

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

А. О. Єлізаренко

ЕЛЕМЕНТИ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Конспект лекцій

Харків – 2022

УДК 656.25

Слізаренко А. О. Елементи радіоприймальних пристроїв: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 43 с.

Конспект лекцій містить короткий виклад лекційних матеріалів з основних технічних характеристик і параметрів приймальних пристроїв, принципів побудови та схемотехнічної реалізації основних елементів радіотехнічного тракту приймача.

Рекомендується для здобувачів вищої освіти факультету ІКСТ, які вивчають дисципліну «Радіотехнічні системи залізничного транспорту», і може бути корисним при вивченні відповідних розділів дисципліни «Системи радіозв'язку на залізничному транспорті» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Лл. 26, бібліогр.: 8 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 11 липня 2022 р., протокол № 12.

Рецензент
доц. І. В. Ковтун

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тематичний план дисципліни.....	5
1 Принципи побудови радіоприймальних пристроїв.....	6
1.1 Основні визначення.....	6
1.2 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв.....	8
1.3 Основні характеристики та параметри радіоприймачів....	11
1.4 Особливості побудови цифрових систем радіозв'язку.....	17
Контрольні питання.....	20
2 Принципи побудови типових вузлів радіоприймальних пристроїв.....	21
2.1 Вхідні пристрої радіоприймачів.....	21
2.2 Підсилювачі високої частоти.....	28
2.3 Перетворювачі частоти супергетеродинних приймачів....	34
Контрольні питання.....	41
Список літератури.....	43

ВСТУП

Матеріали курсу «Елементи приймальних пристроїв» є частиною дисципліни «Радіотехнічні системи залізничного транспорту». Предметом курсу є вивчення принципів побудови, структурних і принципіальних схем основних функціональних елементів, характеристик і параметрів радіоприймальних пристроїв різного призначення.

Курс базується на знаннях, отриманих при вивченні теорії електричних і магнітних кіл, основ схемотехніки, теорії електричного зв'язку, поширення радіохвиль та антенно-фідерних пристроїв.

Вивчення в лекційному курсі теоретичних основ технічних засобів телекомунікацій доповнюється лабораторними роботами, мета яких – ознайомлення з методами досліджень і характеристиками типових елементів радіоприймальних пристроїв телекомунікацій.

Метою практичних занять є набуття навичок виконання інженерних розрахунків основних функціональних елементів радіоприймальних пристроїв.

У конспекті лекцій розглянуто більш широке коло питань побудови каналів і мереж радіозв'язку, включаючи нормативне регулювання значень параметрів, методів вимірювання та електромагнітної сумісності радіозасобів. Такий підхід виправданий структурою освітньо-професійної програми та дозволяє забезпечити комплексний підхід до вивчення дисципліни.

Матеріали конспекту лекцій враховують досвід і практику викладання дисципліни на кафедрі транспортного зв'язку і забезпечують підготовку до виконання лабораторних і практичних завдань і тестового контролю знань.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

Конспект лекцій призначений для самостійної роботи при вивченні дисципліни «Радіотехнічні системи залізничного транспорту» і охоплює матеріал курсу «Елементи приймальних пристроїв».

Тема 1. Принципи побудови радіоприймальних пристроїв.

Основні визначення. Структурні схеми радіоприймальних пристроїв: приймачі прямого підсилення та супергетеродинні. Основні характеристики та параметри радіоприймальних пристроїв: функціональні параметри, спотворення сигналів і параметри, що впливають на умови електромагнітної сумісності. Цифрові радіозасоби: принципи побудови та особливості передачі мовних сигналів на основі використання вокодерних методів.

Тема 2. Вхідні пристрої радіоприймачів.

Призначення та основні характеристики вхідних пристроїв. Схеми з'єднання вхідних пристроїв з антенними колами: з ємнісним зв'язком, індуктивним і комбіновані схеми. Часткове вмикання коливальних систем. Підвищення вибірковості та оптимізація схем вхідних кіл.

Тема 3. Підсилювачі високої частоти.

Основні параметри: коефіцієнт підсилення, вибірковість, стійкість. Принципіальні схеми підсилювачів високої частоти. Максимальне підсилення та опір коливального контуру. Причини зниження стійкості та збудження підсилювачів. Робота підсилювача високої частоти за умовами забезпечення стійкості. Підвищення стійкості підсилювачів у каскодних схемах.

Тема 4. Перетворювачі частоти супергетеродинних приймачів.

Переваги використання перетворювачів частоти. Виникнення побічних каналів приймання. Вибірковість за сусідніми та побічними каналами. Верхнє та нижнє настроювання гетеродину. Схеми приймачів з подвійним перетворенням частоти.

1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИБОРІВ

1.1 Основні визначення

Система радіозв'язку – сукупність пристроїв, призначених для передавання та приймання інформації будь-якого роду по каналах радіозв'язку [1].

Радіопередавальні пристрої служать для одержання модульованих електричних коливань у діапазоні радіочастот з метою їхньої передачі за допомогою радіохвиль.

Радіоприймальний пристрій забезпечує приймання електромагнітних хвиль із наступним їхнім перетворенням для одержання переданих повідомлень.

Радіоприймачі можна класифікувати за рядом ознак, основними з яких є:

- призначення приймача;
- діапазон частот, що приймаються;
- вид сигналів;
- тип структурної схеми;
- вид активних елементів, використовуваних у приймачі;
- тип конструкції приймача.

За призначенням розрізняють приймачі зв'язкові, радіомовні, телевізійні, радіолокаційні, панорамні тощо.

Діапазон використовуваних частот радіосигналів досить широкий: від 3 кГц до 300 ГГц, що відповідає радіохвилям від 100 км до 1 мм. Приймач може бути призначений для роботи на обмеженій кількості фіксованих частот або в деякому діапазоні частот. Від діапазону робочих частот безпосередньо залежить вибір активних елементів (транзисторів і мікросхем) і вибіркової системи (з зосередженими або розподіленими параметрами) [2].

Вид сигналів, що приймаються, визначається видом модуляції. Використовуються неперервні, дискретні та цифрові сигнали. У разі неперервних сигналів застосовують амплітудну або частотну модуляції. У разі дискретних сигналів найчастіше застосовують частотну або фазову маніпуляцію.

Смуга пропускання радіоприймача завжди узгоджується з шириною спектра сигналу для зменшення впливу власних і

зовнішніх шумів. Спосіб детектування визначається видом модуляції.

За типом структурної схеми розрізняють приймачі прямого підсилення і супергетеродинні приймачі. Найкращі якісні показники забезпечує застосування супергетеродинної схеми, у якій розділені функції налаштування на частоту сигналу, і його частотна селекція. Для цього використовується процедура перетворення частоти сигналу, тобто перенесення спектра сигналу у зручний для частотної селекції діапазон частот. За необхідності використовують подвійне і потрійне перетворення частоти.

Основні операції над сигналом можуть виконуватися в аналоговій, цифровій або цифро-аналоговій формі. Лінійний радіотракт зазвичай є аналоговим, а демодуляція і подальше оброблення сигналів виконується як в аналоговій, так і цифровій формі [3].

Як активні елементи застосовуються польові і біполярні транзистори та інтегральні мікросхеми, що можуть містити окремі каскади, вузли приймачів і навіть цілі приймачі.

Конструктивно радіостанції поділяються на стаціонарні, переносні, автомобільні і носивні [4].

1.2 Структурні схеми радіоприймальних пристроїв

При всьому різноманітті передавальних і приймальних пристроїв їхня схемотехнічна реалізація може бути подана як обмежений набір пристроїв: генератори, модулятори, перетворювачі частоти, детектори [6].

Спрощена структурна схема радіолінії, складовою якої є радіоприймач, зображена на рисунку 1.1.

Генератор у передавачі формує високочастотне несуче коливання, призначене для утворення сигналу електричного зв'язку шляхом його модуляції.

Модуляція – процес зміни одного або декількох параметрів несучого коливання відповідно до зміни миттєвого значення передаваного сигналу. Модулятор здійснює формування модульованих коливань електричного зв'язку.

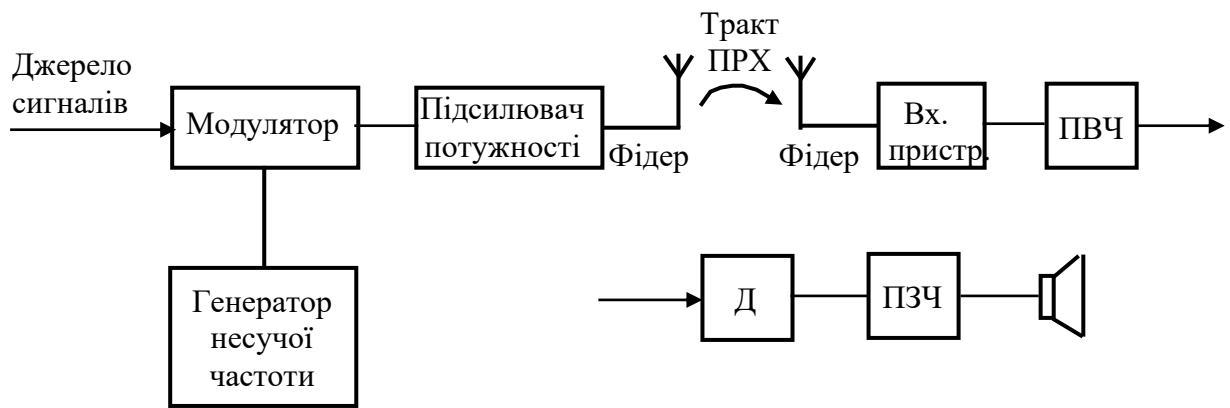


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи радіозв'язку

Підсилювач потужності забезпечує збільшення потужності сигналу в передавачі до величини, що забезпечує необхідну дальність зв'язку.

Фідер – лінія передачі електричних сигналів з виходу передавача до передавальної антени або від приймальної антени – на вхід приймача.

Передавальна антена перетворює енергію струмів радіочастоти в енергію електромагнітного поля радіохвиль, вільно поширюваних у просторі (тракт поширення радіохвиль).

Приймальна антена здійснює зворотнє перетворення. Властивості антен оборотні, тобто будь-яка антена може працювати як передавальна або приймальна при збереженні параметрів.

Вхідний пристрій приймача (Вх. пр.) забезпечує виділення «корисного» сигналу з усієї суми коливань, що діють на вході. Для цього використовують частотно-вибіркові властивості коливальних контурів.

Підсилювач високої частоти (ПВЧ) забезпечує підсилення потужності коливання прийнятого сигналу.

Детектор (Д) здійснює перетворення модульованих коливань у первинні електричні сигнали.

Підсилювач звукової частоти (ПЗЧ) забезпечує підсилення коливань звукової частоти до величини, необхідної для роботи кінцевого пристрою, у нашому випадку – гучномовця.

Приймач за такою схемою, що є найбільш простим, називають приймачем прямого підсилення, оскільки необхідне

підсилення прийнятого сигналу здійснюється безпосередньо на частоті прийнятого сигналу [6].

Найбільш поширеними є радіоприймачі, побудовані за схемою на рисунку 1.2. Такі приймачі називають супергетеродинними.

У супергетеродинному приймачі вхідний пристрій виконує аналогічні функції, як і в приймачі прямого підсилення. Вхідний пристрій виконує роль узгодження антени з ПВЧ. Забезпечує найбільшу напругу корисного сигналу і мінімальну напругу всіх інших коливань, створених заважаючими радіозасобами.

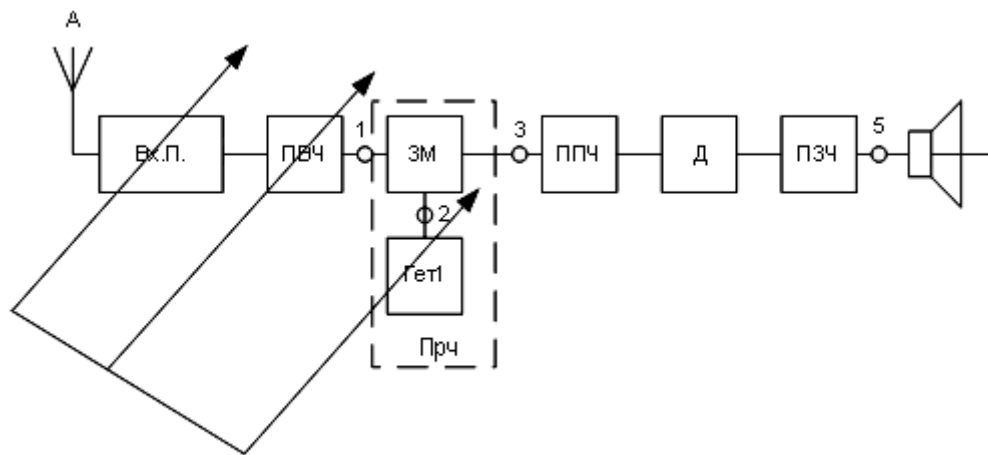


Рисунок 1.2 – Структурна схема приймального пристрою супергетеродинного типу

Підсилювач високої частоти виконує попереднє підсилення високочастотного корисного сигналу, що надійшов з антени, і забезпечує вибіркові властивості приймача.

У перетворювачі частоти (ПЧ) прийнятий сигнал перетворюється в коливання більш низької проміжної частоти.

Гетеродин – спеціальний допоміжний генератор, що формує коливання з частотою гетеродина за формулою

$$f_{гет} = |f_{нес} - f_{пр}|. \quad (1.1)$$

При цьому частота гетеродину змінюється, щоб значення проміжної частоти залишалось незмінним при зміні частоти корисного сигналу.

Можливий вибір верхнього або нижнього настроювання частоти гетеродину.

Змішувач (ЗМ) – нелінійний елемент, на який діють коливання з частотою сигналу та частотою гетеродину.

Після змішувача отримуємо коливання з проміжною частотою

$$f_{np} = f_c - f_{zem}. \quad (1.2)$$

Можливо і верхнє настроювання гетеродину з частотою

$$f_{np} = f_{zem} - f_c. \quad (1.3)$$

Підсилювач проміжної частоти (ППЧ) здійснює основне підсилення і основну вибірковість приймача, завдяки чому забезпечуються переваги супергетеродинного приймача.

Детектор здійснює перетворення модульованих коливань у первинні електричні сигнали.

Підсилювач звукової частоти (ПЗЧ) забезпечує підсилення коливань звукової частоти до величини, необхідної для роботи кінцевого пристрою.

Супергетеродинні приймачі забезпечують більш високу чутливість порівняно з приймачами прямого підсилення:

- збільшення чутливості досягається за рахунок того, що основне підсилення в каскадах ППЧ більше, ніж у каскадах ПВЧ, оскільки проміжна частота значно нижче сигналу, що приймається;

- більшу вибірковість забезпечують каскади ППЧ за рахунок застосування високодобротних фільтрів, оскільки проміжна частота постійна та не потребується перестроювання ланцюгів.

До недоліків супергетеродинного приймача належить наявність побічних каналів приймання.

Побічний канал – можливість одночасного приймання різних за частотою сигналів при незмінному настроюванні кіл приймача. Це можливо через те, що однакову проміжну частоту можуть створювати різні за частотою сигнали при взаємодії з частотою гетеродину.

Основними побічним каналом є дзеркальний – симетричний основному відносно частоти гетеродину.

1.3 Основні характеристики та параметри радіоприймачів

Основними параметрами приймачів є:

1 Діапазон робочих частот – смуга частот, у межах якої забезпечується робота, тобто діапазон можливих частот настроювання радіоприймача.

2 Вихідна потужність радіоприймача. Потужність коливань у кінцевому навантаженні радіоприймача.

3 Вид модуляції і параметри модульованого сигналу, за ДСТУ 4384:2003 [4]:

а) коефіцієнт модуляції або індекс модуляції;

б) смуга модулюючих частот.

4 Смуга пропускання приймального пристрою, що має відповідати ширині смуги частот, яку займає модульоване коливання в установлених межах.

5 Нестабільність частоти гетеродину, що задається гранично допустимим відхиленням частоти гетеродину від номінального значення у вигляді абсолютних і відносних значень. Зазвичай відносна нестабільність частоти визначається як відношення абсолютної нестабільності частоти до установленної частоти:

$$\Delta\% = \left(\frac{f_n - f_p}{f_n} \right),$$

де f_n – номінальне значення частоти;

f_p – виміряне значення робочої частоти.

6 Допустимі величини спотворень сигналу:

- лінійні;

- нелінійні.

Лінійні спотворення не призводять до зміни спектра. Вони виникають у лінійних колах.

Розрізняють амплітудно-частотні спотворення і фазочастотні спотворення. Амплітудно-частотні спотворення (АЧС) полягають у зміні амплітуди різних частотних складових у спектрі сигналу, що передається. АЧС проявляються в зміні тембру мови. Вони є наслідком неідеальності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ), при якій спостерігається

зменшення напруги корисного сигналу в області нижніх і верхніх частот сигналу, що приймається. Це викликано наявністю реактивних елементів у схемі, опір яких залежить від частоти сигналу (рисунок 1.3).

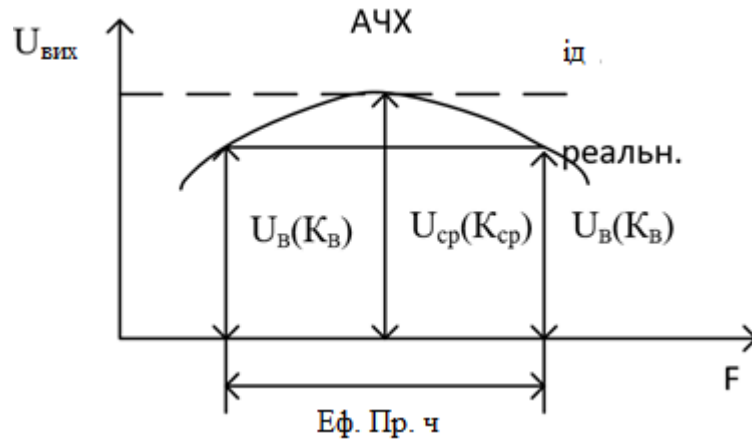


Рисунок 1.3 – Визначення коефіцієнта частотних спотворень, за АЧХ

$$M_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{в}}} = \frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{н}}},$$

$$M_{\text{ч}} \approx 1,1 - 1,4,$$

$$M_{\text{ч}} = 20 \log \frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{н}}}, \text{ дБ}, M_{\text{ч}} = 3 \text{ дБ}.$$

Фазочастотні спотворення (ФЧС) розглядають як відхилення фазо-частотної характеристики від лінійного значення (рисунок 1.4).

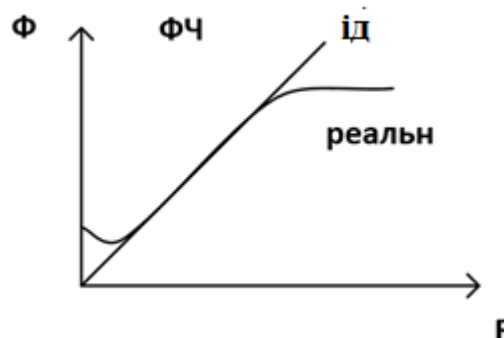


Рисунок 1.4 – Виникнення фазочастотних спотворень

ФЧС нормують різним часом проходження сигналів різних частот. Ці спотворення практично не впливають на приймання мовних сигналів і не нормуються для аналогових каналів. Але ФЧС істотно впливають на приймання дискретних сигналів, оскільки порушуються фазові співвідношення між гармоніками в спектрі дискретного сигналу різних частотних складових.

Нелінійні спотворення сигналу виникають у колах з нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ), що призводить до спотворення форми синусоїдального сигналу. При цьому в спектрі сигналу з'являються додаткові гармоніки, відсутні до того.

Прийнято величину нелінійних спотворень вимірювати і нормувати за ступенем спотворень синусоїдального коливання.

Нелінійні спотворення нормують величиною коефіцієнта гармонік, що являють собою відношення середньоквадратичного значення гармонік до першої гармоніки напруги.

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} * 100 < 1\%, K_r = 5 - 7\%$$

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}}$$

У деяких випадках вимірюють коефіцієнт нелінійних спотворень, що визначається як відношення середньоквадратичного значення гармонік до середньоквадратичного значення всього сигналу.

Для малих значень $K_r \approx K_{нс}$.

Нелінійні спотворення впливають на якість приймання, знижуючи розбірливість мови.

Найбільш важливими і специфічними характеристиками приймача є його чутливість і вибірковість [4, 7].

Чутливість – це міра здатності приймача забезпечити приймання слабких сигналів.

Чутливість кількісно визначається як мінімальна напруга корисного сигналу на вході приймача, при якому забезпечується номінальна вихідна потужність, при заданому співвідношенні корисного сигналу і шумів.

Вибірковість є властивістю приймача виділяти корисний сигнал з усієї сукупності сигналів, що діють на вході (рисунок 1.5).

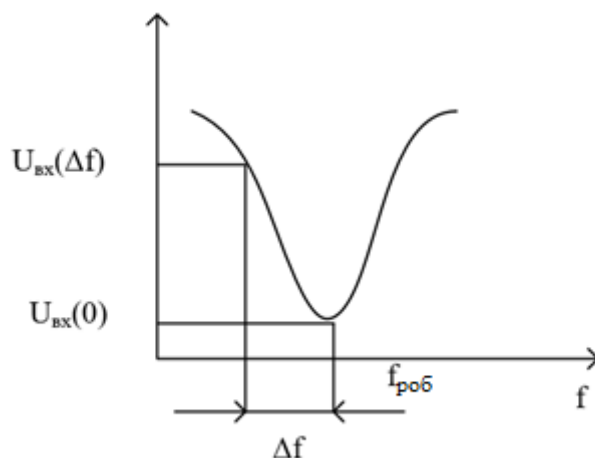


Рисунок 1.5 – Визначення вибірковості радіоприймального пристрою

$$V(\Delta f) = \frac{U_{vx}(\Delta f)}{U_{vx}(0)};$$

$$V(\Delta f) = 20 \lg \frac{U_{vx}(\Delta f)}{U_{vx}(0)}, \text{ дБ.}$$

Вибірковість визначають для певного значення $\Delta f = |f_{роб} - f1|$ як відношення напруг, необхідних при розладі: $\Delta f (U_{vx})$ і роботі на частоті $U_{vx}(0)$.

Супергетеродинні приймачі забезпечують більш високу чутливість і вибірковість порівняно з приймачами прямого підсилення.

Збільшення чутливості досягається за рахунок того, що основне підсилення в каскадах ППЧ може бути більшим, ніж у каскадах УВЧ на більш високій частоті (тому що $f_{гр} < f_{сигнала}$).

Основну вибірковість у супергетеродинному приймачі також забезпечують каскади підсилювача проміжної частоти, АЧХ у яких може бути істотно поліпшено за рахунок застосування фільтрів з постійною частотою настроювання і не потрібно перебудови каскадів ППЧ.

Окрема група параметрів радіоприймачів визначає умови забезпечення електромагнітної сумісності радіозасобів. Під

електромагнітною сумісністю (ЕМС) радіоелектронних засобів розуміють забезпечення умов їхньої одночасної спільної роботи без недопустимих взаємних завад.

Важливими параметрами для розрахунку електромагнітної сумісності радіозасобів є характеристики вибіркості приймачів: за побічними каналами, сусідніми каналами S_2 , інтермодуляційна вибірквість S_3 [4].

Розрізняють характеристики вибіркості, вимірювані односигнальними та багатосигнальними методами.

Односигнальну вибірквість кількісно визначають як відношення рівня сигналу на заданій частоті до його рівня на частоті настроювання, вимірюваній при подачі одного вхідного сигналу з рівнем, що не викликає нелінійних ефектів у тракці приймання.

Отже, односигнальна вибірквість показує, наскільки необхідно збільшити рівень корисного сигналу на вході радіоприймача порівняно з випадком настроювання приймача на встановлену робочу частоту.

У реальних умовах роботи радіомереж для характеристики вибіркості необхідно враховувати ефект одночасної дії на вході не тільки корисного сигналу, а і сигналів радіостанцій, що заважають.

У цих випадках вибірквість вимірюється багатосигнальними методами.

За нормативними документами з проєктування радіомереж, необхідно забезпечити електромагнітну сумісність радіомереж за умовами виключення недопустимого блокування сигналів і недопущення інтермодуляційних завад [4].

Блокуванням називають зменшення рівня сигналу або відношення сигнал/шум на виході приймача внаслідок дії інтенсивної радіозавади, частота якої не збігається з частотами основного і побічного каналів приймання. Це відбувається в результаті перевантаження вхідних каскадів приймача. Блокування спостерігається лише при одночасній дії на вході приймача корисного сигналу і завади.

Параметром, що характеризує сприйнятливість приймача до блокування, є його вибірквість по сусідньому каналу S_2 , що вимірюється двосигнальними методами при одночасній дії

корисного сигналу і завади. За ДСТУ 4184:2003 [4], двосигнальну вибірність визначають як, дБ,

$$S_2 = 20 \lg \left(\frac{U_{заб}}{U_c} \right), \quad (1.4)$$

де U_c – напруга корисного сигналу;

$U_{заб}$ – напруга сигналу, що заважає, на частоті сусіднього каналу.

З урахуванням формули (1.4) двосигнальну вибірність приймачів так само називають динамічним діапазоном з блокування. Залежно від кроку сітки частот для стаціонарних і перевізних радіостанцій з рознесенням 12,5 кГц двосигнальна вибірковість на частоті сусіднього каналу $S_2=50$ дБ при робочих умовах експлуатації [4], а при рознесенні каналів 25 кГц двосигнальна вибірковість складає $S_2 = 60$ дБ. Тобто при зменшенні частотного рознесення каналів погіршуються умови забезпечення ЕМС.

Інтермодуляцією називають явище виникнення завад на виході приймача при дії на його вході двох або більше радіосигналів, частоти яких не збігаються з частотами основного і побічного каналів приймання. Інтермодуляція обумовлена нелінійними ефектами перетворення коливань двох і більше заважаючих сигналів у тракці приймання, у результаті якого утворюється заважаючий сигнал на робочій частоті приймача.

При вимірюванні інтермодуляційної вибірковості S_3 подають два заважаючі сигнали з однаковим рівнем. Частота першого з них більше робочої частоти на 25 кГц, а другого заважаючого на 50 кГц більша від робочої частоти. Рівні заважаючих сигналів збільшують до отримання значення сигнал/шум на виході приймача 12 дБ. Інтермодуляційну вибірковість визначають як

$$S_3 = 20 \lg \left(\frac{U_{2,3}}{U_1} \right), \quad (1.5)$$

де U_1 – напруга корисного сигналу;
 $U_{2,3}$ – напруга заважаючих сигналів.

Інтермодуляційна вибірковість однакова для радіозасобів з різним кроком сусідніх каналів і вимірюється при значно більших рознесеннях корисного і заважаючого сигналів. Інтермодуляційна вибірковість для базових станцій складає 65 дБ [4].

З метою забезпечення умов електромагнітної сумісності при частотно-територіальному плануванні мереж в основу розрахунків покладено характеристики вибіркової радіоприймачів відповідно до ДСТУ [4].

1.4 Особливості побудови цифрових систем радіозв'язку

Перспективним напрямом у галузі розвитку радіозв'язку в наш час вважають впровадження сучасних цифрових систем радіозв'язку.

Цифровий сигнал являє собою послідовність імпульсів, що відображують параметри повідомлення. Оскільки відома форма сигналу, то для правильного приймання переданої інформації достатньо вирішити одиниця або нуль відповідають певному часовому інтервалу. Тому можлива повна регенерація сигналів при прийманні.

Цифровий радіозв'язок забезпечує більш високу завадостійкість, єдиною формою передачі повідомлень різного виду, більш широкі можливості шифрування.

При впровадженні цифрових систем радіозв'язку виникли певні складнощі. Основний стандартний канал тональної частоти (ТЧ) для передачі мовних сигналів в аналогових системах займає смугу частот 0,3–3,4 кГц. У той час відповідний йому основний цифровий канал (ОЦК) має забезпечувати для якісної передачі швидкість 64 кбіт/с, що потребує більш широкої смуги частот. Для економії частотного ресурсу радіолінії в цифрових системах зв'язку були розроблені вокодерні методи передачі мовної інформації. У вокодерах (voice coder – кодировальник голосу) визначаються параметри мовного сигналу, за якими на приймальному боці синтезується звуковий сигнал. Зменшення смуги частот при передачі досягається за рахунок того, що

замість мовного сигналу передаються тільки значення його окремих параметрів. Завдяки цьому швидкість передачі цифрового сигналу в каналі радіозв'язку можна зменшити до 2,4–9,6 кбіт/с залежно від типу кодерів [7].

Мовні кодери і декодери є окремими вузлами цифрових радіозасобів. На рисунку 1.6 наведена функціональна схема мовного кодера в складі передавача системи стільникового радіозв'язку [8].

Розглянемо послідовність етапів обробки мовного сигналу на рисунку 1.6 в складі передавача системи стільникового радіозв'язку [8].

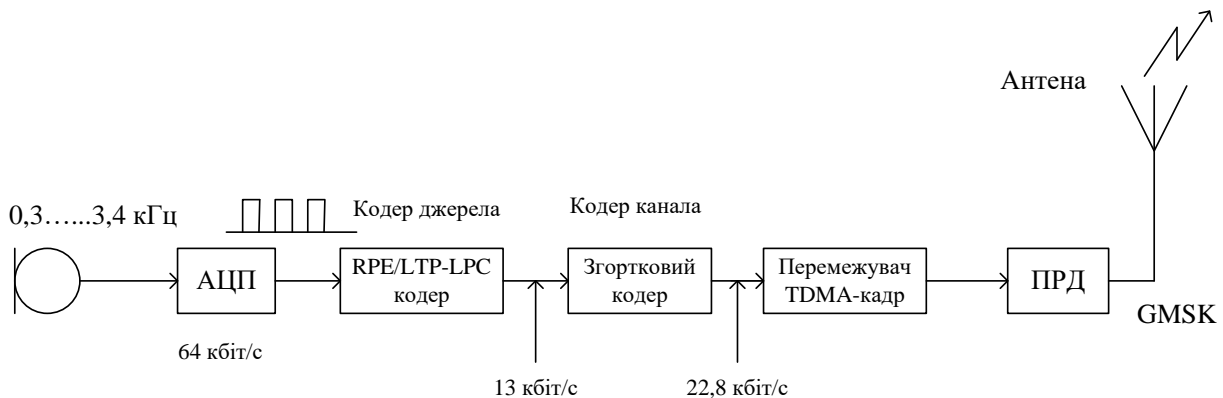


Рисунок 1.6 – Структурна схема кодування сигналів у системі стільникового радіозв'язку

В аналого-цифровому перетворювачі мовний сигнал у смузі частот 0,3...3,4 кГц дискретизується з частотою $f_d = 8$ кГц, кожен отриманий відлік кантується та кодується восьмирозрядним двійковим кодом. У результаті цього утворюється сигнал цифрової телефонії, цифровий потік зі швидкістю 64 кбіт/с, що подається на вход кодера мовного сигналу.

При кодуванні мовного сигналу в мобільних системах GSM використовують кодер з регулярним імпульсним збудженням, довготривалим передбаченням і лінійним кодуванням з передбаченням – RPE/LTP-LPC (regular pulse excitation/long term prediction – linear predictive coding).

Довготривале передбачення призначене для усунення надмірності, викликаній кореляцією періодів основного тону (фільтр з великою постійною часу), а лінійне передбачення – для

усунення надмірності через кореляцію сусідніх відліків (фільтр з малою постійною часу).

Результуюча швидкість потоку на виході мовного кодера дорівнює $3,6 + 9,4 = 13$ кбіт/с (260 біт 20 мс), тобто кодер мови стискає інформацію в п'ять разів.

Кодер каналу є другим кодуєчим пристроєм у передавачі мобільного телефону. Він здійснює завадостійке кодування сигналів мови за загальними принципами.

Отже, швидкість цифрового потоку на виході каналного кодера дорівнює 22,8 кбіт/с [8].

При декодуванні в приймачі спочатку виконується розділення символів цифрового потоку на два класи та згорткове декодування символів класу 1.

Структурная схема обробки сигналів у терміналі абонента наведена на рисунку 1.7.

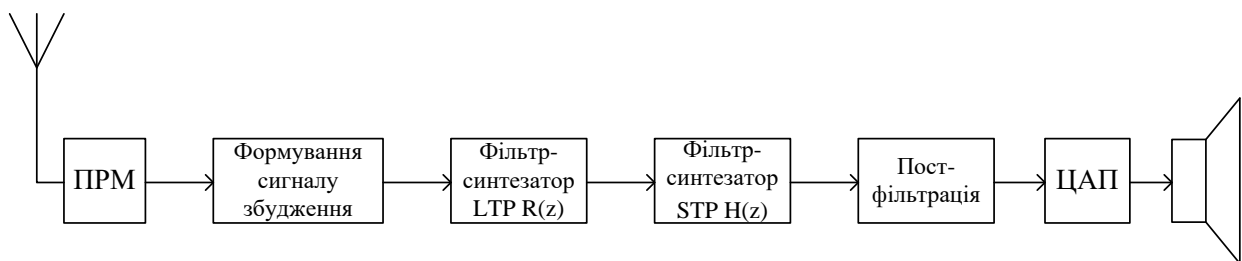


Рисунок 1.7 – Обробка цифрових сигналів при прийманні

При цьому виправляються помилки в межах можливості згорткового коду. Потім за кодом парності перевіряється наявність інших помилок. Блоковий декодер може виявити лише помилки, але не виправити їх. Якщо помилки не виявлено, то прийняті символи надходять для подальшої обробки в декодер мовного сигналу.

Декодер мовного сигналу виконує операції, обернені до стиснення. У вокодерній системі синтезуючий фільтр має ту саму структуру, що і аналізуючий, і визначається тим самим набором параметрів, проте входи та виходи цих фільтрів змінюються місцями. Синтезатор є імітатором мовного апарату людини. Під впливом сигнал-параметрів він відтворює звуки людської мови.

Якщо на вхід синтезуючого фільтра подати сигнал збудження, то на його виході буде отримано оцифрований сигнал [8].

Цей сигнал у подальшому перетворюється в мовний у приймальному пристрої.

Перевага вокодера полягає в малій швидкості проходження символів на виході кодера, що може бути близько 2,4 кбіт/с і менше, при цьому зберігається розбірливість і впізнаваність мови. Зараз для мобільних систем радіозв'язку розроблено чимало типів вокодерів, заснованих на різних принципах.

Контрольні питання

- 1 Які смуги частот відносять до радіохвиль?
- 2 За якими ознаками класифікують радіоприймачі?
- 3 Недоліки приймача прямого підсилення.
- 4 Які елементи створюють частотні викривлення в приймачі?
- 5 Які елементи створюють нелінійні спотворення в приймачі?
- 6 Причини нелінійних спотворень в елементах приймача?
- 7 Як впливають нелінійні спотворення на умови приймання сигналів?
- 8 Яким чином нормують нелінійні спотворення в каскадах приймачів?
- 9 Причини частотних спотворень у каскадах приймача.
- 10 Вплив частотних спотворень на умови приймання сигналів.
- 11 Нормування спотворень у каскадах радіоприймача.
- 12 Що таке чутливість радіоприймача?
- 13 Що таке вибіркковість радіоприймача?
- 14 Чим відрізняється супергетеродинний радіоприймач від радіоприймача прямого підсилення?
- 15 Які функції гетеродину в складі перетворювача частоти супергетеродинного приймача?
- 16 Які функції виконує підсилювач проміжної частоти в супергетеродинному приймачі?
- 17 За рахунок чого забезпечується більш висока чутливість і вибіркковість СГП?

- 18 Що таке блокування сигналів у каскадах радіоприймача?
- 19 Що таке інтєрмодуляційні завади в радіоприймачі?
- 20 Що таке смуга пропускання приймача?
- 21 Що таке крок сітки частот?
- 22 Багатосигнальні методи визначення вибіркості.
- 23 Що таке спряжене перестроювання вхідного пристрою, підсилювача високої частоти і гетеродину?
- 24 За рахунок чого забезпечується постійне значення проміжної частоти?
- 25 Що таке верхнє і нижнє настроювання гетеродину?
- 26 Принципи побудови цифрових радіозасобів?
- 27 Кодування мовних сигналів у цифрових системах радіозв'язку?
- 28 Декодери мови в цифрових системах.
- 29 Переваги вокодерних методів передачі мовних сигналів?

2 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТИПОВИХ ВУЗЛІВ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

2.1 Вхідні пристрої радіоприймачів

Вхідний пристрій радіоприймача – це кола, що з'єднують антену зі входом першого каскаду підсилювача високої частоти.

Вхідний пристрій має створювати найбільшу напругу корисного сигналу і мінімальні напруги всіх інших коливань, що створюються перешкодами і заважаючими радіостанціями. У вхідному пристрої використовуються резонансні властивості коливальних контурів, що при резонансі створюють напругу на виході в Q раз більше, ніж на вході: $U_{\text{вих}} = QU_{\text{вх}}$, і забезпечують зменшення напруги коливань, частота настроювання яких не збігається з частотою настроювання контуру. Найбільш широко використовують схеми вхідних пристроїв з одиночними контурами, що легше перенастроюються при зміні частоти прийнятих сигналів [2, 6].

Найважливішими характеристиками вхідного пристрою є:

1 Коефіцієнт передачі K_{ex} – це відношення напруги на виході пристрою до е.д.с. в антені.

2 Залежність коефіцієнта передачі від частоти сигналу в межах піддіапазону прийманих частот.

$$K_{ex} = \varphi(f)$$

Для вхідного пристрою з одиночним контуром ця залежність зображена на рисунку 2.1.

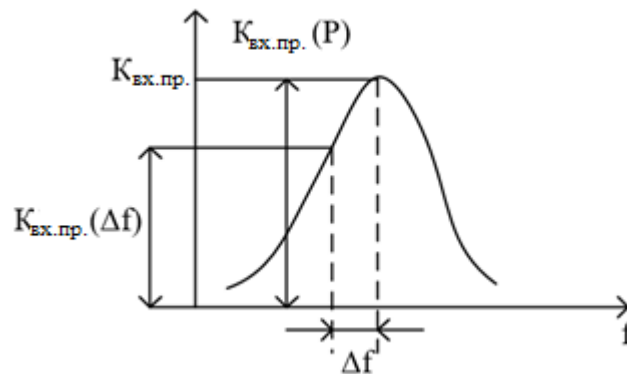


Рисунок 2.1 – Залежність коефіцієнта передачі від частоти сигналу

Прагнуть, щоб зміна коефіцієнта передачі при зміні частоти Δf була незначною.

$$K_{ex.pr.}(\Delta f) = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}}$$

3 Вибірковість вхідного пристрою

$$V_{ex} = \frac{K_{f0}}{K_{\Delta f}}$$

Вибірковість вхідного пристрою визначають за АЧХ для заданого розстроювання Δf .

Вхідні пристрої класифікують за видом зв'язку з антеною. Розрізняють схеми вхідних пристроїв з ємнісним, індуктивним і комбінованим зв'язком.

Зв'язок антени з контуром вхідного пристрою має бути невеликим. Принципіальна та еквівалентна схеми вхідного пристрою з ємнісним зв'язком зображені на рисунку 2.2, а, б.

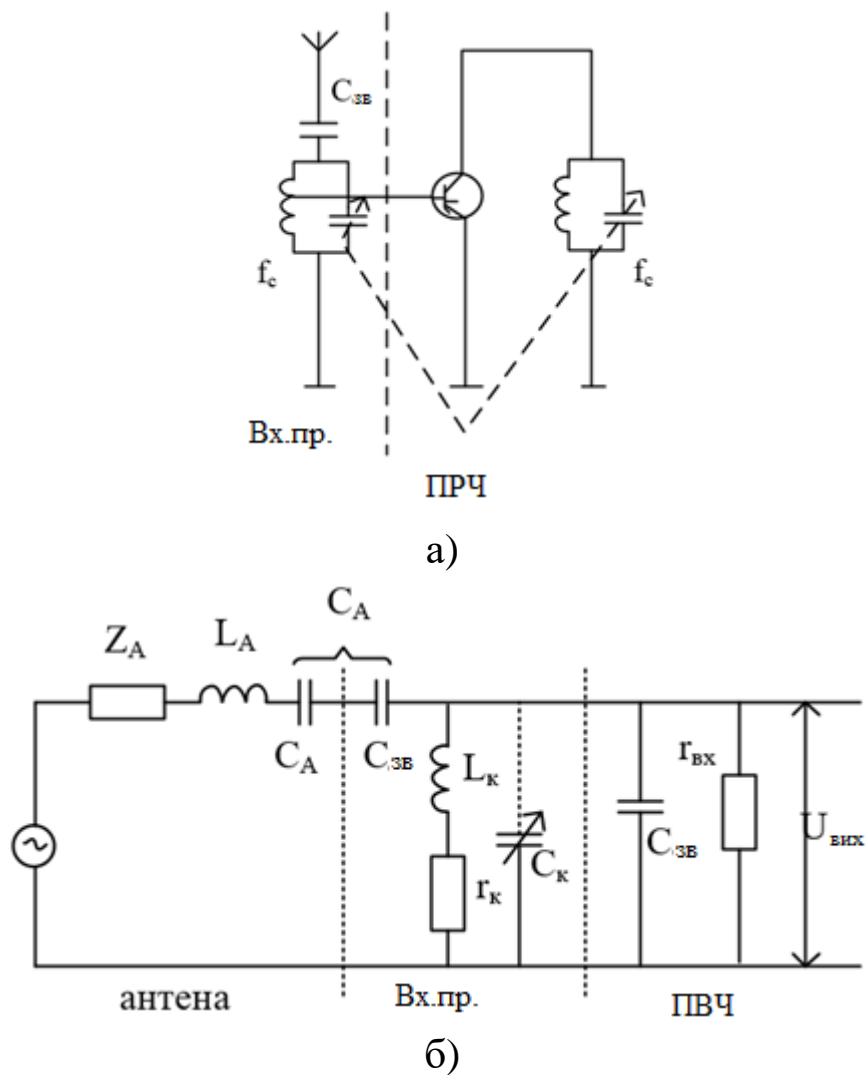


Рисунок 2.2 – Принципіальна (а) та еквівалентна (б) схеми вхідного пристрою

Ємність зв'язку $C_{зв}$ має бути невеликою, щоб зменшити вплив антени на параметри коливального кола вхідного пристрою, з метою ідентичності параметрів коливального контуру підсилювача високої частоти і вхідного пристрою, що перенастроюються одночасно на частоту прийнятого сигналу.

Антенa сама по собі є коливальною системою з певними параметрами (Z_A , L_A , C_A). Ця еквівалентна схема може бути перетворена до послідовного коливального контуру, параметри якого враховують вплив кіл, що підключаються (рисунок 2.3).

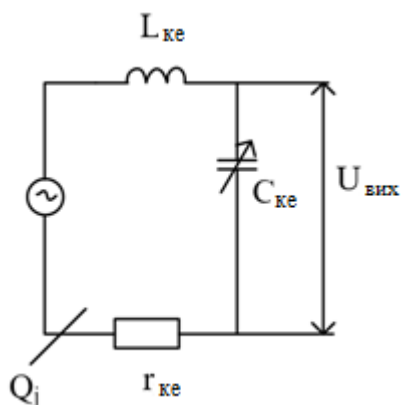


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема антенної системи

Для цієї схеми коефіцієнт передачі вхідного пристрою

$$K_{вх} = \frac{U_{вих}}{E_A} = Q_{екв} \cdot \frac{C_A}{C_{KE}}.$$

Відношення $\frac{C_A}{C_{KE}}$ враховує часткову передачу енергії з антенного кола у вхідний пристрій.

Вхідний пристрій є діапазонним, тобто перенастроюється в межах певної смуги частот сигналу від $f_{сmin}$ до $f_{сmax}$. Перенастроювання здійснюється зміною ємності конденсатора C_k . Чим вище частота, тим менше ємність, тим більше коефіцієнт передачі. Зміна коефіцієнта передачі в широких межах не бажана (рисунок 2.4).

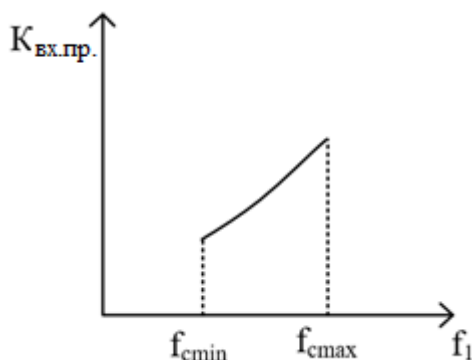


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта передачі вхідного пристрою з ємнісним зв'язком від частоти

4 Вибірковість

$$V_{\text{вх.пр.}} = \sqrt{1 + (Q_3^2) \left(\frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}$$

Вибірковість залежить від характеристик еквівалентної схеми вхідного пристрою та еквівалентної добротності коливальних кіл. Бажано збільшувати Q_e , щоб зростала вибірковість.

При зменшенні коефіцієнта вмикання зменшується вплив антенного кола і зростає добротність. Але при цьому зменшується напруга, що безпосередньо передається до вхідного пристрою. При проектуванні приймачів визначають оптимальний коефіцієнт вмикання антенного кола, при якому досягається максимальний коефіцієнт передачі [2, 6].

Принципіальна та еквівалентна схеми вхідного пристрою з індуктивним зв'язком зображені на рисунку 2.5, а, б.

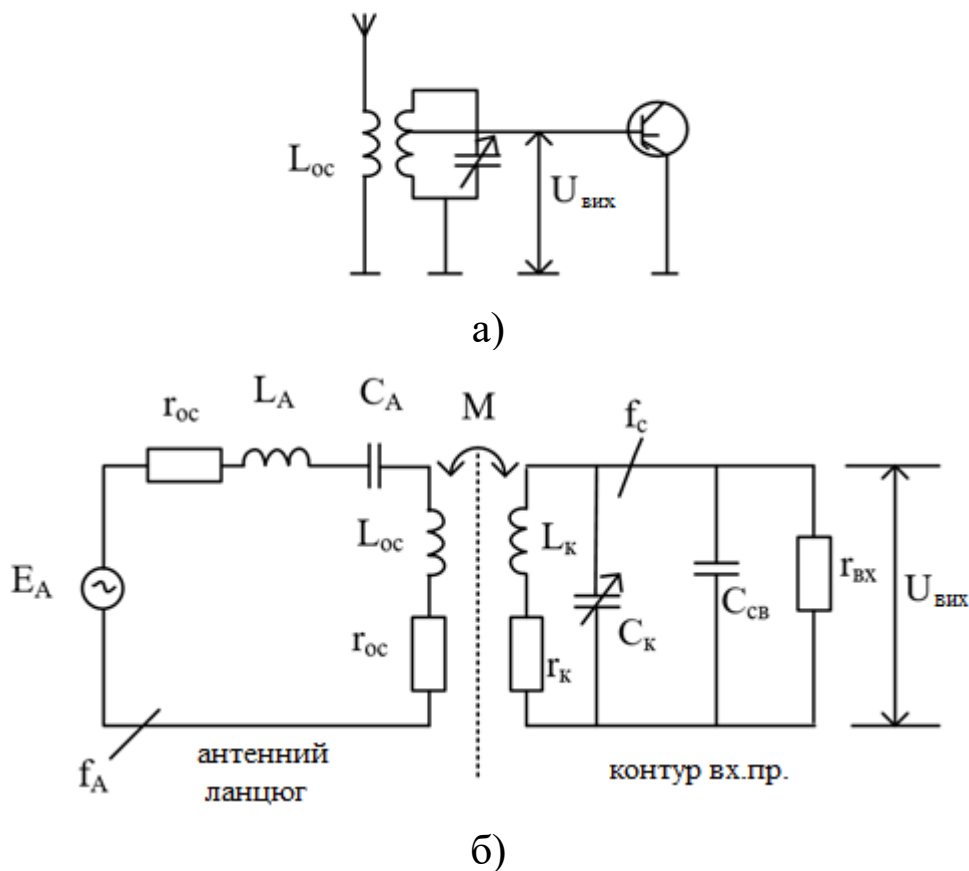


Рисунок 2.5 – Принципіальна (а) та еквівалентна (б) схеми вхідного пристрою з індуктивним зв'язком

Контур вхідного пристрою завжди налаштовують на частоту прийнятого сигналу f_c , у той час як антенна не перенастроюється.

Можливі декілька варіантів настроювання антенного кола (рисунок 2.6):

- 1) $f_A < f_{cmin}$ (подовжена антенна);
- 2) $f_A > f_{cmax}$ (скорочена антенна);
- 3) $f_{cmin} < f_A < f_{cmax}$.

Тоді f_A – резонансна частота антенного кола.

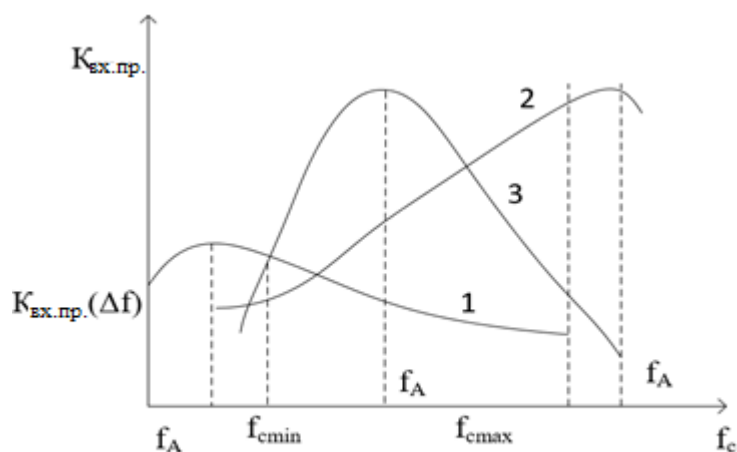


Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнта передачі вхідного пристрою від частоти для трьох варіантів настроювання антенного кола

При настроюванні антенного кола з подовженою антеною коефіцієнт передачі мало змінюється в межах піддіапазону частот, що приймаються, що є безумовною перевагою такої схеми, тому що $U_{вих} \approx const$.

При настроюванні антенного кола зі скороченою антеною характер антенного кола ємнісний, і спостерігається зростання коефіцієнта передачі в межах піддіапазону частот, що приймаються.

При третьому варіанті настроювання антенного кола коефіцієнт передачі зазнає значних змін при наближенні частоти сигналу до резонансної частоти антенного кола.

Другий і третій варіанти настроювання потребують зміни коефіцієнта підсилення в каскадах радіоприймального пристрою.

Тому доцільне настроювання антенного кола на подовжену антену.

Кращі характеристики має схема вхідного пристрою з комбінованим зв'язком (рисунок 2.7).

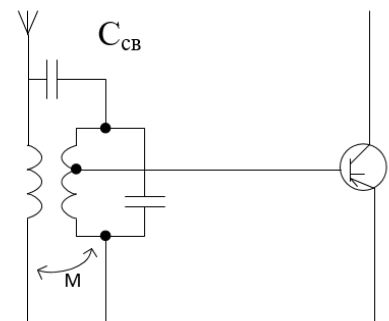


Рисунок 2.7 – Комбінована схема вхідного пристрою

За рахунок поєднання двох видів зв'язку з антенною вдається отримати більш високий коефіцієнт передачі, що відносно мало змінюється в межах діапазону частот, що приймаються.

На рисунку 2.8 наведена залежність коефіцієнта передачі для схеми з комбінованим зв'язком, у якій досягається більше значення коефіцієнта передачі при відносній його стабільності.

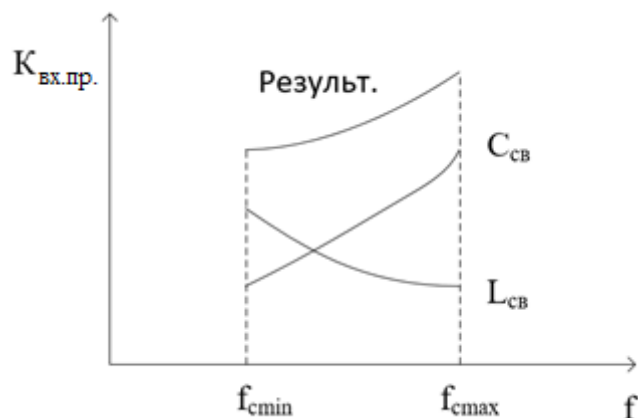


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнта передачі для схем з комбінованим зв'язком

2.2 Підсилювачі високої частоти

Підсилювач високої частоти призначений для підсилення потужності високочастотних сигналів, що приймаються, і забезпечення вибіркового властивостей приймача. У складі підсилювачів можуть використовуватись польові чи біполярні транзистори в дискретному або інтегральному виконанні.

На рисунку 2.9 наведена схема одноконтурного підсилювача високої частоти на біполярному транзисторі. Це типовий підсилювач з навантаженням у вигляді коливального контуру. Підсилювачі високої частоти призначені для підсилення слабких сигналів, що потребує:

- мінімального рівня власних шумів;
- високої лінійності;
- великого коефіцієнта підсилення.

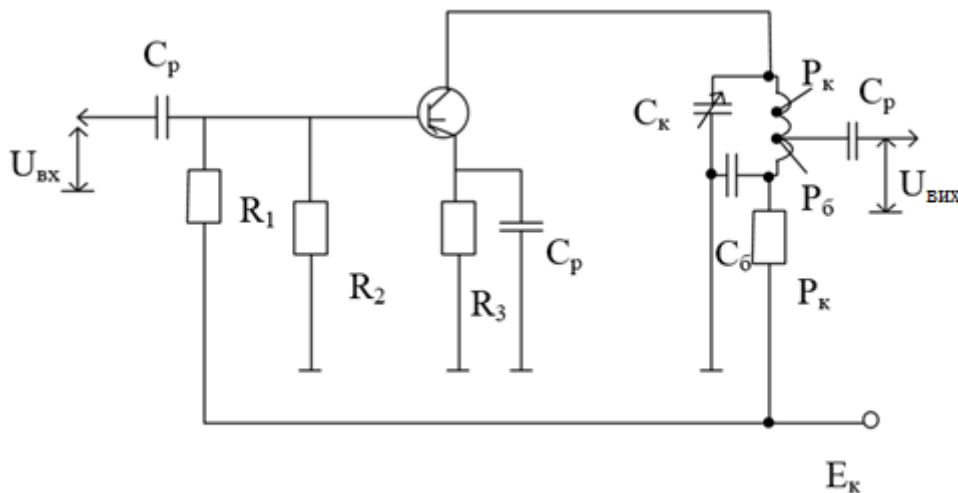


Рисунок 2.9 – Принципіальна схема одноконтурного підсилювача

Підсилювач високої частоти є діапазонним, перенастроювання здійснюється конденсатором змінної ємності C_k . Для виключення впливу руки оператора ротор конденсатора з'єднують з корпусом.

Блокуючий конденсатор $C_б$ великої ємності і практично не впливає на загальну ємність контуру, а лише виключає коротке замикання джерела живлення. Резистори R_1 і R_2 створюють зміщення на базі транзистора.

Часткове включення колектора транзистора дозволяє зменшити резонансний опір коливального контуру до необхідної величини та зменшити шунтуючу дію елементів вихідного та вхідного опору транзисторів, що паралельно підключені до контуру [2, 6].

Основними параметрами підсилювача високої частоти є:

- 1 Коефіцієнт підсилення.
- 2 Вибірковість.
- 3 Стійкість.

1 Розрізняють коефіцієнти посилення за напругою K_U , струмом K_I і K_P потужністю, дБ,

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЬК}}}{U_{\text{ВХ}}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЬК}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

$$K_I = \frac{I_{\text{ВЬК}}}{I_{\text{ВХ}}} = 20 \lg \frac{I_{\text{ВЬК}}}{I_{\text{ВХ}}},$$

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЬК}}}{P_{\text{ВХ}}}; K_P = K_U * K_I; K_P = 20 \lg \frac{P_{\text{ВЬК}}}{P_{\text{ВХ}}}.$$

Часто використовують часткове включення колектора і бази до контуру з коефіцієнтами вмикання P_K і P_B .

$$\downarrow K_U = S Z_p P_K P_B,$$

де S – крутість характеристики підсилювача;

Z_p – опір коливального контуру на резонансній частоті;

P_K і P_B – коефіцієнти включення колектора та бази транзистора.

При частковому підключенні зменшується опір коливального контуру і відповідно коефіцієнт підсилення. У деяких випадках зменшення коефіцієнта підсилення необхідно для збереження стійкості підсилювача від самозбудження.

У багатокаскадних підсилювачах коефіцієнти перемножуються:

$$K_{\text{общ}} = K_1 * K_2 * K_3;$$

$$K_{\text{общ}} = K_1 + K_2 + K_3;$$

$$I_K = I_K U_{\text{ВХ}}; s = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_B};$$

$$K_U = \frac{U_{в\text{вх}}}{U_{в\text{х}}} = \frac{S U_{в\text{х}} Z_p}{U_{в\text{х}}} = S Z_p - \text{для контуру виду I.}$$

Часткове включення зменшує шунтуючу дію паралельно підключених до контуру кіл, завдяки чому підвищується еквівалентна добротність навантаженого контура, що необхідно для збільшення вибіркової.

2 Вибірковість (рисунок 2.10). Вибірковість визначають за амплітудно-частотною характеристикою навантаженого коливального контуру у схемі підсилювача високої частоти для заданого рознесення Δf

$$V_{\Delta f} = \frac{K_p}{K_{\Delta f}} ;$$

$$V_{\Delta f} = 20 \lg \frac{K_p}{K_{\Delta f}}.$$

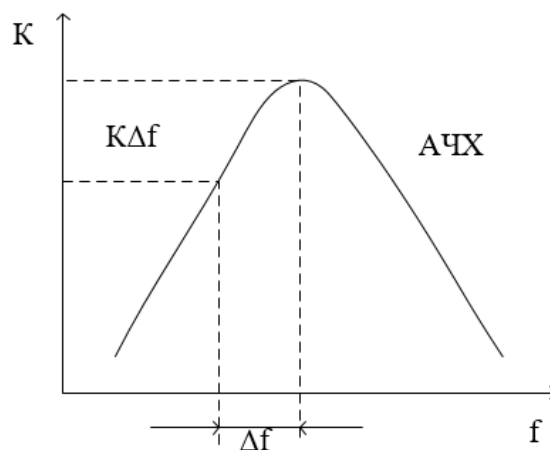


Рисунок 2.10 – Визначення вибіркової коливального контуру підсилювача високої частоти

Загальна вибірковість у багатокаскадних схемах визначається як добуток показників вибіркової окремих каскадів:

$$V_{\text{общ}} = V_1 * V_2 * V_3;$$

$$V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 + V_3.$$

3 Під стійкістю розуміють забезпечення роботи ПВЧ без самозбудження. ПВЧ разом з контуром вхідного пристрою

утворюють двоконтурну еквівалентну індуктивну триточку у схемі генератора самозбудження.

Підсилювач високої частоти схильний до самозбудження завдяки наявності позитивного зворотного зв'язку у схемі. Зворотний зв'язок у підсилювачах можливий через загальні кола живлення, зовнішні елементи схеми, провідність внутрішнього зворотного зв'язку транзистора (рисунок 2.11).

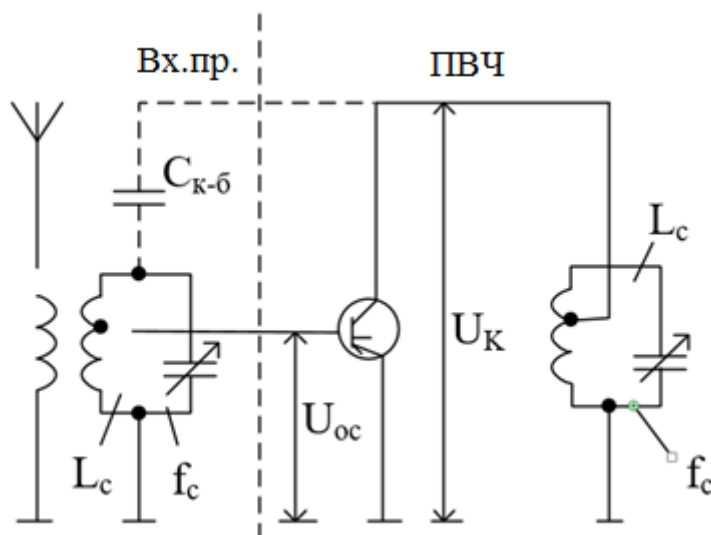


Рисунок 2.11 – Еквівалентна схема вхідного пристрою та підсилювача високої частоти як двоконтурна схема генератора самозбудження

Основною причиною є внутрішній зворотний зв'язок через міжелектродну ємність транзистора $C_{к-б}$. Інші причини зворотного зв'язку в принципі можна усунути за рахунок раціонального монтажу, екранування деталей та інших заходів. А для виключення самозбудження через ємність $C_{к-б}$ необхідно обмежувати опір навантаження Z_p в колекторній схемі, що зменшує коефіцієнт підсилення $K_{доп}$.

У схемі на рисунку 2.11 можна визначити коефіцієнт зворотного зв'язку.

Вихідна напруга прикладена до послідовного кола $C_{к-б}$ та Z_p контуру вхідного пристрою, параметри якого ідентичні параметрам контуру у схемі підсилювача високої частоти. Звідки

можна отримати формулу для допустимого коефіцієнта підсилення $K_{\text{доп}}$ за умовою стійкості.

Коефіцієнт зворотного зв'язку $K_{\text{зз}}$ можна визначити як відношення відповідних опорів.

$$K_{\text{зз}} = \frac{U_{\text{ос}}}{U_{\text{к}}} = \frac{Z_{\text{р}}}{\sqrt{Z_{\text{р}}^2 \left(\frac{1}{\omega C_{\text{к-б}}}\right)^2}};$$

$$Z_{\text{р}} \ll \frac{1}{\omega C_{\text{к-б}}}.$$

У знаменнику можна знехтувати $K_{\text{зз}} \approx Z_{\text{р}} \omega C_{\text{к-б}}$.

$K_{\text{зз}} < K_{\text{кр}} = \frac{1}{SZ_{\text{р}}}$ – для відсутності умов самозбудження необхідна ця умова.

$$Z_{\text{р}} \omega C_{\text{к-б}} < \frac{1}{SZ_{\text{р}}};$$

$$Z_{\text{рдоп}} < \frac{1}{\sqrt{\omega C_{\text{к-б}} S}} \text{ – має бути менше } Z_{\text{рдоп}} \leq \frac{0,25}{\sqrt{\omega C_{\text{к-б}} S}}.$$

Тоді

$$K_{\text{доп}} \leq SZ_{\text{рдоп}} \leq \sqrt{\frac{0,25S}{\omega C_{\text{к-б}}}}.$$

Значення 0,25 вибирається виходячи з того, що значення коефіцієнта має бути не більше 0,5 з деяким запасом.

Отже, для забезпечення стійкості роботи ПВЧ і виключення самозбудження необхідно обмежувати величину $Z_{\text{р}}$ і величину коефіцієнта підсилення.

Забезпечити стійкість підсилювача можна, зменшивши коефіцієнт підсилення до величини, при якій забезпечується стійкість. Це досягається зменшенням коефіцієнтів включення контурів.

$$K_{\text{під}} = SZ_{\text{р}} P_{\text{к}} \leq \sqrt{\frac{0,25S}{\omega C_{\text{к-б}}}}.$$

↓ $K_{\text{під}}$ обираємо підбором $P_{\text{к}}$.
 $Z_{\text{р}}'' = Q_{\text{р}} P_{\text{і}}^2$, Q – бажано зменшити.

При цьому зменшується і напруга зворотного зв'язку. Ці обмеження порушують амплітудну умову самозбудження, у той час як виключити виконання фазової умови неможливо, тому що на деякій частоті фазові співвідношення по колу зворотного зв'язку можуть виконуватись.

Зворотний зв'язок здійснюється через опір міжелектродної ємності $-\frac{1}{\omega C_{к-б}}$.

І тому, чим вище частота або чим більше ємність $C_{к-б}$, тим меншим має бути $K_{доп}$ за умови відсутності самозбудження підсилювача. Збільшити коефіцієнт підсилення ПВЧ $K_{під}$ можна при використанні більш низьких частот (наприклад у складі підсилювача проміжної частоти в супергетеродинному приймачі). Деякі переваги дає використання схем підсилювача при вмиканні транзистора з загальною базою, а також застосування транзисторів із меншою міжелектродною ємністю $C_{к-б}$.

Схеми з загальною базою і загальним емітером забезпечує однаковий коефіцієнт підсилення за напругою, але схема з загальною базою не підсилює струм. Отже, зменшується коефіцієнт підсилення за потужністю.

$$\begin{aligned} (i_e < i_k, K_I < 1), \\ K_{p(зб)} \ll K_{p(зе)}. \end{aligned}$$

Для підвищення стійкості підсилювачів використовують каскадне з'єднання двох підсилювальних елементів (транзисторів) (рисунок 2.12), при якому вихід одного підсилювального елемента з'єднується з входом другого безпосередньо, без частотно-залежних кіл.

Перший каскад забезпечує підсилення струму, а коефіцієнт за напругою приблизно одиниця, що забезпечує стійкість підсилювача. Наступний каскад складається за схемою емітерного повторювача і не підсилює струм.

Допустимий коефіцієнт підсилення каскадної схеми за умовами стійкості зростає в 10–30 разів порівняно зі схемою з загальною базою.

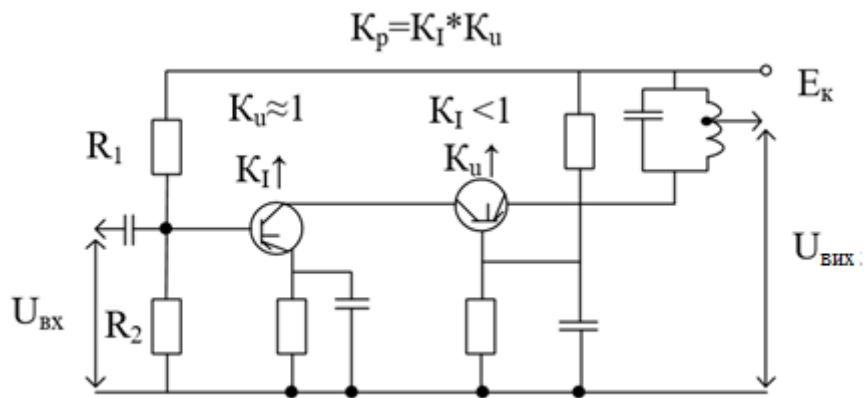


Рисунок 2.12 – Каскадна схема підсилювача високої частоти

2.3 Перетворювачі частоти супергетеродинних радіоприймачів

Перетворювачі частоти в радіоприймачі забезпечують перенесення спектра прийнятого сигналу по осі частот без змін його структури, тобто без зміни закону модуляції, але при зміні його несучої частоти.

У супергетеродинному приймачі перетворювачі частоти формують коливання більш низької проміжної частоти.

При нижньому настроюванні гетеродину $f_{np} = |f_c - f_{zem}|$, а при верхньому настроюванні $f_{np} = f_{zem} - f_c$.

На рисунку 2.13 наведена структурна схема перетворювача частоти.

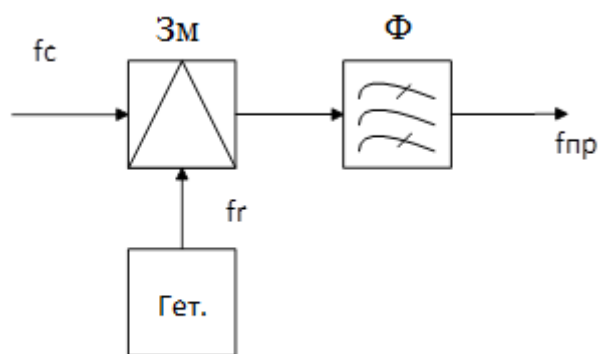


Рисунок 2.13 – Структурна схема перетворювача частоти

Структурна схема перетворювача частоти включає такі елементи:

1 Змішувач, що являє собою нелінійний елемент, у якому здійснюється перетворення спектра сигналів при взаємодії коливань з двома несучими частотами f_c та f_{zem} .

2 Гетеродин – допоміжний генератор, що забезпечує подачу на змішувач коливань з частотою f_{zem} .

3 Фільтр забезпечує виділення спектра сигналу проміжної частоти – f_{np} .

Як нелінійні елементи в змішувачах використовують напівпровідникові діоди і транзистори.

У радіоприймальних пристроях найбільш широке використання отримали транзисторні схеми перетворювачів частоти. Схема перетворювача наведена на рисунку 2.14.

За схемою, транзисторний перетворювач частоти є практично генератором з зовнішнім збудженням, особливостями роботи якого є:

1) робота каскаду в нелінійному режимі через необхідність зміни спектру коливань.

2) необхідність подачі на вхід двох коливань:

$U_c = U_c \cos \omega_c t$ – сигнал, що приймається;

$U_r = U_r \cos \omega_r t$;

$U_r \gg U_c$;

3) настроювання контурів колекторної ланки на проміжну частоту.

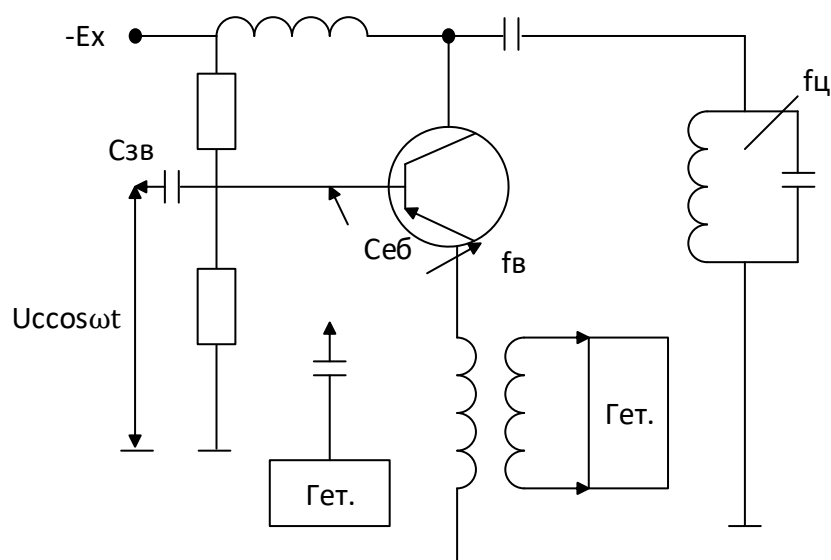


Рисунок 2.14 – Принципіальна схема перетворювача частоти

Коливання з частотою ω_c та ω_r подаються одночасно на вхід схеми перетворювача. А для зменшення зв'язку між колами f_c та f_{zem} U_c подають до ланки бази через конденсатор C_{36} малої ємності, а гетеродин включають до ланки емітера. У цьому випадку роль конденсатора зв'язку виконує міжелектродна ємність емітер-база C_{e-b} .

Величина зміщення E_0 вибирається в середині початкової криволінійної ділянки прохідної характеристики (рисунок 2.15).

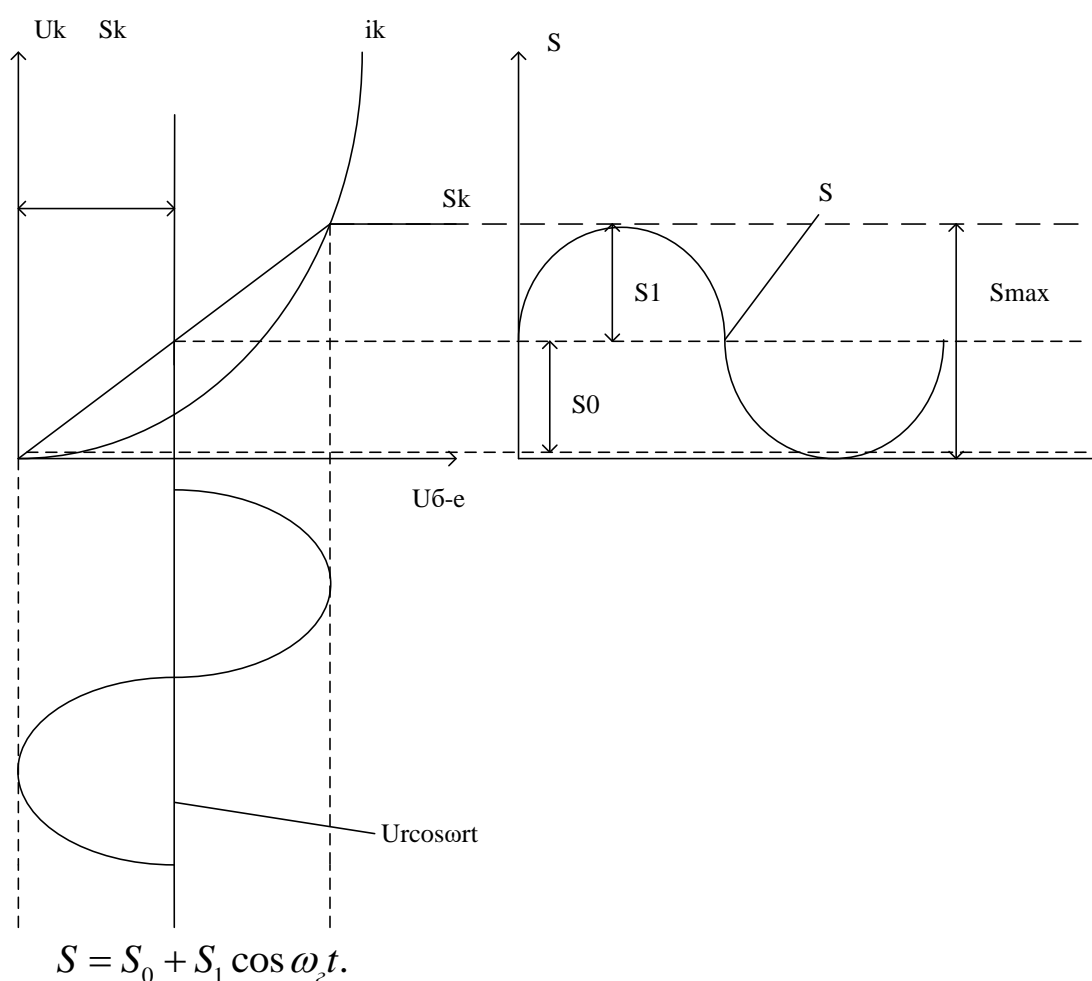


Рисунок 2.15 – Вибір режиму роботи транзистора перетворювача частоти

При подачі в ланку бази напруги U_2 змінюється положення робочої точки, у зв'язку з цим змінюється крутість перетворення характеристик, а зміна крутості залежить від напруги гетеродину $S_1 = \varphi(U_r)$.

Крутість перетворення:

$$S_{np} = S_0 \gamma U_r < S_{\max},$$

де γ – деякий коефіцієнт, що враховує залежність S_{np} від U_r та інших параметрів.

Оскільки $U_r \gg U_c$, то U_c не має впливу на положення робочої точки.

Так, i_k у схемі перетворювання:

$$i_k = U_c \cos \omega_c t \cdot S_{np} = U_c \cos \omega_c t (S_0 + S_1 \cos \omega_r t).$$

Відомо співвідношення, обумовлене добутком косинусів, і в перетворювачі частоти виникнуть коливання з частотами $\omega_c \pm \omega_r$.

У загальному випадку необхідно враховувати взаємодію гармонік сигналу та гетеродину. У результаті на виході перетворювача створюється складний спектр коливань комбінаційних частот: $m\omega_c \pm n\omega_r$, де m та n – цілі числа 1,2,3...

Контур у колекторній ланці перетворювача налаштований на більш низьку проміжну частоту $|f_c - f_{zem}|$, і вона буде виделена з усього спектра коливань.

Застосування перетворювача частоти забезпечує супергетеродинному приймачу такі переваги:

1) більш високу чутливість. Це досягається за рахунок більшого підсилення в каскадах супергетеродинного приймача (підсилювач високої частоти, підсилювач проміжної частоти), що працюють на різних частотах і не створюють умов до самозбудження. Основне підсилення (у підсилювачі проміжної частоти) може бути суттєво збільшено за рахунок використання більш низької проміжної частоти;

2) більш високу вибірковість (здатність виділити корисний сигнал) приймача за сусідніми каналами, робочі частоти яких визначаються кроком сітки частот, встановлених для певної системи радіозв'язку.

Більш висока вибірковість досягається за рахунок зменшення $f_{пром}$ та фіксованої частоти, завдяки чому в складі підсилювача проміжної частоти можна використовувати фільтри, що не потребують перенастроювання.

$$а) \uparrow V = \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_{np}} \right)^2}.$$

$$б) \omega_{np} = const. ;$$

3) постійність чутливості та вибірковості во всій смузі прийнятих частот, оскільки основні підсилення та вибірковість забезпечуються каскадами підсилювача проміжної частоти, що працюють на постійній або фіксованій частоті.

У той самий час супергетеродинні приймачі мають принциповий недолік - наявність побічних каналів приймання.

Побічний канал приймання – це можливість одночасного приймання різних за частотою сигналів у взаємодії з частотою гетеродину або його гармоніками. Це можливо тому, що однакову проміжну частоту можуть створювати різні за частотою сигнали у взаємодії з частотою гетеродину або його гармоніками.

Основним побічним каналами є дзеркальний. Він симетричний основному відносно $f_{гет}$ (рисунок 2.16).

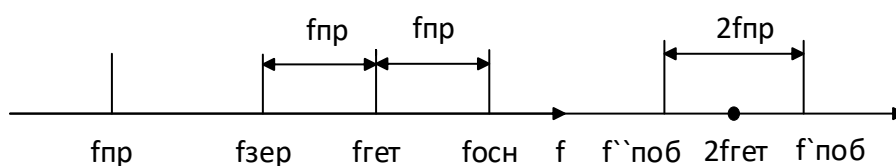


Рисунок 2.16 – Формування побічних каналів у супергетеродинному приймачі

Рознесення частот $f_{осн}$ та $f_{гер} = 2f_{пр}$. Звичайно використовують так зване нижнє настроювання гетеродину, тобто $f_{гет} < f_{осн}$. Частота $f_{пром}$ визначається параметрами фільтра.

Оскільки коливання всіх побічних каналів утворюють у СГП одну й ту саму проміжну частоту, то підсилювач проміжної

частоти (ППЧ) не може забезпечити вибірковості по побічних каналах.

У той самий час до перетворювача частоти коливання всіх побічних каналів мають різні частоти і можуть бути розділені в каскадах преселектора (вхідний пристрій і підсилювач високої частоти). Однак вхідний пристрій і ПВЧ не мають високої вибірковості.

Одним з методів збільшення вибірковості Вх.Пр та ПВЧ по побічних каналах приймання є збільшення проміжної частоти, у результаті чого збільшується рознесення частот основного та дзеркального каналів (рисунок 2.17).

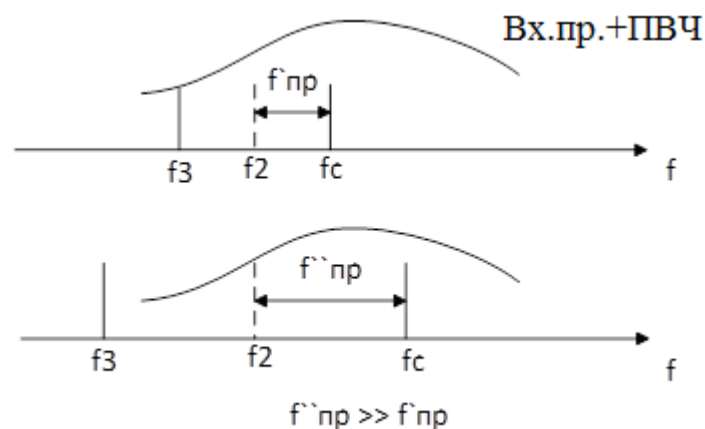


Рисунок 2.17 – Забезпечення вибірковості по дзеркальному каналу

Але при цьому не вдається реалізувати переваги, характерні для супергетеродинного, – більш високу чутливість і вибірковість.

Компромісним рішенням є застосування двох перетворювачів частоти в СГП на рисунку 2.18.

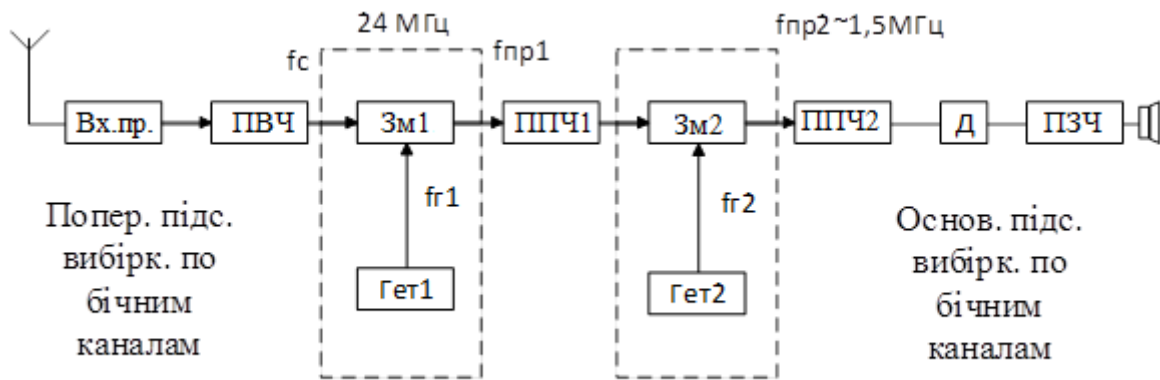


Рисунок 2.18 – Структурна схема перетворювача частоти з подвійним перетворенням частоти

За допомогою першого перетворювача створюється порівняно висока перша проміжна частота f_{np1} з тим, щоб у вхідному пристрої та підсилювачі високої частоти можна було забезпечити необхідну вибірковість по дзеркальному каналу.

Друга проміжна частота $f_{np2} \ll f_{np1}$ для того, щоб у каскадах ППЧ 2 забезпечити необхідну вибірковість по сусідніх каналах і необхідне підсилення сигналів.

Для забезпечення високої вибірковості підсилювачі проміжної частоти (по сусідніх каналах) будуються за особливими схемами:

1 З використанням зв'язаних коливальних контурів, що забезпечують кращі характеристики вибірковості та не потребуючих перенастроювання в процесі експлуатації, оскільки $f_{np} \sim const$.

2 Багатокаскадні схеми з одиночними попарно розладнаними контурами (рисунок 2.19).

Добротність кожного з контурів може бути суттєво збільшена, оскільки необхідна смуга пропускання ППЧ в цілому досягається за рахунок рознесення резонансних частот f_1, f_2 .

3 Схеми з фільтрами зосередженої селекції, що можуть включатися на вході або виході підсилювачів.

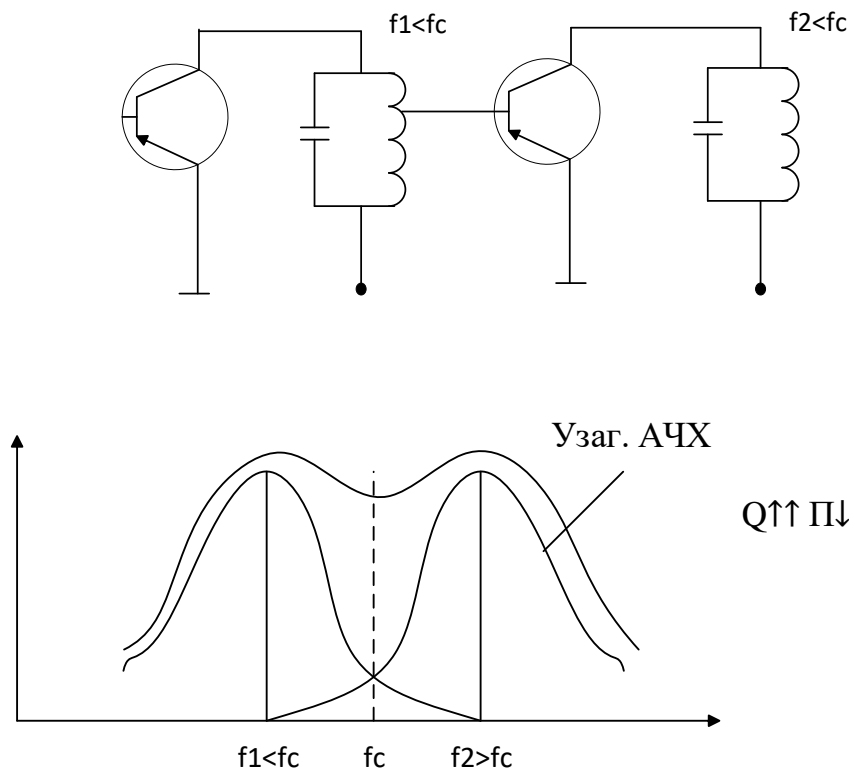


Рисунок 2.19 – Вибірковість у багатокоскадних схемах ППЧ

Контрольні питання

- 1 Призначення вхідного пристрою в радіоприймачі.
- 2 Які види зв'язку з антеною використовують у вхідних пристроях радіоприймачів?
- 3 Як зменшиться вплив антени на коливальний контур вхідного пристрою?
- 4 Чому коефіцієнт передачі вхідного пристрою менший, ніж добротність контуру?
- 5 Як впливає ємність зв'язку з антеною на коефіцієнт передачі вхідного пристрою?
- 6 Чому ємність зв'язку коливального кола вхідного пристрою з антеною вибирають малою?
- 7 Від яких факторів залежить вибірковість вхідного пристрою?
- 8 Яке антенне коло називають скороченим, а яке подовженим?
- 9 Який елемент вхідного пристрою впливає на характер антенного кола?

10 Яким чином можна зменшити вплив антени на коливальний контур вхідного пристрою?

11 Від чого залежить смуга пропускання коливального контуру вхідного пристрою?

12 Як впливає на смугу пропускання вхідного пристрою коефіцієнт включення вхідного опору підсилювача високої частоти?

13 Яким чином визначають коефіцієнт підсилення багатокаскадного підсилювача?

14 Як визначають вибіркковість резонансного багатокаскадного підсилювача у відносних величинах і децибелах?

15 Як усувається вплив руки оператора на настроювання коливальної системи?

16 Від чого залежить еквівалентна добротність коливальних контурів у резонансних каскадах?

17 Чому підсилювачі з загальною базою мають більшу стійкість, ніж підсилювачі з загальним емітером?

18 Що таке стійкість підсилювача в каскадах підсилювача високої частоти?

19 Що таке каскадна схема підсилювача?

20 Від чого залежить допустимий коефіцієнт підсилення за умовами стійкості?

21 Як можна підвищити допустимий коефіцієнт підсилення за умовами стійкості?

22 Переваги супергетеродинного радіоприймача.

23 Що таке побічні канали приймання?

24 Що таке дзеркальний канал приймання?

25 Які каскади забезпечують вибіркковість за побічними каналами?

26 Які каскади забезпечують вибіркковість за сусідніми каналами?

27 Чому підсилювач проміжної частоти не забезпечує вибіркковість за дзеркальним каналом?

28 Навіщо використовують схеми супергетеродинного приймача з подвійним перетворенням частоти?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Про радіочастотний ресурс України: закон України від 24.06.2004 р. № 1876-IV із змінами та доповненнями.

2 ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. Київ, 2003. 50 с.

3 Радіотелекомунікаційні технології: радіопередавальні та радіоприймальні пристрої / О. В. Гайдук, П. В. Слободянюк, В. Л. Булгач та ін. Ніжин: «Аспект-Поліграф», 2007. 319 с.

4 Сукачев Е. А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. 256 с.

5 Конахович Г. Ф. Системи радіозв'язку. Київ: НАУ, 2011. 311 с.

6 Смирнов В. П. Засоби приймання і оброблення інформації. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 75 с.

7 Єлізаренко А. О. Перспективні напрямки розвитку мереж технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті. Харків: УкрДАЗТ, 2019. 53 с.

8 Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part1. DMR AIR Interfase hrotocol. France. ETSI, 2007.

А. О. Єлізаренко

ЕЛЕМЕНТИ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Єлізаренко А. О.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 2022 р.
Умовн. друк. арк. 2,5. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний
університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.