

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: Математична модель та метод опрацювання сигналу з амплітудною
модуляцією для достовірного виявлення його із завад

Виконав: студент 6 курсу, групи РАМ-61

спеціальності 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Храпко Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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)
«29» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
Студенту Храпку Дмитру Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Математична модель та метод опрацювання сигналу з амплітудною модуляцією для достовірного виявлення його із завад.

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

Затверджені наказом ректора від «29» листопада 2024 року № 4/7-1145

2. Термін подання студентом завершеної роботи 27 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: Процес оцінювання завадостійкості каналах зв'язку з амплітудною модуляцією.

Предмет дослідження: Математична модель сигналу в умовах апостеріорної невідомості.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Розділ 1. Аналітична частина

Розділ 2. Основна частина

Розділ 3. Науково-дослідна частина

Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.ф.-м.н., доцент кафедри ПВ Зелінський І.М.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., завідувач кафедри МТ Окіпний І.Б.		

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Храпко Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Математична модель та метод опрацювання сигналу з амплітудною модуляцією для достовірного виявлення його із завад // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Храпко Дмитро Олегович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра радіотехнічних систем, група РАМ-61 // Тернопіль, 2024 // С.71 , рис. – 42, табл. – 0, кресл. – 17, додат. – 2, бібліогр. – 15.

Ключові слова: ТЕСТОВІ СИГНАЛИ, АМПЛІТУДНА МОДУЛЯЦІЯ, СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ, КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АДИТИВНА СУМІШ, БІЛИЙ ГАУСІВСЬКИЙ ШУМ, SNR, MATLAB.

У кваліфікаційній роботі розроблено метод оцінки завадостійкості КЗ з АМ в умовах впливу різноманітних завад.

На основі обґрунтованої матмоделі сигналу в СПІ із АМ, де сигнал представлено як адитивну суміш корисного сигналу та шуму, створено структурну схему для експериментального дослідження. Процес оцінки завадостійкості зводиться до аналізу параметрів SNR при різних частотах несучої та рівнях шуму.

Для моделювання й дослідження процесів модуляції й демодуляції застосовано MATLAB, що дало змогу експериментувати з різними значеннями частоти несучої на синусоїдальному ТС в умовах БГШ з різною потужністю.

ANNOTATION

Mathematical model and method of signal processing with amplitude modulation for reliable detection of signal from interference // Qualification work of the educational level «Master» // Surname Lastname // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Telecommunications and Radio Engineering, group RAm-61 // Ternopil, 2024 // P.71, fig. – 42, tabl. – 0, chair. – 0, annexes. – 2, references – 15.

Keywords: TEST SIGNALS, AMPLITUDE MODULATION, INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM, COMMUNICATION CHANNEL, MATHEMATICAL MODEL, ADDITIVE MIXTURE, WHITE GAUSSIAN NOISE, SNR, MATLAB.

In the qualification work, a method for assessing the noise immunity of an AM communication channel under the influence of various interferences is developed.

On the basis of a well-founded mathematical model of the signal in an AM information transmission system, where the signal is represented as an additive mixture of a useful signal and noise, a structural scheme for experimental research is created. The process of estimating the noise immunity is reduced to the analysis of SNR parameters at different carrier frequencies and noise levels.

MATLAB was used to model and study the process of modulation and demodulation processes, which made it possible to experiment with different values of the carrier frequency on a sinusoidal test signal under white Gaussian noise with different power.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

- АМ (англ. Amplitude modulation) – Амплітудна модуляція.
- FM (англ. Frequency Modulation) – Частотна модуляція.
- PM (англ. Phase Modulation) – Фазова модуляція.
- SNR (англ. Signal-to-noise ratio) – Співвідношення сигнал/шум.
- АД – Амплітудна демодуляція.
- АМК – Амплітудно-модульоване коливання.
- АМС – Амплітудно-модульований сигнал.
- БГШ – Білий гаусівський шум.
- БШ – Білий шум.
- ВЧ – Високі частоти.
- ГК – Гармонічне коливання.
- ДБГШ – Дискретний білий гаусівський шум.
- ДМС – Демодульований сигнал.
- ДПФ – Дискретне перетворення Фур'є.
- ІР – Інформаційний ресурс.
- ІС – Інформаційна система.
- КЗ – Канал зв'язку.
- КМ – Коефіцієнт модуляції.
- МС – Модульований сигнал.
- НК – Несуче коливання.
- НС – Несучий сигнал.
- НЧ – Низькі частоти.
- ПЗ – Програмне забезпечення.
- ПФ – Початкова фаза.
- СЗ – Система зв'язку.
- СКВ – Середнє квадратичне відхилення.
- СП – Системи передачі.
- СПІ – Система передачі інформації.
- ТС – Тестовий сигнал.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Класифікація ресурсів безпроводних СП.....	9
1.2. Аналіз можливих способів перерозподілу ресурсів безпроводних СП .	9
1.3. Модуляції в СП	10
1.3.1. АМ	11
1.3.2. Кутова модуляція	15
1.4. Методи оцінювання завадостійкості передачі інформації в СЗ як базового показника якості	20
1.5. Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	28
2.1. Математична модель сигналу в СП	28
2.2. Математична модель завади в СП	31
2.3. Необхідність модуляції сигналів в КЗ	33
2.4. Структурна схема експериментального дослідження.....	34
2.5. Аналогова модуляція як спосіб перенесення інформації в КЗ.....	34
2.6. Використання MATLAB для реалізації процесу АМ та демодуляції під впливом різного роду завад	39
2.7. Алгоритм програми експерименту.....	43
2.8. Висновок до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	45
3.1 Результати моделювання роботи КЗ із АМ в середовищі MATLAB ..	45
3.2 Результати оцінювання завадостійкості КЗ із АМ	51
3.3 Висновок до розділу 3	61
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1. Охорона праці.....	62
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	64
4.3. Висновок до розділу 4	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	70
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні безпроводні СП [37] відіграють ключову роль у глобальному телекомунікаційному просторі. Послуги голосового зв'язку, передача даних, потокове відео та інші сервіси [38] є невід'ємними елементами таких систем. Усі вони базуються на використанні обмежених ресурсів КЗ: енергетичних, частотних і тимчасових [39].

Зростання кількості користувачів безпроводних технологій створює значний тиск на ці обмежені ресурси [40]. Постійне збільшення навантаження на комунікаційні системи, при відсутності можливості значного розширення каналів, вимагає підвищення ефективності передачі інформації та покращення завадостійкості [41, 42, 43]. Ефективність визначає ступінь використання пропускної здатності КЗ, тоді як завадостійкість оцінює точність передачі даних без спотворень.

Часто спектр вихідного сигналу не відповідає оптимальним частотам доступного КЗ, що вирішується завдяки модуляції. Однак завадостійкість сигналу може погіршуватися через різні типи завад, що актуалізує задачу визначення якості функціонування КЗ.

Мета і задачі дослідження. Мета – оцінити завадостійкість КЗ з АМ в умовах впливу різних завад.

Для досягнення мети вирішуються такі задачі:

- Проаналізувати існуючі методи модуляції та оцінювання їх параметрів.
- Розробити математичну модель сигналу для передачі інформації через КЗ із АМ під впливом завад.
- Створити метод оцінювання завадостійкості таких КЗ.
- Розробити ПЗ для цього методу.
- Провести експериментальні дослідження щодо оцінювання завадостійкості КЗ.

Об'єкт дослідження. Процес оцінювання завадостійкості КЗ з АМ.

Предмет дослідження. Математична модель сигналу в умовах апостеріорної невідомості.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна роботи полягає у комплексному оцінюванні завадостійкості КЗ з АМ на основі SNR та імітаційного моделювання. Це дозволило точно визначити якість функціонування КЗ в умовах впливу різноманітних завад.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Класифікація ресурсів безпроводних СП

Безпроводні СП – це технології для обміну інформацією через безпроводний КЗ. Передача від передавача до приймача здійснюється за рахунок використання ресурсів самої системи та КЗ. Ресурси можна трактувати так [33]:

- Запас чогось, що може бути використано.
- Можливість для вирішення задачі.
- Засіб для створення або підтримки певних благ.

Інформація виступає особливим видом ресурсу – ІР [9, 10], який зменшує невизначеність про об'єкт. На відміну від матеріальних ресурсів, ІР невичерпні й мають інші способи оновлення, що робить їх унікальними.

У безпроводних СП використовуються такі фізичні ресурси, які є обмеженими:

- Частотний ресурс: діапазон і ширина смуги частот, доступних для передачі.
- Енергетичний ресурс: потужність сигналу на вході та виході КЗ.
- Часовий ресурс: час, відведений для передачі даних від джерела до приймача.

Окрім цього, простір також розглядається як ІР, адже передача інформації в безпроводних мережах відбувається між Прд і Прм, що знаходяться на певній відстані.

Для кожного виду ресурсу важливо визначити його кількісні характеристики, що дозволяє ефективно використовувати їх у СП.

1.2. Аналіз можливих способів перерозподілу ресурсів безпроводних СП

На практиці існують такі основні методи розподілу ресурсів КЗ [3, 47, 97]:

- Розподіл за частотою: Використовується для поділу частотного діапазону на канали СП. Це дозволяє виділити певний сегмент частот для окремого каналу чи користувача.
- Розподіл за часом: Полягає у виділенні часових інтервалів для доступу до каналу. Абоненту виділяється конкретний час для передачі даних, що сприяє ефективному використанню ресурсу.
- Розподіл за формою сигналу: Дозволяє виділити частину енергії сигналу для конкретного користувача чи каналу. У цьому випадку всі абоненти можуть використовувати спільний частотний діапазон, але з різною структурою сигналу.

Просторове розділення:

- Поділ простору, обслуговуваного СП: Включає визначення параметрів роботи системи та меж покриття на певній території.
- Просторовий поділ обладнання: Передбачає фізичне розташування передавального і приймального обладнання для покращення якості передачі чи прийому сигналу.

Ці методи активно використовуються в сучасних безпроводних СП.

Перерозподіл ресурсу означає повторний поділ вже розподілених ресурсів для досягнення таких цілей:

- Економія ресурсів.
- Справедливий розподіл між користувачами.
- Забезпечення відповідності вимогам до якості чи швидкості передачі.
- Оптимізація ефективності роботи системи.

У процесі перерозподілу можуть застосовуватися як базові методи розподілу, так і їх комбінації, залежно від конкретної мети. Це особливо актуально для одночастотної передачі, де поєднання методів дозволяє досягти максимального результату.

1.3. Модуляції в СП

1.3.1. АМ

Процедуру, яка переносить спектр «первинного» сигналу $s(t)$ з НЧ-області у діапазон ВЧ, називають модуляцією. Для створення МС спочатку обирають ВЧ-коливання $u_n(t) = u(t; a_1, a_2, \dots, a_n)$, що залежить від набору n параметрів $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Це коливання називають НК.

Якщо змусити параметри НС змінюватися відповідно до НЧ-сигналу $s(t)$, то отримане коливання набуває нових властивостей, тобто містить інформацію, закладену у $s(t)$. Таке коливання називають модульованим, а його матмодель виглядає так:

$$u_m(t) = u(t; a_1, a_2(s(t)), a_3(s(t)), a_4, \dots, a_n),$$

де, для прикладу, 2-ий та 3-ій показники залежать від $s(t)$.

Модуляція – це процес впливу на параметри НС з метою їх змінення.

Один із популярних класів МС створюється на основі ВЧ ГК:

$$u_n(t) = U_0 \cos(\omega_n t + \phi_0) \quad (1.1)$$

ГК (див. формула 1.1) має три параметри: амплітуду U_0 , частоту ω_n і ПФ ϕ_0 . Якщо амплітуду U_0 змінювати у часі відповідно до сигналу $s(t)$, утворюється АМК $u_{\text{АМ}}(t)$. Це досягається шляхом додавання сигналу $s(t)$, помноженого на ваговий коефіцієнт k , до амплітуди U_0 . Тоді амплітуда стає функцією часу:

$$U(t) = U_0 + k s(t) \quad (1.2)$$

Функцію $U(t)$ називають обвідною АМ-сигналу.

З урахуванням рівнянь (див. формула 1.1) та (див. формула 1.2), АМК загалом записується так:

$$u_{\text{AM}}(t) = U(t) \cos(\omega_{\text{н}} t + \varphi_0) \quad (1.3)$$

На рисунку 1.1 наведено приклад осцилограми такого типу коливання.

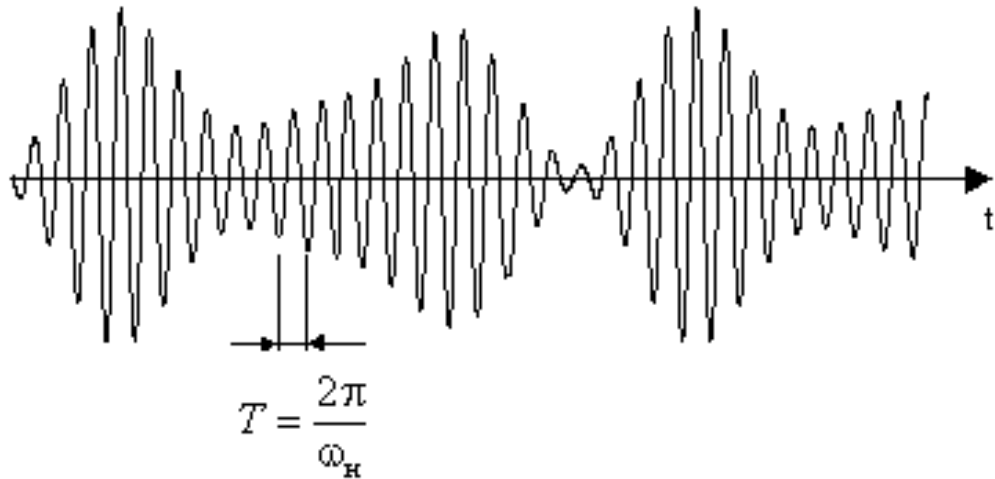


Рис. 1.1. – Осцилограма АМС

Найпростіший тип АМ – це однотональна АМ, яка виникає, коли МС $s(t)$ є ГК з частотою $\Omega \ll \omega_{\text{н}}$. Такий сигнал описується рівнянням 1.4:

$$s(t) = E \cos(\Omega t + \Phi) \quad (1.4)$$

де E – амплітуда, а Φ – ПФ.

Підставляючи рівняння (див. формула 1.2) в (див. формула 1.3) з урахуванням (див. формула 1.4), отримуємо:

$$\begin{aligned} u_{\text{AM}}(t) &= [U_0 + k E \cos(\Omega t + \Phi)] \cos(\omega_{\text{н}} t + \varphi_0) = \\ &= U_0 [1 + M \cos(\Omega t + \Phi)] \cos(\omega_{\text{н}} t + \varphi_0), \end{aligned} \quad (1.5)$$

Тут $M = \frac{kE}{U_0}$ – це КМ, що визначає пропорційність між АМ сигналу та несучої хвилі.

Величина M визначає глибину модуляції АМ сигналу. Значення КМ M може змінюватися в межах $[0;1]$, тобто $0 \leq M \leq 1$.

Якщо розкрити квадратні дужки у правій частині рівняння (див. формула 1.5), то отримаємо вираз для однотонольної АМ у вигляді суми трьох гармонічних складових:

$$u_{\text{AM}}(t) = U_0 \cos(\omega_n t + \varphi_0) + \frac{U_0 M}{2} \cos[(\omega_n + \Omega)t + \varphi_0 + \Phi] + \frac{U_0 M}{2} \cos[(\omega_n - \Omega)t + \varphi_0 - \Phi]. \quad (1.6)$$

У цьому виразі:

– Перша складова – ГК із частотою ω_n , яке повністю відповідає НС (1.1).

Воно називається НК.

– Друга складова – ГК з частотою $(\omega_n + \Omega)$, яка більша за частоту НС ω_n . Це коливання називається верхнім боковим коливанням.

– Третя складова – ГК з частотою $(\omega_n - \Omega)$, яка менша за частоту НС ω_n . Це коливання називається нижнім боковим коливанням.

Більш складним типом сигналів з АМ є такі, у яких МС $s(t)$ складається з кількох гармонічних складових. Це можна записати у наступному вигляді:

$$s(t) = \sum_{n=1}^N E_n \cos(\Omega_n t + \Phi_n), \quad (1.7)$$

де частоти $\Omega_i, i = 1, 2, \dots, N$ утворюють упорядковану послідовність: $\Omega_1 < \Omega_2 < \dots < \Omega_N$.

Підставляючи вираз (див. формула 1.2) у рівняння (див. формула 1.3), враховуючи (див. формулу 1.7), отримаємо представлення для сигналу з полігармонічною АМ:

$$u_{\text{AM}}(t) = \left[U_0 + k \sum_{n=1}^N E_n \cos(\Omega_n t + \Phi_n) \right] \cos(\omega_n t + \varphi_0) = \quad (1.8)$$

$$= U_0 \left[1 + \sum_{n=1}^N M_n \cos(\Omega_n t + \Phi_n) \right] \cos(\omega_n t + \varphi_0)$$

де $M_n = \frac{k E_n}{U_0}$, $n = \overline{1, N}$ – парціальні коефіцієнти АМ.

Розкриваючи квадратні дужки у правій частині рівності (див. формула 1.8), отримуємо розкладення сигналу з полігармонічною АМ на окремі гармонічні складові:

$$u_{\text{AM}}(t) = U_0 \cos(\omega_n t + \varphi_0) + \frac{U_0}{2} \sum_{n=1}^N M_n \cos[(\omega_n + \Omega_n)t + \varphi_0 + \Phi_n] + \frac{U_0}{2} \sum_{n=1}^N M_n \cos[(\omega_n - \Omega_n)t + \varphi_0 - \Phi_n]. \quad (1.9)$$

Це вираження описує суму гармонічних компонент із частотами, що відповідають несучій хвилі та боковим смугам для кожної гармонічної складової АМ сигналу.

Порівнюючи рівняння (див. формула 1.6) та (див. формула 1.9), можна помітити, що на відміну від сигналу з однотональною АМ, у коливаннях із полігармонічною АМ спектральний склад містить цілі групи верхніх і нижніх бокових гармонік. Кількість цих гармонічних складових у кожній групі відповідає кількості гармонік у АМ сигналі $s(t)$, як це визначено у рівнянні (див. формула 1.7).

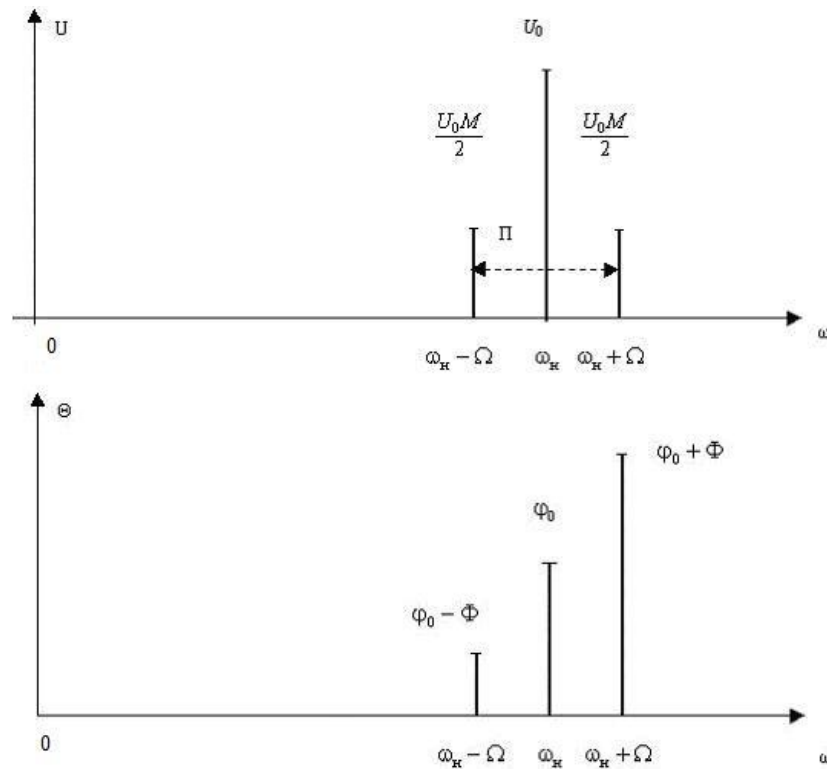


Рис. 1.2. – Амплітудно-частотний (АЧС) та фазочастотний (ФЧС) спектри сигналу з однотоною АМ

1.3.2. Кутова модуляція

Розглянемо НК, матмодель якого записується у вигляді (див. формула 1.1). Його ГК можна переписати наступним чином:

$$u_n(t) = U_0 \cos \Theta(t) \quad (1.10)$$

де $\Theta(t)$ повна (ПФ):

$$\Theta(t) = \omega_n t + \varphi_0 \quad (1.10)$$

Ця функція характеризується розмірністю кута і змінюється в часі за лінійним законом, що є типовим для ГК.

З повною фазою $\Theta(t)$ пов'язана миттєва частота $\omega(t)$, яка визначається швидкістю зміни фази в часі:

$$\omega(t) = \frac{d\Theta(t)}{dt} \quad (1.11)$$

Для ГК (див. формула 1.1) миттєва частота є сталою:

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} (\omega_n t + \varphi_0) = \omega_n = \text{const} \quad (1.12)$$

Якщо зробити фазу $\Theta(t)$ залежною від МС $s(t)$, отримаємо сигнал із кутовою модуляцією:

$$u_{\text{км}}(t) = U_0 \cos \Theta[t; s(t)]. \quad (1.13)$$

Для сигналів із кутовою модуляцією існує два основних типи залежності фази $\Theta(t)$ від МС $s(t)$:

1. РМ. У цьому випадку МС $s(t)$ додається до повної фази $\Theta(t)$ із ваговим коефіцієнтом k_ϕ :

$$\Theta_\phi(t) = \Theta_\phi[t; s(t)] = \Theta(t) + k_\phi s(t) = \omega_n t + k_\phi s(t) + \varphi_0 \quad (1.14)$$

Підставивши $\Theta_\phi[t; s(t)]$ у (див. формула 1.13), отримуємо сигнал із РМ:

$$u_\phi(t) = U_0 \cos [\omega_n t + k_\phi s(t) + \varphi_0] \quad (1.15)$$

У цьому випадку зміни $s(t)$ визначають швидкість зміни кута $\Theta_\phi(t)$, що впливає і на миттєву частоту:

$$\omega_{\phi}(t) = \frac{d \Theta_{\phi}(t)}{dt} = \omega_{\text{н}} + k_{\phi} \frac{ds(t)}{dt} \quad (1.16)$$

2. FM: У цьому варіанті $s(t)$ додається безпосередньо до частоти з коефіцієнтом $k_{\text{ч}}$. Миттєва частота матиме вигляд:

$$\omega(t) = \omega_{\text{н}} + k_{\text{ч}} s(t) \quad (1.17)$$

Використовуючи формулу (див. формула 1.11), можна записати:

$$\Theta(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau \quad (1.18)$$

Підставляючи (див. формула 1.17) в (див. формула 1.18), отримуємо залежність ПФ від $s(t)$:

$$\tilde{\Theta}_{\text{ч}}(t) = \int_0^t (\omega_{\text{н}} + k_{\text{ч}} s(\tau)) d\tau = \omega_{\text{н}} t + k_{\text{ч}} \int_0^t s(\tau) d\tau \quad (1.19)$$

Додавши ПФ φ_0 , залежність повної фази набуває вигляду:

$$\Theta_{\text{ч}}(t) = \tilde{\Theta}_{\text{ч}}(t) + \varphi_0 = \omega_{\text{н}} t + k_{\text{ч}} \int_0^t s(\tau) d\tau + \varphi_0 \quad (1.20)$$

Підставивши (див. формула 1.20) у (див. формула 1.1), отримуємо сигнал із FM:

$$u_{\text{ч}}(t) = U_0 \cos \left[\omega_{\text{н}} t + k_{\text{ч}} \int_0^t s(\tau) d\tau + \varphi_0 \right] \quad (1.21)$$

Оскільки цей тип модуляції реалізується шляхом додавання $s(t)$ до миттєвої частоти НС (див. формула 1.17), він отримав назву ЧМС.

Коли МС представлений як ГК:

$$s(t) = E \cos(\Omega t + \Phi), \quad (1.22)$$

де частота $\Omega \ll \omega_n$, а амплітуда E та ПФ Φ є довільними, тоді для РМ, згідно з (1.15), отримаємо:

$$\begin{aligned} u_{\Phi}(t) &= U_0 \cos[\omega_n t + k_{\Phi} E \cos(\Omega t + \Phi) + \varphi_0] = \\ &= U_0 \cos[\omega_n t + m_{\Phi} \cos(\Omega t + \Phi) + \varphi_0], \end{aligned} \quad (1.23)$$

де $m_{\Phi} = k_{\Phi} E$ – девіація фази, тобто максимальне відхилення кута від значень, визначених лінійною залежністю $(\omega_n t + \varphi_0)$. Це значення також називають індексом РМ. На відміну від АМ, m_{Φ} може приймати будь-які невід'ємні значення $m_{\Phi} \geq 0$.

Сигнал (див. формула 1.23) часто називають коливанням з однотоною РМ, оскільки МС (див. формула 1.22) має лише одну частотну складову, якщо розглядати його як звукове коливання.

Для сигналу (див. формула 1.23) ПФ за виражається як:

$$\Theta_{\Phi}(t) = \omega_n t + m_{\Phi} \cos(\Omega t + \Phi) + \varphi_0. \quad (1.24)$$

Миттєва частота такого сигналу дорівнює:

$$\omega(t) = \frac{d\Theta_{\Phi}(t)}{dt} = \omega_n - m_{\Phi} \Omega \sin(\Omega t + \Phi) = \quad (1.25)$$

$$= \omega_{\text{н}} - \Delta \omega \sin(\Omega t + \Phi) = \omega_{\text{н}} + \Delta \omega \cos\left(\Omega t + \Phi + \frac{\pi}{2}\right),$$

де $\Delta \omega = m_{\text{н}} \Omega$ – девіація частоти, що визначає максимальне відхилення частоти $\omega(t)$ від несучої частоти $\omega_{\text{н}}$.

Підставивши (див. формула 1.14) у праву частину (див. формула 1.13), отримаємо вираз для коливання з однотоноюльною FM:

$$\begin{aligned} U_{\text{ч}}(t) &= U_0 \cos \left[\omega_{\text{н}} t + k_{\text{ч}} \int_0^t E \cos(\Omega \tau + \Phi) d\tau + \varphi_0 \right] = \\ &= U_0 \cos \left[\omega_{\text{н}} t + \frac{k_{\text{ч}} E}{\Omega} \sin(\Omega t + \Phi) + \tilde{\varphi}_0 \right] = \\ &= U_0 \cos [\omega_{\text{н}} t + m_{\text{ч}} \sin(\Omega t + \Phi) + \tilde{\varphi}_0], \end{aligned} \quad (1.26)$$

де $m_{\text{ч}} = \frac{k_{\text{ч}} E}{\Omega} = \frac{\Delta \omega}{\Omega}$ – індекс FM, який прямо пропорційний девіації частоти $\Delta \omega = k_{\text{ч}} E$ та обернено пропорційний частоті Ω МС (див. формула 1.14). ПФ $\tilde{\varphi}_0$ залежить від фази МС $\tilde{\varphi}_0 = \varphi_0 + \frac{k_{\text{ч}} E}{\Omega} \sin \Phi = \varphi_0 + m_{\text{ч}} \sin \Phi$.

Миттєва частота сигналу з однотоноюльною FM дорівнює:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{ч}}(t) &= \frac{d \Theta_{\text{ч}}(t)}{dt} = \omega_{\text{н}} + \Omega \cdot m_{\text{ч}} \cos(\Omega t + \Phi) = \\ &= \omega_{\text{н}} + \Delta \omega \cos(\Omega t + \Phi). \end{aligned} \quad (1.27)$$

Сигнал із кутовою модуляцією можна подати як суму нескінченної послідовності ГК:

$$u_{\text{ч}}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m_{\text{ч}}) \cos[(\omega_{\text{н}} + k \Omega)t + \tilde{\varphi}_0 + k \Phi] \quad (1.28)$$

де $J_k(m_{\text{ч}})$ функція Бесселя першого роду k -го порядку.

Амплітуди гармонік (значення $J_k(m_q)$, $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) зменшуються зі збільшенням порядку k при фіксованому індексі модуляції m_q . У практичних обчисленнях вважають, що для $|k| > m_q + 1$ значення настільки малі, що їх можна знехтувати. Тоді сума (див. формула 1.16) спрощується:

$$u_q(t) \approx U_0 \sum_{k=-m_q-1}^{m_q+1} J_k(m_q) \cos[(\omega_n + k\Omega)t + \tilde{\varphi}_0 + k\Phi] \quad (1.29)$$

Якщо m_q не ціле число, то в обчисленнях враховуються найближчі цілі значення.

1.4. Методи оцінювання завадостійкості передачі інформації в СЗ як базового показника якості

Будь-яка СПІ характеризується такими ключовими параметрами, як завадостійкість, надійність та ефективність.

Завадостійкість визначають як здатність системи забезпечувати прийом інформації навіть за наявності завад у КЗ.

Завади – це будь-які зовнішні впливи, що ускладнюють передачу сигналу. Вони можуть бути спричинені:

- Зовнішніми джерелами сигналів.
- Спотвореннями в апаратурі.

Ці впливи призводять до випадкових відхилень прийнятого сигналу від переданого.

Завади поділяються на:

- Промислові – виникають при роботі електрообладнання, такого як двигуни, верстати, ліфти, зварювальні апарати, рентгенівські установки та міський електротранспорт.

– Атмосферні – спричинені природними явищами: блискавки, магнітні бурі, сніжні бурі, північне сяйво, утворення інею на антені або навіть сонячне випромінювання (особливо у діапазоні УКХ).

– Закономірні – виникають регулярно, що дозволяє передбачити їх і знайти ефективний спосіб протидії (наприклад, компенсація фону чи використання фільтрів для усунення завад від сусідніх радіостанцій).

– Випадкові – мають хаотичний характер і їх складніше усунути.

Методи боротьби із завадами.

Для регулярних завад:

– Компенсація фону.

– Використання фільтрів для ізоляції сигналу.

– Застосування методів, як-от накопичення сигналів, використання кодів з виявленням і виправленням помилок, підвищення рівня сигналу над рівнем шумів.

Для випадкових завад:

– Адитивні – додаються до основного сигналу.

– Мультиплікативні – змінюють сам сигнал.

З випадковими завадами боротися складніше, але застосування складних алгоритмів обробки сигналів та адаптивних систем допомагає мінімізувати їхній вплив.

Адитивна завада – це завада, яка додається до сигналу незалежно від його наявності. Вона може існувати як під час передачі сигналу, так і за його відсутності. Її дія описується рівнянням (1.26):

$$y(t) = x(t) + \xi(t), \quad (1.26)$$

де: $y(t)$ – вихідний сигнал із врахуванням адитивної завади, $x(t)$ – вхідний сигнал, $\xi(t)$ – сама завада.

Основною причиною виникнення адитивної завади є флуктуації – випадкові коливання навколо середнього значення. Приклади флуктуацій: броунівський рух молекул, дробовий ефект у лампах та інші.

Флуктуаційні завади неможливо повністю усунути, але їхній вплив можна мінімізувати за рахунок застосування якісних схем та налаштування режимів роботи обладнання.

Мультиплікативна завада виникає виключно під час передачі сигналів і полягає у випадковому посиленні або послабленні сигналу. Вона пов'язана зі зміною параметрів КЗ, наприклад:

- Добові чи сезонні коливання поширення коротких хвиль.
- Фединг (згасання сигналу).

Мультиплікативна завада описується формулою 1.27:

$$y(t) = \gamma \cdot x(t), \quad (1.27)$$

де: γ – коефіцієнт, що враховує зміну характеристик КЗ.

На відміну від адитивних завад, мультиплікативні залежать безпосередньо від сигналу і динаміки змін у КЗ. Їхній вплив можна зменшити шляхом використання адаптивних методів і корекції параметрів КЗ.

Флуктуації є типовими для адитивних завад, а фединг – характерним проявом мультиплікативних завад. При федингу хвиля, яка передається передавачем, досягає антени приймача, проходячи через кілька шляхів одночасно. Через різну довжину цих шляхів виникають фазові зсуви, і хвилі починають інтерферувати. Оскільки самі траєкторії є випадковими та постійно змінюються залежно від стану атмосфери, інтенсивність сигналу також змінюється, аж до повного його зникнення.

Методи боротьби з федингом:

- Збільшення кількості каналів. Це дозволяє об'єднувати сигнали або автоматично переключатися на канал із сильнішим сигналом у даний момент.

– Рознесення антен. Якщо антени розташувати на достатній відстані одна від одної, можна забезпечити незалежність змін напруженості поля в цих точках, адже процеси у двох близьких точках сильно корелюють.

– Рознесення за частотою. Завмирання через інтерференцію залежить від фазових співвідношень. Використання іншої частоти змінює фазові співвідношення навіть за тих самих умов, забезпечуючи зниження впливу федингу.

Типи завад:

– Зовнішні завади – виникають через впливи середовища чи сторонніх джерел сигналів, наприклад, атмосферу або багатоканальну передачу.

– Внутрішні завади – спричинені роботою приймально-передавальної апаратури. Для їх мінімізації застосовуються конструктивні та схемні рішення: екрани для перемикальних пристроїв, фільтри, розв'язки електричних кіл тощо.

СПІ А вважається більш завадостійкою, ніж система В, якщо за однакового рівня завад і однакової потужності сигналів прийняті системою А сигнали є більш схожими на передані, ніж сигнали, прийняті системою В.

При аналізі ІС розрізняють два типи завадостійкості:

– Статична завадостійкість – здатність системи протидіяти помилковим спрацьовуванням через завади в лінії КЗ, коли інформація не передається. Її оцінюють за середньою кількістю хибних сигналів, які виникають через завади за одиницю часу.

– Динамічна завадостійкість – здатність системи виділяти корисні сигнали з шумів під час передачі інформації. Вона оцінюється середньою кількістю помилкових команд, що утворюються за одиницю часу (включаючи випадки неприйнятих сигналів).

Методи підвищення завадостійкості:

1. Статична завадостійкість підвищується:

– Збільшенням кількості символів у повідомленні.

– Використанням складніших кодів і додаванням якісних ознак сигналу.

- Введенням стартової кодової комбінації, яка відкриває вхід приймального пристрою на певний час для прийняття повідомлення. Стартова комбінація зазвичай складніша за інформаційні коди.

2. Динамічна завадостійкість підвищується:

- Подовженням елементарної посилки коду.
- Спрощенням структури коду.
- Зменшенням кількості символів у повідомленні.

У дискретних системах завади можуть спричиняти заміну частини сигналів іншими. Це означає, що при передачі сигналу a_i на виході приймається сигнал b_j замість очікуваного b_i .

Завадостійкість дискретної системи зазвичай описується умовною ймовірністю. Цю ймовірність можна подати у вигляді: матриці сумісних подій або іншими способами, залежно від обраної моделі.

Незалежно від методу опису, умовна ймовірність переходу сигналів з одного стану до іншого є основою для оцінки завадостійкості системи.

Завадостійкість системи можна охарактеризувати за допомогою узагальненого параметра – середньої невизначеності прийнятого повідомлення відносно переданого. Цей параметр обчислюється за формулою 1.28:

$$H = -(1 - p_{\text{пом.ср}}) \log(1 - p_{\text{пом.ср}}) - p_{\text{пом.ср}} \log p_{\text{пом.ср}}, \quad (1.28)$$

де $p_{\text{пом.ср}}$ – середня ймовірність помилкового прийому.

Підвищення статичної завадостійкості зазвичай досягається за рахунок:

- Збільшення кількості символів у повідомленні.
- Ускладнення кодів.

У результаті цього зростає надмірність системи. Надмірність коду дозволяє легше відрізнити корисний сигнал від завади, але водночас зменшує швидкість передачі інформації, оскільки система стає менш оптимальною. Таким чином, між надмірністю та швидкістю передачі завжди існує компроміс.

Ефективність системи використовується для оцінки доцільності ускладнення кодів при досягненні заданого рівня завадостійкості.

– При однаковій смузі частот і потужності на повідомлення більш ефективною вважається система, яка передає повідомлення за менший час.

– Для запам'ятовуючих пристроїв із однаковим числом осередків більш ефективним є той, що здатен зберігати більше інформації.

Отже, ефективність визначає, наскільки раціонально використовуються ресурси системи для досягнення потрібного рівня завадостійкості та швидкості передачі даних.

Ефективність СПІ здебільшого збільшують за рахунок зменшення надмірності повідомлення. Оптимальною межею є рівень, коли швидкість передачі $\bar{I}$ дорівнює пропускній спроможності каналу C . Подальше зниження надмірності (якщо це можливо) погіршить завадостійкість системи без будь-якого приросту у швидкості передачі даних.

Іноді ефективність вдається підвищити без зменшення надмірності, наприклад, у випадках, коли символи повідомлення мають різну ймовірність і рівні потужності. Для цього символам із більшою ймовірністю появи призначають меншу потужність, символам із меншою ймовірністю – вищу потужність.

Такий підхід дозволяє зменшити середню потужність передачі повідомлень. Водночас очевидно, що це не покращує завадостійкість системи, оскільки максимальна стійкість до завад досягається в зворотному випадку: при більшій потужності сигналів із вищою ймовірністю.

Для кількісного аналізу ефективності використовують такі параметри:

– Коефіцієнт використання КЗ.

$$\eta = \frac{\bar{I}}{C}, \quad (1.29)$$

де $\bar{I}$ – швидкість передачі інформації, а C – пропускна спроможність КЗ. Цей коефіцієнт показує, наскільки швидкість передачі наближається до максимально можливої пропускної здатності КЗ.

– Коефіцієнт передачі інформації.

$$\mu = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_x}, \quad (1.30)$$

де $\bar{I}$ – швидкість створення інформації джерелом, а I_x – максимальна швидкість введення інформації в КЗ (має сенс лише за умови $\bar{I} < C$).

Ці параметри дозволяють оцінити, наскільки ефективно використовується пропускна спроможність КЗ в умовах заданих обмежень.

Надійність ІС тісно пов'язана із її завадостійкістю та ефективністю. Збільшення ефективності, як правило, призводить до зниження завадостійкості. Крім того, підвищення завадостійкості та ефективності часто досягається шляхом ускладнення апаратури, що, у свою чергу, знижує надійність системи.

Сучасні ІС, такі як космічний зв'язок, мобільні мережі, радіолокаційні станції чи навіть звичайні телефонні станції, включають сотні тисяч компонентів. Чим більше компонентів у системі, тим більше вона схильна до відмов, навіть якщо всі окремі елементи мають високу надійність.

У загальному випадку під надійністю ІС розуміють її здатність працювати безвідмовно протягом визначеного часу. При цьому слід розрізняти:

– Надійність передачі повідомлень – ймовірність правильної передачі за умови, що апаратура працює справно. Помилки в цьому випадку обумовлені лише шумами.

– Надійність зв'язку – ймовірність правильного прийому повідомлень із врахуванням впливу зовнішніх завад, випадкових збоїв і загальної ненадійності апаратури.

Надійність передачі визначається способом кодування і оцінюється в середньому для одного повідомлення.

Надійність зв'язку стосується всієї системи і враховується для заданого проміжку часу.

Практика показує, що основними причинами зниження надійності ІС є:

- Необґрунтовані технічні вимоги, які перевищують реальні можливості.
- Неправильний вибір методу кодування або КЗ.
- Погане проектування або некоректне використання елементів системи.
- Надмірна складність апаратури, що призводить до перевантаження схем

і обслуговуючого персоналу.

Таким чином, оптимізація проектування, вибір правильних технічних рішень і спрощення апаратури є ключовими кроками для підвищення надійності ІС.

1.5. Висновки до розділу 1

Забезпечення високої інформаційної та економічної ефективності є одним із ключових завдань при розробці сучасних СЗ. Одним із способів досягнення цієї мети є вибір оптимальних типів модуляції, наприклад, АМ.

Дослідження різних видів модуляції та їх порівняння за ефективністю залишаються актуальним напрямом роботи. Однак властивості та особливості застосування різних типів модуляції, особливо сучасних методів, у СЗ ще недостатньо висвітлені в літературі [1–4] і потребують глибшого аналізу.

Серед перспективних напрямів слід виділити неортогональні види модуляції [5], які обіцяють значний потенціал для впровадження у сучасні СЗ та потребують подальших досліджень.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Математична модель сигналу в СПІ

Під час проектування СПІ (див. рисунок 2.1) канал передачі є зазвичай фіксованою ланкою, з якою повинні бути узгоджені джерела інформації та функціональні блоки системи.



Рис. 2.1. – Загальний принцип побудови СПІ

Канали передачі інформації класифікуються за різними критеріями:

- За типом ліній: мідні, металеві, алюмінієві, бездротові.
- За частотним діапазоном: ВЧ, НЧ.

Для аналізу, порівняння можливих варіантів побудови СПІ та прогнозування їх характеристик без проведення експериментів потрібні характеристики каналів, що входять до системи.

Модель каналу – це детальний опис, який дозволяє розрахувати або оцінити всі необхідні характеристики каналу. Її важливо відрізнити від часткового опису, який містить лише окремі параметри, необхідні для конкретних задач.

Вимоги до моделей каналів:

- Простота – зручність у використанні.

– Точність – максимальна відповідність експериментальним даним.

Через складність реальних каналів ці вимоги часто суперечливі, тому необхідно знаходити розумний компроміс між ними.

Модель реального КЗ (без урахування внутрішніх процесів у системі) описує сигнали на вході та виході каналу або його електричних кіл, а також взаємозв'язок між ними. У загальному випадку сигнали можуть бути багатовимірними або векторними.

Зв'язок сигналів на вході та виході (які називають також реакцією системи) задається за допомогою системного оператора:

$$\xi(t) = L\{s(t)\} \quad (2.1)$$

Опис каналу відбору передбачає визначення області V_x у межах певного функціонального простору, яку називають областю допустимих вхідних дій. Ця область задає характеристики вхідних біосигналів, які можуть бути безперервними, дискретними, цифровими, детермінованими чи випадковими. Так само визначається область V для допустимих вихідних сигналів.

Матмодель системи (каналу) складається із системного оператора та L областей допустимих сигналів V_x і V_y . Системи (канали) класифікують на основі властивостей їхніх матмоделей. Наприклад, система вважається стаціонарною, якщо її вихід не залежить від моменту часу надходження вхідного сигналу. Такі системи називають системами з постійними в часі параметрами. Якщо ж властивості змінюються залежно від часу надходження сигналу, система називається нестаціонарною або параметричною.

Основний принцип класифікації КЗ базується на тому, як система реагує на суму декількох сигналів. Якщо оператор системи у формулі (див. формула 2.1) виконує принцип суперпозиції:

$$\left. \begin{aligned} L[x_1 + x_2] &= L[x_1] + L[x_2] \\ L[\alpha x] &= \alpha L[x] \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де α – довільне число, то система є лінійною. У випадку, коли умова 2.2 суперпозиції не виконується, система вважається нелінійною.

З технічної точки зору, усі фізичні КЗ та їх елементи мають певний рівень нелінійності. Втім, значна кількість КЗ доволі точно моделюється лінійними системами. Розглянемо просту лінійну модель КЗ – це канал з адитивним шумом, схематично наведений на рисунку 2.2.

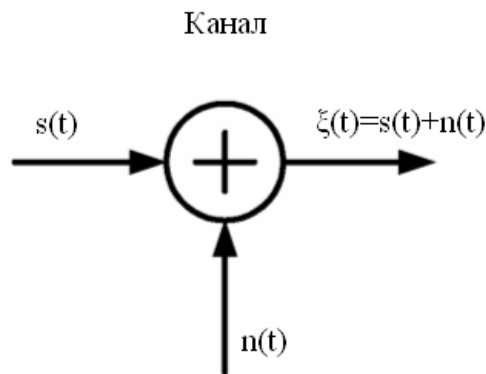


Рис. 2.2. – Схема сигналу в КЗ ІС

У даній моделі сигнал $s(t)$ піддається впливу лише адитивного шуму $n(t)$. Адитивний шум зазвичай виникає через сторонні електричні завади, роботу електронних компонентів або підсилювачів у системі.

Якщо основним джерелом шуму є електроніка й підсилювачі, його можна описати як АБГШ. В результаті така математична модель отримує назву «канал з АБГШ».

Ця модель застосовується до багатьох фізичних КЗ й має просте математичне трактування, тому вона широко використовується для аналізу та проєктування СПП.

2.2. Математична модель завади в СГП

БШ – це стаціонарний випадковий процес $n(i\Delta t)$, для якого автокореляційна функція моделюється дельта-функцією Дірака. Це означає, що його СГП не залежить від частоти та має постійне значення $W(f) = \sigma^2$, яке дорівнює дисперсії випадкових значень $n(i\Delta t)$. Іншими словами, всі частотні компоненти БШ мають однакову потужність, подібно до того, як білий колір включає всі кольори видимого спектру.

По суті, БШ – це ідеалізований випадковий процес із нескінченною енергією. Проте, якщо СГП залишається постійною в обмеженому діапазоні частот, така ідеалізація дозволяє розробляти прості й оптимальні методи фільтрації. У багатьох випадках завади в радіотехніці, СЗ та інших галузях вважаються БШ. Це можливо, якщо ефективна ширина спектру сигналів B_s значно менша за ефективну ширину спектру шумів B_n , а СГП шумів майже не змінюється в межах спектру сигналу.

Термін «БШ» описує лише спектральну характеристику випадкового процесу. Будь-який процес із рівномірним енергетичним спектром і різними законами розподілу може бути класифікований як БШ.

Якщо частотний діапазон розглянутих сигналів і завад становить 0-B, СГП шуму визначається формулою:

$$W_n(f) = \sigma^2, 0 \leq f \leq B, W_n = 0, f > B \quad (2.5)$$

Водночас кореляційна функція завади описується таким виразом:

$$R_n(\tau) = \sigma^2 B \sin(2\pi B\tau) / 2\pi B_\tau \quad (2.6)$$

Ефективний інтервал кореляції задається:

$$T_k = 2 \int_0^{\infty} |R_n(\tau)| d\tau / R_n(0) \quad (2.7)$$

Реальний інтервал кореляції зазвичай визначають за шириною головного максимуму функції $R_n(\tau)$, яка описує кореляцію БШ. Це інтервал значень τ , де функція перетинає нульову лінію вперше. Саме в цьому діапазоні зосереджена основна частина енергії БШ. У такому випадку $T_k = 1/B$, а $BT_k = 1$.

Згідно з наведеними формулами та відповідно до графіка (див. рисунок 2.3), при обмеженні частотного діапазону шуму між його значеннями виникає певна кореляція. Чим вужчий цей діапазон, тим більший радіус кореляції шуму.

Фактично, обмеження шуму певним частотним діапазоном можна розглядати як фільтрацію БШ через смуговий фільтр із відповідною шириною пропускання. У такій ситуації кореляційна функція імпульсного відгуку фільтра згортається з дельта-функцією БШ.

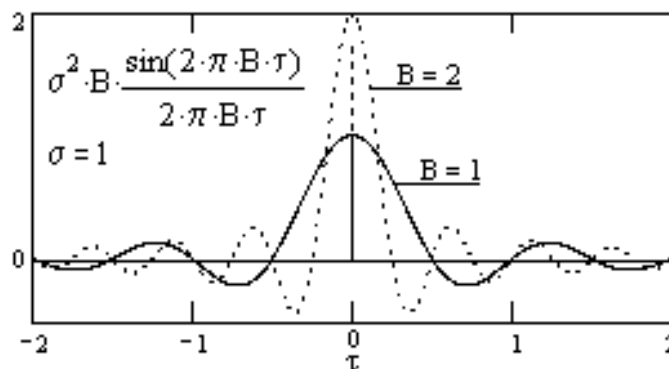


Рис. 2.3. – Функції кореляції БШ в частотному діапазоні 0-B

Модель дискретного БШ $n(i\Delta t)$ можна уявити як випадкову у часі послідовність дельта-імпульсів $\delta(k\Delta t)$ із випадковими амплітудами a_k . Вона описується виразом (див. формулу 2.8):

$$T_k = 2 \int_0^{\infty} |R_n(\tau)| d\tau / R_n(0) \quad (2.8)$$

Ця модель відповідає умовам статистичної однорідності: середня кількість імпульсів залишається постійною за одиницю часу, а поява кожного імпульсу є статистично незалежною від попередніх. Така імпульсна послідовність, що називається пуассонівським потоком, є некорельованою та має рівномірний СГП:

$$W_n(\omega) = c^2 = N\sigma_a^2 \quad (2.9)$$

де N – кількість імпульсів за час T реалізації випадкового процесу, а σ_a^2 – дисперсія амплітуд імпульсів.

2.3. Необхідність модуляції сигналів в КЗ

Передача інформаційних даних стає дедалі важливішою в сучасному світі, що робить розрахунок і моделювання СЗ надзвичайно актуальними. У процесі створення таких СЗ часто виникає ситуація, коли спектр вихідного сигналу не відповідає частотам, які може ефективно пропускати доступний КЗ. До того ж нерідко потрібно, щоб сигнал був вузькосмуговим, тобто ширина його спектра була значно меншою за центральну частоту.

Ці причини зумовлюють необхідність трансформації вихідного сигналу, щоб він відповідав вимогам щодо займаної смуги частот, але залишався придатним для відновлення. Таку проблему вирішують за допомогою модуляції.

Суть модуляції полягає в наступному: генерується коливання (зазвичай ГК), яке називається НК, а один із його параметрів змінюється пропорційно вихідному сигналу. Вихідний сигнал у цьому випадку називається модулюючим, а отримане коливання зі змінними параметрами – МС. Зворотний процес, тобто виділення МС з модульованого коливання, називається демодуляцією.

Для розв'язання цієї задачі використовуються ПЗ двох типів: спеціалізовані середовища моделювання та універсальні математичні пакети. Спеціалізовані ПЗ мають переваги у вигляді оптимізації під конкретні завдання,

що забезпечує високу швидкість роботи. У цьому випадку оптимальним вибором є використання MATLAB, завдяки його можливостям для моделювання СЗ.

2.4. Структурна схема експериментального дослідження

Дослідимо один із найбільш поширених видів модуляції – АМ, відповідно до схеми, наведеної на рисунку 2.41. Для передачі сигналу на відстань по радіоканалу необхідно вибрати КЗ, який підтримує даний тип модуляції.



Рис. 2.4. – Схема проведення експериментального дослідження

Щоб оцінити завадостійкість і достовірність КЗ, враховуючи, що під час передачі сигналу через КЗ він завжди піддається впливу шумів і завад, ми будемо накладати певний тип завади на МС. У фінальному етапі проведемо ДМС. На основі отриманих даних виконаємо аналіз, який покаже, наскільки обраний тип модуляції є стійким до дії зовнішніх та внутрішніх завад, а також визначимо рівень достовірності передачі.

2.5. Аналогова модуляція як спосіб перенесення інформації в КЗ

У цій роботі розглядається один із найпоширеніших типів модуляції – АМ.

Модуляція – це процес накладення інформації у вигляді сигналу повідомлення, або інформаційного сигналу $m(t)$, на інший сигнал із ВЧ-несучою. Основна мета модуляції – перенести сигнал із НЧ-області у ВЧ-

область. Це необхідно для передачі сигналу через КЗ або багатоканальні кабельні лінії.

Кабельні лінії можуть бути виготовлені з металу або оптоволокна, причому кожен канал працює в чітко визначеній смузі частот. Щоб уникнути взаємних завад, ці частотні смуги не повинні перекриватися.

Сигнал несучої частоти, якщо вважати його синусоїдальним, можна описати як ГК за допомогою виразу:

$$g(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.10)$$

де ω – кутова частота, а φ – довільна ПФ.

При АМ амплітуда A змінюється відповідно до НЧ МС. Формулу 3.1 можна переписати у такому вигляді:

$$g(t) = A \sin \theta(t) \quad (2.11)$$

де $\theta(t)$ – це кутова функція, що змінюється в залежності від часу. Порівнюючи формули 2.10, 2.11, отримуємо:

$$\theta(t) = \omega t + \varphi \quad (2.12)$$

Кутова функція $\theta(t)$, так само як і амплітуда несучої частоти, може бути модульована. Такий тип модуляції називається КМ. Її реалізують двома способами:

- РМ – коли фаза змінюється відповідно до АМ-сигналу.
- ФМ – коли частота НС змінюється пропорційно АМ-сигналу.

АМ можна описати математично:

$$g(t) = \left(1 + \frac{V_M}{V_H} \sin \omega_M t\right) V_H \sin \omega_H t \quad (2.13)$$

де $V_H \sin \omega_H t$ – гармонійний НС, на який накладається МС $V_M \sin \omega_M t$. Використовуючи тригонометричні перетворення, цей вираз можна представити як суму двох синусоїд:

$$g(t) = V_H \sin \omega_H t + \frac{V_M}{2} \cos(\omega_H - \omega_M)t - \frac{V_M}{2} \cos(\omega_H + \omega_M)t \quad (2.14)$$

Формула 3.5 включає:

- Несучу компоненту $V_H \sin \omega_H t$, яка є немодульованою.
- Сумарну і різницеву компоненти $V_M \cos(\omega_H + \omega_M)t$ та $V_M \cos(\omega_H - \omega_M)t$.

Ці компоненти називають верхньою і нижньою боковими частотами.

Якщо побудувати двосторонній спектр МС, бічні складові виглядатимуть як дві синусоїди, розташовані на частотах $\pm(\omega_H + \omega_M)$. Отриманий сигнал називається АМ. Його спектр, зображений на рисунку 2.5, є результатом згортки частотних складових ω_H та ω_M .

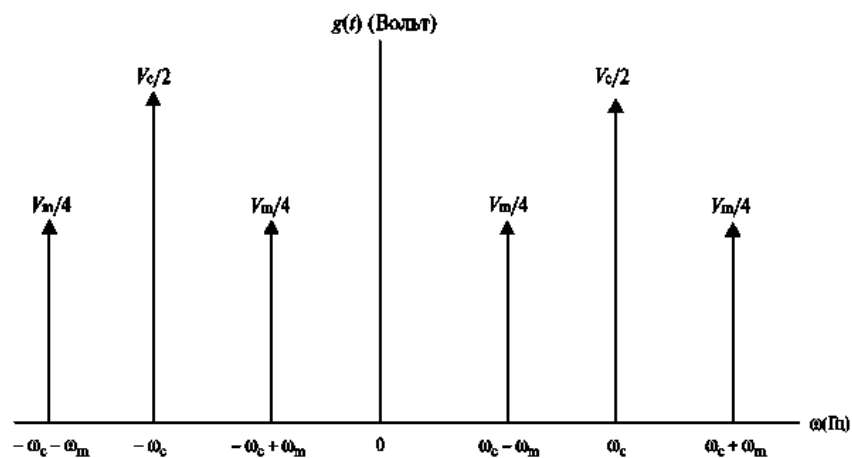


Рис. 2.5. – Частотний спектр АМ-сигналу

На практиці АМ-сигнал зазвичай має складну структуру й містить набір частот, що називається смугою частот. Саме в цій області частот міститься інформація, що передається. Частотний спектр АМ-сигналу часто зображають так, щоб було видно базовий сигнал, як це наведено на рисунку 2.6. Найвища частота базового сигналу називається частотою зрізу.



Рис. 2.6. – Спектр АМ-сигналу

Смуга частот АМ-сигналу вдвічі ширша за смугу частот самого МС. Щоб уникнути накладення спектрів, інформаційний сигнал повинен розташовуватися в області значно нижчих частот, ніж частота несучої. На рисунку 2.6 видно, що для повного виключення накладення позитивних і негативних частот необхідно виконувати умову $\omega_H \geq 2\omega_K$.

У часовій області сигнал можна описати як синусоїду з кутовою частотою, пропорційною частоті несучої. Миттєве значення амплітуди синусоїди змінюється в межах $V_U \pm V_W$. Завдяки цій зміні амплітуди метод отримав назву АМ. Графік функції $g(t)$ у часовій області наведено на рисунку 2.6.

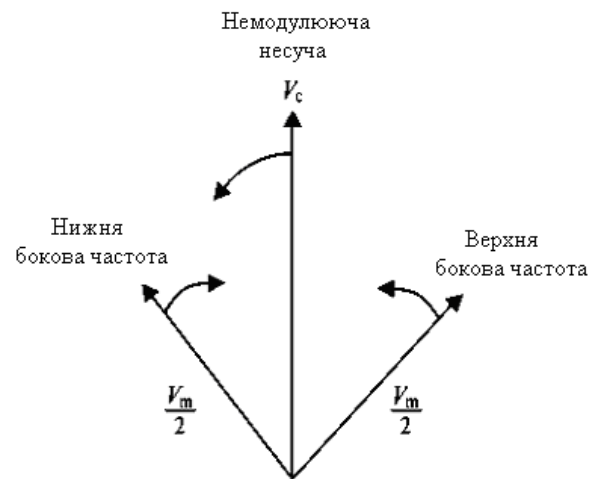


Рис. 2.7. – Векторна діаграма АМ-сигналу

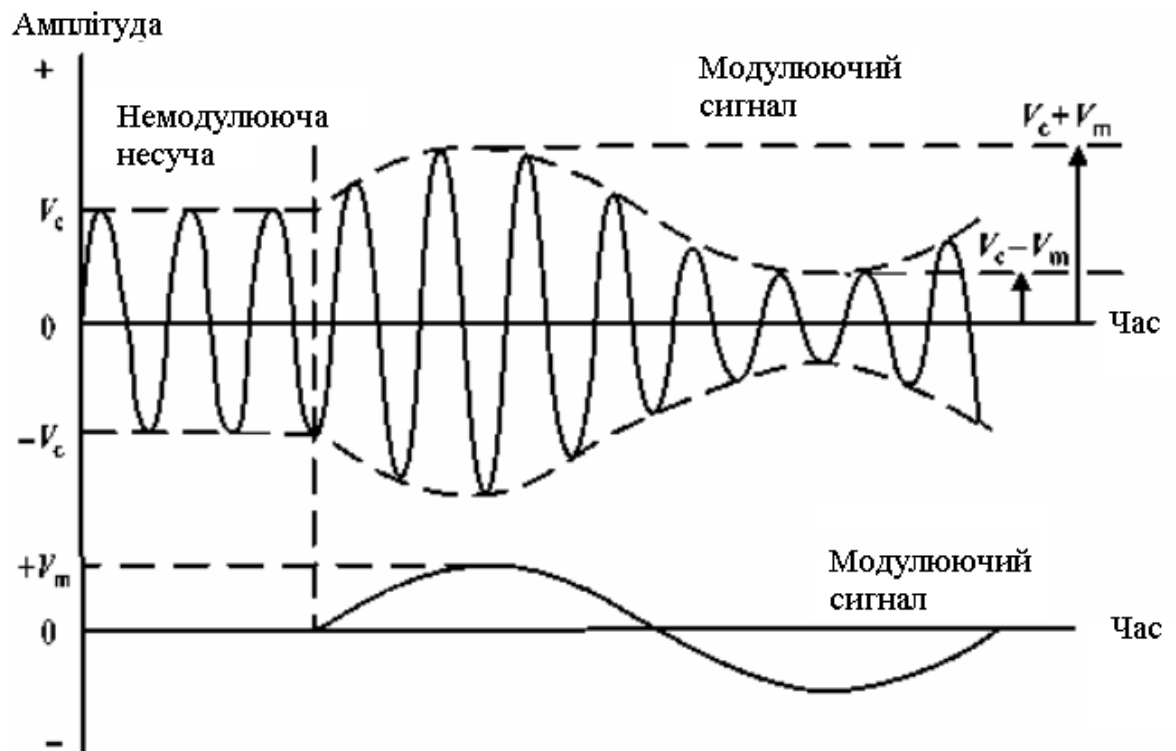


Рис. 2.8. – Представлення АМ-сигналу в часовій області

Відношення $\frac{V_M}{V_H}$ називається КМ та позначається буквою m :

$$m = \frac{V_M}{V_H} \quad (2.15)$$

Цю формулу можна підставити у формулу 3.5, отримуючи більш загальну формулу для АМ-сигналу:

$$g(t) = (1 + m \sin \omega_m t) V_H \sin \omega_H t \quad (2.16)$$

2.6. Використання MATLAB для реалізації процесу АМ та демодуляції під впливом різного роду завад

У середовищі MATLAB доступний широкий набір пакетів прикладних програм, які дозволяють виконувати різноманітну обробку даних.

Зокрема, пакет “Communications” пропонує інструменти для виконання як аналогової, так і цифрової модуляції та демодуляції.

В аналоговій модуляції вхідний сигнал задається у вигляді відліків певної функції.

У випадку цифрової модуляції вхідний сигнал представлений у формі послідовності символів.

МС може бути заданий у двох формах:

- У реальній формі.
- У вигляді комплексної огибаючої.

У MATLAB для виконання цих завдань передбачено вісім ключових функцій:

- ``ammod`` – АМ.
- ``amdemod`` – амплітудна демодуляція.
- ``fmmod`` – FM.
- ``fmdemod`` – частотна демодуляція.
- ``pmmod`` – РМ.
- ``pmdemod`` – фазова демодуляція.
- ``ssbmod`` – односмугова АМ.
- ``ssbdemod`` – односмугова амплітудна демодуляція.

Зважаючи на те, що в даній роботі досліджується АМ, основна увага буде приділена командам `ammod` (модуляція) і `amdemod` (демодуляція).

Використання функції ``ammod`` для АМ, синтаксис даної функції наведено у додатку А у лістингу А.1.

Функція для АМ має вигляд: $y = \text{ammod}(x, F_c, F_s, \text{ini_phase}, \text{carramp})$
де x – МС, F_c – несуча частота, F_s – частота дискретизації, ini_phase – ПФ несучої, carramp – амплітуда НС.

Ця функція дозволяє легко реалізувати АМ сигналу відповідно до заданих параметрів.

Використовуємо вхідний інформаційний сигнал x для АМ НС з частотою F_c . НС та МС x мають однакову частоту дискретизації F_s . МС задається з ПФ ini_phase та амплітудою НС carramp .

Вхідні параметри x , F_c і F_s повинні відповідати умові $F_s > 2(F_c + BW)$, де BW – ширина спектра МС x . Смуга спектра АМ-сигналу вдвічі ширша, ніж у МС.

Наведемо приклад реалізації АМ за допомогою функції ``ammod`` пакету “Communications” із використанням параметра ``carramp`` (за замовчуванням його значення дорівнює нулю). Результат представлено у вигляді графіка МС (див. рисунок 2.9, а) та АМ-сигналу (див. рисунок 2.9, б). У додатку А у лістингу А.2 наведено програмний код для реалізації АМ.

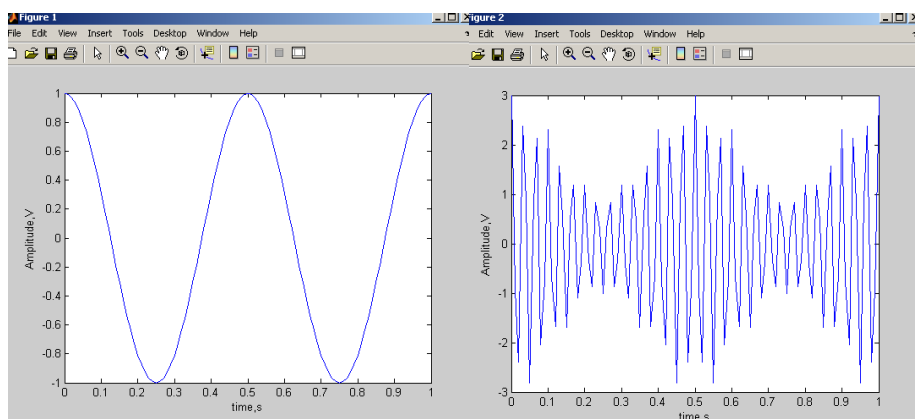


Рис. 2.9. – (а) – Графік МС, (б) – Графік АМ-сигналу

Функція ``amdemod`` використовується для демодуляції АМ-сигналу. У додатку А у лістингу А.3 наведено її синтаксис.

``z = amdemod(y, Fc, Fs)`` демодулює АМ-сигнал y , що має частоту несучої F_c і частоту дискретизації F_s . Параметри ``ini_phase`` і ``carriamp`` задають ПФ та амплітуду несучого.

У процесі демодуляції використовується фільтр Баттерворта нижніх частот, програмний код із використанням даного фільтру наведено у лістингу А.4 у додатку А.

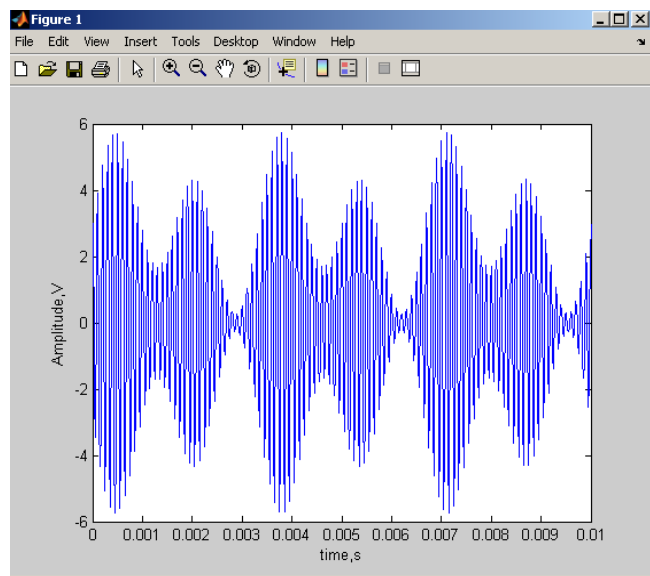


Рис. 2.10. – АМ суми синусоїд

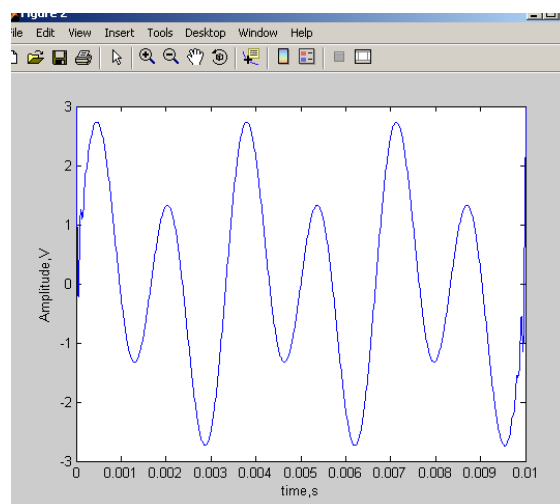


Рис. 2.11. – Амплітудна демодуляція

Для генерації БГШ використовується функція `normrnd` (див. додаток А, лістинг А.5).

Нижче наведено опис даної функції з різними параметрами:

- `R=normrnd(MU, SIGMA)` – Генерує шум із середнім `MU` та стандартним відхиленням `SIGMA`.
- `R=normrnd(MU, SIGMA, v)` – Генерує масив нормального розподілу за параметрами `MU` та `SIGMA`, розміром, визначеним вектором `v`.
- `R=normrnd(MU, SIGMA, m, n)` – Створює матрицю розміром `m*n`.

У додатку А у лістингу А.6 наведено приклад генерування БГШ.

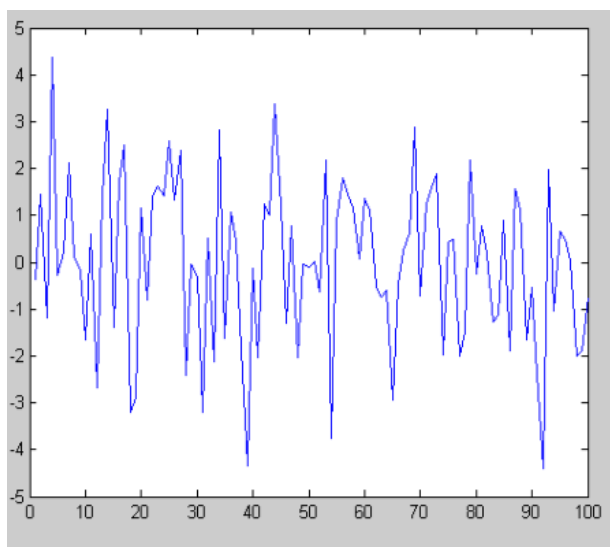


Рис. 2.12. – БГШ

Для аналізу спектру сигналу використовується функція ДПФ – `fft`, синтаксис, якої подано у додатку А у лістингу А.7.

Нижче наведено детальний опис даної функції:

- `Y=fft(X)` – Обчислює ДПФ для вектора `X`. Якщо `X` – матриця, ДПФ обчислюється для кожного стовпця.
- `Y=fft(X, n)` – Повертає ДПФ із `n`-точок. Якщо довжина `X` менша за `n`, сигнал доповнюється нулями.
- `Y=fft(X, n, dim)` – Виконує ДПФ уздовж заданого виміру `dim`.

2.7. Алгоритм програми експерименту

Під час виконання експериментальних досліджень за допомогою комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB необхідно визначити чітку послідовність операцій для роботи ПЗ. Ця послідовність реалізується у вигляді блок-схеми (див. рисунок 2.13).

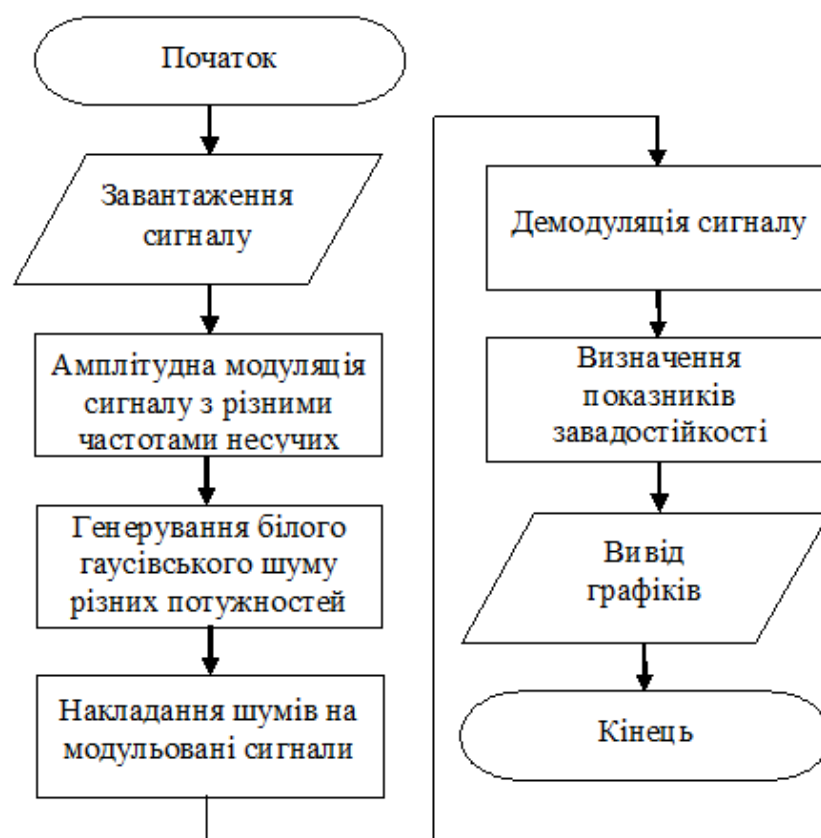


Рис. 2.13. – Алгоритм роботи ПЗ

Етапи виконання алгоритму включають наступні дії:

- Створення ТС для передавання через КЗ.
- Виконання МС із застосуванням функції ``ammod``.
- Генерація БГШ різної інтенсивності із використанням функції ``normrnd``.
- Додавання шуму до МС.
- ДМС із застосуванням функції ``amdemod``.
- Розрахунок енергії сигналу та вихідного шуму.

- Аналіз достовірності отриманих даних.
- Побудова графічних залежностей, зокрема:
- Сигнал у часовій області.
- Часова залежність згенерованого шуму.
- Часова характеристика МС.
- Сума МС та шуму у часовій області.
- ДМС у часовій області.
- Частотні складові усіх сигналів.
- Залежність SNR від параметрів вхідного сигналу на несучих частотах.
- Вплив рівня шуму на енергетичні характеристики вихідного сигналу.
- Взаємозв'язок SNR вхідного та вихідного сигналів.
- Криві виявлення сигналів при його відомих характеристиках.

На основі цього алгоритму буде проведено експеримент, результати якого представлені у розділі 3.

2.8. Висновок до розділу 2

В другому розділі кваліфікаційної роботи представлено математичну модель сигналу в КЗ СПІ з АМ. Модель описує сигнал як адитивну суміш корисного сигналу та завад, що моделюються БГШ. Також, представлено схему проведення експерименту, детально описано АМ, проаналізовано ключові функції MATLAB, які застосовуються для реалізації експериментального дослідження, а також розроблено алгоритм роботи ПЗ.

РОЗДІЛ 3.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Результати моделювання роботи КЗ із АМ в середовищі MATLAB

Дослідження процесу модуляції виконуватимемо покроково відповідно до блок-схеми.

На першому етапі генеруємо ТС, який піддаватимемо модуляції. Для цього використовуємо код наведений у додатку А у лістингу А.8.

За допомогою MATLAB виводимо згенерований ТС у вигляді графіку. Код для побудови графіка подано у додатку А в лістингу А.9.

Результат виконання цього коду наведено на рисунку 3.1.

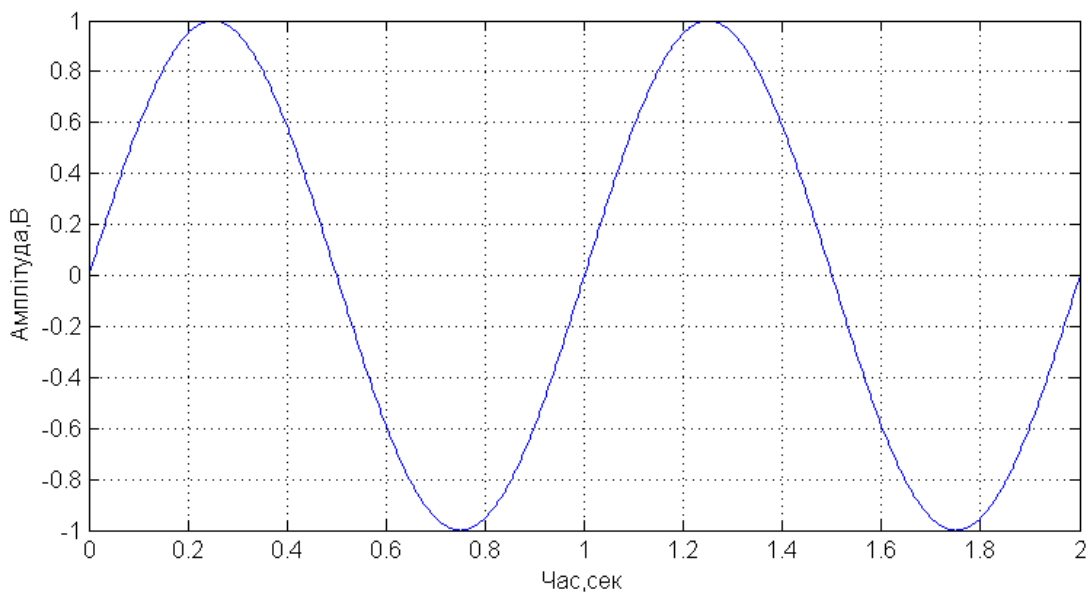


Рис. 3.1. – Візуалізація згенерованого ТС

Для передачі ТС на відстань потрібно перетворити його таким чином, щоб він мав фіксовану несучу частоту. Це дозволяє відрізнити ТС від інших у КЗ. Для цього застосовується АМ, яка модифікує ТС у вигляді ГК, описаного рівнянням 3.1. Модуляцію виконуємо за допомогою команди ``ammod``.

Спочатку задаються параметри частоти та амплітуди несучої частоти F_c і встановлюється частота дискретизації F_s вхідного сигналу. Ці параметри підставляються у функцію модуляції. Для візуалізації результатів використовується функція `figure`, яка будує графіки модульованих ТС, отриманих за допомогою АМ. Приклади таких графіків наведено на рисунках 3.2-3.4, а код для їх побудови наведено у додатку А у лістингу А.10.

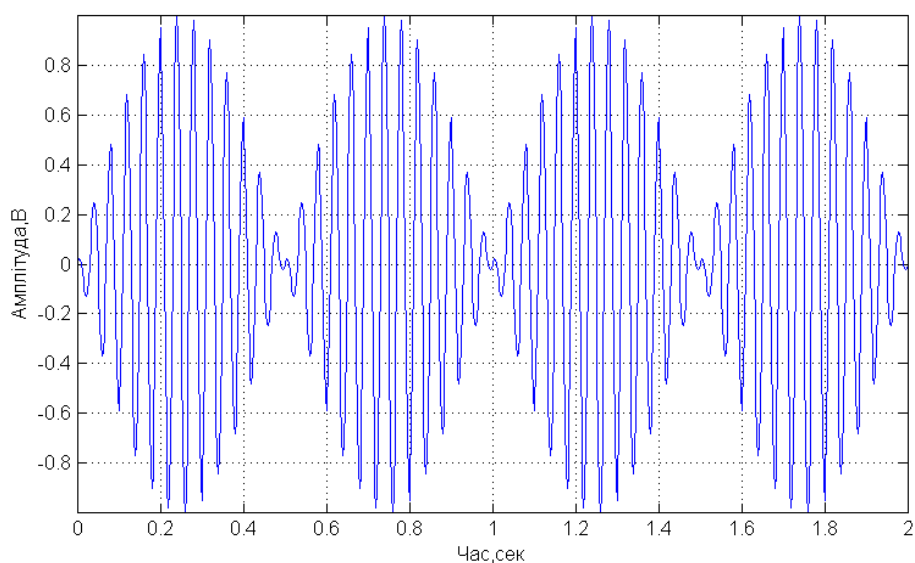


Рис. 3.2. – АМ (несуча 50 Гц)

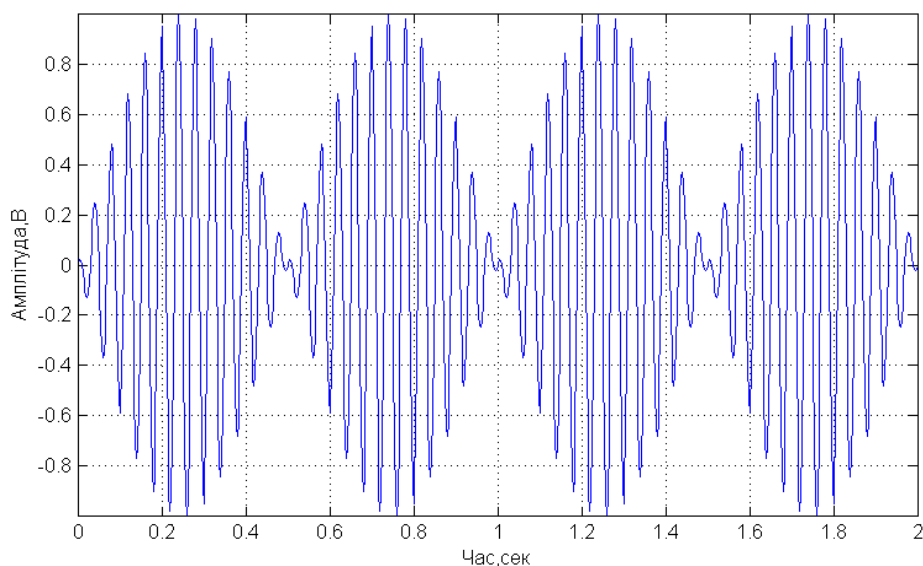


Рис. 3.3. – АМ (несуча 100 Гц)

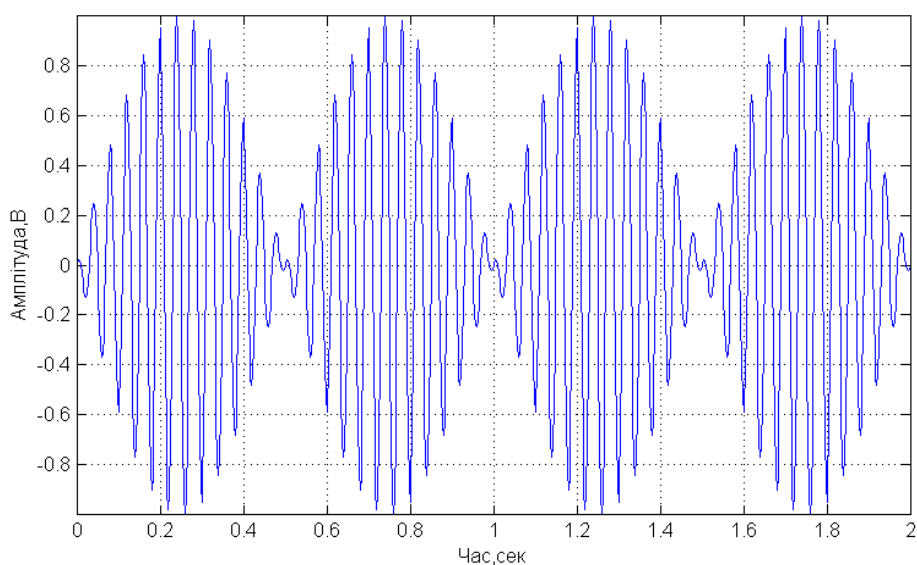


Рис. 3.4. – АМ (несуча 150 Гц)

Для оцінки завадостійкості КЗ з такою модуляцією на МС буде додано БГШ. Це дозволить проаналізувати вплив шумів на передані сигнали й визначити їхню якість у зашумлених умовах.

Для генерації ДБГШ використовується функція ``normrnd(a, b, c, d)``, де параметри мають такі значення:

- a – Математичне сподівання.
- b – СКВ.
- c – Кількість відліків.
- d – Кількість генерацій.

У додатку А у лістингу А.11 наведено генерацію БШ.

На рисунку 3.5 відображено графік БГШ із СКВ – 0,2 В та математичним сподіванням – 0.

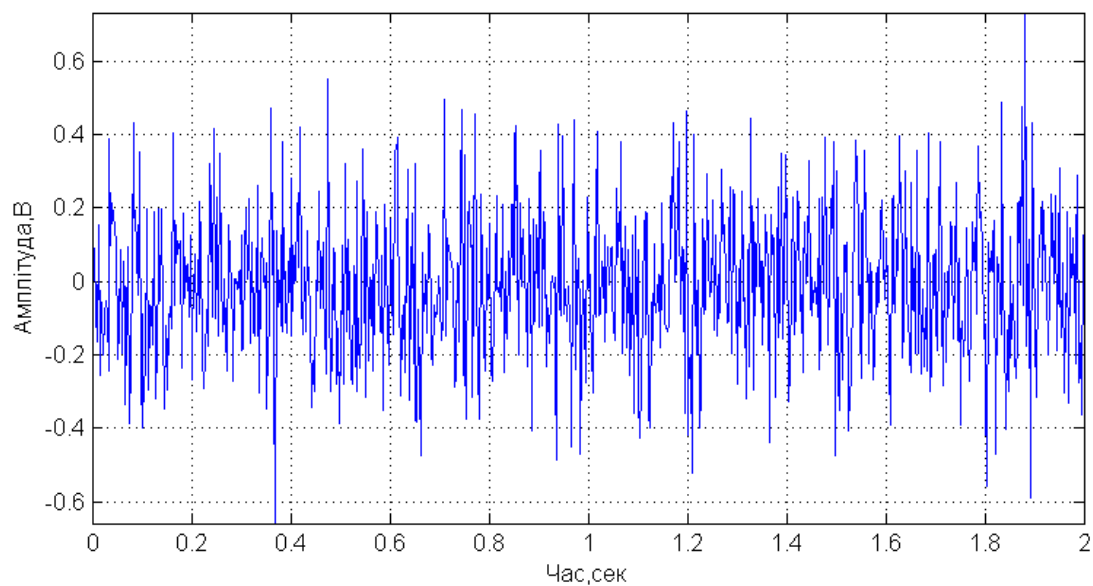


Рис. 3.5. – БГШ з СКВ – 0,2

Застосовуючи цикл `for`, здійснюється адитивне накладення шуму на МС (див. додаток А, лістинг А.12). Графіки отриманих сум подані на рисунках 3.6-3.8.

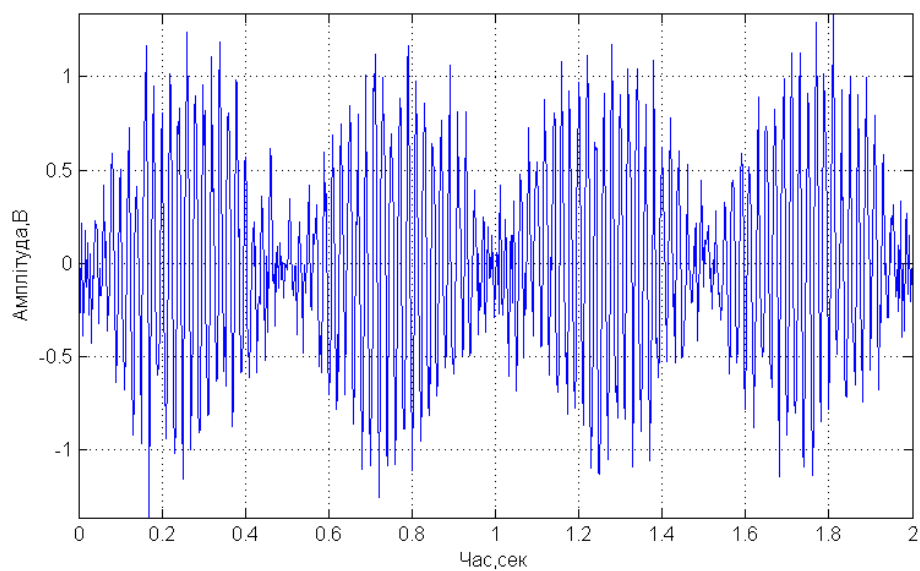


Рис. 3.6. – Сума МС (50Гц) та БГШ

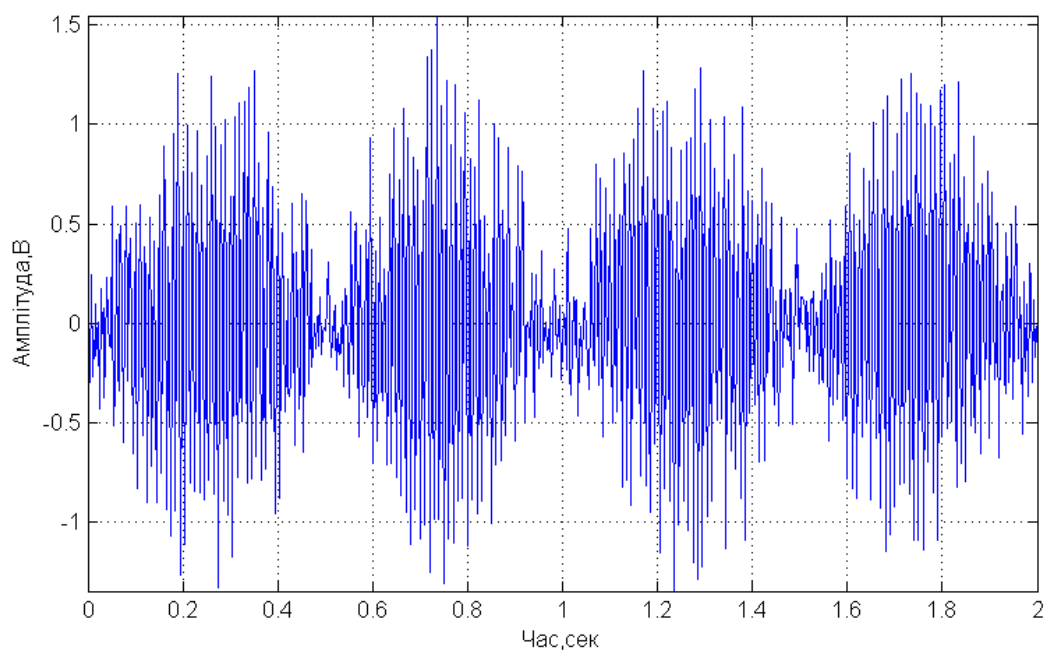


Рис. 3.7. – Сума МС (100Гц) та БГШ

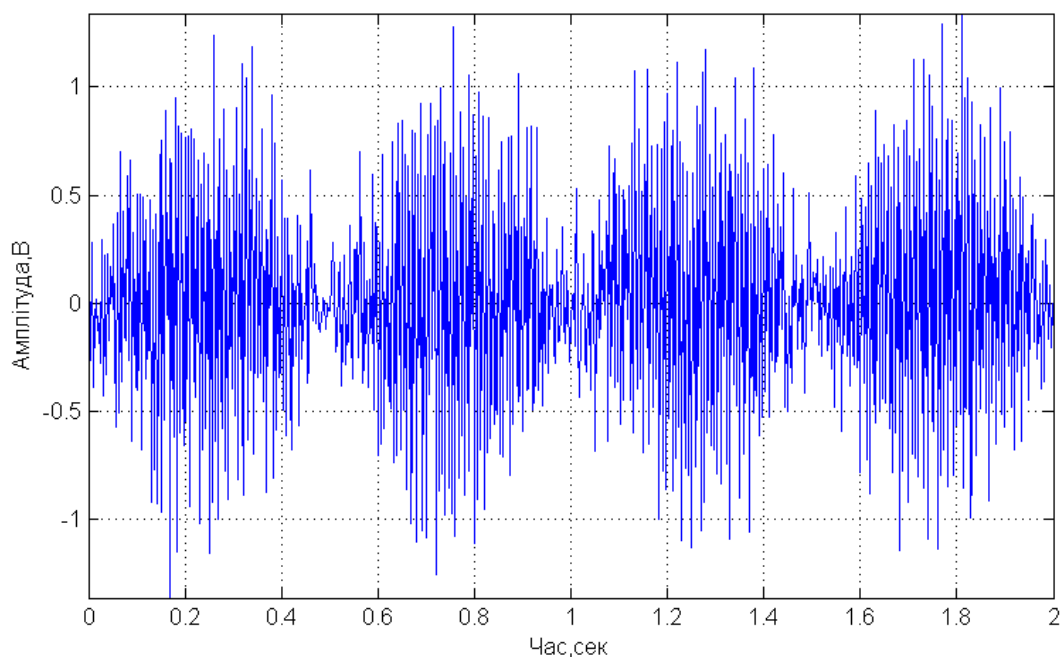


Рис. 3.8. – Сума МС (150Гц) та БГШ

Для визначення завадостійкості модуляції проводиться ДМС за допомогою функції `amdemod`. У додатку А у лістингу А.13 наведено програмний код для ДМС.

Графіки ДМС подано на рисунках 3.9-3.11.

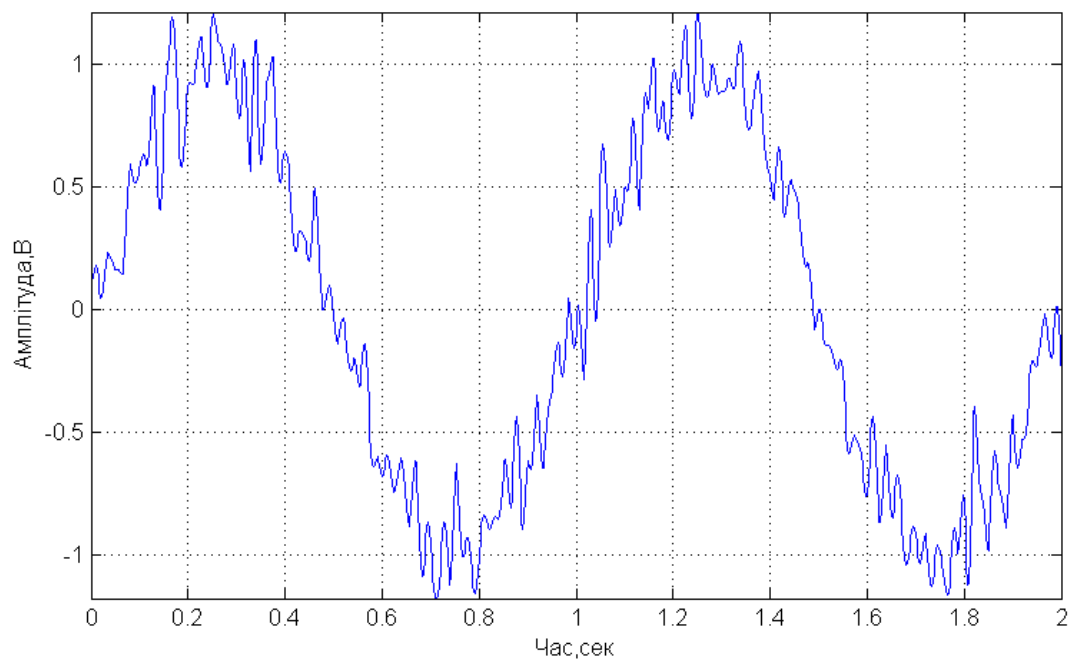


Рис. 3.9. – ДМС (несуча 50 Гц)

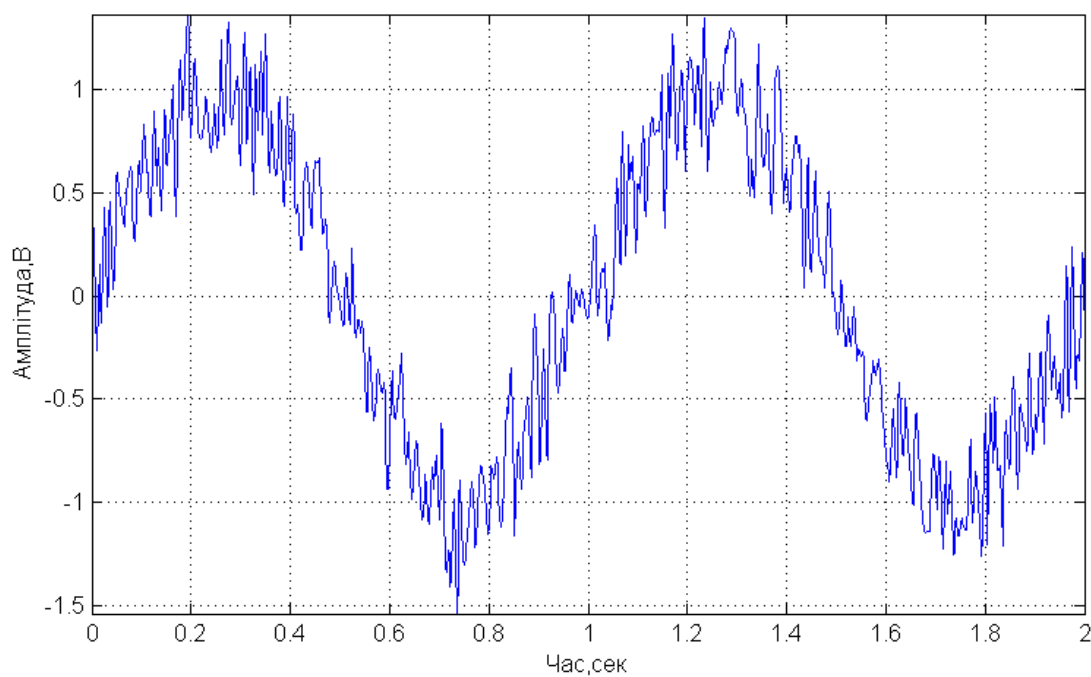


Рис. 3.10. – ДМС (несуча 100 Гц)

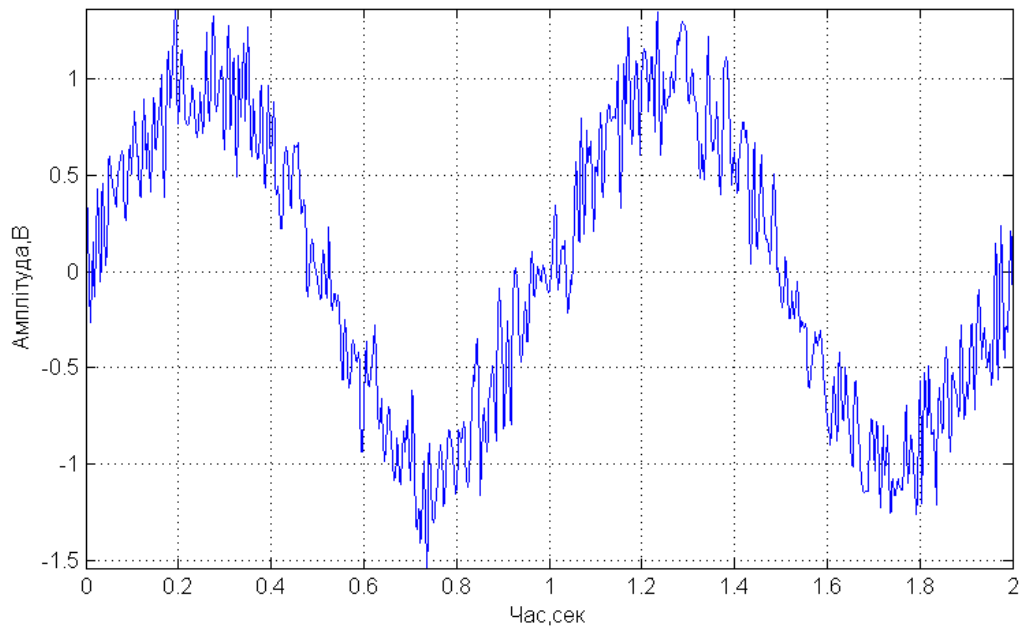


Рис. 3.11. – ДМС (несуча 150 Гц)

3.2 Результати оцінювання завадостійкості КЗ із АМ

Основними параметрами для оцінки завадостійкості сигналу при модуляції є SNR та достовірність передачі інформації.

SNR обчислюється за формулою 3.1:

$$q = 10 \log \left(\frac{E_{\text{СИГНАЛУ}}}{E_{\text{ВИХ.ШУМУ}}} \right) \quad (31)$$

де $E_{\text{СИГНАЛУ}}$ – енергія сигналу, $E_{\text{ВИХ.ШУМУ}}$ – енергія вихідного шуму.

Для визначення енергії сигналу потрібно знайти його АЧХ. Сума квадратів гармонік сигналу дає значення його енергії (див. формула 4.2):

$$E = |A_n|^2 \quad (3.2)$$

де A_n – амплітуда n -ої гармоніки.

Спектральні складові сигналу обчислюються із використанням ДПФ із застосуванням функції `[s,f]=dft(a,b,c)` (див. додаток А, лістинг А.14), де: s – масив амплітуд ГК, f – частоти відповідних ГК, a – масив вхідного ТС, b – кількість відліків сигналу.

Графік спектр ТС, створений із використанням функції `bar` представлено на рисунку 3.12.

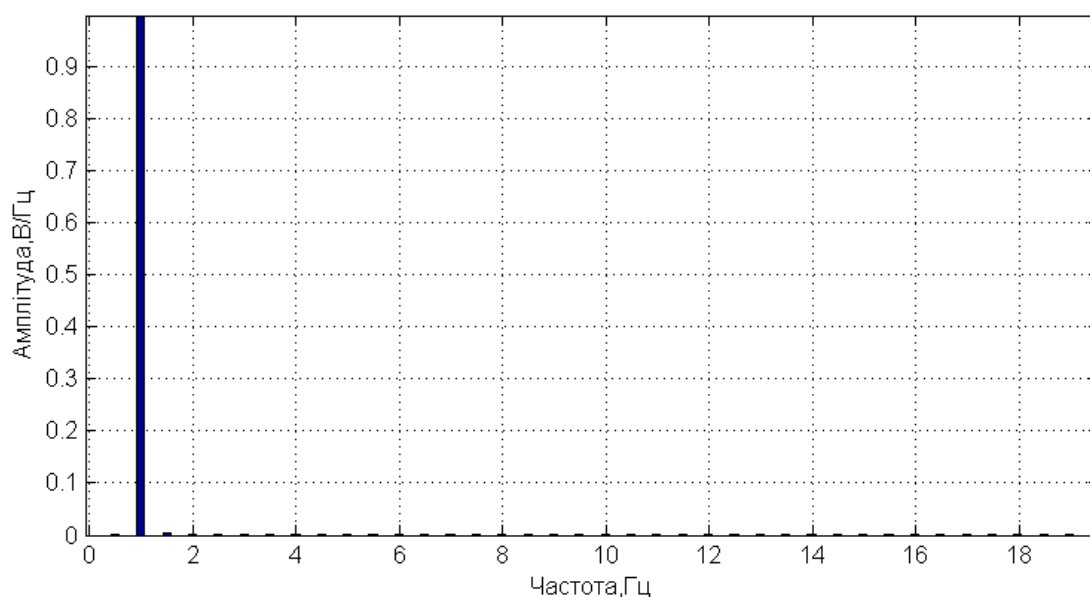


Рис. 3.12. – Спектр ТС

Створимо графіки для сигналів з модуляцією (як із шумом, так і без нього), а також для ДМС, використовуючи наведені лістинги А.15-А.17 у додатку А. Відповідні графіки представлені на рисунках 3.13-3.15 (МС), 3.16-3.18 (МС під впливом шуму) та 3.19-3.21 (ДМС).

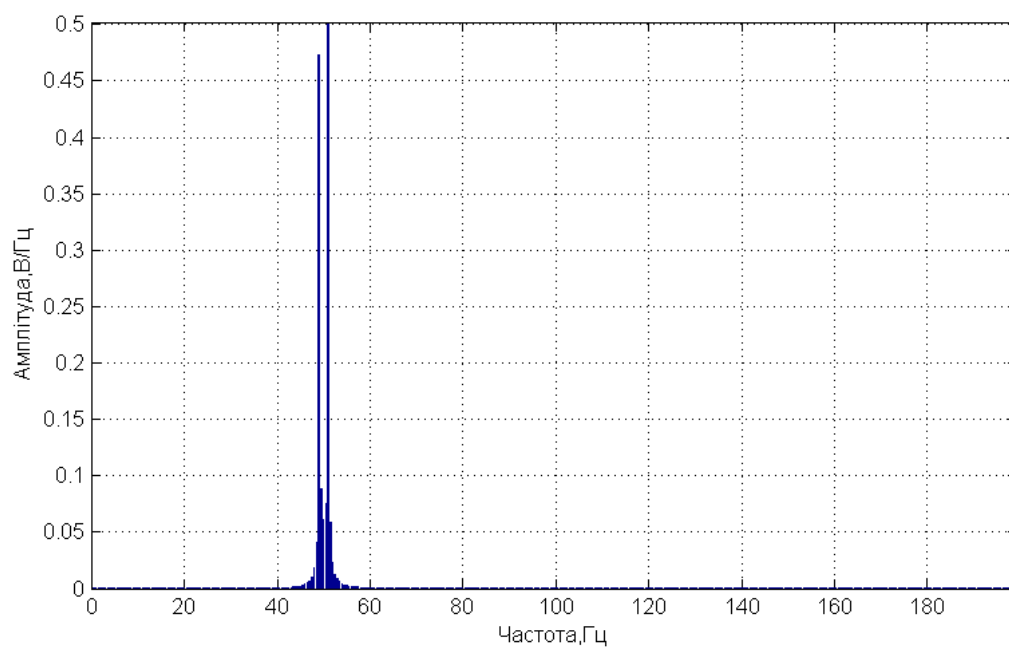


Рис. 3.13. – Спектр МС (несуча 50 Гц)

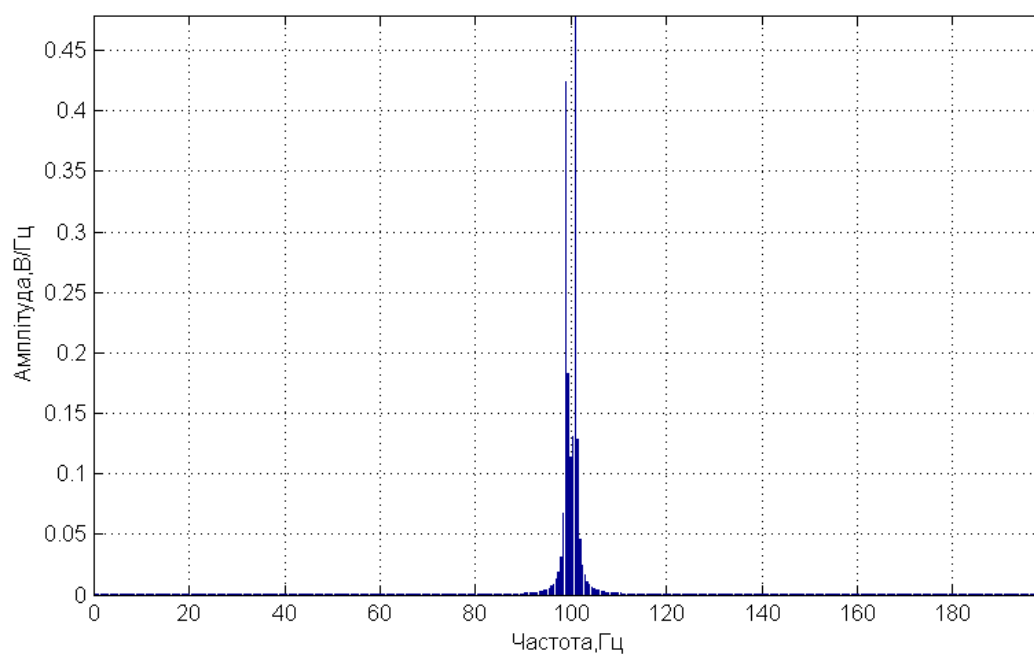


Рис. 3.14. – Спектр МС (несуча 100 Гц)

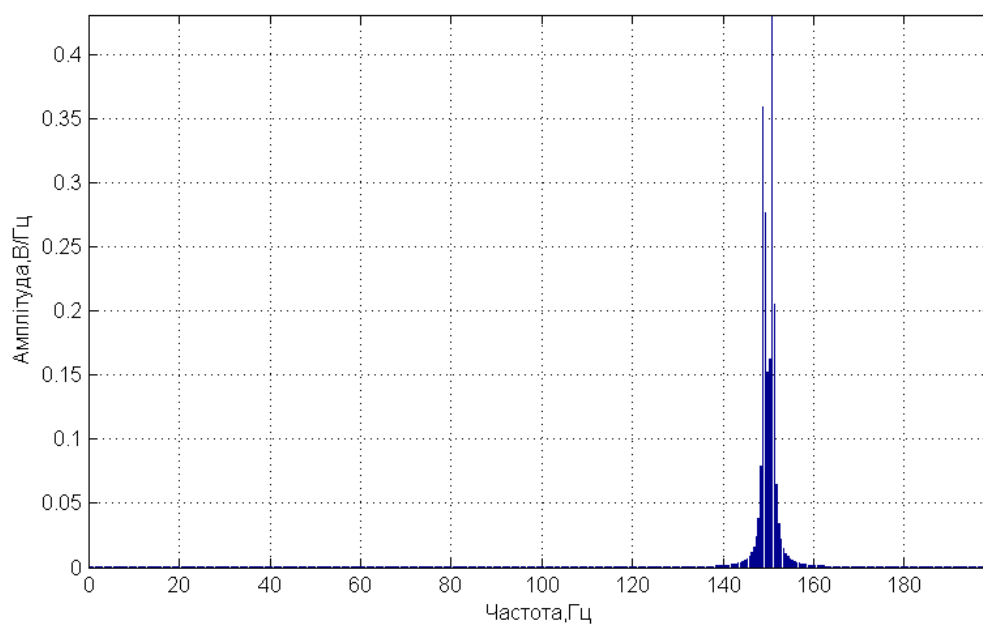


Рис. 3.15. – Спектр МС (несуча 150 Гц)

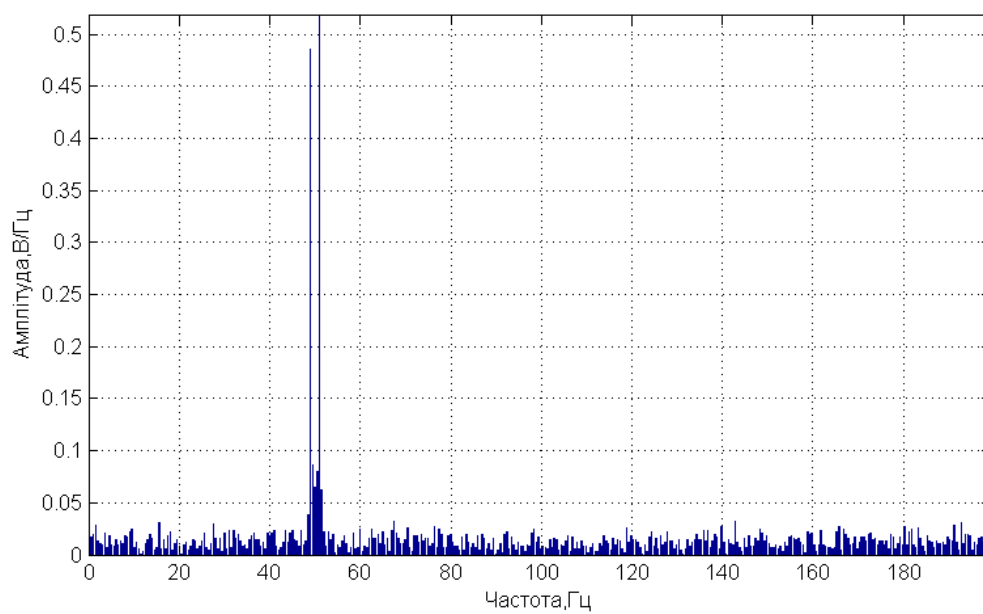


Рис. 3.16. – Спектр МС з шумами (несуча 50 Гц)

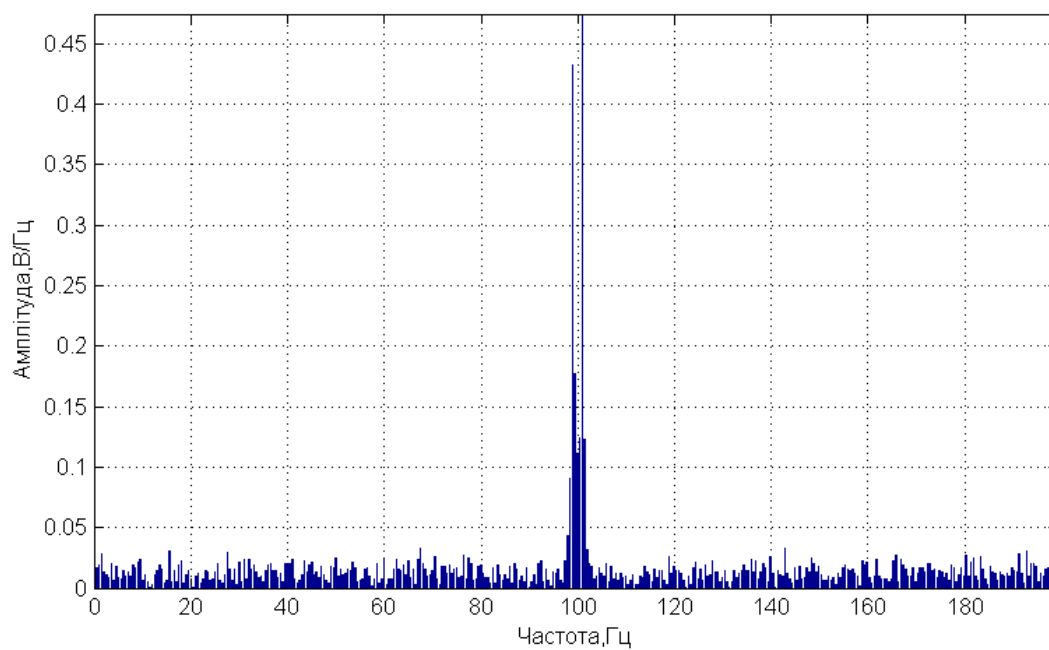


Рис. 3.17. – Спектр МС з шумами (несуча 100 Гц)

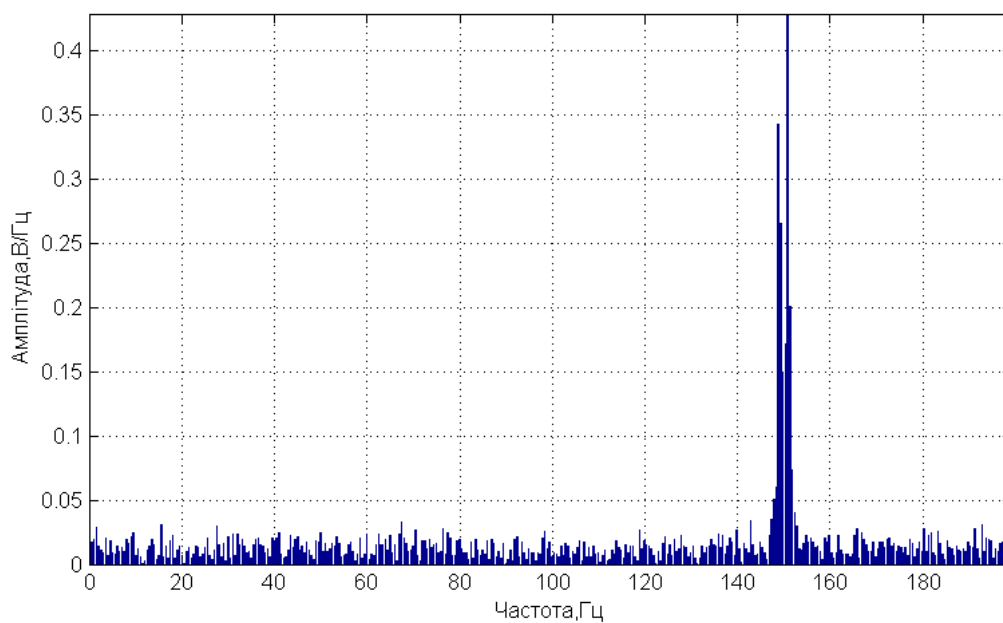


Рис. 3.18. – Спектр МС з шумами (несуча 150 Гц)

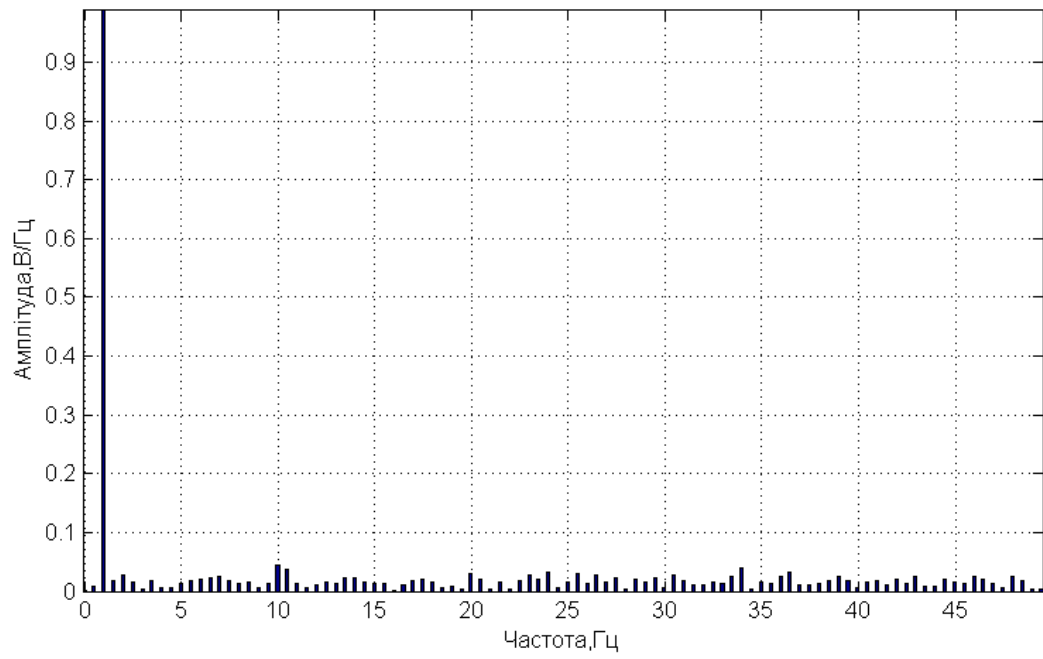


Рис. 3.19. – Спектр ДМС (несуча 50 Гц)

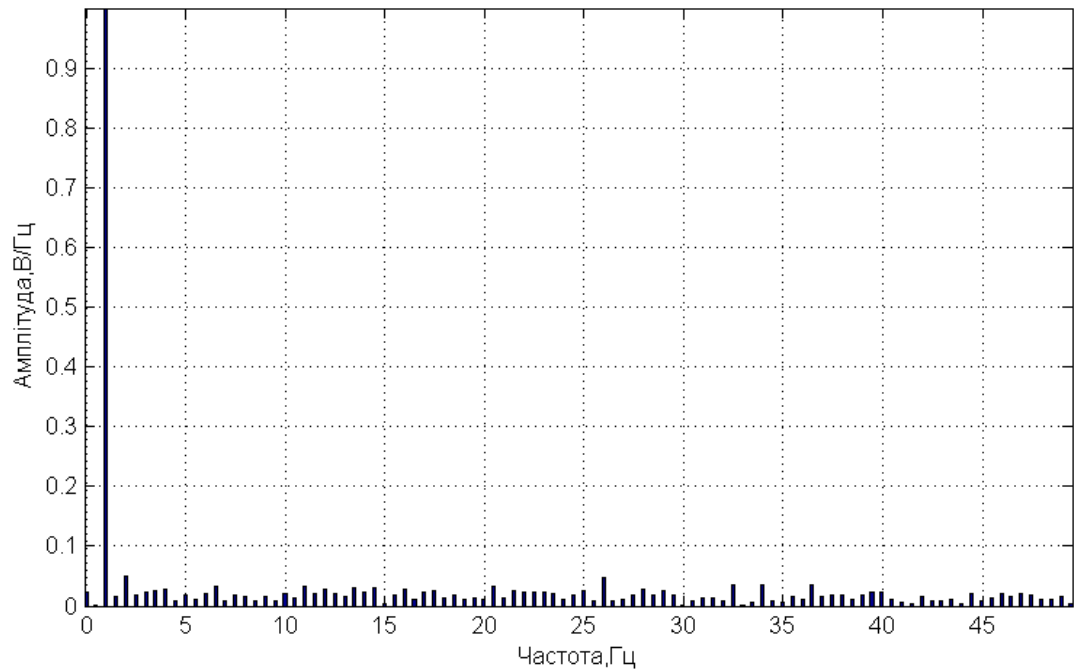


Рис. 3.20. – Спектр ДМС (несуча 100 Гц)

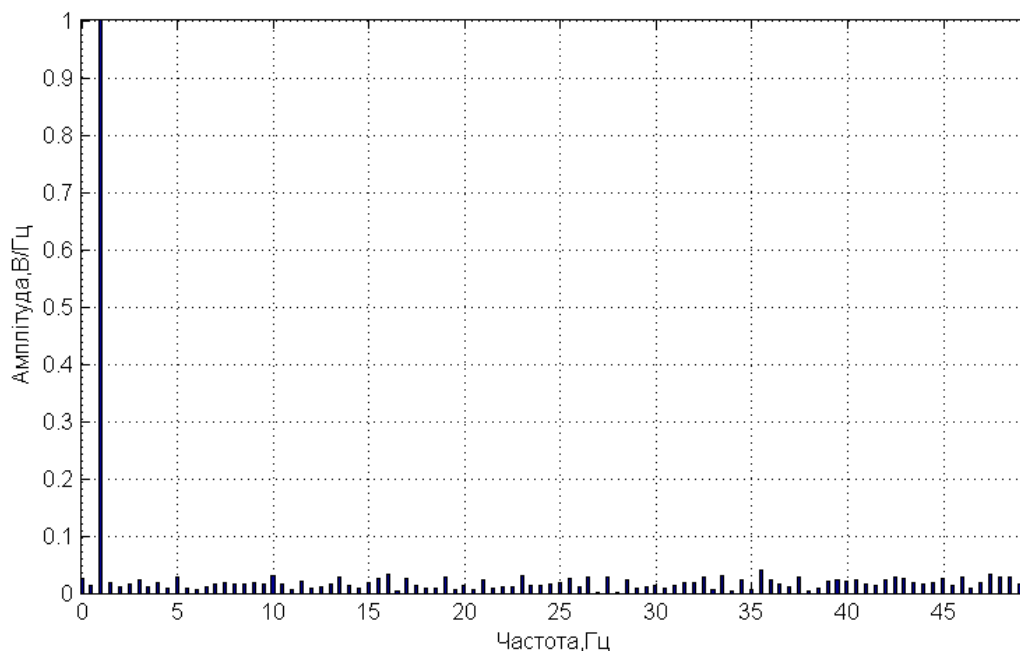


Рис. 3.21. – Спектр ДМС (несуча 150 Гц)

Для обчислення енергії переданого сигналу використовується формула (3.1), реалізована кодом наведеним у додатку А у лістингу А.18:

Для ДМС енергія розраховується за аналогічною формулою (див. додаток А, лістинг А.18):

На основі графіків (див. рис. 3.12 та 3.19-3.21) зрозуміло, що складові спектра сигналу змінюються через шумовий вплив, який додає енергію до корисного сигналу. Це обраховується як різниця між енергією вхідного та ДМС.

Для аналізу вихідного шуму використовується програмний код, який подано у лістингу А.19 у додатку А, результати якого представлені на рисунку 3.22.

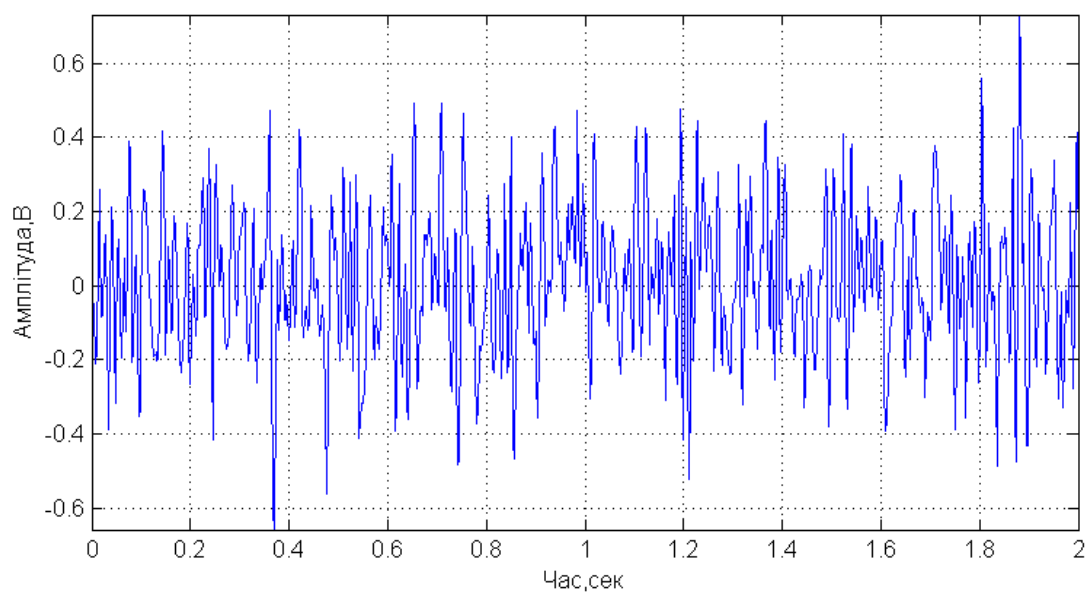


Рис. 3.22. – Вихідний шум ДМС

Програмний код для побудови графіку залежності енергії вихідного шуму від СКВ вхідного ДБГШ наведено у лістингу А.20 у додатку А.

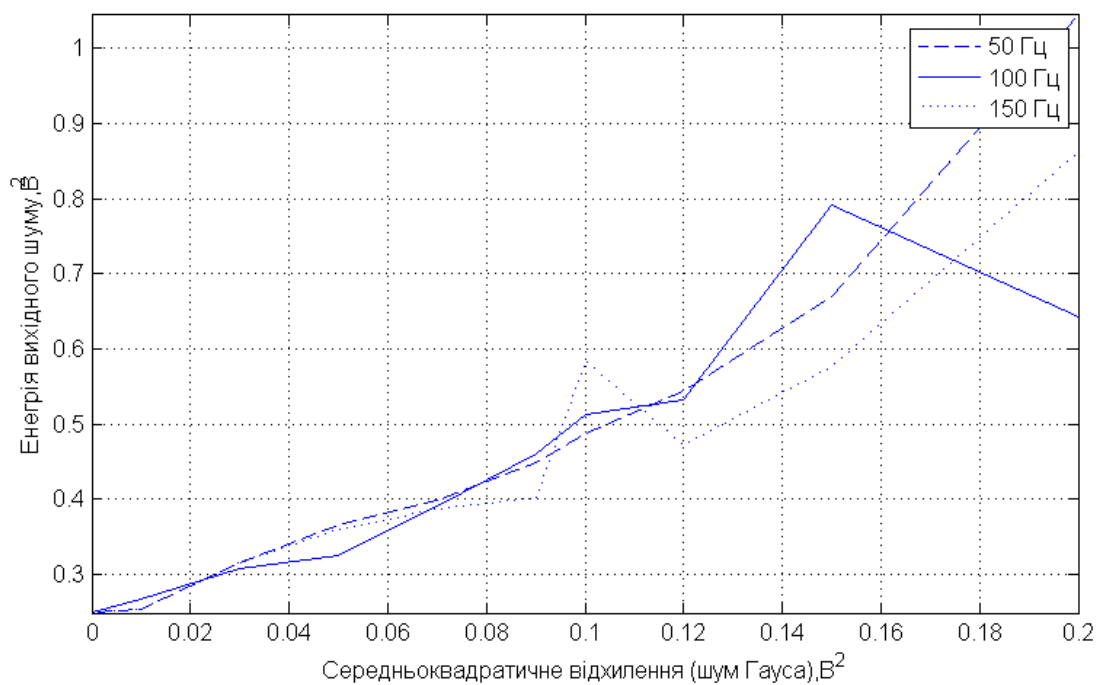


Рис. 3.23. – Графік залежності енергії вихідного шуму від СКВ вхідного ДБГШ

При збільшенні СКВ ДБГШ енергія вихідного шуму зростає експоненціально, що вказує на низьку завадостійкість системи.

У лістингу A.21 у додатку А наведено код для побудови графіка залежності SNR від СКВ вхідного ДБГШ.

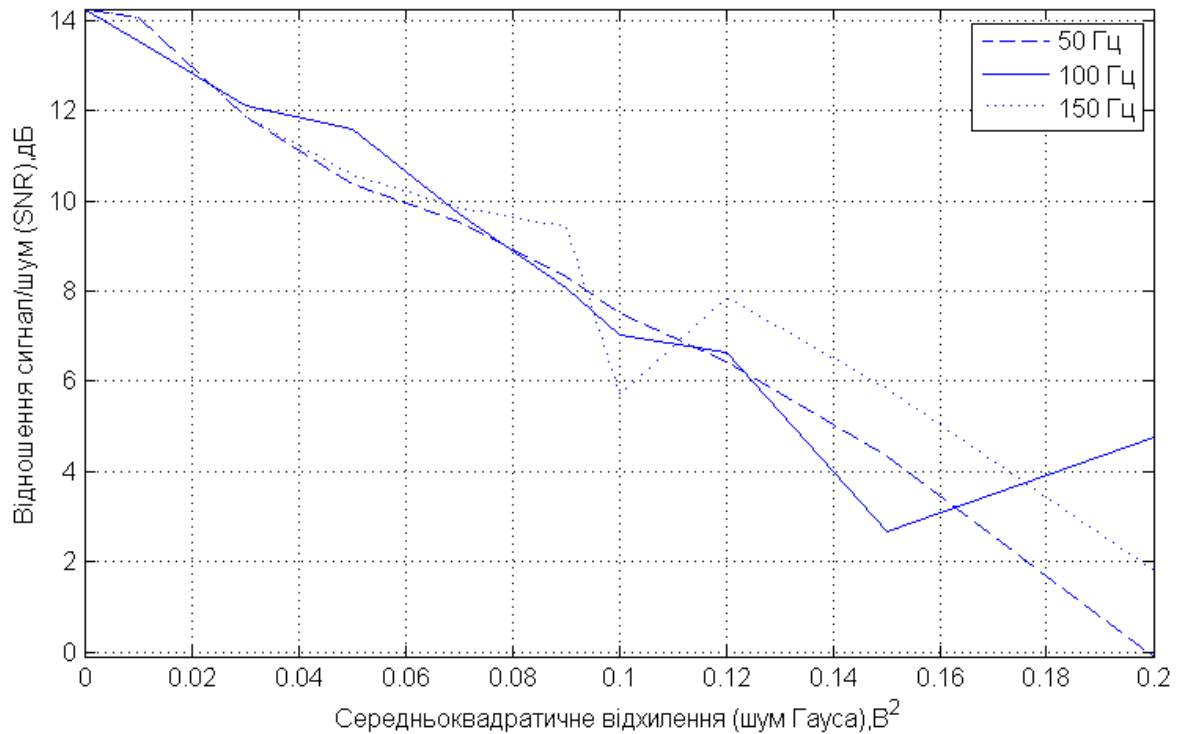


Рис 3.24. – Графік залежності SNR від СКВ ДБГШ

При збільшенні СКВ вхідного БГШ (0.001-0.07) SNR зменшується, причому величина цього зменшення залежить від інтенсивності шуму та частоти несучої.

Передача даних у КЗ оцінюється через SNR, яке залежить від СКВ вихідного сигналу. Для аналізу цієї залежності було розроблено програму, яка будує графік SNR залежно від СКВ.

Для обчислення СКВ застосовується формула 3.3:

$$E = |A_n|^2 \quad (3.3)$$

де N – кількість відліків, $M\{x\}$ – матсподівання різниці між вихідним і вхідним сигналами.

За допомогою цієї формули 3.3 реалізовано програму (див. додаток А, лістинг А.22), результати роботи якої наведено на рисунку 3.25.

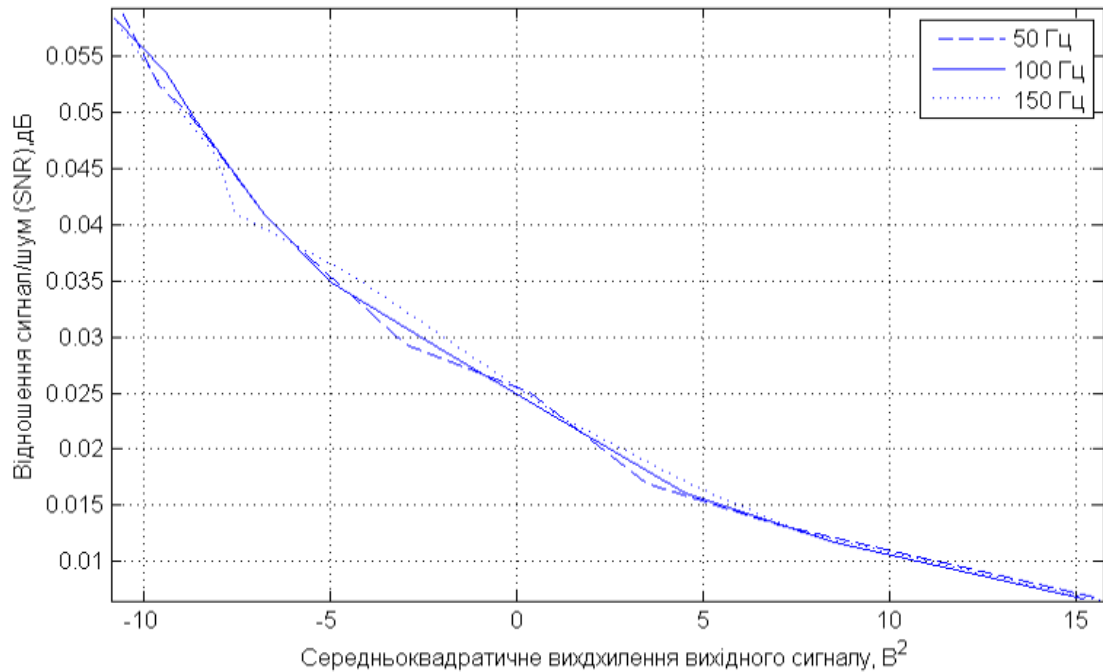


Рис. 3.25. – Залежність СКВ ДМС шуму від SNR

При зменшенні СКВ вхідного сигналу SNR вихідного сигналу зростає рівномірно для різних частот.

Щоб дослідити залежність між вхідним/вихідним SNR для кількох реалізацій БГШ, побудуємо відповідний графік (див. додаток А, лістинг А.23). Результат наведено на рисунку 3.26.

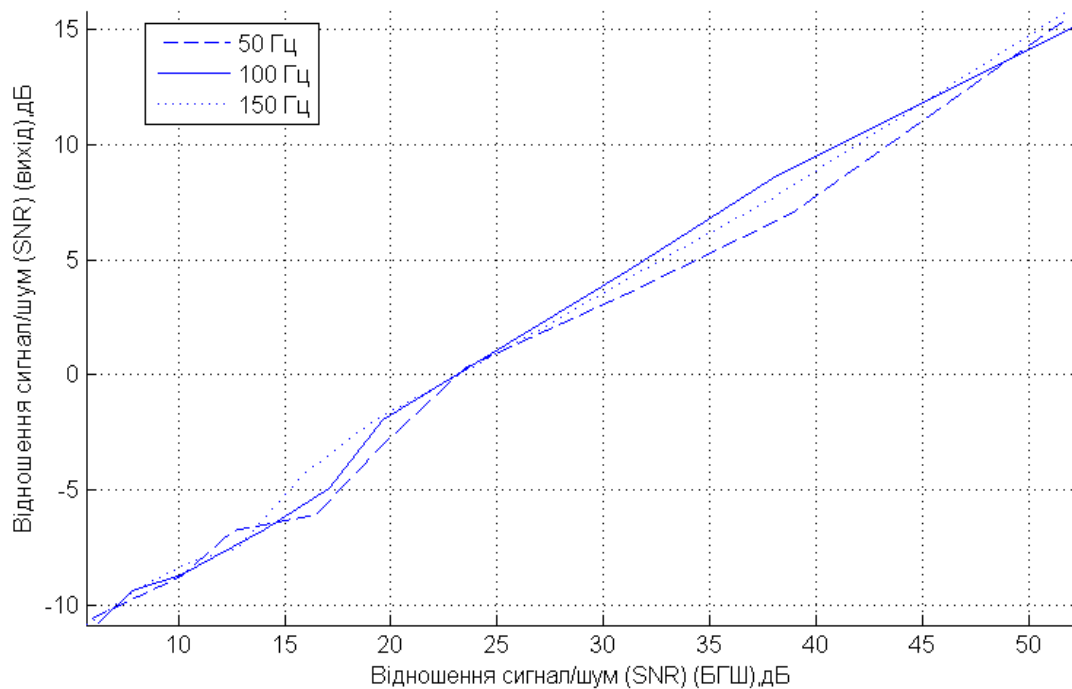


Рис. 3.26. – Залежність вхідного SNR від вихідного

З графіка видно, що зі збільшенням вхідного SNR вихідний SNR також зростає майже пропорційно, з коефіцієнтом співвідношення приблизно 2:1. Це співвідношення залишається стабільним для різних несучих частот.

3.3 Висновок до розділу 3

В третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання передачі сигналу на прикладі синусоїдального ТС із використанням АМ. Результати представлено у вигляді графіків із ключовими показниками, зокрема SNR та СКВ.

Встановлено, що зі збільшенням СКВ вхідного БГШ показник SNR, який характеризує завадостійкість каналу, зменшується. Ця залежність варіюється залежно від значень частот НС.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Пожежна сигналізація і зв'язок. Засоби гасіння пожеж. Протипожежне водопостачання. Первинні засоби пожежогасіння. Автоматичні засоби пожежогасіння на об'єктах галузі.

Швидке виявлення та сигналізація про виникнення пожежі, своєчасний виклик пожежних підрозділів та оповіщення про пожежу людей, що перебувають у зоні можливої небезпеки, дозволяє швидко локалізувати осередки пожежі, здійснити евакуацію та вжити необхідних заходів щодо гасіння пожежі. Тому підприємства повинні бути забезпечені засобами зв'язку та системами пожежної сигналізації та оповіщення.

Для передачі повідомлення про пожежу в будь-який час доби можна використовувати телефони спеціального та загального призначення, радіозв'язок, централізовані установки пожежної сигналізації. Системи оповіщення про пожежу повинні забезпечувати у відповідності з розробленими планами евакуації передачу сигналів оповіщення одночасно по всьому будинку (споруді) а при необхідності - послідовно або вибірково в окремі його частини (поверхи секції тощо). Кількість оповіщувачів (динаміків), їх розміщення та потужність повинні забезпечити необхідну чутність у всіх місцях перебування людей. Для передачі текстів оповіщення та керування евакуацією допускається використовувати внутрішні радіотрансляційні мережі. Приміщення, з якого здійснюється керування системою пожежного оповіщення, належить розміщувати на нижніх поверхах будівель, біля входу на сходові клітки, у місцях з цілодобовим перебуванням чергового персоналу.

Найбільш швидким та надійним засобом виявлення ознак займання та сигналізації про пожежу вважається автоматична установка пожежної сигналізації (АУПС), яка повинна працювати цілодобово. Залежно від схеми

з'єднання розрізняють променеві (радіальні) та кільцеві АУПС (рис. 4.1). Принцип роботи АУПС полягає в наступному: при спрацюванні хоча б одного зі сповіщувачів на приймально-контрольний прилад надходить сигнал "Пожежа".

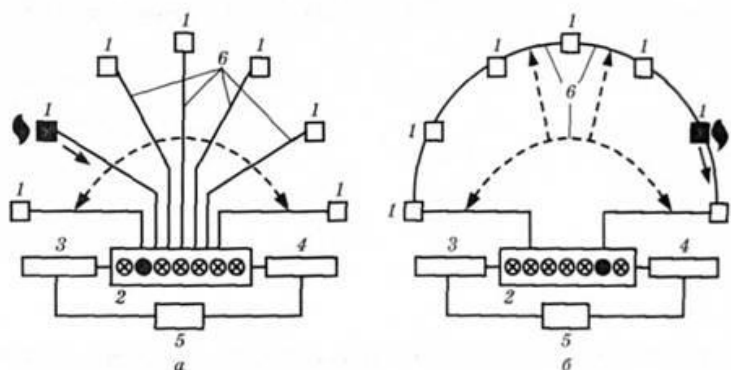


Рис. 4.1. Схеми променевого (а) та кільцевого (б) з'єднання в АУПС:

1 – сповіщувачі; 2 – приймально-контрольний прилад; 3 – блок живлення від електромережі; 4 – блок аварійного живлення; 5 - система перемикання живлення; 6 – з'єднувальні проводи

Засоби гасіння пожежі поділяють на первинні, автоматичні і спеціальні.

До *первинних засобів гасіння пожежі* належать пожежні відра і діжки з водою, ломовий інструмент (ніж, сокира, гак, лом, багор – розміщуються на пожежному щиті), ящики і відро з піском, совки і лопати, протипожежна тканина, ручні насоси, пожежні крани внутрішнього водопроводу з рукавами і стволами, ручні вогнегасники усіх типів.

Розміщують їх на спеціальних щитах. Щити встановлюють з таким розрахунком, щоб до найдальшої будівлі було не більше 100м, а від сховищ із вогненебезпечними матеріалами – не більше 50 м, або з розрахунку – один щит на 5000 м². Фарбують їх у сигнальний червоний колір, а написи на них та на щитах роблять контрастним білим кольором.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення. Вибір типу і визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється залежно від їх вогнегасної спроможності.

Заклади охорони здоров'я повинні мати на кожному поверсі не менше двох переносних вогнегасників. Переносні вогнегасники необхідно розміщувати шляхом: навішування на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для її повного відчинення; встановлювання в пожежні шафи поруч із пожежними кранами, у спеціальні тумби або на пожежні щити (стенди).

Автоматичні засоби гасіння пожежі бувають різні: повітряно-пінні, газові, порошкові, водяні. Автоматичні установки при виникненні пожежі приводяться в дію відповідним давачем (сповіщувачем) або спонукальним пристроєм, а напівавтоматичні та ручні – людиною. Зараз найширше застосовуються автоматичні установки пожежогасіння, призначені для виявлення осередку пожежі, забезпечення подавання і випускання вогнегасної речовини в захищуване приміщення та оповіщення про пожежу.

Спеціальні засоби гасіння пожежі включають обладнання пожежних частин: пожежні машини і насоси, гідранти, піногенератори різних типів та установки гасіння пожежі.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Медичний захист населення у надзвичайних ситуаціях.

Серед способів захисту населення у надзвичайних ситуаціях особливе місце займає медичний захист. Виходячи з досвіду, надзвичайні ситуації, як правило, призводять до масової загибелі людей та їх ураження. Для зменшення ступеня ураження необхідно приймати невідкладні заходи щодо надання медичної допомоги потерпілим, відповідно до вимог статті 36 Кодексу цивільного захисту України, Закону України «Про екстрену медичну допомогу».

Наданням цієї допомоги займається медична служба цивільного захисту (ЦЗ), яка організовується на базі Міністерства охорони здоров'я України та його структурних підрозділів і призначена для медичного забезпечення населення, що

постраждало внаслідок стихійного лиха, аварій та катастроф. Вона виконує такі основні завдання:

- своєчасне надання потерпілому населенню усіх видів медичної допомоги та лікування потерпілих з метою їх повного одужання;
- попередження виникнення і розповсюдження серед населення масових інфекційних захворювань;
- забезпечення санітарного благополуччя населення та виключення несприятливих санітарних наслідків виробничих аварій та стихійних лих.

Ці завдання вирішуються шляхом проведення комплексу організаційних, лікувально-профілактичних, лікувально-евакуаційних, санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів. Основними з них є:

- підготовка органів та установ охорони здоров'я до роботи в умовах великих виробничих аварій та стихійних лих;
- організація і підготовка пересувних медичних формувань для проведення рятувальних робіт, а також підготовка медичних установ до лікування потерпілих і хворих;
- організація і проведення лікарняно-евакуаційних, санітарно-гігієнічних та протиепідемічних заходів в осередках ураження і на етапах медичної евакуації;
- навчання медичного персоналу з медичних питань;
- розроблення планів підготовки органів і об'єктів охорони здоров'я до виконання заходів ЦЗ;
- організація забезпечення формувань та установ медичної служби медичним, господарським і спеціальним майном;
- навчання населення вмінню надавати само- та взаємодопомогу при отриманні різних травм.

При виникненні надзвичайних ситуацій, незалежно від їх масштабу, як правило, першими для надання медичної допомоги до осередку катастрофи прибувають і починають працювати, згідно із своїми функціональними обов'язками, бригади швидкої медичної допомоги (ШМД), які обслуговують

населення даної території. Вони надають першу лікарську (фельдшерські бригади – долікарську) допомогу постраждалим і евакуюють їх у стаціонарні медичні заклади.

Якщо ліквідувати медико-санітарні наслідки надзвичайної ситуації силами штатних бригад ШМД неможливо, то розгортаються сили першого етапу медичної евакуації. У район надзвичайної ситуації додатково до діючих штатних бригад ШМД направляються медичні бригади постійної готовності першої черги, територіального рівня (а якщо вимагають обставини, то і державного рівня).

При неможливості забезпечення кваліфікованої та спеціалізованої допомоги всім постраждалим діючими лікарняними установами розгортаються лікувальні заклади другого етапу медичної евакуації. Ліжкофонд, що розгортається додатково, забезпечується запасами м'якого інвентарю, медикаментів, продуктів харчування, предметів догляду за хворими, медобладнання тощо. Спеціалізовані бригади постійної готовності другої черги, що прибувають на посилення медичного персоналу забезпечені майном за рахунок закладів до яких вони належать.

Координацію роботи служби на державному рівні здійснює Центральна координаційна комісія МОЗ України, а на територіальному рівні – територіальні координаційні комісії. Вони є постійно діючими дорадчими позаштатними органами, які створюються з метою погодження дій медичних сил різних відомств в умовах надзвичайних ситуацій. До складу комісій входять представники усіх міністерств і відомств, відповідних рівнів Служби.

Головою центральної координаційної комісії є Міністр охорони здоров'я України, а територіальних координаційних комісій – начальники управлінь (відділів) охорони здоров'я відповідних адміністративних територій.

Особливе місце в роботі медичної служби займає захист населення від інфекційних захворювань.

Для запобігання розповсюдження інфекційних захворювань в осередку інфекційної хвороби встановлюється режим карантину або обсервації.

Карантин – адміністративні та медико-санітарні заходи, що застосовуються для запобігання поширенню особливо небезпечних інфекційних захворювань;

Рішення про встановлення карантину, а також про його відміну негайно доводиться до відома населення відповідної території через засоби масової інформації.

У рішенні про встановлення карантину зазначаються:

- обставини, що призвели до цього;
- визначаються межі території карантину;
- затверджуються необхідні профілактичні, протиепідемічні та інші заходи, їх виконавці та терміни проведення;
- встановлюються тимчасові обмеження прав фізичних і юридичних осіб та додаткові обов'язки, що покладаються на них.

Встановлення карантину передбачає:

- повну ізоляцію осередку інфекційної хвороби;
- встановлення охорони на зовнішніх кордонах;
- заборону виходу людей, тварин та вивезення майна;
- дозвіл в'їзду лише спеціальним формуванням призначеним для проведення профілактичних та протиепідемічних заходів;
- заборону транзитного проїзду;
- розподіл населення на дрібні групи і доставку продуктів харчування, води в окремі квартири та будинки;
- припинення роботи всіх підприємств та установ, крім тих, які мають значення для життєзабезпечення населення;
- проведення профілактичних заходів серед населення та лікування хворих;
- проведення санітарної обробки населення, дезінфекції, дезінсекції, дератизації;
- використання засобів індивідуального захисту.

Об'єкти які продовжують роботу в зонах карантину переходять на особливий режим праці:

- робітники та службовці переводяться на казармене положення з виконанням протиепідемічних заходів;
- зміни розподіляються на окремі групи (меншої чисельності), контактування між ними та вихід з приміщень забороняється;
- харчування та відпочинок організовується групами у спеціально відведених приміщеннях.

Карантин встановлюється на період, необхідний для ліквідації епідемії чи спалаху особливо небезпечної інфекційної хвороби. Коли інфекційна хвороба не відноситься до групи особливо небезпечних вводяться обмежувальні протиепідемічні заходи – режим обсервації.

Обмежувальні протиепідемічні заходи встановлюються місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування за поданням відповідного головного державного санітарного лікаря у разі, коли в окремому населеному пункті, у дитячому виховному, навчальному чи оздоровчому закладі виник спалах інфекційної хвороби або склалася неблагополучна епідемічна ситуація, що загрожує поширенням інфекційних захворювань. Обмеженням підлягають ті види господарської та іншої діяльності, що можуть сприяти поширенню інфекційних захворювань. Види і тривалість обмежувальних протиепідемічних заходів встановлюються залежно від особливостей перебігу інфекційної хвороби, стану епідемічної ситуації та обставин, що на неї впливають.

4.3. Висновок до розділу 4

В цьому розділі розглянуто такі питання: "Пожежна сигналізація і зв'язок. Засоби гасіння пожеж. Протипожежне водопостачання. Первинні засоби пожежогасіння. Автоматичні засоби пожежогасіння на об'єктах галузі". У підрозділі проаналізовано медичний захист населення у надзвичайних ситуаціях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра вирішено актуальне наукове завдання розробки методу оцінки завадостійкості КЗ з АМ в СПП в умовах дії різного типу завад.

Основні результати дослідження:

- Здійснено порівняльне дослідження відомих методів модуляції сигналів КЗ в умовах дії завад. Встановлено, що виникає потреба у створенні ефективного методу оцінки завадостійкості в таких умовах.

- Спроековано математичну модель сигналу як адитивної суми корисного сигналу та БГШ. Модель адаптована до задач передачі сигналів через КЗ з АМ під впливом завад.

- Запропоновано розроблений метод оцінки завадостійкості КЗ на основі аналізу SNR із врахуванням змін частоти НС та потужності шуму.

- Розроблено ПЗ в MATLAB для реалізації методу оцінки завадостійкості КЗ з АМ.

- Проведено експериментальні дослідження для перевірки ефективності розробленого методу та його застосування на практиці.

Дана робота робить вагомий внесок у підвищення якості СПП в умовах впливу завад.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1 Proakis J.G. Digital Communications, 4th ed., New York, McGraw-Hill, 2001.
- 2 Slyusar V.I., Smolyar V.G. The method of nonorthogonal frequency-discrete modulation of signals for narrow-band communication channels // Radio Electronics and Communications Systems C/C of Izvestiia – Vysshie Uchebnye Zavedeniia Radioelectronika. – 2004, VOL 47; PART 4, P. 40–41. – Allerton Press Inc. (USA).
- 3 Картьяну Г. Частотна модуляція. – Видавництво академії Румунської народної республіки, 1961. – 580 с..
- 4 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитрієв В.І. Системи мобільного зв'язку/Під ред. М.А. Вознюка. Видавництво СПб ГУТ, 1999. - 331 с.
- 5 Couch L.W. Signal-to-noise ratio out of ideal FM detector for SSB FM plus Gaussian noise at the input//IEEE Trans. (Concise Papers). — 1969. — Vol. COM-17, № 1. P. 591-592.
- 6 Бабак В. П. Детерміновані сигнали і спектри: навч. посіб./ В. П. Бабак, А. Я. Білецький. – К.: Техніка, 2003. – 454 с.
- 7 Бабак В. П. Обробка сигналів: підручник./ В. П. Бабак, В. С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К: Либідь, 1999. – 250 с.
- 8 Статистична радіотехніка: навч. посібник./ І. Ф. Бойко, О. І. Давлет'янц, Р. Б. Сініцин та інш. – К.: КМУГА, 1988. – 122 с.
- 9 Arunabha G. Fundamentals of LTE [Text] / G. Arunabha, J. Zhang, G. Jeffrey, M. Rias – Prentice Hall, 2010. – 464 p.
- 10 Уривський Л. О. Основи прикладної теорії інформації для телекомунікацій [Текст] : дисертація доктора технічних наук : 05.12.02 / Л. О. Уривський; Київ, НТУУ «КПІ». - К. : 2009. - 377 с.
- 11 Dahlman E. 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband [Text] / E. Dahlman. – Academic Press is an imprint of Elsevier, 2007. – 485 p.
- 12 Жураковський Ю. П. Теорія інформації та кодування [Текст] : підручник / Ю.П. Жураковський, В.П. Полторак. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.

13 Дунець В.Л., Хвостівська Л.В., Паляниця Ю.Б. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення оцінювання завадозахищеності каналів зв'язку з балансною модуляцією. Збірник наукових праць Вісник НУ пВГП, серія технічні науки, випуск 4 (104), 2023. - С. 95-107. ISSN: 2306-5478.

14 Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyi, Vasyl Dunets, Iryna Dediv. "Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks". Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, 22-24 November 2022, Ternopil, Ukraine, ITTAP 2022, 2022, pp. 314-318. ISSN 1613-0073 (Scopus);

15 Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57;

ДОДАТКИ

Додаток А

Програма в середовищі MATLAB для оцінювання завадостійкості КЗ з амплітудною в СПІ під впливом різного роду завад

Лістинг А.1 – Синтаксис функції ammod

```
y = ammod(x, Fc, Fs)
y = ammod(x, Fc, Fs, ini_phase)
y = ammod(x, Fc, Fs, ini_phase, carramp)
```

Лістинг А.2 – Реалізація АМ

```
Fs = 100; % Частота дискретизації
Fc = 30; % Частота несучого сигналу
A = 1; % Амплітуда синусоїди
T = 1; % Тривалість сигналу
t = 0:1/Fs:T; % Вектор значень часу
% Модулюючий сигнал
y = A * cos(2 * pi * t * 2);
figure(1);
plot(t, y);
xlabel('time, s');
ylabel('Amplitude, V');

% Амплітудна модуляція
h = ammod(y, Fc, Fs, 0, 2);
figure(2);
plot(t, h);
xlabel('time, s');
ylabel('Amplitude, V');
```

Лістинг А.3 – Синтаксис функції `amdemod`

```
z = amdemod(y, Fc, Fs)
z = amdemod(y, Fc, Fs, ini_phase)
z = amdemod(y, Fc, Fs, ini_phase, carramp)
z = amdemod(y, Fc, Fs, ini_phase, carramp, num, den)
```

Лістинг А.4 – Процес демодуляції із використанням фільтра Баттерворта нижніх частот

```
Fc = 10000; Fs = 80000;
t = [0:1/Fs:0.01]';
s = sin(2*pi*300*t) + 2*sin(2*pi*600*t); % Модулюючий сигнал
[num, den] = butter(10, Fc*2/Fs); % Фільтр Баттерворта
y1 = ammod(s, Fc, Fs, 0, 3); % Амплітудна модуляція
s1 = amdemod(y1, Fc, Fs, 0, 3, num, den); % Демодуляція
figure(1); plot(t, y1);
```

```

xlabel('time, s'); ylabel('Amplitude, V');
title('Амплітудна модуляція');
figure(2); plot(t, s1);
xlabel('time, s'); ylabel('Amplitude, V');
title('Амплітудна демодуляція');

```

Лістинг А.5 – Синтаксис функції normrnd

```

R = normrnd(MU, SIGMA)
R = normrnd(MU, SIGMA, v)
R = normrnd(MU, SIGMA, m, n)

```

Лістинг А.6 – Генерування БГШ

```

y = normrnd(0, 10, 100, 1); % Генерація білого гаусівського шуму
figure(1); plot(y);
xlabel('Index'); ylabel('Amplitude');
title('Білий гаусівський шум');

```

Лістинг А.7 – Синтаксис функції fft

```

Y = fft(X)
Y = fft(X, n)
Y = fft(X, [], dim)
Y = fft(X, n, dim)

```

Лістинг А.8 – Генерація тестового сигналу

```

clear all;
% Генерація тестового сигналу
Fs = 400; % Частота дискретизації
dt = 1 / Fs; % Крок дискретизації
t = 0:dt:2; % Інтервал часу
x = sin(2 * pi * t); % Синусоїдальний сигнал

```

Лістинг А.9 – Візуалізація тестового сигналу

```

% Побудова графіка тестового сигналу
figure(1);
plot(t, x);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, В');

```

Лістинг А.10 – АМ

```

% Амплітудна модуляція
Fc = [50 100 150]; % Частоти несучої
amplitudeFc = 0.06; % Амплітуда несучої

```

```

y = ammod(x, Fc, Fs, 0); % Виконання модуляції
figure(2);
plot(t, y);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, В');

```

Лістинг А.11 – Генерація БШ

```

% Генерація білого шуму
l = length(y);
n = normrnd(0, 0.2, l, 1);
figure(7);
plot(t, n);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, В');

```

Лістинг А.12 – Вплив БШ на сигнал

```

for i = 1:l
    summa(i) = n(i) + y(i);
end;
figure(4);
plot(t, summa);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, В');

```

Лістинг А.13 – Демодуляція отриманих сигналів

```

% Демодуляція
z = amdemod(summa, Fc, Fs, 0);
figure(5);
plot(t, z);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, В');

```

Лістинг А.14 – Побудова спектра вхідного сигналу

```

% Спектр вхідного сигналу
[s1, f1] = dft(x, dt, 40);
figure(6);
bar(f1, s1, 0.3);
axis tight;
grid on;

```

```
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, В/Гц');
```

Лістинг А.15 – Побудова спектра МС

```
[s2,f2] = dft(y, dt, 400);
figure(7);
bar(f2, s2, 0.3);
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, В/Гц');
```

Лістинг А.16 – Побудова спектра модульованого сигналу з шумами

```
[s3,f3] = dft(summa, dt, 200);
figure(8);
bar(f3, s3, 0.3);
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, В/Гц');
```

Лістинг А.17 – Побудова спектра демодульованого сигналу

```
[s4,f4] = dft(z, dt, 200);
figure(9);
bar(f4, s4, 0.3);
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, В/Гц');
```

Лістинг А.18 - Обчислення енергії вхідного сигналу

```
% Енергія вхідного сигналу
Ein = sum(s1)^2;
% Енергія демодульованого сигналу
Eout = sum(s4)^2;
```

Лістинг А.19 – Розрахунок вихідного шуму

```
for k = 1:length(x)
    u(k) = z(k) - x(k);
end
figure(10);
plot(t, u);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, с');
```

```
ylabel('Амплітуда, В');
```

Лістинг А.20 – Залежність ДБГШ від вихідного шуму

```
h = [0 0.01 0.03 0.05 0.07 0.09 0.1 0.12 0.15 0.2];
clear D; clear E;
Fc = 200; Fs = 800;
y = ammod(x, Fc, Fs, 0, amplitudeFc);
for i = 1:length(h)
    nn = normrnd(0, h(i), 1, 1);
    for j = 1:l
        ssuma(j) = nn(j) + y(j);
    end
    zz = amdemod(ssuma, Fc, Fs);
    EE = abs(sum(zz)^2 - Ein);
    E(i) = EE;
    D(i) = h(i);
end
figure(11);
plot(D, E);
axis tight;
grid on;
xlabel('Середньоквадратичне відхилення (шум Гауса), В^2');
ylabel('Енергія вихідного шуму, В^2');
```

Лістинг А.21 – Залежність SNR від вхідного шуму

```
for j = 1:length(h)
    snr(j) = 10 * log10(Ein / E(j));
end
figure(12);
plot(D, snr);
axis tight;
grid on;
xlabel('Середньоквадратичне відхилення (шум Гауса), В^2');
ylabel('Відношення сигнал/шум (SNR), дБ');
```

Лістинг А.22 – Програма для побудови графіка залежності SNR від СКВ

```
% Залежність SNR від СКВ
figure(13);
h = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.1];
for i = 1:length(h)
    nn = normrnd(0, h(i), 1, 1);
    for j = 1:l
        ssuma(j) = nn(j) + y(j);
    end
    [ssn, ffn] = dft(nn, dt, 120);
    Einnoise = sum(ssn)^2;
    SNRin(i) = 10 * log10(Ein / Einnoise);
    zz = amdemod(ssuma, Fc, Fs, 0, amplitudeFc);
```

```

[ss, ff] = dft(zz, dt, 120);
EE = abs(sum(ss)^2 - Ein);
ssnr(i) = 10 * log10(Ein / EE);
for j = 1:length(x)
    wymm(i, j) = abs(x(j) - zz(j));
end
vidhull(i) = std(wymm(i, 1:length(x)));
end
for i = 1:length(ssnr)
    m(1, i) = ssnr(i);
    m(2, i) = vidhull(i);
end
sortsnr = sort(ssnr);
for i = 1:length(sortsnr)
    for j = 1:length(sortsnr)
        if sortsnr(i) == m(1, j)
            sortvidhul(i) = m(2, j);
        end
    end
end
plot(sortsnr, sortvidhul);
axis tight;
grid on;
xlabel('Середньоквадратичне відхилення вихідного сигналу, В^2');
ylabel('Відношення сигнал/шум (SNR), дБ');

```

Лістинг А.23 – Програма для побудови залежності SNR (вхід/вихід)

```

% Залежність вхідного SNR від вихідного
[ssn, ffn] = dft(nn, dt, 120);
Einnoise = sum(ssn)^2;
SNRin(i) = 10 * log10(Ein / Einnoise);
figure(14);
plot(SNRin, ssnr);
axis tight;
grid on;
xlabel('Вхідне відношення сигнал/шум (SNR) (БГШ), дБ');
ylabel('Вихідне відношення сигнал/шум (SNR), дБ');

```

Додаток Б

Теза конференції

УДК 621.13

к.т.н. Дунець В.Л., Храпко Д.О.

**МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ В
КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ**

Ph.D. Dunetc V., Khrapko D.O.

**METHODS OF OPTIMAL SIGNAL DETECTION IN THE
COMMUNICATION CHANNEL**

Задачі виявлення сигналів і вимірювання їх параметрів на тлі завад є базовими і часто зустрічаються при розробці радіотехнічних систем приймання і передачі інформації [1,2]. Для випадку повністю відомих параметрів сигналу задача виявлення є ідеалізацією і практично не зустрічається в реальній апаратурі. В реальності параметри сигналу неточно відповідають заданим при розрахунку, що викликано частковою апіорною невизначеністю щодо параметрів прийнятих і оброблених сигналів, а також дрейфом параметрів радіоелектронних пристроїв і їх елементів. При цьому точності та ймовірні характеристики одержуваних оцінок параметрів виявляються занижені в порівнянні з очікуваними [3, 4]. В умовах апіорно невідомих параметрів сигналу кращими є багатоканальні системи обробки, а також системи, що адаптуються до змін властивостей сигналу і завад.

Тому, розроблення методу оптимального та ефективного виявлення сигналів на тлі завад в каналах радіозв'язку є актуальною науковою задачею.

З урахуванням вище сформульованого твердження, припущено, що сигнал в каналах зв'язку можна розглядати як випадковий сигнал, який є сумішшю корисного сигналу і завади:

$$\xi(t) = A \cdot s(t) + n(t),$$

де $s(t)$ - корисний сигнал, $n(t)$ - завада типу білого шуму, A – невідомий параметр ($A \in \{0;1\}$).

Із урахуванням параметру A розглянуто дві гіпотези H_0 і H_1 :

$$H_0 : \xi(t) = s(t) + n(t) \text{ - присутній сигнал;}$$

$$H_1 : \xi(t) = n(t) \text{ - відсутній сигнал.}$$

Для вибору однієї із гіпотез H_0 чи H_1 прийнято правило: сигнал присутній, якщо $\xi(t) > U_0$, тобто, перевищує деякий рівень (поріг), і сигнал відсутній в протилежному випадку $\xi(t) < U_0$. Оскільки на практиці апіорні відомості про сигнал є невідомими тому для побудови методу виділення сигнал використано

критерій Неймана-Пірсона, який забезпечує максимальну ймовірність правильного виявлення P_d при заданій ймовірності помилки P_f .

У відповідності з цим критерієм величина порогу U_0 визначається з заданої умовної ймовірності помилки P_f ($P_f = \{0,1; 0,01; 0,001\}$):

$$P_f = P[\xi(t) \geq U_0] = 1 - \Phi(U_0 / \sqrt{2E/\sigma^2}); P_d = P[\xi(t) < U_0] = 1 - \Phi(U_0 / \sqrt{2E/\sigma^2} - \sqrt{2E/\sigma^2})$$

де Φ - інтеграл ймовірності; E - енергія сигналу; σ^2 - енергія шуму.

З допомогою вище наведених формул побудовано алгоритм виявлення сигналів в каналах зв'язку, який зображено на рис.1.

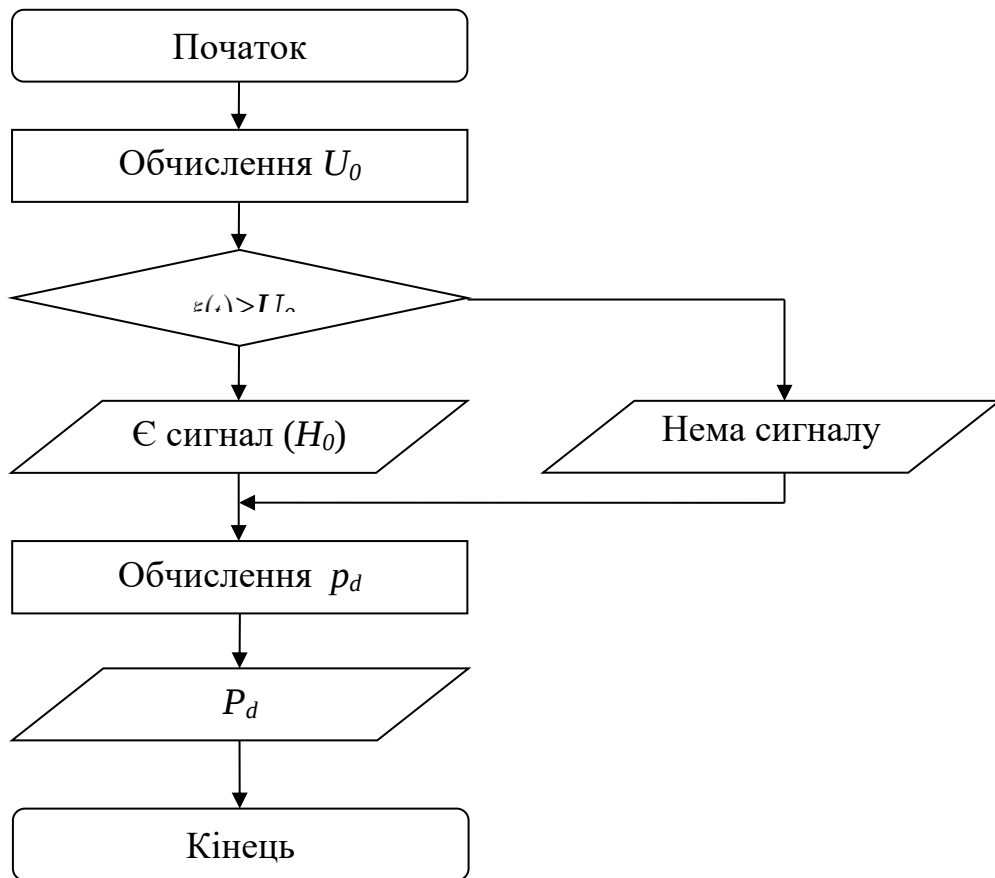


Рис.1. Алгоритм виявлення сигналів в каналі зв'язку

Алгоритм (рис.1) уможливорює виявлення сигналів в каналах зв'язку в умовах апріорної невизначеності з ймовірністю правильного рішення P_d при фіксованій ймовірності помилки P_f .