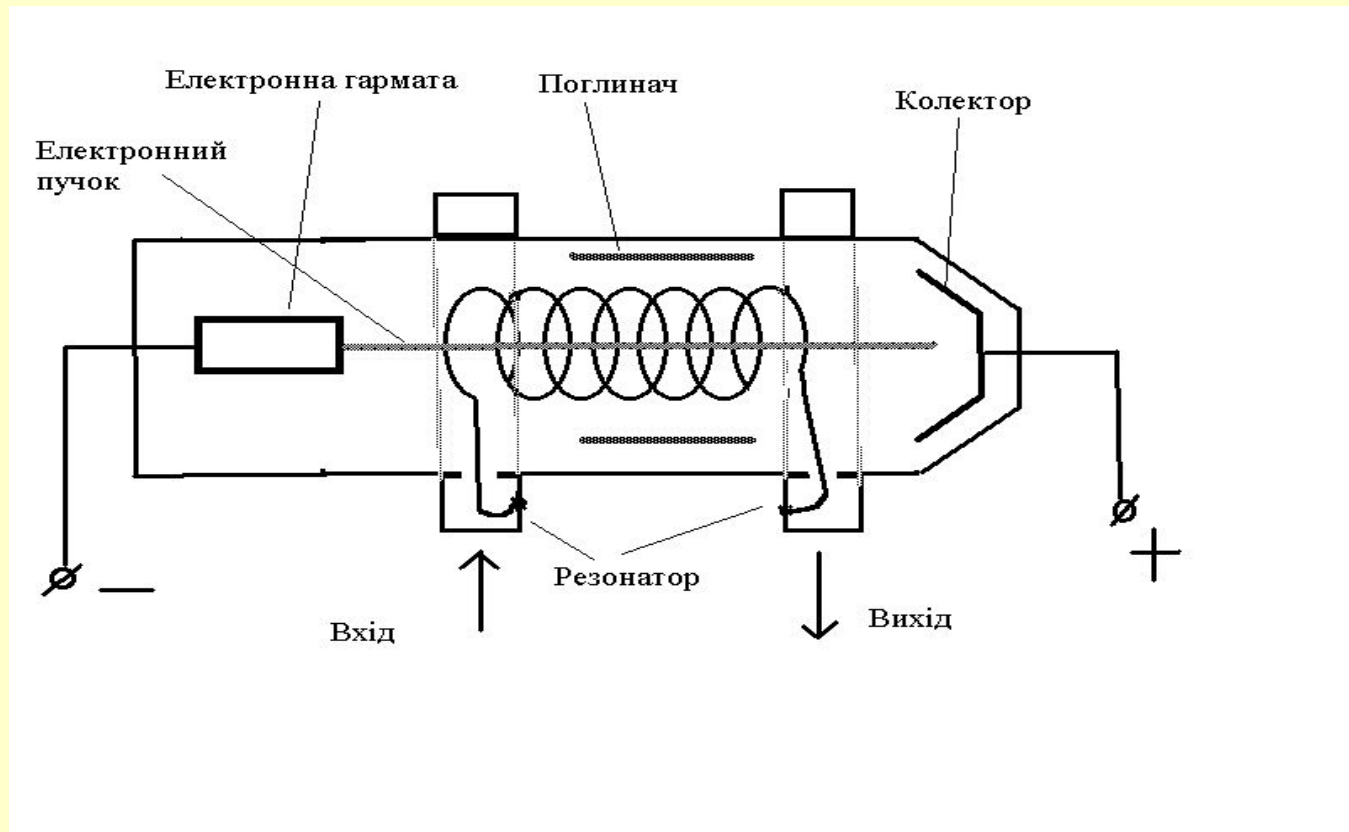
Для напруги  $U = 2500$  В швидкість електронів досягає  $1/10$  швидкості світла. При цьому вона може бути порівняна з аксіальною швидкістю розповсюдження НВЧ поля, яке обмінюється енергією з електронним потоком. Механізм цього енергетичного обміну оснований на модуляції електронів по швидкості і їх фазовому фокусуванню.

Відмітною рисою лампи біжучої хвилі є те, що модуляція швидкостей і фазове фокусування виконується уздовж усього шляху руху електронів. Рисунок 2 ілюструє цей процес так, як він виглядає з точки зору спостерігача, який рухається разом з електронами і полем хвилі.

## Питання 5. ПВЧ НА ЛАМПАХ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ

Стрілками показано направлення сил електричного НВЧ поля біжучої хвилі, які діють на електрони; електрони групуються в тих областях простору, де прискорююча аксіальна компонента НВЧ поля переходить в гальмову. Якщо швидкість електронів трохи перевищує швидкість розповсюдження поля, то згруповані в результаті фазового фокусування електрони рухаються постійно в гальмуючому полі хвилі і поповнюють її енергію за рахунок кінетичної енергії потоку електронів. Завдяки цьому електромагнітна НВЧ хвиля, яка розповсюджується по уповільнюючій лінії, буде підсилюватись. Кількість енергії, яка мо́жт бути передана НВЧ полю, визначається тією долею кінетичної енергії електронів, яка відповідає різниці між швидкістю електронів і швидкістю розповсюдження аксіального НВЧ поля в лінії. Ця різниця відносно невелика, так що коефіцієнт корисної дії ЛБХ складає в середньому від 10 до 20%.

# Питання 5. ПВЧ НА ЛАМПАХ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ.



# ПИТАННЯ VI

**ПАРАМЕТРИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ  
ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ.  
ЗМІШУВАЧІ СИГНАЛІВ.**

## Питання 6. ПАРАМЕТРИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ. ЗМІШУВАЧІ СИГНАЛІВ.

Принцип роботи регенеративних підсилювачів побудований на частотній компенсації втрат сигналів в коливальних системах, яка досягається за рахунок використання внутрішніх зворотних зв'язків. Процес підсилення в таких каскадах простіше усього описується при використанні «від'ємних» опорів, які вносяться в коливальні системи. До таких каскадів відносять квантові, параметричні підсилювачі, підсилювачі на тунельних діодах.

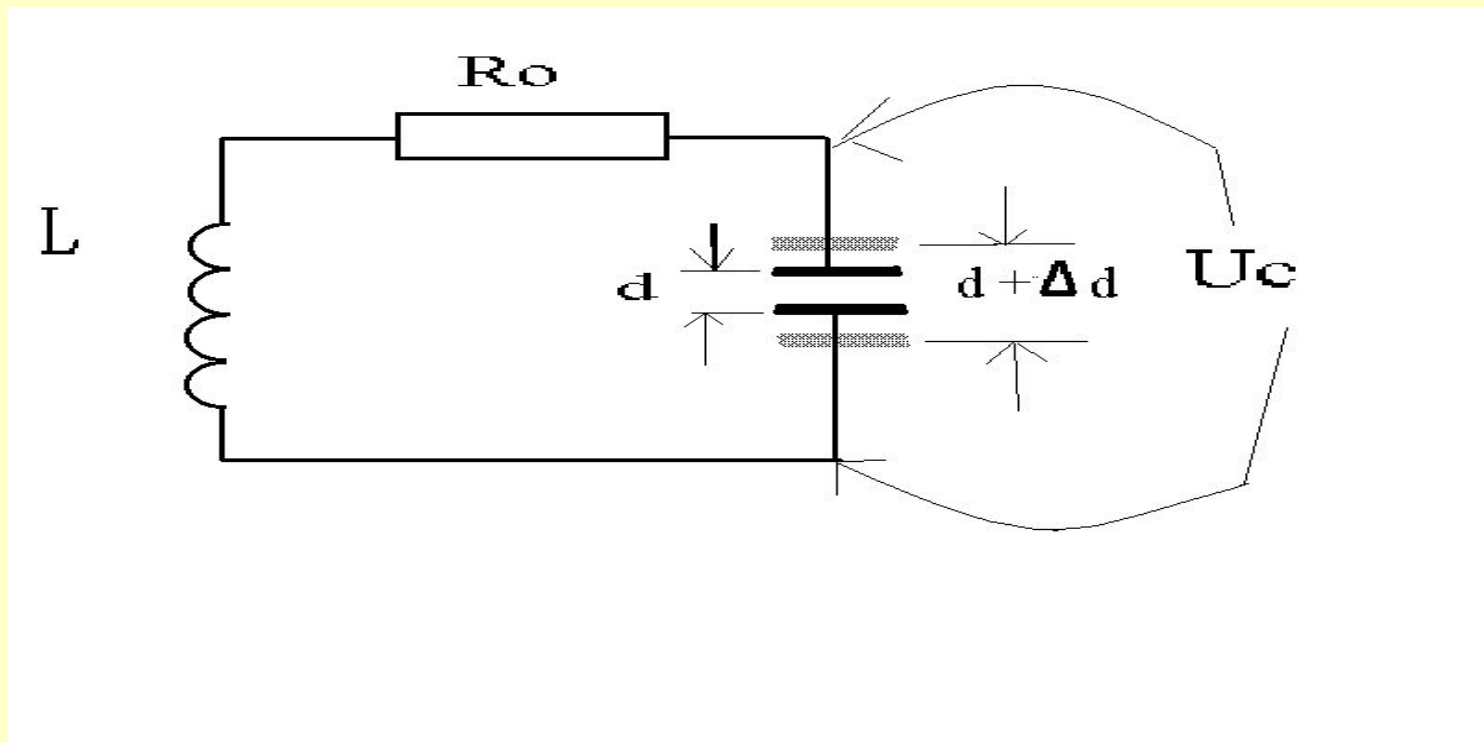
Параметричними підсилювачами (ПП) називаються пристрої, в яких підсилення сигналу, який надходить, виконується за рахунок енергії джерела ВЧ, періодично змінюючого реактивний параметр (ємність або індуктивність) контуру і за рахунок цього підживлюючи енергію в контурі.

**В залежності від способу змінювання реактивності контуру ПП розрізняють на декілька типів: НАПІВПРОВІДНИКОВІ, ЕЛЕКТРОННО - ПРОМЕНЕВІ, ФЕРОМАГНІТНІ (ФЕРИТОВІ).**

## **НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПАРАМЕТРИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ**

**Принцип дії напівпровідникового параметричного підсилювача, в якому виконується змінювання ємності контуру, можна пояснити на моделі коливального контуру з конденсатором (рис.4), пластини якого можуть розсовуватись.**

Питання 6. ПАРАМЕТРИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ  
ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ. ЗМІШУВАЧІ СИГНАЛІВ.





До моменту  $t_1$  (рис. 5) параметри контуру не змінюються і сигнал 1, який діє на контур, має амплітуду  $U_c$ . Починаючи з моменту  $t_1$ , пластини конденсатора механічно розсовуються на величину  $\Delta d$  в той час, коли напруга і заряд на ньому максимальні. Так як між пластинами конденсатора існує електричне поле, то, щоб розсунути пластини, потрібно затратити енергію, яка надходить від спеціального джерела, яке називається генератором накачування. Енергія, яка витрачається на розсування пластин, передається електричному полю конденсатора і збільшує його енергію. Це приводить до збільшення напруги на конденсаторі, так як ємність конденсатора зменшилась, а величина заряду зосталася незмінною.

# Питання 6. ПАРАМЕТРИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ. ЗМІШУВАЧІ СИГНАЛІВ.



# ПИТАННЯ VII

## ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДСИЛЮВАЧІВ ПРОМІЖНОЇ ЧАСТОТИ

**Підсилювачі проміжної частоти (ППЧ) виконують основне підсилення сигналу. Застосування постійної проміжної частоти, яка значно нижче частоти сигналу, який приймається, дозволяє одержувати велике неспотворене підсилення коливань потрібної смуги частот при стійкій роботі підсилювача. В підсилювач, який часто називають лінійкою ППЧ, може входити від 6 до 10 каскадів.**

**Найбільш часті типи ППЧ:**  
*одноконтурні і багатоконтурні.*

В одноконтурних підсилювачах контури усіх каскадів можуть бути настроєні на одну частоту або взаємно розстроєні. Із багатоконтурних ППЧ широко розповсюджені двоконтурні. Інколи застосовують ППЧ з двоконтурними взаємно розстроєними каскадами і ППЧ, коли один з каскадів має декілька (три і чотири) зв'язаних контури, так звані фільтри зосередженої селекції.

ППЧ характеризуються наступними параметрами:

- номінальною проміжною частотою  $f_{\text{пр}}$ ;
- коефіцієнтом підсилення  $K$ ;
- смугою пропускання  $F$ ;
- ефективністю  $E$ ;
- коефіцієнтом прямокутності  $K_{\text{п } 0,1}$

При виборі номінальної проміжної частоти треба враховувати, що існують докази, щодо корисності більш високої, так і більш низької частоти  $f_{пр}$ .

Основні переваги високої частоти - більша селективність по дзеркальному каналу, менші габарити котушок індуктивності, краще розділення проміжної та відеочастот.

Переваги низької частоти  $f_{пр}$  - менша критичність до настроювання параметрів схеми, більша стійкість підсилення. Проміжна частота для радіоімпульсів повинна також задовольняти умові

$$f_{пр} = \frac{20 - 40}{\tau_i}$$

(1)

На практиці  $f_{\text{пр}} = 10 - 100$  МГц;  $K_{\text{п}} = 1,5 - 5$ ;  $K = 10^4 - 10^6$ .

Ефективністю каскаду  $E_{01}$  називають добуток резонансного коефіцієнта підсилення на смугу пропускання.

Ефективністю  $E$  називають добуток коефіцієнта підсилення одного каскаду на смугу пропускання всього підсилювача.

Чим більша ефективність каскаду, тим більшу смугу пропускання він має при постійному коефіцієнті підсилення, або тим більше підсилення може забезпечити при постійній смузі пропускання.

**По рівню ефективності підсилювачі розрізняють:**

- найменшу ефективність має підсилювач з настроєними (резонансними) контурами;
- більшу ефективність мають багатоконтурні ППЧ.

**Селективні властивості ППЧ характеризуються коефіцієнтом прямокутності  $K_{п0,1}$ , під яким розуміють відношення смуги частот на рівні 0,1 від максимального значення коефіцієнта підсилення або вихідної напруги, до смуги пропускання.**

**Для ідеального підсилювача, який має прямокутну частотну характеристику  $K_{п0,1} = 1$ . На практиці  $K_{п0,1} > 1$ .**

**Підсилювач має тим більшу селективність, чим більше його частотна характеристика наближується до прямокутної і, тобто, чим більше коефіцієнт прямокутності наближується до одиниці.**

**Підсилювачі на одиночних контурах мають меншу селективність, ніж ППЧ з двоконтурними каскадами і т.д.**



# ПИТАННЯ VIII

МЕТОДИ РОЗШИРЕННЯ  
ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ  
ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.  
ДЕТЕКТУВАННЯ СИГНАЛІВ

**Приймальні пристрої РЛС працюють в умовах, коли інтенсивність вхідних сигналів змінюється у великих межах. Це пояснюється зміною умов розповсюдження електромагнітних хвиль, а також суттєвою зміною дальностей до цілі і розпізнаванні їх ефективної відбиваючої поверхні.**

**При заданні найбільших коефіцієнтів підсилення приймальних трактів вхідні сигнали малої інтенсивності підсилюються до рівня, який потрібний для нормальної роботи кінцевих пристроїв. Але більш інтенсивні вхідні сигнали приводять до перевантаження каскадів трактів, що в свою чергу, утворює спотворення сигналів і відповідно знижує ефективність їх обробки.**

**Зменшення коефіцієнтів підсилення приводить до маскуванню слабких сигналів внутрішніми шумами. Далі, із зміною підсилювальних можливостей трактів додатково ускладнюється вирішення задач стабілізації рівня хибних тривог і визначенні корисних сигналів.**

**Таким чином, на практиці має місце невідповідність між діапазоном можливої зміни вхідних сигналів і діапазоном, в якому вони якісно підсилюються і обробляються. Це привело до проблеми динамічного діапазону приймальних пристроїв.**

**За останній час ця проблема набула першочергового значення у зв'язку зі значно підвищеним рівнем спеціально створюваних перешкод і ускладненням умов електромагнітної сумісності радіоелектронних пристроїв.**

**З переходом на сучасну напівпровідникову техніку покращились масо-габаритні характеристики пристроїв. Але при цьому помітно зменшився динамічний діапазон вхідних каскадів. Останнє відноситься до параметричних, тунельних та транзисторних підсилювачів ВЧ.**

**Динамічний діапазон приймального пристрою визначається його амплітудною характеристикою - залежністю амплітуди вихідного сигналу від амплітуди або потужності вхідного сигналу.**

**На цій характеристиці (рис.1) можна виділити такі ділянки:**

перша ділянка ( $0 - U_{\text{вх min}}$ ), яка відповідає малим вхідним сигналам, які маскуються внутрішніми шумами;

друга ділянка ( $U_{\text{вх min}} - U_{\text{вх max}}$ ), яка характеризується якісним підсиленням сигналів (на цій ділянці диференційний коефіцієнт підсилення  $d U_{\text{вих}} / d U_{\text{вх}}$  відхиляється від максимального значення не більш чим на 1 дБ);

третя ділянка ( $U_{\text{вх max}} - U_{\text{вх max}}$ ), на якій підсилювальні можливості пристрою погіршуються, з'являються незначні амплітудно-фазові спотворення, але в деяких випадках приймальний пристрій може вважатись працездатним;

четверта ділянка ( $U_{\text{вх}} > U_{\text{вх max}}$ ), яка відповідає великим спотворенням сигналів.

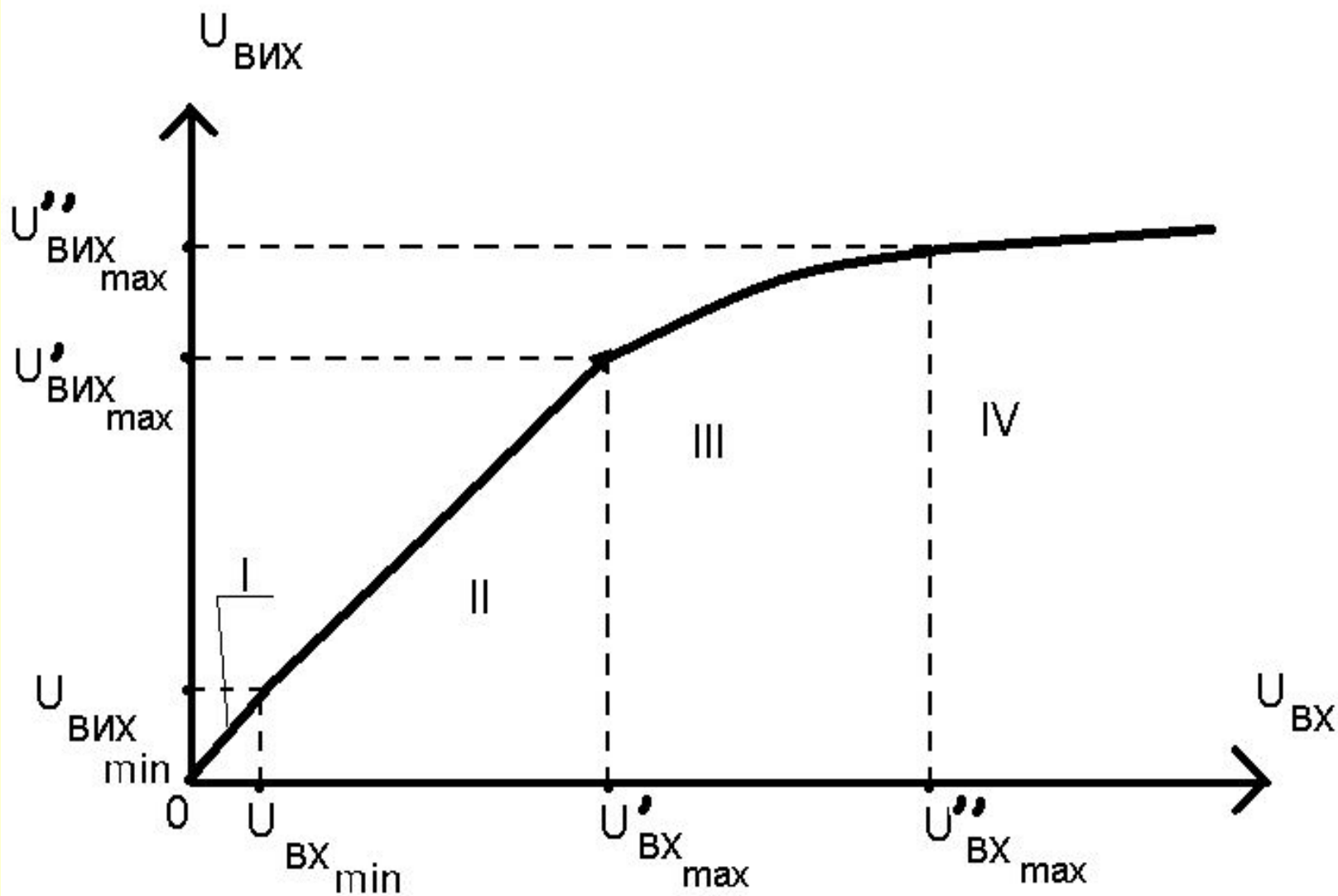


Рис. 1

Динамічний діапазон приймального пристрою по входу визначається виразом

$$D_{ex} = 20 \lg \frac{U_{ex \max}}{U_{ex \min}} \quad (2)$$

в якому  $U_{ex \min}$  звичайно береться рівним пороговій чутливості пристрою, а  $U_{ex \max}$  задається рівній  $U'_{ex \max}$  або  $U''_{ex \max}$  в залежності від вимог, які висуваються до пристрою.

**Треба спеціально відмітити, що з застосуванням складних сигналів в значній мірі проявляються не стільки амплітудні спотворення сигналів в трактах, скільки фазові. Тому при визначенні динамічного діапазону можуть розглядатись і фазові характеристики приймального пристрою.**

### **Розглянемо основні методи і пристрої розширення динамічного діапазону приймачів.**

**Забезпечення потрібного динамічного діапазону приймального пристрою по входу, як правило, виконується або за допомогою систем автоматичного регулювання підсилення (АРП), або за рахунок використання підсилувачів з нелінійними амплітудними характеристиками.**



# **РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ**

**Системи АРП класифікуються за різними ознаками.**

**По принципу передачі регулювального впливу розрізняють системи з:**

- зворотним зв'язком ("АРП назад") (рис. 2а);**
- системи без зворотного зв'язку ("АРП вперед") (рис. 2б).**

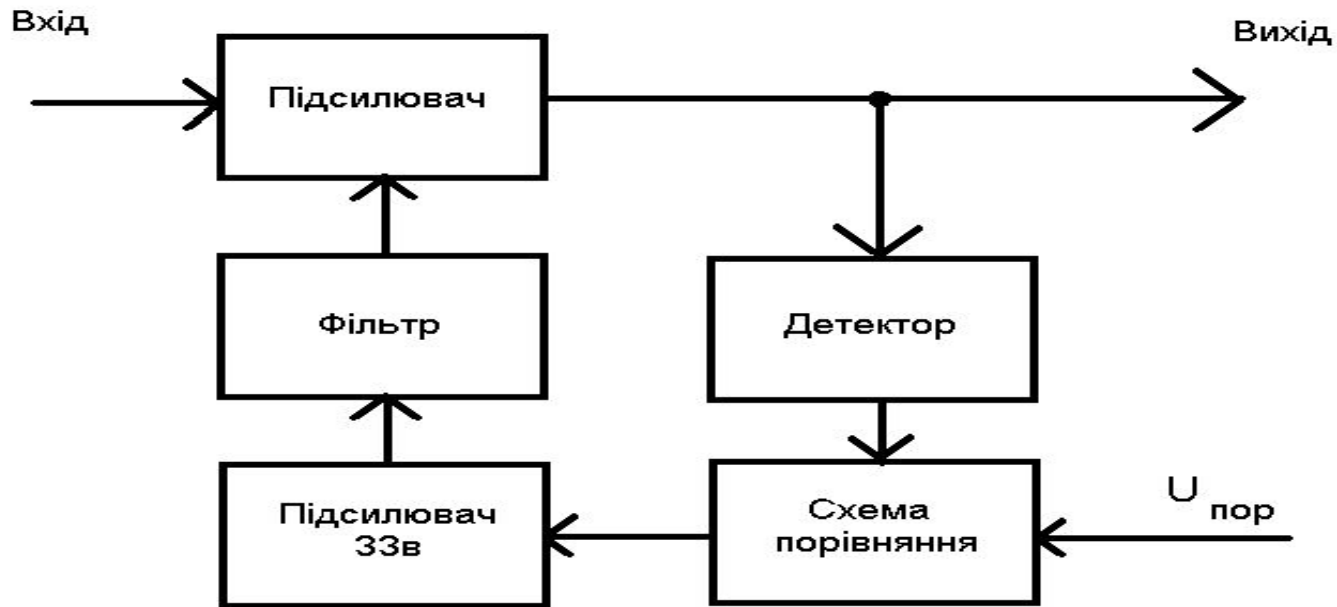


Рис. 2, а

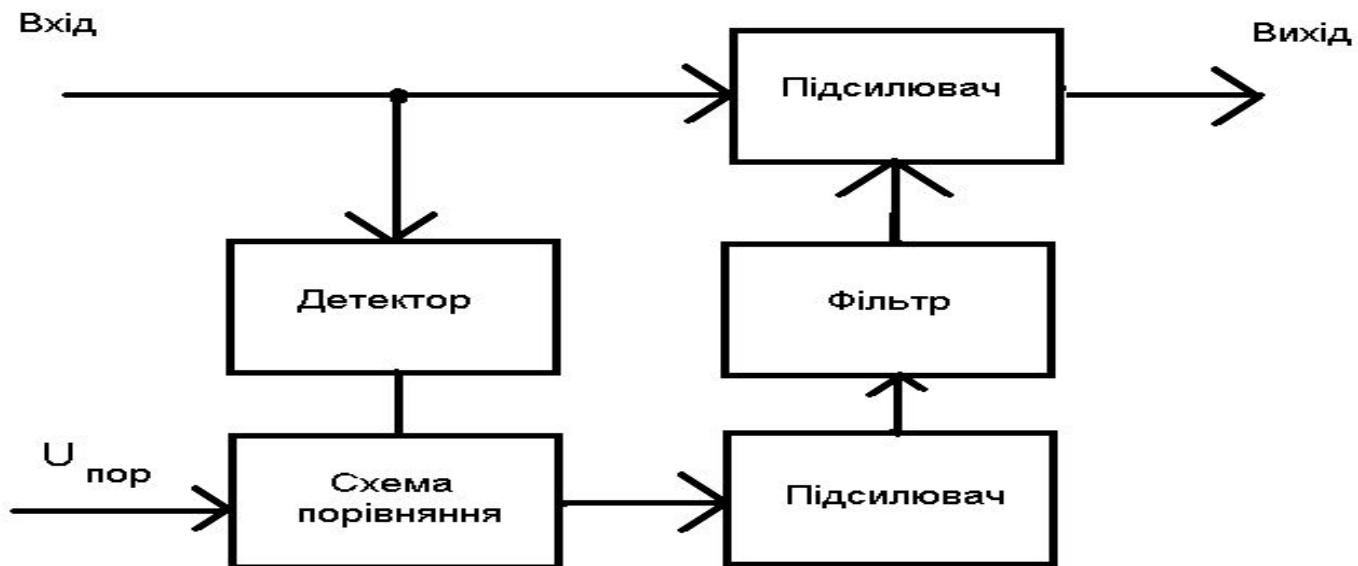


Рис. 2, б

Перші з них простіші, менш чутливі до відхилення своїх параметрів. Другі більш стійкі і характеризуються високою швидкістю, але складні при реалізації, особливо в тих випадках, коли регулювання ведеться на високій частоті.

Регулювання підсилення в наведених схемах виконується після перевищення вихідної напруги детектора порогового рівня Упор (про такі АРП говорять, що вони з затримкою).

За кількістю каскадів, які охоплюються зворотнім зв'язком, системи АРП поділяються на місцеві та багатокаскадні, якщо зв'язком охоплюються відповідно один і декілька каскадів, а також на перехресні - комбінацію перших двох.

За кількістю елементів регулювання системи АРП розділяються на одномірні та багатомірні.

**За характером зміни сигналів на вході регулюємого елемента системи АРП поділяються на неперервні та дискретні.**

**За характером зміни вхідних сигналів в часі - на стаціонарні та нестаціонарні.**

**За математичним описом динаміки регулювання - на лінійні та нелінійні.**

**За швидкістю системи АРП розділяються на інерційні (ІАРП) та швидкодіючі (ШАРП).**

**Спрощена структурна схема типової системи ІАРП зображена на рис. 3.**

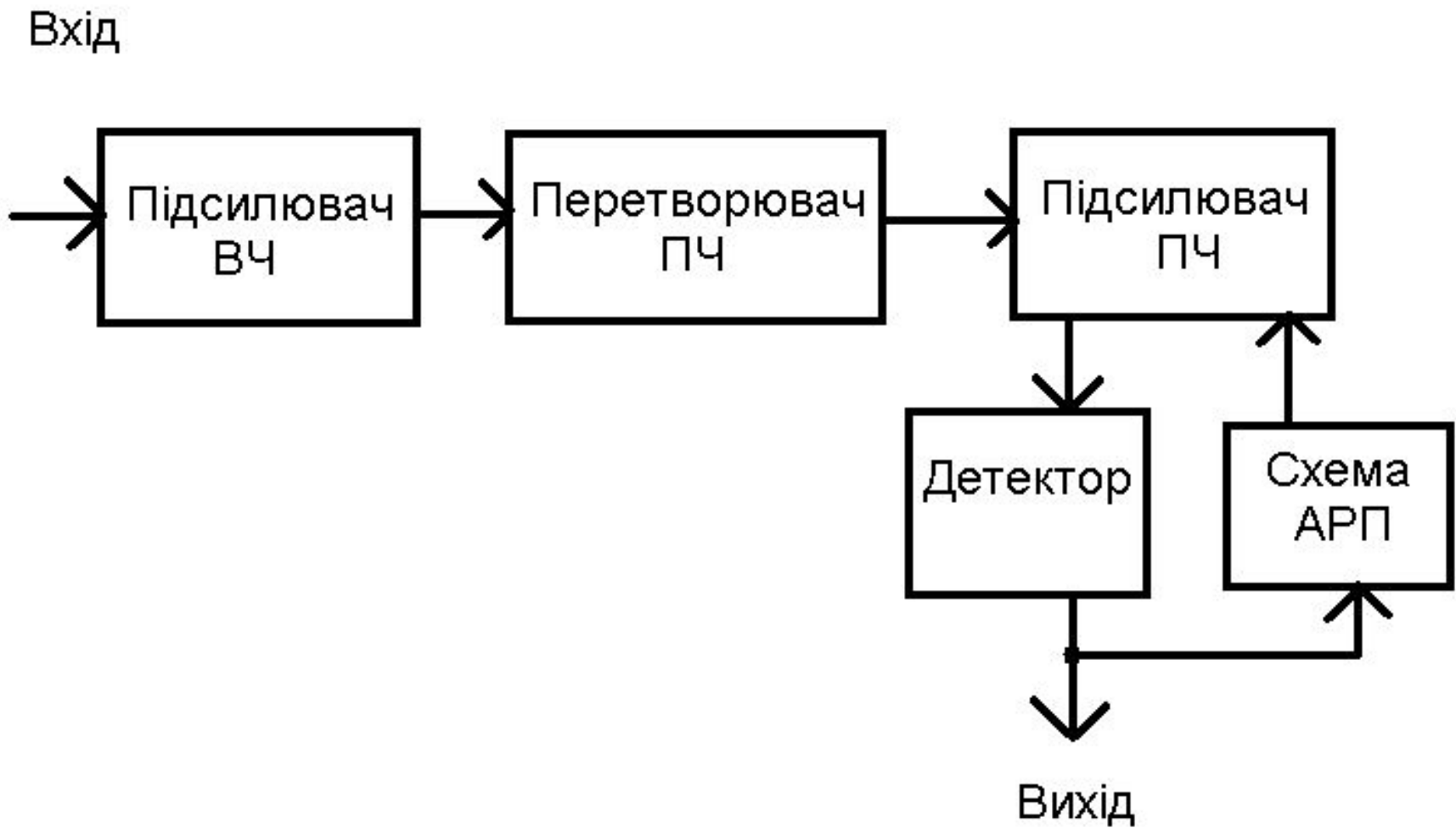


Рис. 3

Ця система містить каскади ППЧ, які регулюються, схему АРП. В ППЧ, як правило, регулюються коефіцієнти підсилення перших трьох, чотирьох каскадів. Наведена схема нескладна за побудовою і знаходить широке застосування. Цій схемі властиві два суттєвих недоліки. По-перше, вона не охоплює каскади ПВЧ та змішувач, тому не виключене їх перевантаження.

По-друге, в охоплених зворотнім зв'язком каскадам ППЧ, виконаних на транзисторах, змінювання коефіцієнтів підсилення виконується шляхом дії на керуючі електроди, що обумовлює появу додаткових амплітудних і фазових спотворень сигналів.

Тому системи ІАРП часто будують по схемам рис. 4.

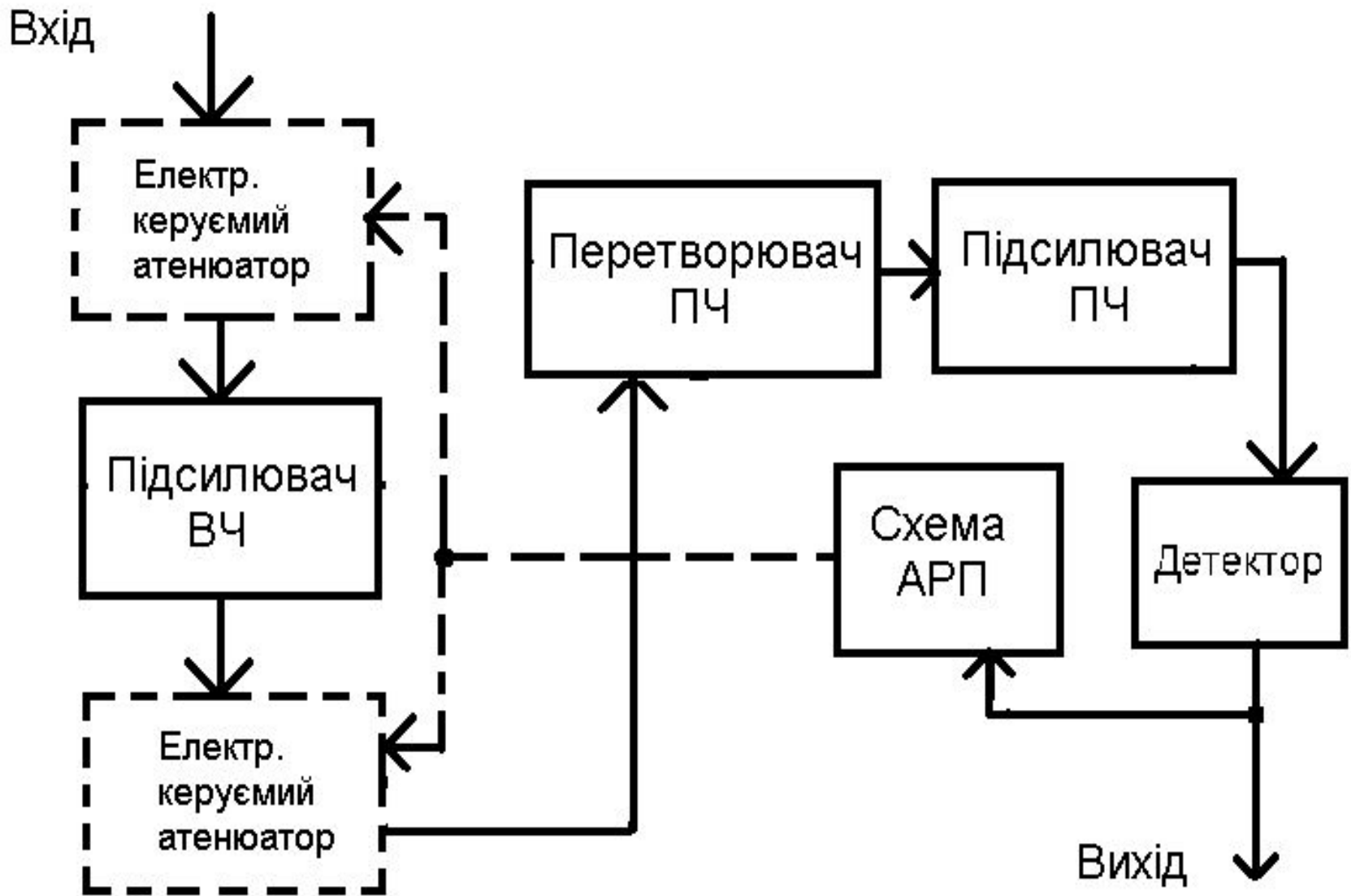


Рис. 4

**В таких схемах підсилення змінюється за рахунок послаблення сигналів в електрично керуємих атенюаторах з стабільними ФЧХ. Такі атенюатори (хвилевідні атенюатори на PIN-діодах) зараз добре відпрацьовані і характеризуються змінюванням фази, яка не перевищує 3 - 6 градусів у всьому діапазоні регулювання. В приймальному каналі можуть вони бути розміщені, як перед, так і після ПВЧ.**

**На вхід приймача крім корисних сигналів діє велике число заважаючих. Особливо значний вплив мають відбиття від місцевих предметів. Місцеві предмети (це гори, хмари) на відміну від цілей є більш протяжними. Тому відбиті від них сигнали мають більше в порівнянні з корисним сигналом тривалість. Такі заважаючі сигнали, будучи інтенсивними, перевантажують каскади приймача, в результаті чого знижується якість його роботи.**



Для боротьби з такими перешкодами в приймачах встановлюють системи швидкого автоматичного підсилення ШВАРП (БАРУ). Принцип дії таких систем не відрізняються від принципу дії систем АРП. Відміна тільки в швидкодії. Перехідні процеси в системах ШВАРП протікають за часовими інтервалами, які тільки трохи більше перевищують тривалість корисних сигналів.

В результаті цього коефіцієнт підсилення приймача при впливі тривалого заважаючого сигналу встановлюється невеликим. Поява на фоні цих імпульсів коротких корисних сигналів приводить до амплітудних сплесків, які підсилюються з декілька більшим коефіцієнтом, ніж заважаючі сигнали.

**ШВАРП охоплює два-чотири каскади ППЧ (інколи ПВЧ). При цьому з метою виключення самозбудження каскадів регулювання коефіцієнтів підсилення кожного з них виконується автономно, за допомогою місцевих зворотних від'ємних зв'язків.**

**Однією із різновидів ІАРП є шумове автоматичне регулювання підсилення (ШАРП). Характерною особливістю ШАРП є те, що з їх допомогою стабілізується не рівень вихідного корисного сигналу, а інтенсивність шумового фону. Для виключення впливу відбитих корисних сигналів на роботу системи ШАРП використовують часове стробування шумів і регулювання, яке виконується по шумовим сигналам, які приймаються на часових інтервалах, які відповідають максимальним затримкам корисного сигналу.**

**ШАРП використовують в тих випадках, коли на РЛС діють неперервні перешкодові сигнали, які близькі до стаціонарних.**

**Застосування систем ШАРП в цих умовах забезпечує стабілізацію рівня хибних тривоги при виявленні корисних сигналів. Це в свою чергу забезпечує стаціонарність потоку хибних цілей і тим самим виключає перенавантаження обчислювальних засобів, за допомогою яких виконується наступна траекторна обробка інформації.**

# **РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПІДСИЛЮВАЧІВ З НЕЛІНІЙНИМИ АМПЛІТУДНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.**

**В приймачах часто, орієнтуючись на великий діапазон зміни вхідних корисних сигналів, встановлюють підсилювачі з нелінійними амплітудними характеристиками. Позитивною якістю такого способу є розширення динамічного діапазону, простота його реалізації і безінерційність регулювання коефіцієнта підсилення. Але при цьому виникають енергетичні втрати, які приводять до погіршення ймовірностних характеристик виявлення цілей, має місце часткова декореляція сигналів в багатоканальних системах.**

В багатьох випадках до підсилювачів з нелінійними АХ висувають вимоги зменшення їх диференційного коефіцієнта підсилення із збільшенням амплітуди вхідного сигналу. Ця залежність має, як правило, логарифмічний характер.

$$U_{вих} = U_m \ln\left(1 + \frac{U_{вх}}{U_o}\right) \quad (3)$$

де  $U_o$  і  $U_m$  - деякі постійні величини.

Підсилювачі з нелінійними АХ, як правило, будуються по багатокаскадним схемам. АХ каскадів розділяють на три ділянки - лінійна ділянка з найбільшою крутістю, ділянка з плавно зменшуваною крутістю і квазілінійна ділянка, яка близька до пологої.

**За способом з'єднання таких каскадів розрізняють схеми з почерговою роботою каскадів на нелінійних ділянках АХ, схеми з одночасною роботою послідовно увімкнених каскадів на нелінійних ділянках і схеми з підсумовуванням вихідних сигналів.**

**Нелінійність АХ каскадів забезпечується за допомогою напівпровідникових діодів, транзисторів.**

**Схема каскаду підсилення з нелінійними елементами в ланцюзі навантаження наведена на рис. 5.**

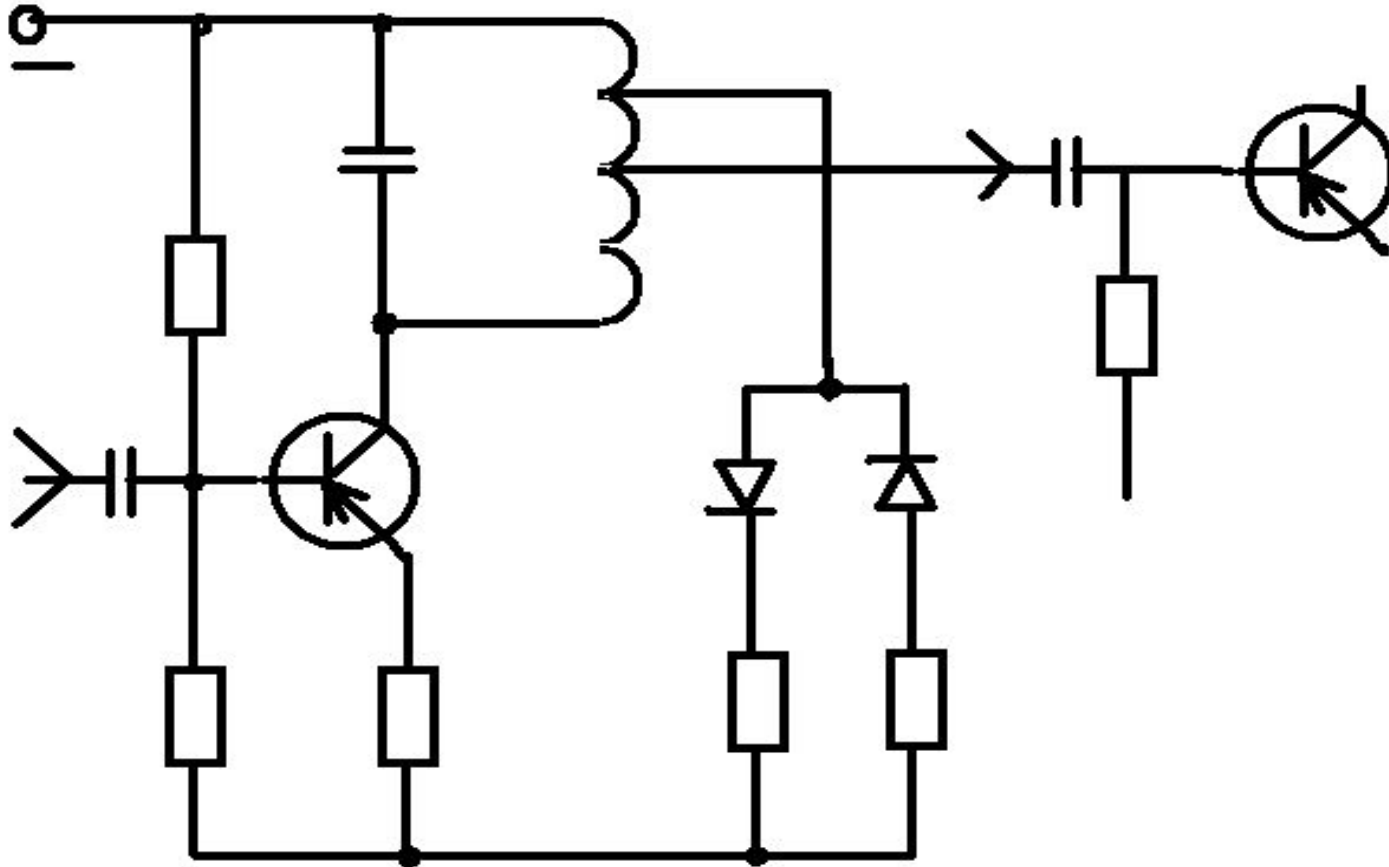


Рис. 5

**При малих амплітудах вихідних сигналів діоди закриті, при великих їх значеннях - вони відкриваються, частково шунтуючи контур підсилювача і тим самим знижуючи коефіцієнт підсилення.**

**Більш високою стабільністю параметрів характеризується підсилювач з нелінійними подільниками в колах навантаження.**

**Діапазон зміни коефіцієнта підсилення одного каскаду становить 20...30 дБ. Використання керованих підсилювачів із 3-5 каскадів дозволяє забезпечити регулювання динамічного діапазону в межах 80...100 дБ. При цьому можливо забезпечити стабільність АХ з точністю до одиниць відсотка в межах температур 20...40 градусів.**



**Розглянуті способи побудови схем з нелінійною АХ використовуються при розробці підсилювачів ВЧ, ПЧ, НЧ. Деякі з них добре відпрацьовані і виконуються у вигляді спеціалізованих інтегральних мікросхем ( К174УП2: двоканальний логарифмічний підсилювач з  $D = 50$  дБ).**

**Часто логарифмічні ППЧ будують за схемою з послідовним детектуванням (рис. 6).**

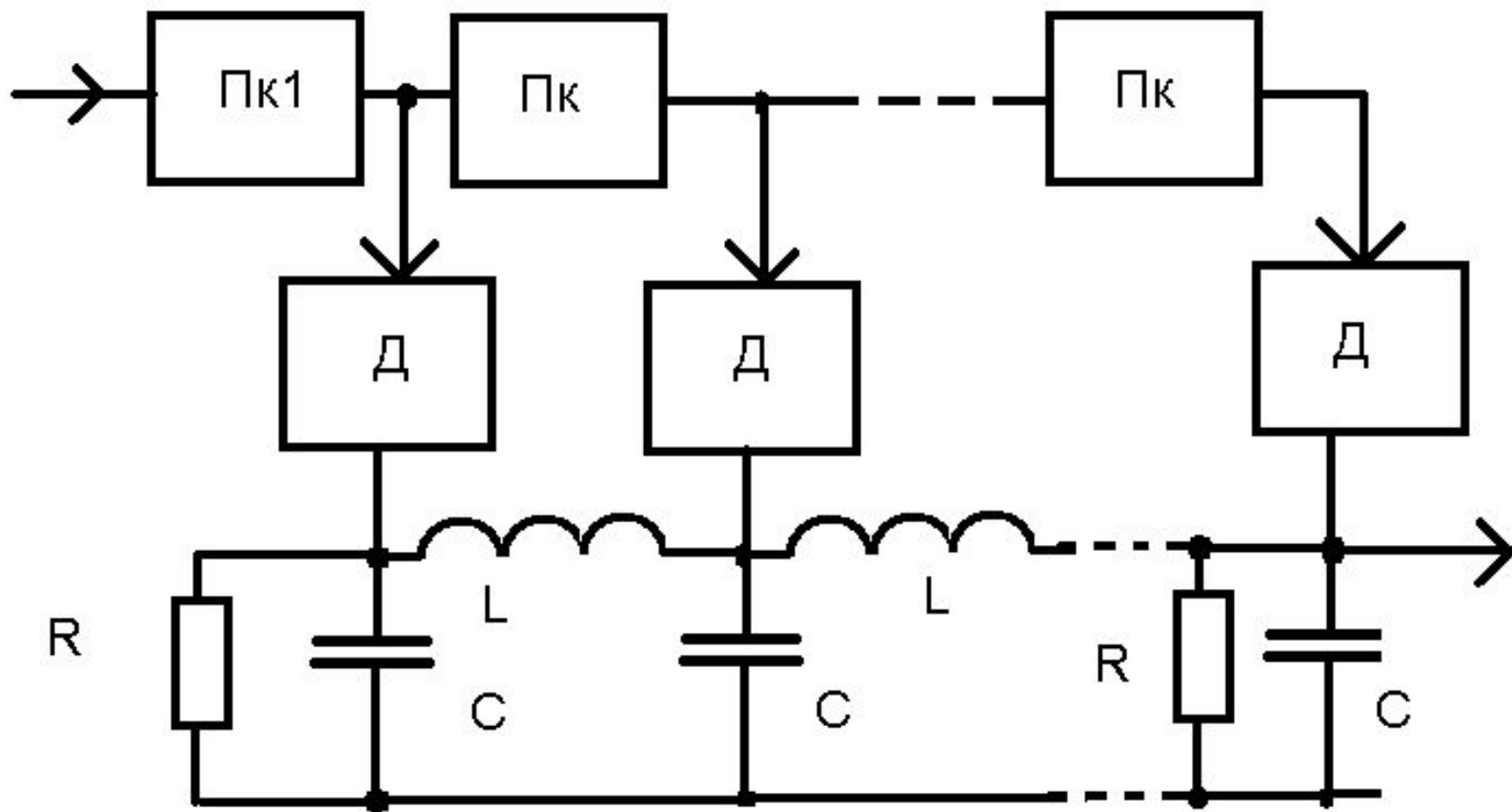


Рис. 6

До складу ППЧ входять декілька однотипних каскадів, які увімкнені послідовно, з обмежувачем в ланцюзі навантаження кожний. Вихід кожного через детектор і лінію затримки під'єднаний до загального виходу. Із збільшенням амплітуди вхідної напруги каскади, починаючи з останнього, входять в режим насичення. В результаті АХ ППЧ має кусково-зламаний характер (рис. 7). Як правило, кількість каскадів, які використовуються, рівна 6...8. Лінія затримки встановлюється для співпадання в часі підсумовуємих в загальному навантаженні каскадів.

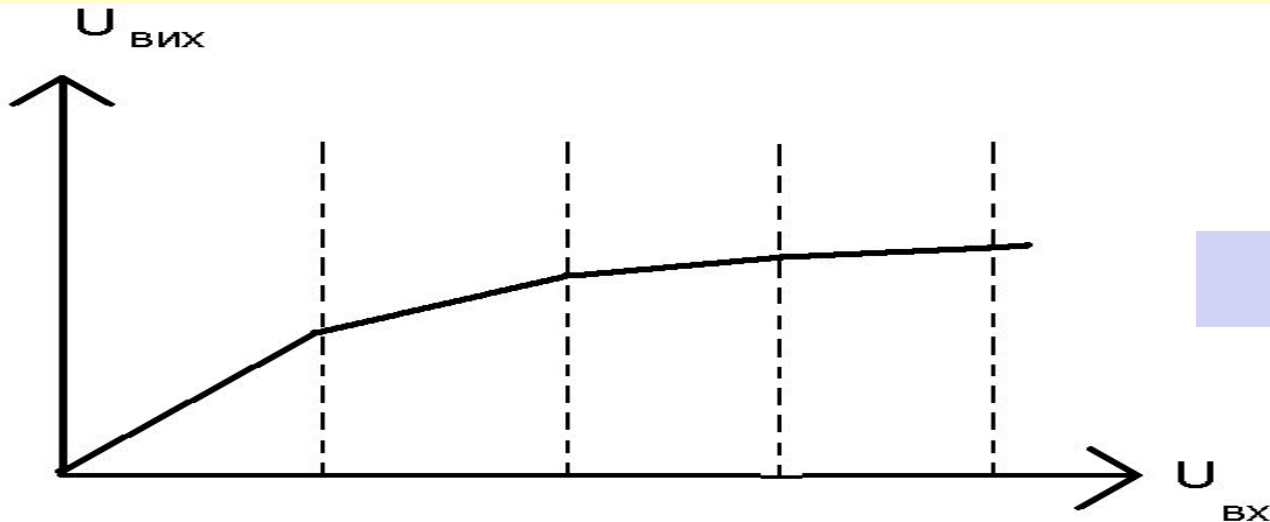


Рис. 7

**Детектування** - процес перетворення модульованого сигналу з метою виявлення повідомлення, яке передається. Це процес зворотній модуляції. В залежності від виду модульованого сигналу розрізняють амплітудне, частотне і фазове детектування.

**а) Амплітудний детектор.**

**Амплітудне детектування складається з двох процесів:**

**- створення низькочастотного сигналу (обвідної амплітудно-модульованого коливання або відеоімпульсу) на основі високочастотного АМ коливання або радіоімпульсу;**

**- розділення (відфільтровування) корисного низькочастотного сигналу від ВЧ-коливань.**

**Амплітудний детектор складається із трьох основних елементів:**

- нелінійного елементу;
- опору  $R$ ;
- фільтра (ємності навантаження  $C$ ).

Найбільш розповсюджений амплітудний діодний детектор (рис. 8).

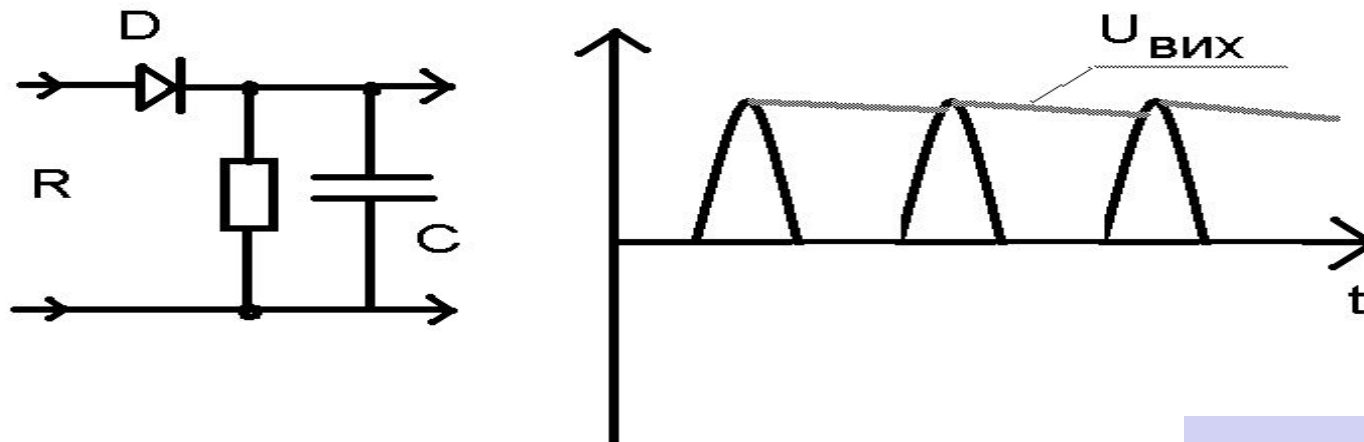


Рис. 8

Першу частину процесу амплітудного детектування виконують діод  $D$  і опір  $R$ , другу - конденсатор  $C$ . При дії на нелінійний елемент ВЧ сигналу, модульованого НЧ - сигналом, в ланцюзі діоду протікає струм складної форми, який утворює на опорі  $R$  напругу з частотою обвідної АМ коливання, а інші складові струму, які мають більш високу частоту, протікають через ємність  $C$ , яка має для цих частот малий опір.

## б) Синхронний детектор.

Процес детектування АМ коливань може виконуватись лінійними елементами (  $L, C, R$  ) з змінними параметрами. Дані детектори мають важливу властивість: дозволяють виконувати синхронне (комутаційне або ампліудно-фазове) детектування.

Синхронним детектуванням називають процес детектування, коли амплітуда і полярність вихідного сигналу залежить від різниці фаз коливання, яке надходить на детектор і коливання, яке змінює параметр детектора. Це дозволяє застосовувати дані детектори в РЛС для розділення рухомих цілей і нерухомих об'єктів або пасивних перешкод.

### в) Асинхронний детектор.

Так як забезпечити синхронізацію фази коливання, яке змінює параметр детектора, з фазою сигналу, який надходить на його вхід, в ряді випадків важко, то застосовують детектування без синхронізації цих коливань. Найпростіший вид асинхронного детектора є діодний детектор, на вхід якого подаються два коливання: прийнятий сигнал з виходу ППЧ і коливання довільного малопотужного генератора з частотою  $f_g = f_{пр}$ .

Такий детектор має в порівнянні з звичайним діодним детектором ряд позитивних якостей великий коефіцієнт передачі, краще відношення сигнал-перешкода.



# 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.