

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота
на тему:

«Придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення»

Виконала: студентка 2-го курсу, групи ТКР-21мс
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мазуренко Т. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС

Воловик А.Ю.

(прізвище та ініціали)

« 15 » 06 2023 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Стальченко О.В.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

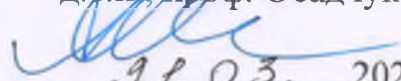
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 06 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

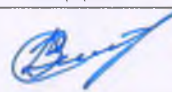




21.03. 2023 року

ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мазуренко Тетяні Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення
керівник роботи к.т.н., доц. доцент каф. ІРТС Воловик А.Ю.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 20 ” 03 2023 року № 67
2. Строк подання студентом роботи 16 06 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: розробити алгоритм придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення з діапазоном робочих частот 2,0–2,4 ГГц.; метод придушення фазовий; смуга пропускання приймача 100 МГц.; рівень придушення –70дб.; проміжна частота 350 МГц.; робочий діапазон температур –15°C...+50°C; живлення: 220 В., 50 Гц
4. Зміст текстової частини: Вступ; Типи та основні характеристики приймальних пристроїв; Основи теорії комплексних сигналів; Квадратурний гетеродин; Методи придушення дзеркального каналу; Реалізація фазового методу придушення дзеркального каналу; Моделювання FIR фільтрів; Безпека життєдіяльності; Висновки; Перелік посилань; Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема приймача прямого перетворення; Структурна схема квадратурного гетеродину; Схема перетворення проміжної частоти з фазовим придушенням дзеркального каналу. Структурна схема цифрового приймача з корекцією квадратурного гетеродину; Результати моделювання FIR фільтрів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент Воловик А.Ю.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 22.03.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2023-28.02.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2023-23.03.2023	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	20.03.2023-31.03.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2023-06.05.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2023-18.05.2023	
6.	Розробка ілюстративної частини БДР	19.05.2023-22.05.2023	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2023-28.05.2023	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	29.05.2023-06.06.2023	
9.	Нормоконтроль	07.06.2023-09.06.2023	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	10.06.2023-19.06.2023	
11.	Захист БДР ЕК	20.06.2023-21.06.2023	

Студент



(підпис)

Мазуренко Т.С.

Керівник роботи



Воловик А. Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Мазуренко Т. С. Придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - Радіотехніка. Вінниця: ВНТУ, 2023. 78 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 26 назв; рис.: 34; табл. 6.

Метою роботи є оцінка ефективності придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення. Проаналізовано основні характеристики приймальних пристроїв: чутливість, вибірність та завадостійкість. Наведено класифікацію радіоприймачів за типом приймального тракту. Встановлено побічні канали прийому, розроблено методи придушення дзеркального каналу, наведено приклади фазових методів придушення з використанням ортогональних фільтрів та шляхом компенсації дисбалансу квадратурного демодулятора. Виконано моделювання фазового методу придушення дзеркального каналу, проведено аналіз отриманих результатів.

Виконано розділ охорони праці.

Ключові слова: приймач прямого перетворення, придушення дзеркального каналу, фазові методи придушення.

ABSTRACT

Mazurenko T. S. Suppression of the mirror channel in direct conversion receivers. Bachelor thesis on specialty 172 - Telecommunications and radio engineering, educational program - Radio engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 78 p.

In Ukrainian speech Bibliogr.: 26 names; Fig.: 34; table 6.

The aim of the work is to evaluate the effectiveness of the suppression of the mirror channel in the direct conversion receiver. The main characteristics of receiving devices are analyzed: sensitivity, selectivity and immunity to interference. The classification of radio receivers according to the type of reception path is given. Side reception channels are installed, mirror channel suppression methods are developed, examples of phase suppression methods using orthogonal filters and by compensating the imbalance of the quadrature demodulator are given. Modeling of the phase method of mirror channel suppression was performed, and the results were analyzed.

The labor protection section has been completed.

Key words: direct conversion receiver, parasitic mirror channel, suppression, methods.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	6
1.1 Основні характеристики приймальних пристроїв	7
1.2 Класифікація приймальних пристроїв за типом приймального тракту.....	9
1.2.1 Детекторний приймач	9
1.2.2 Приймач прямого підсилення	10
1.2.3 Супергетеродинний радіоприймач	11
1.2.4 Приймачі прямого перетворення	13
1.3 Висновки до розділу.....	15
2 АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ПОБІЧНИХ КАНАЛІВ ПРИЙОМУ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ.....	16
2.1 Поняття комплексного сигналу	16
2.2 Квадратурний гетеродин	19
2.3 Побічні канали прийому.....	21
2.4 Методи придушення дзеркального каналу	23
2.4.1 Фільтровий метод придушення дзеркального каналу.....	23
2.4.2 Фазовий метод придушення дзеркального каналу	23
2.5 Використання ортогональних фільтрів для придушення дзеркального каналу.....	25
2.6 Причина неузгодженості коефіцієнта підсилення і фази у квадратурному приймачі.....	29
2.7 Висновки до розділу	31
3 МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВОГО МЕТОДУ ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ	33
3.1 Параметри приймача.....	33
3.2 Фазові та амплітудні помилки	35
3.3 Моделювання FIR-фільтра	37

3.3.1 Вибір порядку фільтра.....	38
3.3.2 Вибір розрядності коефіцієнта фільтра	38
3.4 Частотна роздільна здатність	40
3.5 Застосування вікон	41
3.5.1 Вікно Хеммінга.....	42
3.5.2 Прямокутне вікно	43
3.5.3 Вікно Блекмана.....	44
3.6 Придушення дзеркального каналу	5
3.7 Висновки до розділу	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	51
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	52
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	55
4.2.1 Мікроклімат.....	55
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	56
4.2.3 Виробниче освітлення	57
4.2.4 Виробничий шум	58
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	59
4.3 Пожежна безпека	61
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	61
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	62
4.4 Висновки до розділу.....	62
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи	67
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративний матеріал.....	69

ВСТУП

Актуальність теми.

У наш час, радіоприймальний пристрій є невід'ємною частиною радіотехнічної системи, що забезпечує, виділення сигналів з радіовипромінювання та його подальшу обробку. У місці приймання існують сторонні електромагнітні поля, що спотворюють корисний сигнал і викликають помилки в прийманні. З еволюцією радіоприймачів і їх ускладненням, зростали вимоги й до їхніх характеристик, що забезпечують високу якість приймання сигналів. Таким чином, радіоприймачі являють собою пристрій, що складається із прийомної антени, безпосередньо приймача й вихідного приладу і забезпечує оптимальну обробку корисного сигналу на тлі шуму.

З початку створення по теперішній час було розроблено безліч модифікацій, ускладнень і перетворень радіоприймачів розроблених для одержання нових або поліпшення наявних характеристик, розширення діапазонів використання, що вплинуло на розгалуження класифікації радіоприймальної апаратури. На разі перед інженерами-конструкторами майбутніх приймачів ставляться нові завдання: освоєння нових частотних діапазонів, удосконалювання методів цифрової обробки, удосконалювання методів боротьби з завадами, збільшення ступеню інтеграції приймача.

Дзеркальний канал приймача являє собою побічний продукт перетворення радіосигналів у приймачі супергетеродинного типу та приймачі прямого перетворення, що погіршує параметри приймального пристрою в цілому. Останнім часом весь цивілізований світ використовує цифрову апаратуру. Серед цифрових приймачів якраз і набули поширення супергетеродинні приймачі і приймачі прямого перетворення. Тому питання поліпшення характеристик приймача шляхом придушення частоти дзеркального каналу (ДК) на фоні існуючих завад та збурень завжди будуть актуальними. Очищення каналу приймання від зайвих частотних складових приводить до збільшення якості сигналу на приймальній стороні. В підсумку це

дозволяє одержувати ті ж самі характеристики приймання при менших економічних і трудових витратах одночасно досягнувши більшої якості прийнятої інформації.

Метою роботи є оцінка ефективності придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення.

Задачами досліджень роботи є:

- проаналізувати основні характеристики приймальних пристроїв та провести їх класифікацію;
- проаналізувати структуру сигналів побічних каналів прийому;
- виконати розробку методів придушення дзеркального каналу;
- виконати моделювання фазового методу придушення дзеркального каналу;
- оцінити частотну роздільну здатність;
- розробити розділ охорони праці.

Об'єктом дослідження є фізичні процеси проходження сигналу у вузлах приймального пристрою.

Предметом дослідження є радіоприймач прямого перетворення.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає в можливості використання її результатів при експлуатації радіоприймальних пристроїв, що працюють за схемою прямого перетворення, а також у навчальному процесі.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Будь-яке повідомлення, що передається на відстань, в системі зв'язку спочатку перетворюється на електричний сигнал, що змінюється відповідно до цього повідомлення. Безпосередньо, без проводів, цей сигнал передати одержувачу неможливо. Тому в системах радіозв'язку та радіомовлення електричний сигнал керує радіочастотними коливаннями. Ці коливання, що несуть передане повідомлення, називають модульованими. Вони перетворюються на радіохвилі, що поширюються в просторі без спеціальних напрямних систем (проводів або хвилеводів). Призначення пристрою прийому і обробки сигналів - забезпечити відтворення повідомлення, що передається при впливі на нього радіохвиль, що надходять від радіопередавача. Повідомлення відтворюється на основі тієї інформації, що міститься в модульованому коливанні. Тому у приймальному пристрої необхідно здійснити перетворення прийнятого коливання. Сучасний приймальний пристрій має забезпечити прийом потрібного сигналу на фоні коливань від всіляких сторонніх джерел, званих перешкодами. При цьому потужність перешкод, що діють на приймач, може перевищувати потужність необхідного сигналу в мільйони разів, що суттєво ускладнює його прийом.

До основних функцій приймача можна віднести: уловлювання радіохвиль; перетворення прийнятого радіочастотного коливання на напругу (або струм), що змінюється відповідно до прийнятого повідомлення; фільтрація сигналу від перешкод, його підсилення та детектування; відтворення переданого повідомлення у вигляді звуку, зображення на екрані, запису тексту тощо. Основні функції приймального пристрою визначають і його складові елементи: антену, власне радіоприймач, пристрій відтворення. У найпростішому, але й найбільш поширеному випадку приймач містить одну антену.

1.1 Основні характеристики приймальних пристроїв

Радіоприймальні пристрої мають різні якісні показники, які здебільшого визначаються конструкцією виконання радіоприймачів, електричними характеристиками елементів, увімкнених в схему приймального тракту, умовами експлуатації та якістю виконання збирання і налаштування.

Однією з важливих характеристик приймача є його чутливість. Чутливість визначає здатність приймача приймати сигнали з низьким рівнем. Вона оцінюється мінімальною електрорушійною силою в антені або номінальною потужністю, за якої на виході приймача забезпечується нормальне функціонування кінцевого пристрою за певного відношення сигнал/шум. Однак це визначення справедливе не завжди, а лише в тому разі, якщо зовнішні перешкоди не значно впливають на приймання сигналу, що характерно для приймачів із малим підсиленням, тобто сигнал, що приймається, досить сильний.

Однак, за реальних умов, досить часто трапляються випадки коли рівні сигналу та завади співмірні і нехтувати завадою в такому випадку не можна. У такому разі посилення ні до чого не призводить, тому що зі зростанням рівня сигналу збільшуватиметься і рівень перешкоди, а чутливість приймача не матиме помітних змін. Завади можуть бути двох видів: від зовнішніх джерел, таких як сторонні передавачі або індустріальний шум, і власні шуми приймача. Якщо від зовнішніх шумів можна тими чи іншими способами або умовами експлуатації позбутися, то з внутрішніми все набагато складніше, і в такому разі, чутливість приймача буде оцінюватися реальною або пороговою чутливістю.

Характеристикою, яка визначає можливість виділяти корисний сигнал на тлі шумів, послаблюючи їхню дію, називається вибірковість або селективність. В її основу покладено відмінності між сигналом, що ідентифікується як корисний, і шумовим сигналом. Такі відмінності залежать від напрямку приходу сигналу і його тривалості, поляризації, значень амплітуди, частоти і

фази сигналу. У зв'язку з цими відмінностями виділяють кілька типів вибірковості: просторова, поляризаційна, часова, частотна. Просторова досягається завдяки антенам із гостроспрямованою діаграмою спрямованості або при використанні електронного сканування. Поляризаційна, так само реалізується в антені, що налаштовується на вид поляризації корисного сигналу, який приймається. Часова досягається використанням приймача тільки в момент дії корисного сигналу. Частотна, з огляду на відмінності в інформації, що передається, в певному діапазоні частот, реалізується за допомогою необхідних резонансних кіл та фільтрів.

Важливою характеристикою приймача є його завадостійкість. Завадостійкістю називають здатність приймача працювати в нормальному режимі під час впливу на нього сукупності перешкод. Розрізняють три оцінки для завадостійкості: ймовірнісна, енергетична, артикуляційна. Ймовірнісний критерій застосовується під час приймання дискретних сигналів. Він пов'язаний із визначенням середньої ймовірності спотворення елементарного сигналу, що залежить від рівня перевищення сигналу над перешкодою. Енергетичний критерій застосовується під час приймання аналогових сигналів. Він визначає відношення потужності сигналу і перешкоди на виході радіоприймального пристрою за заданого відношення сигнал/шум на вході. Артикуляційний критерій використовують для приймання мовних повідомлень і реалізують шляхом оцінювання розбірливості переданих тестових текстів повідомлень.

Ймовірність відтворення повідомлень - характеристика приймача, що дає змогу за відсутності завади на виході приймача відтворювати закон модуляції вхідного сигналу з певною точністю.

Виділяють статистичні та динамічні характеристики. До статичних характеристик відносять лінійні та нелінійні спотворення, а також спотворення, пов'язані з обмеженням динамічного діапазону.

Лінійні спотворення найчастіше виникають під час проходження окремих складових спектра корисного сигналу через приймальний тракт і поділяються на амплітудні та фазові. Амплітудно-частотні спотворення оцінюються

характеристикою ймовірності відтворення за напругою і нерівномірністю амплітудно-частотної характеристики високочастотного тракту. Фазові спотворення пояснюються проходженням різних спектральних складових сигналу через приймач, затриманих на різний час, що призводить до викривлень форми модульованого коливання.

Нелінійні спотворення зумовлюються характеристиками нелінійних підсилювальних елементів і пов'язані з новими спектральними складовими модульованого сигналу, залежними від рівня сигналу і глибини модуляції.

Динамічний діапазон характеризується двома межами. В якості верхнього обмежувача виступає рівень вхідного сигналу, обмежений допустимими нелінійними спотвореннями підсилювального тракту; нижній - рівень власних шумів або реальна чутливість приймача.

Показником частотного налаштування є діапазон робочих частот приймача, що забезпечує задані характеристики приймання в деякій області частот. Крім того, до показників частотного налаштування відносяться похибка налаштування, її відліку, щільність і крок перебудови за частотою.

1.2 Класифікація приймальних пристроїв за типом приймального тракту

Перший приймач як індикацію електромагнітних хвиль використовував низько-чутливий когерер, радіус дії якого був малий, а вибірковість не давала змоги виділити сигнал на тлі завад, зважаючи на відсутність посилення потужності і резонансних коливальних систем. Однак з плином часу і розвитку техніки, відбувалося його дорослішання до серйозного і складного радіотехнічного пристрою.

1.2.1 Детекторний приймач

Першим радіоприймачем був детекторний приймач (рис. 1.1). Це фундаментальний вид приймача, що не має підсилювачів і не потребує додаткового живлення, окрім енергії вхідної хвилі [2].

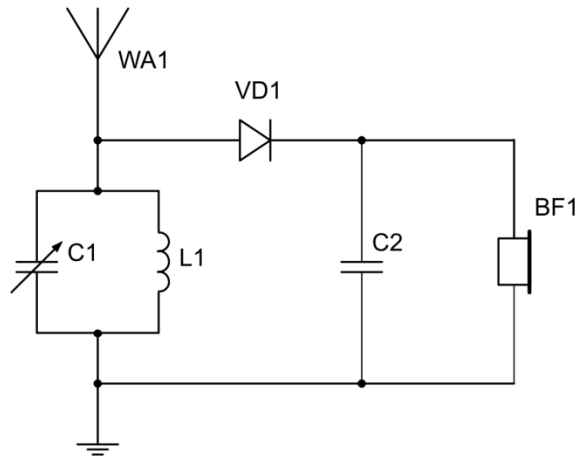


Рисунок 1.1 – Схема детекторного приймача

Сам приймач складається з коливального контуру, один вивід якого веде до антени, а інший - до землі, і детектора, який слугує демодулятором АМ сигналу. Налаштування приймача на частоту, що приймається, здійснюється шляхом підстроювання номіналу індуктивності котушки або ємності конденсатора. Однак чутливість цього типу приймача невисока і зумовлена добротністю коливального контуру. Одним із суттєвих плюсів цього приймача є відсутність необхідності в зовнішньому джерелі, що зумовлювало популярність цього типу пристрою до 40-х років минулого століття. Він доволі простий і збирається без участі у своїй конструкції складної апаратури. Шляхом модернізації конструкції детекторного приймача можна поліпшити його характеристики. А під'єднавши будь-який зовнішній підсилювач низької частоти до виходу приймача, отримати приймач прямого підсилення.

1.2.2 Приймач прямого підсилення

За своєю суттю, спрощений приймач прямого перетворення без блоку проміжної частоти. Сигнал безпосередньо піддається фільтрації від сусідніх каналів, після чого посилюється на приймальній стороні і далі надходить на детектор. Побудова приймача прямого підсилення складніша за детекторний, проте, все одно має його основу - коливальний контур, налаштований на частоту (діапазон частот), та антену із заземленням (рис. 1.2). Крім

коливального контуру він містить каскади підсилення високочастотних складових, квадратичний амплітудний детектор і низькочастотні каскади підсилення сигналу.

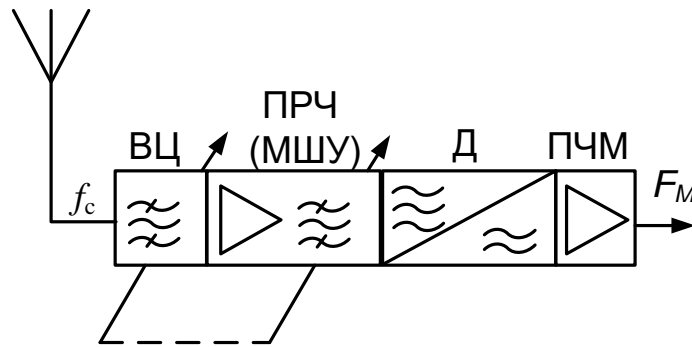


Рисунок 1.2 – Структурна схема приймача прямого підсилення

Основними плюсами були: його простота. Як продовження детекторного приймача, приймач прямого підсилення не надто просунувся в ускладненні конструкції, а тому користувався широкою популярністю серед усіх радіоаматорів-початківців; відсутність паразитних випромінювань гарантувало високу скритність радіоприймача. Під час подальших кроків до зміни конструкції та використання нових технологій стало зрозуміло, що приймач прямого підсилення не має паразитного дзеркального каналу, виявленого в його продовжувачів, таких як: супергетеродинні приймачі та приймачі прямого перетворення.

1.2.3 Супергетеродинний радіоприймач

Супергетеродинний радіоприймач перетворює сигнал, отриманий з антени, на сигнал проміжної частоти з її подальшим підсиленням (рис. 1.3).

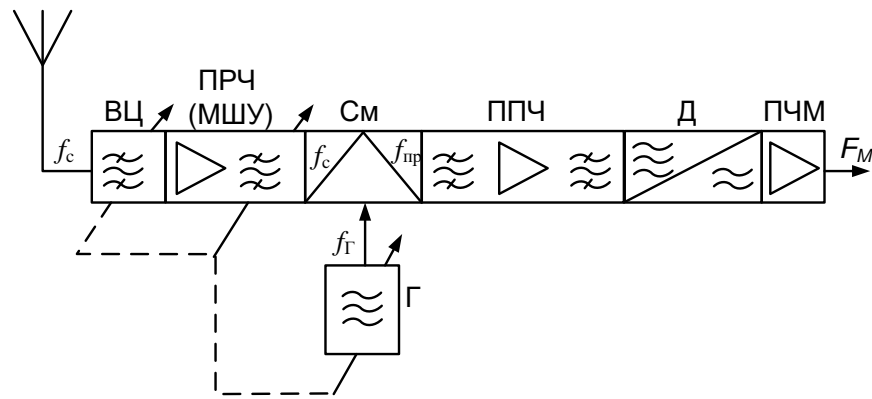


Рисунок 1.3 – Структурна схема супергетеродинного приймача

Складається з антени, яка приймає радіосигнал, надходить на підсилювач високої частоти, малопотужного генератора високої частоти або гетеродину, сигнал з якого разом із корисним сигналом після підсилювача високої частоти надходять на змішувач, що здійснює операцію перетворення сигналу за частотою. На виході змішувача утворюються сигнали, що дорівнюють сумі і різниці частот між сигналом, що приймається, і сигналом, що надходить із гетеродин. Далі, за допомогою смугового фільтра, виділяється сигнал проміжної частоти, який потім посилюється і надходить на демодулятор, що відновлює сигнал низької частоти.

До переваг цього типу приймального тракту можна зарахувати: високу чутливість, оскільки тракти підсилення сигналу на низьких частотах мають кращі показники та простіші за побудовою; високу вибірковість завдяки відсутності необхідності в перебудові фільтра проміжної частоти, що дає змогу одержати вузьку смугу пропускання із сильним придушенням за її межами; можливість приймання сигналів із будь-якою модуляцією.

Серед недоліків насамперед потрібно виділити наявність дзеркального каналу прийому. Дзеркальний канал перебуває на другій схожій частоті, що дає таку саму різницю з частотою гетеродину, що й робоча частота. Таким чином, сигнал, зумовлений дзеркальним каналом, може, поряд із сигналом робочої частоти, проходити через фільтр проміжної частоти. Так само, чимало лиха додає паразитне випромінювання гетеродину, яке може демаскувати приймач і заважати сусіднім приймальним станціям справлятися зі своїм завданням.

Однак, якщо сигнал на частоті дзеркального каналу можна відфільтрувати, за правильного перенесення частот, то від конструктивних складнощів не сховатися. На змішувачах і у вузькосмугових фільтрах відбувається втрата потужності сигналу. Використання двох перетворень за частотою збільшує споживану потужність приймача і фазові шуми від гетеродину, що проявляються як зменшення реальної чутливості приймача. Тому в наш час, особлива увага приділяється більш простому за своєю конструкцією - приймачу прямого перетворення.

1.2.4 Приймачі прямого перетворення

Поряд із супергетеродинним приймачем тривав розвиток приймача прямого перетворення або гетеродинного (не важко буде зрозуміти чому, адже вони обидва використовували локальний малопотужний генератор) [3] (рис. 1.4). Приймачі прямого перетворення з'явилися, найімовірніше, завдяки уважності радіоінженерів, які помітили збільшення чутливості приймання під час використання спільно з приймачем власного малопотужного генератора, що забезпечує роботу на частотах, близьких до частоти сигналу, що приймається.

Приймач прямого перетворення або гетеродинний приймач, перетворює високочастотний радіосигнал на сигнал звукової частоти за допомогою гетеродину. Від супергетеродинного приймача його відрізняє відсутність тракту проміжної частоти і детектора. Таким чином гетеродинний приймач лише переносить прийнятий високочастотний сигнал в область низьких (звукових) частот, де і відбувається фільтрація і посилення сигналу. Тому гетеродинні приймачі простіші як у конструкції, так і в налаштуванні супергетеродинних, і як наслідок дешевші. Крім того, приймач прямого перетворення може бути нічим не гіршим за свого побратима, який має привабливі показники за чутливістю та селективністю, завдяки використанню у своїх схемах фільтрів нижніх частот і сучасних малошумних підсилювачів.

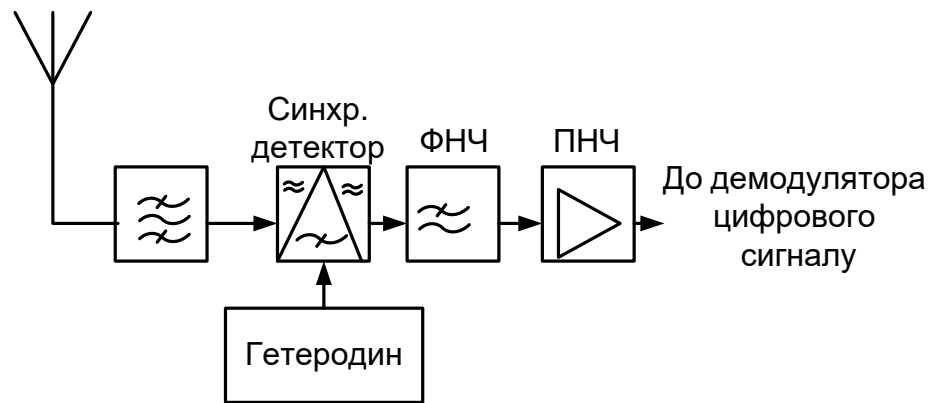


Рисунок 1.4 – Структурна схема приймача прямого перетворення

Як і всі розглянуті раніше типи приймачів, приймач прямого перетворення так само має властиві йому плюси і мінуси своєї конструкції. Один жирний мінус, який одразу ж впадає в око кожному, хто хоч раз дивився на проблематику використання приймача прямого перетворення, це наявність дзеркального каналу, який близько розташований по відношенню до приймального каналу. З огляду на те, що частоти гетеродину і сигналу, що приймається, майже рівні, або, принаймні, дуже близькі одна до одної, і, крім того, ці канали є сусідніми, то фільтрація або пригнічення паразитного для приймання дзеркального каналу перетворюється на серйозну проблему, прямого й лаконічного розв'язання якої ще немає. Так само серед недоліків усе ще можна виділити "просочування" сигналу від локального малопотужного генератора в антену, на яку було прийнято сигнал. Однак з останнім недоліком звикли боротися, зменшуючи потужність гетеродину і використовуючи змішуючі каскади на нелінійних елементах з "кубічною" характеристикою [4].

До переваг цього типу приймачів можна віднести його простоту у виготовленні та налаштуванні, високу чутливість і вибірковість, а також, властиву супергетеродинним приймачам, відсутність високочастотного дзеркального каналу [4].

Останнім часом весь цивілізований світ використовує цифрову апаратуру. Серед цифрових приймачів поширення набули супергетеродинний і приймачі прямого перетворення. Як було раніше помічено, у них обох виникає

дзеркальний канал, шляхом перетворення частот на змішувачі основного (прийнятого) сигналу і сигналу гетеродину. Однак супергетеродинний приймач вирішує цю проблему шляхом використання двох гетеродинів, чого не може дозволити собі приймач прямого перетворення, що має один гетеродин у вигляді двох каналів. З моменту появи такого поняття як комплексне представлення сигналів, у гетеродинного приймача з'явилася можливість класифікувати основний і побічний канали прийому і тим самим, використовуючи необхідні методи, фільтрувати або придушувати дзеркальний канал. Але разом із плюсом як можливістю придушення дзеркального каналу ускладнилася конструкція приймача, як двох каналів приймання так і для ідентифікації основного і дзеркального каналів приймання. Незважаючи на ускладнення конструкції приймача прямого перетворення, він має суттєві переваги над супергетеродинним із подвійним перетворенням за частотою. Ці плюси зумовлені більшою лінійністю, меншими габаритами, енергоспоживанням, меншим рівнем фазових шумів щодо супергетеродинного приймача із подвійним перетворенням за частотою, зважаючи на відсутність другого гетеродину. Тому, в даному проекті, буде запропоновано використання приймача прямого перетворення.

1.3 Висновки до розділу

Проаналізовано основні характеристики приймальних пристроїв з точки зору якісної обробки сигналів на фоні шумів різного походження. До них віднесені у першу чергу чутливість, вибірність та завадостійкість.

Наведено класифікацію радіоприймачів за типом приймального тракту. Показано переваги та недоліки різних варіантів побудови приймачів у контексті значень їх основних характеристик. Значна увага приділена приймачам прямого перетворення, яким властива простота у виготовленні та налаштуванні. Також вони характеризуються високою чутливістю, вибірковістю та відсутністю високочастотного дзеркального каналу.

2 АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ПОБІЧНИХ КАНАЛІВ ПРИЙОМУ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ

2.1 Поняття комплексного сигналу

Останнім часом майже всі цифрові приймачі використовують сигнали, представлені в комплексній формі, що піддаються надалі цифровій обробці, найчастіше за допомогою ПЛІС (FPGA).

На рисунку 2.1 зображено структурну схему перенесення сигналу за частотою. На змішувач надходять два сигнали: вхідний (з антени) і сигнал гетеродину (генератора).

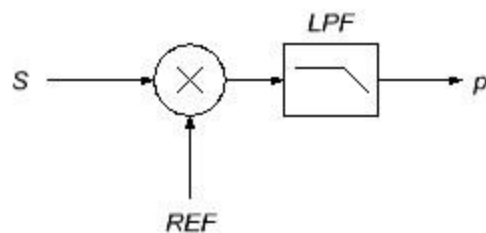


Рисунок 2.1 – Схема множення вхідного сигналу на сигнал гетеродинна

Змішувач здійснює перенесення сигналу на проміжну частоту, яка дорівнює різниці частот вхідного сигналу і гетеродину. Таким чином, можна зобразити розподіл сигналів до і після змішувача на частотній осі (рисунок 2.2).

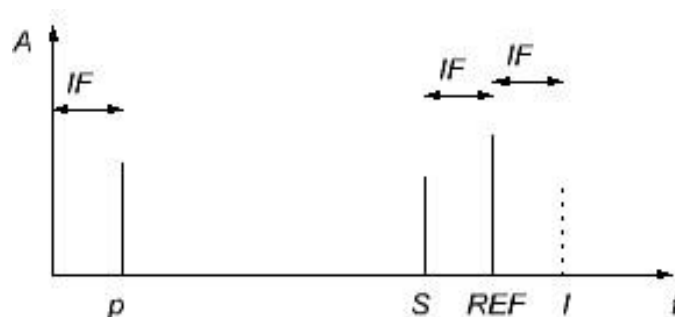


Рисунок 2.2 – Розташування вхідного і вихідного сигналів до і після змішувача на частотній осі

Частота вхідного сигналу S відстає від сигналу гетеродину на проміжну частоту IF . Після змішувача вхідний сигнал S переноситься на проміжну частоту IF , таким чином, потрапляючи на частоту P . Але спільно з перенесенням сигналу, що нас цікавить (сигналу S , що перебуває нижче частоти гетеродину), відбувається перенесення частоти, що є симетричною частоті гетеродину вгору, яка перебуває безпосередньо на проміжній частоті від частоти сигналу з гетеродину.

Математику сказаного вище можна відобразити в такому рівнянні

$$p(t) = \int S(t)REF(t)dt \quad (2.1)$$

Це рівняння є скалярним множенням сигналів S і REF , зображених на рис. 2.3.

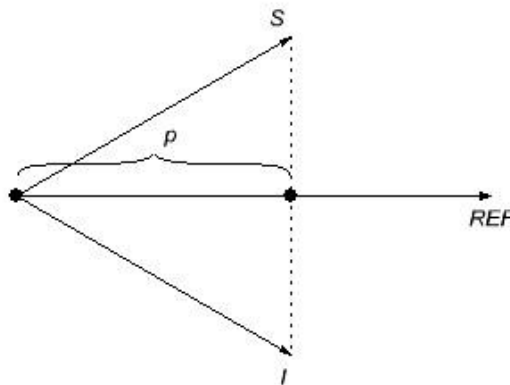


Рисунок 2.3 – Графічне представлення добутку векторів S і REF та їхнього відображення на одну координату

У результаті множення отримуємо вектор P , який є проекцією вектора S на REF . Однак зауважимо, що такий самий результат дає вектор I , який є дзеркальною копією сигналу S відносно частоти сигналу гетеродину, так само віддаленим від частоти REF на проміжну частоту. Зрозуміло, що виникає питання у відмінності цих сигналів один від одного. Для таких цілей використовують другий гетеродин, фаза якого відрізняється від першого на 90 градусів. Таким чином, на площині це відображається як на рисунку 2.4.

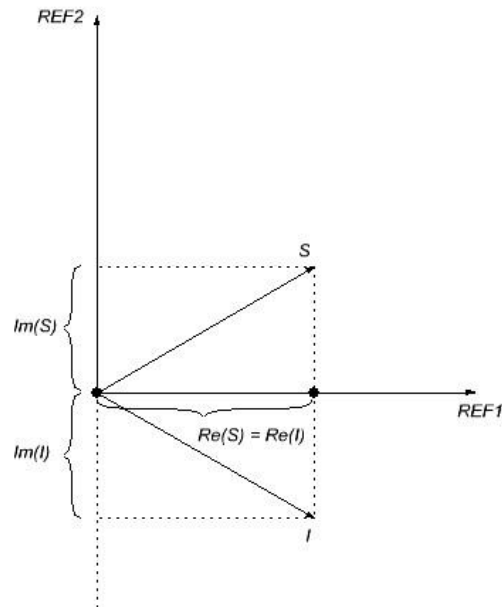


Рисунок 2.4 – Графічне представлення добутку векторів S і REF та їхнього відображення на дві координати

Два гетеродини, що працюють на одній частоті, але зі зсувом фази в 90 градусів, утворюють декартову систему координат, у якій можна говорити про однозначність подання як вектора S , так і його дзеркального відображення I . Тому комплексним сигналом можна назвати розкладання вхідного сигналу на дві компоненти, що дають однозначне уявлення про вхідний сигнал після перенесення його на проміжну частоту. Або іншими словами, комплексний сигнал являє собою скалярний добуток вхідного сигналу на дві ортогональні опорні функції [5]. Широке поширення використання цифрових квадратурних приймачів пов'язане саме з цінними властивостями комплексних сигналів. Серед них можна виділити такі:

- комплексний сигнал містить у собі повну інформацію про спектр;
- комплексний сигнал несе в собі інформацію про фазу, що дає змогу працювати з фазовою модуляцією;
- комплексний сигнал має великі можливості з опрацювання та синтезу сигналів будь-якої складності, завдяки зручності застосування до нього перетворення Фур'є;
- під час використання комплексних сигналів можна використовувати частоту роботи АЦП у 2 рази нижчу, ніж без застосування квадратур.

2.2 Квадратурний гетеродин

Для описаного раніше скалярного множення вхідного сигналу S на два сигнали гетеродину, повернених один відносно одного на 90 градусів, використовують схему, наведену на рисунку 2.5. Ця структурна схема має назву квадратурного гетеродину.

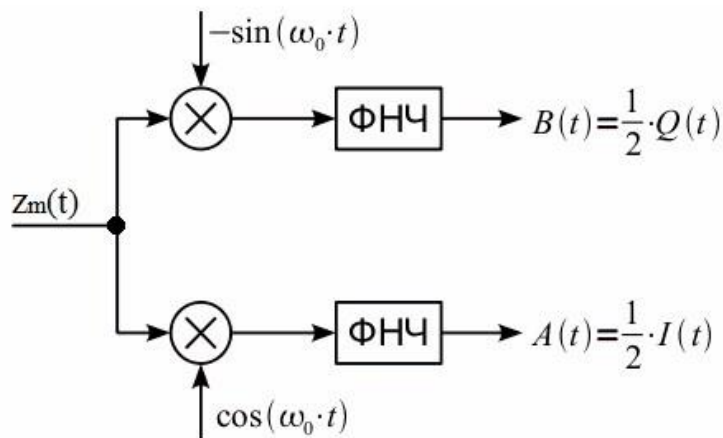


Рисунок 2.5 – Структурна схема квадратурного гетеродину

Тут на вході гетеродину присутній аналоговий сигнал $z_m(t)$, який можна уявити як комбінацію дійсної та уявної частини як

$$z_m(t) = A_1(t)\cos(\omega t) + jA_2(t)\sin(\omega t), \quad (2.2)$$

де

$$\begin{aligned} I(t) &= A_1(t)\cos(\omega t), \\ Q(t) &= A_2(t)\sin(\omega t). \end{aligned} \quad (2.3)$$

I – складова має назву синфазної складової, Q – квадратурної.

Для подальшого представлення процесів, що відбуваються у квадратурному гетеродині, необхідно ввести поняття комплексної огибаючої та її дійсної частини. Для сигналу $S(t)$ комплексною огибаючою буде

$$\begin{aligned} z(t) &= z_m(t) \cdot e^{i\omega_0 t} = (I(t) + jQ(t)) (\cos(\omega_0 t) + j\sin(\omega_0 t)) = \\ &= I(t)\cos(\omega_0 t) - Q(t)\sin(\omega_0 t) + j(I(t)\sin(\omega_0 t) + Q(t)\cos(\omega_0 t)). \end{aligned} \quad (2.4)$$

Дійсна частина від сигналу $z(t)$:

$$z(t) = I(t)\cos(\omega_0 t) - Q(t)\sin(\omega_0 t) \quad (2.5)$$

Для виділення комплексної обвідної сигналу, необхідно здійснити перенесення в нуль, що відповідає множенню дійсної частини комплексної обвідної сигналу на $e^{-i\omega_0 t}$.

Таким чином, після здійснення перенесення в нуль отримаємо:

$$\begin{aligned} A(t) &= z(t)\cos(\omega_0 t) = I(t)\cos(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t) - Q(t)\sin(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t) = \\ &= 1/2I(t) + 1/2I(t)\cos(2\omega_0 t) - 1/2Q(t)\sin(2\omega_0 t). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(t) &= z(t)(-\sin(\omega_0 t)) = -I(t)\cos(\omega_0 t)\sin(\omega_0 t) + Q(t)\sin(\omega_0 t)\sin(\omega_0 t) = \\ &= 1/2Q(t) - 1/2I(t)\cos(2\omega_0 t) - 1/2Q(t)\sin(2\omega_0 t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Для пояснення описаного вище звернемося до рисунка 2.6.

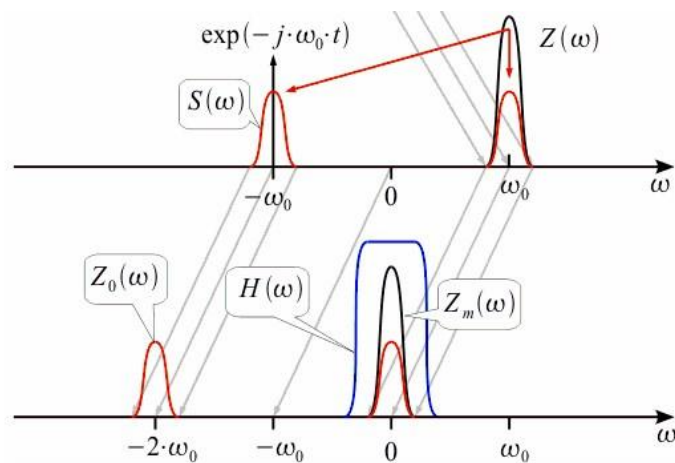


Рисунок 2.6 – Формування та виділення комплексної обвідної

Узяття дійсної частини комплексного сигналу, відображеної у формулі 2.5, являє собою суто дійсний сигнал, тому спектр його роздвоюється і займає положення, відзеркалене відносно центральної частоти (у цьому випадку нуль). Здійснимо перенесення спектра сигналу з частоти ω_0 у нуль шляхом множення на $e^{-i\omega_0 t}$ (нижній графік рисунка 2.6). Права частина сигналу перенеслася в нуль, ліва на подвоєну частоту гетеродину.

Для усунення складових на подвоєній несущій частоті застосовуються низькочастотні фільтри, з частотною характеристикою, що відповідає на рисунку 2.6 синім кольором.

Таким чином, на виході фільтра будуть отримані такі компоненти:

$$\begin{aligned} A(t) &= 1/2I(t) \\ B(t) &= 1/2Q(t), \end{aligned} \quad (2.7)$$

які в подальшому піддаються необхідній цифровій обробці.

2.3 Побічні канали прийому

Як було вказано раніше, гетеродинний і супергетеродинний приймачі мають так званий дзеркальний канал прийому. Однак, це лише окремий випадок зі всілякого значення побічних каналів прийому. Загалом побічні канали можна поділити на три типи [6]:

- комбінаційні побічні канали;
- субгармонійні побічні канали;
- побічні канали на проміжній частоті.

У процесі перетворення проміжна частота може бути отримана двома способами:

$$\begin{aligned} f_{\text{пр}} &= f_{\text{г}} - f_{\text{с}}; \\ f_{\text{пр}} &= f_{\text{з}} - f_{\text{г}}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Якщо частота сигналу відрізняється від частоти гармоніки гетеродину на проміжну частоту, то під час потрапляння цих частот у змішувач приймача, буде утворено проміжну частоту, що несе на собі гармоніку гетеродину. Поруч із кожною гармонікою гетеродину існує два, віддзеркалених щодо частоти гетеродину на проміжну частоту, канали. Кожним із цих каналів сигнал може надійти на вихід приймача, тим самим створивши хибне уявлення про частоту переданого сигналу. Ці два канали мають назви: перший, який

використовується для прийому корисного сигналу, називається основним каналом, другий - дзеркальним або, в деякій літературі, симетричним.

Крім цих двох каналів, існує ще безліч інших, які об'єднані в групу комбінаційних каналів. Вони є результатом перемноження в селекторі гармонік сигналів, що надійшли на вхід приймача, з гармоніками гетеродину. Визначити частоти побічних комбінаційних каналів приймання можна за формулою: $|qf_{пк} + pf_r| = f_{пч}$, де q і p – цілі числа, як позитивні, так і негативні, крім цього p може бути і нулем, $f_{пк}$ – частота побічного каналу прийому, f_r – частота гетеродину, $f_{пч}$ – проміжна частота. Незважаючи на низький рівень комбінаційних завад на проміжних частотах, для яких характерне значення коефіцієнтів q і $p > 2$, вони можуть становити серйозну загрозу, за умови потрапляння їх у смугу тракту проміжної частоти. Для такого випадку має виконуватися співвідношення:

$$f_{пч} - B_{пч}/2 \leq |qf_i + pf_r| \leq f_{пч} + B_{пч}/2,$$

де f_i – частота заважаючого сигналу; $B_{пч}$ – ширина смуги пропускання тракту ПЧ. На рисунку 2.7 представлено побічні канали приймання. Основними даними, що нас цікавлять, на рисунку є – f_r – частота гетеродину, f_c – частота корисного сигналу (основний канал), $f_з$ – частота побічного каналу приймання (дзеркальний канал), $f_{пр}$ – проміжна частота. Симетрично щодо частоти гетеродину розташовані обидва канали: канал корисного сигналу і канал дзеркального сигналу на величину проміжної частоти.

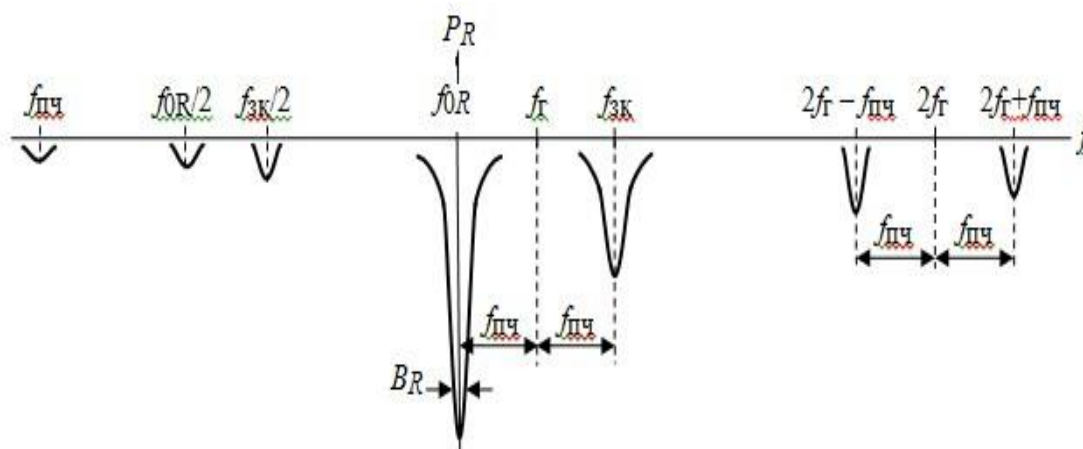


Рисунок 2.7 – Вісь частот побічних каналів приймача

2.4 Методи придушення дзеркального каналу

Існує кілька методів боротьби, що демонструють хороші результати в досягненні цієї мети. Усі ці методи можна умовно поділити на фазовий і фільтровий. Однак існують деякі комбіновані варіації для забезпечення мінімізації рівня дзеркального каналу.

2.4.1 Фільтровий метод придушення дзеркального каналу

Фільтровий метод може бути успішно реалізований двома способами - програмно й апаратно. Завдання полягає у фільтрації всіх частот, крім діапазону, що включає основну частоту сигналу. Для цих цілей, перед змішувачем сигналу гетеродину з основним сигналом, ставиться необхідний смуговий фільтр [7], з необхідним рівнем придушення сигналу за необхідним діапазоном частот. Фільтр налаштовується на частоту сигналу. Таким чином побічні гармоніки, зокрема й дзеркальний канал, відфільтровуються, а сигнал на основній частоті проходить далі в змішувач. Рівень придушення при використанні цього методу може досягати 70 дБ. Крім того, використання цього методу доцільне лише для випадків з великою різницею між частотами гетеродину і сигналу. Оскільки необхідність отримання вузькосмугового смугового фільтра з мінімальними втратами обумовлюється його високою вартістю і великими розмірами.

2.4.2 Фазовий метод придушення дзеркального каналу

Ідея придушення дзеркального каналу фазовим методом полягає в відмінностях режимів перетворення основного каналу і дзеркального [8]. Основний канал піддається інверсному перетворенню, таким чином $f_{\text{пр}} = f_{\text{г}} - f_0$, а дзеркальний канал піддається не інверсному перетворенню, $f_{\text{пр}} = f_{\text{зк}} - f_{\text{г}}$. Результатом такого перетворення є різні фазові зсуви, які використовуються для компенсації сигналу ПЧ, отриманого від дзеркального каналу.

Приклад структурної схеми, що забезпечує таке перетворення, наведено на рисунку 2.8.

Визначимо фази основного і дзеркального каналів. На змішувачі синфазно надходять сигнали основного і дзеркального каналів, і сигнали з гетеродина, що забезпечують зсув фаз між каналами в 90 градусів. Для цієї схеми, в точках 1-4 можна записати:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{\text{пр.с1}} &= \varphi_{\Gamma} - \varphi_0 + \pi/4, \\
 \varphi_{\text{пр.зк1}} &= \varphi_{\text{зк}} - \varphi_{\Gamma} - \pi/4, \\
 \varphi_{\text{пр.с2}} &= \varphi_{\Gamma} - \varphi_0 - \pi/4, \\
 \varphi_{\text{пр.зк2}} &= \varphi_{\text{зк}} - \varphi_{\Gamma} + \pi/4, \\
 \varphi_{\text{пр.с3}} &= \varphi_{\Gamma} - \varphi_0, \\
 \varphi_{\text{пр.зк3}} &= \varphi_{\text{зк}} - \varphi_{\Gamma} - \pi/4, \\
 \varphi_{\text{пр.с4}} &= \varphi_{\Gamma} - \varphi_0, \\
 \varphi_{\text{пр.зк4}} &= \varphi_{\text{зк}} - \varphi_{\Gamma} + \pi/4.
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

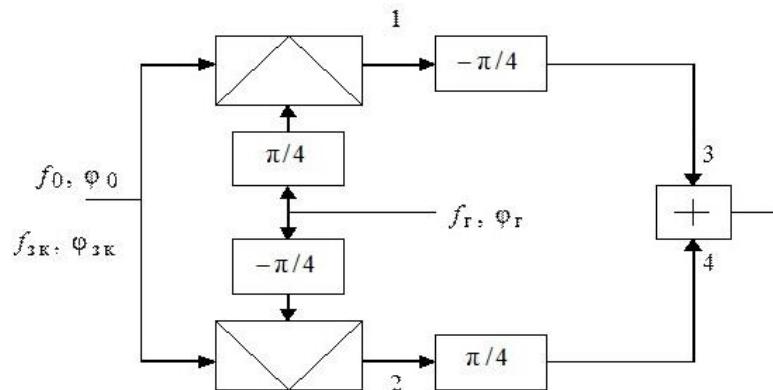


Рисунок 2.8 – Перетворювач частоти з фазовим придушенням ДК

Таким чином сигнали проміжної частоти основного каналу на суматорі складаються синфазно, а сигнали проміжної частоти дзеркального каналу - протифазно, що забезпечує взаємну компенсацію характеристик обох каналів.

Для такого виду схеми, пригнічення дзеркального каналу в діапазоні, що становить 20 відсотків від центральної частоти (частоти ПЧ) становить 20-30 дБ. Таким чином, необхідний рівень пригнічення досягається тільки в одній точці, а не в необхідній смузі.

2.5 Використання ортогональних фільтрів для придушення дзеркального каналу

З проблемами придушення дзеркального каналу фазовим методом вже давно ведуться роботи. За цей час було запропоновано безліч способів, заснованих на фазообертачах і КІХ (FIR) фільтрах.

Для пригнічення в широкому діапазоні частот необхідно забезпечувати фазовий зсув на 90 градусів між фільтрами квадратурного і синфазного каналів у всьому діапазоні частот із заданою точністю. З такою метою може відмінно впоратися цифрова фазова ланка [11].

Від аналогового виконання відразу варто відмовитися. Для пригнічення в 60 дБ знадобиться фазообертальна ланка шостого порядку. І найчастіше пригнічення в 60 дБ є недостатнім для досягнення умов технічного завдання, що, як наслідок, призводить до ще більшого ускладнення схеми і підвищення її вартості. Тому, завдяки широкому і стрімкому розвитку методів цифрового оброблення сигналів, значно простіше реалізувати необхідні фільтри і фазообертачі в цифровому виконанні. Безсумнівно, плюсами подібного виконання будуть: підвищена точність коригування фазового зсуву і відсутність впливу від елементів, що входять до фазообертальної ланки.

Для реалізації подібного методу передбачається використовувати ортогональні цифрові фільтри. Вони зручні тим, що забезпечують не тільки поворот фази сигналу, але і його фільтрацію, що дає змогу виключити зі схеми необхідність використання смугового фільтра. Такий підхід дає точніші результати порівняно з лініями затримки. Таким чином, виходить структура блоку фазового придушення, побудованого на основі двох ортогональних цифрових КІХ-фільтрів, представлена на рисунку 2.9.

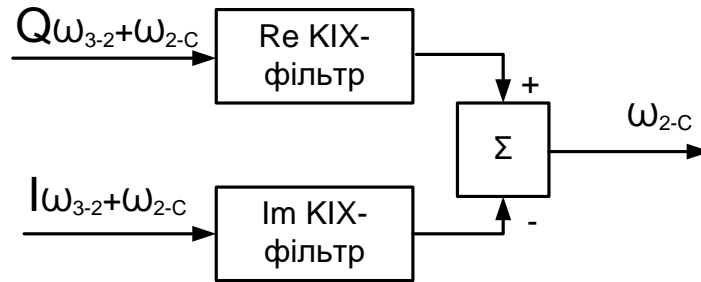


Рисунок 2.9 – Структурна схема блока фазового придушення ДК

Використання ортогональних KIX-фільтрів зумовлюється так само їхньою лінійністю у всій смузі пропускання.

Схема приймача з придушенням ДК в смузі частот має структурну схему, показану на рисунку 2.10. Схема складається з двох частин: перша є аналоговою частиною, друга - цифрова частина.

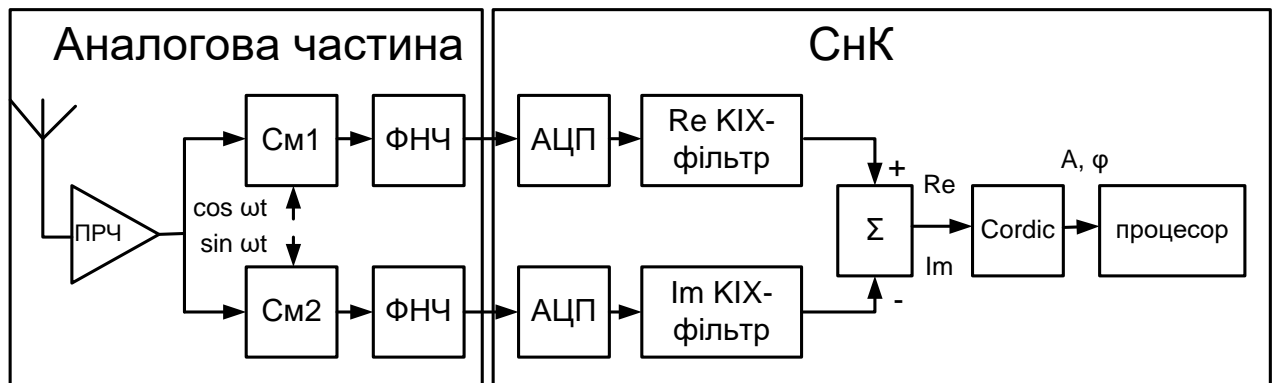


Рисунок 2.10 - Структурна схема програмно-залежного радіоприймача

В аналоговій частині, яка так само має назву квадратурного перетворення або демодулятора, відбувається безпосередньо приймання сигналу антеною та його подальше підсилення в підсилювачах радіочастоти, після чого сигнал розгалужується, і кожен із наявних надходить на квадратурний змішувач. У першому змішувачі відбувається перемноження прийнятого сигналу з косинусом, у другому - з синусом, після чого обидва отримані сигнали за

допомогою фільтрів нижніх частот фільтрують високочастотні складові. Після фільтрації обидва сигнали піддаються аналого-цифровому перетворенню і переходять в зону впливу цифрової частини. Уже в цифровому вигляді сигнал Q надходить на Im КІХ-фільтр, а сигнал I на Re КІХ-фільтр, де вони отримують фазовий зсув у 90 градусів і фільтрацію бічних складових каналів.

Розглянемо детальніше, що відбувається з сигналом у міру його просування приймальним трактом. Як допоміжні перетворення запишемо необхідні тригонометричні тотожності:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha)\sin(\beta) &= 1/2(\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+\beta)) \\ \cos(\alpha)\cos(\beta) &= 1/2(\cos(\alpha-\beta) + \cos(\alpha+\beta)) \\ \sin(\alpha)\cos(\beta) &= 1/2(\sin(\alpha-\beta) + \sin(\alpha+\beta))\end{aligned}\quad (2.10)$$

Як на перший, так і на другий змішувач надходить суміш із корисного ($\cos(\omega_c t)$) і дзеркального сигналів ($\cos(\omega_3 t)$). У першому змішувачі (верхньому) відбувається перемноження прийнятого сигналу на косинус сигналу, що надходить від гетеродина. Результатом, який буде на виході верхнього гетеродина є:

$$\begin{aligned}& [\cos(\omega_c t) + \cos(\omega_3 t)]\cos(\omega_r t) = \\ & = \cos(\omega_c t)\cos(\omega_r t) + \cos(\omega_3 t)\cos(\omega_r t) = \\ & = 1/2 [\cos(\omega_r t - \omega_c t) + \cos(\omega_r t + \omega_c t) + \cos(\omega_3 t - \omega_r t) + \cos(\omega_3 t + \omega_r t)],\end{aligned}\quad (2.11)$$

де $\cos(\omega_r t)$ сигнал гетеродина. Тоді, на виході другого змішувача буде:

$$\begin{aligned}& [\cos(\omega_c t) + \cos(\omega_3 t)]\sin(\omega_r t) = \cos(\omega_c t)\sin(\omega_r t) + \cos(\omega_3 t)\sin(\omega_r t) = \\ & = 1/2 [\sin(\omega_r t + \omega_c t) + \sin(\omega_r t - \omega_c t) + \sin(\omega_r t + \omega_3 t) - \sin(\omega_3 t - \omega_r t)]\end{aligned}\quad (2.12)$$

Після множення прийнятого сигналу на косинус і синус відповідно, обидва отримані сигнали проходять через фільтри нижніх частот. Решта

низькочастотних складових сигналів, що включають частоти основного і дзеркального каналів сигналу і частоти гетеродина, потрапляють на аналого-цифровий перетворювач, трансформуючись у цифровий код. Потім, сигнал, помножений на косинус і той, що проходить через гілку Q, приходять на КІХ-фільтр, піддається фільтрації і несе в собі інформацію про реальну частину вхідного сигналу з пригніченням частоти дзеркального каналу прийому. З гілкою I відбуваються ті самі маніпуляції, тільки на виході КІХ-фільтра інформація буде нести в собі уявну складову від сигналу, що надійшов, але так само з придушенням за частотою дзеркального каналу.

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{2} \int [\cos((\omega_{\Gamma} - \omega_C)(t - \tau)) + \cos((\omega_3 - \omega_{\Gamma})(t - \tau))] \cos(\omega_{\Gamma}\tau - \omega_C\tau) d\tau = \\
 & = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(2t(\omega_{\Gamma} - \omega_C)) + 2t(\omega_{\Gamma} - \omega_C)}{4(\omega_{\Gamma} - \omega_C)} + \frac{\sin(2t(\omega_3 - \omega_{\Gamma})) + 2t(\omega_3 - \omega_{\Gamma})}{4(\omega_3 - \omega_{\Gamma})} \right]; \\
 & \frac{1}{2} \int [\sin((\omega_{\Gamma} - \omega_C)(t - \tau)) - \sin((\omega_3 - \omega_{\Gamma})(t - \tau))] \sin(\omega_{\Gamma}\tau - \omega_C\tau) d\tau = \\
 & = \frac{1}{2} \left[-\frac{\sin(2t(\omega_{\Gamma} - \omega_C)) - 2t(\omega_{\Gamma} - \omega_C)}{4(\omega_{\Gamma} - \omega_C)} + \frac{\sin(2t(\omega_3 - \omega_{\Gamma})) - 2t(\omega_3 - \omega_{\Gamma})}{4(\omega_3 - \omega_{\Gamma})} \right] \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

Після нескладних обчислень можна виділити нижню і верхню бічні смуги шуканого сигналу. Обидва сигнали, пройдені через гілки I і Q, на виході КІХ-фільтрів піддаються обчисленню миттєвих амплітуд і фаз сигналу, які, своєю чергою, надходять до комп'ютера або на плати БІС, які дають змогу виконувати швидкі обчислення для опрацювання сигналу (демодуляція, декодування, ухвалення рішень тощо).

У результаті моделювання такого способу пригнічення було досягнуто таких показників: пригнічення дзеркального каналу в разі використання фазофільтрового способу досягає 65 дБ, у разі використання фазофільтрового методу та наявності постійної складової у вхідному сигналі - 50 дБ. Ці результати не задовольняють необхідному рівню пригнічення за технічним завданням.

2.6 Причина неузгодженості коефіцієнта підсилення і фази у квадратурному приймачі

Для здійснення фазового методу пригнічення дзеркального каналу, як було сказано раніше, необхідно домогтися різниці фаз між квадратурним і синфазним каналами в 90 градусів і рівності амплітуд. У теорії для цього необхідно на змішувач одного з каналів подати прийнятий сигнал і косинус із частотою гетеродина, на другий - вхідний сигнал і синус із частотою гетеродина. Однак на практиці, реалізація такої умови між приймальними трактами не гарантує придушення дзеркального каналу, зважаючи на не ідеальність трактів приймача.

Причини неузгодженості між каналами мають різну природу. Узгодженість між каналами може бути спричинена неузгодженістю коефіцієнта посилення або фази в АЦП, неузгодженістю довжин провідників друкованої плати, коефіцієнту посилення або фази у фільтрі, коефіцієнту посилення або фази сигналу гетеродина, коефіцієнту посилення або фази демодульованого сигналу в квадратурному модуляторі, а також такими причинами, як номінали резисторів АЦП і узгоджувального резистора демодулятора [9]. Зупинимося докладніше на деяких із них, що вносять найбільший внесок у неузгодженість приймального тракту.

Помилка фази вхідного сигналу на АЦП

По суті це різниця в часі вихідних сигналів між квадратурним і синфазним каналами за умови подачі на них одного й того самого вхідного сигналу. Основною причиною є неузгодженість під час виробництва кремнієвих пластин з кристалами. Здебільшого розбіжність, спричинена цією неоднорідністю, не перевищує 20 пс, що відповідає менш ніж 1 градусу за частоти сигналу ПЧ близько 150 МГц.

Помилка демодульованого сигналу в квадратурному демодуляторі

Як і в попередньому випадку, цей вид неузгодженості пов'язаний з неоднорідністю виробництва кремнієвих пластин. Зазвичай, для коефіцієнта поси-

лення ці похибки не вносять неузгодженість більше ніж 1 відсоток, і фази близько 0,21 градуса.

Помилка сигналу гетеродина у квадратурному демодуляторі

Найбільшу неузгодженість між квадратурним і синфазними каналами може вносити сигнал гетеродина. На квадратурному демодуляторі відбувається поділ сигналу на дві складові. Математика процесу (представленого раніше) показує, що внесок, що вноситься в неузгодженість між каналами в гетеродина такий самий, як і неузгодженість квадратурною і синфазною складовими вхідного сигналу. Таким чином, похибка в амплітуді та фазі сигналу гетеродина чинить такий самий вплив під час придушення дзеркального каналу, як і похибки, що вносяться в амплітуду і фазу демодулятором. Тому цей вид неузгодженості є критичним показником квадратурного демодулятора.

Неузгодженість довжин провідників друкованої плати

Неузгодження ліній передачі мають різну природу виникнення. Вони пов'язані з геометрією провідника, відстанню до опорного шару і діелектричною проникністю. У теорії, лінії передачі двох каналів рівні, але через деякі складнощі під час проектування друкованої плати, неідеальність виготовлення та неоднорідність матеріалів, виникають похибки фаз квадратурних сигналів, спричинені затримкою в каналах один відносно одного [10].

Виділяють два типи неузгодженості ліній: між каналами і між провідниками сигналу в одному каналі (рисунок 2.11).

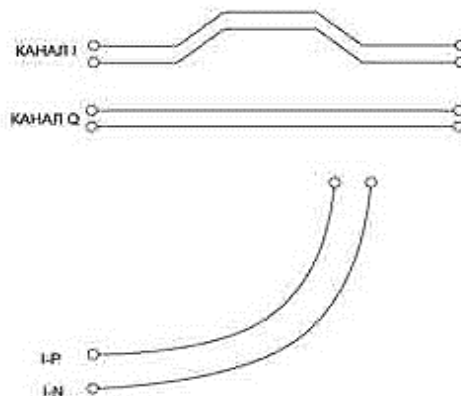


Рисунок 2.11 – Приклади неузгодження довжин провідників друкованої плати

Даний вид неузгодження вносить серйозні фазові похибки, але незначні похибки для коефіцієнта посилення каналів. Неузгодженість подібних типів ліній у 5 см дає затримку в 320 пс, у разі використання підкладки з матеріалу FR-4, а за 3 мм, на частоті сигналу ПЧ 150 МГц, похибку фаз між каналами можна виразити в 1 градусі.

2.7 Висновки до розділу

В даному розділі було введено і розглянуто поняття комплексного сигналу. Широке поширення використання цифрових квадратурних приймачів пов'язане саме з цінними властивостями комплексних сигналів. Серед них можна виділити такі: комплексний сигнал містить у собі повну інформацію про спектр; комплексний сигнал несе в собі інформацію про фазу, що дає змогу працювати з фазовою модуляцією; комплексний сигнал має великі можливості з опрацювання та синтезу сигналів будь-якої складності, завдяки зручності застосування до нього перетворення Фур'є; під час використання комплексних сигналів можна використовувати частоту роботи АЦП у 2 рази нижчу, ніж без застосування квадратур.

Для здійснення скалярного множення вхідного сигналу та сигналу гетеродину використовують квадратурний гетеродин. Наслідком застосування є поява побічних каналів прийому: комбінаційні побічні канали; субгармонійні побічні канали; побічні канали на проміжній частоті.

У якості методів придушення дзеркального каналу розглянуті фазовий метод придушення дзеркального каналу та фільтровий метод придушення дзеркального каналу. Визначено, що пригнічення дзеркального каналу фазовим методом має суттєвий плюс, а саме дає змогу пригнічувати дзеркальний канал за близьких значень корисного високочастотного сигналу і сигналу проміжної частоти, що надходить із гетеродину.

Для подальшого удосконалення методів придушення ДК розглянуті причини неузгодженості коефіцієнта підсилення і фази у квадратурному приймачі

3 МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВОГО МЕТОДУ ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ

Пригнічення дзеркального каналу фазовим методом має суттєвий плюс, а саме дає змогу пригнічувати дзеркальний канал за близьких значень корисного високочастотного сигналу і сигналу проміжної частоти, що надходить із гетеродину. Крім усього іншого, фазовий метод дає змогу обмежитися наявною апаратною частиною і використовувати ресурси, менші порівняно з іншими методами для досягнення досить точного фільтра з різким спадом за межею смуги ПЧ і сильним пригніченням. Однак, розглянуті реалізації фазового методу пригнічення дзеркального каналу, для розв'язання поставлених завдань ТЗ, не підходять, тому змодельовано коригувальні фільтри для смуги 100 МГц, що компенсують дисбаланс амплітуд і фаз в каналах приймача.

3.1 Параметри приймача

Як було розглянуто раніше, для здійснення фазового методу пригнічення необхідно пропустити вхідний комплексний сигнал через два коригувальні FIR-фільтри, що здійснюють компенсацію амплітуд і фаз у квадратурному і синфазному каналах. Сигнали на виході фільтрів повинні мати рівність в амплітуді і різницю за фазою в 90 градусів. На практиці цього домогтися складно з огляду на величезну кількість наявних неузгодженостей амплітуд і фаз, наявних у приймальному тракті. Причини виникнення і внесок у загальний дисбаланс були розглянуті вище. Для того, щоб позбутися неузгодженості між каналами приймання, що є безсумнівно важливим і всеосяжним завданням, необхідно підготувати максимально симетричний приймальний тракт за квадратурним і синфазним каналами, для забезпечення мінімізації неузгодженості між ними, що складно. Проте, кожна з можливих помилок робить свій внесок у формування загальної амплітудної і фазової помилки в каналах квадратурного приймача на виході. У цій роботі основним завданням

ставиться пригнічити ДК канал шляхом програмної корекції сумарних помилок, що виникають в каналах.

Приймач є гетеродинним із частотним діапазоном 300-4200 МГц. Перенесення частоти здійснюється на 350 МГц. Смуга проміжної частоти 100 МГц. На рисунку 3.1 зображено структурну схему приймача.

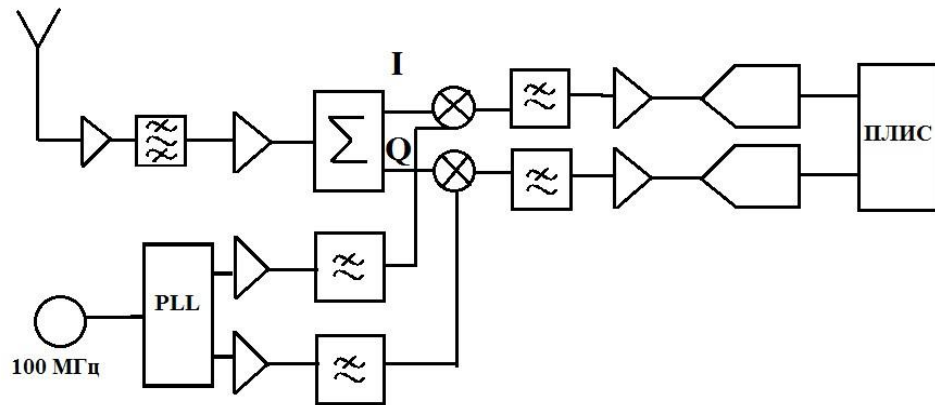


Рисунок 3.1 – Структурна схема приймача

Для цього приймача було отримано 64 точки АЧХ і різниці фаз на виходах квадратурного і синфазного каналів у смузі 100 МГц, після перенесення основного сигналу на проміжну частоту 350 МГц. На підставі них було побудовано АЧХ обох каналів (рисунок 3.2) і різницю фаз між синфазним і квадратурним каналом (рисунок 3.2), позначених далі як I та Q.

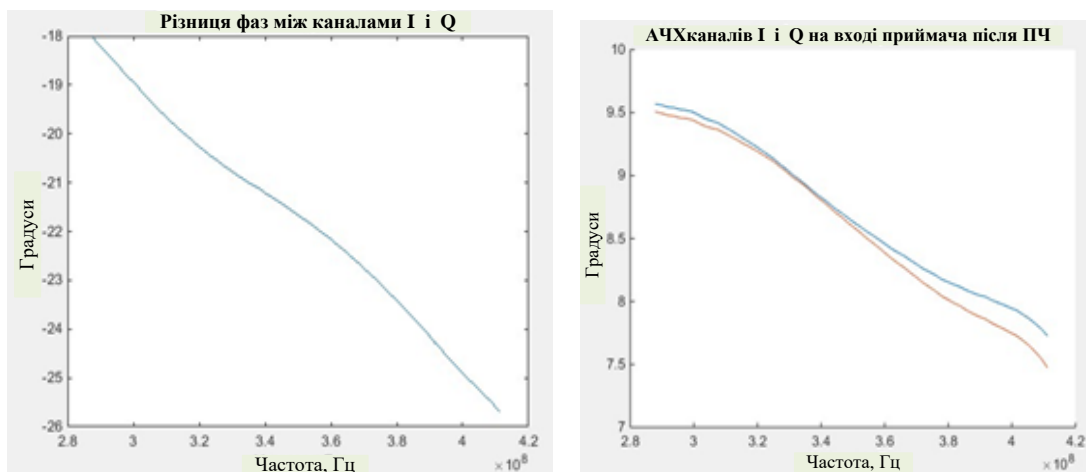


Рисунок 3.2 – АЧХ та ФЧХ приймача на виходах I та Q

3.2 Фазові та амплітудні помилки

Між каналами I і Q приймача необхідно забезпечити різницю фаз у 90 градусів, і будь-яке відхилення від цього значення буде породжувати собою помилку, що відбивається як на амплітудному, так і на фазовому дисбалансі між каналами. Припустимо, що сигнал має фазову помилку φ радіан. Тоді його вигляд буде:

$$S(t) = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.1)$$

або в експоненціальній формі:

$$S(t) = 1/2[e^{j\omega t}(1 + e^{j\varphi}) + e^{-j\omega t}(1 - e^{-j\varphi})]. \quad (3.2)$$

При підстановці у будь-яке з цих рівнянь значення фази, що дорівнює нулю ($\varphi = 0$), виключиться квадратурна фазова помилка. Наявність у рівняннях складових компонент із вмістом фаз – $(1 + e^{j\varphi})$ и $(1 - e^{-j\varphi})$, свідчать про наявність фазових помилок. Не важко здогадатися, що зі зростанням фазової помилки збільшуватиметься синфазна складова каналу.

З отриманих раніше фазових невідповідностей між каналами I і Q видно, що різниця фаз між каналами в усьому розглянутому частотному діапазоні не перевищує 25,7 градусів і має своє мінімальне значення, що дорівнює 18 градусам. Для уникнення часової затримки між синфазним і квадратурним каналами приймача потрібне коригування для фази й амплітуди каналів, шляхом використання двох коригувальних FIR-фільтрів у кожному з каналів, розділивши помилку як за амплітудою, так і за фазою між двома каналами порівну. Таким чином, у каналі I і Q буде здійснюватися коригування фази, з такими значеннями, представленими на рисунку 3.3.

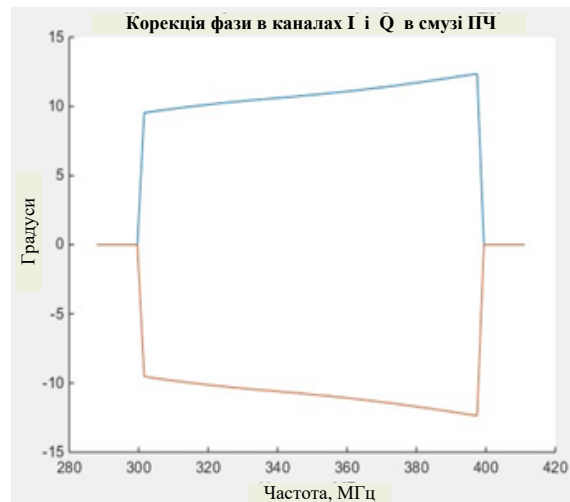


Рисунок 3.3 – Необхідне коригування фази для каналів I та Q

Крім фазових помилок, в каналах I і Q приймача можуть виникнути і амплітудні помилки, які зі свого боку мають зв'язок із фазовими. Покладемо, що сигнал на вході має як фазові, так і амплітудні помилки, які дорівнюють φ і α і β як амплітудні коефіцієнти для \cos і \sin відповідно. Таким чином комплексний сигнал з I та Q складових має вигляд:

$$S(t) = \alpha \cos(\omega t) + j \beta \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.3)$$

що також можна записати в експоненціальній формі як:

$$S(t) = \frac{1}{2} [e^{j\omega t}(\alpha + \beta e^{j\varphi}) + e^{-j\omega t}(\alpha - \beta e^{-j\varphi})]. \quad (3.4)$$

Як видно з виразу 3.4, амплітудні помилки впливають на дисбаланс амплітуд як на частотах корисного сигналу, так і на частотах, віддзеркалених на ширину проміжної частоти.

Так само як і для фазових помилок, для амплітудних було пороховано різницю амплітуд між каналами I та Q, яка не перевищує в діапазоні смуги проміжної частоти значення в 0,19 дБ. Як і для корекції фаз, амплітудна помилка, що потребує компенсації, була поділена у всій частотній смузі між

каналами I та Q. Таким чином, у кожному з каналів необхідно компенсувати помилку за амплітудою, що не перевищує 0,095 дБ, що показано на рисунку 3.4.

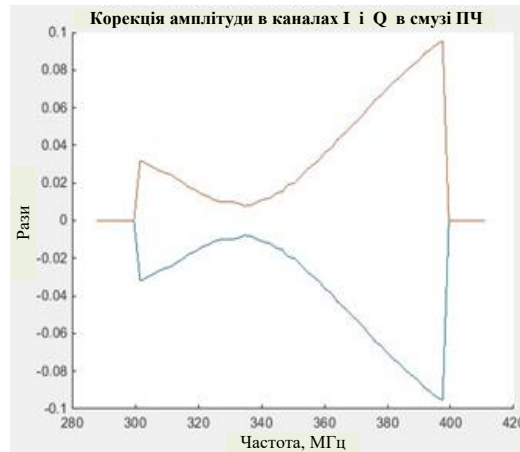


Рисунок 3.4 – Необхідне коригування амплітуд для каналів I та Q

Для боротьби з такими спотвореннями, при реалізації фазового методу пригнічення ДК, в даній роботі будуть використані FIR-фільтри коректори, спрямовані на компенсацію спотворень між каналами, для отримання на виході каналів різницю за фазою в 90 градусів.

3.3 Моделювання FIR-фільтра

За основу FIR фільтра було обрано всепропускний FIR-фільтр 64 порядку. На нього накладено коригування амплітуди і фази для кожного з каналів. Таким чином, отримано два фільтри, зі своїми АЧХ і ФЧХ, для каналів I і Q, подані на рисунках 3.5.

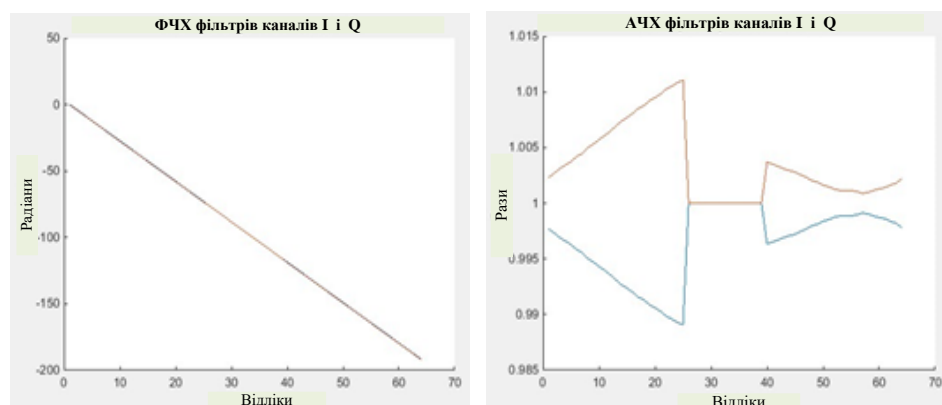


Рисунок 3.5 – АЧХ та ФЧХ фільтрів для гілок I та Q

3.3.1 Вибір порядку фільтра

Для визначення необхідного порядку, використовуваного для коригування амплітуди і фази між квадратурним і синфазним каналами FIR-фільтра, проаналізуємо внесені амплітудні та фазові помилки в каналах фільтра за розрядності коефіцієнтів фільтра 32 біти. Оскільки порядок фільтра визначається ресурсами пам'яті, обмежимося значенням порядку фільтра 128 як верхньою межею, і 32 для нижньої (нижчі не має сенсу брати з огляду на збільшення похибки під час коригування через маленьку вибірку точок). Було визначено, що зі зростанням порядку фільтра зменшується амплітудна помилка коригувального фільтра. Однак, для зменшення ресурсів використовуваної пам'яті, для подальшого моделювання було обрано фільтр 64 порядку.

Таким чином, на рисунку 3.6 представлено амплітудні та фазові помилки, для фільтра 64 порядку відповідно.

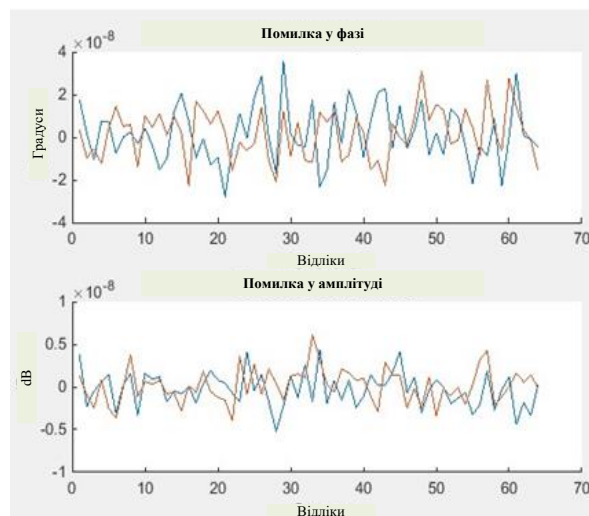


Рисунок 3.6 – Помилка за амплітудою і фазою для 64 порядку фільтра, за розрядності коефіцієнтів фільтра 32 біта

3.3.2 Вибір розрядності коефіцієнтів фільтра

Розрядність коефіцієнтів фільтрів має обмеження, спричинені наявними ресурсами. Це обмеження щодо розрядності безпосередньо впливає на точність значення компенсації за амплітудою і фазою між квадратурним і синфазним каналами. Зменшення розрядності коефіцієнтів фільтра призводить до зростання помилки за амплітудою і фазою. Збільшення розрядності

коєфіцієнтів фільтра призводить до збільшення обчислювальних потужностей. Для визначення необхідної розрядності коєфіцієнтів фільтра, штучно внесемо помилку в один градус між каналами, за умови різниці фаз між ними 90 градусів, і рівності амплітуд, до внесення помилки. Спектр сигналу на виході приймача за різниці фаз між квадратурним і синфазним каналами та рівності амплітуд та спектр сигналу на виході в разі внесення фазової помилки в 1 градус подано рисунку 3.7.

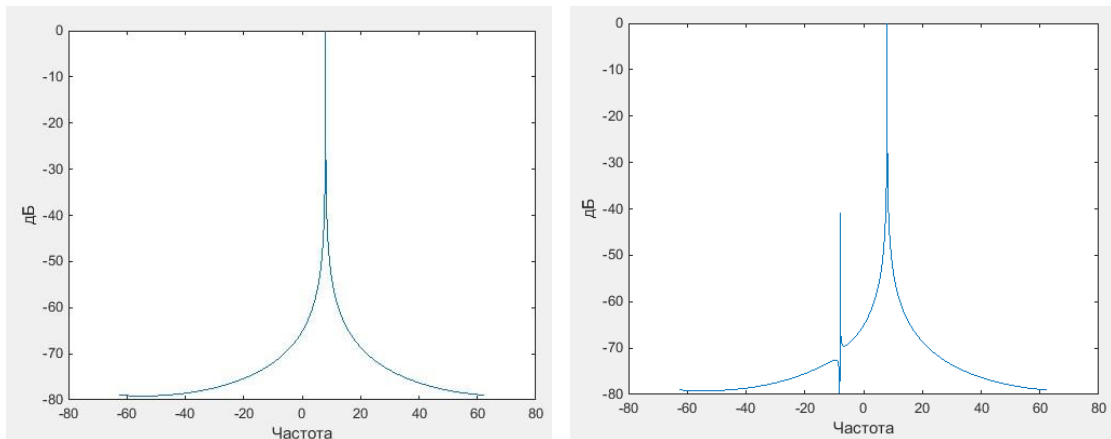


Рисунок 3.7 - Спектр сигналу на виході приймача: а) за умови забезпечення між каналами різниці фаз у 90 градусів і рівності амплітуд; б) при внесенні помилки за фазою в 1 градус

Зрозуміло, що за подальшого зменшення фазової помилки, що вноситься, буде зменшуватися рівень дзеркального каналу. Так при внесенні помилки по фазі 0.001 градус, рівень дзеркального каналу становить -69,95 дБ, при використанні коригувального FIR-фільтра 64 порядку.

Так само, при внесенні помилки за амплітудою, було отримано, що при помилці 0.0001 дБ, рівень дзеркального каналу становить -70,35 дБ при використанні коригувального FIR-фільтра 64 порядку.

На підставі проведених розрахунків, слід обирати розрядність коєфіцієнтів фільтра таку, щоб помилка за фазою не перевищувала тисячну частку градуса, за амплітудою - десятитисячну частку дБ. Експериментально

було встановлено, що обмеження розрядності коефіцієнтів фільтрів 10 бітами, помилка за фазою становить десяті частки градусів, помилка за амплітудою становить соті частки децибел. Збільшення розрядності коефіцієнтів фільтра до 15 біт зменшує помилку за амплітудою до десятитисячних значень децибел, за фазою до тисячних часток градуса. За отриманими даними, можна зробити вибір у бік використання округлення розрядності коефіцієнтів фільтра за 15 бітами. Для наочності змін, що вносяться в АЧХ фільтрів двох каналів після округлення, на рисунках 3.8 подано графіки до та після округлення за розрядністю для коригувальних фільтрів квадратурного та синфазного каналів відповідно. Уявлення зміни вигляду ФЧХ обох фільтрів ускладнене, зважаючи на малі значення дисбалансу фаз у квадратурному і синфазному каналах.

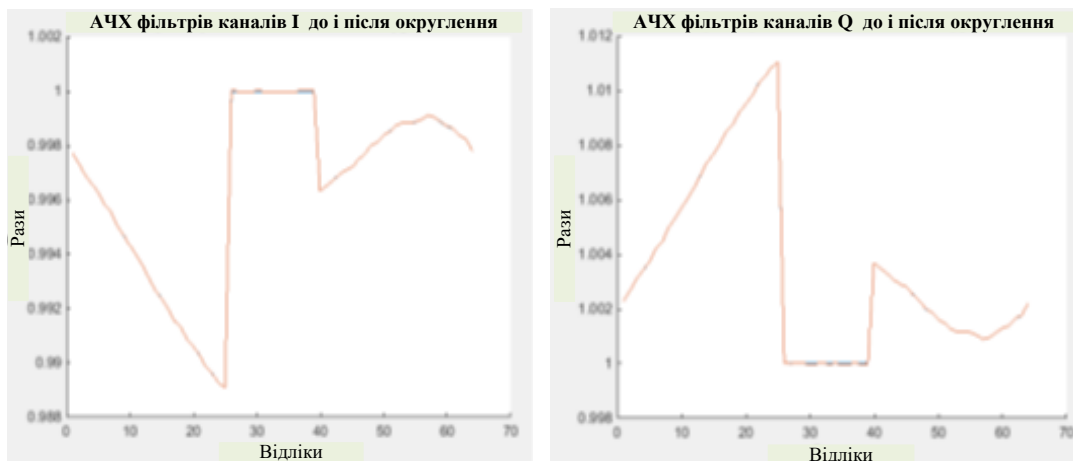


Рисунок 3.8 - АЧХ коригувального фільтра обох каналі до (синій) і після (червоний) округлення коефіцієнтів фільтра за 15-ма бітами

3.4 Частотна роздільна здатність

Для того щоб розрізнити близькі за частотою сигнали основного і дзеркального каналів, необхідно підвищувати частотну роздільну здатність індикаторного пристрою. Частотна роздільна здатність - це здатність розрізняти два окремі відгуки сигналу. Для збільшення частотної роздільної здатності передавальна функція фільтра доповнюється нулями після наявної

передавальної функції фільтра до застосування перетворення Фур'є [13]. Таким чином, розраховані коефіцієнти FIR-фільтра для коригування амплітуд і фаз у квадратурному і синфазному каналах доповнюємо нулями з правої частини до 1024. Результати отриманих FIR-фільтрів для квадратурного і синфазного каналів, при проходженні через них дельта-функції довжиною 1024, точки наведено на рисунках 3.9.

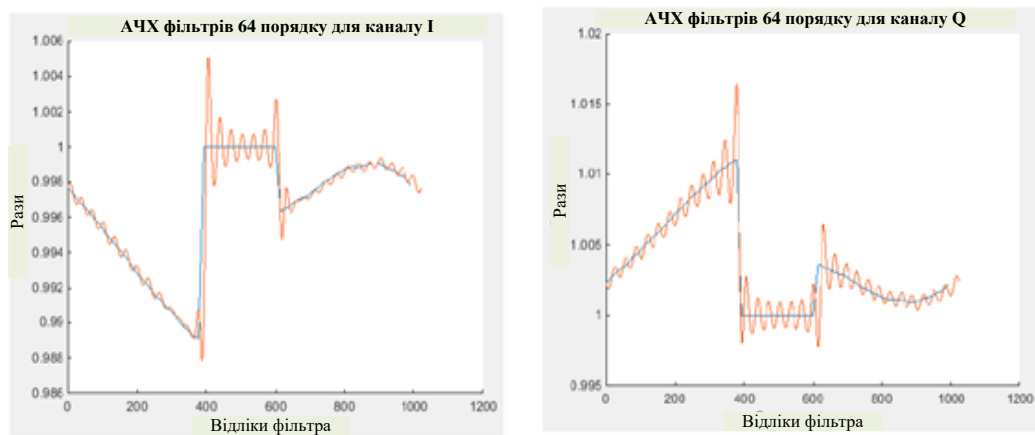


Рисунок 3.9 - Порівняння АЧХ фільтрів 64 порядку без і зі збільшенням частотної роздільної здатності для квадратурного каналу

Як видно з представлених графіків, під час збільшення частотної роздільної здатності, з'являються пульсації у всій смузі пропускання фільтра. Проте збільшення частотної роздільної здатності дає змогу працювати з близько розташованими за частотою сигналами основного і дзеркального каналів.

3.5 Застосування вікон

Збільшення частотної роздільної здатності фільтра НЧ породжує собою нову проблему, пов'язану з нерівномірністю АЧХ фільтра в досліджуваній смузі. Для боротьби з пульсаціями використовуються віконні функції. Існує велика кількість віконних функцій, які можна розділити за двома властивостями: ширина головної пелюстки і рівень бічних пелюсток [14]. До

основних типів віконних функцій, що використовуються для цифрової обробки сигналів, належать: прямокутне вікно, вікно Ханна, вікно Хеммінга, вікно Блекмана і вікно Кайзера. Розглянемо вплив деяких із них на зменшення нерівномірності АЧХ коригувальних фільтрів під час розширення частотної роздільної здатності. Множення коефіцієнтів коригувальних фільтрів проводиться до визначення фільтра нулями і застосування перетворення Фур'є. Розраховані АЧХ і ІХ отриманих FIR-фільтрів нижніх частот 64-го порядку за використання віконних функцій змодельовано за допомогою вбудованого середовища в пакет Matlab FDATool [15].

3.5.1 Вікно Хеммінга

Вікно Хеммінга має наступну формулу:

$$\omega(n) = 0,53836 - 0,46164\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad (3.5)$$

де N – порядок фільтра, n – відлік. УБЛ -42 дБ.

Для вікна Хеммінга характерна така амплітудна характеристика (рисунок 3.10):

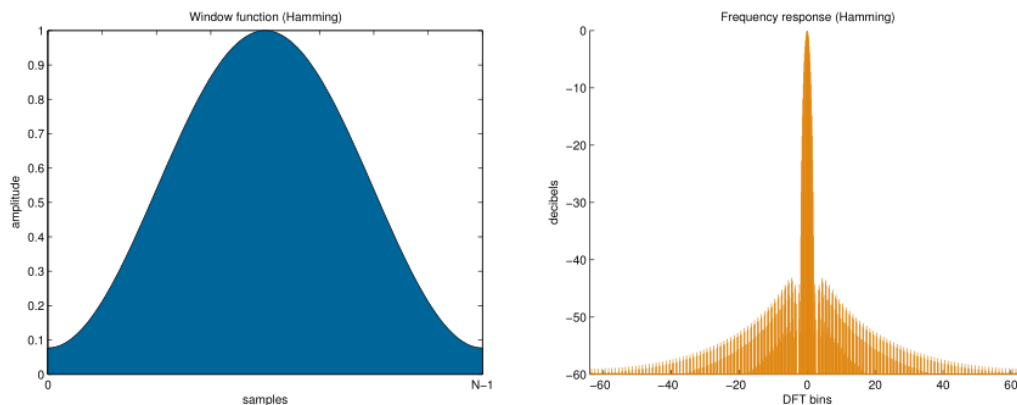


Рисунок 3.10 - Зовнішній вигляд і нормований спектр віконної функції Хеммінга

FIR-фільтр нижніх частот 64 порядку, у разі використання віконної функції Хеммінга, має наступну АЧХ, та імпульсну характеристику (ІХ), що подані на рисунку 3.11, та імпульсну характеристику (рисунок 3.12).

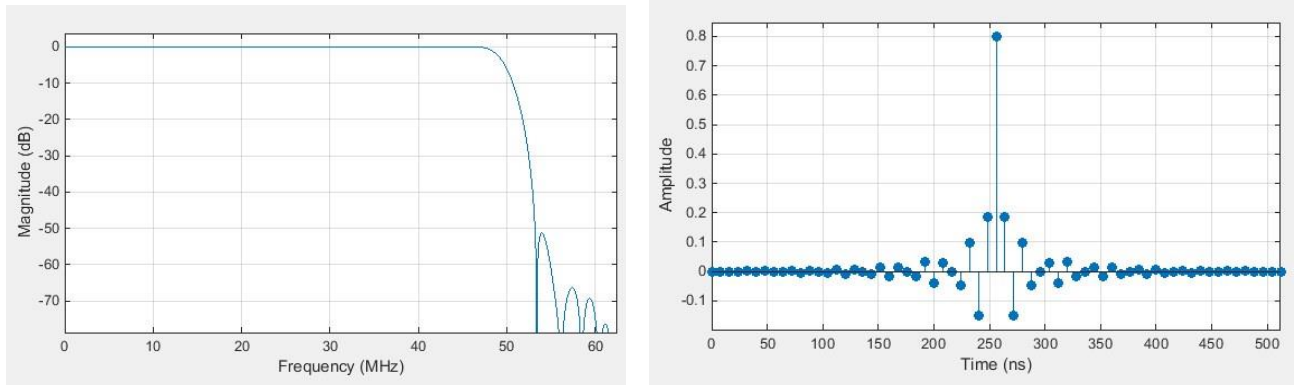


Рисунок 3.11 – АЧХ та ІХ FIR-фільтра нижніх частот 64-го порядку при використанні віконної функції Хеммінга

Нерівномірність АЧХ FIR-фільтра з використанням віконної функції Хеммінга до частоти зрізу становить 0.02 дБ.

3.5.2 Прямокутне вікно

Прямокутне вікно задається наступною формулою:

$$\omega(n) = \begin{cases} 1, & n \in [0, N - 1] \\ 0, & n \notin [0, N - 1] \end{cases} \quad (3.6)$$

Амплітудну характеристику прямокутного вікна показано на рисунку 3.12.

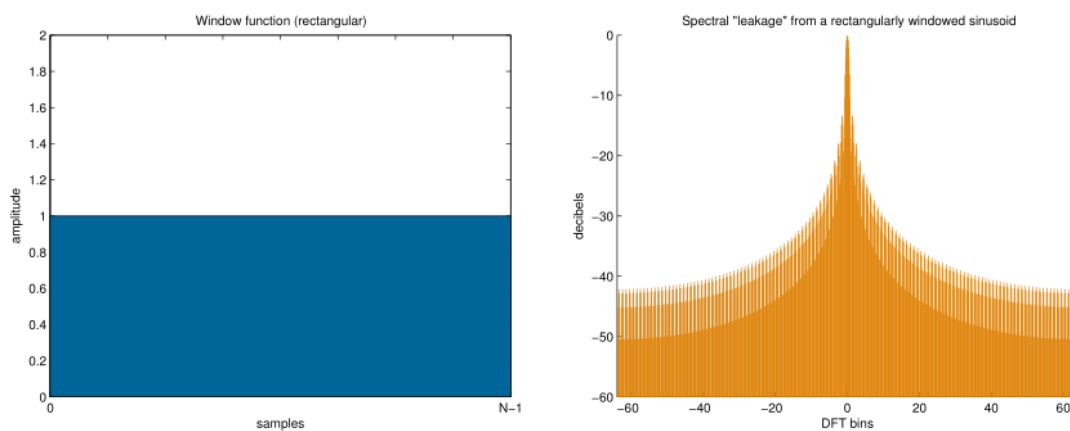


Рисунок 3.12 - Зовнішній вигляд і нормований спектр прямокутної віконної функції

FIR-фільтр нижніх частот 64 порядку, у разі використання прямокутної віконної функції, має наступну АЧХ і ІХ, що представлені на рисунку 3.13.

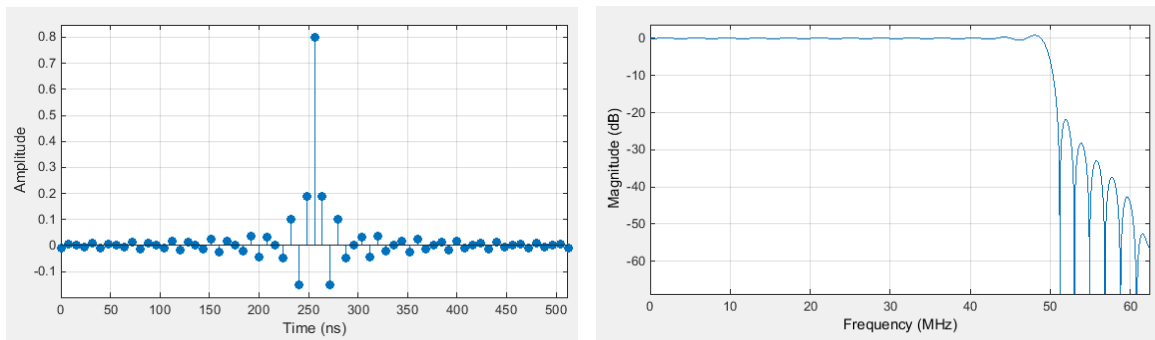


Рисунок 3.13 - АЧХ та ІХ FIR-фільтра нижніх частот 64 порядку за використання прямокутної віконної функції

Нерівномірність АЧХ FIR-фільтра з використанням прямокутної віконної функції до частоти зрізу більша, порівняно з віконною функцією Хемінга, і становить 0,8 дБ.

3.5.3 Вікно Блекмана

Для формування вікна Блекмана, використовується така формула:

$$\omega(n) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right). \quad (3.7)$$

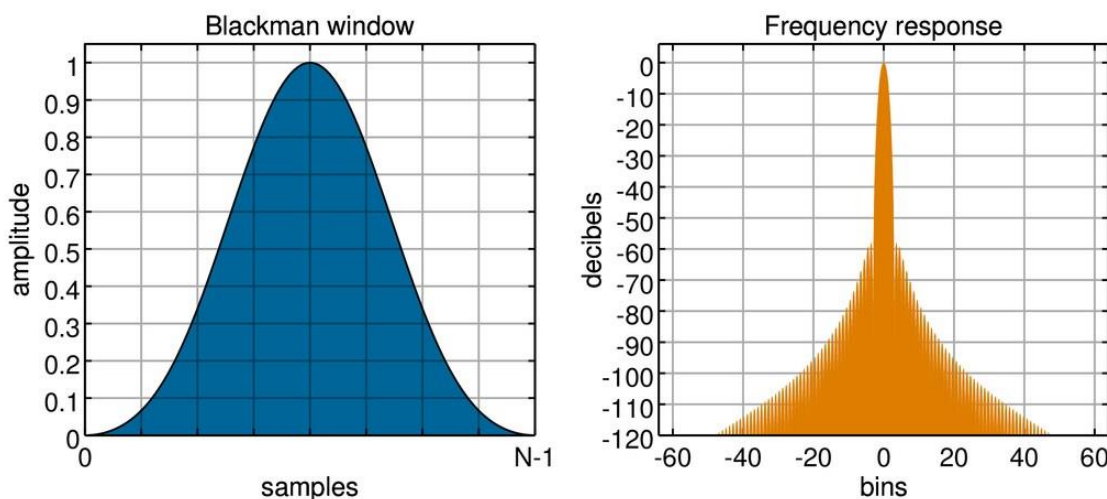


Рисунок 3.14 - Зовнішній вигляд і нормований спектр віконної функції Блекмана

FIR-фільтр нижніх частот 64 порядку, у разі використання віконної функції Блекмана, має наступну АЧХ та ІХ, що подані на рисунку 3.15.

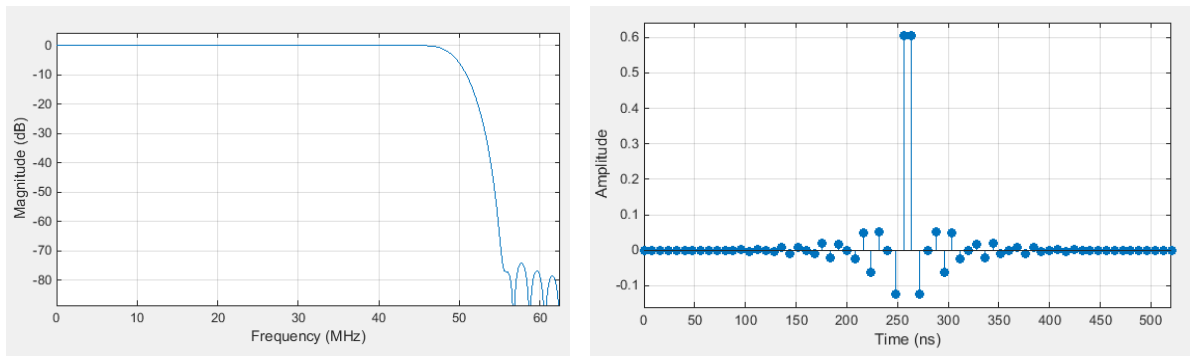


Рисунок 3.15 - АЧХ та ІХ FIR-фільтра нижніх частот 64-го порядку в разі використання віконної функції Блекмана

Нерівномірність АЧХ FIR-фільтра з використанням віконної функції Блекмана до частоти зрізу менша, ніж у віконної функції Хемінга, і дорівнює 0.0015. Тому для подальшого аналізу впливу на нерівномірність АЧХ фільтрів зі збільшенням частотної роздільної здатності під час використання віконних функцій було обрано віконну функцію Блекмана.

3.6 Придушення дзеркального каналу

Простежимо шлях проходження вхідного сигналу на цифровому квадратурному приймачі. На рисунку 3.16 зображено схему квадратурного приймача від антени до квадратурного демодулятора, на якому здійснюють калібрування квадратурного і синфазного каналів.

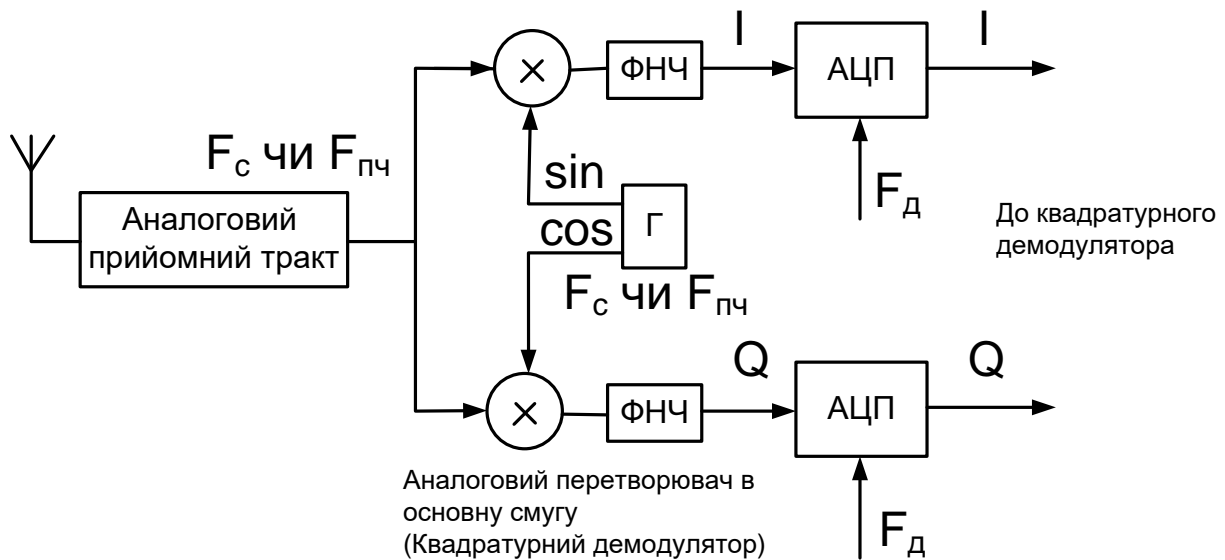


Рисунок 3.16 - Схема квадратурного приймача до демодуляції

Вхідний аналоговий сигнал, після аналогового приймального тракту, розділяється та надходить на два змішувачі, на яких відбувається множення на сигнал із гетеродину. На верхньому на косинус, після чого формується квадратурний канал, на нижньому на синус - формування синфазного каналу. Частоту гетеродину підбрано таким чином, що після перемноження на змішувачі вхідного сигналу і сигналу, що надходить із гетеродину, корисний сигнал переноситься в нуль. Після цього обидва сигнали надходять на фільтри нижніх частот, завдяки чому фільтрується не тільки високочастотна складова сигналу, а й негативна частина ВЧ. За теоремою Котельникова, частоти АЦП мають бути не менш ніж удвічі більшими за вхідний сигнал. Для досліджуваного приймача частота АЦП дорівнює 1 ГГц. Таким чином, після АЦП виходить гігагерцовий потік даних для кожного з каналів.

Після АЦП обидва сигнали, для квадратурної та синфазної складових, потрапляють на квадратурні демодулятори, що здійснюють корекцію для кожного з каналів прийому. Схема здійснення корекції наведена на рисунку 3.17.

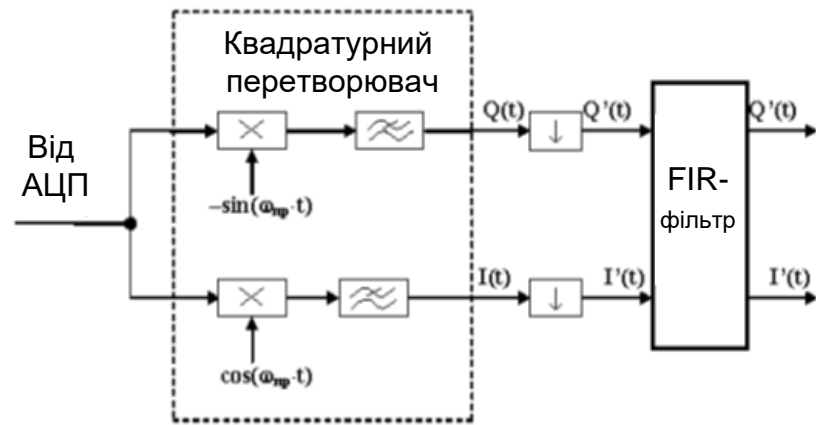


Рисунок 3.17 – Схема здійснення корекції

Розглянемо корекцію амплітуди і фази на прикладі квадратурного каналу приймача. Гігабітний потік з АЦП для кожного з каналів розділяється і надходить на змішувачі, на яких відбувається перемноження вхідного сигналу з косинусом і синусом, що надходять із гетеродину на частоті 350 МГц. Після чого здійснюється перенесення сигналу на відповідну частоту. Далі, кожен з отриманих сигналів проходить фільтрацію на ФНЧ. Після чого, дійсна і уявна частини квадратурного каналу, піддаються децимації на 8. Таким чином, гігабітний потік набуває частоти 125 МГц, що зменшує швидкість потоку даних, і як наслідок, його простіше опрацювати, і надходить на FIR-фільтр, який має скориговані амплітудні та фазові характеристики для квадратурного каналу. Після чого, від кожного з каналів беруться дійсні частини і формується комплексний сигнал, у якій дійсна частина дорівнює дійсній частині квадратурного каналу, а уявна - дійсній частині синфазного каналу. Після чого, береться швидке перетворення Фур'є від сформованого сигналу для демонстрації результату.

За відсутності амплітудного і фазового коригування каналів, виникає дзеркальний канал, за рахунок амплітудного і фазового дисбалансу між каналами. Характерний графік, після децимації на 8, представлений на рисунку 3.18 а.

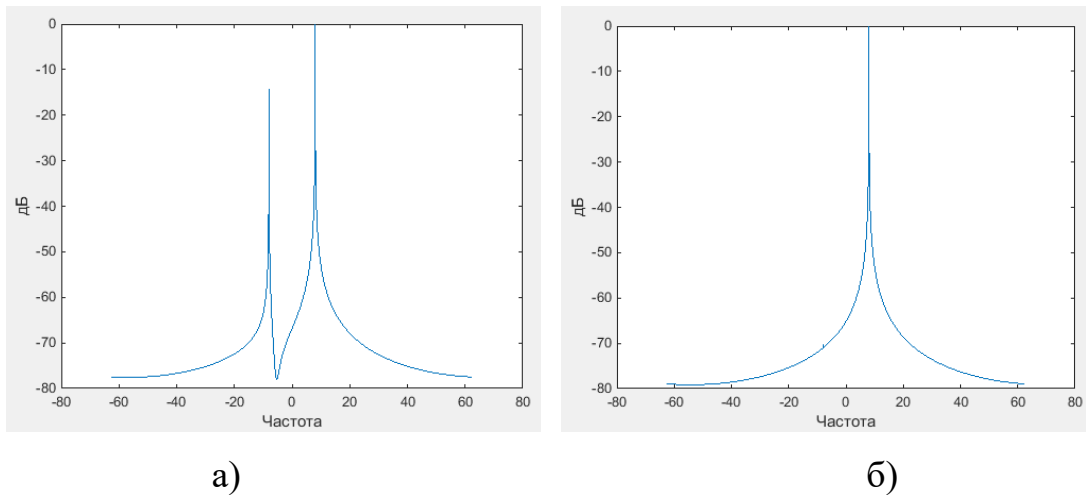


Рисунок 3.18 – Основний і дзеркальний канали: а) без коригування вадратурного і синфазного каналів; б) з корекцією відповідних каналів

Як видно з графіка, рівень дзеркального каналу становить -14 дБ від рівня основного каналу. Здійснити придушення дзеркального каналу можна і до коригувальних FIR-фільтрів, шляхом внесення коригування фази для кожного з каналів приймача у відповідний сигнал цифрового гетеродину, що стоїть після АЦП. Таким чином, вдається домогтися повного пригнічення дзеркального каналу для частоти сигналу, що надходить на змішувач разом із сигналом із цифрового гетеродину. Характерний графік наведено на рисунку 3.18 б. Однак варто зазначити, що придушення в цьому разі здійснюватиметься на конкретній частоті, для якої характерне внесене амплітудне і фазове коригування каналу.

Для реалізації завдання придушення дзеркального каналу в широкій смузі частот (у цьому завданні 100 МГц), використовується розрахований FIR-фільтр коректор. Використання коригувального FIR-фільтра забезпечує пригнічення дзеркального каналу на -70,14 дБ щодо вхідного каналу (рисунок 3.19 а).

Проведемо подібні розрахунки для коригувального FIR-фільтра 64 порядку при використанні віконної функції Блекмана. Результати моделювання наведено на рисунках 3.19 б. Порівнюючи отримані результати для FIR-фільтра з віконною функцією Блекмана і без її використання, можна зробити висновок, що використання віконної функції Блекмана зменшує рівень придушення на 3 дБ.

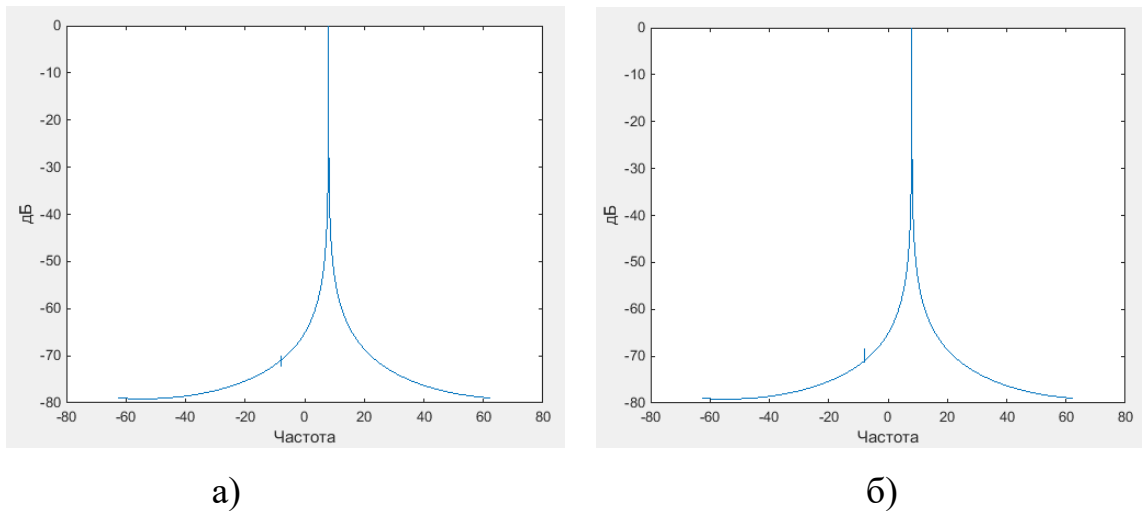


Рисунок 3.19 - Придушення ДК при використанні коригувальних FIR-фільтрів (а); FIR-фільтрів 64 порядку з віконною функцією Блекмана (б)

3.7 Висновки до розділу

У ході виконання даної роботи були змодельовані коригувальні FIR-фільтри для квадратурного та синфазного каналів квадратурного приймача прямого перетворення для придушення дзеркального каналу, розраховані на коригування в смузі ПЧ 100 МГц. Проведено вибір використання віконної функції з метою зменшення пульсацій коригуючого FIR-фільтра, і на основі даного аналізу, проведено дослідження впливу частотного дозволу на пригнічення дзеркального каналу, були промодельовані коригувальні FIR-фільтри з використанням віконної функції Блекмана.

Розглянуто вплив розрядності фільтра при формуванні коригувальних фільтрів. Для 15-ти розрядного фільтра фазовий дисбаланс каналів складає тисячні частки градуса та десятитисячні частки дБ при використанні FIR-фільтра без віконної функції Блекмана та при її використанні.

Проведено розрахунки придушення дзеркального каналу як при використанні FIR-фільтра без віконної функції, так і з нею. Результати відрізняються на 3 дБ. Коригуючий FIR-фільтр без використання функції Блекмана задовольняє

необхідним технічним вимогам та забезпечує придушення дзеркального каналу в смузі до $-70,14$ дБ по відношенню до основного каналу.

Наведено результати моделювання придушення дзеркального каналу при внесенні коригувальних коефіцієнтів при формуванні сигналу гетеродина для квадратурного та синфазного каналів після АЦП.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Найбільший скарб кожної людини – її життя та здоров'я. Наука про охорону праці тісно пов'язана з іншими науками. Вона широко використовує найновіші досягнення науки і техніки, базується на теоретичних розробках з фізики, хімії, математики, електроніки, медицини, економіки тощо. Для визначення на науковій основі методів і шляхів поліпшення та оздоровлення умов праці на виробництві, забезпечення правильного ритму праці, режиму праці і відпочинку, необхідно враховувати вимоги психології й фізіології праці людини.

Внаслідок науково-технічного прогресу значно збільшилися площі промислових підприємств, зросла фізична, хімічна, біологічна дія засобів праці на організм людини, однак щодо технічної та пожежної небезпеки сучасні технологічні процеси часто проектуються без урахування цих змін.

За таких умов дія шкідливих та небезпечних виробничих чинників посилюється в багато разів, що створює небезпечні умови праці, а інколи й аварійні ситуації. Якщо раніше проблеми охорони праці можна було вирішувати в процесі виробництва, то нині навіть незначні прорахунки з безпеки праці, допущені на стадії проектування, призводять до надзвичайних ситуацій, людських жертв та великих матеріальних збитків.

Дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку відбувалося в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На дослідника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [17]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Конструкція робочого місця та взаємне розташування усіх її елементів має відповідати антропометричним, фізичним і неординарним психологічним вимогам.

Більшість сучасних комп'ютерних стільців оснащені коліщатами і шарнірами, що дозволяє вільно переміщатися по всій площі службового приміщення. Крім того, такі стільці обладнані спинками, що дозволяє запобігти надмірному навантаженню на шию і спину. Для вибору стільця слід звернути увагу на наступні характеристики: наявність регульованого по висоті сидіння; наявність спинки, регульованої як по висоті, так і в поперечному напрямі; наявність достатньої глибини сидіння; належна стійкість; наявність коліщаток, відповідних покриттю підлоги у приміщенні.

При регулюванні стільця необхідно враховувати як розміри тіла, так і висоту робочої поверхні столу, якщо вона не регулюється. Висоту сидіння треба відрегулювати так, щоб можна було зручно розташуватися на ньому; при цьому ступні ніг повинні опиратися на підлогу, а зазор між передньою частиною стільця і ногами дослідника повинен складати 5 сантиметрів. Після цього слід відрегулювати спинку як у вертикальному, так і в поперечному напрямках, щоб не напружувався поперек.

Щодня перед початком роботи працівник повинен:

– оглянути своє робоче місце; про виявлення ознак пошкодження обладнання інформувати свого безпосереднього керівника;

- відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися в відсутності відблисків на екрані комп'ютера, відсутності зустрічного світла;
- перевірити правильність підключення обладнання ПК до електромережі;
- очистити екран комп'ютера від пилу та інших забруднень;
- перевірити правильність організації робочого місця й за необхідності провести відповідні коригування.

Працівник під час роботи зобов'язаний:

- виконувати тільки ту роботу, яку йому було доручено;
- підтримувати порядок і чистоту на робочому місці;
- тримати відкритими всі вентиляційні отвори обладнання;
- коректно закрити всі активні завдання у разі припинення роботи з комп'ютером;
- негайно відключити комп'ютером від електричної мережі у разі виникнення аварійної ситуації.

У ході виконання робіт працівник повинен:

- витримувати відстань від очей до екрана комп'ютером в межах 60 - 70см;
- дотримуватися внутрішньозмінного режиму праці та відпочинку, регламентованих перерв у роботі;

Під час регламентованих перерв рекомендується виконувати комплекси вправ для очей, рук, хребта, поліпшення мозкового кровообігу тощо. Про виявлення несправності обладнання або інших факторів, які створюють загрозу для життя або здоров'я працівників, необхідно негайно інформувати свого безпосереднього керівника.

Не допускається:

- виконання ремонту та налагодження комп'ютерної техніки безпосередньо на робочому місці оператора;
- зберігання біля комп'ютера паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- відключення захисних пристроїв, самочинні зміни в конструкції комп'ютера;
- використання комп'ютерів, на екранах яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- доторкання до задньої панелі системного блоку при включеному живленні;
- вимикання живлення під час виконання активного завдання;
- попадання вологи на поверхню системного блоку, монітора, клавіатури, дисководів, принтерів та інших пристроїв;
- приймання напоїв та їжі на робочому місці.

Після закінчення роботи з використанням необхідно дотримуватися такої послідовності вимикання обладнання:

- закрити всі активні завдання;
- використавши опцію «Завершення роботи» у меню «Пуск», вимкнути живлення системного блоку;
- вимкнути живлення всіх комп'ютерів;
- вимкнути блок аварійного живлення (за наявності);
- відключити комп'ютер від електромережі, при цьому забороняється тягнути штепсельну вилку за дріт.

Приміщення, де здійснювалася дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина на-

пруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки чинники підвищеної небезпеки (підвищена температура повітря (більша за 35°C), вологість (більша 75%), струмопровідна підлога, струмопровідний пил, можливість одночасного дотику обслуговуючого персоналу до металевого корпусу споживача електроенергії та металоконструкцій, що мають зв'язок із землею) та особливої небезпеки (вологість повітря в приміщеннях близька до насичення, конденсація вологи на поверхні устаткування та будівельних конструкціях (100%); хімічно активне середовище, що призводить до руйнування ізоляції, чи біологічне середовище, що у вигляді плісняви утворюється на обладнанні та струмовідних елементах) відсутні.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Життєдіяльність людини завжди протікає у певних метеорологічних умовах, що визначаються поєднанням температури повітря, швидкості його руху і відносної вологості, барометричним тиском та інтенсивністю теплового випромінювання. Ці показники в сукупності (за винятком барометричного тиску) характеризують метеорологічні умови середовища (мікроклімат) виробничого приміщення. Якщо робота виконується на відкритих майданчиках, то метеорологічні умови визначаються кліматичним поясом і сезоном року. Проте і в цьому випадку в робочій зоні створюється певний мікроклімат.

Параметри мікроклімату закритих приміщень нормують санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99 [18]. Робота з дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [19]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення вказаних параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено використання централізованої парової системи опалення, системи механічної вентиляції, систематичного провітрювання та вологого прибирання (раз за зміну).

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Повітря робочої зони залежно від хімічного складу, фізичних властивостей, наявності забруднюючих чинників може бути сприятливим, несприятливим або навіть небезпечним. Сприятливим повітряне середовище в робочій зоні буває тоді, коли воно має відповідну чистоту, нормальні хімічні показники та нормальний мікроклімат.

В приміщенні, де здійснюється дослідження у повітрі можуть бути наявні підвищені концентрації пилу та озону. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ	3	1	4

Для забезпечення у виробничих приміщеннях оптимальних параметрів мікроклімату та належної чистоти повітря (граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин) використовують вентилування приміщень, яке здійсню-

ють за допомогою сукупності пристроїв для транспортування, подання та вида-лення повітря.

4.2.3 Виробниче освітлення

Недостатність освітлення призводить до напруги зору, послаблює увагу, призводить до подальшої передчасної стомлюваності. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до професійних захворювань, тому надзвичайно важливе значення має забезпечення оптимальної освітленості на робочому місці.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 [20] в приміщеннях, де здійснюється робота на ПК необхідно застосувати систему комбінованого освітлення.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для нормалізації освітленості в приміщенні слід передбачити обмеження прямої блискості від джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість світлих поверхонь (вікна, джерела штучного освітлення), що розташовані в полі зору повинна бути не більше ніж 200 кд/м^2 . Необхідно обмежувати відбиту блискість на робочих поверхнях відносно джерел природного і штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані ВДТ має не перевищувати 40 кд/м^2 , а яскравість стелі в разі застосування системи відбитого освітлення – 200 кд/м^2 .

4.2.4 Виробничий шум

Шум - безладне сполучення різних по силі і частоті звуків; здатний здійснювати несприятливу дію на організм працівника. Джерелом шуму є будь-який процес, що викликає місцеву зміну тиску або механічні коливання в жорстких, водянистих або газоподібних середовищах. Джерелами шуму можуть бути двигуни, насоси, компресори, турбіни, пневматичні та електричні інструменти, молоти, долота, верстати, центрифуги, бункери та інші установки.

Реакція людини на шум різна. Деякі люди досить терплячі до шуму, у інших він викликає роздратування. Психологічна оцінка шуму в основному базується на понятті сприйняття, причому велике значення має внутрішнє налаштування до джерела шуму. Воно визначає, чи буде шум сприйматися як перешкода робочому процесу. Часто шум, який здійснюється самим працівником, не турбує його, в той час як невеликий шум, викликаний сусідами або іншим джерелом, має значний подразнюючий ефект.

Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на місцях праці встановлені санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 [21], витяг з яких подано в табл. 4.5

Таблиця 4.5 – Допустимі еквівалентні рівні шуму на робочих місцях

Вид професійної діяльності, місце праці	Еквівалентні рівні шуму, дБ
Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання та навчання, лікарська діяльність; місця праці у приміщеннях – дирекції, проектно-конструкторських бюро, програмістів обчислювальних машин, у лабораторіях для теоретичних робіт та опрацювання даних, прийому хворих у медпунктах	50
Висококваліфікована робота, що вимагає зосередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії; місця праці в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій	60

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання.

В будь-якій точці ПК промислової частоти енергія магнітної складової поля, яка поглинається тілом людини, майже в 50 разів менша від енергії електричної складової цього поля, що поглинається тілом. Це дає змогу зробити висновок, що в діапазоні промислових частот дією магнітної складової поля на біологічний об'єкт можна знехтувати, а негативний вплив на організм обумовлений електричною складовою поля.

Вимоги до рівня неіонізуювальних електромагнітних випромінювань, електростатичних та магнітних полів наведені у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Допустимі параметри електромагнітних неіонізуювальних випромінювань і електростатичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/кв.м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля			
60 кГц до 3 мГц	50	5	
3 кГц до 30 мГц	20	-	
30 кГц до 50 мГц	10	0,3	
30 кГц до 300 мГц	5	-	
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру			
УФ-С (220 - 280 нм)			0,001
УФ-В (280 - 320 нм)			0,01
УФ-А (320 - 400 нм)			10,0
в видимій частині спектру 400 - 760 нм			10,0
0,76 - 10,0 мкм			35,0-70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 кВ/м

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

4.3 Пожежна безпека

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ПК та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт повинні відповідати вимогам з пожежної безпеки. Неприпустимим є розташування приміщень категорій А і Б, а також виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщеннями,

де розташовуються ПК, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт, а також над такими приміщеннями або під ними.

В приміщенні, де здійснювалося дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної безпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень.

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії [22, 23]. Робоча зона працівника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де здійснювалося дослідження підвищення ефективності систем синхронізації в цифрових засобах зв'язку такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електропобутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкнених комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;

– своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Переважає більшість пожеж починається із невеличкого вогнища. Тому його своєчасну ліквідацію розглядаємо як профілактичний захід щодо недопущення його розширення до масштабів пожежі. Ліквідувати вогнище можна, усунувши одну із трьох умов виникнення горіння. Видалити горючу речовину із вогнища не завжди можна, а припинити доступ кисню до неї або/і понизити її температуру можна завжди, якщо своєчасно використати первинні засоби гасіння пожеж: воду, пісок або вогнегасники.

У приміщенні на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-5, що відповідає нормам [25, 26]. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам.

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії. Причини виникнення, дія на організм людини та нормування небезпечних та шкідливих факторів у приміщенні.

ВИСНОВКИ

З моменту створення гетеродинних та супергетеродинних приймачів, завдяки операції перенесення частоти шляхом перемноження на змішувачі спектру вхідного сигналу на сигнал гетеродина з'явилася проблема в ролі дзеркального каналу – сигналу з рівнем менше або рівним рівню корисного сигналу, на частоті суми (різниці) частоти гетеродина та проміжної частоти.

З переходом від аналогової апаратури до цифрової з'явилося поняття комплексного сигналу, необхідного при поділі корисного сигналу на канали основного прийому та його дзеркального відображення.

Як методи боротьби з дзеркальним каналом, були розглянуті наявні методи, що здійснюють пригнічення на конкретній частоті, і було прийнято рішення про реалізацію нового методу придушення дзеркального каналу при використанні коригувальних амплітудний та фазовий дисбаланс квадратурного та синфазного каналів приймача FIR-фільтром.

У середовищі Matlab були промодельовані коригувальні FIR-фільтри для квадратурного та синфазного каналів приймача та придушення за допомогою їх дзеркальних каналів. Пригнічення в заданій смузі частот становить 70.14 дБ від рівня основного прийому каналу, що задовольняє необхідним вимогам.

Варто звернути увагу і на коригувальні FIR-фільтри з використанням віконних функцій. Так, на прикладі віконної функції Блекмана, яка використовується для отримання коефіцієнтів FIR-фільтра, було отримано пригнічення дзеркального каналу необхідної смуги частот -68 дБ.

Використання коригувальних FIR-фільтрів забезпечує необхідне коригування амплітуд і фаз у каналах прийому для фазової різниці між каналами 90 градусів на виході FIR-фільтрів, необхідних для придушення дзеркального каналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Радіоприймальні пристрої» освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», укл. Гнатюк М. О., Кам'янське; ДДТУ, 2019 р. – 20 с.
2. Терещук Р.М., Довідник радіоаматора, - Київ: Наукова думка, 1972р. - 480с.4. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайлович П.М. Технології мереж мобільного зв'язку. – К.: «Освіта України», 2010.
3. Салабай О. В. Ескізне проектування радіоприймальних пристроїв. /Салабай О. В. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2012 – с. 76.
4. Ємельянов В.В., Свид І.В. Системи стільникового рухомого радіозв'язку. Навч. посібник – Х.: ТОВ «Компанія СМІТК, 2011.
5. Терещук Р.М., Довідник радіоаматора, - Київ: Наукова думка, 1972р. - 480с.
6. Єлізаренко А. О. Елементи радіоприймальних пристроїв: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 43 с.
7. Про радіочастотний ресурс України: закон України від 24.06.2004 р. № 1876-IV із змінами та доповненнями.
8. ДСТУ 4184:2003. Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання. Київ, 2003. 50 с.
9. Радіотелекомунікаційні технології: радіопередавальні та радіоприймальні пристрої / О. В. Гайдук, П. В. Слободянюк, В. Л. Булгач та ін. Ніжин: «Аспект-Поліграф», 2007. 319 с.
10. Сукачев Е. А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. 256 с.
11. Конахович Г. Ф. Системи радіозв'язку. Київ: НАУ, 2011. 311 с.
12. Смирнов В. П. Засоби приймання і оброблення інформації. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 75 с.

13. 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.

14. <https://ua.waykun.com/articles/osnovni-parametri-radioprijmachiv.php>

15. https://stud.wiki/radio/3c0a65625a3ac69a5c43a89421316d27_0.html

16. https://eandc.ru/catalog/index.php?SECTION_ID=97&ELEMENT_ID=22845

17. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDТ). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

18. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

19. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

20. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

21. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

22. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

23. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

24. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

25. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

26. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

**ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ В ПРИЙМАЧІ ПРЯМОГО
ПЕРЕТВОРЕННЯ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Придушення дзеркального каналу в приймачі прямого перетворення»

Тип роботи: БДР
(БДР. МКР)


Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 98.85% Схожість 1,15%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

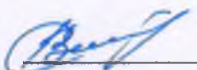
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Тетяна МАЗУРЕНКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій ВОЛОВИК
(прізвище, ініціали)

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

ПРИДУШЕННЯ ДЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛУ В ПРИЙМАЧІ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Виконала: студентка 2-го курсу, групи ТКР-21мс
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

МТК Мазуренко Т. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС

Вол Воловик А. Ю.

(прізвище та ініціали)

« 15 » 06 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

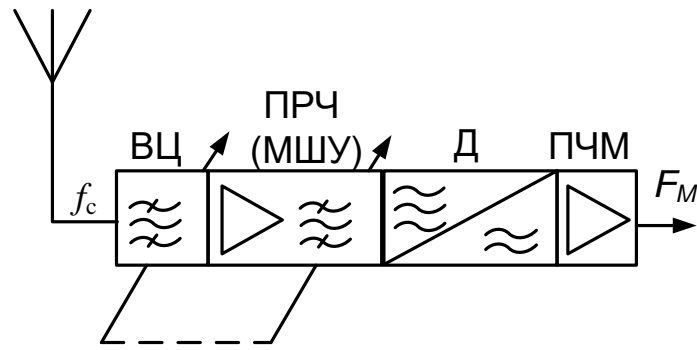


Рисунок 1 – Структурна схема приймача прямого перетворення

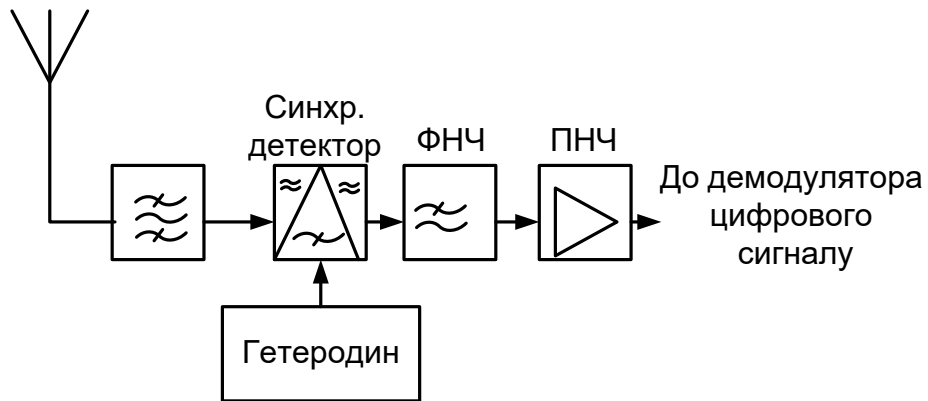


Рисунок 2 – Структурна схема супергетеродинного приймача

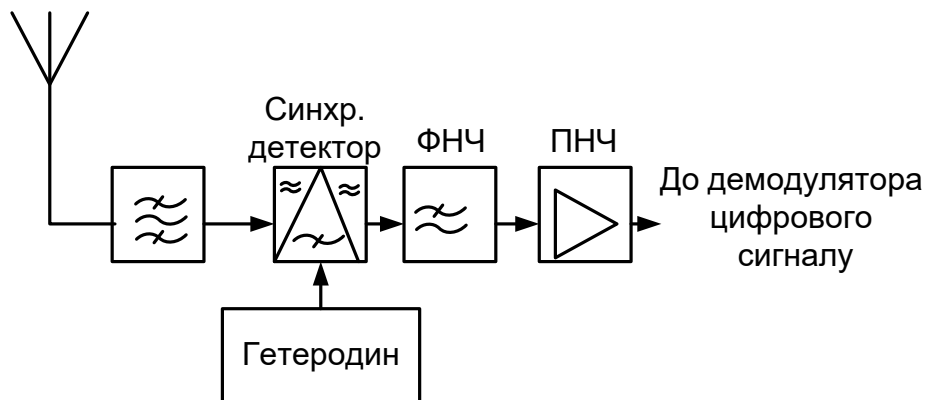


Рисунок 3 – Структурна схема приймача прямого перетворення

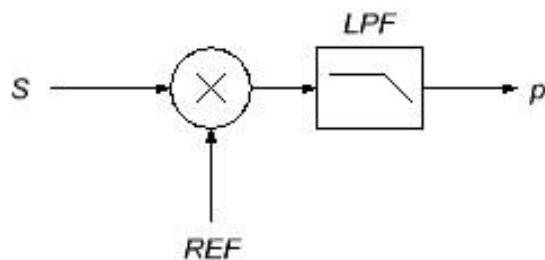


Рисунок 4 – Структурна схема приймача прямого перетворення

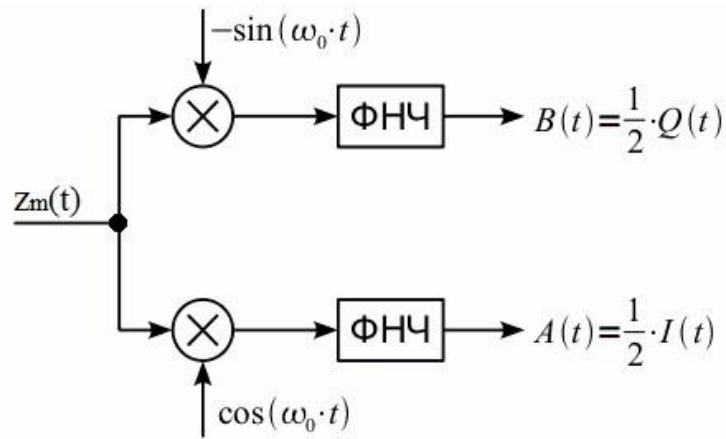


Рисунок 5 – Структурна схема квадратурного гетеродину

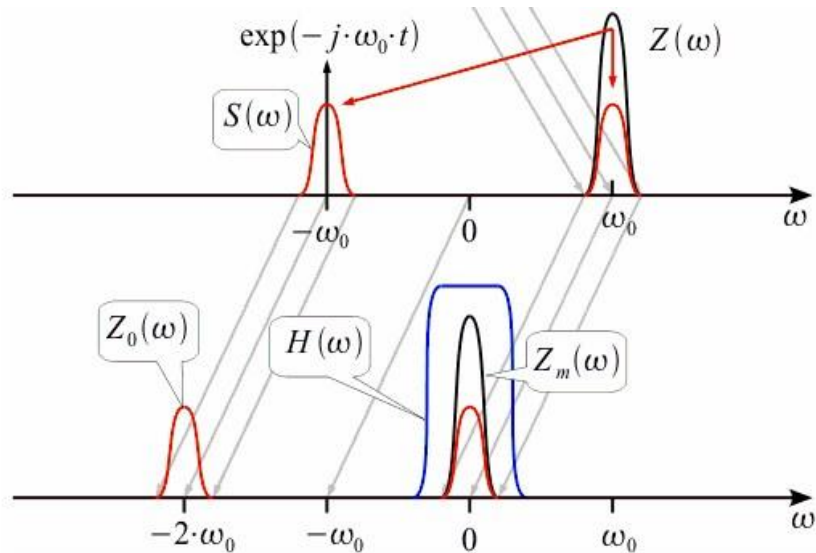


Рисунок 6 – Формування та виділення комплексної огибаючої

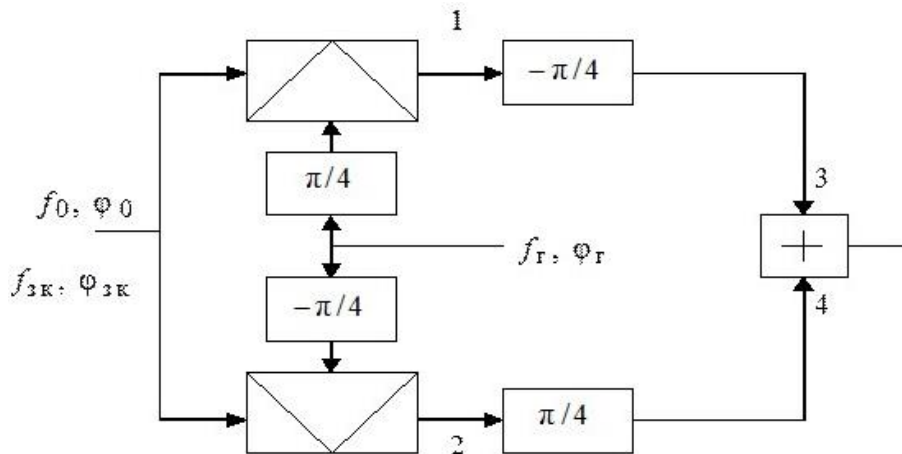


Рисунок 7 – Перетворювач частоти з фазовим придушенням ДК

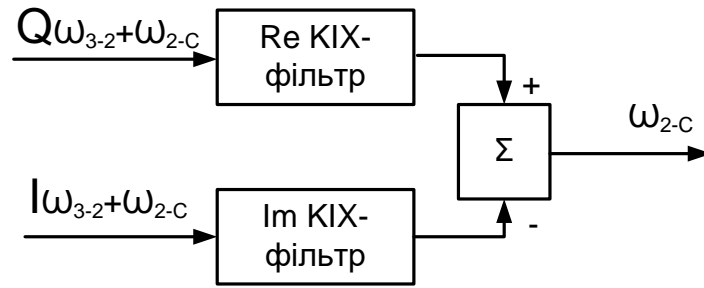


Рисунок 8 - Структурна схема блока фазового придушення ДК

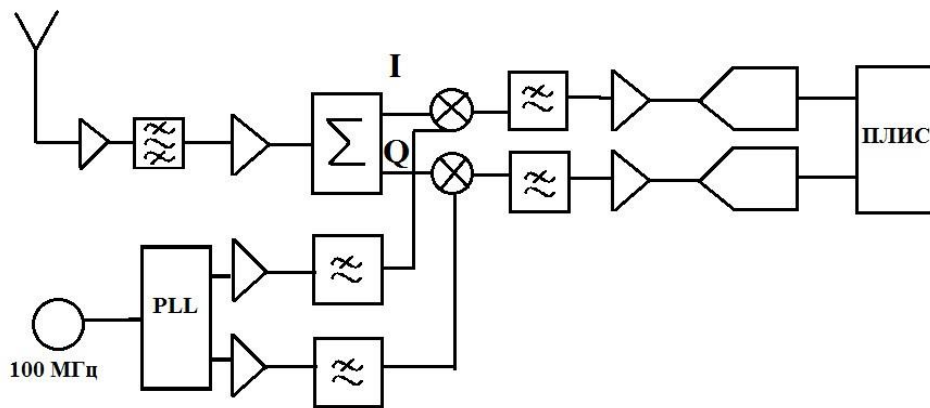


Рисунок 9 - Структурна схема приймача

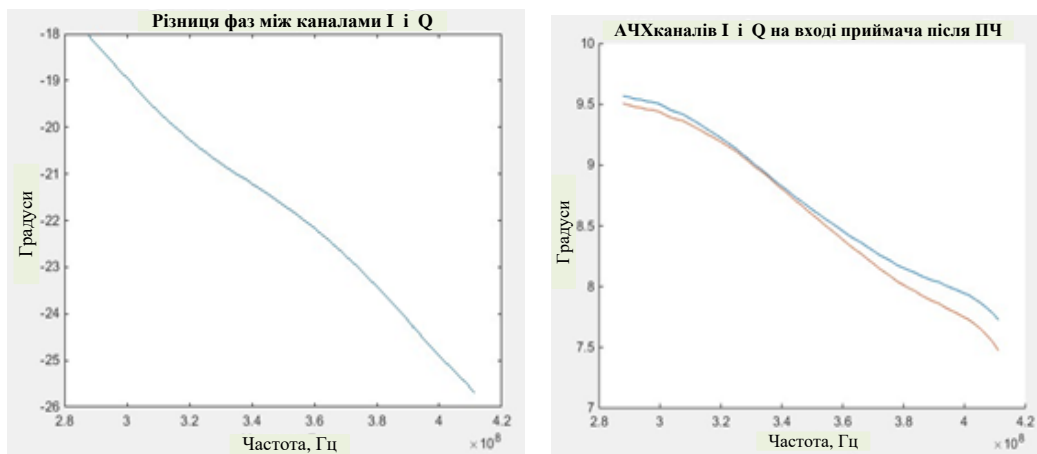


Рисунок 10 – АЧХ та ФЧХ приймача на виходах I та Q

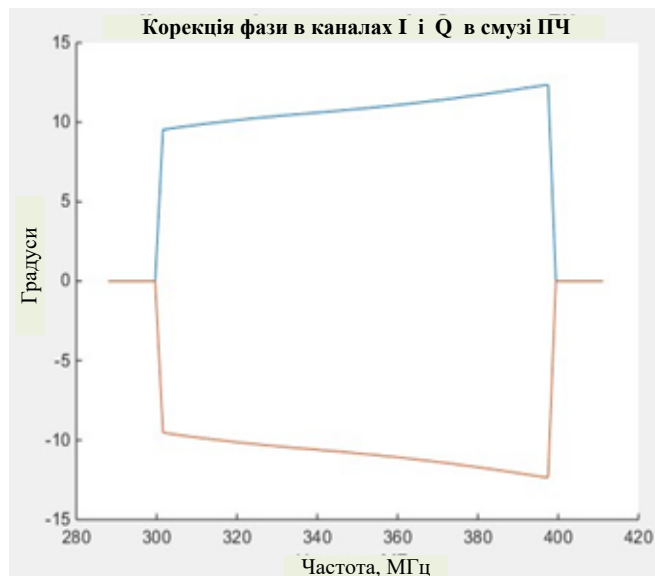


Рисунок 11 - Необхідне коригування фази для каналів I та Q

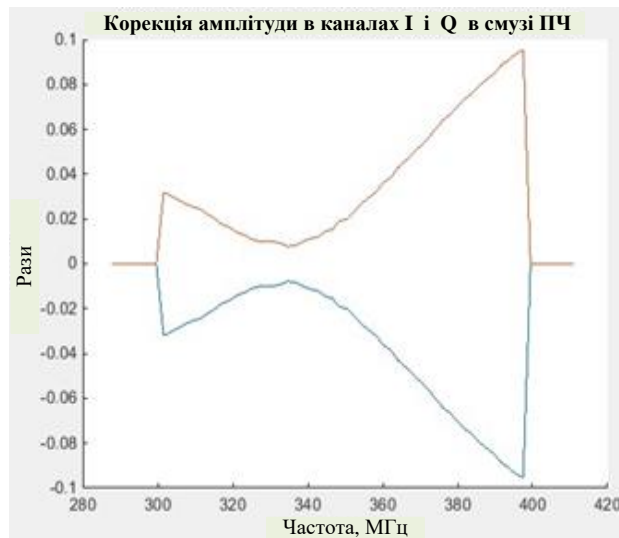


Рисунок 12 - Необхідне коригування амплітуд для каналів I та Q

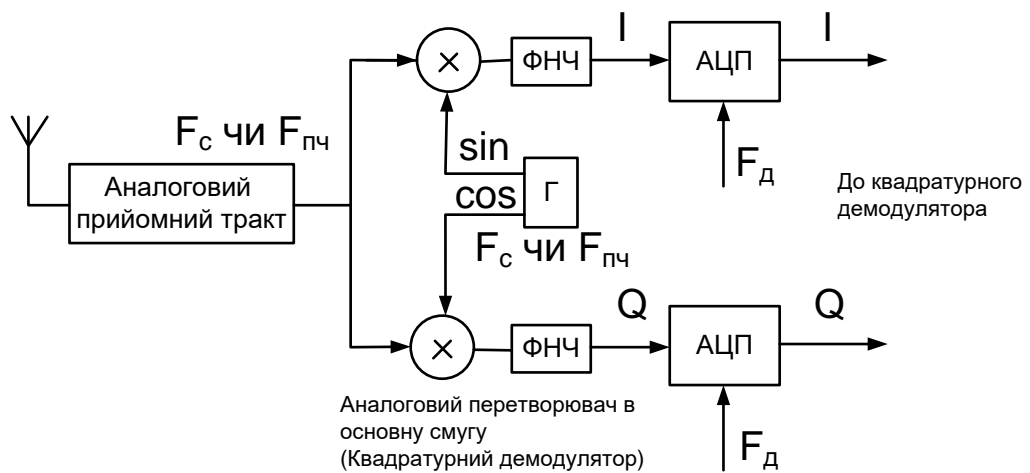


Рисунок 13 - Схема квадратурного приймача до демодуляції

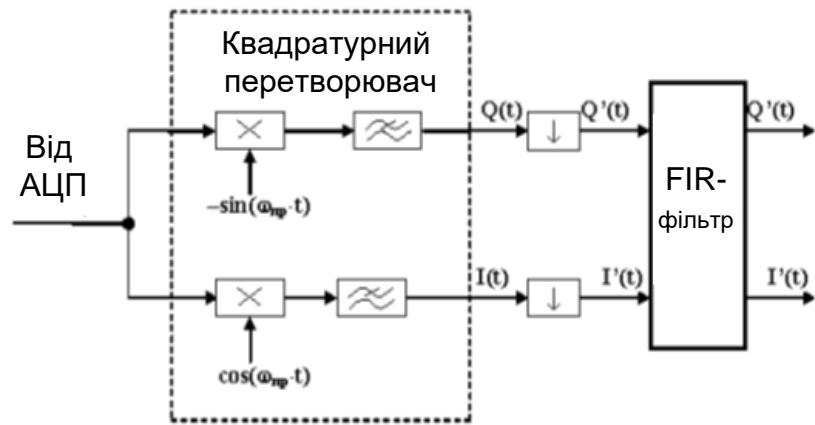
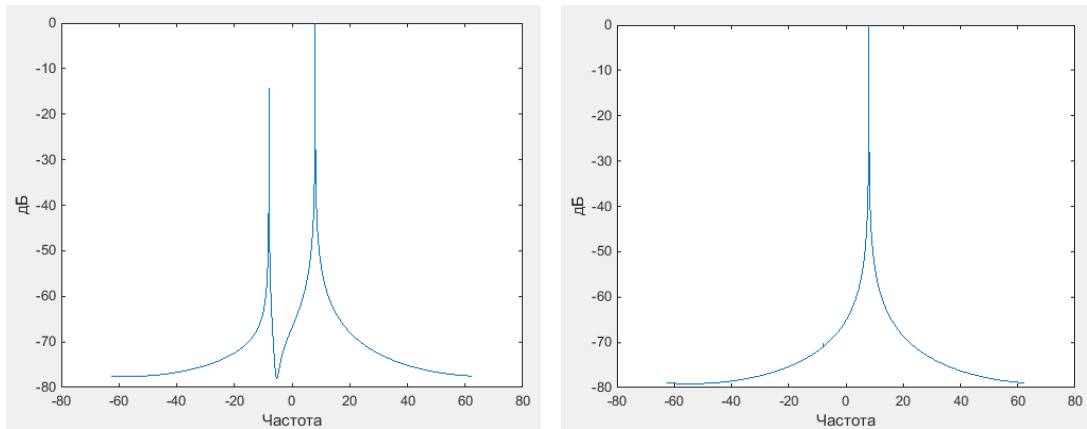


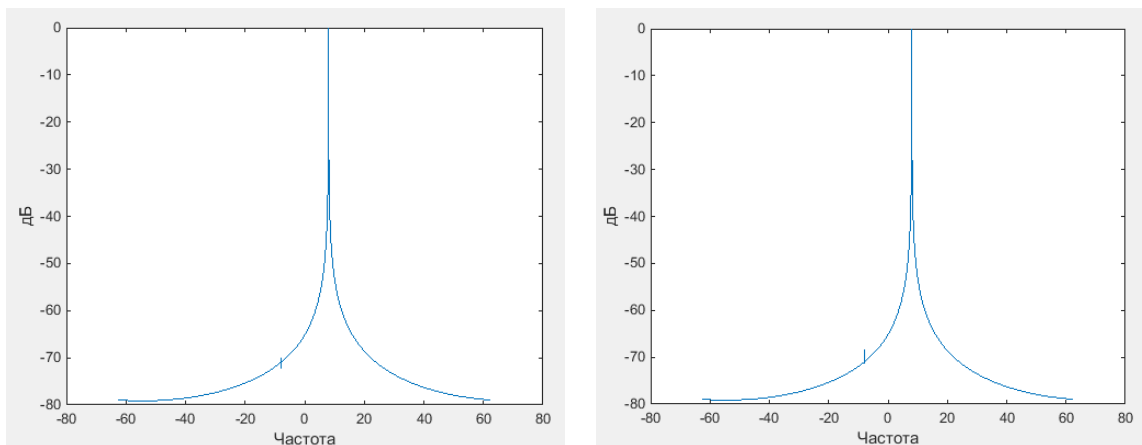
Рисунок 14 – Схема здійснення корекції



а)

б)

Рисунок 16 - Основний і дзеркальний канали: а) без коригування квадратурного і синфазного каналів; б) з корекцією відповідних каналів



а)

б)

Рисунок 16 - Придушення ДК при використанні коригувальних FIR-фільтрів (а); FIR-фільтрів 64 порядку з віконною функцією Блекмана (б)