

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ КУРСОВА РОБОТА

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»
спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Укладач: С. М. Перегудов

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент

*Піддубний, В.О., канд. техн. наук, доц., с.н.с.,
доцент кафедри радіотехнічних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Відповідальний
редактор

Степанов, М.М., д-р техн. наук, професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 23.02.2023 р.)
за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету
(протокол № 01/2023 від 30.01.2023 р.)*

У посібнику викладено методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Проектування приймальних пристроїв НВЧ». Він містить основні теоретичні відомості за темою роботи та список рекомендованої літератури. Основна увага надана етапу ескізного проектування радіоприймальних пристроїв НВЧ діапазону, зокрема розробці структурної схеми. У посібнику наведені варіанти завдань, пояснення щодо їх виконання, а також вимоги до оформлення курсової роботи, яка сприяє закріпленню та поглибленню набутих теоретичних знань.

Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Телекомунікації та радіотехніка». Він буде також корисним для студентів інших технічних спеціальностей у галузі знань «Електроніка та телекомунікації» під час виконання індивідуальних завдань.

Проектування приймальних пристроїв НВЧ : Курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,59 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 45 с.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Мета та завдання курсової роботи	6
1.1 Мета курсової роботи.....	6
1.2 Завдання на КР	7
2 Склад, обсяг і структура роботи.....	10
3 Загальні рекомендації до виконання КР	11
3.1 Послідовність виконання КР	11
3.2 Оформлення роботи	13
4 Пояснення завдання та методичні рекомендації	17
4.1 Характеристики і параметри радіоприймального пристрою ..	17
4.2 Основні питання ескізного проектування	21
4.3 Вибір типу структурної схеми	22
4.4 Розрахунок смуги приймального пристрою	25
4.5 Вибір структури преселектора і числа перетворень частоти.	28
4.6 Розподіл підсилення між трактами радіоприймача	35
4.7 Оцінка динамічного діапазону	37
4.8 Вибір систем регулювань приймача.....	40
5 Порядок захисту та оцінювання КР.....	42
Список рекомендованої літератури.....	44
Додаток А. Титульний аркуш КР	45

ВСТУП

Курсова робота (КР) – це складова самостійної підготовки здобувача вищої освіти, яка поєднує науково-дослідний та практичний компоненти, що передбачені освітньо-професійною програмою підготовки фахівця певного освітнього рівня певної спеціальності. Успішне її виконання свідчить про готовність здобувача до самостійного виконання завдань, характерних для певної галузі науки чи професійної діяльності.

КР з дисципліни «Проектування приймальних пристроїв НВЧ» є однією з форм вивчення і засвоєння теоретичного матеріалу. В процесі роботи студенти набувають навичок самостійної розробки ескізного проекту мікрохвильового радіоприймача та оцінки його працездатності, що сприяє закріпленню знань, набутих у результаті вивчення курсу.

Тематика КР відповідає силабусу кредитного модуля «Проектування приймальних пристроїв НВЧ. Курсова робота». Виконання КР розвиває у студентів загальні та фахові компетентності:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2);
- здатність вирішувати завдання професійної діяльності (ФК-2);
- здатність використовувати нормативну та правову документацію, що стосується інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем (ФК-5);
- здатність впроваджувати перспективні технології і стандарти (ФК-8);
- здатність розраховувати основні параметри пристроїв НВЧ, обирати найбільш ефективні антени та пристроїв НВЧ для радіотехнічних систем (ФК-16);
- здатність застосовувати та аналізувати різні типи модуляції та кодування сигналів у каналах радіозв'язку сучасних інфокомунікаційних радіочастотних системах (ФК-19).

Вирішення питань, які передбачені завданням до курсової роботи, сприяє досягненню таких результатів навчання за програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»:

- аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв’язанні спеціалізованих задач радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов (ПРН-1);
- грамотно застосовувати термінологію галузі телекомунікацій та радіотехніки (ПРН-6);
- виконувати розрахунок приймальних систем НВЧ, використовуючи сучасні САПР (ПРН-23);
- вибирати параметри модуляції та застосовувати методи завадостійкого та ефективного кодування інформаційних та комунікаційних радіосистем (ПРН-26).

До захисту КР допускаються студенти, які виконали всі вимоги навчального плану. Керівником є викладач з даної дисципліни.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

КР є завершальним етапом самостійної роботи студентів над курсом «Проектування приймальних пристроїв НВЧ». У процесі її виконання студенти розширюють та поглиблюють свої теоретичні знання, а також набувають навичок у методиці інженерного розрахунку радіоприймальних пристроїв мікрохвильового діапазону.

1.1 Мета курсової роботи

Метою КР є:

- закріпити отримані теоретичні знання;
- навчитися проводити розрахунок приймального пристрою та окремих блоків його тракту з урахуванням умов експлуатації;
- набути навичок самостійного вирішення технічних питань;
- навчитися користуватися довідковою технічною літературою;
- навчитися правильно складати електричні схеми та оформлювати технічну документацію.

Виконуючи курсову роботу, студенти мають набути впевненості у своїх знаннях, проявляти ініціативу та самостійність у вирішенні технічних завдань.

Темою КР є ескізне проектування приймального пристрою НВЧ діапазону. Клас приймача, вимоги до його параметрів, а також вид сигналу на його вході залежить від варіанту завдання. Студент має проаналізувати вихідні дані і вибрати тип структурної схеми, що забезпечує виконання вимог завдання, і обґрунтувати свій вибір. Далі потрібно розрахувати основні характеристики приймача, вибрати пристрої його тракту та визначити їхні характеристики.

На заключному етапі ескізного проектування потрібно вточнити структурну схему приймального пристрою, визначити його сумарний коефіцієнт підсилення, розподілити підсилення між трактами надвисокої, проміжної та низької частот і розрахувати параметри та характеристики приймача (чутливість в заданому діапазоні частот, динамічний діапазон, смугу пропускання).

1.2 Завдання на КР

Виконати ескізне проектування (вибір та обґрунтування структурної схеми) радіоприймального пристрою НВЧ супергетеродинного типу:

- 1) вибрати тип структурної схеми приймача;
- 2) розрахувати смугу робочих частот приймального пристрою;
- 3) визначити структуру вхідного кола;
- 4) провести розподіл підсилення між трактами приймача;
- 5) оцінити динамічний діапазон;
- 6) розробити систему регулювань приймача;
- 7) представити розроблену структурну схему приймального пристрою.

Вихідні дані:

f_0 – центральна частота робочого діапазону;

Δf – смуга робочих частот (визначається видом сигналу, що приймається та типом модуляції);

E_{\min} – реальна чутливість;

$S_{\text{ск}}$ – вибірковість по сусідньому каналу

$S_{\text{дз}}$ – вибірковість по дзеркальному каналу;

$K_{\text{АРП}}$ – коефіцієнт регулювання АРП.

Таблиця 1 — Варіанти завдань курсової роботи

№	f_0 , ГГц	Вид сигналу, модуляція	E_{\min} , мкВ	$S_{\text{ск}}$, дБ	$S_{\text{дз}}$, дБ	$K_{\text{АРП}}$, дБ
1	0,8	100K0K3E	100	55	70	35
2	1,0	100K0G3E	100	35	30	55
3	1,2	8M00A3F	250	50	60	40
4	1,5	10M0A3F	200	55	30	55
5	1,7	13M0A3F	300	60	60	40
6	1,9	8M00A3F	250	50	60	40
7	2,4	10M0A3F	200	55	60	40

Продовження таблиці 1

№	f_0 , ГГц	Вид сигналу, модуляція	E_{\min} , мкВ	$S_{\text{ск}}$, дБ	$S_{\text{дз}}$, дБ	$K_{\text{АРП}}$, дБ
8	2,6	13M0A3F	300	60	30	55
9	0,8	100K0K1B	3	50	30	60
10	1,0	100K0K1B	100	35	90	100
11	1,2	100K0K2B	1	40	80	30
12	1,5	100K0K1B	10	20	80	65
13	1,7	100K0K2B	30	25	70	70
14	1,9	8M00A3F	250	50	60	40
15	2,4	10M0A3F	200	55	30	55
16	2,6	13M0A3F	300	60	60	40
17	0,8	100K0G3E	5	45	30	55
18	1,0	100K0F3F	25	50	80	30
19	1,2	100K0K3E	100	55	70	35
20	1,5	100K0G3E	100	35	30	55
21	1,7	100K0F3F	200	40	80	30
21	1,9	10M0A3F	200	55	30	55
23	2,4	13M0A3F	300	60	60	40
24	2,6	8M00A3F	250	50	60	40
25	0,8	100K0F3F	200	40	80	30
26	1,0	100K0K3E	5	45	70	35
27	1,2	13M0A3F	300	60	60	40
28	1,5	8M00A3F	250	50	60	40
26	1,7	10M0A3F	200	55	30	55
30	1,9	13M0A3F	300	60	60	40
31	2,4	8M00A3F	250	50	60	40

Продовження таблиці 1

№	f_0 , ГГц	Вид сигналу, модуляція	E_{\min} , мкВ	$S_{\text{ск}}$, дБ	$S_{\text{дз}}$, дБ	$K_{\text{АРП}}$, дБ
32	2,6	10M0A3F	200	55	30	55
33	0,8	100K0F3F	200	40	70	35
34	1,0	100K0K3E	5	45	80	30
35	1,2	100K0F3F	200	40	80	40
36	1,5	10M0A3F	200	55	30	55
37	1,7	13M0A3F	200	60	30	40
38	1,9	8M00A3F	200	50	60	55
39	2,4	13M0A3F	200	50	30	30
40	2,6	10M0A3F	300	60	30	45

Позначення виду сигналу приведено у третьому стовпчику таблиці.

Перші чотири символи (три цифри та літера) означають приблизну смугу сигналу: цифри означають чисельне значення, а літера (К – кілогерці, М – мегагерці) вказують на положення коми.

Три останні символи визначають спектр сигналу згідно з рекомендацією МККР 507, відповідно до якої кожен клас радіовипромінювання позначається трьома обов'язковими символами та двома додатковими. Перший символ позначає обов'язкову характеристику випромінювання — вид модуляції основної несної, другий — характер сигналу, що модулює основну несну, третій — вид інформації, що передається. Розшифрування символів можна знайти, наприклад, у посібнику [2] (стор. 35, табл. 1.2).

Приклади позначення символної частини класів випромінювань: 1) для стереофонічного радіомовлення з ЧМ – F8EHF; 2) для комерційної телефонії з пристроєм для засекречування – A3EKN; 3) для чотириканальної (два канали телефонних і два телеграфних) системи АМ – A9WWX; 4) для радіорелейної системи з тимчасовим поділом каналів з ФІМ – M7EJT

2 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОБОТИ

Курсова робота виконується за індивідуальним завданням (варіантом) і готується до захисту в завершальний період теоретичного навчання.

До захисту КР представляється пояснювальна записка (ПЗ) та ілюстративний матеріал (презентація, кресленики).

Пояснювальна записка має містити:

- титульну сторінку;
- варіант завдання на курсову;
- зміст;
- вступ;
- основну частину (структурна схема та її обґрунтування, результати розрахунку основних параметрів приймального пристрою НВЧ, та окремих його блоків, графіки характеристик тощо);
- висновки;
- перелік посилань.

За необхідності до складу ПЗ можна додати допоміжні матеріали (лістинги програмного коду з коментарями, результати проміжних розрахунків тощо), які оформлюються у вигляді додатків. Ілюстрації та кресленики є складовою ПЗ. Усі рисунки та інший ілюстративний матеріал мають відповідати вимогам ДСТУ 3008-2015 «Державний стандарт України. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

Кресленики електричної структурної схеми приймального пристрою та його блоків виконуються відповідно до Єдиної системи конструкторської документації. Формат креслеників вибирається згідно з ДСТУ ISO 5457:2006 (ISO 5457:1999, IDT) «Національний стандарт України. Документація технічна на виробі. Кресленики. Розміри та формати».

Загальний обсяг вступу, основної частини пояснювальної записки та висновків має складати 25-30 сторінок.

До захисту КР потрібно підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації формату *Microsoft PowerPoint* обсягом 10-15 слайдів.

3 ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КР

3.1 Послідовність виконання КР

Для правильної організації роботи, слід раціонально спланувати свій час, своєчасно отримати завдання і дотримуватись певної послідовності дій, яка складається з трьох основних етапів:

- 1) етап підготовки до виконання завдання КР;
- 2) етап роботи над основною частиною завдання;
- 3) заключний етап.

Етап підготовки починається з осмислення варіанта завдання, визначення мети ескізного проектування. Необхідно правильно вибрати структурну схему та елементну базу вузлів приймального пристрою, що дозволять його реалізувати, а також розрахувати основні параметри та характеристики. Оскільки на етапі проектування проводяться певні дослідження, то варто визначитись з об'єктом, предметом дослідження та метою таких досліджень.

Об'єкт дослідження — приймальний пристрій НВЧ діапазону.

Предметом дослідження є основні характеристики та параметри приймального пристрою, які визначаються в процесі його проектування.

Мета проектування пов'язана з об'єктом і предметом дослідження. В рамках КР необхідно структурну схему розроблюваного пристрою, основні його параметри і характеристика та елементну базу.

Робота над основною частиною завдання передбачає певну послідовність дій.

Спочатку потрібно добрати та переглянути літературу з теми завдання. Вивчення літератури варто починати з джерел інформації, де проблема відображається в цілому. Для цього рекомендуються посібник [1]. Крім того, необхідно ознайомитись з характеристиками радіосигналів різного класу [2], які передбачені завданням до КР. В процесі проектування необхідно забезпечити електромагнітне узгодження мікрохвильових пристроїв. Основні методи узгодження представлені в книгах [3, 4]. Більш детально принципи роботи радіоприймальних пристроїв НВЧ розглянуті в [5-7]. На даному етапі складається

перша частина пояснювальної записки, в якій потрібно розглянути питання про загальні принципи побудови мікрохвильових приймачів, обґрунтувати вибраний тип структурної схеми пристрою, що дозволяє приймати сигнали зазначеного у варіанті типу, та оцінити його можливості.

Друга частина має бути присвячена вибору конкретної структурної схеми приймального пристрою, її обґрунтуванню та проведенню оціночних розрахунків основних його параметрів. На цьому етапі потрібно визначити розподіл коефіцієнта підсилення між окремими частинами тракту.

У третій частині визначається тип та структура окремих вузлів приймального пристрою: преселектора, змішувача, підсилювачів, систем регулювання.

Результатом ескізного проектування мають бути структурна схема та необхідні дані для розробки принципової електричної схеми пристрою.

Матеріал пояснювальної записки викладається у вигляді окремих розділів і підрозділів. Кожний розділ висвітлює самостійне питання, а підрозділ — окрему частину цього питання.

Тема має бути розкрита без пропуску логічних зв'язків, тому починаючи працювати над тим чи іншим розділом, треба визначити його головну ідею.

Заключний етап КР складається з написання вступу та висновків до роботи, а також оформлення списку літератури і графічних матеріалів, редагування тексту та підготовку роботи до захисту.

Вступ доцільно писати після основної частини пояснювальної записки. У ньому підкреслюється актуальність теми КР, її практичне значення, вказуються об'єкт, предмет, мета та завдання роботи; розглядається методи розрахунків; розкривається структура роботи, її основний зміст. Якщо студент вирішив не розглядати деякі аспекти теми, він повинен зазначити про це у вступі.

Висновки є підсумком проведеної роботи і подаються у вигляді тез і рекомендацій. Дуже важливо, щоб вони відповідали поставленому завданню.

Наприкінці пояснювальної записки приводиться список літератури, який відображає обсяг використаних джерел інформації під час роботи над темою. Він має містити їхній бібліографічний опис.

Завершуючи виконання КР, необхідно систематизувати ілюстративний матеріал. Графічні матеріали подаються безпосередньо в пояснювальній записці. Оформлюється пояснювальна записка відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015. Основні положення документа приведені в розділі нижче.

3.2 Оформлення роботи

Загальні вимоги

Пояснювальну записку до КР друкують за допомогою комп'ютера на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 (210x297 мм). Можна також використати папір форматів від 203x288 до 210x297 мм. Обсяг основного тексту роботи має складати 20-25 сторінок за умови використання шрифту Times New Roman, кегль 14 пт з полуторним міжрядковим інтервалом.

Текст слід друкувати, залишаючи поля: ліве – 25 мм, праве – 15 мм, верхнє – 20 мм, нижнє – 20 мм. Шрифт друку повинен бути чітким, чорного кольору. Щільність тексту повинна бути однаковою.

Друкарські помилки, описки та графічні неточності, які виявилися в процесі написання роботи, можна виправляти підчищенням або зафарбуванням білою фарбою та нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого тексту (фрагмента рисунка). Допускається наявність не більше двох виправлень на одній сторінці.

Роздруковані програмні документи повинні мати формат А4 і розміщені в додатках. Текст основної частини пояснювальної записки поділяють на розділи згідно завданню (див. розділи 2 і 3). Заголовки структурних частин роботи «ЗМІСТ», «ВСТУП», заголовки основної частини «ВИСНОВКИ», «СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ», «ДОДАТКИ» друкують великими літерами симетрично до тексту.

Заголовки розділів нумерують у межах викладення суті звіту і позначають арабськими цифрами без крапки, починаючи з цифри «1». Кожний розділ роботи треба починати з нової сторінки. Такі структурні частини роботи, як зміст, висновки, список використаних джерел не мають порядкового номера. Не можна друкувати: «1 ВСТУП» або «6 ВИСНОВКИ».

Заголовки підрозділів основної частини друкують жирним шрифтом маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, та розділяють крапкою.

Підрозділи як складові частини розділу нумерують у межах кожного розділу окремо. Номер підрозділу складається з номера відповідного розділу та номера підрозділу, відокремлених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 тощо.

Заголовки пунктів (у разі потреби) друкують жирним шрифтом маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу в підбір до тексту. В кінці заголовка, надрукованого в підбір до тексту, ставиться крапка. Відстань між заголовком (за винятком заголовка пункту) та текстом повинна 8 пт.

Номер пункту складається з номера розділу та порядкового номера пункту, або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, які відокремлюють крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 або 1.1.1, 1.1.2 тощо.

До загального обсягу роботи не входять додатки, список використаних джерел, таблиці та рисунки, які повністю займають площу сторінки. Всі сторінки зазначених елементів роботи підлягають нумерації.

Нумерація

Нумерацію сторінок, рисунків, таблиць, формул подають арабськими цифрами без знака №. Сторінки нумеруються у правому верхньому куті без крапки в кінці. Першою сторінкою пояснювальної записки КР є титульний аркуш, але на відміну від інших сторінок номер на ньому не ставлять.

Рисунки

Усі графічні матеріали звіту (рисунки, графіки, схеми, рисунки, кресленки тощо) повинні мати однаковий підпис «Рисунок». Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього, або якнайближче до нього на наступній сторінці, а за потреби — в додатках.

Рисунки нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім рисунків у додатках: «Рисунок 1 — (Назва рисунка) », тобто перший рисунок. Якщо з тексту

звіту зрозуміло зміст рисунка, його назву можна не наводити. Дозволено рисунки нумерувати в межах кожного розділу. У цьому разі номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад, «Рисунок 3.2».

Таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) в межах основної частини. В правому верхньому куті над відповідним заголовком таблиці розміщують напис:

«Таблиця 1 — (Назва таблиці)».

Таблицю подають безпосередньо після тексту, у якому її згадано вперше, або на наступній сторінці. На кожену таблицю має бути посилання в тексті звіту із зазначенням її номера.

Формули та рівняння подають посередині сторінки симетрично тексту окремим рядком безпосередньо після тексту, у якому їх згадано.

Нумерують лише ті формули та/чи рівняння, на які є посилання в тексті звіту чи додатка. Номер формули чи рівняння друкують на їх рівні праворуч у крайньому положенні в круглих дужках, наприклад (3). У

Примітки до тексту і таблиць, в яких подають довідкові та пояснювальні дані, нумерують послідовно в межах однієї сторінки. Якщо приміток на одному аркуші декілька, то після слова «Примітки» ставлять двокрапку:

Примітки:

1. ...

2. ...

Якщо є одна примітка, то її не нумерують і після слова «Примітка» ставлять крапку.

4.6 Посилання на використані джерела та оформлення списку використаних джерел

Виконуючи курсову роботу, автор повинен давати посилання на джерела, матеріали або окремі результати, які наводяться. Посилатися треба на останні видання публікацій. На давніші видання можна посилатися лише в тих випадках, коли в них є матеріал, який не включено до останнього видання. Посилання на джерела в тексті роботи потрібно зазначати порядковим номером за

переліком посилань, виділених двома квадратними дужками, наприклад, «... у працях [1-7]...». Посилання на ілюстрації КР подають порядковим номером ілюстрації, наприклад, «рис. 1».

Посилання на формули роботи подають порядковим номером формули в дужках, наприклад, «...у формулі (2)».

На всі таблиці роботи повинні бути посилання в тексті. Слово «таблиця» в тексті пишуть скорочено, наприклад, «... в табл. 7». У повторних посиланнях на таблиці та ілюстрації треба подавати скорочено слово «дивись», наприклад, «див. табл. 7».

Оформлення списку використаних джерел

Список, який містить бібліографічні описи використаних джерел, розміщується після висновків. Його варто розміщувати так: у порядку появи посилань у тексті, в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, у хронологічному порядку.

Бібліографічний опис джерел складають відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи. Зокрема, потрібну інформацію можна одержати з таких стандартів: ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. «Бібліографічний запис, бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання», ДСТУ 3582-97 «Інформація та документація. Скорочення слів в українській мові в бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила».

Додатки

Додатки позначають послідовно великими літерами української абетки, крім літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, ДОДАТОК А, ДОДАТОК Б. Дозволено позначати додатки літерами латинської абетки, крім літер I та O.

Один додаток позначають як ДОДАТОК А.

4 ПОЯСНЕННЯ ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

4.1 Характеристики і параметри радіоприймального пристрою

Чутливість радіоприймача характеризує його здатність забезпечувати приймання корисного радіосигналу на тлі власних шумів за відсутності завад та відтворювати цей радіосигнал на виході із заданою якістю. Кількісно цей параметр визначається мінімальною необхідною потужністю (або ЕРС) сигналу в антені, яка дозволяє отримати номінальне значення напруги або потужності на виході приймача для заданих параметрів модуляції радіосигналу і відношення сигнал/шум. Розрізняють порогову та реальну чутливість.

Порогова чутливість приймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході за однакових рівнів корисного сигналу й власних шумів на його виході, тобто коли відношення сигнал/шум за потужністю на виході $P_S/P_N = 1$ (0 дБ).

Реальна чутливість радіоприймача визначається мінімальним рівнем радіосигналу на його вході, що забезпечує номінальну потужність корисного сигналу на виході та задане перевищення рівня потужності сигналу над рівнем шумів, тобто відношення сигнал/шум на виході має бути $P_S/P_N > 1$. Реальну чутливість приймача, обмежену його власними шумами, можна обчислити за формулою [2]

$$P_{S \min} = k_B T_0 B_N (T_A/T_0 + N - 1) \gamma_{\text{вих}}, \quad (1)$$

де $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (Дж/К) – стала Больцмана; T_0 (К) – абсолютна температура навколишнього середовища; T_A (К) – ефективна шумова температура антени; B_N (Гц) – ширина ефективної смуги шумів приймача; N – коефіцієнт шуму приймача; $\gamma_{\text{вих}}$ – потрібне відношення сигнал/шум на виході.

У НВЧ діапазоні ($f \geq 300$ МГц) відношення $T_A/T_0 \approx 1$ [2]. У такому разі реальна чутливість згідно з (1) визначається як

$$P_{S \min} = k_B T_0 B_N N \gamma_{\text{вих}}, \quad (2a)$$

а порогова чутливість (і поріг сприйнятливості) —

$$P_{S \min} = k_B T_0 B_N N. \quad (2б)$$

Динамічний діапазон $D_{ок}$ основного каналу приймання за відсутності радіозавад є мірою його лінійності і кількісно визначається як відношення максимальної амплітуди радіосигналу $E_{\max}(f_0)$ на вході приймача, при якій нелінійні спотворення $K_{нс}$ дорівнюють припустимому значенню, до його мінімальної амплітуди $E_{\min}(f_0)$, при якій $\gamma_{вих}$ — параметр сигнал/шум на виході — дорівнює заданому значенню [2].

Частотна вибірковість радіоприймача уможливує виокремлення корисного сигналу на тлі електромагнітних завад завдяки відмінностям у їхніх спектральних характеристиках. Графік односигнальної частотної вибірковості (рис. 1) характеризує здатність пристрою послаблювати дію завади залежно від значення відхилення її частоти Δf відносно частоти настроювання приймача (частоти сигналу) f_0 . На графіку по осі абсцис відкладають значення розстроювання (Δf), а по осі ординат — значення послаблення $S(\Delta f)$ у децибелах:

$$S(\Delta f) = 20 \lg [K(f_0)/K(\Delta f)], \quad (3)$$

де $K(f_0)$, $K(\Delta f)$ – коефіцієнт підсилення приймача відповідно на частоті f_0 настроювання та при розстроюванні на Δf .

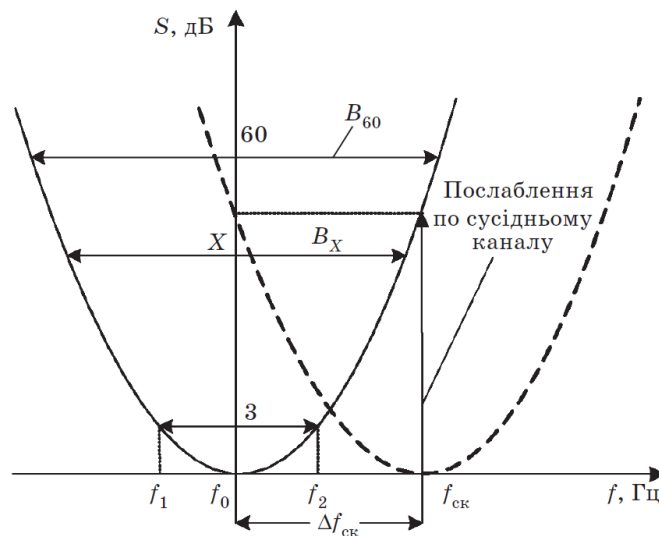


Рисунок 1 — Характеристика односигнальної частотної вибірковості приймача [2]

Смугу пропускання приймача по основному каналу B_3 обмежено двома частотами (f_1 і f_2 на рис. 1), на яких послаблення рівня сигналу дорівнює 3 дБ.

Ширину смуги пропускання B_3 зазвичай вибирають рівною необхідній ширині частот B_H з урахуванням припустимого відхилення частоти радіолінії $\Delta f_{рл}$ в обидва боки від призначеної частоти:

$$B_3 = B_H + 2\Delta f_{рл},$$

де частотне неузгодження

$$\Delta f_{рл} = \Delta f_T + \Delta f_R$$

залежить від нестабільності настроювання передавача (f_T) і приймача (f_R).

Ідеальна характеристика вибірконості, на відміну від зображеної на рис. 1, має бути прямокутною.

Коефіцієнт прямокутності K_X характеризує ступінь схожості реальної (див. рис. 1) та ідеальної характеристик вибірконості, що дорівнює відношенню ширини смуги частот B_X на рівні X дБ до ширини смуги пропускання B_3 на рівні 3 дБ:

$$K_X = B_X/B_3.$$

У реальних приймачах вибірконість вважається хорошою, якщо $K_{60} = 2 \dots 4$ і незадовільною, якщо $K_{60} > 8$ [2].

Побічним каналом приймання називається смуга частот, яка розташована поза межами смуги пропускання основного каналу і у якій сигнал завади може проходити на вихід радіоприймача.

Номінальні частоти побічних каналів мають фіксоване значення при настроюванні приймача на частоту сигналу f_0 (рис. 2).

Комбінаційні канали приймання (рис. 2, криві 4) на гармоніках гетеродина з частотами $2f_r \pm f_{пч}$, $3f_r \pm f_{пч}$ і т.п. мають середні частоти $f_{пк} = mf_r \pm f_{пч}$ при $p = 1$, $m = 2, 3, \dots$

Нелінійні побічні канали приймання утворюються на частотах, що дорівнюють $f_{пк} = (mf_r \pm pf_{пч})/2$ при p , $m = 2, 3, \dots$ у разі, коли рівень вхідного сигналу достатньо великий і цей сигнал зазнає нелінійного перетворення у змішувачі, унаслідок чого у змішувачі утворюються його гармоніки ($p > 1$). Наприклад, при взаємодії першої гармоніки гетеродина ($m = 1$) та другої гармоніки завадного сигналу ($p = 2$) утворюються побічні канали приймання

(див. рис. 2, криві 5) на субгармоніках частоти настроювання приймача $f_{пк} = (f_r - f_{пч})/2$ та частоти дзеркального каналу $f_{пк} = (f_r + f_{пч})/2$.

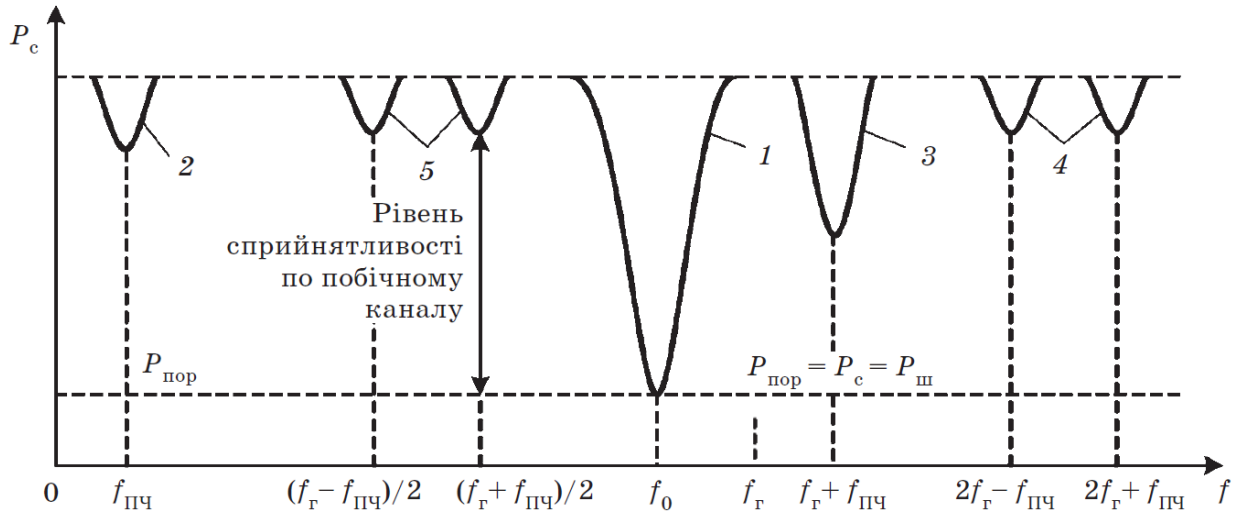


Рисунок 2 — Характеристика сприйнятливості до завад супергетеродинного приймача [2]: 1 — основний канал приймання на частоті настроювання $f_0 = f_r - f_{пч}$; 2 — побічний канал приймання на проміжній частоті $f_{пч}$; 3 — побічний канал приймання на дзеркальній частоті $f_r + f_{пч}$; 4 — побічні канали приймання на частотах $2f_r \pm f_{пч}$; 5 — побічні канали приймання на субгармоніках частоти настроювання приймача $(f_r - f_{пч})/2$ та дзеркальній частоті $(f_r + f_{пч})/2$

Взаємодія інших гармонік сигналу завади та гетеродину ($p, m = 2$) призводить до появи напівдзеркального каналу на частоті $f_{пк} = f_r + f_{пч}/2$. Необхідне послаблення завад по комбінаційних каналах для приймачів магістрального радіозв'язку 1-го, 2-го і 3-го класів якості має бути, відповідно, не менш, ніж 80, 66 і 60 дБ [2]. Чим вищий ступінь нелінійності процесу перетворення частоти у змішувачі приймача, тим більше утворюється гармонік і пов'язаних із ними побічних каналів приймання. Зі збільшенням номера p гармоніки сигналу її амплітуда, зазвичай, зменшується, і відповідно, послаблюється вплив пов'язаної з нею завади. Тому у практичних розрахунках обмежуються значеннями $p \leq 3$. Сприйнятливість по побічних каналах приймання виражають у децибелах відносно чутливості основного каналу (див. рис. 2).

Більш детально про параметри і характеристики приймальних пристроїв і методики їх розрахунку викладено в посібнику [2].

4.2 Основні питання ескізного проектування

Ескізне проектування приймального пристрою проводиться на основі узгодженого технічного завдання. У процесі його виконання необхідно визначити загальні параметри радіосистеми, вибрати та обґрунтувати структурну схему, оцінити параметри функціональних блоків. Цей етап передбачає вивчення літератури і нормативних документів за темою роботи, порівняння проєктованого приймального пристрою з відомими аналогами та перевірку відповідності його параметрів вимогам нормативних документів. На основі аналізу технічного завдання проводиться вибір відсутніх даних і дається обґрунтування зробленого вибору. Після чого вирішуються такі питання:

- вибирається спосіб обробки сигналу та тип структурної схеми;
- розраховується наскрізна смуга пропускання основного каналу;
- визначається необхідність поділу діапазону робочих частот приймального пристрою на піддіапазони, визначається їхня кількість;
- визначається склад трактів частоти сигналу, що приймається, першої проміжної частоти (при подвійному перетворенні частоти), основної проміжної частоти, низької частоти та інших трактів, виходячи із забезпечення необхідних характеристик приймача (чутливості, односигнальної та багатосигнальної вибіркової, підсилення тощо);
- вибирається число каскадів і тип частотно-вибіркових систем, добротності резонансних систем, а також визначаються структури перших каскадів преселектора та числа перетворень частоти;
- визначається смуга пропускання і коефіцієнт прямокутності АЧХ трактів приймача, виходячи з типів прийнятих сигналів, характеристик каналу зв'язку та вибраної структурної схеми;
- вибирається тип перетворювачів частоти і детектора, нелінійні елементи та режим їхньої роботи, а також допустимі рівні вхідних сигналів, що забезпечують необхідну лінійність перетворення і детектування;
- визначається загальний необхідний коефіцієнт підсилення приймача, розподіляється підсилення між його трактами, вибирається елементна база та схемотехнічні рішення підсилювальних каскадів;

- оцінюється динамічний діапазон приймача;
- вибирається схемотехніка каскадів приймача, які доцільно охопити регулюванням підсилення, регулюванням смуги, підстроювання частоти та іншими видами регулювань, вибирається принцип і визначається склад системи керування і контролю за роботою приймача.

4.3 Вибір типу структурної схеми

Структурна схема вибирається в залежності від типу приймального пристрою. Радіомовні приймачі зазвичай виконуються за схемою з однократним перетворенням частоти (рис. 3). Варіанти *а* і *б* відрізняються наявністю або відсутністю підсилювача радіочастоти (ПРЧ).

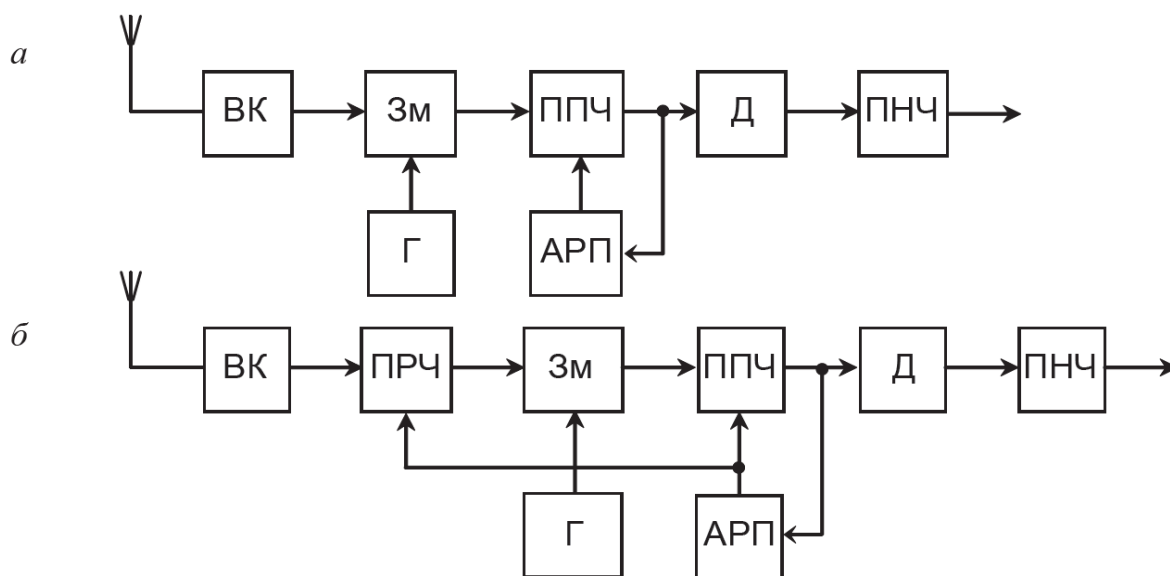


Рисунок 3 — Типові структурні схеми радіомовних приймачів:

ВК – вхідне коло, ПРЧ – підсилювач радіочастоти, Зм – змішувач, Г – гетеродин, ППЧ – підсилювач проміжної частоти, Д – детектор, ПНЧ – підсилювач низької частоти, АРП – система автоматичного регулювання підсилення

Чи варто його використовувати, визначається призначенням приймального пристрою: введення ПРЧ дозволяє покращити реальну чутливість та вибірковість по побічних каналах приймання, але може зменшити динамічний діапазон приймача через перевантаження змішувача. Для реалізації настрою-

вання частоти в супергетеродині достатньо змінювати тільки частоту гетеродину при широкосмуговому входному колі або частоту гетеродину і частоту налаштування ВК.

На рис. 4 наведена типова структурна схема ЧМ-приймача.

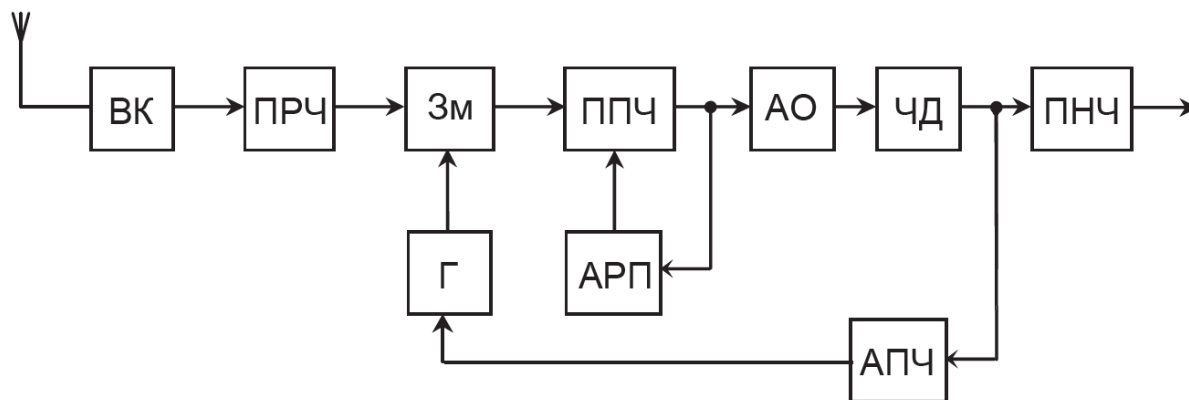


Рисунок 4 — Структурна схема ЧМ-приймача:

ВК – входне коло, ПРЧ – підсилювач радіочастоти, Зм – змішувач, Г – гетеродин,
ППЧ – підсилювач проміжної частоти, ЧД – частотний детектор, АО –
амплітудний обмежувач; АРП – система автоматичного регулювання підсилення;
АПЧ – автоматичне підстроювання частоти;
ПНЧ – підсилювач низької частоти

Професійні приймачі НВЧ діапазону зазвичай виконуються за супергетеродинною схемою з дворазовим перетворенням частоти (рис. 5).

Перша проміжна частота вибирається рівною 35-50 МГц, що дозволяє забезпечити високу вибірковість дзеркальним каналом (схема інфрадинного приймання). Основна селекція здійснюється вже в тракці першої ПЧ приймача, для чого використовуються або кварцові, або монолітні фільтри.

При виборі другої ПЧ звертають увагу на забезпечення вибірковості по сусідньому та другому дзеркальному каналу приймання. Друга ПЧ змінюється в межах від 01 до 16 МГц.

Проектування професійного приймача починають зі схеми одноразового перетворення частоти і переходять до схеми з дворазовим перетворенням у випадку, якщо неможливо виконати технічні вимоги.

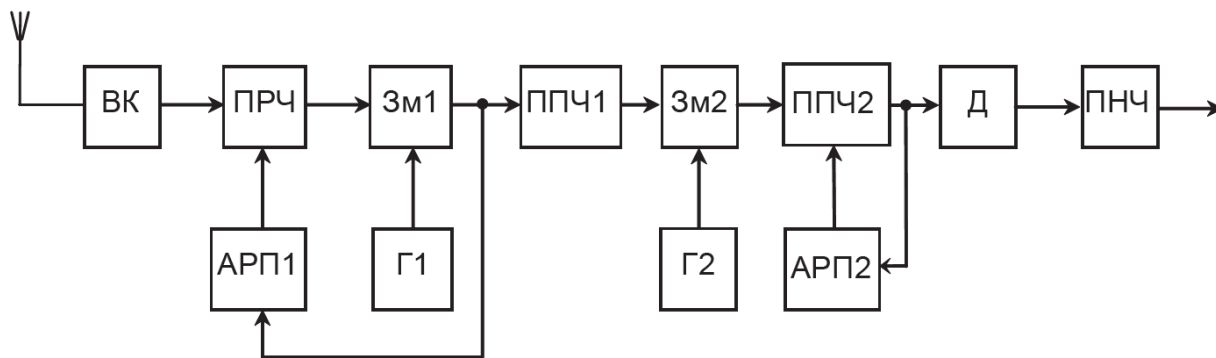


Рисунок 5 — Структурна схема приймача з подвійним перетворенням частоти:

ВК – вхідне коло, ПРЧ – підсилювач радіочастоти, Зм1,2 – змішувач,
 Г1,2 – гетеродин, ППЧ1,2 – підсилювач проміжної частоти, ЧД – частотний
 детектор; АРП1,2 – система автоматичного регулювання підсилення;
 ПНЧ – підсилювач низької частоти

Радіолокаційні приймачі зазвичай виконуються за супергетеродинною схемою з одноразовим перетворенням частоти (рис. 6).

Загальна для приймача і передавача антену підключається за допомогою антенного перемикача АП.

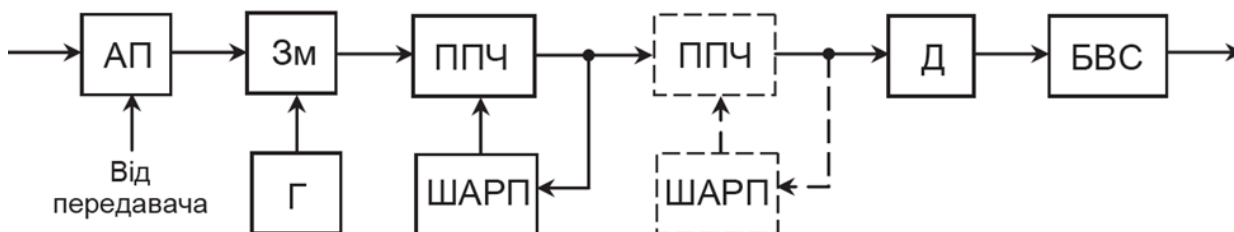


Рисунок 6 — Структурна схема радіолокаційного приймача:

АП – антенний перемикач, Зм – змішувач, Г – гетеродин,
 ППЧ – підсилювач проміжної частоти, Д – детектор; ШАРП – швидкодіюча
 система автоматичного регулювання підсилення; БВС – блок відеосигналів

Для підвищення чутливості приймача перед змішувачем може використовуватися малOSHумлячий ПРЧ. Кількість каскадів ППЧ і швидкодіюча система автоматичного регулювання підсилення (ШАРП) визначаються пізніше з урахуванням реалізованих стійкого підсилення ППЧ.

При виборі аналогового або способу цифрової обробки сигналів (ЦОС) у приймачі необхідно врахувати, що ЦОС слід застосовувати при складних алгоритмах роботи приймача, необхідності адаптації, запам'ятовування сигналу, при прагненні отримати високу точність оцінки параметрів сигналу. Аналоговий спосіб обробки сигналів у приймачі добре досліджений теоретично, практично не має частотної межі. Він особливо зручний при нескладних алгоритмах обробки сигналу, в тому числі при приманні цифрових даних.

Важливими для вибору типу структурної схеми також є вимоги до стабільності частоти налаштування, вимоги до рівня шумів гетеродина, складності регулювань, собівартості тощо.

Для приймача цифрових даних крім вибору структури лінійного тракту та способу обробки сигналу необхідно визначити структурну схему детектора (або обчислювального пристрою), що відповідає заданим у ТЗ параметрам сигналу. Зважаючи на велику різноманітність видів модуляції інформаційних сигналів та відповідних їм типів структурних схем вже на початковому етапі проектування рекомендується звернутися до додаткової літератури за зазначеною у завданні тематикою.

4.4 Розрахунок смуги приймального пристрою

Розрахунок наскрізної смуги пропускання приймача

Смуга пропускання лінійного тракту приймача Π визначається шириною спектра сигналів Δf_S , доплерівського зсуву частоти Δf_D та нестабільністю частотного настроювання вузлів приймально-передавального тракту Δf_H .

$$\Pi = \Delta f_S + g\Delta f_D + \Delta f_H, \quad (4)$$

$$\Delta f_D \approx \Delta f_{D\max} = (f_{\max} + \Delta f_S) \cdot (V_r/c),$$

де f_{\max} – максимальна несна частота сигналу; V_r – модуль максимальної радіальної швидкості наближення або віддалення передавача і приймача; c – швидкість світла; параметр $g = 2$ для радіолокаційних та $g = 1$ для інших рухомих приймачів. Смуга Δf_S визначається видом сигналу та характером модуляції. Приклади розрахунку смуги для найбільш поширених модульованих сигналів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 — Розрахунок ширини спектра сигналів

Вид модуляції	Розрахункова формула
Двосмугова амплітудна модуляція	$\Delta f_S = 2F_B$
Односмугова амплітудна модуляція	$\Delta f_S = F_B$
Частотна модуляція	$\Delta f_S = 2F_B(1 + \Psi + \sqrt{\Psi}),$ $\Psi = \Delta f_W / F_B$
ЧМ-стереомовлення	$\Delta f_S = 2(F_B + F_{\text{пн}})(1 + \Psi + \sqrt{\Psi}),$ $\Psi = \Delta f_W / (F_B + F_{\text{пн}})$
Телеграфний сигнал з амплітудною маніпуляцією	$\Delta f_S \approx (1 \dots 3)B$
Телеграфний сигнал з частотною маніпуляцією	$\Delta f_S \approx 2\Delta f_D + aB$
Телеграфний сигнал з фазовою маніпуляцією	$\Delta f_S \approx 1,5B$
Імпульсний сигнал	$\Delta f_S \approx 1/\tau_y$

Для амплітудної модуляції ширина спектра Δf_S визначається тільки значенням верхньої частоти модуляції F_B . Для частотної модуляції слід також враховувати індекс модуляції Ψ , рівний відношенню девіації частоти Δf_W та F_B . Для ЧМ стереомовлення комплексного сигналу з пілот-тоном значення частоти піднесної $F_{\text{пн}}$ вважається рівним 38 кГц, для сигналу з полярною модуляцією $F_{\text{пн}} = 31,25$ кГц при $\Delta f_W = 50$ кГц.

Для цифрових даних враховуються параметри: $a = (3 \dots 5)$ – число гармонік сигналу, що приймається; B – швидкість передавання інформації в бодах (біт/с). Приблизна оцінка смуги частот лінійного тракту для імпульсного сигналу радіолокаційних приймачів розраховується через його тривалість (в приймачах виявлення цілі), або через час вихідного імпульсу τ_y (у вимірювальних приймальних пристроях).

Сучасна професійна приймальна апаратура має високу частотну стабільність, що пов'язано із застосуванням синтезаторів частот. Тому для професійних приймачів нестабільність Δf_H можна не враховувати.

Для радіомовних приймачів, які не мають синтезатора частоти, нестабільності частоти окремих вузлів розраховується як середньоквадратичне:

$$\Delta f_{\text{н}} \approx 2\sqrt{(\Delta f_{\text{с}})^2 + (\Delta f_{\text{г}})^2 + (\Delta f_{\text{гн}})^2 + (\Delta f_{\text{ППЧ}})^2},$$

що пов'язано з випадковим характером абсолютної нестабільності частоти сигналу $\Delta f_{\text{с}}$ і гетеродина $\Delta f_{\text{г}}$, нестабільності настроювання частоти гетеродина $\Delta f_{\text{гн}} = (0,003 \dots 0,01)f_{\text{гмакс}}$, абсолютної похибки $\Delta f_{\text{ППЧ}} = (0,0003 \dots 0,003)f_{\text{п}}$ настроювання ППЧ на проміжну частоту $f_{\text{п}}$.

Зазвичай це призводить до розширення необхідної лінії лінійного тракту приймача на 10...20 %.

У діапазоні НВЧ для прийняття рішення про необхідність АПЧ бажано точніше оцінити величину $\Delta f_{\text{н}}$. При цьому слід врахувати, що транзисторний гетеродин без кварцової стабілізації має відносну нестабільність частоти в межах $10^{-3} \dots 10^{-4}$ в діапазоні частот вище 30 МГц. Застосування кварцової стабілізації дозволяє зменшити відносну нестабільність до $10^{-5} \dots 10^{-7}$.

Розширення смуги пропускання більше 10...20% потребує, як правило, використання системи АПЧ, тоді для звичайної АПЧ нестабільність зменшується в $K_{\text{АПЧ}} = 15 \dots 25$ разів:

$$\Pi = \Delta f_{\text{с}} + (g\Delta f_{\text{д}} + \Delta f_{\text{н}})/K_{\text{АПЧ}}.$$

Якщо використовувати фазову систему АПЧ, то коефіцієнт потроювання частоти $K_{\text{АПЧ}} \rightarrow \infty$, тоді $\Pi \approx \Delta f_{\text{с}}$.

Визначення кількості піддіапазонів

Для того, щоб радіопристрій міг приймати сигнали у широкому діапазоні частот і в той же час послабити вплив завад на дзеркальному та інших побічних каналах, він повинен мати резонансну систему ВК, яку можна змінювати, щоб настроюватись на певні частоти.

Поділ загального діапазону на піддіапазони виконується в області коротких хвиль. Щоб дізнатися, чи варто розбивати діапазон приймача на піддіапазони потрібно розрахувати коефіцієнт перекриття діапазону:

$$K_n = f_{\text{макс}}/f_{\text{мін}},$$

де $f_{\text{макс}}$ і $f_{\text{мін}}$ – максимальна та мінімальна частота діапазону, заданого у ТЗ.

Розбивка на піддіапазони проводиться, якщо $K_n > 3$. У радіомовних приймачах вона частіше реалізується методом однакових коефіцієнтів перекриття, у професійних — методом рівних частотних інтервалів.

Далі визначається число піддіапазонів, їх межі та коефіцієнти перекриття. Кожен піддіапазон може бути сформований за допомогою смугового фільтра, що налаштовується або не налаштовується.

4.5 Вибір структури преселектора і числа перетворень частоти

Визначення структури преселектора

Преселектор супергетеродинного приймача забезпечує задану вибірковість по побічних каналах приймання, в першу чергу по дзеркальному каналу і каналу прямого проходження. Найбільш небезпечними побічними каналами супергетеродинного приймача вважаються:

- дзеркальний канал на частоті

$$f_{дз} = f_s \pm 2f_{пч}, \quad (5)$$

де f_s – частота сигналу; $f_{пч}$ – проміжна частота; знак плюс або мінус ставиться залежно від верхнього або нижнього налаштування гетеродину;

- побічний канал на проміжній частоті $f_{пч}$;
- і побічний канал, частота якого визначається як

$$f_{пк} = f_s \pm \frac{1}{2}f_{пч}. \quad (6)$$

Під вибірковістю розуміють співвідношення коефіцієнтів передачі основного та побічного каналів. На рис. 7 наведені найбільш уживані схеми преселекторів. Найпростіший преселектор складається з однорезонаторного вхідного кола, який відіграє роль фільтра (див. рис. 7а). Вибірковість S такого кола (у відносних одиницях) визначається за формулою

$$S_{ор} = \sqrt{1 + Q_e^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}.$$

де f_0 – частота налаштування преселектора; f – частота побічного каналу приймання; Q_e – еквівалентна (навантажена) добротність резонатора.

У випадку n незв'язаних резонаторів маємо

$$S_n = S_{\text{ор}}^n,$$

На рис. 7б наведена структура преселектора з двома ($n = 2$) резонаторами, один розташований на виході ПРЧ.

Для системи з двох резонаторів з критичним зв'язком (рис. 7в) —

$$S_{\text{pp}} = \frac{1}{2} \sqrt{4 + Q_e^4 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^4},$$

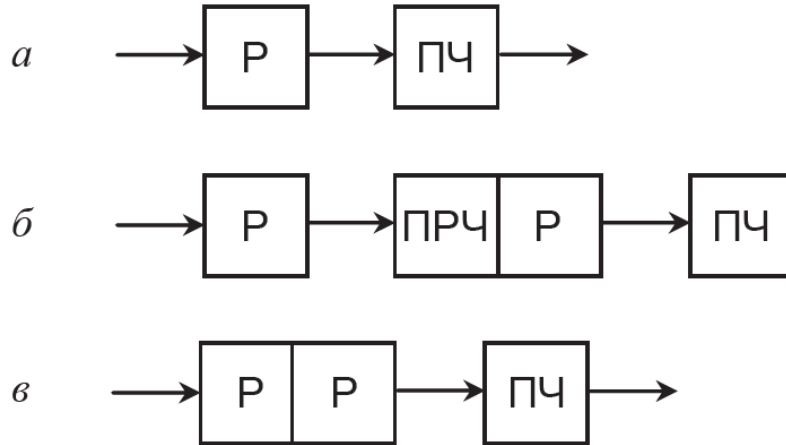


Рисунок 7 — Типові схеми преселекторів:

Р – резонатор; РР – система двох зв'язаних резонаторів; ПРЧ і ПЧ – активні елементи підсилювача радіочастоти і перетворювача частоти

Визначення проміжної частоти

На частотах до 300 МГц добротність $Q_e = 50 - 200$. Орієнтуючись на середнє значення $Q_{e \text{ ср}} = 100$ і преселектор, що містить n резонаторів (коливальних контурів), можна оцінити мінімальне значення проміжної частоти $f_{\text{ПЧ}}$ одноразового перетворення, що забезпечує вибірковість по дзеркальному каналу ($S_{\text{дз}}$), використовуючи таку методику. Після чого розраховується параметр a за умови вибору n резонаторів:

$$a = \frac{\sqrt{(S_{\text{дз}}^n)^2 - 1}}{Q_{e \text{ ср}}}.$$

Далі визначається нижня межа проміжної частоти за формулою

$$f_{\text{ПЧ min}} = \frac{f_{S \text{ max}}}{2} \left[\frac{a-2}{2} + \sqrt{\left(\frac{a-2}{2} \right)^2 + a} \right].$$

Значення проміжної частоти вибирається з ряду стандартних частот за правилом $f_{\text{ПЧ}} \geq f_{\text{ПЧ min}}$. Розрахунок починають з $n = 1$ (див. рис. 7а). Якщо результат незадовільний, кількість резонаторів (коливальних контурів) збільшують, використовуючи схеми, наведені на рис. 7б і в. Якщо n виходить дуже великим або проміжна частота занадто висока, то слід переходити до дворазового перетворення частоти. При цьому перша проміжна частоти вибирається за співвідношенням $f_{\text{ПЧ}} \geq f_{\text{ПЧ min}}$, а друга — з ряду стандартних частот (для АМ-сигналу зазвичай 465 або 455 кГц, а для ЧМ-сигналів — 10,7 МГц).

Після вибору значення проміжної частоти і схеми преселектора оцінюють вибірковість по дзеркальному (при дворазовому перетворенні ще й по другому дзеркальному) каналу і по каналу прямого проходження. Значення вибірковості виражають в децибелах.

Для частот, більших 300 МГц (НВЧ діапазон) після вибору схеми преселектора (рис. 7) переходять до розрахунку класу фільтрів НВЧ (і кількості резонаторів у їх складі) та вибору проміжної частоти, якщо вона не задана в завданні. Як і у попередньому випадку при виборі величини $f_{\text{ПЧ}}$ супергетеродинного приймача керуються таким правилом:

- чим менше значення $f_{\text{ПЧ}}$, тим легше забезпечити вибірковість по сусідньому каналу $S_{\text{ск}}$ і отримати стійке підсилення однокаскадного ППЧ;
- чим вища проміжна частота, тим краще вибірковість по побічних каналах приймання, зокрема, по дзеркальному каналу.

Ці принципи суперечливі, тому потрібно шукати компромісне рішення. Для помірних вимогах щодо вибірковості по сусідньому і дзеркальному каналах приймання для професійних приймачів НВЧ проміжну частоту доцільно вибирати в діапазоні:

$$f_{\text{ПЧ}} = 20 \dots 100 \text{ (МГц)}.$$

Цей частотний діапазон забезпечений підсилювальними елементами (транзисторами і мікросхемами), а розробка і виготовлення фільтрів з високою вибірковістю не є складною.

Необхідно пам'ятати, якщо проміжна частота вибрана близько до нижньої межі діапазону (20 МГц), то це спрощує схему фільтра проміжної частоти

(ФПЧ), а якщо проміжна частота вибрана близько верхньої межі (100 МГц), то це зменшує кількість ланок (порядок) фільтра НВЧ на вході приймача.

При високих вимогах щодо вибірковості $S_{дз}$ і $S_{ск}$ необхідне, як і раніше застосування подвійного перетворення частоти.

Вибір фільтра НВЧ преселектора

Після вибору проміжної частоти, у випадку застосування НВЧ фільтрів потрібно визначити тип полінома, що апроксимує АЧХ фільтрів преселектора: Чебишева або Баттерворта. Для цього треба звернути увагу на те, що фільтри Чебишева мають більшу крутизну характеристики загасання, ніж фільтри Баттерворта, проте останні вносять менше фазових спотворень. Порядок фільтра (кількість резонаторів) визначається із графіків рис. 8: для баттервортівських (а) та для чебишевських (б) фільтрів.

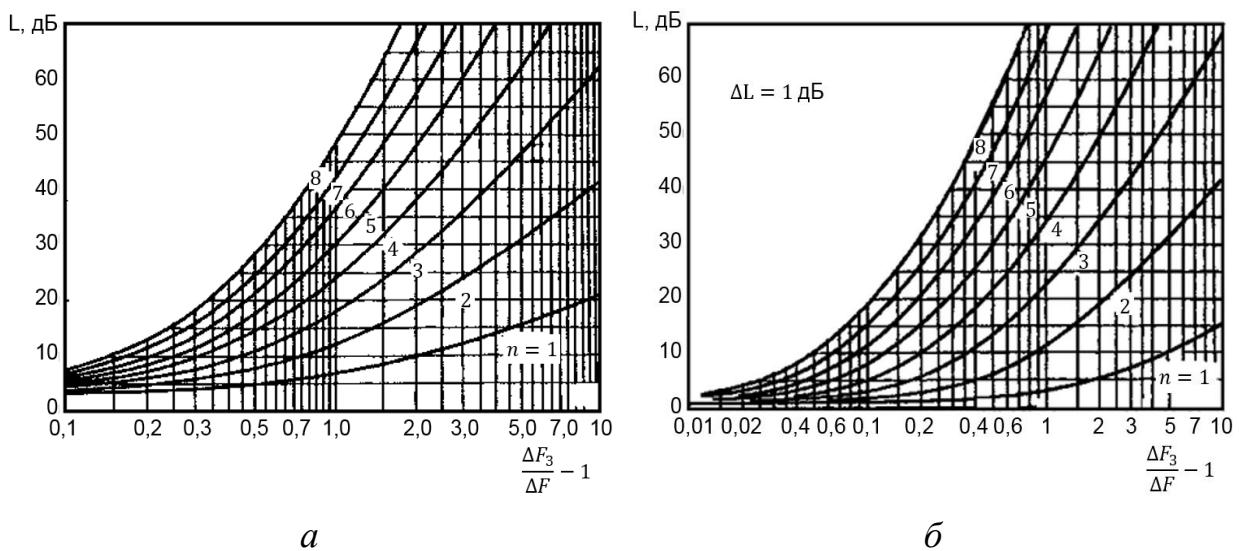


Рисунок 8 — Характеристики фільтрів Баттерворта (а) і Чебишева (б)

На рис. 8 позначено: ΔF – смуга пропускання фільтра на рівні 0,7 від максимуму; ΔF_3 – смуга загородження фільтра при заданому ослабленні; n – порядок фільтра, що дорівнює числу елементів у фільтрі-прототипі або кількості резонаторів НВЧ фільтра; L – задане ослаблення поза смугою фільтра; ΔL – пульсації у смузі пропускання для фільтра Чебишева.

Серед завад, що поширюються через побічні канали найбільш небезпечною є завада по дзеркальному каналу приймання. Тому вважатиме, що смуга загородження фільтрів преселектора визначається саме його частотою (5).

Наприклад, якщо приймач налаштований на частоту f_S , а проміжна частота дорівнює $f_{ПЧ}$, то частоти дзеркального каналу визначаються як $f_{дз} = f_S \pm 2f_{ПЧ}$, і внаслідок симетрії характеристики загасання смуга загородження дорівнює

$$\Delta F_3 = 4f_{ПЧ}.$$

Смуга пропускання фільтрів преселектора береться в кілька разів більшої смуги пропускання приймача, розрахованої за формулою (4).

Порядок фільтра n визначається за графіками рис. 8 (*a* або *b* — в залежності від типу АЧХ) для заданого придушення завад дзеркального каналу.

Якщо преселектор приймача складається з вхідного кола та ПРЧ (тобто підсилювача НВЧ), то доцільно задану вибіркковість за дзеркальним каналом поділити порівну між вхідним колом та підсилювачем.

Визначення вибіркової системи тракту проміжної частоти

Вибіркова система (сукупність пристроїв та елементів тракту) проміжної частоти визначає його смугу пропускання і вибіркковість по сусідньому каналу.

Відносно помірні вимоги щодо вибіркковості радіомовних приймачів зазвичай задовольняються при одноразовому перетворенні частоти.

У разі АМ-сигналу проміжну частоту вибирають з такого ряду: 110, 450, 465, 455, 500, 930 кГц або 1,6 МГц. Найбільш поширені частоти 465 і 455 кГц.

Стандартною проміжною частотою ЧМ-приймачів є частота 10,7 МГц.

Одночасно з вибором проміжної частоти вибирається і спосіб забезпечення заданої вибіркковості. Використовується або розподілена по каскадах селекція, або ставиться фільтр зосередженої селекції (ФЗС), найчастіше відразу після змішувача. Якщо вибрана зосереджена селекція, то використовуються слабо вибірккові або навіть аперіодичні каскади ППЧ. У сучасних приймачах рекомендується застосування ФЗС. При розрахунку професійних приймачів переважно потрібно застосування дворазового перетворення частоти. Для приймачів магістрального зв'язку рекомендується інфрадинна схема. Перша проміжна частота вибирається вище максимальної частоти сигналу.

Друга проміжна частота вибирається зі стандартного ряду (див. вище). Використовуються вже описані засоби вибірковості. Основне підсилення приймача забезпечується в тракці другої ПЧ за допомогою ППЧ-2. Перевіряється вибірковість по сусідньому і другому дзеркальному каналах приймання.

Тракці проміжної частоти радіолокаційних приймачів будуються як на основі розподіленої, так і на основі зосередженої селекції. У разі розподіленої селекції для розширення смуги пропускання ППЧ використовують частотно розладжені двійки або трійки каскадів, а також змішану схему. Як ФЗС застосовують *LC*-фільтри, п'єзокерамічні та кварцові фільтри, а також інтегральні фільтри на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ).

Вибір перших каскадів радіоприймача та структури преселектора з врахуванням допустимого коефіцієнта шуму

Чутливість приймального пристрою значною мірою залежить від перших його каскадів. Задля її збільшення після ВК, розташовують, як правило, один каскад ПРЧ. Реальна чутливість приймача визначається його коефіцієнтом шуму N . За відсутності ПРЧ він визначається за формулою

$$N = \frac{1}{K_{p\text{ ВК}}} \left(N_{3\text{М}} + \frac{N_{\text{ППЧ}} - 1}{K_{p\text{ 3М}}} \right),$$

а за його наявності

$$N = \frac{1}{K_{p\text{ ВК}}} \left(N_{\text{ПРЧ}} + \frac{N_{3\text{М}} - 1}{K_{p\text{ ПРЧ}}} \right),$$

де $K_{p\text{ ВК}}$, $K_{p\text{ ПРЧ}}$ і $K_{p\text{ 3М}}$ – коефіцієнти передачі, відповідно, вхідного кола, підсилювача радіочастоти і змішувача, а $N_{\text{ПРЧ}}$ та $N_{\text{ППЧ}}$ – коефіцієнти шуму підсилювачів радіочастоти і проміжної частоти.

Враховуючи, що коефіцієнт шуму підсилювача $N_{\text{ПРЧ}} \approx 2N_{\text{Тр}}$, а перетворювача частоти $N_{3\text{М}} \approx 4N_{\text{Тр}}$, де $N_{\text{Тр}}$ – паспортне значення коефіцієнта шуму транзистора (використовується безрозмірна величина), розрахуємо значення коефіцієнта шуму приймача без ПРЧ та з ПРЧ. Ця величина порівнюється з допустимим коефіцієнтом шуму, що забезпечує необхідну чутливість E_A (або P_A для радіолокаційних та інших приймачів сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль):

$$N_{\text{доп}} = \frac{E_A^2}{4kT_0\Pi_N R_A \gamma};$$

$$N_{\text{доп}} = \frac{P_A}{kT_0\Pi_N \gamma}.$$

де значення E_A – ЕРС сигналу антени, В; P_A – потужність сигналу антени, Вт; $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц; $\Pi_N = 1,1\Pi$ – шумова смуга, а Π – смуга робочих частот приймача; γ – допустиме відношення потужності сигналу до потужності шуму на виході лінійного тракту приймача (тобто до демодулятора), R_A – активний опір антени, Ом.

При визначенні відношення сигнал/шум (γ) на вході демодулятора (виході лінійного тракту) необхідно враховувати кілька факторів. Насамперед на виході приймачів різних типів для роботи кінцевого пристрою потрібно різне відношення сигнал/шум: для професійного приймача зв'язку — 10 дБ, для радіомовного АМ-приймача — близько 20 дБ, для радіомовного ЧМ-приймача — 26 дБ. Крім того, при демодуляції відношення сигнал/шум може суттєво змінюватися: при амплітудній модуляції ($m = 0,3$) воно погіршується, при широкосмуговій частотній ($\psi > 1$) — навпаки, покращується. Нарешті, чутливість може оцінюватися як за відсутності зовнішніх завад, так і за їх наявності.

Орієнтовно, оцінюючи порядок величини γ , можна вважати, що у разі частотної модуляції достатньо забезпечити роботу частотного детектора у надпороговій ділянці та приймати $\gamma = 10$ дБ. Для професійних приймачів АМ-сигналів потрібно $\gamma = 20$ дБ, а для радіомовних приймачів $\gamma = 30$ дБ. Для радіолокаційних приймачів забезпечують $\gamma = 10$ дБ, а для приймачів цифрових сигналів для припустимої ймовірності помилки не гірше 10^{-6} можна взяти $\gamma \geq 5$ для ФМн, $\gamma \geq 7$ для ЧМн, $\gamma \geq 9$ для АМн.

Рішення про необхідність застосування ПРЧ приймається на основі вимоги

$$N \leq N_{\text{доп}}.$$

Проте, якщо висуваються жорсткі вимоги щодо придушення дзеркального каналу ($S_{\text{дз}}$), допускається застосування ПРЧ і в тому випадку, коли для досягнення заданої чутливості він не є необхідним.

Опір антени, зазвичай, вважають рівним $R_A = 75\text{-}300$ Ом.

4.6 Розподіл підсилення між трактами радіоприймача

Загальне підсилення тракту приймального пристрою до детектора визначається, по-перше, необхідною напругою на вході детектора, а по-друге — заданою чутливістю. Зазвичай воно приймається з 2- або 3-кратним запасом:

$$K_0 = (2 \dots 3) \frac{U_{\text{вх дет}}}{\sqrt{2}E_A}$$

У приймачах радіосигналів на вході детектора треба забезпечити:

- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,3 \dots 0,5$ В для лінійного амплітудного детектора на германієвих діодах;
- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,8 \dots 1,5$ В для лінійного амплітудного детектора на кремнієвих діодах;
- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,02 \dots 0,05$ В для транзисторного детектора;
- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,1 \dots 0,2$ В для частотних детекторів з ненастроєними контурами, зі зв'язаними контурами, а також для дробових детекторів;
- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,3 \dots 0,5$ В для діодного балансного фазового детектора;
- $U_{\text{вх дет}} \geq 0,005 \dots 0,01$ В для частотно-фазового та фазового детекторів на мікросхемі помножувача.

Лінійність роботи змішувача за вхідним сигналом зазвичай забезпечується до напруги на вході $U_{\text{вх ЗМ}} \leq 100 \dots 200$ мкВ. Коефіцієнт передачі преселектора, отже, має дорівнювати:

$$K_{\text{Пр}} = K_{\text{ВК}} K_{\text{ПрЧ}} = (1,5 \dots 2) \frac{U_{\text{вх ЗМ}}}{\sqrt{2}E_A}$$

Коефіцієнт передачі транзисторного змішувача зазвичай має величину порядку 4...6. Решта підсилення досягається за рахунок ППЧ:

$$K_{\text{ППЧ}} = \frac{K_0}{K_{\text{ВК}} K_{\text{ПрЧ}} K_{\text{ЗМ}}}$$

У будь-якому приймачі від правильності розподілу підсилення сигналу між каскадами безпосередньо залежать його основні технічні характеристики: чутливість, динамічний діапазон і лінійність тракту приймання. Крім питань реалізації заданого підсилення і лінійності тракту приймача вирішуються питання зменшення коефіцієнта шуму. Чим далі каскад віддалений від входу і чим більше підсилення за потужністю попередніх каскадів, тим менше він

впливає на сумарний коефіцієнт шуму. Вимоги щодо чутливості приймача та лінійності його тракту є суперечливими, тому вибирається компромісний варіант. Одночасно вирішуються питання регулювання підсилення у певних каскадах тракту для забезпечення заданого динамічного діапазону основним і сусіднім каналами приймання.

У процесі проектування доцільно мати діаграму рівнів сигналів та шумів на вході та виході каскадів приймача. Вона будується у логарифмічному масштабі, причому підсилення чи ослаблення каскадів надається у децибелах. Наприклад: преселектор приймача дає ослаблення 2 дБ, ПРЧ — підсилення 20 дБ, — підсилення 10 дБ, ФЗС — ослаблення 6 дБ і так далі. Приклад такої діаграми для схеми професійного приймача наведено на рис. 9.

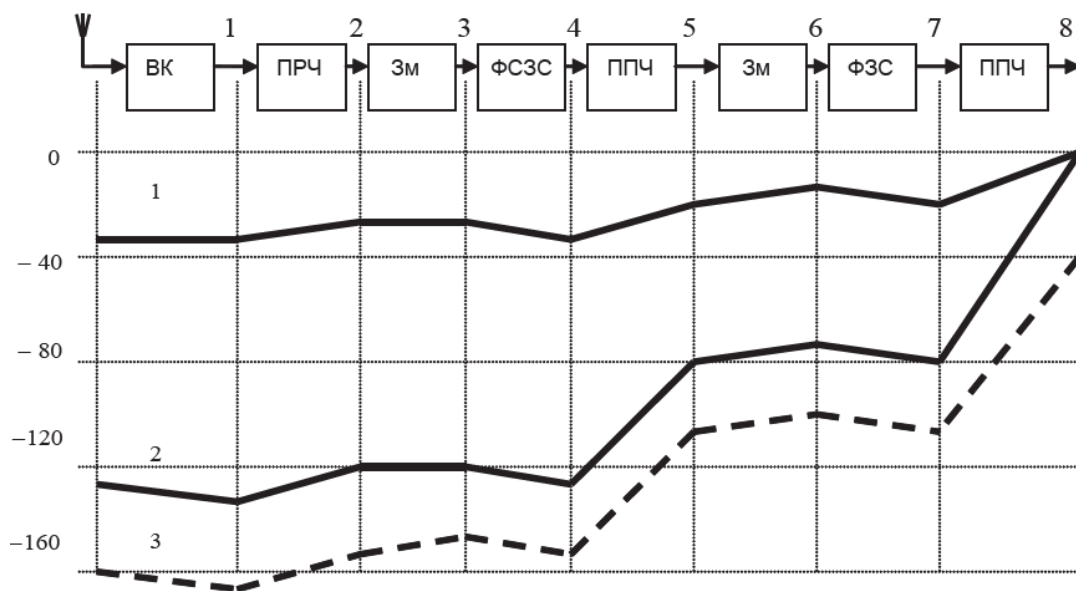


Рисунок 9 — Діаграма рівнів сигналу та шуму в тракті радіоприймача:
 1 – сигнал при максимальній входній потужності; 2 – сигнал при мінімальній
 входній потужності; 3 – рівень шуму

При побудові діаграми рівнів задаються потужністю сигналу на вході приймача (на рис. 9 задана вихідна потужність другого ППЧ, що необхідна для нормального детектування сигналу: $P_S(\text{дБм}) = 10 \lg P_S(\text{мВт}) = 0 \text{ дБм}$) і потужністю сигналу на вході приймача, що відповідає його чутливості $P_A = kT\Pi\gamma$, вираженої також у дБм.

Ці дві точки з'єднують ламаною лінією, ординати кінців кожного відрізка якої вказують абсолютний рівень потужності на вході та виході каскаду, а їхня різниця — підсилення або ослаблення у каскаді. Замість побудови діаграми можна вказати значення сигналів у контрольних точках.

Потужність шуму на виході кожного каскаду розраховується шляхом послідовного застосування формули

$$P_{N_{\text{вих}}} = (P_{N_{\text{вх}}} + P_{N_{\text{вл вх}}})K_p,$$

де $P_{N_{\text{вх}}}$ — потужність шумів, що надходять від попереднього каскаду;

$P_{N_{\text{вл вх}}}$ — потужність власних шумів каскаду, перерахованих до його входу;

K_p — коефіцієнт передачі номінальної потужності каскаду.

Розрахунок починається з ПРЧ, для якого

$$P_{N_{\text{вх}}} = kT_0\Pi, \quad P_{N_{\text{вл вх}}} = kT_0\Pi(N_{\text{ПРЧ}} - 1).$$

Строго кажучи, шуми кожного каскаду мають розраховуватись відповідно до його смуги пропускання. Наприклад, потужність шуму після ФЗС падає, оскільки зменшується смуга пропускання (рис. 9). Допустимо робити всі розрахунки за визначеною раніше смугою пропускання. Проте слід зазначити, що у цьому випадку графік розподілу шумів має умовний характер.

4.7 Оцінка динамічного діапазону

Динамічний діапазон приймального пристрою обмежений знизу його шумами, зверху — межею лінійної частини характеристик його каскадів. Оціночний розрахунок динамічного діапазону потребує аналізу нелінійності характеристик каскадів, які залежать від схеми каскаду, типу активного приладу, режиму роботи тощо. Оцінку динамічного діапазону рекомендується робити за спрощеною методикою. Амплітудну характеристику будь-якого підсилювача або змішувача можна апроксимувати рядом

$$P_{\text{вих}} = K_1 P_{\text{вх}} + K_2 P_{\text{вх}}^2 + K_3 P_{\text{вх}}^3 + \dots,$$

де коефіцієнти K_2, K_3, \dots характеризують властивість каскаду спотворювати сигнал. За наявності на вході підсилювача або змішувача двох сигналів (наприклад, корисного сигналу з частотою f_1 і завади з частотою f_2 , близької до

f_1) на виході, крім сигналів f_1 і f_2 , утворюються гармоніки цих сигналів, комбінаційні частоти та постійна складова. Їхній рівень безпосередньо пов'язаний з нелінійністю підсилювачів і змішувачів. Принципово нелінійними є також варикапи, комутуючі діоди та інші елементи, що використовуються в сигнальних колах. Оцінка нелінійності зазвичай провадиться двосигнальним методом.

Динамічний діапазон D — це виражене в децибелах відношення рівня двох рівнів за величиною вхідних сигналів до рівня створюваної ними комбінаційної перешкоди за умови рівності рівня власних шумів приймача. Розрахункова формула має вигляд

$$D = \frac{2}{3}(A_{\text{вх}} - P_{N \text{ вх}}), \quad (7)$$

де $A_{\text{вх}}$ — рівень корисного сигналу на вході, при якому на виході рівень комбінаційної складової третього порядку ($2f_1 - f_2$) дорівнює рівню корисного сигналу на лінійному продовженні амплітудної характеристики (див. рис. 10).

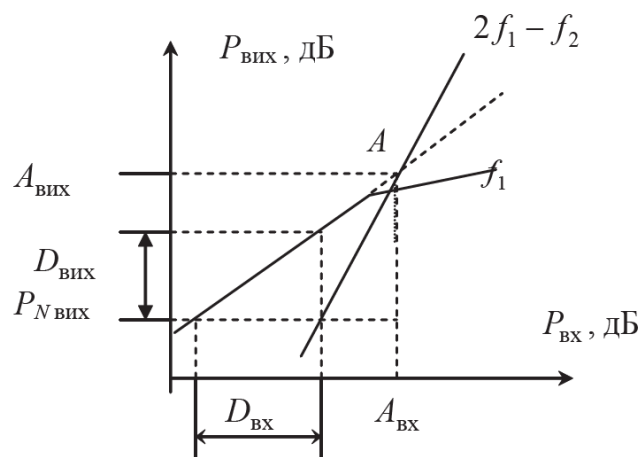


Рисунок 10 — Графік залежності вихідної потужності корисного сигналу і комбінаційної складової третього порядку від рівня корисного сигналу при двосигнальному методі дослідження

На рис. 10 наведено графіки залежності вихідної потужності сигналів з частотами f_1 і $(2f_1 - f_2)$ від їхньої потужності на вході. При перевищенні певного рівня вхідних сигналів лінійне зростання вихідних сигналів уповільню-

ється. Якщо продовжити лінійну частину графіка корисного сигналу (пунктирна лінія), то точці перетину A вихідний рівень корисного сигналу дорівнюватиме рівню складової третього порядку.

Координати точки A характеризують лінійні властивості каскаду, причому значення $A_{\text{ВХ}}$ на осі абсцис відповідає вхідному рівню сигналів, а $A_{\text{ВИХ}}$ на осі ординат — вихідному.

В активних колах значення $A_{\text{ВИХ}}$ (дБм) більше $A_{\text{ВХ}}$ на коефіцієнт підсилення каскаду G , виражений у децибелах

$$A_{\text{ВИХ}}(\text{дБм}) = A_{\text{ВХ}}(\text{дБм}) + G(\text{дБ}).$$

У пасивних колах, наприклад, у діодних змішувачах, значення $A_{\text{ВИХ}}$ менше $A_{\text{ВХ}}$ на величину втрат у змішувачі.

Знаючи положення точки A на графіку, можна розрахувати рівень коливань комбінаційної частоти за будь-яких вхідних сигналів: якщо каскад працює при рівні вихідного сигналу на X дБ нижче значення $A_{\text{ВИХ}}$, то рівень комбінаційних частот третього порядку буде на $3X$ дБ нижче значення $A_{\text{ВИХ}}$.

Припустимо, $A_{\text{ВИХ}} = +30$ дБм і $P_{\text{ВИХ}} = -10$ дБм.

Тоді $X = P_{\text{ВИХ}} - A_{\text{ВИХ}} = -40$ дБ, і рівень комбінаційних частот третього порядку буде на $3 \cdot 40 = 120$ дБ нижче значення $A_{\text{ВИХ}}$.

Для зменшення рівня комбінаційних спотворень слід знижувати рівні вхідних сигналів. Однак це припустимо лише доти, поки комбінаційні коливання перевищують рівень власних шумів приймача. Динамічний діапазон кращих сучасних приймачів сягає 100...120 дБ, що дозволяє приймати корисний сигнал при завадах, що перевищують його в $10^5 \dots 10^6$ разів.

Оцінка динамічного діапазону робиться таким чином. Визначається потужність шуму, що перерахована до входу приймача:

$$P_{\text{N ВХ}} = -174 (\text{дБм}) + 10\lg\Pi + 10\lg N,$$

де Π – відношення смуги пропускання приймача до смуги 1 Гц;

N – безрозмірний коефіцієнт шуму.

Далі з табл. 3 вибирається значення $A_{\text{ВИХ}}$, що відповідає типу каскаду, і розраховується $A_{\text{ВХ}}$.

$$A_{\text{ВХ}} = A_{\text{ВИХ}} - G,$$

де $A_{вх}$ і $A_{вих}$ мають розмірність дБм, а G (коефіцієнт передачі каскаду з потужності) — дБ.

Після цього користуються розрахунковою формулою (7) для D .

Таблиця 3 — Значення параметра $A_{вих}$

№	Тип пристрою	$A_{вих}$, дБм
1	ПРЧ на транзисторі	5-10
2	Змішувач на транзисторі	0-5
3	Змішувач на двозатворному польовому транзисторі	18-20
4	Кільцевий змішувач на діодах	15-20
5	Балансний змішувач на польових транзисторах в пасивному режимі	40

4.8 Вибір систем регулювань приймача

При ескізному проектуванні передбачається вибір система регулювань, що забезпечує:

- підтримку точного налаштування приймача на частоту сигналу;
- підтримку заданого рівня сигналу на вході детектора.

Автоматичне підстроювання частоти гетеродина дозволяє зменшити до допустимої величини необхідну смугу пропускання ППЧ приймача, якщо абсолютне значення нестабільності настроювання частоти велике.

Система АРП використовується для розширення динамічного діапазону основного каналу приймача, а також як коректор мультиплікативної завади. Якщо заданий діапазон вхідних сигналів дорівнює A дБ, а зміна напруги на виході допускається в межах B дБ, то необхідна зміна коефіцієнта підсилення приймача дорівнюватиме $(A - B)$ дБ. Регулювання режиму роботи дозволяє змінювати коефіцієнт підсилення одного транзисторного каскаду на 20-26 дБ. Максимальний рівень вхідної напруги такого каскаду обмежений значенням

$$U_{вх} \leq 40\sqrt{\nu/m},$$

де $U_{вх}$ — амплітуда вхідного сигналу в мілівольтах, ν — допустимий для даного каскаду коефіцієнт нелінійних спотворень при коефіцієнті модуляції m .

Зазвичай $U_{\text{вх}} \leq 10\text{-}15$ мВ.

Вважаючи, що регульованими каскадами в радіоприймачі є ідентичні ППЧ, необхідну кількість каскадів визначають за формулою

$$n_{\text{АРП}} = \frac{(A-B)}{(20 \div 26)\text{дБ}}$$

з округленням до найближчого більшого цілого числа.

З метою забезпечення хороших характеристик реальної вибіркової, чутливості та лінійності перетворення небажано регулювати посилення у першому каскаді ПРЧ і змішувачах. За потреби на ПРЧ створюється окреме коло АРП, керувальна напруга якого створюється сигналом, який ще не пройшов ФЗС. Це дозволяє знижувати підсилення ПРЧ при дії потужних позасмугових завад, що сприяє зменшенню перехресних та інтермодуляційних спотворень, тобто розширенню динамічного діапазону приймача.

У сучасних радіоприймальних пристроях проблему регулювання підсилення вирішують шляхом використання керованих атенуаторів на діодах або варикапах між каскадами. Перспективним є метод регулювання зміною глибини негативного зворотного зв'язку підсилювачів. Метод має позитивну рису, оскільки введення зворотного зв'язку покращує лінійність підсилювача.

Вибір тракту підсилення низької частоти

Для професійних, радіомовних приймачів вибирають відповідну мікросхему (ІМС). Як правило, ІМС використовується у стандартній схемі включення. Для радіолокаційних приймачів вибирається схема відеопідсилювача і детектора (або порогового пристрою) відбитих від цілей імпульсів.

Ескізне проектування завершується складанням структурної схеми радіоприймача та формулюванням вимог для функціональних вузлів та каскадів.

Структурна електрична схема визначає основні функціональні частини пристрою, їх призначення та зв'язки. Усі функціональні частини на схемі зображують у вигляді прямокутників або умовних графічних позначень. На схемі допускаються пояснювальні написи, діаграми, таблиці, позначення параметрів у характерних точках (величини струмів, напруг, форми та величини імпульсів, математичні залежності тощо).

5 ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ТА ОЦІНЮВАННЯ КР

Курсова робота є окремим освітнім компонентом, РСО з якого передбачає залік. Залік проводиться у формі усного захисту курсової роботи перед комісією з проведення семестрового контролю.

Система оцінювання успішності студентів з дисципліни «Проектування приймальних пристроїв НВЧ. Курсова робота» ґрунтується на «Положенні про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf), а саме Рейтингової системі оцінювання другого типу (РСО-2). Оцінка курсової роботи (R_K) має дві складові:

- стартову (R_C);
- складову захисту (R_3).

Перша складова R_C характеризує роботу студента та її результат — якість пояснювальної записки і розроблених структурних схем.

Друга складова R_3 характеризує якість захисту студентом КР.

Розмір шкали першої складової дорівнює 60 балам, а другої складової — 40 балам. Загальна оцінка за КР визначається як

$$R_K = R_C + R_3.$$

Якість пояснювальної записки та ступінь дотримання календарного графіку роботи, ваговий бал – 60 (R_C). Критерії оцінювання складових пояснювальної записки наведені в таблиці 4.

Студент допускається до захисту курсової роботи, якщо він має стартову складову R_C не менш ніж 60% від максимального значення, що складає

$$60 \times 0,6 = 36 \text{ балів.}$$

Якість захисту (R_3) оцінюється за шкалою – 40 балів.

Критерієм оцінювання є якість доповіді за матеріалами КР та відповіді на питання, які свідчать про:

- ступінь володіння теоретичним матеріалом до 20 балів;
- ступінь володіння методами проектування та аналізу електричних схем приймальних пристроїв в цілому до 20 балів.

Захист курсової роботи вважається успішним, якщо R_3 складає не менш ніж 60% від свого максимального значення, тобто

$$40 \times 0,6 = 24 \text{ бали.}$$

Таблиця 4 — Оцінювання складових пояснювальної записки

№ п/п	Складові роботи	R_{Π}	Урахування вчасності виконання
1	Оформлення титульного аркуша	1	100% від оцінки при дотриманні графіку роботи 90% у разі затримки до 2 тижнів 80% у разі затримки більше 2 тижнів
2	Наявність завдання на КР	1	
3	Наявність змісту	1	
4	Наявність та зміст вступу	3	
5	Наявність та обґрунтованість структурної схеми	10	
6	Наявність та обґрунтованість електричних схем блоків приймача	12	
7	Наявність розрахунків основних параметрів і характеристик пристрів тракту приймача	15	
8	Наявність розрахунків основних параметрів приймального пристрою	10	
9	Наявність та зміст висновків	5	
10	Наявність та оформлення переліку джерел	2	
	Усього	60	

Примітка. R_{Π} – максимальна кількість балів при вчасному виконанні.

Після завершення захисту курсової роботи визначається оцінка R_K , яка виставляється у відомість.

Студент, який на захисті КР отримав незадовільну оцінку, допускається до повторного захисту тільки після усунення виявлених недоліків.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Ільницький Л.Я. Пристрої надвисоких частот та антени : навч. посіб./ Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. – К: НАУ, 2013. – 188 с.
2. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу : навч. посіб. / П.В. Слободянюк, Т.М. Наритник, В.Г. Благодарний, В.Г. Сайко, В.Л. Булгач; ред.: В.Г. Кривуца. – К.: ДУІКТ, 2012. – 595 с.
3. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот: Курсова робота (Частина 1. Вузкосмугове узгодження комплексних навантажень) [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Д. О. Василенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 79 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45719>.
4. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот. Курсова робота (Частина 2. Широкопсмугове узгодження навантажень) [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Д. О. Василенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 63 с. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50549>

Додаткова

5. Скрипник Ю. О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: навч. посібн./ Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Яненко О.П. – Житомир: Вид-во ЖІТІ, 2010. – 374с.
6. Панфілов І. П., Дирда В. Ю., Капацін А. В. Теорія електричного зв'язку: Підручник для вузів першого та другого рівнів акредитації. – К.: Техніка, 1998.
7. Pozar, D.M. Microwave Engineering / David M. Pozar – 4th ed. – John Wiley & Sons, 2012. – 752 p.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАДІОІНЖЕНЕРІЇ

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ
на тему «Ескізний проект радіоприймального пристрою НВЧ»

Виконав:

студент групи РІ- _____

Керівник курсової роботи:

посада, вчене звання _____

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського

202_