



Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

Максименко М.С.

Керівник

Зарудний О.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації

Кафедра Радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і повна назва)

Освітня програма Радіоелектроні пристрої, системи та комплекси  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові Максименко Максим Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз ефективності використання широкополосних сигналів у системах зв'язку

затверджена наказом університету від 05 листопад 2021 р. № 1647Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії грудень 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи виконати аналіз ефективності систем зв'язку що використовують широкопосмугові сигнали

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі провести огляд принципів організації сучасних систем зв'язку, провести огляд широкопосмугових сигналів, завадостійкість широкопосмугових сигналів, аналіз багатоканальних систем передачі інформації, провести моделювання системи LTE для двох значень частотної смуги сигналу 10МГц та 3МГц.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доц. Зарудний О.А.		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення зі завданням. Уточнення ТЗ	01.09.2021	вик.
2	Підбір літератури за темою роботи	14.09.2021-23.09.2021	вик.
3	Перший та другий розділ	24.09.2021-10.10.2021	вик.
4	Третій та четвертий розділ	11.10.2021-25.10.2021	вик.
5	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	26.10.2021-1.12.2021	вик.

Дата видачі завдання   1   вересня 2021 р.

Студент \_\_\_\_\_ Максименко М.С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Зарудний О.А.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 59 рис., 0 табл., 20 посилань.

Ключові слова: СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ, NGN, ШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ, АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ.

Об'єкт дослідження – системи зв'язку на основі широкосмугових сигналів.

Предмет дослідження – системи зв'язку зі застосування в них широкосмугових сигналів.

Мета проектування – аналіз ефективності використання широкосмугових сигналів у системах зв'язку.

Результати та їх новизна – в кваліфікаційній роботі проведено аналіз ефективності використання широкосмугових сигналів в системах зв'язку.

## ABSTRAKT

Explanatory note: 85 p., 59 Fig., 0 Tab., 20 Sources.

Keywords: COMMUNICATION SYSTEM, NGN, WIDTH SIGNAL, ANALYSIS OF EFFICIENCY.

Object of research - communication systems based on broadband signals.

Subject of research - communication systems of the use of broadband signals in them.

The purpose of designing - analysis of the efficiency of using broadband signals in communication systems.

Results and novelty - in the attestation work the analysis of efficiency of use of broadband signals in communication.

## ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ .....	10
1.1 Загальна характеристика NGN.....	10
1.2 Архітектура мережі NGN .....	14
1.3 Основна еталона модель NGN .....	16
1.4 Узагальнена функціональна модель NGN .....	24
1.5 Трирівнева модель NGN .....	25
1.6 Технології широкосмугового доступу .....	30
2 ШИРОКОСМУГОВІ СИГНАЛИ.....	34
2.1 Загальні відомості про широкосмугові сигнали .....	34
2.2 Завадостійкість широкосмугових сигналів.....	35
2.3 Основні види широкосмугових сигналів .....	37
2.4 Сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням.....	44
3 ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З КОДОВИМ КОМБІНАЦІЙНИМ УЩІЛЬНЕННЯМ .....	48
3.1 Класифікація систем передачі інформації, які використовують єдиний ресурс.....	48
3.2 Багатоканальні системи передачі з кодовим ущільненням каналних сигналів.....	53
3.3 Структурна схема багатоканальної радіосистеми передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням .....	57
3.4 Моделювання багатоканальної радіосистеми передачі інформації.....	60
3.5 Оцінка потенційної завадостійкості для багатоканальної системи передачі інформації.....	65
4 МОДЕЛЮВАННЯ ШИРОКОПОЛОСНИХ СИГНАЛІВ.....	70
4.1 Дослідження впливу ширини полоси на параметри системи LTE.....	70
4.2 Дослідження впливу співвідношення сигнал шум на параметри системи LTE .....	76
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	85

ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ .....	87
ДОДАТОК Б ВІДОМІСТЬ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І  
ТЕРМІНІВ

AGW – медіашлюзы доступа

ETTH – Ethernet To The Home – Ethernet для дома

IAD – пристрій інтегрованого доступу

NGN – мережа наступного покоління

PLC – Power Line Communication – швидкісна лінія зв'язку

SCP – вузол керування послугами

SGW – медіашлюзи сигналізації

SN – вузол служби

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

БЧ – багаточастотний сигнал

ВУК – часове ущільнення каналів

КУК – кодове ущільнення каналів.

ЧМ – частотно-модульований сигнал

ЧКВП – четверично-кодова відео послідовність

ЧУК – частотне ущільнення каналів;

ФМ – фазоманіпульований сигнал

ШСС – широкосмуговий сигнал

## ВСТУП

В наш час перехід мереж зв'язку з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів є найбільш актуальним напрямком для операторів зв'язку. Перспективні розробки в даному напрямку обумовлені зі створенням комплексних рішень, що дозволяють при розвитку мережі зберегти існуючих абонентів та забезпечити безперебійну роботу в будь якій мережі телефонного доступу на інфраструктурі дротових (мідній парі), оптичних каналів, бездротовій (WiMAX, Wi-Fi) та інших мереж. Рішення повинні дозволити точніше переводити окремі сегменти на нові технології без кардинальної зміни всієї структури мережі.

Рішення для переходу повинне відповідати наступним вимогам:

- інтеграція в існуючу мережу, підтримка не тільки нової транспортної технології та також попередньої моделі керування;
- повністю модульна архітектура;
- можливість гнучкого збільшення продуктивності шляхом придбання ліцензій та доповнення до системи серверів;
- можливість реалізації нових видів послуг в мінімальні строки;

В сучасних мережах зв'язку все більше використовують широкосмугові сигнали. Широкосмугові сигнали дозволяють більш ефективніше боротись з завадами, що зосередженні на спектрі, ніж вузько смугові сигнали. Переваги широкосмугових систем зв'язку більше проявляються у випадку взаємодії між сигналами. В більшості випадків передача інформації по радіоканалу ускладнюється у зв'язку з великим перенавантаженням діапазону частот що використовуються.

Враховуючі розвиток сучасним мереж зв'язку для передачі даних, тема кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки проводиться аналіз ефективності систем зв'язку що використовують широкосмугові сигнали.

Метою роботи є проведення аналізу ефективності використання широкосмугових сигналів у системах зв'язку, виявлення потенційних можливостей

використання широкосмугових сигналів для підвищення продуктивності сучасних систем зв'язку

В зв'язку з цим в роботі вирішувались наступні завдання:

- огляд основних характеристик та принципів організації сучасних мереж зв'язку;
- аналіз широкосмугових сигналів та багатоканальних систем передачі інформації;
- моделювання та розрахунки параметрів широкополосної системи зв'язку.

# 1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Загальна характеристика NGN

Враховуючи нові реалії ринку, характерними рисами яких є: відкрита конкуренція операторів у зв'язку з дерегулюванням ринків, вибухове зростання цифрового трафіку, наприклад, у зв'язку зі збільшенням використання мережі Інтернет, підвищення попиту на нові мультимедійні послуги, зростання потреби у спільній мобільності зв'язку, конвергенція мереж та послуг зв'язку тощо, NGN вважають конкретною реалізацією ГІІ (глобальної інформаційної інфраструктури).

Існує кілька підходів щодо визначення NGN. Проте всі вони ґрунтуються на засадах організації способів надання послуг. Одне з найбільш коректних визначень: "мережі наступного покоління - це всеохоплююче поняття для інфраструктури, що реалізує перспективні послуги, які мають бути в майбутньому запропоновані Операторами мобільних та фіксованих мереж, одночасно з продовженням підтримки всіх існуючих на сьогоднішній день послуг. Мережі наступного покоління використовують пакетні технології передачі та комутації, базуються на фізичному шарі оптичних каналів, забезпечують повноцінну взаємодію з існуючими мережами.

Щоб надавати користувачам будь-які види послуг набору, наявного в оператора, необхідно створити розподілену систему, в якій функції організації та надання інтелектуальних послуг були відокремлені від функцій керування транспортом та комутацією. Цей принцип використаний при побудові інтелектуальних мереж, вірніше інтелектуальних надбудов над телекомунікаційними мережами.

У мережі наступного покоління зроблено спробу повністю відокремити функції створення та управління наданням послуг та додатків від функцій управління викликом та ресурсами комутації, а також спробу створення стандартизованих інтерфейсів між рівнями, що виконують ці функції [1].

Таким чином, у мережевих операторів з'явилася можливість розвитку цих рівнів незалежно один від одного, а у фірм, які розробляють програмне забезпечення та мають високопрофесійний штат програмістів - значно поповнити ринок послугами та додатками, які можуть бути потрібні користувачами мережі наступного покоління (рисунок 1.1).

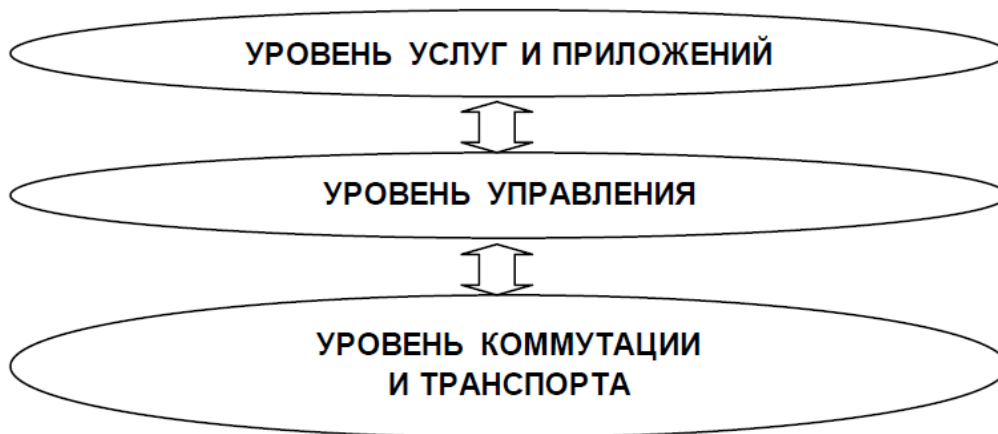


Рисунок 1.1 – Архітектура NGN

У свою чергу, конкуренція, яка виникне на ринку надання послуг, покликана сприяти зниженню цін, зменшенню терміну введення нових та підвищенню різноманітності пропонованих послуг.

Засоби обробки виклику та контролю будуть сконцентровані в одному місці, а засоби комутації та транспорту можуть бути розподілені по всій території мережі. Понад те, збільшення обсягу ресурсів тих об'єктів, які реалізують ці функції, забезпечуватиметься незалежно друг від друга.

Сучасний етап розвитку світової цивілізації характеризується переходом від індустріального до інформаційного суспільства. Такий перехід передбачає наявність нових форм соціальної та економічної діяльності, що базуються на масовому використанні інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Технологічною основою інформаційного суспільства є Глобальна Інформаційна Інфраструктура (ГІІ) (Global Information Infrastructure, GII) [1], яка має забезпечити

можливість доступу до інформаційних ресурсів кожного жителя планети без дискримінації. Інформаційну інфраструктуру складає сукупність баз даних, засобів обробки інформації, взаємодіючих мереж зв'язку та терміналів користувача. Доступ до інформаційних ресурсів ГІІ реалізується через послуги зв'язку нового типу, що отримали назву послуг Інформаційного товариства або інфокомунікаційних послуг [1].

Високі темпи зростання обсягів надання інфокомунікаційних послуг, що спостерігаються в даний час, дозволяють прогнозувати їх переважання на мережах зв'язку в найближчому майбутньому. Сьогодні розвиток інфокомунікаційних послуг здійснюється, переважно, у межах Internet, доступом до послуг якої забезпечується через традиційні мережі зв'язку. У той самий час, у ряді випадків послуги Internet, зважаючи на обмежені можливості її транспортної інфраструктури, не відповідають сучасним вимогам, що висуваються до послуг інформаційного суспільства. У зв'язку з цим розвиток інфокомунікаційних послуг потребує вирішення завдань ефективного управління інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності мереж зв'язку. Натомість, це стимулює процес інтеграції Internet і традиційних мереж зв'язку.

Відповідно до міжнародних рекомендацій, мережі NGN повинні виконувати такі функції:

- сприяти чесній конкуренції;
- заохочувати приватні інвестиції;
- визначати принципи архітектури та можливості для приведення у відповідність до різних регламентуючих вимог;
- забезпечувати відкритий доступ до мереж;
- забезпечувати універсальне надання послуг та доступ до них;
- сприяти забезпеченню рівних можливостей для всього населення;
- сприяти різноманітності змісту, включаючи культурне та мовне розмаїття.

Основними характеристиками мережі NGN є:

- передача з пакетною комутацією;
- розділення функцій керування між пропускнуою здатністю каналу-носія,

викликом/сеансом, а також додаток/послугами;

- розв'язка між розв'язка между надання послуг та транспортування та надання відкритих інтерфейсів;

- підтримка широкого спектру послуг, додатків та механізмів на основі уніфікованих блоків обслуговування (включаючи послуги у реальному масштабі часу, в потоковому режимі, в автономному режимі та мультимедійні послуги);

- можливості широкосмугової передачі з наскрізною функцією QoS (якості обслуговування);

- взаємодія з існуючими мережами за допомогою відкритих інтерфейсів;

- універсальна мобільність;

- необмежений доступ користувачів до різних постачальників послуг;

- різні схеми ідентифікації;

- єдині характеристики обслуговування для однієї і тієї ж послуги з погляду користувача;

- зближення послуг між фіксованим та рухомим зв'язком;

- незалежність пов'язаних з обслуговуванням функцій від використовуваних технологій транспортування;

- підтримка різних технологій "останньої милі";

- виконання всіх регламентуючих вимог, наприклад, для аварійного зв'язку, захисту інформації, конфіденційності, законного перехоплення тощо.

Мережа NGN повинна надавати можливості (транспортні ресурси, протоколи тощо) з метою створення, розгортання та управління всіма можливими видами послуг (відомими або поки що не відомими). Сюди входять послуги, що використовують середовище різного виду (аудіо, візуальну, аудіовізуальну) з усіма типами схем кодування та послуги передачі даних, діалогові, з адресацією конкретному пристрою, груповою адресацією та мовленням, послуги передачі повідомлень, простий передачі даних у реальному масштабі часу та автономному режимі, з регулюванням затримки та стійкі до затримки послуги. Послуги з різними вимогами до ширини смуги від кількох кбіт/с до сотень Мбіт/с, з гарантованою

смугою або без неї, повинні підтримуватись у рамках можливостей технології транспортування. У NGN робиться особливий наголос на забезпечення відповідності вимогам замовника з боку постачальників послуг, причому деякі з постачальників будуть пропонувати своїм клієнтам можливість налаштування власних послуг. NGN повинна включати пов'язані з обслуговуванням інтерфейси програмування додатків (API), щоб підтримувати створення, надання та керування послугами [2].

## 1.2 Архітектура мережі NGN

Архітектура мережі зв'язку, побудованої відповідно до концепції NGN, представлена рис. 1.2.

Основу мережі NGN складає універсальна транспортна мережа, що реалізує функції транспортного рівня та рівня керування комутацією та передачею. До складу транспортної мережі NGN можуть входити:

- транзитні вузли, що виконують функції перенесення та комутації;
- кінцеві вузли, що забезпечують доступ абонентів до мультисервісної мережі;
- контролери сигналізації, що виконують функції обробки інформації сигналізації, курування та з'єднаннями;
- шлюзи, що дозволяють здійснити підключення традиційних мереж зв'язку.

Контролери сигналізації можуть бути винесені в окремі пристрої, призначені для обслуговування декількох вузлів комутації. Використання загальних контролерів дозволяє розглядати їх як єдину систему комутації, розподілену мережею.



Таке рішення не тільки спрощує алгоритми встановлення з'єднань, але і є найбільш економічним для операторів та постачальників послуг, оскільки дозволяє замінити дорогі системи комутації великої ємності невеликими, гнучкими та доступними за вартістю навіть дрібним постачальникам послуг. Призначенням транспортної мережі є надання перенесення послуг. Реалізація інфокомунікаційних послуг здійснюється на базі вузлів служб (SN) та/або вузлів керування послугами (SCP). SCP є елементом розподіленої платформи ІДС та виконує функції управління логікою та атрибутами послуг. Сукупність кількох вузлів служб або вузлів управління послугами, задіяних для надання однієї і тієї ж послуги, утворюють платформу управління послугами. До складу платформи також можуть входити вузли адміністративного управління послугами та сервери різних програм. Кінцеві/кінцево-транзитні вузли транспортної мережі можуть виконувати функції вузлів служб, тобто. склад функцій граничних вузлів може бути розширено з допомогою додавання функцій надання послуг. Для побудови таких вузлів можна використовувати технологію гнучкої комутації (Softswitch).

Концепція NGN багато в чому спирається на технічні рішення, які вже розроблені міжнародними організаціями стандартизації. Так, взаємодію серверів у процесі надання послуг передбачається здійснювати з урахуванням протоколів, специфікованих IETF (MEGACO), ETSI, Форумом 3GPP тощо. Для управління послугами, H.323, SIP протоколи і підходи, які використовуються в інтелектуальних мережах зв'язку будуть використовуватися [2].

### 1.3 Основна еталона модель NGN

Мережа наступного покоління (NGN) - це концепція побудови мереж зв'язку, що забезпечують надання необмеженого набору послуг з гнучкими можливостями щодо їх управління, персоналізації та створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень. До складу NGN входить універсальна транспортна платформа із розподіленою комутацією.

Взаємодія мереж одна з одною забезпечується за допомогою шлюзів (Gateway)

- апаратно-програмних засобів сполучення мереж різнорідної архітектури з різними протоколами та форматами даних. Шлюзи виконують основну роль при взаємодії пакетної та телефонної мереж. Технологічні рішення, які можуть стати основою NGN, існують вже зараз.

Перелічимо вимоги, яким має задовольняти мультисервісна мережа:

- гарантувати якість обслуговування (QoS) користувачів;
- доставка інформації, яка чутлива до затримки в реальному часі;
- забезпечення передачі даних з необхідною швидкістю;
- централізоване керування мережею.

Основне завдання мереж нового покоління полягає у забезпеченні взаємодії існуючих та нових телекомунікаційних мереж, що підтримуються єдиною інфраструктурою для передачі будь-яких видів інформації (голосу, даних, відео).

Для транспортної мережі слід підібрати таку технологію, яка б задовольняла першим трьома вимогам. Але при цьому не можна забувати, що NGN повинна взаємодіяти з існуючими в наш час телекомунікаційними мережами і бути пристосованою до вдосконалення.

Логічно використовувати найбільш розвинену на сьогодні технологію доставки TCP/IP та взяти за основу протокол IP. Він задовольняє третю вимогу і, завдяки технології VoIP (передачі промови по IP-мережах), відповідає другому.

Однією з основних характеристик NGN є розв'язка між послугами та транспортуванням, що дозволяє пропонувати їх окремо та розвивати незалежно. Тому в архітектурі NGN має бути чіткий поділ між функціями обслуговування та функціями транспортування. NGN дозволяє надавати як існуючі, так і нові послуги незалежно від мережі та типу доступу, що використовується [1, 2].

Таким чином, у базовій функціональній моделі NGN виділяють два шари: транспортний та сервісний.

Транспортний шар забезпечує перенесення інформації між двома географічно розділеними точками. Зокрема, транспортний шар забезпечує обмін інформацією між такими об'єктами:

- користувач – користувач;

- користувач – сервісна платформа;
- сервісна платформа – сервісна платформа.

Взагалі у транспортному шарі можуть застосовуватися всі типи мережевих технологій, а саме: орієнтована на з'єднання комутація каналів (connection-oriented circuit-switched - CO-CS), орієнтована на з'єднання комутація пакетів connection-oriented packet-switched - CO-PS , Неорієнтована на з'єднання комутація пакетів (connectionless packet-switched - CLPS). Однак для побудови NGN перевага надається технології IP з підтримкою якості обслуговування.

Сервісний шар може включати складний набір географічно розподілених сервісних платформ або в найпростішому випадку набір функцій, реалізований двома кінцевими користувачами. Для надання повного набору послуг до сервісного шару включаються прикладні функції. Прикладами служб, що реалізуються на даному рівні, може бути передача мови, даних, відео або будь-яка їх комбінація.

На цьому рівні здійснюється підключення терміналів користувачів до мережі на основі застосування різноманітних засобів та перетворення вихідного формату даних у відповідний формат, що використовується для передачі в цій мережі. На рівні доступу використовуються такі пристрої:

- медіашлюзи доступу (AGW);
- медіашлюзи сигналізації (SGW);
- пристрої інтегрованого доступу (IAD);
- медіашлюзи сполучних ліній (TGW).

Медіашлюз (MGW) термінує (доставляє) дзвінки з телефонної мережі, компресує та пакує голос, передає пакети з компресованою голосовою інформацією в мережу IP, а також проводить зворотну операцію для дзвінків користувачів телефонної мережі з мережі IP. У разі викликів, що надходять від ISDN/PSTN, медіашлюз передає сигнальні повідомлення контролеру медіашлюзу. Можливі перетворення протоколу сигналізації ISDN/PSTN повідомлення M.323 засобами самого медіа шлюзу. Медіашлюз може також підтримувати віддалений доступ, приватні віртуальні мережі, фільтрування трафіку TCP/IP і т.п.

Медіашлюз сигналізації (SGW) знаходиться на кордоні між PSTN і IP-

мережею і служить для перетворення сигнальних протоколів і прозору доставки сигнальних повідомлень з ISDN/PSTN, що комутується, в пакетну мережу. Шлюз сигналізації транслює сигнальну інформацію через мережу IP контролеру медіашлюзу або іншим шлюзам сигналізації та забезпечує взаємодію з базами даних ID. В інтелектуальних мережах це взаємодія відбувається за протоколом INAP [4].

На рівні комутації та транспорту здійснюється комутація пакетів за допомогою маршрутизаторів та IP-комутаторів рівня 3, в яких обробка пакетів виконується апаратно. Ці пристрої розподілені у транспортній мережі (WAN). На цьому рівні здійснюється надання абонентам одноманітної та інтегральної платформи доставки інформації з високою якістю та великою пропускнуою спроможністю.

На рівні керування ресурсами транспортної мережі здійснюється керування викликами з використанням необхідного набору протоколів сигналізації. На цьому рівні використовується багатофункціональний об'єкт Softswitch (контролер медіашлюзу) – апофеоз удосконалення телекомунікаційних засобів.

Softswitch здійснює управління:

- викликами;
- медіа шлюзами (Media Gateway, MG);
- розподілом ресурсів магістральної мережі;
- обробкою сигнальних повідомлень;
- автентифікацією;
- врахування вартості послуг;
- забезпечення абонентів основних речових послуг зв'язку, мобільного зв'язку, мультимедійного зв'язку, а також інтерфейсів програмування додатків (API).

Контролер медіашлюзу (Media Gateway Controller, MGC) виконує реєстрацію та керує пропускнуою спроможністю медіашлюзу, обмінюється повідомленнями з вузлами ISDN/PSTN. Взаємодія між MGC та GW (за протоколом MGC/GW) відбувається в IP-мережі.

На рівні послуг та програм здійснюється надання великої різноманітності

послуг, а також підтримка цілісності встановлених з'єднань. На цьому рівні застосовуються такі системи [1, 2]:

OSS (Operation Support System) - система підтримки експлуатації, що складається з двох підсистем: системи управління мережею (NMS) та інтегрованої системи тарифікації послуг;

AS (Application Server) - сервер додатків, що використовується для створення та управління логікою різних послуг із доданою вартістю та послуг інтелектуальної мережі, а також для надання інноваційної платформи з розробки послуг та надання послуг сторонніх провайдерів за допомогою відкритих інтерфейсів (API) для програмування програм;

LS (Location Server) - сервер розташування, що використовується для динамічного розподілу маршрутів між Softswitch в NGN, визначає можливість встановлення з'єднань з пунктом призначення;

Сервер RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) - сервер служби аутентифікації віддалених користувачів (використовується для централізованої аутентифікації користувачів, шифрування пароля, вибору послуг і фільтрації, а також централізованої тарифікації послуг);

MRS (Media Resource Server) - сервер медіаресурсів, що використовується для реалізації функцій вибору середовища передачі при організації основних та послуг з доданою вартістю (забезпечення тональних сигналів у процесі надання послуг, конференцзв'язку, інтерактивної голосової відповіді (Interactive Voice Response, IVR), послуг записаних повідомлень та мовного меню);

SCP (Service Control Point) – вузол управління послугами, є основним вузлом інтелектуальної мережі (IN) та використовується для зберігання абонентських даних та управління логікою послуг.

Протоколи керування шлюзами.

У попередні роки було розроблено протоколи управління шлюзами:

- Simple Gateway Control Protocol (SGCP);
- Internet Protocol Device Control (IPDC);
- Media Gateway Control Protocol (MGCP), на основі якого було

розроблено протокол MEGACO.

В даний час застосовується протокол MEGACO (H.248), розроблений ІТУ-Т спільно з ІETF на основі вже існуючого протоколу управління медіашлюзом MGCP.

Протоколи взаємодії рівня послуг та додатків з рівнем управління ресурсами.

Основним принципом залучення нових клієнтів є швидке створення та впровадження необхідних їм послуг та додатків. Ця задача може бути вирішена за допомогою відкритих інтерфейсів прикладного програмування (Application Programming Interfaces, API's), що є набором типових програмних функцій і команд, призначених для створення та підтримки різних служб операційного середовища. Між рівнем послуг та додатків та рівнем управління ресурсами можуть використовуватися такі API:

- OSA (Open Service Access, OSA) - концепція відкритого доступу до послуг;
- Parlay API, JAIN, WinAPI – відкриті інтерфейси прикладного рівня;
- SIP (Session Initiation Protocol) – про протоколи ініціалізації сеансу;
- XML (Extensible Markup Language) – мова розмітки, для створення WEB сторінок.

Відкриті інтерфейси дають операторам можливість надавати абонентам доступ до послуг і додатків, які розташовані як на серверах, що належать цьому оператору, так і серверах третьої сторони, незалежно від використовуваного обладнання та операційної системи.

Система API Parlay, як і аналогічні системи, забезпечує конфігурацію, розподіл ресурсів, сертифікацію та дозвіл на доступ до інформації для зовнішніх додатків Parlay IP-додатків. Parlay API може бути використаний для реалізації: розробка, управління та використання інтелектуальних послуг без зміни Softswitch обладнання.

Існуючі мережі повинні мати доступ до NGN за допомогою обладнання кінцевого користувача (Residential Gateway, RGW) та шлюзів для підключення різних мереж доступу (Access Gateway, AGW):

- UTRAN-UMTS (універсальна мобільна телекомунікаційна система);

- мережа радіо доступу GSM (Radio Access Net GSM, RAN-GSM);
- бездротова абонентська лінія (Wireless Local Loop, WLL);
- локальна мережа (Local Area Net, LAN);
- розділення каналів за часом (Time Division Multiplexing, TDM);

На рис. 1.3 приведена структурна схема мережі.

Транспортною основою NGN є високошвидкісна опорна мережа з комутацією пакетів (IP/MPLS, IP/ATM). Опорна мережа з комутацією пакетів дозволяє прискорити інтеграцію телефонних мереж, мереж передачі даних та мереж кабельного телебачення (КТВ).

Шлюз з'єднувальних ліній (TGW) забезпечує перетворення цифрового сигналу, створеного кодером G.711 (PCM) і прийнятого зі швидкістю 64 Кбіт/с з телефонної мережі або ISDN, цифровий компресований сигнал, створений кодером G.729 і переданий зі швидкістю 8 Кбіт/с з маршрутизаторами IP-мережі за допомогою протоколу RTP. Шлюз з'єднувальних ліній виконує зворотне перетворення.

Контролер керування шлюзами (MGC) використовує протоколи: H.248/MEGACO, UDP, IP, GE. Прикордонний маршрутизатор (LER), що комутує IP-пакети за допомогою міток, забезпечує узгодження Internet (Intranet) з мережею, що використовує технологію багатопроTOCOLЬНОЇ комутації за допомогою міток (MPLS).

На рис. 1.4 наведено приклад послуг (сервісів), що забезпечується мережею NGN [1, 2].

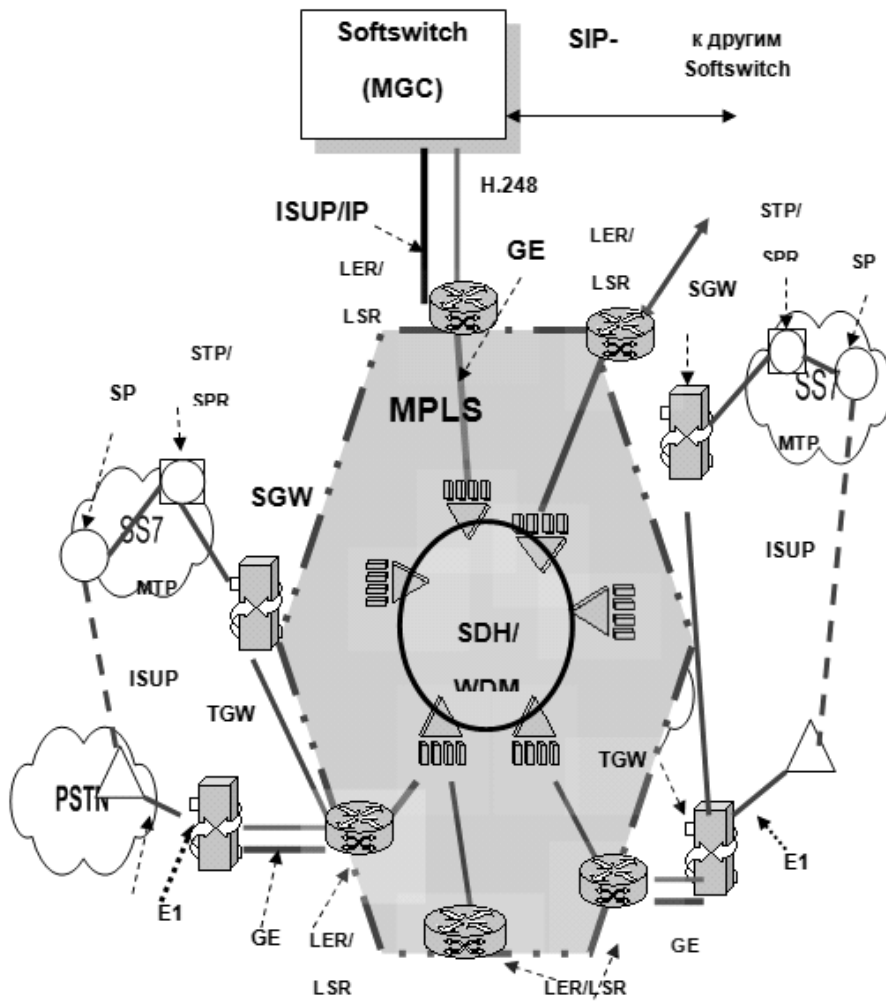


Рисунок 1.3 - Структурна схема мережі

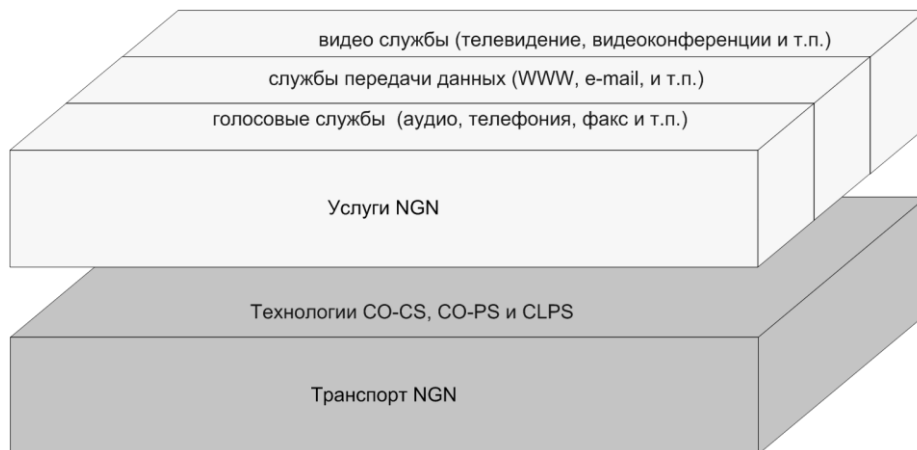


Рисунок 1.4 – Розділення послуг та транспорту в NGN

Кожен шар містить один або кілька рівнів. Рівень складається із трьох площин: площина користувача; площину контролю; площину менеджменту.

На рисунку 1.5 наведено основну еталонну модель NGN.

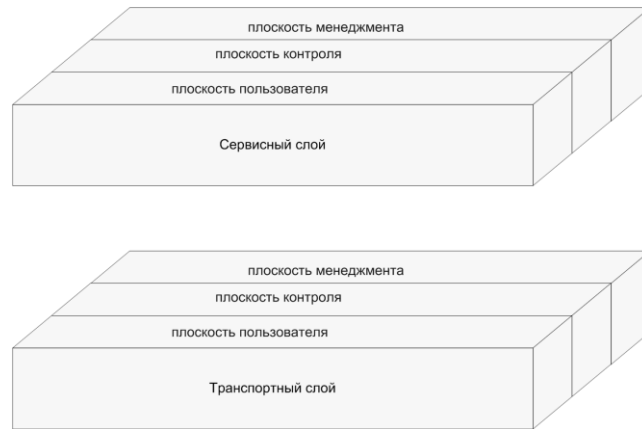


Рисунок 1.5 – Загальна еталона модель NGN

#### 1.4 Узагальнена функціональна модель NGN

Для побудови мережі, яка задовольняє концепції ГІІ, у функціональній моделі NGN ITU виділяє три категорії об'єктів: функції, послуги, ресурси. Сервіси реалізуються різними функціями за допомогою доступних ресурсів. Один і той ж сервіс може реалізовуватися різним набором функцій і навпаки, одна функція може використовуватися для реалізації різних сервісів. Їх взаємозв'язок показано рис. 1.6. Функції NGN показані рис. 1.7 [1, 2].

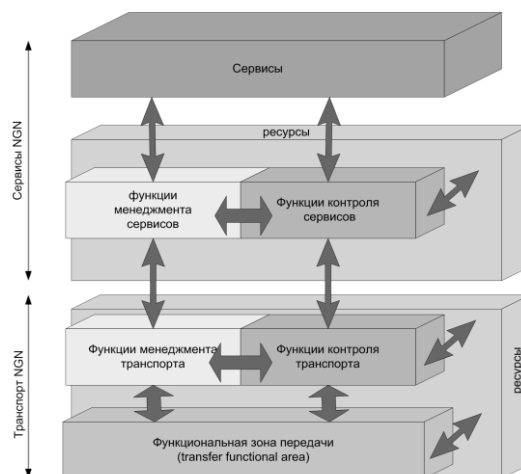


Рисунок 1.6 – Узагальнена функціональна модель NGN

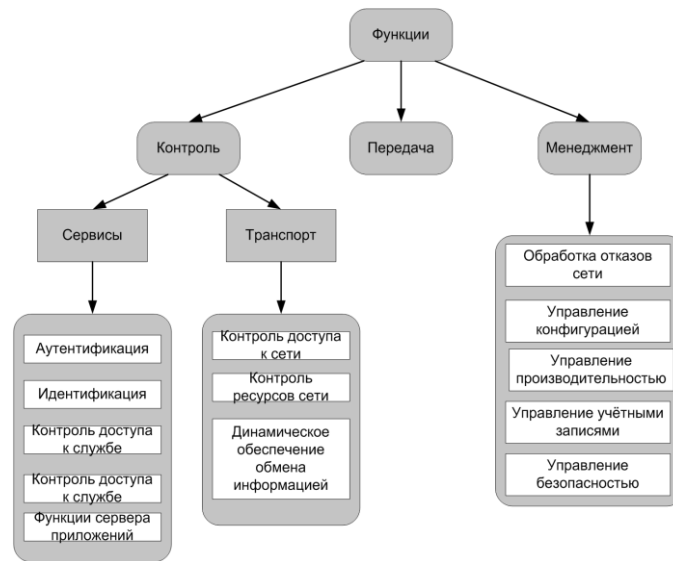


Рисунок 1.7 - Функції NGN

### 1.5 Трирівнева модель NGN

По своїй архітектурі мережа NGN є трирівневою та складається з наступних рівнів:

- транспортного рівня;
- рівня керування комутацією та передачею даних;
- рівня послуг та керування послугами.

Завданням транспортного рівня є комутація та «прозора» передача інформації користувача.

Завданням рівня управління комутацією та передачею є обробка інформації сигналізації, маршрутизація викликів та управління потоками.

Рівень управління послугами містить функції управління логікою послуг та додатків і є розподіленим обчислювальним середовищем, що забезпечує:

- забезпечення інфокомунікаційних послуг;
- керування послугами;
- створення та впровадження нових послуг;

– взаємодія різних послуг.

Особливістю технології NGN є відкриті інтерфейси між транспортним рівнем та рівнем керування комутацією [1, 2].

Трирівнева модель мережі NGN представлена на рис. 1.8.

Транспортний рівень. Транспортний рівень мережі NGN будується з урахуванням пакетних технологій передачі. Основними технологіями є ATM і IP.

Як правило, основою транспортного рівня мультисервісної мережі лягають існуючі мережі ATM чи IP, тобто. NGN можна створити як накладення на існуючі мережі транспортних пакетів.

Мережі, що базуються на технології ATM, що має вбудовані засоби забезпечення якості обслуговування, можуть використовуватися під час створення NGN практично без змін. Використання транспортного рівня NGN існуючих мереж IP вимагатиме реалізації в них додаткової функції забезпечення якості обслуговування.



Рисунок 1.8 – Трирівнева модель мережі NGN

У випадку, якщо на маршрутизаторі/комутаторі ATM/IP реалізується функція

комутації під зовнішнім керуванням, то в них має бути реалізована функція управління з боку гнучкого комутатора з реалізацією протоколів H.248/MGCP (IP) або BICC (ATM) [1], 2].

Типова структура транспортної мережі NGN представлена рис. 1.9.

Рівень керування комутацією. Завданням рівня керування комутацією та передачею є керування встановленням з'єднання у фрагменті NGN.

Функція встановлення з'єднання реалізується лише на рівні елементів транспортної мережі під зовнішнім керуванням устаткування гнучкого комутатора. Винятком є АТС з функціями MGC, які виконують комутацію лише на рівні елемента транспортної мережі.

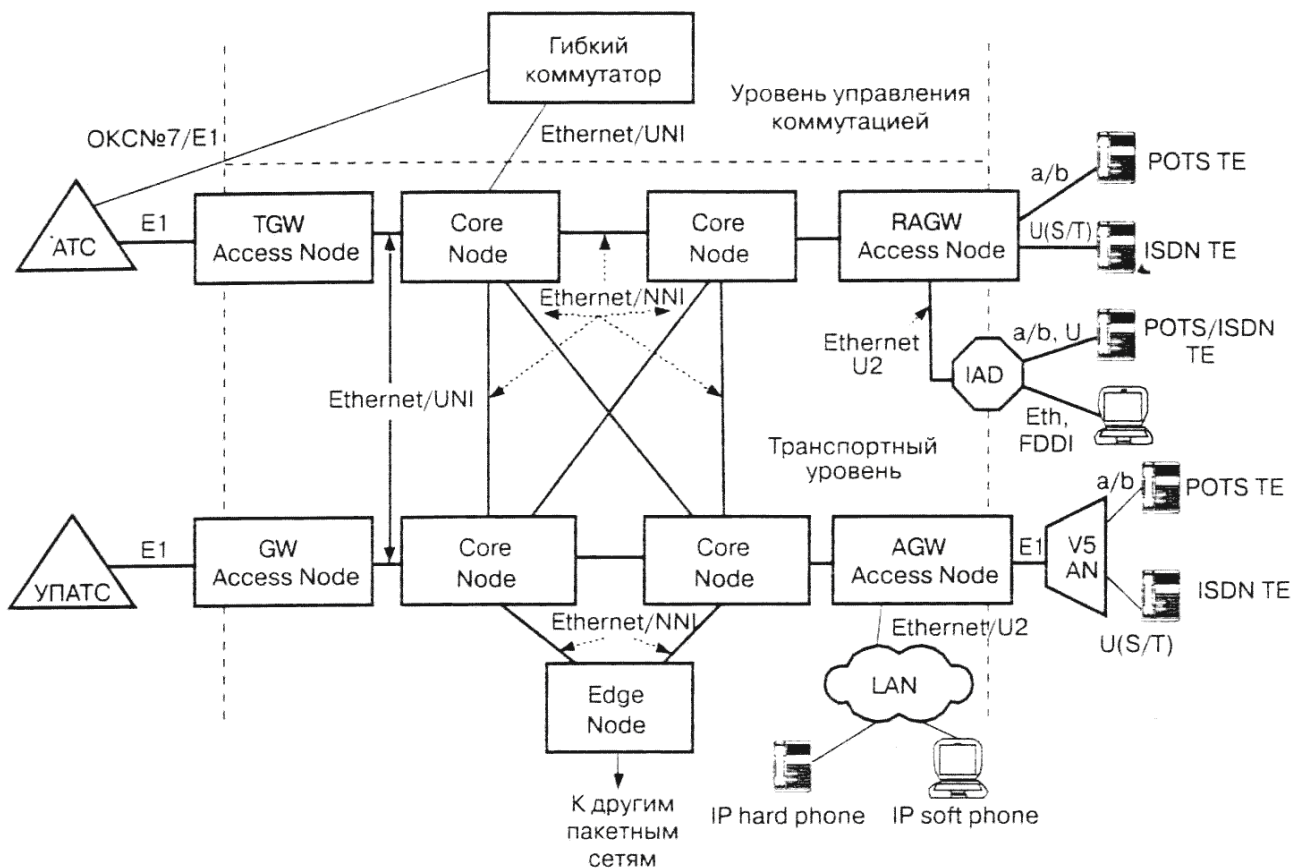


Рисунок 1.9 – Типова структура транспортної мережі NGN

Гнучкий комутатор повинен здійснювати:

- обробку всіх видів сигналізації, що використовуються в його домені;
- зберігання та керування абонентськими даними користувачів, що підключені до його домену безпосередньо або через обладнання шлюзовим

доступом;

– взаємодія з серверами додатків для надання розширеного списку послуг користувачам мережі.

При встановленні з'єднання гнучкого обладнання комутатора здійснює сигнальний обмін з функціональними елементами рівня управління комутацією. Такими елементами є всі шлюзи, термінальне обладнання мультисервісної мережі [Інтегровані пристрої доступу (IAD), термінали SIP та H.323], обладнання інших гнучких комутаторів та АТС з функціями контролера транспортних шлюзів (MGC).

Для передачі інформації сигналізації мережі ТФОП через пакетну мережу використовуються спеціальні протоколи. Так, передачі інформації сигналізації ОКС7, що надходить через сигнальні шлюзи від ТФОП до обладнання гнучкого комутатора, використовується протокол МхUA технології SIGTRAN (у той же час у ряді реалізацій гнучкого комутатора передбачено безпосереднє введення сигналізації ОКС7) [1, 2].

У разі використання на мережі кількох гнучких комутаторів вони взаємодіють міжвузловими протоколами (як правило, сімейство SIP-T) і забезпечують спільне управління встановленням з'єднання.

На підставі аналізу прийнятої інформації та рішення про подальшу маршрутизацію виклику обладнання гнучкого комутатора, використовуючи відповідні протоколи, здійснює сигнальний обмін із встановленням з'єднання з мережевим елементом призначення та керує з використанням протоколу H.248 (для IP комутації) або ВІСС (для АТМ комутації) встановленням з'єднання для передачі інформації користувача. При цьому потоки інформації не проходять через гнучкий комутатор, а замикаються на рівні транспортної мережі.

Структура рівня управління комутацією мультисервісної мережі NGN представлена рис. 1.10.

Термінальне обладнання пакетної мережі взаємодіє з обладнанням гнучкого комутатора з використанням протоколів SIP та H.323. Інформація користувача від термінального обладнання надходить на рівень вузлів доступу пакетної мережі і далі маршрутизується під управлінням гнучкого комутатора.

Вся інформація, пов'язана зі статистикою роботи мультисервісної мережі, врахуванням вартості за напрямками та врахуванням вартості для користувачів, накопичується та обробляється на рівні гнучкого комутатора для передачі у напрямку відповідних систем (АСР, ТОіЕ).

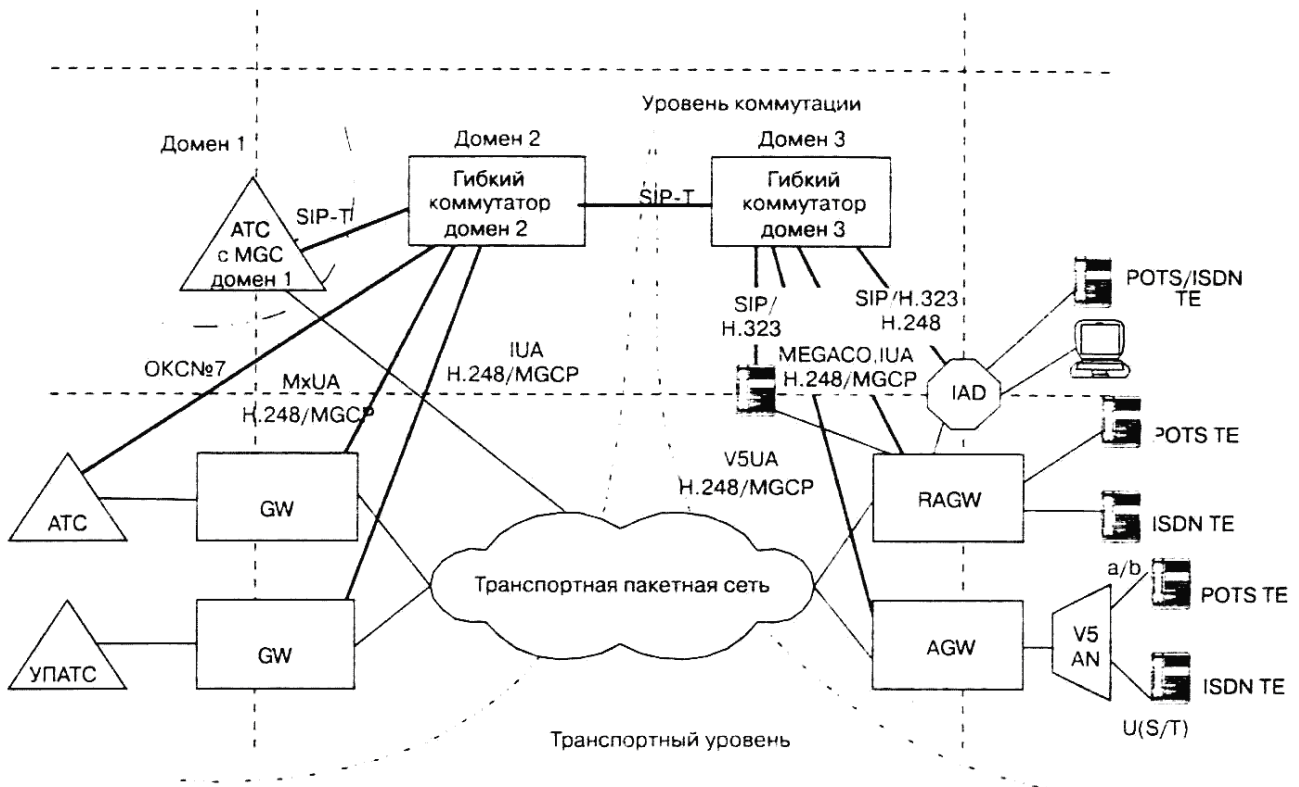


Рисунок 1.10 – Структура рівня керування комутацією мультисервісною мережі NGN

Рівень послуг та управління послугами. Основною послугою, що надається як у класичних мережах зв'язку, так і мультисервісної мережі, є передача інформації між користувачами мережі. Використання пакетних технологій лише на рівні транспортної мережі дозволяє забезпечити єдині алгоритми доставки інформації щодо різноманітних видів зв'язку.

Окрім послуг з доставки інформації, у мультисервісних мережах реалізовано можливість підтримки надання розширених списків послуг.

Стосовно послуги телефонії точкою надання додаткових послуг є обладнання гнучкого комутатора або обладнання серверів додатків.

Для користувачів, які використовують термінали мультимедіа (SIP та H.323 TE), можуть надаватися різні види мультимедійних послуг [1, 2].

Реалізація логіки обслуговування виклику в обмеженій кількості мережевих точок дозволяє оптимізувати структуру доступу до послуг, що надаються інтелектуальними мережами зв'язку. Для цього на рівні гнучкого комутатора реалізується функція SSP.

Використання пакетних технологій дозволяє забезпечувати спільне надання розширеного списку послуг незалежно від типу доступу користувача.

У мультисервісних мережах реалізується можливість надання однотипних послуг із різними параметрами класів обслуговування (QoS).

Слід зазначити, що на сьогодні питання взаємодії між гнучким комутатором та серверами послуг недостатньо опрацьовано на рівні міжнародних стандартів, у зв'язку з чим можлива несумісність обладнання різних виробників.

## 1.6 Технології широкопasmового доступу

Широкопasmова мережа відкриває нові можливості для ділового та квартирного секторів, надаючи доступ до Глобальної Інформаційної Інфраструктури [2]. Поява MPLS забезпечила виробників обладнання та операторів мережі зручними та ефективними механізмами гарантованого QoS, а отже, частково, та механізмами управління ресурсами. Тепер для функціонування мережі зв'язку з механізмами гарантованого QoS достатньо лише можливостей мережного рівня [1-3].

Ринок телекомунікаційних технологій змінюється дуже швидко, і при виборі технології широкопasmового доступу важливо ухвалити правильне рішення. Проаналізуємо найбільш популярні технології та зробимо довгостроковий прогноз їхньої актуальності на ринку.

Популярність тієї чи іншої технології залежить від аспекту пропозиції, оскільки за масовому виробництві ціна різко знижується, отже, падають і тарифи. Чималу роль грають швидкість передачі та дальність дії. Альтернативні технології отримують змогу зміцнення лише тому ринку, який може бути насичений домінуючою технологією.

Першою технологією широкопasmового доступу, що зміцнилася на ринку квартирної сектори, була Hybrid Fiber-Coax (HFC), що має гібридну оптично-коаксіальну мережеву структуру і передбачає використання кабельного модему. Вона досі домінує у Північній Америці, однак у Європі вже практично витіснена з ринку технологією DSL.

DSL дозволяє надавати широкопasmовий доступ до звичайних двопровідних мідних ліній і займає найбільшу частку ринку у світовому масштабі. Існує безліч різновидів DSL-технологій, які продовжують еволюціонувати [2, 4 – 6].

В даний час на масовий ринок вийшла лише технологія ADSL, яка в принципі здатна забезпечити один відеопотік та високошвидкісне підключення до Інтернету на дистанції до 1 км. Однак, щоб отримати доступ, наприклад, до послуги телемовлення по мідній парі, зберігаючи високошвидкісне підключення до Інтернету, необхідно перейти на технологію VDSL.

Асиметрична VDSL надає смугу пропускання до 26 Мбіт/с у бік абонента та до 2 Мбіт/с у бік мережі та має можливість транслювати одночасно до трьох цифрових відеопотоків разом із високошвидкісним Інтернет-підключенням [4 - 5].

На даному етапі кабельні оператори мають можливість надавати послуги кабельного телебачення, що неможливо на основі технологій ADSL або SHDSL. Такі можливості відкриваються під час введення технологій ADSL2+ або VDSL.

Важливо відзначити, що вартість ADSL- і ADSL2+-модуля – практично однакові, незважаючи на те, що другий дозволяє досягти набагато більшої пропускнуої спроможності. ADSL2+ і VDSL незабаром замінять більш старих "родичів" - ADSL і SHDSL відповідно. Вже зараз, у деяких сегментах ринку набирають популярності потокові програми, але їх розвиток сильно гальмує недостатня смуга пропускання на рівні доступу [2].

Бажання абонентів бути мобільними змушує задуматися про організацію бездротового доступу з рухомими об'єктами. Фіксований бездротовий доступ навряд чи стане дешевшим, ніж по мідних лініях, тому використовуватиметься тільки у важкодоступних ділянках мережі або як додаток до фіксованого.

Різні бездротові технології (GSM, GPRS, CDMA, Edge, UMTS, Wi-Fi, WiMAX та ін) будуть доповнювати один одного і, швидше за все, проіснують ще довгий час. Бездротові технології з маленьким радіусом дії (наприклад, Bluetooth) будуть використовуватися "на краю" мережі, щоб уникнути "павутин" з проводів [3].

Вже організовано безліч точок доступу до WLAN у ресторанах, кафе, готелях, аеропортах, бізнес-центрах тощо. Точки доступу називають ще IP-зонами, оскільки як опорна мережа для широкопasmового трафіку використовується IP-мережа. Зараз як технології бездротового широкопasmового доступу до фіксованих мереж використовуються Local Multipoint Distribution System (LMDS), Wi-Fi та WiMAX. LMDS довгий час подавала надії, але так і не досягла загальної популярності через надто високу вартість компонентів.

Зараз як "надії, що подають" знаходяться Wi-Fi і WiMAX. А якщо врахувати, що WiMAX здатна забезпечити як вищу швидкість передачі, так і покривати більші відстані, саме вона має всі шанси на успіх у місцях, важкодоступних для технології DSL.

Супутникове рішення до будинку Direct To Home (DTH) також надає можливості широкопasmової передачі. Але кількість супутників та можливості транспондера обмежені, а вартість цього рішення надто дорога для домашнього сектору. Однак супутникові системи здатні покрити території, не доступні для більш дешевих технологій.

Мережа цифрового телебачення є альтернативою широкопasmовим мережам. Пропонувалося рішення, у якому телевежі використовуються прийому широкопasmового сигналу, а передачі – ISDN чи GPRS на мобільному телефоні.

Зростання потреб у пропускній спроможності каналів викликало збільшення у транспортних мережах частки волоконно-оптичних кабелів. Нові оператори найчастіше створюють ділянки доступу саме волоконно-оптичні кільця. Деякі з них встановлюють Fiber To The Home (FTTH) або Fiber To The Building (FTTB) з внутрішньобудинковими рішеннями Ethernet. Якщо зараз волоконно-оптичні технології здатні захопити лише частку ринку корпоративних абонентів, які вже потребують широкопasmових послуг, то надалі проглядається перспектива доведення волокна до великих будівель та надання широкопasmового доступу квартирним абонентам. У віддаленому майбутньому, зі зростанням потреб у пропускній спроможності каналів, волоконно-оптичні рішення стануть, безперечно, більш конкурентоспроможними.

Етапом переходу до оптичних ліній зв'язку з права можна вважати використання Ethernet To The Home (ETTH). Ця технологія створювалася для спільної роботи з FTTB або FTTH і покликана зміцнити позиції оптичних технологій, що поєднують високу пропускну здатність і зручність в

експлуатації. Враховуючи світову тенденцію до повсюдного впровадження Ethernet, що з'явилася, очікується збільшення популярності ЕТТН і заміщення нею більш старих широкосмугових технологій [1-3].

Важливий двигун прогресу на ринку широкосмугових технологій – додатки. Еволюція додатків стимулює впровадження широкосмугових технологій, причому в першу чергу йдеться про еволюцію вузькосмугового Інтернету [2]. Не секрет, що в деяких сегментах ринку оператори фіксованих мереж зазнають фінансових втрат від надання послуг класичної телефонії. Для компенсації витрат та отримання доходів вони змушені реалізовувати нові платні послуги, а з тим потенціалом, який несуть у собі широкосмугові технології, це завдання значно спрощується.

Але питання у ціні, а й у пропускної спроможності, тобто. як надання послуг. У подальшій перспективі очікуються потреби у великій пропускної спроможності каналів [1-3]. Так, привабливими рішеннями будуть "волокно до будинку" та "волокно до будівлі". І частка волоконних рішень на ринку лише зростатиме.

До важливих факторів, що сприяють просуванню широкосмугових технологій, фахівці відносять впровадження VoIP та широкосмугових терміналів, насамперед персональних комп'ютерів [2, 5].

Висновки до розділу:

- проведено огляд основних характеристик та принципів організації сучасних мереж;
- проведено огляд архітектури мережі зв'язку, що побудовані на концепції мереж зв'язку наступного покоління та приведена узагальнена еталона модель цієї мережі;
- розглядаються сучасні технології широкосмугового доступу.

## 2 ШИРОКОСМУГОВІ СИГНАЛИ

### 2.1 Загальні відомості про широкосмугові сигнали

Широкасмугові сигнали це сигнали ширину спектра яких можна порівняти з центральною частотою. Широкасмуговими (складними, шумоподібними) сигналами (ШСС) називають такі сигнали, у яких добуток активної ширини спектра  $F$  на тривалість  $T$  набагато більше одиниці. Цей вираз називається базою сигналу  $B$  для ШСС [10-13].

$$B = FT \gg 1 \quad (2.1)$$

Широкасмугові сигнали іноді називають складними на відміну від простих сигналів (наприклад, прямокутні, трикутні і т.д.) з  $B = 1$ . Оскільки сигнали з обмеженою тривалістю спектр має необмежену протяжність, то визначення ширини спектра використовують різні методи і прийоми.

Підвищення бази ШСС досягається шляхом додаткової модуляції (або маніпуляції) за частотою або фазою на часі тривалості сигналу. В результаті спектр сигналу  $F$  (при збереженні його тривалості  $T$ ) істотно розширюється. Додаткова внутрішня сигнальна модуляція амплітуди використовується рідко.

У системах зв'язку з ШСС ширину спектра випромінюваного сигналу завжди набагато більша за ширину спектра інформаційного повідомлення. ШПС отримали застосування в широкосмугових системах зв'язку (ШССЗ), так як: забезпечують високу завадостійкість зв'язку, дозволяють успішно боротися з багатопроменевим поширенням радіохвиль шляхом поділу променів, допускають одночасно роботу багатьох абонентів у загальній смузі частот, дозволяють створювати системи зв'язку з підвищеною скритністю, забезпечують краще використання спектра частот на обмеженій території порівняно з вузькосмуговими системами зв'язку. Це дає їм

перевагу перед вузькосмуговими сигналами. Однією з найважливіших областей застосування ШСС є підвищення стійкості до перешкод радіоліній.

ШСС отримали застосування у широкосмугових системах зв'язку (ШССЗ), оскільки [10-13]:

- дозволяють повною мірою реалізувати переваги оптимальних методів обробки сигналів;
- забезпечують високу завадостійкість зв'язку;
- дозволяють успішно боротися з багатопроменевим поширенням радіохвиль шляхом поділу променів;
- допускають одночасну роботу багатьох абонентів у загальній смузі частот;
- дозволяють створювати системи зв'язку із підвищеною скритністю;
- забезпечують електромагнітну сумісність (ЕМС) ШССЗ з вузькосмуговими системами радіозв'язку та радіомовлення, системами телевізійного мовлення;
- забезпечують краще використання спектра частот на обмеженій території, порівняно з вузькосмуговими системами зв'язку.

## 2.2 Завадостійкість широкосмугових сигналів

Вона визначається широко відомим співвідношенням, що зв'язує відношення сигнал-перешкода на виході приймача  $q^2$  з відношенням сигнал-перешкода на вході приймача  $p^2$  [10-13]:

$$q^2 = 2Vp^2 \quad (2.2)$$

де,  $p^2 = P_c/P_p$  ( $P_c$ ,  $P_p$  – потужність ШСС та завад);

$q^2 = 2E/N_p$ ,  $E$  – енергія ШСС,  $N_p$  – спектральна щільність потужності завад в полосі ШСС. Відповідно  $E = P_c T$ , а  $N_p = P_p / F$ ;  $V$  - база ШСС.

Відношення сигнал-перешкода на виході  $q^2$  визначає робочі характеристики прийому ШПС, а відношення сигнал-перешкода на вході  $p^2$  - енергетику сигналу і перешкоди. Величина  $q^2$  може бути отримана згідно з вимогами до системи (10...30

дБ), навіть якщо  $\rho^2 \ll 1$ . Для цього достатньо вибрати ШПС з необхідною базою, що задовольняє (2.2). Як видно із співвідношення (2.2), прийом ШПС узгодженим фільтром або корелятором супроводжується посиленням сигналу (або придушенням перешкоди) у  $2B$  разів. Саме тому величину

$$K_{\text{ШСС}} = q^2/\rho^2 \quad (2.3)$$

називають коефіцієнтом посилення ШСС під час обробки чи навіть посилення обробки. З (2.2), (2.3) випливає, що посилення обробки  $K_{\text{ШСС}} = 2B$ . У ШПСС прийом інформації характеризується відношенням сигналу перешкоди  $h^2 = q^2/2$ , тобто

$$h^2 = B\rho^2 \quad (2.4)$$

Співвідношення (2.2), (2.4) є фундаментальними в теорії систем зв'язку із ШПС. Вони отримані для перешкоди у вигляді білого шуму з рівномірною щільністю спектральної потужності в межах смуги частот, ширина якої дорівнює ширині спектра ШСС. Разом про те ці співвідношення справедливі для кола перешкод (вузькосмугових, імпульсних, структурних), що визначає їх фундаментальне значення.

Таким чином, одним з основних призначень систем зв'язку з ШПС є забезпечення надійного прийому інформації при впливі потужних перешкод, коли відношення сигнал-перешкода на вході приймача  $\rho^2$  може бути набагато менше одиниці. Необхідно ще раз відзначити, що наведені співвідношення суворо справедливі для перешкоди у вигляді випадкового гаусівського процесу з рівномірною спектральною щільністю потужності («білий» шум).

### 2.3 Основні види широкосмугових сигналів

Відома велика кількість різних ШПС. ШПС поділяються на такі види [10-14]:

- частотно-модульовані (ЧМ) сигнали;
- багаточастотні (БЧ) сигнали;
- фазоманіпульовані (ФМ) сигнали (сигнали з кодовою фазовою модуляцією - КФМ сигнали);
- дискретні частотні (ДЧ) сигнали (сигнали з кодовою частотною модуляцією – КЧМ сигнали, частотно-маніпульовані (ЧМ) сигнали);
- дискретні складові частотні (ДСЧ) (складові сигнали з кодовою частотною модуляцією – СКЧМ сигнали).

Частотно-модульовані (ЧМ) сигнали є безперервними сигналами, частота яких змінюється за законом. На рис 2.1а, зображений ЧС сигнал, частота якого змінюється по V-подібними закону від  $f_0 - F / 2$  до  $f_0 + F / 2$ , де  $f_0$  - центральна несуча частота сигналу,  $F$  - ширина спектру, в свою чергу, рівна девіації частоти  $F = \Delta f_d$ . Тривалість сигналу дорівнює  $T$ .

На рис.2.1б представлена частотно-часова  $(f, t)$  - площина, на якій штрихуванням приблизно зображено розподіл енергії ЧС сигналу за частотою і часом.

База ЧМ сигналу визначення (1) дорівнює:  $B = FT = \Delta f_{dT}$ .

Частотно-модульовані сигнали знайшли широке застосування в системах радіолокації, оскільки для конкретного ЧМ сигналу можна створити узгоджений фільтр на приладах з поверхневими акустичними хвилями.

Багаточастотні (БЧ) сигнали (рис. 2.2а) є сумою  $N$  гармонік  $u(t) \dots u_N(t)$ , амплітуди та фази яких визначаються відповідно до законів формування сигналів. На частотно-часовій площині (рис. 2.2б) штрихуванням виділено розподіл енергії одного елемента (гармоніки) БЧ сигналу на частоті  $f_k$ . Усі елементи (всі гармоніки) повністю перекривають виділений квадрат із сторонами  $F$  і  $T$ . База сигналу  $B$  дорівнює площі квадрата. Ширина спектру елемента  $F_0 - 1/T$  [10-14].

Фазоманіпульовані (ФМ) сигнали являють собою послідовність радіоімпульсів, фази яких змінюються за заданим законом. Зазвичай фаза набуває

двох значень (0 або  $\pi$ ). При цьому радіочастотному ФМ сигналу відповідає відео ФМ сигнал (рис. 2.3а), що складається з позитивних і негативних імпульсів. Якщо число імпульсів  $N$ , то тривалість одного імпульсу дорівнює  $\tau_0 = T/N$ , а ширина його спектра дорівнює приблизно ширині спектра сигналу  $F_0 = 1/\tau_0 = N/T$ . На частотно-часовій площині (рис. 2.3б) штрихуванням виділено розподіл енергії одного елемента (імпульсу) ФМ сигналу. Усі елементи перекривають виділений квадрат зі сторонами  $F$  та  $T$ . База ФМ сигналу [10-13]

$$B = FT = F/\tau_0 = N, \quad (2.5)$$

тобто дорівнює числу імпульсів в сигналі.

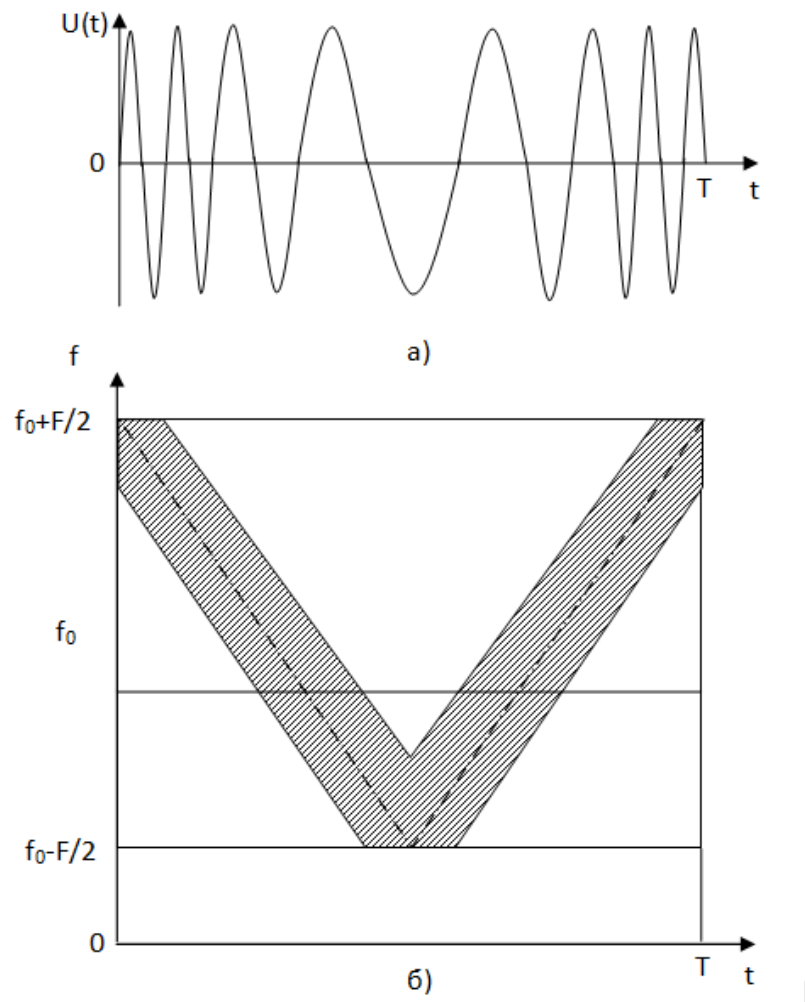


Рисунок 2.1 – Частотно-модульований сигнал в частотно-часовій площині

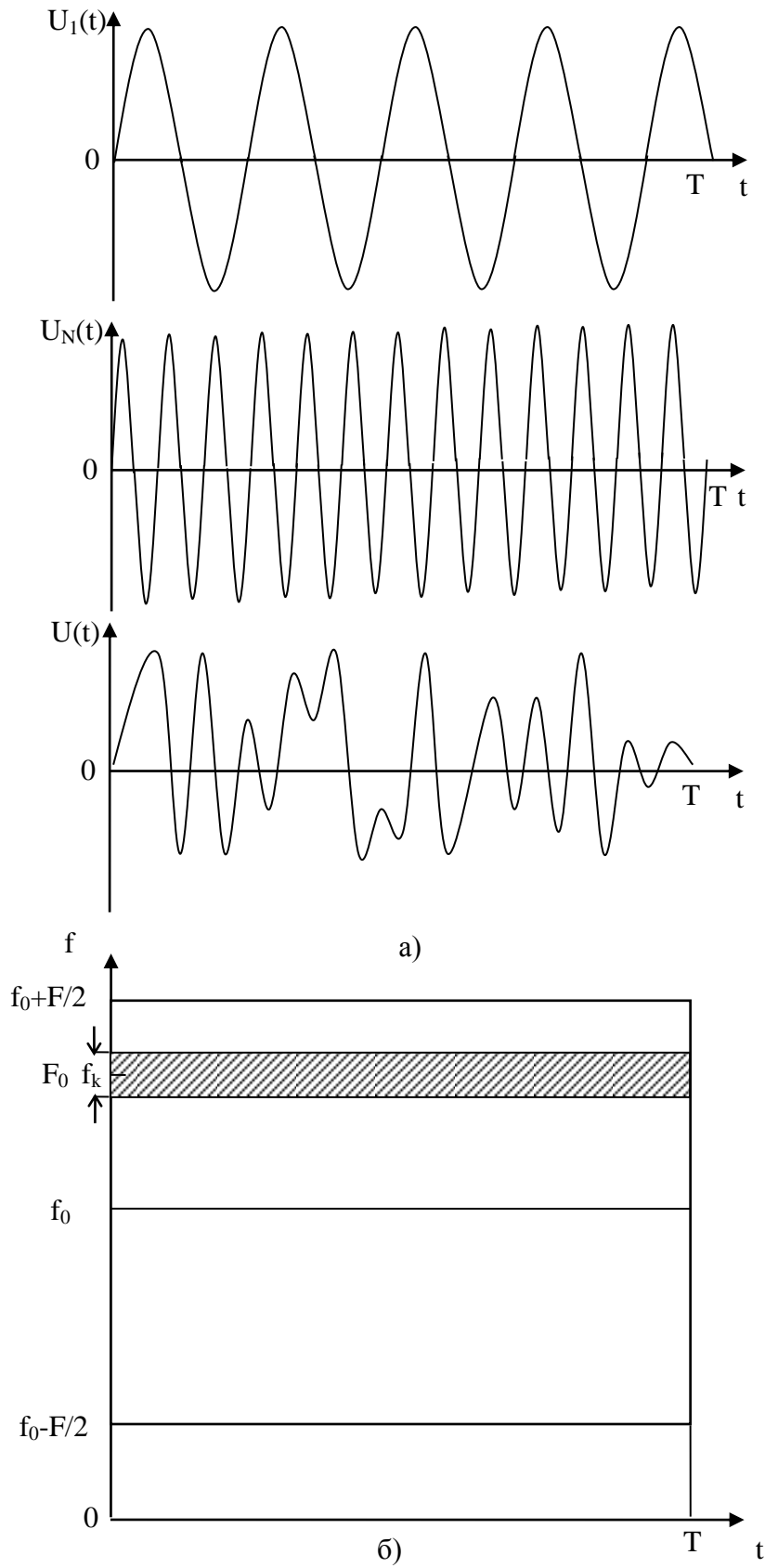


Рисунок 2.2 – Багаточастотні сигнали та частотно-часова площа

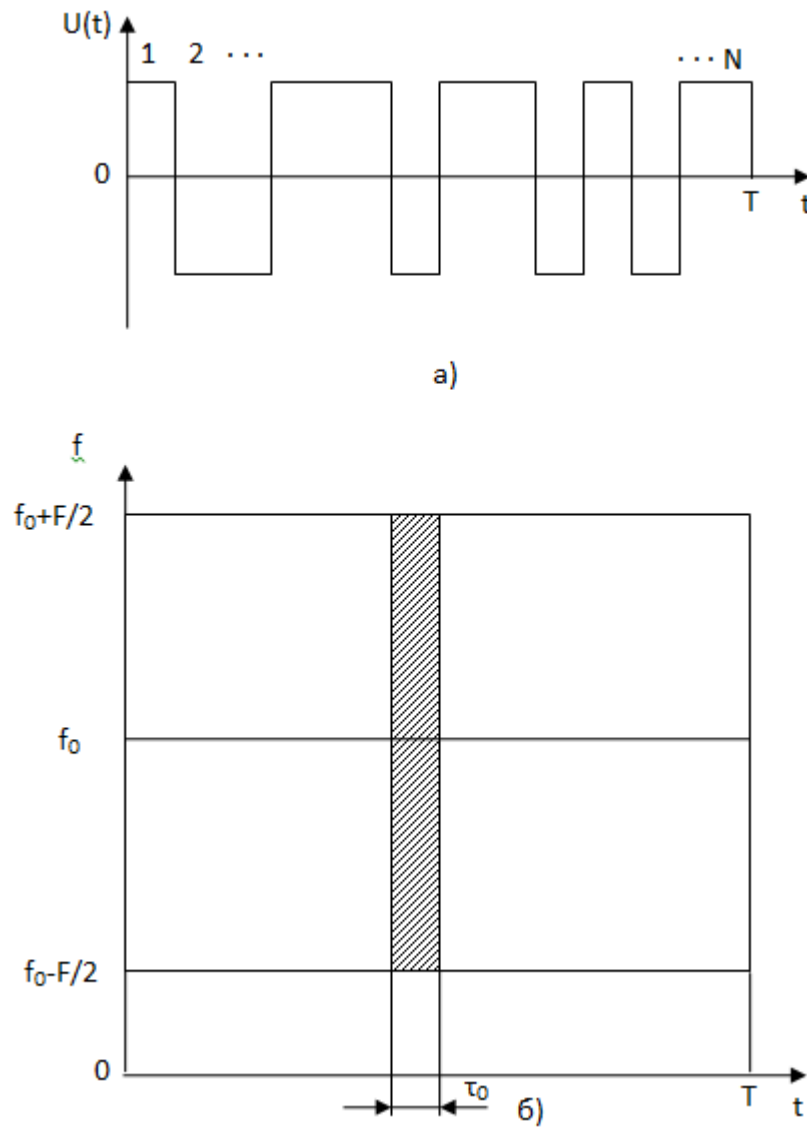


Рисунок 2.3 Фазоманіпульований сигнал та частотно-часова площина

Слід зазначити, що ФМ сигнали з великими базами доцільно обробляти за допомогою кореляторів (БІС або ПЗС). При цьому  $B = 4 \cdot 10^4$  є граничною. Але при використанні кореляторів необхідно в першу чергу вирішити питання прискореного входження в синхронізм. Так як ФМ сигнали дозволяють широко використовувати цифрові методи та техніку формування та обробки, і можна реалізувати такі сигнали з відносно великими базами, то ФМ сигнали є одним з перспективних видів ШСС.

Дискретні частотні (ДЧ) сигнали є послідовністю радіоімпульсів (рис. 2.4а), несучі частоти яких змінюються за заданим законом. Нехай число імпульсів ДЧ сигналі дорівнює  $M$ , тривалість імпульсу дорівнює  $T_0 = T/M$ , його ширина спектра

$F_0=1/T_0=M/T$ . Над кожним імпульсом (рис. 2.4а) вказано його несучу частоту. На частотно-часовій площині (рис. 2.4б) штрихуванням виділено квадрати, в яких розподілено енергію імпульсів ДЧ сигналу.

Як бачимо з рис. 2.4б, енергія ДЧ сигналу розподілена нерівномірно на частотно-часовій площині. База ДЧ сигналів [10-13].

$$B = FT = MF_0MT_0 = M^2F_0T_0 = M^2 \quad (2.6)$$

Оскільки основа імпульсу  $F_0T_0 = 1$ . З (2.6) випливає основна перевага ДЧ сигналів: для отримання необхідної бази число каналів  $M = \sqrt{B}$ , тобто. значно менше, ніж МЧ сигналів. Саме ця обставина і зумовила увагу до таких сигналів та їх застосування у системах зв'язку. Разом про те великих баз  $B = 10^4 \dots 10^6$  використовувати лише ДЧ сигнали недоцільно, оскільки число частотних каналів  $M = 10^2 \dots 10^3$ , що видається надмірно великим.

Дискретні складові частотні (ДСЧ) сигнали є ДЧ сигналами, які кожен імпульс замінений шумоподібним сигналом. На рис. 2.5а зображено відеочастотний ФМ сигнал, окремі частини якого передаються різних несучих частотах. Номери частот вказані над сигналом ФМ. На рис. 2.5б зображено частотно-часова площина, на якій штрихуванням виділено розподіл енергії ДСЧ сигналу. рис 2.5б структурою не відрізняється від рис. 2.4б, але з рис. 2.5б площа  $F_0T_0 = N_0$  - дорівнює числу імпульсів ФМ сигналу щодо одного частотному елементі ДСЧ сигналу. База ДСЧ сигнал.

$$B = FT = M^2F_0T_0 = N_0M_2 \quad (2.7)$$

Кількість імпульсів повного ФМ сигналу  $N=N_0M$ .

Такий сигнал можна скорочено позначати ДСЧ-ЧМ. Число частотних каналів у ДСЧ-ЧМ сигналі дорівнює  $M_0M$ . Якщо ДЧ сигнал (див. рис 2.4), і ДСЧ-ЧМ сигнал мають рівні бази, то вони мають і однакову кількість частотних каналів. Тому особливих переваг ДСЧ-ЧМ сигнал перед сигналом ДЧ не має. Але принципи

побудови ДСЧ-ЧМ сигналу можуть виявитися корисними при побудові великих систем ДЧ сигналів. Отже, найбільш перспективними ШПС для систем зв'язку є ФМ, ДЧ, ДСЧ-ФМ сигнали.

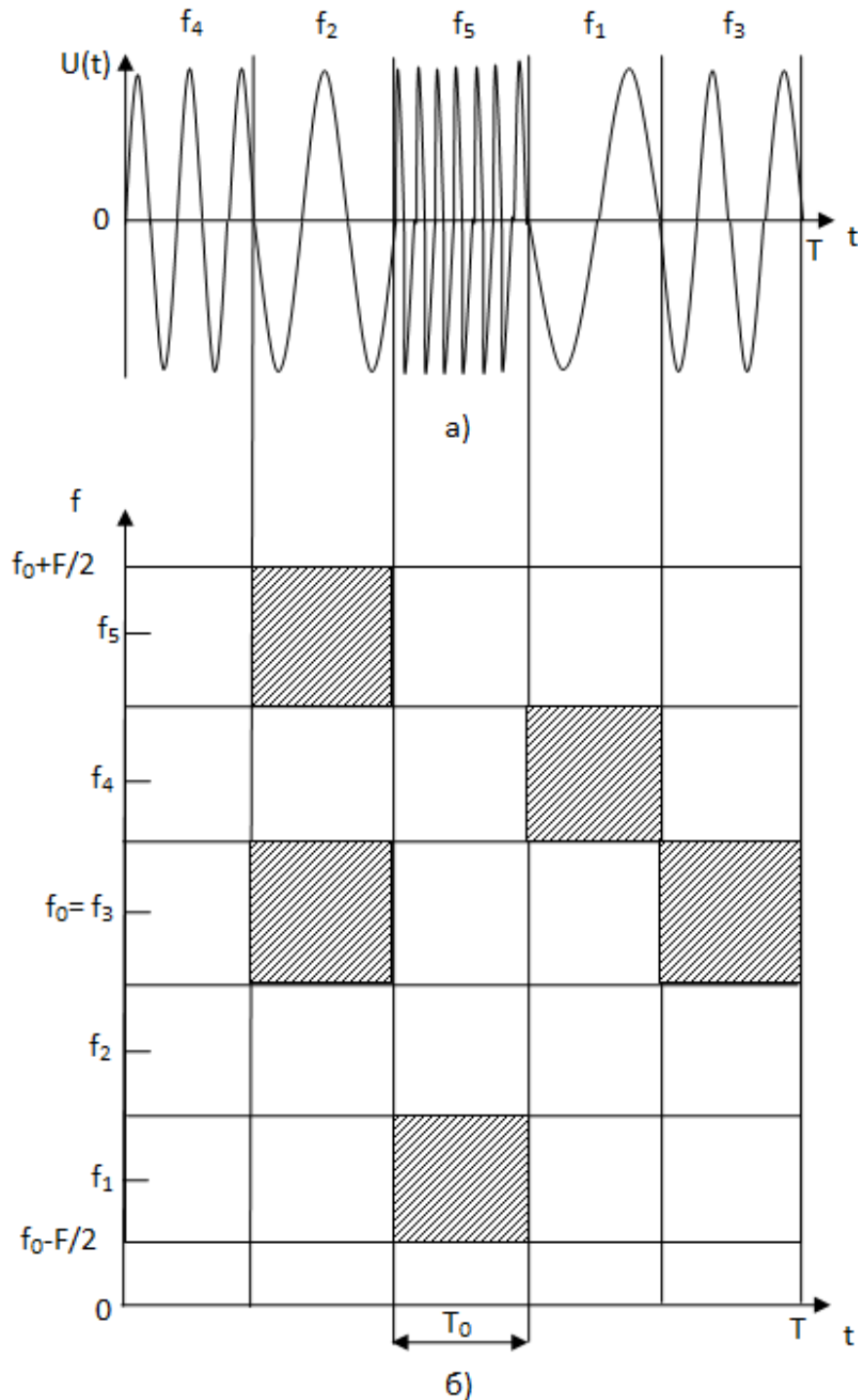


Рисунок 2.4 – Дискретно частотний сигнал та частотно-часова площина

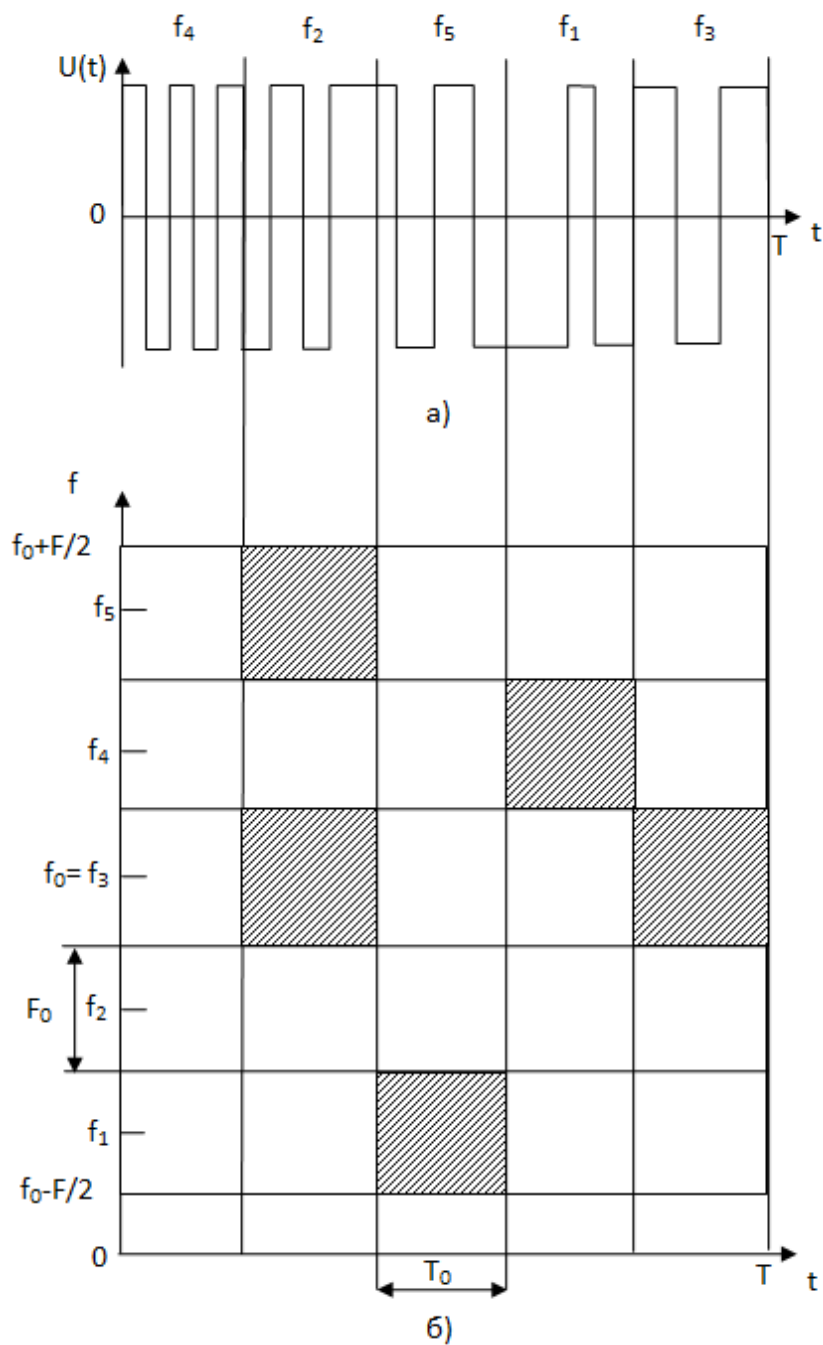


Рисунок 2.5 – Дискретний складовий частотний сигнал з фазовою маніпуляцією ДСЧ-ФМ та частотно-часова площина

Передача дискретних повідомлень у вигляді АМ, ЧС чи ФМ (ОФМ) здійснюється зазвичай простими сигналами, база яких  $\nu=2TF$  (2.1) не перевищує декількох одиниць. Такі сигнали є вузькосмуговими, оскільки ширина спектра сигналу  $F$ , що передається, по порядку величини дорівнює ширині спектра вихідного сигналу  $F_m=1/2T$  (де  $T$  - тривалість одного вихідного сигналу). Разом з

тим в даний час застосовуються системи, де використовуються складні широкосмугові сигнали з базою в кілька сотень або навіть тисяч і шириною спектра  $F \gg F_m$ . Один із способів розширення спектра сигналу, що передається полягає в тому, що вихідному сигналу ставиться у відповідність складний сигнал, що складається з великого числа  $n$  елементарних сигналів тривалістю  $\tau_0 = T/n$ . Оскільки  $F = 1/\tau_0$  то база сигналу, що передається  $\nu = 2TF = n \gg 1$ . Існують інші способи формування широкосмугових сигналів, засновані на застосуванні спеціальних видів модуляції. Основні переваги широкосмугових сигналів, що викликають підвищений інтерес до них останніми роками, полягають у тому, що такі сигнали дозволяють ефективно боротися з впливом багатопроменевої та зосередженими по спектру перешкодами.

#### 2.4 Сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням

Технологія ортогонального частотного мультиплексування (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) нині є основою фізичного рівня низки сучасних стандартів цифрової передачі (Wi-Fi, WiMax, DVB-T та інших.) [10-14]. OFDM є поєднанням модуляції та мультиплексування ортогональних частотних каналів зв'язку.

Даний спосіб формування сигналів передбачає використання суми безлічі гармонійних коливань, частоти яких вибираються виходячи з умови ортогональності. Для виконання умови ортогональності необхідно, щоб у період передачі одного символу укладалася ціла кількість періодів гармонійних коливань кожного частотного підканалу (піднесучі) і щоб коефіцієнт взаємної кореляції між сусідніми піднесучими дорівнював нулю. Такий спосіб формування сигналу дозволяє підвищити його спектральну густину шляхом накладання спектрів сусідніх піднесучих. При цьому суміжні піднесучі не інтерферують. Порухення умови ортогональності призводить до міжчастотної інтерференції. Розташування піднесучих OFDM-сигналу представлено на рис.2.6, де  $B$  - ширина смуги OFDM-

сигналу,  $N$  - число тих, що піднесуть,  $\Delta f = B / N$  - частотний інтервал між сусідніми піднесучими.

Математично формування OFDM-сигналу у часовій області можна описати виразом [10-14]:

$$S[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Z_k \exp\left(j \frac{2\pi kn}{N}\right), \quad (2.8)$$

де  $N$  – кількість піднесучих,

$n=0\dots N-1$  – індекс тимчасового відліку,

$k=0\dots N-1$  – індекс піднесучої,

$Z_k = A_k \exp(j\phi_k)$  – комплексний елемент сигнального сузір'я, відповідний бітової послідовності, що передається.

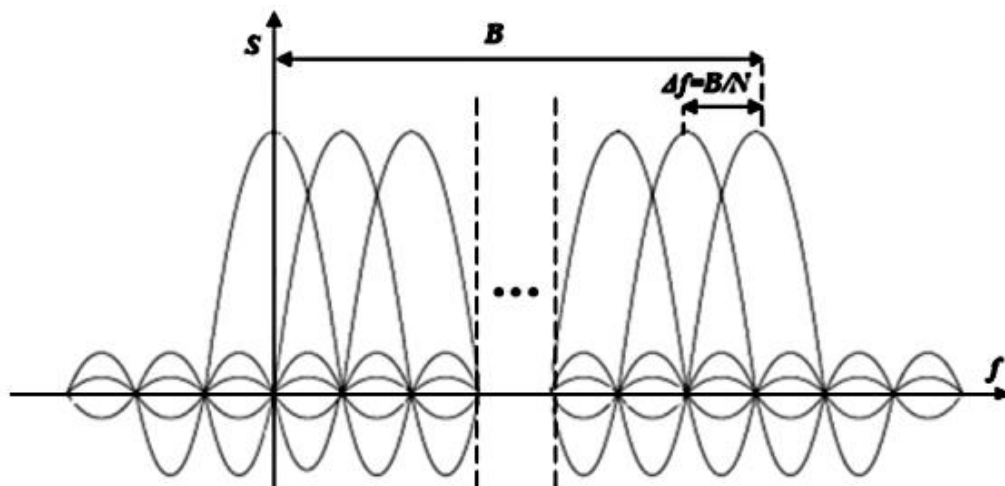


Рисунок 2.6 – Розташування піднесучих OFDM сигналу

У системах радіозв'язку, що використовують OFDM-сигнали, для модуляції піднесучих можуть використовуватися: двійкова фазова маніпуляція (BPSK), квадратурна фазова маніпуляція (QPSK) або квадратурна амплітудна модуляція (QAM, КАМ). Послідовний потік символів КАМ модуляції перетворюється на паралельний потік, потім кожна піднесуча модулюється за законом (2.1) [10-14].

OFDM-сигнали мають такі основні переваги:

- Збільшення спектральної ефективності. OFDM передбачає використання ортогональних частотних підканалів, що перекриваються, що дозволяє більш ефективно використовувати виділену смугу і підвищити швидкість передачі даних [10-14].

- зниження міжсимвольної інтерференції та підвищення стійкості до багатопроменевого каналу поширення радіохвиль.

Одним із суттєвих недоліків OFDM-сигналів є чутливість до міжчастотної інтерференції. При виникненні некомпенсованої різниці частот прийому та передачі порушується ортогональність піднесучих, унаслідок чого виникають перешкоди, пов'язані із взаємним впливом сусідніх піднесучих.

Іншим недоліком технології OFDM є велике значення пік-фактора сигналу [10-14], що визначається відношення максимально можливого рівня сигналу до середнього рівня сигналу. Пік-фактор визначає вимоги до лінійності аналогових трактів передачі та розрядності ЦАП/АЦП. Відповідно, чим вище його значення, тим складніше реалізація пристроїв, які підтримують цей тип сигналу.

Системи зв'язку, що використовують технологію OFDM, також характеризуються складністю апаратної реалізації. Використання складних структур сигналів вимагає великих обчислювальних ресурсів обладнання приймальної та передавальної станцій і оскільки застосування OFDM-сигналів доцільно лише при високих швидкостях передачі даних (десятки і сотні Мбіт/с), обчислення повинні проводитися в реальному масштабі часу і забезпечувати мінімальні затримки в системі [10-14].

Розглянемо докладніше алгоритм формування OFDM-сигналу. Паралельний потік модуляційних символів, одержаних шляхом перетворення вхідного потоку двійкових даних, представляється як набір спектральних коефіцієнтів. Для отримання комплексної оригінальної OFDM-сигналу за формулою (2.1) у сучасних системах зв'язку використовується зворотне перетворення Фур'є (ЗШПФ) у часовій області.

Перетворення Фур'є як у передавачі, і на приймачі вибирається рівним кількості піднесучих, використовуваних для формування сигналу. Перевагою

даного способу формування сигналу є можливість вибору малої основи перетворення Фур'є, що у свою чергу дозволить виключити обробку великих масивів даних та спростити реалізацію блоків цифрової обробки, що застосовуються в системі.

Для зменшення впливу міжсимвольної інтерференції у системах зв'язку з OFDM-модуляцією використовується захисний інтервал, який через свою структуру отримав назву циклічного префікса (ЦП) [10-14]. Тривалість ЦП вибирається виходячи з максимально можливої затримки відбитого сигналу, здатного суттєво вплинути на інформацію, що передається. Циклічний префікс, що додається на початок кожного OFDM-символу, є циклічним повторенням закінчення символу, тому в результаті додавання такого захисного інтервалу в спектрі сигналу не з'являється нових частотних складових і не відбувається розширення спектра.

Структурну схему формування OFDM-сигналу представлено на рис. 2.7.

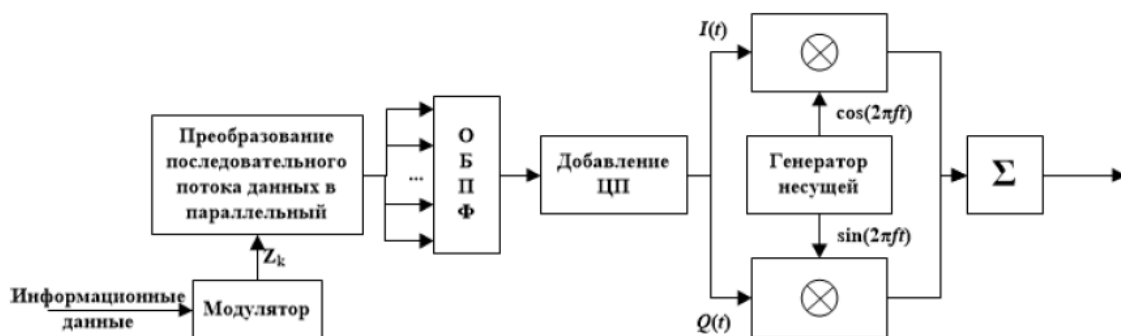


Рисунок 2.7 – Структурна схема формування OFDM сигналу

Висновки до розділу:

- проаналізовані характеристики широкосмугових сигналів;
- відмічено що широкосмугові сигнали мають більшу завадостійкість, що дає можливість підвищити продуктивність систем зв'язку;
- окремо розглянуто сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням, які мають підвищену завадостійкість.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З КОДОВИМ КОМБІНАЦІЙНИМ УЩІЛЬНЕННЯМ

#### 3.1 Класифікація систем передачі інформації, які використовують єдиний ресурс

На практиці існує потреба передачі великих обсягів інформації багатьох користувачів при обмежених можливостях, коли вже якось сформувалися телефонні та телеграфні мережі, визначені лінії та канали зв'язку, розподіл ресурсів робочих радіохвиль між країнами.

У зв'язку з цим гостро постає завдання організації найефективнішого доступу кількох користувачів до єдиного ресурсу (частотно-часового та енергетично-просторового).

Будь-який сигнал займає певну смугу частот і часовий інтервал, має обмежену енергію і поширюється в певній області простору. Відповідно до цього виділяють чотири види ресурсу каналу [4-9]:

- частотний;
- часовий;
- енергетичний;
- просторовий.

Проблема ефективного використання ресурсу загального каналу особливо загострилася через необхідність організації оперативного обміну даними та забезпечення зв'язку з об'єктами в інформаційних системах різного призначення за умов нерівномірності та непередбачуваності запитів споживачів у часі.

При вирішенні проблеми розподілу ресурсу загального каналу застосовуються методи мультиплексування та множинного доступу (multiple access). Поняття «мультиплексування» та «множинний доступ» подібні до того, що вони припускають розподіл ресурсу між користувачами. У той самий час з-поміж них є й суттєві відмінності. Так при мультиплексуванні (рис. 3.1, 3.2.) ресурс каналу зв'язку

розподіляється через загальне кінцеве обладнання, що формує груповий сигнал  $U_{гр}(i)$ , який передається по одній лінії зв'язку.

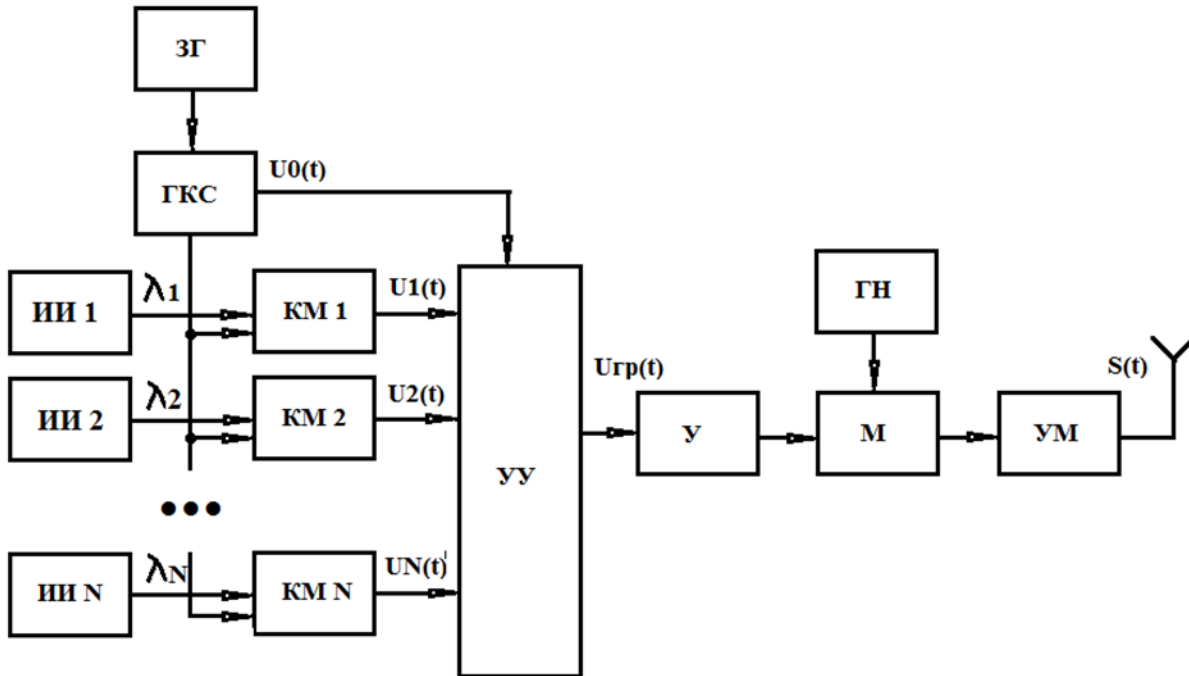


Рисунок 3.1 – Передавальна частина багатоканальної системи передачі інформації

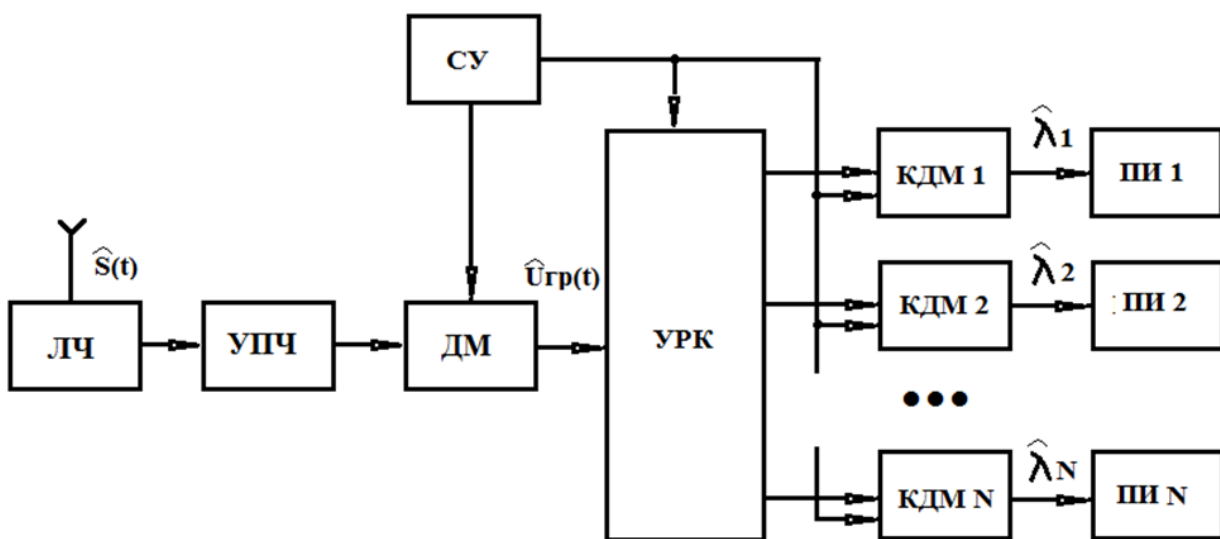


Рисунок 3.2 – Приймальна частина багатоканальної системи передачі інформації

Основні позначення в структурних схемах: ИИ – джерело інформації, КМ – каналний модулятор, ЗГ – задаючий генератор, ГКС – генератор каналних сигналів, УУ – пристрій ущільнення, У – підсилювач групового сигналу, М – модулятор несучого коливання, ГН – генератор несучого коливання, УМ – підсилювач потужності, ЛЧ – лінійна частина приймача, УПЧ – підсилювач проміжної частоти, ДМ – демодулятор, СУ – синхронізуючий пристрій, УРК – пристрій поділу каналних сигналів, КДМ – каналний модулятор, ПИ – споживач інформації.

При множинному доступі  $S_{\Sigma}(t)$  утворюється в результаті додавання сигналів користувачів безпосередньо в каналі (рис. 3.3, де ИС – джерело повідомлення, ПРД – передавач, ПРМ – приймач, ПС – одержувач повідомлення).

Множинний доступ характерний для супутникових каналів, радіоканалів, каналів мобільного зв'язку.

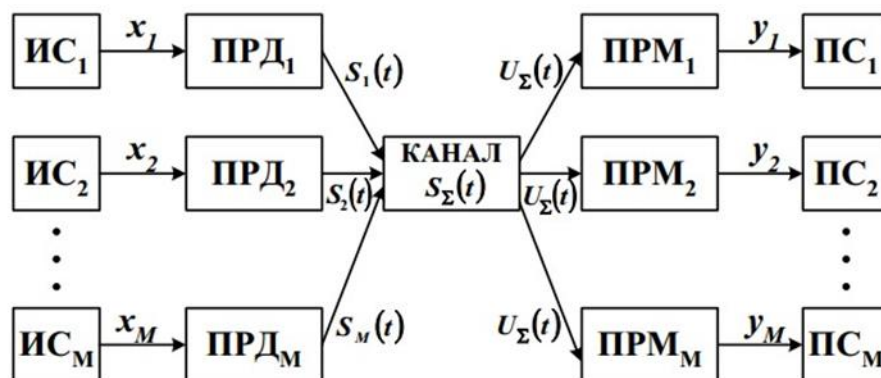


Рисунок 3.3 – Система передачі з множинним доступом

Прийнято вважати, що мультиплексування засноване на загальному апаратурному забезпеченні, в той час як множинний доступ (МД) використовує певні процедури (протоколи), що реалізуються за допомогою програмного забезпечення, що зберігається в пам'яті кожного терміналу. На рис. 3.4 представлені методи мультиплексування. Умовні позначення рис.3.4: ЧУК – частотне ущільнення каналів, ВУК – часове ущільнення каналів, КУК – кодове ущільнення каналів, ДЧТ – дворазове частотне телеграфування, ДФТ – дворазове фазове телеграфування.



Рисунок 3.4 – Методи мультиплексування

У більшості випадків для здійснення операції ущільнення каналу джерелу повідомлень виділяється спеціальний сигнал, який називається каналним. Промодульовані повідомленнями каналні сигнали об'єднуються, у результаті утворюється груповий сигнал  $S_{гр}(t)$ . Якщо операція об'єднання лінійна, то  $S_{гр}(t) = S\Sigma(t)$  утворюється підсумуванням алгебри промодульованих каналних сигналів [4-9].

У системах нелінійного ущільнення груповий сигнал формується у вигляді певної логічної обробки, у результаті якої кожен елемент сформованого сигналу відображає інформацію (комбінацію символів) від усіх ІС. Класичним прикладом такої системи є система дворазового частотного телеграфування (ДЧТ). Для передачі чотирьох комбінацій символів двох каналів використовують чотири частоти:  $f_1 \rightarrow 00$ ,  $f_2 \rightarrow 01$ ,  $f_3 \rightarrow 10$ ,  $f_4 \rightarrow 11$ .

Пристрій поділу лінійного групового сигналу  $S\Sigma(t)$  є набір лінійних виборчих ланцюгів, кожна з яких виділяє тільки свій каналний сигнал і в ідеальному випадку зовсім не реагує на інші каналні сигнали. Для здійснення подібного ідеального поділу необхідно і достатньо, щоб каналні промодульовані сигнали становили

ансамбль лінійно незалежних сигналів. В якості таких сигналів зазвичай використовують ансамблі ортогональних сигналів.

У класі лінійного ущільнення на вигляд відмінного ознаку каналного сигналу розрізняють:

- часове ущільнення каналів (ВУК);
- частотне ущільнення каналів (ЧУК);
- кодове ущільнення (ущільнення формою сигналів) каналів (КУК).

Замість терміна «ущільнення» застосовують термін «поділ».

Лінійне ущільнення каналних сигналів завжди передбачає їх лінійний поділ. При ЧУК смуга частот загального каналу  $\Delta f$  поділяється на кілька більш вузьких смуг  $\Delta f_i$ , кожна з яких утворює канал ІС. Передбачаються та міжканальні частотні проміжки боротьби з міжканальними перешкодами.

При ВРК вся смуга  $\Delta f$  надається по черзі через певні інтервали часу різним джерелам повідомлень і передача інформації здійснюється за кадрами. На початку кадру формується синхроімпульс, а потім у свої часові інтервали впливають вибірки з каналних сигналів. У каналних сигналах застосовуються імпульсні види модуляції [4-9].

При КУК немає поділу загального каналу між ІС ні за частотою, ні за часом. Канальні сигнали різних ІС, перекриваючись за часом і частотою, залишаються ортогональними за рахунок відмінності форм, що забезпечує їх поділ.

Можливі варіанти комбінування вказаних методів. Так, у мобільному зв'язку як метод МД широко використовуються комбінації ЧУК і ВУК, ВУК і КУК. У першій комбінації кожен частотний канал надається кільком користувачам певні проміжки часу. При другій комбінації в смузі частот  $f$  формують канали з тимчасовим поділом, які надаються кільком користувачам на принципах КУК.

При організації багатоканальної передачі інформації каналні сигнали, що застосовуються для ущільнення, можуть бути заздалегідь певним чином розподілені між джерелами повідомлень. Таке ущільнення називається ущільненням із закріпленими каналами. Відповідна йому багатоканальна система передачі також називатиметься системою із закріпленими каналами. Можлива і така організація

багатоканальної передачі, коли каналні сигнали не розподіляються заздалегідь між джерелами, а виділяються кожному джерелу за необхідності. Таке ущільнення називається ущільненням із незакріпленими каналами. Очевидно, для правильного поділу каналів у системах із незакріпленими каналами необхідно якимось чином передати адресу на приймальну сторону.

### 3.2 Багатоканальні системи передачі з кодовим ущільненням каналних сигналів

У системах із кодовим ущільненням повідомлення в каналах подаються у бінарному (цифровому) вигляді. Кожен біт такого повідомлення за лінійного ущільнення після каналного модулятора (рис. 3.1) заповнюється своєю опорною функцією (каналним сигналом). Кількість опорних функцій дорівнює кількості каналів і всі вони взаємно ортогональні. Якщо опорні функції бінарні, то пристрій ущільнення - суматор алгебри і груповий сигнал буде дискретним багаторівневим з ефективною смугою частот такий же, що і каналні сигнали. Радіосигнал на виході модулятора зазвичай або багатофазний або багаточастотний. При оптимальній обробці такого сигналу можливість помилкового прийому біта цифрової інформації оцінюється наступними виразами [4-9]:

$$P_{\text{ош}} = 1 - \Phi(\sqrt{2qB\cos\Delta\varphi}), \text{ сигнал багатофазний,} \quad (3.1)$$

$$P_{\text{ош}} = 0,5 m \exp(-qB/4), \text{ сигнал багаточастотний,} \quad (3.2)$$

де,  $q$  - Вхідне відношення сигнал / шум;

$B$  – база ортогональної функції;

$\Delta\varphi$  – мінімальний крок по фазі ( $\Delta\varphi = 2\pi/(m+1)$ );

$m$  – кількість каналів.

При нелінійному кодовому ущільненні каналних сигналів груповий сигнал, як і каналні сигнали, бінарний, що дозволяє використовувати найбільш стійку

перешкоду модуляцію несучого коливання - біфазну. Найбільш популярні методи кодового нелінійного ущільнення – мажоритарний та комбінаційний. У системах з мажоритарним ущільненням замість алгебраїчного суматора використовується логічний мажоритарний елемент, а решта інших вузлів і блоків не відрізняються від багатоканальної системи з кодовим лінійним ущільненням. Груповий сигнал при мажоритарному ущільненні в спектрально-часовому просторі подібний до каналного сигналу і розділення каналних сигналів лінійне. Потенційна завадостійкість такої системи при оптимальній когерентній обробці оцінюється наступним чином:

$$P_{\text{ош}} = 1 - \Phi(\sqrt{2qB^2/\pi m}), \quad (3.3)$$

де  $m$  – кількість каналів.

У системах із комбінаційним ущільненням каналних сигналів груповий сигнал формується із послідовності ортогональних функцій, кожна з яких прив'язана до комбінації  $m$  біт каналів. Отже, кількість ортогональних функцій має бути  $N = 2^m$ . Функції роздільника каналних сигналів у такій системі виконують  $N$  оптимальних розрізнявачів ортогональних сигналів та логічний дешифратор. Потенційну завадостійкість виділення біта цифрової інформації в системі з комбінаційним ущільненням при оптимальній когерентній обробці можна оцінити виразом

$$P_{\text{ош}} = (N - 1)(1 - \Phi(\sqrt{qB})), \quad (3.4)$$

Як було зазначено вище, основна вимога до опорних функцій – їхня лінійна взаємна незалежність. Цьому вимогу найкраще задовольняють ансамблі ортогональних цифрових послідовностей. Такі ансамблі можуть формуватись за допомогою матриці Адамара. Так як оптимальний прийом передбачає кореляційну обробку інформаційних сигналів, бажано, щоб автокореляційні і взаємно кореляційні функції ортогональних послідовностей мали малий рівень бічних

залишків. Тому перевагу віддають ансамблям ортогональних псевдовипадкових послідовностей.

Основні властивості ЧКВП.

1. Клас нелінійних послідовностей значимістю  $N = 2^n$ ,  $n = 2, 3, \dots$ , що описується виразом

$$A_j^n = \sum_{i=1}^{n-1} B_i B_{i+1} + \sum_{i=1}^n x_i^j B_i, \quad (3.5)$$

де  $A_j^n = (a_1, a_2, \dots, a_N)$  - запис одиночній ЧКВП тривалістю  $T_c = N\tau_0$  порядку  $n$  номера  $j$ , символи якої  $a_i \in \{0,1\}$ ;  $B_i$  - функція Радемахера, яка визначається на тривалості з номером  $i$ ;  $x_i^j \in \{0,1\}$  - значення  $i$ -го розряду номера послідовності  $j$  представленого в  $n$ -розрядному двійковому вигляді. Підсумовування здійснюється за модулем 2, а множення - логічне.

2. Кількість однієї значущості  $Z = N$ , кожній з яких у сімействі присвоюється номер від 0 до  $N - 1$ . За  $n$ -розрядним двійковим номером ЧКВП формується послідовність за наступним алгоритмом:

- якщо перший розряд двійкового номера «0», записуються два символи 11;
- якщо перший розряд двійкового номера «1», записуються два символи 10;
- для всіх наступних розрядів двійкового номера, починаючи з другого, нулю відповідає приписування до вихідної комбінації такої ж за розміром комбінації, але відрізняється від вихідної інвертованої другої половини, а одиниці - інвертування першої половини комбінації, що приписується.

3. Різниця  $\Delta$  між кількістю різних символів у ЧКВП залежить від порядку  $n$  та визначається співвідношенням

$$\Delta = \begin{cases} 2^{\frac{n+1}{2}}, & \text{если } K - \text{нечетно,} \\ 0, & \text{если } K - \text{нечетно,} \\ 2^{\frac{n}{2}}, & \text{если } K - \text{четно,} \end{cases} \quad (3.6)$$

$\Delta = 0$  відповідає послідовності, у двійкових номерах яких на непарних позиціях є непарна кількість «1».

4. Кожен ЧКВП  $A_j^n$  відповідає парна  $A_i^n = A_j^n$ , причому  $|i - j| = 2^{n-1}$ . У парних послідовностей перші  $2^{n-1}$  символи збігаються, а наступні  $2^{n-1}$  – протилежні (або навпаки).

5. Кожна ЧКВП  $A_j^n$  відповідає суміжна  $A_i^n = A_j^n$ , причому  $|i - j| = 1$ . У суміжних послідовностей символи, які стоять на непарних позиціях, збігаються і не збігаються символи, що стоять на парних позиціях (або навпаки).

6. Будь-яка ЧКВП значимістю  $N$  виходить з двох парних послідовностей значимістю  $N/2$  шляхом їх приєднання або двох суміжних тією ж значністю ( $N/2$ ) шляхом чергування їх символів.

7. Граничні значення нормованої АКФ одиночної ЧКВП визначаються співвідношенням

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{t} \left(1 \pm \frac{1}{N}\right), & 0 \leq |\tau| \leq \tau_0, \\ \leq \frac{2}{\sqrt{N}}, & |\tau| > \tau_0. \end{cases} \quad (3.7)$$

Причому решіткова АКФ при парних зрушеннях набуває нульових значень.

8. Граничні значення нормованої АКФ періодичної ЧКВП у межах одного періоду визначаються співвідношенням

$$\rho_n(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{t}, & 0 \leq |\tau| \leq \tau_0, \\ 0, & \tau_0 \leq \tau \leq \frac{N}{4}\tau_0, \frac{3}{4}N\tau_0 \leq \tau \leq (N-1)\tau_0, \\ \leq \frac{2}{\sqrt{N}}, & \left(\frac{N}{4} + 1\right)\tau_0 \leq \tau \leq \frac{3}{4}N\tau_0. \end{cases} \quad (3.8)$$

9. АКФ парних та суміжних ЧКВП мають бічні залишки при однакових зрушеннях, рівні за абсолютною величиною та протилежні за знаком:

$$\rho_{A_i^n}(\tau) + \rho_{A_j^n}(\tau) = \begin{cases} 2 \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_0}\right), & |\tau| \leq \tau_0, \\ 0, & |\tau| > \tau_0. \end{cases} \quad (3.9)$$

Ця властивість притаманна додаткових послідовностей. Усі властивості, властиві додатковим послідовностям, справедливі й у сімейства ЧКВП.

10. Усі ЧКВП однієї значимості взаємно ортогональні.

11. Енергетичний спектр періодичної ЧКВП описується виразом

$$\begin{aligned}
 F(f) &= \frac{1}{N} \left( \frac{\sin \pi f \tau_0}{\pi f \tau_0} \right)^2 \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{N/4} R_n \left[ \left( \frac{N}{4} + 2i - 1 \right) \tau_0 \right] \right\} \times \\
 &\times \cos \left[ 2\pi f \left( \frac{N}{4} + 2i - 1 \right) \tau_0 \right] \sum_{p=-\infty}^{\infty} \delta \left( 2\pi f - \frac{2\pi p}{N\tau_0} \right). \\
 F(f) &= \frac{1}{N} \left( \frac{\sin \pi f \tau_0}{\pi f \tau_0} \right)^2 \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{N/4} R_n \left[ \left( \frac{N}{4} + 2i - 1 \right) \tau_0 \right] \right\} \times \\
 &\times \cos \left[ 2\pi f \left( \frac{N}{4} + 2i - 1 \right) \tau_0 \right] \sum_{p=-\infty}^{\infty} \delta \left( 2\pi f - \frac{2\pi p}{N\tau_0} \right).
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Груповий сигнал, сформований на основі ансамблю ортогональних ЧКВП в базу, розширює спектр інформаційного повідомлення, тому сигнал, що випромінюється передавачем, буде широкосмуговим і всі переваги широкосмугової системи реалізуються і в багатоканальній системі.

### 3.3 Структурна схема багатоканальної радіосистеми передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням

Досліджуємо багатоканальну систему передачі цифрової інформації із кодовим комбінаційним ущільненням. На рис. 3.5 та 3.6 наведено структурні схеми формування та обробки групового сигналу в РС ПИ такого типу [4-9].

Принцип роботи системи. На вхід комутаційного пристрою (КУ), що виконує функції ущільнення пристрою, від чотирьох джерел інформації (ИИ) надходять біти цифрової інформації, які утворюють паралельний чотирьохрозрядний двійковий код. Відповідно до комбінації коду на вході пристрою ущільнення (УУ) з'являється одна з  $N = 16$  ортогональних функцій, що надходять з генератора опорних функцій

(ГОФ). Обов'язки опорних функцій виконують ЧКЗП. Отже, тривалість ортогональної функції дорівнює тривалості інформаційного біта, а мінімальна кількість дискретів (база) функції дорівнює 16 (відповідно до властивості ЧКВП).

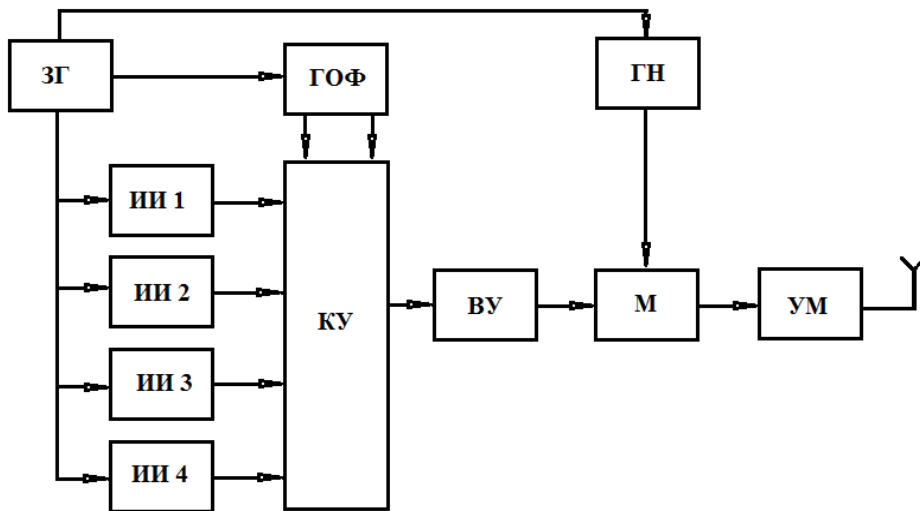


Рисунок 3.5 – Структурна схема формування групового сигналу

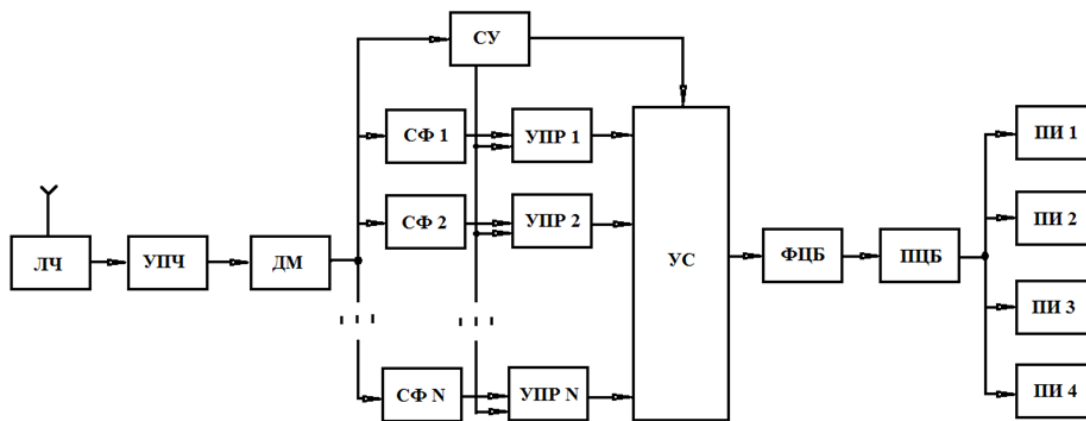


Рисунок 3.6 – Структурна схема обробки групового сигналу

Таким чином, груповий сигнал представляє послідовність ортогональних функцій зі смугою частот, що у 16 разів перевершують смугу частот інформаційних біт. Далі він модулює один з параметрів коливання, що несе (в лабораторній установці фазу).

На приймальній стороні після проходження підсилювача проміжної частоти (УПЧ) та демодулятора (ДМ) сигнал потрапляє на узгоджені фільтри (СФ), кількість

яких дорівнює кількості ортогональних функцій. Пристрої прийняття рішень (УПР) подають сигнали про виділення певної функції пристрій порівняння (УС). За максимальним сигналом формувач і перетворювач цифрових біт (ФЦБ, ПЦБ) генерують відповідний код для споживачів інформації (ПІ).

За рахунок використання ансамблю четверично-кодованих відеопослідовностей (ЧКВП) як система ортогональних функцій виступає широкопasmовий груповий сигнал, що забезпечує структурну та енергетичну скритність. Однією з переваг даного методу ущільнення є те, що груповий бінарний сигнал. Однак для коректної роботи системи на приймальній стороні необхідна жорстка синхронізація, яка забезпечується пристроєм, що синхронізує (СУ).

Потенційна стійкість до перешкод багатоканальної системи передачі цифрової інформації з кодовим комбінаційним ущільненням каналних сигналів визначається виразом

$$P_{\text{ош}} = (N-1) \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{q_{\text{вк}}} B \right) \right]. \quad (3.11)$$

Вираз (3.11) дає оцінку ймовірності помилкового прийому біта цифрової інформації кожному каналі. Для нашої структури  $N=16$ ,  $B=16$ .

### 3.4 Моделювання багатоканальної радіосистеми передачі інформації

Моделювання проведено серед динамічного моделювання Simulink. Схема представлена рис. 3.7.

Тривалість біта інформаційного повідомлення  $N$  задається переважно вікні MATLAB. Рекомендується встановити  $N = 0,1$  с. Тривалість дискрету

псевдопослідовності, що має вигляд ЧКВП, дорівнює  $N/16$ . Як джерело адитивної перешкоди використовується генератор гауссового шуму. Для керування потужністю перешкоди встановлений підсилювач Gain (на схемі Noise-To-Signal). При коефіцієнті посилення, що дорівнює одиниці, відношення сигнал/шум дорівнює одиниці. Всі блоки налаштовані так, що не вимагають ніякої перебудови, єдиним параметром, що перебудовується, є потужність перешкоди.

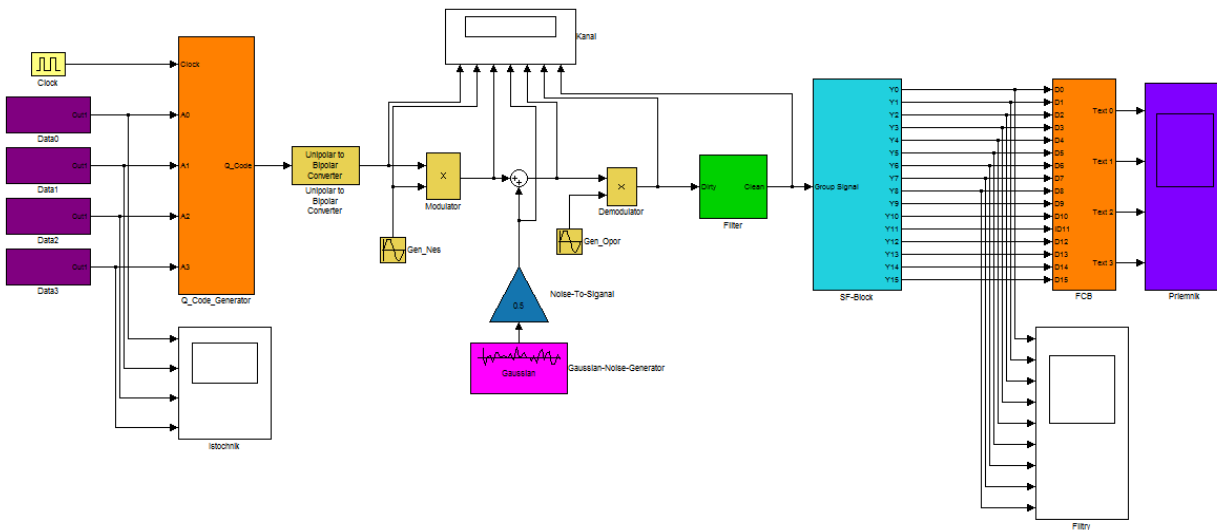


Рисунок 3.7 – Схема для модулювання

До складу схеми входять:

- чотири джерела цифрової інформації (блоки Data 0, 1, 2, 3);
- генератор ансамблю ЧКВП з тактовим генератором (блоки Q-Code-Generator і Clock);
- фазовий модулятор-перемножувач та демодулятор (блоки Modulator та Demodulator);
- генератор несучого коливання та його копія на приймальній стороні - генератор опорного коливання (блоки Gen-Nes і Gen-Opor);
- генератор гауссового шуму (Gaussian-Noise-Generator);
- регулятор потужності шуму (блок Noise-To-Signal);
- фільтр (блок Filter);
- узгоджені фільтри (блок SF-Block);
- формувач цифрових біт (блок FCB);

- Приймач інформації (блок Priem).

На рис. 3.8 приведено схему одного з чотирьох джерел цифрової інформації. Функцію цього блоку виконує генератор М-послідовності, яка формується по поліном  $(x^2+x^5+1)$ .

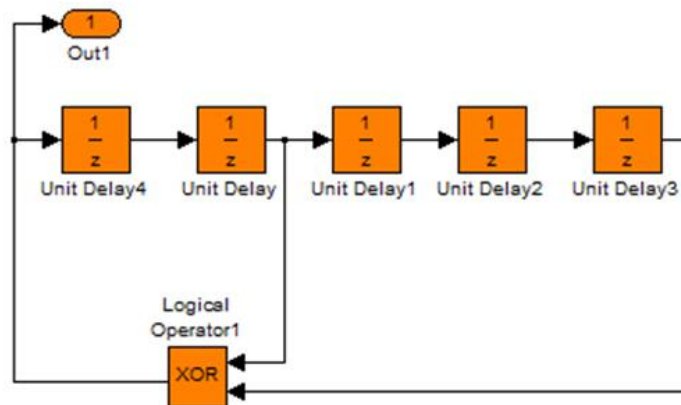


Рисунок 3.8 – Структурна схема джерела повідомлень

Для інших джерел використовувалися поліноми  $(x^3 + x^5 + 1)$ ,  $(x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + 1)$ ,  $(x^4 + x^5 + 1)$ . Генератор побудований на регістрі зсуву із зворотним зв'язком.

На рис. 3.9 наведена схема генератора ЧКВП, що формує одну з послідовностей ансамблю ортогональних ПСП значністю 16. Як кодовий номер генерованої послідовності використовується комбінація інформаційних повідомлень (входи A0, A1, A2, A3).

Модулятор та демодулятор, що виробляють фазову маніпуляцію, представлені перемножувачами та ФНЧ на рис. 3.10. Коливання їм надходять від двох генераторів. Суматор дозволяє додати білий шум повідомлення. Перетворювач однополярного на біполярний сигнал використовується для коректної фазової маніпуляції.

На рис. 3.11 представлений генератор гауссового шуму з ручним регулюванням відношення потужностей сигнал/шум.

На рис. 3.12 зображено фільтр нижніх частот, основою якого є інтегратор та поріговий пристрій.

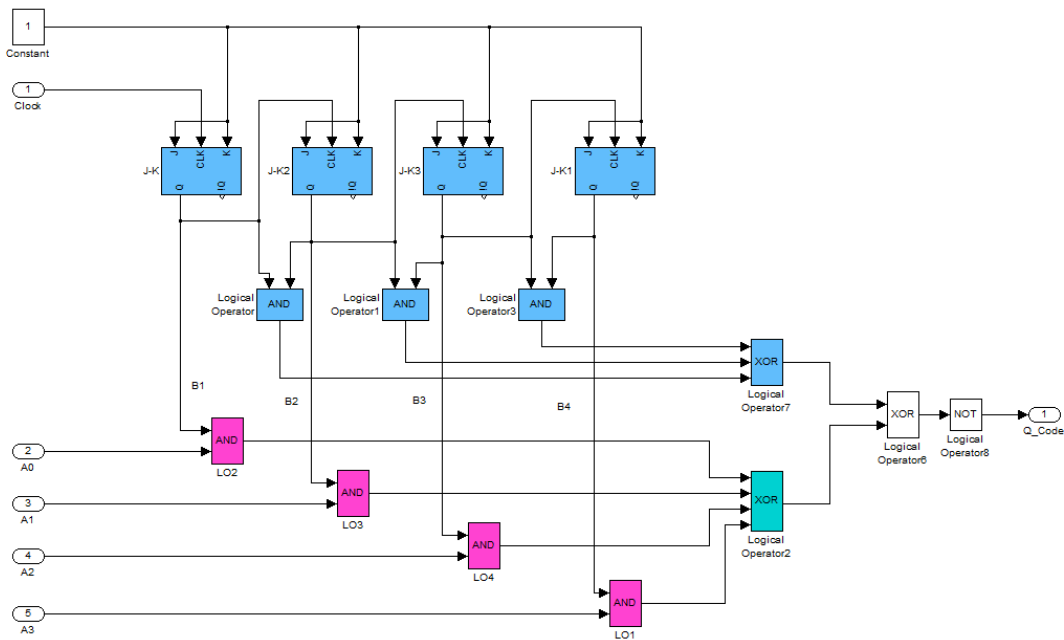


Рисунок 3.9 – Генератор ЧКВП

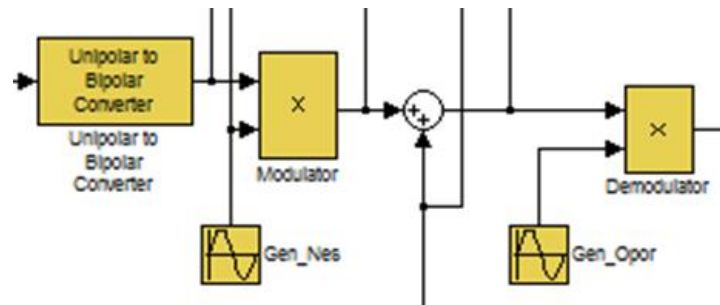


Рисунок 3.10 – Модулятор, генератори несучого коливання, демодулятор, канал передачі



Рисунок 3.11 – Генератор шуму

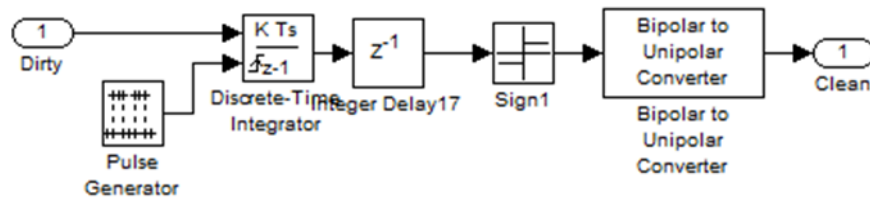


Рисунок 3.12 – Фільтр нижніх частот

Блок узгоджених фільтрів дозволяє розпізнати, яка з 16 послідовностей надійшла з демодулятора. Узгоджені фільтри мають класичне виконання та зібрані на елементах затримки з відводами та підсумовуючим пристрої. Тривалість затримки дорівнює  $N/16$ . Знаки, з якими підсумовуються сигнали, що надходять від відводів, залежить від конкретного виду ЧКВП. Структурна схема узгодженого фільтра представлена рис. 3.13. Можливе використання однієї лінії затримки для всіх узгоджених фільтрів.

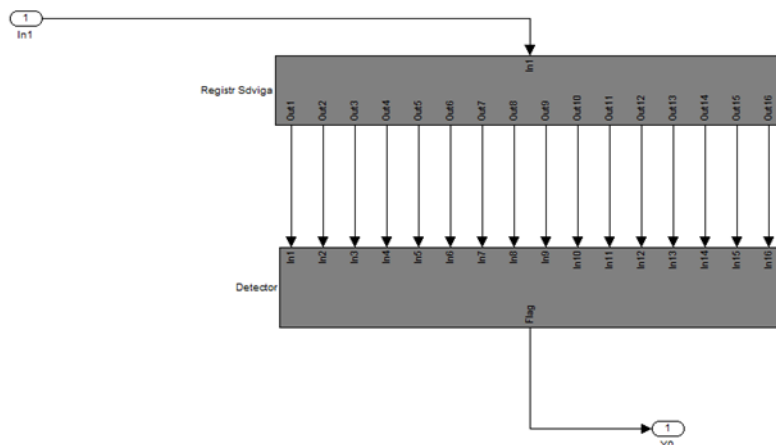


Рисунок 3.13 – Узгоджувальний фільтр

Лінія затримки та підсумовуючий пристрій зображені на рис. 3.14.

На рис. 3.15 приведено формувач цифрових біт, побудований за принципом декодера.

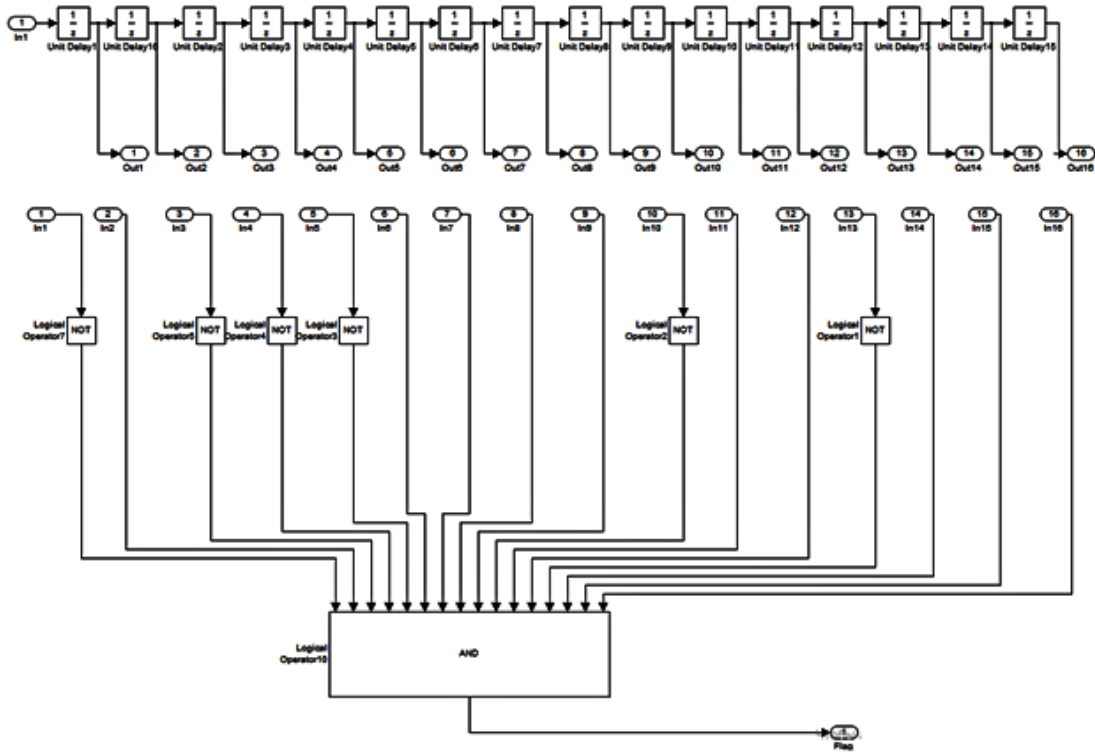


Рисунок 3.14 – Лінія затримки та сумуючий пристрій

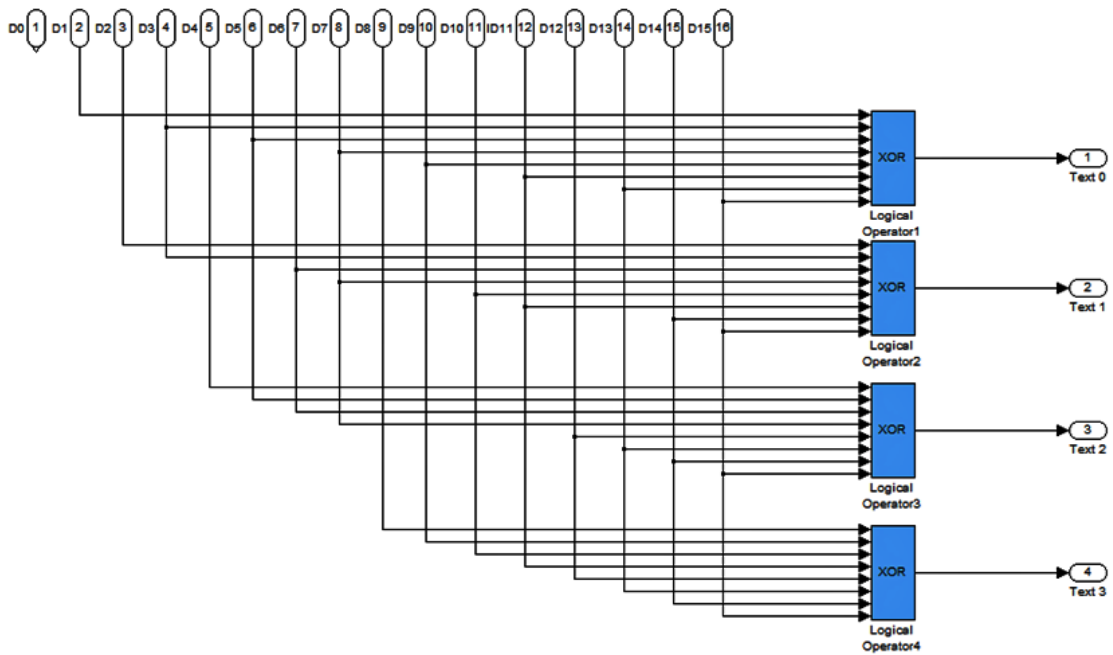


Рисунок 3.15 – Формувач цифрових біт

### 3.5 Оцінка потенційної завадостійкості для багатоканальної системи передачі інформації

Проведено розрахунки багатоканальної системи передачі даних з кодовим ущільненням каналних сигналів в Mathcad, та побудовані графіки залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум.

На рис. 3.16 відображено графік залежності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум для багатофазного сигналу, відповідно виразу 3.1., для різних баз ортогональної функції:  $V=4,8,16,32,64,128$

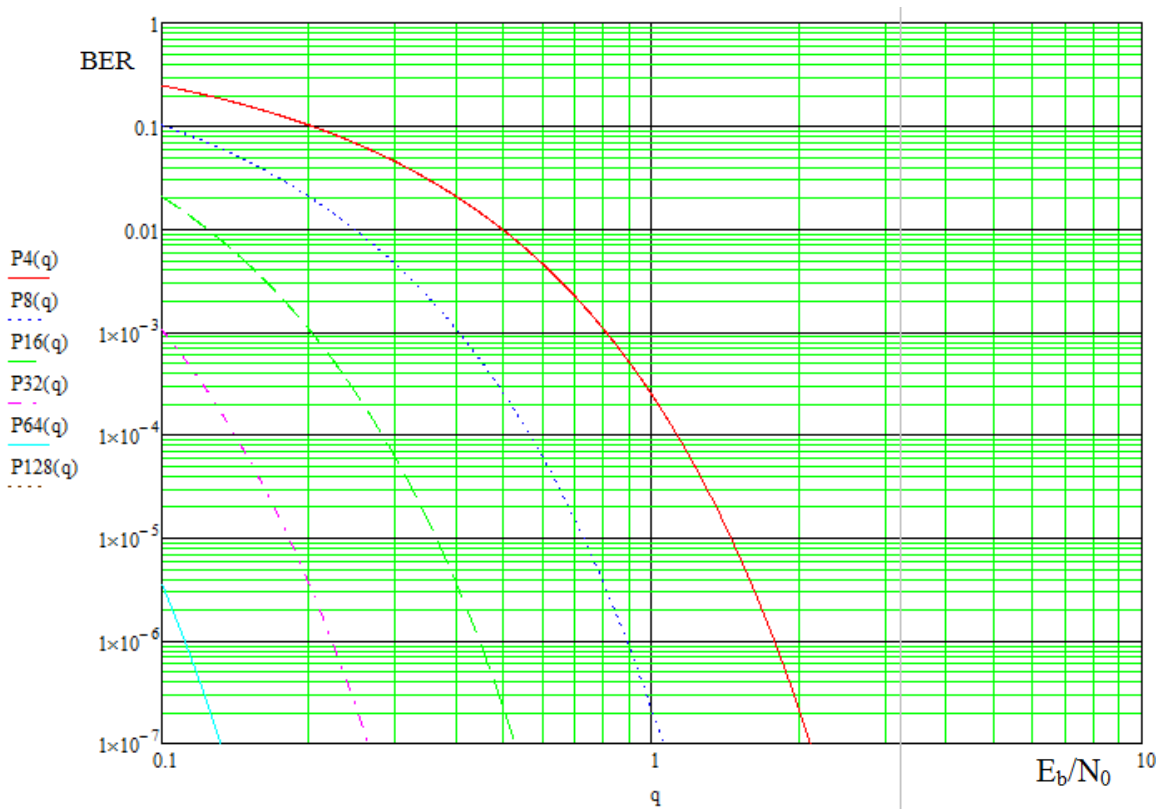


Рисунок 3.16 – Графік залежності ймовірності похибки від співвідношення сигнал шум для багатофазного сигналу

З графіку рис.3.16, ми бачимо що ймовірність бітової похибки на вході модулятора при багатофазному сигналу найменша при  $V= 4,8$ , тобто в цьому випадку ймовірність помилкового прийому біта найменша з розрахунків відповідно до виразу 3.1.

На рис.3.17 відображено графік залежності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум для багаточастотного сигналу, відповідно виразу 3.2. для різних баз ортогональної функції:  $V=4,8,16,32,64,128$ .

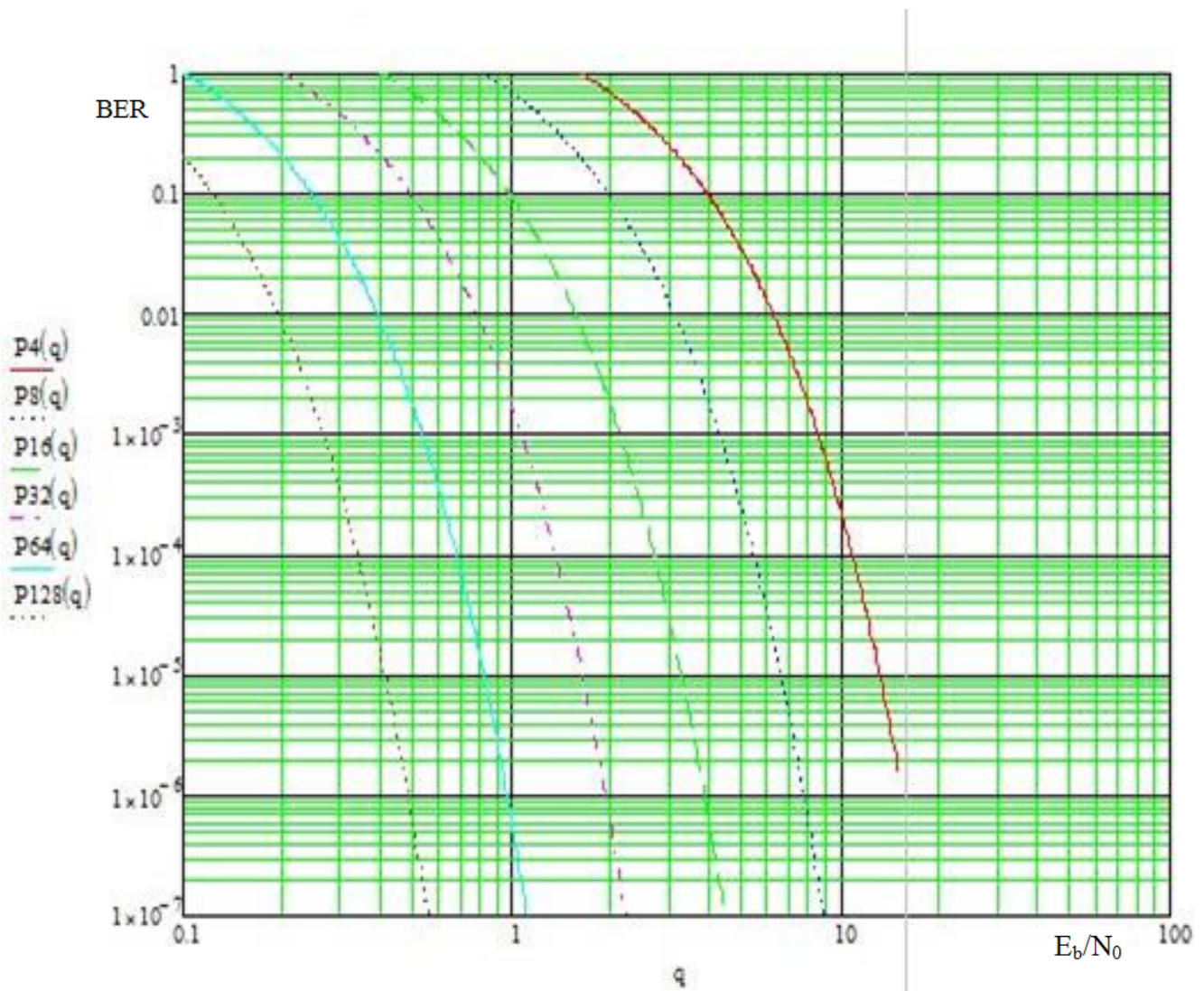


Рисунок 3.17 – Графік залежності ймовірності похибки від співвідношення сигнал шум для багаточастотного сигналу

З графіку на рис.3.17, ми бачимо що ймовірність бітової похибки на вході модулятора при багаточастотному сигналу найменша при  $V=4,8,16,32$  тобто в цьому випадку ймовірність помилкового прийому біта найменша з розрахунків відповідно до виразу 3.2.

На рис.3.18 приведено графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості системи з мажоритарним ущільненням при оптимальній когерентній обробці за виразом 3.3. Обрано каналів  $m=10$ , база сигналу  $V=4,8,16,32,64,128$ .

З графіку на рис.3.18, ми бачимо що потенційна завадостійкість системи з мажоритарним ущільненням найкраща при  $V=4,8,16,32$  тобто в цьому випадку ймовірність бітової похибки найменша з розрахунків відповідно до виразу 3.3.

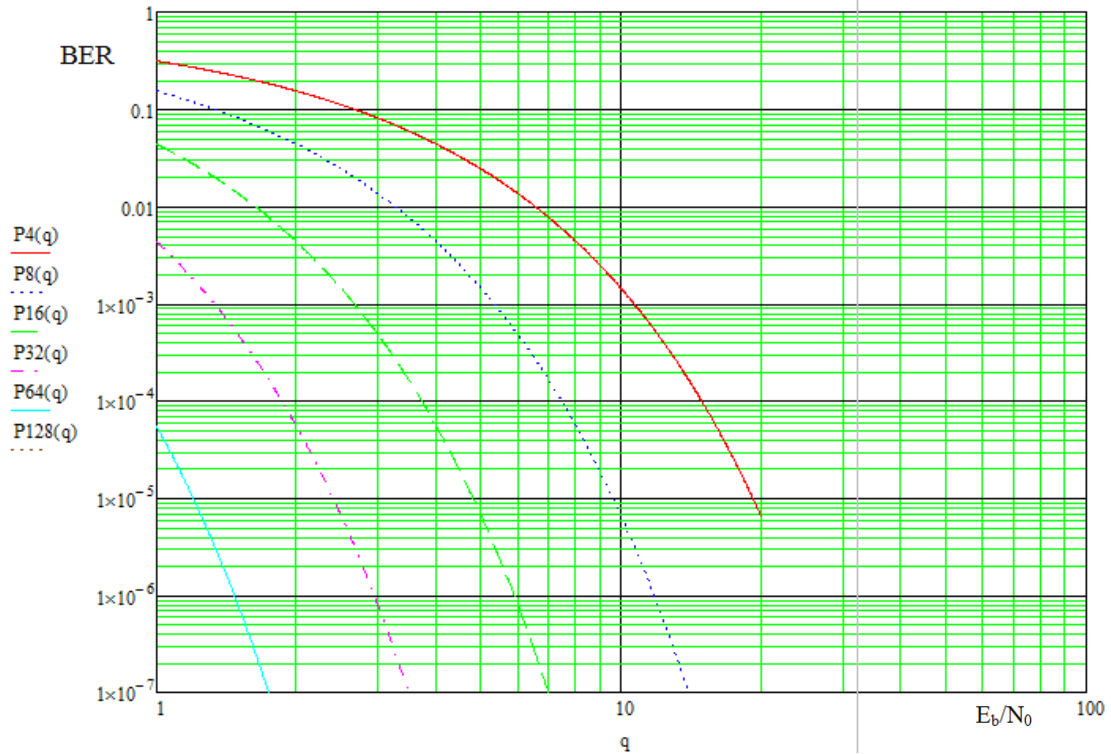


Рисунок 3.18 – Графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості системи з мажоритарним ущільненням

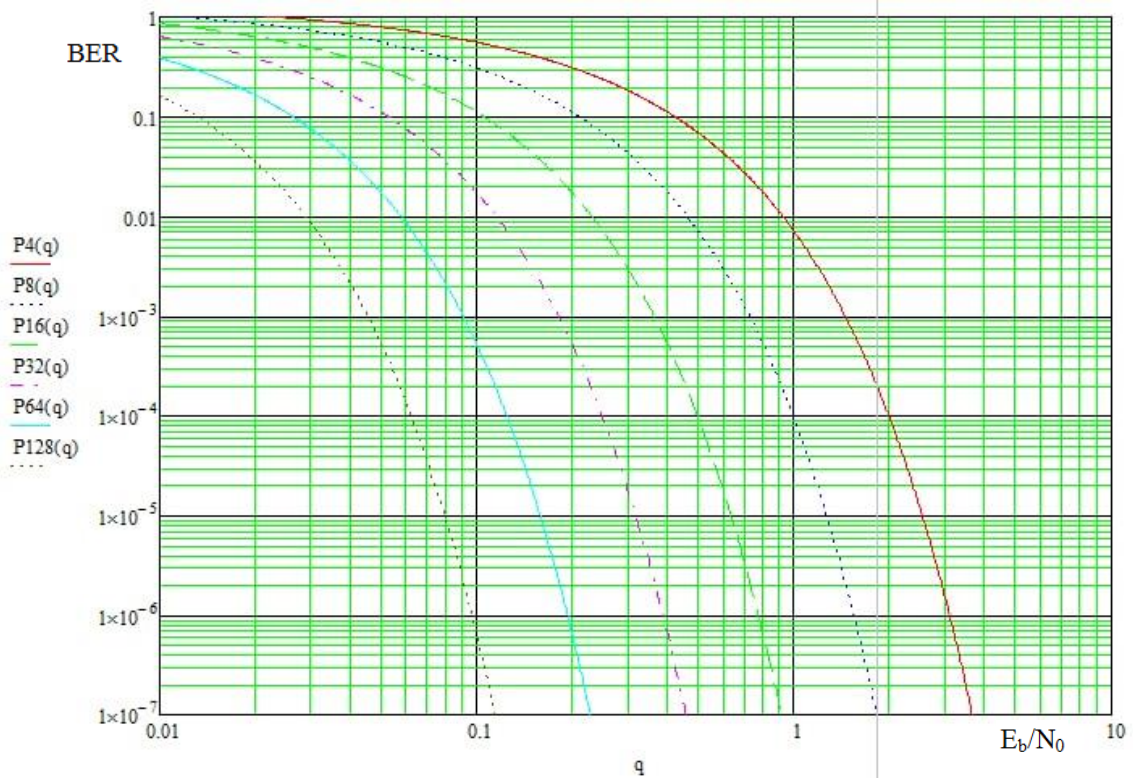


Рисунок 3.19 – Графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості системи з комбінаційним ущільненням

На рис.3.19 приведено графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості системи з комбінаційним ущільненням при оптимальній когерентній обробці за виразом 3.4. Обрано база сигналу  $V=4,8,16,32,64,128$ .

З графіку на рис.3.19, ми бачимо що потенційна завадостійкість системи з комбінаційним ущільненням найкраща при  $V = 4,8$  тобто в цьому випадку ймовірність бітової похибки найменша з розрахунків відповідно до виразу 3.4.

На рис.3.20 приведено графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості багатоканальної системи передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням каналних сигналів за виразом 3.11. Обрано база сигналу  $V=4,8,16,32,64,128$ .

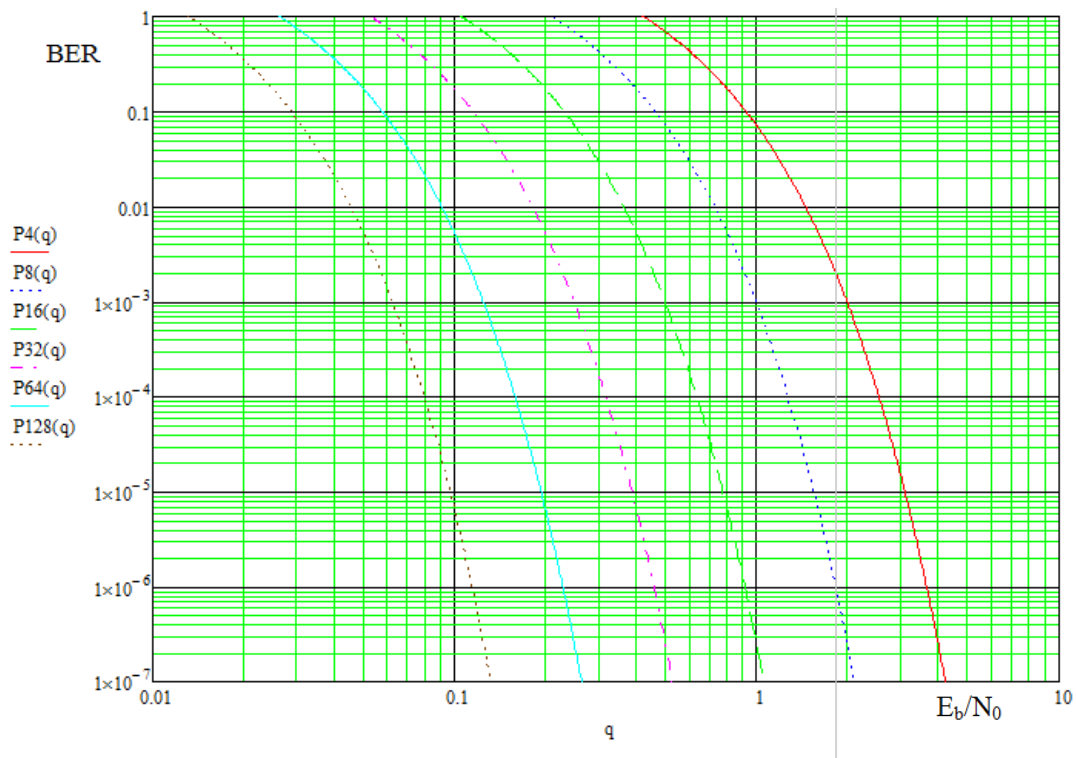


Рисунок 3.20 – Графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал шум для оцінки потенційної завадостійкості багатоканальної системи передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням каналних сигналів

З графіку на рис.3.20, ми бачимо що потенційна завадостійкість багатоканальної системи передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням каналних сигналів найкраща при  $V = 4,8,16$  тобто в цьому випадку ймовірність бітової похибки найменша з розрахунків відповідно до виразу 3.11.

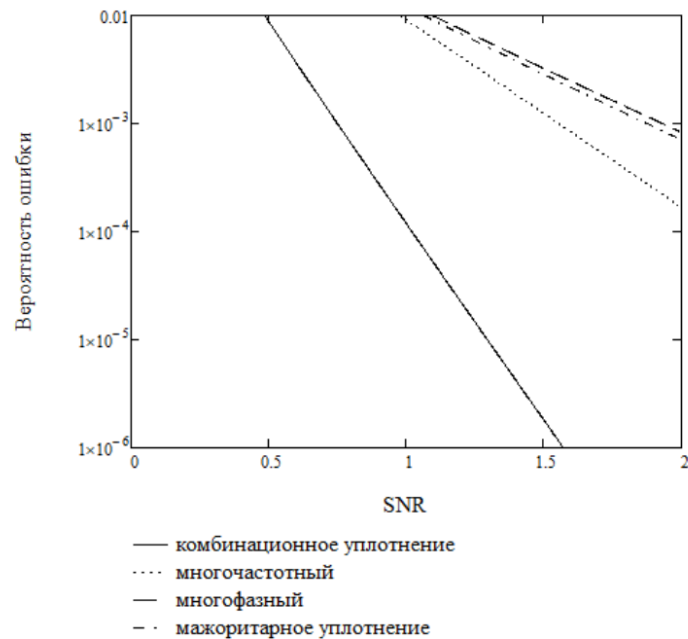


Рисунок 3.21 – Графік залежності ймовірності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум, для багатоканальної системи передачі інформації

Висновки розділу:

- розглянуто багатоканальні системи передачі інформації з кодовим комбiнацiйним ущільненням;
- наведена структурна схема багатоканальної радіосистеми передачі інформації з кодовим комбiнацiйним ущільненням та проведено модулювання багатоканальної радіосистеми;
- отриманих розрахунків та отриманих графіків за розрахункам, зроблено висновок, що використання багатоканальної системи з комбiнацiйним ущільненням може забезпечити можливість підвищення потенціальної завадостійкості системи без зниження швидкості передачі інформації.

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ШИРОКОПОЛОСНИХ СИГНАЛІВ

### 4.1 Дослідження впливу ширини полоси на параметри системи LTE

Проведено моделювання в MATLAB системі LTE для двох значень частотної смуги сигналу: 10 МГц та 3 МГц [15-19]. Вихідну модель системи показано рис. 4.1. Модель приймального пристрою системи LTE представлена рис. 4.2.

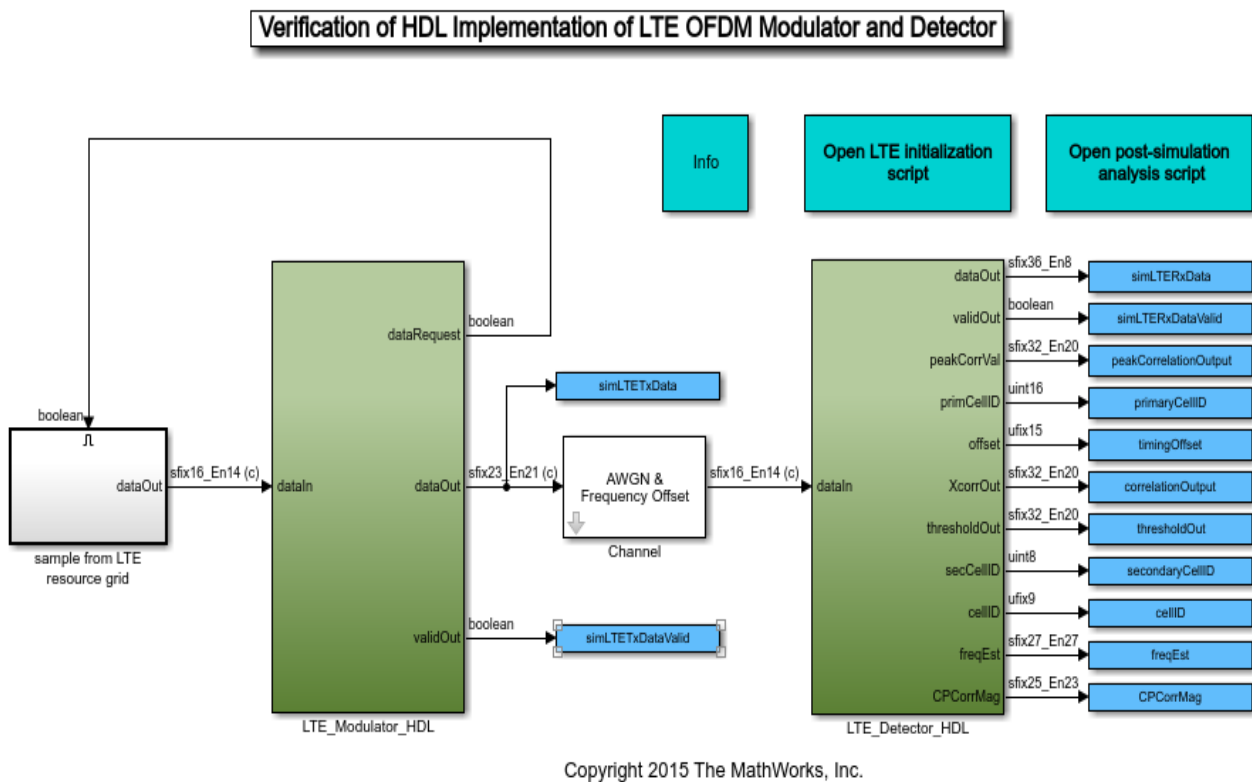


Рисунок 4.1 – Початкова модель системи LTE

Проведено моделювання при ширині частотної смуги 3 МГц результати моделювання представлені на рис. 4.3 – 4.7.



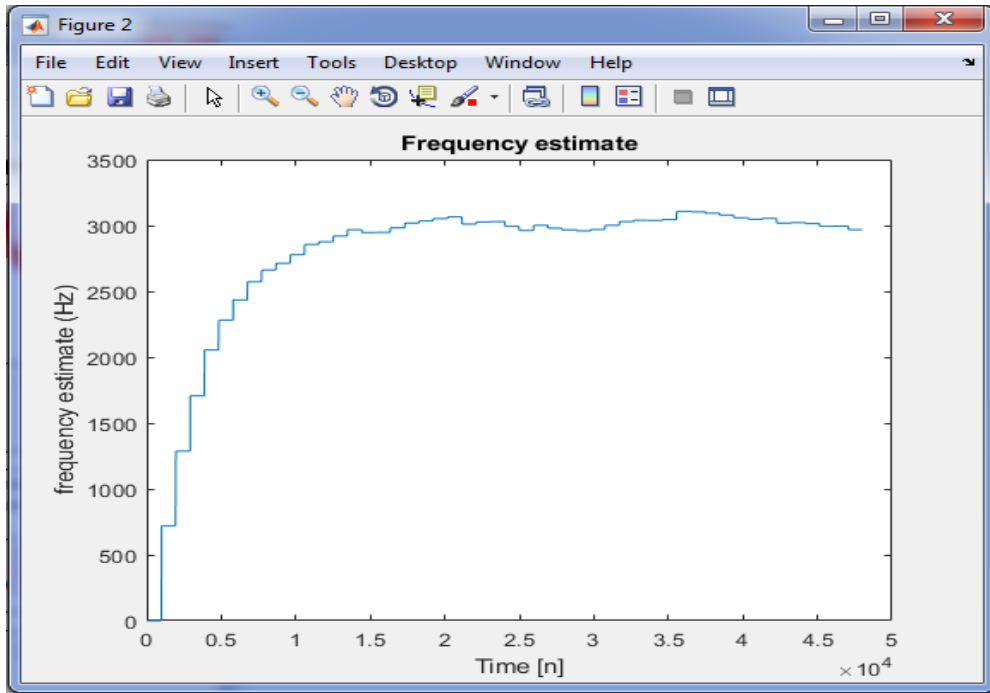


Рисунок 4.4 – Залежність зміщення частоти від часу для смуги 3 МГц

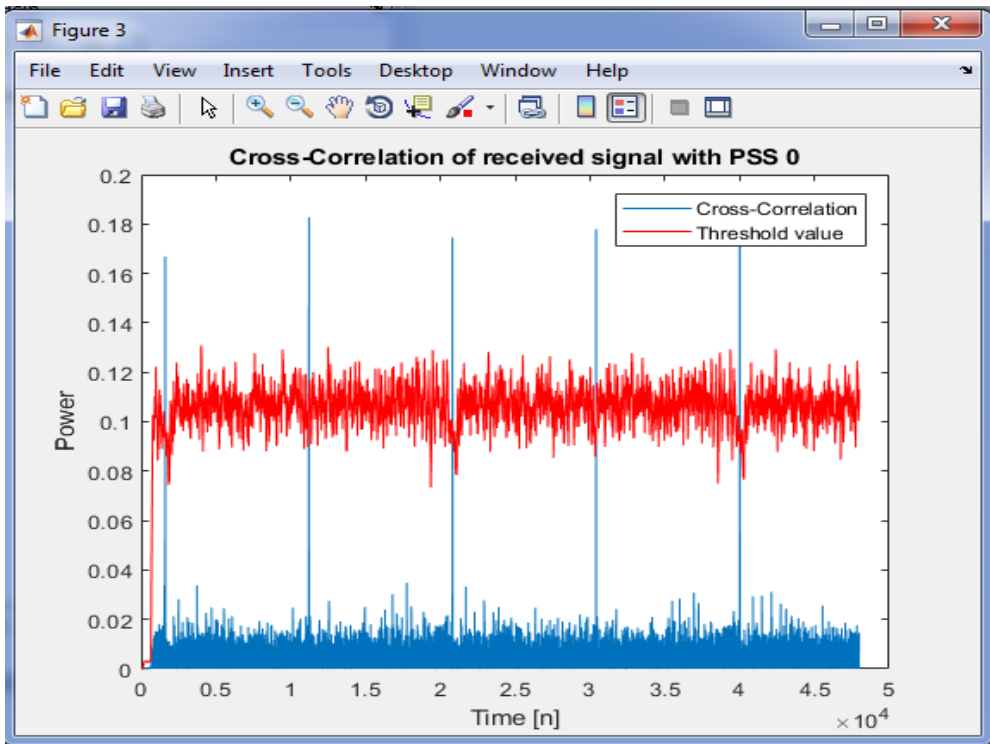


Рисунок 4.5 – Залежність значення потужності прийнятого сигналу від часу для смуги 3 МГц

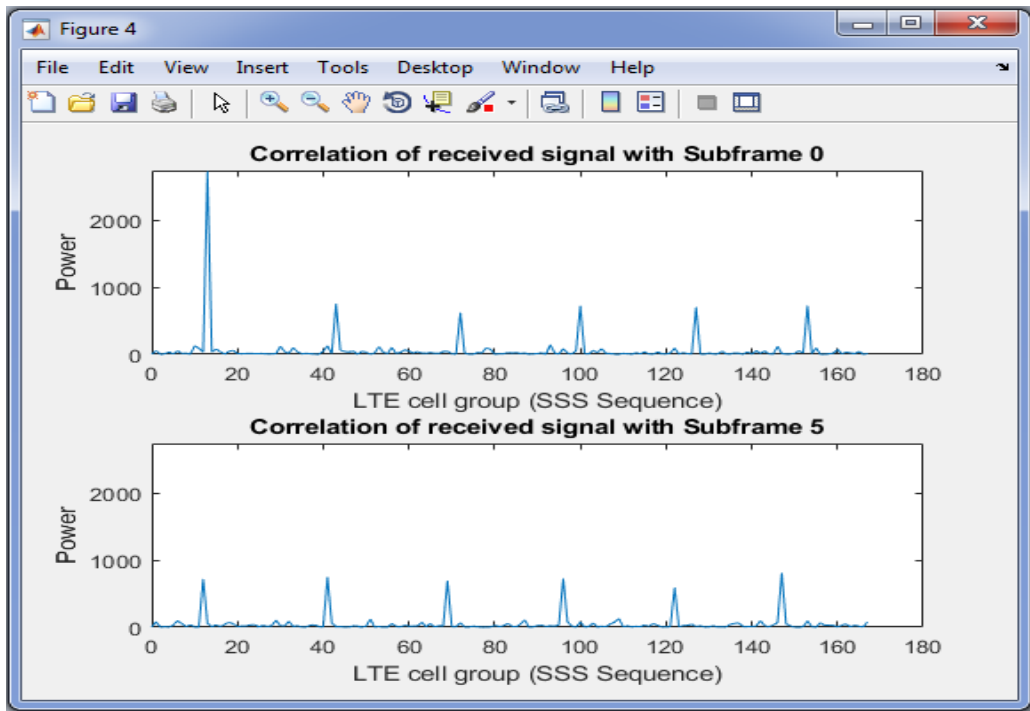


Рисунок 4.6 – Залежність потужності від кількості груп ланок LTE для смуги 3 МГц

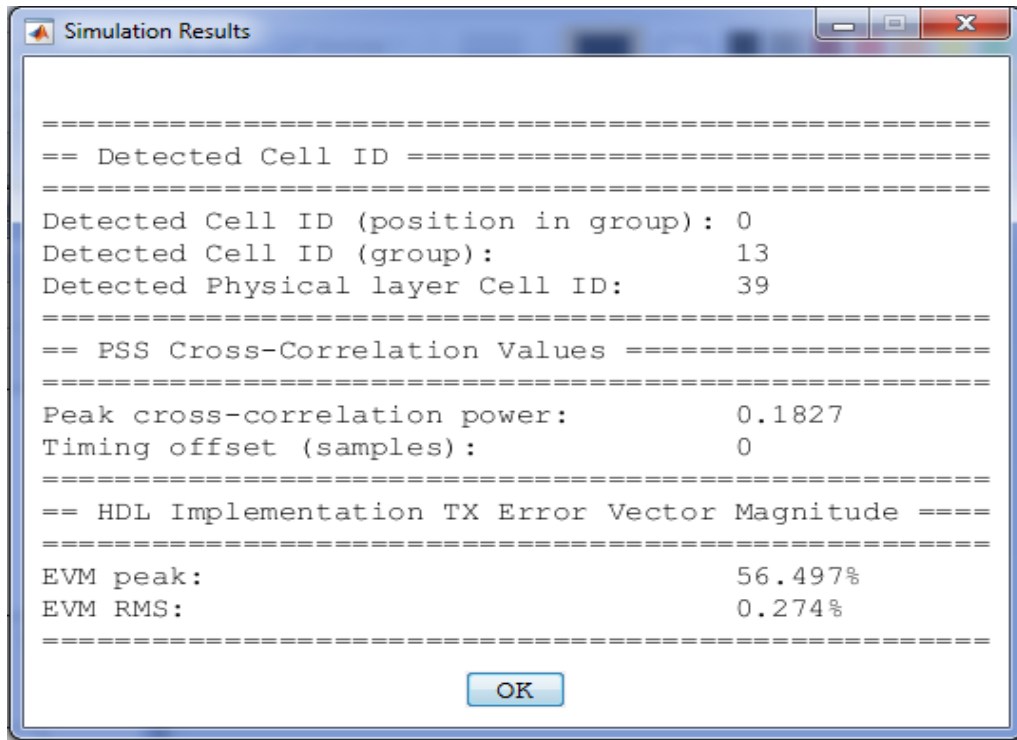


Рисунок 4.7 – Результати для смуги 3 МГц

Також проведено моделювання при ширині частотної смуги 10 МГц, результати моделювання представлені на рис. 4.8 - 4.12.

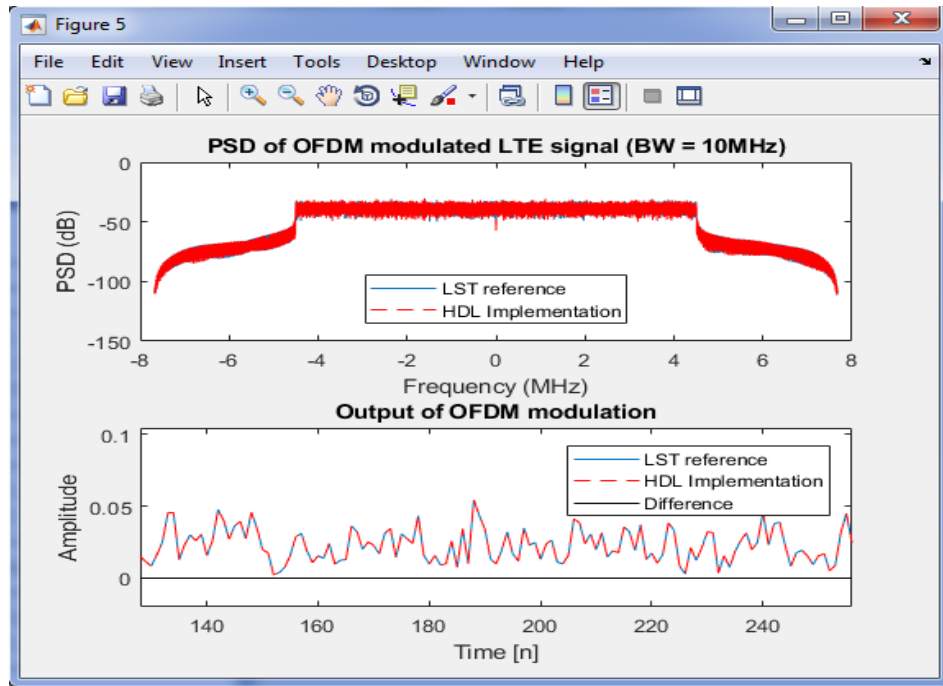


Рисунок 4.8 – Залежність спектральної щільності від частоти та амплітуди сигналу від часу для смуги 10 МГц

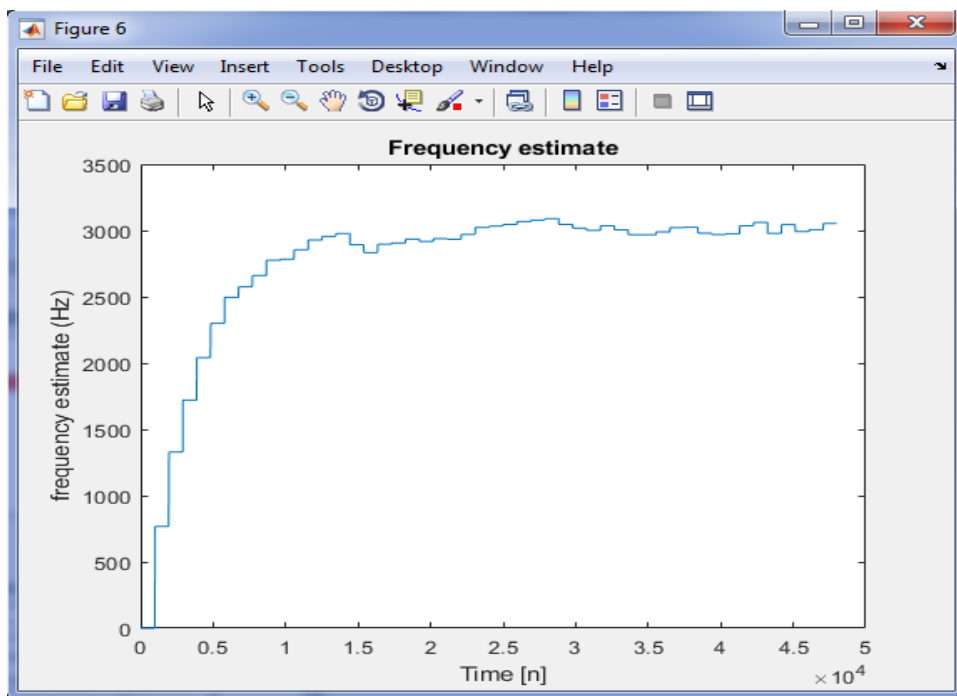


Рисунок 4.9 – Залежність зміщення частоти від часу для смуги 10 МГц

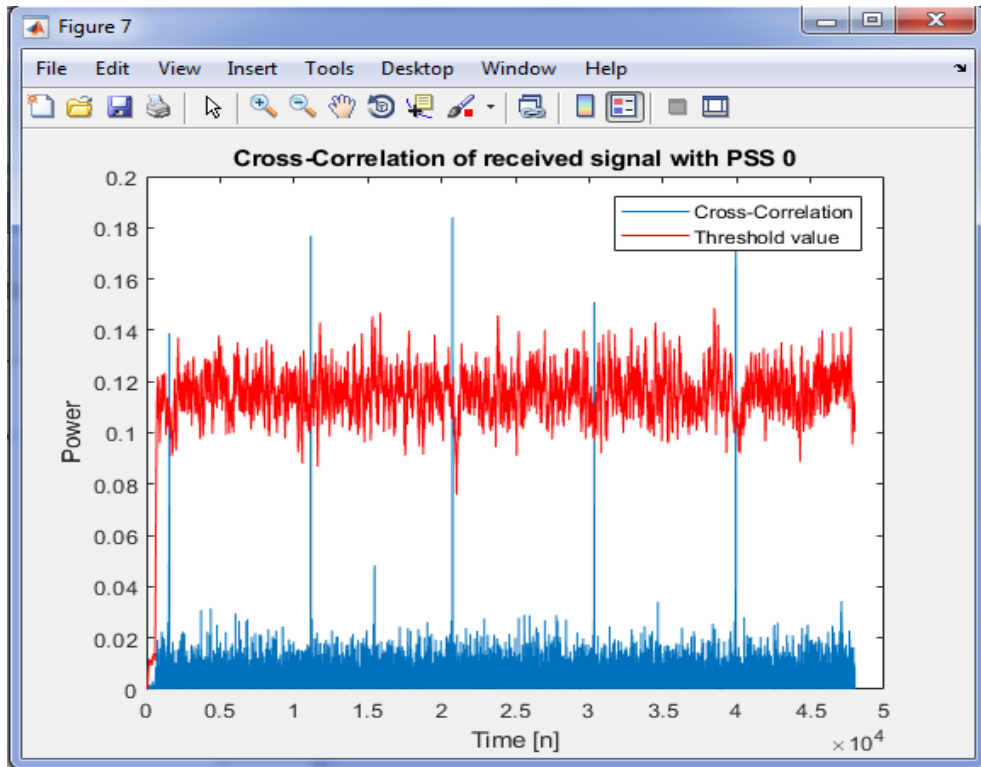


Рисунок 4.10 – Залежність значень потужності прийнятого сигналу від часу для смуги 10 МГц

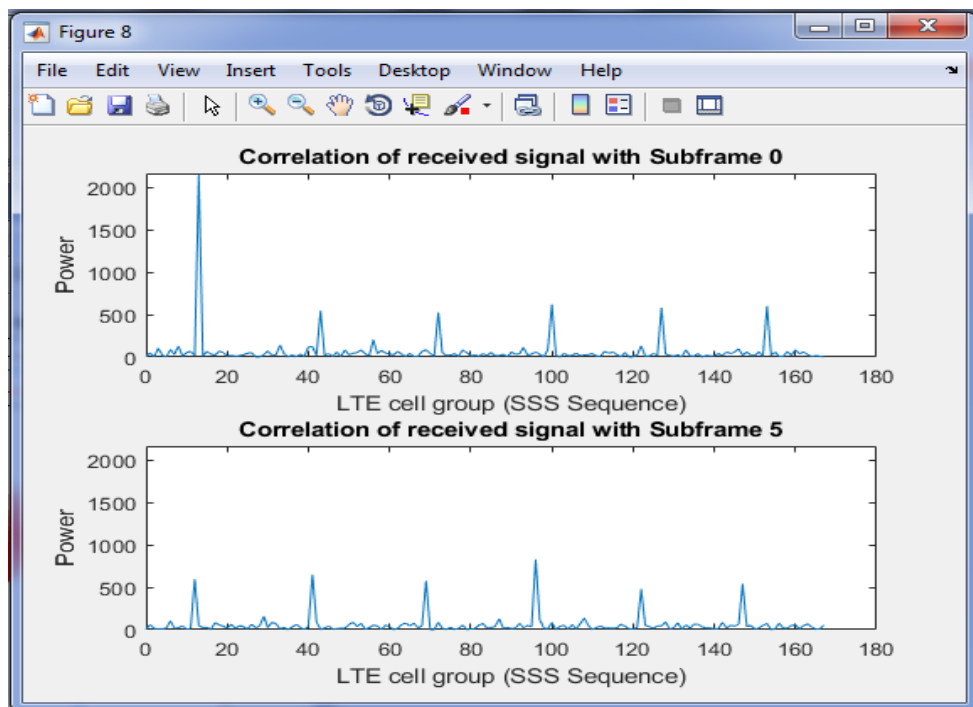


Рисунок 4.11 – Залежність потужності від кількості груп ланок LTE для полоси 10 МГц

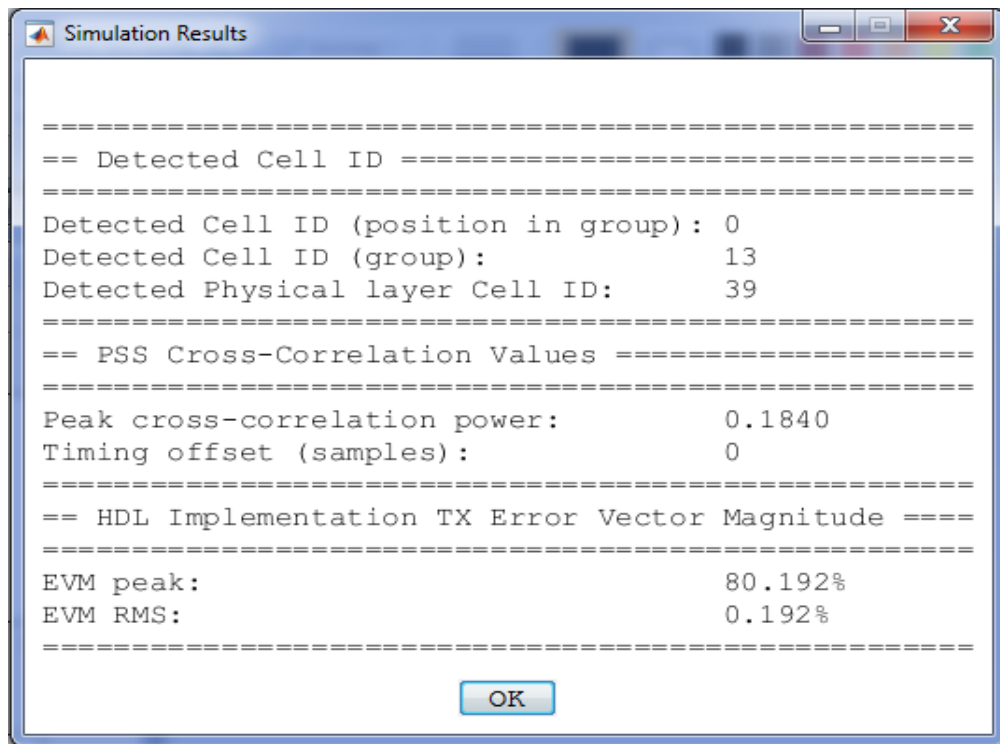


Рисунок 4.12 – Результати для смуги 10 МГц

З отриманих даних, можна зробити такі висновки, що амплітуда напруги сигналу менше смуги частот 10 МГц. Значення потужності прийнятого сигналу (взаємно корельована та граничне значення) близькі на обох значеннях ширини смуги частот; залежність потужності від кількості груп ланок LTE близька за розподілом при двох значеннях смуги; для широкосмугового сигналу пікове значення вектора помилки більше, ніж для вузькосмугового, але номінальне значення менше.

#### 4.2 Дослідження впливу співвідношення сигнал шум на параметри системи LTE

Проведено моделювання на тих же значеннях смуги частот, що і в підпункті 4.1, але при співвідношенні сигнал-шум дорівнює 20 дБ. На рис. 4.13-4.17 представлені результати моделювання співвідношення сигнал шум 20 дБ і ширині смуги 3 МГц.

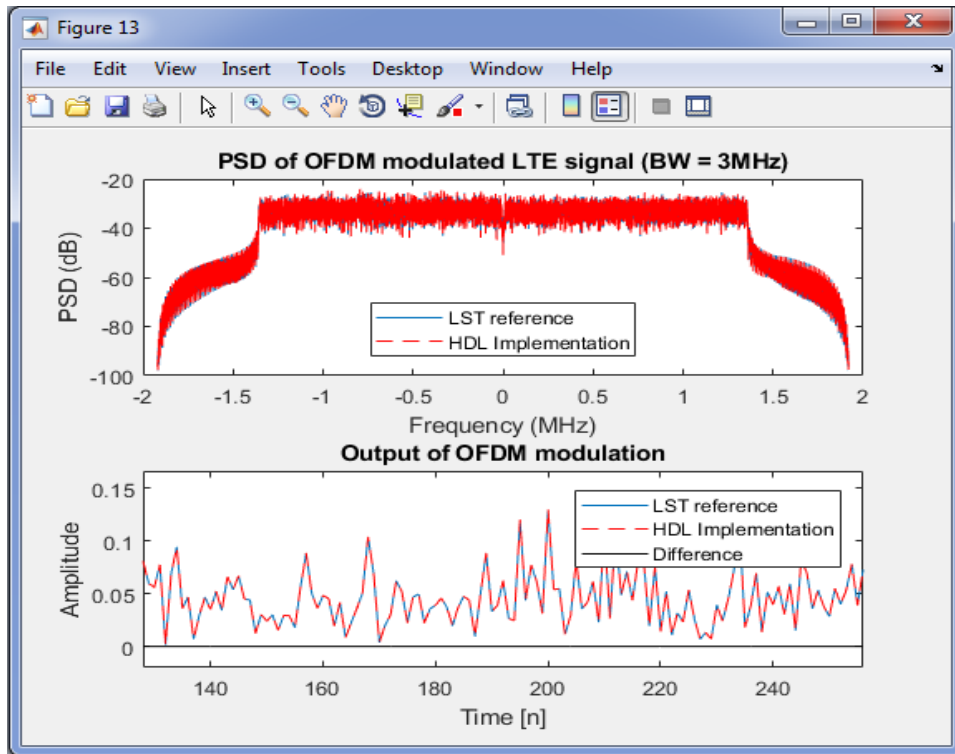


Рисунок 4.13 – Залежність спектральної щільності від частоти та амплітуди сигналу від часу для смуги 3МГц

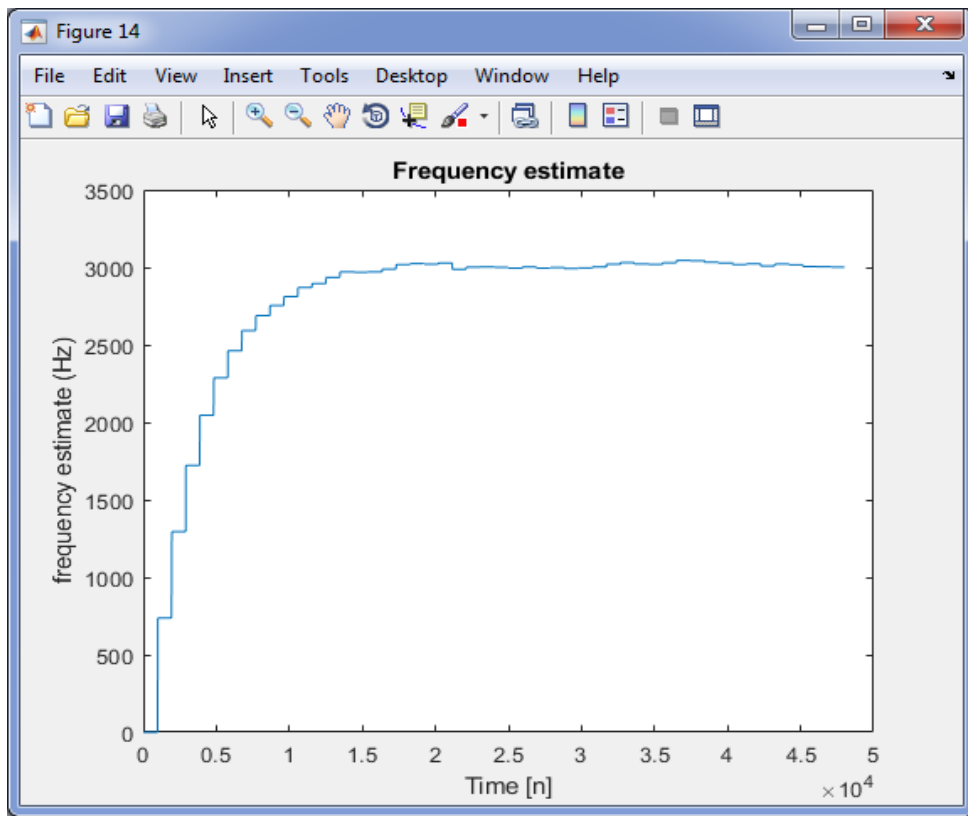


Рисунок 4.14 – Залежність зміщення частоти від часу для полоси 3 МГц

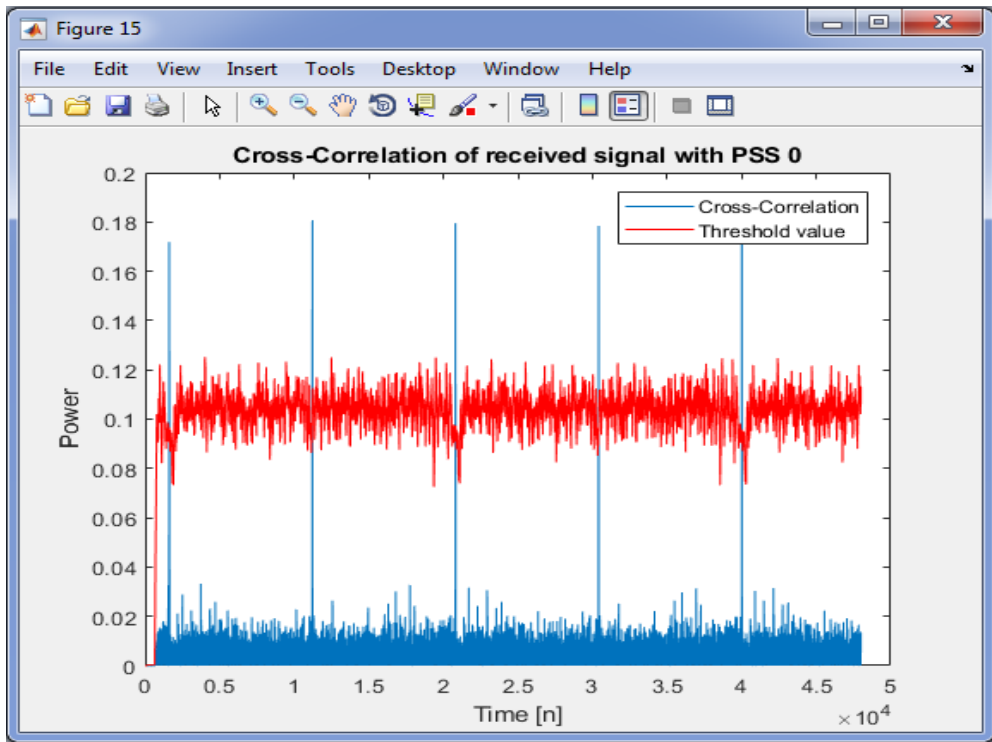


Рисунок 4.15 – Залежність значень потужності прийнятого сигналу від часу для смуги 3 МГц

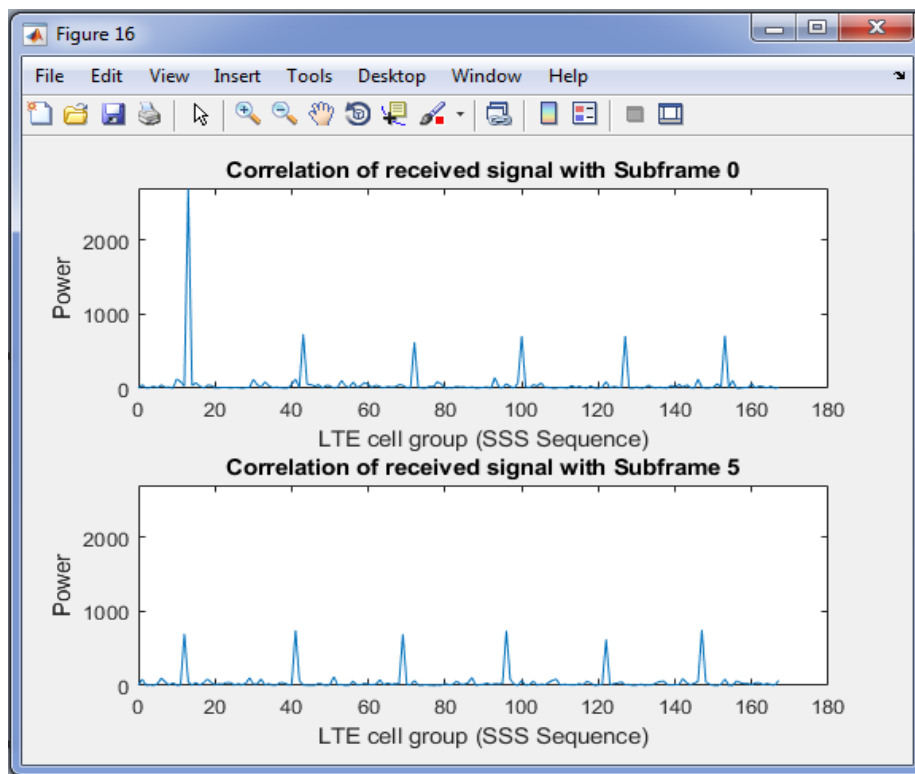


Рисунок 4.16 – Залежність потужності від кількості груп ланок LTE для смуги 3МГц

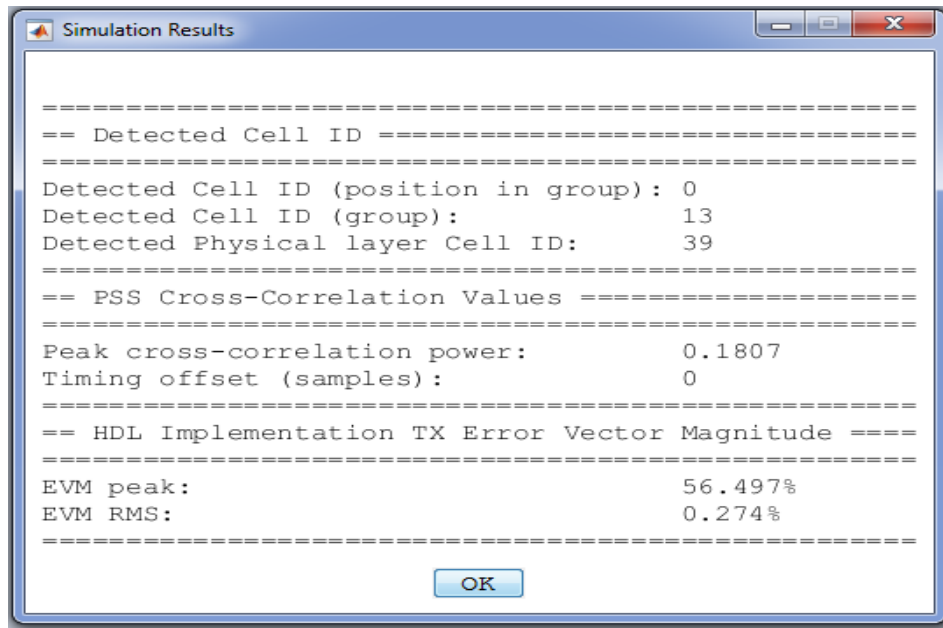


Рисунок 4.17 – Результати для полоси 3 МГц

На рис. 4.18 - 4.22 представлені результати моделювання співвідношення сигнал шум 20 дБ і ширині смуги 10 МГц.

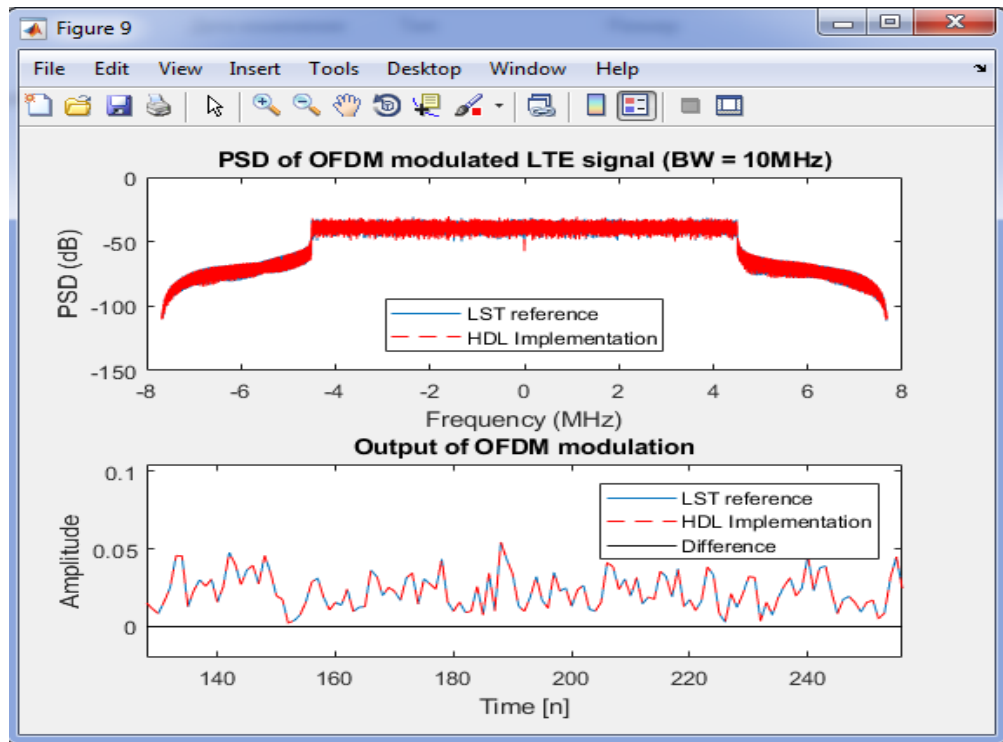


Рисунок 4.18 – Залежність спектральної щільності від частоти та амплітуди сигналу від часу для полоси 10 МГц

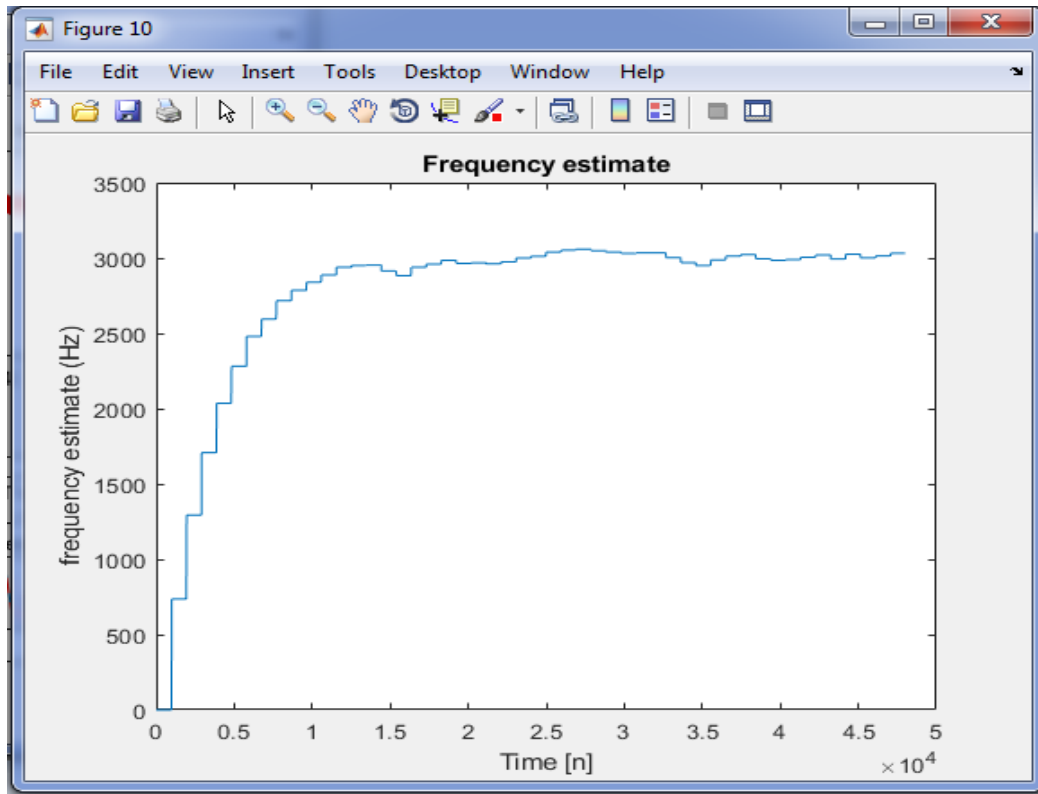


Рисунок 4.19 – Залежність зміщення частоти від часу для полоси 10МГц

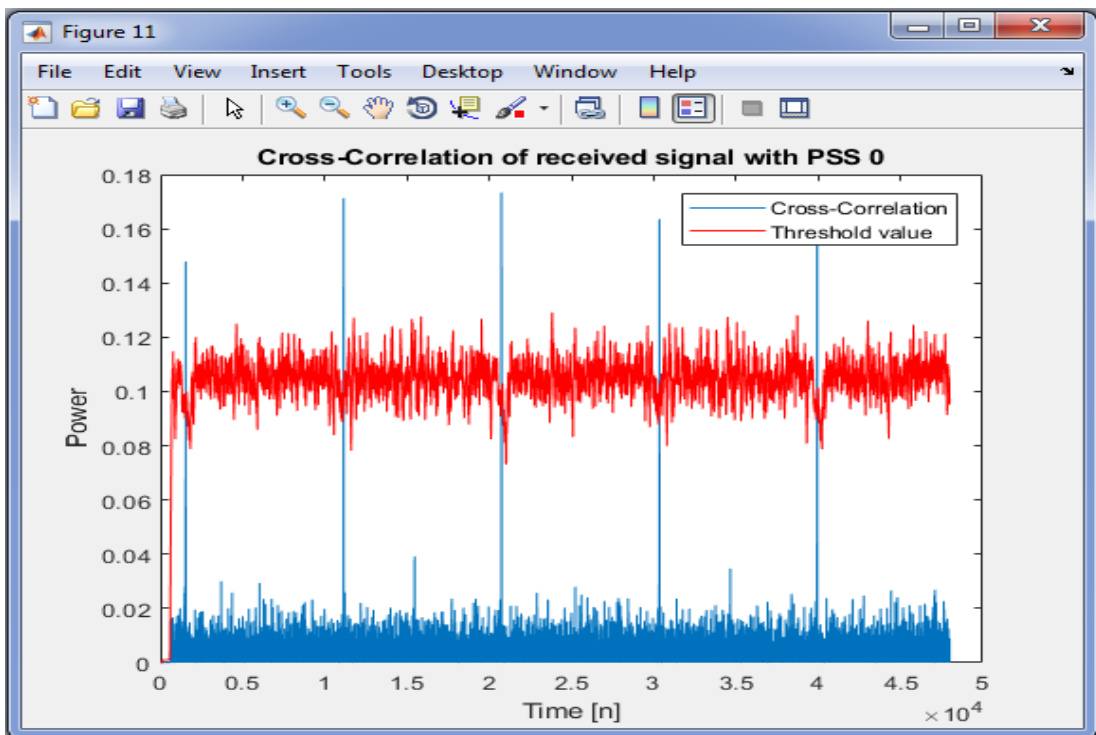


Рисунок 4.20 – Залежність значень потужності прийнятого сигналу від часу для полоси 10 МГц

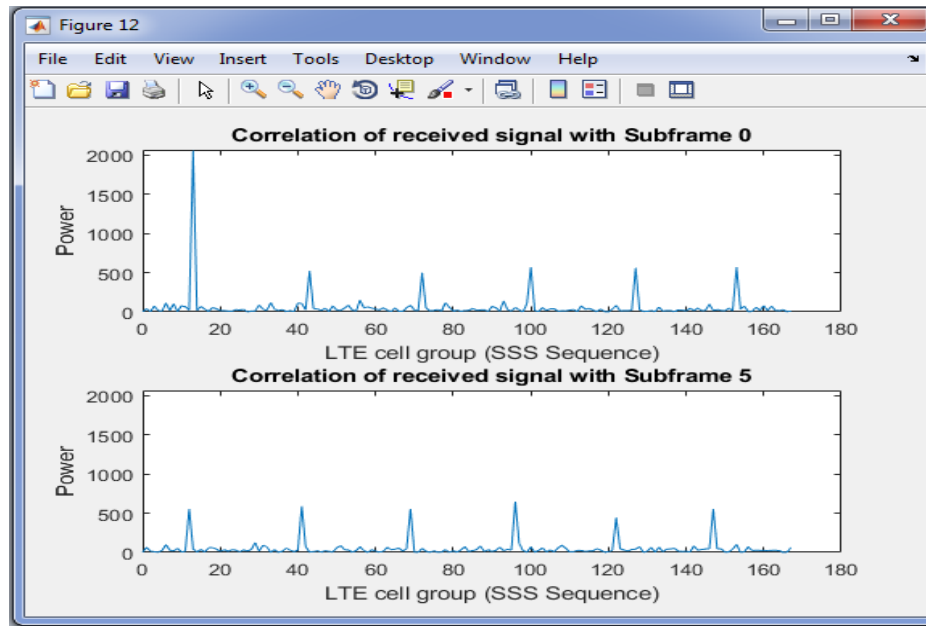


Рисунок 4.21 – Залежність потужності від кількості груп ланок LTE для смуги 10 МГц

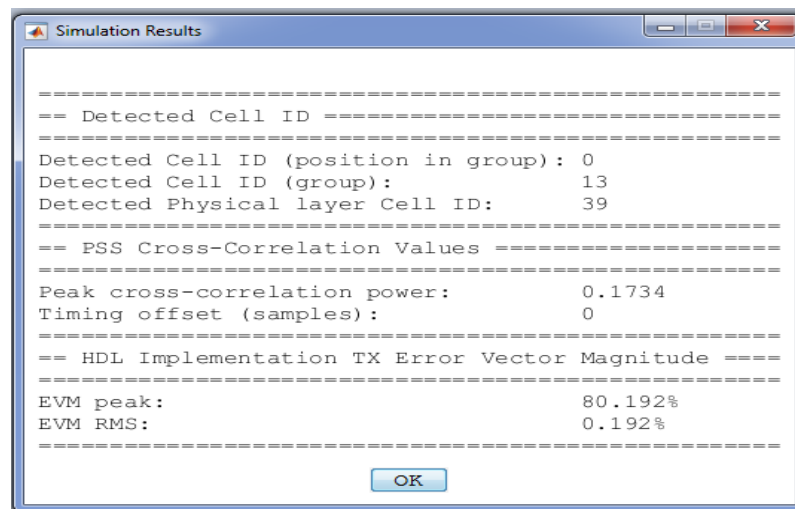


Рисунок 4.22 – Результати для полоси 10МГц

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновки, що амплітуда напруги сигналу менше для смуги частот 10 МГц. Значення потужностей прийнятого сигналу (взаємно корельоване і граничне значення) близькі при обох значеннях ширини смуги частот; залежність потужності від кількості груп осередків LTE близька за розподілом при двох значеннях смуги. Для широкосмугового сигналу

пікове значення вектора помилки більше, ніж для вузькосмугового, але номінальне значення менше. Також видно, що зі збільшенням співвідношення сигнал/шум значення взаємно корельованій потужності прийнятого сигналу зменшується при обох значеннях ширини частотної смуги.

Висновки розділу:

- виконано моделювання системи LTE для двох значень частотної смуги сигналу;
- зроблено висновки що, амплітуда напруги сигналу менша для полоси частот 10МГц а, значення потужностей прийнятого сигналу близькі для обох значень ширини смуги частот;
- залежність потужності від кількості груп ланок LTE близькі по розподілу при двох значень смуги, для широкосмугового сигналу пікове значення вектору похибки більше ніж для вузькосмугового але номінальне значення менше.

## ВИСНОВКИ

Відповідно до поставлених завдань в кваліфікаційній роботі було виконано наступне:

– в першому розділі кваліфікаційної роботи проведено огляд основних характеристик та принципів організації сучасних мереж. Також проведено огляд архітектури мережі зв'язку, що побудована на концепції мереж зв'язку наступного покоління та приведена узагальнена еталона модель цієї мережі. Розглядаються технології широкосмугового доступу;

– в другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано широкосмугові сигнали. Широкосмугові сигнали мають більшу завадостійкість. Це обумовлено тим, що корисний сигнал передається в більш широкій смузі, а завади в основному зосереджені на вузькому сегменті смуги частот. Широкосмугові сигнали мають види сигналів: частотно-модульовані сигнали, багаточастотні сигнали, фазоманіпульовані сигнали, дискретні частотні сигнали, дискретні складові частотні. Розглянуто сигнали з ортогональним частотним мультиплексуванням які являються комбінацією модуляції та мультиплексування ортогональних частотних каналів зв'язку;

– в третьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто багатоканальні системи передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням. Розглянута класифікація систем передачі інформації, що використовують єдиний ресурс. Будь який сигнал займає визначену смугу частот та часовий інтервал, має обмежену потужність та розповсюджується в визначеній області простору. Відповідно цьому виділяються чотири види ресурсу каналу: частотний, часовий, енергетичний та просторовий. Наведена структурна схема багатоканальної радіосистеми передачі інформації з кодовим комбінаційним ущільненням та проведено модулювання багатоканальної радіосистеми.

– в четвертому розділі кваліфікаційної роботи виконано моделювання системи LTE для двох значень частотної смуги сигналу: 10МГц та 3МГц. З отриманих даних,

можна зробити наступні висновки: амплітуда напруги сигналу менша для полоси частот 10МГц, значення потужності прийнятого сигналу близькі для обох значень ширини смуги частот, залежність потужності від кількості груп ланок LTE близькі по розподілу при двох значень смуги, для широкосмугового сигналу пікове значення вектору похибки більше ніж для вузько смугового але номінальне значення менше.

Завдання у кваліфікаційній роботі виконано в повному обсязі.

## ПРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. В Битнер, Ц. Михайлова. Сети нового поколения – NGN. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011.
2. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / И.Г.Бакланов; под ред. Ю.Н. Чернышова. - М.: Эко-Трендз, 2008.
3. Stordahl K. Long-term broadband technology forecasting. // *Telektronikk*, 4. 2004, p. 13- 31.
4. Aarthun Ims L, Bhatnagar A., Ostlyngen E, Bozorgebrahimi K., Bersvendsen A. Towards the next generation broadband network platform. // *Telektronikk*, 4. 2004, p. 107-125.
5. Stordahl K., Ove Kalhagen K. Broadband Access Forecasts for the European Market. // *Telektronikk*, 2/3 2002, p. 21 - 32.
6. Voice over DSL. The Key to Next Generation Voice/Data Services. // Alcatel, Technical paper, February 2001.
7. Stordahl K., Kalhagen K., Olsen B. Access Technology Demand in Europe. // ICFC 2002 - San Francisco.
8. Stordahl K., Elnegaard N. Broadband market evolution in Europe and the upgrade risks. // Telenor, Technical paper.
9. Ambjbrnsen T., Andersson K., Hansen B. The demand and pricing of a portfolio of broadband services. // *Telektronikk*, 4. 2004, p. 95 -106.
10. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение каналов. – М.: Техносфера, 2007.
11. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи: учеб. пособие для студ. вузов. – Одесса: Наука и техника, 2009.
12. Пестряков В.Б., Афанасьев В.П., Гурвиц В.Л. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. / Под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Советское радио, 1973.
13. Борисов В.И. и др. Помехозащищённость систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частот. – М.: Радио и связь, 2000.
14. Ворошилин Е.П., Рогожников Е.В., Вершинин А.С., Чигринец В.А., Долгих Д.А. Цифровая обработка сигналов в беспроводных широкополосных системах. – Томск: Спектр, 2012.
15. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-трендз, 2010. – 284с.

16. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Использование радиочастотного спектра сетями LTE и LTE Advanced// Электросвязь. – 2010. – №5. <http://elsv.ru/files/actual/182.pdf>

17. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Под ред. В.Б. Пестрякова. – М., “Сов. радио”, 1973, -424с.

18. Ю.С. Лёзин. Введение в теорию радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1985, -384с.

19. Л.Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985, -384с.

20. ДСТУ 3008 – 95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: Держстандарт України, 1995.