

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

Бакалаврська дипломна робота на тему:

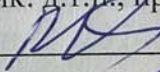
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦИФРОВОЇ
МОДУЛЯЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка



Полічковський Р.В.

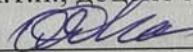
Керівник: д.т.н., професор каф. ІКСТ



Кичак В. М.

« 11 » 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ІРТС

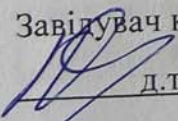


Осадчук Я.О.

« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ



д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 11 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«06» 05 2024 року



З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Полічковському Руслану Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LABVIEW

керівник роботи Кичак Василь Мартинович, док. техн. наук, професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «11» березня 2024 року № 80

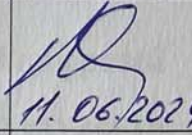
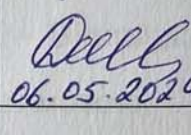
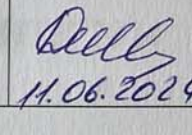
2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: тип модуляції для дослідження – DQPSK, OQPSK, QAM; режим зв'язку – дуплексний; середовище моделювання – LABVIEW; точність визначення параметрів – стандартно, швидкість передачі даних – 20 Мбіт/с, затримка передачі даних – 5 мс, частота носійної – 5 ГГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз особливостей цифрових видів модуляції, дослідження параметрів та властивостей цифрових методів модуляції, комп'ютерне моделювання цифрових видів модуляції у середовищі LABVIEW.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема модулятора та демодулятор QAM сигналів, симуляційна схема DQPSK, результати моделювання сигналу DQPSK на вході приймача, результат моделювання залежності бітової помилки від співвідношення сигнальної енергії до шумової потужності при передачі та на прийомі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В.М., професор кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	Дембіцька С.В. проф. каф. БЖДПБ	 06.05.2024	 11.06.2024

7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент


(підпис)

Полічковський Р.В.

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Полічковський Р.В. Моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LABVIEW – бакалаврська дипломна робота студента спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка – Вінниця: ВНТУ 2024 р. 75 стор., 30 – рис., 3 – табл., 35 – бібл. – українською мовою.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження параметрів та властивостей, аналізу методів цифрових видів модуляції у середовищі LabVIEW.

У роботі розглядаються основні типи цифрових модуляцій, такі як амплітудна (ASK), частотна (FSK) та фазова (PSK) модуляції.

У ході виконання роботи були розроблені моделі різних видів цифрових модуляцій, що дозволяють візуалізувати та аналізувати сигнали на різних етапах модуляції та демодуляції. Застосування середовища LabVIEW дозволило створити інтерактивні віртуальні прилади для аналізу спектральних характеристик сигналів, їх амплітудно-частотних та фазових властивостей.

Дослідження включає вивчення впливу шумів та інших зовнішніх факторів на якість передавання сигналу. Проведено порівняльний аналіз ефективності різних методів модуляції в умовах реальних комунікаційних систем.

Отримані результати можуть бути використані як базова основа для подальших досліджень та удосконалення систем цифрової модуляції.

Ключові слова: цифрова модуляція, LabVIEW, амплітудна модуляція (ASK), частотна модуляція (FSK), фазова модуляція (PSK), моделювання, аналіз сигналів.

ANNOTATION

Polichkovskyi R.V. Modeling and Investigation of Digital Modulation Properties in the LabVIEW Environment - Bachelor's thesis of a student of specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering - Vinnytsia: VNTU 2024. 75 pages, 30 figures, 3 tables, 35 references - in Ukrainian.

The aim of this qualification work is to study the parameters and properties, and to analyze the methods of digital modulation types in the LabVIEW environment. The work considers the main types of digital modulation, such as Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), and Phase Shift Keying (PSK).

During the course of the work, models of various types of digital modulation were developed, allowing for visualization and analysis of signals at different stages of modulation and demodulation. The application of the LabVIEW environment facilitated the creation of interactive virtual instruments for analyzing the spectral characteristics of signals, as well as their amplitude-frequency and phase properties.

The research includes examining the impact of noise and other external factors on the quality of signal transmission. A comparative analysis of the efficiency of different modulation methods in real communication system conditions was conducted.

The obtained results can be used as a foundational basis for further research and the improvement of digital modulation systems.

Keywords: digital modulation, LabVIEW, Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK), modeling, signal analysis.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ	11
1.1 Загальна характеристика цифрових видів модуляції	11
1.2 Аналіз методів графічного представлення модульованих сигналів	14
1.2.1 Полярні діаграми	14
1.2.2 Квадратурні діаграми.....	16
1.3 Висновки до розділу	19
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЙ	20
2.1 Дослідження основних параметрів та особливостей модуляції DQPSK.....	20
2.2 Дослідження особливостей модуляції OQPSK	23
2.3 Дослідження характеристик квадратурної амплітудної модуляції QAM.....	27
2.3.1 Спектральні та енергетичні характеристики модуляції QAM.....	27
2.3.2 Розробка структури модулятора та демодулятора QAM сигналу	30
2.4 Висновки до розділу	33
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВИХ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW	34
3.1 Обґрунтування вибору середовища моделювання цифрових методів модуляції	34
3.2 Моделювання DQPSK модуляції у середовищі LabView	36
3.3 Чотирьохпозиційна фазова модуляція зі зсувом квадратур (OQPSK)	41
3.4 Моделювання багатопозиційної квадратурної амплітудної модуляції QAM	46
3.5 Висновки до розділу	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	52
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	55
4.2.1 Мікроклімат	55
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	56
4.2.3 Виробниче освітлення	57
4.2.4 Виробничий шум.....	58
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	59
4.3 Пожежна безпека.....	60
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	61
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	61
4.4 Висновки до розділу	63
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	70
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	75

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

АМ – амплітудна маніпуляція

КЗ – канал зв'язку

МПД – Мережа передачі даних

ПЗ – програмне забезпечення

СФ – смуговий фільтр

ФД – фазовий детектор

ФМ – фазова маніпуляція

ФНЧ – Фільтр низьких частот

ФЧХ – фазо-частотна характеристика

ASK (amplitude shift keying) – амплітудна маніпуляція

DQPSK - Differential Quadrature Phase Shift Keying

FSK (Frequency Shift Keying) – Частотна маніпуляція

IoT (Internet of Things) – технологія Інтернет речей

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiple) – ортогональне частотне розділення каналів

OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) - ортогональне частотне розділення каналів з множинним доступом

OQPSK - Offset Quadrature Phase Shift Keying

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – Квадратурно-амплітудна модуляція

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) – квадратурно-фазова модуляція

PSK (Phase-Shift Keying) – фазова модуляція

ВСТУП

Актуальність. Дослідження параметрів цифрових методів модуляції в сучасному світі має велике значення, оскільки воно становить основу для розвитку різних технологій, таких як телекомунікації, мобільний зв'язок, бездротові та провідні мережі, супутниковий зв'язок, Internet of Things (IoT), радіоідентифікація (RFID) та інші [1].

Однією з головних причин, чому це дослідження є настільки актуальним, є постійне зростання обсягів комунікаційних систем та потреба в їх ефективній роботі. Швидкість, ефективність та надійність передачі даних стають все важливішими в сучасному світі, і вивчення параметрів модуляції дозволяє оптимізувати ці характеристики, зменшуючи спотворення та забезпечуючи кращу міжсистемну сумісність [2].

Помітно збільшується і потреба в забезпеченні безпеки та конфіденційності комунікаційних систем. Зміна параметрів модуляції може впливати на захист від перехоплення та несанкціонованого доступу, тому вивчення цих параметрів стає критичним.

Дослідження параметрів цифрових методів модуляції також необхідне для розвитку нових технологій, таких як 5G та майбутніх мобільних мереж, що мають високі вимоги до ефективності та пропускну здатності [3].

З розвитком Internet of Things (IoT) та зростанням кількості підключених пристроїв виникають нові виклики щодо керування спектром та енергоефективності. Дослідження параметрів модуляції допомагає вирішити ці проблеми та покращує якість комунікацій для різних пристроїв IoT. Саме тому, дослідження параметрів цифрових методів модуляції є критичним для подальшого розвитку галузі [4].

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі цифрових методів модуляції відображають новаторські підходи до оптимізації та розвитку комунікаційних систем. Деякі з основних напрямків досліджень включають:

1. Розвиток нових стандартів мереж. Одним з головних об'єктів досліджень є розробка методів модуляції, які відповідають вимогам NGN-мереж щодо високої пропускної здатності, зменшення затримок та підвищеної надійності. Дослідження зосереджені на ефективних методах мультиплексування, таких як OFDM та OFDMA, а також на нових підходах, які використовують адаптивність параметрів модуляції [2].

2. Енергоефективність та ресурсощадність. Одним з головних аспектів є робота над методами, спрямованими на зниження витрат енергії та оптимізацію використання радіочастотного спектру. Зусилля у цьому напрямку спрямовані на створення методів управління потужністю сигналів, а також алгоритмів модуляції, що гарантують найефективніше використання наявних ресурсів.

3. Безпека та конфіденційність. Через зростання загроз кібербезпеки, велика кількість досліджень також спрямовується на розвиток методів захисту від перехоплення та несанкціонованого доступу до інформації. Вивчення нових методів шифрування, а також розробка стійких до атак алгоритмів модуляції стають все більш пріоритетними завданнями у цьому напрямку [1].

4. Промислові та IoT застосування. Останні дослідження активно досліджують методи модуляції, що відповідають вимогам промислових та IoT систем, включаючи довготривалу надійність, енергоефективність та високу проникність сигналу [2].

Описані напрямки досліджень спрямовані на розвиток більш ефективних, надійних та безпечних комунікаційних систем, які відповідають потребам сучасного цифрового світу.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження параметрів та властивостей цифрових видів модуляції у середовищі LabView.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати *такі задачі*:

- обґрунтувати вибір програмно-інструментального середовища для моделювання;
- провести ґрунтовне дослідження параметрів та властивостей основних видів цифрових модуляцій;
- виконати комп'ютерне моделювання цифрових видів модуляції у обраному програмному середовищі.

Об'єктом дослідження є цифрові методи модуляції.

Предметом дослідження є властивості та параметри цифрових методів модуляції та їх вплив на комунікаційних системах.

Методи досліджень Методи дослідження цифрових видів модуляції базуються на теоріях інформації, сигналів та систем, ймовірності та статистики, а також теорії комунікацій, що допомагають аналізувати та оптимізувати ефективність та надійність передачі даних через цифрові канали зв'язку.

Практичне значення дослідження полягає покращенні можливостей розробки та вдосконалення комунікаційних систем, забезпечуючи їхню ефективність та надійність у різних галузях забезпечуючи конкурентні переваги на ринку завдяки покращенню якості та ефективності комунікацій.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на ЛІІІ науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2024 році.

Публікації результатів бакалаврської дипломної роботи. Основні положення кваліфікаційної роботи висвітлено у 2-х тезах науково-технічних конференцій.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ

1.1 Загальна характеристика цифрових видів модуляції

Цифрова модуляція - це процес нанесення цифрового символу на сигнал, придатний для передачі. Для передачі на короткі відстані зазвичай використовується базова модуляція. Базова модуляція часто називається лінійним кодуванням. Послідовність цифрових символів використовується для створення прямокутної форми імпульсу з певними характеристиками, які представляють кожен тип символу без двозначності, щоб їх можна було відновити при отриманні [1].

Застосування цифрових видів модуляції в сучасних технологіях може бути розглянуте в різних аспектах:

1. Мобільний зв'язок. У сучасних мобільних мережах, таких як 4G LTE і 5G, цифрова модуляція використовується для передачі даних між мобільними телефонами та базовими станціями. Різні види модуляції, такі як QPSK, 16-QAM і 64-QAM, дозволяють передавати дані з різними швидкостями та ефективно використовувати радіочастотний спектр.

2. Бездротова мережа (Wi-Fi). У бездротових мережах стандарту Wi-Fi також використовуються різні види цифрової модуляції для передачі даних між пристроями. Наприклад, 16-QAM і 64-QAM дозволяють досягти високої швидкості передачі даних у бездротових локальних мережах.

3. Цифрове телебачення і радіомовлення. У цифровому телебаченні і радіомовленні використовуються цифрові види модуляції, такі як QPSK і COFDM, для передачі великої кількості каналів на одній радіочастоті. Це дозволяє отримати високоякісний сигнал та забезпечити широкий вибір каналів для глядачів і слухачів.

4. Супутниковий зв'язок. У супутниковому зв'язку цифрові види модуляції застосовуються для передачі сигналів між супутниками та земною станцією. Це дозволяє отримати широкосмуговий доступ до інформації у віддалених районах та забезпечити стійкий сигнал [1].

Цифрові види модуляції застосовуються і в інших областях, таких як радіозв'язок, медична техніка, аудіо та відео зв'язок, де важлива ефективна передача даних через різноманітні канали зв'язку.

Властивості цифрового сигналу не дозволяють його передавати безпосередньо через канал зв'язку у «первинному частотному діапазоні» через надто велику швидкість передачі, яка оцінюється у сотнях Мбіт/с. Тому сигнал, призначений для передачі через такі мережі, має бути чітко налаштований у системі організації частотних каналів.

Також слід мати на увазі, що передаваний сигнал має зосереджуватися енергетично в певній обмеженій області спектра. Зазвичай носійною (модульованою) частотою є гармонійний сигнал. Змінними параметрами у цьому випадку можуть бути його амплітуда, частота та фаза. Якщо модулюючий сигнал має цифровий характер і змінюється дискретно, приймаючи фіксовані значення, то поняття «модуляція» іноді замінюється поняттям «маніпуляція».

Сигнал, що передається, у результаті модуляції можна подати у такій формі:

$$U(t) = A \cos[2\pi \cdot \omega \cdot t + \theta], \quad (1.1)$$

де A – амплітуда, ω – частота, θ – фаза.

У цифрових системах можуть застосовуватися такі види модуляції: амплітудна модуляція (АМ), що також відома як ASK (Amplitude Shift Keying); частотна модуляція (ЧМ), що іноді позначається як FSK (Frequency Shift Keying); та фазова модуляція (ФМ), відома також як PSK (Phase Shift Keying).

На рис. 1.1 наведено принцип роботи кожного з використовуваних типів модуляції для двопозиційного модульованого сигналу, тобто в тих випадках, коли кожен стан сигналу кодує один біт інформації. Також на рисунку показані графіки, що пояснюють динаміку зміни сигналу з плином часу.

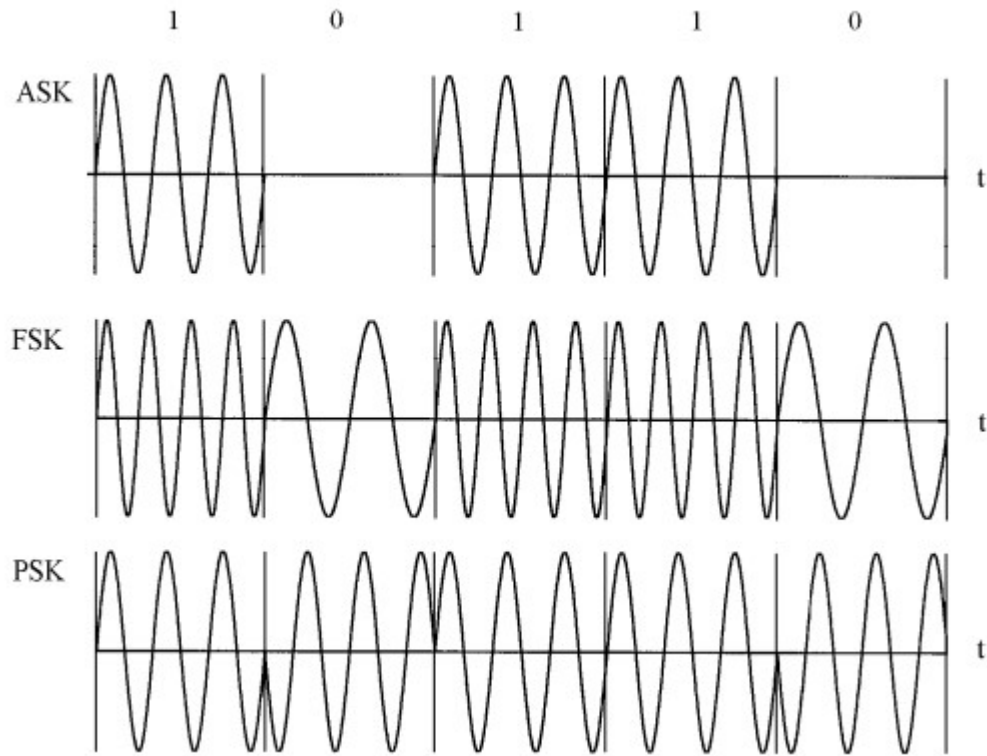


Рисунок 1.1 - Види модуляції для двопозиційного модулюючого сигналу

Збільшення числа станів, які може приймати сигнал під час передачі одного символу, підвищує ефективність використання частотного спектру. Якщо модулюючим сигналом є сигнал, в якому кожен символ передається не двома, а більшою кількістю можливих значень, то обсяг інформації, яка передається з кожним символом, зростає. Такі значення зазвичай обираються як 4, 16, 32, 64, 128 тощо, тобто у вигляді послідовності 2^n , де n - кількість можливих станів передаваного або модулюючого сигналу під час передачі одного символу [2].

Ефективність оцінюється за допомогою величини, яка вимірюється у бітах на секунду на один герц (біт/с/Гц). Ця одиниця виміру вказує на швидкість потоку, що припадає на одиницю частоти.

Отже, можемо зробити висновок, що чим більше інформації можна передати одним символом, тим більше можливих станів може прийняти параметр модульованого сигналу під час модуляції, що зазвичай називають багатопозиційними видами модуляції. Це підвищує ефективність використання частотного спектру, але може ускладнити демодуляцію сигналу в умовах перешкод через зниження відмінностей між різними станами сигналу.

Таким чином, вибір параметрів модуляції частоти пов'язаний з пошуком компромісу між ефективністю передачі і стійкістю до шуму [3].

1.2 Аналіз методів графічного представлення модульованих цифрових сигналів

Для аналізу характеристик модульованих сигналів зручно використовувати їх відображення у вигляді сигнальних сузір'їв на полярних і квадратурних діаграмах.

Наприклад, у відомих системах цифрового телебачення використовується багаторівнева амплітудна модуляція з частково подавленою нижньою бічною смугою (8-, 16-VSB), чотирьохпозиційна квадратурна фазова модуляція (QPSK) і квадратурна амплітудно-фазова модуляція (16-, 64-, 256-QAM).

1.2.1 Полярні діаграми

Полярні діаграми є найпростішим способом візуалізації амплітудно-фазових зв'язків модульованого сигналу. Під час створення полярної діаграми носійна функціонує як опорний пункт, відносно якого вимірюються кутовий зсув фази та зміна амплітуди модульованого сигналу. Модуль вектора, що

виходить з центру кола (початку координат), вказує на відносний рівень елементарного сигналу, а кут між вектором та початковим радіусом показує поточний фазовий зсув. Математично цей процес можна виразити за стандартним записом модульованого сигналу [4]:

$$U(t) = A \cos(\omega \cdot t + \theta) = A \operatorname{Re} e^{j\omega t} e^{j\theta}. \quad (1.2)$$

Подання сигналу $u(t)$ на полярній діаграмі відповідає його стану у часі, коли лише амплітуда сигналу A та початковий фазовий зсув θ залишаються сталі. Експоненційна форма запису сигналу дозволяє виділити множники, які характеризують частоту носійної $e^{j\omega t}$ та її фазу $e^{j\theta}$. При побудові полярної діаграми частотний множник виключається, залишається лише фазовий [5].

На рис. 1.2 показані характерні зміни важливих параметрів для амплітудної, фазової та амплітудно-фазової модуляцій на полярних діаграмах.

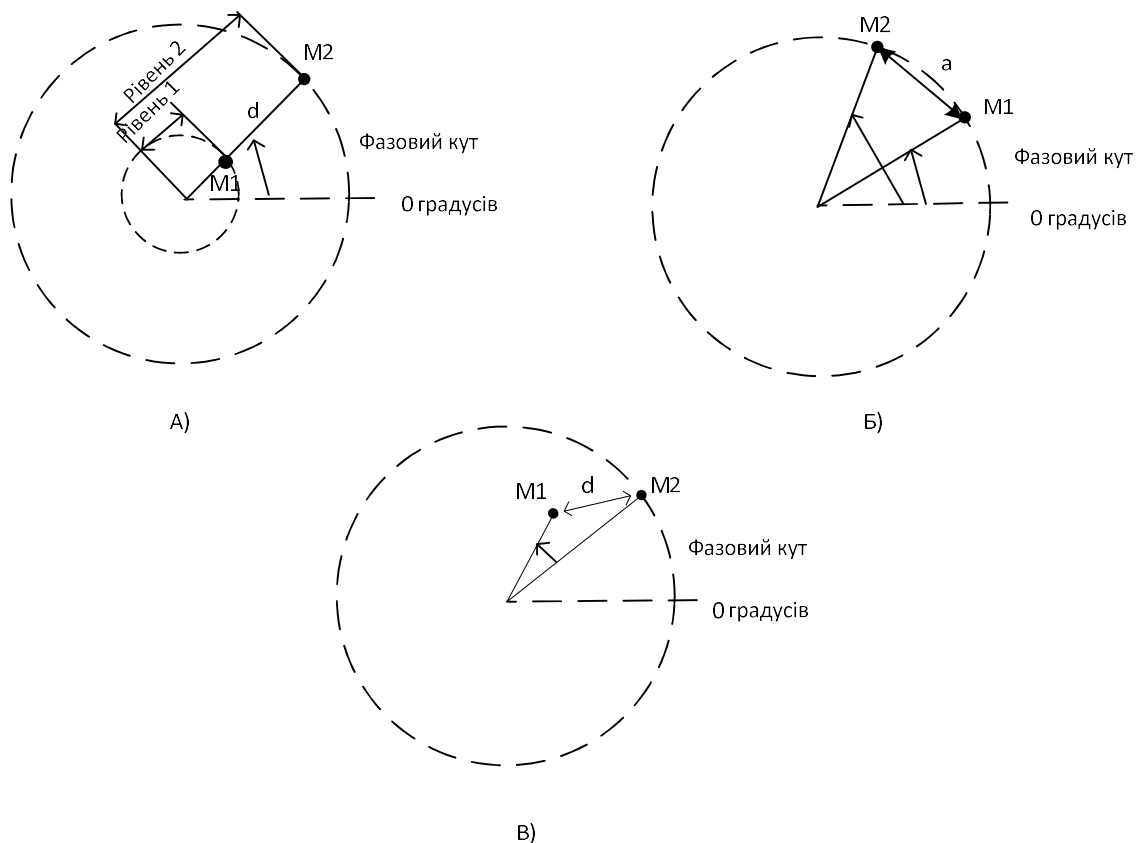


Рисунок 1.2 - Полярні діаграми для амплітудної (а), фазової (б) та амплітудно-фазової (в) модуляцій

У чистій амплітудній модуляції перехід між значущими позиціями (M1 і M2) відбувається по прямій лінії (найкоротшому шляху) між ними, тоді як у чистій фазовій модуляції цей перехід відбувається по дузі кола. Відповідно, змінюється або рівень, або фазовий зсув модульованого сигналу.

У випадку виникнення паразитної модуляції іншого виду, перехід буде характеризуватися певною кривою лінією. При комбінованій амплітудно-фазовій модуляції перехід відбувається по прямій лінії, яка з'єднує точки з різними фазовими кутами.

1.2.2 Квадратурні діаграми

Модулятори для цифрових систем передачі зазвичай будуються за квадратурною схемою. У таких модуляторах вихідний сигнал формується шляхом сумування двох різних модульованих сигналів, носійні яких мають між собою фазовий зсув на 90° . Вхідні сигнали квадратурного модулятора позначаються як I та Q: I (синфазний) відноситься до каналу, де початковий фазовий зсув носійної є рівним 0° ; Q – до каналу, де носійна зсунута на 90° [6].

Для ефективного відображення простору сигналів, що виходять з квадратурного модулятора, полярні діаграми перетворюються у прямокутну систему координат.

На горизонтальній осі I відображається рівень сигналу у синфазному каналі, а на вертикальній осі Q – рівень сигналу у квадратурному каналі. Різні компоненти полярної діаграми залишаються, але вісь I представляє нульовий фазовий зсув, а вісь Q - зсув на 90° . Проекції вектора сигналу на вісі I та Q розглядаються як його квадратурні компоненти [4].

На рис 1.3 наведено приклад переходу від полярної діаграми до прямокутної.

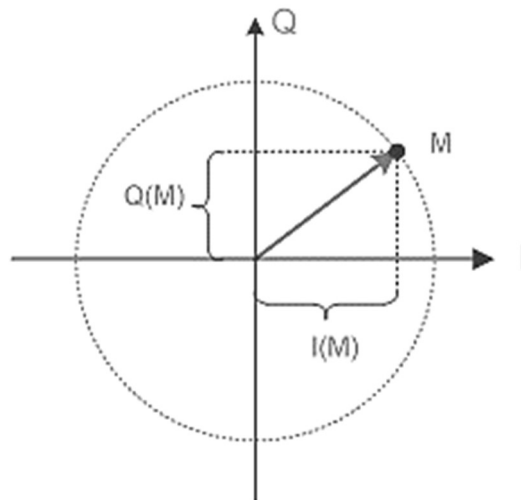


Рисунок 1.3 – Перехід з полярної діаграми у квадратурну

На рис. 1.4 представлені повні квадратурні діаграми для 4-PSK і 8-PSK модуляцій.

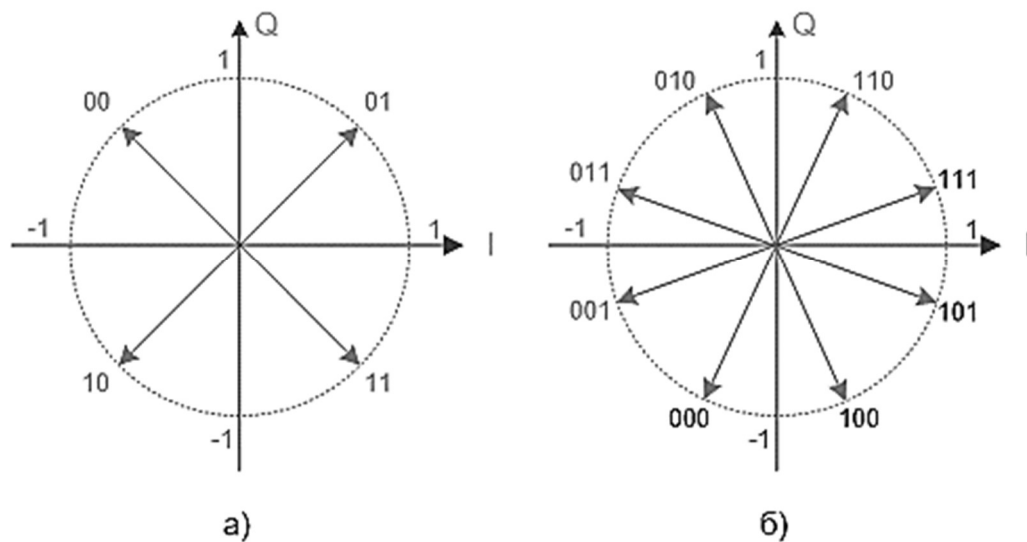


Рисунок 1.4 - Повні квадратурні діаграми 4-PSK (а) та 8-PSK(б) модуляцій

Для спрощення квадратурної діаграми, особливо при представленні сигналів сучасних багатопозиційних видів модуляції, зазвичай використовують лише кінцеві точки векторів, що виходять з початку

координат, пропускаючи самі вектори. Осі I та Q також часто не зображуються, але припускається, що вони проходять через центр симетрії фігури.

Сукупність модульованих сигналів, зображених на квадратурній діаграмі у вигляді точок, називається сигнальним сузір'ям, а самі сигнали — точками сузір'я. Форма сигнального сузір'я відповідає виду модуляції, а відстані між точками сузір'я характеризують стійкість до перешкод при прийомі сигналу. Щоб позначити точки сузір'я, поряд з ними вказують значення бітів модулюючих сигналів, які генерують даний модульований сигнал із конкретними значеннями фази та амплітуди [5].

На рис. 1.5 показано декілька простих сузір'їв: одновимірних для амплітудної модуляції (AM) і двовимірних для фазової модуляції (PSK).

У класичній AM з пасивною паузою, коли стан 1 відповідає носійній, а стан 0 — її відсутності, сузір'я має асиметричний вигляд. При однополярному багаторівневому модулюючому сигналі, сузір'я AM відображається як ряд точок на одній вісі I [5].

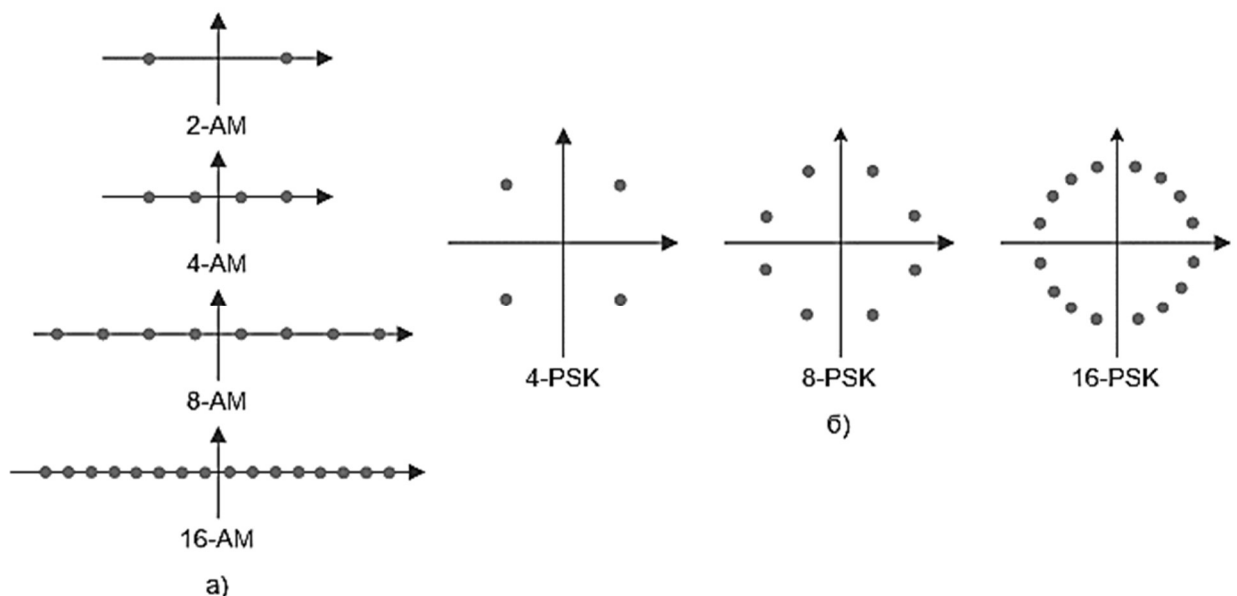


Рисунок 1.5 – Сигнальні сузір'я для амплітудної (а) та фазової (б) модуляцій.

У класичній фазовій модуляції, змінюється лише фаза сигналу, не торкаючись його амплітуди. Сузір'я PSK відображається відповідно до кількості модуляційних точок на колі, незалежно від кратності модуляції. Двійкова фазова модуляція має такий самий одновимірний вигляд, як і двійкова АМ з біполярним модулюючим сигналом.

Іноді полярні та квадратурні діаграми відображаються у вигляді діаграм станів, які показують можливі шляхи переходу між точками сузір'я стрілками. Нульовий рівень носійної відповідає центру квадратурної діаграми. Перехід з однієї точки сузір'я в іншу через початок координат означає значну зміну обвідної модульованої носійної частоти, що проходить через нуль.

1.3 Висновки до розділу

Було проведено дослідження загальних характеристик цифрових видів модуляції (амплітудної, частотної та фазової). Описано основні концепції та принципи функціонування цих видів модуляції, а також їхній вплив на якість передачі сигналу в цифрових системах зв'язку.

Крім того, у дослідженні було розглянуто різні методи візуалізації модульованих сигналів. Особливу увагу приділено полярним та квадратурним діаграмам, які є основними інструментами для представлення таких сигналів. Полярна діаграма відображає амплітуду та фазу сигналу, що дозволяє зрозуміти його структуру та характеристики. У свою чергу, квадратурна діаграма дозволяє відслідковувати рівні сигналу у синфазному та квадратурному каналах, що є важливим для аналізу та налагодження роботи систем зв'язку.

В результаті дослідження було обґрунтовано, що полярні та квадратурні діаграми є незамінними інструментами для аналізу цифрових сигналів у системах зв'язку, оскільки вони дозволяють ефективно візуалізувати та розуміти характеристики модульованих сигналів і впливати на їхню якість передачі.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЙ

2.1 Дослідження основних параметрів та особливостей модуляції DQPSK

Диференційна квадратурна фазова маніпуляція (DQPSK) - це спосіб модуляції, при якому носійна може приймати одну з чотирьох можливих фаз, які відповідають зміні фази або символу, представленому двома бітами. Комбінації бітів можуть бути 00, 01, 11 або 10.

Отже, кожен символ може представляти два біти одночасно. При переході від одного двобітового символу до іншого початкова фаза радіосигналу змінюється на $\Delta\phi$ [7].

Діаграма переходів станів для цього методу показана на рис. 2.1.

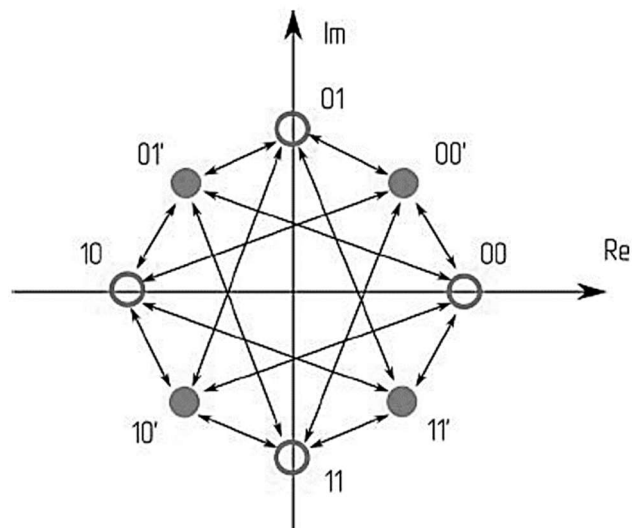


Рисунок 2.1 – Фазова діаграма, що модуляції DQPSK

Отже, як видно з рис. 2.1 кожна з чотирьох бітових комбінацій відповідає певній зміні фази сигналу, що показано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Закон зміни фази в модуляції DQPSK

Кодова послідовність	Зміна фази $\Delta\varphi_k = \Delta\varphi_k(x_k y_k)$
11	$-3\pi/4$
01	$3\pi/4$
00	$\pi/4$
10	$-\pi/4$

Оптимальний модулятор DQPSK представлений на рис. 2.2.

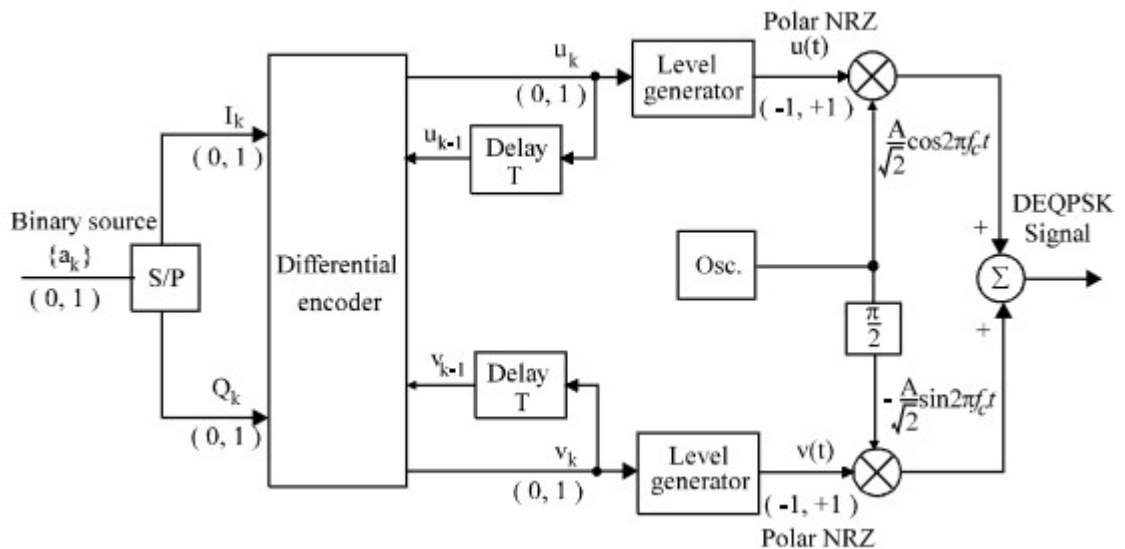


Рисунок 2.2 – Схема модулятора DQPSK

Модулятор DQPSK приймає на вхід два біти, а компоненти, розроблені в цій роботі, включають в себе вибір фази, кодер диференційного сигналу, сигнали інфази та квадратурної фази (I та Q) та фільтр формування імпульсів $gT(t)$ [7].

Принцип формування кодових послідовностей наступний:

$$u_k = (I_k \oplus Q_k)(I_k \oplus u_{k-1}) + (I_k \oplus Q_k)(Q_k \oplus v_{k-1}); \quad (2.1)$$

$$v_k = (I_k \oplus Q_k)(Q_k \oplus u_{k-1}) + (I_k \oplus Q_k)(I_k \oplus v_{k-1}); \quad (2.2)$$

де $\oplus$ – позначає операцію ВИКЛЮЧНОГО АБО; $I_k \in (0, 1)$ та $Q_k \in (0, 1)$ – це непарні та парні початкові біти інформації; $u_k \in (0, 1)$ та $v_k \in (0, 1)$ – закодовані біти каналу I та каналу Q відповідно.

Дані пари використовуються для отримання пари (u_k, v_k) , яка використовується для керування абсолютною фазою носійної хвилі.

Результатом є сигнал QPSK для (u_k, v_k) , але у нашому випадку для це сигнал DQPSK для $(I_k$ та $Q_k)$. Тому модулятор є аналогічним QPSK, за винятком того, що в кожен канал потрібно включити два диференціальних кодера [8].

Оптимальний демодулятор DQPSK представлений на рис. 2.3. Ймовірність помилок в символах задається виразом (2.3):

$$P_b \approx Q\left(\sqrt{\frac{4E_b}{N_0} \sin \frac{\pi}{4\sqrt{2}}}\right) \quad (2.3)$$

Цей параметр зазвичай на 2-3 дБ гірше, ніж для когерентної QPSK. З іншого боку, ймовірність помилки біту для DQPSK може бути оцінена наступним чином:

$$P_b = e^{-2\gamma b} (\sqrt{2} - 1)^k \cdot I_k(\sqrt{2\gamma b}) - \frac{1}{2} I_0(\sqrt{2\gamma b}) e^{-2\gamma b}. \quad (2.4)$$

де $\gamma b = E_b / N_0$; $I_\alpha(x)$ – α -а модифікована функція Бесселя першого роду, яку можна представити у вигляді нескінченного ряду [8]:

$$I_\alpha(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{\alpha+2k}}{k! \Gamma(\alpha+k+1)}, \quad x \geq 0. \quad (2.5)$$

Гамма-функція $\Gamma(p)$ модуляції може бути виражена через інтеграл від випадкової величини, що враховує фазові зміни між символами.

У даному випадку гамма-функція $\Gamma(p)$ може бути розрахована наступним чином:

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} t^{p-1} e^{-t} dt, p > 0 \quad (2.6)$$

Ця функція допомагає в оцінці ймовірності помилки бітів та в дизайні систем зв'язку з використанням DQPSK.

2.2 Дослідження особливостей модуляції OQPSK

На відміну від класичної QPSK, де фазові зміни відбуваються на момент початку кожного символу, в OQPSK фазові зміни відбуваються в середині символу, що дозволяє зменшити рівень перекриття між символами. Сигнал на виході OQPSK модулятора, може бути представлений наступним виразом [11].:

$$s(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{A}{\sqrt{2}} Q(t - \frac{T}{2}) \sin 2\pi f_c t. \quad (2.7)$$

У системах OQPSK спочатку кожен канал (I та Q) кодується за допомогою методу бінарного фазового зміщення (BPSK), а потім здійснюється відстрочка в часі на половину періоду символу для одного з каналів. Це призначене для того, щоб уникнути одночасного виникнення перетину символів між каналами, що сприяє покращенню ефективності передачі даних.

Модуляція OQPSK широко використовується у сучасних бездротових та провідних комунікаційних системах, де ключовими є висока швидкість передачі даних та низький рівень помилок.

Модулятор та демодулятор OQPSK показані на рис. 2.3.

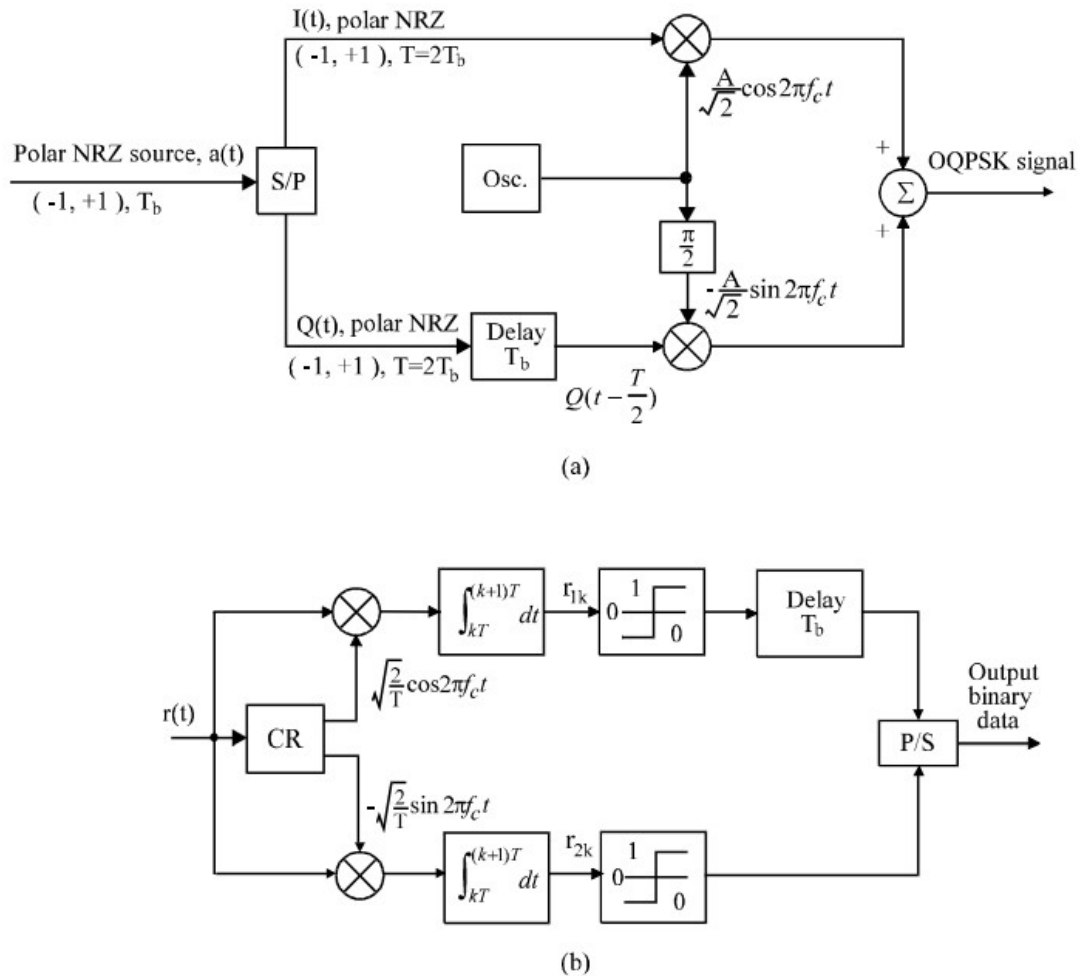


Рисунок 2.3 – Типові схеми модулятора та демодулятора для OQPSK

Оскільки існує чотири вихідних фази, необхідно мати чотири різних вхідних умови. Оскільки цифровий вхід до модулятора QPSK є двійковим сигналом, для створення чотирьох різних комбінацій входу модулятор потребує більше одного вхідного біта для визначення умови виходу [12].

Враховуючи, що OQPSK відрізняється від QPSK тільки відстрочкою сигналу в каналі Q, його спектральна щільність потужності така ж, як і у QPSK та характеристика помилок також аналогічна.

Через відстрочку сигналів I та Q у OQPSK сигналі є період символу $T/2$. На будь-якій граничній межі символу лише один із двох бітів у парі (I_k, Q_k) може змінювати знак. Таким чином, зміни фази на межах символів можуть бути лише 0° та $\pm 90^\circ$ [13].

Часові діаграми вхідного бітового потоку та сигналів квадратур для OQPSK зображені на рис. 2.4.

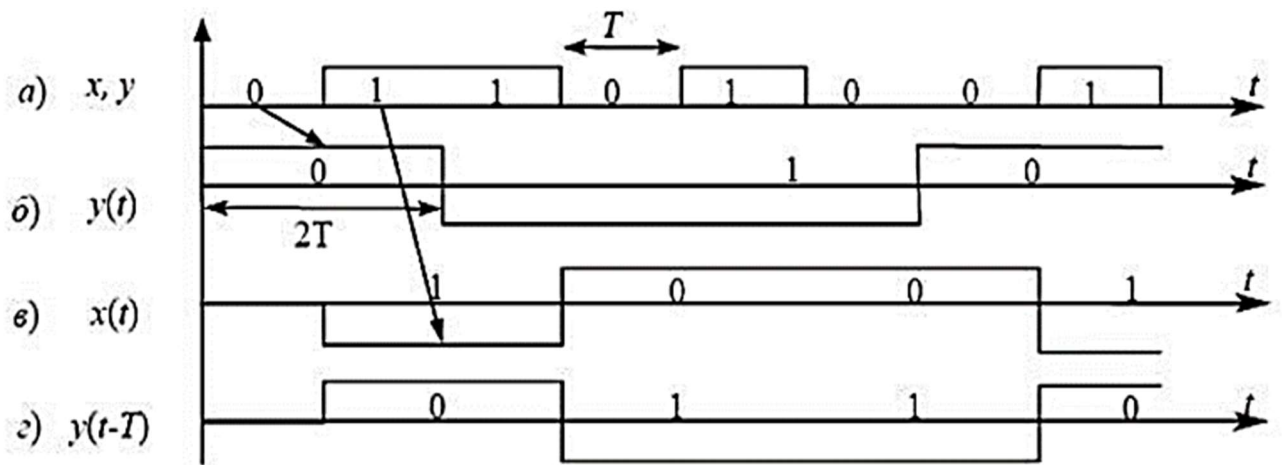


Рисунок 2.4 – Часові діаграми вхідного бітового потоку та сигналів квадратур для OQPSK

У порівнянні з QPSK, сигнали OQPSK менше схильні до відновлення бічних пелюсток спектра в супутникових передавачах, оскільки зміни фази на 180° відсутні. У таких передавачах модульовані сигнали повинні бути обмежені за допомогою фільтра для відповідності стандартам викидів за межі смуги.

Спектральну ефективність OQPSK можна визначити, враховуючи його спектральну ширину та пропускну здатність. Оскільки OQPSK відрізняється від QPSK лише відстрочкою сигналу в одному каналі, його спектральна ширина буде такою ж, як у QPSK.

Проте, через відстрочку сигналів в OQPSK, він має символічний період $T/2$, у порівнянні з T у QPSK.

Для обчислення спектральної ширини сигналу використовується зворотне значення символічного періоду $BW_{OQPSK} = \frac{1}{T/2} = \frac{2}{T}$.

Вираз показує, що OQPSK має подвоєну спектральну ширину порівняно з QPSK. Проте, щодо пропускної здатності, вона однакова для OQPSK і QPSK, оскільки вони використовують однакову швидкість передачі даних. Таким чином, спектральна ефективність OQPSK може бути обчислена як відношення пропускної здатності до спектральної ширини [14]:

$$\eta_{OQPSK} = \frac{C_{OQPSK}}{BW_{OQPSK}}, \quad (2.8)$$

де C_{OQPSK} - пропускна здатність, яку забезпечує OQPSK;

BW_{OQPSK} - спектральної ширини сигналу.

У системі OQPSK фаза носійної хвилі змінюється на кожному символі, і ця зміна фази може бути виражена через девіацію фази. Для обчислення девіації фази в OQPSK можна скористатися виразом:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta f}{f_c}, \quad (2.9)$$

де Δf - девіація частоти носійної хвилі; f_c - частота носійної хвилі.

Це дозволяє обчислити зміну фази носійної хвилі в OQPSK системі на кожному символі в залежності від величини девіації частоти носійної хвилі.

Цей метод модуляції дозволяє покращити ефективність передачі даних шляхом зменшення спектральної ширини сигналу та зниження впливу бічних долоньок спектра.

Використання OQPSK дозволяє збільшити продуктивність та надійність цифрових комунікаційних систем, зокрема у сучасних бездротових та провідних мережах.

2.3 Дослідження характеристик квадратурної амплітудної модуляції QAM

2.3.1 Спектральні та енергетичні характеристики модуляції QAM

Квадратурна амплітудна модуляція (QAM) – метод модуляції, який використовує як амплітуду, так і фазу носійної хвилі для передачі даних. В QAM сигнал розбивається на два компонента: фаза (I) і амплітуда (Q), які модулюються незалежно один від одного. Це дозволяє передавати більше інформації в одиницю часу, зберігаючи при цьому достатню роздільну здатність [15].

QAM широко застосовується як схема модуляції для цифрових телекомунікаційних систем. Завдяки QAM можна досягти доволі високої спектральної ефективності, встановивши відповідний розмір сузір'я, яке обмежується лише рівнем шуму та лінійністю каналу зв'язку.

Сигнал QAM може бути виражений як лінійна комбінація двох ортогональних функцій:

$$s_i(t) = s_{i1}\phi_1(t) + s_{i2}\phi_2(t), \quad (2.10)$$

де

$$\begin{aligned} \phi_1(t) &= \sqrt{\frac{2}{E_p}} p(t) \cos 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T; \\ \phi_2(t) &= \sqrt{\frac{2}{E_p}} p(t) \sin 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T. \end{aligned} \quad (2.11)$$

У більшості випадків $\phi_1(t)$ та $\phi_2(t)$ є ортогональними. У такому випадку середня енергія сигналу складає:

$$E_{avg} = \frac{1}{2} E_p \cdot E\{A_i^2\}. \quad (2.12)$$

Середня амплітуда A_{avg} та потужність P_{avg} сигналу QAM розраховуються за формулами [16]:

$$\begin{aligned} A_{avg} &= \sqrt{2P_{avg}}; \\ P_{avg} &= \frac{E_{avg}}{T}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Аналогічно фазовій маніпуляції та іншим методам, кількість точок, на яких може бути побудований сигнал, тобто кількість точок у сузір'ї, вказується у форматі модуляції, наприклад, 16-QAM використовує 16-точкове сузір'я, а 32-QAM використовує 32-х точкове. Принцип розташування точок на площині показаний на рис. 2.5.

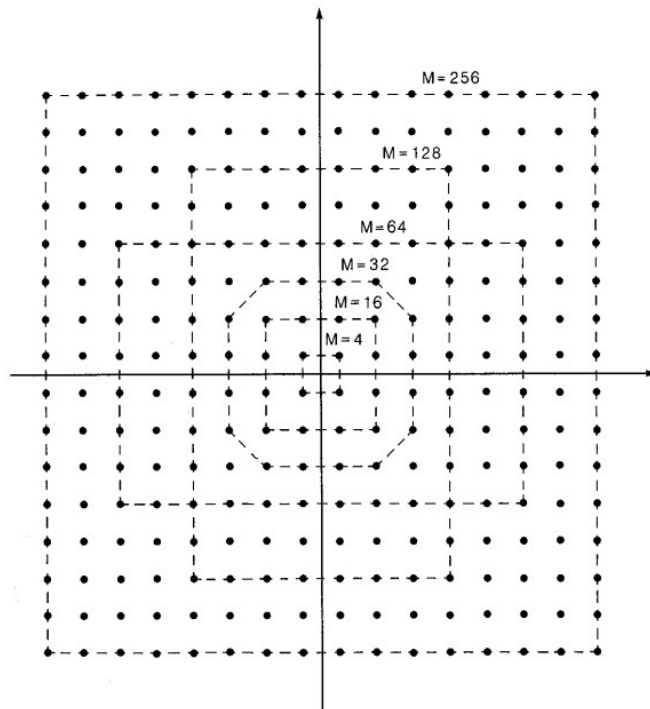


Рисунок 2.5 – Приклад сузір'я для модуляцій x-QAM

У випадку використання багатопозиційної QAM модуляції середнє значення енергії сигналу розраховують наступним чином:

$$E_{avg} = E\left\{\frac{E_0}{2}(I_i^2 + Q_i^2)\right\} = E_0 E\{I_i^2\}, \quad (2.14)$$

А середня потужність:

$$P_{avg} = \frac{E_0}{T} E\{I_i^2\}. \quad (2.15)$$

Тепер можемо обчислити спектральну густину потужності квадратурного QAM наступним чином (щоб включити найбільш загальний випадок розглянемо QAM з формуванням імпульсів) [16]:

$$s(t) = A_i p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (2.16)$$

На всій шкалі часу сигнал QAM може бути записаний таким чином:

$$s(t) = \operatorname{Re} \left\{ \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k \exp(j\theta_k) p(t - kT) \right] \exp(j2\pi f_c t) \right\}. \quad (2.17)$$

Звідси, отримуємо комплексну обвідну сигналу

$$\tilde{s}(t) = \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{k1} p(t - kT) + j \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{k2} p(t - kT) \right]. \quad (2.18)$$

де

$$\begin{aligned} A_{k1} &= A_k \cos \theta_k \\ A_{k2} &= A_k \sin \theta_k \end{aligned} \quad (2.19)$$

Це випадкові величини з рівною ймовірністю для кожного значення мають нульові середні для симетричних сузір'їв. Дисперсії залежать від форми сузір'я.

$$\begin{aligned}\sigma_1^2 &= E\{A_{k1}^2\}; \\ \sigma_2^2 &= E\{A_{k2}^2\}.\end{aligned}\tag{2.20}$$

Далі, маючи усі описані вище параметри, можемо розрахувати спектральну щільність для М-позиційного QAM сигналу [16]:

$$\begin{aligned}\Psi_s(f) &= \frac{2E_0}{3}(M-1)\left(\frac{\sin \pi fT}{\pi fT}\right) = \\ &= \frac{2E_0}{3}(M-1)\left(\frac{\sin \pi fnT_b}{\pi fnT_b}\right),\end{aligned}\tag{2.21}$$

де, $n = \log_2 M$; $T_b = T / n$ - бітовий період.

Дана спектральна густина потужності має таку ж форму, як і спектральна густина потужності для модуляції MPSK. Єдина відмінність полягає в амплітуді. У випадку MPSK амплітуда спектральної густини потужності залежить від амплітуди сигналу, оскільки існує лише одна амплітуда сигналу. У випадку QAM амплітуда спектральної густини потужності залежить від середньої амплітуди сигналу.

2.3.2 Розробка структури модулятора та демодулятора QAM сигналу

Схема модулятора QAM включає в себе процес генерації бітів, їх кодування в імпульси, комбінування імпульсів для створення комплексного сигналу QAM, його фільтрацію та передачу через канал зв'язку

На рис. 2.6 представлено типову схему QAM модулятора.

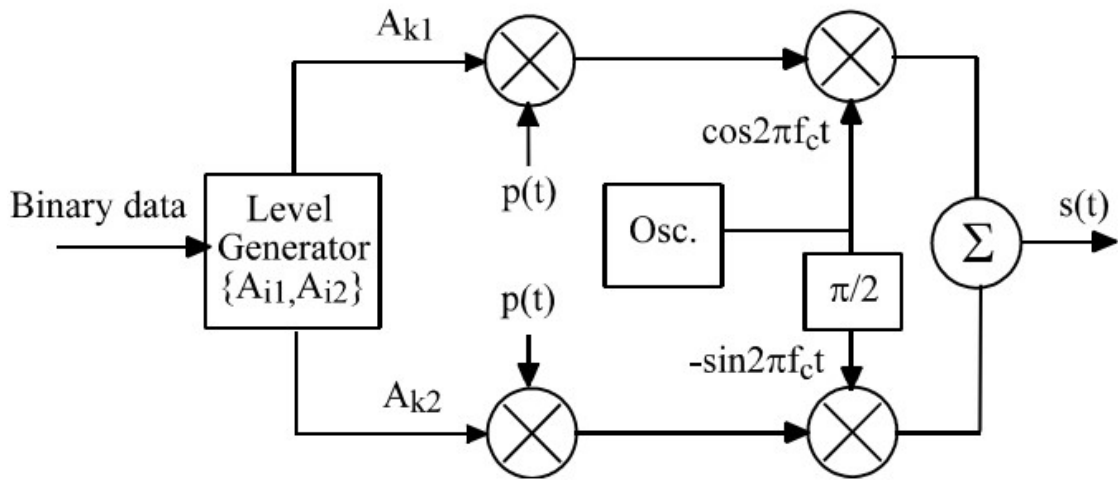


Рисунок 2.6 – QAM модулятор

Якщо не потрібно формування форми імпульсу, то блок $p(t)$ буде відсутній. Послідовність бітів даних розбивається на n -рядків з n бітів. Існує $M = 2^n$ різних n -комбінацій. Кожен n -рядок вхідних бітів використовується для керування генератором рівня. Генератор рівня надає каналам I та Q певний знак та рівень для горизонтальних та вертикальних координат сигналу (A_{k1} , A_{k2}) відповідно [15].

Перетворення з кодових n -рядків до позиційних точок QAM зазвичай виконується за допомогою кодування Грея для мінімізації помилок бітів. Для квадратного QAM можливе ідеальне кодування Грея.

Для генерації сигналів QAM можуть використовуватися цифрові синтезуючі техніки. Кожен сигнал у сузір'ї може бути збережений як набір вибірок, а n -рядок даних використовується як адреса для отримання вибірок. Вибірки подаються на ЦАП, вихід якого є бажаним сигналом QAM.

На рис. 2.7 представлено демодулятор QAM сигналів.

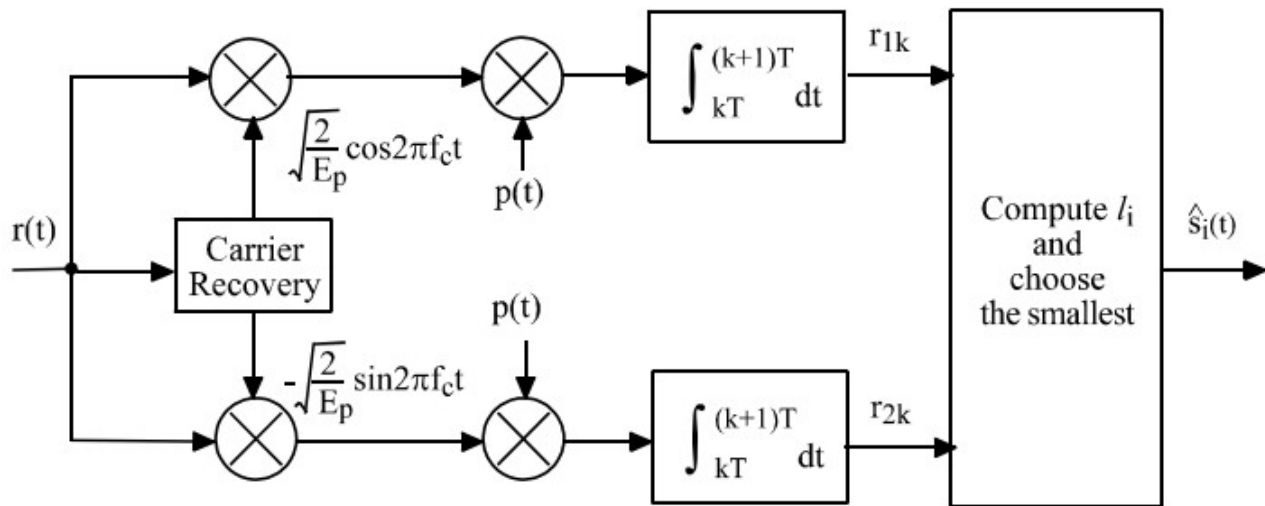


Рисунок 2.7 – Демодулятор QAM сигналів

Когерентна демодуляція QAM може бути реалізована одним з когерентних детекторів для М-позиційних сигналів. Оскільки набір сигналів QAM має лише дві базисні функції, найпростішим приймачем є той, що використовує два коррелятори. Через такі особливості сигналу QAM, стандартний демодулятор може бути спрощений. На вході демодулятора маємо сигнал наступної форми:

$$r(t) = s_i(t) + n(t). \quad (2.22)$$

Для однозначного дитектування сигналу QAM достатнім параметром є (квадратована) відстань:

$$l_i = (r_1 - s_{i1})^2 + (r_2 - s_{i2})^2. \quad (2.23)$$

де $r_1 = s_{i1} + n_1$ та $r_2 = s_{i2} + n_2$ – це незалежні гауссівські випадкові змінні з середніми значеннями s_{i1} та s_{i2} , відповідно. Їх дисперсія становить $N_0/2$. Пара характеристик (r_1, r_2) визначає точку у площині сузір'я QAM, що представляє

отриманий шумовий сигнал. Детектор порівнює відстані від (r_1, r_2) до всіх пар (s_{i1}, s_{i2}) та обирає найближчу [17].

Демодулятора на рис. 2.7 побудований на основі вищезазначеного правила прийняття рішення, де нижній індекс k вказує на k -й період символу. Варто звернути увагу, що амплітуда опорних сигналів може мати будь-яке значення, що відображене як $\sqrt{2 / E_p}$ на рисунку, за умови, що s_{i1}, s_{i2} також масштабуються відповідно.

2.4 Висновки до розділу

Було проведено дослідження та аналіз параметрів і властивостей цифрових методів модуляції: DQPSK, OQPSK та QAM. Дослідження основних параметрів DQPSK та OQPSK дозволило отримати важливі відомості щодо фазових зміщень, амплітуди сигналу та ширини смуги, що є критичними для правильного розуміння його функціонування та

Дослідження модуляції QAM дозволило детально вивчити основні параметри цього методу, такі як кількість амплітудних та фазових рівнів, спектральна ефективність та стійкість до помилок передачі. Розробка типової структури модулятора та демодулятора для QAM сигналу підкреслила практичну важливість наших досліджень, адже правильна і ефективна реалізація цих структур є ключем до успішного впровадження методу QAM у сучасних системах зв'язку та передачі даних.

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВИХ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

3.1 Обґрунтування вибору середовища моделювання цифрових методів модуляції

Існують кілька середовищ, призначених для моделювання цифрових модуляцій, які надають широкий спектр інструментів для аналізу і симуляції цифрових комунікаційних систем.

MATLAB і Simulink: MATLAB є потужним математичним середовищем, яке використовується для обробки сигналів та числового аналізу. Simulink - це графічний інструмент для моделювання динамічних систем. За допомогою інструментів, таких як Communications Toolbox, вони забезпечують можливості моделювання цифрових модуляцій [18].

GNU Radio: Це відкрите програмне забезпечення для реалізації радіосистем з використанням програмованої радіо. Воно надає інструменти для реалізації цифрових модуляцій та обробки сигналів у реальному часі.

Python з бібліотеками NumPy та SciPy: Python широко використовується в наукових обчисленнях та обробці даних. Бібліотеки NumPy та SciPy надають численні інструменти для роботи з масивами даних та наукових обчислень. З їх допомогою можна моделювати цифрові сигнали та системи з різними видами модуляцій.

У даній роботі, пропонується використовувати програмний комплекс LabView, який має ряд функціональних переваг. LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) є інтегрованим середовищем розробки програмного забезпечення, що широко використовується для автоматизації вимірювань та тестування.

Узагальнюючи, можна зазначити, що LabView є вельми потужним інструментом, який забезпечує широкі можливості для автоматизації

процесів вимірювань, тестування та розробки програмного забезпечення. Це інтегроване середовище розробки дозволяє створювати складні системи безпосередньо через графічний інтерфейс, що значно полегшує процес проектування і розробки.

У LabView є розгалужена система інструментів, включаючи різноманітні вбудовані функції та бібліотеки, які дозволяють здійснювати аналіз сигналів, обробку даних, виконувати вимірювання і моделювати системи.

Завдяки цим інструментам, інженери та науковці можуть ефективно працювати над різноманітними завданнями, починаючи від простих вимірювань і закінчуючи складними цифровими моделями.

Однією з ключових переваг LabView є його підтримка обладнання. Інтеграція з різними типами приладів і сенсорів є простою завдяки широкому спектру драйверів та підтримки протоколів зв'язку. Це дозволяє використовувати LabView у різних областях, від наукових досліджень до промислових застосувань [19].

Також важливо відзначити, що LabView має розширені можливості для моделювання цифрових систем. За допомогою спеціальних модулів, як LabView Communications, користувачі можуть проводити моделювання і аналіз цифрових комунікаційних систем, що робить його ідеальним інструментом для дослідження та вдосконалення цифрових технологій зв'язку.

Отже, LabView забезпечує не лише інструменти для реалізації конкретних завдань в області вимірювань та автоматизації, а й створює умови для широкого аналізу та моделювання цифрових систем, що робить його незамінним для багатьох інженерних і дослідницьких проектів.

3.2 Моделювання DQPSK модуляції у середовищі LabView

Для створення власних програм в середовищі LabView використовуються наступні інструменти: головна панель програми, блок-діаграма, палітри елементів керування та відображення даних, а також палітри функцій.

Відповідно до розглянутих особливостей побудови схем модулятора DQPSK, реалізуємо модуляційну схему, як це показано на рис. 3.1.

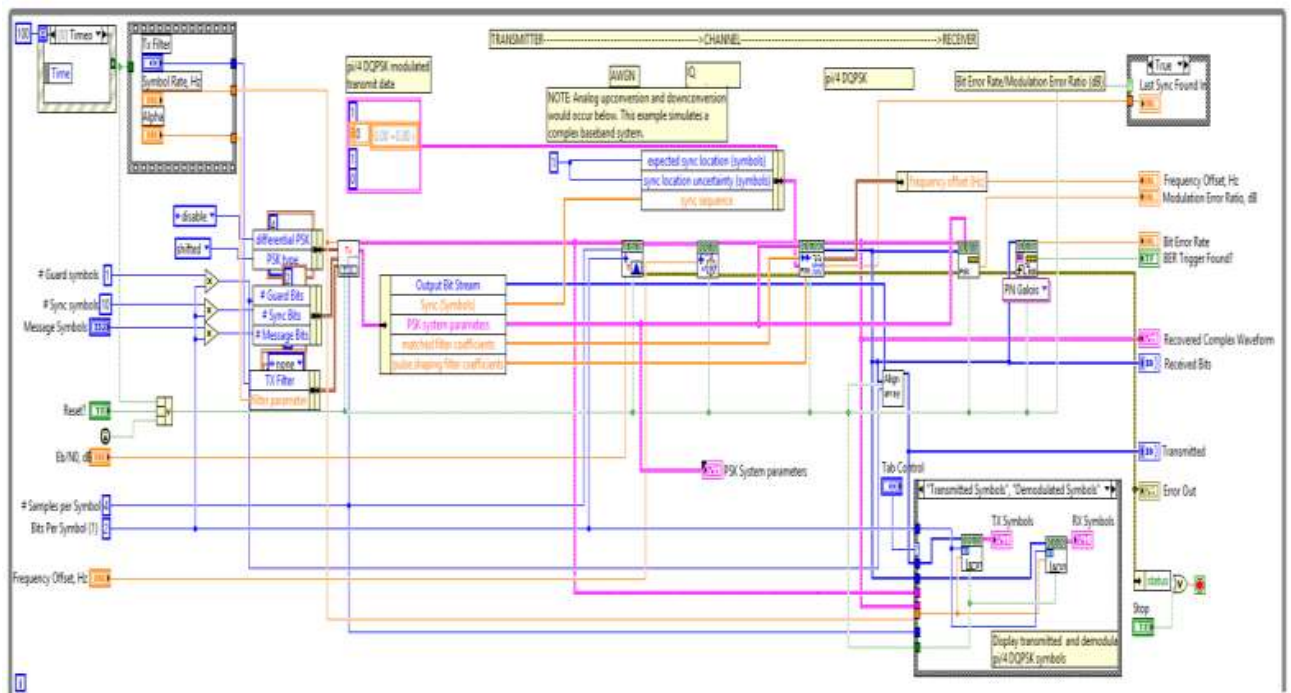


Рисунок 3.1 – Симуляційна схема DQPSK

Блок-схема містить цикл за умовою, який включає термінали різних елементів, що використовуються для керування та індикації, а також для відображення сигналу DQPSK.

На рис. 3.1 представлена головна панель середовища моделювання.

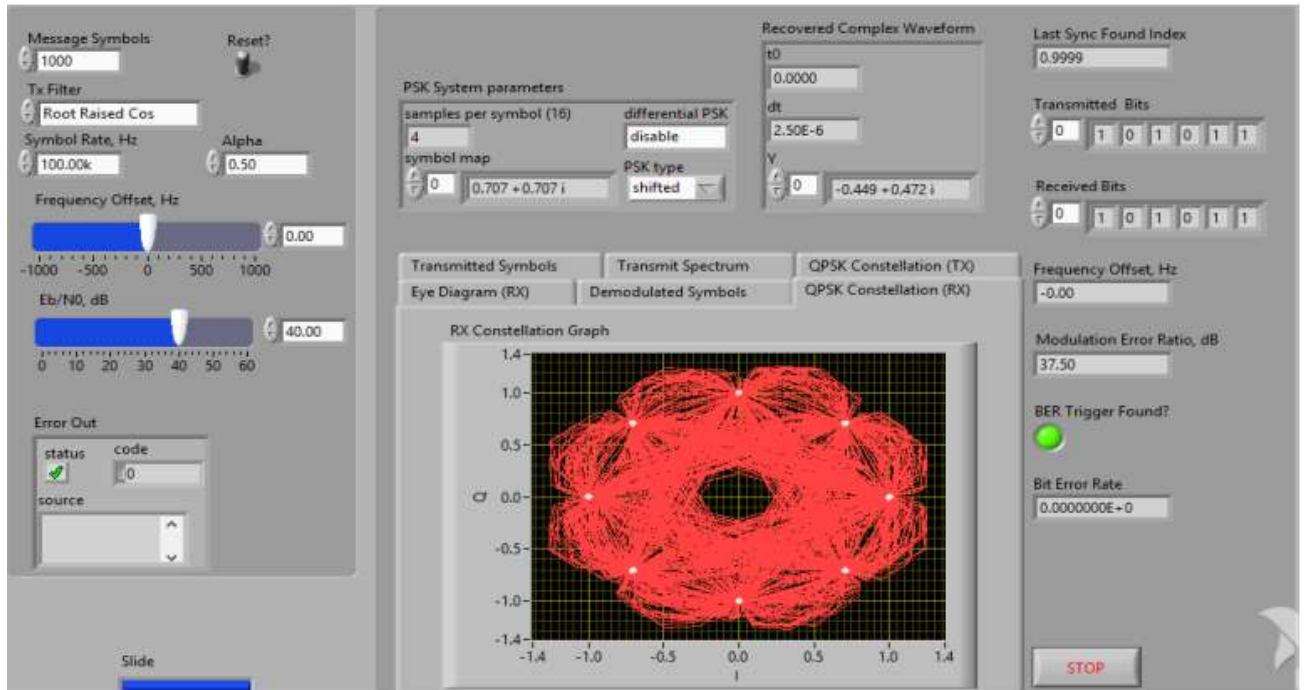


Рисунок 3.2 - Головна панель середовища моделювання

Табл. 3.1 містить значення ймовірності помилки на біт для передачі сигналів з модуляцією DQPSK на основі моделювання в LabVIEW.

Таблиця 3.1 – Значення ймовірності помилки BER для DQPSK

$E_b/N_0, \text{db}$	BER
0	1
2	0.632
4	0.0623
5	0.0096
6	0.000425
8	0.0000513

Надійність передачі інформації у цифрових системах визначається через статистичну міру, відому як ймовірність помилки на біт (Bit Error Rate - BER). BER відображає ймовірність невірного прийому одного біта інформації, усереднену за великим обсягом переданої інформації.

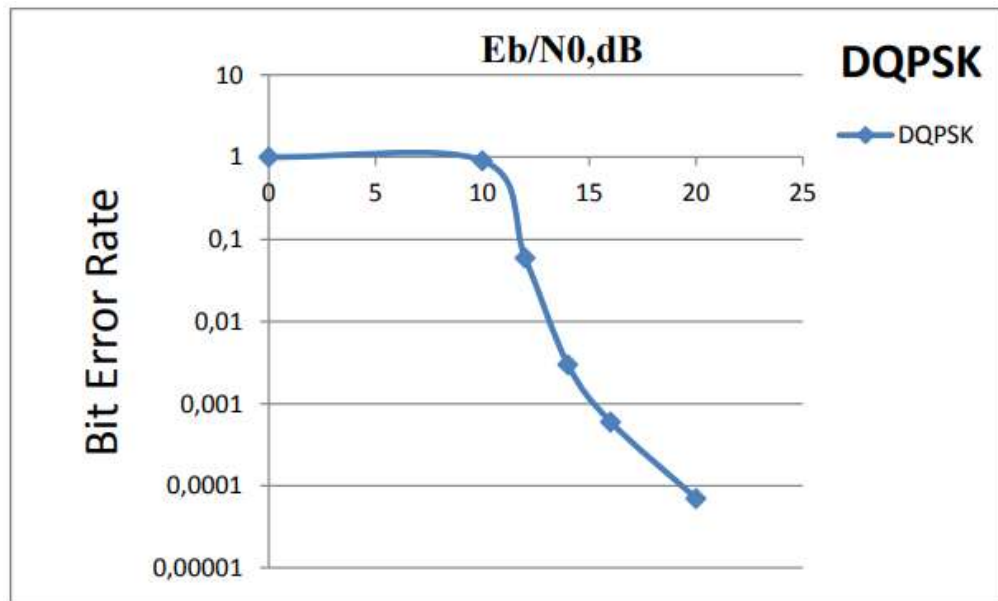


Рисунок 3.3 – Залежність ймовірності бітової помилки від E_b/N_0

Теоретично, показником ефективності цифрової системи зв'язку є пропускна здатність (біт/с). Пропускна здатність вказує на обсяг інформації, яка може бути передана в системі зв'язку за одиницю часу (з достовірністю 100%). На рисунку 3.3 наведено графік ймовірності помилки на біт для передачі сигналів з модуляцією DQPSK на основі моделювання в LabVIEW [19].

Початково, при високих значеннях E_b/N_0 ймовірність помилки бітів є низькою. Це означає, що при сильному сигналі порівняно з шумом, система передачі може ефективно передавати дані з високою точністю. Однак, зі зменшенням значення E_b/N_0 , ймовірність помилки збільшується, оскільки шум стає більш помітним у порівнянні з сигналом.

Графік має форму кривої, яка при низьких значеннях E_b/N_0 є стабільною, а при рості E_b/N_0 стрімко знижується. Це відображає той факт, що при низьких значеннях сигнальної енергії відносно шуму, система втрачає здатність надійно передавати інформацію, і ймовірність помилки починає стрімко зростати.

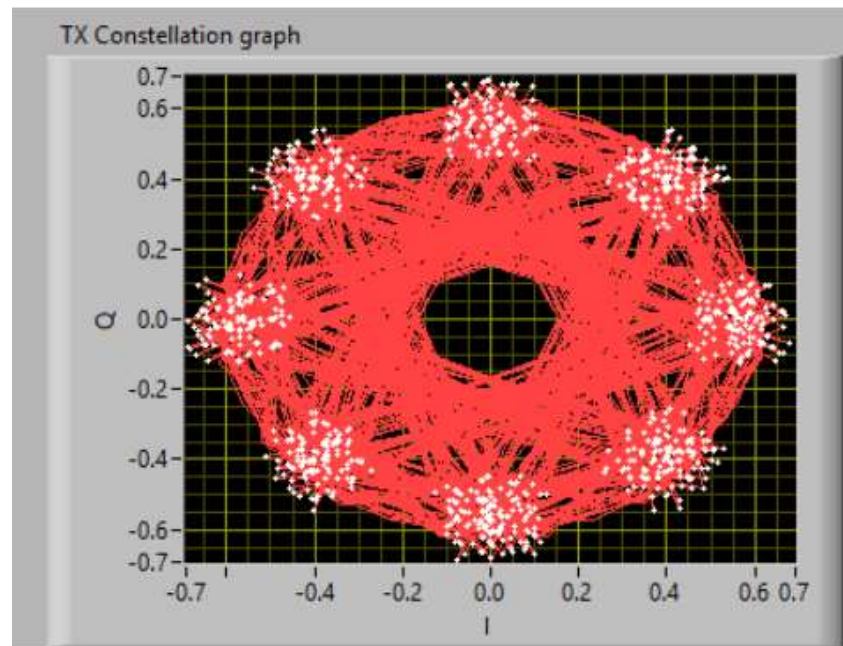


Рисунок 3.4 – Сигнальне сузір'я передавача DQPSK

На рис. 3.4, наведено «сузір'я», яке відображає символи при модуляції DQPSK. Кожен із восьми символів (білі точки) відповідає 3 бітам даних.

Для схеми моделювання використовувався контролер потоку даних (DF) з категорії «Контролери», що в основному регулює час початку та завершення моделювання. Моделювання надає можливість перегляду графіків у часовій та частотній областях у різних частинах схеми.

На рис. 3.5 показана вихідна група DQPSK безпосередньо перед тим, як дані потраплять у фільтри з підвищеним косинусом. BER, отриманий у системі з різними швидкостями передачі, представлений на цьому рисунку.

Сигнал DQPSK складається з символів, які відповідають восьми фазам (від 0 до 360° з кроком кожні 45°).

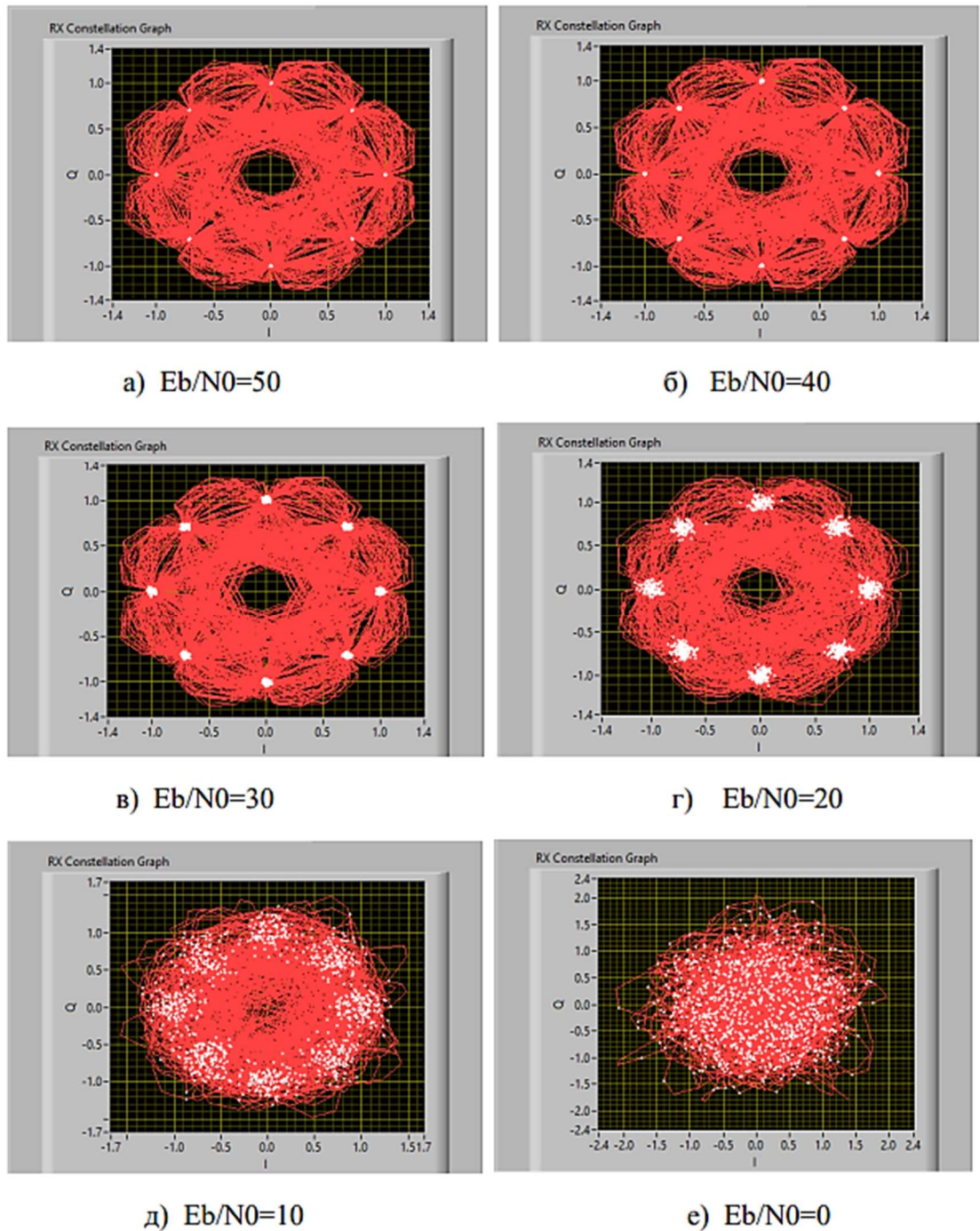


Рисунок 3.5 – Сузір'я сигналу DQPSK на вході приймача при різних значеннях E_b/N_0

Ці вісім фазових точок можуть бути сформовані шляхом накладання двох сузір'їв сигналів QPSK, зсунутих відносно один одного на 45° . Під час кожного періоду передачі символу фазовий кут передається від одного із сузір'їв QPSK. Два сузір'я використовуються по черзі для передачі кожної

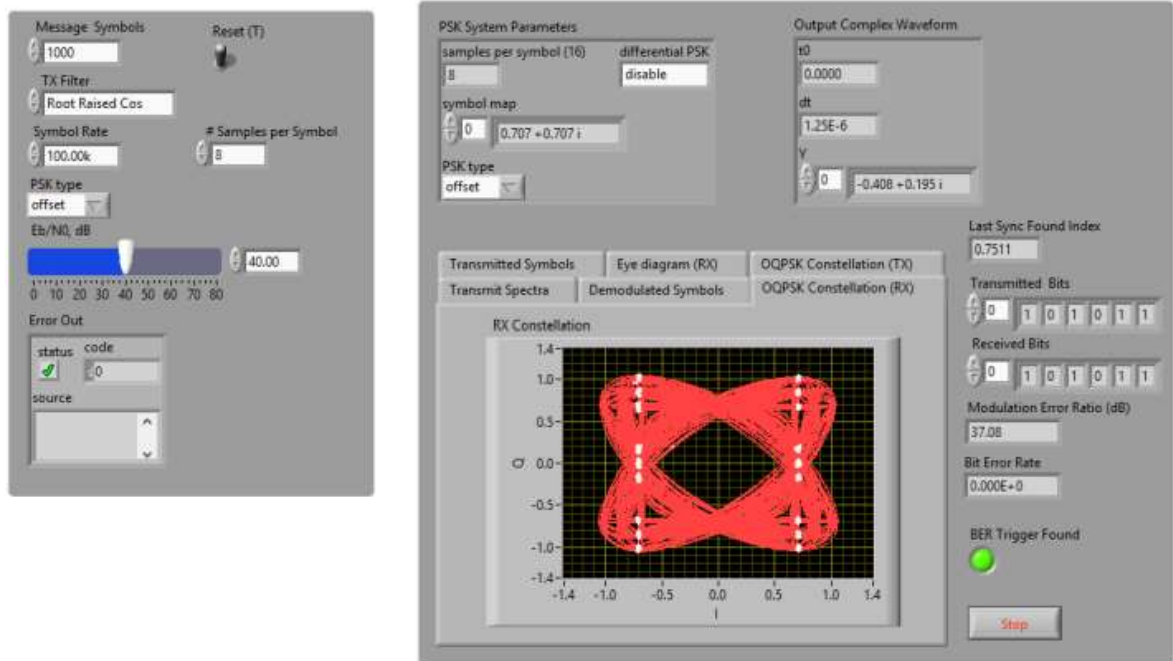


Рисунок 3.7 – Налаштування параметрів моделювальної схеми OQPSK

На рис. 3.8 наведено графік ймовірності бітової помилки для передачі сигналів з модуляцією OQPSK.

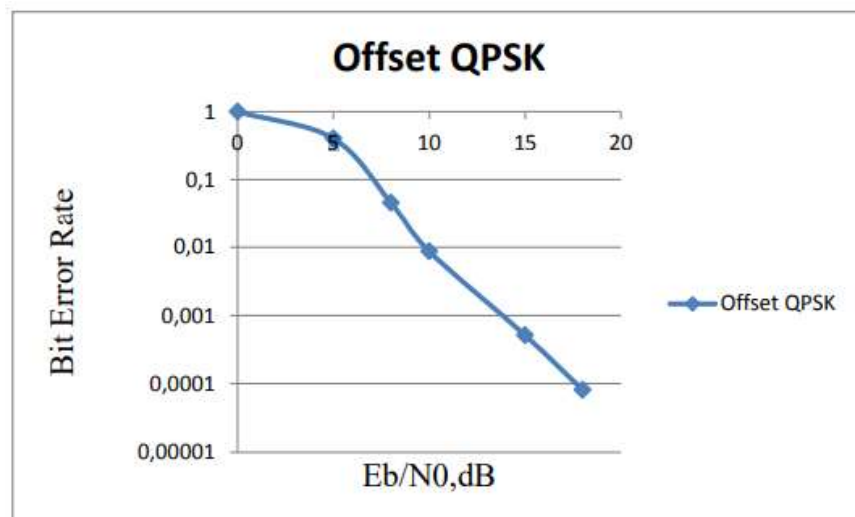
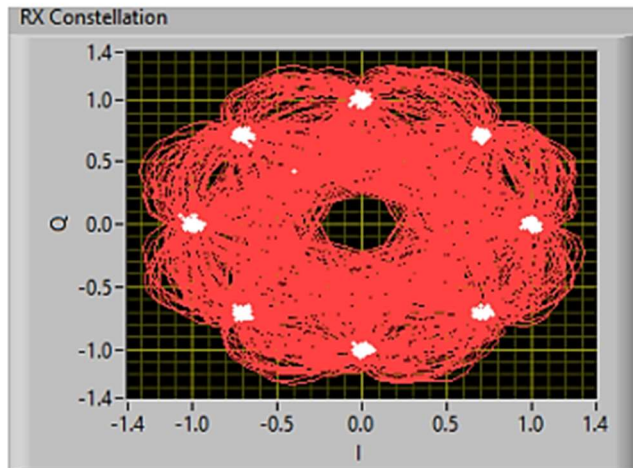
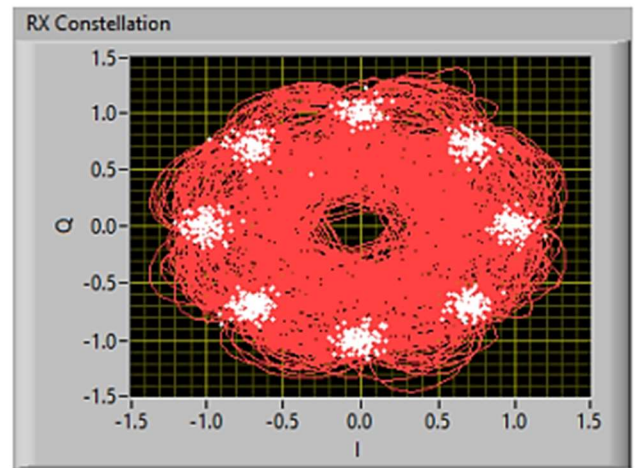


Рисунок 3.8 – Результат моделювання залежності бітової помилки від співвідношення сигнальної енергії до шумової потужності (E_b/N_0)

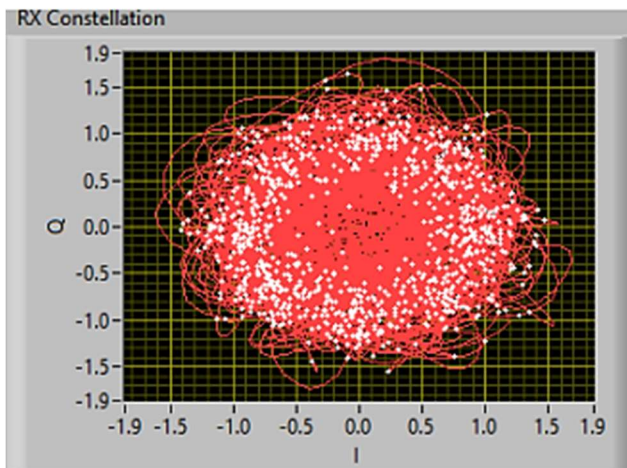
На рисунку 3.8 показано, що зі збільшенням складності модуляції ймовірність бітової помилки зростає. Отже, зазвичай, зі збільшенням спектральної ефективності енергетична ефективність зменшується.



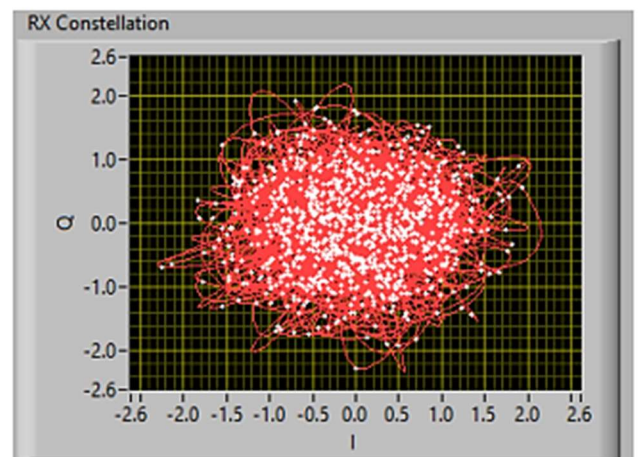
а) $E_b/N_0 = 40$



б) $E_b/N_0 = 20$



а) $E_b/N_0 = 10$



а) $E_b/N_0 = 0$

Рисунок 3.9 – Сузір'я сигналу передавача OQPSK при різних значеннях E_b/N_0

Як видно з рис. 3.9 відношення сигнальної енергії до шумової потужності також відіграє важливу роль у адекватному декодуванні сигналу OQPSK, як і для DQPSK, тому цей параметр є важливим і водночас головним обмеженням у таких системах.

Лінійні підсилювачі залишаються лінійними в обмеженому діапазоні амплітуди вхідного сигналу, і якщо амплітуда може бути зменшена, буде легше вибрати відповідний підсилювач для конкретного застосування. Крім того, такий підсилювач буде потребувати менше потужності, що робить його ідеальним вибором для ситуацій, коли використовується мала потужність [20]. Це найкраще видно при порівнянні фазових траєкторій QPSK без зміщення і зі зміщенням.

На стороні прийому, якість сигналу відіграє ключове значення у будь якій системі передачі інформації.

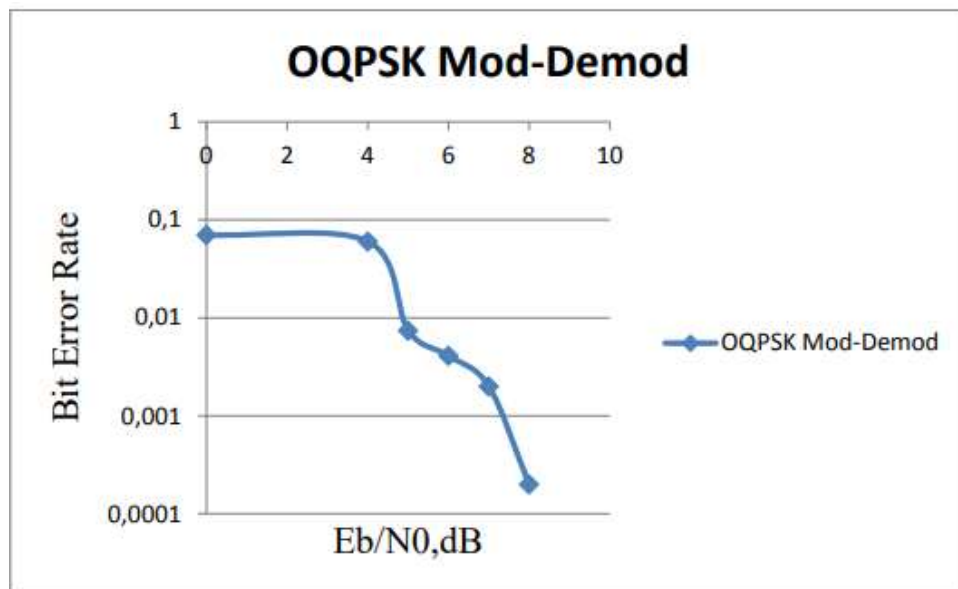


Рисунок 3.10 – Результати моделювання залежності бітової помилки від співвідношення (E_b/N_0) на прийомі

Як видно з рисунку, на прийому значення (E_b/N_0) відповідають дуже високій ймовірності помилки (10%). Далі, із ростом параметру, ймовірність помилки падає та виходить на прийнятні значення.

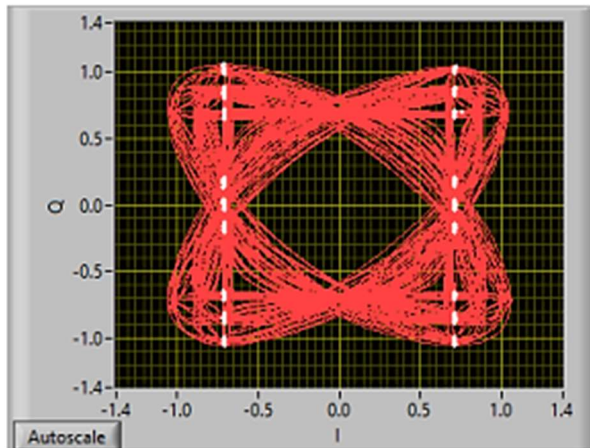
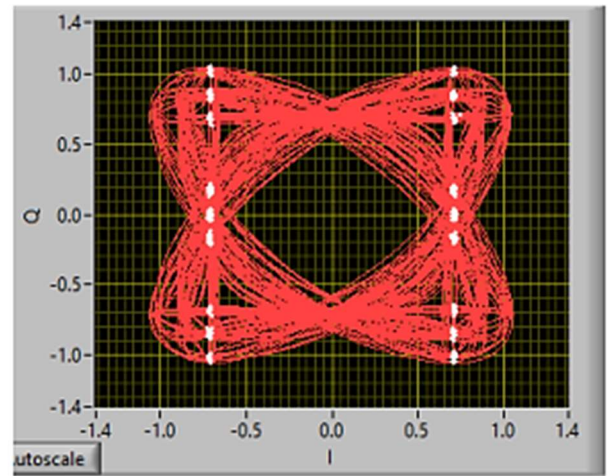
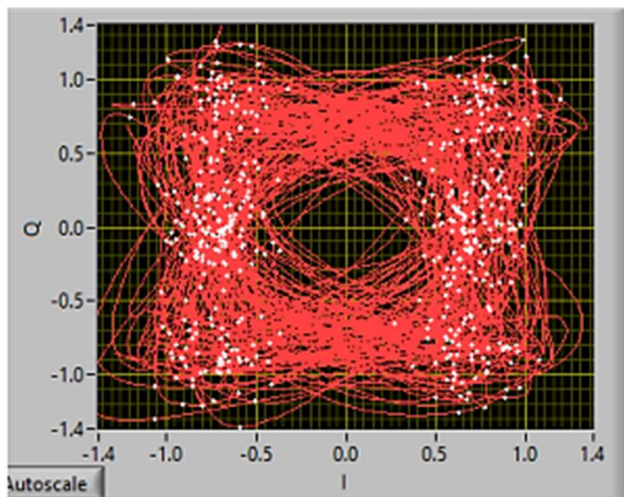
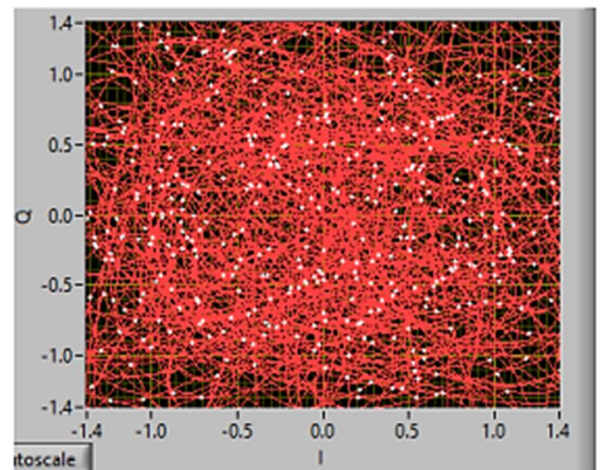
а) $E_b/N_0 = 50$ б) $E_b/N_0 = 30$ в) $E_b/N_0 = 50$ г) $E_b/N_0 = 30$

Рисунок 3.11 – Сузір'я сигналу передавача OQPSK при різних значеннях E_b/N_0

Отже, одним із ключових факторів забезпечення адекватного функціонування системи з OQPSK є використання якісних шумових фільтрів, або ж забезпечення високої енергії сигналу, що є менш пріоритетним варіантом в сучасних умовах мобільності.

3.4 Моделювання багатопозиційної квадратурної амплітудної модуляції QAM

На рис. 3.12 представлено блок-схема пристрою передачі QAM сигналу.

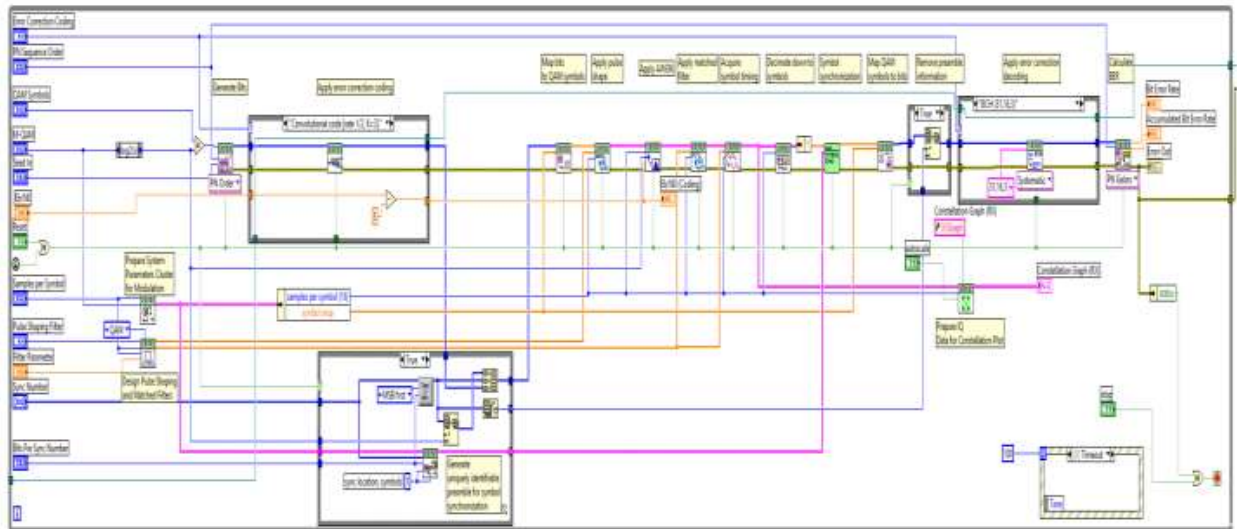


Рисунок 3.12 – Блок-схема пристрою передачі OQPSK сигналу

Як видно з рис. 3.13, відношення сигнал-шум до BER при модуляції QAM значно краще, ніж у вищезгаданих OQPSK та DQPSK.

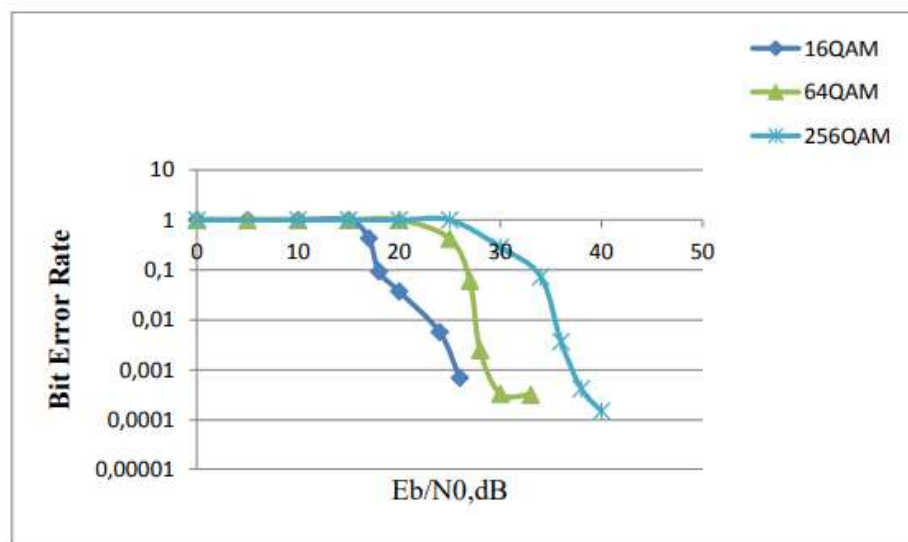


Рисунок 3.13 – Залежність ймовірності бітової помилки від E_b/N_0

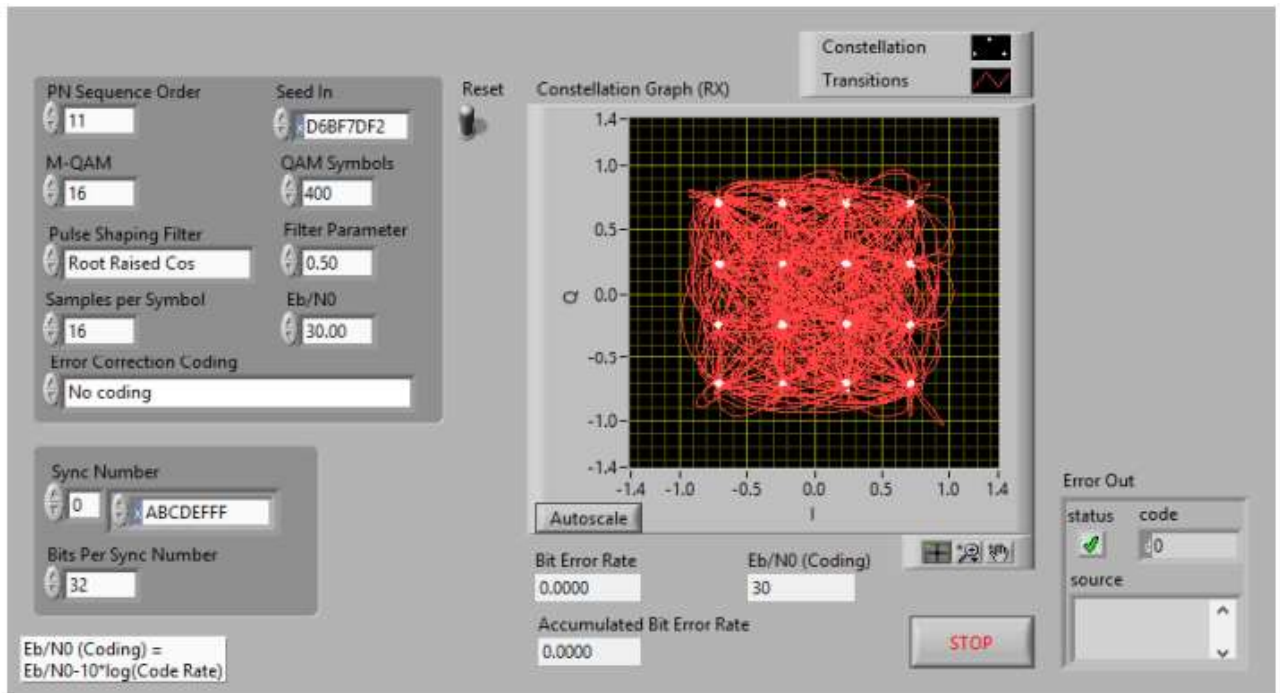


Рисунок 3.14 – Сузір'я 16-QAM модуляції при відношенні сигнал/шум 20 дБ

Сузір'я на рис. 3.14 було отримане при співвідношенні сигнал/шум, яке становить 20 дБ. Порівнявши цей результат з результатом, отриманим методом QPSK, стає очевидною перевага QAM перед DQPSK та OQPSK.

Отже, бачимо, що використання багатопозиційної цифрової частотної модуляції m-QAM інформаційні біти кодуються як за амплітудою, так і за фазою передаваного сигналу. На відміну від m-PSK, де є одна ступінь вільності, в рамках якої кодуються інформаційні біти (амплітуда або фаза), в m-QAM маємо дві ступені вільності.

В результаті m-QAM є спектрально ефективним способом лінійної модуляції, оскільки при заданій ширині смуги сигналу він дозволяє кодувати найбільшу кількість бітів на символ з заданою середньою потужністю.

На рисунках 3.15-3.17 представлено сузір'я квадратурної амплітудної модуляції для позиційностей від 16-QAM до 256-QAM.

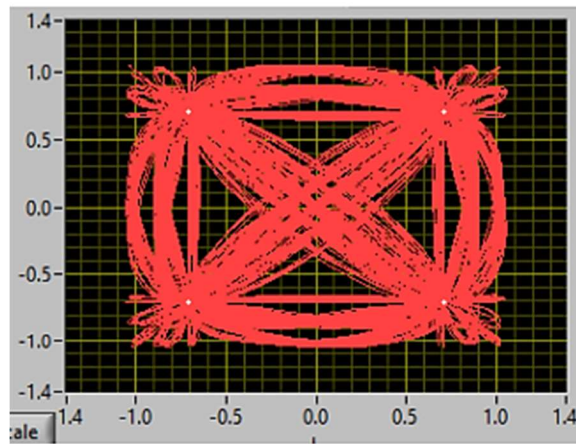
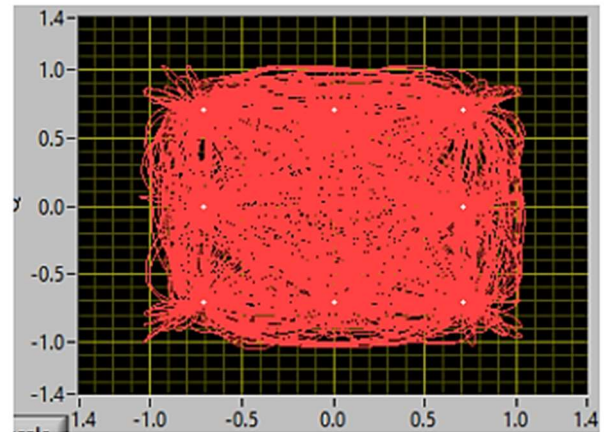
**4QAM****8QAM**

Рисунок 3.15 – Сигнальні сузір'я модуляцій 4-QAM та 8-QAM

У сузір'ї m -QAM кожен символ представляє собою точку на комплексній площині, де ось абсцис (горизонтальна вісь) відповідає амплітуді сигналу, а ось ординат (вертикальна вісь) – фазі сигналу. Зазвичай сузір'я M -QAM поділяється на рівні квадрати, кожен з яких може кодувати різну комбінацію бітів [21].

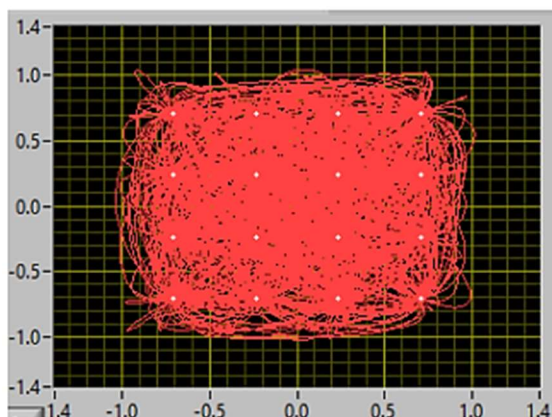
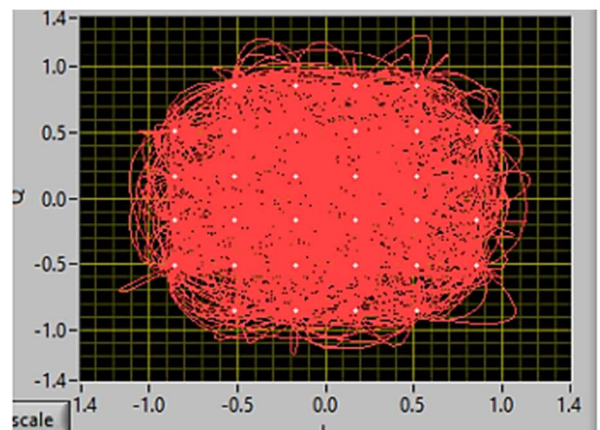
**16QAM****32QAM**

Рисунок 3.16 – Сигнальні сузір'я модуляцій 16-QAM та 32-QAM

Наприклад, для 16-QAM можливі 16 різних комбінацій амплітуд і фаз, що відповідають 16 різним символам. Таким чином, m-QAM дозволяє передавати кілька бітів на символ, що робить його ефективним методом передачі даних у системах зв'язку.

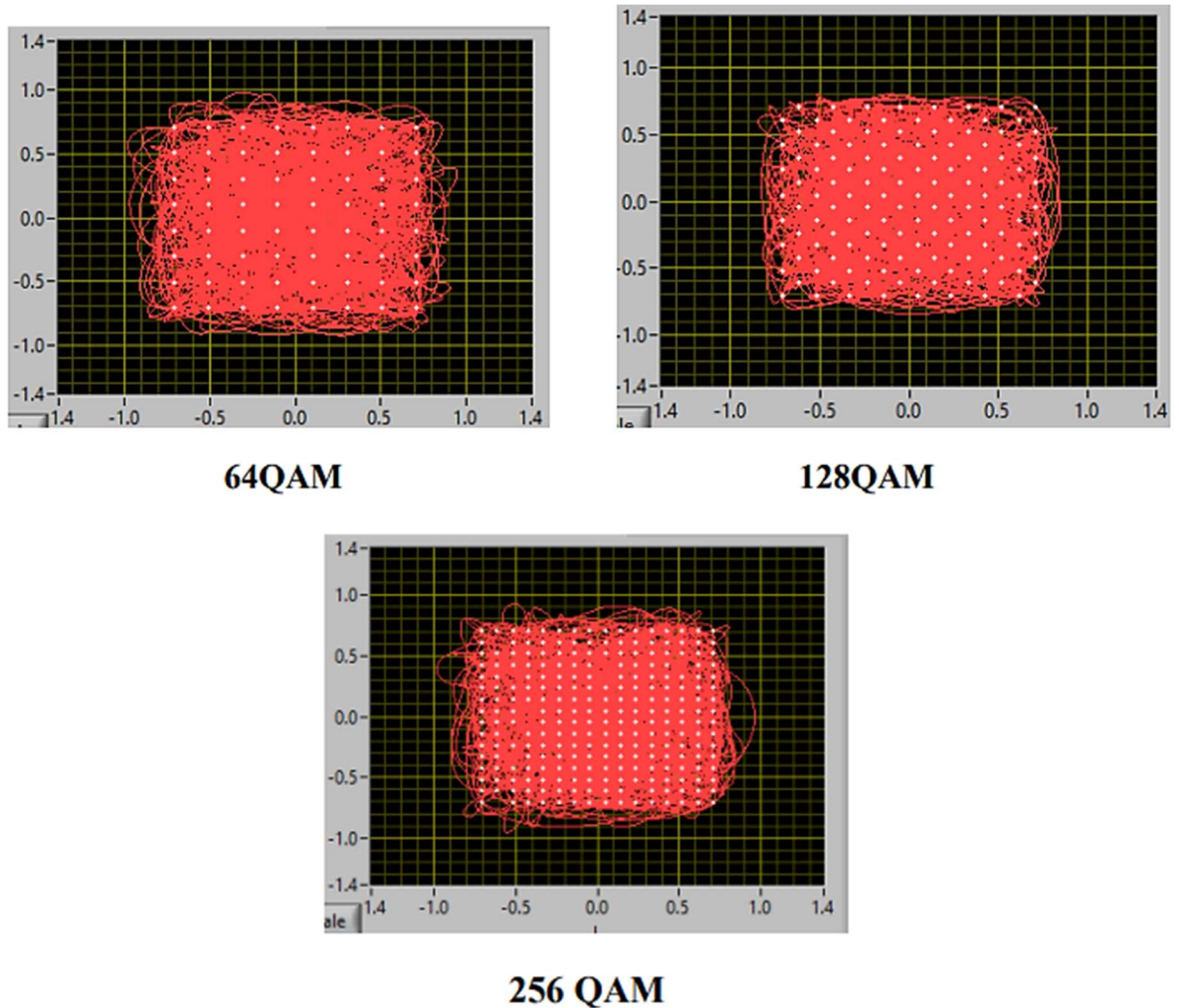


Рисунок 3.17 – Сигнальні сузір'я модуляцій 64-QAM, 128-QAM та 256-QAM

Сузір'я на рис. 3.18 показують карту символів 4-QAM з кожною можливою фазою (θ) та амплітудою (A) носійного сигналу у полярній системі координат. Навіть застосовуючи 4-QAM-модуляцію, можна передавати до двох бітів на символ, а також передавати дані з ще більшою швидкістю, збільшуючи кількість символів на карті передачі. Згідно з умовою, кількість символів на карті символів називається символною картою «М» та розглядається як «М-позиційна» схема модуляції.

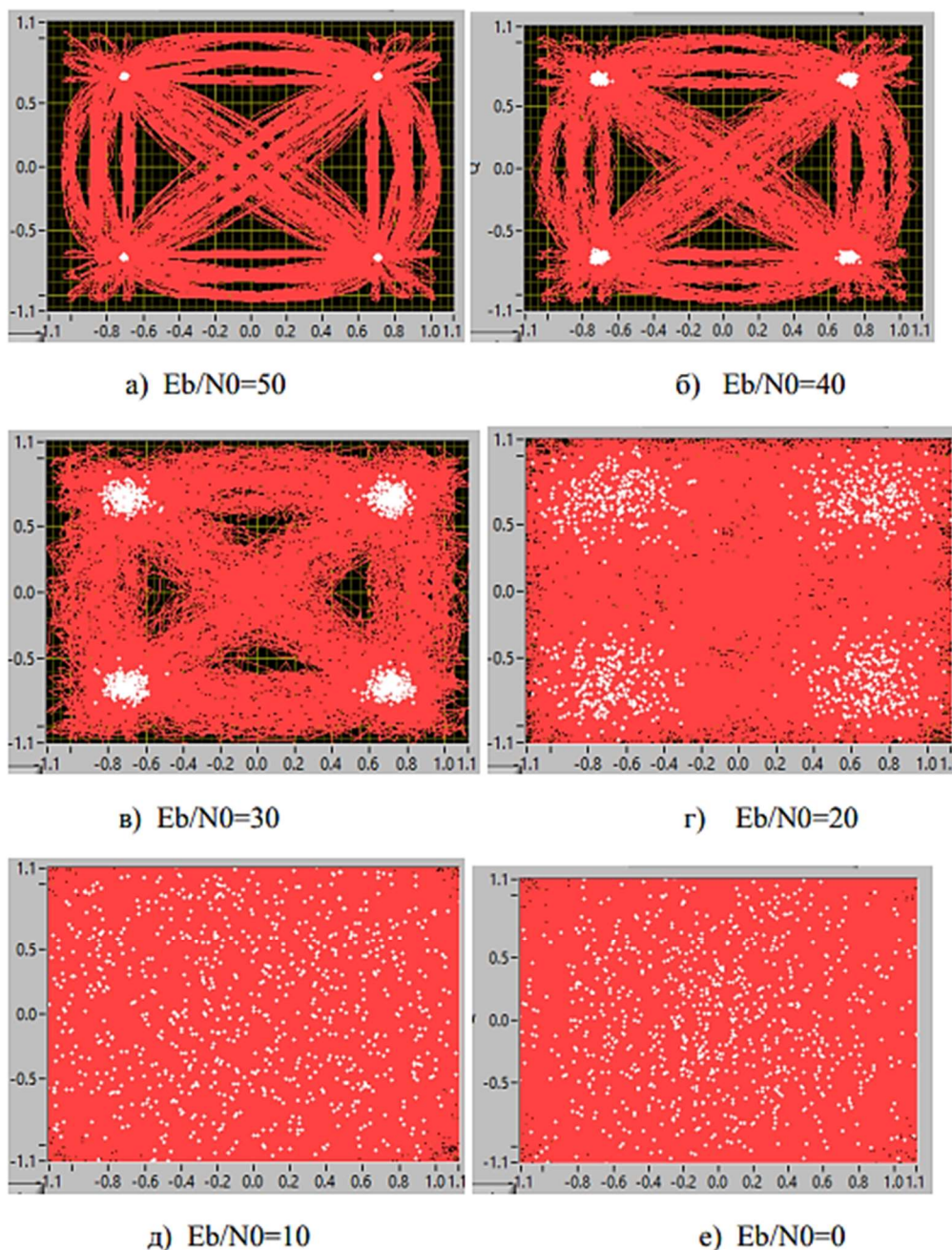


Рисунок 3.18 – Сузір'я сигналу з модуляцією 4-QAM на прийомі

Як видно з рисунку, при рості позиційності QAM, сильно зростає залежність від впливу шумів, або недостатньої потужності сигналу на прийомі. З цього можна зробити висновок, що даний тип модуляції гарантує передачу великих об'ємів інформації у випадку забезпечення належної потужності сигналу та низького впливу шумів.

Порівнюючи m -PSK з m -QAM, m -QAM переважає за ефективністю при цьому коефіцієнт підсилення енергії зростає зі зростанням m . Наприклад, для $m = 16$ коефіцієнт підсилення складає приблизно 4 дБ, а для $M = 64$ близько 10 дБ. Фізично це пов'язано з тим, що відстань між сусідніми точками в сигнальній групі m -PSK менше, ніж у m -QAM.

3.5 Висновки до розділу

Проведене комп'ютерне моделювання різних типів модуляцій - OQPSK, DQPSK та M-QAM у середовищі LabVIEW дало важливі висновки щодо їхньої ефективності та особливостей. Виявлено, що M-QAM виявляється більш ефективним в порівнянні з OQPSK та DQPSK. Крім того, зауважено, що зі збільшенням кількості точок сузір'я M-QAM (M), зростає коефіцієнт підсилення енергії, що може бути корисним у проектуванні та оптимізації систем передачі даних. Такі дослідження допомагають краще розуміти особливості модуляційних методів та їхні можливості у різних сценаріях застосування, що має важливе значення для подальшого розвитку та вдосконалення бездротових комунікаційних систем.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Глибокі зміни в організаціях, спричинені переходом держави на нову модель господарювання, визначили потребу у пошуку ефективних методів поліпшення умов праці на робочому місці, що має вирішальне значення для результативності та ефективності праці.

Робоче місце відіграє ключову роль у економіці, як на рівні підприємства та його підрозділів, так і на рівні регіону та держави в цілому.

У приміщенні, де відбувалися моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LabVIEW присутні такі шкідливі та небезпечні фактори [23]:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- відсутність чи нестача природного світла;
- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час виконання роботи.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Широке промислове та побутове використання ПК актуалізувало питання охорони праці його користувачів.

Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які

супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

Виходячи з цього, роботодавець повинен забезпечити гігієнічні й ергономічні вимоги щодо організації робочих приміщень для експлуатації ПК, робочого середовища, робочих місць з ПК, режиму праці і відпочинку при роботі з ПК тощо, які викладені у Правилах.

Основні вимоги до виробничого приміщення для експлуатації ПК:

- приміщення не може бути розміщено у підвалах та цокольних поверхах;
- площа на одне робоче місце в такому приміщенні повинна становити не менше $6,0\text{ м}^2$, а об'єм не менше $20,0\text{ м}^3$;
- приміщення повинно мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [28];
- необхідно щоденно проводити вологе прибирання;
- поруч з приміщенням для роботи з ПК мають бути обладнані: побутова кімната для відпочинку під час роботи; кімната психологічного розвантаження.

Організація робочого місця користувача комп'ютера повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам. Виконуючи практичні завдання щодо використання робочої пози, потрібно:

- зменшувати величину статичних напружень;
- розподіляти статичні напруження;
- передбачати можливість змін пози під час роботи.

Для роботи операторів ПК у положенні сидячи рекомендовані такі параметри робочого простору: ширина - не менше 700 мм, глибина - не менше 400 мм, висота робочої поверхні над підлогою – 700 ... 750 мм.

Під робочою поверхнею необхідно передбачити простір для ніг: висота - менше 600 мм, ширина - не менше 500 мм, глибина - не менше 400 мм. За необхідності огляду робочого місця його висота не повинна перевищувати 1200 мм.

Під час роботи сидячи нижня частина корпусу розслаблена, а основне статичне навантаження припадає на м'язи ший, спини, таза, стегон.

Неправильна сидяча поза може викликати застій крові в ногах, а якщо виконується великий обсяг роботи для пальців рук – запалення суглобів.

При проектуванні письмового столу варто враховувати наступне:

- висота столу повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності спираючи на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб оператор міг зручно сидіти, не був змушений підбирати ноги;
- поверхня столу повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у поле зору оператора;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних шухляд (не менш 3-х для збереження документації, канцелярського приладдя, особистих речей).

На робочому місці моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LabVIEW існує небезпека поразки електричним струмом.

Електричний струм, впливаючи на тіло людини, може заподіяти йому явні чи приховані пошкодження, в тому числі опіки всього тіла або окремих його ділянок; електричні удари характерні внутрішніми ушкодженнями тощо.

Приміщення, де виконується робота, згідно ПУЕ «Правила влаштування електроустановок» класифікується як приміщення без підвищеної небезпеки [34].

Безпечна експлуатація електроустановок здійснюється у відповідності з вимогами ПУЕ [33] та «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [30] і передбачає такі заходи та засоби:

- недоступність струмоведаючих частин, прокладання електрокабелів під підлогою, в спеціальних каналах, скрите виконання освітлювальної проводки, ізоляцію струмо-провідних елементів ($R_{i3} \geq 0.5 \text{ МОм}$);
- захисне заземлення всіх металевих струмопровідних частин електроустановок та ПК ($R_{з \text{ доп}} \leq 4 \text{ Ом}$);
- використання пониженої напруги 36 В (для аварійного освітлення щита) в операторському пункті та виробничому приміщені;
- застосування попереджувальної сигналізації, написів, плакатів при проведенні планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електрообладнання;
- проведення організаційних заходів (спеціальне навчання, атестація та переатестація осіб електротехнічного персоналу, інструктажі тощо).

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Температура, відносна вологість, швидкість руху повітря біля тіла людини, а також температура стін і навколишніх предметів утворюють мікроклімат на робочому місці. Температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря вимірюють на висоті 1,0 м від підлоги або робочої площадки при роботах, що виконуються сидячи, і на висоті 1,5 м – при роботах, що виконуються стоячи, і не ближче 1 м від нагрівальних приладів і зовнішніх стін.

Робота, яка виконується під час моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LabVIEW згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139 Дж/с) [23]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

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

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ згідно ДСН 3.3.6.042-99 [32]. Джерелами запиленості повітря в приміщенні є одяг людей і пил, що проникає з вулиці. У приміщенні немає значного виділення шкідливих газів. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

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

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Правильно спроектоване освітлення, яке відповідає вимогам санітарних норм здійснює позитивний психологічний вплив на працівника, знижує втому, створює оптимальні умови для роботи органів зору, і тим самим підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Освітлення створюється природним сонячним світлом (природне) і світлом від електричних ламп (штучне). Природне освітлення є найсприятливішим для людини, так як сонячне світло має оптимальний спектр, в ньому наявна достатня кількість ультрафіолетових променів. Штучне освітлення передбачається у приміщеннях, де недостатньо природного світла, і для освітлення у вечірні та нічні години.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 4.4 (за ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення [28]):

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 – 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду.
- 3) Використання жалюзі на вікнах для регулювання кількості природного світла у приміщенні.
- 4) Загальне штучне освітлення створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

4.2.4 Виробничий шум

Шум визначають як сукупність аперіодических звуків різної інтенсивності та частоти. Шум заважає роботі, знижує працездатність і продуктивність праці, при тривалій і інтенсивній дії викликає захворювання організму.

У закритих приміщеннях шум, багаторазово відбиваючись від стін та стелі, посилюється. Тому рекомендується проводити їх акустичну обробку за допомогою звукопоглинальних облицювань з пористих матеріалів, які мають великий коефіцієнт звукопоглинання.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [31].

Таблиця 4.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для зменшення шуму здійснюють своєчасний ремонт та профілактику обладнання.

4.2.5 Виробничі випромінювання

На робочій місці розробника у зв'язку із експлуатацією електричної апаратури, існує ризик виникнення підвищеного рівня електромагнітного випромінювання.

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань шкодить здоров'ю людини. Від цього страждає передусім нервова і серцево-судинна системи, виникають головний біль і перевтома, знижується точність робочих рухів, порушується сон. Електромагнітне випромінювання викликає зміни тиску крові, гіпотонію або гіпертонію.

Рівні електромагнітних випромінювань моніторів, які вважаються безпечними для здоров'я користувачів, регламентуються нормами MPR II

1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень (табл.4.6) [33, с.348].

Таблиця 4.6 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	ТСО	MPR II
Змінне електричне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	10 В/м 1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м 2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на відстані 0,5 м навколо монітора

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань використовують обмеження часу перебування персоналу в робочій зоні та встановлюють раціональні режими експлуатації ПК і роботи працюючого персоналу.

4.3 Пожежна безпека

Неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що завдає матеріальних збитків, називають пожежею. Запобігання пожеж здійснюється головним чином шляхом виключення можливості утворення горючих або вибухонебезпечних середовищ і джерел запалювання. На випадок пожежі на підприємстві повинна бути пожежний захист для запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від нього.

Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту і системою організаційно-

технічних заходів. Метою пожежної безпеки об'єкта є попередження виникнення пожежі на визначеному чинними нормативами рівні, а у випадку виникнення пожежі – обмеження її розповсюдження, своєчасне виявлення, гасіння пожежі, захист людей і матеріальних цінностей.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

До причин, що можуть спричинити пожежу в приміщенні, відносяться:

- перевантаження електромережі і перегріву струму несучих частин та з'єднань;
- порушення правил експлуатації техніки.

Система запобігання пожежі передбачає:

- періодичний контроль цілісності ізоляції;
- наявність спеціальних місць для куріння;
- періодичне проведення інструктажів з протипожежної безпеки;
- незахаращення приміщення горючими матеріалами;
- наявність системи захисту від атмосферної електрики.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Приміщення оснащене вуглекислотними вогнегасниками – на території 300 м² 4 вогнегасника (в кожному відділі і на сходовому марші). Також у коридорі встановлений пожежний гідрант з рукавом, який підключений до системи водопостачання.

Вогнегасники слід встановлювати у легкодоступних та помітних місцях (коридорах, біля входів або виходів з приміщень тощо), а також у пожежонебезпечних місцях, де найбільш вірогідна поява осередків пожежі. При цьому необхідно забезпечити їх захист від попадання прямих сонячних

променів і безпосередньої (без загороджувальних щитків) дії опалювальних та нагрівальних приладів [29].

Використані вогнегасники, а також вогнегасники із зірваними пломбами необхідно негайно направляти на перезарядження або перевірку. Вогнегасники, відправлені з об'єкта на перезарядження, повинні бути замінені відповідною кількістю заряджених вогнегасників.

Пожежні щити (стенди) повинні забезпечувати:

- захист вогнегасників від потрапляння прямих сонячних променів, а також захист знімних комплектуючих виробів від використання сторонніми особами не за призначенням (для щитів та стендів, установлюваних поза приміщеннями);
- зручність та оперативність зняття закріплених на щиті (стенді) комплектуючих виробів.

Для зазначення місця розміщення первинних засобів пожежогасіння слід встановлювати вказівні знаки згідно з чинними державними стандартами. Знаки повинні бути розміщені на видних місцях на висоті стандартами. Знаки повинні бути розміщені на видних місцях на висоті 2–2,5 м від рівня підлоги як всередині, так і поза приміщеннями (за потреби).

Власники підприємств, установ та організацій або уповноважені ними органи, а також орендарі зобов'язані:

- розробляти комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати передові досягнення науки;
- забезпечувати дотримання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- організовувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів щодо їх забезпечення;

- у разі відсутності нормативних актів вимог, необхідних для забезпечення пожежної безпеки, вживати відповідні заходи, погоджуючи їх з органами державного нагляду;
- утримувати в справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;
- створювати, у разі потреби, відповідно до встановленого порядку, підрозділи пожежної охорони та необхідну для їх функціонування матеріально-технічну базу;
- подавати на вимогу державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і продукції, що ними виробляється;
- здійснювати заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж і використання з цією метою виробничої автоматики;
- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також про закриття доріг і проїздів на своїй території;
- проводити службове розслідування випадків пожеж.

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії, мікроклімат приміщень, виробниче освітлення, виробничий шум та випромінювання. Також розглянуто пожежна безпека у виробничих приміщеннях та технічні рішення системи запобігання пожежі та систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

Було проведено дослідження загальних характеристик цифрових видів модуляції (амплітудної, частотної та фазової). Описано основні концепції та принципи функціонування цих видів модуляції, а також їхній вплив на якість передачі сигналу в цифрових системах зв'язку.

Крім того, у дослідженні було розглянуто різні методи візуалізації модульованих сигналів. Особливу увагу приділено полярним та квадратурним діаграмам, які є основними інструментами для представлення таких сигналів.

Також, було обґрунтовано, що полярні та квадратурні діаграми є незамінними інструментами для аналізу цифрових сигналів у системах зв'язку, оскільки вони дозволяють ефективно візуалізувати та розуміти характеристики модульованих сигналів і впливати на їхню якість передачі.

Далі, проведено дослідження та аналіз параметрів і властивостей цифрових методів модуляції: DQPSK, OQPSK та QAM. Дослідження основних параметрів DQPSK та OQPSK дозволило отримати важливі відомості щодо фазових зміщень, амплітуди сигналу та ширини смуги, що є критичними для правильного розуміння його функціонування та

Дослідження модуляції QAM дозволило детально вивчити основні параметри цього методу, такі як кількість амплітудних та фазових рівнів, спектральна ефективність та стійкість до помилок передачі.

Розробка типової структури модулятора та демодулятора для QAM сигналу підкреслила практичну важливість наших досліджень, адже правильна і ефективна реалізація цих структур є ключем до успішного впровадження методу QAM у сучасних системах зв'язку та передачі даних.

На завершальному етапі роботи, було проведено комп'ютерне моделювання розглянутих раніше типів модуляцій – OQPSK, DQPSK та m-

QAM у середовищі LabVIEW, що дозволило зробити важливі висновки щодо їхньої ефективності та особливостей.

Виявлено, що m-QAM виявляється більш ефективним в порівнянні з OQPSK та DQPSK. Крім того, зауважено, що зі збільшенням кількості точок сузір'я

m-QAM, зростає коефіцієнт підсилення енергії, що може бути корисним у проектуванні та оптимізації систем передачі даних. Такі дослідження допомагають краще розуміти особливості модуляційних методів та їхні можливості у різних сценаріях застосування, що має важливе значення для подальшого розвитку та вдосконалення бездротових комунікаційних систем.

Також, було порівняно результати отримані за допомогою комп'ютерного моделювання з представленими у теоретичному огляді, та з'ясовано, що вони є оптимально схожими та наслідують усі принципи притаманні описаним схемам перетворення сигналів (модуляції).

Отримані похибки (що відображаються на графіках, спричинені похибками вимірювань, неідеальністю вузлів схем, та іншими параметрами) є незначними та не впливають на загальну картину дослідження. Отже, ними можемо знехтувати.

Також, було розглянуто питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, проведено розрахунки та зроблено необхідні висновки.

Отже, можемо зробити висновок, що усі поставлені до даної роботи завдання, були виконані у повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бортник Г. Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів [Текст] : монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. - Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с. - ISBN 978-966-641-678-3.
2. Бойко Ю.М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сен-сорних мереж / Ю.М. Бойко, В.В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – Хмельницький . – 2010. – №2. С. 94-98.
3. Boyko J., Babiya J., Karpova L. Conceptual Features of Application of Facilities of Adaptive Filtration are in the Tasks of Authentication of Noise of Communication Channels / J. Boyko // Proceeding of the Xth International Conference TCSET 2010. – Lviv - 23.02.2010. P. 299.
4. Ong L.T., Shikh-Bahaei M., Chambers J.A. Variable rate and variable power MQAM system based on Bayesian bit error rate and channel estimation techniques // IEEE Transactions on Communications. — 2018. — Vol. 56, Issue 2. — P. 177-182.
5. Горбатий І.В. Математичні моделі та методи дослідження телекомунікаційних каналів: Монографія. — Львів : СПОЛОМ, 2016. — 156 с.
6. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем. / В.В. Поповський, С.О.Сабурова, В.Ф.Олійник, Ю.Л.Лосев, Д.В.Агєєв, та ін.: За загальною редакцією В.В. Попівського. - Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2016.-564 с.
7. J. Hardwick, C.D. Yoo, and J.S. Lim, “Speech enhancement using the dual excitation speech model,” in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP), 2013, pp. 367–370.

8. C.D. Yoo, "Speech enhancement based on the generalized dual excitation model with adaptive analysis window," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP), 2005, vol. 1, pp. 832–835.
9. S. Mosayyebpour, M. Esmaeili, T. A. Gulliver, "Single-Microphone Early and Late Reverberation Suppression in Noisy Speech," IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process., vol. 21, no. 2, pp. 322–335, Feb. 2013.
10. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].
11. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.В. Багрій, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. 3-те вид. допов. і переробл.— К.: Вища школа, 2010. — 426 с. (гриф надано МОН України — протокол № 1.4/18-Г-414 від 14.02.2008 р.). ISBN 966-642-193-3.
12. Політанський, Р.Л. Широкосмугові сигнали у телекомунікаційних системах / Ю.Я. Бобало, А.Д. Верига, С.Д. Галюк, М. М. Климаш, Р.Л. Політанський, // IV-а Міжнародна науково-практична конференція «Фізикотехнологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки. — Чернівці, Жовтень, 2014, С. 25-26.
13. R. E. Ziemer and W. H. Tranter, Principles of Communications: Systems, Modulation, and Noise. Wiley, 2019.
14. Silva, C. P. Introduction to Chaos-Based Communications and Signal Processing / C. P. Silva, A. M. Young // IEEE Aerospace Conference Reprint. — 2010. — P. 21.
15. Volkovskii, A. R. Synchronization an communication using chaotic frequency modulation / A.R. Volkovskii and L. S. Tsiming // Int. J. Circ. Theor. Appl. — 2009. — Vol. 27. — P. 569-567.

16. Bolotov, V.N. Fractal Communication System / V.N. Bolotov, S. E. Kolesnikov, Yu.V. Tkach, Ya. Yu Tkach, P. V. Khupchenko. – Electromagnetic Phenomena. – 2007. – V. 7, № 1 (18). —p. 174–179.
17. Simulink. Dynamic System Simulation for MATLAB. – The MathWorks, 2009. – 604 p.
18. Толочко О.І., Чекавський Г.С., Мірошник Д.М. Векторні моделі асинхронного двигуна у середовищі пакета MATLAB // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – 2013. – Т.1. –№ 2 (19). – С. 199-202.
19. W. T. Cochran and B. Natarajan, Digital and Analog Communication Systems. Prentice Hall, 2012.
20. B. V. Zeghbroeck, Principles of Semiconductor Devices and Heterojunctions. Prentice Hall, 2011.
21. S. T. Karris, Signals and Systems with MATLAB Computing and Simulink Modeling. Orchard Publications, 2006.
22. V. Palanisamy, *Digital Communication Techniques: Signal Design and Detection*. Springer, 2013.
23. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.
24. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.
25. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>.
26. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення.

Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

27. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

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

29. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47с.

30. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с.

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

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

33. Охорона праці та промислова безпека: навч.посіб. [К.Н.Ткачук, В.В.Зацарний, Р.Н.Сабарно та ін.]; за ред. К.Н.Ткачука, В.В.Зацарного. – К.: Основа. – 2009. – 454 с.

34. Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.34.com.ua/PUE.html>.

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

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦИФРОВОЇ
МОДУЛЯЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

(назва бакалаврської дипломної роботи)

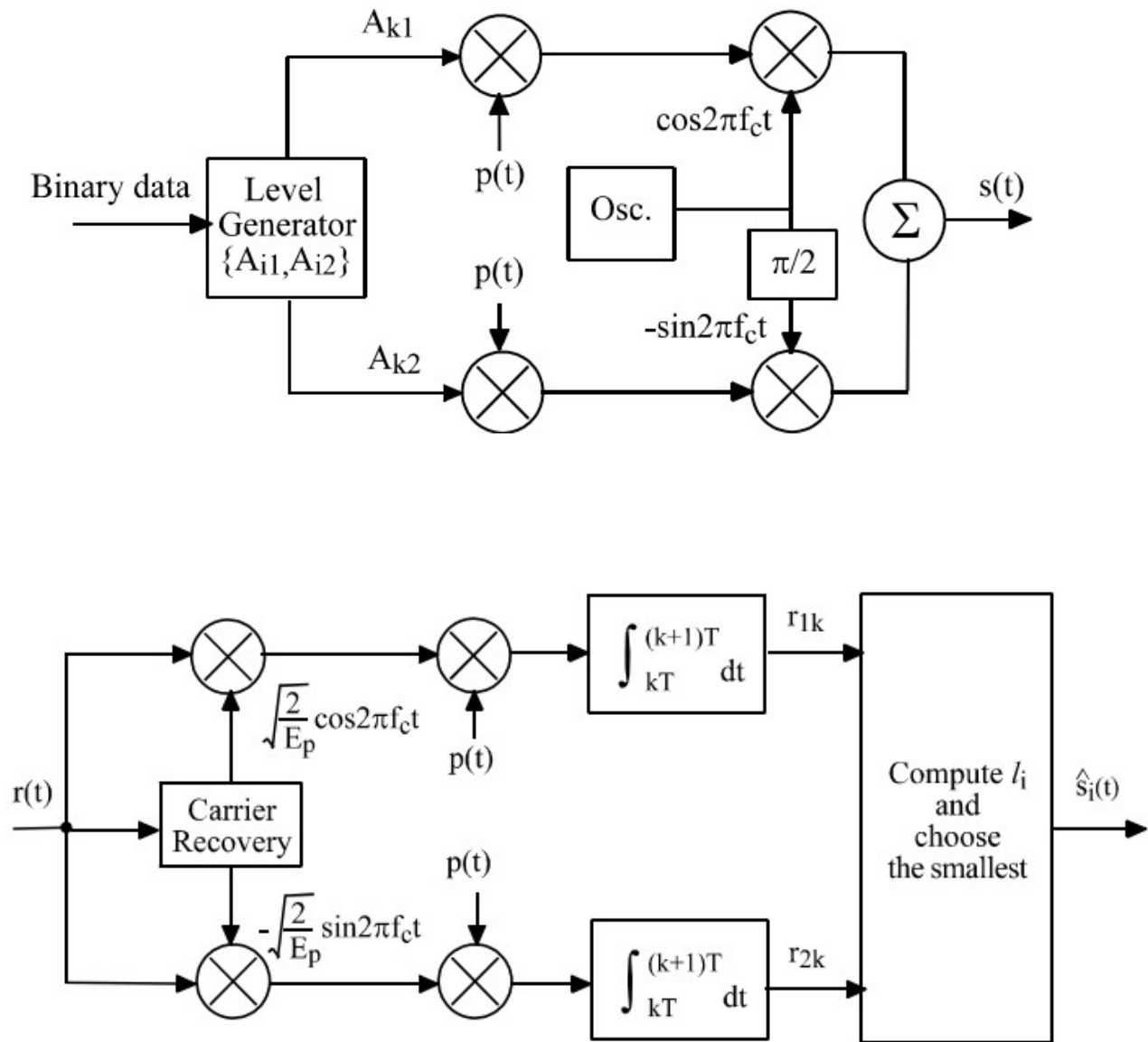


Рисунок А.1 – а) Схема QAM модулятора та б) демодулятора QAM сигналів

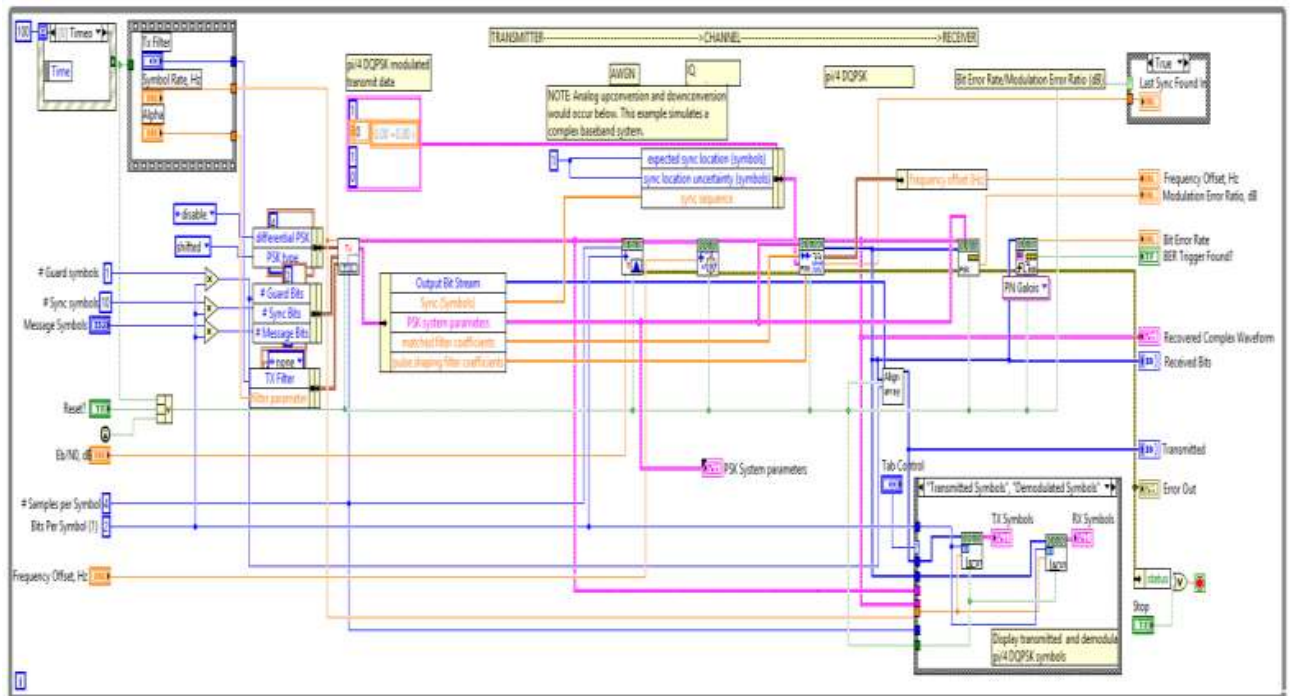


Рисунок А.2 – Симуляційна схема DQPSK

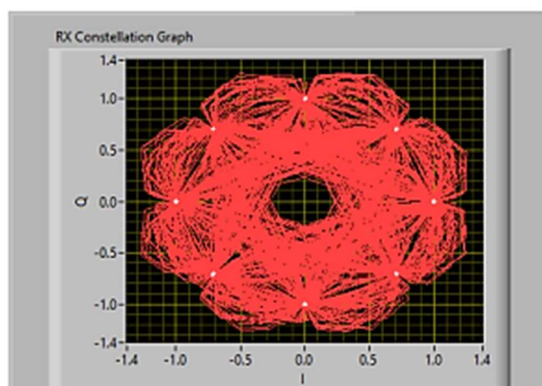
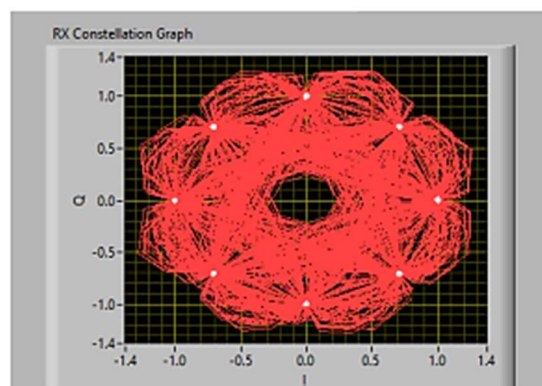
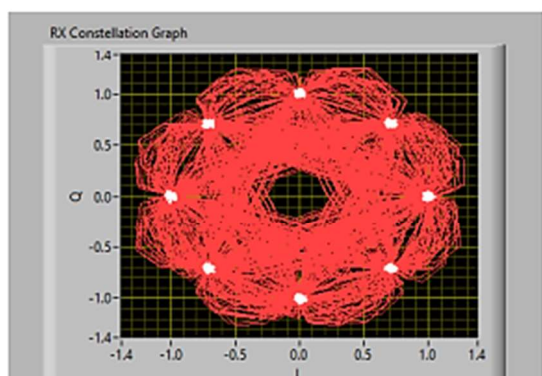
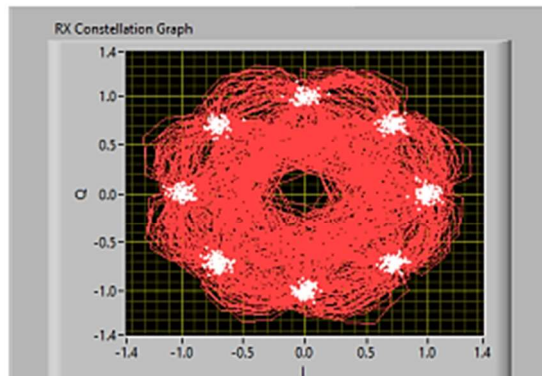
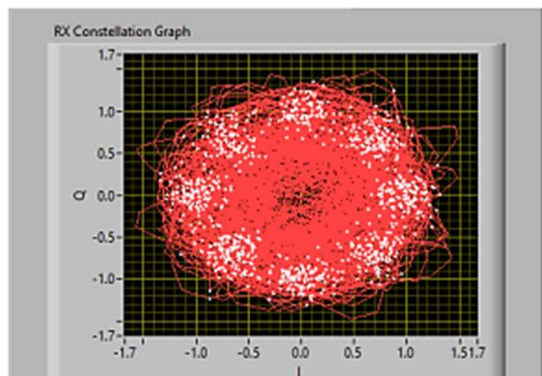
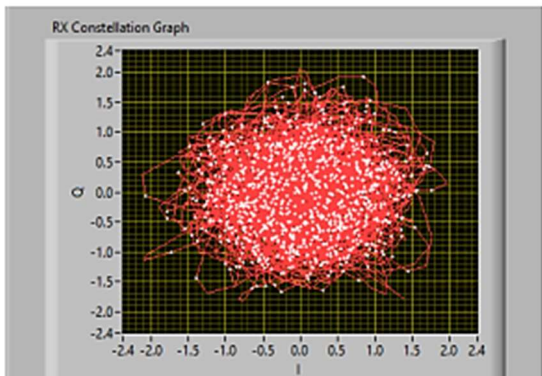
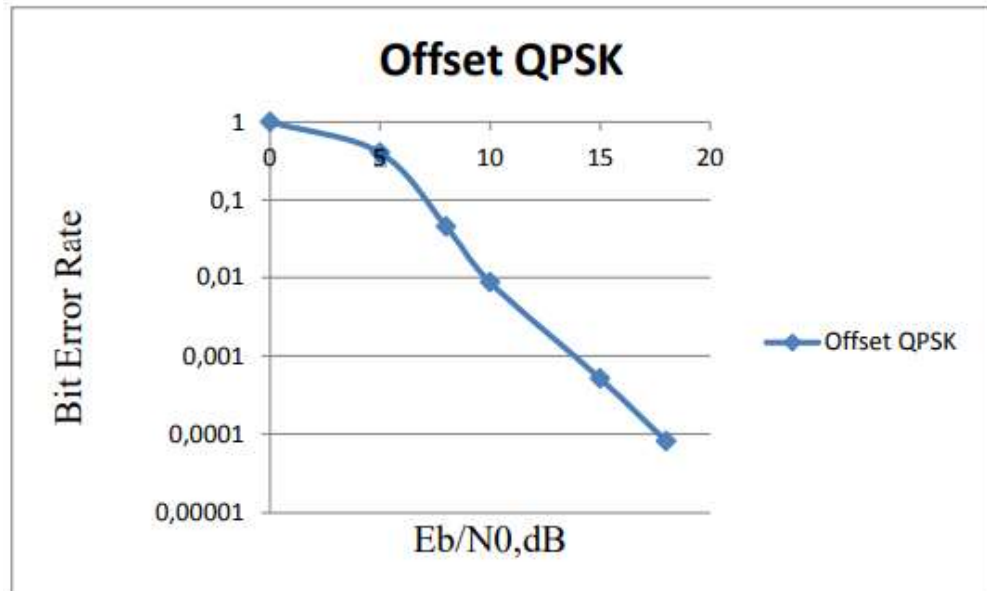
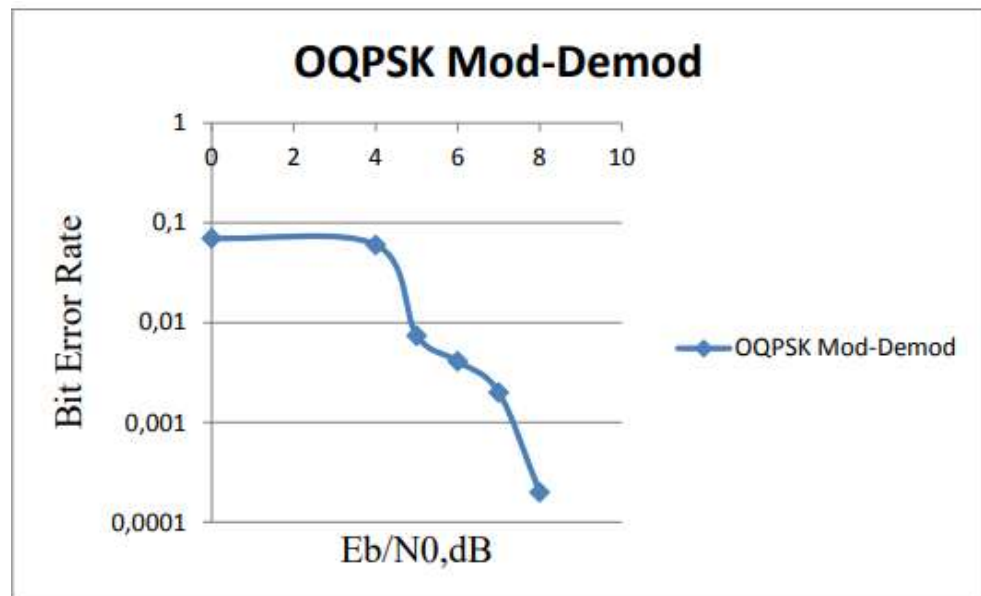
а) $E_b/N_0=50$ б) $E_b/N_0=40$ в) $E_b/N_0=30$ г) $E_b/N_0=20$ д) $E_b/N_0=10$ е) $E_b/N_0=0$

Рисунок А.3 – Результати моделювання сигналу DQPSK на вході приймача при різних значеннях E_b/N_0



а)



б)

Рисунок А.4 — Результат моделювання залежності бітової помилки від співвідношення сигнальної енергії до шумової потужності (E_b/N_0)

а) – при передачі; б) – на прийомі

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Моделювання та дослідження властивостей цифрової модуляції в середовищі LABVIEW

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 97,37 % Схожість 2,63%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа відповідальна за перевірку

(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи

(підпис)

Полічковський Р.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кичак В.М.

(прізвище, ініціали)