

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри _____ В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« ____ » _____ 2020 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Реалізація каналу передачі даних на базі двох платформ ADALM-
PLUTO SDR з використанням модуляції 16APSK»

Виконав: студент 6 курсу, групи 6391м
спеціальності 171

«Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

ОПП «Телекомунікаційні системи та мережі»

Рєпін І. І.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник _____ Іхсанов Ш. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Дьяконов О.С.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2020 року

ННІ автоматики та електротехніки
Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171«Електроніка»
ОПП «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЕЕТ
В. М. Рябенський
« » 2020 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Рєпіну Іллі Ігоревичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Реалізація каналу передачі даних на базі двох платформ ADALM-PLUTO SDR з використанням модуляції 16APSK»

керівник роботи Іхсанов Шаміль Мухаметович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" жовтня 2020 р.
№ 1038-УЧ

2. Строк подання студентом роботи листопад 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд існуючого на кафедрі ПЕЕТ каналу передачі даних з використанням двох платформ PLUTO-SDR. Теоретичні дані о модуляції APSK. Впровадження модуляції APSK в реальний канал пересилання даних. Експериментальна оцінка характеристик каналу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1. Огляд існуючого на кафедрі ПЕЕТ каналу передачі даних з використанням двох платформ PLUTO-SDR

4.2. Теоретичні основи модуляції APSK

4.3. Впровадження модуляції APSK в реальний канал передачі даних

4.4. Охорона праці та навколишнього середовища

4.5. Висновки. Література.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Амплітудні розгортки и сигнальні сузір'я переданих інформаційних пакетів

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Тубальцев А.М.</i>		

8. Дата видачі завдання « 30 » ____10____ 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення та підбір літератури за методами кодування цифрової інформації для передачі. Модуляція APSK.	28.09.2020	
2.	Доопрацювання програми для передавального Pluto	30.10.2020	
3.	Доопрацювання програми для приймального Pluto	10.11.2020	
4.	Експериментальна оцінка характеристик каналу з модуляцією APSK на базі 2-х платформ ADAM-PLUTO SDR.	30.11.2020	
5.	Розробка розділу з охорони праці та довкілля	05.12.2020	
6.	Оформлення дипломної роботи	15.12.2020	
7.			
8.			
9.			
10.			

Керівник роботи

(підпис)

Ш. М. Іхсанов

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

І. І. Рєпін

(прізвище та ініціали)

Анотація

У теоретичній частині роботи проведено огляд існуючого на кафедрі ПЕЕТ каналу передачі даних з використанням двох платформ PLUTO-SDR. Дано короткий опис платформи PLUTO-SDR, детально розглянута програмна реалізація каналу передачі даних і наведені дані по експериментальній оцінці характеристик різних блоків.

Другий розділ присвячений викладу теоретичних основ модуляції APSK. Розглянуто модуляція APSK для стандарту режиму DVB-S2 з об'ємом алфавіту 8, 16, 32, 64, 128 та 256.

У третьому розділі детально розглянуті необхідні доопрацювання програми для передавального і приймального Pluto для впровадження модуляції APSK в реальний канал передачі даних. У Matlab реалізована модель каналу передачі даних, на якій відпрацьована власна функція синхронізації фази, ефективно працююча також в реальному каналі передачі даних. Проведено аналіз отриманих експериментальних даних.

Розроблено заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Abstract

In the theoretical part of the work, a review is made of the data transmission channel existing on the PEET department using two PLUTO-SDR platforms. A brief description of the PLUTO-SDR platform is given. The software of the data transmission channel is considered in detail, experimental data of the characteristics of various blocks are presented.

The second section is devoted to the presentation of the theoretical foundations of APSK modulation. APSK modulation for the DVB-S2 mode standard with alphabet volume 8, 16, 32, 64, 128 and 256 is considered.

The third section discusses in detail the necessary refinements of the program for transmitting and receiving Pluto to implement APSK modulation in the real data channel. In Matlab has been implemented a model of the data transmission channel, which has its own phase synchronization function, which also works effectively in a real data transmission channel. The analysis of the received experimental data is carried out.

Developed measures for labor protection and environmental protection.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА	
ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО НА КАФЕДРІ ПЕЕТ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З	
ВИКОРИСТАННЯМ ДВОХ ПЛАТФОРМ PLUTO-SDR.....	10
1.1. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАТФОРМИ ADALM-PLUTO SDR.....	10
1.2. ПРОГРАМА QPSKTRANSMIT ДЛЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО PLUTO.....	12
1.3. ПРОГРАМА QPSKRECEIVE ДЛЯ ПРИЙМАЛЬНОГО PLUTO.....	15
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИГНАЛІВ С APSK МОДУЛЯЦІЕЙ	30
РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ МОДУЛЯЦІЇ APSK В РЕАЛЬНИЙ КАНАЛ ПЕРЕДАЧІ	
ДАНИХ.....	36
3.1. ДООПРАЦЮВАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО PLUTO	36
3.2. ДООПРАЦЮВАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ПРИЙМАЛЬНОГО PLUTO	39
3.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	47
3.4. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.	55
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	57
4.1. АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВАЮЧИХ НА ЛЮДИНУ	58
4.2. ВИДИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАВМ.....	59
4.3. РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ	62
4.4. СИСТЕМИ ЗАСОБІВ І ЗАХОДІВ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	64
4.5. СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЗАХИСНИХ ЗАСОБІВ.	65
4.6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	66
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

QPSK (Quadrature phase shift keying) – квадратурна фазова модуляція

APSK (Amplitude phase shift keying) – амплітудно-фазова модуляція

Pluto-SDR – платформа для передачі і прийому сигналів в широкому
діапазоні частот

KIX фільтр – фільтр з кінцевою імпульсною характеристикою

МНК – метод найменших квадратів

СКВ – середньоквадратичне відхилення

FFT – Fast Fourier Transformation (ШПФ – швидке перетворення Фу-
р'є)

BER – Bit Error Ratio (частота збою бітів)

ПСП – псевдовипадкова послідовність

					171.6391м.КР.ПЗ.Перелік скорочень	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зі зростанням використання електроніки і комп'ютерів, посилюється потреба у швидкій і надійній передачі інформації по каналах зв'язку. У будь-якому каналі зв'язку присутні шуми – сигнали, які можуть спотворювати інформацію, що передається. З цими спотвореннями можна боротися, перетворюючи інформацію, що передається, за допомогою коду, який буде виявляти і виправляти помилки. В основі роботи всіх кодів лежить модифікування вихідних даних шляхом додавання деякої надлишкової інформації, яка дозволяє виявляти і виправляти помилки, які могли виникнути при передачі кодованої інформації по зашумленому каналу зв'язку.

У 1969 році, за допомогою штучних супутників Mariner 6 і Mariner 7, було отримано близько двохсот фотографій Марса. Кожна фотографія складалася з 658240 восьмибітних пікселів. Таким чином, для кожної фотографії було потрібно близько 5-ти мільйонів бітів інформації. Ці біти були кодовані кодом, що виправляють помилки, і передані зі швидкістю 16200 біт в секунду на Землю, де вони були успішно декодовані.

Історія кодування, що контролює помилки, почалася в 1948 р. публікацією знаменитої статті Клода Шенона. Шенон показав, що з кожним каналом пов'язано вимірювання в бітах за секунду і зване пропускною спроможністю каналу число C , що має таке значення. Якщо необхідна від системи зв'язку швидкість передачі інформації R (яка вимірюється в бітах в секунду) менше C , то, використовуючи коди, які контролюють помилки, для даного каналу можна побудувати таку систему зв'язку, що ймовірність помилки на виході буде як завгодно мала.

У п'ятдесяті роки багато зусиль було витрачено на спроби побудови в явному вигляді класи кодів, що дозволяють отримати обіцяну як завгодно малу ймовірність помилки, але результати були мізерними. У наступному десятилітті цьому захоплюючому завданню приділялося менше уваги, замість цього дослідники кодів зробили атаку за кількома основними напрямками.

					171.6391м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Один з напрямків мав чисто алгебраїчний характер і переважно розглядав блокові коди. Перші блокові коди були введені в 1950 р., коли Хеммінг описав клас блокових кодів, що виправляють поодинокі помилки. Незважаючи на посилені дослідження, до кінця п'ятдесятих років не було побудовано кращого класу кодів. Основний зсув стався, коли Боуз і Рой-Чоудхурі в 1960 р. і Хоквінгем в 1959 р. знайшли великий клас кодів, що виправляють кратні помилки (коди БЧХ).

Але клас кодів, що виправляють кратні помилки, не є досить потужним для виправлення пакетних помилок, що часто виникають у каналах зв'язку, тому є виправданим рішення розглядати код Ріда-Соломона для проектування програмного комплексу.

Повідомлення передаються за допомогою сигналів. У найпростішому випадку повідомлення може полягати в наявності (відсутності) прийнятого сигналу. При цьому потрібно вирішувати задачу виявлення сигналу. У багатьох випадках вид переданих сигналів заздалегідь відомий, і прийом повідомлення полягає в тому, щоб визначити, який з можливих сигналів був переданий. Тоді завдання полягає в розрізненні сигналів. Якщо сигнали відрізняються значеннями їх параметрів, які вважаються постійними протягом деякого інтервалу, то необхідно отримувати оцінки параметрів сигналу. Повідомлення може міститися в змінах параметрів, тобто в їх миттєвих (локальних) значеннях. Тоді для отримання повідомлення потрібно виконати фільтрацію параметрів сигналу. Ця задача фільтрації, як правило, є більш складною, ніж оцінювання параметрів.

Управління інформаційним параметром сигналу відповідно переданим повідомленням називають модуляцією.

Модуляція сигналів дозволяє виконати перетворення сигналів з метою підвищення ефективності та завадостійкості процесу передачі інформації. У більшості випадків методи модуляції ґрунтуються на управлінні параметрами сигналів відповідно до інформаційним повідомленням. При модуляції сигналів змінюється їх форма і спектральні характеристики.

					171.6391м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості формування спектрів сигналів мають важливе значення для систем зв'язку і телекомунікацій. Наведені методи обробки сигналів знайшли практичне застосування в супутниковому зв'язку [3].

Актуальність теми:

ADALM-PLUTO від компанії Analog Devices є модулем активного навчання PlutoSDR. Це простий у використанні інструмент від компанії Analog Devices. Він може використовуватися для впровадження програмно-визначаємого радіо (SDR) і радіоканалів зв'язку в якості передових тем в електротехніці. Різноманітність програмного забезпечення на кшталт MATLAB або Simulink забезпечують інноваційний графічний інтерфейс з інтуїтивним використанням і мінімізацією часу навчання. Це дозволяє студентам вчитися швидше, ефективніше і досліджувати більше.

Модуляція APSK широко використовується в супутникової передачі даних в режимі DVB-S2 (digital video broadcasting via satellite, second generation - цифрове телевізійне мовлення через супутник, друге покоління).

Мета роботи:

1. Розробка власної функції синхронізації фази;
2. Розглянуті необхідні доопрацювання програми кафедри ПЕЕТ для передавального і приймального Pluto для впровадження модуляції APSK в реальний канал передачі даних;
3. Провести аналіз отриманих експериментальних даних.

					171.6391м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Студент	Репін І. І.				Огляд існуючого на кафедрі ПЕЕТ каналу передачі даних з використанням двох платформ Pluto-SDR	Літ.	Арк.	Аркуші
Консульт.	Тубальцев А.М.						9	19
Н. контр.						НУК ім. адмірала Макарова		
Керівник	Іхсанов Ш. М.							
Зав. каф.	Рябенський В. М.							

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО НА КАФЕДРІ ПЕЕТ

КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ

ДВОХ ПЛАТФОРМ PLUTO-SDR

1.1. Технічні характеристики платформи ADALM-PLUTO SDR

ADALM-PLUTO від компанії Analog Devices є модулем активного навчання Pluto SDR. Це простий у використанні інструмент від компанії Analog Devices. Він може використовуватися для впровадження програмно-визначаємого радіо (SDR) і радіоканалів зв'язку в якості передових тем в електротехніці. Різноманітність програмного забезпечення на кшталт MATLAB або Simulink забезпечують інноваційний графічний інтерфейс з інтуїтивним використанням і мінімізацією часу навчання. Це дозволяє студентам вчитися швидше, ефективніше і досліджувати більше. Модуль був побудований на базі пристрою AD9363, і він пропонує один канал прийому і один канал передачі. Канали можуть працювати в повнодуплексному режимі, здатні генерувати або оцифровувати аналогові сигнали в діапазоні від **325 МГц** до **3.8 ГГц** при частоті вибірки від **65 кГц** до **61 МГц**. Ширина смуги керованого каналу **200 кГц – 20 МГц**. Передача квадратурної інформації в ПК здійснюється по порту USB-2. Використовується 12-бітове АЦП.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд платформи ADALM-PLUTO SDR

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рис. 1.2. Внутрішній вигляд платформи ADALM-PLUTO SDR

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2. Програма QPSKtransmit для передавального Pluto

На кафедрі програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій реалізовано програму QPSKTransmitReceive.m, що забезпечує передачу і прийом інформації з використанням QPSK модуляції на базі однієї платформи ADALM-PLUTO SDR. Програма заснована на проектах корпорації MathWorks:

- plutoradioQPSKTransmitterExample.m;
- plutoradioQPSKReceiverExample.m;
- plutoradioWLANTransmitReceiveExample.m.

У свою чергу ці проекти базуються на використанні пакету Communications System Toolbox Support Package for ADALM-PLUTO Radio [6]. Програми можна використовувати в Matlab версії R2017 і вище. Проект plutoradioWLANTransmitReceiveExample призначений для роботи на одному Pluto і нормально функціонує. Як видно з назви двох перших програм, реалізований обмін інформацією між двома платформами ADALM-PLUTO SDR.

На жаль, вперше представлений в Matlab R2017 проект непрацездатний. У ньому є програмні помилки підключення до PLUTO, практично завжди інформація повністю спотворена на приймальній стороні. Версія програми, представлена в Matlab R2019, працює дещо краще, однак і тут надійний канал між двома платформами ADALM-PLUTO SDR не створюється. Як правило, BER знаходиться в інтервалі 0.1-0.3 незалежно від відношення сигнал / перешкода. У програмі циклічно передається традиційно використовувана на перших уроках з програмування фраза «Hello world» з номерами від 000 до 099. На рис. 4.3 приведена частина результату одного з характерних запусків програм:

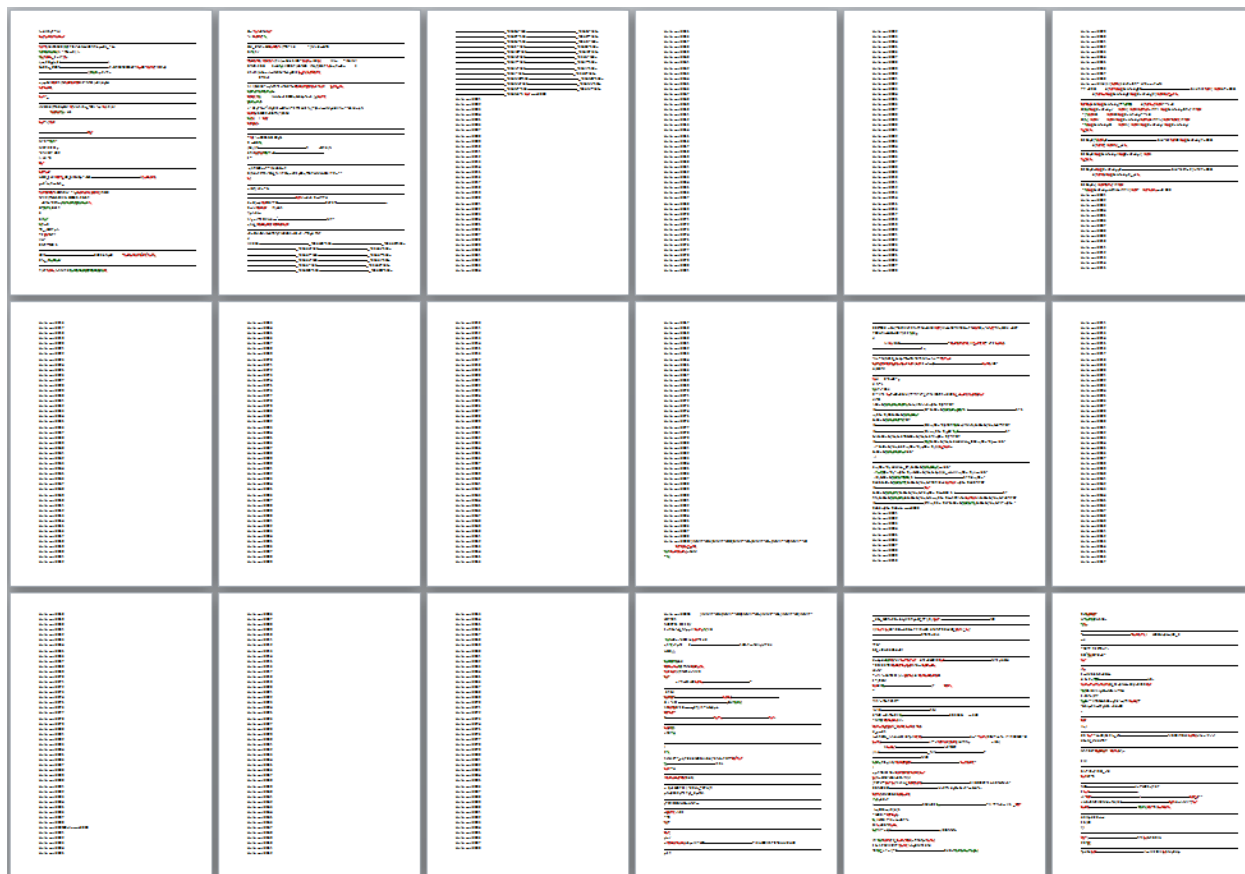


Рис. 1.3. Результат передачі інформації програмами з Matlab R2019

Тут рівні вузькі стовпці відповідають безпомилковій передачі фрази.
Підсумковий результат роботи програми:

Error rate is = 0.162003.
Number of detected errors = 444083.
Total number of compared samples = 2741200.

Можна припустити, що заключна корекція фази сигналу з кратністю 90 градусів не реалізована або реалізована з помилками. Таку обробку ми детально обговоримо нижче.

Створення стійко працюючого каналу зв'язку вимагає реалізації всіх блоків цифрової обробки, використовуваних в реальних системах, і дозволяє істотно більш глибоко засвоїти технології передачі даних в порівнянні з будь-якими цифровими моделями.

Практично у всіх реальних каналах передачі інформації випромінювання йде пакетами не надто великої тривалості, спочатку яких, як прави-

ло, випромінюється синхроімпульс для тимчасової синхронізації. Часто для цієї мети використовується код Баркера максимальною довжиною 13. Коди Баркера є кодами з мінімальним рівнем бічних пелюсток автокореляційної функції рівним $1/N$ (N – довжина коду).

Більш-менш принциповою тут є тільки частота квантування сигналу, що визначає тривалість одного символу, прийняту 10 мкс. Інші параметри можуть змінюватися в допустимих для платформи Pluto інтервалах. Тривалість одного символу також можна варіювати, але вона може істотно впливати на характеристики каналу.

Підготовлений сигнал обов'язково пропускають через підвищуючий передавальний КІХ фільтр (з кінцевою імпульсною характеристикою). Коефіцієнти фільтра обчислюється за законом «квадратний корінь з косинуса»:

Використовуваний фільтр має довжину 41 відлік, коефіцієнти фільтра на графіку виглядають таким чином (рис. 1.4):

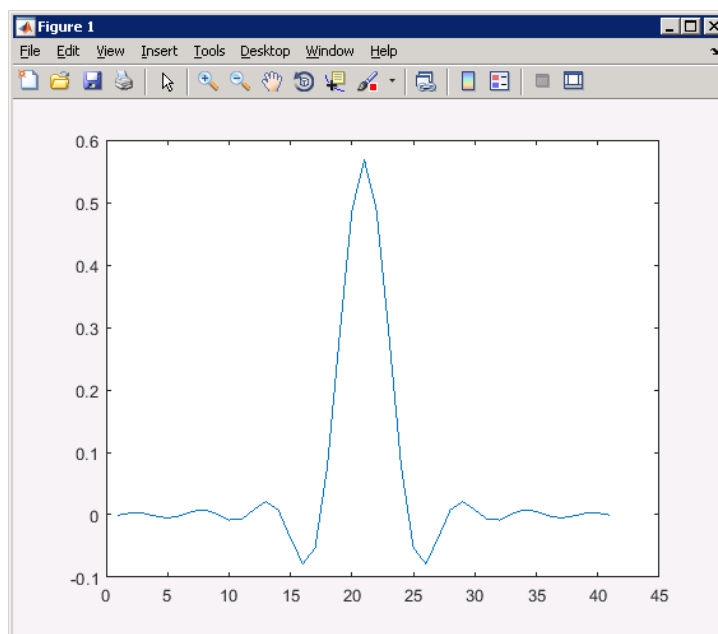


Рис. 1.4. Графік коефіцієнтів підвищувального передавального КІХ фільтра

Він збільшує частоту квантування в 4 рази. Таким чином, на кожен з 1037 бітів (13 бітів від коду Баркера і 1024 – інформаційних) в програмі

формуються 4 комплексних відліку, і загальна кількість підготовлених відліків становить 4148. Далі інформаційна частина сигналу доповнюється паузою довжини 1/16 від тривалості сигналу і випромінюється безперервно.

1.3. Програма QPSKreceive для приймального Pluto

На приймачі сигнал приймається протягом часу, що дозволяє отримати задану кількість копій переданого повідомлення (встановлено час прийому, що забезпечує отримання не менше трьох пакетів інформації). Немає необхідності штучно вводити зміщення по частоті, досить рознести частоти передавача і приймача, що робиться в програмі параметром df . На приймачі використовується та ж частота квантування, що і на передавачі.

Задано повільне регулювання посилення сигналу, що приймається. Довжина прийнятого фрейма дорівнює 17616 комплексних відліків (довжина випромінюваного сигналу з урахуванням паузи дорівнює 4404). Прийнятий сигнал на амплітудній розгортці виглядає таким чином (ослаблення сигналу передавача 40 дБ, рис. 1.5):

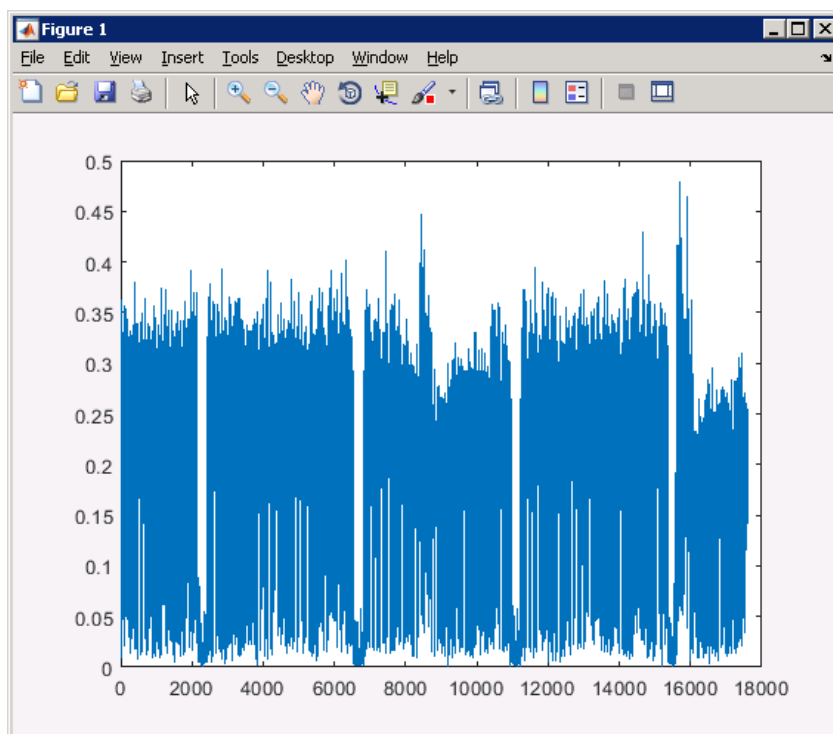


Рис. 1.5. Амплітудна розгортка пакетів прийнятого сигналу

На рисунку добре видно паузи між пакетами повідомлень і значна нерівномірність амплітуд прийнятого сигналу навіть всередині одного пакета.

Прийнятий сигнал пропускається через понижуючий в 2 рази приймальний КІХ фільтр і до виділення зон окремих пакетів надходить на перший етап усунення частотного зміщення. На цьому етапі частотний зсув оцінюється функцією `FFTFreqSynchr()`, спеціально для цього розробленою.

1.3.1. Компенсація взаємної неузгодженості частот передавача і приймача

Алгоритм компенсації взаємної неузгодженості частот передавача і приймача докладно описаний в [4]. Спектр 4-го ступеня сигналу по всьому фрейму наведено на рис. 1.6 (як і раніше, спектр замість інтервалу $[0, F_s]$ прив'язаний до інтервалу $[-F_s/2, F_s/2]$):

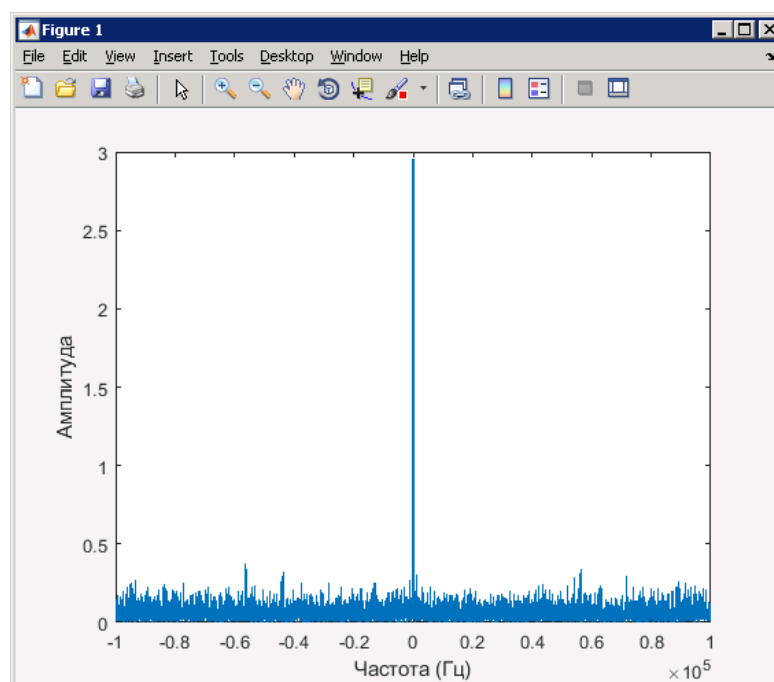


Рис. 1.6. Спектр 4-го ступеня прийнятого сигналу

Оцінка зміщення склала всього -0.0138 Гц. Це говорить про дуже хороше зведення частот передавача і приймача в рамках одного пристрою Pluto. При цьому відношенні сигнал / перешкода, природно, збої бітів в каналі відсутні. Як і при моделюванні, оцінка практично не залежить від від-

ношення сигнал / перешкода. Зменшення потужності випромінюваного сигналу на 14 дБ, при якому BER досягає 10^{-1} , призводить до такого спектру:

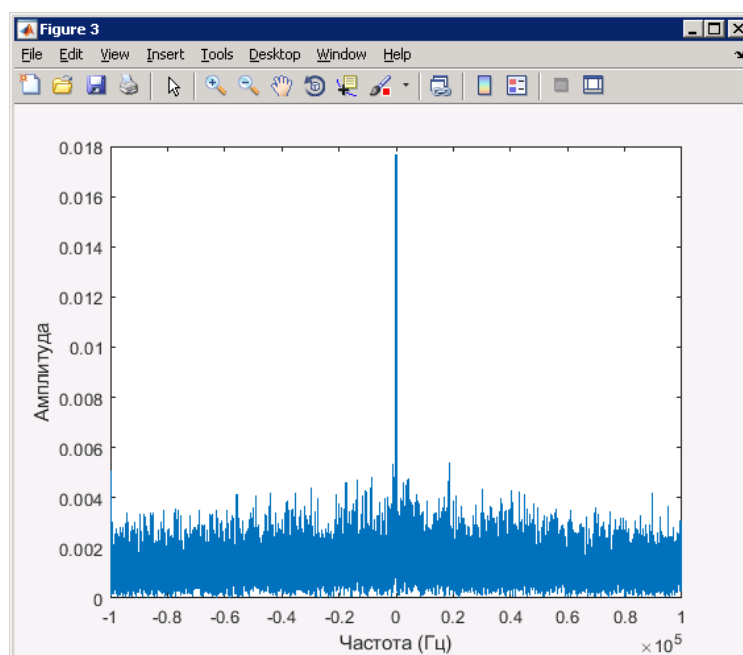


Рис. 1.7. Спектр 4-го ступеня прийнятого сигналу при зменшенні потужності на 14 дБ

За цим спектром оцінка зміщення склала -0.162 Гц.

Невеликі втрати при неузгодженні частот приймача і передавача можливі, проте виникають вони вже при значних зсувах (більше 20 КГц), які в реальних апаратурах прийому і передачі вдається уникнути. Наприклад, в [5] наводяться вимірювання неузгодженості наземного приймача і супутникового передавача, яке склало 18 Гц.

Оцінка зміщення по розгорнутій фазі сигналу в реальному каналі стикається з тими ж труднощами, що і в цифровій моделі. На рис. 1.8 ми бачимо наявність розривів розгорнутої фази сигналу навіть при відсутності зміщення.

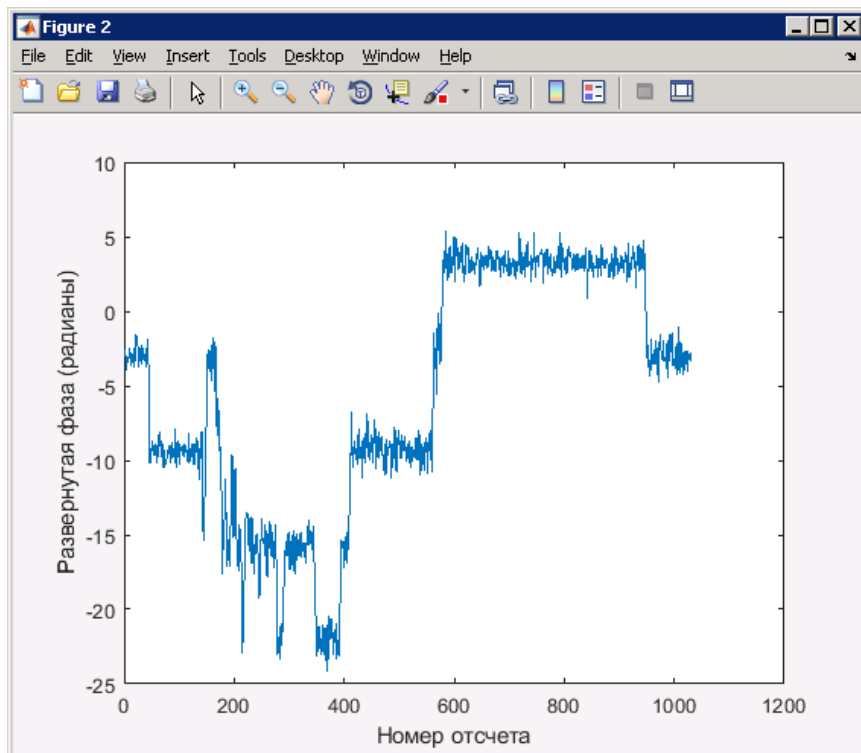


Рис. 1.8. Розриви розгорнутої фази реального сигналу при відсутності зміщення

При роботі з двома платформами Adalm Pluto SDR ми зіткнуємося з тим, що вони дуже погано зведені по частоті. Це ніяк не позначиться на роботі реалізованого каналу передачі інформації, але ступінь незведення частот цікаво вивчити. У таблиці 1.1 наведені вимірювання відхилення частоти приймача від частоти передавача на декількох частотах.

Таблиця 1.1

Частота передавача (ГГц)	Серійний номер приймального Pluto (останні цифри)	Виміряне відхилення частоти на приймачі (Гц)
1	2	3
0.915	fb4	-1918.30
0.915	fb4	-1924.04
0.915	fb4	-1927.06
0.915	fb4	-1928.52
0.915	fb4	-1928.34
1.850	fb4	-4009.14
1.850	fb4	-4050.52
1.850	fb4	-4070.50
2.350	fb4	-5197.29
2.350	fb4	-5222.72
2.350	fb4	-5233.01

1	2	3
2.350	d53	5238.04
2.350	d53	5217.82
2.350	d53	5207.60
2.350	d53	5196.52

Пуски приймальної програми зроблені з невеликим інтервалом, що не перевершує десятка секунд. Як бачимо, взаємна неузгодженість частот на приймальному і передавальному Pluto є значущою і досягає величини більше 5 кГц на високих частотах. Вона є пропорційною частоті випромінювання і становить від неї приблизно 0.0002%. Неузгодженість нестабільна в часі, причому швидкість зміни досягає декількох Гц/с.

1.3.2. Виділення зон з сигналом по згортку з кодом Баркера

Згортка з кодом Баркера здійснюється функцією `ConvBarker()`. Результати згортки ми бачимо на рис. 1.9:

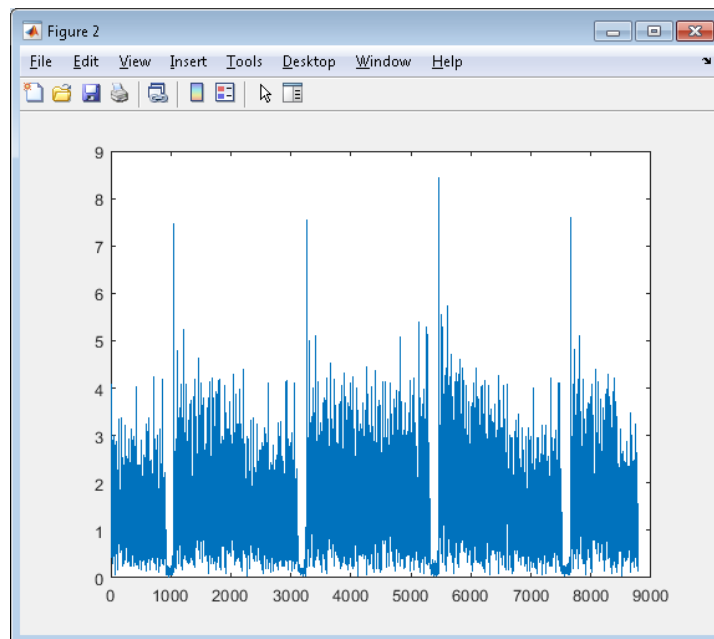


Рис. 1.9. Результат згортки прийнятих пакетів інформації з кодом Баркера

Початок кожного пакета добре виділяється, і ми можемо визначити відліки кожного пакета. Для цього викликається спеціально написана функція `SearchPackets()`. Перш за все, відзначимо, що функція шукає пакети відомої довжини при заданій довжині паузи між ними. На вхід програми

надходить амплітуда згорнутого з кодом Баркера сигналу. Спочатку визначається початок кожного пакета за максимальним відліком. Для цього написана функція `fewmax()`, яка шукає задану кількість максимальних елементів у дійсному масиві.

Для відходу від ситуації, коли на одному пакеті можуть бути кілька максимумів, знайдений максимум виключається з подальшого пошуку разом з `PacketLen` відліками праворуч і `dl` (прийнято таким, що дорівнює 5) відліками ліворуч. Кількість шуканих максимумів відповідає максимальній кількості пакетів, які можуть бути прийняті в одному фреймі. Основним критерієм виділення пакета є достатній рівень згортки з кодом Баркера щодо середнього рівня амплітуд пакета і наявність досить глибокої паузи після пакета (відповідно 8 і 15 дБ, нагадаємо, що для використовуваного коду Баркера теоретичний рівень бічних пелюсток не перевищує $20\lg(1/13) = -22$ дБ).

Після виділення зон пакетів для запобігання виходу за динамічний діапазон проводиться нормування сигналу на середнє, видалення останніх символів в кожному пакеті, спотворених згорткою з паузою при фільтрації, а так само обчислення середнього рівня перешкод в паузах між пакетами:

1.3.3. Синхронізація символів і компенсація зміщення сигналу по фазі

Надалі обробка проводиться окремо по кожному пакету. Якщо ми на цьому етапі побудуємо фазовий портрет сигналу по окремих пакетах, то побачимо, що сигнал, крім придбаного зміщення по фазі, практично розсипаний по всій комплексній площині, незважаючи на значне відношення с/п близько 14 дБ (рис. 1.10):

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

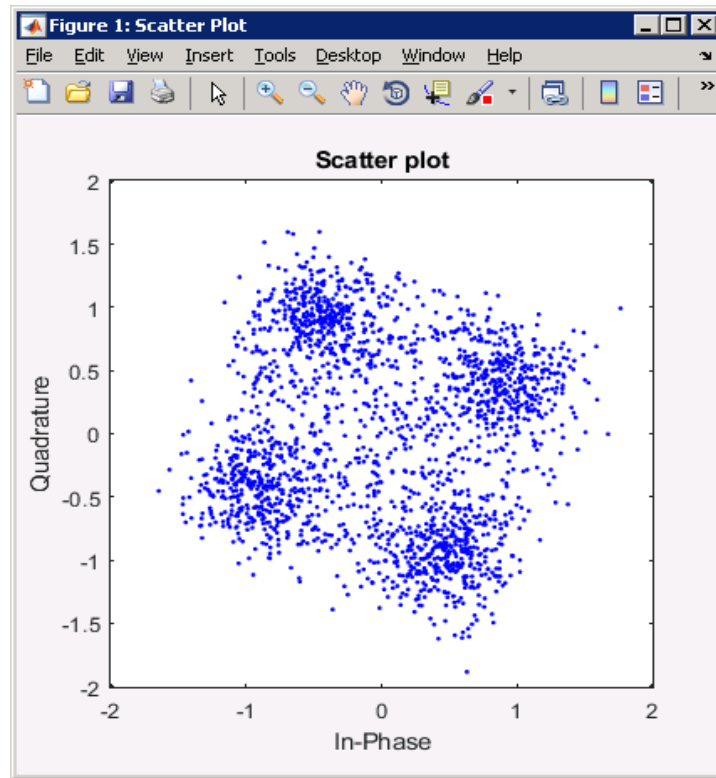


Рис.1.10. Сигнальне сузір'я одного з пакетів до компенсації
зміщення по фазі і часової синхронізації

У програмі використовується поворот фазової площини на 45 градусів, тому центри символів випромінюваного сигналу розташовані на бісектрисах координатних чвертей.

Реалізовані два варіанти обробки сигналу, які спрямовані на усунення порушення часової синхронізації.

У першому варіанті використовується функція MATLAB `comm.SymbolSynchronizer()`, у другому варіанті – широко використовуваний на практиці метод вибору кращого з двох наявних відліків на символі.

Результат роботи функції наочно видно на сигнальному сузір'ї (рис. 1.11):

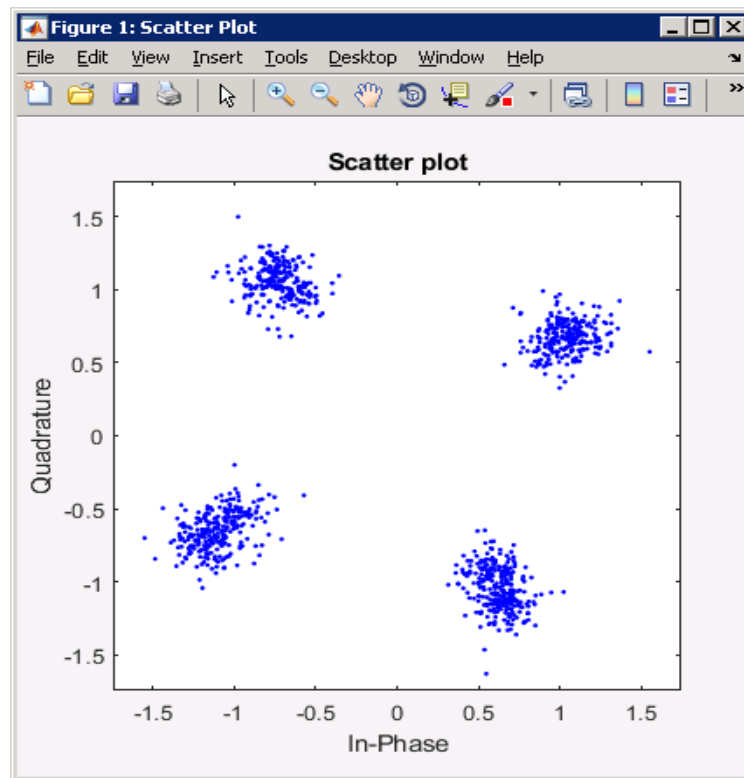


Рис. 1.11. Сигнальне сузір'я одного з пакетів після тимчасової синхронізації

Всі символи компактно зібралися, залишилося лише зміщення по фазі близько 10 градусів.

Для пояснення другого методу наведемо сигнальне сузір'я окремо для парних і непарних відліків, оскільки ми маємо 2 відліки на символ, один з них, як правило, повинен бути ближче до центру випроміненого символу, і відповідно, більш безпомилково нести інформацію про переданий символ. Дійсно це добре видно на фазових портретах непарних і парних відліків (рис. 1.12):

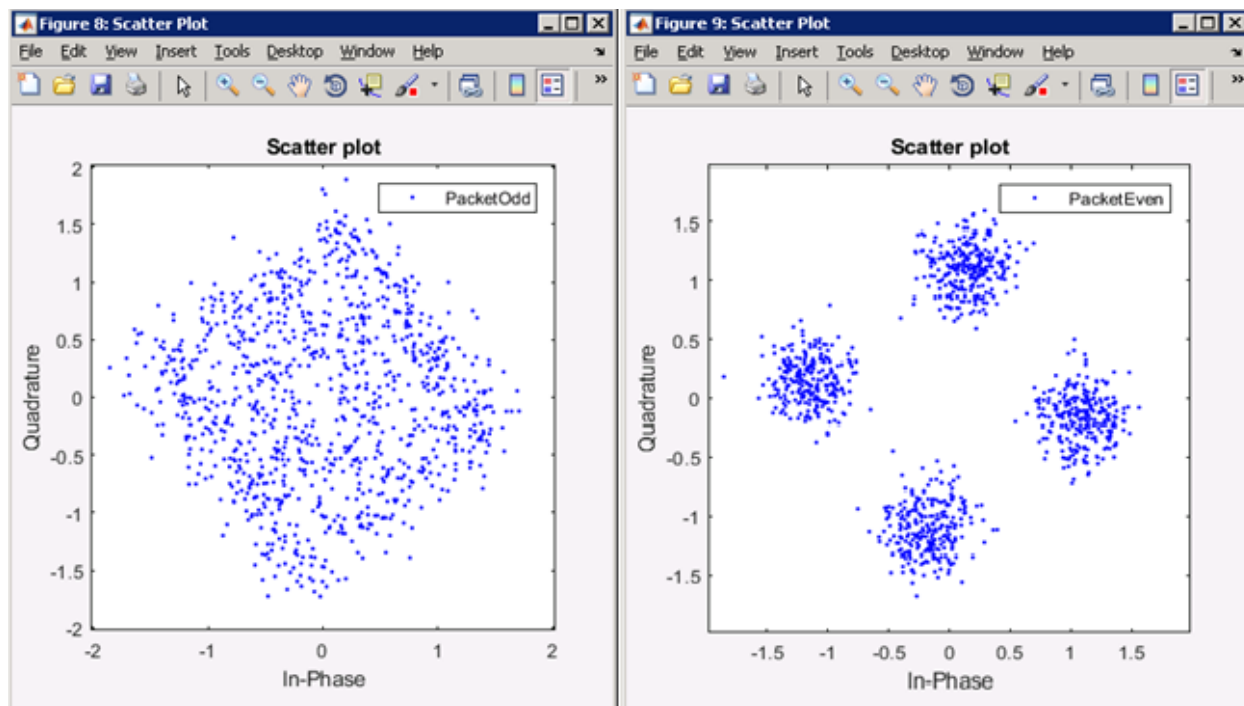


Рис. 1.12. Сигнальне сузір'я одного з пакетів для непарних і парних відліків

Тут також ми бачимо, що всі 4 символи розташовані компактно, зміщення по фазі трохи більше, якщо розуміти під зміщенням фази кут до 45 градусів, поворот на який розміщує центри ваги груп символів по бісектрисам координатних чвертей. Зрозуміло, що це не гарантує розташування груп символів у своїх чвертях, можливо, доведеться повернути фазу на кут 90, 180 або 270 градусів.

Залишається для кожного пакета зробити вибір між парними і непарними відліками. В принципі, це можна зробити за сигнальним сузір'ям або по розгорнутій фазі. На наш погляд, найбільш простий і надійний алгоритм виходить при використанні амплітуди сигналу після видалення розривів фази. На рис. 1.13 наведена амплітудна розгортка 4-го ступеня сигналу окремо для непарних і парних відліків одного з пакетів (зверніть увагу, що для парних і непарних відліків обрані різні масштаби):

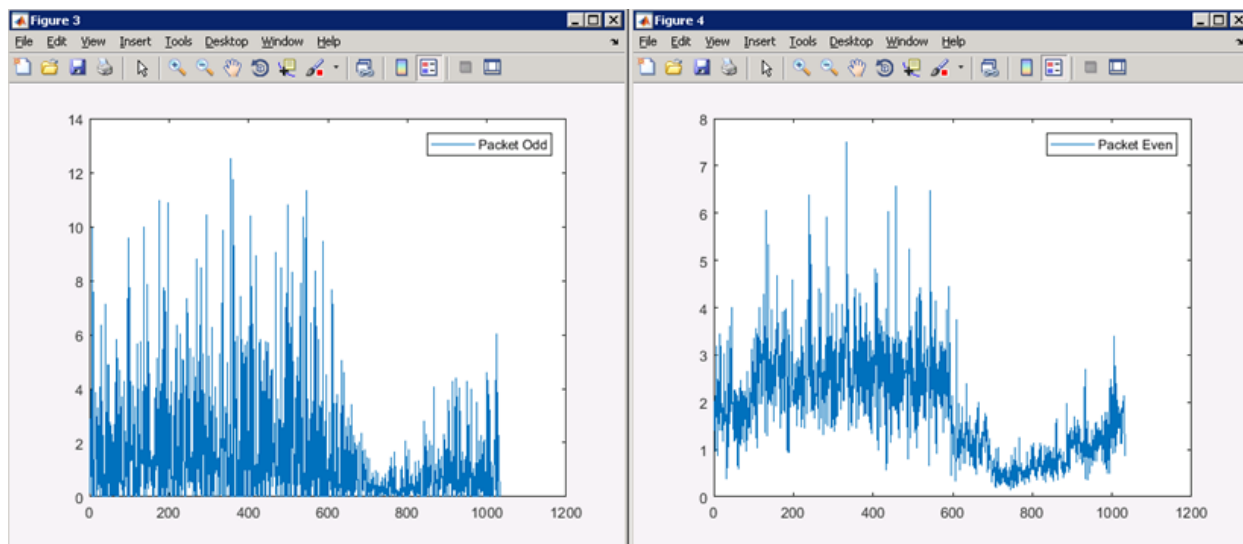


Рис. 1.13. Амплітудна розгортка одного з пакетів
для непарних і парних відліків

В якості міри переваги парного або непарного відліків приймається мінімальність їх дисперсій.

Кут повороту фази можна обчислити по центру ваги 4 груп переданих символів. У програмі використовується функція MATLAB `comm.CarrierSynchronizer()`, яка крім фази виробляє синхронізацію по зсуву несучої частоти.

Для порівняння варіантів символної синхронізації в програмі реалізована можливість паралельної обробки фрейма обома варіантами.

На рис. 1.14 наведені сигнальні сузір'я пакета для двох реалізацій:

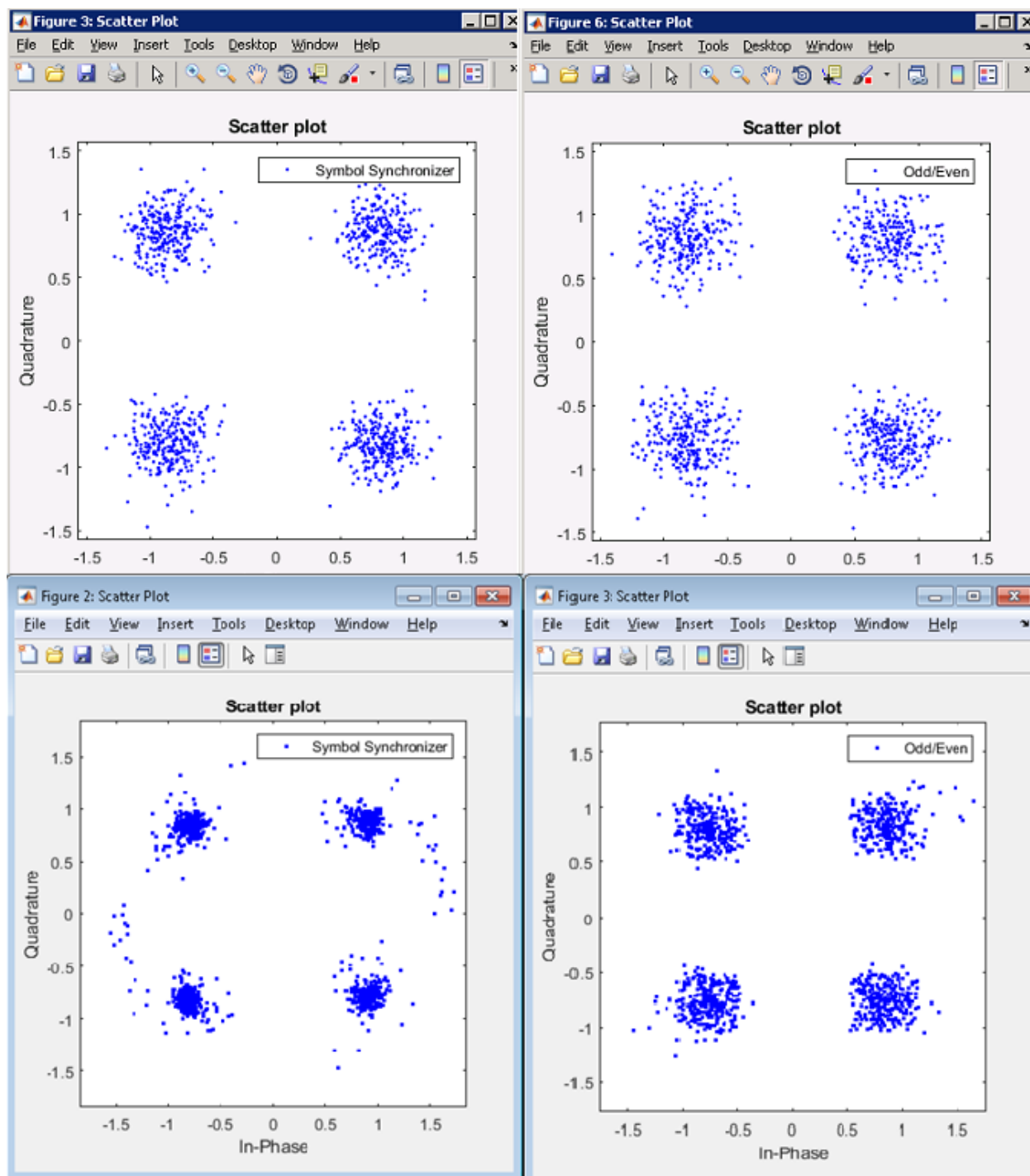


Рис. 1.14. Сигнальне сузір'я пакета після синхронізації фази функцією `SymbolSynchronizer()` і вибором парного / непарного відліків

Якщо при першій реалізації трохи кращий результат отриманий при використанні функції Matlab `comm.SymbolSynchronizer()`, то в другій реалізації ми бачимо, що її використання призвело до розсіпання частини сим-

волів, чого не спостерігається при використанні вибору парного/непарного відліків.

Як вже зазначалося вище, отриманий результат не гарантує, що зсув фази усунений. Поворот фазової площини на величини кратні 90 градусам призведе якісно до того ж сигнального сузір'я. Абсолютно ясно, що використовуючи відліки тільки самого сигналу, ми ніяк не зможемо визначити такі повороти. Тут нам прийде на допомогу код Баркера, який ми розташували на початку кожного пакета. Для цього нам доведеться декодувати 13 перших бітів при додаткових поворотах фази на 0, 90, 180, 270 градусів і порівняти їх з використовуваним кодом Баркера. Іншу частину пакета декодуємо з поворотом фази, при якому отримаємо найменше помилок. Функція викликається в програмі після первинної синхронізації фази і декодування. Далі здійснюється декодування пакетів з урахуванням знайденого повороту фази.

Обробка прийнятої інформації завершується обчисленням BER по кожному інформаційному пакету.

1.3.4. Впровадження коду Ріда-Соломона

Перешкодозахищене кодування використовується практично у всіх каналах зв'язку. Наприклад, в супутниковому зв'язку широко використовуються згорткові коди і коди Ріда-Соломона [3]. Реалізація перешкодозахищених кодів в Matlab детально розглянута в [1]. У розглянутому каналі передачі даних обраний напівбайтовий код Ріда-Соломона виправляє 3 помилки.

Цих двох параметрів достатньо для повного визначення коду. Кількість можливих символів дорівнює $n=2^m=16$, Довжина коду при цьому повинна бути рівно на одиницю менше, тобто 15. На виправлення 3-х символів код Ріда-Соломона вимагає мінімально можливу кількість коригуючих символів в коді і дорівнює воно подвоєному кількості виправляються символів, тобто 6. Відповідно, інформаційних символів буде 9, і загально-

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

прийнятий запис коду RS(15,9,3). Якщо збійних напівбайтів (символів) не більше 3, вони будуть виправлені. Максимальна кількість виправлених бітів в коді 12, але це зовсім не означає, що будь-які 12 збійних бітів будуть виправлені, оскільки вони в гіршому випадку можуть спотворити до 12 напівбайтів.

Наведемо результат запуску програми, що демонструє роботу коду Ріда-Соломона:

Packet #1,SNR=10.5 дБ,prOdd=0,Kvar=1.29.
dfestSP=0.0438.
PhSp=180 градусів, min_d= 0
С использованием кода Рида-Соломона:
numErr= 1,BER=0.00022
Без использования кода Рида-Соломона:
numErr= 41,BER=0.00890

Packet #2,SNR=10.6 дБ,prOdd=0,Kvar=1.30.
dfestSP=0.0120.
PhSp=180 градусів, min_d= 0
С использованием кода Рида-Соломона:
numErr= 0,BER=0.00000
Без использования кода Рида-Соломона:
numErr= 24,BER=0.00521

Packet #3,SNR=10.6 дБ,prOdd=0,Kvar=1.24.
dfestSP=-0.1947.
PhSp=180 градусів, min_d= 0
С использованием кода Рида-Соломона:
numErr= 0,BER=0.00000
Без использования кода Рида-Соломона:
numErr= 44,BER=0.00955

Зсув частоти `dfestSP`, виміряний окремо для кожного пакета до роботи функції `carrSync()` показує, що попередня оцінка зміщення по всьому фрейму проводиться з точністю до десятих часток герца.

Оцінку ефективності використання коду Ріда-Соломона, проведеної за 100 пусками програми з різними рівнями відносини сигнал / перешкода, наведено на рис. 1.15:

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

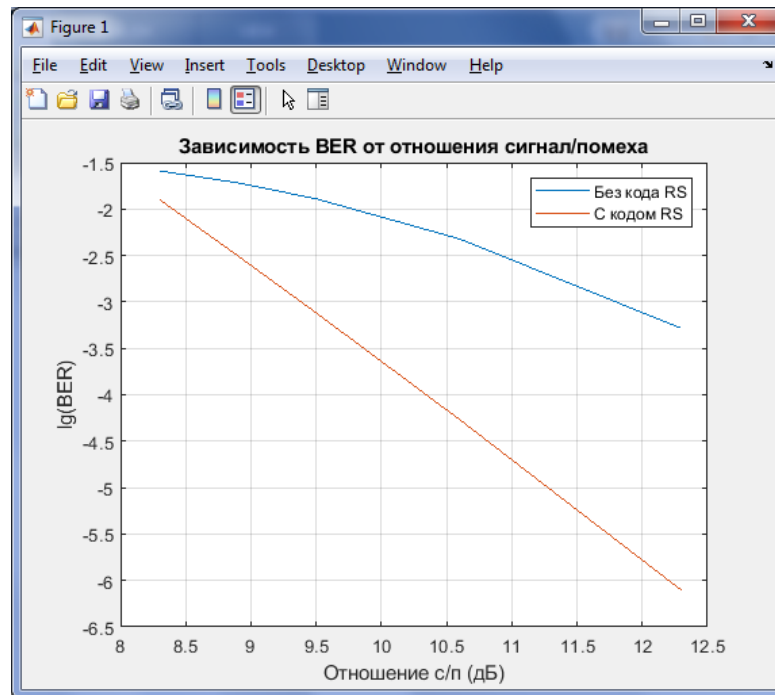


Рис. 1.15. Оцінка ефективності коду Ріда-Соломона в залежності від відношення сигнал / перешкода

Як бачимо, при рівні $BER 10^{-3}$ вигаиш від використання коду Ріда-Соломона склав більше 2 дБ. При рівні $BER 10^{-4}$ він склав не менше 3 дБ. При відношенні сигнал/перешкода 12 дБ код Ріда-Соломона знизив рівень BER з 10^{-3} до менш ніж 10^{-5} , тобто більш ніж на 2 порядки.

Висновки до розділу 1.

Розглянуто наявний на кафедрі ПЕЕТ алгоритм каналу передачі даних на базі двох платформ Adalm-Pluto SDR з використанням модуляції QPSK і його основні характеристики при реальній передачі даних.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р2			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Теоретичні основи сигналів з APSK модуляцією	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Студент		Репін І. І.						
Консульт.		Тубальцев А.М.					29	15
Н. контр.						НУК ім. адмірала Макарова		
Керівник		Іхсанов Ш. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИГНАЛОВ С APSK МОДУЛЯЦІЕЙ

Абревіатура APSK розшифровується на англійській мові як amplitude phase shift keying - амплітудно-фазова модуляція. Такий вид модуляції широко застосовується для супутникової передачі даних [3]. На малюнку 2.1 з [3] наведено фрагмент таблиці з набором видів модуляції і коригувальних кодів верхнього рівня для режиму DVB-S2 (digital video broadcasting via satellite, second generation - цифрове телевізійне мовлення через супутник, другого покоління)

Table 4.13.12.1-2. DVB-S2 Code for Modulation and Code Rate

ModCod	Modulation	FEC Code	Inner Code Rate
1	QPSK	LDPC+BCH	1/4
2	QPSK	LDPC+BCH	1/3
3	QPSK	LDPC+BCH	5/12
...	...	...	...
10	QPSK	LDPC+BCH	8/9
11	QPSK	LDPC+BCH	9/10
12	8-PSK	LDPC+BCH	3/5
13	8-PSK	LDPC+BCH	2/3
14	8-PSK	LDPC+BCH	3/4
...	...	...	...
17	8-PSK	LDPC+BCH	9/10
18	16APSK	LDPC+BCH	2/3
19	16APSK	LDPC+BCH	3/4
...	...	...	...
23	16APSK	LDPC+BCH	9/10
24	32APSK	LDPC+BCH	3/4
25	32APSK	LDPC+BCH	4/5
...	...	...	...
28	32APSK	LDPC+BCH	9/10

Рис. 2.1. Варіанти маніпуляції і коди верхнього рівня в режимі DVB-S2

Як бачимо, реалізована модуляція APSK з об'ємом алфавіту 16 і 32. Розглянемо сигнальні сузір'я модуляції APSK на базі функції Matlab `dvbsapskmod()`. Вона реалізує модуляцію APSK для стандартів супутникового цифрового відеовещання (Digital Video Broadcasting (DVB) Satellite Communications standard) DVB-S2, DVB-S2X або DVB-SH. Для стислості обмежимося стандартом DVB-S2X. Для побудови сигнальних сузір'їв, слідуючи [1], напишемо просту модель проходження сигналів APSK через канал з білим шумом:

```
%% Моделирование APSK-сигналов

STDSUFFIX='s2x'; % Используется в технологии DVB-S2X
M = 8; % Объем алфавита. Для стандарта DVB-S2X возможны значения 8, ..., 256
N=10^4; % количество символов во входном массиве
m=200; % кол-во интервалов для в гистограмме

% Генерируем N случайных M-арных символов:
msg = randi([0 M-1],N,1);

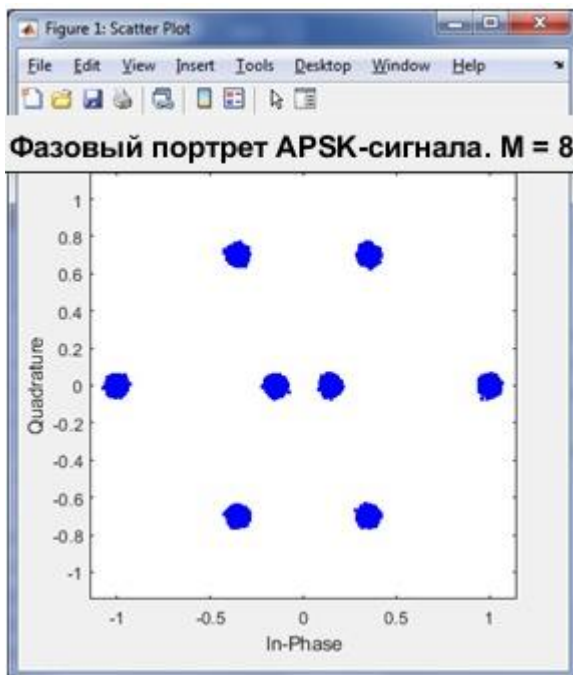
% Генерируем APSK-сигнал:
y = dvbsapskmod(msg, M, STDSUFFIX);

% Средняя мощность сигнала:
My=mean(abs(y).^2);

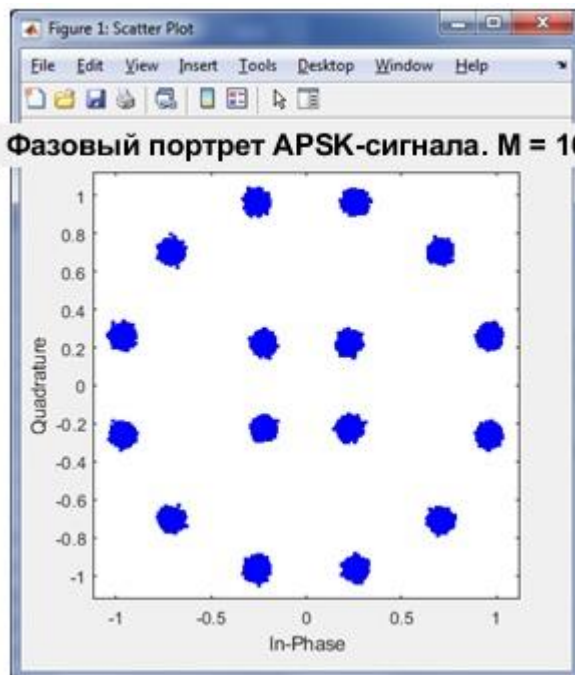
% Пропускаем сигнал через AWGN-канал
snr=16; % отношение сигнал/помеха (signal/noise ratio) в дБ
sigma=10^(-snr/20)/sqrt(2/My);
gaussnoise=(randn(N,1)+1i*randn(N,1))*sigma;
WGNy = y+gaussnoise;

scatterplot(WGNy);
title(['Фазовый портрет APSK-сигнала. M = ', num2str(M)]);
```

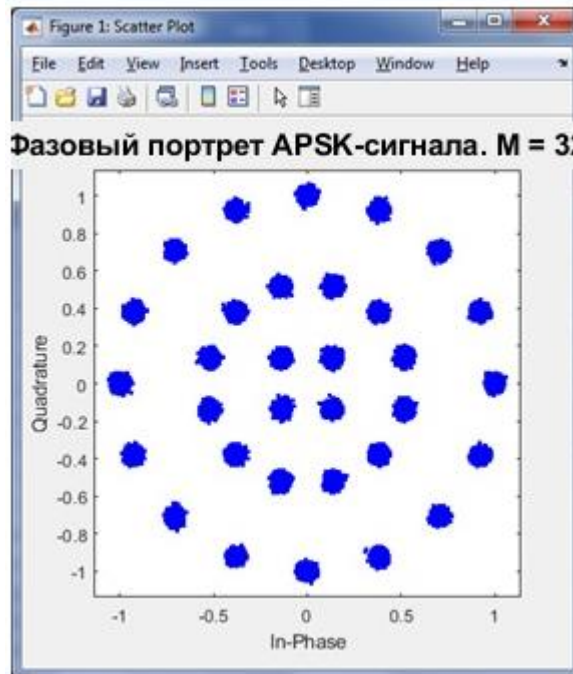
Результати запуску програми для різних M наведені на рис. 2.2 і 2.3:



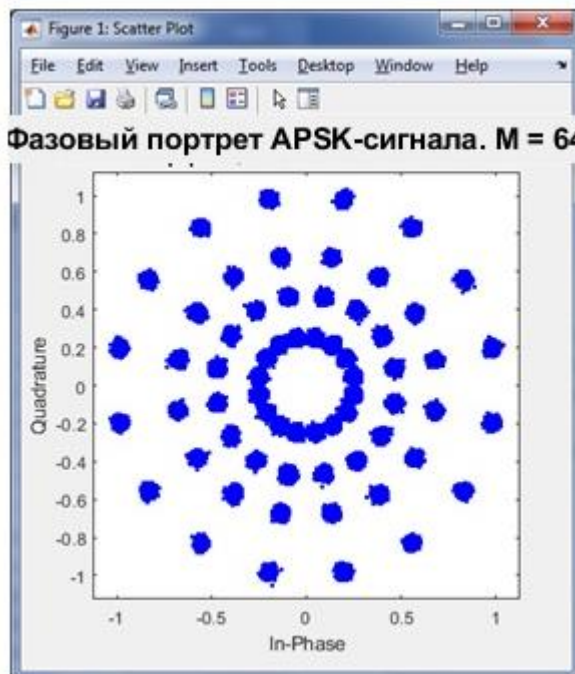
Фазовый портрет APSK-сигнала. $M = 8$



Фазовый портрет APSK-сигнала. $M = 16$



Фазовый портрет APSK-сигнала. $M = 32$



Фазовый портрет APSK-сигнала. $M = 64$

Рис. 2.2. Сигнальні сузір'я для APSK сигналів при $M = 8, 16, 32$ і 64

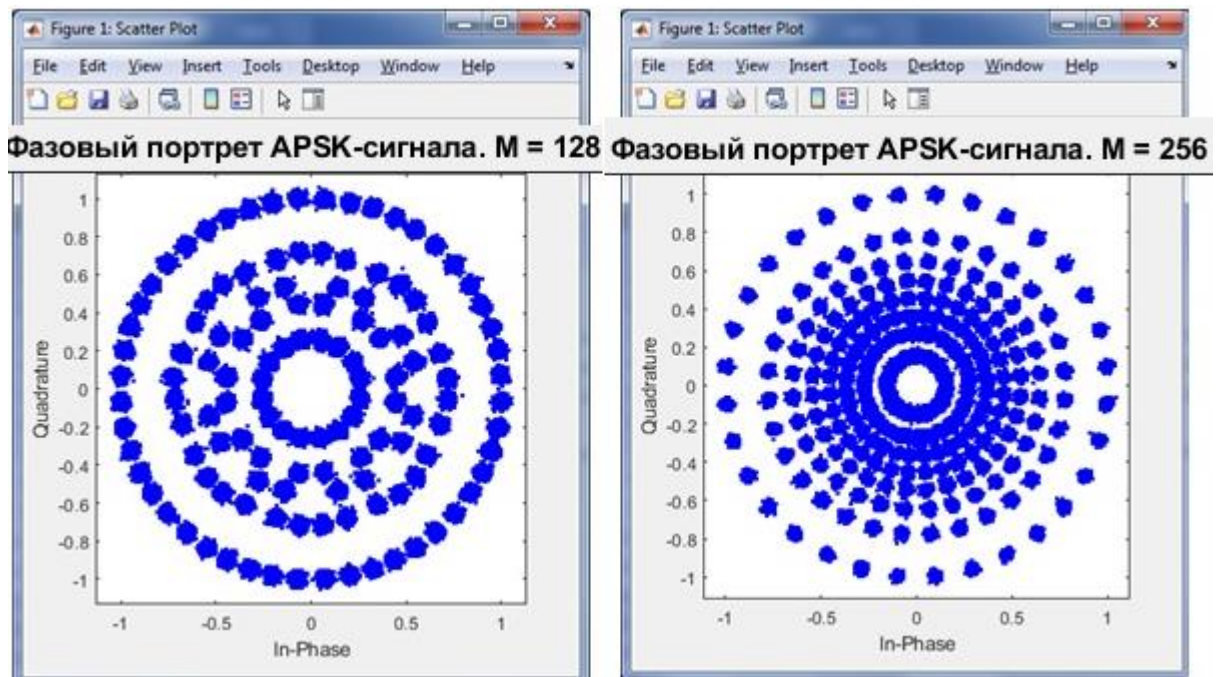


Рис. 2.3. Сигнальні сузір'я для APSK сигналів при M=128 и 256

Відзначимо, перш за все, нерівномірність розподілу символів на комплексній площині, особливо це добре видно для сигналів з $M = 8$ і $M = 16$. Не ясно, з яких міркувань центральні символом не рознесені трохи більше, так щоб відстань між символами було приблизно однаково. Зрозуміло, що спотворення близьких символів при впливі перешкод буде більш значним.

При нумерації символів неможливо повністю слідувати коду Грея, в якому сусідні символи повинні відрізнятися тільки на один біт, тому що поняття сусіднього символу розмите. Використовувана в стандарті DVB-S2X нумерація символів наведена на малюнках 2.4, 2.5.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

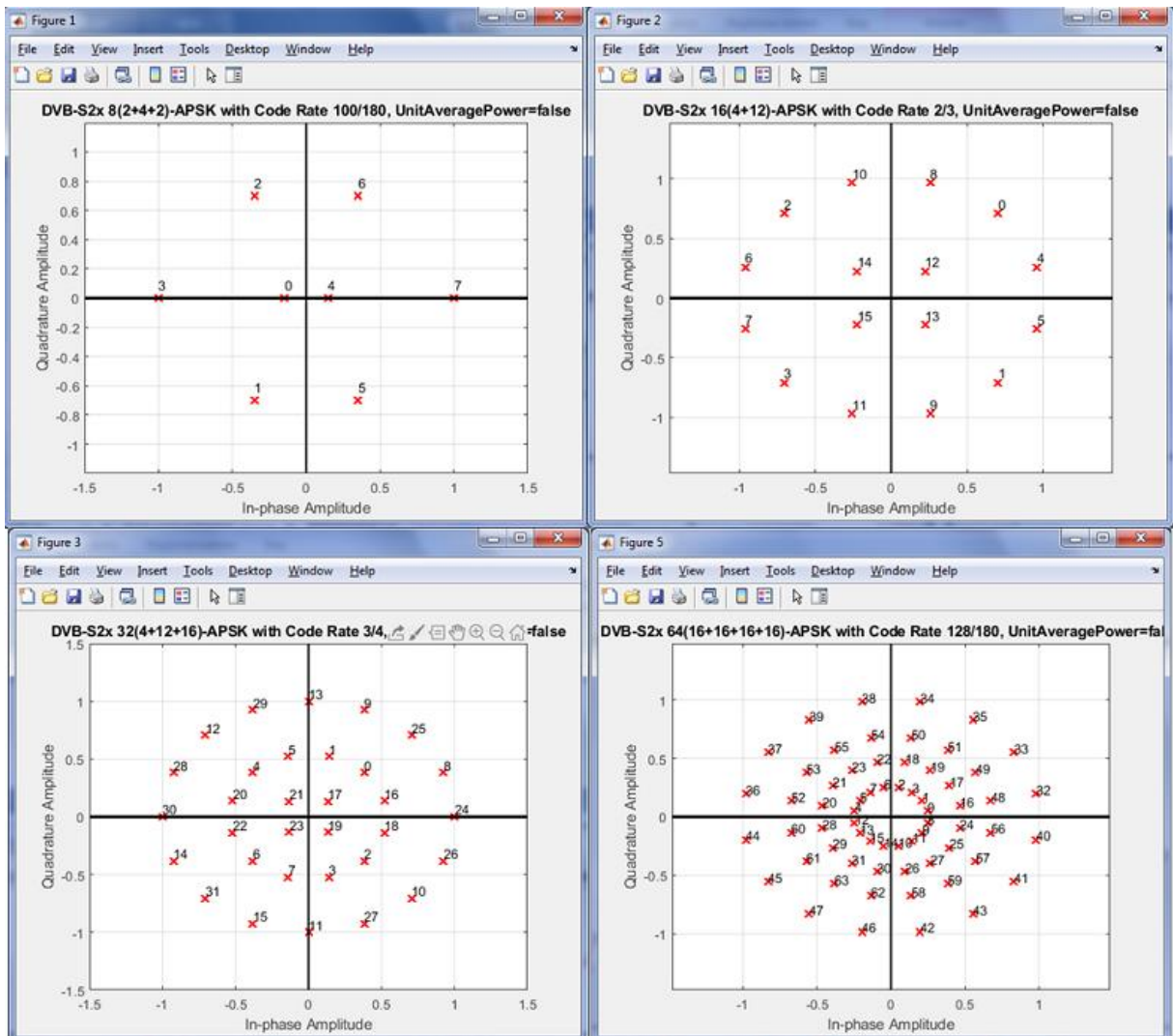


Рис. 2.4. Нумерація символів для APSK сигналів при $M = 8, 16, 32$ і 64

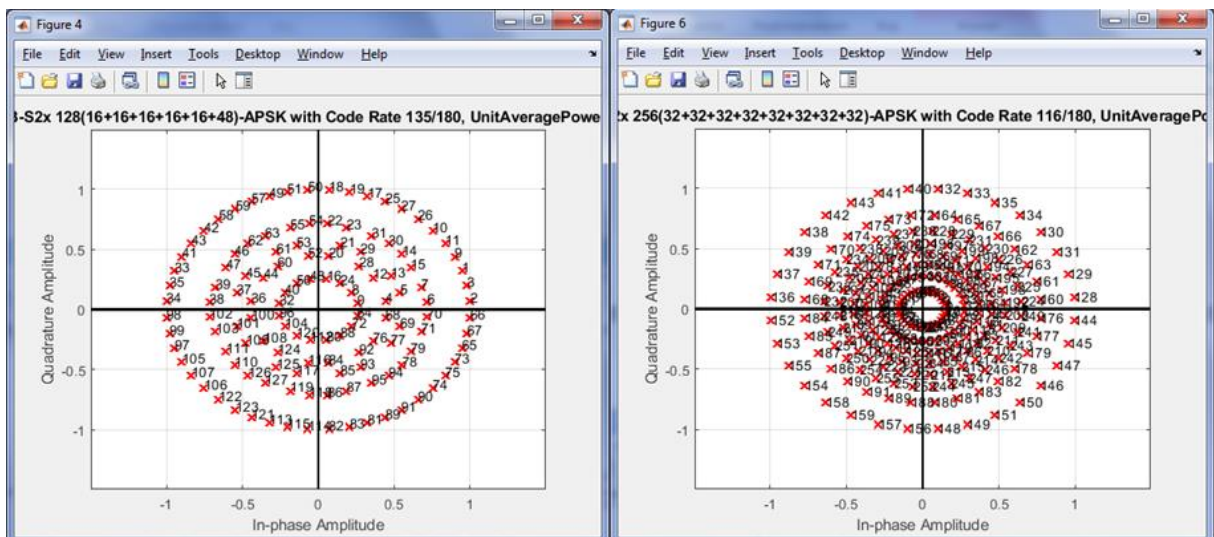


Рис. 2.5. Нумерація символів для APSK сигналів при $M=128$ и 256

					171.3397ст.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Впровадження модуляції APSKв реальний канал передачі даних	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Репін І. І.						
Консульт.		Тубальцев А.М.					35	15
Н. контр.						НУК ім. адмірала Макарова		
Керівник		Іхсанов Ш. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ МОДУЛЯЦІЇ APSK В РЕАЛЬНИЙ КАНАЛ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Зрозуміло, що за основу ми візьмемо кафедральну програму, детально описану в розділі 1, але без використання коду Ріда-Соломона, щоб уникнути додаткового переформатування даних.

3.1. Доопрацювання програми для передавального Pluto

Перш за все, ми повинні в початку кожного інформаційного пакету випромінювати код Баркера. Для цього нам потрібно вибрати символи APSK, які будуть відповідати символам +1 і -1 коду Баркера. Виберемо два символи так, щоб вони відрізнялися по фазі на 180 градусів, були максимально віддалені один від одного, і по можливості лежали на дійсній осі комплексної площини. Вибрані значення в вигляді тексту програми наступні:

```
% Выбор символов для кода Баркера:
switch M
    case 8
        i1=7; i2=3; % кодирование [1,-1] символами [7,3]
    case 16
        i1=0; i2=3;
    case 32
        i1=24; i2=30;
    case 64
        i1=33; i2=45;
    case 128
        i1=2; i2=98;
    case 256
        i1=128; i2=152;
    otherwise
        disp('Forbidden M value!')
end
```

Власне всі наші доопрацювання обмежаться змінами у використанні коду Баркера і заміні функції `pskmod()` на вже розглянуту функцію `dvbsapskmod()` [5]:

```
%% Программа для передачи информации с Pluto
%% с использованием модуляции APSK
tic
% % Initialize SDR device
deviceNameSDR = 'Pluto'; % Set SDR Device
```

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

```

radio = sdrdev(deviceNameSDR);      % Create SDR device object
radio.RadioID = 'usb:0';
fprintf('radio.RadioID = %s\n',radio.RadioID);

%%
twork = 240; % Время передачи информации в секундах
% Параметры APSK:
STDSUFFIX='s2x'; % 's2', 's2x' or 'sh'
M = 8; % Объем алфавита. Для стандарта DVB-S2X возможны
      % значения 8,...,256;
      % DVB-S2 - 16,32; DVB-SH - только 16

% Create not random information:
infSize = 2^10;
rng('default'); % Передаем всегда одну и ту же случайную
                % последовательность
txInf = randi([0 M-1],1,infSize);

% Выбор символов для кода Баркера:
switch M
    case 8
        i1=7; i2=3; % кодирование [1,-1] символами [7,3]
    case 16
        i1=0; i2=3;
    case 32
        i1=24; i2=30;
    case 64
        i1=33; i2=45;
    case 128
        i1=2; i2=98;
    case 256
        i1=128; i2=152;
    otherwise
        disp('Forbidden M value!')
end

% Впереди блока пристраиваем код Баркера:
Barker0 = [1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1]; % Bipolar Barker
                                              % Code

BL=length(Barker0);
Barker=((i1-i2)*Barker0+i1+i2)/2;
txInf = [Barker,txInf]';

% Generate APSK signal:
txWaveform = dvbsapskmod(txInf,M,STDSUFFIX);

% Generate transmitter object:
sdrTransmitter = sdrtx(deviceNameSDR); % Transmitter
                                         % properties
sdrTransmitter.RadioID = radio.RadioID;

% Resample the transmit waveform at 400 KHz
fs = 100e3; % Transmit sample rate in Hz

```

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

osf = 4;           % Oversampling factor
sdrTransmitter.BasebandSampleRate = fs*osf;
sdrTransmitter.CenterFrequency = 2.3500e9;%1.8500e9;
sdrTransmitter.ShowAdvancedProperties = true;
sdrTransmitter.Gain = -60;

fprintf('Generating QPSK transmit waveform at:\n')
fprintf('Transmitter.SampleRate=%.0f
Tx\n',sdrTransmitter.BasebandSampleRate);
fprintf('Transmitter.CenterFrequency=%.0f
Tx\n',sdrTransmitter.CenterFrequency);
fprintf('Transmitter.Gain=%.0f дБ\n',sdrTransmitter.Gain);

% Generate square root raised cosine transmit filter:
RCFiltSpan = 10; % Filter span of Raised Cosine
               % Tx Rx filters (in symbols)
SquareRootRaisedCosineFilterOrder = osf*RCFiltSpan;
RollOff = 0.5;
hTxFilt = fdesign.interpolator(osf, ...
    'Square Root Raised Cosine', osf, ...
    'N,Beta', SquareRootRaisedCosineFilterOrder, RollOff);
hDTxFilt = design(hTxFilt, 'SystemObject', true);
TransmitterFilterCoefficients = hDTxFilt.Numerator/2;

% Filter and resample transmit waveform:
TransmitterFilter =
dsp.FIRInterpolator(osf,TransmitterFilterCoefficients);
txWaveform = TransmitterFilter(txWaveform);

% Scale the normalized signal to avoid saturation of RF stages
powerScaleFactor = 0.8;
AmlMax=max(abs(txWaveform));
txWaveform = txWaveform.*(1/AmlMax*powerScaleFactor);
PacketLen0=length(txWaveform);

% Дополняем излучаемый сигнал паузой заданной длины:
kPause=infSize/4; % поскольку на символ имеется 4 отсчета,
                  % пауза составляет 1/16 от длительности сигнала
txWaveform(end+1:end+kPause)=0;
PacketLen=length(txWaveform);

% Transmit RF waveform
sdrTransmitter.transmitRepeat(txWaveform);
pause(twork);

% Release the state of sdrTransmitter object
release(sdrTransmitter);

toc

%%

```

3.2. Доопрацювання програми для приймального Pluto

В початку програми необхідно ввести дані за поданням коду Баркера символами APSK

```
%% Програма для приєма інформації с Pluto
%% переданной с использованием модуляції APSK
tic
% Initialize SDR device
deviceNameSDR = 'Pluto';          % Set SDR Device
radio = sdrdev(deviceNameSDR);    % Create SDR device object
radio.RadioID = 'usb:0';
fprintf('radio.RadioID = %s\n',radio.RadioID);

% Параметри APSK:
STDSUFFIX='s2x'; % 's2', 's2x' or 'sh'
M = 8; % Об'єм алфавіта. Для стандарту DVB-S2X можливі
      % значення 8,...,256;
      % DVB-S2 - 16,32; DVB-SH - тільки 16
% Create not random information of transmitter:
infSize = 2^10;
rng('default'); % Генеруємо випадкову послідовність
               % передатчика
txInf = randi([0 M-1],1,infSize);

% Виведення ступеня M1 сигналу для усунення модуляції
% і вибір символів для коду Баркера:
switch M
    case 8
        M1 = 6;
        i1=7; i2=3; % кодування [1,-1] символами [7,3]
    case 16
        M1 = 12;
        i1=0; i2=3;
    case 32
        M1 = 16;
        i1=24; i2=30;
    case 64
        M1 = 16;
        i1=33; i2=45;
    case 128
        M1 = 48;
        i1=2; i2=98;
    case 256
        M1 = 32;
        i1=128; i2=152;
    otherwise
        disp('Forbidden M value!')
end
% Впереді блоків присутствує код Баркера:
Barker0 = [1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1]; % Bipolar Barker
                                              % Code
```

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

```
BL=length(Barker0);
Barker=((i1-i2)*Barker0+i1+i2)/2;
```

У блоці призначення символів коду Баркера одночасно вирішується завдання вибору ступеня, в який потрібно буде звести прийнятий комплексний сигнал для усунення модуляції фази сигналу. Тут ми скористаємося рівністю фаз для деяких груп символів APSK. Наприклад, при $M = 64$ використовуються 4 рівня амплітуд з однаковими фазами (рис. 2.2), отже, для повного усунення модуляції фази достатньо звести сигнал в 16-у ступінь. Нагадаємо, що усунення модуляції необхідно для уникнення розмитості спектра і забезпечення точної оцінки частотного зсуву між передавачем і приймачем.

Далі текст програми залишаємо без зміни до блока синхронізації фази (при вимірюванні частотного зсуву підносимо сигнал до ступеня $M1$, визначеного вище). У базовій програмі для цих цілей використовується функція Matlab `comm.CarrierSynchronizer()`, яка розрахована тільки на сигнали 8PSK, BPSK, OQPSK, PAM, QPSK, і деякі QAM сигнали. Вона одночасно синхронізує несучу і фазу сигналу. Аналогічної функції для APSK сигналів в Matlab знайти не вдалося, тому функція синхронізації фази розроблена самостійно.

Ідея її полягає в побудові гістограми розподілу фаз прийнятого сигналу і порівняння її з базовою гістограмою при нульовому зміщенні фази. Для відпрацювання функції доповнимо модель модуляції APSK, наведену в розділі 2, блоком випадкового повороту фази і обчисленням точності зміщення фази:

```
%% Моделирование APSK-сигналов

STDSUFFIX='s2x'; % Используется в технологии DVB-S2X
M = 16; % Объем алфавита. Для стандарта DVB-S2X возможны
      % значения 8,...,256
N=10^5; % количество символов во входном массиве
m=200; % кол-во интервалов в гистограмме
```

```

% Генерируем N случайных M-арных символов:
msg = randi([0 M-1],N,1);

% Генерируем APSK-сигнал:
y = dvbsapskmod(msg, M, STDSUFFIX);

% Случайный поворот фазы:
fi=2*pi*rand;
%fi=0;
y=y*exp(1i*fi);

% Средняя мощность сигнала:
My=mean(abs(y).^2);

% Пропускаем сигнал через AWGN-канал
snr=26; % отношение сигнал/помеха (signal/noise ratio) в дБ
sigma=10^(-snr/20)/sqrt(2/My);
gaussnoise=(randn(N,1)+1i*randn(N,1))*sigma;
WGNy = y+gaussnoise;

scatterplot(WGNy);
title(['Фазовый портрет APSK-сигнала. M = ',num2str(M)]);

% Синхронизация фазы:
[WGNy,Phest] = PhaseSynchr(WGNy, M);

fiG=fi*180/pi;
PhestG=Phest*180/pi;
fprintf('fi = %.2f, Phest = %.2f dfi = %.2f\n',fiG,PhestG,fiG-PhestG);
scatterplot(WGNy);
title('Фазовый портрет после устранения смещения фазы');

```

Текст розробленої функції PhaseSynchr () наступний:

```

% Функция для синхронизации фазы APSK сигналов
function [ySynchr,Phest] = PhaseSynchr(y, M)
% y - комплексный APSK-сигнал
% M - размер алфавита
% Phest - оценка смещения фазы (радианы)
% ySynchr - сигнал с необходимым поворотом фазы

% Построение гистограммы фаз:
N=length(y);
m=200; % кол-во интервалов в гистограмме
Phy=angle(y)+pi;
Phmax=2*pi; % max значение фазы в гистограмме
dPh=Phmax/m; % дискрет по фазе
Ph=0:dPh:Phmax-dPh;
p=zeros(m,1);
l=fix((Phy+dPh/2)/dPh)+1;
for i=1:N
    if l(i) == m+1

```

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        p(1)=p(1)+1;    % соединяем последний карман с первым
    else
        p(l(i))=p(l(i))+1;
    end
end
p=p/(N*dPh);

% Чтение базовой гистограммы (с нулевым смещением)
% фаз из файла:
fileID = fopen('Gist.bin','r');
if(fileID) == -1
    error('Can"t open file Gist.bin\n!');
end
p0=fread(fileID,m,'single');
fclose(fileID);

% Циклическая свертка текущей гистограммы с базовой:
p = p';
convp(1:m)=0;
convp(1) = p*p0;
for i=2:m
    p = [p(2:end) p(1)];
    convp(i) = p*p0;
end

% Оценка и устранение смещения фазы:
[~,ind] = max(convp);
Phest=Ph(ind);
ySynchr=y*exp(-1i*Phest);
end

```

Як видно з тексту програми, при побудові гістограмми фаза зміщується на $+\pi$. Циклічна згортка полягає в скалярному добутку значень двох гістограм, коли на кожному кроці перший елемент поточної гістограмми переміщається в кінець масиву.

Усереднена гістограма фаз при нульовому зміщенні виглядає наступним чином (рис. 3.1):

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

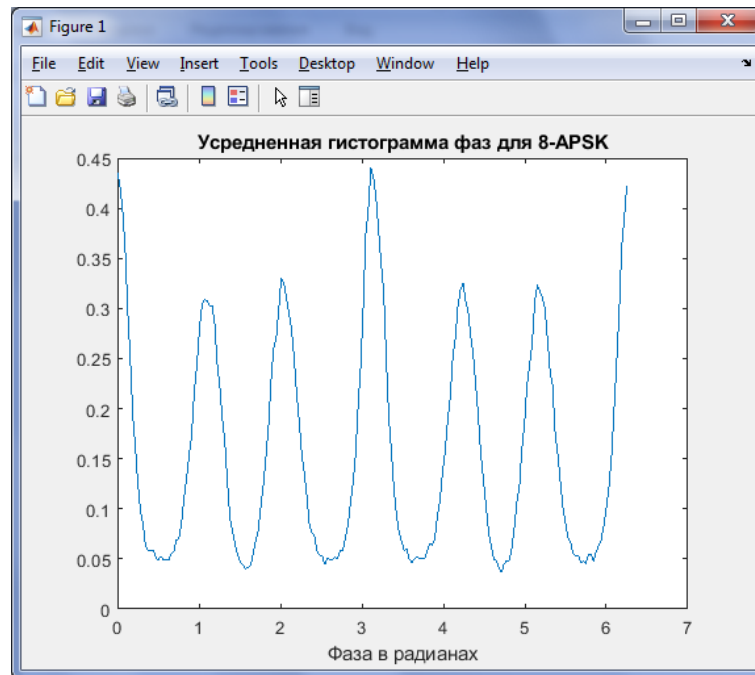


Рис. 3.1. Усереднена гістограма фаз при нульовому зміщенні для 8-APSK

Оскільки для 8-APSK пара символів має нульову фазу і ще 2 символи фазу π , це відбивається на гістограмі, що і дозволить нам оцінити зміщення фази з точністю до π радіан.

Сигнальне сузір'я при зміщенні фази на $3/4 \pi$ наведено на рис. 3.2, відповідна гістограма на рис. 3.3 (відношення сигнал/перешкода задано 12 дБ):

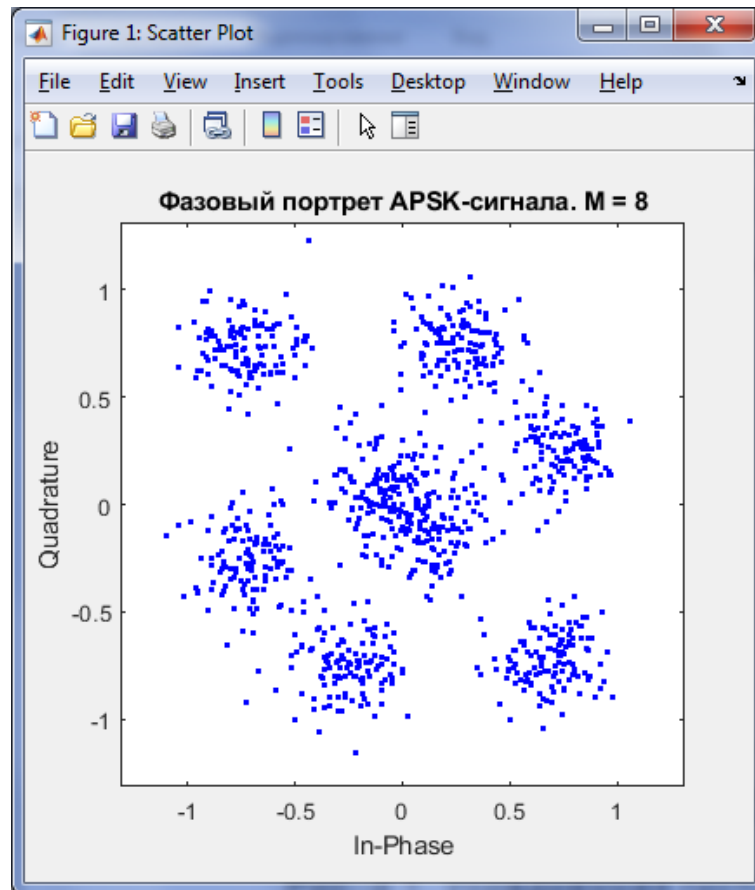


Рис. 3.2. Сигнальне сузір'я 8-APSK при зміщенні фази на $\frac{3}{4}\pi$

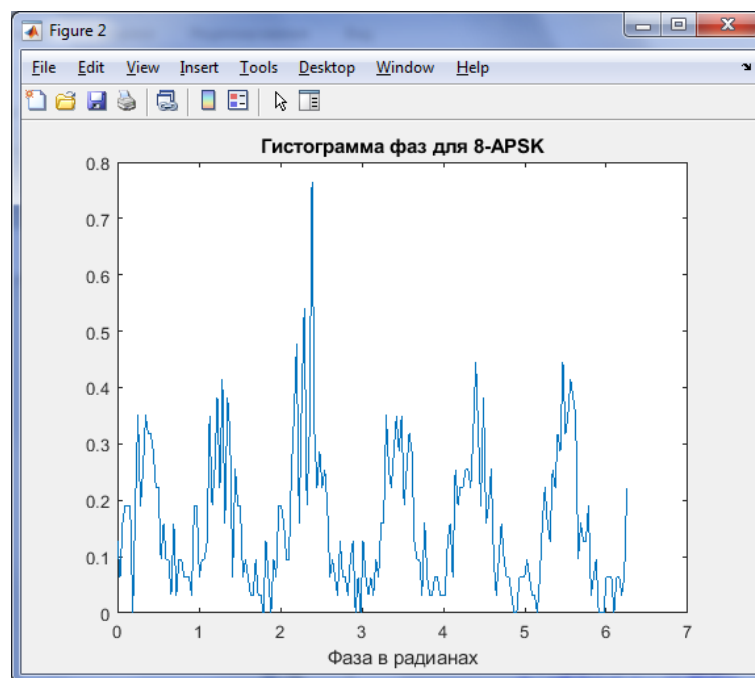
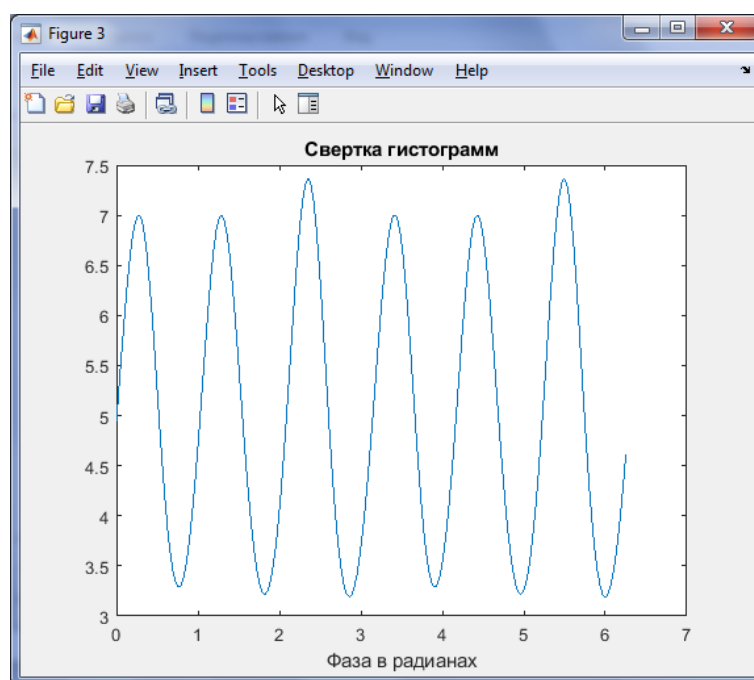


Рис. 3.3. Гістограма фаз 8-APSK при зміщенні фази на $\frac{3}{4}\pi$

Результат циклічної згортки базової гістограми і поточної наведено на рис. 3.4:



3.4. Результат циклічної згортки базової і поточної гістограм

Фаза що відповідає максимальному значенню згортки приймається за оцінку зміщення фази, кратне π значення зміщення визначилося без помилок з точністю до сотих часток градуса. Фазовий портрет сигналу після усунення зміщення наведено на рисунку 3.5:

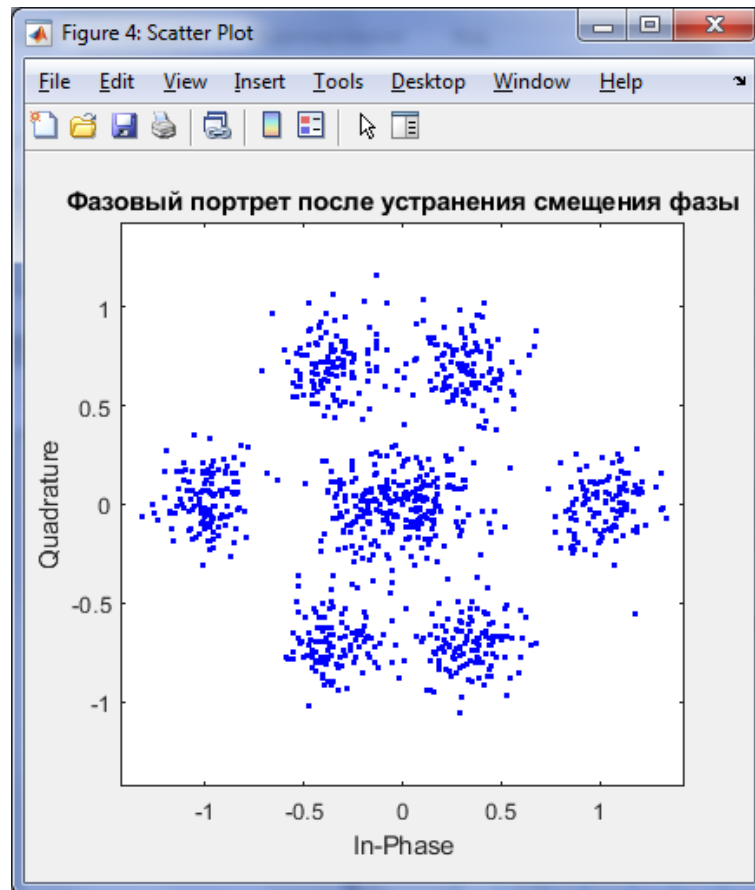


Рис. 3.5. Сигнальне сузір'я 8-APSK після усунення зміщення фази

При випадковому виборі зміщення помилка оцінки не перевищує півтора градуса, навіть для обраного відносно невеликого відношення сигнал/перешкода 12 дБ, як видно із запусків моделі 8-APSK сигналу:

```
>> APSK
fi = 188.33, Phest = 189.00 dfi = -0.67
fi = 205.72, Phest = 205.20 dfi = 0.52
fi = 51.79, Phest = 50.40 dfi = 1.39
fi = 145.13, Phest = 145.80 dfi = -0.67
fi = 252.75, Phest = 252.00 dfi = 0.75
fi = 339.30, Phest = 340.20 dfi = -0.90
fi = 254.23, Phest = 253.80 dfi = 0.43
fi = 83.80, Phest = 264.60 dfi = -180.80
fi = 84.37, Phest = 84.60 dfi = -0.23
fi = 74.85, Phest = 73.80 dfi = 1.05
fi = 302.89, Phest = 302.40 dfi = 0.49
fi = 254.16, Phest = 75.60 dfi = 178.56
fi = 290.52, Phest = 109.80 dfi = 180.72
```

Ще раз підкреслимо, що у нас немає можливості розрізняти відсутність зміщення фази від зсуву на 180 градусів, оскільки сигнальне сузір'я 8-APSK інваріантно щодо зсуву фази на величини кратні 180 градусам. Та-

ким чином, до повного декодування залишилося визначити чи був поворот фази при поширенні і обробці сигналу кратний 180 градусам, але не кратний 360 градусам. Це ми зможемо зробити тільки за допомогою кода Баркера. Заключна обробка кожного пакету наступна:

```
% Демодуляція кода Баркера в пакеті:
BarkerIn = dvbsapskdemod(fineCompPacketOpt(1:BL),M,STDSUFFIX);

% Поиск поворота фазы по совпадению кода Баркера:
[PhSp, mind] = PhaseByBarker(BarkerIn, Barker);

% Доворот фазы и демодуляція пакета:
fineCompPacketOpt=fineCompPacketOpt*exp(-1i*PhSp);
rxInf = dvbsapskdemod(fineCompPacketOpt,M,STDSUFFIX);

% Вычисление BER:
NN = min(length(rxInf), length(txInf));
[numErr, BER] = biterr(txInf(1:NN), rxInf);
fprintf('PhSp=%.0f градусов, min_d=%3d\n', PhSp*180/pi, mind);
fprintf('numErr=%4d, BER=%7.5f\n\n', numErr, BER);
```

У функцію PhaseByBarker () внесемо мінімальні зміни, що стосуються тільки розміру і елементів таблиці перетворення, яка визначає перехід символів при повороті фази на 180 градусів:

```
M=2; % функция PhaseSynchr() определяет фазу
      % для 8-APSK с точностью pi

% Таблица преобразования символов при повороте фазы на 0, pi
BarkerSp=[0 1 2 3 4 5 6 7
           4 6 5 7 0 2 1 3];
```

3.3. Експериментальна перевірка передачі інформації

Результати пусків програми наведені нижче (несуча частота 2.35 ГГц, ослаблення сигналу передавача -50 дБ). Проведено два сеанси прийому інформаційних пакетів з модуляцією APSK, для контролю між двома сеансами проведено прийом пакетів з модуляцією QPSK:

```
>> APSKreceive
dfestSP0=3311.2732.
Number of found packets = 3
prOpt=0.
Packet #1, SNR=19.7 дБ, prOdd=1, Kvar=1.78.
PhSp=180 градусов, min_d= 7
numErr=1481, BER=0.47882
```

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Packet #2,SNR=19.6 дБ,prOdd=1,Kvar=2.18.
PhSp=0 градусов, min_d= 7
numErr= 528,BER=0.17071

Packet #3,SNR=19.3 дБ,prOdd=1,Kvar=1.73.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 70,BER=0.02261

prOpt=1.
Packet #1,SNR=19.7 дБ,prOdd=1,Kvar=1.78.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 110,BER=0.03553

Packet #2,SNR=19.6 дБ,prOdd=1,Kvar=2.18.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 123,BER=0.03973

Packet #3,SNR=19.3 дБ,prOdd=1,Kvar=1.73.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 121,BER=0.03908

>> QPSKreceive
dfestSP0=3251.5340.
Number of found packets = 4
prOpt=0.
Packet #1,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=2.95.
dfestSP=0.2173, dfestPH=0.2282.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

Packet #2,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=2.98.
dfestSP=0.5452, dfestPH=0.5881.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

Packet #3,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=3.06.
dfestSP=0.5360, dfestPH=0.5894.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

Packet #4,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=3.15.
dfestSP=0.3865, dfestPH=0.4602.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

prOpt=1.
Packet #1,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=2.95.
dfestSP=0.2173, dfestPH=0.2282.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Packet #2,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=2.98.
dfestSP=0.5452, dfestPH=0.5881.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

Packet #3,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=3.06.
dfestSP=0.5360, dfestPH=0.5894.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

Packet #4,SNR=27.4 дБ,prOdd=1,Kvar=3.15.
dfestSP=0.3865, dfestPH=0.4602.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 0,BER=0.00000

>> APSKreceive
dfestSP0=3252.6435.
Number of found packets = 3
prOpt=0.
Packet #1,SNR=29.0 дБ,prOdd=0,Kvar=3.69.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 8,BER=0.00259

Packet #2,SNR=28.9 дБ,prOdd=0,Kvar=3.84.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 18,BER=0.00582

Packet #3,SNR=29.0 дБ,prOdd=0,Kvar=3.53.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 5,BER=0.00162

prOpt=1.
Packet #1,SNR=29.0 дБ,prOdd=0,Kvar=3.69.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 7,BER=0.00226

Packet #2,SNR=28.9 дБ,prOdd=0,Kvar=3.84.
PhSp=0 градусов, min_d= 0
numErr= 5,BER=0.00161

Packet #3,SNR=29.0 дБ,prOdd=0,Kvar=3.53.
PhSp=180 градусов, min_d= 0
numErr= 4,BER=0.00129

На рисунках 3.6-3.8 приведені амплітудні розгортки пакетів після згортки з кодом Баркера для трьох зазначених сеансів:

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

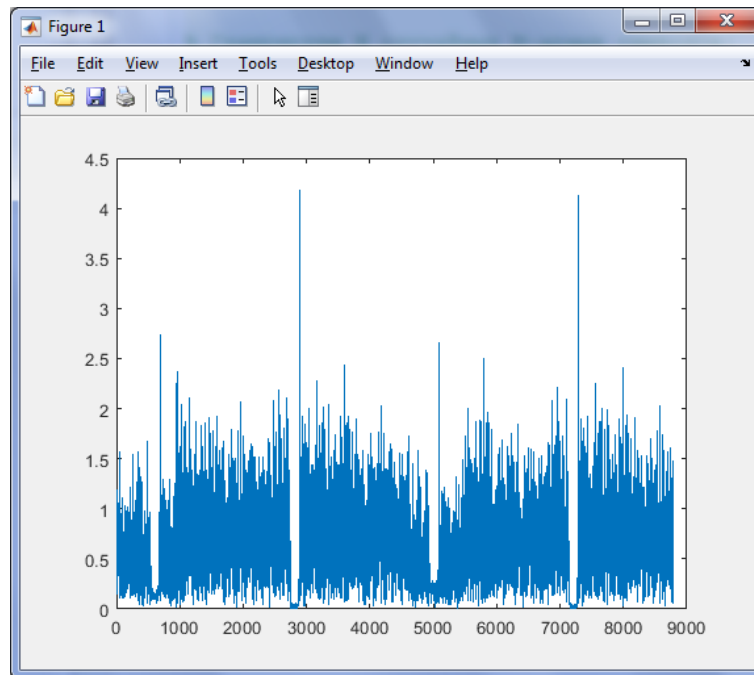


Рис. 3.6. Амплітудна розгортка пакетів після згортки з кодом Баркера в 1-му сеансі APSK

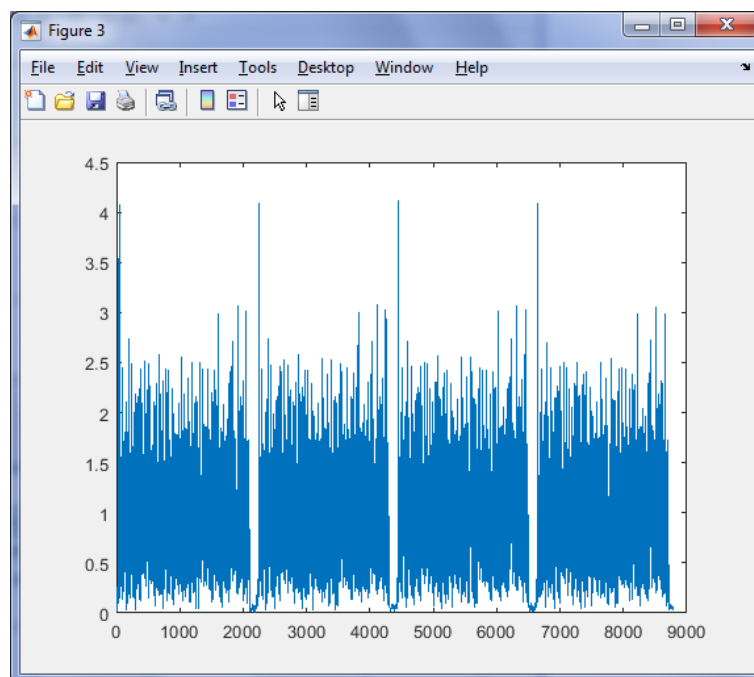


Рис. 3.7. Амплітудна розгортка пакетів після згортки з кодом Баркера в сеансі QPSK

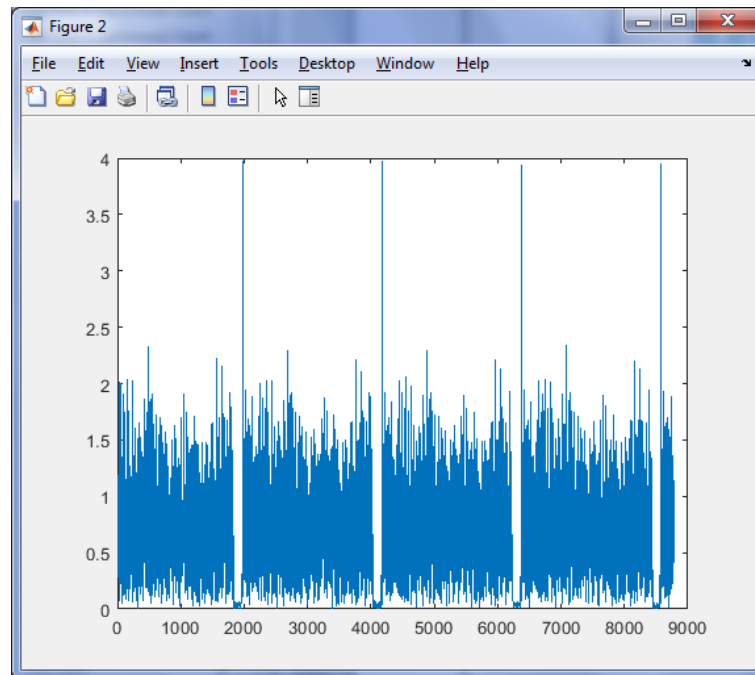


Рис. 3.8. Амплітудна розгортка пакетів після згортки з кодом Баркера в 2-му сеансі APSK

У першому сеансі ми спостерігаємо значну нестабільність амплітуди, яка, мабуть, пояснюється перехідними процесами при включенні передавача. Робота програми у таких умовах, безумовно, теж викликає інтерес. У другому і третьому сеансах нерівномірність амплітуд прийшла у норму. Неозброєним оком видно, що при використанні APSK згортка з кодом Баркера краще, ніж при QPSK. Виявляється це не випадково. Теоретично рівень бічних пелюсток використовуваного коду Баркера, однак, це величина для чистого сигналу, якщо його розглядати на тлі рівномірного випадкового потоку біт, то рівень дорівнює -14.9 дБ. Нижче наведена таблиця рівня бічних пелюсток для QPSK і APSK при різних обсягах алфавіту:

Модуляція	q (дБ)
QPSK	-12.7
8-APSK	-15.1
16-APSK	-13.6
32-APSK	-14.9
64-APSK	-16.3
128-APSK	-15.0
256-APSK	-17.3

Дані отримані за вимірюваннями згортки по чистому сигналу передатчика. Наведені в таблиці дані пояснюються різною ймовірністю випадкового пошуку всіх слів послідовності символів для різних модуляцій з кодом Баркера. Ці дані підтверджуються вимірами при прийомі пакетів, для APSK величини по пакету зі стабільною потужністю передавача склали -14.5, -14.4 і -14.4 дБ, для QPSK 12.4 дБ для всіх 4-х пакетів.

Вимірний зсув частоти між приймачем і передавачем (параметр dfestSP0) в першому сеансі APSK склав 3311.3 Гц, для сеансу QPSK 3251.5 і 3252.6 Гц для другого сеансу APSK. Більший зсув в першому сеансі можна списати на перехідні процеси в передавачі, тому що і в цьому випадку вдалося забезпечити передачу даних. Другий і третій сеанси показують, що в межах тимчасового дрейфу [5] оцінка зсуву не залежить від використовуваної модуляції.

Як і в каналі передачі даних з QPSK, в нашому каналі для усунення зміщення фази паралельно використовується 2 методи. Функція `Matlab comm.SymbolSynchronizer()` ($\text{prOpt} = 0$) і вибір парних / непарних відліків ($\text{prOpt} = 1$). У першому сеансі ми бачимо, що використання функції `comm.SymbolSynchronizer()` привело до повної втрати 1-го і 2-го пакетів, тоді як другий метод привів до прийнятної рівня BER по всім трьом пакетам. Майже такий же висновок можна зробити з сигнальним сузір'ям пакетів. На рисунку 3.9. наведені сузір'я для другого пакету першого сеансу для двох зазначених методів оцінки зсуву фази:

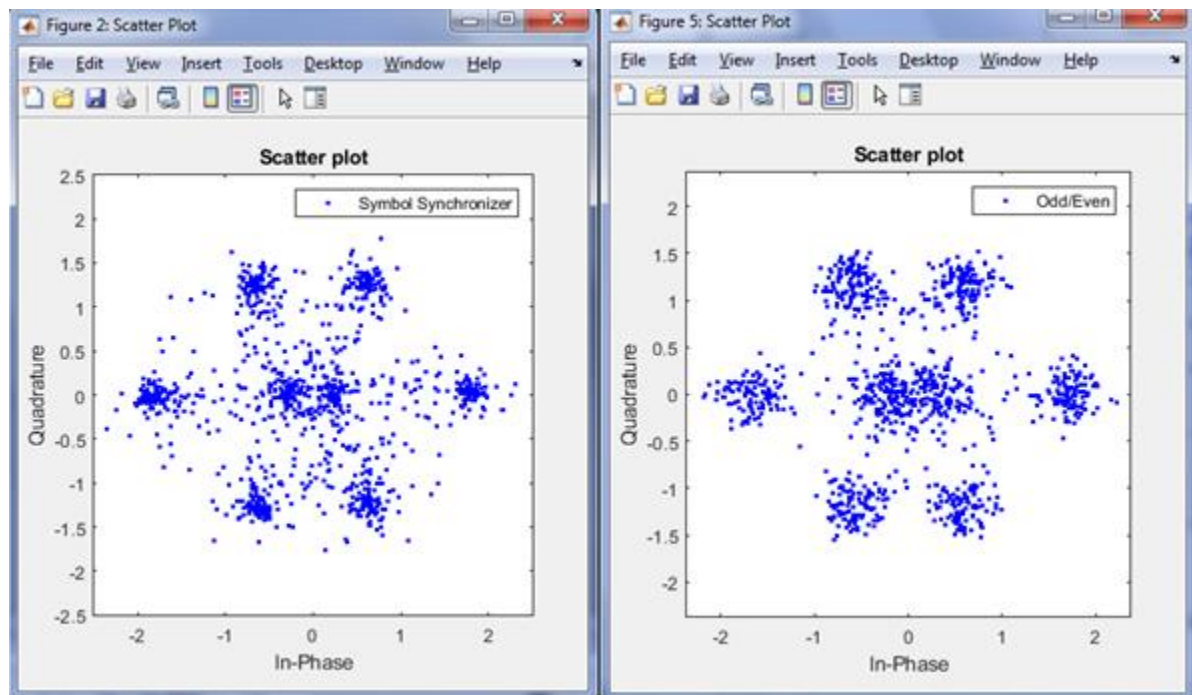


Рис. 3.9. Сигнальні сузір'я 8-APSK при використанні двох методів обробки для одного з інформаційних пакетів

Більш детальний розгляд отриманих результатів показує, що ж сталося в умовах нестабільності сигналу передавача. Параметр `min_d`, що показує кількість розбіжностей бітів коду Баркера в кращому варіанті зсуву фази (0 або 180 градусів), для перших двох пакетів при використанні функції `comm.SymbolSynchronizer()` виявився рівним 7 бітам, що говорить про повне руйнування коду Баркера в якому всього 13 біт. У всіх інших випадках `min_d = 0`, тобто початкова частина переданої інформації з кодом Баркера не спотворюється. У другому сеансі результат в разі вибору парних / непарних відліків тільки трішки краще, ніж використання функції `comm.SymbolSynchronizer()` (кількість збоїв по пакетах 7, 5, 4 проти 8, 18, 5).

У таблиці 3.1 наведені результати визначення необхідності додаткового повороту фази на 180 градусів функцією `PhaseByBarker()`.

Таблиця 3.1

Метод обробки	1 сеанс			2 сеанс		
Пакети	1	2	3	1	2	3
Odd/Even	180	180	0	180	0	180
SymbolSynchronizer	-	-	180	0	180	180

Як бачимо, зайвий поворот фази на 180 градусів може у одних пакетів всередині одного сеансу утворитися, у інших ні. Також він залежить від методу обробки.

Як уже зазначалося в розділі 2, розподіл символів для вибраного стандарту режиму DVB-S2 по комплексній площині трохи рівномірний, особливо це відноситься до центральних символів 0 і 4 8-APSK, які без перешкод можна було рознести на більшу відстань. Це погіршило характеристики реального каналу, оскільки навіть для значних значень відносини сигнал/перешкода (у другому сеансі 29 дБ) ми не вийшли на повну відсутність збоїв біт. Як добре видно з сигнальних сузір'їв для 3-го пакета, спотворилися саме центральні символи (рис. 3.10):

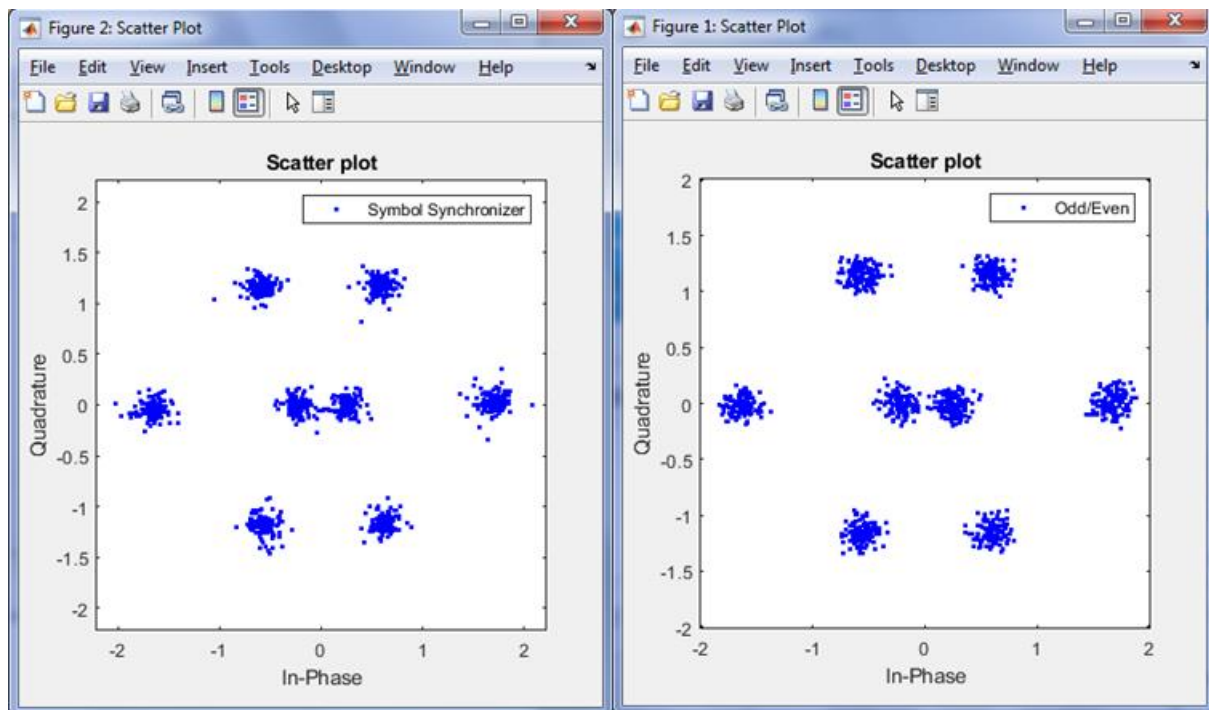


Рис. 3.10. Сигнальні сузір'я 8-APSK для 3-го інформаційного пакета (відношення сигнал/перешкода 19 дБ, 5 і 4 збійних біта)

Отримані збої, безумовно, легко виправляються корегуючими кодами.

3.4. Висновки до розділу.

На базі двох платформ ADALM-PLUTO SDR реалізований реальний канал передачі даних з використанням модуляції 8-APSK і досліджені його характеристики. Рекомендується в подальших дослідженнях перевірити ефективність каналу при більшому розносі центральних символів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р4			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Охорона праці та навколишнього середовища	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Студент		Репін І. І.						
Консульт.		Тубальцев А.М.					56	15
Н. контр.						НУК ім. адмірала Макарова		
Керівник		Іхсанов Ш. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Одна з найважливіших державних задач – охорона життя та здоров'я громадян в процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці.

За даними Всесвітньої організації охорони праці смертність від нещасних випадків на сьогодні займає третє місце після серцево – судинних і онкологічних захворювань, причому переважно гинуть працездатні люди віком до 40 років. Аналіз причин смертності в Україні (1994 – 1998 рр.) показує, що основною причиною смертності чоловіків у працездатному віці є нещасні випадки, отруєння, травми (30 – 35% усіх смертей у цьому віці).

Охорона праці відіграє важливу роль, як суспільний чинник, оскільки, якими б вагомими не були трудові здобутки, вони не можуть компенсувати людині втраченого здоров'я, а тим більше життя.

Окрім соціального, охорона праці має, безперечно, важливе економічне значення – це і висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. Фахівці Міжнародної організації праці (МОП) підраховали, що економічні витрати, пов'язані з нещасними випадками, складають 1% світового валового національного продукту.

За статистичними даними МОП кількість нещасних випадків на виробництві останнім часом зросла і становить 125 млн. чол. щорічно, з них близько 220 тис. гине.

Рівень травматизму і профзахворюваності значно вищий у країнах, що розвиваються, ніж у промислово розвинених державах.

На думку іноземних фахівців, які за програмою МОП працювали в Україні, велика кількість нещасних випадків зі смертельними наслідками пояснюється п'ятьма основними причинами: незадовільною підготовкою робітників і роботодавців з питань охорони праці; відсутністю належного контролю за станом безпеки на робочих місцях та виконанням встановлених норм;

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недостатнім забезпеченням працюючих засобами індивідуального захисту; повільним впровадженням засобів та приладів колективної безпеки на підприємствах; спрацьованістю засобів виробництва.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: “Про охорону праці”, “Про охорону здоров’я”, “Про пожежну безпеку”, “Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України “*Про охорону праці*”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Охорона праці – це система правових, соціально – економічних, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних та лікувально – профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров’я та працездатності людини в процесі праці.

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів впливаючих на людину

Аналіз нещасних випадків в промисловості, що супроводжуються тимчасовою втратою працездатності потерпілими свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелика і складає 0,5 – 1% від загальної кількості нещасних випадків, що трапляються в промисловості. Проте слід зауважити, що з загальної кількості нещасних випадків зі смертельним наслідком на виробництві 20 – 40% трапляються внаслідок ураження електрострумом, що більше, ніж внаслідок дії інших причин, причому близько 80% смертельних уражень електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В.

Електротравма – це травма, викликана дією електричного струму або електричної дуги. Електротравми поділяються на два види: електротравми, котрі виникають при проходженні струму через тіло людини, і електротравми, поява котрих не пов’язана з проходженням струму через тіло людини. Ураження людини в другому випадку пов’язується з опіками, засліпленням електричною дугою, падінням, а відтак – суттєвими механічними ушкодженнями.

Проходячи через тіло людини, електричний струм справляє термічну, електричну та механічну (динамічну) дію. Це фізико – хімічні процеси притаманні живій неживій матерії. Одночасно електричний струм здійснює і біологічну дію, котра є специфічним процесом, властивим лише живій тканині.

Термічна дія струму проявляється через опіки окремих ділянок тіла, нагрівання до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, котрі знаходяться на шляху струму, що викликає в них суттєві функціональні розлади.

Електролітична дія струму характеризується розкладом органічної рідини, в тому числі і крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Механічна (динамічна) дія струму – це розшарування, розриви та інші подібні ушкодження тканин організму, в тому числі м’язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини та крові.

Біологічна дія струму проявляється через подразнення та збудження живих тканин організму, а також через порушення внутрішніх біологічних процесів, що відбуваються в організмі і котрі тісно пов’язані з його життєвими функціями.

4.2. Види електричних травм

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Місцева електротравма – яскраво виявлене порушення щільності тканин тіла, в тому числі кліток, викликане впливом електричного струму або електричної дуги.

Характерні місцеві електротравми – електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження та електрофтальмія.

Електричні опіки – це ушкодження поверхні тіла під дією електричної дуги або великих струмів, що проходять через тіло людини. Опіки бувають двох видів: струмові, коли струм проходить через тіло людини, та дугові (під дією електричної дуги температурою понад 3500 °С).

Електричний знак – це чітко окреслена пляма діаметром 1 – 5 мм сірого або блідо – жовтого кольору, що з’являється на поверхні шкіри людини, яка зазнала дії струму.

Електрометалізація – проникнення в шкіру частинок металу внаслідок його розбризкування та випаровування під дією струму. Вона може статися при коротких замиканнях, від’єднаннях роз’єднувачів та рубильників під навантаженням. При цьому дрібні частинки розплавленого металу під впливом динамічних сил та теплового потоку розлітаються у всі сторони з великою швидкістю. Ушкоджуються відкриті частини тіла – руки та обличчя. Уражена ділянка тіла має шорстку поверхню.

Механічні ушкодження є в більшості випадків наслідком різких судомних скорочень м’язів під впливом струму, котрий проходить через тіло людини. Внаслідок цього можуть відбутися розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин та нервової тканини і навіть переломи кісток.

Електрофтальмія – це запалення зовнішніх оболонок очей, що виникає під впливом потужного потоку ультрафіолетових променів. Таке опромінення можливе при утворенні електричної дуги (при короткому замиканні). Електрофтальмія спостерігається приблизно у 3% потерпілих від струму.

Інфрачервоні (теплові) промені також шкідливі для очей, але лише на близькій відстані або при інтенсивному і тривалому опроміненні.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна електротравма (електричний удар), коли уражається (або виникає загроза ураження) весь організм в наслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів та систем.

Електричний удар – збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів.

В залежності від наслідку ураження електричні удари можна умовно розділити на 5 ступенів:

- судомні ледь відчутні скорочення м'язів;
- судомні скорочення м'язів, що супроводжуються сильним болем, що ледь переноситься без втрати свідомості;
- судомне скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботи серця;
- втрата свідомості та порушення серцевої діяльності або дихання (або одного і другого разом);
- клінічна смерть, тобто відсутність дихання та кровообігу.

Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Зі зростанням сили струму небезпека ураження ним тіла людини зростає. Розрізняють порогові значення струму (при частоті 50 Гц):

- пороговий відчутний струм – 0,5 – 1,5 мА при змінному струмі і 5 – 7 мА при постійному струмі;
- пороговий не відпускний струм (струм, що викликає при проходженні через тіло людини нездоланні судомні скорочення м'язів руки, в котрій затиснений провідник) – 10 – 15 мА при змінному струмі і 50 – 80 мА при постійному струмі;
- пороговий фібриляційний струм (струм, що викликає при проходженні через організм фібриляцію серця) – 100 мА при змінному струмі і 300 мА при постійному струмі.

Електричний опір тіла людини – це опір струму, котрий проходить по ділянці тіла між двома електродами, прикладеними до поверхні тіла. Він складається з опору тонких зовнішніх шарів шкіри, котрі контактують

з електродами, і з опору внутрішніх тканин тіла. Опір людини складається з ємнісного та активного опорів.

Величина електричного опору тіла залежить від стану рогового шару шкіри, наявності на її поверхні вологи та забруднень, від місця прикладання електродів, частоти струму, величини напруги, тривалості дії струму. Ушкодження рогового шару (порізи, подряпини, волога, потовиділення) зменшують опір тіла, а відтак – збільшують небезпеку ураження. Опір тіла людини в практичних розрахунках приймається рівним 1000 Ом.

Постійний струм приблизно в 4 – 5 разів безпечніший, ніж змінний струм частотою 50 Гц. Порівняльна оцінка постійного та змінного струмів справедлива лише для напруг до 500 В. Вважається, що при більш високих напругах постійний струм стає небезпечнішим, ніж змінний частотою 50 Гц.

4.3. Розрахунок захисного заземлення

Виконати розрахунок захисного заземлення електроустановки з напругою до 1000В, допустимий опір захисного заземлення до 4 Ом. Тип заземлителя трубчатий, розташований в ґрунті. Ґрунт – глина.

4.3.1. Визначаємо допустимий опір захисного заземлення

Для електроустановок напругою до 1000 В допустимий опір $R_d = 4$ Ом.

4.3.2. Визначаємо питомий опір ґрунта

Для глини питомий опір $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

4.3.3. Обираємо тип та розміри заземлювача, а також визначаємо опір розтікання одного заземлювача

трубчатий заземлювач розташований в землі

довжина труби $l = 3 \text{ м}$

діаметр труби $d = 50 \text{ мм}$

глибина закладення труби від поверхні землі $t_0 = 0,5 \text{ м}$

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$R_1 = \frac{\rho}{2 * \pi * l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right)$$

R_1 – опір розтікання одного заземлювача,

$$t - \text{глибина закладення труби} \quad t = t_0 + \frac{l}{2} = 0.5 + \frac{3}{2} = 2 \text{ (м)}$$

$$R_1 = \frac{40}{2 * 3.14 * 3} \left(\ln \frac{2 * 3}{0.05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 * 2 + 3}{4 * 2 - 3} \right) = 13.745 \text{ (Ом)}$$

4.3.4. Якщо $R_1 > R_d$, то визначаємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів

$$n^1 = \frac{R_1}{\eta_B * R_d}$$

$\eta_B = 1$ – коефіцієнт використання заземлювачів

$$n^1 = \frac{13.745}{1 * 4} = 3.44$$

Отримане число заземлювачів округлюємо до цілого числа n і за таблицею знаходимо фактичний коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_\phi = 0.79$

4.3.5. Визначаємо фактичний опір вертикальних заземлювачів

$$R_{B\phi} = \frac{R_1}{n * \eta_\phi} = \frac{13.745}{3 * 0.79} = 5.8 \text{ (Ом)}$$

4.3.6. Для зв'язку вертикальних заземлювачів використаємо з'єднуючу смугу (протяжний заземлювач круглого пересіку розташований в землі)

$$l = 1.05 * a * n - \text{довжина з'єднуючої смуги}$$

a – відстань між електродами приймається $(1 \div 3)$ довжини електрода вертикального.

$$l = 1.05 * (1 * 3) * 3 = 9.45 \text{ (м)}$$

$$\text{Глибина залягання} \quad t = t_0 - \frac{d}{2} = 0.5 - \frac{0.05}{2} = 0.475 \text{ (м) з'єднуючої смуги}$$

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$R_{1II} = \frac{\rho}{2\pi * l} \ln \frac{l^2}{dt} = \frac{40}{2 * 3.14 * 9.45} \ln \frac{9.45^2}{0.05 * 0.475} = 6.932 \text{ (Ом)}$$

Опір смуги дорівнює $R_{II} = \frac{R_{1II}}{\eta_{\Gamma}}$, де $\eta_{\Gamma} = 0.81$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

$$R_{II} = \frac{6.932}{0.81} = 8.558 \text{ (Ом)}$$

4.3.7. Фактичний опір заземлювача

$$R_3 = \frac{R_{B\Phi} * R_{II}}{R_{B\Phi} + R_{II}} = \frac{5.8 * 8.558}{5.8 + 8.558} = 3.457 \text{ (Ом)}$$

Оскільки $R_3 < R_d$ то розрахунок вважається закінченим.

4.4. Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок

Застосовувані в електроустановках захисні заходи умовно можна поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок і ті, що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи.

Електрична ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, котрим вкривається поверхня струмоведучих частин, або котрим струмоведучі частини відділяються одна від одної. Ізоляція запобігає протіканню струмів через неї завдяки великому опору.

В електроустановках напругою до 1000 В застосування ізольованих проводів забезпечує достатній захист від ураження при дотику до них. Однак ізольовані дроти, котрі знаходяться під напругою понад 1000 В, не менш небезпечні, ніж оголені. В цих випадках одним із засобів забезпечення безпеки є стаціонарні **огорожувальні пристрої**. Вони поділяються на суцільні та сітчасті.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блокуванням називається автоматичний пристрій, за допомогою котрого запобігають неправильним, небезпечним для людини діям (механічне, електричне і електромагнітне блокування).

Електричне блокування дозволяє вимикати напругу при відкриванні дверей огорожень, дверей корпусів та кожухів або при знятті кришок.

Розташування струмоведучих частин на недосяжній висоті або в недоступному місці забезпечує безпеку без огорожень та блокувань.

Вибираючи висоту підвішування, слід враховувати можливість ненавмисного дотику до частин, що перебувають під напругою, довгими металевими предметами.

Малі напруги. При напрузі до 42 В струм, котрий проходить через тіло людини, безпечний. Джерелами малої напруги є знижувальні трансформатори, акумулятори, випрямні установки, перетворювачі частот, батареї гальванічних елементів.

Вирівнювання потенціалів – це зниження напруг дотику та кроку між точками електричної ланки, до яких можливий одночасний дотик або на котрих може одночасно стояти людина.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або з її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, котрі можуть опинитись під напругою. Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус.

Захисне вимкнення – це швидкодіючий захист, котрий забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні небезпеки ураження струмом.

4.5. Система електрозахисних засобів.

Електрозахисні засоби – це переносні засоби, призначені для захисту людей, котрі працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Ізолювальні електрозахисні засоби (основні та допоміжні) призначені для ізоляції людини від частин електрообладнання, котрі знаходяться під напругою, а також від землі.

Основними називають такі ізолювальні електрозахисні засоби, ізоляція котрих надійно витримує робочу напругу електроустановки і за допомогою котрих дозволяється доторкнутись до струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою.

Додатковими називають такі ізолювальні електрозахисні засоби, котрі самі не можуть забезпечити безпеку персоналу при даній напрузі електроустановки і є додатковим захисним заходом до основних ізолювальних електрозахисних засобів.

4.6. Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища на даний час одна з основних задач людства. Складна екологічна обстановка, що виникла в результаті виробничої діяльності людини, вимагає корінних змін відносно до питань, зв'язаних з охороною навколишнього середовища і раціональним використанням природних ресурсів.

Навколишнє середовище може забруднюватися різними шляхами: механічними (пил, тверді частки), хімічним, біологічним (органічні аерозолі), фізичним (тепло, шум). Тому охорона природи виростає в глобальну проблему, яка являє собою комплекс заходів щодо захисту, раціонального використання і відновлення живої (рослинний і тваринний світ) і неживої (грунт, вода, атмосфера, недра) природи.

Вивченням питань охорони навколишнього середовища займається наука – екологія. Екологія – це економіка природи й одночасне вивчення усіх взаємин живого з органічними і неорганічними компонентами середовища. Основними задачами екології є всебічна діагностика стану природи, розробка прогнозів по зміні стану природного середовища, формування профілактичних заходів щодо охорони навколишнього середовища.

4.6.1. Забруднення навколишнього середовища при розробці системи керування засобами відображення інформації по радіоканалу

Вироблення системи керування засобами відображення інформації по радіоканалу являє собою технологічний процес, деякі фактори якого впливають на стан забруднення навколишнього середовища. Це такі фактори, як забруднення повітря на робочому місті, вплив електромагнітного поля. Кожен з цих факторів негативно впливає як на живі організми (тварини та рослини), так і на стан повітряного середовища.

4.6.2. Забруднення повітря

При виробництві системи керування засобами відображення інформації з радіоканалу можна виділити наступні основні технологічні операції:

- нанесення малюнка друкованих плат;
- травлення друкованих плат у розчині хлорного заліза (FeCl_3);
- свердлення отворів;
- монтаж електронних компонентів на друкованих платах;
- покриття друкованих плат вологостійким поліуретановим лаком.

Під час виконання перерахованих технологічних операцій в атмосферу викидається ряд речовин, більшість з яких є небезпечними для живих організмів і стану природного середовища в цілому.

При проведенні травлення друкованих плат у повітря викидаються пари, що забруднюють навколишнє середовище і негативно впливають на тварин і рослини. При монтажі електронних компонентів використовуються олов'яно-свинцеві припої, флюси, лаки. При використанні олов'яно-свинцевих припоїв у повітря виділяються пари свинцю, олова, нікелю і каніфолі, які є небезпечними для навколишнього середовища й особливо сильно впливають на живі організми. Також небезпечно впливають на живі організми пари флюсів і лаків, які виділяються при їх використанні.

4.6.3. Вплив електромагнітного поля

При розробці і налагодженні системи керування засобами відображення інформації по радіоканалу використовуються електротехнічні прилади, такі як високочастотний генератор (генератор радіочастотних сигналів), високочастотний осцилограф, високочастотний детектор поля (сканер радіочастотного сигналу), персональний комп'ютер, що випромінюють небезпечні для навколишнього середовища електромагнітні поля.

Вплив електромагнітного поля на рослини. За останні кілька десятиліть сформувався новий фактор навколишнього середовища - електромагнітні поля (ЕМП) антропогенного походження. Деякі фахівці відносять ЕМП до числа сильнодіючих екологічних факторів з катастрофічними наслідками для всього живого. Сучасні досягнення науки доводять, що світ, у якому ми живемо, є єдине утворення. Живий організм являє собою набір молекулярних утворень, що мають структурну упорядкованість, і поводить як єдине ціле в реакціях і поведженні, у просторі і часі. Тому будь-який сторонній вплив, на яку-небудь з молекулярних структур, позначається на стані організму в цілому і веде до його зміни. Учені думають, що в умовах тривалого впливу різних ЕМП на організми, існує можливість нагромадження біологічного ефекту ЕМП. Біологічна дія електромагнітних полів залежить, насамперед, від двох параметрів – потужності і частоти випромінювання. На сьогоднішній день багато фахівців приймають за безпечні для живих організмів рівні електромагнітного поля менш 0,1 мкТл.

Проведене вченими дослідження з впливу електромагнітного поля на рослини (у дослідженні використовувалися плоди томатів) показало, що під впливом електромагнітного поля збільшується термін збереження плодів. Імовірно, електромагнітне поле впливає на ферментні системи, що регулюють обмінні процеси в клітках. Це може мати практичне значення – без використання холодильних установок, створивши електромагнітне поле, можна збільшити термін схоронності плодів. Технічну сторону й економічну доцільність даного висновку можна перевірити експериментально.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Електромагнітне поле гальмує проростання насіння і знижує їхню схожість. Цей факт так само може мати практичне значення. Поля, засіяні різними культурами, перетинають лінії електропередачі високої напруги, що створюють могутнє електромагнітне поле. В експерименті всі рослини пророщувалися при достатній кількості вологи, а на полі дуже важливим фактором є її наявність. Не встигнуть насіння з уповільненою швидкістю проростання використовувати її після посіву, значить нижче схожість і врожайність.

Вплив електромагнітного поля на тварин і оточуюче середовище.

Тварини також як і людина піддаються впливові електромагнітного поля. Використання електромагнітної енергії в різних галузях людської діяльності привело до того, що до існуючого природного електричного і магнітного полів додалися електромагнітні поля штучного походження, рівень яких у кілька десятків разів перевищує рівень природного електромагнітного поля. Будучи біологічно активним фактором, електромагнітне поле штучного походження робить несприятливий вплив на навколишнє природне середовище, що було відзначено в 1989 р. Всесвітньою організацією охорони здоров'я, що включила цей фактор у число значимих екологічних проблем. Біологічна активність електромагнітних випромінювань зростає зі зменшенням довжини хвилі, що приводить до більшого “агресивності” дії полів радіочастот у порівнянні з полями промислової частоти. Розрізняють два види впливу - теплова і специфічна дія, що виявляється в безлічі явищ і ефектів.

Ступінь впливу значно залежить від потужності випромінювання і від довжини хвилі електромагнітного поля. По впливу на живі організми самими небезпечними вважаються надвисокочастотні (НВЧ) електромагнітні поля. По санітарних нормах у діапазоні НВЧ при цілодобовому опроміненні гранично припустимі рівні електромагнітного випромінювання досягають 5 мкВт/см².

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Найбільш вивчений тепловий вплив НВЧ - випромінювань. Наприклад, вплив НВЧ - випромінювання з довжиною хвилі 3 см при щільності потоку 150 - 200 мвт/см² протягом 1 - 25 хвилин призводив до загибелі багатьох комах (у тому числі колорадського жука), а також ряду ссавців: мишей, пацюків, кроликів, овець. Оскільки окремі види комах виявилися значно менш стійкі до теплового НВЧ - впливові в порівнянні із сільськогосподарськими рослинами, така контрастність дозволяє використовувати дану властивість у боротьбі з комахами-шкідниками.

Електромагнітні поля НВЧ - діапазону оказують також значущу дію на ґрунти. При постійному НВЧ - опроміненні ґрунтів відбувається зниження інтенсивності азотифікації, що зв'язане, можливо, з порушенням будови комплексу ґрунтових мікроорганізмів.

4.6.4. Заходи щодо запобігання забруднення навколишнього середовища

Задача збереження чистої атмосфери, отже, і охорони навколишнього середовища, полягає в тому, що не перевищить припустимий рівень забруднення. Ця задача може рішиться в основному по двох напрямках:

- 1) створення систем, що працюють по замкнутому циклі, що дозволяють утилізувати основну масу відходів виробництва;
- 2) відчищення скидань, що неминуче надходять в атмосферу.

Для очищення повітря застосовуються спеціалізовані системи очищення повітря. Такі системи бувають як стаціонарні, котрі встановлюються в загальну систему вентиляції, так і індивідуальні, котрі встановлюються на робочому місці.

Слід зазначити, що шкідливі речовини викидаються в атмосферу тільки в процесі виробництва системи керування засобами відображення інформації з радіоканалу, але не в процесі її налагодження й експлуатації.

Основним засобом боротьби з електромагнітними полями є екранування. Екранування — найбільш ефективний спосіб захисту. Електромаг-

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

нітне поле послабляється екраном унаслідок створення в його товщі поля протилежного напрямку. Ступінь ослаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщу екрана. Чим більше магнітна проникність екрана і вище частота екранування поля, тим менше глибина проникнення і необхідна товщина екрана. Звичайно екранується джерело випромінювань. Екрани бувають що відбивають і що поглинають.

Щоб забезпечити екологічну безпеку і захистити населення і природне середовище від дії електромагнітного поля, що ушкоджує, необхідно детальне нормування рівня електромагнітних полів різних діапазонів у житлових приміщеннях, суспільних будинках і безпосередньо в зонах джерел електромагнітного випромінювання.

Не обійтися без розробки технічних мір, що дозволять захистити від впливу ЕМП електропобутових приладів. Також необхідно продовжити дослідження впливу ЕМП на людину, на тваринний і рослинний світ.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Магістерський дипломний проект присвячений реалізації каналу передачі даних на базі двох платформ ADALM-PLUTO SDR з використанням модуляції 16APSK.

У теоретичній частині роботи проведено огляд існуючого на кафедрі ПЕЕТ каналу передачі даних з використанням двох платформ PLUTO-SDR. Дано короткий опис платформи PLUTO-SDR, детально розглянута програмна реалізація каналу передачі даних і наведені дані по експериментальній оцінці характеристик різних блоків.

Другий розділ присвячений викладу теоретичних основ модуляції APSK. Розглянуто модуляція APSK для стандарту режиму DVB-S2 з об'ємом алфавіту 8, 16, 32, 64, 128 та 256.

У третьому розділі детально розглянуті необхідні доопрацювання програми для передавального і приймального Pluto для впровадження модуляції APSK в реальний канал передачі даних. У Matlab реалізована модель каналу передачі даних, на якій відпрацьована власна функція синхронізації фази, ефективно працююча також в реальному каналі передачі даних. Проведено аналіз отриманих експериментальних даних.

Розроблено заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

					171.6391м.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ихсанов Ш. М. Методичні вказівки для вивчення теорії та виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електричного зв'язку» — НУК, кафедра теоретичної електротехніки та електронних систем, 2016.
2. Фазова маніпуляція (PSK) — [Електронний ресурс]. URL: http://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=8877
3. Telecommunications Industry Association Standard. IP over Satellite (IPOS). Revision of TIA-1008-A. — USA, May 2006. — pages 247.
4. Ихсанов Ш.М. Методичні вказівки для вивчення теорії та виконання лабораторних робіт з дисципліни «Адаптивна обробка сигналів» — НУК, кафедра теоретичної електротехніки та електронних систем, 2017.
5. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ РЕАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ с использованием приемников RTL-SDR. / Ш. М. Ихсанов, В. М. Рябенский, О. С. Дьяконов. — LAP LAMBERT Academic Publishing Riga, Latvia, 2020. — 317 с. ISBN: 978-620-0-09264-9. — [Електронний ресурс]. URL: <https://www.morebooks.shop/store/fr/book/исследование-сигналов-реальных-информационных-систем/isbn/978-620-0-09264-9>
6. ADALM-PLUTO Radio Support from Communications Toolbox. — [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/hardware-support/adalm-pluto-radio.html>
7. Рябенский В.М., Ихсанов Ш.М., Дьяконов А.С. Стужук И.И. Совершенствование алгоритма выделения сигналов морских судов в технологии AIS в условиях плотного потока сообщений : — К.: Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, том 31 (70) Ч. 1 № 1, 2020. — с. 42-50.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Література	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

