

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ  
КАФЕДРА СИСТЕМ ІНФОРМАЦІЙНОГО  
ТА КІБЕРНЕТИЧНОГО ЗАХИСТУ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: «Забезпечення моніторингу радіоефіру  
в контрольованій зоні»

на здобуття освітнього ступеня магістра  
зі спеціальності 125  
Кібербезпека та захист інформації»  
(код, найменування спеціальності)  
освітньо-професійної програми Технічні системи інформаційного та кібернетичного  
захисту

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело.*

\_\_\_\_\_ Дмитро МІХРІН

Виконав: здобувач вищої освіти групи СЗДМ-62

\_\_\_\_\_ МІХРІН Дмитро

Керівник: \_\_\_\_\_ ПЕПА Юрій  
к.т.н., доцент (ПРИЗВИЩЕ, Ім'я)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент (ПРИЗВИЩЕ, Ім'я)

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ**

Кафедра Систем інформаційного та кібернетичного захисту  
Ступінь вищої освіти магістр  
Спеціальність Кібербезпека та захист інформації  
Освітньо-професійна програма Технічні системи інформаційного та кібернетичного захисту

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри СІКЗ  
Олександр ТУРОВСЬКИЙ

«    »                      2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

МІХРІНУ Дмитру Ростиславовичу  
*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи:

«Забезпечення моніторингу радіоефіру в контрольованій зоні».

Керівник кваліфікаційної роботи:

ПЕПА Юрій, к.т.н., доцент.

*(ПРІЗВИЩЕ Ім'я, науковий ступінь, вчене звання)*

Затверджена наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «    »                      2023 р. №                     .

2. Строк подання кваліфікаційної роботи: 15.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

Способи витоку інформації через радіоканал в ефір.

Радіомоніторинг і технічні засоби, що використовуються.

Оцінка методів аналізу радіочастотного спектру і сигналів, що прийняті антенним пристроєм.

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

1. Провести аналіз технічних засобів для моніторингу радіоефіру.

2. Аналіз методів в способів розпізнавання небезпечних сигналів на фоні завад в ефірі.

3. Моделювання роботи індикатора електромагнітного випромінювання для виявлення підслуховуючих пристроїв.

5. Перелік графічного матеріалу: Презентаційний матеріал на слайдах

6. Дата видачі завдання 15.10.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел		
2	Написання першого розділу роботи		
3	Написання другого розділу роботи		
4	Написання третього розділу роботи		
5	Написання четвертого розділу роботи		
6	Написання висновків по роботі		
7	Підготовка демонстраційних матеріалів		
8	Підготовка доповіді		

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дмитро МІХРІН

\_\_\_\_\_ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Юрій ПЕПА

\_\_\_\_\_ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи містить: 75 стор., 47 рис. та 13 джерел.

*Об'єкт дослідження* – системи радіомоніторингу, які використовуються для спостереження за радіочастотним спектром у контрольованих зонах.

*Предмет дослідження* – спектральні аналізатори, радіочастотні приймачі, антени, а також методи спектрального та модуляційного аналізу.

*Мета роботи* – систематизація існуючих знань у галузі радіомоніторингу, а також розробка нових підходів та рішень для покращення процесів моніторингу та захисту радіоефіру в контрольованих зонах.

*Методи дослідження:* спектральний аналіз з використанням часових рядів, аналіз типів спектрів сигналів, застосування перетворення Фур'є, вейвлет-аналізу та перетворення Гілберта. Робота також застосовує методи амплітудної, частотної та фазової модуляції для аналізу сигналів та вивчає принципи роботи різних технічних каналів витоку інформації.

Застосування комплексного підходу до вирішення поставлених задач дозволить забезпечити більш ефективний контроль за радіоефіром в контрольованій зоні та підвищить рівень виявлення небезпечних сигналів від радіозакладних пристроїв та інші радіовипромінювання.

Галузь використання – захист мовної інформації в мобільній мережі.

**Ключові слова:** РАДІОМОНІТОРИНГ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, КОНТРОЛЬОВАНА ЗОНА, РАДІОЕФІР, ЧАСТОТНИЙ ДІАПАЗОН, АНТЕНА, РАДІОХВИЛІ, ВИТІК ІНФОРМАЦІЇ, ТЕХНІЧНІ КАНАЛИ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ.

## ABSTRACT

The text part of the master's qualification work contains: 75 pages, 47 figures and 13 sources.

*Object of research* – radio monitoring systems used to monitor the radio frequency spectrum in controlled areas.

*Subject of research* – spectral analyzers, radio frequency receivers, antennas, as well as methods of spectral and modulation analysis.

*Purpose* – to systematize the existing knowledge in the field of radio monitoring, as well as to develop new approaches and solutions to improve the processes of monitoring and protection of radio air in controlled areas.

*Research methods:* spectral analysis using time series, analysis of signal spectrum types, application of the Fourier transform, wavelet analysis, and the Gilbert transform. The work also applies amplitude, frequency, and phase modulation methods to signal analysis and studies the principles of operation of various technical information leakage channels.

The application of an integrated approach to solving the tasks will ensure more effective control over the radio airwaves in the controlled area and increase the level of detection of dangerous signals from radio emitting devices and other radio emissions.

Field of application – protection of speech information in a mobile network.

**Keywords:** RADIO MONITORING, SPECTRAL ANALYSIS, CONTROLLED AREA, RADIO AIR, FREQUENCY RANGE, ANTENNA, RADIO WAVES, INFORMATION LEAKAGE, TECHNICAL CHANNELS OF INFORMATION LEAKAGE.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	10
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ .....	11
1.1 Спектральні аналізатори .....	11
1.2 Радіочастотні приймачі .....	16
1.3 Антени .....	22
Висновок до першого розділу .....	28
2 МЕТОДИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РАДІОМОНІТОРИНГУ .....	29
2.1 Спектральний аналіз .....	29
2.1.1 Математичне пояснення роботи спектрального аналізу з використанням часових рядів .....	29
2.1.2 Спектр сигналу та його типи .....	31
2.1.3 Методи спектрального аналізу .....	34
2.1.3.1 Перетворення Фур'є .....	34
2.1.3.2 Вейвлет-аналіз .....	35
2.1.3.3 Перетворення Гілберта .....	37
2.2 Модуляційний аналіз .....	38
2.2.1 Амплітудна модуляція .....	38
2.2.2 Частотна модуляція .....	40
2.2.3 Фазова модуляція .....	42
2.4 Нормативно правове регулювання у використання РЧР .....	44
Висновок до другого розділу .....	47
3 АНАЛІЗ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ .....	49
3.1 Класифікація технічних каналів витоку інформації (ТКВІ) .....	51
3.2 Методологія створення технічних каналів витоку інформації .....	53
3.2.1 Сутність каналів побічних електромагнітних випромінювань ОТЗС ...	53
3.2.2 Сутність каналів побічних електромагнітних випромінювань ДТЗС ...	54

3.2.3 Принцип роботи каналів паразитної модуляції сигналів ВЧ генераторів .....	56
3.2.4 Принцип роботи каналів паразитної генерації ВЧ підсилювачів .....	57
3.2.5 Принцип роботи каналів побічних електромагнітних наведень на лінії заземлення ОТЗС .....	58
3.2.6 Принцип роботи каналів побічних електромагнітних наведень на комунікації ДТЗС .....	61
3.2.7 Принцип роботи каналів ВЧ нав'язування .....	63
Висновок до третього розділу .....	64
4 АНАЛІЗ ПРИЛАДІВ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОСПЕКТРІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДЕТЕКТОРА .....	65
4.1 Огляд радіочастотних детекторів .....	65
4.2 Порівняння радіочастотних детекторів та їх аналогів у вигляді мобільних додатків .....	67
4.3 Проектування детектора для моніторингу радіоефіру .....	69
Висновок до четвертого розділу .....	74
ВИСНОВКИ .....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	76

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

РЧ (RF) – радіочастоти

SA – спектральні аналізатори із плавною перестройкою

VSA – векторні аналізатори сигналів

RSA – спектральні аналізатори реального часу

RBW фільтр – Resolution Bandwidth фільтр

DSP – цифрова обробка сигналу

EMC – електромагнітна сумісність

IF – частотний роздільник

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

RTSA – реально-часовий аналізатор спектра

ДПФ – дискретне перетворення Фур'є

СМРЧ – система моніторингу радіочастот

АФС – антено-фідерна система

DC – Direct Current

AM – амплітудна модуляція

DSB – Double Sideband

DSBSC – Double Sideband Suppressed Carrier

SSB – Single Sideband

SSBSC – Single Sideband Suppressed Carrier

LSB – Lower Sideband

USB – Upper Sideband

VSB – Vestigial Sideband

ISSB – Independent Single Sideband

ЧМ – частотна модуляція

NFM – Narrow Frequency Modulation

WFM – Wide Frequency Modulation

ФМ – фазова модуляція

ФМн (PSK) – фазова маніпуляція (Phase Shift Keying)



ЧМн (FSK) – частотна маніпуляція (Frequency Shift Keying)

АФМн (APSK) – амплітудно-фазова маніпуляція (Amplitude-Phase Shift Keying)

АМн – амплітудна маніпуляція

4-фазні ФМн (DQPSK) – Differential Quaternary (Quadriphase) PSK

МСЕ (ITU) – Міжнародний союз електрозв'язку (The International Telecommunication Union)

ІКТ – інформаційні та комунікаційні технології

SM – Spectrum Management

РЧС – радіочастотний спектр

NSMS – National Spectrum Management Systems

ВАСЕ – Всесвітня асамблея зі стандартизації електрозв'язку

ISO – International Organization for Standardization

ТКВІ – технічні канали витоку інформації

ЗТР – засоби технічної розвідки

ОТЗС – основні технічні засоби та системи

ДТЗС - допоміжні технічні засоби та системи

КЗ – контрольована зона

ПЕВ – побічні електромагнітні випромінювання

ВЧ генератори – високочастотні генератори

ОІД – об'єкт інформаційної діяльності

РЛС – радіолокаційна система

РД – радіочастотний детектор

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій вимагає відповідального підходу до управління радіочастотним ресурсом. Забезпечення моніторингу радіоефіру в контрольованій зоні стає ключовою задачею не тільки для забезпечення національної безпеки, а й для підтримки стабільності та надійності цивільних телекомунікаційних сервісів. Радіомоніторинг дозволяє ідентифікувати та класифікувати сигнали, виявляти незаконне використання частот, а також захищати радіоелектронний простір від несанкціонованого доступу.

Ця робота присвячена аналізу існуючих систем радіомоніторингу, зокрема спектральних аналізаторів, радіочастотних приймачів та антен, що є фундаментальними компонентами будь-якої системи моніторингу. Особлива увага приділяється методам спектрального аналізу, включаючи математичне пояснення роботи цих методів, різним типам спектрів сигналів та способам їх аналізу, таким як перетворення Фур'є та вейвлет-аналіз.

У роботі також розглядаються методи виявлення та аналізу каналів витоку інформації, що є важливим для запобігання витоку конфіденційних даних через технічні канали. Значна увага приділяється проблематиці нормативно-правового регулювання у використанні радіочастотного спектру, що має критичне значення для забезпечення правильного та законного використання радіочастотних ресурсів.

Завершальна частина роботи присвячена аналізу існуючих радіочастотних детекторів та моделюванню радіочастотного детектора електромагнітних випромінювань.

## 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ

В умовах стрімкого технологічного прогресу та непередбачуваної динаміки бездротових комунікацій, радіомоніторинг стає ключовою ланкою управління та забезпеченням спектру електромагнітних хвиль. Підтримка ефективного функціонування сучасних бездротових технологій, виявлення електромагнітних перешкод та збереження інформаційної безпеки вимагає вдосконалених систем радіомоніторингу.

Отже у даному розділі буде проаналізовано системи радіомоніторингу, які присутні на сучасному ринку, проведено детальну характеристику, порівняльний аналіз та огляд передових технологій, що використовуються у сучасній апаратурі моніторингу.

### 1.1 Спектральні аналізатори

Спектральний аналізатор – це пристрій, який вимірює та відображає амплітуду (силу) сигналу в залежності від частоти в межах свого частотного діапазону (спектр). Частота (Freq) відображається на горизонтальній (X) вісі, амплітуда (Amp) – на вертикальній (Y) вісі (рис. 1.1) [1].

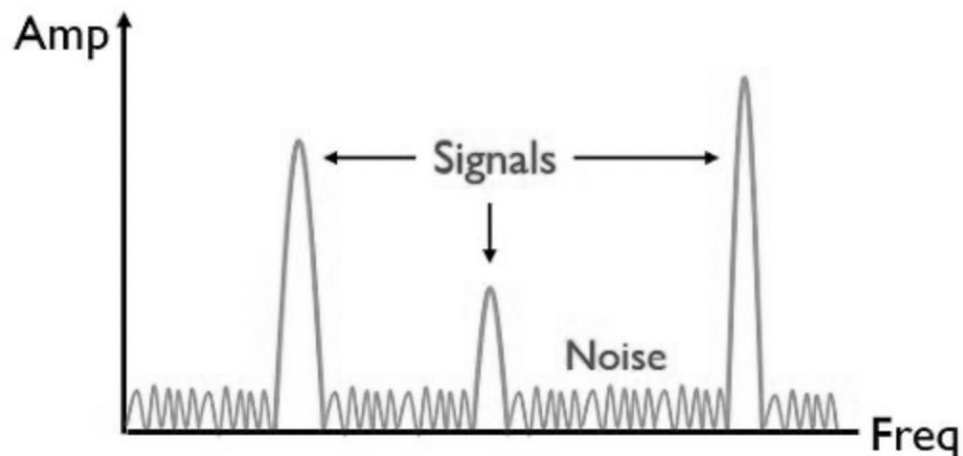


Рисунок 1.1 – Відображення частотної області за допомогою аналізатора спектру

Спектральний аналізатор подібний до осцилографа, і, теоретично, має подібний функціонал. Осцилограф використовується для відображення форми сигналу як вихідного, коли на нього надходить вхідний сигнал. Однак осцилограф використовується для аналізу сигналів у часовій області. Це означає, що форма сигналу на виході представляє графік залежності амплітуди від часу.

Отже, суттєва відмінність (рис. 1.2) між осцилографом і аналізатором спектру полягає в тому, що осцилограф відповідає представленню вхідного сигналу в часовій області. У той час як аналізатор спектру використовується для відображення подання радіочастотних сигналів у частотній області.



Рисунок 1.2 – Відмінність між осцилографом і аналізатором спектру:

- а) аналізатор спектру РЧ-сигналів Rohde&Schwarz FSW8/13/26/43/50/67/85;
- б) цифровий осцилограф OWON SDS1022 (20 МГц, 2 канали)

Спектральні аналізатори можна класифікувати в три основні категорії з точки зору їхньої архітектури – спектральні аналізатори із плавною перестройкою (SA), векторні аналізатори сигналів (VSA) та спектральні аналізатори реального часу (RSA) [2].

Спектральний аналізатор із плавною перестановкою, базується на супергетеродинній архітектурі, є традиційним та найчастіше використовуваним для спостереження контрольованих, статичних сигналів. SA здійснює вимірювання потужності відносно частоти, знижуючи цільовий сигнал та скануючи його через смугу пропускання фільтра ширини спектру

(RBW). Фільтр RBW слідує за детектором, який розраховує амплітуду на кожній точці частоти у вибраному діапазоні. Хоча цей метод може забезпечити великий динамічний діапазон, його недолік полягає в тому, що він може розраховувати дані про амплітуду лише для однієї точки частоти за один раз. Отже, вимірювання є валідними лише для відносно стабільних, незмінних вхідних сигналів.

Для аналізу сигналів, що несуть цифрову модуляцію, потрібні векторні вимірювання, які надають інформацію як про величину, так і про фазу. Векторний аналізатор сигналів (VSA) цифрує всю радіочастотну (RF) потужність у межах смуги пропускання приладу та зберігає цифрову хвилю у пам'яті. Хвиля в пам'яті містить інформацію як про величину, так і про фазу, яку можна використовувати цифровою обробкою сигналу (DSP) для демодуляції, вимірювань або обробки відображення. Хоча VSA має здатність зберігати хвилі в пам'яті, вона обмежена здатністю аналізувати транзитивні події. Серійний характер пакетної обробки, зазвичай властивий VSA, означає, що пристрій ефективно сліпий для подій, які відбуваються між здобуттями. Одиночні або рідкісні події не можуть бути надійно виявлені, тому може знадобитися зовнішнє спрацювання та вимагати непрактичних попередніх знань про ці транзитивні події. Інші обмеження VSA включають виклики в ізоляції слабких сигналів в присутності більших, а також сигналів, які змінюються за частотою, але не за амплітудою.

Спектральні аналізатори реального часу (RSA) виконують аналіз сигналів, використовуючи обробку сигналу в реальному часі, яка виконується перед зберіганням в пам'яті, на відміну від обробки після здобуття, що є загальним для архітектури VSA. Дані в пам'яті потім можуть бути широко аналізовані в різних областях за допомогою пакетної обробки. Реальний час обробки сигналу дозволяє виявляти події, які є невидимими для інших архітектур, і тригерувати на їхній основі їхнє вибіркове захоплення в пам'ять. Ці дані в пам'яті можуть бути подальше аналізовані в різних областях за допомогою пакетної обробки. Однією з важливих переваг RSA є

можливість виявлення подій, які відбуваються в реальному часі і не виявляються іншими типами аналізаторів. Це дає змогу оперативно реагувати на динамічні та транзиторні RF-сигнали, забезпечуючи більш повне розуміння їхньої природи. Окрім того, реальний час обробки використовується для здійснення умовної обробки сигналу, калібрування та аналізу сигналів у реальному часі. Це забезпечує ефективний та точний моніторинг RF-середовища в умовах, де інші методи можуть бути менш ефективними або непридатними.

Основні фактори використання аналізаторів спектра можна поділити на:

1. Частотна відповідь, шум та характеристики спотворень: дослідження властивостей радіочастотних схем будь-якого виду.

2. Зайнята ширина смуги та джерела перешкод в телекомунікаціях: визначення ширини смуги сигналу та джерел перешкод у телекомунікаційних системах.

3. Основні випробування перед сертифікацією для ЕМС-випробувань: визначення відповідності радіоелектронних пристроїв стандартам щодо електромагнітної сумісності перед їх сертифікацією.

Інші методи вимірювань включають встановлення аналізатора спектра для випробувань гармонік аудіосигналів музикантами та звукорежисерами, використання відбивного або відбивного методів для розділення довжин хвиль світла за допомогою оптичних аналізаторів спектра, вимірювання амплітуд вібрацій при різних частотах компонентів тощо.

Сучасні аналізатори спектра можуть здійснювати захоплення пасмової ширини або спану в будь-якому місці у вхідному діапазоні частот аналізатора. У цьому процесі використовується RF-перетворювач, за яким слідує широкосмуговий проміжний частотний роздільник (IF). АЦП оцифрує сигнал IF і система виконує всі подальші кроки цифровим шляхом. Алгоритми обробки сигналів здійснюють всі функції умовної обробки сигналу та аналізу [2].

Принцип роботи спектральних аналізаторів продемонстровано у вигляді блок-схем на рис. 1.3.

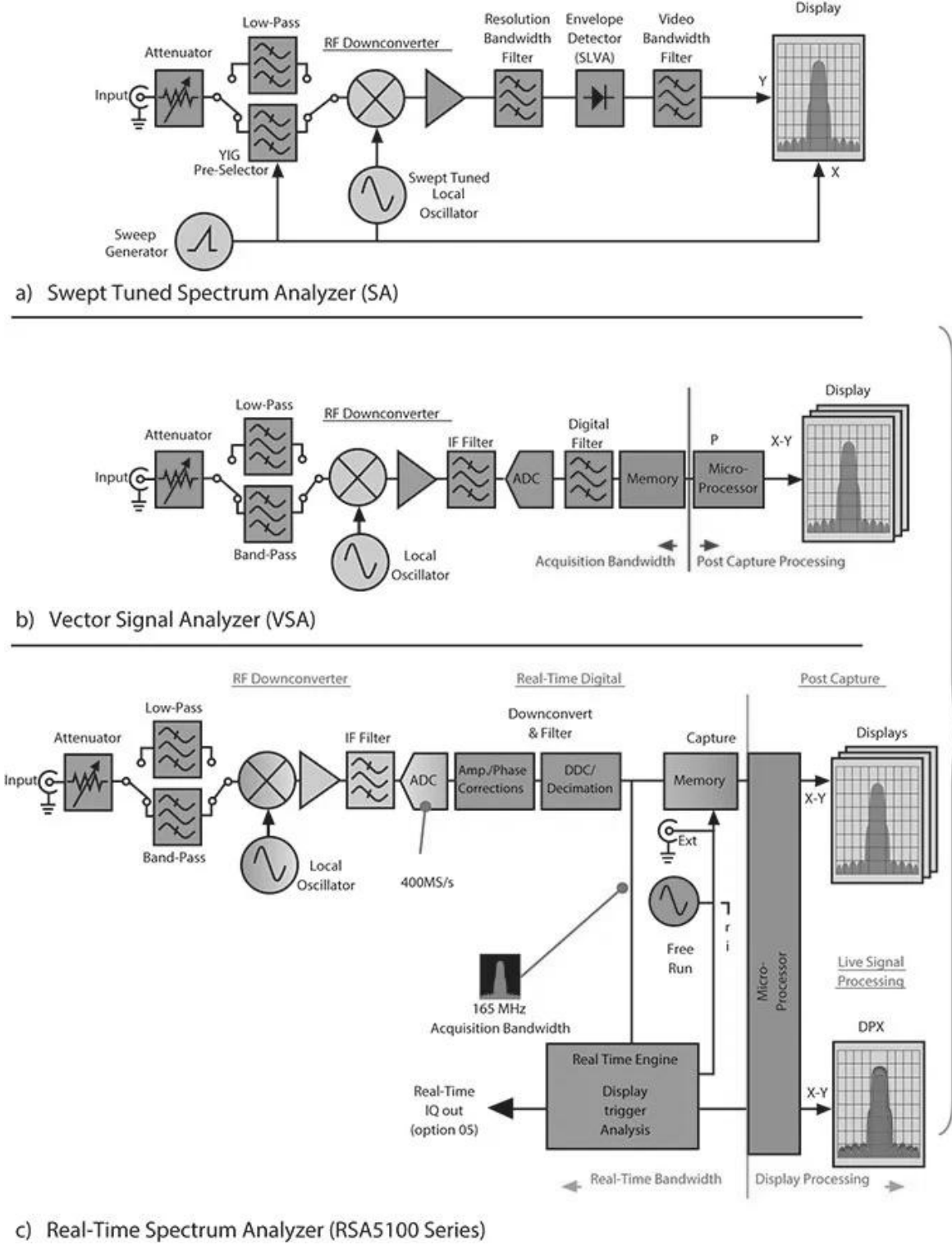


Рисунок 1.3 – Принцип роботи спектральних аналізаторів у вигляді блок-схем

Щоб класифікувати аналіз спектра в реальному часі, всі дані, що містяться у діапазоні робочих аспектів, повинні оброблятися безперервно. Для досягнення цього у реально-часовому аналізаторі спектра (RTSA) мають бути виконані кілька важливих вимог обробки сигналу:

1. Достатня ширина захоплення для підтримки аналізу сигналу інтересу.
2. Достатньо висока частота дискретизації АЦП, щоб перевищувати критерії Найквіста для ширини захоплення.
3. Достатньо довгий інтервал аналізу для підтримки вузької ширини роздільної спроможності (RBW), що цікавить.
4. Достатньо швидкий темп трансформації ДПФ для перевищення критеріїв Найквіста для RBW, яка цікавить.
5. Темпи ДПФ, що перевищують критерії Найквіста для RBW, потребують перекриваючихся кадрів ДПФ:
  - кількість перекривань залежить від функції вікна;
  - функція вікна визначається RBW.

## **1.2 Радіочастотні приймачі**

Радіоприймачі виступають ключовою ланкою у системах моніторингу радіочастот (СМРЧ), де їх завданням є реєстрація та аналіз радіосигналів. Вони є чутливими детекторами, які реагують на найменші коливання в електромагнітному спектрі. Радіосигнали, що оточують нас, стають джерелом надзвичайної кількості інформації. Від вимірювання частотної відповіді до виявлення спектральних аномалій, радіоприймачі виконують критичні функції у забезпеченні ефективного моніторингу та аналізу цих сигналів. Їх важливість полягає в здатності точно та ефективно розпізнавати, реєструвати та обробляти RF інформацію.

Будь-який радіоприймальний пристрій складається з антени або антенно-фідерної системи, радіоприймача та кінцевого пристрою (рис. 1.4).



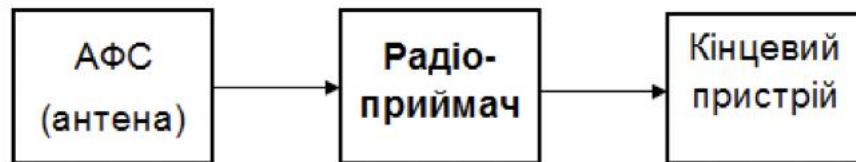


Рисунок 1.4 – Структура радіоприймального пристрою

АФС забезпечує уловлювання енергії електромагнітних хвиль і перетворення її в електричні коливання (струм, напругу).

Радіоприймач здійснює виділення (селекцію) із множини електричних коливань, діючих в антені, коливань корисного сигналу, їх підсилення та перетворення до виду, потрібного для приведення до дії кінцевого пристрою.

Кінцевий пристрій перетворює електричний сигнал на виході приймача в інший вид енергії, придатний до відтворення прийнятого повідомлення у (звук, світло, механічну дію тощо). В якості кінцевих пристроїв використовуються: головні телефони, гучномовець, монітор, телеграфний апарат тощо [3].

Розглянемо основні технічні характеристики радіоприймачів:

1. Діапазон робочих частот – це ділянка спектру радіочастот, у межах якої приймач може приймати радіосигнал з потрібною якістю відтворення первинного електричного сигналу.

Діапазон робочих частот задається крайніми частотами  $f_{c \min}$  і  $f_{c \max}$  характеризується коефіцієнтом перекриття по частоті:

$$K_{\partial(f)} = \frac{f_{c \max}}{f_{c \min}}$$

2. Види випромінювань, які приймаються. У радіоприймачах систем радіозв'язку передбачається можливість приймання як безперервних (аналогових), так і дискретних (цифрових) радіосигналів.

3. Коефіцієнт шуму – оцінює шумові властивості приймача та показує у скільки разів зменшується відношення середніх потужностей сигналу до шуму на виході приймача порівняно з цим відношенням на його вході:

$$N = \frac{\frac{(P_c)_{ВХ}}{(P_{ш})_{ВХ}}}{\frac{(P_c)_{ВИХ}}{(P_{ш})_{ВИХ}}}$$

4. Вибірковість – це міра здатності приймача відокремлювати корисний сигнал із сукупності сигналів і завад, які діють на його вході. В залежності від параметра, по якому розділяються сигнал і завади розрізняють амплітудну, частотну і фазову вибірковість. В подальшому буде розглядатися тільки частотна вибірковість, яку будемо називати просто вибірковістю. Розрізняють односигнальну та багатосигнальну вибірковість.

5. Частотна точність – це міра здатності приймача встановлювати та підтримувати частоту його настройки на заданому номіналі з допустимою похибкою. Кількісно частотна точність оцінюється абсолютною нестабільністю – величиною відхилення частоти налаштування приймача  $f_0$  від номінальної частоти  $f_{ном}$ , тобто:

$$\Delta f_{Пр} = |f_{ном} - f_0|$$

та відносною нестабільністю:

$$\delta f_{Пр} = \frac{\Delta f_{Пр}}{f_{ном}}$$

6. Спотворення сигналів – це ступінь зміни закону модуляції сигналу при проходженні його через усі тракти приймача. Розрізняють нелінійні, амплітудно-частотні та фазо-частотні спотворення, які оцінюються деяким коефіцієнтом спотворень  $K_{сп}$  за допомогою амплітудно-частотної, фазочастотної та амплітудної характеристик приймача, а також перехідною характеристикою для приймачів імпульсних сигналів.

Розрізняють наступні основні типи структурних схем радіоприймачів:

- приймачі прямого підсилення (рис. 1.5);
- приймачі супергетеродинного типу;
- приймачі прямого перетворення.

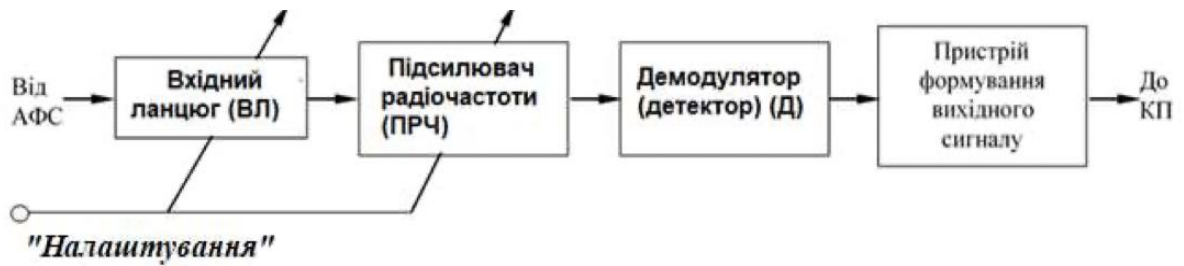


Рисунок 1.5 – Структурна схема прямого підсилення

Умовою прийому корисного сигналу радіоприймачем прямого підсилення є:

$$f_{0\text{ ПРМ}} = f_c.$$

Для реалізації технічної частини цього підходу необхідно відстроїти резонансні системи високочастотної і проміжної частот ( $f_{0\text{ ПРМ}}$ ) радіоприймача на частоту корисного сигналу ( $f_c$ ).

Розглянемо переваги радіоприймачів прямого підсилення, такі як:

- проста структура схеми;
- легке налаштування в межах робочих частот;
- висока стабільність настройки (відсутність генераторного обладнання);
- відсутність “побічних каналів прийому”.

Однак ці схеми мають свої недоліки, що призвели до обмеженого застосування у сучасних радіоприймачах. Ці недоліки визначаються тим, що основне підсилення сигналу та його фільтрація відбуваються на частотах радіосигналу, що приймається, а саме:

- важко забезпечити високий та стабільний коефіцієнт підсилення на широкому діапазоні робочих частот, що погіршує чутливість радіоприймача;
- низька частотна вибірковість через обмежені можливості побудови складних фільтрів з високим коефіцієнтом прямокутності характеристики вибірковості.

Для подолання цих обмежень та покращення якості роботи радіоприймача необхідно:

- знизити частоту радіосигналу до сталої величини, щоб побудувати підсилювач із великим і стійким коефіцієнтом підсилення;
- здійснювати основну фільтрацію сигналу в елементі приймача на достатньо низькій і сталій частоті, що дозволить використовувати вибіркві системи з високим коефіцієнтом прямокутності.

Умовами прийому корисного сигналу супергетеродинним приймачем є:

$$f_{0 \text{ ТРЧ}} = f_c;$$

$$f_r = f_c \pm f_{\text{ПЧ}}.$$

Супергетеродинний радіоприймач (рис. 1.6) використовується для конвертації радіосигналів на вищих частотах у проміжний частотний діапазон, що полегшує їх подальшу обробку. В основі схеми супергетеродинного приймача лежить принцип гетеродинування, а саме змішування вхідного сигналу з високочастотним сигналом локального осцилятора для отримання проміжної частоти.

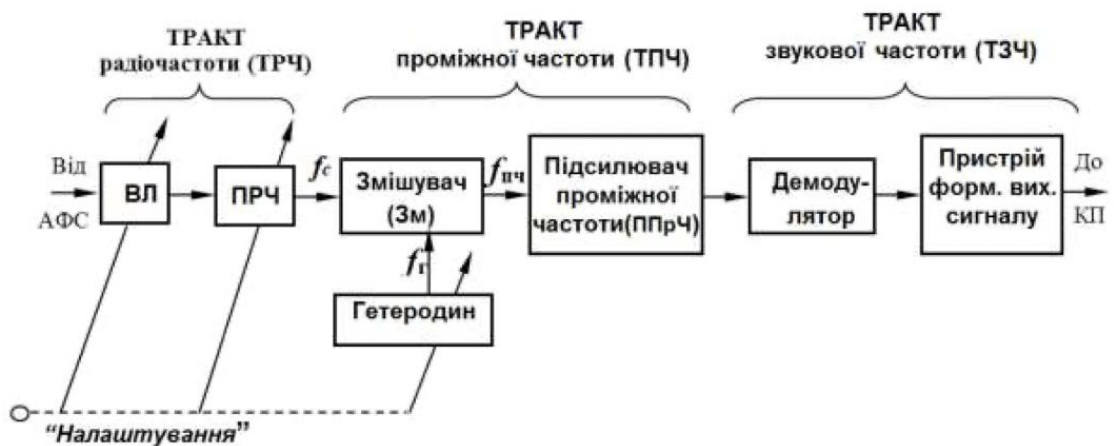


Рисунок 1.6 — Структурна схема приймача супергетеродинного типу

Переваги супергетеродинних приймачів:

- висока і стала чутливість приймача у діапазоні робочих частот за рахунок високого і сталого коефіцієнта підсилення;
- висока і стала вибірквість приймача в діапазоні частот.

Недоліки приймачів супергетеродинного типу:

- складність схеми приймача;

- можливість попадання в антену випромінювання коливань гетеродину;
- менша частотна точність за рахунок нестабільності коливань гетеродину;
- присутність побічних каналів прийому.

Умовами прийому корисного сигналу приймачем прямого перетворення (рис. 1.7) є:

$$f_{0 \text{ ТРЧ}} = f_c;$$

$$f_{\text{ПЧ}} = f_c - f_{\Gamma} = 0;$$

$$f_{\Gamma} = f_c;$$

$$F_B = f_B - f_{\Gamma};$$

$$F_H = f_H - f_{\Gamma}.$$

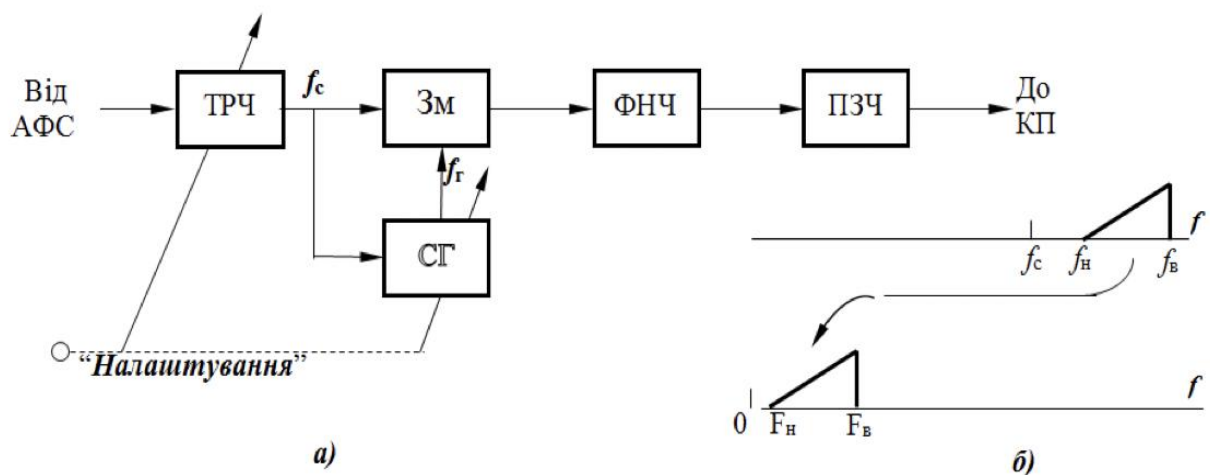


Рисунок 1.7 — а) структурна схема приймача типу прямого перетворення;

б) спектри високочастотного та первинного сигналів

для односмугової модуляції

До переваг такого типу приймачів можна віднести:

- простоту схеми;
- широкий діапазон робочих частот;
- відсутність побічних каналів;
- ефективність енергоспоживання;

- швидка реакція.

До основних недоліків даного типу можна віднести:

- більш високі вимоги до лінійності тракту радіочастоти і змішувача;
- низька стійкість до змін у середовищі;
- проблеми з ефектами при наявності постійного струму (DC).

### 1.3 Антени

Антенa для радіомоніторингу є ключовим компонентом системи, яка використовується для збору радіосигналів з електромагнітного спектру (рис. 1.8). Основна функція антени – це прийом та передача радіосигналів між пристроєм моніторингу та ефіром. Вона визначає ефективність та точність збору інформації з радіочастотного спектру.

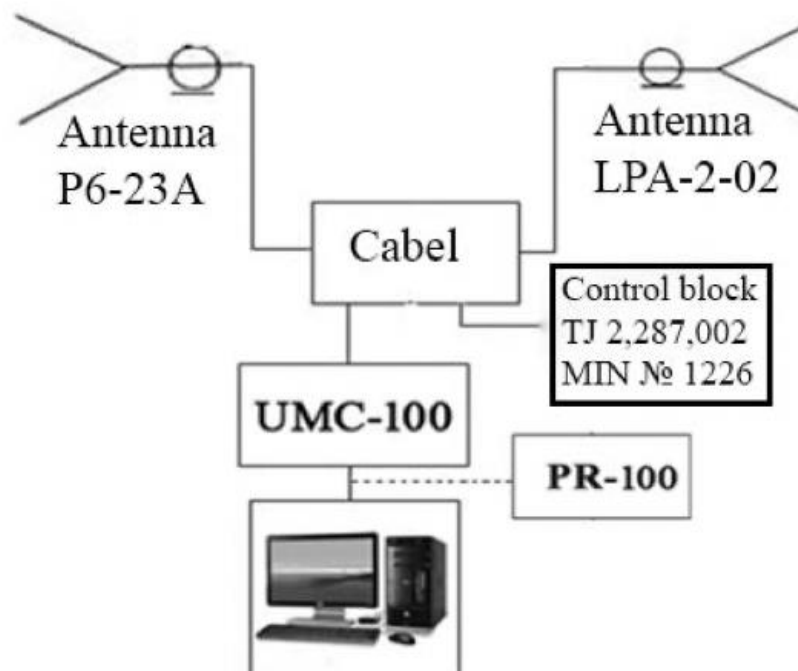


Рисунок 1.8 – Блок-схема антенної системи

Основні параметри антен продемонстровані на рис. 1.9.



Рисунок 1.9 — Параметри передавальних антен

Переваги антен радіомоніторингу:

- висока чутливість;
- напрямленість (певних типів);
- універсальність (охоплюють будь-який діапазон частот).

Недоліки антен радіомоніторингу:

- обмежена напрямленість (омнідирекційні антени);
- розмір та вага.

Радіолокаційна система (РЛС) використовує радіосигнали для визначення відстані, азимуту, висоти та інших характеристик об'єктів в просторі. Вона може використовуватися в різних сферах, таких як військова оборона, авіація, судноплавство, метеорологія та інші.

Випромінювальна або передавальна антена представляє пристрій або РЛС, спеціально розроблений для генерації та ефективного випромінювання електромагнітних хвиль у визначеному діапазоні частот. Ця антена використовується для передачі інформації у вигляді радіосигналів через бездротові зв'язки, включаючи радіовиносні та мікрохвильові комунікаційні системи [4].

Також розрізняють такий тип антен як приймальна. Приймальна антена РЛС, призначенням якої є ефективне приймання та конвертації електромагнітних хвиль у відповідний електричний сигнал або фідерний

пристрій, наприклад, радіохвильовод (рис. 1.10). Цей пристрій використовується в бездротових комунікаційних системах, радіолокаційних системах, радіо- та телевізійних приймачах та інших додатках для прийому інформації, переданої в радіочастотному діапазоні, і її подальшого використання у відповідних електронних системах.

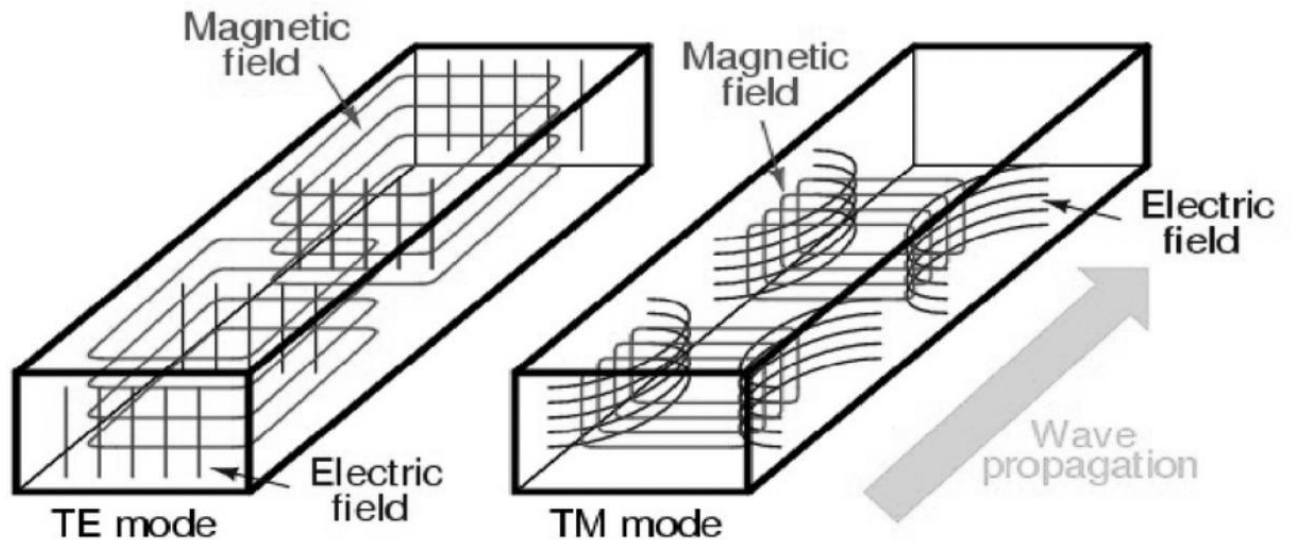


Рисунок 1.10 — Розповсюдження електромагнітного поля у хвильоводі

Основним фізичним процесом в обох типах антен є взаємодія зарядів з електромагнітним полем.

Серед функцій антен можна виділити такі:

- перетворення енергії в процесі прийому-передачі;
- центральна інтенсивність випромінювання у конкретному напрямку при передачі, а також переважний прийом радіохвиль, що надходять з визначених напрямків під час режиму прийому, враховуючи задану поляризацію хвиль.

З останній із функцій впливає таке поняття як діаграми направленості (ДН) по полю  $F$ . Діаграми направленості в контексті радіоелектроніки та антенних систем є графічним відображенням амплітуди чи потужності випромінювання (або прийому) антени в залежності від напрямку в просторі. Модулем комплексної ДН вважається ДН по полю. Діаграми направленості



відображаються у вигляді графіків, діаграм розподілу енергії в залежності від кута на площині або математично у вигляді формул. Вони вказують, в якому напрямку антена має найвищу чутливість чи як ефективно вона випромінює сигнали.

Нормована діаграма направленості антени — це графічне зображення, в якому амплітуда чи потужність випромінювання (або прийому) антени представлена у відносних одиницях. Тобто величина визначається відносно максимального значення на діаграмі. Математично описується так:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{f(\theta, \varphi)}{f_{max}(\theta, \varphi)} = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{max}(\theta, \varphi)} \quad F_{max}(\theta, \varphi) = 1.$$

Також прийнято використовувати ДН по потужності. ДНП є графічним зображенням розподілу потужності випромінювання антени в просторі в залежності від напрямку. Ця діаграма вказує, як ефективно антена передає чи приймає потужність в різних напрямках. Вона може бути як нормованою так і в реальних одиницях потужності. Математично описується так:

$$Y(\theta, \varphi) = \frac{S(\theta, \varphi)}{S_{max}(\theta, \varphi)} = \frac{E^2(\theta, \varphi)}{E_{max}^2(\theta, \varphi)} = F^2(\theta, \varphi).$$

де  $S$  – випромінювана потужність від просторових кутів  $\theta$  та  $\varphi$ .

Розглянемо види антенних ДН. Найрозповсюдженіший випадок будови ДН це складна багатопелюсткова, продемонстрована на рис. 1.11.

Головна пелюстка (вона ж і найбільша) - вказує на основну, центральну та зазвичай найсильнішу область випромінювання чи чутливості в певному напрямку для антени чи іншої радіаційної системи.

Задній пелюстка ДН антени - це додатковий сегмент, який випромінює чи приймає енергію в протилежному напрямку до головного лопатевого сегмента. Це небажана характеристика в багатьох антенних системах, оскільки вона може сприяти витоку сигналу чи втручанням в напрямках, де передбачається мінімальне випромінювання чи чутливість. Напрямок у якому антена не випромінюється називають нульовим.

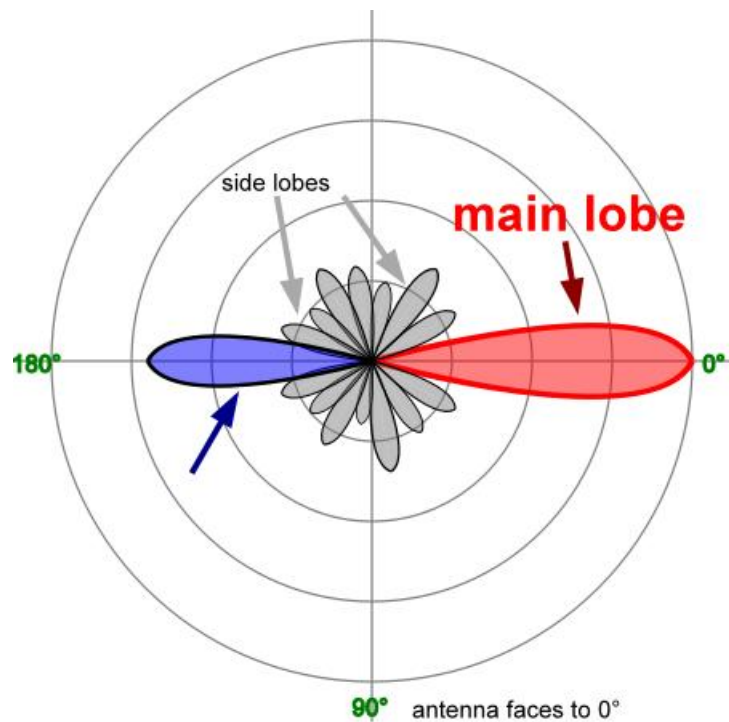


Рисунок 1.11 — Будова складної багатопелюсткової ДН

Зазвичай ДН антен зображають у полярній системі координат, як продемонстровано на рис. 1.12, а, або прямокутній, як зображено на рис. 1.12, б. Для зображення використовується логарифмічний масштаб.

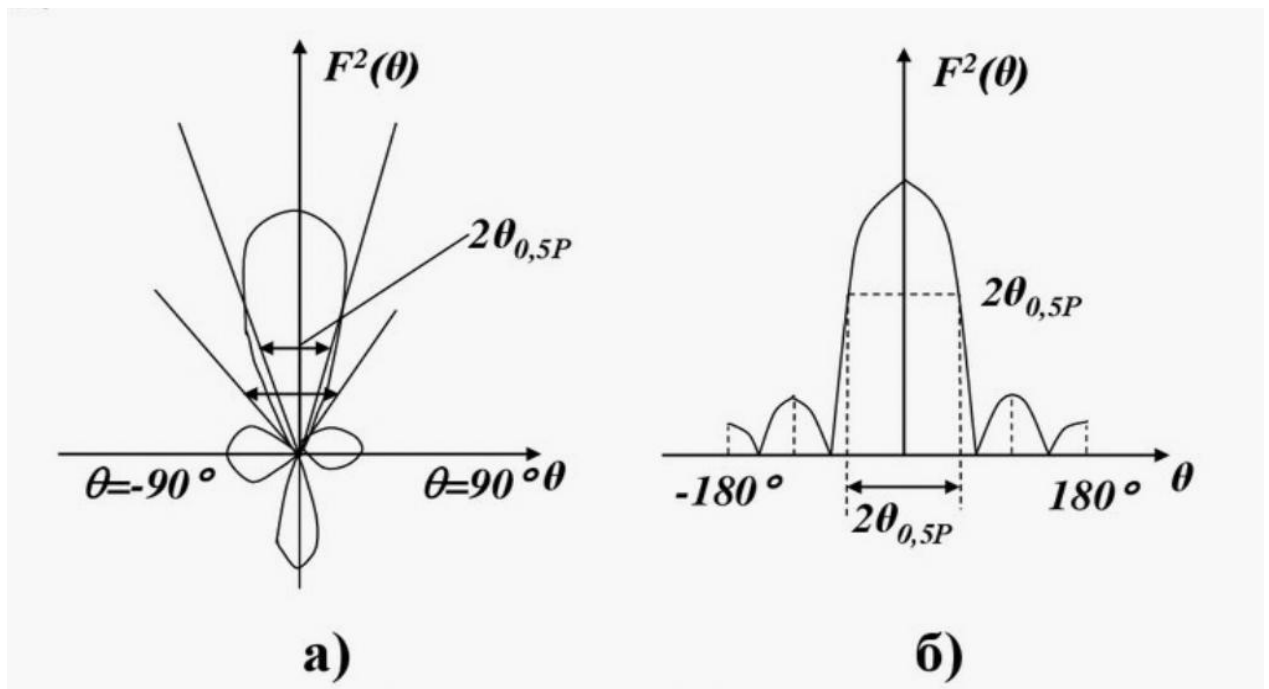


Рисунок 1.12 — а) ДН в полярній системі координат;

б) ДН у прямокутній системі координат

Додатково однією з властивостей, що характеризують антени є коефіцієнт направленої дії (КНД) і коефіцієнт підсилення.

КНД антени є величиною, яка визначає, наскільки добре антена спроможна спрямовувати (або збирати) енергію в певному напрямку в порівнянні з референсною антеною, яка має одиничний КНД. Математично виражається як відношення потужності, що спрямовується в заданому напрямку, до потужності, яку сприймає антена при одиничному випромінюванні у всі напрямки:

$$D = \frac{4\pi A}{\lambda^2} = \frac{4\pi S v_{\Sigma}}{\lambda^2}.$$

Коефіцієнт підсилення антени визначає ефективність антени у спрямованому випромінюванні або отриманні сигналів. Це величина, яка визначає, наскільки сильно антена підсилює чи збирає сигнали в порівнянні з ідеальною антеною, яка випромінює чи приймає однакову потужність у всіх напрямках. Коефіцієнт підсилення вимірюється у децибелах і може бути обчислений з КНД за допомогою відомої формули [4] або може визначатися так:

$$G = 4\pi \frac{S_{e\phi}}{\lambda^2},$$

ДЕ  $S_{e\phi}$  – ефективна площа вимірювання антени.

Відповідно до діапазону у якому використовується антена можна розділити їх на антени довгих, середніх, коротких хвиль, а також антени ультракороткочастотного діапазону хвиль (УКХ), приблизно від 300 МГц до 3 ГГц та антени оптичного діапазону.

Антени для довгих, середніх і коротких хвиль формуються з систем тонких провідників, які служать для конвертації високочастотних струмів у радіохвилі. Ці антени також відповідають за створення діаграми направленості, що визначає, як ефективно вони спроможні направляти чи приймати радіосигнали в різних напрямках [5].

Для антен УКХ діапазону характерні наступні особливості:

- розмір їх як правило значно більший довжини хвилі, що дозволяє забезпечити високі напрямні властивості антени;
- замість лінійних струмів, які протікають по тонких дротах, широко застосовують поверхневі струми, які обтікають великі металеві поверхні;
- перетворення струмів ВЧ в радіохвилі і формування ДН виконується, як правило, різними елементами антени.

Так, в дзеркальних або лінзових антенах джерелом випромінювання є звичайно вібратор, щілина, рупор. ДН цих антен формуються дзеркалом або лінзою.

### **Висновок до першого розділу**

Цей розділ висвітлив сутність та ключові характеристики компонентів систем радіомоніторингу та дав змогу ретельно проаналізувати та порівняти їх, фокусуючись на спектральних аналізаторах, радіочастотних приймачах та антенах. Спектральні аналізатори виявились фундаментальною складовою для аналізу та вимірювання параметрів радіосигналів. Радіочастотні приймачі, будучи інтегральною частиною систем, забезпечують важливі можливості збору та обробки сигналів, виокремлюючи корисні від завад. Антени відіграють критичну роль у забезпеченні ефективності та точності радіомоніторингу, а їх різноманітні типи та конфігурації впливають на здатність системи виявляти, спрямовувати та реєструвати сигнали.

## 2 МЕТОДИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РАДІОМОНІТОРИНГУ

### 2.1 Спектральний аналіз

Спектральний аналіз — це статистичний метод, який використовується для аналізу набору даних часового ряду, що ідентифікує статистично важливі частоти, присутні в часовому ряді, щоб визначити, чи містить він періодичні чи циклічні компоненти.

У даному підрозділі буде розглянуто:

- деякі основні концепції часових рядів, спектр сигналу та його типи;
- проаналізовано різні методи спектрального та модуляційного аналізу, описано їх в математичному вигляді і буде проведено ознайомлення з їхніми характеристиками у порівняльному вигляді;
- описано принципи, організації стандартизації радіочастот.

#### 2.1.1 Математичне пояснення роботи спектрального аналізу з використанням часових рядів

Часовий ряд часто визначається як упорядкована послідовність спостережень. Упорядкування зазвичай відбувається в часі, особливо в термінах однаково розташованих часових інтервалів. Прикладом використання може бути колосальна кількість дзвінків до інформаційних центрів, статистика експорту або імпорту товарів, статистика авіаперельотів, рівень працевлаштування країни, і все інше в межах певного часового діапазону. Сукупність статистичних методів, доступних для вивчення часових рядів, відома як аналіз часових рядів. Формально часовий ряд є реалізацією процесу часового ряду, який представляє собою родину випадкових величин,  $Z_t$ , де  $t$  належить індексному набору. У нашому випадку припускається, індексний набір - це множина всіх цілих чисел. Основною ціллю аналізу часових рядів - дослідження процесу через характерний часовий ряд чи реалізацію. Таким чином, важливо розуміти деякі основні характеристики процесу часового ряду [6].

Процес часового ряду вважається цілковито стаціонарним, якщо спільний розподіл  $(Z_{t_1}, \dots, Z_{t_n})$  такий самий, як спільний розподіл  $(Z_{t_1+k}, \dots, Z_{t_n+k})$  для будь-якого  $n$  - кортежу  $(t_1, \dots, t_n)$  та  $k$  цілих чисел. Терміни «сильно стаціонарний» і «повністю стаціонарний» також використовуються для позначення повного стаціонарного процесу. Беручи до уваги те, що цілковита стаціонарність виражена через її функцію розподілу, і важко або неможливо перевірити загальну функцію розподілу, для даного процесу часового ряду  $Z_t$ ,  $\pm 1 \leq t \leq \pm 2$ , концепція припадає на вивчення деяких його важливих параметрах, таких як моменти, функції середнього значення процесу:

$$\mu_t = E(Z_t).$$

Варіаційна функція процесу набуває такого вигляду:

$$\sigma_t^2 = \text{Var}(Z_t) = E(Z_t - \mu_t)^2.$$

Автоковаріаційна функція процесу між  $Z_{t_1}$  і  $Z_{t_2}$  набуває такого вигляду:

$$\gamma(t_1, t_2) = E(Z_{t_1} - \mu_{t_1})(Z_{t_2} - \mu_{t_2}).$$

Для цілковитого стаціонарного процесу, оскільки функція розподілу однакова для всіх  $t$ , функція середнього значення:

$$\mu_t = \mu \in \text{const}, \text{ якщо } E(|Z_t|) < \infty.$$

Ситуація подібна і з автоковаріаційною:

$$\text{якщо } E(Z_t)^2 < \infty, \text{ тоді } \sigma_t^2 = \sigma^2 \in \text{const}.$$

Процес часового ряду вважається  $n$ -го порядку «слабко стаціонарним», якщо всі його загальні моменти до порядку  $n$  існують і є незмінними відносно часового походження. Отже, «слабко стаціонарним» процес  $n$ -го порядку матиме постійне середнє значення і дисперсію, а автоковаріаційні функції будуть варіюватися лише різницею у часі.

Процес часового ряду вважається нормальним або гауссівським, якщо його спільний розподіл є нормальним. Оскільки нормальний розподіл унікально характеризується своїми першими двома моментами, цілковито

стаціонарний і слабо стаціонарний процеси є еквівалентними до гауссівського процесу. Крім того, якщо не зазначати інше, часові ряди, які обговорювалися, вважаються гауссівськими.

### 2.1.2 Спектр сигналу та його типи

Перш ніж визначити поняття спектру сигналу необхідно мати усвідомлення такого поняття, як сигнал. Тож сигнал - це змінна фізична величина, яка відображає повідомлення. З цього визначення випливає, що сигналом може бути не лише електрична величина. У радіотехнічних пристроях мають справу з електричними сигналами, які однозначно пов'язані з передаваними повідомленнями. Відмінна особливість будь-якого сигналу полягає в тому, що він повинен нести в собі певну інформацію.

Сигнали можна класифікувати з точки зору їхнього функціоналу на радіо та відео сигнали. Кожен із згаданих типів за характером можна поділити на детерміновані та випадкові. Детермінованим сигналом називають сигнал, параметри та миттєві значення якого у будь-який момент часу можуть бути передбачені з імовірністю  $P(A) = 1$ . Випадковий сигнал є функцією часу, значення якої наперед невідомі і можуть бути передбачені з імовірністю  $P(A) < 1$ .

Сигнали можуть бути класифіковані за їхньою формою наступним чином:

1. Аналогові сигнали (рис. 2.1), значення яких можна вимірювати в будь-який момент часу, оскільки вони представляють собою безперервні фізичні величини. Математично аналогові сигнали описуються неперервними функціями свого аргументу:

$$x(t) \in R \quad t \in R.$$

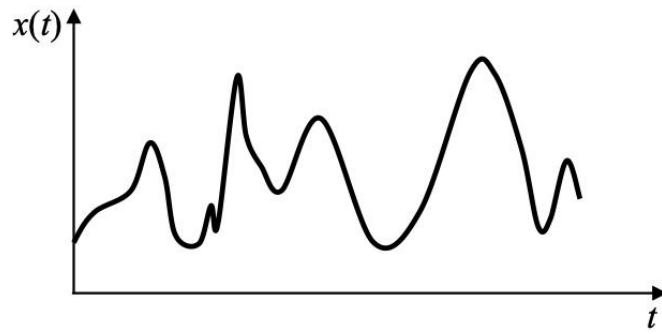
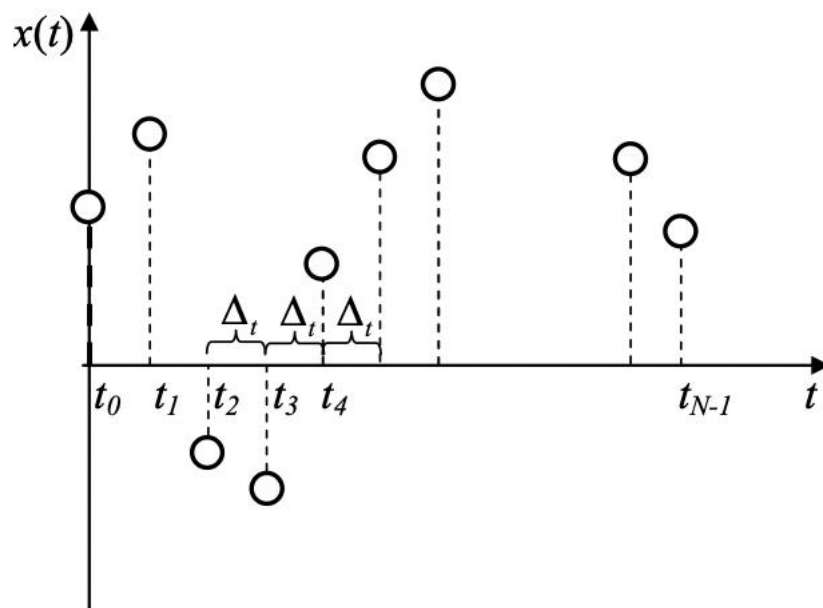


Рисунок 2.1 — Зображення аналогового сигналу

2. Дискретні сигнали (рис. 2.2), які уявляють собою дискретні значення аналогового сигналу, вимірювані через однакові або різні проміжки часу. Математична функція, що характеризує дискретний сигнал, визначена не на всьому числовому просторі, а лише для конкретних, обмежених значень свого аргументу, тобто представляє собою числову послідовність:

$$x(t)=x(t_n) \quad x(t_n) \in \mathbb{R} \quad t_n \in \mathbb{R} \quad n \in \mathbb{Z}.$$

Рисунок 2.2 — Зображення дискретного сигналу  
(з рівномірною дискретизацією)

3. Цифрові сигнали - різновид дискретних сигналів, які представляють собою числові значення у дискретні моменти часу. Зазвичай такі значення



кодуються двійковим кодом (рис. 2.3). У математичному вигляді можуть бути представлені так:

$$x(t) = x_k(t_n) \quad x_k = k\Delta_x \quad t_n = n\Delta_t \quad n \in \mathbb{Z}.$$

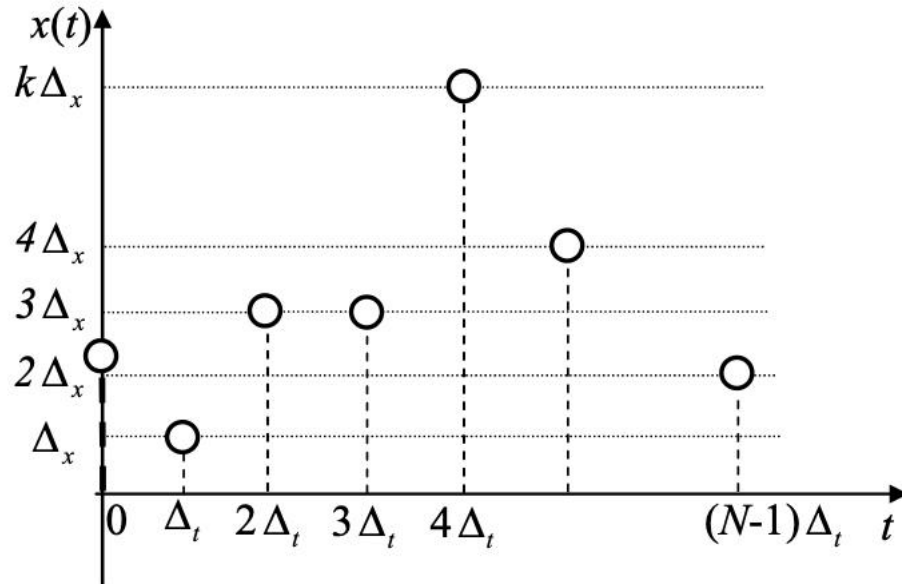


Рисунок 2.3 — Зображення цифрового сигналу

4. Періодичні сигнали (рис. 2.4), які неодноразово повторюють свої значення через проміжок часу  $T$  (постійна величина, яка називається періодом – інтервал часу), який називається періодом повторення сигналу. Умова періодичності виконується на необмеженому інтервалі часу:

$$x(t) = x(t + nT) \quad t \in \mathbb{R} \quad n \in \mathbb{N}.$$

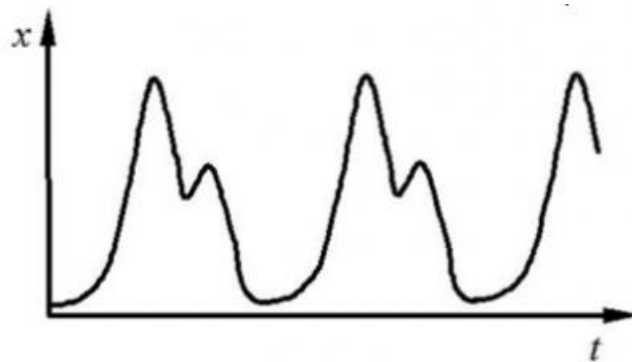


Рисунок 2.4 — Зображення періодичного сигналу

5. Неперіодичні сигнали (рис. 2.5), які на певному, лімітованому інтервалі часу ніколи не повторюють свої значення. Такий сигнал може бути поданий у вигляді:

$$x(t) = A_k \cos(\omega t + \varphi) \quad t \in \mathbb{R},$$

де  $A_k$  - амплітуда.

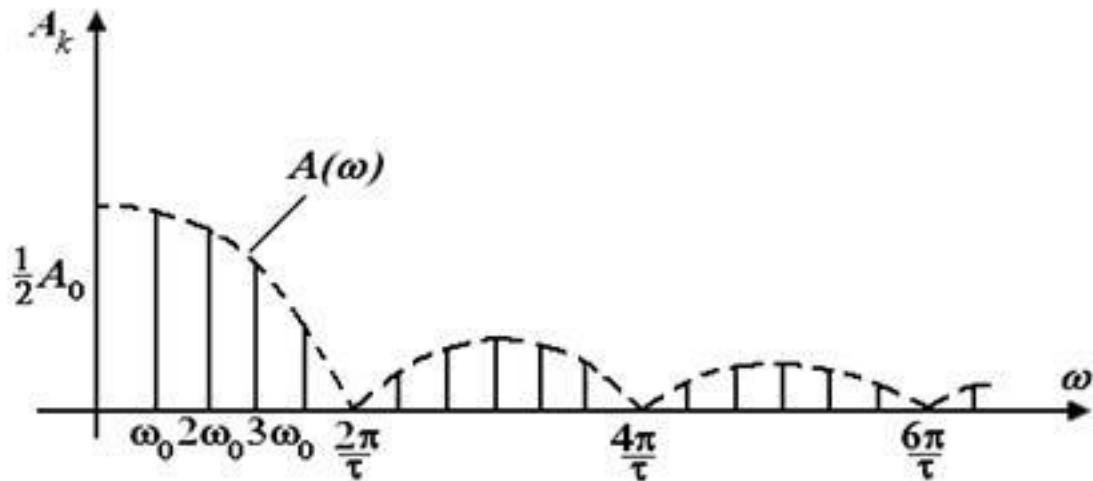


Рисунок 2.5 — Схематичне зображення неперіодичного косинусоїдального сигналу

### 2.1.3 Методи спектрального аналізу

Спектральний аналіз є ключовим інструментом в області обробки сигналів та радіомоніторингу. Цей розділ присвячений розгляду методів спектрального аналізу, який дозволяє виявляти, ідентифікувати та аналізувати різноманітні радіочастотні сигнали. У цьому розділі ми детально розглянемо основні методи спектрального аналізу, їхні принципи та застосування. Від перетворення Фур'є, яке перетворює сигнал із часового представлення в частотне, до вейвлет-аналізу, який дозволяє розкласти сигнал на локалізовані частотні складові.

#### 2.1.3.1 Перетворення Фур'є

Перетворення Фур'є є потужним інструментом спектрального аналізу для неперіодичних сигналів. Відмінності між перетворенням Фур'є та рядом

Фур'є виникають внаслідок припущення про те, що період неперіодичного сигналу прямує до нескінченності. Декілька ключових аспектів відмінностей включають:

1. Частота як неперервний параметр:

У перетворенні Фур'є частота, яка в ряді Фур'є має дискретний характер, стає неперервним параметром перетворення. Це дозволяє аналізувати спектр сигналу на неперервному спектральному діапазоні.

2. Спектральна функція:

Замість коефіцієнтів ряду, як у ряді Фур'є, результатом перетворення Фур'є є функція частоти, відома як спектральна функція. Ця функція вказує на наявність та інтенсивність різних частот у сигналі.

Формула для розрахунку перетворення Фур'є визначається математичними виразами, які враховують спектральні характеристики неперіодичного сигналу. Дану формулу можна подати в такому виді:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot e^{-i\omega t} dt,$$

де  $S(j\omega)$  – спектральна густина сигналу,  $s(t)$  – пряме перетворення Фур'є.

Формула оберненого перетворення Фур'є має такий вигляд:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(j\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega.$$

### 2.1.3.2 Вейвлет-аналіз

Теорія вейвлет-аналізу, хоча не є фундаментальною, вважається практичним та ефективним інструментом для вирішення різноманітних тематичних задач. Основною областю її застосування є аналіз та обробка сигналів, функцій. У порівнянні з розкладанням сигналів на ряди Фур'є, вейвлет-аналіз вирізняється більшою точністю у представленні локальних особливостей сигналів. Якщо аналізувати даний аналіз у ретроспективі розкладання на ряди Фур'є, вейвлет-перетворення одномірних сигналів забезпечують двовимірну розгортку, де частота і координата розглядаються

як незалежні змінні. Це дозволяє аналізувати сигнал одразу у двох просторах, надаючи більш гнучкий та деталізований підхід до обробки сигналів.

Вейвлет-перетворення – це певні експлуатації над інтегралом (або рядами) Фур'є згідно з системою базисних функцій, які були отримані в результаті вейвлету.

Дану формулу можна зобразити так:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in R \quad b \in R \quad a \neq 0,$$

$\psi_{ab}(t)$  - материнський вейвлет, у якому  $b$  - зсув по часу,  $a$  - часова змінна масштабу.

Якщо деяка функція  $\psi(t) \in R$ , та містить при цьому одиничну евклідову норму  $|\psi(t)| = 1$ , то  $\psi(t)$  може вважатися материнським вейвлетом.

У порівнянні із спектральним аналізом перетворення вейвлет складніше у реалізації. Вейвлет-аналіз включає в себе використання вейвлет-функцій, які мають складені математичні властивості. Обчислення вейвлет-перетворення вимагає використання ітеративних методів та багато операцій з плаваючою комою, що може призводити до великої обчислювальної складності [6].

Залежно від властивостей вейвлет-функцій ( $\psi_n$ ), які використовуються для розкладу сигналу, можна виокремити різні класи вейвлет-перетворень:

Неперервне вейвлет-перетворення використовується для аналізу як неперервних, так і дискретних сигналів. Математична реалізація продемонстрована вище.

Розкладання сигналу по фреймам: Цей клас вейвлет-перетворень використовує розкладання сигналу відповідно до фреймів або блоків, що дозволяє ефективно аналізувати сигнали у часткових часових вікнах.

Ортогональні вейвлет-перетворення. Цей клас включає в себе ортогональні вейвлет-перетворення, такі як діадне ортогональне вейвлет-перетворення, вейвлет-перетворення з біортогональними базисами вейвлетів, розклад у вейвлет-пакети та вейвлети на інтервалі. Ортогональні вейвлет-

перетворення мають властивість ортогональності, що забезпечує деякі переваги у вирішенні практичних завдань, таких як стиснення сигналів та відновлення сигналів зі спотвореннями [6].

### 2.1.3.3 Перетворення Гілберта

Перетворення Гілберта є важливим математичним інструментом, використовуваним у сигнальному аналізі та обробці сигналів, який розглядається в контексті диференціальних рівнянь. Перетворення Гілберта використовується для визначення аналітичного сигналу, який включає інформацію про амплітуду та фазу сигналу.

Дане перетворення працює шляхом створення аналітичного сигналу за допомогою згладжувальної фільтрації вихідного сигналу. Цей аналітичний сигнал містить інформацію про амплітуду та фазу вихідного сигналу, що полегшує його аналіз та обробку. Принцип роботи даного методу можна розглядати у контексті згортки функції  $x(t)$  з функцією  $h(t) = \frac{1}{\pi t}$  або ядро Коші.

У явному вигляді, перетворення Гілберта можна визначити так:

$$H(u(t)) = \frac{1}{\pi} p.v \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u(\tau)}{t-\tau} dt.$$

Дана згортка функції містить помірний розподіл  $p.v \frac{1}{\pi}$ .

Якщо перетворення Гільберта послідовно двічі застосувати до функції, то як результат функція змінить знак:

$$H(u(t)) = -u(t).$$

Для аналізу функції у верхній півплощини, дане перетворення описує зв'язок між дійсною  $Re(p)$  та уявною  $Im(p)$  частинами значень границь. Наприклад, якщо  $f(z)$  є аналітичною у межах верхньої півплощини комплексної площини то:

$$z: Im(z) > 0 \text{ і } u(t) = Re(f(t + 0i));$$

$$Im(f(t + 0i)) = H(u(t)).$$

## 2.2 Модуляційний аналіз

Метою процесу модуляції є переміщення спектра вихідного сигналу до діапазону вищих частот. Модулювальний сигнал може змінювати амплітуду, частоту або фазу безперервного сигналу несучої частоти окремо або кілька параметрів одночасно, і може бути як аналоговим, так і цифровим.

### 2.2.1 Амплітудна модуляція

Амплітудна модуляція може бути визначена як зміна амплітуди несучої частоти за законом зміни рівня модулювального сигналу. Графік АМ коливання зображений на рис. 2.6. [7].

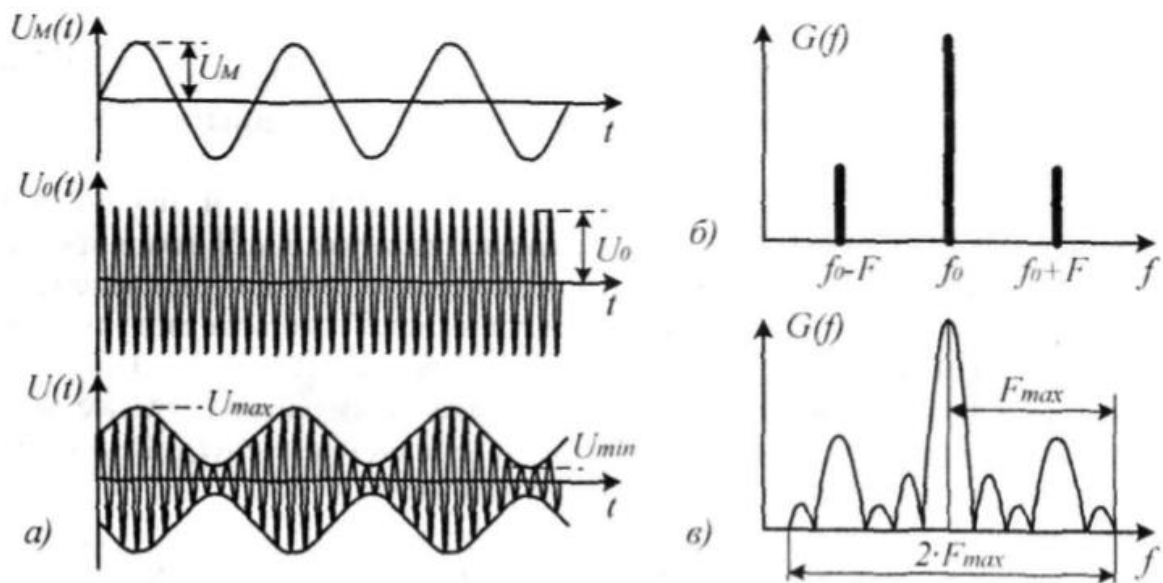


Рисунок 2.6 – Часовий графік і спектр амплітудної модуляції сигналу

Для гармонійного модулювання математичний вираз функціональної залежності часу  $t$  АМ сигналу  $U(t)$  таке:

$$U(t) = U_0[1 + m \cos(\Omega t + \psi)] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

де  $\varphi_0$  - початкова фаза сигналу,  $U_0$  - амплітуда,  $\omega_0 = 2\pi f$  - кутова частота,  $\Omega = 2\pi F$  - початкова фаза модулювання коливання з частотою  $F$ ,  $m$  - глибина амплітудної модуляції.

Таким чином, у спектрі модульованого сигналу крім коливання несучої частоти містяться два бічних складники з амплітудою, пропорційною коефіцієнту модуляції  $m$  та з частотами віднесеними від несучої частоти  $f_0$  на величину  $F$  [6].

Глибину модуляції можна розрахувати за формулою:

$$m = \frac{(U_{max} - U_{min})}{(U_{max} + U_{min})}$$

де  $U_{max}$  – максимальна амплітуда обвідної модульованого коливання, а  $U_{min}$  – мінімальна амплітуда обвідної модульованого коливання.

Розрізняють такі різновиди АМ:

- двосмугова АМ (DSB, Double Sideband);
- двосмугова АМ із подавленою несучою частотою (DSBSC, Double Sideband Suppressed Carrier);
- односмугова АМ (SSB, Single Sideband);
- односмугова АМ із подавленою несучою частотою (SSBSC, Single Sideband Suppressed Carrier) і наявною нижньою чи верхньою смугою (LSB, Lower Sideband або USB, Upper Sideband);
- АМ із частково подавленою однією бічною смугою (VSB, Vestigal Sideband);
- АМ із двома незалежними бічними смугами (ISSB, Independent Single Sideband) [7].

Амплітудна модуляція (АМ) є широко використовуваним методом у звуковому і телевізійному мовленні. В контексті використання двосмугової АМ в діапазонах дуже низької і низької частот, а також односмугової АМ в діапазонах короткої хвилі і ультракороткої хвилі, особливе використання в системах телевізійного мовлення включає АМ з однією частково подавленою бічною смугою частоти для передачі сигналів зображення.

Однак визначена низька ефективність використання спектра при застосуванні АМ призводить до значної потужності передавачів. Ця особливість ускладнює пристрої для обробки АМ сигналів, і відзначається

важливістю пристроїв для регулювання потужності передавача та фільтрації бічних смуг.

У контексті радіомоніторингу, високі рівні напруженості поля радіоколивань у діапазоні короткої хвилі сприяють виявленню та ідентифікації сигналів. Використання АМ у цих діапазонах дозволяє застосовувати пристрої з простими схемами для інструментального аналізу параметрів сигналів та виявлення можливих перешкод чи неправомірної активності у радіочастотному спектрі.

### 2.2.2 Частотна модуляція

Частотна модуляція (ЧМ) є окремим випадком кутової модуляції. При цьому параметром, що змінюється за законом модульовального колювання, є несуча частота, значення якої пропорційне рівню модульовального сигналу [7].

Миттєва частота гармонійного модулювання колювань  $\omega(t)$  визначається з виразу:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \psi),$$

де  $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$  - девіація частоти.

Приклад зображення ЧМ сигналу продемонстровано на рис. 2.7 нижче.

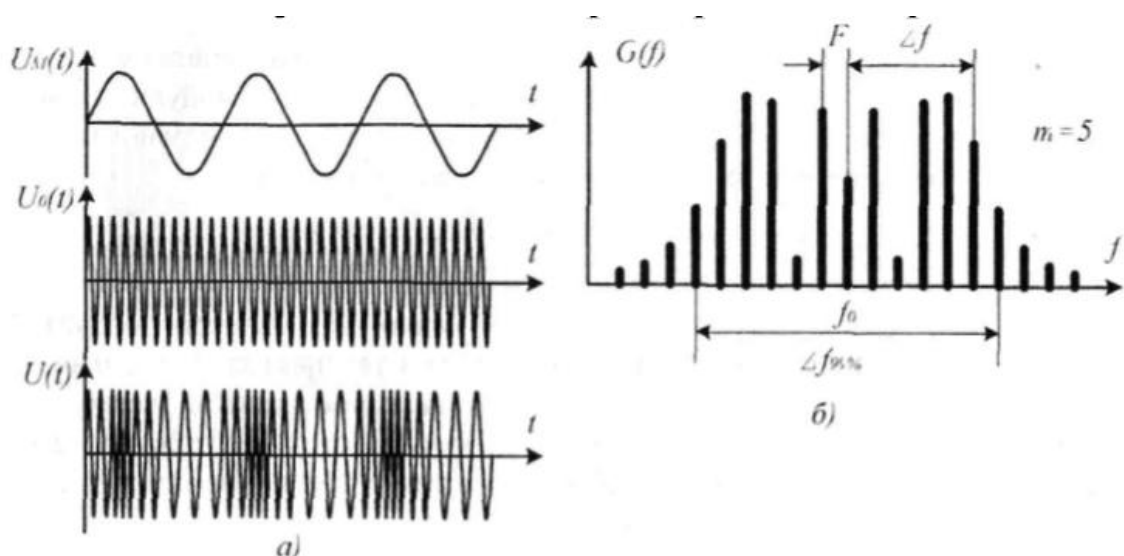


Рисунок 2.7 – а) часовий графік ЧМ сигналу;  
б) спектр ЧМ сигналу в аналітичній формі



Миттєве значення напруги ЧМ сигналу:

$$U(t) = U_0 \cos([\omega_0 + m \sin(\Omega t + \psi)]t + \varphi_0),$$

де  $m = \frac{A\omega}{\varrho}$  – індекс ЧМ.

Розрізняють ЧМ широкосмугову і вузькосмугову. У першому випадку, як правило, враховують складники спектра з номерами  $n < m + 1$ , що відповідає ширині спектра ЧМ коливання для гармонійного коливання, в якій зосереджено 99 % енергії сигналу:

$$\Delta f_{99\%} = 2(\Delta f + F) \approx 2\Delta f.$$

Для невеликих значень індексу ЧМ ( $1 \leq m \leq 2,5$ ) розраховується за формулою:

$$\Delta f_{99\%} = 2F(1 + m + \sqrt{m}).$$

Для значень параметра  $m < 1$  можна припустити, що у спектрі відповідного сигналу містяться лише компоненти, які відповідають несучій частоті та двом бічним компонентам, розташованим на частоті  $F$ . Варто відзначити, що, відмінно від амплітудної модуляції (АМ), одна з цих бічних компонент має фазовий зсув на  $\pi$ . Частотна модуляція (ЧМ) в основному застосовується в діапазонах метрових та коротших хвиль.

У контексті частотної модуляції важливо відзначити використання вузькосмугової ЧМ (NFM, Narrow Frequency Modulation) в системах рухомого зв'язку, тоді як широкосмугова ЧМ (WFM, Wide Frequency Modulation) знаходить своє застосування в сфері звукового та телевізійного мовлення. ЧМ з індексом модуляції  $m \approx 2$  широко використовується в системах аналогового радіорелейного та супутникового зв'язку. Лінійна ЧМ отримала поширене використання в радіолокаційних системах з метою збільшення дальності виявлення та підвищення розрізнявальної здатності за дальністю.

Методи виявлення та інструментального оцінювання параметрів радіовипромінювань значно залежать від конкретного типу частотно-модульованих (ЧМ) сигналів [7].

### 2.2.3 Фазова модуляція

Фазова модуляція (ФМ) також являється окремим випадком кутової модуляції, за якої параметром, що змінюється за законом модульовального коливання, є фаза. Для гармонійного (синусоїдального) модульовального коливання аналітичне представлення ФМ сигналу має вигляд [7]:

$$U(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi \sin(\Omega t + \psi) + \varphi_0),$$

де  $\Delta\varphi$  – девіація частоти.

Спектри частотно-модульованих (ЧМ) і частотної модуляції (ФМ) сигналів практично не розрізняються при однакових індексах модуляції, тому для обчислення спектру ФМ сигналу з великими індексами модуляції можна використовувати формули, призначені для ЧМ сигналів. Ширина смуги частот для обох випадків модуляції сигналу визначається девіацією частоти. Зазначимо, що ФМ, в основному, застосовується в системах радіонавігації.

Найчастіше для дискретних сигналів застосовують такі маніпуляції:

- фазова маніпуляція (ФМн; PSK, Phase Shift Keying);
- частотна маніпуляція (ЧМн; FSK, Frequency Shift Keying);
- амплітудно-фазова маніпуляція (АФМн; APSK, Amplitude-Phase Shift Keying); амплітудна маніпуляція (АМн).

Але детальніше ми проаналізуємо фазову маніпуляцію (ФМн), адже вона являє собою основний і найефективніший вид модуляції, що запроваджує високу швидкість передавання символів. ФМн сигнал на певному інтервалі  $T$  представляється, як послідовність елементарних радіоімпульсів, які відрізняються лише значенням фази. І в математичному вигляді дана реалізація виглядає так:

$$U(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_i) \quad 0 < t < T \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

де  $N$  – кількість градацій,  $U_0$  – амплітуда сигналу.

Найбільш завадостійкою можна вважати ФМн, у якій рівномірне розташування градацій фази  $(\varphi_i) = \frac{2\pi i}{N}$ .

Найпростішим випадком фазової маніпуляції є двофазна (бінарна) ФМн (BPSK, Binary PSK) (рис. 2.8), за якої інформаційним символам „1” та „0” відповідають сигнали, фаза одного з яких співпадає з фазою несучого коливання, а другого - протифазна.

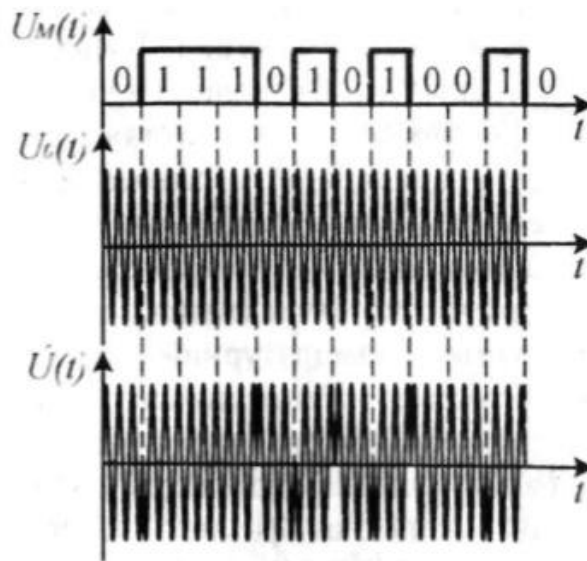


Рисунок 2.8 – Часова діаграма сигналу Binary PSK

Також розрізняють 4-фазні ФМн (DQPSK, Differential Quaternary (Quadrature) PSK). Якщо в якості опорного (синфазного) сигналу застосовується сигнал  $\cos(\omega_0 t)$ , то елементарна послідовність для 4-фазної ФМн (рис. 2.9) формується за законом:

$$U_k(t) = \frac{U_0}{\sqrt{2}} d_{1k} \cos(\omega_0 t + \psi) - \frac{U_0}{\sqrt{2}} d_{kQ} \sin(\omega_0 t + \psi)$$

$$kT < t < (k+1)T,$$

де  $U_0$  – амплітуда сигналу,  $T$  – тривалість послідовності,  $\psi$  – початкова фаза несучого коливання.

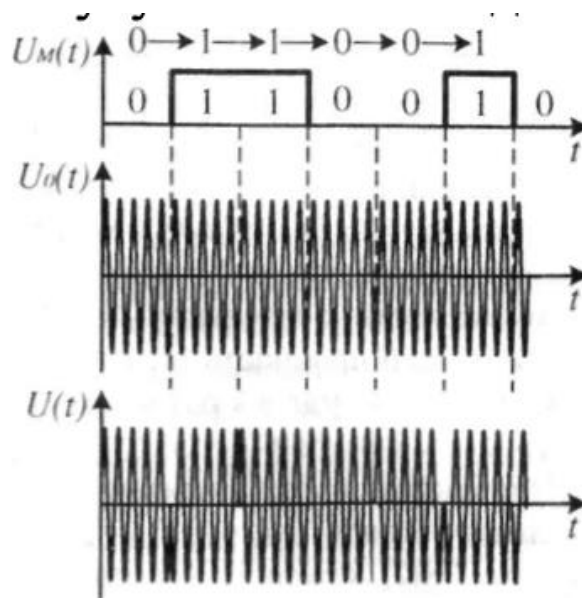


Рисунок 2.9 — 4-фазна відносна ФМ

Використання фазових модуляцій застосовується у багатьох галузях і передбачає такі функції: передача даних, мобільний зв'язок, супутникове та кабельне телебачення, виявлення та ідентифікація сигналів.

До переваг даної модуляції можна віднести:

- оптимальне використання радіочастотного спектру;
- висока якість передачі інформації (навіть у обмежених умовах).

Якщо брати до уваги недоліки, то варто зазначити такі:

- чутливість до інтерференцій та збурень;
- складність реалізації обробки сигналів у порівнянні з іншими методами.

#### 2.4 Нормативно правове регулювання у використанні РЧР

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ, The International Telecommunication Union (ITU)) є спеціалізованою агенцією Організації Об'єднаних Націй у сфері інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) [8].

ITU, займає ключову позицію у регулюванні використання радіочастотного спектра на світовому рівні. Це стосується визначення

стандартів та рекомендацій для розподілу радіочастотного спектра між різними службами та користувачами, а також встановлення технічних параметрів для безпечного та ефективного використання цього ресурсу.

Відповідно до положень Статуту МСЕ основною метою діяльності МСЕ є:

- забезпечення та розширення міжнародного співробітництва між членами Союзу з метою вдосконалення й раціонального використання всіх видів електрозв'язку, сприяння технічній допомозі в галузі електрозв'язку та надання її країнам, що розвиваються;

- сприяння розвитку технічних засобів та їхній найефективнішій експлуатації для підвищення продуктивності служб електрозв'язку, розширення сфери їх застосування та максимального використання населенням;

- сприяння поширенню новітніх технологій у галузі електрозв'язку;

- узгодження міжнародної діяльності всіх країн, спрямованої на досягнення зазначеної мети.

МСЕ розподіляє РЧС і виділяє радіочастоти, реєструє присвоєння частот, а також координує діяльність, спрямовану на підвищення ефективності використання смуг радіочастот і запобігання появи та усунення неприпустимих радіозавад між радіостанціями різних країн [9].

Якщо розглядати дії ІТУ у межах радіомоніторингу, то можна виокремити найефективніший аспект - керування спектром (Spectrum Management, SM).

SM - це процес планування, регулювання та ефективного використання радіочастотного ресурсу в рамках певної країни чи території. Цей процес включає в себе виділення та ліцензування конкретних частот для різних служб, контроль за ефективністю використання спектру, вирішення конфліктів між різними користувачами, моніторинг радіочастотного

середовища, а також впровадження нових технологій та послуг. Загальну класифікацію всіх функцій МСЕ продемонстровано на рис. 2.10.

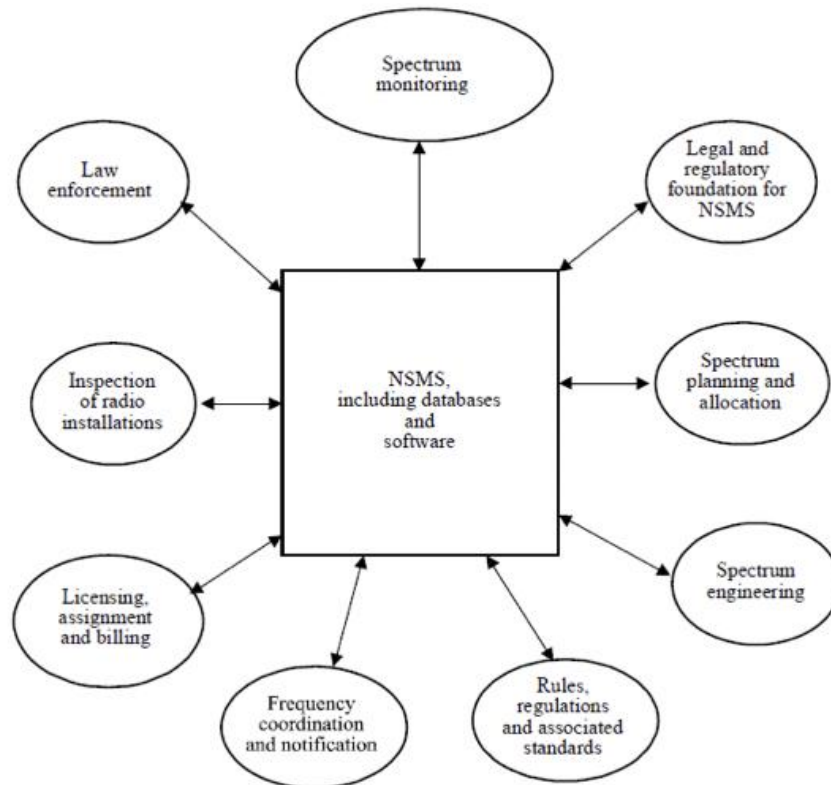


Рисунок 2.10 — National Spectrum Management Systems  
(Національна система управління спектром)

Проаналізуємо сектор правил, урегулювання та унормованих стандартів. Даний департамент NSMS підпорядковується вказівкам МСЕ стосовно завдань стандартизації електрозв'язку методом експлуатації, перевірки, аналізу та встановленням відповідних стандартів, які базуються на всесвітній основі.

Сектор здійснює свою роботу через:

- Всесвітні асамблеї зі стандартизації електрозв'язку (WASE);
- Бюро стандартизації електрозв'язку (ITU-T) на чолі з директором;
- Консультативну групу зі стандартизації електрозв'язку;
- дослідницькі комісії зі стандартизації електрозв'язку [9].

Але МСЕ не є кінцевим елементом уведення норм, адже підпорядковується ISO у питаннях стандартизації.

ISO (International Organization for Standardization) – це міжнародна організація, що розробляє та встановлює стандарти (рис. 2.11) для різних галузей. ISO використовується для створення єдиної мови та визначення умов та параметрів, які дозволяють гармонізувати вимоги до продуктів та послуг у різних частинах світу. Це сприяє полегшенню міжнародної торгівлі та співпраці між різними країнами та галузями промисловості.

<i>Name</i>	<i>Frequency Range</i>	<i>Applications</i>
<b>Low Frequency (LF)</b>	30 KHz-300 KHz	Time standards, Navigation
<b>Medium Frequency (MF)</b>	300 KHz-3 MHz	AM radio
<b>High Frequency (HF)</b>	3 MHz-30MHz	Amateur radio
<b>Very High Frequency (VHF)</b>	30 MHz-300 MHz	FM/TV broadcasting
<b>Ultra High Frequency (UHF)</b>	300 MHz-3 GHz	Cell phones, WLAN, GPR
<b>Super High Frequency (SHF)</b>	3 GHz-30 GHz	Satellite, 5G mobile
<b>Extremely High Frequency (EHF) “MMW”</b>	30 GHz-300 GHz	Imaging / detection applications, 5G mobile
<b>Tremendously High Frequency (THF)</b>	300 GHz-3 THz	High resolution microwave imaging

Рисцнок 2.11 — Стандартні радіочастотні діапазони

### **Висновок до другого розділу**

У розділі присвяченому методам радіомоніторингу, було розглянуто основні аспекти спектрального та модуляційного аналізу, а також нормативно-правове регулювання використання радіочастотного ресурсу. Спектральний аналіз виявляється потужним інструментом для вивчення частотної складової сигналу. Ми розглянули математичне пояснення роботи спектрального аналізу, типи спектрів сигналів та різні методи спектрального аналізу, такі як перетворення Фур'є, вейвлет-аналіз та перетворення Гілберта. У розділі про модуляційний аналіз детально розглядалися амплітудна, частотна і фазова модуляція, а також їхні застосування та особливості в різних галузях, таких як звукове та телевізійне мовлення, радіотехнології, а особливо радіомоніторинг. Нормативно-правове регулювання у використанні радіочастотного ресурсу визначає основні принципи ефективного управління

смугами радіочастот для забезпечення сприятливого середовища для розвитку комунікаційних технологій та забезпечення координації між країнами.

Узагальнивши, можемо зробити висновки, що даний розділ надає глибоке розуміння методів радіомоніторингу та їхнього застосування в аналізі та управлінні радіочастотним ресурсом. Також він акцентує важливість встановлення нормативно-правових засад для раціонального та ефективного використання радіоспектру в міжнародному контексті.



### 3 АНАЛІЗ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ

Витоком інформації вважається неконтрольоване або протизаконне поширення інформаційного ресурсу, кінцевим отримувачем якого є несанкціонований суб'єкт. Канали витоку інформації також називають технічними з огляду на методи запровадження даних маніпуляцій та інструменти.

Тож технічні канали витоку інформації (ТКВІ) (рис. 3.1) – це методи поширення конфіденційної інформації, несанкціонованим шляхом з метою нелегального збуту або шантажу, при цьому використовуючи ПЗ або інші технологічні методи.



Рисунок 3.1 — Структурна схема технічного каналу витоку інформації

Давайте проаналізуємо кожен з об'єктів технічного каналу.

Носії інформації – спеціалізовані носії, які містять в собі контент з обмеженим доступом. Такі носії можуть бути представлені у вигляді:

- акустичного поля;
- електромагнітного поля;
- електричного струму;
- електричного поля в світловому діапазоні частот;
- або у вигляді інших носіїв.

Джерела поширення небезпечного сигналу:

- мережі електроживлення або лінії заземлення;
- електро-обчислювальна техніка;
- системи телезв'язку;

- автоматичні мережі телефонного зв'язку;

Засоби технічної розвідки (ЗТР) – технічні засоби, загального призначення збору інформації або проведення розвідувальних операцій, з метою перехоплення та аналізу електромагнітних сигналів(оптичних приладів, акустичних систем).

На рис. 3.2 продемонстровано приклад витоку інформації у вигляді схеми.

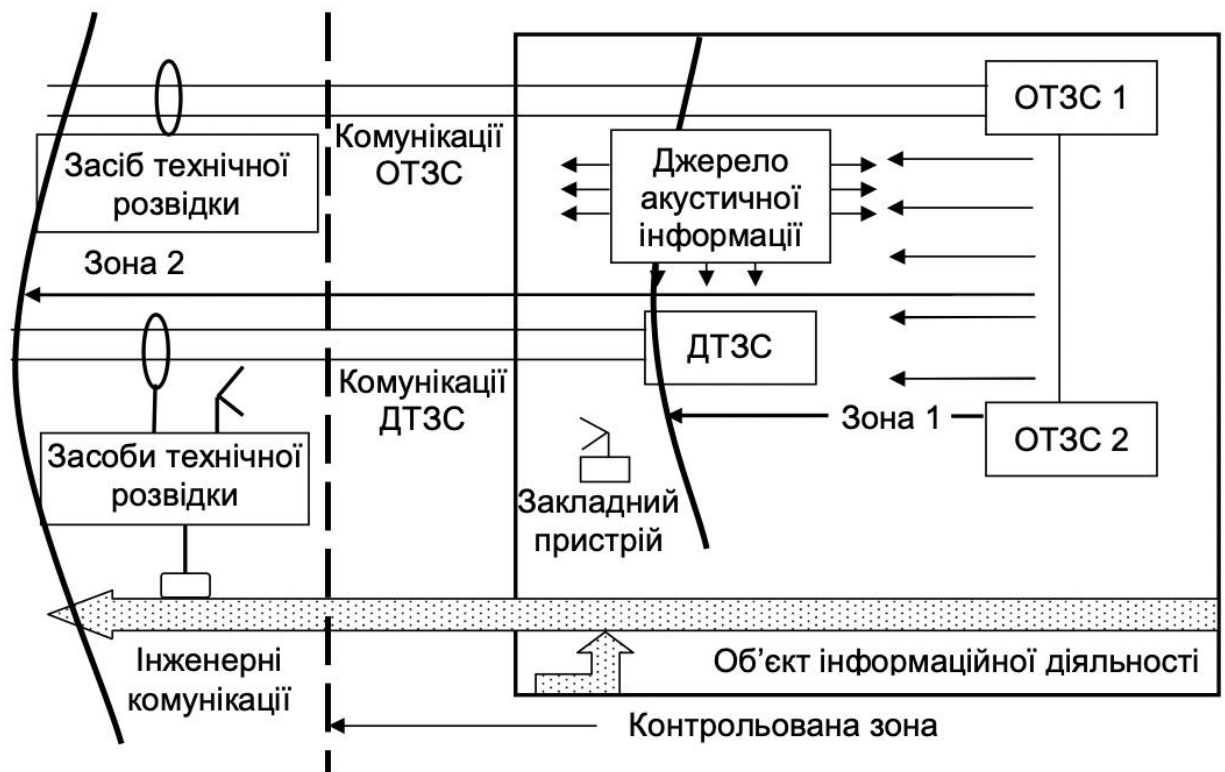


Рисунок 3.2 — Схема витоку інформації

Проаналізуємо елементи даної схеми:

Первинно середовище поширення небезпечного сигналу можна поділити на:

- вільний простір;
- комунікації, які не перебувають в межах контрольованої зони;
- ОТЗС та ДТЗС, які не входять у межі контрольованої зони;

Основні технічні засоби та системи (ОТЗС) – у нашому випадку це ключові технічні засоби і системи, які обробляють конфіденційну інформацію.

Допоміжні технічні засоби та системи (ДТЗС) - у нашому випадку це ключові технічні засоби і системи, які не обробляють конфіденційну інформацію. Однак потрапляють під вплив діапазону небезпечних акустичних полів ОТЗС обмежується зонами 1 та 2.

Зона 1 являє собою сукупність технічних засобів, на які здійснюється небезпечний вплив на сигнали. Дана зона обмежена певним радіусом і лежить від ОТЗС до контрольованої зони.

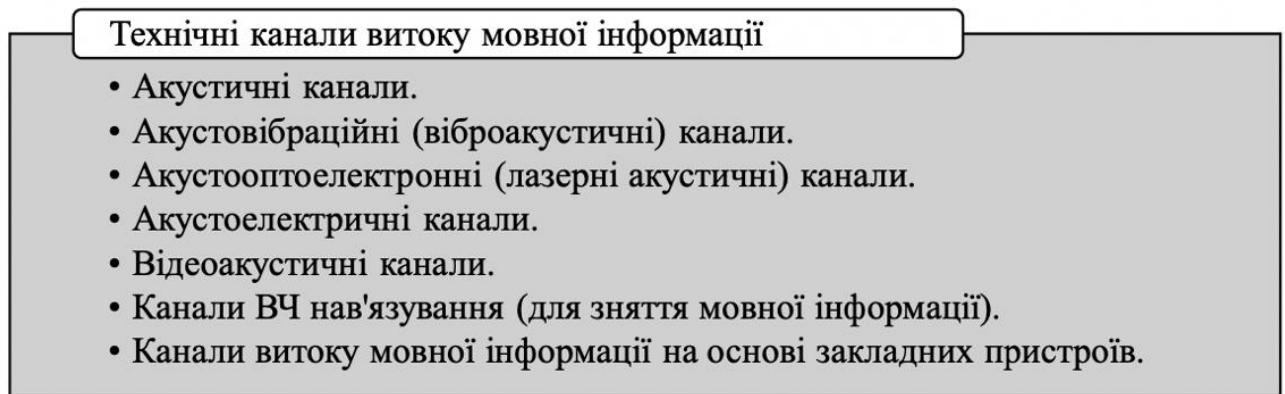
У той час, як зона 2 - сукупність технічних засобів для обробки інформації, за радіусом якої унеможливується перехоплення небезпечного сигналу. Тобто у зоні 2 можливо перехопити інформацію, а за межами ні. Також  $R_1 < R_2$ .

Контрольована зона (КЗ) – захищена територія, у межах якої перебувають лише санкціоновані технічні засоби та проводяться контрольовані маніпуляції.

### **3.1 Класифікація технічних каналів витоку інформації (ТКВІ)**

В процесі ознайомлення з даним розділом ми розглянемо розподіл ТКВІ за такими ознаками: за принципи формування небезпечного сигналу, середовищем поширення, та за методом перехоплення.

Розглянемо класифікацію ТКВІ по основі принципи формування небезпечного сигналу, яка продемонстрована на рис. 3.2 і рис. 3.3.



*Рис.3.2 Класифікація каналів витоку мовної інформації*

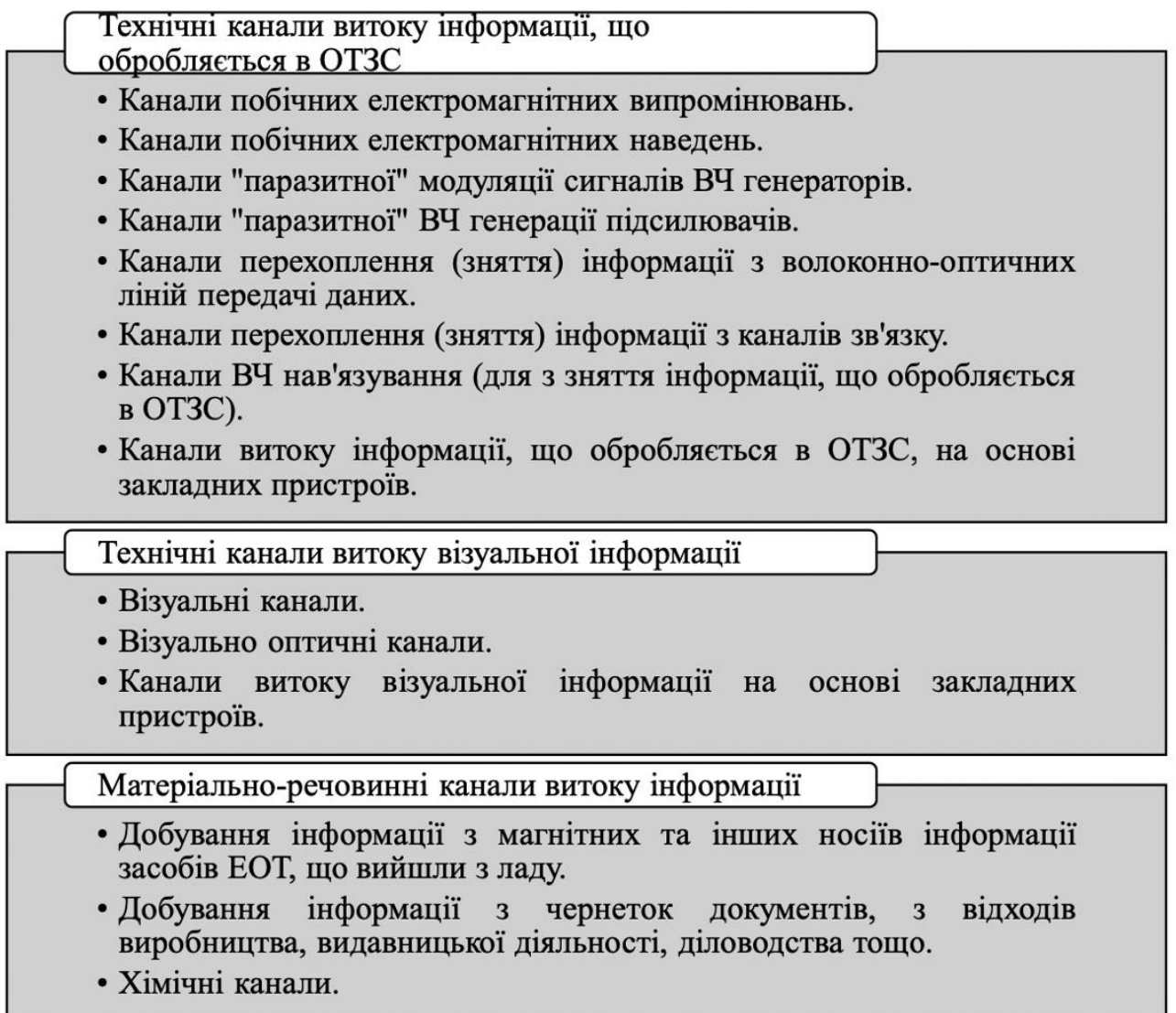


Рисунок 3.3 — Класифікація каналів витоку інформації, яка обробляється в ОТЗС, візуальної інформації, матеріально-речової

Також ТКВІ можна класифікувати за місцем та способом перехоплення засобами розвідки:

- канали перехоплення за межами КЗ;
- канали перехоплення за межами КЗ із впровадженням впливу на параметри (ТКВІ);
- канали перехоплення інформації з використанням технічних засобів розвідки.

## **1.2 Методологія створення технічних каналів витоку інформації**

### **1.2.1 Сутність каналів побічних електромагнітних випромінювань ОТЗС**

Канали побічних електромагнітних випромінювань (ПЕВ) в сутності є електромагнітними шляхами, які передають інформацію, що витікає з технічних засобів та систем (ОТЗС), навіть якщо ця інформація не передбачалася для передачі на відкритий простір. Таке випромінювання може бути результатом роботи різноманітних електронних пристроїв та систем, які випромінюють електромагнітні хвилі на частотах, непридатних їхнім основним функціям.

Як працює даний принцип навколо ОТЗС утворюється електричне поле, яке транспортує інформацію, але оскільки дані сигнали небезпечного характеру, то їх називають побічними електромагнітними випромінюваннями (ПЕВ) (рис. 3.4). Випромінювання даного типу поширюються у вільному просторі і можуть бути перехоплені за межами КЗ, засобами технічної розвідки противника і таким чином утворюється канал ПЕВ ОТЗС [10].

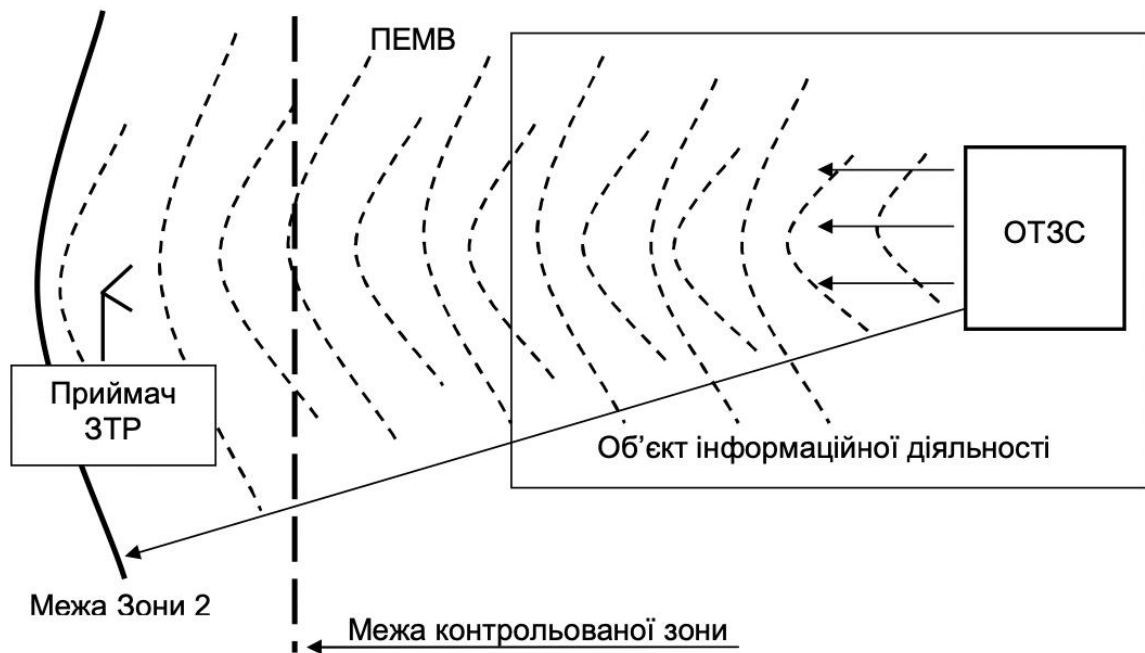


Рисунок 3.4 — Канал ПЕВ ОТЗС

Але існує така відстань в межах поля, яку небезпечний сигнал не зможе здолати, адже його поглинуть завади та пошкодять шуми, дана відстань характеризується зоною 2 ОТЗС, яку ми зазначали раніше. Якщо ворожі приймачі розташовані за діапазоном зони 2, це унеможливило перехоплення інформації.

Запобігання витоку інформації каналом ПЕВ ОТЗС досягається шляхом:

- створення КЗ,  $R$  якої не менший за радіус зони 2 та забезпечення режиму доступу до КЗ;
- екранування ОТЗС або екранування електронних елементів та провідників, зменшення довжини провідників;
- просторового електромагнітного зашумлення [10].

### 3.2.2 Сутність каналів побічних електромагнітних випромінювань ДТЗС

Канали побічних електромагнітних випромінювань ПЕВ виникають внаслідок перехоплення приймачами роботи технічних засобів та систем

ДТЗС (рис. 3.5), коли електромагнітне випромінювання виникає не тільки внаслідок основної функції пристрою, але й як побічний ефект.

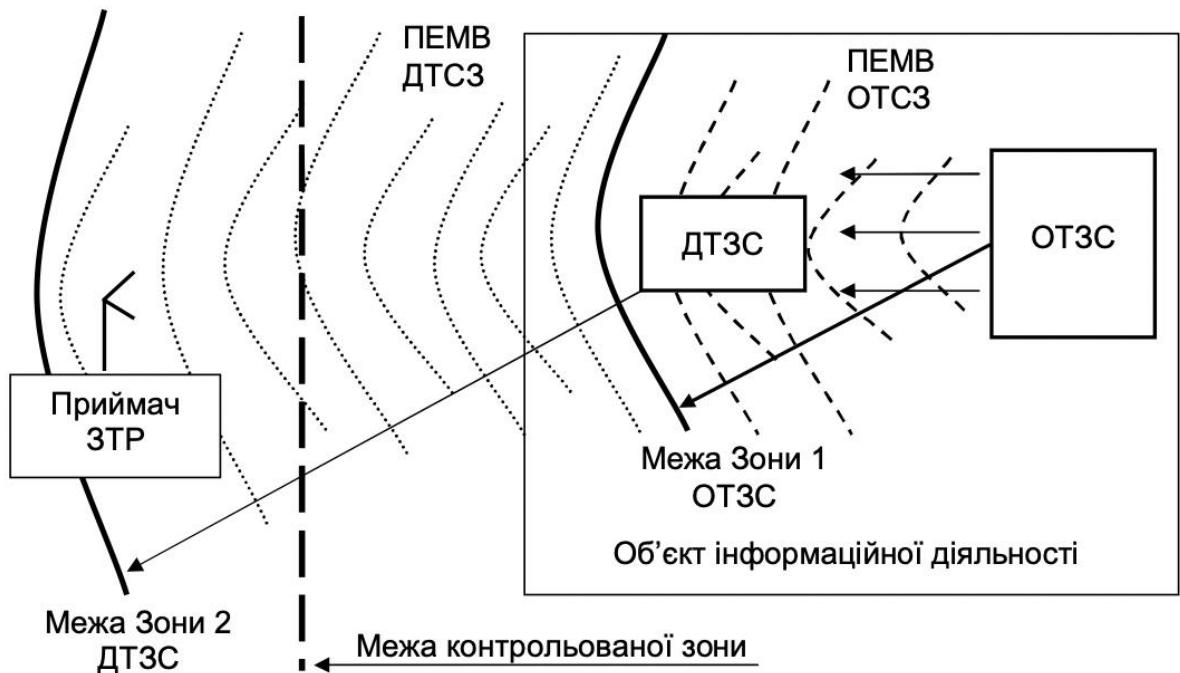


Рисунок 3.5 — Канал ПЕМВ ДТЗС

Чинники, які впливають на процес утворення побічних каналів ПЕМВ:

- електромагнітні поля внутрішніх схем;
- електромагнітні взаємодії між компонентами;
- електромагнітні перешкоди.

Усі ці фактори можуть взаємодіяти і призводити до формування каналів ПЕМВ, які можуть використовуватися для несанкціонованого збору інформації або створення каналів атак у контексті технічної розвідки та кібербезпеки.

Запобігти витоку інформації каналом побічних електромагнітних випромінювань ДТЗС, дотримуючись наступних пунктів:

- створення КЗ, R якої не менший за радіус зони 2 та забезпечення режиму доступу до КЗ;
- розташування ДТЗС та сторонніх провідників поза зоною 1 ОТЗС;
- екранування ОТЗС;

- екранування ДТЗС;
- просторове електромагнітне зашумлення.

### 3.2.3 Принцип роботи каналів паразитної модуляції сигналів ВЧ генераторів

Канали паразитної модуляції (рис. 3.6) сигналів ВЧ генераторів представляють собою фізичні механізми, за допомогою яких може відбуватися витік або витікання інформації через електромагнітні хвилі, які формуються у результаті роботи генератора. Такі канали можуть бути несанкціоновано використані для збору інформації або для атак на безпеку систем.

ВЧ генератор модулюється низькочастотними сигналами, які є небезпечними, адже вони скупчуються в ОТЗС та випромінюються у вигляді електромагнітного поля у вільний простір. Воно вважається небезпечним, адже згасання на високих частотах менше за низькі, тому і діапазон поширення необмежений. Ця властивість ВЧ генераторів дає змогу перехопити інформацію, яка вийшла за межі допустимої зони 2. Модуляція сигналу має здатність розширювати спектр частот сигналу, покращувати його потужність та коефіцієнт завадостійкості.

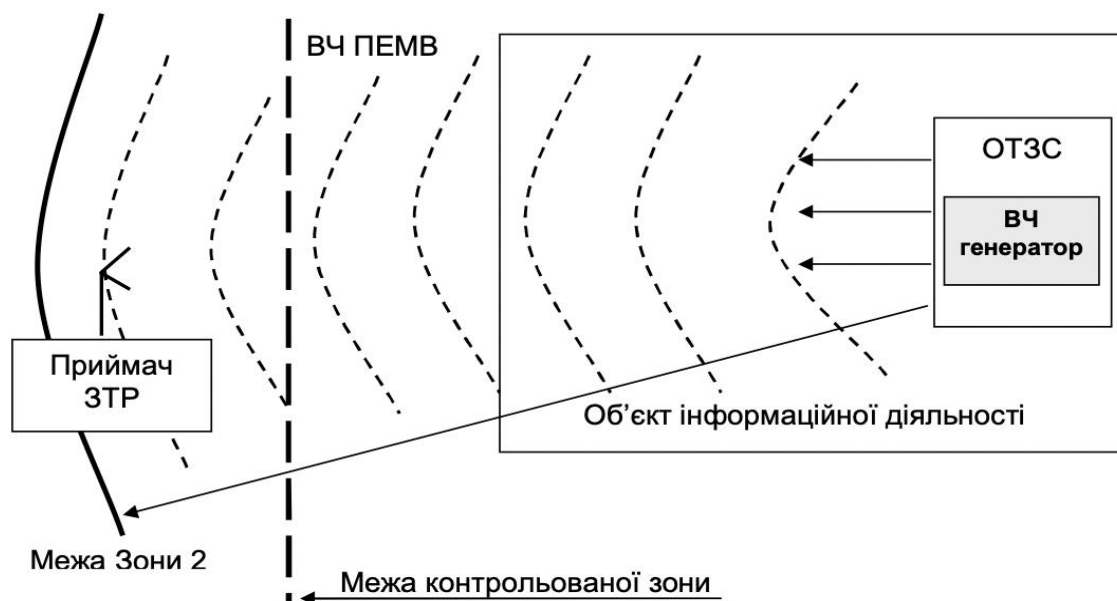


Рисунок 3.6 — Канал паразитної модуляції сигналів ВЧ генераторів



Унеможливлення витоку інформації каналом паразитичної модуляції здійснюється за рахунок:

- створення КЗ не меншої за зону 2 ( КЗ розраховується з врахуванням паразитної модуляції небезпечним сигналом коливань ВЧ генераторів ОТЗС);
- екранування ВЧ генераторів, оцінювання та блокування роботи ОТЗС у разі ідентифікації модуляції;
- просторового електромагнітного зашумлення [11].

### 3.2.4 Принцип роботи каналів паразитної генерації ВЧ підсилювачів

Спосіб утворення паразитної генерації (рис. 3.7) ВЧ підсилювачів полягає у самозбудженні НЗ підсилювачів на гармоніках, які кратні небезпечному сигналові. Вони можуть поширюватися за межі КЗ у вигляді поля електромагнітного випромінювання, а перехоплення здійснюється використанням технічної розвідки.

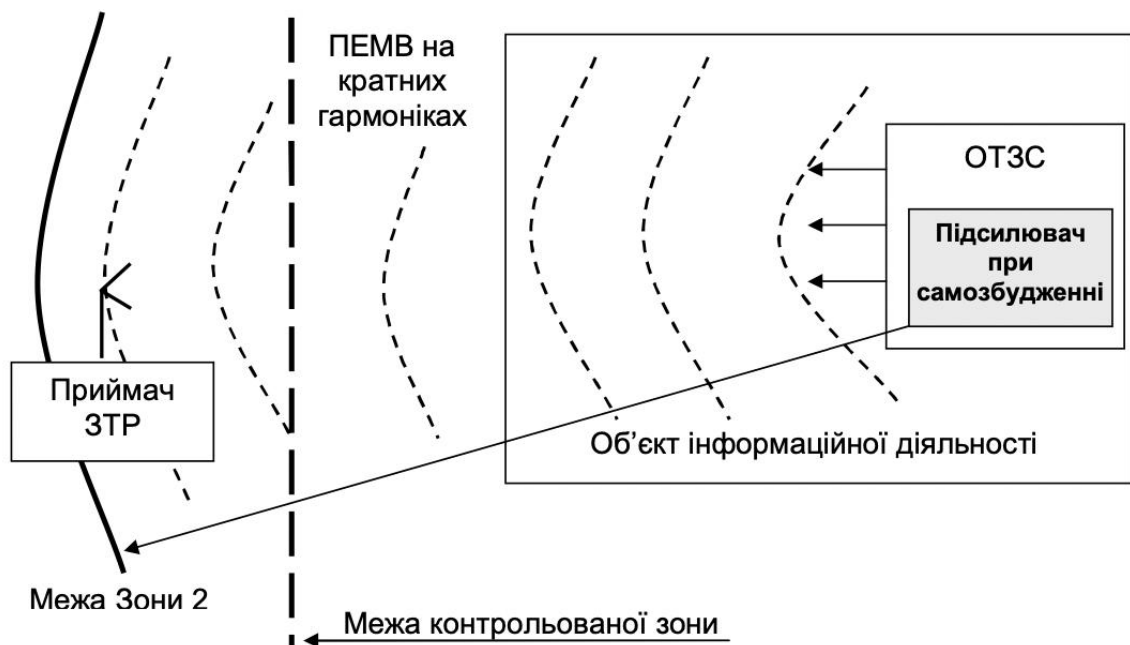


Рисунок 3.7 — Канал паразитної ВЧ генерації підсилювачів

У новітніх технологіях аналізу інформації зустріти НЗ підсилювачі не рідкість. Стандартно кожен з таких підсилювачів містить у своєму складі

негативно зворотній зв'язок та напівпровідниковий елемент. Дані характеристики використовують для підсилення сигналу майже без сторонніх шумів, адже правильно розрахований негативний зворотній зв'язок підсилювача дає такий ефект, і додатково мінімілізує кратні гармоніки.

Запобігання витоку інформації через канали даного типу забезпечується:

- створення КЗ не меншої за Зону 2, яка розраховується з врахуванням небезпечного сигналу на кратних гармоніках підсилювачів, організації режиму доступу до КЗ на ОІД;

- екранування ОТЗС, унеможливлення паразитної ВЧ генерації підсилювачів ОТЗС (локального екранування підсилювачів, оцінювання випромінювань та блокування роботи ОТЗС у разі виявлення паразитної ВЧ генерації, оцінювання, індикації та сигналізації відхилення параметрів підсилювачів та блокування роботи ОТЗС при виявленні позитивного зворотного зв'язку);

- просторового електромагнітного зашумлення [10].

### **3.2.5 Принцип роботи каналів побічних електромагнітних наведень на лінії заземлення ОТЗС**

Дані типи каналів створюються шляхом зняття заземлення ОТЗС з ліній електроживлення, використовуючи технології розвідки, які перебувають за межами КЗ. Схема продемонстрована на рис. 3.8.

У зоні 1 ОТЗС перебувають лінії заземлення ОТЗС, оскільки струм за законом електромагнітної індукції має здатність змінюватися, то цей закон проектується за принципом небезпечного електромагнітного сигналу, і поширюватися далі.

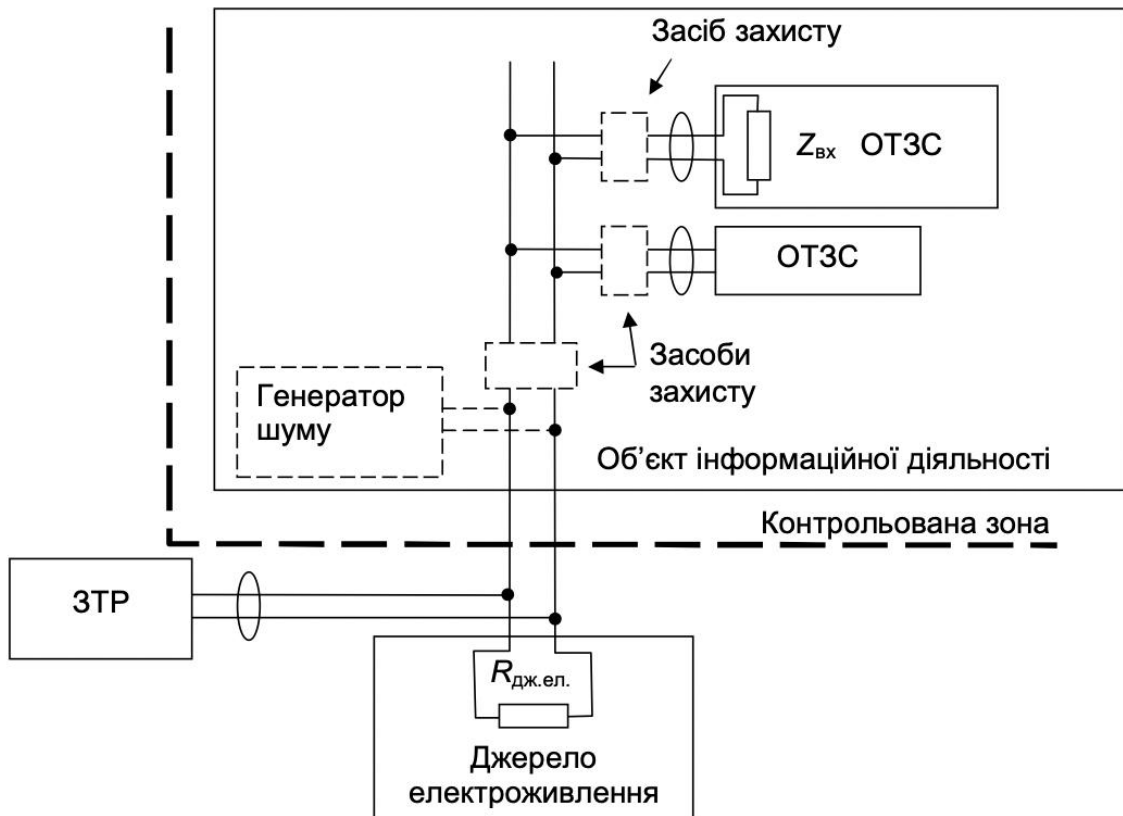


Рисунок 3.8 — Канал побічних електромагнітних наведень на лінії заземлення ОТЗС

Крім побічних електромагнітних наведень на лінію заземлення ОТЗС має місце просочування небезпечних сигналів в ланцюги заземлення.

Під час роботи технічних засобів обробки інформації в наслідок ємнісних та інших зв'язків на корпусах цих засобів може накопичуватися небезпечний для життя потенціал. Цей потенціал може змінюватися за законом небезпечного сигналу, і небезпечний сигнал просочується в ланцюги заземлення [10].

Даний принцип наведено на рис. 3.9.

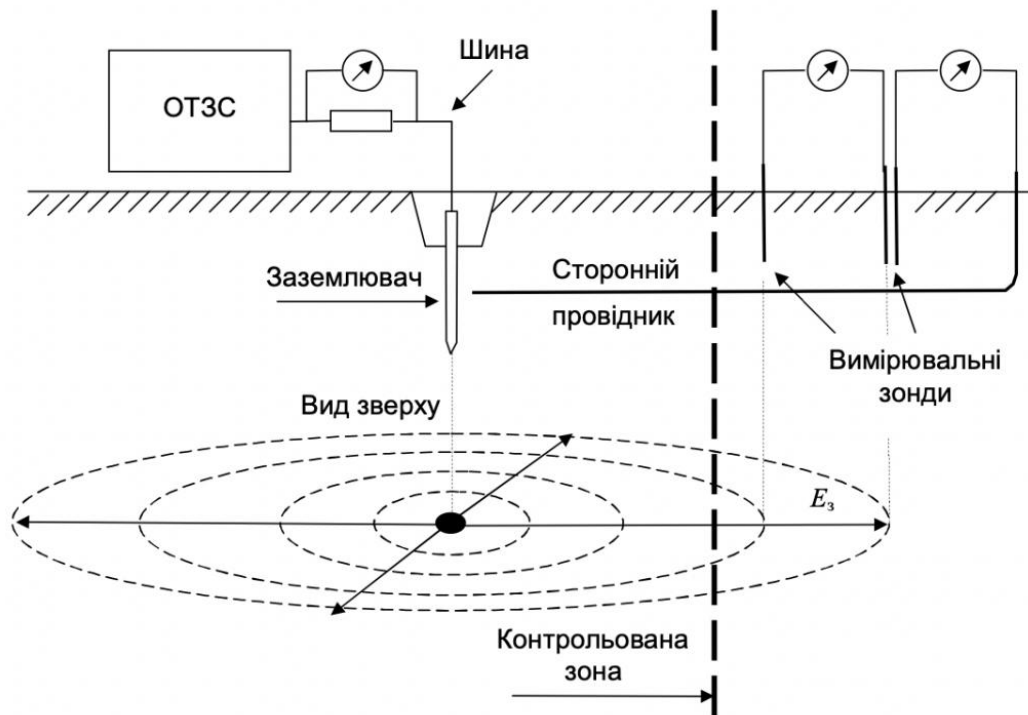


Рисунок 3.9 — Технічний канал витоку інформації ланцюгами заземлення ОТЗС

Розрізняють декілька способів перехоплення інформації:

- сигнал перехоплюється на уражених, пошкоджених ділянках ланцюга заземлення;
- різниця потенціалів, яка проводиться по відношенні відстаней заземлювача до джерела небезпечного сигналу, за умови значного опору заземлення;
- оцінка потенціалу провідників, які мають ємнісний характер і розташовані близько до заземлювачів.

Запобігання витоку інформації каналами побічних електромагнітних наведень на лінії електроживлення ОТЗС досягається такими кроками:

- створення КЗ та організації режиму доступу до КЗ;
- електроживлення ОТЗС від автономних електричних джерел, що розташовані у межах КЗ та не мають сторонніх споживачів;

- використання в лінії електроживлення ОТЗС технічних засобів захисту, що затримують сигнали низького рівня, мережевих фільтрів, систем двигун-генератор;

Запобігання витоку інформації каналами побічних електромагнітних наведень на лінії заземлення ОТЗС, включаючи просочування небезпечних сигналів в ланцюги заземлення, досягається шляхом:

- створення КЗ не меншої за Зону 2 та організації режиму доступу до КЗ;
- автономного від ДТЗС заземлення ОТЗС;
- забезпечення вимог щодо монтажу та опору заземлення ОТЗС;
- розташовування заземлювача з шинами заземлення в межах контрольованої зони на максимальній відстані від границі КЗ та сторонніх провідників;
- використання лінійного зашумлення ліній заземлення ОТЗС [10].

### **3.2.6 Принцип роботи каналів побічних електромагнітних наведень на комунікації ДТЗС**

Зняття небезпечних сигналів, які наводяться на комунікації використанням побічних електромагнітних полів ОТЗС називають каналами побічних електромагнітних наведень на комунікації ДТЗС. Даний процес продемонстровано на рис 3.10.

Направити небезпечний сигнал у такий канал можливо за умови спільного пробігу ліній з небезпечним сигналом, це дає змогу направити небезпечний сигнал на лінії ДТЗС. Також за умови виходу за допустимий діапазон КЗ даних ДТЗС, ворог може перехопити інформацію, якщо підключиться до ліній засобами розвідки.

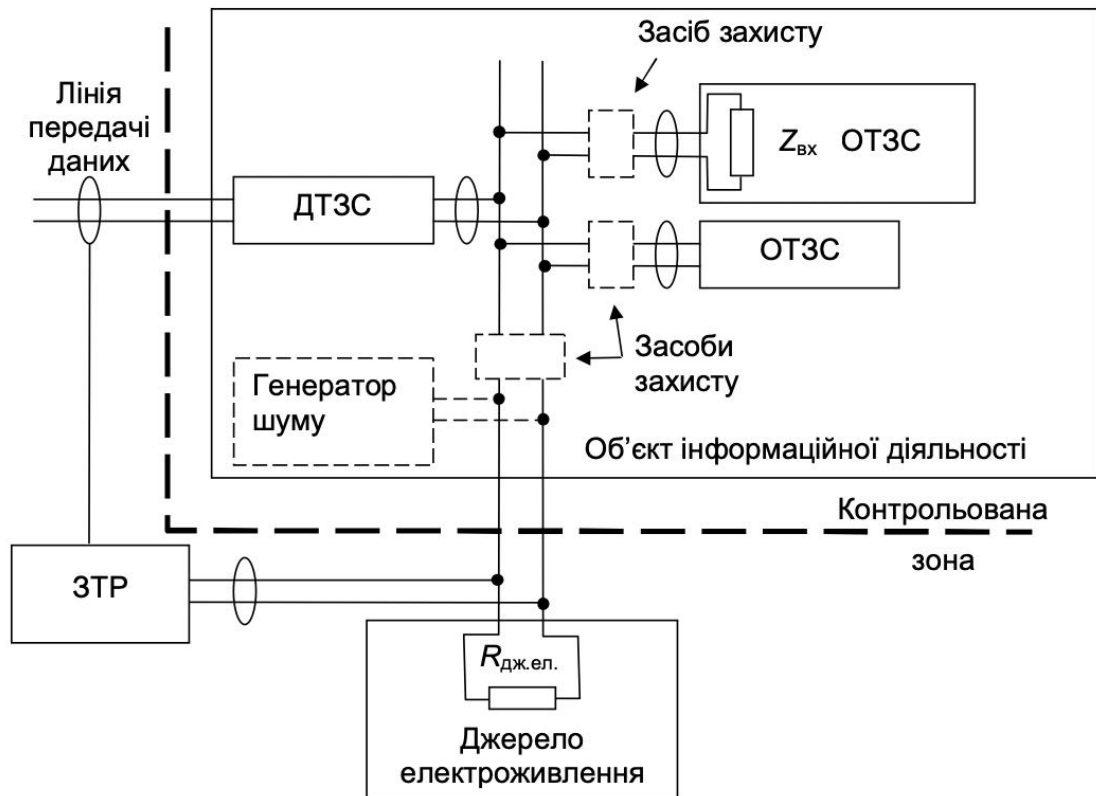


Рисунок 3.10 — Канали побічних електромагнітних наведень на комунікації ДТЗС

Запобігання витоку інформації каналами побічних електромагнітних наведень на комунікації ДТЗС досягається шляхом:

- створення КЗ та організації режиму доступу до КЗ на ОІД;
- розташування ДТЗС та їх комунікацій за межами Зони 1 ОТЗС;
- електроживлення ДТЗС від автономних електричних джерел, що розташовані у межах КЗ;
- використання в лінії електроживлення ДТЗС технічних засобів захисту, що затримують сигнали низького рівня, мережевих фільтрів, систем двигун-генератор;
- використання лінійного зашумлення ліній електроживлення ДТЗС;
- забезпечення вимог щодо монтажу та опору заземлення ДТЗС;

- розташовування заземлювача з шинами заземлення в межах контрольованої зони на максимальній відстані від границі КЗ та сторонніх провідників;

- використання лінійного зашумлення ліній заземлення ДТЗС.

### 3.2.7 Принцип роботи каналів ВЧ нав'язування

Канал ВЧ нав'язування – це підтип параметричних каналів, який формується за допомогою введення спеціально створеного ВЧ сигналу, у який входять допоміжні технічні засоби та системи комунікацією з-за меж КЗ. Створення цього каналу включає в себе модуляцію ВЧ сигналу небезпечним сигналом на нелінійних елементах ОТЗС і ДТЗС.

Цей процес може включати в себе наступні етапи:

- введення ВЧ-сигналу;
- модуляція небезпечним сигналом;
- передача сигналу;
- взаємодія з засобами технічної розвідки.

Канал ВЧ нав'язування (рис. 3.11) може також включати випромінювання модульованого ВЧ-сигналу у вільний простір та його подальше перехоплення радіоприймальними засобами технічної розвідки за межами контрольованої зони.

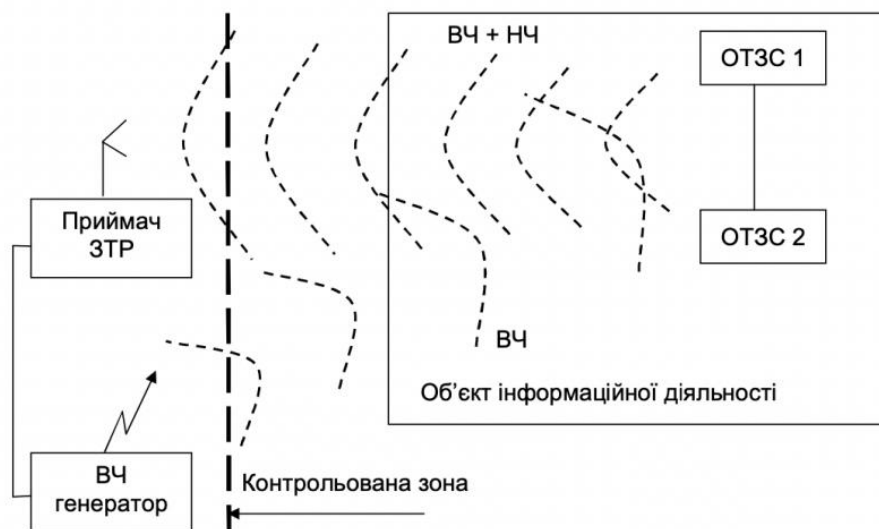


Рисунок 3.11 — Канал ВЧ нав'язування

Варто зазначити, що перехоплення сигналів у даному типі каналів здійснюється досить просто в порівнянні з іншими. Перехоплення здійснюється когерентним прийомом, який запроваджує максимальну завадостійкість.

Запобігання з витоку інформації каналом ВЧ нав'язування досягається шляхом:

- створення КЗ не меншої за Зону 2, яку розраховують з врахуванням можливого ВЧ нав'язування, та організації режиму доступу до КЗ;
- екранування ОТЗС;
- просторового електромагнітного зашумлення на об'єкті;
- індикації, сигналізації поля ВЧ опромінення та блокування роботи ОТЗС [10].

### **Висновок до третього розділу**

У даному розділі було вивчено технічні канали витоку інформації (ТКВІ), їх класифікацію та методологію створення. Проаналізовано сутність різноманітних каналів та методи їх перехоплення, зокрема побічних електромагнітних випромінювань, паразитної модуляції сигналів ВЧ генераторів, паразитної генерації ВЧ підсилювачів, а також вплив побічних електромагнітних наведень на лінії заземлення та комунікації.

Загальний висновок можна сформулювати так, що технічні канали витоку інформації представляють комплексну проблему для забезпечення кібербезпеки. Особливості різних каналів вимагають детального вивчення та впровадження ефективних заходів захисту. Забезпечення безпеки в умовах впливу різноманітних каналів витоку інформації є важливим завданням для забезпечення цілісності та конфіденційності інформаційних систем. Дані дослідження визначають ключові напрямки роботи в галузі кібербезпеки для подальших досліджень та розробки заходів протидії технічним каналам витоку інформації.



## **4 АНАЛІЗ ПРИЛАДІВ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОСПЕКТРІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДЕТЕКТОРА**

У сучасному технологічному ландшафті, на фоні швидкого розвитку електроніки та безпрецедентного зростання застосувань бездротових технологій, проблема конфіденційності та приватності виникає як важлива складова суспільного життя. Зокрема, поширення невидимих радіочастотних пристроїв, призначених для стеження та збору інформації, ставить під сумнів особисту безпеку та довіру до приватного простору. Для вирішення цієї проблеми наукове співтовариство та індустрія активно працюють над розробкою та вдосконаленням радіочастотних детекторів – спеціалізованих пристроїв, спроможних виявляти та ідентифікувати бездротові пристрої в різних середовищах.

Цей розділ присвячений ретельному аналізу та класифікації радіочастотних детекторів та мобільних додатків зі схожим функціоналом, які виступають не лише як ключові інструменти в області технічного контролю та безпеки, але й як результат передових досліджень у сфері електромагнітних технологій. Загалом, основна мета полягає у розкритті понять радіочастотних детекторів у забезпеченні приватності та безпеки в еру високих технологій та розробці концепції власного бюджетного детектора.

### **4.1 Огляд радіочастотних детекторів**

Радіочастотний детектор (РД) — це пристрій, призначений для виявлення та ідентифікації радіочастотних сигналів у навколишньому середовищі. В основному використовується для знаходження прихованих електронних пристроїв, таких як радіомікрофони, камери або інші пристрої, які використовують радіочастоти для бездротового зв'язку чи передачі даних.

Радіочастотні детектори (рис. 4.1) мають здатність виявляти радіочастоти в різних діапазонах частот, включаючи FM-радіо, радіохвилі,

Wi-Fi, Bluetooth і інші. Вони можуть використовувати різні методи для виявлення сигналів, такі як частотний аналіз, сканування електромагнітного спектра чи аналіз сигналу.

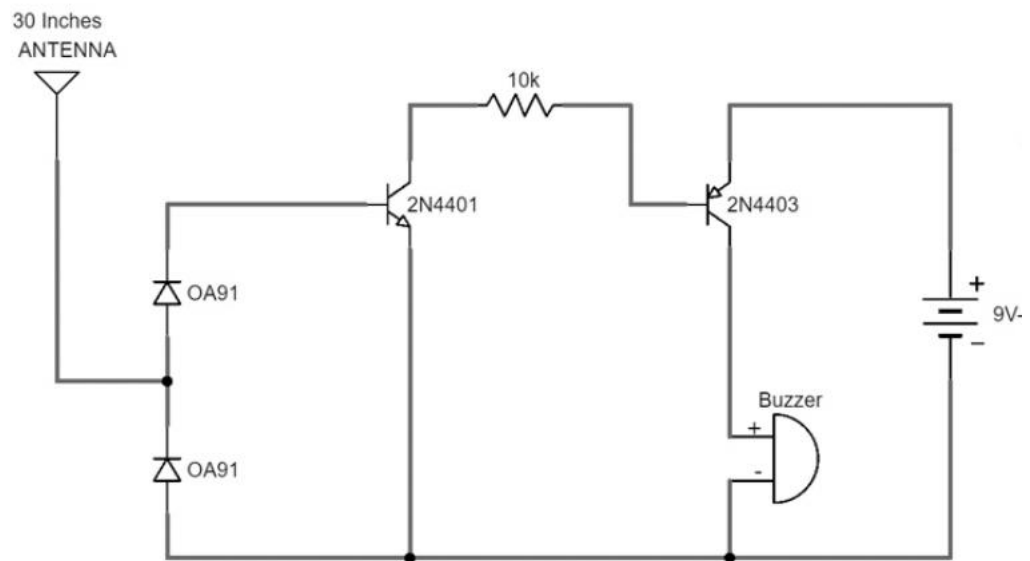


Рисунок 4.1 — Найпростіше електричне коло РД

Радіочастотні детектори, які спеціалізуються на виявленні та аналізі радіочастотних сигналів, можна класифікувати згідно з різними критеріями, враховуючи їхню будову, функціональність та принципи роботи. Наукова класифікація допомагає краще розуміти різноманіття цих пристроїв та їх можливостей.

За принципом роботи їх можна поділити на частотні сканери та Wi-Fi детектори. Частотні сканери використовуються для сканування широкого діапазону частот та аналізу наявності сигналу та змін у спектрі. Wi-Fi детектори спеціалізуються на виявленні пристроїв, що під'єднані до мережі Wi-Fi.

Також РД можна класифікувати за діапазоном частот на широкосмугові детектори – призначені для виявлення сигналів в широкому діапазоні частот та специфічні детектори – орієнтовані на конкретні діапазони частот.

## 4.2 Порівняння радіочастотних детекторів та їх аналогів у вигляді мобільних додатків

Радіочастотні детектори, які використовують традиційні методи виявлення сигналів, надають високу точність та надійність у виявленні активних пристроїв стеження. З іншого боку, мобільні додатки, що використовують інноваційні алгоритми аналізу зображень та мережевих сигналів, пропонують більш доступний та зручний спосіб для звичайних користувачів. Обидва ці підходи мають свої унікальні характеристики, які роблять їх більш або менш ефективними в різних сценаріях.

Для створення порівняльної характеристики радіочастотних детекторів і мобільних додатків для виявлення шпигунських камер, я спочатку викладу ключові аспекти кожного з цих рішень, а потім відобразжу ці характеристики у вигляді схеми на Рис.4.

Радіочастотні детектори:

1. Технологія: Використовують радіочастотну (RF) технологію для виявлення сигналів.
2. Точність: Висока у виявленні активних пристроїв, які передають сигнали.
3. Використання: Просте у використанні, але потребує певних знань для правильної інтерпретації сигналів.
4. Обмеження: Може не виявляти камери, які не передають сигнали в реальному часі або використовують нестандартні частоти.
5. Мобільність: Зазвичай портативні і легкі.
6. Ціна: Варіюється, але зазвичай дорожчі за мобільні додатки.

Мобільні додатки (рис. 4.2):

1. Технологія: Використовують камеру смартфона для виявлення відблисків від лінз камер або аналізують мережеві сигнали.
2. Точність: Може бути менш точним, особливо у випадках з відблисками від інших глянцевиx поверхонь.

3. Використання: Легке у використанні, доступне для широкого кола користувачів.

4. Обмеження: Обмеження через залежність від якості камери смартфона і освітлення.

5. Мобільність: Висока, оскільки більшість людей завжди носять з собою смартфон.

6. Ціна: Багато додатків доступні безкоштовно або за невелику плату.

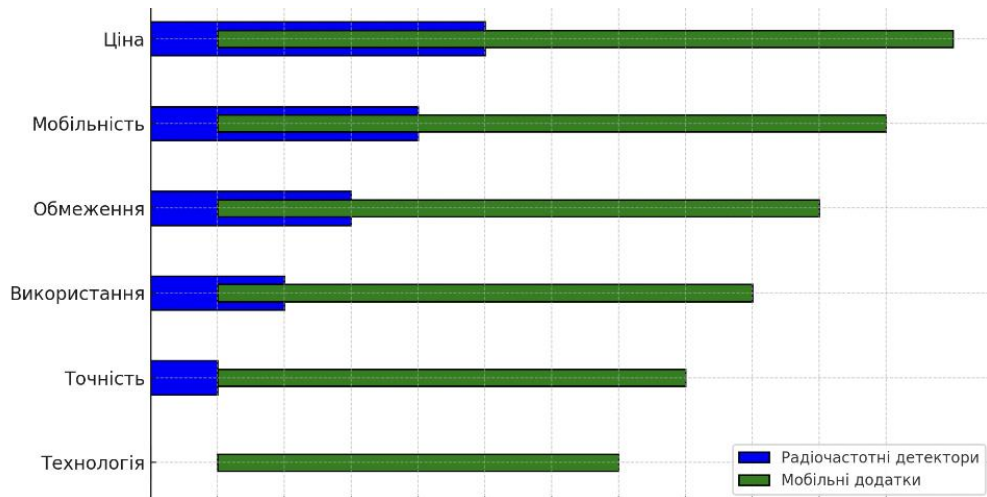


Рисунок 4.2 — Переваги мобільних додатків

Але для більшої конкретизації проведемо порівняльний аналіз переваг та недоліків кожного з них (рис. 4.3).

Переваги Радіочастотних Детекторів	Переваги Мобільних Додатків
Висока точність у виявленні активних сигналів	Зручні та легко доступні
Ефективність проти широкого спектру пристроїв стеження	Зазвичай недорогі або навіть безкоштовні
Не залежать від освітлення або якості камери	Не вимагають спеціальних навичок або знань для використання
Можуть виявляти не тільки камери, але й інші пристрої передачі даних	Мобільність та зручність (завжди при собі)
Портативність та зручність у використанні	Деякі додатки можуть аналізувати Wi-Fi мережі для виявлення пристроїв
Недоліки Радіочастотних Детекторів	Недоліки Мобільних Додатків
Не виявляють пасивні камери, які не передають сигнали	Нижча точність порівняно з професійними детекторами
Можуть давати хибні сигнали від побутових пристроїв	Залежать від якості камери смартфона і умов освітлення
Потребують деяких технічних знань для ефективного використання	Можуть не виявляти пасивні камери
Зазвичай дорожчі від мобільних додатків	Обмежена ефективність проти широкого спектру шпигунських пристроїв
Обмеження за діапазоном частот	Ризик хибнопозитивних виявлень через відблиски

Рисунок 4.3 — Порівняння радіочастотних детекторів та мобільних додатків

На діаграмі (рис. 4.4) нижче представлено дані щодо середньої вартості радіочастотних детекторів та мобільних додатків. Згідно з проведеним аналізом ринку, середня ціна непрофесійних радіочастотних детекторів

становить близько 150 доларів, тоді як мобільні додатки коштують у середньому близько 5 доларів, або мають платну підписку в цьому діапазоні.

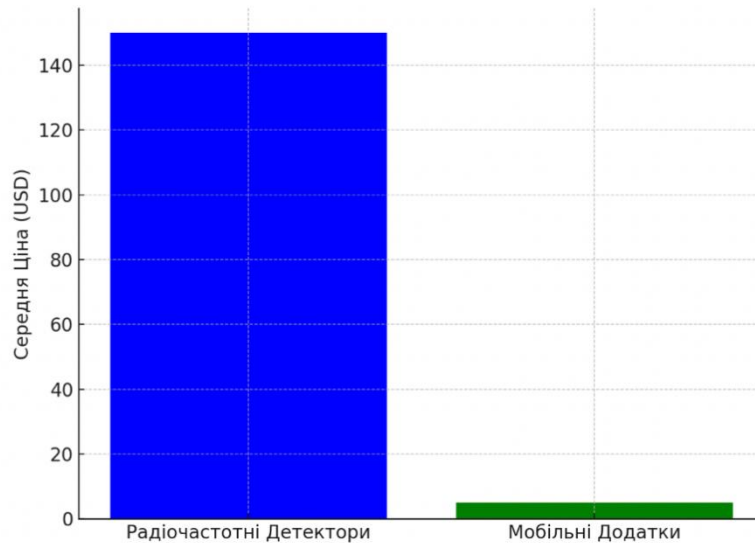


Рисунок 4.4 — Діаграма

### 4.3 Проектування детектора для моніторингу радіоефіру

Початковий етап дослідження існуючих радіочастотних детекторів та вивчення різних методологій зчитування радіосигналів послужив основою для концептуалізації власного бюджетного та оптимізованого пристрою. Метою цього проекту є створення ефективного радіочастотного детектора, використовуючи доступні деталі та враховуючи принципи роботи сучасних детекторів.

Оглянемо список деталей, які будуть задіяні під час конструювання даного детектора:

1. Джерело живлення (Батарея на 9В): Враховуючи енергоефективність та широкий спектр застосувань, було обрано батарею напругою 9В (рис. 4.5) як джерело живлення.

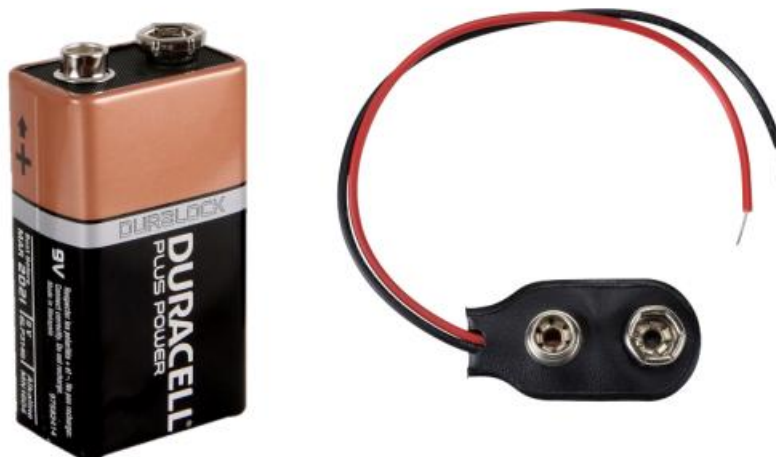


Рисунок 4.5 — Батерея 9В

2. Вимикач (Switch on/off): Вимикач (рис. 4.6) визначає можливість вмикання та вимикання пристрою, забезпечуючи економію енергії при необхідності.



Рисунок 4.6. — Вимикач

2. Потенціометр: (регульований опір) (рис. 4.7) використовується для точної настройки параметрів схеми. В даному випадку, його використання може бути спрямоване на регулювання чутливості детектора або інших параметрів в залежності від вимог користувача.

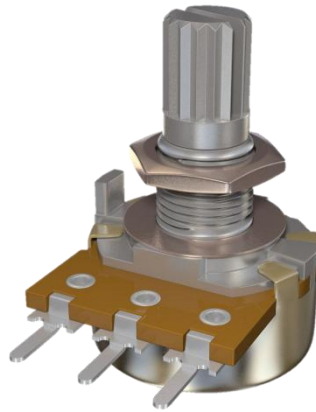


Рисунок 4.7 — Потенціометр

4. Buzzer/Piezo: зумер (рис. 4.8) використовується для аудіовізуального сповіщення та надає можливість користувачеві вчасно реагувати на виявлені радіочастоти.



Рисунок 4.8. — Buzzer

5. NPN транзистор (model: MPS45WA): Транзистор (рис. 4.9) використовується для підсилення слабких радіосигналів, забезпечуючи їх ефективну обробку.



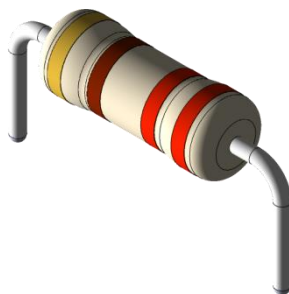
*Рисунок 4.9 — Транзистор*

6. Світлодіод (LED): LED (рис. 4.10) виступає як візуальний індикатор виявлення радіочастот та може бути використаний для індикації різних станів пристрою.



*Рисунок 4.10 — Світлодіод*

7. Резистор (Опір: 4,7 кОм – 10 кОм): Резистор (рис. 4.11) відповідає за регулювання поточу та напруги, забезпечуючи стабільну роботу інших елементів схеми.



*Рисунок 4.11 — Резистор*



8. Інфрачервоний фототранзистор: Інфрачервоний фототранзистор (рис. 4.12) використовується для сприймання сигналів в інфрачервоному діапазоні та виявлення наявності радіочастот.



Рисунок 4.12 — Фототранзистор

Розглянемо та проаналізуємо принцип дії кожного елемента схеми окремо, опираючись на математичне моделювання в програмному середовищі Multisim, зображеному на рис. 4.13.

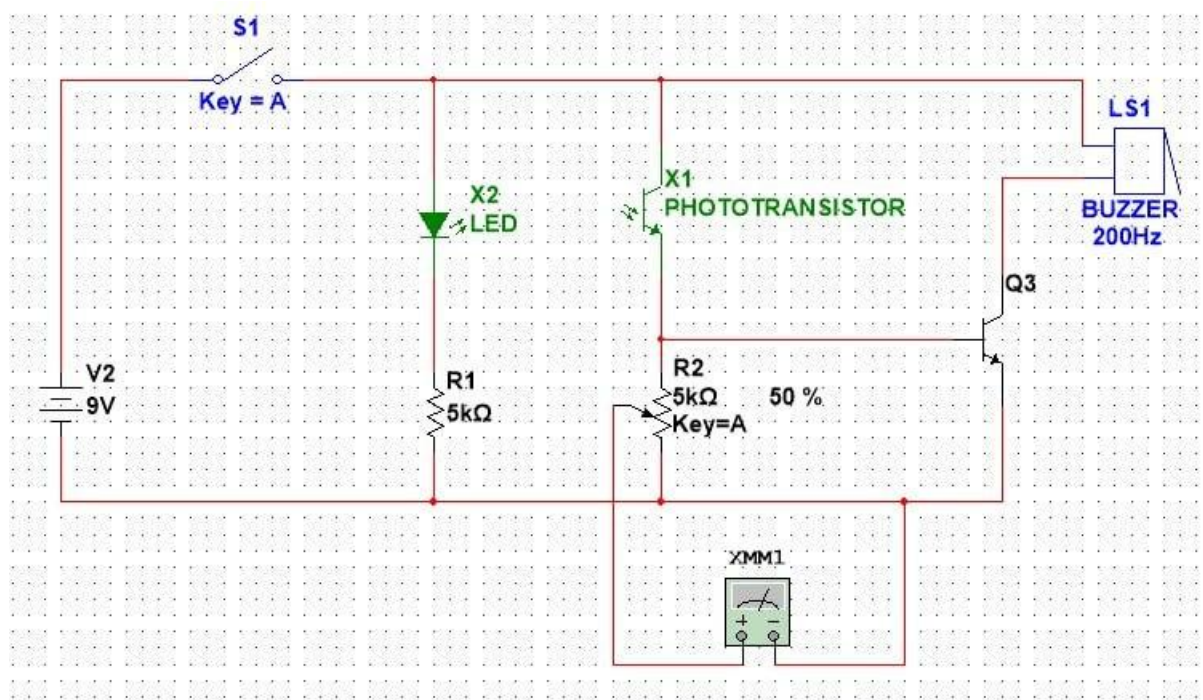


Рисунок 4.13 — Моделювання радіочастотного детектору для моніторингу радіоефіру

Даний пристрій може виявляти, будь-який радіовипромінюючий пристрій несанкціонованого перехоплення інформації, якщо той випромінює радіочастотний сигнал. Основною перевагою детектору є його низька вартість у порівнянні з ринковими технологіями з подібними функціями та принципами роботи.

### **Висновок до четвертого розділу**

У четвертому розділі наукової роботи був проведений ґрунтовний аналіз сучасних радіочастотних детекторів, який виявив широкий діапазон доступних технологій та їхніх характеристик. Огляд різноманітних моделей і механізмів виявлення дозволив зрозуміти ключові аспекти ефективності та надійності цих пристроїв у виявленні радіоспектрів.

Порівняння радіочастотних детекторів з їхніми аналогами у вигляді мобільних додатків підкреслило, що хоча мобільні додатки пропонують зручність та доступність, вони часто поступаються у точності та функціональності перед спеціалізованими детекторами, які використовують більш розвинені методи для виявлення та аналізу радіосигналів.

Розроблено радіочастотний детектор радіовипромінювань, представлений в цьому розділі, об'єднує переваги спеціалізованих детекторів із інноваційними підходами, щоб створити пристрій, який би був не тільки високоефективним, але й простим у використанні для середнього користувача. Цей пристрій може значно посилити можливості індивідуального захисту від несанкціонованого відеоспостереження.

## ВИСНОВКИ

Ретельний аналіз систем радіомоніторингу, розглянутий у цій роботі, демонструє важливість інтеграції різноманітних технічних рішень, таких як спектральні аналізатори, радіочастотні приймачі та антени, для комплексного підходу до виявлення та аналізу радіосигналів.

Вивчення методів спектрального аналізу виявило, що математичне пояснення роботи спектрального аналізу, використання часових рядів, перетворення Фур'є, вейвлет-аналізу та перетворення Гілберта є ключовими для глибшого розуміння та кращого виявлення радіосигналів. Модуляційний аналіз, включаючи амплітудну, частотну та фазову модуляцію, допомагає в розшифровці інформації, що міститься у радіосигналах, і підвищує ефективність радіомоніторингу.

Аналіз каналів витоку інформації та їх класифікація засвідчив, що безпека інформації є комплексною задачею, яка вимагає детального вивчення потенційних технічних та електромагнітних вразливостей. Розуміння принципів роботи каналів побічної модуляції, генерації та наведень є критичним для розробки ефективних засобів захисту.

Проектування власних радіочастотних детекторів, зокрема детектора камер шпіонажу, відкриває нові перспективи для посилення власної безпеки. Порівняння існуючих радіочастотних детекторів з мобільними додатками підкреслює потенціал для розробки більш доступних та ефективних рішень, що можуть бути використані широким колом користувачів.

Узагальнюючи проведені дослідження, можна стверджувати, що постійний розвиток та впровадження інновацій у сфері радіомоніторингу є необхідним для забезпечення безпеки і стабільності у використанні радіочастотного спектру.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Д58 Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 588 с.
2. Фещенко А.Б. Основи теорії електричних кіл та схемотехніка / Укладачі А.Б. Фещенко. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – 194 с.
3. І231 — Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації. Навчальний посібник / Іванченко С.О., Гавриленко О.В., Липський О.А., Шевцов А.С. — К.: ІСЗІ НТУУ «КПІ», 2016. — 104 с.
4. Радіомоніторинг: завдання, методи, засоби / Рембовський А.М., Ашихмін А.В., Козьмін В.А., Рембовський А.М. – 3 вид., перероб. та доп. – Л.: Гаряча лінія, 2012. – 641 с.
5. Wei, William W. S. (2006). Time Series Analysis — Univariate and Multivariate Methods, 2nd edn. Boston: Addison-Wesley.
6. Helstrom C. W. Statistical Theory of Signal Detection: Міжнародні серії Monographs в Electronics and Instrumentation. – Elsevier, 2013. – Т. 9.
7. Головін Ю. О. Основи радіозв'язку : підручник. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2021. — 234 с.
8. Rec. ITU-R SM.328-11: Spectra and bandwidth of emissions. —91 p.
9. Постійне представництво України при відділенні ООН та інших міжнародних організаціях у Женеві. URL:<https://geneva.mfa.gov.ua/posolstvo/2616-itu> ( дата звернення: 20.11.2023).
10. Організація військового зв'язку (В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін). Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.
11. Monitoring the radio frequency spectrum based on an integrated antenna system, A. Khotamov, 2020, J. Phys.: Conf. Ser.1515 022077.

12. Spectrum Analyzer. URL: <https://electronicsdesk.com/spectrum-analyzer.html> (дата звернення 20.11.2023).

13. Spectrum Analyzer How-To Guide: What They Are, What They Measure, & How to Use Them. URL:<https://www.tek.com/en/documents/primer/what-spectrum-analyzer-and-why-do-you-need-one> (дата звернення 19.11.2023).