Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією

Виконав: студент 6 курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Шилівський Н.І. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Хвостівська Л.В. (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Хвостівський М.О. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Шилівському Назарію Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 06 » 12 2022 року № 4/7-989

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: процес визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією. Предмет дослідження: метод та алгоритм визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітична частина
2. Основна частина
3. Науково-дослідна частина
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Актуальність роботи
2. Модель радіосигналів в каналі зв'язку з балансною модуляцією
3. Схема, метод та алгоритм оцінювання показників завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією із завадами
4. Дослідження показників завадозахищеності та достовірності каналу зв'язку з балансною модуляцією із завадами в середовищі MATLAB
4. Показники завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією із завадами
5. Наукова новизна
6. Практичне значення
7. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та			
безпека в надзвичайних			
ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 06.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання роботи	06.09.2022 р.	Виконано
2	Аналіз отриманого завдання	16.09.2022 р.	Виконано
3	Виконання розділу 1	30.09.2022 р.	Виконано
4	Виконання розділу 2	15.10.2022 р.	Виконано
5	Виконання розділу 3	02.11.2022 р.	Виконано
6	Виконання розділу 4	14.11.2022 р.	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2022 р.	Виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу	07.12.2022 р.	Виконано
9	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	11.12.2022 р.	Виконано
10	Попередній захист кваліфікаційної роботи	13.12.2022 р.	Виконано
11	Захист кваліфікаційної роботи	22.12.2022 р.	

Студент _____ Шилівський Н.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією» // Кваліфікаційна робота // Шилівський Назарій Іванович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2022 // с. – 70, рис. – 28, табл. – 0, додат. – 2, бібліогр. – 44.

Ключові слова: МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ, КАНАЛ ЗВ’ЯЗКУ, БАЛАНСНА МОДУЛЯЦІЯ, MATLAB.

У роботі розроблено метод визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією.

На підґрунті реалізованої адитивної моделі радіосигналу у каналах зв’язку з балансною модуляцією у вигляді суми корисного радіосигналу та завади розроблено метод та алгоритм експериментального оцінюванню рівня завадозахищеності каналів зв’язку.

Проведено дослідження процесу передачі радіосигналу з балансною модуляцію/демодуляцією в каналі зв’язку під впливом завад при застосуванні розробленого програмного забезпечення в середовищі Matlab. Під час дослідження згенеровано тестові сигнали, піддано їх балансній модуляції, здійснено адитивний вплив завади, реалізовано балансну демодуляцію та відображено результати оцінювання рівня завадозахищеності каналів у вигляді графіків за показниками середньоквадратичного відхилення, відношення SNR на вході/виході та достовірність виявлення згідно критерію Неймана-Пірсона.

ANNOTATION

Theme of qualification work: "The method of determining the level of immunity of communication channels with balanced modulation" // Qualification work // Shylivskyy Nazariy // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RRm-61 // Ternopil, 2022 // p. – 70, fig. – 28, tab. – 0, Add – 2, Ref. – 44.

Key words: METHOD OF DETERMINING THE LEVEL OF INTERRUPTION PROTECTION, COMMUNICATION CHANNEL, BALANCED MODULATION, MATLAB.

The work has developed a method for determining the level of interference protection of communication channels with balanced modulation.

On the basis of the implemented additive model of the radiosignal in communication channels with balanced modulation in the form of the sum of the useful radio signal and interference, a method and algorithm for experimental evaluation of the level of immunity of communication channels has been developed.

A study of the process of radio signal transmission with balanced modulation/demodulation in the communication channel under the influence of interference when using the developed software in the Matlab environment was carried out. During the study, test signals were generated, subjected to balanced modulation, the additive effect of interference was implemented, balanced demodulation was implemented, and the results of evaluating the level of immunity to interference of channels were displayed in the form of graphs based on indicators of root mean square deviation, SNR ratio at the input/output, and the reliability of detection according to the Neyman-Pearson criterion.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 11
1.1. Аналіз способів впливу завад на телекомунікації 11
1.1.1. Класифікація завад 11
1.1.2. Радіоподавлення ліній радіозв'язку з підвищеною завадозахищеністю 15
1.2. Основний критерій якості передачі даних 16
1.3. Ймовірність помилки при когерентному прийомі 18
1.4. Ймовірність помилки при некогерентному прийомі даних 19
1.5. Висновки до розділу 1 21
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА 22
2.1. Модель радіосигналів в каналах зв’язку 22
2.2. Схема експерименту 23
2.3. Канал зв’язку з балансною модуляцією 24
2.4. Застосування Matlab при досліджені процесів балансної модуляції/демодуляції 29
2.5. Алгоритм програмного експерименту процесу модуляції/демодуляції 32
2.6. Висновки до розділу 3 34
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА 35
3.1. Реалізація експерименту по дослідженню процесів балансної модуляції/демодуляції радіосигналів в середовищі Matlab 35
3.2. Визначення показника достовірності виявлення радіосигналів в каналах зв’язку з балансною модуляцією 45
3.3. Висновки до розділу 3 50
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 51
4.1. Охорона праці 51
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях 53
4.3. Висновки до розділу 4 56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 57

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 58
ДОДАТКИ 62
ДОДАТОК А. Копія тези 63
ДОДАТОК Б. Програмний код дослідження показників завадозахищеності каналу зв’язку з балансною модуляцією 66

ВСТУП

Актуальність роботи. В останні роки спостерігається бурхливий розвиток систем радіозв’язку. Однак проблема підвищення їх завадозахищеності залишилася не вирішеною, так як шуми, завади та завмирання сигналу, що впливають на якість передачі радіосигналів, призводять до появи на приймальній стороні помилок.

Завантаженість радіочастотного спектру та обмеження по потужності випромінювання радіопередаючих пристроїв у населених пунктах, а також прагнення розробників зменшити масу та габарити антенних пристроїв, висунули показник завадостійкості на передові позиції для забезпечення високої якості інформаційного обміну. Збільшення потужності передавача, підвищення чутливості приймача, зростання підсилення антен частково вирішують проблему, але ціною значного подорожчання систем зв’язку.

Розробники засобів передачі вимушені вибирати завадостійкі методи модуляції радіосигналів при їх передачі для розроблення систем, виходячи з досвіду експлуатації подібних пристроїв у вже існуючих системах.

Розробки у напрямі розвитку підвищення показників завадостійкості каналів зв’язку вели та ведуть такі вчені як A.J. Viterbi, E.R. Berlekamp, Ю.Б. Зубарєв, В.В. Золотарьов, Г.В. Овечкін, Р. Блейхут, Д.Ж. Прокіс, С. Ліїн, Д.Ж.Кастелло, Хеммінг Р.У., Фінк Л.М., Боуз Р.Ч., Рей-Чоудхурі Д.К., Хоквінгем А.М., Рід І.С., Соломон Г.М., Е.М. Габідулін, Голей М.Д. та багато інших. Проте складність і різноманіття каналів передачі радіосигналів, відмінність методів передачі інформаційних потоків та низка інших причин не дозволили знайти універсальний метод та алгоритм визначення рівня завадостійкості кодування та проблема вибору найкращого виду модуляції радіосигналів для конкретного каналу передавання даних поки що не вирішена.

Тому експериментальний підбір видів модуляції, обробки сигналів і методів визначення рівня завадостійкості, що забезпечує найбільш високу якість передачі в конкретному каналі зв’язку представляється в даний час актуальним завданням. Зважаючи на викладені вище обставини процес дослідження передачі

повідомлень при використанні радіосигналів з балансною модуляцією не здійснювався.

Для реалізації такого підходу необхідно провести дослідження, яке дозволяє експериментально шляхом моделювання та імітації умов передачі радіосигналів, визначати рівень завадозахищеності каналу передачі інформації при балансній модуляції та здійснити обробку радіосигналу, що забезпечують задану якість інформаційного обміну.

Метою дослідження є процес розробки методу та алгоритму визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією.

Завдання дослідження:

1. Здійснити аналіз існуючих методів визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку.

2. Реалізувати модель радіосигналів при їх передачі в каналах зв'язку з балансною модуляцією за наявності впливу завад.

3. Реалізувати метод та алгоритм визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією та оцінювання показника достовірності передачі радіосигналів за наявності впливу завад.

4. Реалізувати програмне забезпечення для визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією за наявності впливу завад.

5. Провести дослідження експериментальним шляхом моделювання та імітації умов передачі радіосигналів для визначати рівня завадозахищеності каналу передачі даних при балансній модуляції за наявності впливу завад.

Об'єкт дослідження.

Процес визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією.

Предмет дослідження.

Метод та алгоритм визначення рівня завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією.

Методи дослідження.

Вирішення перерахованих вище завдань виконано з використанням

відомих положень теорії сигналів, теорії ймовірності та математичної статистики, методів моделювання процесів.

Наукова новизна.

Розроблено метод та алгоритм визначення рівня завадозахищеності та достовірності каналів зв’язку з балансною модуляцією за наявності впливу завад при використані критерію Немайна-Пірсона.

Практичне значення.

Програмне забезпечення для визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією під впливом завад може бути використано при тестуванні алгоритмів роботи телекомунікаційних систем.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз способів впливу завад на телекомунікації

Радіоелектронне подавлення (РЕП) входить до складу заходів радіоелектронної боротьби (РЕБ) – і є радіоелектронне подавлення чи поразка радіоелектронних об'єктів. Під час впливу на засоби зв'язку розрізняють функціональна поразка і радіоелектронне подавлення. Функціональне поразка полягає у руйнуванні (пошкодженні) елементів та вузлів телекомунікаційних засобів та у порушенні цілісності інформації. Радіоелектронне подавлення полягає у зниженні ефективності (якості) функціонування телекомунікаційних об'єктів шляхом впливу на їх приймальні пристрої активними та пасивними радіоелектронними завадами.

1.1.1. Класифікація завад

Радіоелектронні завади – це випромінювання електромагнітні, що не вражають, які занижують показник якості функціонування телекомунікаційних засобів, перешкоди здійснюють імітування або спотворення спостережені та реєстровані кінцевою системою радіосигнали, ускладнюють процес виділення корисного сигналу, занижують показник дальності дії та точності функціонування систем. Під впливом перешкод телекомунікаційні засоби та системи можуть не функціонувати джерело інформаційне незважаючи, що такі системи можуть бути справними та працездатними. Так як процес подавлення різноманітних телекомунікаційних засобів перешкодами одного виду є неможливий, тому використовують спеціальні види, які відповідають тим чи іншим засобам, що атакуються.

Згідно особливостей впливу на телекомунікаційні засоби перешкоди є імітуючими та маскуючими. Перешкоди маскуючі впливають негативно на характеристики пристрою приймання телекомунікаційних засобів, що призводить до збільшення чисельності прийнятих символів, які занижують інформативну складову повідомлення, утворюють фон, який утрудняє або

повністю виключає розпізнавання, виявлення та виділення корисних радіосигналів. При збільшенні перешкодної потужності дія маскування починає зростати. Імітуючі (дезінформуючі) перешкоди є сигналами, які випромінює станція перешкод для інтеграції некоректної інформації в засоби. По структурі вони корелюють з корисними радіосигналами і тому утворюють в кінцевому пристрої телекомунікаційних систем сигнали помилкових змістів, подібні до реальних, занижують здатність пропускання системи, призводять до помилкових реакцій системи. При дії імітуючих перешкод параметри приймального пристрою не змінюється в негативну сторону. Окремим випадком імітуючої перешкоди є ретрансляційна перешкода, що повністю повторює корисний радіосигнал. Ефект впливання перешкоди погіршує якість обробленої інформації внаслідок її руйнації чи старіння, що підвищує рівень ступеня невизначеності після прийнятого рішення. В залежності від способу впливу перешкод, співвідношення спектральної ширини перешкод та корисних радіосигналів (рис. 1.1,а) перешкоди маскуючі класифікуються як загороджувальні (рис. 1.1, в) та прицільні (рис. 1,1, б; 1 – перешкода), які корелюють за частотою з радіосигналом; 2 – перешкода не корелює за частотою з радіосигналом телекомунікаційних засобів).

Загороджувальні перешкоди характеризуються за показником ширини спектра частот, що суттєво більша смуги займаної корисним радіосигналом, що негативно впливає шляхом одночасного пригнічування декількох телекомунікаційних засобів без точної процедури наведень перешкодного передавача (ПП) за показником частоти. Вони формуються без повної інформації про показники сигналів телекомунікаційних засобів, які підлягають пригнічуванню. Особливістю загороджувальної перешкоди є той факт, що коли величина потужності є сталою для ПП, то їх густина спектральної потужності $G_П$ (Вт/МГц) знижується за рівнем при розширенні спектру випромінювання. Коли спектр є рівномірним, то вона обчислюється як відношення енергопотенціалу передавача перешкоди $P_{ПП}G_{ПП}$ до значення перешкодної спектральної ширини частот $\Delta f_П$.

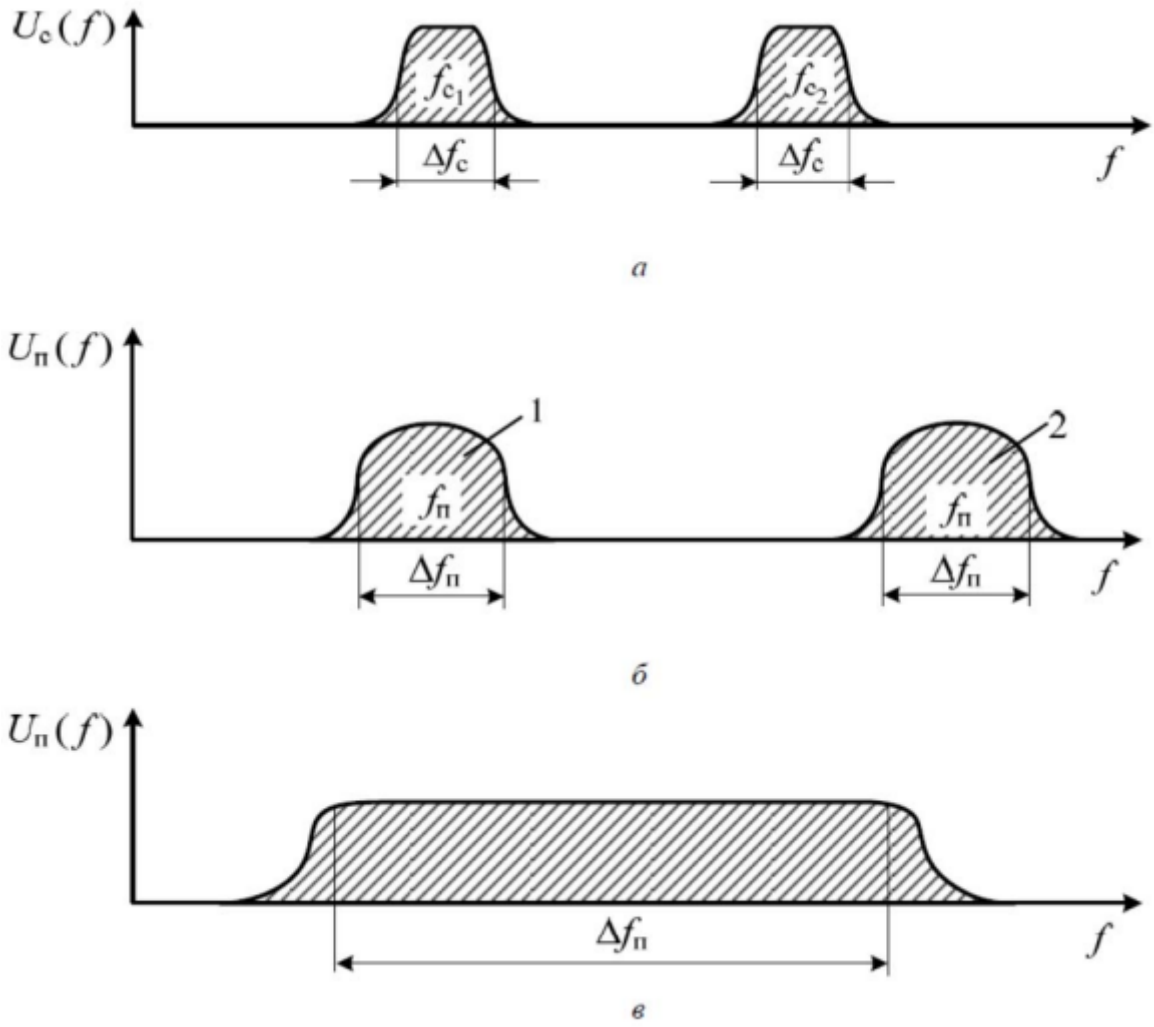

Рис. 1.1. Типи перешкод з різними показниками ширини спектра:
а - корисний радіосигнал, б - перешкода прицільного типу, в - перешкода загороджувального типу

У випадку суцільної завади загороджувальної:

$$G_П = \frac{P_{ПП} G_{ПП}}{\Delta f_П}. \qquad (1.1)$$

Наприклад, коли ПП з еквівалентним значенням потужності 5000 Вт, утворює перешкоди загороджувального типу в межах частотного діапазону від $f1 = 9500$ МГц до $f2 = 10000$ МГц ($\Delta f_П = 500$ МГц), тоді $G_П = 5000/500 = 10$ Вт. Перешкодам прицільного типу характерною є значення

показника спектральної ширини, який може порівнятися (рівна або в 1,5-2 рази перевищуюча) за шириною зі спектром радіосигналу, який подавлюють телекомунікаційні засоби. Показник ефективності їх впливу є залежними від показника суміщеної точності за показником частоти з корисним радіосигналом. Перешкодам прицільного типу характерний високий показник щільності потужності. Оскільки ці перешкоди здійснюють випромінювання в вузькому діапазоні частот, то вони їх можуть реалізувати малопотужними телекомунікаційними засобами. Наприклад, показник потужності випромінювання радіоперешкод складає загалом 150 Вт та показник коефіцієнт підсилення антени $G_{ППП} = 100$, здатен створювати в частотному діапазоні 5 МГц щільність на рівні показника потужності 3000 Вт/МГц, а в діапазоні 0,5 МГц створювати 30 кВт/МГц. Виділеним одним серед методів генерування перешкод загороджувального виду є використання перешкод ковзаючих в частотному діапазоні, які формуються шляхом швидкої перебудови передавача перешкод вузькосмугового виду в широкому частотному діапазоні. Через таку особливість в частотному діапазоні для кожного з багатоканальних каналів телекомунікаційного засобу чи декілька послідовних станцій локалізується досить високий показник щільності потужності, яка є необхідною для їх подавлення. Проте при наявності схеми захищеності показник ефективності таких перешкод виявляється нижчою за рівнем, а ніж загороджувального виду, які формує передавач з відсутністю перебудови в частотному діапазоні. Серед недоліків перешкод прицільного типу виділено те, що ці перешкоди здатні синхронно подавлювати лише один телекомунікаційний засіб, який функціонує в даному хвильовому діапазоні.

Згідно часової структури випромінювань радіоелектронні перешкоди ділять на імпульсні та неперервні. Неперервні перешкоди є неперервними випромінюванням електромагнітного виду, які є модульованими за амплітудою/частотою/фазою. Перешкоди імпульсні виду а формою є подібні до радіоімпульсів модульованих/немодульованих. Хаотичні несинхронні імпульсні перешкоди мають вигляд послідовності радіоімпульсів з випадковими змінами показників тривалості, амплітуди, часових інтервалів між імпульсами. В

телекомунікаційних системах зазначені перешкоди здійснюють маскування передаючих повідомлень. Як об'єкт перешкодного впливу, який створює радіолінія радіозв'язку виступає пристрій приймальний.

1.1.2. Радіоподавлення ліній радіозв'язку з підвищеною завадозахищеністю.

Підвищення завадозахищеності переважно здійснюється через штучне розширення спектра шляхом додаткових модуляцій вихідного сигналу, при цьому спектр результуючого сигналу збільшується, переводячи його в клас широкосмугових сигналів. Існує кілька видів штучного розширення спектра. Телекомунікаційні системи з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ) (FHSS) ефективні в умовах потужних зосереджених перешкод, у боротьбі із завмиранням при багатопроменевому поширенні радіохвиль. У таких системах використовуються частотно часовий сигнал (ЧВС), що є послідовністю наступних один за одним радіоімпульсів тривалістю τ. Ці імпульси передаються різних частотах, причому смуга частот кожного імпульсу становить ΔFс і можлива одночасна передача кількох імпульсів різних частотах. ЧВС зазвичай зображують за допомогою частотно-часової матриці, що визначає закон кодування імпульсів за частотою та часом. ЧВС застосовують також для селекції сигналів (за формою) під час роботи великої кількості багатоадресних систем зв'язку у загальній смузі частот. Для подавлення систем ППРЧ необхідно мати певну кількість прицільних за частотою передавачів перешкод, або створювати потужну загороджувальну перешкоду, що має ширину спектра, що перекриває діапазон перебудови частоти приймача, що придушується. Можливе застосування ковзної за показником частоти перешкоди, що утворюється в процесі швидкого перебудування передавача перешкод вузькосмугового типу в широкому діапазоні частот. Проте при присутності схеми захисту показника ефективності ковзаючих за частотою перешкод може бути нижчою, ніж загороджувальних. Широкосмугові (ШПС) фазоманіпульовані сигнали (QPSK, BPSK), є складними сигналами з великою величиною бази, тобто сигналами, у яких добуток ширини спектра на тривалість набагато більше одиниці. Такі сигнали часто називають шумоподібними. Часто в системах широкосмугового

радіозв'язку можна зустріти використання зворотного зв'язку (ЗЗ) для корекції способів кодування і модуляції у разі виявлення перешкоди. Системи радіозв'язку з ЗЗ відрізняються тим, що відбувається перевірка якості передаючих повідомлень з корекцією на передавальному кінці. Наявність каналів ЗЗ дозволяє підвищити завадозахищеність за рахунок збільшення часу передачі. Якоюсь мірою це еквівалентно введенню коригувальних кодів (надмірності). Для подавлення систем радіозв'язку з ЗЗ необхідно ставити потужну загороджувальну перешкоду. Звідси випливає висновок: для придушення таких систем потрібно ставити загороджувальні за кодом перешкоди або хаотично імпульсна перешкода (ХІП) або ретрансляційні перешкоди. Таким чином СКІ ЕМІ має великий потенціал як перешкодні засоби. СКІ ЕМІ можна розглядати як засіб постановки перешкод, що відносяться до загороджувальних, маскуючих та імпульсних, під час впливу на широкосмугові засоби зв'язку, а під час впливу на надширокосмугові засоби зв'язку перешкоди потенційно можна віднести до прицільних перешкод, що імітують.

1.2. Основний критерій якості передачі даних

Підвищення якості передачі є головною метою застосування методів завадостійкої модуляції і основна мета застосування завадозахищених модуляцій і алгоритмів модуляцій полягає в зниженні ймовірності помилок, що виникають в процесі передачі даних по каналах зв'язку. Клод Шеннон показав [1], що канальна пропускна здатність С при адитивному білому гаусовому шумі є функцією потужності середньої прийнятого радіосигналу S з середньою потужністю шуму Р та шириною пропускної смуги W:

$$C = W \log_2 \left[1 + S/P\right], \tag{1.1}$$

Для цифрових систем відношення сигнал/шум замінюють на нормований

один біт відношення Еб/N0 ,

$$E_б / N_0 , \tag{1.2}$$

де $E_б$ - енергія одного біта послідовності,

N_0 - шумова щільність потужності спектрального виду. А теорема К. Шеннона для телекомунікаційних систем (ТС) має такий вигляд:

$$C = W \log_2 [1 + E_б / N_0] \tag{1.3}$$

Основним критерієм якості передачі даних є ймовірність помилки прийому сигналів. Важливо відзначити, що ймовірність помилки (Bit Error Probability – BEP) та швидкість виникнення бітової помилки (Bit Error Rate – BER) – це різні показники. Проте, їх чисельні значення дуже близькі і, маючи на увазі BEP(PB), завжди мають на увазі BER, це вимірювана та обчислювана фізична величина. На рис.1.2. проілюстровано загальну схема ТС.

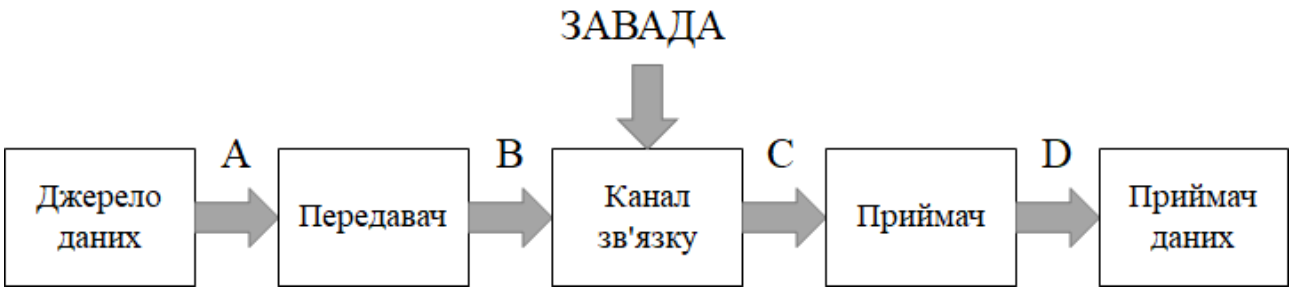

Рис.1.2. Типова схема ТС (A - дані, B - інформаційна послідовність на вході каналу, C - інформаційна послідовність на виході каналу після впливу замирань та перешкод, D - вихідні дані)

У цій схемі під впливом перешкоди, яку визначає відношення Еб/No, канальна інформаційна послідовність, яка є носієм даних A, перетворюється в послідовність C, що містить дані D. У загальному випадку, ймовірність помилки виражається як рівень відповідності прийнятого радіосигналу C до переданого B або як ступінь адекватності даних D вихідним даним A.

Завадозахищеність ТС характеризується ймовірністю помилки, яка залежить від видів модуляції сигналів і методів їх прийому. У випадку ймовірність помилки дорівнює сумі ймовірностей всіх можливостей її появи. Найбільш зручною формулою для її визначення є функція ймовірності помилки Pb [2]:

$$P_b\left(\frac{E_b}{N_0}\right) \approx 2\cdot\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)\cdot erfc\left[\sqrt{\frac{3\log_2 M}{2(M-1)}\cdot\frac{E_b}{N_0}}\right]. \qquad (1.4)$$

Для прямокутної множини, гаусового каналу та прийому при використанні узгоджених фільтрів, ймовірність появи бітової помилки при модуляції M-QAM, де $M=2^k$ і k–парне число, вираз може бути записаний у вигляді:

$$P_b\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{2\left(1-L^{-1}\right)}{\log_2 L}\cdot Q\left[\sqrt{\left(\frac{3\log_2 L}{L^2-1}\right)*\frac{2E_b}{N_0}}\right]. \qquad (1.5)$$

Тут $L=\sqrt{M}$ - кількість рівневих відліків M-QAM, а $Q(x)$ є гаусовим інтеграл помилок і часто використовується при описі ймовірності з гаусової щільністю розподілу. Визначається ця функція в такий спосіб [2]:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_X^{\infty}\exp\left[-\frac{(-u)^2}{2}\right]dt. \qquad (1.6)$$

1.3. Ймовірність помилки при когерентному прийомі

У двійкових ТС для передачі даних використовуються два сигнали $u_0(t)$ і $u_1(t)$. Імовірність помилки при когерентному прийомі (розпізнавання 2-х сигналів) можна [4] визначити як

$$P_{ОШ} = 1 - F(x). \tag{1.7}$$

де $F(x)$ - інтеграл ймовірності,

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X}^{\infty} \exp\left[-\frac{(-u)^2}{2} \right] dt. \tag{1.8}$$

Аргумент, виразу (1.8) визначиться як:

$$X = \sqrt{\left[\frac{E_0 + E_1}{2N_0} \right](1 - \lambda)}, \tag{1.9}$$

де E_0, E_1 - енергії сигналів $u_0(t)$ і $u_1(t)$ відповідно, а λ рівне:

$$\lambda = \frac{2}{E_0 + E_1} \int_{0}^{T_2} u_0(t) u_1(t) dt. \tag{1.10}$$

Коефіцієнт λ з точністю до постійної збігається з коефіцієнтом кореляції сигналів $u_0(t)$ і $u_1(t)$. Залежно від значення коефіцієнта кореляції між сигналами може приймати різні значення.

1.4. Ймовірність помилки при некогерентному прийомі даних

Ймовірність помилки при некогерентному прийомі обчислюється за формулою:

$$P_{ОШ} \approx \frac{m-1}{2} h_{m/2}^2. \tag{1.11}$$

де $h_{m/2}^2 = \sigma^2 B$,

$\sigma^2 = P_C / P_j$ - відношення потужності сигналу до потужності перешкод.

$B = FT$, де F-ширина смуги частот, T-тривалість радіосигналу.

$m = v^{k0}$ - кількість символів, - довжина блоку.

Ймовірність помилки рівна [7]:

$$P = \sum_{i=r+1}^{n} C_n^i P_{ОШ}^i (1 - P_{ОШ})^{n-i} . \quad (1.12)$$

де

$$C = \frac{n!}{i!(n-i)!}. \quad (1.13)$$

На рис. 1.3 показано принцип зміни ймовірності помилки ($P_б$) для сукупності різних комбінацій параметрів (СРКП) при зміні $E_б / N_0$.

У схемах СРКП при певних типах модуляції та кодування та номінальному значень $E_б / N_0$ функціонування системи характеризується конкретною точкою на площині походження помилок. Можливі компроміси можна розглядати як зміна положення робочої точки однією з кривих на рис. 8, або як перехід з робочої точки однієї кривої сімейства до робочої точки іншої [8]

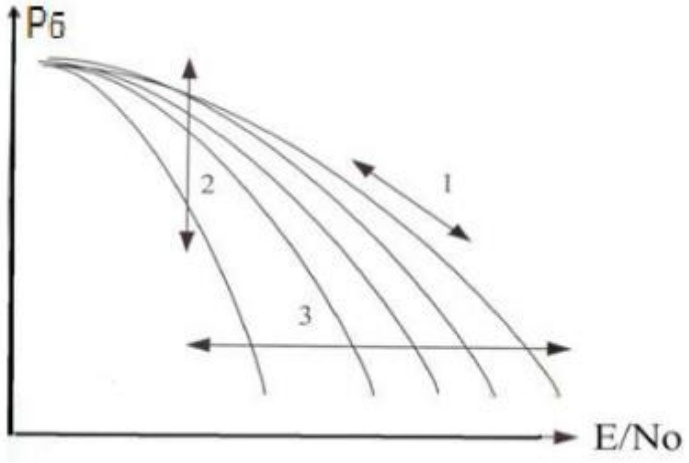

Рис.1.3. Залежність ймовірності появи помилки при різних параметрах СРКП (1-компроміс між відношенням E/N_0 та ймовірністю помилки при фіксованій пропускній здатності системи передачі даних; 2-відношення між ймовірністю помилки та пропускною здатністю при фіксованому відношенні E/N_0 ;3- відношення між пропускною здатністю та відношенням E/N_0 при фіксованій ймовірністю помилки)

Різні завадостійкі методи модуляції в каналах з різними параметрами забезпечують різні величини відношення E/N_0 і це забезпечує визначення для конкретного радіоканалу найкращої завадозахищеності, що забезпечує мінімальну порівняно з іншими методами ймовірність помилки. Проте у зв'язку з багатопараметричним та імовірнісним характером параметрів радіоканалів аналітичним шляхом таке завдання не вирішується.

Відомі аналітичні оцінки ймовірності помилок у радіоканалах [11,26-29] враховують методи обробки сигналів, але не забезпечують прив'язку до реальних стохастичних характеристик замирань та перешкод у конкретних радіоканалах.

1.5. Висновки до розділу 1

Проаналізовано способи впливу завад на телекомунікаційні системи та канали зв’язку, наведено класифікацію завад та здійснено аналіз принципи радіоподавлення ліній радіозв'язку з підвищеною завадозахищеністю.

Здійснено аналіз основного критерію якості передачі даних та встановлено, що підвищення якості передачі є головною метою застосування методів завадозахищеного виду модуляції радіосигналів в каналах зв’язку.

Встановлено, що основним критерієм якості передачі даних радіосигналу є ймовірність помилки прийому сигналів та визначено основні способи обчислення ймовірності помилки при когерентному та не некогерентних прийомах даних радіосигналів в каналах зв’язку.

Отже, завадозахищеність каналів зв’язку залежить від коректно обраного методу завадостійкої модуляції, що забезпечує підвищення показника якості передачі інформаційно-корисних даних радіосигналів без підвищення енергопотенціалу телекомунікаційних систем.

РОЗДІЛ 2
ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Модель радіосигналів в каналах зв’язку

Під час реалізації телекомунікаційних систем розробляють ефективні методи дослідження їх каналів зв’язку згідно моделі, яку зображено на рис.2.1.

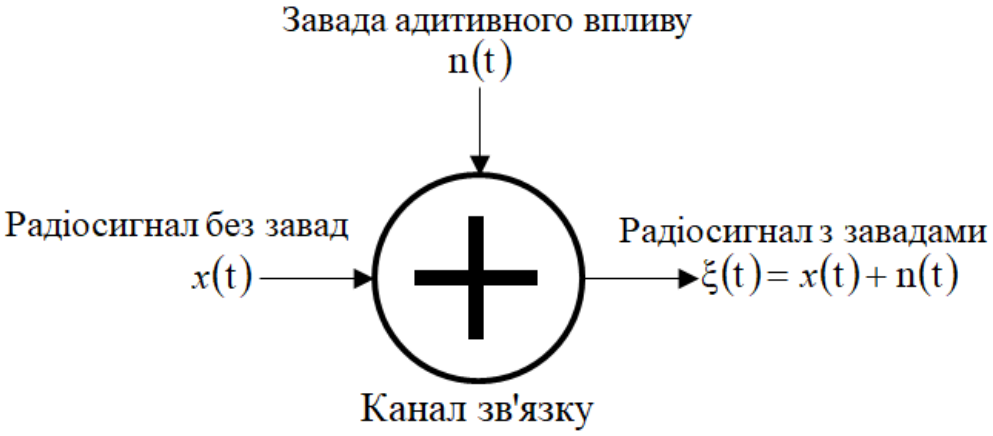

Рис. 2.1. Вигляд моделі радіосигналів в каналах зв’язку під впливом завад

Взаємозв’язки між вихідним радіосигналом $\xi(t)$ та вхідним балансо-модульованим $s(t)$ відображено при застосуванні оператора:

$$\xi(t) = L\{x(t)\}. \tag{2.1}$$

Вигляд моделі радіосигналу через рис.2.1 та вираз (2.1) забезпечують опис таких сигналів серед завад $\xi(t)$ як сума завади $n(t)$, природа генерування яких описана в розділі 1.

Для конкретизації властивостей радіосигналів під впливом завад використано аналітичний метод для досліджень варіативностей амплітудних значень реальних радіосигналів, що уможливить забезпечення коректності щодо математичного опису як фундаменту розробки ефективних обчислювальних методів визначення рівня завадозахищеності каналу зв’язку під впливом завад.

На рис.2.2 наведено балансно-модульовний радіосигнал під впливом завад.

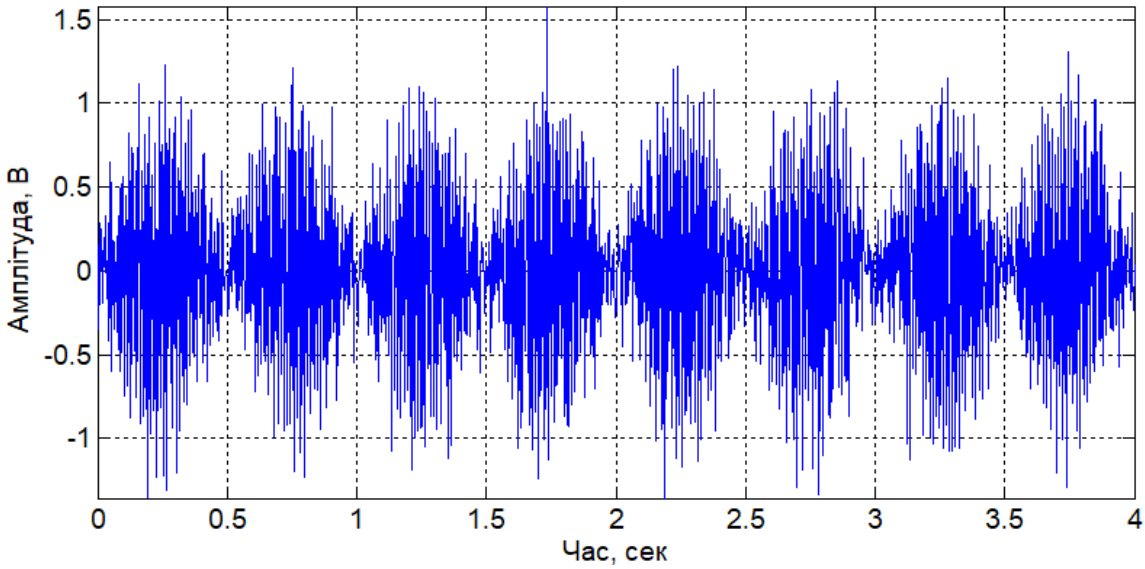

Рис. 2.2. Балансно-модульовний радіосигнал

Радіосигналам балансно-модульованим є характерна випадковість через впливання завад та повторюваність модуляційного процесу передачі при використанні каналу зв'язку. Амплітудні значення радіосигналу з часом варіюють в певних межах відносно середнього значення корисного радіосигналу, а саме спостерігається варіаційний (стохастичний) процес (графічно спостерігається на рис.2.2). Якщо вказаний процес досліджувати з часом, тоді, відповідно, можна завчасно виявляти корисні складові завадозахищені радіосигнали під впливом завад.

2.2. Схема експерименту

Оскільки щоб передати сигнал з однієї точку в іншу на відстані, по радіоканалу, необхідно вибрати канал зв'язку з певним типом модуляції. Загальна структура експерименту зображена на рис. 2.3.

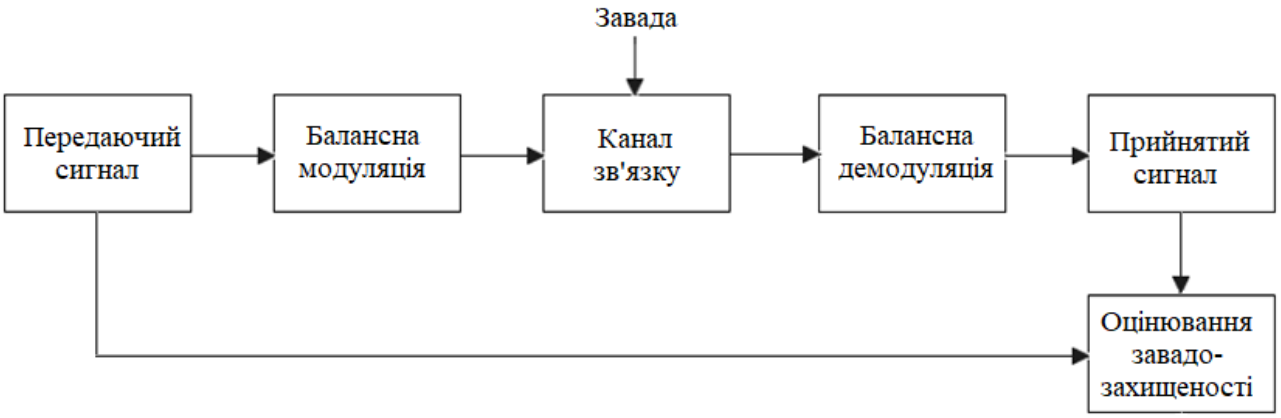

Рис. 2.3. Схема експерименту

У відповідності до схеми експерименту здійснюємо операцію балансної операції над сигнал, який необхідно передати. В подальшому при просуванні радіосигналу (модульований сигнал) через канал зв’язку відбувається вплив адитивної завади у відповідності до моделі сигналу з подальшою процедурою демодуляції спотвореного радіосигналу. Застосувавши певні методи обробки здійснюємо процедуру визначення рівня завадозахищеності каналу зв’язку з балансною модуляцією за рівнем спотворення немодульованого сигналу та за обчисленими показниками обробки встановимо достовірність прийнятих рішень.

2.3. Канал зв’язку з балансною модуляцією

Амплітудна модуляція є привабливою через простоту та дешевизною за рахунок застосування в приймальному засобі тільки детектора на основі діоду. Однак велика кількість переданої потужності є доведено на частоту несучу, тобто спостерігається холосте витрачання, оскільки не переносить корисних даних. Для цього було розроблено різні типи амплітудної модуляції. В одній з них застосовано балансний модулятор. Такому типу модуляція характерне повне подавлення несучої та присутність в частотному просторі лише бічних частот. Процес передавання при використанні балансної модуляції трактується як передача з 2-ма бічними та подавленням несучої.

Серед низки реалізацій АМ використовують модулятор Cowan, схему

якого відображено на рис.2.4.

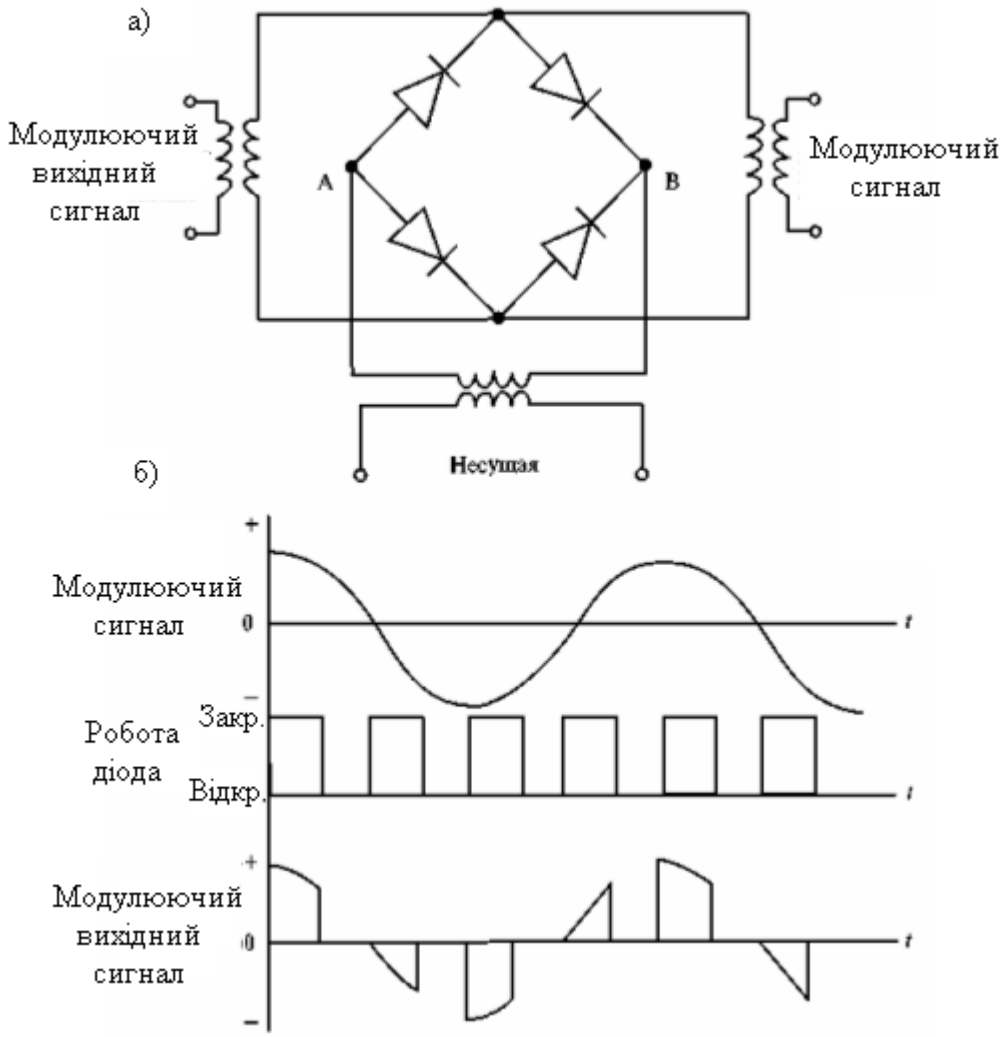

Рис. 2.4. Модулятор Cowan:
а) схема електрична; (б) функція модулятора на виході

В межах напівперіоду несучої на схемі рис.2.4,а в точці А формується позитивний рівень напруга, а в точці В - негативний, що призводить до зміщення усіх діодів. Обмотки 2-ох трансформаторів, які підключено до моста діодного, замкнуті, що забезпечує отримання нульової напруги. Впродовж 2-го напівперіоду діоди починають зміщатися в зворотному спрямуванні, а саме закриваються. В результаті діодний міст стає розімкнутий, і модульований радіосигнал поступає до виходу схеми. Сигнал на виході є еквівалентним до формуючого модульованого радіосигналу в період позитивний високочастотної

несучої, як відображено на рис.2.4, б.

Для аналізу роботи модулятора Cowan, розглянуто процес перемноження модулюючого радіосигналу з несучою згідно розкладу в ряди Фур'є:

$$g(t) = kV_M \cos\omega_M t\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\left(\sin\omega_H t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_H t + ...\right)\right] = \frac{kV_M \cos\omega_M t}{2} + \frac{kV_M}{\pi}\left[\sin(\omega_H - \omega_M)t + \sin(\omega_H + \omega_M)t\right] + ... \quad (2.1)$$

де k — постійна схеми.

У виразі (2.1) передбачено складові початкового сигналу, нижні/верхні/бічні частоти, які в результатів відображають сигнал з несучою подавленою, а також частотні складові вищого порядку при центрах частот непарних гармонічних компонент, які є кратними частотам сну. У функції виразу (2.1) не передбачено компонент при частоті несучої. Після процесу смугової фільтрації в частотному складі сигналу фіксуються лише необхідні частотні складові, а всі решту є подавленими.

Рис. 2.5 відображає інший тип модулятора, зокрема кільцевий модулятор, який складається з 4-ох діодів сполучених як кільце.

В залежності від напівперіоду несучої, завжди є відкритою тільки одна діодна пара, зокрема D1-D2 є відкритими, а D3-D4 є цей момент закритими, і наоборот. В підсумку вихідний сигнал є рівним або миттєвим додатнім значенням модулюючого радіосигналу, у випадку відкритих діодів D1-D2, або від'ємному значенню у випадку відкритих D3- D4 як зображено на рис. 2.5,б. Схема при кільцевій локалізації діодів функціонує у вигляді перемикача полярностей при частоті перемикань, яка є рівною частоті несучої. Аналіз функціонування зазначеного модулятора є аналогічним схемі Cowan, проте сигнал несучий являється біполярним на відміну від уніполярної схеми Cowan. В результаті аналізу отримано сигнал з 2-ма частотними складовими при подавленій несучій, але через біполярність несучої енергетичний показник сигналу є в двічі більшою.

Детектор огинання не здатний відновлювати сигнал початковий у DSBSC-сигналу при двох бічних та подавленій несучій, який отримано при застосуванні детектора на діодах через огинання відповідної форми (рис.2.4,б та 2.5,б). Тому приймання відбувається при використанні модулятора балансного іншого виду. Прийнятий модульований радіосигнал перемножується сигнал на початковий несучий сигнал, який чітко сфазований у відповідності до DSBSC-сигналу. Така демодуляція є когерентним виявлення.

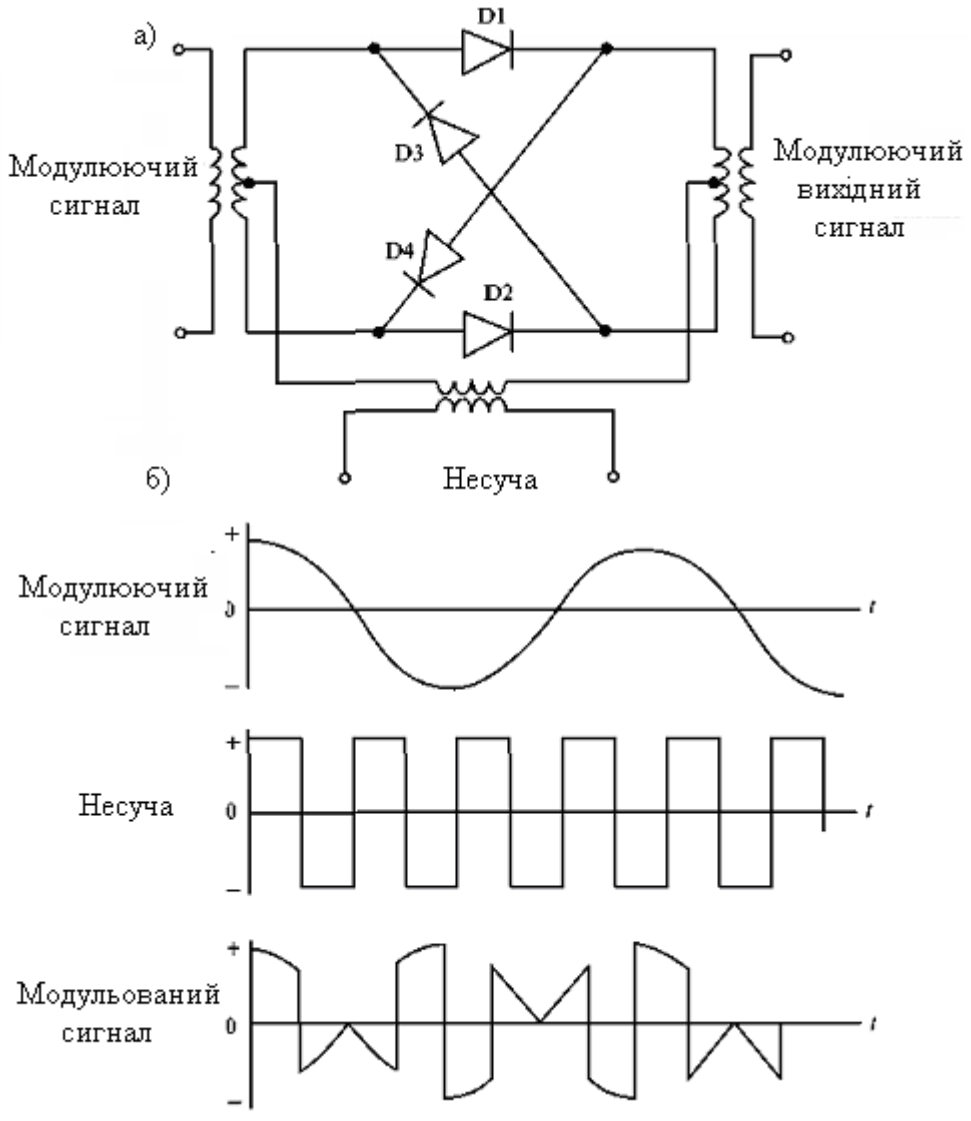

Рис. 2.5. Кільцевий модулятор:
а) схема електрична; б) функція вихідна

Показник якості прийому стає гіршим, коли і фаза несучого сигналу приймального засобу починає пливти. Розглянуто когерентне виявлення сигналу

з 2-ма бічними подавлення точної несучої частоти при довільній фазі φ , як відображено на рис. 2.6.

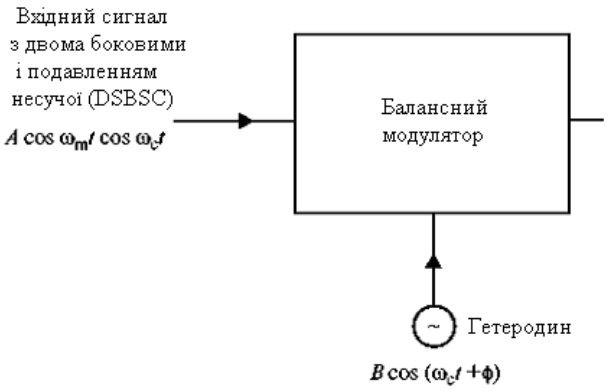

Рис. 2.6. Когерентне детектування

$$
\begin{aligned}
&V_{ВИХ} = AB\cos\omega_M t\cos(\omega_H t+\varphi) = \\
&c/2\cos\omega_M t\left[\cos\omega_H t-\omega_M t-\varphi+\cos(\omega_H t+\omega_M t)+\varphi\right] = \\
&c/2\cos\omega_M t\left[\cos\varphi+\cos(2\omega_M t+\varphi)\right] = \\
&c/2\cos\omega_M t\cos\varphi+c/2\cos\omega_M t\cos(2\omega_H t+\varphi)
\end{aligned}
\qquad (2.2)
$$

де c — постійна.

У виразі (2.2) візуально видно, що в першому доданку є необхідним сигнал демодульований, який помножено на $\cos\varphi$. Також в виразі (3.2) є присутньою пара бічних гармонічних складових з локалізованим центром на подвійній частоті несучої. Ці складові легко видалити при використанні НЧ фільтра. Рівень амплітуди демодульованого сигналу знижується при рості величини фази несучого коливання та при $\varphi = 90^\circ$ перетвориться на 0, що не уможливлює процедуру прийому сигналу. Зазвичай, реальні системи при когерентному виявленні забезпечують відповідну фазу несучого сигналу.

Варто відзначити, що всі бічні АМ-сигналу несуть повний обсяг інформації щодо початкового модулюючого сигналу. Таким чином, можна досягнути задовільного рівня приймання при функціонуванні при бічній. В такому випадку зменшується частотна смуга та відбувається подвоєння інформаційної ємності

каналу в заданому частотному діапазоні, а також знижується рівень витрати енергії передавання.

2.4. Застосування Matlab при досліджені процесів балансної модуляції/демодуляції

Середовище Matlab має широкий асортимент програмних функцій можна реалізувати ту чи іншу обробку радіосигналів. В пакеті Communications є низка функцій, які уможливлюють реалізувати аналогову и цифрову модуляції/демодуляції. В процесі реалізації аналогової модуляції сигналом на вході є відліки певної функції, а модуляції цифровій —символьна послідовність.

Сигнал балансно-модульований представлено в дійсній формі або комплексній відхиляючій формі при використані програмних функцій Matlab:

- ammod – балансна амплітудна модуляція.
- amdemod - балансна амплітудна демодуляція

Синтаксис функції ammod у випадку балансної модуляції такий:

z=ammod(y,Fcy,Fsy, carramp)

Функція ammod використовує сигнал y як вхідний для його балансної модуляції несучим коливанням при частоті Fcy (Гц). Коливання несуче та сигнал модулюючий *y* мають ідентичні частоти дискретизації Fsy (Гц). Сигнал модульований характеризується нульовою початковою фазою і нульовим амплітудним рівнем несучого коливання, що забезпечує подавлення несучої.

Вхідні аргументи функції y, yFc і Fsy мають виконувати умови Fsy>2(Fcy+BWy), де BWy - спектральна ширина сигналу модулюючого y. Спектральна ширина АМ-сигналу при подавленій несучій, аналогічно до звичайної АМ, в двічі перевищує модулюючий сигнал. Значення несучої частоти буде пригнічене лише тоді, коли сигнал модулюючий не буде містити постійну складову. В такому випадку АМ-сигналу при подавленій несучій матиме лише верхню/нижню смуги бічні.

АМ при подавленій несучій реалізовується при використані функції ammod з пакету Communications, а саме при нульовому значенні вхідного аргументу carramp (він за замовчуванням рівний 0).

Реалізацію АМ при подавленій несучій та початковому фрагменті одержаного сигналу і його спектрограмне зображення:

```
Fsy=350;                    % Частотний показник дискретизації
T=4;                        % Кінцевий момент часу сигналу
t=0:1/Fsy:T;                % Миттєві значення часу
f0=0;                       % Початкове значення частоти
f1=44;                      % Кінцеве значення частоти
y=chirp(t,f0,T,f1);         % Сигнал ЛЧМ
Fcy=100;                    % Значення несучої частоти
y_AM_=ammod(y,Fcy,Fsy);     % Балансна модуляція
figure(1)
plot(t,y_AM)                % Реалізація графічна сигналу ЛЧМ
figure(1)
specgram(y_AM,256,Fsy)      % Спектрограма
```

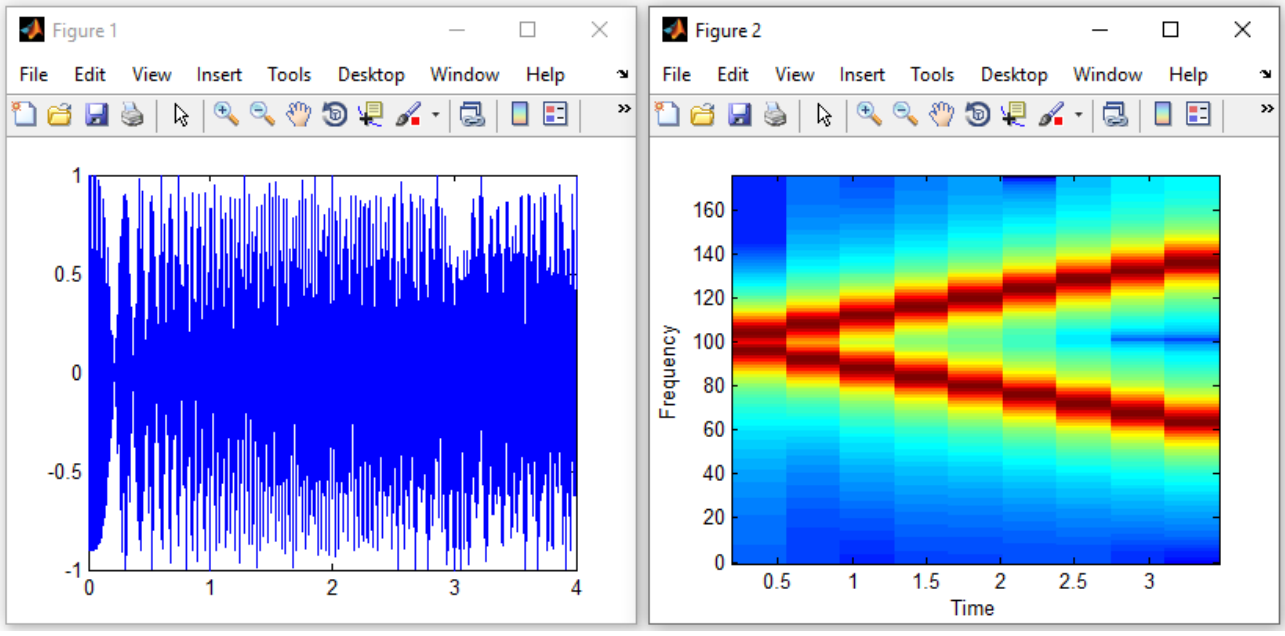

Рис. 2.7. Результат програмної балансної модуляції

З використанням спектрограми звичайного АМ-сигналу та АМ-сигналу при подавленій несучій чітко спостерігається відмінність у відсутності коливання несучого.

Синтаксис функції amdemod для випадку балансної модуляції такий:

```
z=amdemod(y,Fcy,Fsy)
z=amdemod(y,Fcy,Fsy,ini_phase)
```

Функція amdemod реалізовує процес демодуляції сигналу у амплітудно-модульованого за частоти коливання несучого Fcy (Гц). Коливання несуче і сигнал модульований у мають рівні значення частоти дискретизації Fsy (Гц). Передбачається, що модульований сигнал у має нульову початкову фазу і нульовий рівень амплітуди коливання несучого при подавленій несучій. Під час процесу демодуляції застосовується фільтрація низькочастотна Баттерворта, яка розраховується у вигляді [num,den]=butter(5,Fcy*2/Fsy).

Фазове відхилення рівне phasedev радіан. Передбачено, що сигнал модульований рівний нульовій початковій фазі:

```
z=pmmod(y,Fcy,Fsy,phasedev,ini_phase)
```

Вхідний аргумент ini_phase задає початкове значення фази несучого коливання.

Наведено код прикладу реалізації демодуляції балансної:

```
Fcy=10000; Fsy=80000;
ty=[0:1/Fsy:0.01]';                          % Час вхідного сигналу
y=2*sin(2*pi*700*t)+sin(2*pi*350*t);         % Сигнал на вході
[nm,dn]=butter(10,Fcy*2/Fsy);                % Фільтр нижніх частот
y1=ammod(y,Fcy,Fsy);                         % Процес модуляції
s1=amdemod(y1,Fcy,Fsy,0,0,nm,d      n);      % Демодуляція
```

Результати виконання коду відображено на рис.2.8-2.9.

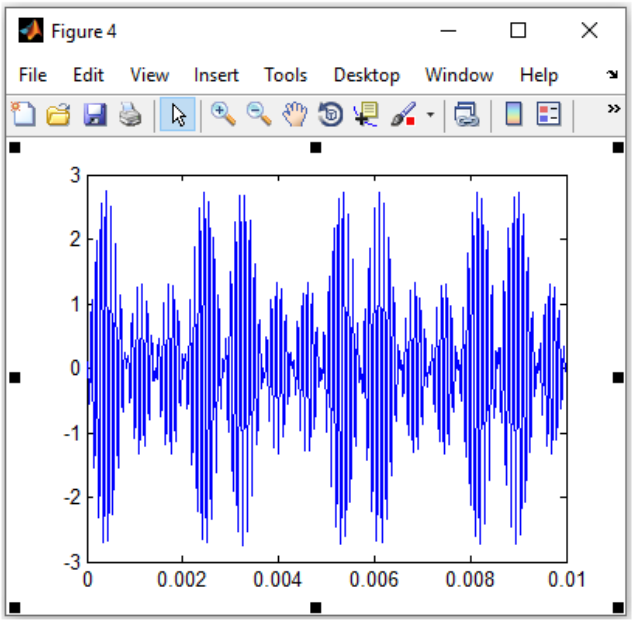

Рис. 2.8. Реалізація сигналу балансно-модульована

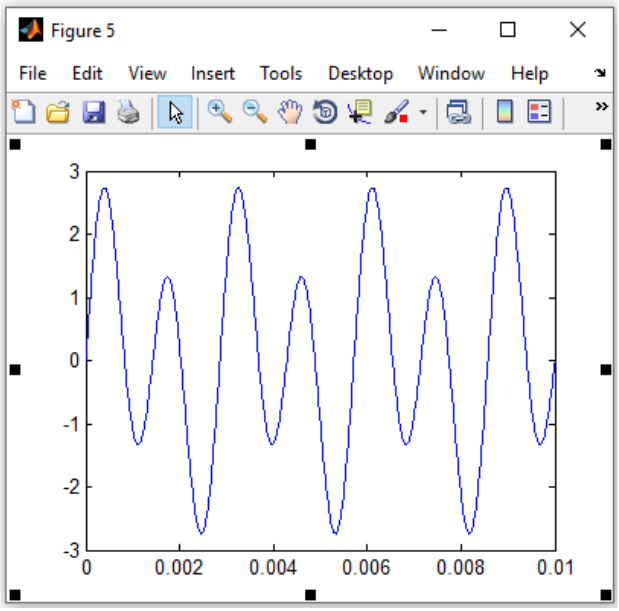

Рис. 2.9. Реалізація демодульована

2.5. Алгоритм програмного експерименту процесу модуляції/демодуляції

Під час проведення експерименту варто встановлювати послідовність операцій, які по окремо відображають усі кроки дослідження процесу модуляції/демодуляції при оцінювання важливого показника завадозахищеності.

Алгоритм експерименту відображено на рис. 2.10.

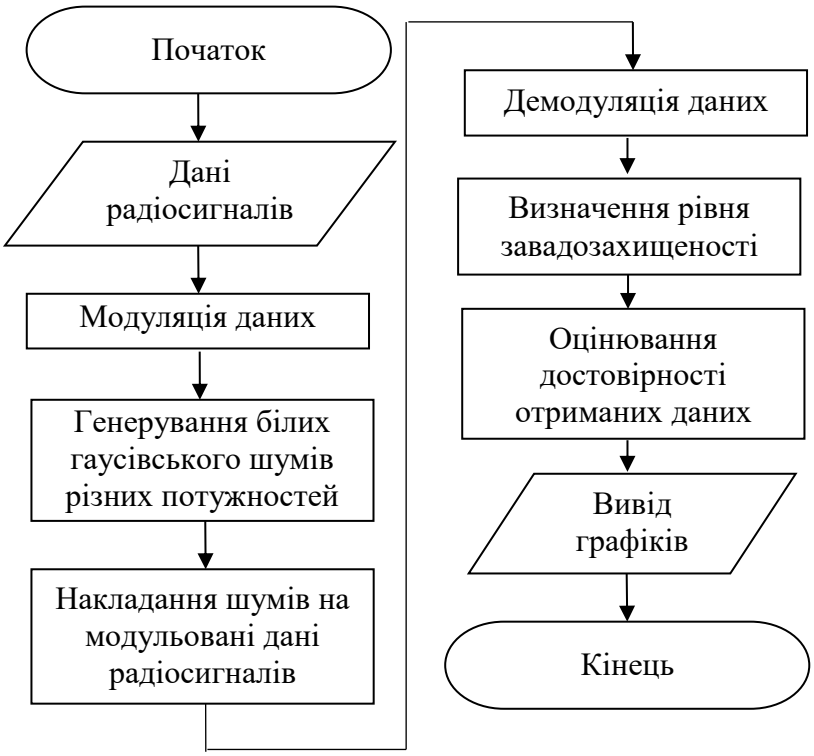

Рис. 2.10. Алгоритм експерименту

Перейдемо до словесного опису алгоритму експерименту у поєднання їх програмними функціями Matlab:

1) Завантаження даних радіосигналу;

2) Процес модуляції даних при використанні програмної функції ammod;

3) Процес генерування шуму гаусівського за допомогою функції normrnd;

4) Адитивне накладання генерованих шумів на модульований радіосигнал;

5) Процес демодуляції даних за допомогою amdemod;

6) Обчислення рівня завадозахищеності, зокрема за показниками енергетичними у вигляді відношень сигнал/шум та значеннями достовірності отриманих результатів.

7) Побудова графіків, зокрема:

- залежність даних радіосигналу, шуму, модульованих/демодульованих реалізацій в залежності від часу;

- енергетичні взаємозалежності між корисним радіосигналом, модульованою/демодульованою реалізацією, завадним радіосигналом та завадами різних потужностей.

- графічна залежність достовірності від енергетичних показників відношення сигнал/шум.

Розроблений алгоритм забезпечує процедуру проведення експерименту по оцінюванню рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією.

2.6. Висновки до розділу 2

Проаналізовано основні аспекти амплітудної балансної модуляції та демодуляції радіосигналів та способи їх реалізації при застосуванні програмних функцій Matlab.

Встановлено, якщо досліджувати емпіричні балансно-модульовні радіосигнали в каналах зв’язку з часом, то це забезпечує завчасне виявлення корисних складових завадозахищених радіосигналів під впливом завад. Такий факт, забезпечив розробку методики та алгоритму емпіричного дослідження показників завадазахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією.

РОЗДІЛ 3
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Реалізація експерименту по дослідженню процесів балансної модуляції/демодуляції радіосигналів в середовищі Matlab

Код завантаження даних радіосигналу при використані програмної функції load:

```
radioin=load('c:\data\radioin.dat');
timeradio=1:length(xradioin);
```

Візуалізація даних радіосигналу здійснюється згідно коду при використані команди plot(timeradio,radioin), яка будує точки в залежності від двох своїх аргументів timeradio та radioin:

```
figure
plot(timeradio,radioin);
ylabel('Amplitude radiosignal,V');
xlabel('Time,sec');
```

На рис.3.1 відображено тестовий корисний радіосигнал для дослідження.

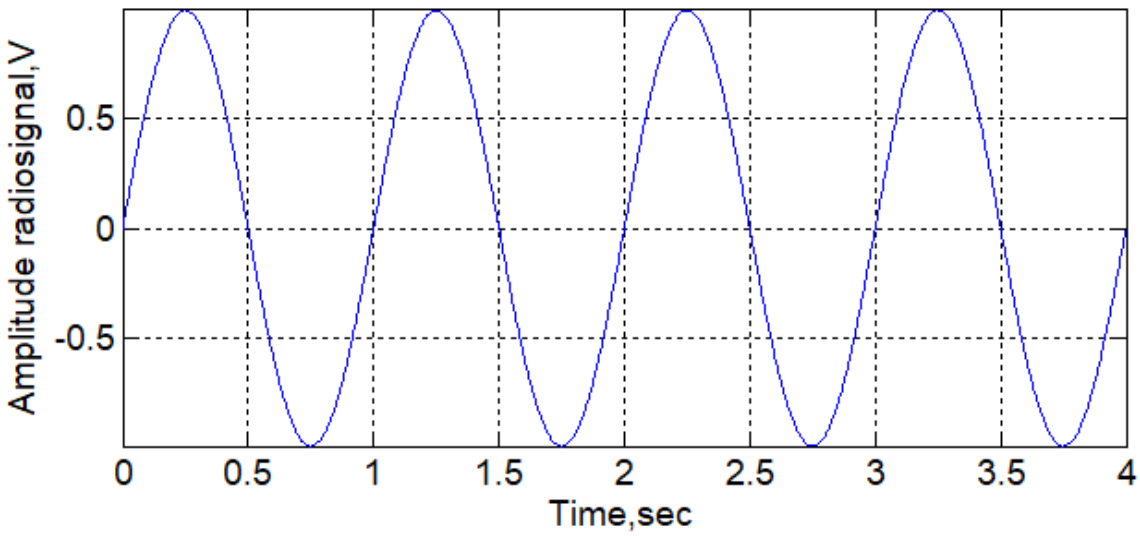

Рис.3.1. Вигляд корисного тестового радіосигналу

У відповідності до алгоритму експерименту здійснено процес балансної модуляції при використанні програмної функції ammod (описано в розділі 2.3).

Апріорно для функції задано значення частоти несучої Fcchannel та частоту дискретизації Fsradioin вхідного сигналу. Код реалізації балансної модуляції наступний:

```
Fcchannel=100;
Fsradioin=350;
radiomod=ammod(x,Fcchannel,Fsradioin);
figure
plot(timeradio, radiomod);
ylabel('Amplitude modulation radiosignal,V');
xlabel('Time,sec');
```

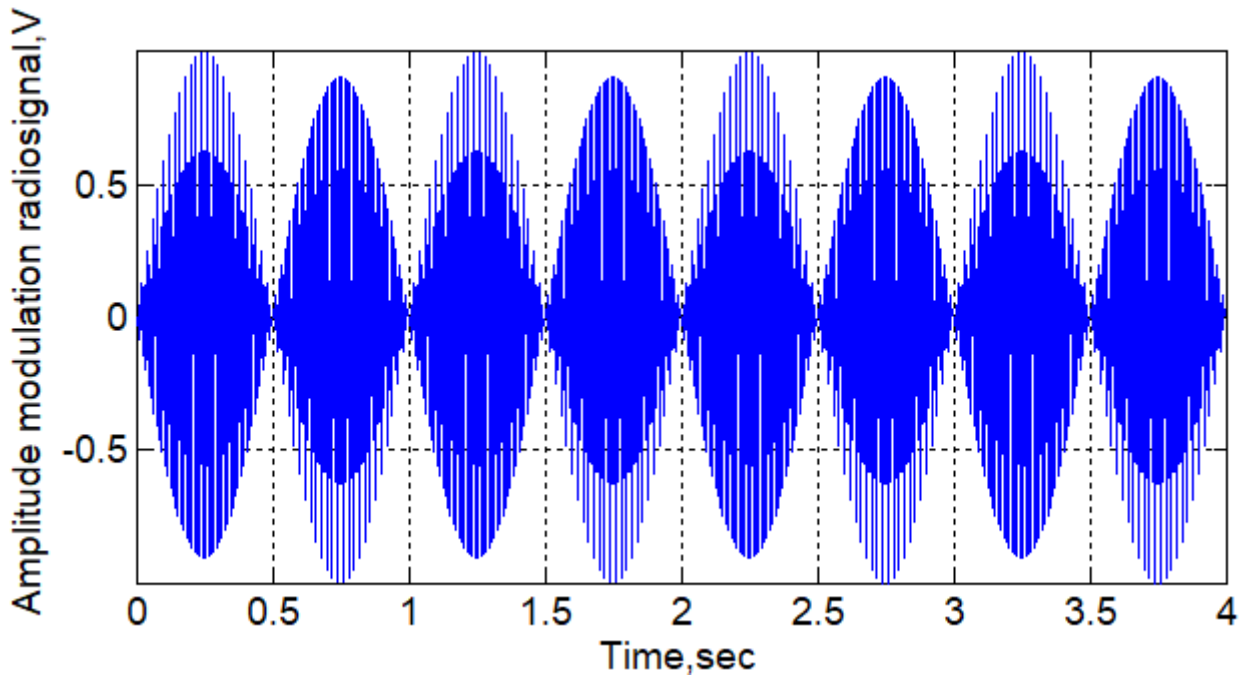

Рис.3.2. Вигляд балансно-модульованого радіосигналу (несуча 100 Гц)

Для визначення рівня завадозахищеності дані балансно-модульованих сигналів будемо піддавати адитивному впливі білого гаусівського шуму.

Програмна функція normrnd(x,xmean,xstd,xn,xd) забезпечує формування

масиву даних білого дискретного гаусівського шуму (БДГШ) з аргументами xmean -матсподівання, xstd – відхилення середнє квадратичне, xn – сумарне число відліків, d- число формувань.

```
lenradio=length(radiomod);
noisechannel=normrnd(0,0.2, lenradio,1);
figure
plot(timeradio,noisechannel);
ylabel('Amplitude noise,V');
xlabel('Time,sec');
```

Сформовану реалізацію БДГШ відображено на рис. 3.3 з центральним моментом 0 В та відхиленням 0,2 $В^2$.

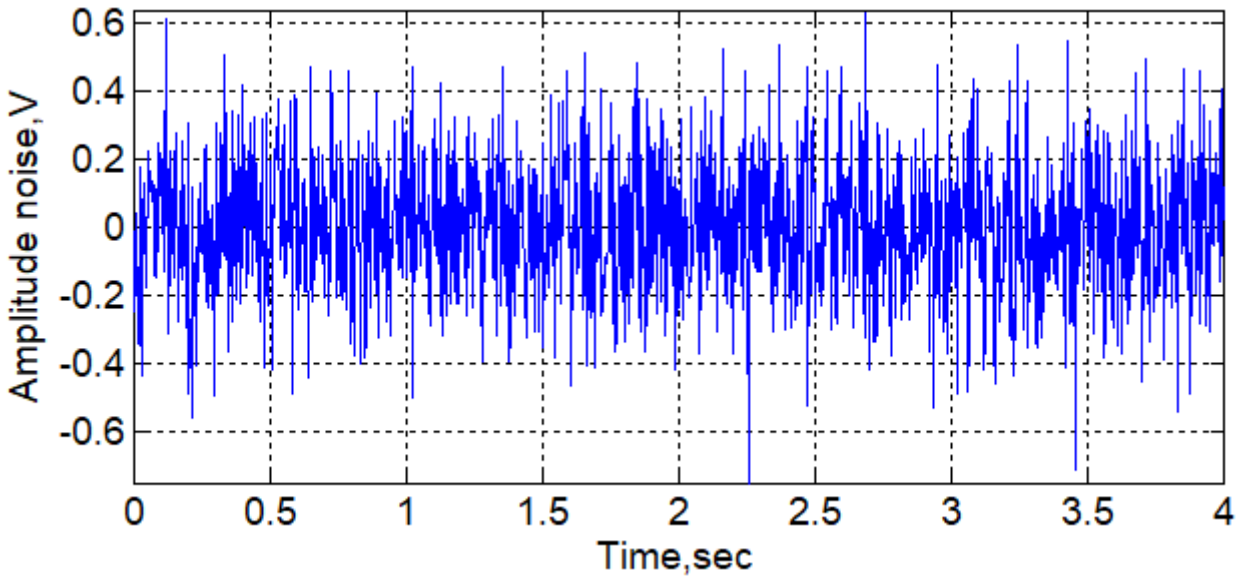

Рис. 3.3. БДГШ з $\sigma = 0.2$

Процес адитивного впливу шуму noisechannel на корисний балансно-модульований радіосигнал radiomod забезпечено циклічно при використані програмної функції for згідно коду:

```
for in=1:lenradio
```

```
        addnoise(i)=n(in)+y(in);
        end;
figure
plot(timeradio,addnoise);
ylabel('Amplitude radiosignal with noise,V');
xlabel('Time,sec');
```

Модульований радіосигнал під впливом завади відображено на рис.3.4.

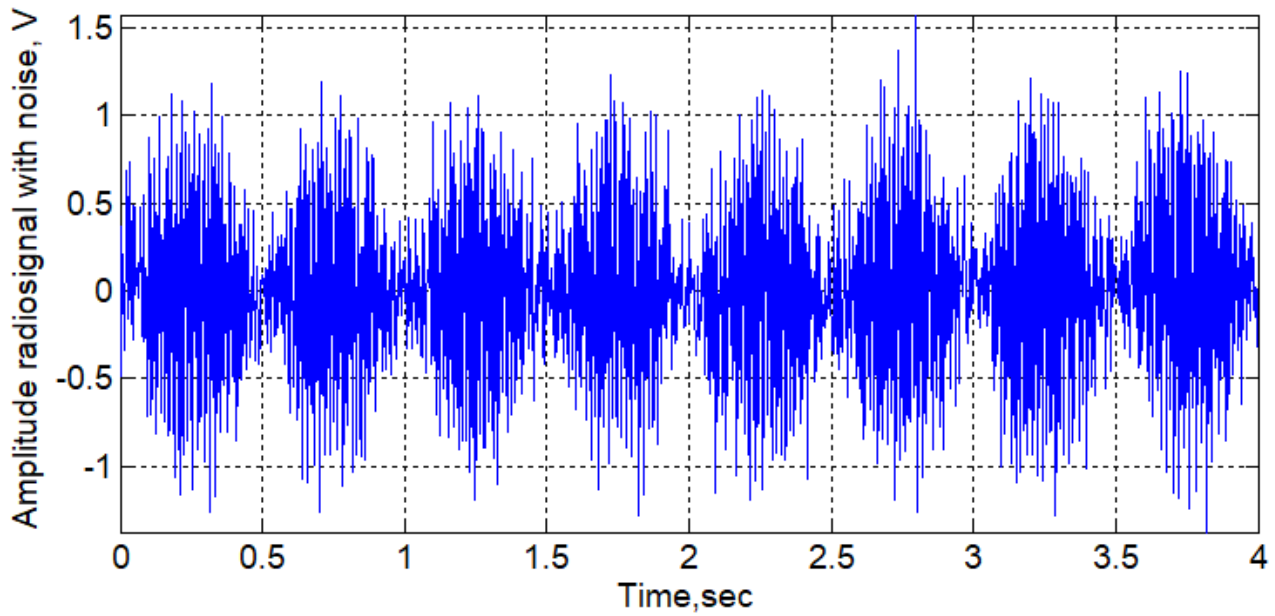

Рис. 3.4 Адитивний вплив БДГШ на балансно-модульований радіосигнал

Процес демодуляції спотвореного балансно-модульованого радіосигналу через впливання БДГШ реалізовано при використанні програмно функції amdemod, яку описано в розділі 2.3 та розробленого коду:

```
radiodemod=amdemod(addnoise,Fcchannel,Fsradioin)
figure
plot(timeradio,radiodemod);
ylabel('Amplitude demodulated radiosignal,V');
xlabel('Time,sec');
```

Реалізацію демодельованого балансно-модульованого радіосигналу

відображеного на рис. 3.5.

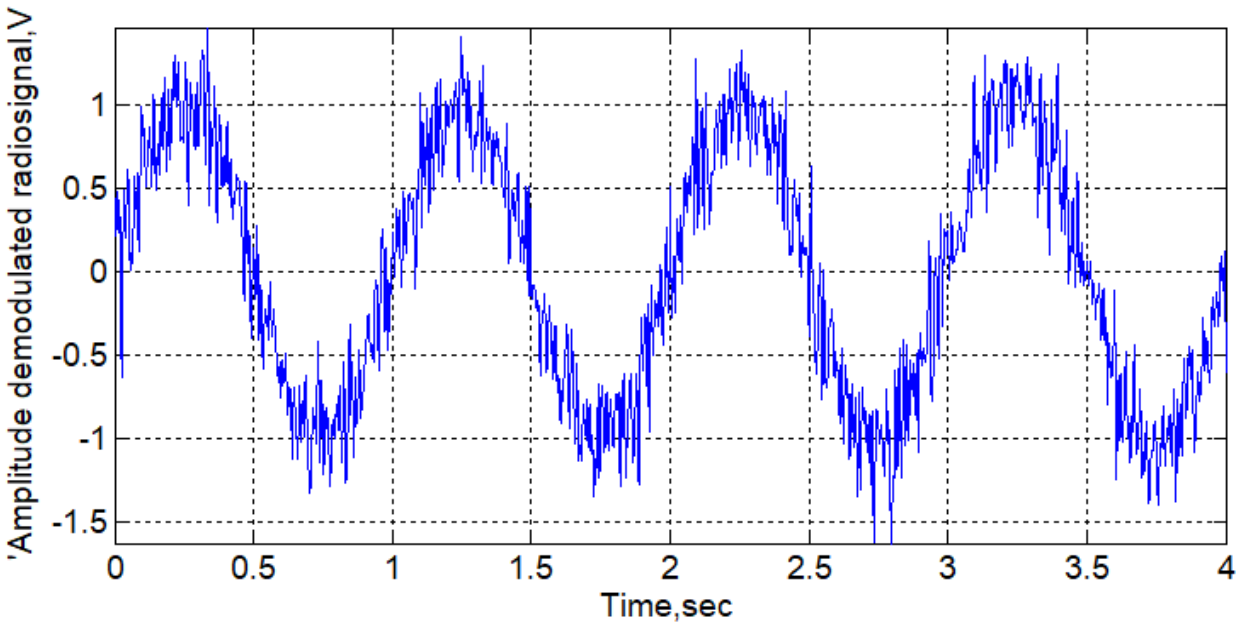

Рис. 3.5. Реалізація демодульованого балансно-модульованого радіосигналу із БДГШ (несуча 100 Гц)

За показники рівня завадозахищеності каналу зв'язку із балансною модуляцією використано відношення сигнал/шум (SNR) та достовірність.

SNR обчислюється з виразу:

$$q = 10\log\left(\frac{E_{СИГНАЛУ}}{E_{ВИХ.ШУМУ}}\right), \tag{3.1}$$

де $E_{СИГНАЛУ}$ - енергія балансно-модульованого радіосигналу;

$E_{ВИХ.ШУМУ}$ - енергія шуму.

Енергію балансно-модульованого радіосигналу обчислено через операцію сумування квадратів спектрів виразом:

$$E = \left|A_n^{\,2}\right| \tag{3.2}$$

де A_n - n-ні рівні амплітуд гармонік.

Використання програмної функції перетворення Фур'є **dft**(X,Y,Z) з

аргументами X масиву вхідних даних балансно-модульованого радіосигналу при кроці дискретизації Y та кількості відліків частотних Z для відображення забезпечує побудову амплітудних спектрів згідно коду:

```
[amplitude1, frequency1]=dft(radiomod,dt);
figure
bar(frequency1,amplitude1,0.3);
xlabel('Frequency,Hz');
ylabel('Amplitude spectrum,V');
```

Спектр балансно-модульованого радіосигналу відображено на рис.3.6.

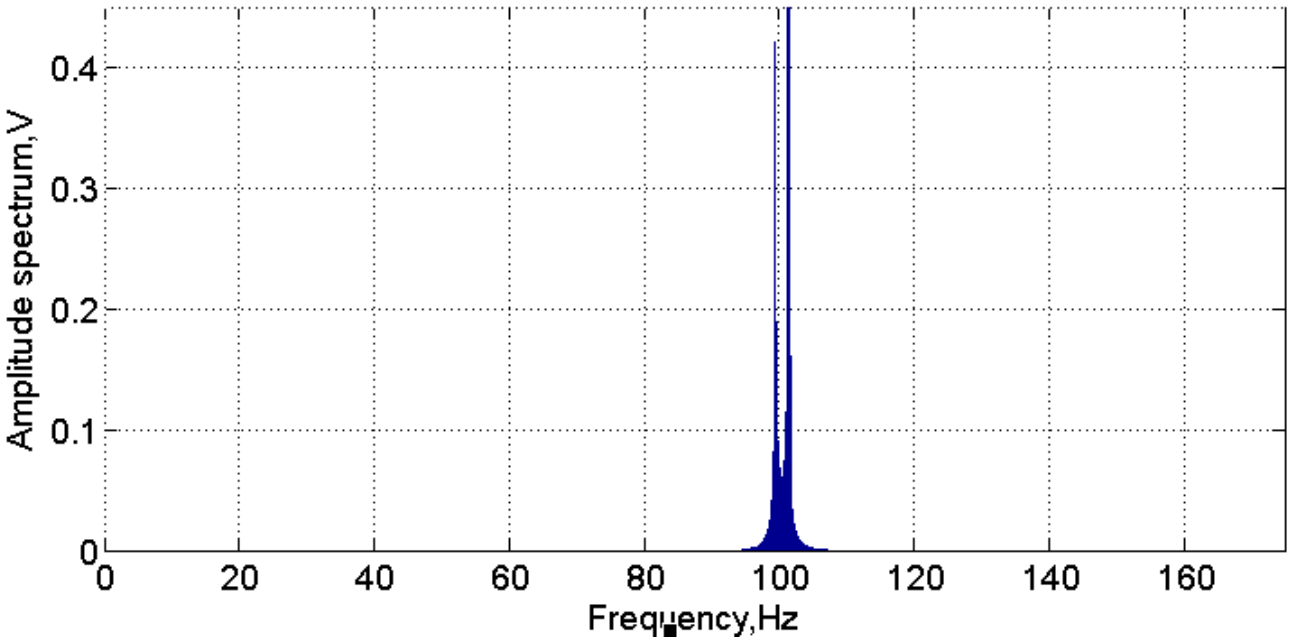

Рис. 3.6. Спектр балансно-модульованого радіосигналу

Для побудови спектрів модельованого та демодульованого радіосигналу з шумом виконано згідно коду:

```
[amplitude2, frequency2]=dft(addnoise,dt);
[amplitude3, frequency3]=dft(addnoise,dt);
figure
bar(frequency2,amplitude2,0.3);
```

```
ylabel('Amplitude spectrum of a modulated radiosignal with noise,V');
xlabel('Frequency,Hz');
figure
bar(frequency2,amplitude2,0.3);
```

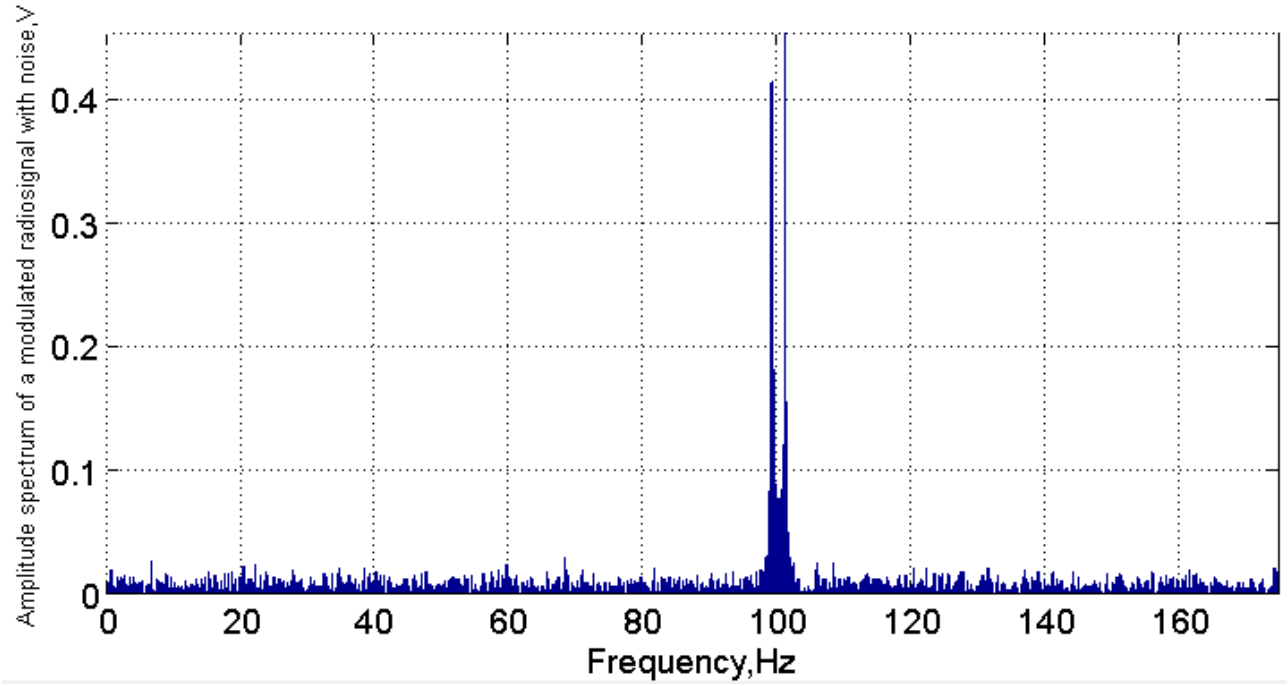

Рис. 3.7. Спектр модельованого сигналу (несуча 100 Гц) з шумом

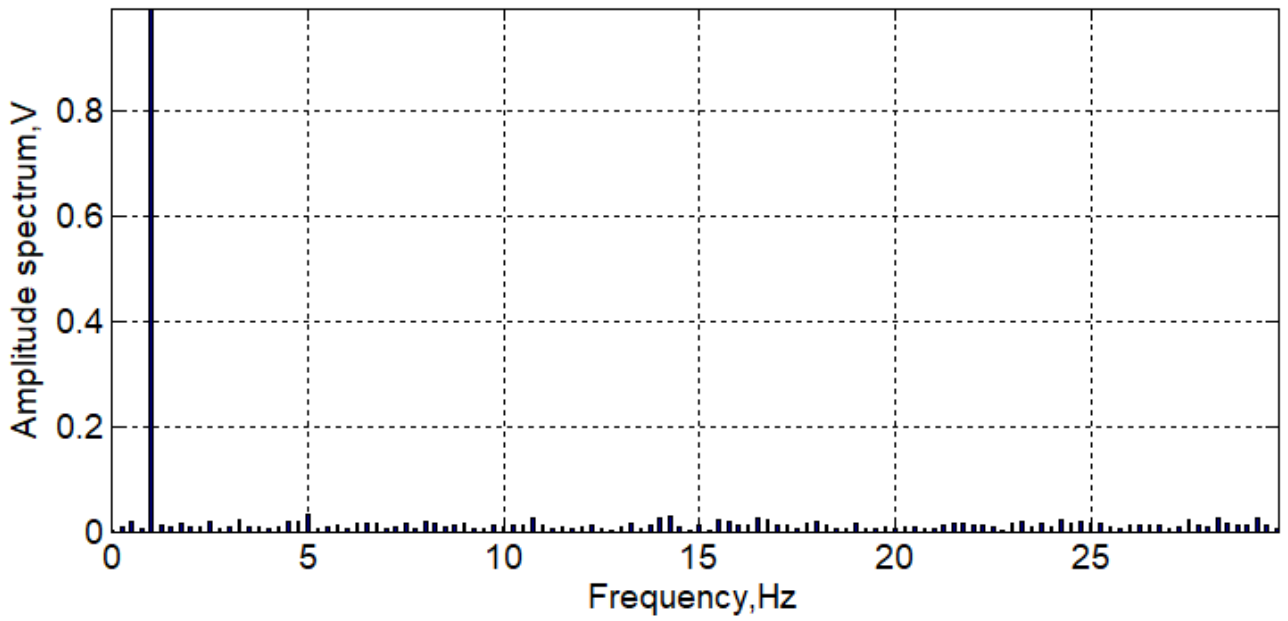

Рис. 3.8. Спектр демодельованого сигналу

Для обчислення енергії передаючого радіосигналу та балансно-

модульованого радіосигналу застосовано вираз 3.2.

На рис. 3.7-3.8 спостерігаються зміни спектрів, тобто спостерігається внесок шуму до загальну енергії радіосигналу, яка обчислюється як різниця вхідного сигналу енергії та демодельованого, а саме за різницею модуля їх енергій.

Для побудови графіку рівня шуму після демодуляції застосовано наступний код:

```
for k=1:length(radioin)
    outnoise(k)=radiodemod(k)-radioin(k);
end;
figure
plot(timeradio,outnoise);
ylabel('Amplitude noise,V');
xlabel('Time,sec');
```

Шумова складова після демодуляція зображена на рис.3.9.

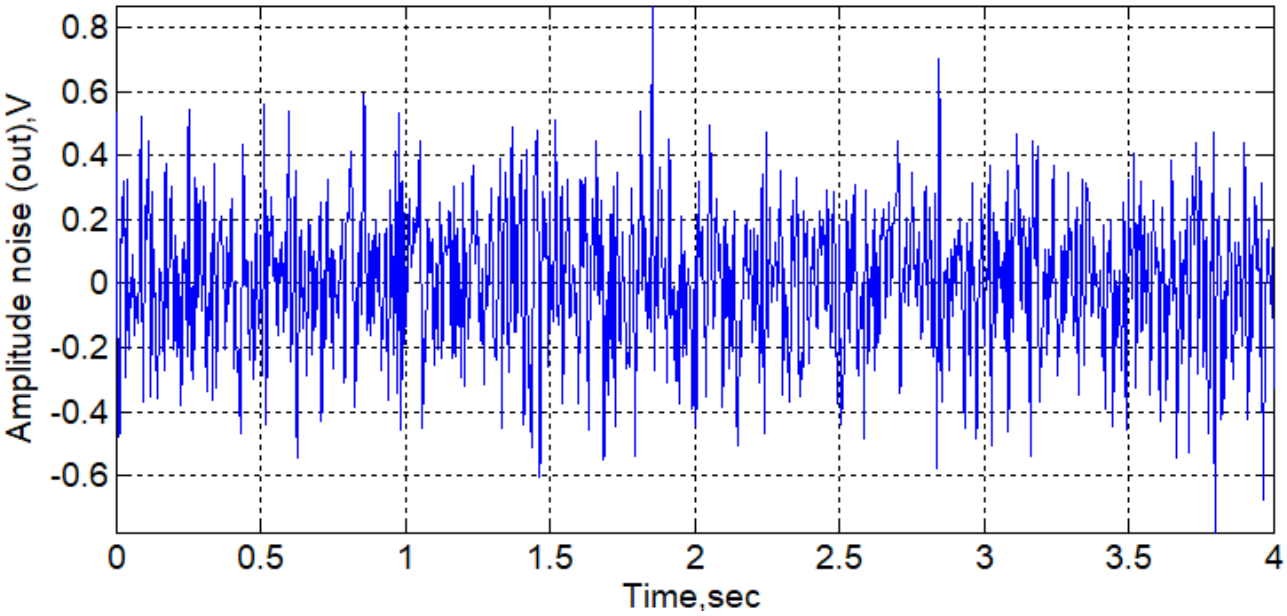

Рис. 3.9. Шум після демодуляції

Відстежимо як енергія шуму після демодуляції є залежною від СКВ БГШ на вході згідно коду:

```
Ein=sum(radioin.^2);
level=(0:0.01:0.29)'; lever=lever.*1.5;
E=[0000000000000000000000000000000];
for i=1:length(level)
nn=normrnd(0,lever(i),lenradio,1);
for j=1:lenradio
addnoise2(j)=nn(j)+radiomod(j);
end;
radiodemod2=amdemod(addnoise2,Fc,Fs);
[ss,ff]=dft(radiodemod2,dt,fix(length(radiomod)/2));
EE=abs(sum(ss.^2)-Ein); EE=EE/length(ss);
E(i)=EE; D(i)=level(i);
end;
figure
plot(level,E);
hold on; hold off;
ylabel('Energy of noise (out),V^2','FontSize',14);
xlabel('Sigma of noise (in),V^2','FontSize',14);
```

Результат виконання коду відображено на рис.3.10.

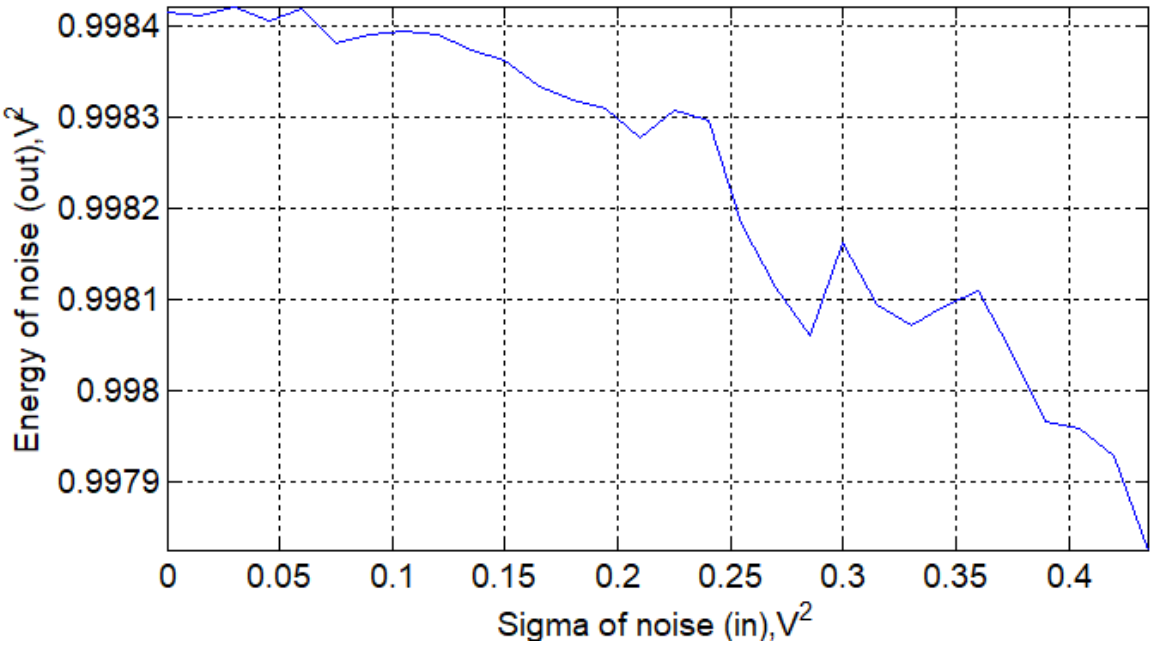

Рис. 3.10 Залежність енергії шуму на виході від СКВ шуму на вході

З рис. 3.10 видно, що при прирості потужності БГШ шумова компонента демодельованого радіосигналу знижується.

Для відображення рівня завадозахищеності застосуємо також залежність SNR від середньоквадратичного відхилення вхідного шуму розроблено код:

```
Eout=sum(radiodemod.^2);
for lev=1:length(level)
snr(lev)=10*log(Eout/E(lev));
end;
figure
plot(level,snr);
xlabel('Sigma of noise (in),V^2','FontSize',14);
ylabel('SNR,dB','FontSize',14);
```

Результат роботи коду відображено на рис.3.11.

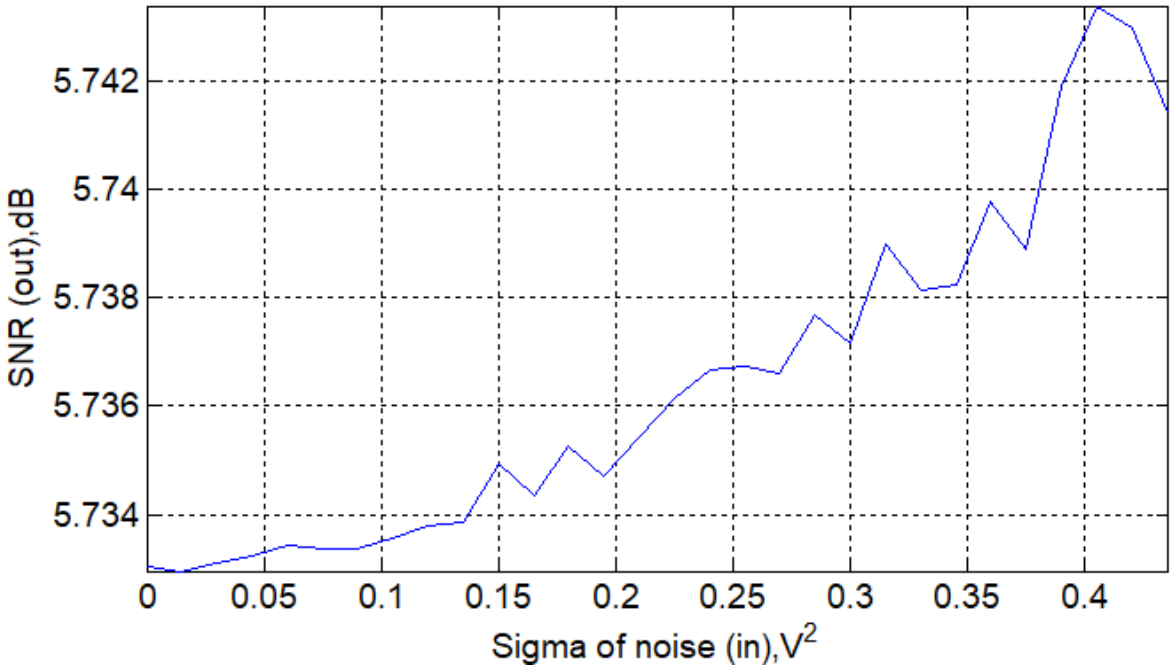

Рис. 3.11. Залежність відношення вихідного сигнал-шум (SNR) від середньоквадратичного відхилення вхідного БГШ (0,001- 0.07)

Встановлено, що при збільшенні середньоквадратичного відхилення вхідного шуму, який впливає на кала зв’язку, з меншою пропорційністю експоненційно збільшується відношення сигнал/шум на виході.

3.2 Визначення показника достовірності виявлення радіосигналів в каналах зв'язку з балансною модуляцією

Для обчислення достовірності припущено, що балансно демодульований сигнал $\xi(t)$ є сумою корисного радіосигналу та шуму:

$$\xi(t) = \theta \cdot s(t) + n(t), \qquad 0 \le t \le T \tag{3.3}$$

де $n(t)$ – БГШ;

$s(t)$ – корисний радіосигнал;

θ – випадкове число.

Процедура виявлення радіосигналу $s(t)$ є частковою задачею статистичного процесу перевірок гіпотез H_0 та H_1. При гіпотезі H_0 випадкове число θ рівне 0 (констатація відсутності сигналу), а при гіпотезі H_1 випадкове число θ рівне 1 (констатація присутності сигналу). За реалізацією $\xi(t), \quad 0 \le t \le T$ по завершенню спостереження потрібно приймати рішення щодо вірності однієї з гіпотез. Для розрізнення гіпотез застосовано критерій Неймана-Пірсона (далі критерій).

У відповідності критерія треба задати значення ймовірність тривоги хибної p_F, а саме ймовірність перевищування шумом на виході за $t = T$ деякого порогу рівня h:

$$p_F = \int_h^\infty p_0(q)dq = 1 - \Phi\left(\frac{h}{\sqrt{\frac{2E}{N}}}\right) \tag{3.4}$$

де $\Phi(x)$ – ймовірнісний інтеграл.

Значення ймовірності правильного виявлення обчислюється виразом:

$$p_D = \int_h^{\infty} p_1(q)dq = 1 - \Phi\left(\frac{h}{\sqrt{\frac{2E}{N}}} - \sqrt{\frac{2E}{N}}\right) \tag{3.5}$$

Ймовірнісний інтеграл обчислюється з виразу:

$$\Phi(U) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^U e^{-\frac{t^2}{2}} dt \tag{3.6}$$

Вирази (3.4) та (3.5) математично відображають, що показник ймовірності тривоги хибної p_F та показник ймовірності правильного виявлення p_D, синхронно залежать від відношення рівня порогу h та піку SNR= $\sqrt{2E/N}$.

Розраховані криві виявлення радіосигналу при використанні коду додатку В, відображено на рис. 3.12.

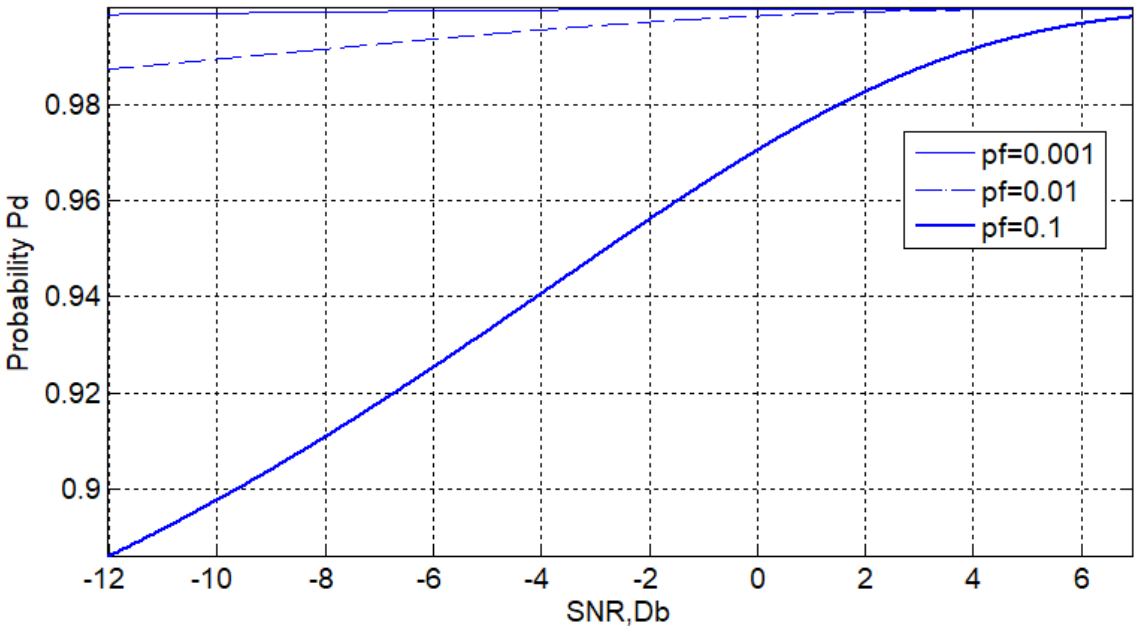

Рис. 3.12. Криві достовірності виявлення корисного радіосигналу

За отриманими результатами обчислення кривих достовірностей встановлено, що ймовірності p_F і p_D не є залежними від форми радіосигналу, а визначається лише піком вихідного відношення SNR. При збільшенні SNR

ймовірність виявлення є вищою, а при меншій ймовірності помилки достовірність також є вищою при порівнянні з більшими показниками помилок.

Перейдемо до процедури дослідження факту достовірності виявлення радіосигналів в каналі зв'язку з балансною модуляцією при різних потужностях завади при використанні алгоритму, який зображено на рис.3.13.

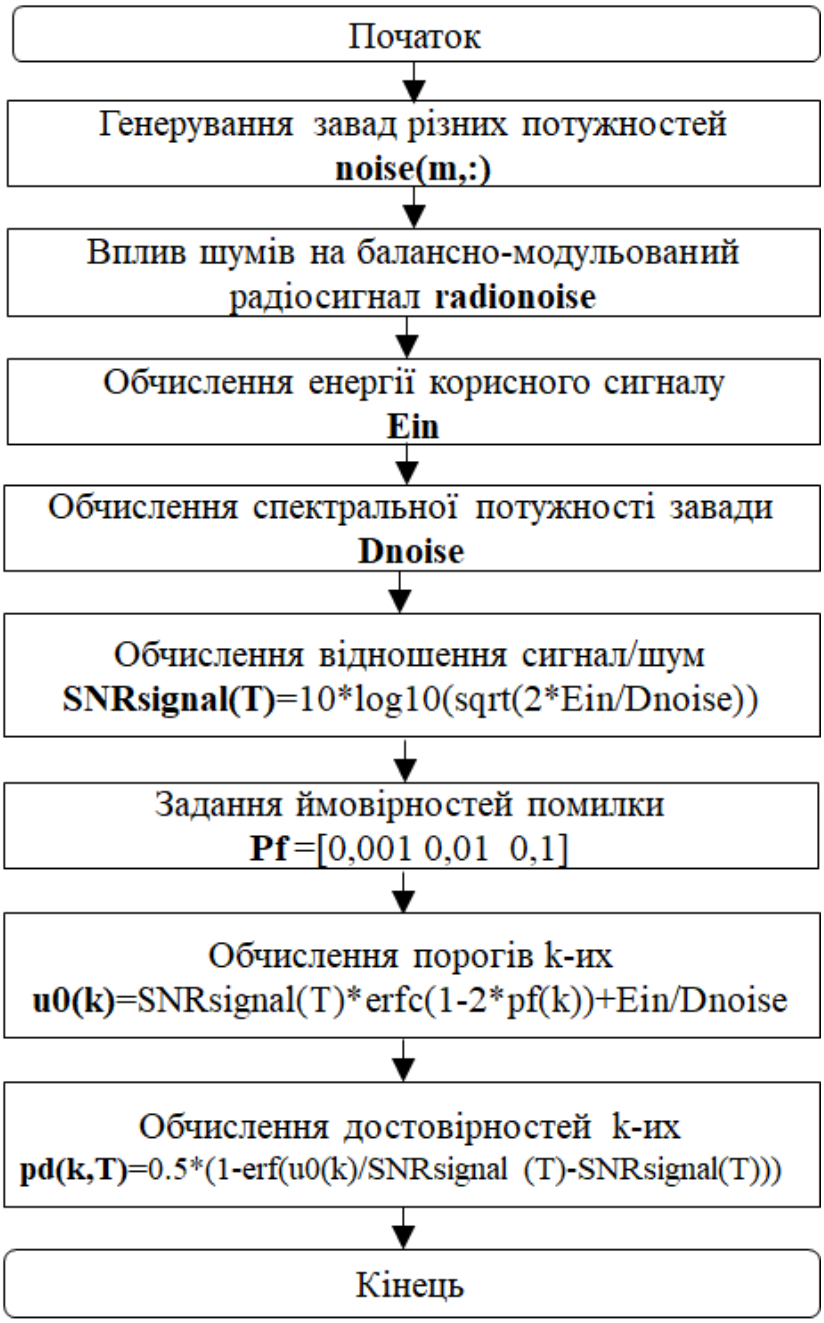

Рис.3.13. Алгоритм обчислення показника достовірності

На базі алгоритму розроблено програмний код обчислення достовірності:

```
m=0;
% Цикл генерування шумів
for stdlevel=0.1:0.05:1.5
        m=m+1;
        noise(m,:)=normrnd(0,stdlevel,length(radioin),1);
end;
% Вплив різної потужності
for lev=1:m
        radionoise(lev,:)=radiomod+noise(lev,:);
end
% Достовірність
Ein=sum(radioin'.^2)*dt;   % Енергія корисного сигналу
for T=1:m
        % Спектральна потужність завади
        Dnoise=sum((radionoise(T,:)-radioin).^2);
        Dnoise=Dnoise/(length(radioin)-1);
        SNRsignal(T)=10*log10(sqrt(2*Ein/Dnoise));
        for k=1:3
                u0(k)=SNRsignal(T)*erfc(1-2*pf(k))+Ein/Dnoise;
                pd(k,T)=0.5*(1-erf(u0(k)/SNRsignal (T)-SNRsignal(T)))
        end;
end;
figure
plot(pd(1,:)); hold on; plot(pd(2,:)); plot(pd(3,:)); hold off
ylabel('Probability Pd','FontSize',14);
xlabel('SNR,Db','FontSize',14);
```

Результати обчислення показників достовірності відображено у вигляді графічної залежності достовірності каналу зв’язку з балансною модуляцією від SNR на рис.3.14-3.15.

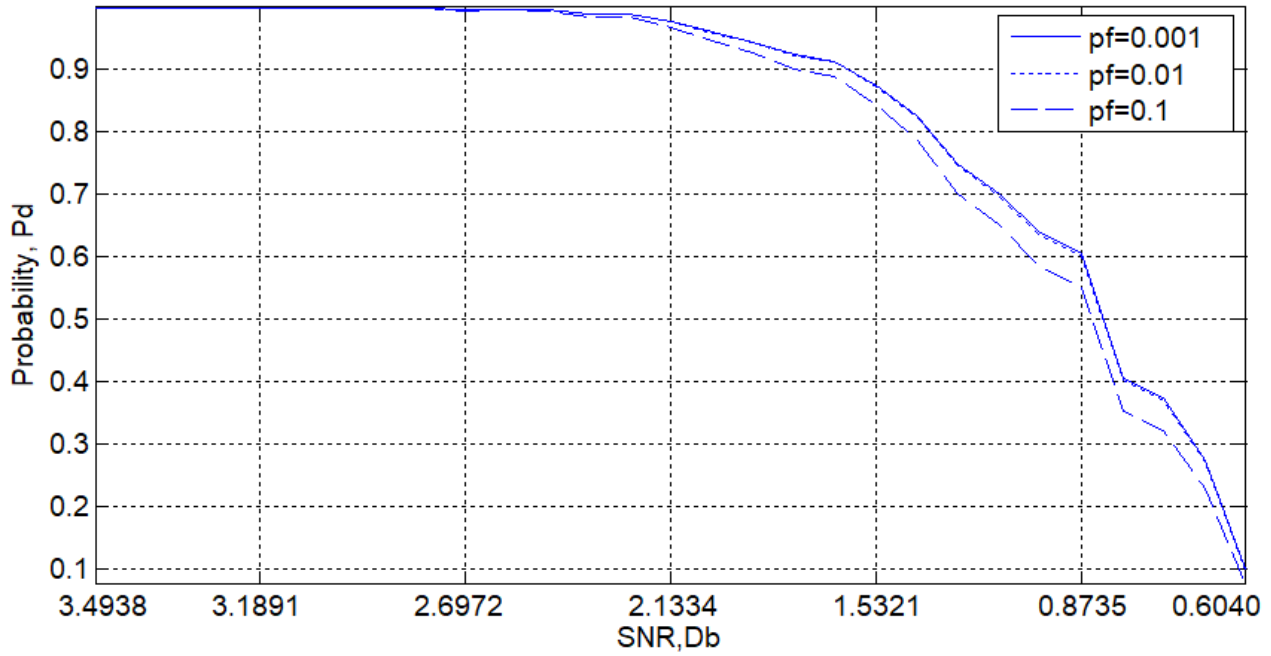

Рис. 3.14. Залежність показника достовірності від SNR при різних ймовірностях помилок (частота несучої 100 Гц)

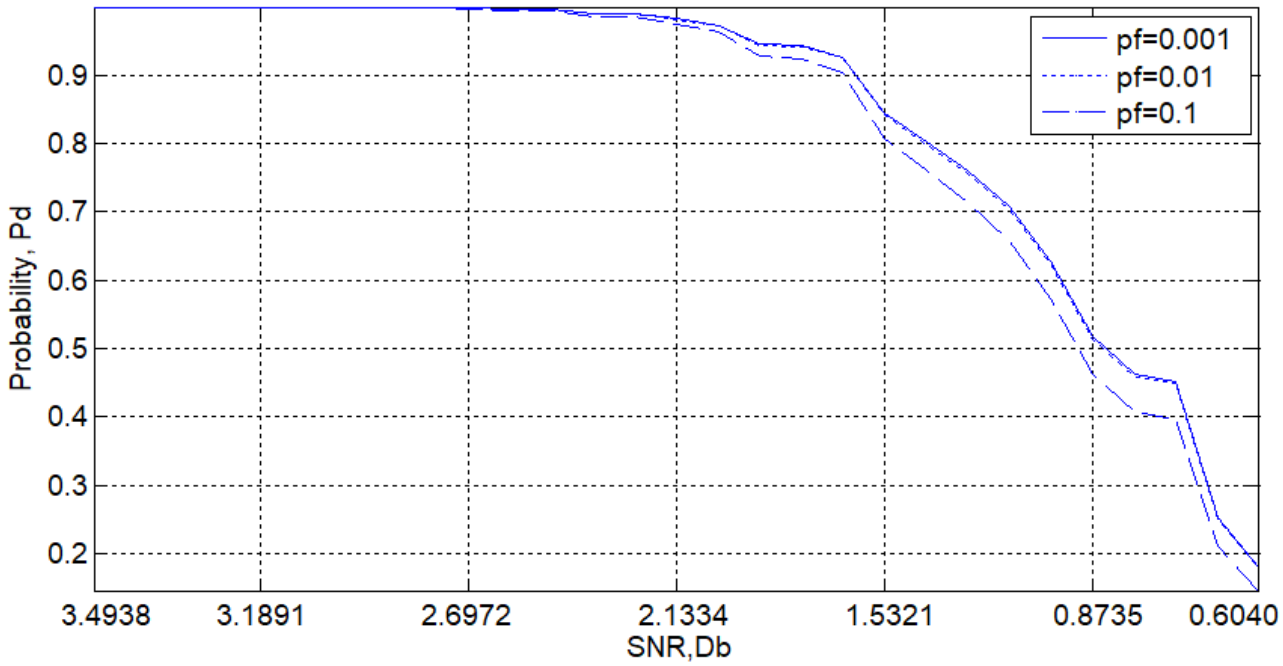

Рис. 3.15. Залежність показника достовірності від SNR при різних ймовірностях помилок (частота несучої 150 Гц)

Згідно отриманих даних достовірності (рис.3.14-3.15) встановлено, що при зменшенні відношенні SNR показник достовірності зменшується, і не залежить від частоти несучої при передачі сигналів по каналу зв'язку з балансною модуляцією.

3.3. Висновки до розділу 3

В розділі приведено дослідження процесу передачі радіосигналу при використанні балансної модуляції/демодуляції в каналі зв’язку під впливом завад Під час дослідження згенеровано тестові сигнали, піддано їх балансній модуляції, здійснено адитивний вплив завади, реалізовано балансну демодуляцію та відображено результати оцінювання рівня завадозахищеності каналів у вигляді графіків з показниками середньоквадратичного відхилення, відношення SNR на вході/виході та достовірність виявлення згідно критерію Неймана-Пірсона.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Спеціальне навчання та інструктажі працівників із питань охорони праці є одним із основних принципів державної політики в галузі охорони праці і складовою системи управління охороною праці. Вони проводяться з працівниками в процесі їх трудової діяльності.

Згідно з Типовим положенням про навчання з питань охорони праці усі працівники при прийнятті на роботу і періодично в процесі роботи проходять на підприємстві навчання у формі інструктажів із питань охорони праці, вивчають правила надання першої долікарської допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правила поведінки при виникненні аварій.

Працівники, що виконують роботи підвищеної небезпеки (згідно з переліком таких робіт, що затверджується наказом Держпромгірнагляду), а також де є необхідність у професійному відборі, при прийнятті на роботу проходять попереднє спеціальне навчання і перевірку знань з питань охорони праці та періодичне навчання і перевірку знань в термін, встановлений відповідними галузевими нормативними актами, але не рідше одного разу на рік.

На промислових підприємствах України для працівників, що виконують роботи з обслуговування обладнання підвищеної небезпеки, обов'язкове курсове навчання з охорони праці (з обов'язковим іспитом), що проходить безпосередньо на виробництві за затвердженими роботодавцем і погодженими з органами Держпромгірнагляду програмами. Це робот и по обслуговуванню парових та водонагрівальних котлів, виробничих печей та інших теплових установок, устаткування, що працює під тиском, компресорів, холодильних установок, газового обладнання, електричного устаткування, підйомників, підіймальних механізмів, тракторних лопат, буртоукладачів, буртоукривальних машин, автонавантажувачів, електрокарів, тракторів та іншого внутрішнього заводського механізованого транспорту, газоелектрозварювального обладнання,

апаратів дифузії, центрифуг, кислотних та лужних установок, безтарного зберігання сировини, миття харчової сировини, такелажних, монтажних, ремонтних, навантажувально-розвантажувальних та інших робіт. Відповідальність за організацію навчання і перевірку знань на підприємстві покладається на роботодавця, а в структурних підрозділах - на керівників цих підрозділів. Контролює виконання цих завдань відділ охорони праці.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань, забороняється.

Усі посадові особи, відповідно до переліку посад до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Навчання посадових осіб (керівників підприємств і установ та їх заступників тощо), що безпосередньо відповідають за організацію охорони праці на підприємстві чи установі (перелік посадових осіб наведено в додатку до Типового положення про навчання з питань охорони праці), проводиться в навчальних закладах, які мають дозвіл Державного Комітету України по нагляду за охороною праці на проведення такого навчання.

На підприємствах навчання з питань охорони праці організовує відділ охорони праці підприємства, залучаючи до цього працівників відділу охорони праці та спеціалістів, що пройшли навчання і перевірку знань у навчальних закладах або в установах Держпромгірнагляду. Для перевірки знань посадових осіб і спеціалістів наказом по підприємству створюється комісія, очолювана керівником підприємства. До комісії входять керівники (їх заступники) служби охорони праці, виробничо-технічних служб, представники місцевих органів державного нагляду за охороною праці, а також представники профспілкового комітету (комітетів).

Посадові особи та спеціалісти невеликих підприємств, де неможливо провести навчання та утворити комісію по перевірці знань, проходять навчання у відповідних місцевих навчальних закладах або на близьких за їх профілем виробництва підприємствах, а перевірку знань - в комісіях при місцевих органах Держпромгірнагляду.

Працівники, що не пройшли навчання і перевірку знань або при повторній перевірці показали незадовільні знання з питань охорони праці, звільняються з посади, а їх працевлаштування вирішується згідно з чинним законодавством.

Позачергова перевірка знань посадових осіб і спеціалістів проводиться в разі введення в дію або перегляду нормативних актів із питань охорони праці; введення в дію нового устаткування або нових технологічних процесів; при переведенні працівника на іншу роботу, що потребує додаткових знань із питань охорони праці; за вимогою працівника органу державного нагляду за охороною праці, в разі незнання актів про охорону праці.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Створення оптимальних комфортних умов у виробничих приміщеннях по виготовленню телекомунікаційної системи та окремих його деталей є складною задачею, вирішити яку можна наступними заходами та засобами:

– Удосконалення технологічних процесів та устаткування.

– Впровадження нових технологій та обладнання, які не пов'язані з необхідністю проведення робіт в умовах інтенсивного нагріву дасть можливість зменшити виділення тепла у виробничі приміщення. Наприклад, заміна гарячого способу обробки металу — холодним, нагрів полум'ям – індуктивним, горнових печей – тунельними.

– Раціональне розміщення технологічного устаткування. Основні джерела теплоти бажано розміщувати безпосередньо під аераційним ліхтарем, біля зовнішніх стін будівлі і в один ряд на такій відстані один від одного, щоб теплові потоки від них не перехрещувались на робочих місцях. Для охолодження гарячих виробів необхідно передбачити окремі приміщення. Найкращим рішенням є розміщення тепловипромінюючого обладнання в ізольованих приміщеннях або на відкритих ділянках.

– Автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами. Цей захід дозволяє в багатьох випадках вивести людину із виробничих зон, де діють несприятливі фактори (наприклад автоматизоване

завантаження печей в металургії, управління розливом сталі).

– Раціональна вентиляція, опалення та кондиціювання повітря. Вони є найбільш розповсюдженими способами нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях. Так зване повітряне та водоповітряне душування широко використовується у боротьбі з перегріванням робітників в гарячих цехах.

Забезпечити нормальні теплові умови в холодний період року в надтогабаритних та полегшених промислових будівлях дуже важко і економічно недоцільно. Найбільш раціональним варіантом в цьому випадку є застосування променистого нагрівання постійних робочих місць та окремих дільниць. Захист від протягів досягається шляхом щільного закривання вікон, дверей та інших отворів, а також влаштуванням повітряних і повітряно-теплових завіс на дверях і воротах.

Раціоналізація режимів праці та відпочинку досягається скороченням тривалості робочої зміни, введенням додаткових перерв, створенням умов для ефективного відпочинку в приміщеннях з нормальними метеорологічними умовами. Якщо організувати окреме приміщення важко, то в гарячих цехах створюють зони відпочинку – охолоджувальні альтанки, де засобами вентиляції забезпечують нормальні температурні умови.

Для робітників, що працюють на відкритому повітрі зимою, обладнують приміщення для зігрівання, в яких температуру підтримують дещо вищою за комфортну. Застосування теплоізоляції устаткування та захисних екранів В якості теплоізоляційних матеріалів широко використовуються: азбест, азбоцемент, мінеральна вата, склотканина, керамзит, пінопласт.

На виробництві застосовують також захисні екрани для відгородження джерел теплового випромінювання від робочих місць. За принципом захисту щодо дії тепла екрани бувають відбиваючі, поглинаючі. відвідні та комбіновані. Хороший захист від теплового випромінювання здійснюють водяні завіси, що широко використовуються в металургії.

Важливе значення для профілактики перегрівання мають індивідуальні засоби захисту. Спецодяг повинен бути повітро- та вологопроникним (бавовняним, з льону, грубововняного сукна), мати зручний покрій. Для роботи

в екстремальних умовах застосовуються спеціальні костюми з підвищеною теплосвітловіддачею. Для захисту голови від випромінювання застосовують дюралеві, фіброві каски, повстяні капелюхи; для захисту очей – окуляри – темні або з прозорим шаром металу, маски з відкидним екраном. Захист від дії зниженої температури досягається використанням теплого спецодягу, а під час опадів – плащів та гумових чобіт.

Вимоги виробничої санітарії обов'язково враховують при проектуванні виробничих приміщень, процесів та технологічного обладнання. При цьому зазначається, що в процесі виробництва приладу повинні бути відсутніми або мінімальними (нижче допустимих значень):

- виділення у повітря приміщень, атмосферу та стічні води шкідливих або з неприємним запахом речовин, а також виділення теплоти і вологості в робочих приміщеннях;

- шум, вібрація, ультразвук, електромагнітні хвилі радіочастот, статична електрика та іонізуючі випромінювання.

Відповідно до Закону України "Про охорону праці" (ст. 10) на роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці, в особливих температурних умовах, в забрудненому середовищі робітникам та службовцям безплатно видаються спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту. Перелік робіт та професій, що дають право на одержання 313, складається на основі галузевих норм адміністрацією підприємства та погоджується із місцевими органами Держгірпромнагляду по охороні праці. Порядок видачі, зберігання та використання 32230 визначається НПАОП 0.00-4.01-08 "Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту" (наказ Держгірпромнагляду № 53 від 24.03.2008 р.).

Отже, дотримання вище наведених вимог забезпечать комфортні умови у виробничих приміщеннях по виготовленню телекомунікаційної системи.

4.3. Висновки до розділу 4

У підрозділі з охорони праці проаналізовано питання спеціального навчання та перевірки знань з питань охорони праці працівників як виконують роботи з підвищеної небезпеки.

У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано оптимальні комфортні умови у виробничих приміщеннях по виготовленню телекомунікаційної системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі розроблено метод визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією.

Отримано результати:

1. На підставі здійсненого аналізу існуючих методів визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку встановлена необхідність розробки ефективних методів та алгоритмів оцінювання рівня завадозахищеності каналів зв’язку при впливі завад.

2. Реалізовано модель радіосигналів при їх передачі в каналах зв’язку з балансною модуляцією за наявності впливу завад у вигляді адитивної сукупності корисного радіосигналу та завади для задачі оцінювання завадозахищеності каналів зв’язку.

3. Реалізовано метод та алгоритм визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією на основі показників середньоквадратичного відхилення, відношення SNR на вході/виході та достовірності виявлення згідно критерію Неймана-Пірсона.

4. Реалізовано програмне забезпечення в середовищі Matlab для визначення рівня завадозахищеності каналів зв’язку з балансною модуляцією за наявності впливу завад

5. Проведено дослідження експериментальним шляхом комп’ютерного моделювання та імітації умов передачі радіосигналів для визначати рівня завадозахищеності каналу передачі даних при балансній модуляції за наявності впливу завад різної потужності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. 1963. 830с.

2. Справочник по радиорелейной связи / Под ред. С.В. Бородича. 1981. 415 с.

3. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. 1986. 288 с.

4. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / Пер. с англ. Под ред. М.С. Ярлыкова. 1979. 520 с.

5. Богданович Б.М., Окулин Н.И. Радиоприемные устройства. 1992. 428 с.

6. Бабак В.П., Хандецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів: підручник. Київ, 1999. 250 с.

7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. 1985. с.

8. Немировский А.С. Борьба с замираниями при передаче аналоговых сигналов. 1984. 206 с.

9. Ван Трис Г. Теория обнаружения ,оценивания и модуляция. Том 2. Пер. с англ. 1972. 744 с.

10. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: Учеб. пособие для вузов. 2007. 432 с.

11. Сикарев А.А. Оптимальный некогерентный приём в каналах с флуктуационными и сосредоточенными помехами // Проблемы передачи информации, 1970, т. 6, №3. С.109-118.

12. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуа-ционных помехах. 2-е изд., перераб. и доп. 1972. 448с.

13. Голъденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. 1985. 312 с.

14. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. 1977. 608 с.54. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data Sheets/346669145AP1674c.pdf

15. Жалуд В. Кулешів В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под ред. Нарышкина А.К. 1977. 416 с.

16. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. М.: Связь, 1972. 360 с.7 899 отсчет МККР, XV Пленарная Ассамблея. Женева, 1982. Т. 8.

17. Коган И. М. Прикладная теория информации. 1982. 216 с.

18. Куликов Е.И. Трифонов А.П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. 1978. 296 с.

19. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. 2-е изд., перераб. и доп. 1979. 252 с.

20. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: В 3 т. 1976. Т.2. 288 с.

21. Назаров М.В., Кувшинов Б.И., Попов О.В. Теория передачи сигналов. 1970. 368 с.

22. Обнаружение стохастических сигналов с неизвестными параметрами /Трифонов А.П. и др., Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. , 1991, 246 с.

23. Сверхширокополосные технологи в радиолокации / Под редакцией Тейлора Д.Д. // Бока Ратон, Лондон, Нью-Йорк, Вашингтон, 2000.

24. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд., испр. / Пер. с англ. 2002. 1104 с. Парал. тит. англ.

25. Теория передачи сигналов: Учеб. для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В., Назаров, Л.М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. 1986. 304 с.

26. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: монография. 2-е иизд., перераб. и доп. 1982. 624 с.

27. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ радиотехнических устройств и систем: Учебное пособие для высших учебных заведений. 1992. 608с.

28. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. 1982. 320 с .

29. Теория обнаружения сигналов / [П.С.Акимов., А.П.Бакут., В.А.Богданович и др].; Под ред. П.А Бакута. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.

30. Урывский Л. А. Основы прикладной теории информации для телекоммуникаций: диссертация доктора технических наук : 05.12.02 / Л.А. Урывский; Киев, НТУУ «КПИ». К. : 2009. 377 с.

31. Феер Л. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ. 2000. 520 с.

32. Дунець В.Л., Шилівський Н.І., Щирба О.Ю., Гуменюк Д.О., Чирський Т.В. Алгоритм оцінювання завадозахищеності каналу зв'язку. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 202. ISBN 978-617-7875-49-8.

33. Жалуд В., Кулешів В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под ред. Нарышкина А.К.. 1977. 416 с.

34. Основи охорони праці : підруч. / [Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Зацарний В. В. та ін.] ; за ред. К. Ткачука і М. Халімовського. К. : Основа, 2006. 448 с.

35. Бедрій Я.І. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / В.Я.Нечай. Львів : Манголія 2006, 2007. 499 с.

36. Haworth D. P., Smith N. G., Bardelli R., Clement T. Interference localization for Eutelsat satellites – the first European transmitter location system. International Journal of satellite communications, 1997, vol. 15, pp. 155-183.

37. Haworth D. P. Locating the source of an unknown signal. U.S. Patent 6018312, Jan. 25, 2000.

38. Stein S. Algorithms for ambiguity function processing. IEEE Trans. on acoustics, speech and signal process, 1981, vol. ASSP-29, no. 3, pp. 588-599.

39. Wu R., Zhang Y., Huang Y., Xiong J., Deng Z. A Novel Long-Time Accumulation Method for Double-Satellite TDOA/FDOA Interference Localization. Radio Science, 2018, no. 53, pp. 129-142.

40. Дунець В.Л., Цимбала Т.І., Ракуш Р.В. Метод оптимального виявлення сигналів в каналах зв'язку. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль,

17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ТНТУ, 2016. С.37-38.

41. Куц Ю., Трач Н., Дунець В. Моделювання радіосигналу із фазовою модуляцією для оцінювання завадостійкості зв'язку. Матеріали IX науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 8–9 грудня 2021р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. С.10.

42. Дунець В.Л, Бекус Р.В. Дослідження показників якості передачі сигналів в бездротових локальних мережах. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко. – Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2020. С.23.

43. Кравчик Б., Дунець В. Виявлення радіосигналів у суміші із завадами. ІМСТ, 11-12 грудня 2019 року. Т. : ТНТУ, 2019. С. 54. (Інформаційні системи та технології).

44. Антонів В., Дейдей Є., Дунець В. Задача цифрової фільтрації сигналів в радіотехніці. Матеріали IX науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології", 08-09 грудня 2021 року. Т. : ТНТУ, 2021. С. 22. (Інформаційні системи та технології, кібербезпека).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Копія тези

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів

7-8 грудня 2022 року

УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2022

УДК 621.39

В.Л.Дунець, к.т.н., Н.І.Шилівський, О.Ю.Щирба, Д.О.Гуменюк, Т.В.Чирський
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

V.L. Dunets, Ph.D, N.I. Shylivskyy, O.Yu. Shchyrba

METHOD OF ASSESSING THE INTERRUPTION PROTECTION OF A COMMUNICATION CHANNEL

Задача визначення рівня завадозахищеності каналу зв'язку при передачі радіосигналів з різними типами модуляцій є актуальною, оскільки завади та завмирання сигналів чинять негативний вплив на показник якості передачі радіосигналів та спричиняють до появи помилок в приймальному сигналі.

Для визначення рівня завадозахищеності каналу зв'язку розроблено алгоритм, який зображено на рис.1.

При визначені рівня завадозахищеності запропоновано оцінювати показники у вигляді відношення вихідного сигнал/шум (ВСШ) від середньоквадратичного відхилення вхідного біолого гаусового шуму, залежності середньоквадратичного відхилення демодульованого шум від ВСШ та залежності вхідного ВСШ від вихідного.

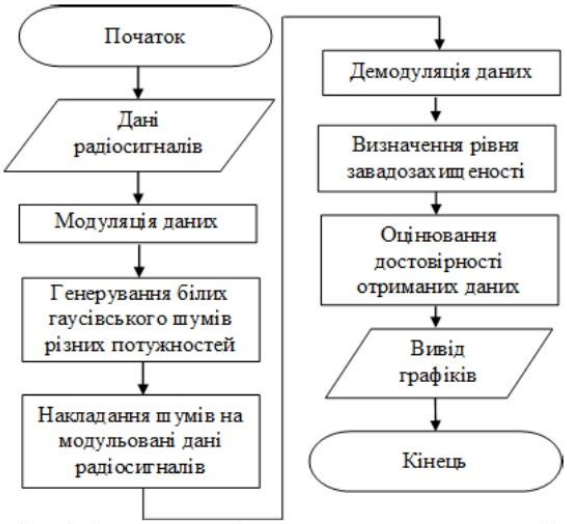

Рис.1. Алгоритм оцінювання завадозахищеності каналу зв'язку при різних модуляціях

Для оцінювання достовірності даних радіосигналу після процесу їх демодуляції застосовано критерій Неймана-Пірсона згідно виразу [1]:

$$p_D = 1 - \Phi\left(h \Big/ \sqrt{\frac{2E}{N}} - \sqrt{\frac{2E}{N}}\right), \quad (1)$$

де p_F - ймовірність помилки:

$$p_F = 1 - \Phi\left(h \Big/ \sqrt{\frac{2E}{N}}\right), \quad (2)$$

Ф - інтеграл ймовірності:

$$\Phi(U) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^U e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (3)$$

h – поріг прийняття рішення;

E – енергія корисного радіосигналу;

N – потужність завади,

Формули (1) і (2) відображають те, що ймовірність помилки p_F, достовірність отриманих демодульованих даних радіосигналу p_D, визначаються відношенням порогу прийняття рішення h і піковою величиною ВСШ, яка рівна $\sqrt{2E/N}$.

Література

1. Deepali Kamble, C.A.Manjare. MIMO Signal Detection Using Neyman Pearson Signal Detection. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. Vol. 3, Issue 2, February 2015. P.151-156. DOI 10.17148/IJIREEICE.2015.3232

23. **А.М. Паламар, Ю.А. Гук**
КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ 147
24. **Д.Р. Колісник, Д.В. Мидлик, І.Ю. Дедів, Л.Є. Дедів**
ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРІ 148
25. **С.Р. Пискальний, Б.В. Сарняк, І.Ю. Дедів**
ЗАДАЧА УЩІЛЬНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ 149
26. **М.П. Мотелюк, С.Т. Боїло, І.Ю. Дедів, В.Г. Дозорський**
МЕТОДИ ОБРОБКИ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ БЕЗПЕКОВИХ СИСТЕМ 150
27. **Б.Є Томс, Г.П. Химич**
ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ У МІСЬКИХ УМОВАХ 151
28. **A.O. Naida, L.B. Moroz**
DATAFICATION: THE PROBLEM BENEATH THE SURFACE 153
29. **О.В. Палка**
МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА 155
30. **О.В. Палка**
ІНТЕГРОВАНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА З БЛОКЧЕЙНОМ ТА ІОТ 157
31. **І. Гунчак, Г. Химич**
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З СУПУТНИКОВИМИ СИСТЕМАМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ДРОНІВ 158
32. **А.В. Атаманчук, І.Ю. Дедів**
МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БПЛА З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ 160
33. **В.Л. Дунець, Н.І. Шилівський, О.Ю. Щирба, Д.О. Гуменюк, Т.В. Чирський**
АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ 162
34. **В.В. Никитюк, к.т.н., О.Ф. Дозорська, к.т.н., А.К. Карнаухов**
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТЕНТИФІКОВАНОГО ВХОДУ КОРИСТУВАЧІВ 163
35. **С.В. Уніят, М.О. Хвостівський**
АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРОБКИ ПУЛЬСОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ У КАРДІОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМАХ 164
36. **Ю.Б. Капаціла, С.Р. Дідур**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ 165
37. **Н.А. Гарматюк, П.О. Скалецький, В.О. Дуда**
ХМАРНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ТА MICROSOFT AZURE 167
38. **Н.В. Лісовий, А.Р. Ставицька, А.В. Гіжовський**
ХМАРНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЛАТФОРМИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ 168
39. **П.О. Скалецький, Н.А. Гарматюк, В.О. Дуда**
ПЕРЕНЕСЕННЯ ДАНИХ УСТАНОВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙ З ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ДО ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ 169
40. **Р. Новчук, Р. Трач, Р. Трембач**
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 171

ДОДАТОК Б

Програмний код дослідження показників завадозахищеності каналу зв’язку з балансною модуляцією

```
clear all;
% Завантаження корисного тестового радіосигналу
radioin=load('c:\data\radioin.dat');
% Формування шкали часу
timeradio=1:length(xradioin);
% Частота несуча
Fcchannel=100;
% Частота дискретизації
Fsradioin=350;
% Балансна модуляція
radiomod=ammod(x,Fcchannel,Fsradioin);
% Графік балансно-модульованого сигналу
figure
plot(timeradio, radiomod);
ylabel('Amplitude modulation radiosignal,V');
xlabel('Time,sec');
% Довжина радіосигналу
lenradio=length(radiomod);
% Формування масиву завади
noisechannel=normrnd(0,0.2, lenradio,1);
% Графік завади
figure
plot(timeradio,noisechannel);
ylabel('Amplitude noise,V');
xlabel('Time,sec');
% Адитивна суміш корисного радіосигналу та завади
for in=1:lenradio
```

```
addnoise(i)=n(in)+y(in);
end;
figure
plot(timeradio,addnoise);
ylabel('Amplitude radiosignal with noise,V');
xlabel('Time,sec');
% Балансна демодуляція
radiodemod=amdemod(addnoise,Fcchannel,Fsradioin);
% Графік балансно демодульованого сигналу
figure
plot(timeradio,radiodemod);
ylabel('Amplitude demodulated radiosignal,V');
xlabel('Time,sec');
% Спектр балансно-модульованого радіосигналу
[amplitude1, frequency1]=dft(radiomod,dt);
Figure
% Графік балансно-модульованого радіосигналу
bar(frequency1,amplitude1,0.3);
xlabel('Frequency,Hz');
ylabel('Amplitude spectrum,V');
[amplitude2, frequency2]=dft(addnoise,dt);
figure
bar(frequency2,amplitude2,0.3);
ylabel('Amplitude spectrum of a modulated radiosignal
with noise,V');
xlabel('Frequency,Hz');
for k=1:length(radioin)
outnoise(k)=radiodemod(k)-radioin(k);
end;
figure
plot(timeradio,outnoise);
```

```
ylabel('Amplitude noise,V');
xlabel('Time,sec');
Ein=sum(radioin.^2);
level=(0:0.01:0.29)'; lever=lever.*1.5;
E=[0000000000000000000000000000];
for i=1:length(level)
nn=normrnd(0,lever(i),lenradio,1);
for j=1:lenradio
addnoise2(j)=nn(j)+radiomod(j);
end;
radiodemod2=amdemod(addnoise2,Fc,Fs);
[ss,ff]=dft(radiodemod2,dt,fix(length(radiomod)/2));
EE=abs(sum(ss.^2)-Ein); EE=EE/length(ss);
E(i)=EE; D(i)=level(i);
end;
figure
plot(level,E);
hold on; hold off;
ylabel('Energy of noise (out),B^2','FontSize',14);
xlabel('Sigma of noise (in),B^2','FontSize',14);
Eout=sum(radiodemod.^2);
for lev=1:length(level)
snr(lev)=10*log(Eout/E(lev));
end;
figure
plot(level,snr);
xlabel('Sigma of noise (in),V^2','FontSize',14);
ylabel('SNR,dB','FontSize',14);
% Оцінювання достовірності
i=0.3:0.001:2;
snr=10*log(i); % від -7dB до 25dB
```

```
% Імовірності хибного рішення
pf(1)=0.001;
pf(2)=0.01;
pf(3)=0.1;
% Визначення порогів
h1=i*norminv(1-pf(1),0,1);
h2=i*norminv(1-pf(2),0,1);
h3=i*norminv(1-pf(3),0,1);
% Визначення імовірностей правильного виявлення
pd1=1-normpdf(-h1/i-i);
pd2=1-normpdf(-h2/i-i);
pd3=1-normpdf(-h3/i-i);
%Побудова графіків
figure
axes('fontsize',14)
plot(snr,pd1);
hold on;
plot(snr,pd2);
plot(snr,pd3);
hold off;
axis tight;
grid on;
ylabel('Probability Pd','FontSize',14);
xlabel('SNR,Db','FontSize',14);
% Обчислення достовірності
m=0;
% Цикл генерування шумів
for stdlevel=0.1:0.05:1.5
    m=m+1;
    noise(m,:)=normrnd(0,stdlevel,length(radioin),1);
```

```
end;
% Вплив різної потужності
for lev=1:m
    radionoise(lev,:)=radiomod+noise(lev,:);
end
% Достовірність
Ein=sum(radioin'.^2)*dt;  % Енергія корисного сигналу
for T=1:m
    % Спектральна потужність завади
    Dnoise=sum((radionoise(T,:)-radioin).^2);
    Dnoise=Dnoise/(length(radioin)-1);
    SNRsignal(T)=10*log10(sqrt(2*Ein/Dnoise));
    for k=1:3
        u0(k)=SNRsignal(T)*erfc(1-2*pf(k))+Ein/Dnoise;
        pd(k,T)=0.5*(1-erf(u0(k)/SNRsignal (T)-
    SNRsignal(T)))
    end;
end;
figure
plot(pd(1,:)); hold on; plot(pd(2,:)); plot(pd(3,:));
hold off
ylabel('Probability Pd','FontSize',14);
xlabel('SNR,Db','FontSize',14);
```