

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор _____ Корнієнко В.І.
« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект бакалавра

напряму підготовки _____ **050903 Телекомунікації**

(код і назва спеціальності)

студента _____ **Дудик Олег Володимирович**

(група)

(прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломного проекту *«Розробка моделі приймальної частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM»*

Приказ ректора НТУ "ДП" від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання. Постановка задачі</i>	Аналітичний огляд літератури на тему проекту	Квітень 2019
<i>Спеціальна частина</i>	Принцип роботи приймальної частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM. Розробка моделі в MATLAB. Оформлення пояснювальної записки.	Травень 2019
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок капітальних затрат	Травень 2019

Завдання видав _____
(підпис)

Гусев О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання _____
(підпис)

Дудик О.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 15 березня 2019 р.

Строк подання дипломного проекту до ДЕК:

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с. 52, рис. 25, табл. 5, додатків 3, джерел 12.

Об'єкт розробки: цифрове телебачення.

Предмет розробки: моделювання систем цифрового телебачення.

Мета дипломного проекту: Розробка моделі приймальні частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM.

В першому розділі виконаний аналітичний огляд літературних джерел по темі дипломного проекту. Здійснено постановку задачі роботи.

У другому розділі розроблена модель системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM. Виконано модельний експеримент і проведено аналіз результатів.

У третьому розділі виконано розрахунок капітальних витрат на розробку моделі приймальні частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM.

СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, МОДЕЛЬ СИСТЕМИ, ІМІТАЦІЙНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ, МОДУЛЯЦІЯ, МАНІПУЛЯЦІЯ, ЦИФРОВЕ
ТЕЛЕБАЧЕННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: с. 52, рис. 25, табл. 5, приложений 3, источников 12.

Объект разработки: цифровое телевидение.

Предмет разработки: моделирование систем цифрового телевидения.

Цель дипломного проекта: Разработка модели приемной части системы цифрового телевидения DVB-T с OFDM.

В первом разделе выполнен аналитический обзор литературных источников по теме дипломного проекта. Осуществлена постановка задачи работы.

Во втором разделе разработана модель системы цифрового телевидения DVB-T с OFDM. Выполнен модельный эксперимент и проведен анализ результатов.

В третьем разделе выполнен расчет капитальных затрат на разработку модели приемной части системы цифрового телевидения DVB-T с OFDM.

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ,
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОДУЛЯЦИЯ,
МАНИПУЛЯЦИЯ, ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

ABSTRACT

Explanatory note: p. 52, fig. 25, table. 5, lit. 3, sources 12.

Object for development: digital television.

Subject of development: modeling of digital television systems.

The aim of the graduation project: Development of a model of the receiving part of a DVB-T digital television system with OFDM.

The first section contains an analytical review of literary sources on the topic of the graduation project. The formulation of the task of work.

In the second section, a model of a DVB-T digital television system with OFDM is developed. A model experiment was performed and the results were analyzed.

In the third section, we calculate the capital costs of developing a model for the receiving part of a DVB-T digital television system with OFDM.

DATA TRANSMISSION SYSTEMS, MODEL SYSTEMS, IMITATION MODELING, MODULATION, MANIPULATION, DIGITAL TELEVISION

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМ – Амплітудна модуляція

ОФМ – Відносна фазова модуляція

КАМ (QAM) – Квадратурна амплітудна модуляція

ФМ – Фазова модуляція

ЧМ – Частотна модуляція

AWGN – (Additive White Gaussian Noise) Адитивний білий гауссовський шум;

BER – (Bit Error Ratio) Ймовірність помилки на біт;

BPSK – (Binary phase-shift keying) Двійкова фазова модуляція;

DIF – (Digital Impacting Filter) Цифровий імпульсний фільтр;

EBPSK – (Extended Binary Phase Shift Keying) Розширена

двоична фазова модуляція;

FSK – (Frequency Shift Keying) Частотна манипуляція;

IIR – (Infinite impulse response) Фільтр з нескінченною

імпульсною характеристикою (БИХ);

MSK – (Minimum Shift Keying) Частотна модуляція з

мінімальним зміщенням;

PSD – (Power Spectral Density) Спектральна щільність потужності;

SNR – (Signal to Noise Ratio) Відношення сигнал-шум;

UNB – (Ultra-Narrow Band) Вузькополосна модуляція;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	
1.1 Узагальнена структура цифрової телевізійної системи.....	
1.2 Стандарт цифрового наземного телевидення DVB-T.....	
1.3 Багатопроменеве поширення сигналів.....	
1.4 Коротка характеристика OFDM.....	
1.4.1 Ідея методу.....	
1.4.2 Технічна реалізація OFDM.....	
1.4.3 Аналітичний опис OFDM.....	
1.4.4 Боротьба з перешкодами за допомогою OFDM.....	
1.5 Постановка задачі.....	
1.6 Висновки.....	
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	
2.1 Модель тракту цифрового телевізійного наземного мовлення DVB-T..	
2.2 Дослідження технології OFDM.....	
2.2.1 Імітаційне моделювання технології OFDM.....	
2.2.2 Аналіз впливу перешкод і шумів в каналі зв'язку.....	
2.3 Висновки.....	
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
3.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку імітаційної моделі системи передачі даних на базі BPSK.....	
1.1 Визначення трудомісткості розробки моделі.....	
3.1.2 Розрахунок витрат на розробку моделі.....	
3.1.3 Розрахунок капітальних витрат.....	
3.2 Висновки.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	

ДОДАТОК А.....

ДОДАТОК Б.....

ДОДАТОК В.....

ВСТУП

На сучасному етапі телебачення характеризується інтенсивним переходом на цифрові методи обробки сигналів. Аналогове телебачення неухильно замінюється цифровим, яке має незаперечні переваги. Найбільш важливим з цих етапів є відкриття перспективи трансляції по каналах великого числа програм високої якості при зниженні витрат енергії в процесі їх передачі. Крім того, цифрові телевізійні системи створюють можливість:

- організації систем відеотелефонії і відеоконференц-зв'язку;
- істотного підвищення якості передачі зображень і звуку;
- забезпечення ефективності використання частотного ресурсу;
- передачі ТВЧ в стандартних каналах мовлення;
- цифрового сполучення мереж з комп'ютерними Інтернет-мережами;
- досить низьку ціну впровадження за рахунок використання існуючої інфраструктури аналогових мереж. У країнах Європейського союзу вже прийняті такі нормативні документи:

- DVB-C - кабельне ТВ-мовлення;
- DVB-S - супутникове ТВ-мовлення;
- DVB-T - наземне ТВ-мовлення;
- DVB-MS - мобільні системи телебачення та ін.

З 31 серпня Україна почала перехід з аналогового на цифрове телебачення, який планується закінчити в 2019 році.

В Україні наземне цифрове мовлення в стандарті DVB-T (пакет з 10 телепрограм) почалося в тестовому режимі з вересня 2008 року за 74 зоні одночастотного синхронного мовлення в Одеській області (7 телевізійних передавальних засобів працюють на одному телевізійному каналі), а з 16

березня 2009 року постійне мовлення вже забезпечувалося за двома зонами одночастотного синхронного мовлення Одеської області. З 1 квітня 2009 року мовлення здійснювалося в Києві, Житомирській, Київській та Одеській областях. У травні 2009 року Національна рада України з питань телебачення і радіомовлення затвердила План заходів щодо впровадження цифрового телерадіомовлення в Україні, підготовлений Міністерством транспорту та зв'язку. Урядову програму розвитку цифрового ТБ було затверджено постановою Кабінету міністрів України від 26 листопада 2008 року № 1085 «Про затвердження Державної програми впровадження цифрового телерадіомовлення»

Головна причина впровадження стандарту DVB-T – необхідність звільнити частотний діапазон для впровадження сучасних технологій зв'язку 4G і LTE. Оскільки цифровий сигнал займає значно меншу смугу частот (на одному аналоговому каналі може розміститися в середньому 8 цифрових), то, відповідно звільняється радіочастотний ресурс, який може бути використаний для нових телекомунікаційних технологій.

При беспроводній технології передачі інформації основним фактором, впливаючим на якість зв'язку є перешкоди від багатопроменевого прийому.

Цей вид перешкод вельми характерний для ефірного прийому в містах з різноповерховою забудовою через багаторазових відображень радіосигналу від будівель і інших споруд.

Радикальним вирішенням цієї проблеми є застосування технології ортогонального частотного мультиплексування OFDM, яка спеціально розроблена для боротьби з перешкодами при багатопроменевому прийомі.

Справжній дипломний проект присвячений розробці моделі приймальні частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Узагальнена структура цифрової телевізійної системи

Джерело аналогових телевізійних сигналів формує сигнали, які надходять на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), де перетворюються в цифрову форму. Кодер відео, здійснює ефективне кодування відеоінформації з метою зниження швидкості передачі двійкових символів в каналі зв'язку. Дана операція є однією з найбільш важливих, оскільки без ефективного кодування неможливо забезпечити передачу сигналів цифрового телебачення по стандартних каналах зв'язку.

Сигнали звукового супроводу (аудіо інформація) також перетворюються в цифрову форму. Аудіо дані стискаються в кодері звуку. Відео та аудіо кодовані дані об'єднуються в мультиплексорі в єдиний потік даних. У кодері каналу виконується завадостійке кодування даних, що має на меті підвищення завадостійкості процесу передачі. Отриманим результуючим цифровим сигналом модулюють несучу використовуваного каналу зв'язку.

Структурна схема цифрової телевізійної системи представлена на рис. 1.1.

Приймальна частина системи здійснює демодуляцію прийнятого високочастотного сигналу і декодування канального кодування. Після чого в демультимплексорі потік даних розділяється на дані зображення, звуку і службову інформацію. Потім виконується декодування даних.

Остаточо на виході декодера зображення формують сигнали в цифровій формі, які перетворюються в аналогову форму в цифро-аналоговому перетворювачі (ЦАП) і подаються на монітор, екран якого відтворює зображення. На виході декодера звуку виходять аудіо сигнали звукового супроводу, які також перетворюються в аналогову форму. Ці

сигнали надходять на підсилювач звукової частоти і далі на акустичну систему.

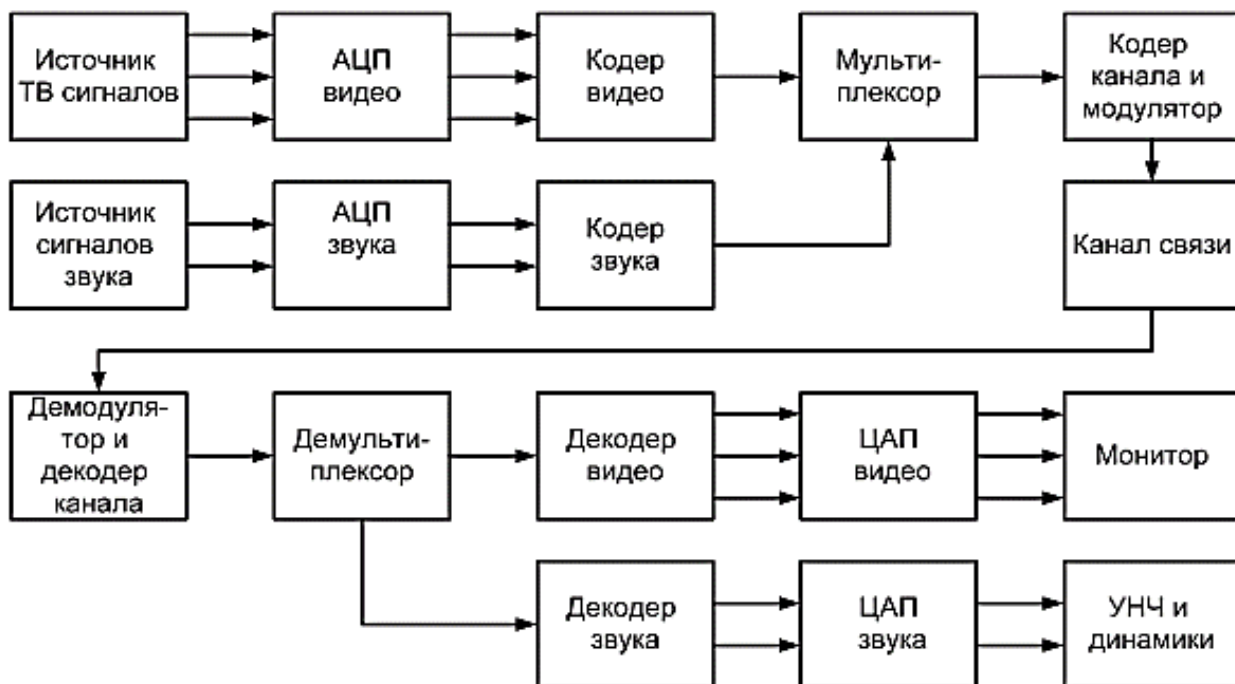


Рисунок 1.1 Узагальнена структурна схема цифрової телевізійної системи

1.2 Стандарт цифрового наземного телебачення DVB-T

Стандарт DVB-T для цифрового ефірного ТВ-мовлення в діапазоні ДМВ (дециметрових хвиль) для Європи і інших країн був прийнятий в 1996 році. У систему DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) при розробці було закладено властивість суттєвої гнучкості, яка забезпечується за рахунок опцій вибору широкого набору параметрів, з метою адаптації до всіх каналів в режимах роботи, включаючи фіксований, мобільний і переносний прийоми, а також побудова одночастотних мереж. В даний час серед всіх існуючих систем цифрового наземного ТВ-мовлення система DVB-T розвивається найбільш динамічно. Система DVB-T привертає все більше прихильників, оскільки забезпечує найбільш високу якість серед усіх можливих застосувань.

Система DVB-T розглядається як функціональний блок обладнання, що забезпечує адаптацію цифрового ТВ-сигналу, представленого в основній смузі частот на виході транспортного мультиплекса MPEG-2, з характеристиками стандартного наземного радіоканалу мовлення, що має ширину смуги частот 8 МГц. При цьому використовується передача сигналів по багаточастотною схемою модуляції з частотним розподілом ортогональних несучих (OFDM). В одному символі OFDM може міститися 1705 або 6817 ортогональних несучих з умовним найменуванням режимів відповідно «2k» або «8k». Кожна з несучих модулюється низькошвидкісним цифровим потоком, що є частиною загального транспортного потоку системи, а в якості первинних видів модуляції для різних умов застосування використовуються формати QPSK, 16 QAM і 64 QAM. У ТВ- і радіоканалі спектр системи DVB-T за рахунок використання схеми модуляції OFDM має дуже хорошу прямокутність. Повна спектральна щільність потужності модульованих несучих OFDM є сумою спектральних густин потужності безлічі несучих. Теоретичний спектр сигналу OFDM для каналу з смугою 8 МГц показаний на рис. 1.2. Деталізована структура системи DVB-T представлена на рис. 1.3.

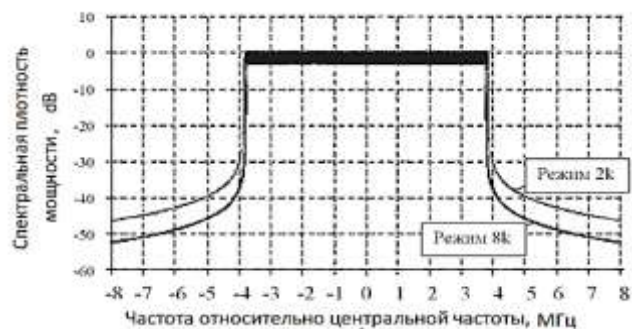


Рисунок 1.2 – Теоретичний спектр сигналу OFDM каналу зі смугою 8 МГц

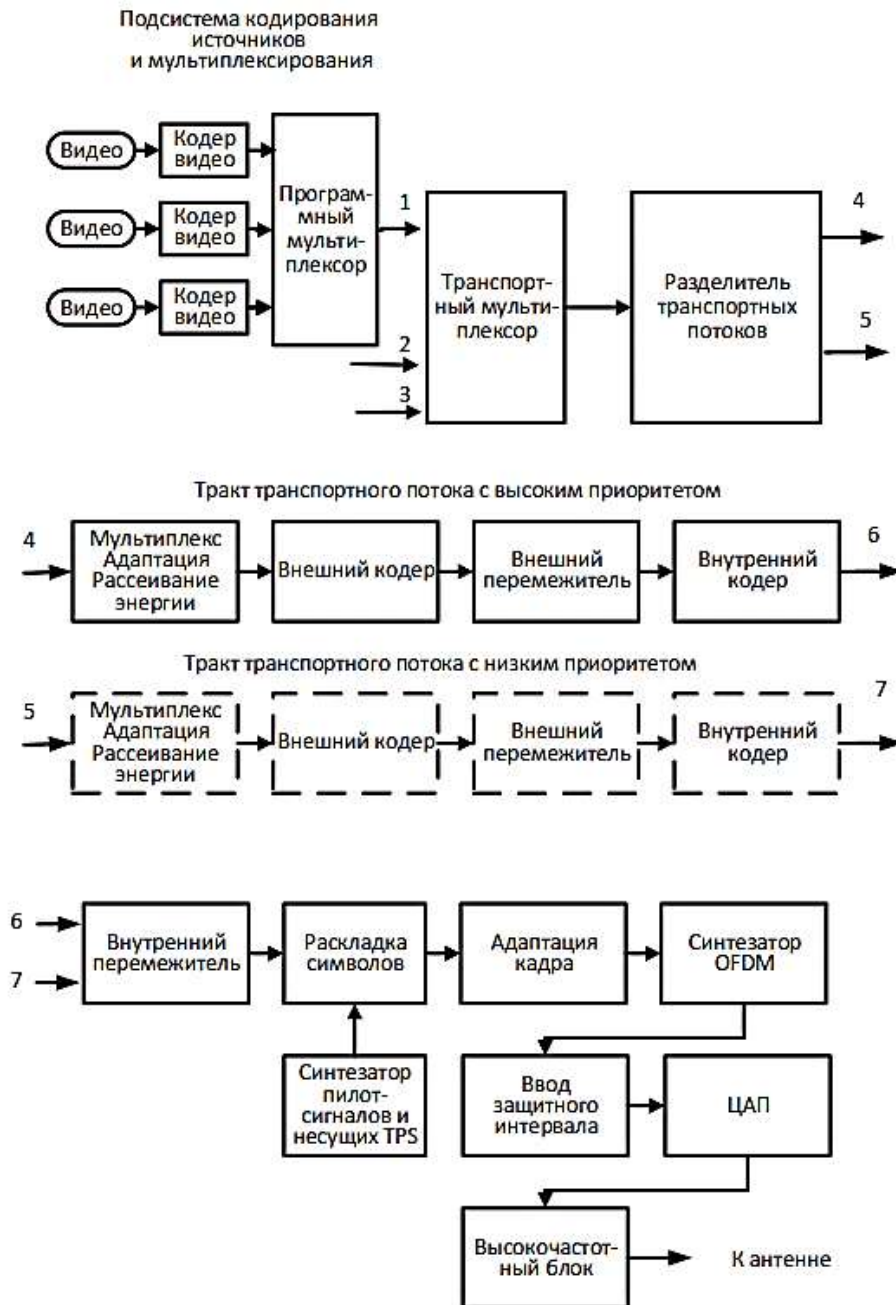


Рисунок 1.3 – Деталізована структура системи DVB-T

В системі DVB-T на виході тракту зовнішнього кодування утворюється потік кодованих пакетів довжиною по 204 байта: 1 байт синхронізації, 187 байтів перемеження даних транспортних пакетів і 16 байтів зовнішньої кодозахисту. Після внутрішнього кодування довжина пакета зростає пропорційно обраної кодової швидкості згортчного коду. Отриманий результуючий потік бітів в процесі модуляції перетвориться в символи сигналу OFDM, які організуються в кадри. Чотири кадри

утворюють один суперкадр. Кожен символ OFDM містить 6817 несуть у режимі 8k і 1705 несуть в режимі 2k. Число несучих корисних даних є незмінним від символу до символу і за вирахуванням службових несучих становить 6048 несуть у режимі 8k і 1512 несуть у режимі 2k.

Символ OFDM складається з двох частин: корисної частини та захисного інтервалу. Захисний інтервал передує корисній частині і є циклічним префіксом аналогічним по тривалості останній частині символу. Довідкові відомості по параметрам кадру і значенням захисних інтервалів в системі DVB-T наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні експлуатаційні параметри стандарту DVB-T

Параметр	Значение параметра	
	8k	2k
Число несущих в символе OFDM	6817	1705
Число несущих полезных данных в символе OFDM	6048	1512
Длительность полезной части символа OFDM, мкс	896	224
Разнос соседних несущих, Гц	1116	4464
Разнос между крайними несущими в символе OFDM, МГц	7,608258	7,611607
Частота следования символов данных, МГц	6,75	
Ширина полосы частот канала, МГц	6, 7 и 8	
Число битов на символ	2, 4 и 6	
Скорость передачи полезных данных, Мбит/с	4,98–31,67	

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Значення параметра							
	8k				2k			
Скорість внутрішнього кода	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8							
Модуляція несущих	QPSK, 16QAM, 64QAM							
Относительный защитный интервал T_G/T_U	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Длительность полезной части символа T_U , мкс	896				224			
Длительность защитного интервала T_G , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Длительность символа T_S , мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231

1.3 Багатопрореневе поширення сигналів

Поширення сигналів в навколишньому середовищі супроводжується виникненням всякого роду перешкод, джерелом яких служать самі поширювані сигнали. Класичний прикладом є ефект багатопрореневої інтерференції сигналів.

Внаслідок багаторазового відбиття сигналу від природних перешкод (рис. 1.4) один і той же сигнал може приходити в приймач різними шляхами, що мають різні довжини. Отже, в точці прийому сумарний сигнал являє собою суперпозицію (інтерференцію) багатьох сигналів з різними амплітудами і зсувами один щодо одного по часу, що еквівалентно додаванню сигналів з різними фазами.

Якщо припустити, що передавач поширює гармонійний сигнал $y_{in} = A \sin 2\pi \nu t$ з частотою несучої ν і амплітудою A , то в приймачі буде отримано сигнал

$$y_{out} = \sum_{i=1}^N A_i \sin 2\pi \nu (t - t_i), \quad (1.1)$$

де t_i — затримка поширення сигналу по i -му шляху (рис. 1.5).

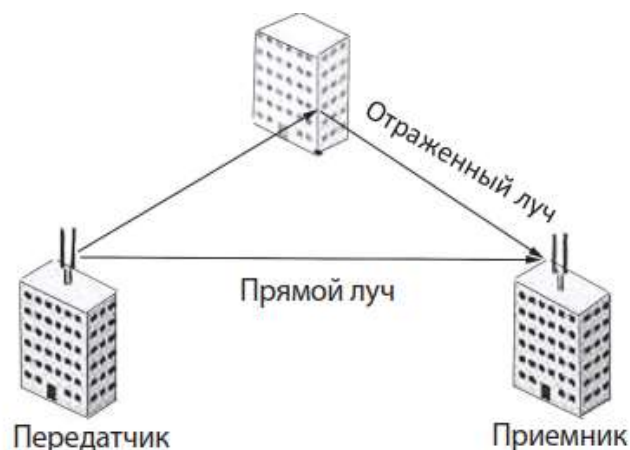


Рисунок 1.4 – Перевідбиття сигналу

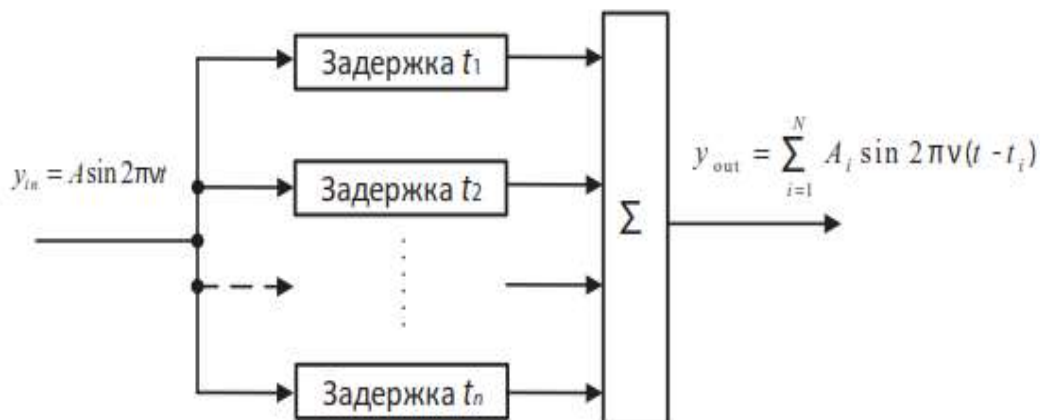


Рисунок 1.5 – Модель багатопроменевого поширення сигналу

Наслідком багатопроменевої інтерференції є спотворення сигналу. Особливо негативно багатопроменева інтерференція позначається на широкосмугових сигналах. Справа в тому, що при використанні широкосмугового сигналу в результаті інтерференції певні частоти складаються синфазно, що призводить до збільшення сигналу, а деякі, навпаки, - протифазно, викликаючи ослаблення сигналу на даній частоті (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Спектры сигналов

Говорячи про багатопроменеву інтерференцію, що виникає при передачі сигналів, розрізняють два крайніх випадки (рис. 1.7). У першому випадку максимальна затримка між різними сигналами не перевищує часу тривалості одного символу, і інтерференція виникає в межах одного переданого символу. У другому випадку максимальна затримка між різними сигналами більше тривалості одного символу, а в результаті інтерференції складаються сигнали, що представляють різні символи, і виникає так звана міжсимвольна інтерференція (Inter Symbol Interference ISI).

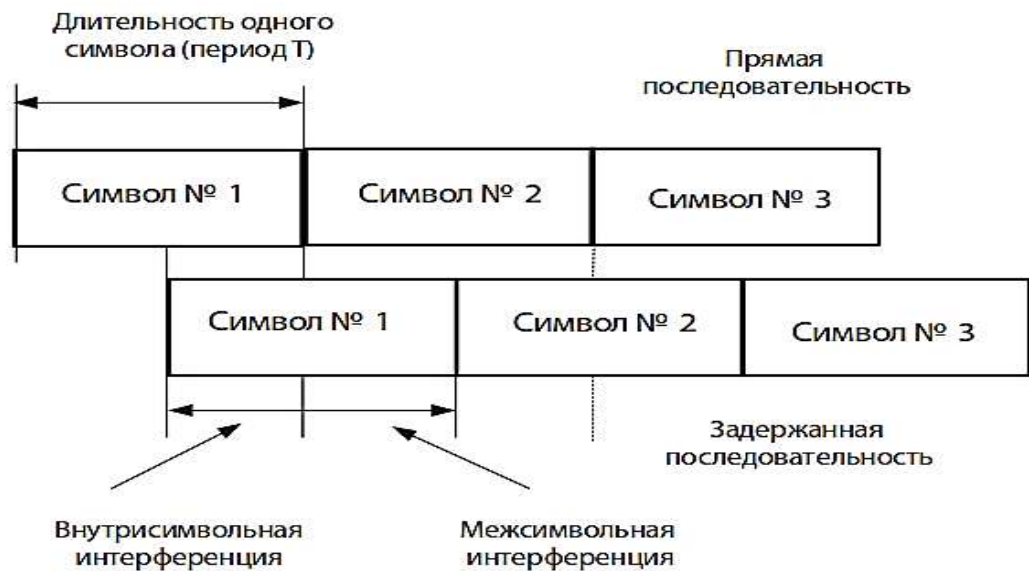


Рисунок 1.7 – Інтерференція символів

Найбільш негативно, на спотворення сигналу, впливає міжсимвольна інтерференція. Оскільки символ - це дискретний стан сигналу, що характеризується значеннями частоти несучої, амплітуди і фази, то для різних символів змінюються амплітуда і фаза сигналу, тому відновити вихідний сигнал вкрай складно.

Радикальним вирішенням цієї проблеми є застосування технології ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), яка спеціально розроблена для боротьби з перешкодами при багатопроменевому прийомі.

1.4 Коротка характеристика OFDM

1.4.1 Ідея методу

Ідея даного методу полягає в тому, що потік переданих даних перетворюється у велике число паралельних потоків (субпотоків), кожен з яких передається на окремій несучій (рис. 1.8). При цьому висока швидкість передачі досягається саме за рахунок одночасної передачі даних по декількох каналах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою.

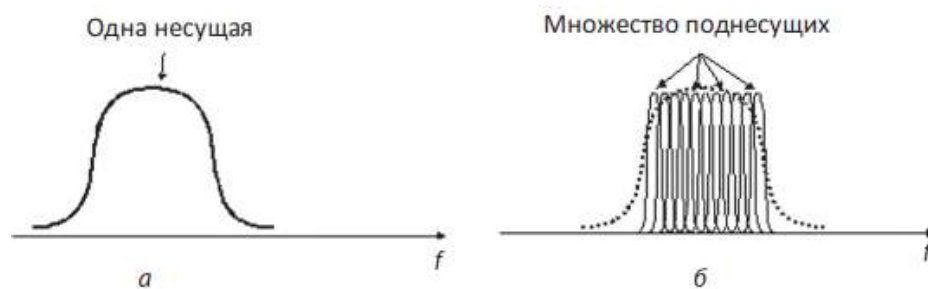


Рисунок 1.8 – Спектр радіосигналу з однією несучою (а) і OFDM (б)

При частотному поділі каналів необхідно, щоб ширина окремого каналу була, з одного боку, досить вузькою для мінімізації спотворення сигналу в межах окремого каналу, а з іншого - досить широкою для забезпечення необхідної швидкості передачі. Крім того, для економного використання всієї смуги каналу, яке поділяється на підканали, бажано

якомога щільніше розташувати частотні підканали, але при цьому уникнути міжканальної інтерференції, щоб забезпечити повну незалежність каналів один від одного. Частотні канали, що задовольняють перерахованим вимогам, називаються ортогональними. Несучі сигнали всіх частотних підканалів (а точніше, функції, що описують ці сигнали) ортогональні один одному. З точки зору математики ортогональність функцій означає, що їх твір, усереднене на деякому інтервалі, має дорівнювати нулю. У нашому випадку це виражається простим співвідношенням:

$$\int_0^T \sin(2\pi f_l t) \sin(2\pi f_k t) dt = 0, k \neq l, \quad (1.2)$$

де T — період символу; f_k, f_l — несучі частоти каналів k та l .

Ортогональність несучих сигналів можна забезпечити в тому випадку, якщо за час тривалості одного символу несучий сигнал буде здійснювати ціле число коливань (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Ортогональні частоти

Для виконання умов ортогональності необхідно, щоб частотний рознос між несучими був постійний і точно дорівнював значенню $\Delta f = 1/T_U$,

де T_U — робочий інтервал інформаційного символу. Це призводить до того, що нульові значення функцій $\sin x/x$, якими представлені сусідні піднесучі в частотній області, збігаються з максимальним значенням кожної з обраних піднесучих (рис. 1.10).

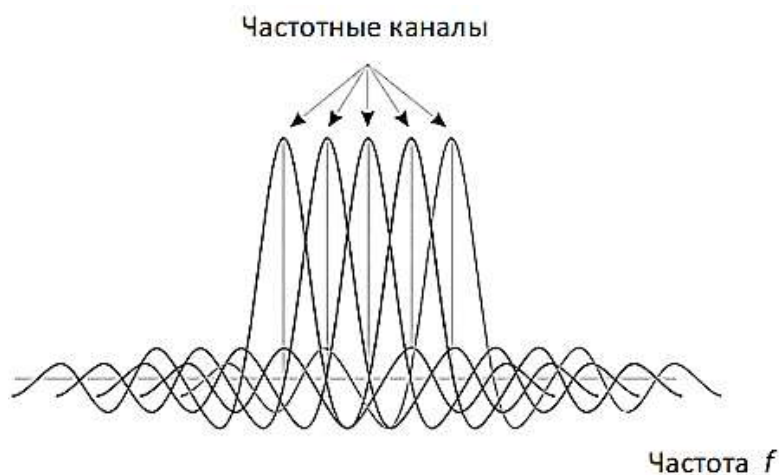


Рисунок 1.10 – Частотний поділ каналів з ортогональними несучими сигналами

1.4.2 Технічна реалізація OFDM

Для реалізації OFDM в передавальних пристроях використовується зворотне швидке перетворення Фур'є (IFFT), що переводить попередньо мультимплексований на N-каналів сигнал з тимчасового подання в частотне (рис. 1.11).

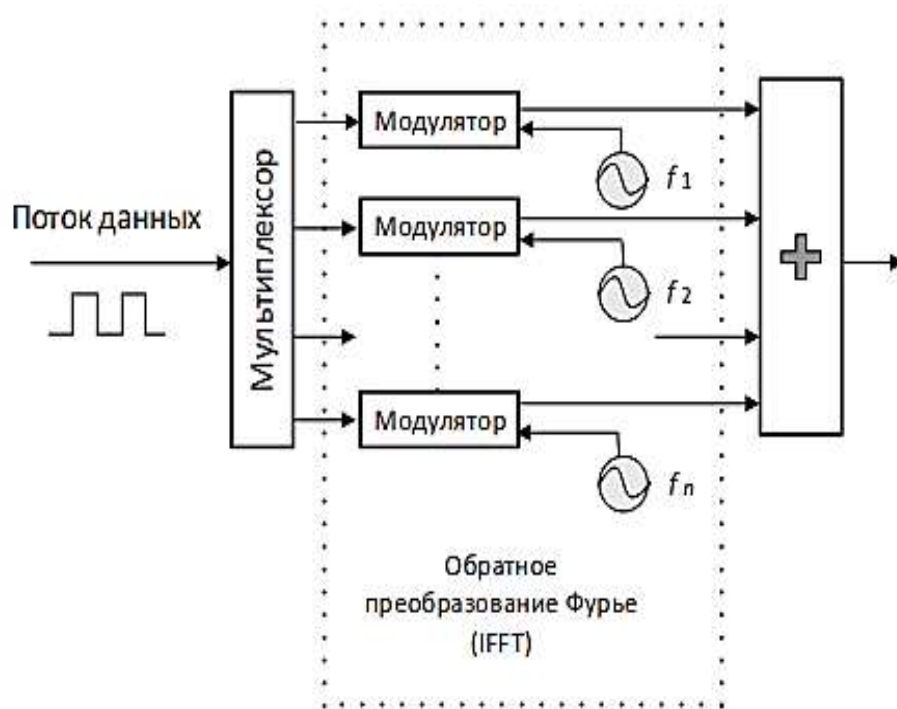


Рисунок 1.11 – Реалізація IFFT для отримання N ортогональних частотних підканалів

Зазвичай при практичній реалізації модулятора спектр сигналу FDM формується на деякій проміжній частоті, а потім конвертується в смугу радіоканалу. Перетворення сигналів в демодуляторі приймача OFDM відрізняються використанням прямого перетворення Фур'є (FFT) (рис. 1.12).

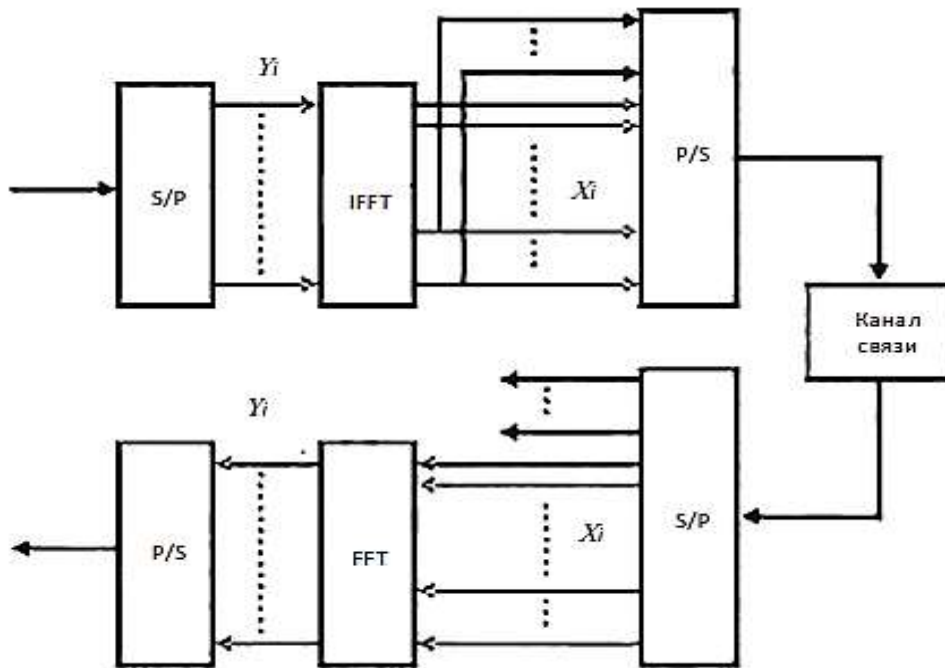


Рисунок 1.12 – OFDM — передача та прийняття

1.4.3 Аналітичний опис OFDM

OFDM модуляція передбачає використання ряду ортогональних піднесучих $f_n(t)$, модуляція яких здійснюється комплексними інформаційними символами $\dot{F}_n(t)$. Введемо інтервал часу T_u , на якому поднесучі будуть ортогональними. Ортогональність забезпечується наступними умовами:

$$\int_0^{T_u} f_l(t) f_m(t) dt \begin{cases} = 0, & l \neq m, \\ \neq 0, & l = m. \end{cases} \quad (1.3)$$

Комплексний інформаційний модулюючий символ має вигляд

$$\dot{F}_n = F_n e^{j\varphi_n}, \quad (1.4)$$

де F_n — амплітуда символу; j_n — фаза символу; $n = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$.

Безперервний сигнал на інтервалі часу T_u , що складається з N піднесучих $f_n(t) = \cos(2\pi f_n t)$, модулюючих символами $\dot{F}_n(t)$:

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n \cos(2\pi f_n(t) + \pi_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \operatorname{Re}(\dot{F}_n e^{j2\pi f_n t}), \quad (1.5)$$

де $f_n(t)$ – частота n -й піднесучої.

Таким чином, для забезпечення ортогональності модульованих піднесучих досить виконання умови

$$f_{n+1} - f_n = \Delta f = 1/T_u. \quad (1.6)$$

Перейдемо від безперервного сигналу до дискретного:

$$T = kT, \quad (1.7)$$

де $k = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$.

Період дискретизації виберемо з умови

$$T_u/T = N. \quad (1.8)$$

В результаті отримаємо форму сигналу:

$$S_k = S(kT) = \frac{1}{N} \operatorname{Re} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{F}_n e^{j2\pi n k \frac{T}{T_u}} = \frac{1}{N} \operatorname{Re} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{F}_n e^{jnk \frac{2\pi}{N}}, \quad (1.9)$$

де S_k — значення сигналу в момент часу kT .

Таким чином, ми перейшли від безперервної форми опису OFDM-сигналу до дискретної. Отриманий вираз являє собою дійсну частину зворотного дискретного перетворення Фур'є. В збудниках ОДПФ здійснюється в комплексній формі, тому наш сигнал набуває вигляду:

$$\dot{S}_k = \dot{S}(kT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{F}_n e^{jnk \frac{2\pi}{N}}. \quad (1.10)$$

Розкриємо цей вислів, попередньо опустивши коефіцієнт $1/N$. В результаті отримаємо систему з N рівнянь, кожне з яких з точністю до постійного коефіцієнта визначає значення сигналу в момент часу (kT):

Аналіз цієї системи рівнянь показує, що виділення кожного символу \dot{F}_n реалізується шляхом інтегрування на інтервалі часу T_u твори комплексного значення OFDM-сигналу на певну комплексну експоненту і стає можливим завдяки ортогональності системи.

1.4.4 Боротьба з перешкодами за допомогою OFDM

Ортогональність субканалів при виділенні їх в приймачі за допомогою ШПФ може бути забезпечена тільки в разі відсутності межсимвольної інтерференції і інтерференції між несучими. На практиці ці умови не виконуються через перекручування, що виникають в каналі. Оскільки спектри несучих в субканалах теоретично необмежені по смузі, то будь-яке їхнє обмеження, наприклад загальним каналним фільтром, або спотворення за рахунок багатопроменевого поширення призводить до перерозподілу енергії між субканалами і, отже, до виникнення міжсимвольних спотворень (МСИ). Для боротьби з цим явищем використовують просте рішення - загальну тривалість символу OFDM T_S збільшують, і частина її на початку символу відводять під захисний інтервал T_G . Тому корисна тривалість символу зменшується: $T_U = T_S - T_G$. В межах захисного інтервалу передається як би повернута в часі копія наступної частини символу. Процес формування повного символу OFDM, що включає захисний інтервал, схематично показаний на рис. 1.13.

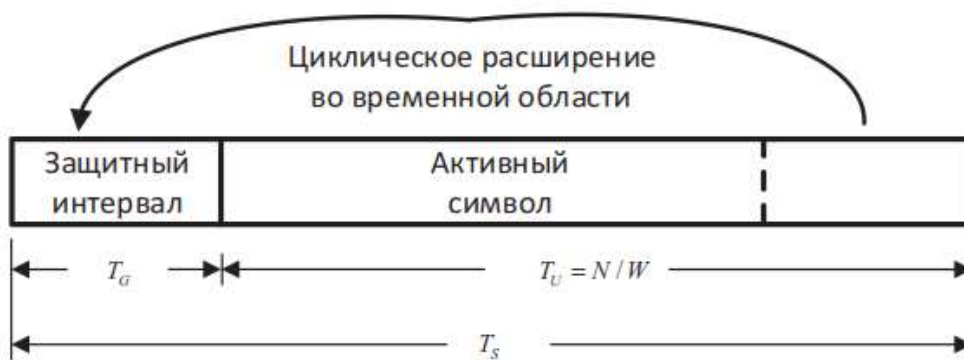


Рисунок 1.13 – Формування повного символу OFDM

Охоронний інтервал (Guard Interval, GI) є надлишковою інформацією і в цьому сенсі знижує корисну (інформаційну) швидкість передачі, але саме він служить захистом від виникнення міжсимвольної інтерференції. Ця надлишкова інформація додається до символу, що передається, і відкидається при прийомі символу в приймачі. Наявність охоронного інтервалу створює тимчасові паузи між окремими символами, і якщо тривалість охоронного інтервалу перевищує максимальний час затримки сигналу в результаті багатопроменевого поширення, то міжсимвольної інтерференції не виникає (рис. 1.14).

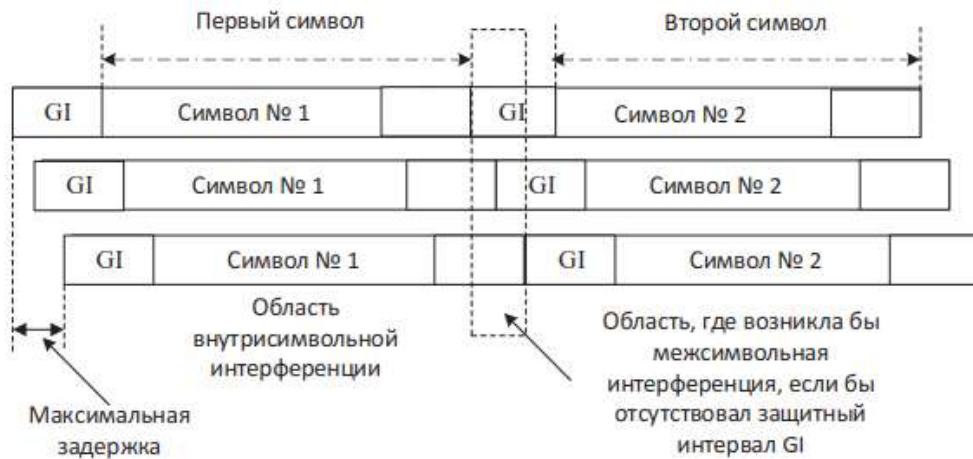


Рисунок 1.14 – Уникнення міжсимвольної інтерференції за рахунок використання охоронних інтервалів

Підсумовування декількох затриманих сигналів з утворенням сигналу, що заважає, усувається за рахунок захисного інтервалу, ілюструє рис. 1.15. Крім основного сигналу, на цьому малюнку показані відбиті ехо-сигнали 1, 2, 3. У приймач надходить сума цих сигналів. При виборі часу T_G більше часу імпульсної реакції каналу або часу затримки поширення МСИ істотно знижується, так як всі перехідні процеси від небажаних сигналів завершуються в межах захисного інтервалу. Так як введення захисного інтервалу знижує пропускну здатність системи, то зазвичай на практиці його тривалість не перевищує однієї чверті від тривалості символу. При цьому сам символ має тривалість 3,2 мкс, а охоронний інтервал - 0,8 мкс. Таким чином, тривалість символу разом з охоронним інтервалом становить 4 мкс.

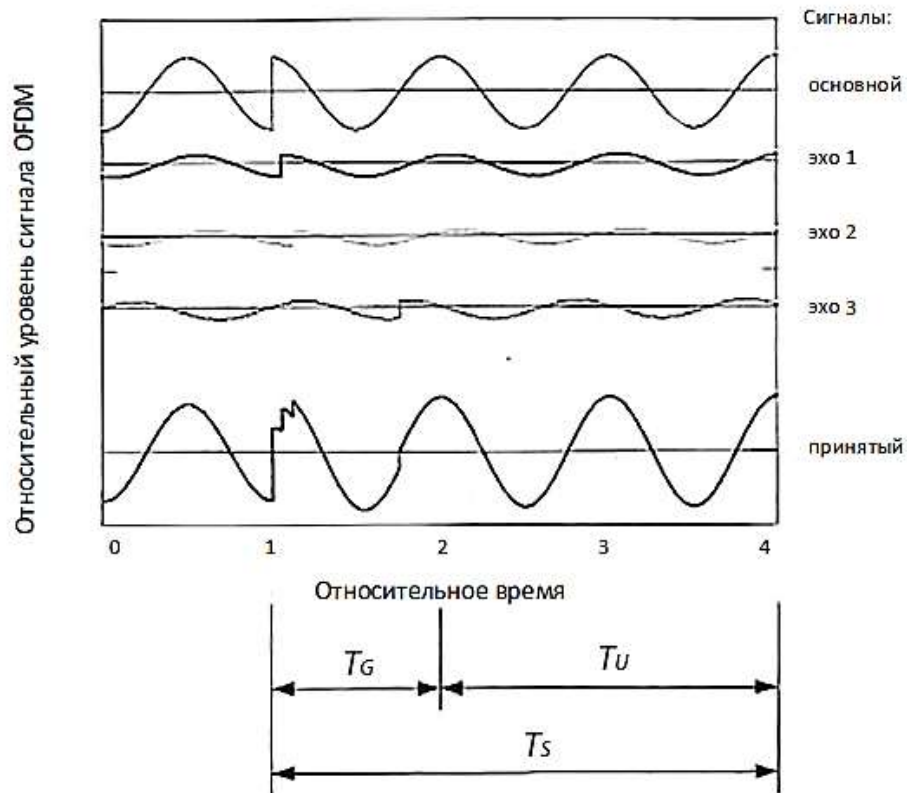


Рисунок 1.15 – Захисний інтервал в символі OFDM

1.5 Постановка задачі

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1 Виконати аналітичний огляд першоджерел з метою обґрунтування вибору технології модуляції, найбільш ефективною для застосування в системі цифрового телебачення DVB-T.

2 На підставі узагальненої структурної схеми цифрової телевізійної системи розробити її імітаційну модель.

3 Розробити модель приймально-передавальної частини цифрової телевізійної системи з OFDM.

4 Провести модельний експеримент з метою дослідження перетворень сигналів в каналі зв'язку в умовах дії шумів.

1.6 Висновки

1 Виконано аналітичний огляд першоджерел з метою обґрунтування вибору технології модуляції, найбільш ефективною для застосування в системі цифрового телебачення DVB-T.

2 Розглянуто узагальнена структурна схема системи цифрового телебачення DVB-T.

3 Розглянуто математичні основи технології OFDM.

4 Показано, як технологія OFDM допомагає боротися з перешкодами в каналі зв'язку.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Модель тракту цифрового телевізійного наземного мовлення DVB-T

Розробка моделі виконана в середовищі Simulink МАТЛАБ. За основу
ВЗЯТО демонстраційна модель
(MATLAB\R2015b\toolbox\comm\commdemos\commdvbt.slx), зображена на
рис 2.1.

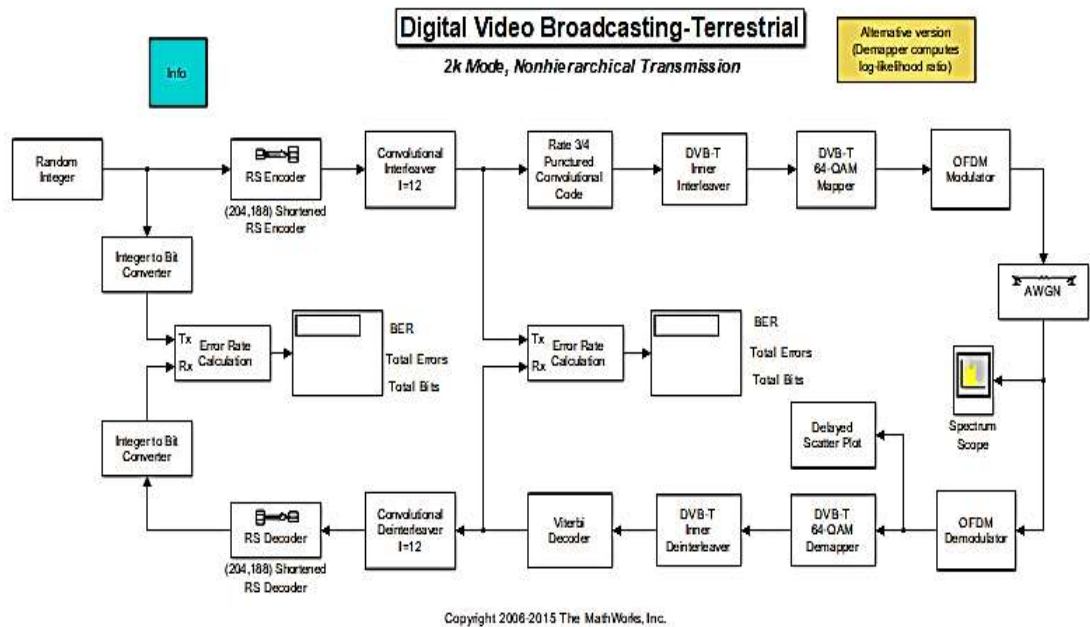


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд моделі системи цифрового телебачення DVB-T

Модель розроблена відповідно до стандарту EN 300744 ETSI (Європейський інститут телекомунікаційних стандартів). Стандарт регламентує вимоги до передавальної частини системи. Приймальна система залишається відкритою.

Верхня частина рис. 2.1 представляє передавач, нижня частина - приймач. Структурна схема перетворення сигналів в приймачі представлена на рис. 2.2.

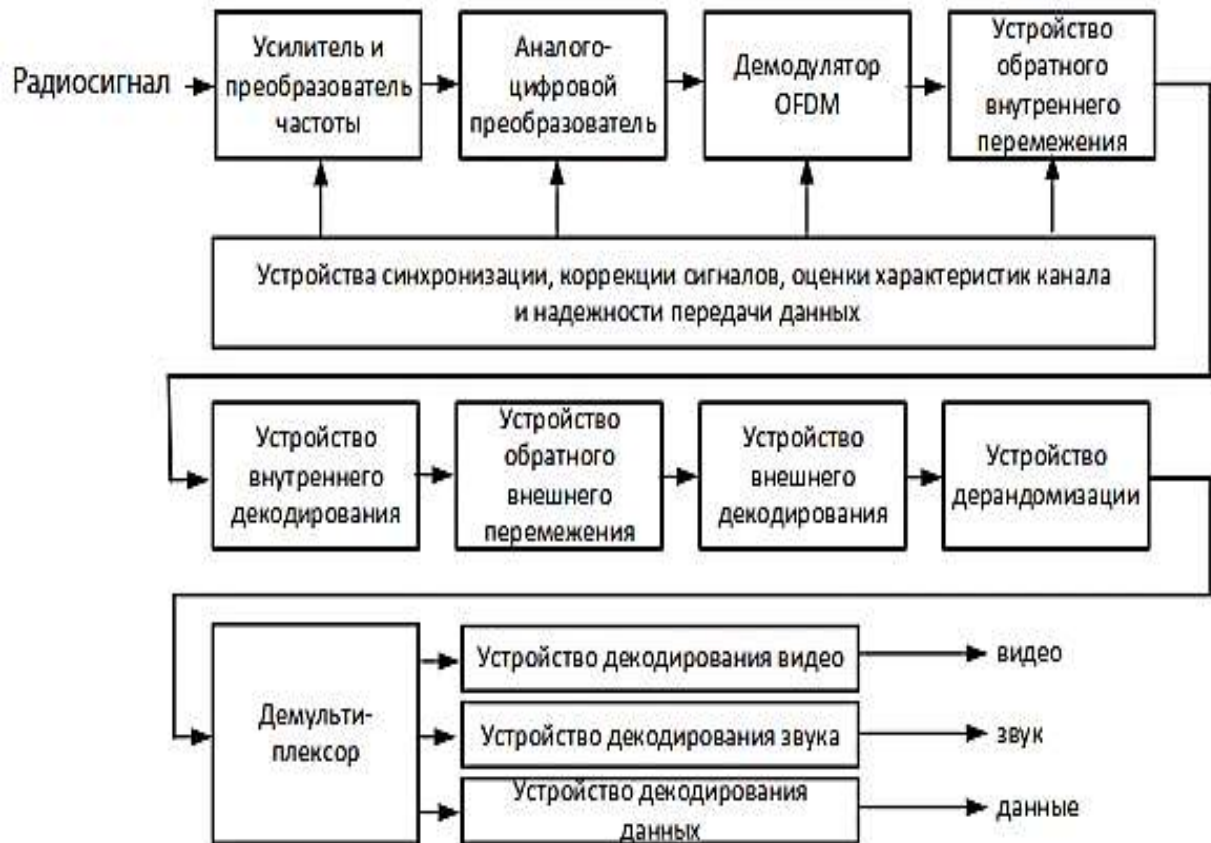


Рисунок 2.2 – Структура перетворення сигналів в приймачі

Детально процеси перетворення і обробки сигналів описані в першому розділі цієї роботи.

У моделі генеруються і передаються випадкові символи, що дозволяють оцінити характеристики продуктивності та завадостійкості.

Модель також включає модель гауссовського каналу зв'язку і пристрої обчислення помилок при прийомі. Стандарт EN 300744 не визначає спосіб реалізації приймача, тому його структура залежить від конкретної структури передавача та його характеристик.

У даній моделі приймача демодулятор 64-QAM відтворює набір з шести чисел для кожного комплексного числа на його вході. Ці числа представляють собою «м'які» рішення на основі поділу сигналу на дійсну і уявну компоненти. Декодер Вітербі інтерпретує «м'яке» рішення чисел і використовує ці числа для правильного декодування згортального коду. «М'які» рішення обчислюються за допомогою підсистеми, в якій синфазні та квадратурні складові витягуються після масштабування з сигналу, після чого вони зсуваються, щоб отримати «м'які» рішення для різних бітів.

На рис. 2.3-2.4 наведено результати моделювання. На рис 2.3 зображено спектр сигналу. На підставі спектра можна оцінити смугу частот, яку займає сигналом і його рівномірність.

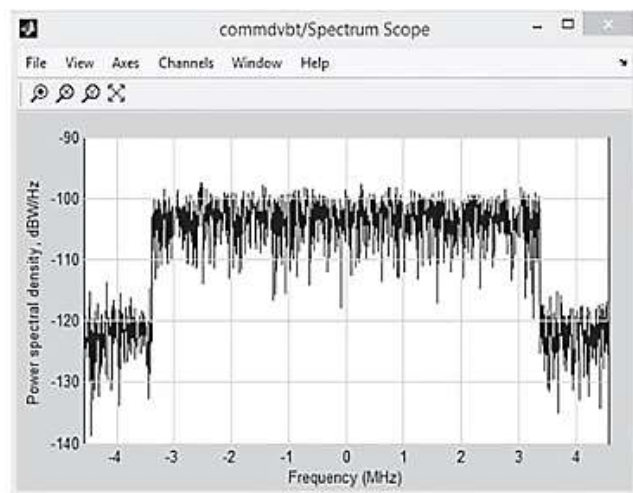


Рисунок 2.3 – Спектр сигналу

На рис. 2.4 представлений вид сигнальних сузір'їв при різних відносинах сигнал / шум

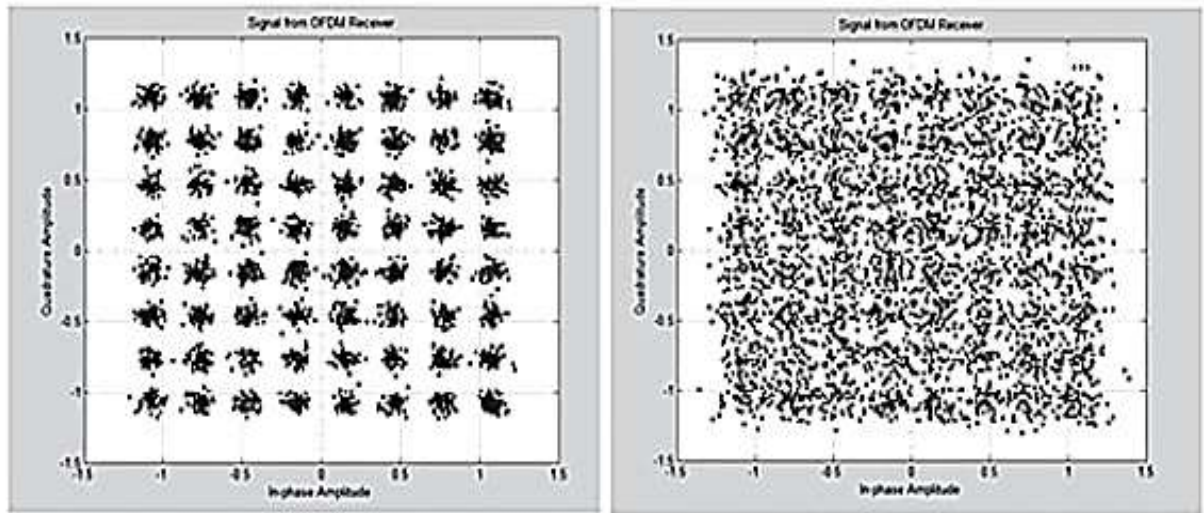


Рисунок 2.4 – Сигнальні сузір'я при високому (зліва) і низькому (праворуч) відносінах сигнал / шум

2.2 Дослідження технології OFDM

При передачі інформації за допомогою однієї несучої частоти для ослаблення ефекту міжсимвольної інтерференції необхідно, щоб тривалість відгуку каналу на переданий символ була лише трохи більше тривалості самого символу. При досить високому рівні МСИ це може привести до необхідності значно збільшити тривалість передачі символу і істотно зменшити швидкості передачі даних [11].

Ідея технології OFDM полягає в заміні послідовної передачі потоку даних з використанням однієї несучої на паралельну передачу символів, використовуючи поділ каналу на кілька піднесучих частот (ортогональних підканалів), кожна з яких в цьому випадку формує окремий підпоток. Таким чином, тривалість кожного переданого символу стає значно більше, що призводить до зниження впливу МСИ, яка, впливаючи лише на окремий підканал (або підканали), не чинитиме сильних спотворень на передану інформацію в цілому. Крім того, використання паралельної передачі символів сприяє збільшенню швидкості передачі інформації.

Основним завданням при OFDM є необхідність розташування деякої кількості ортогональних підканалів таким чином, щоб, підканали не були перешкодою один для одного, а спектри підканалів перекривалися. При цьому необхідно, щоб ширина кожного підканала була досить вузькою для мінімізації спотворень переданого сигналу і досить широкою для здійснення передачі інформації на необхідній швидкості. Одночасно необхідно забезпечити економічне використання смуги каналу, з цією метою слід забезпечити достатню щільність в розташуванні піднесучих частот, при цьому уникаючи виникнення їх взаємного впливу.

На рисунку 1.10 як приклад проілюстровано спектр OFDM сигналу, що складається з 4 піднесучих частот (підканалів).

Необхідно враховувати, що при використанні OFDM сигналу може виникнути випадкова затримка на одній піднесучій щодо будь-якої іншої, а це може привести до порушення ортогональності між ними. У зв'язку з цим для зниження впливу міжсимвольної і міжканальної інтерференції перед початком кожного корисного інформаційного символу додають так званий захисний інтервал (циклічний префікс), що представляє собою точну копію закінчення символу. Такий підхід, безумовно, знижує швидкість передачі даних, так як збільшує тривалість кожного символу, однак позитивний ефект компенсує втрати від впливу МСИ [11, 6].

Відомо, що відгук деякого каналу може не дозволити пройти сигналам з певною частотою (або сильно їх послабити). Даний ефект називається частотно-селективним завмиранням. OFDM сигнал, при поширенні в каналі із завмиранням, матиме значну перевагу перед сигналами з однією несучою, так як характеристики пропускної спроможності каналу за частотою будуть впливати лише на певну частину піднесучих. Отже, замість втрати символу цілком відбудеться втрата лише деякого числа бітів інформації, які при правильному кодуванні можуть бути відновлені. Іншими словами величина

BER (Bit Error Rate) для OFDM сигналу в подібних умовах більше, ніж, наприклад, для QPSK / FDM.

2.2.1 Імітаційне моделювання технології OFDM

Структурна схема приймально-передавальної OFDM-системи, що дозволяє відтворити основні перетворення сигналу, наведена на рисунку 2.5, де пунктиром виділені приймач і передавач.

Потік даних з джерела (блок - «Генератор псевдослучайных данных») надходить на квадратурний модулятор (блок - «QAM-модулятор»), який перетворює цифрову інформацію в амплітудно-модульований сигнал. В OFDM модуляторі відбувається об'єднання N-ної кількості піднесучих в шумоподібний сигнал за допомогою зворотного перетворення Фур'є. Об'єднання паралельних піднесучих в послідовний сигнал (блок - «Паралл./послед. преобразование») відбувається після введення циклічного префікса (блок - «Введение ЦП»), що сприяє зменшенню впливу МСИ.

Проходячи через канал зв'язку сигнал зазнає спотворень, які виникають через шум. До найбільш часто використовуваних при моделюванні каналів зв'язку відноситься канал з адитивний білим гауссовським шумом (АБГШ).

На стороні приймача відбуваються дії зворотні тим, що спостерігаються в передавальній частині системи. Послідовний потік розбивається на паралельні піднесучі, відбувається видалення циклічного префікса, проводиться пряме перетворення Фур'є, і демодуляція вихідного сигналу.

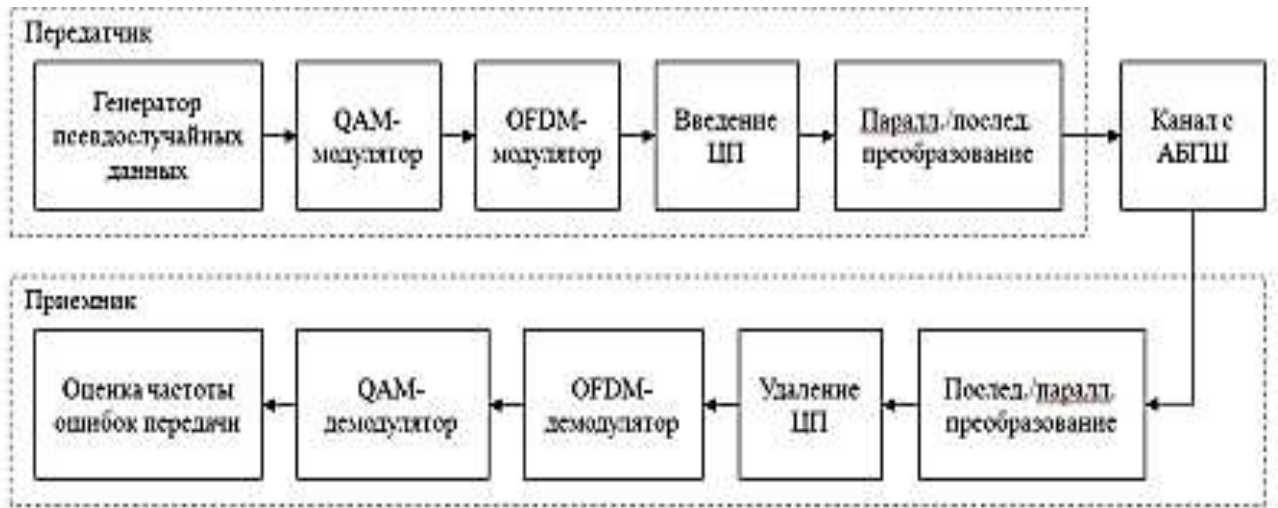


Рисунок 2.5 – Структурна схема приймально-передавальної OFDM-системи

На підставі схеми рис. 2.5 розроблена імітаційна модель в середовищі Simulink МАТЛАБ (рис.2.6).

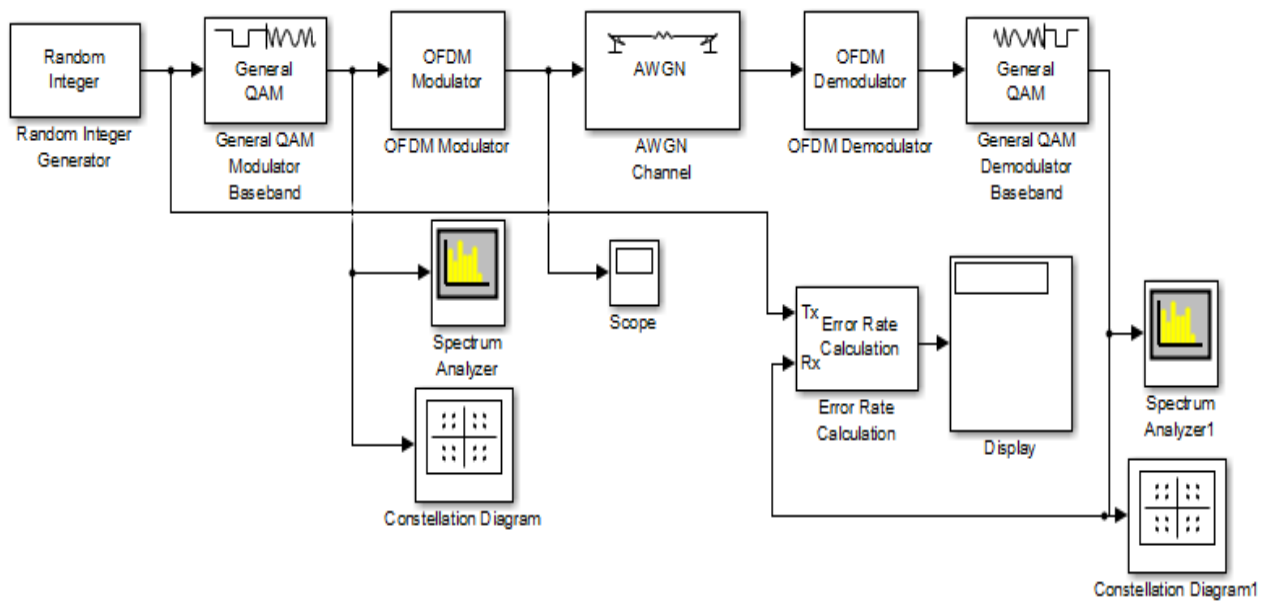


Рисунок 2.6 – Модель приймально-передавальної OFDM-системи

2.2.2 Аналіз впливу впливу перешкод і шумів в каналі зв'язку

Основні параметри моделі OFDM-системи наведені в табл. 2.1

На рис. 2.7 зображений спектр сигналу на виході приймача і сигнальне сузір'я 16-QAM модулятора.

Таблиця 2.1 – Параметри моделі OFDM-системи

Параметр	Единицы измерения	Величина
Длительность моделирования	с	100
Скорость передачи	Кбит/с	16
Количество информационных поднесущих	-	192
Защитный интервал	с	0,0039
Общее число поднесущих	-	256
Вид модуляции	-	M-QAM
E_b/N_0 канала	дБ	[0,100]

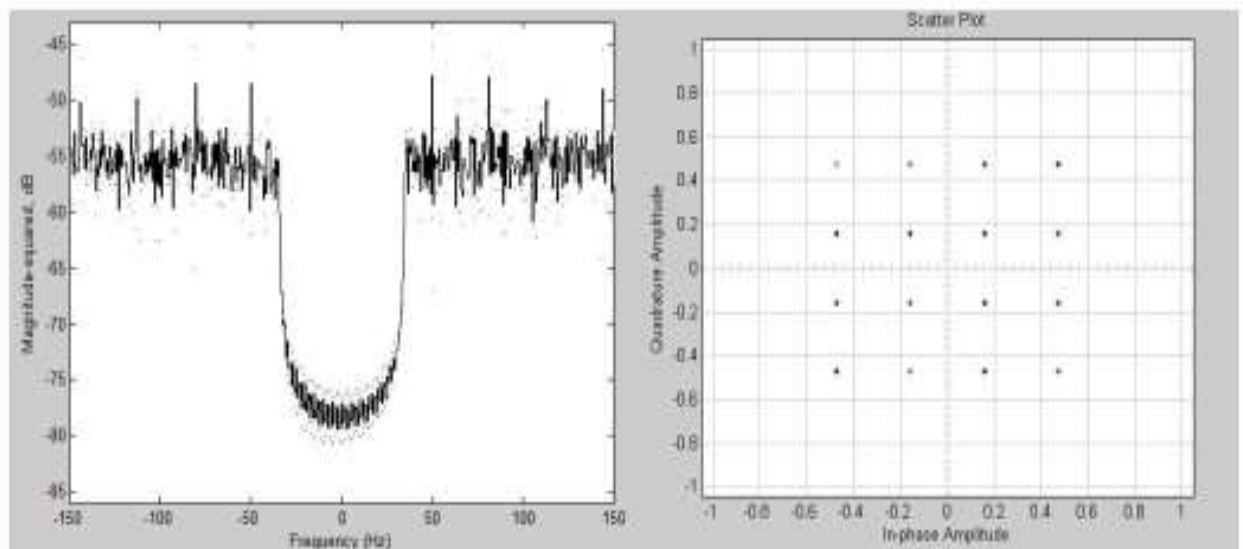


Рисунок 2.7 – Спектр сигналу на виході передавача (ліворуч), сигнальне сузір'я (праворуч)

На рис. 2.8 представлені уявні і речові складові обвідної OFDM сигналу, що має шумоподібну форму.

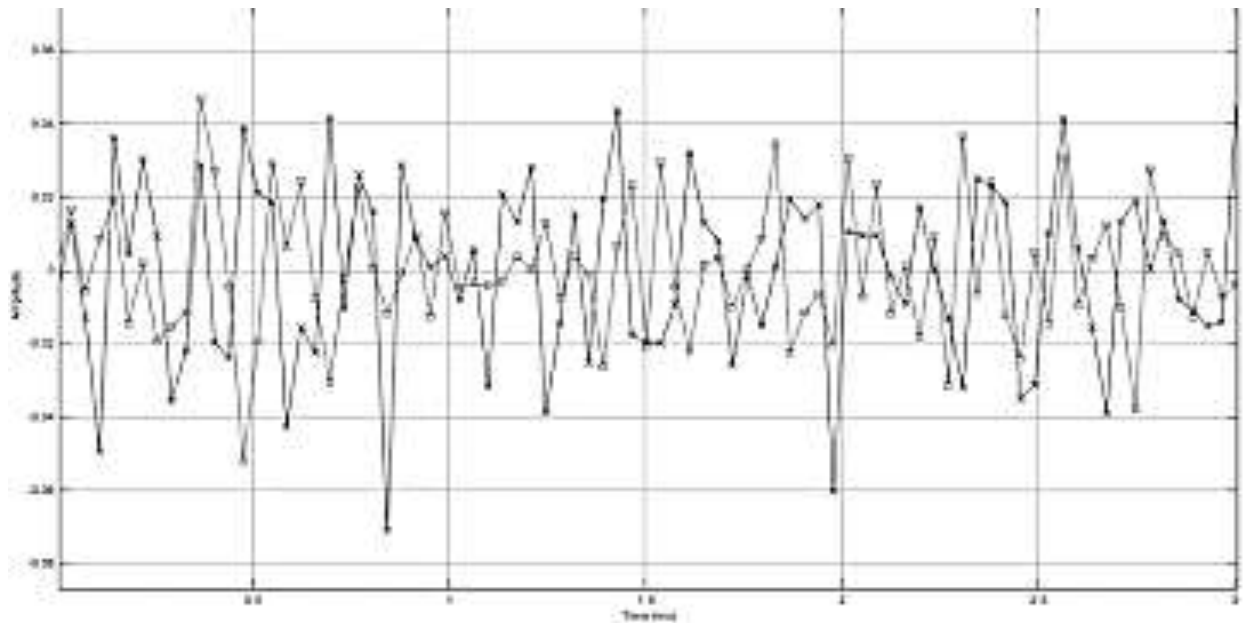


Рисунок 2.8 – Матеріальна (хрест) і уявна (коло) частини OFDM-сигналу

Рисунок 2.9 демонструє які зміни відбуваються зі спектром і сигнальним сузір'ям під впливом шумів в каналі зв'язку.

Імовірність появи помилок в загальному потоці даних BER (Bit Error Rate) розраховується в блоці Error Rate Calculation /

Залежність зміни величини BER від відношення сигнал/шум в каналі для 3 видів модуляції приведена на рис. 2.10.

З рис. 2.10 видно, що при збільшенні числа біт, переданих однією несучою (4, 8, 16) збільшується величина BER, що свідчить про зниження завадостійкості системи. Однак, при цьому збільшується швидкість передачі інформації, так як збільшується кількість біт, що передаються за одиницю часу.

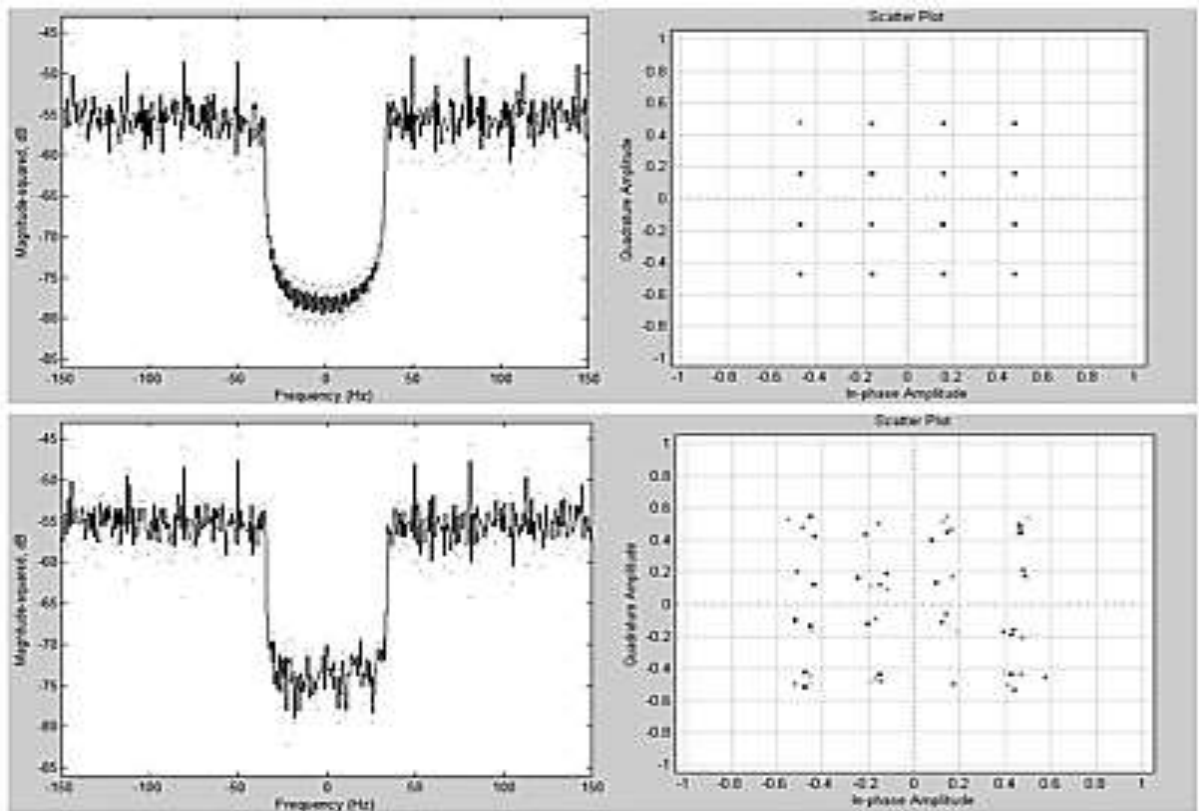


Рисунок 2.9 – Спектри сигналу на виході QAM демодулятора і сигналні сузір'я при SNR = 60 дБ (вгорі) і при SNR = 29дБ (внизу)

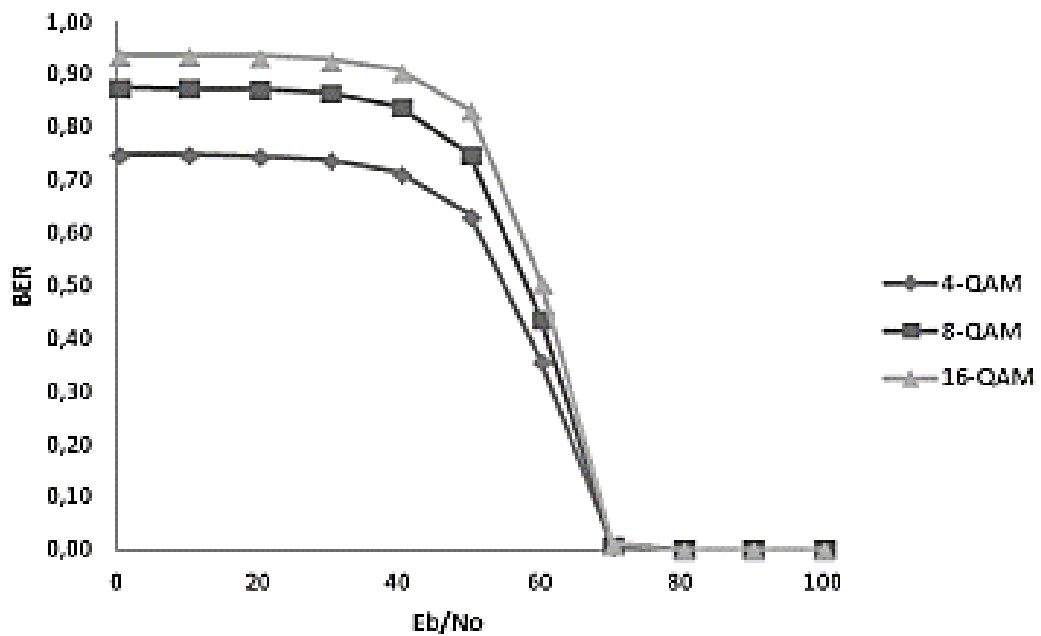


Рисунок 2.10 – Залежність BER від величини E_b/N_0

2.3 Висновки

- 1 У середовищі Simulink МАТЛАБ розроблена імітаційна модель системи цифрового телебачення DVB-T.
- 2 Розроблено структурну схему перетворення сигналів в приймачі.
- 3 Виконано модельний експеримент, який продемонстрував зміну основних характеристик системи під впливом шумів.
- 4 За допомогою імітаційної моделі виконано дослідження технології OFDM.
- 5 Отримано залежності бітової помилки BER від відношення сигнал / шум в каналі зв'язку для 3 видів модуляції: QAM-4, QAM-8, QAM-16.
- 6 Показано, що зі збільшенням числа біт, переданих однією несучою (4, 8, 16), збільшується величина BER, що свідчить про зниження завадостійкості системи. Однак, при цьому збільшується швидкість передачі інформації, так як збільшується кількість біт, що передаються за одиницю часу.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даному дипломному проекті розроблена імітаційна модель приймальної частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM. У економічному розділі розраховуються одноразові капітальні витрати на розробку моделі системи.

3.1.1 Визначення трудомісткості розробки моделі

Трудомісткість створення моделі визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи зі складання технічного завдання й закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного проектувальника):

$$T = T_{\text{тз}} + T_{\text{в}} + T_{\text{а}} + T_{\text{пр}} + T_{\text{опр}} + T_{\text{д}} \quad (3.1)$$

де $T_{\text{тз}}$ – тривалість складання технічного завдання на впровадження методу;
 $T_{\text{в}}$ – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

$T_{\text{а}}$ – тривалість розробки моделі;

$T_{\text{пр}}$ – тривалість модулювання віртуального аналога каналу зв'язку;

$T_{\text{опр}}$ – тривалість опрацювання здобутих характеристик;

$T_{\text{д}}$ – тривалість підготовки технічної документації.

Таблиця 3.1 – Тривалість розробки моделі

$T_{\text{тз}}$, ГОД	$T_{\text{в}}$, ГОД	$T_{\text{а}}$, ГОД	$T_{\text{пр}}$, ГОД	$T_{\text{опр}}$, ГОД	$T_{\text{д}}$, ГОД
40	50	65	25	20	30

Розрахуємо трудомісткість створення ПЗ за формулою 3.1 :

$$T = 40 + 50 + 65 + 25 + 20 + 30 = 230 \text{ (год.)}$$

3.1.2 Розрахунок витрат на розробку моделі

Витрати на розробку моделі $K_{пз}$ складаються з витрат на заробітну платню розробника $Z_{зп}$ і вартості витрат машинного часу, що необхідний для опрацювання моделі мережі на ПК $Z_{мч}$:

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мч} \quad (3.2)$$

Заробітна плата виконавця враховує основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальні потреби (пенсійне страхування, страхування на випадок безробіття, соціальне страхування тощо) і визначається за формулою:

$$Z_{зп} = T \cdot T_{год} \quad (3.3)$$

де T – обчислена за формулою (3.1) трудомісткість,

$T_{год}$ – заробітна плата інженера з телекомунікацій за 1 год.

$T_{год}$ дорівнює 90 грн/год.

Розрахуємо заробітну платню проектувальника за формулою (3.3):

$$Z_{зп} = 230 \cdot 90 = 20700,00 \text{ [грн].}$$

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = P_e \cdot t \cdot C_e + \frac{\Phi_{перв} \cdot H_a}{F_p} + \frac{K_{лнз} \cdot H_{анз}}{F_p} \text{ [грн/год]}, \quad (3.4)$$

де P_e – встановлена потужність ПК;

t – трудомісткість створення моделі;

C_e – енерговитрати;

$\Phi_{перв}$ – первісна вартість ПК на початок року;

H_a – річна норма амортизації на ПК;

$K_{лнз}$ – вартість ліцензійного програмного забезпечення;

$H_{анз}$ – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

F_p – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня).

Енерговитрати розраховуються за формулою:

$$C_e = P_e \cdot C_{кВт} \text{ [грн/год]}, \quad (3.5)$$

де $C_{кВт}$ - тариф на електричну енергію.

Розрахунок витрат на розробку моделі вносимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат на розробку моделі

P_e , кВт	$C_{кВт}$ кВ т·год	$\Phi_{перв}$, грн	H_a , частка одиниці	$K_{лнз}$, грн	$H_{анз}$, частка одиниці	F_p , год
1,32	1,60	19400,00	0,2	8230,00	0,2	1920,00

Тоді за формулою (3.5) отримаємо розмір енерговитрат:

$$C_e = 1,32 \cdot 1,60 = 2,11 \text{ [грн/год]}.$$

Річна норма амортизації, якщо використовується метод прискорення зменшеної вартості, визначається за формулою:

$$H_a = (1/T) \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

де T – строк корисного використання ПК, дорівнює 5 років.

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.6):

$$H_a = (1/5) \cdot 100\% = 20\% = 0.20[\text{частки одиниці}].$$

Строк корисного використання ліцензійного програмування дорівнює 5 років.

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.6):

$$H_{\text{апз}} = (1/5) \cdot 100\% = 20\% = 0.20[\text{частки одиниці}].$$

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 7 Professional. Його вартість 8230 грн.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначаються за формулою (3.4):

$$C_{\text{мч}} = 1,32 \cdot 230 \cdot 1,60 + (19400 \cdot 0,2/1920) + (8230 \cdot 0,2/1920) = 488,64[\text{грн./год}]$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.7):

$$Z_{\text{мч}} = (T_a + T_{\text{пр}} + T_{\text{опр}} + T_d) \cdot C_{\text{мч}} \quad (3.7)$$

Маємо:

$$Z_{\text{мч}} = (65 + 25 + 20 + 30) \cdot 491,51 = 68811,40 [\text{грн}].$$

Отже, підставивши отримані результати у формулу (3.2), отримаємо величину витрат на розробку моделі:

$$K_{пз} = 20700,00 + 68811,40 = 89511,40 \text{ [грн]}.$$

3.1.3 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати на розробку визначаються за формулою:

$$KЗ = K_{пз} + K_{навч} + K_n \text{ [грн]} \quad (3.8)$$

де $K_{навч}$ - витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу;

K_n - Витрати на встановлення обладнання та налагодження системи.

Дані о витратах на розробку моделі зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Витрати на розробку моделі

$K_{пз},$ грн	$K_{навч},$ грн	$K_n,$ грн
89511,40	5800,00	1400,00

Отже, капітальні витрати становлять:

$$KЗ = 89511,40 + 5800 + 1400 = 96711,40 \text{ [грн]}.$$

3.2 Висновки

В економічному розділі було розраховано:

- 1 Трудомісткість розробки імітаційної моделі каналу зв'язку – 230 год;
- 2 Заробітня платня проектувальника – 20700,00грн;
- 3 Витрати на розробку моделі – 89511,40 грн;
- 4 Капітальні витрати на розробку моделі системи передачі даних – 96711,40 грн.

ВИСНОВКИ

1 Виконано аналітичний огляд першоджерел з метою обґрунтування вибору технології модуляції, найбільш ефективною для застосування в системі цифрового телебачення DVB-T.

2 Показано, як технологія OFDM допомагає боротися з перешкодами в каналі зв'язку.

3 В середовищі Simulink МАТЛАБ розроблена імітаційна модель системи цифрового телебачення DVB-T.

4 Виконано модельний експеримент, який продемонстрував зміну основних характеристик системи під впливом шумів.

5 Отримано залежності бітової помилки BER від відношення сигнал / шум в каналі зв'язку для 3 видів модуляції: QAM-4, QAM-8, QAM-16.

6 Показано, що зі збільшенням числа біт, переданих однією несучою (4, 8, 16), збільшується величина BER, що свідчить про зниження завадостійкості системи. Однак, при цьому збільшується швидкість передачі інформації, так як збільшується кількість біт, що передаються за одиницю часу.

7 Виконано розрахунок капітальних витрат на розробку імітаційної моделі приймальні частини системи цифрового телебачення DVB-T з OFDM, які склали 96711,40 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Карякин В. Л. Цифровое телевидение : учебное пособие для вузов / В. Л. Карякин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. — 448 с.
- 2 Мамчев Г. В. Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания : учебное пособие для вузов / Г. В. Мамчев. — М. : Горячая линия-Телеком, 2012. — 340 с. : ил.
- 3 Никитин Н. П. Формирование и прием сигналов с цифровой модуляцией : учебное пособие / Н. П. Никитин, В. И. Лузин. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. — 185 с.
- 4 Теория передачи сигналов : учебник для вузов / А. Г. Зюко [и др.]. — М. : Связь, 2010. — 288 с.
- 5 Каневский А. Л. Кабельное телевидение / А. Л. Каневский. — М. : Знание, 2009. — 64 с. (Новое в жизни, науке и технике. Сер. «Радиоэлектроника и связь», № 1).
- 6 Прокис Дж. Цифровая связь : пер. с англ. / Дж. Прокис; под ред. Д. Д. Кловского. — М. : Радио и связь, 2000. — 800 с.
- 7 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б. Скляр. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.
- 8 Феер К. Беспроводная цифровая связь : методы модуляции : пер. с англ. / К. Феер; под. ред. В. И. Журавлёва. — М. : Радио и связь, 2000. — 520 с.
- 9 Радиоэлектронная техника : межвузовский сборник научных трудов / под ред. В. А. Сергеева. — Ульяновск : УлГТУ, 2011. — 269 с.
- 10 Лузин В. И. Основы формирования, передачи и приема цифровой информации : учебное пособие / В. И. Лузин, Н. П. Никитин, В. И.

Гадзиковский; науч. ред. В. И. Гадзиковский. — М. : ООО «СОЛОН-Пресс», 2014. — 316 с.

11 Варгаузин В. А., Цикин И. А. Б. «Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи» - С-П.: «БХВ-Петербург». – 2013. 347 с.

12 Langton C. Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Intuitive Guide to Principles of Communication. Tutorial 22. – 2013. 22 pages. URL: <http://complextoreal.com/wp-content/uploads/2013/01/ofdm2.pdf>.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломного проекту

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат		
2	A4	Список умовних скорочень		
	A4	Зміст		
4	A4	Вступ		
5	A4	Стан питання. Постановка задачі		
6	A4	Спеціальна частина		
7	A4	Економічний розділ		
8	A4	Висновки		
9	A4	Перелік посилань		
10	A4	Додаток А		
11	A4	Додаток Б		
12	A4	Додаток В		
12		Матеріали дипломного проекту на оптичному носії		Оптичний диск

ДОДАТОК Б. Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу

(підпис)

Романюк Н.М.

(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В Відгук керівника дипломної роботи
ВІДГУК
на дипломний проект

Студента(ки) _____ гр.

(прізвище, ім'я)

на тему:

Актуальність теми

Повнота розкриття теми

Теоретичний рівень

Практична значущість

Самостійність виконання роботи

Якість оформлення, загальна та спеціальна грамотність

Переваги та недоліки роботи

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ДЕК

Науковий керівник

к.ф.-м.н., професор

(посада)

(підпис)

Гусєв О.Ю.

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.