

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Шутко В.М.
«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «ЕЛЕКТРОНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ
«ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ ТА ПРИСТРОЇ»

Тема: «Моніторинг радіовипромінювань у реальному часі»

Виконавець
студент групи ЕС-208М _____ Марух Віталій Володимирович _____

Керівник
д.т.н., професор _____ Іванов Володимир Олександрович _____

Консультант розділу
«Охорона праці» _____ Козлітін О.О.

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища» _____ Маджд С.М.

Нормоконтролер _____ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Освітньо-професійна програма «Електронні пристрої та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В.М. Шутко
« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Маруха Віталія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Моніторинг радіовипромінювань у реальному часі» затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1900/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): принципи сучасного радіомоніторингу в діапазоні частот від 9 кГц до 20 ГГц, характеристики сучасних аналізаторів спектру.
4. Зміст пояснювальної записки: види радіомоніторингу та особливості його здійснення; види і особливості контрольно-вимірювальної апаратури; характеристики радіосигналів, що виявляються в процесі радіомоніторингу; способи вимірювання характеристик радіосигналів; вимірювання характеристик радіосигналів у реальному масштабі часу; структурна схема аналізатора спектру в реальному часі; застосування ноутбука у системі аналізу спектра короткочасних сигналів.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Ознайомлення з тематикою дипломної роботи та обробка літературних джерел за темою роботи	15.10.-27.10.2020	
2.	Огляд теоретичних засад РМ та дослідження контрольно-вимірювальних приладів для РМ	28.10.-18.11.2020	
3.	Робота над основними розділами	19.11-8.12.2020	
4.	Написання вступу та висновків	9.12.-13.12.2020	
5.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	14.12-16.12.2020	

7. Консультанти з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата		Підпис
		Завдання видав	Завдання прийняв	
Охорона праці	ст.викл. Козлітін О.О.			
Охорона навколишнього середовища	доц. Маджд С.М.			

8. Дата видачі завдання: “ 05 ” _____ жовтня _____ 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): _____
(підпис керівника) _____ (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____
(підпис здобувача) _____ (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Моніторинг радіовипромінювань у реальному часі» містить : сторінок – 138, рисунків – 48 , таблиць – 7 , джерел посилань – 30 .

Мета дипломної роботи: вивчення особливостей радіочастотного моніторингу в реальному масштабі часу, розробка способу виявлення радіосигналів з коротким часом існування за методом спектрального аналізу в процесі радіомоніторингу.

Об'єкт дослідження: процес радіомоніторингу в реальному часі.

Методи дослідження: цифрова та статистична обробка інформації, порівняння технічних характеристик, спостереження за радіовипромінюваннями, аналіз візуалізованих спектрів.

Ключові слова: РАДІОМОНІТОРИНГ, ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛІВ, КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ, АНАЛІЗАТОР СПЕКТРУ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ СПЕКТРІВ.

Основні результати: досліджено особливості моніторингу радіовипромінювань; визначено можливості сучасних аналізаторів спектру та здійснено їх порівняння; візуалізовано спектри сигналів, проведено їх аналіз;

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ.	6
1.1. Радіочастотний спектр і радіочастотний ресурс України	7
1.2. Радіотехнології та радіослужби.....	14
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ.....	22
2.1 Значущі параметри радіосигналів та радіозавод.....	22
2.2 Сутність проблеми забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронної апаратури.....	34
2.3 Задачі радіомоніторингу і радіоконтролю.....	36
РОЗДІЛ 3. СПОСОБИ АПАРАТУРНОГО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРО- МАГНІТНОЇ СИТУАЦІЇ В ТОЧЦІ НАГЛЯДУ.....	38
3.1. Перетворення Фур'є.....	38
3.2. Панорамні радіоприйомні пристрої.....	39
3.3. Аналізатори спектру радіосигналів.....	42
3.4. Види аналізаторів спектру.....	47

РОЗДІЛ 4. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ АНАЛІЗАТОРА СПЕКТРУ В РЕАЛЬНОМУ

ЧАСІ.....55

- 4.1. Вибірки, кадри та блоки.....55
- 4.2. Синхронізація в реальному масштабі часу.....58
- 4.3. Структурні схеми та принцип дії аналізатора спектру в реальному часі.....67

РОЗДІЛ 5. СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОКАЗНИКІВ

СИГНАЛІВ.....74

- 5.1. Частота випромінювання.....74
- 5.2. Вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання.....75
- 5.3. Вимірювання напруженості поля та щільності пружності.....84
- 5.4. Рівень сигналу.....87
- 5.5. Вимірювання характеристик модуляції.....88

РОЗДІЛ 6. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ.....92

6.1. Вимірювання	в	часовій
області.....		92
6.2. Вимірювання	в	частотній
області.....		98
6.3. Вимірювання	в	кодovій
області.....		102
РОЗДІЛ	7.	ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА.....		104
7.1. Характеристика електромагнітного поля та його вплив на навколишнє середовище.....		104
7.2. Розрахунок інтенсивності електромагнітного поля на робочому Місці.....		110
7.3. Способи захисту від електромагнітного поля.....		113
РОЗДІЛ	8.	ОХОРОНА
ПРАЦІ.....		116
8.1. Аналіз умов праці.....		116
8.2. Розрахунок параметрів електромагнітного поля.....		121
8.3. Пожежна безпека.....		123
ВИСНОВКИ.....		125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		128

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АМ – Амплітудна модуляція

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

АЧХ – Амплітудно-частотна характеристика

ВЧ – Високочастотний

ДРВ – Джерело радіовипромінювання

ДПФ – Диференційне перетворення Фур'є

ЕМС – Електро-магнітна сумісність

ЕМО – Електро-магнітна обстановка

ЗШСЧ – Займана ширина смуги частот

НШСЧ – Необхідна ширина смуги частот

ПЧ – Проміжна частота

ППРЧ – Псевдо випадкова перебудова робочої частоти

РЕЗ – Радіо-електронний засіб

РЧР – Радіо-частотний ресурс

РЕА – Радіо-електронні елементи

РЧ – Радіо-частотні

РЧР – Радіочастотний ресурс

ТЗІ – Технічний захист інформації

УДЦР – Український державний центр радіочастот

ФМ – Фазова модуляція

ЦОВЗ- Центральний орган виконавчої влади в галузі зв'язку

ЦОС – Цифрова обробка сигналів

ЧМ – Частотна модуляція

ШПФ – Швидке перетворення Фур'є

FFT - Fast Fourier Transform

ITU– International Telecommunication Union

ВСТУП

Актуальність. В сучасному світі все невпинно розвивається, знаходяться нові рішення для проблем які вважалося не можна позбутись, з'являються нові технології та пристрої. Виключенням цього не є й сфера телекомунікаційних технологій, з появою нових, більш досконалих стандартів бездротової передачі даних, застосування нових стандартів зв'язку та бурхливого застосування концепції інтернету речей виникає потреба в постійному оновленню апаратних засобів, що дозволяють здійснювати радіомоніторинг та контроль за використанням РЧР.

Традиційні скануючі (гетеродинні) та векторні аналізатори радіочастотного спектру, що використовувались десятками років в якості основних пристроїв для вимірювання параметрів випромінювань РЕЗ, моніторингу зайнятості спектра та пошуку джерел ненавмисних радіоперешкод вже не справляються з покладеними на них задачами, оскільки не здатні відслідковувати швидкі зміни спектру радіосигналів, що спостерігаються за деяких видів модуляції, наприклад, багаточастотної зі зміною частот, кодово-імпульсної, цифрової та ін.

Тому , за умов значного покращення та збільшення продуктивності елементної бази і вдосконалення алгоритмів обробки, спостерігається бурхливий розвиток аналізаторів спектру, що дозволяють обробляти вибірки в режимі реального часу, без пауз на обробку, що дає змогу не пропускати рідкісні події при аналізі сигналів. Ці пристрої набагато перевершують своїх попередників. Вони можуть проводити такі вимірювання як: вимірювання потужності в сусідньому каналі, в багатоканальних системах, відношення несучої до шуму, зайнятість смуги, маски спектра випромінювання, побічні випромінювання, потужності в часовій області, статистики сигналу розподілу ймовірності амплітуд і кумулятивної додаткової функції розподілу глибини модуляції АМ, у режимі реального часу будувати спектрограми та кодограми сигналів. Зважаючи на такі широкі можливості дані пристрої мають високу вартість та використовуються, в основному, лише спеціальними державними

установами, такими як «Український державний центр радіочастот» (УДЦР), Збройні сили України (ЗСУ), Служба Безпеки України (СБУ).

Внаслідок цього, особливості використання інструментів радіомоніторингу реального часу на практиці недостатньо вивчені, інформація що міститься в наукових джерелах в основному має довідковий характер та не охоплює сферу практичного застосування, а здобутки фахівців відомчих установ в сфері – не розголошуються.

За таких умов актуальним стає доцільним дослідити види РМ та особливості його здійснення, визначити характеристики і технічні можливості контрольно-вимірювальної апаратури, котра використовується для РМ та дослідити принципи побудови і особливості вимірювання радіосигналів аналізаторами спектрів різних типів. При цьому важливо візуалізувати спектри реальних сигналів, що можуть бути отримані аналізаторами спектрів в реальному масштабі часу.

Одним із завдань дипломної роботи є оцінка та аналіз роботи аналізатора спектру, для знаходження основних недоліків.

Беручи до уваги вищесказане дипломна робота має чималу актуальність, адже наукові матеріали та досягнення в сфері радіомоніторингу можуть бути використані для модернізації вже існуючих та створення нових систем радіомоніторингу.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вивчення особливостей радіочастотного моніторингу в реальному масштабі часу та аналіз проблем аналізатора часу в режимі реального часу.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- визначити характеристики радіосигналів, що виявляються в процесі радіомоніторингу та проаналізувати способи їх вимірювання;
- здійснити огляд контрольно-вимірювальної апаратури призначеної для здійснення радіомоніторингу, оцінити ефективність її

використання при аналізі швидкоплинних процесів та дослідити принципи побудови спектральних аналізаторів різних типів;

- оцінити можливості вимірювання характеристик радіосигналів у реальному масштабі часу з використанням сучасних аналізаторів спектру реального часу;

Об'єктом дослідження є процес радіомоніторингу в реальному часі.

Методи дослідження. В дослідженнях використані методи цифрової та статистичної обробки інформації, порівняння технічних характеристик, експериментального спостереження за радіовипромінюваннями, аналізу візуалізованих спектрів.

РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯМ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ

Згідно з розділом №2 закону «про радіочастотний ресурс України», основними засадами управління та регулювання у сфері користування радіочастотним ресурсом України є[1]:

- 1) визначення необхідного та достатнього для потреб України радіочастотного ресурсу, його реєстрація та міжнародний захист;
- 2) забезпечення максимального та ефективного використання радіочастотного ресурсу України;
- 3) забезпечення і захист інтересів, прав і свобод громадян у процесі використання радіочастотного ресурсу України;
- 4) забезпечення і захист інтересів держави;
- 5) чітке розмежування радіочастотного ресурсу України для потреб спеціальних та загальних користувачів;
- 6) забезпечення рівних умов отримання радіочастотного ресурсу України на прозорих і недискримінаційних засадах;
- 7) нормативно-правове регулювання у сфері користування радіочастотним ресурсом України;
- 8) прозорість, підзвітність регулювання у сфері користування радіочастотним ресурсом України;
- 9) заохочення конкуренції в інтересах суспільства за умови ефективного користування радіочастотним ресурсом України.

1.1. Радіочастотний спектр і радіочастотний ресурс України

Перш за все, розберемось з термінами «радіочастотний спектр» та «радіочастотний ресурс», оскільки у спеціальній літературі вони часто використовуються як синоніми.

Згідно з законом України про радіочастотний ресурс України, розділ №1 стаття №1 «Визначення основних термінів».

Радіочастотний спектр - безперервний інтервал радіочастот, не вищий за 3 ТГц;

Радіочастотний ресурс - частина радіочастотного спектра, придатна для передавання та/або приймання електромагнітної енергії радіоелектронними засобами і яку можливо використовувати на території України та за її межами відповідно до законів України та міжнародного права, а також на виділених для України частотно-орбітальних позиціях;

З розвитком і постійним ростом кількості інформації і сервісів поставало і постає питання збільшення швидкості передачі даних. Кожне наступне покоління зв'язку вирішувало завдання із збільшенням об'єму і швидкості передачі даних. Це відбувалося шляхом зміни або модернізації технології (наприклад, модуляції сигналу) і шляхом перерозподілу і використання радіочастотного спектру під нову технологію - нове покоління. Слід враховувати, що радіочастотний спектр має певні особливості: по-перше, він обмежений, тобто, не вистачає радіочастотного ресурсу для всіх технологій, а, по-друге, його характеристики змінюються з ростом робочої частоти.

Чим нижча частота, тим більша зона розповсюдження радіохвиль, але менша ємність. Тому для суцільного покриття малозаселених територій, доріг, магістралей використовують нижчі частоти (до 1 ТГц), а у містах – вищі, адже там більша ємність – більше населення (потрібно більше базових станцій).

Розподіл смуг радіочастот - регламентування відповідним записом у Національній таблиці розподілу смуг радіочастот України використання певної заданої смуги радіочастот однією чи декількома радіослужбами; смуга радіочастот - частина радіочастотного спектра, визначена певним інтервалом радіочастот[3].

Основними принципами користування радіочастотним ресурсом України є:

- 1) відкритість, об'єктивність, недискримінаційність і прозорість умов та процедур планування, виділення і розподілу радіочастотного ресурсу України;
- 2) зближення розподілу смуг, номіналів радіочастот і умов користування ними в Україні з міжнародним розподілом смуг, номіналів радіочастот;
- 3) заохочення конкуренції на основі збалансування інтересів держави, суспільства, користувачів радіочастотного ресурсу України та споживачів;
- 4) забезпечення рівності законних прав та інтересів усіх фізичних і юридичних осіб, які користуються або мають намір користуватися радіочастотним ресурсом України;
- 5) можливості передачі прав на користування радіочастотним ресурсом України між операторами електронних комунікацій;

Користування радіочастотним ресурсом України здійснюється на підставі:

- 1) ліцензій на користування радіочастотним ресурсом України та присвоєння радіочастоти - суб'єктами господарювання, які користуються радіочастотним ресурсом для надання послуг електронних комунікацій, упорядку встановленому цим Законом;
- 2) ліцензій на мовлення, виданих Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення, та присвоєння радіочастоти - суб'єктами

господарювання, які користуються радіочастотним ресурсом України для розповсюдження телерадіопрограм, упорядку встановленому Законом України "Про телебачення та радіомовлення"[2];

3) загального дозволу - технологічними користувачами, радіоаматорами та для надання безпроводового доступу до мережі Інтернет всередині приміщень барів, кафе, магазинів, офісних центрів, готелів та інших публічних місць, якщо доступ до мережі Інтернет є відкритим для усіх відвідувачів за умови забезпечення електромагнітної сумісності з іншими радіоелектронними засобами;

4) дозволів на експлуатацію - спеціальними користувачами;

5) внесення радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв до Переліку видів радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв експлуатація яких не потребує проведення розрахунків електромагнітної сумісності та присвоєнь радіочастот.

6) технологічна нейтральність з дотриманням принципів ринкової конкуренції, встановлених рівнів ефективності користування радіочастотним ресурсом і забезпеченням електромагнітної сумісності;

7) ефективне використання радіочастотного ресурсу України.

План використання радіочастотного ресурсу України визначає:

1) перелік радіотехнологій, що використовуються в Україні, з визначенням смуг радіочастот та радіослужб, яким вони відповідають, а також терміни припинення їх розвитку та використання;

2) перелік перспективних для впровадження в Україні радіотехнологій із визначенням смуг радіочастот та радіослужб, яким вони відповідають, термінів їх впровадження та визнання таких смуг технологічно нейтральними.

Але основне що нас цікавить, це радіомоніторинг

1. Радіочастотний моніторинг здійснюється з метою захисту присвоєнь радіочастот, визначення наявного для використання радіочастотного ресурсу України, ефективності використання розподілених смуг радіочастот та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень щодо підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу України та задоволення потреб користувачів радіочастотного ресурсу України.
2. Радіочастотний моніторинг здійснюється Державним підприємством стосовно радіочастот загальних користувачів, Генеральним штабом Збройних Сил України - стосовно радіочастот спеціальних користувачів.
3. Радіочастотний моніторинг радіочастот загальних користувачів здійснюється на безпосереднє замовлення національного регулятора та у встановленому ним порядку за рахунок коштів спеціального фонду Державного бюджету України, передбачених на фінансування здійснення діяльності національного регулятора відповідно до Закону України "Про електронні комунікації", а у смугах радіочастот спеціальних користувачів - за рахунок коштів Державного бюджету України.
4. Державне підприємство за наслідками проведення радіочастотного моніторингу подає до національного регулятора відповідні пропозиції стосовно ефективності використання присвоєних радіочастот загальних користувачів та пропозиції щодо внесення змін до Плану використання радіочастотного ресурсу України та Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України.
5. Під час проведення заходів з радіочастотного моніторингу Державним підприємством вживаються заходи направлені на виявлення незаконно діючих радіоелектронних засіб, випромінювальних пристроїв загальних користувачів.

Стандартизація у сфері користування радіочастотним ресурсом України

1. Метою стандартизації у сфері користування радіочастотним ресурсом України є створення єдиної системи національних стандартів, кодексів ustalеної практики та інших нормативних документів, які визначають вимоги до радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, що можуть застосовуватися в Україні, для забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, враховуючи національні особливості освоєння радіочастотного спектра та використання радіочастотного ресурсу України.

2. ЦОВЗ взаємодіє з Національним органом стандартизації при створенні національних стандартів, які стосуються користування радіочастотним ресурсом України та електронних комунікацій, якості послуг електронних комунікацій, публікує на своїй офіційній сторінці в мережі Інтернет перелік національних стандартів та застереження до них для їх використання у сферах зв'язку, електронних комунікацій, користування радіочастотним ресурсом України.

3. Національний регулятор та Генеральний штаб Збройних Сил України надає пропозиції до ЦОВЗ щодо розроблення національних стандартів, кодексів ustalеної практики та інших нормативних документів, необхідних для впровадження радіотехнологій.

4. Національний орган стандартизації за пропозицією ЦОВЗ в обов'язковому порядку включає в програму робіт з національної стандартизації на поточний рік розроблення чи перегляд національних стандартів, кодексів ustalеної практики та змін до них, для забезпечення умов для розвитку мереж електронних комунікацій.

5. Державні стандарти розробляються та затверджуються відповідно до Закону України "Про стандартизацію" з урахуванням міжнародних стандартів та рекомендацій міжнародних організацій, рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку.

6. Стандарти Європейського союзу визнаються та діють на території України у порядку встановленому законодавством України.

Згідно з статтею 22. Категорії користувачів радіочастотного ресурсу України[1].

1. Користувачі радіочастотного ресурсу України залежно від напрямів його використання поділяються на спеціальні і загальні.

2. До спеціальних користувачів радіочастотного ресурсу України відносяться підрозділи і організації:

1) Міністерства оборони України;

2) Служби безпеки України;

3) Служби зовнішньої розвідки України;

4) Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України;

5) Міністерства внутрішніх справ України;

6) Управління державної охорони;

7) підрозділи і організації центральних органів виконавчої влади, що забезпечують формування та реалізують державну політику у сфері:

Національної поліції,

цивільного захисту,

пожежної і техногенної безпеки,

захисту державного кордону,

виконання кримінальних покарань,

єдиної державної податкової політики та митної справи (у частині

застосування радіоелектронних засобів податковою міліцією),

якщо їх діяльність пов'язана з використанням радіоелектронних засобів спеціального призначення виключно для виконання функціональних обов'язків і за умови їх фінансування виключно за рахунок Державного бюджету України;

8) центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері транспорту, в частині застосування радіоелектронних засобів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України та забезпечення польотів і в частині застосування радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв Державною спеціальною службою транспорту;

9) системи екстреної медичної допомоги.

3. До загальних користувачів радіочастотного ресурсу України відносяться:

1) суб'єкти господарювання, які користуються радіочастотним ресурсом України для надання послуг електронних комунікацій, за винятком розповсюдження телерадіопрограм;

2) суб'єкти господарювання, які здійснюють розповсюдження телерадіопрограм із застосуванням власних або орендованих радіоелектронних засобів;

3) технологічні користувачі - юридичні чи фізичні особи, які користуються радіочастотним ресурсом України без надання послуг електронних комунікацій;

4) радіоаматори - фізичні особи, які користуються радіочастотним ресурсом України з метою взаємного спілкування, самовдосконалення, технічних досліджень, виключно з особистої зацікавленості та без будь-якої матеріальної вигоди.

4. Не відносяться до користувачів радіочастотного ресурсу України особи, які використовують:

1) радіоелектронні засоби для отримання послуг електронних комунікацій;

- 2) включені до Списку суднових станцій та присвоєнь ідентифікаторів морської рухомої служби службових публікацій Міжнародного союзу електрозв'язку передавачі або приймачі суднових станцій, призначені для зв'язку у разі лиха, аварії, терміновості, забезпечення безпеки або в рамках Глобальної морської системи зв'язку під час лиха та для забезпечення безпеки судноплавства;
- 3) засоби електронних комунікацій повітряного судна для радіозв'язку з органом обслуговування повітряного руху, а також засоби радіонавігації та радіолокації повітряного судна;
- 4) випромінювальні пристрої, за виключенням випромінювальних пристроїв спеціального призначення;
- 5) приймачі телевізійного, радіо та супутникового мовлення;
- 6) вимірювальну техніку, техніку для наукових досліджень і наукових розробок;
- 7) приймачі супутникових радіонавігаційних систем.

На експлуатацію зазначених радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв розповсюджуються експлуатаційні вимоги цього Закону, Регламенту радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку та інші нормативно-правові акти, зокрема, щодо умов загального дозволу на використання радіочастотного ресурсу України, які визначає національний регулятор.

1.2. Радіотехнології і радіо служби

Радіотехнологія - сукупність методів, процесів, обладнання, технічних та програмно-технічних засобів, способів формування, передавання, приймання (обробки) радіосигналів, що складають єдиний технологічний процес передавання та приймання радіосигналів і застосування яких передбачає використання радіочастот;

Радіослужба - визначена Регламентом радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку служба передавання, випромінювання та/або приймання радіохвиль для певних визначених цілей;

До таких служб відносяться:

фіксована служба — служба радіозв'язку між визначеними фіксованими пунктами;

фіксована супутникова служба — служба радіозв'язку між земними станціями із заданим місцезнаходженням, коли використовуються один або декілька супутників. Задане місцезнаходження передбачає будь-який фіксований пункт, розташований у визначених зонах; у деяких випадках ця служба включає лінії супутник — супутник, які також можуть використовуватися у міжсупутниковій службі. До РЕЗ цієї служби можуть бути віднесені фідерні лінії інших служб космічного радіозв'язку;

міжсупутникова служба — служба радіозв'язку, що забезпечує зв'язок між штучними супутниками;

служба космічної експлуатації — служба радіозв'язку, призначена виключно для експлуатації космічних апаратів, зокрема з метою космічного стеження, космічної телеметрії і космічного телеуправління;

рухома служба — служба радіозв'язку між рухомою і сухопутною станціями або між рухомими станціями;

рухома супутникова служба — служба радіозв'язку між рухомими земними станціями і однією чи кількома космічними станціями, або між космічними станціями, які використовуються цією службою, або між рухомими земними станціями за допомогою однієї чи кількох космічних станцій. До РЕЗ зазначеної служби можуть бути віднесені фідерні лінії, необхідні для її роботи;

сухопутна рухома служба — рухома служба радіозв'язку між базовими станціями і сухопутними рухомими станціями або між сухопутними рухомими станціями;

сухопутна рухома супутникова служба — рухома супутникова служба радіозв'язку, в якій рухомі земні станції розташовані на суші;

морська рухома служба — рухома служба радіозв'язку між береговими станціями та судновими станціями, або між судновими станціями, або між станціями внутрішньосуднового зв'язку. Станції рятувальних засобів та станції радіомаяків – показчиків місця біди теж можуть бути віднесені до цієї служби;

морська рухома супутникова служба — рухома супутникова служба радіозв'язку, в якій рухомі наземні станції розташовані на борту морських суден. Станції рятувальних засобів та станції радіомаяків — показчиків місця біди теж можуть бути віднесені до цієї служби;

портова служба — морська рухома служба радіозв'язку в межах порту та його акваторії між береговими та судновими станціями або між судновими станціями для цілей керування портовими роботами, переміщення суден і забезпечення їх безпеки. В екстрених випадках допускається передача цією службою інших повідомлень для забезпечення безпеки людей;

служба руху суден — морська рухома служба радіозв'язку між береговими та судновими станціями або між судновими станціями, за винятком портової служби, яка обмежена передаванням повідомлень, що стосуються виключно переміщення суден. Передача повідомлень іншого характеру цією службою не допускається;

повітряна рухома служба — рухома служба радіозв'язку між стаціонарними станціями повітряної рухомої служби і станціями повітряних суден або між станціями повітряних суден. Станції радіомаяків — показчиків місця біди, які працюють на визначених міжнародних частотах біди та виклику, і станції рятувальних засобів можуть належати до цієї служби;

повітряна рухома (R)* служба — повітряна рухома служба, що призначена для зв'язку з метою забезпечення безпеки та регулярності польотів, головним чином на національних та міжнародних цивільних повітряних трасах;

повітряна рухома (OR)** служба — повітряна рухома служба, що призначена для радіозв'язку, включаючи зв'язок з метою координації польотів, головним чином поза національними та міжнародними цивільними повітряними трасами;

повітряна рухома супутникова служба — рухома супутникова служба, у якій рухомі земні станції встановлюються на борту повітряного судна; станції рятувальних засобів та станції радіомаяків — показчиків місця біди також можуть бути віднесені до РЕЗ цієї служби;

повітряна рухома супутникова (R) служба — повітряна рухома супутникова служба, що призначена для зв'язку з метою забезпечення безпеки та регулярності польотів, головним чином на національних або міжнародних цивільних повітряних трасах;

повітряна рухома супутникова (OR) служба — повітряна рухома супутникова служба, що призначена для радіозв'язку, включаючи зв'язок з метою координації польотів, головним чином поза національними або міжнародними цивільними повітряними трасами;

радіомовна служба — служба радіозв'язку, що здійснює передавання сигналів телевізійного та/або звукового мовлення для їх безпосереднього приймання РЕЗ населення;

радіомовна супутникова служба — радіомовна служба, сигнали якої передаються або ретранслюються космічними станціями для їх приймання безпосередньо РЕЗ населення індивідуального і колективного приймання;

служба радіовизначення — служба радіозв'язку для цілей радіовизначення;

супутникова служба радіовизначення — служба радіозв'язку для цілей радіовизначення, що використовує одну або декілька космічних станцій. До цієї служби можуть бути віднесені фідерні лінії, необхідні для її роботи;

радіонавігаційна служба — служба радіовизначення для цілей радіонавігації;

радіонавігаційна супутникова служба — супутникова служба

радіовизначення, що використовується для цілей радіонавігації. До РЕЗ цієї служби можуть бути віднесені фідерні лінії, необхідні для її роботи;

морська радіонавігаційна служба — радіонавігаційна служба, що призначена для обслуговування морських суден та безпеки їх експлуатації;

морська радіонавігаційна супутникова служба — радіонавігаційна супутникова служба, в якій земні станції встановлені на борту морських суден;

повітряна радіонавігаційна служба — радіонавігаційна служба, що призначена для обслуговування повітряних суден та безпеки їх експлуатації;

повітряна радіонавігаційна супутникова служба — радіонавігаційна супутникова служба, в якій земні станції встановлені на борту повітряного судна;

радіолокаційна служба — служба радіовизначення для цілей радіолокації;

радіолокаційна супутникова служба — супутникова служба радіовизначення, що використовується для цілей радіолокації. До РЕЗ цієї служби можуть бути віднесені фідерні лінії, необхідні для її роботи;

допоміжна служба метеорології — служба радіозв'язку, що використовується для метеорологічних та гідрологічних спостережень і досліджень;

метеорологічна супутникова служба — супутникова служба дослідження Землі для цілей метеорології;

служба космічних досліджень — служба радіозв'язку, в якій космічні апарати чи інші космічні об'єкти використовуються для наукових або технічних досліджень;

Та інші служби.

Таблиця розподілу смуг радіочастот між цими службами наведена в постанові Кабінету Міністрів України [4].

Згідно постанови №815 КМУ від 09,06,2006 яке описує радіочастоти, виділені для радіотехнічних служб спеціального і загального призначення в **Україні відкриті наступні частотні діапазони:**

LPD діапазон

LPD (Low Power Device) - 433,05 - 434,79 МГц. В цьому діапазоні дозволена робота (без спеціальних дозволів) радіопередаючої техніки потужністю до 10 мВт. За фактом в цьому діапазоні використовується радіо передає техніка з вихідною потужністю більше 10 мВт, і іноді може досягати декількох десятків Ватт.

LPD діапазон розділили на 69 каналів з кроком 25 кГц, Починаючи з частоти 433,075 МГц.

Таблиця LPD каналів(рис.1.1):

Канал	Частота (МГц)	Канал	Частота (МГц)	Канал	Частота (МГц)
1	433.075	24	433.650	47	434.225
2	433.100	25	433.675	48	434.250
3	433.125	26	433.700	49	434.275
4	433.150	27	433.725	50	434.300
5	433.175	28	433.750	51	434.325
6	433.200	29	433.775	52	434.350
7	433.225	30	433.800	53	434.375
8	433.250	31	433.825	54	434.400
9	433.275	32	433.850	55	434.425
10	433.300	33	433.875	56	434.450
11	433.325	34	433.900	57	434.475
12	433.350	35	433.925	58	434.500
13	433.375	36	433.950	59	434.525
14	433.400	37	433.975	60	434.550
15	433.425	38	434.000	61	434.575
16	433.450	39	434.025	62	434.600
17	433.475	40	434.050	63	434.625
18	433.500	41	434.075	64	434.650
19	433.525	42	434.100	65	434.675
20	433.550	43	434.125	66	434.700
21	433.575	44	434.150	67	434.725
22	433.600	45	434.175	68	434.750
23	433.625	46	434.200	69	434.775

Рис.1.1. PMR діапазон

PMR (від англ. Private Mobile Radio) - 446,0 - 446,1 МГц. В цьому діапазоні дозволена робота приймально-передавальної радіоапаратури (без спеціального дозволу) з потужністю передавача не більше 0,5 Вт. Як і в більшості європейських країн, в Україні дозволено використання PMR на безліцензійної основі, за умови включення абонентських станцій в перелік

радіоелектронних пристроїв, що не вимагають отримання дозволу Українського державного центру радіочастот на їх експлуатацію.

У PMR діапазоні використовується 8 каналів з кроком 12,5 кГц починаючи з 446,00625 МГц. У PMR діапазоні допускається використання кодів CTCSS для селективного виклику. (Примітка: 8 канал PMR використовується для радіоаматорської аварійної служби.

Таблиця PMR каналів зображена на рис.1.2:

PMR канал	Частота (МГц)
1	446.00625
2	446.01875
3	446.03125
4	446.04375
5	446.05625
6	446.06875
7	446.08125
8	446.09375

Рис.1.2.радіоаматорські частоти

У нашій країні виділені **частоти для радіоаматорського використання** в діапазоні VHF - 144-146 МГц, I UHF - 430-440 МГц. Для того щоб використовувати ці частоти вам необхідно отримати радіоаматорський позивний. Потужність рації для використання в цих діапазонах залежить від кваліфікації радіоаматора.

СВ діапазон

СВ (Сі-Бі) діапазон. СВ (від англ. Sitizen's Band - цивільний діапазон) - безліцензійний і доступний для всіх громадян діапазон радіозв'язку на коротких хвилях частотою 27 МГц (без спеціальних дозволів передавач потужністю не більше 4 Вт). Можливості застосування СВ радіозв'язку

вельми широкі. Рації цього діапазону бувають ношені, возяться і стаціонарні. Тому, на СВ діапазоні легко можна організувати зв'язок, наприклад, магазин-склад або склад-автомобіль і т.д. Рації СВ діапазону також можна застосувати і на невеликих судах. Але найбільше застосування СВ діапазон отримав в якості рухомого зв'язку. Застосування рації в автомобілі допомагає водіям дізнатися актуальну інформацію на дорозі, в пошуку оптимального маршруту та ін. Але використання переносних рацій СВ діапазону трохи проблематично. Так як довжина хвилі СВ діапазону 11 метрів, то антена «четвертушка» матиме довжину близько 2,7 метрів. Тому антену СВ діапазону для портативних рацій геометрично укорочую в 10-20 разів, а це негативно позначається на дальності зв'язку. Хоча якщо розглядати поширення сигналу, то СВ діапазон набагато краще огинає перешкоди в порівнянні з LPD або PMR. Це пов'язано з довжиною хвилі - яка може огинати перепони не більше половини довжини хвилі. Для СВ перешкодою буде перешкода від 5 метрів, а для LPD від 35 см. Це пов'язано з довжиною хвилі - яка може огинати перепони не більше половини довжини хвилі. Для СВ перешкодою буде перешкода від 5 метрів, а для LPD від 35 см. Це пов'язано з довжиною хвилі - яка може огинати перепони не більше половини довжини хвилі. Для СВ перешкодою буде перешкода від 5 метрів, а для LPD від 35 см.

У всьому світі основні канали СВ діапазону починаються з частоти 26,965 МГц - 1 канал, і поступово збільшуються на 10 кГц (26,975 МГц - 2й і т.д). Ці канали на радіоаматорському сленгу називають «п'ятірки» або «Європа (E)». У деяких країнах застосовують частотну сітку «нулі» або «Польща (P)». Суть та ж, але початок діапазону на частоті 26,960 МГц. Основними каналами СВ діапазону можна вважати: C9EF (27.065) - служба порятунку, і C15EA або C15EF - вивозної канал. До речі, розшифровуються канали так: C15EA - перша буква «С» - сітка (може бути не вказана); другий знак «номер каналу»; слідом (необов'язкове значення) E - «п'ятірки» і «P» - «нулі»; остання буква модуляція F - FM і A - AM.

РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ.

2.1 Значущі параметри радіосигналів та радіозавад

Одним із основних параметрів радіосигналу, є довжина хвилі. Розподіл та застосування за різним призначенням радіохвиль є компетенцією відповідних національних та міжнародних установ. [5] Однією з головних є Міжнародний союз електрозв'язку – International Telecommunication Union – ITU.

В табл. 1.1 наведено діапазони радіохвиль за міжнародним документом – Регламентом радіозв'язку та, відповідно, за Національним стандартом України ДСТУ 3254.

Частотні межі діапазонів визначає формула:

$$10,3 \cdot 10^n \text{ Гц} \quad (2.1)$$

де n – номер діапазону.

Всього діапазонів – 12, проте для радіозв'язку в Національній таблиці України розподілу радіочастот зазначено найнижчі частоти від 9 кГц до 14 кГц – для радіонавігаційних служб, тобто, у четвертому діапазоні.

Зауважимо, що за однаковими числами діапазони містять верхні значення меж.

Таблиця 2.1

Розподіл радіохвиль за діапазонами

№ діапазонів п	За частотою			За довжиною хвилі			Орієнтовні галузі застосуван ня
	назва	скорочен ня (рос.) [англ.]	частоти	назва	скорочення *	довжина	
1	вельминизькі частоти	ВНЧ (КНЧ) [ELF]	3...30 Гц	декамегаметрові	—	10...100 Мм	спеціальна
2	наднизькі частоти	ННЧ (СНЧ) [SLF]	30...300 Гц	мегаметрові хвилі	—	1...10 Мм	спеціальна, ЗПЧ, ЛЕП
3	інфранизькі частоти	ІНЧ (ИНЧ) [ULF]	300...3000 Гц	гектокілометрові хвилі	—	100...1000 км	ЗПЧ, ЗШ, телефонний зв'язок
4	дуже низькі частоти	ДНЧ (ОНЧ) [VLF]	3...30 кГц	міріаметрові хвилі	—	10...100 км	РН, МС, РТГЗ, ЗПЧ, СЧ
5	низькі частоти	НЧ (НЧ) [LF]	30...300 кГц	кілометрові хвилі (довгі хвилі)	ДХ	1...10 км	РАЗ, РН, РТГЗ, РТГЗ, РМ, СЧ
6	середні частоти	СЧ (СЧ) [MF]	0,3...3 МГц	гектометрові хвилі (середні хвилі)	СХ	0,1...1 км	РАЗ, РТГЗ, РМ
7	високі частоти	ВЧ	3...30 МГц	декаметрові хвилі	КХ	10...100 м	ВЗ, РАЗ, РМ, РЧІ

		(ВЧ) [HF]		(короткі хвилі)			(RFID), РТГЗ
8	дуже високі частоти	ДВЧ (ОВЧ) [VHF]	30...300 МГц	метрові хвилі (ультракороткі хвилі – м)	УКХ – м	1...10м	РМЧМ(FM), ТБ, РЛ, КЗ, РАЗ, РРЗ
9	ультрависокі частоти	УВЧ (УВЧ) [UHF]	300...3000 МГц	дециметрові хвилі (ультракороткі хвилі – дм)	УКХ – дм	0,1...1 м	БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS) КЗ, ТБ, РРЗ, МЗ
10	надвисокі частоти	НВЧ (СВЧ) [SHF]	3...30 ГГц	сантиметрові хвилі (ультракороткі хвилі – см)	УКХ – см	1...10 см	БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS) РА,РЛ, КЗ, АН
11	вельмивисокі частоти	ВВЧ (КВЧ) [EHF]	30...300 ГГц	міліметрові хвилі	–	1...10 мм	РА, РЛ, КЗ
12	гіпервисокі частоти	ГВЧ (ГВЧ) [THF]	300...3000 ГГц	дециміліметрові хвилі	–	0,1...1 мм	КРЕ, МП, ТГЗ

Список скорочень деяких сфер застосування радіохвиль за табл. 2.1 наведено в табл. 2.2:

Таблиця 2.2

Скорочення деяких сфер застосування радіохвиль

ЗПЧ	зв'язок з підводними човнами
ЛЕП	лінії електропередавання
ЗШ	зв'язок з шахтами
РН	Радіонавігація
МС	Метеослужба
РТГЗ	радіотелеграфний зв'язок
СЧ	сигнали часу
РАЗ	радіоаматорський зв'язок
РТЗ	радіотелефонний зв'язок
РМ	Радіомовлення
ВЗ	військовий зв'язок
РЧІ (RFID)	радіочастотна ідентифікація
РМЧМ (FM)	радіомовлення з частотною модуляцією
ТБ	Телебачення
РЛ	Радіолокація
КЗ	космічний зв'язок
РРЗ	радіорелейний зв'язок
БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS)	безпроводовий зв'язок

МЗ	мобільний зв'язок
РА	Радіоастрономія
АН	Астронавігація
КРЕ	квантова радіоелектроніка
МП	мікрохвильова піч
ТГЗ	терагерцові засоби

Є також смуги частот обмеженого конкретного застосування[6].

У таблиці 1.3 наведено смуги частот за стандартом Інституту інженерів з електроніки та електротехніки (IEEE) Per IEEE Std 521-2002.

Таблиця 2.3

Смуги частот за стандартом IEEE Std 521-2002**

Назва смуги	Значення частот	Пояснення до назви смуги частот]
HF	(3 ... 30) МГц	High Frequency – високі частоти
VHF	(30 ... 300) МГц	Very High Frequency – дуже високі частоти
L	(1 ... 2) ГГц	Long wave – довгі хвилі
S	(2 ... 4) ГГц	Short wave – короткі хвилі

C	(4 ... 8) ГГц	Compromise between S and X – проміжок між S та X
X	(8 ... 12) ГГц	Used in WW II for fire control, X for cross (as in crosshair). Застосовне під час Другої Світової війни у протипожежних засобах та приладах прицілювання
Ku	(12 ... 18) ГГц	Kurz-under – <i>німецькою мовою</i> – короткі нижні
K	(18 ... 27) ГГц	German Kurz (short) – <i>німецькою мовою</i> – короткі
Ka	(27 ... 40))ГГц	Kurz-above – <i>німецькою мовою</i> – короткі верхні
V	(40 ... 75) ГГц	<i>Без пояснень</i>
W	(75 ... 110) ГГц	W follows V in the alphabet – за абеткою W після V
G	(110 ... 300) ГГц	<i>Без пояснень</i>
H	(220 ... 325) ГГц	<i>Без пояснень</i>

У таблиці 1.5 наведено смуги частот застосовні у структурах EU, NATO...,
US ECM frequency designations

Таблиця 2.4

Смуги частот застосовні у структурах EU, НАТО..., US ECM**

Назва смуги	Частоти, ГГц
A	0 ... 0,25
B	0,25 ... 0,5
C	0,5 ... 1,0
D	1 ... 2
E	2 ...
F	3 ... 4
G	4 ... 6
H	6 ... 8
I	8 ... 10
J	10 ... 20
K	20 ... 40
L	40 ... 60
M	60 ... 100

Клас випромінювання - це сукупність характеристик випромінювання, що позначається встановленими умовними позначеннями.

Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) розроблена своя класифікація радіовипромінювань. Нормами характеристик випромінювань є тип модуляції несучої, що позначається буквами латинського алфавіту (перший знак умовного позначення класу випромінювання), характер сигналу, що модулює, що відображається арабськими цифрами (другий знак) і тип переданої інформації, що вказується латинськими буквами (третій знак).

Таблиця 2.5

Найбільш поширені класи випромінювання:

характеристика радіовипромінювання	клас радіовипромінювання
Випромінювання немодульованої несучої	N0N
Двосмугова амплітудна телеграфія (прийом на слух)	A1A
Двосмугова амплітудна телеграфія (автоматичний прийом)	A1B
Двосмугова амплітудна тональна телеграфія (прийом на слух)	A2A
Односмугова амплітудна тональна телеграфія з повною несучою (прийом на слух)	H2A
Односмугова амплітудна тональна телеграфія з пригніченою несучою (прийом на слух)	J2A

Багатоканальна однополосна амплітудна тональна телеграфія з ослабленою несучою (автоматичний прийом)	R7B
Багатоканальна однополосна амплітудна тональна телеграфія з пригніченою несучою (автоматичний прийом)	J7B
Двосмугова амплітудна телефонія	A3E
Односмугова амплітудна телефонія з повною несучою	H3E
Односмугова амплітудна телефонія з ослабленою несучою(до-18 дБ)	R3E
Односмугова амплітудна телефонія з пригніченою несучою (до -40 дБ)	J3E
Телебачення з частково пригніченою бічною смугою частот	C3F
Одноканальна частотна телеграфія (автоматичний прийом)	F1B
Одноканальна фазова телеграфія (автоматичний прийм)	G1B
Двоканальна частотна телеграфія	F7B

(автоматичний прийом)	
Двоканальна фазова телеграфія (автоматичний прийом)	G7B
частотна фототелеграфія	F1C
частотна телефонія	F3E
Випромінювання послідовності немодульованих імпульсів	P0N
Телеграфія з амплітудною маніпуляцією імпульсів несучої	K1B
Телефонія з амплітудно-імпульсною модуляцією	K3E
Телефонія з широтно-імпульсною модуляцією	L3E
Телефонія з часом-імпульсною модуляцією	Mze

Перший знак

Випромінювання немодульованої несучої позначається буквою N, амплітудно-модульований сигнал - буквою A, сигнал з частково пригніченою однією з бічних смуг - C, односмуговий сигнал з пригніченою несучою - буквою J, частотно і фазомодульовані сигнали - буквами F і G відповідно, комбінована імпульсна модуляція - буквою V.

Другий знак

Одноканальна передача цифрової інформації без піднесе позначається цифрою 1; з піднесе - цифрою 2; одноканальна передача аналогової інформації - цифрою 3; двухканальная (або більше) передача, яка містить квантовану або цифрову інформацію - цифрою 7; двухканальная (або більше) передача аналогової інформації - цифрою 8; складна система з одним або декількома каналами, що містять квантовану або цифрову інформацію, спільно з одним або декількома каналами, що містять аналогову інформацію - цифрою 9.

Третій знак умовного позначення класу випромінювання вказує на тип переданої інформації: телефонія позначається буквою E, телеграфія для прийому на слух - буквою A, телеграфія для автоматичного прийому - буквою B, факсиміле - C. Якщо в випромінюванні відсутній передана інформація (тобто випромінюється тільки немодульованою несуча), то для позначення застосовується буква N.

Наприклад, що використовується в аматорського радіозв'язку випромінювання телеграфних сигналів з прийомом на слух (**CW**) відноситься до класу **A1A**, односмугових телефонних сигналів (**SSB**) до класу **J3E**, випромінювання амплітудно-модульованих мовних сигналів (**AM**) - до класу **A3E**, випромінювання частотно-модульованих мовних сигналів - до класу **F3E**.

Для класифікації випромінювань до розглянутим позначенням можуть додаватися додаткові: **четвертий знак** - для докладних даних про сигнал (наприклад, J - передача звуку з прийнятною для комерційного зв'язку якістю), **п'ятий знак** - для інформації про характер ущільнення (наприклад, F- частотне ущільнення).

Для повного позначення випромінювання перед позначенням класу випромінювання за допомогою чотирьох знаків можна вказати необхідну ширину смуги частот, яка при даному класі випромінювання достатня для забезпечення передачі повідомлень з необхідною швидкістю і якістю при

певних умовах. Приклади позначення ширини смуги частот в аматорського радіозв'язку: **200Н** - 200 Гц (для CW-сигналу), **2К70** - 2,7 кГц (для SSB-сигналу), **12К0** - 12 кГц (для FM-сигналу).

Модуляція (англ. modulation) — це процес зміни в часі за заданим законом параметрів якогось з фізичних процесів. В радіотехніці таким фізичним процесом є гармонійне коливання, яке називають частотою носієм (несною частотою, опорною частотою):

$$S(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.2)$$

Де A_0 — амплітуда, ω_0 — частота, φ_0 — початкова фаза, t — час.

Зміна одного з вищеперерахованих параметрів визначає тип модуляції: амплітудну, частотну чи фазову.

Амплітудною модуляцією (АМ) називають утворення сигналу шляхом зміни амплітуди гармонійного коливання (несучої) пропорційно миттєвим значенням напруги чи струму іншого, більш низькочастотного сигналу (повідомлення).

При **частотній модуляції (ЧМ, англ. FM - Frequency Modulation)** має сигнал є більш високочастотним по відношенню до інформаційного сигналу і амплітуда частотно-модульованого сигналу є незмінною. Частотно модульований сигнал відрізняється високою помехозащищенностью і використовується для високоякісної передачі інформації: в радіомовленні, телебаченні, радіотелефонії і ін.

Основними характеристиками частотної модуляції є девіація (відхилення) і індекс модуляції.

Девіація частоти (frequency deviation) - найбільше відхилення значення модульованого сигналу від значення його несучої частоти. Одиницею девіації частоти є герц (Hz), а також кратні йому одиниці.

Індекс модуляції (modulation index) - відношення девіації частоти до частоти модулюючого сигналу.

По характеристикам фазовая модуляция (ФМ, англ. Phase Modulation) близка к частотной модуляции. В случае синусоидального модулирующего (информационного) сигнала, результаты частотной и фазовой модуляции совпадают. В аналоговой технике фазовая модуляция используется реже, чем частотная, поскольку требует более сложного преобразования при приеме.

Максимальное отклонение фазы модулированного сигнала относительно среднего значения называется девіацією фазы (phase deviation), задається в угловых единицах (градус, радиан).

2.2 Сутність проблеми забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронної апаратури

Радіотехнічні системи використовуються для передачі інформації, з однієї точки до іншої. Засобом для передачі інформації служать радіохвилі, які можуть належати до різних частотних діапазонів. Сійка тенденція до збільшення кількості незалежних електричних, електронних та радіотехнічних апаратів, розміщених на земній поверхні, що працюють одночасно, супроводжується збільшенням кількості радіозавад окремим телекомунікаційним засобам, системам та комплексам. Виникає проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних апаратів (РЕА) різного призначення в процесі їх експлуатації. Проблему ЕМС РЕА посилює природний дефіцит радіочастотного спектра, розподіл і використання якого регулюється й нормується відповідними міжнародними та державними документами й угодами, контролюється спеціальними організаціями.

Сукупність електромагнітних полів, які діють на антену або інші чутливі елементи РЕА, визначають електромагнітну обстановку (ЕМО) у точці їх розміщення. ЕМО – сукупність електромагнітних полів різного походження, які діють одночасно на антену радіоприймача. ЕМО, яка є сприятливою для

одних РЕА, може бути несприятливою для інших. Тому в умовах природного дефіциту РЧР виникає проблема забезпечення ЕМС незалежних РЕА різного призначення, що працюють одночасно.

Електромагнітна сумісність радіоелектронних апаратів – їхня здатність одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю при дії на них ненавмисних радіозавад та не створювати неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним пристроям та системам. Електромагнітна завада – будь-яке електромагнітне збурення (явище), яке сприяє погіршенню показників якості каналу формування, приймання та обробки повідомлень, утруднює нормальну роботу РЕА. Радіозавада – електромагнітне явище (збурення) у діапазоні радіочастот, яке погіршує показники якості трактів формування, приймання та обробки радіосигналів. [5]

У загальному випадку аналіз умов забезпечення ЕМС здійснюється для виявлення можливостей одночасного функціонування на обмеженій території або в обмеженому об'ємі незалежних пристроїв чи окремих блоків, вузлів, елементів, що входять до складу конкретного радіоелектронного апарата. Ефективність заходів забезпечення внутрішньоапаратної ЕМС окремого РЕП на етапах його створення залежить від власного структурного рівня. Розрізняють чотири структурних рівні РЕП, який у загальному випадку розглядається як абстрактний виріб:

1. Виріб нульового структурного рівня – неподільний (найпростіший) схемний, функціональний, конструктивний елемент, який можна замінити (елементи електричної схеми, напівпровідникові та інтегральні елементи, окремі модулі тощо).
2. Виріб першого рівня – конструктивна чарунка, яка містить мінімальну кількість елементів нульового рівня і здатна приймати, 19 перетворювати, передавати сигнали, тобто є універсальним об'єктом, який можна застосувати для уніфікації та стандартизації радіоелектронного пристрою;

3. Виріб другого структурного рівня – радіоелектронний блок, що є автономною конструкцією, тобто підсистемою, яка не може експлуатуватися автономно;

4. Виріб третього структурного рівня – радіоелектронний пристрій (засіб), тобто РЕА, що складається з взаємопов'язаних частин та блоків, який конструктивно та під час експлуатації є автономною одиницею, здатною виконувати складну завершену функцію. Природно, що методи забезпечення ЕМС РЕА залежать від їхнього структурного рівня. Створюючи радіоелектронний апарат, тобто виріб, проблеми забезпечення ЕМС слід розв'язувати на ранніх етапах його розробки та виготовлення, оскільки в подальшому кількість можливих способів та засобів боротьби з неавтоматичними завадами зменшується, а їх вартість зростає. Проблема забезпечення ЕМС РЕА має два аспекти: соціально-економічний і науково-технічний[7].

2.3 Задачі радіомоніторингу і радіоконтролю (здійснюється в інтересах забезпечення ЕМС РЕА).

Радіомоніторинг - комплекс організаційних і технічних заходів щодо збирання, оброблення, аналізу та збереження даних про параметри та характеристики сигналів радіовипромінювання РЕЗ, ВП та інших ДРВ із метою отримання необхідної інформації для прийняття управлінських рішень у сфері використання РЧР.

Процес розробки системи розпізнавання вимагає побудови математичної моделі. Побудова моделі системи розпізнавання образів забезпечується послідовним вирішенням таких завдань.

Перше завдання - визначення повного переліку ознак (параметрів), що характеризують об'єкти. Сукупність ознак формується безвідносно будь-яких

обмежень; потрібно визначити всі ознаки, хоча б в найменшій мірі характеризують розпізнаються об'єкти.

Друга задача полягає в проведенні первісної класифікації розпізнаваних об'єктів або явищ, в складанні апріорного алфавіту класів.

Наступні задачі складання апріорного словника ознак, опис всіх класів на мові апріорного словника, розбиття апріорного простору ознак на області, відповідні класам апріорного алфавіту класів.

Шоста задача - вибір алгоритмів розпізнавання, що забезпечують віднесення розпізнається об'єкта до того чи іншого класу або їх деякою сукупності.

Сьома задача - визначення робочого алфавіту класів і робочого словника ознак системи розпізнавання.

І, нарешті, вибір показників ефективності системи розпізнавання і оцінка їх значень.

Ефективність системи розпізнавання залежить, в першу чергу, від кількості та якості обраних параметрів розпізнаваних об'єктів, і, зрозуміло, від алгоритму розпізнавання.

Радіоконтроль - контроль можливості отримання інформації противником з використанням радіопоіска, перехоплення, аналізу [інформації](#), що передається за допомогою своїх [радіоелектронних засобів](#).

Радіоконтроль є основною складовою частиною [комплексного технічного контролю](#) і проводиться з метою виявлення та припинення порушень заходів протидії радіорозвідки і демаскуючих ознак в організації [радіозв'язку](#), які можуть дозволити противнику отримувати відомості про склад, дислокації і діях військ, характеристиках [озброєння](#) і військової техніки.

РОЗДІЛ 3. СПОСОБИ АПАРАТУРНОГО АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИТУАЦІЇ В ТОЧЦІ НАГЛЯДУ

3.1 Пряме та зворотне перетворення Фур'є (встановлюють взаємозв'язок спектру та часу).

В обробці сигналів і [аналізі даних](#) частотна область - це область перетворень, в якій сигнали і дані аналізуються і обробляються не як функції часу або іншої незалежної змінної, а як функції частоти.

Функція або сигнал можуть бути перетворені з тимчасової в частотну область і назад за допомогою пари математичних операторів, які називаються перетвореннями. Наприклад, пара перетворень Фур'є має вигляд:

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ix\omega} dx, \quad (3.1)$$

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{-ix\omega} dx, \quad (3.2)$$

де $f(x)$ - вихідна функція, $\hat{f}(\omega)$ - представлення функції в частотній області, $\omega=2\pi f$ - кругова частота, $i = \sqrt{-1}$ - уявна одиниця.

Перетворення Фур'є трансформує функцію часу в суму або інтеграл комплексних синусоїд різних частот, амплітуд і фаз, кожна з яких представляє собою частотну складову, або гармоніку. «Спектр» частотних компонентів являє собою уявлення (образ) функції в частотній

області. Зворотне перетворення Фур'є трансформує функцію частотної області назад в функцію часу. [8]

Однією з основних причин використання частотного представлення сигналів і даних є спрощення деяких завдань їх обробки. В аналізі даних такими завданнями є фільтрація, згладжування і придушення шумів, що реалізуються за допомогою [спектрального аналізу](#).

Наприклад, [шум](#), який представляє собою швидкі випадкові коливання, породжує в частотній області високочастотні спектральні складові. Якщо відсікти їх за допомогою [фільтра](#) верхніх частот, а потім перетворити функцію назад в тимчасову область, то шум буде відфільтрований.

До числа найбільш відомих перетворень з тимчасової області в частотну відносяться перетворення Фур'є, Лапласа.

3.2 Панорамні радіоприймальні пристрої (їх вид, призначення, особливості використання).

Панорамні приймачі є одними з найважливіших інструментів систем технічного захисту інформації (ТЗІ), призначених для спостереження сигнального простору з метою оцінки його використання, виявлення несанкціонованого витоку сигналів із систем передавання інформації та виявлення нових джерел сигналів. Завдання, які розв'язуються за допомогою панорамних приймачів, відрізняються великою різноманітністю.

Серед них:

- радіомоніторинг, тобто поточна оцінка завантаженості діапазону частот радіосигналами і визначення їх параметрів
- носійної частоти, параметрів модуляції та зайнятої смуги частот;
- виявлення нових джерел сигналів і оцінка їх параметрів;

- виявлення і оцінка рівнів побічних та позасмугових випромінювань джерел сигналів;
- виявлення і оцінка параметрів завад від електротехнічного обладнання; - виявлення каналів несанкціонованого витоку сигналів з телекомунікаційних мереж.

Для відповідності своєму призначенню панорамні приймачі повинні мати наступні параметри:

- великий робочий діапазон частот приймання сигналів. Частота налаштування сучасних панорамних приймачів лежить в межах 100 кГц...18 ГГц;
- змінну смугу пропускання сигналів. Сучасні панорамні приймачі мають смуги пропускання, які перемикаються в межах від одиниць Герц до десятків мегагерц; - великий динамічний діапазон вхідних сигналів;
- високу стабільність і повторюваність частоти налаштування приймача; Власне панорамний приймач є частиною інформаційно-вимірювальної системи, яка містить такі елементи:
 - АЦП прийнятого радіосигналу, перенесеного у відповідну смугу частот; - демодулятори для різних видів модуляції;
 - оперативний запам'ятовуючий пристрій для запам'ятовування або миттєвих значень прийнятого сигналу, або значень потужностей сигналів у різних ділянках діапазону частот;
 - індикаторний пристрій для відображення розподілу інтенсивності сигналів у діапазоні частот;
 - програмований керувально-обчислювальний пристрій для налаштування приймача та визначення часових та частотних параметрів прийнятих сигналів.

За структурою панорамного приймача є більш складною порівняно з розглянутими попередньо, і, фактично, може мати кілька каналів з різними частотними параметрами, які перемикаються в залежності від обраного діапазону спостереження та смуги пропускання[9].

Можливості панорамних приймачів в значній мірі визначаються методом аналізу частотного діапазону. Від нього повністю залежить і вид структурної схеми. Розрізняють методи паралельного і послідовного аналізу.

Методи аналізу частотного діапазону

При паралельному аналізі всі сигнали, що знаходяться в певній смузі частот, званої смугою огляду, виявляються одночасно. Структурна схема такого приймача приведена на рис.3.1

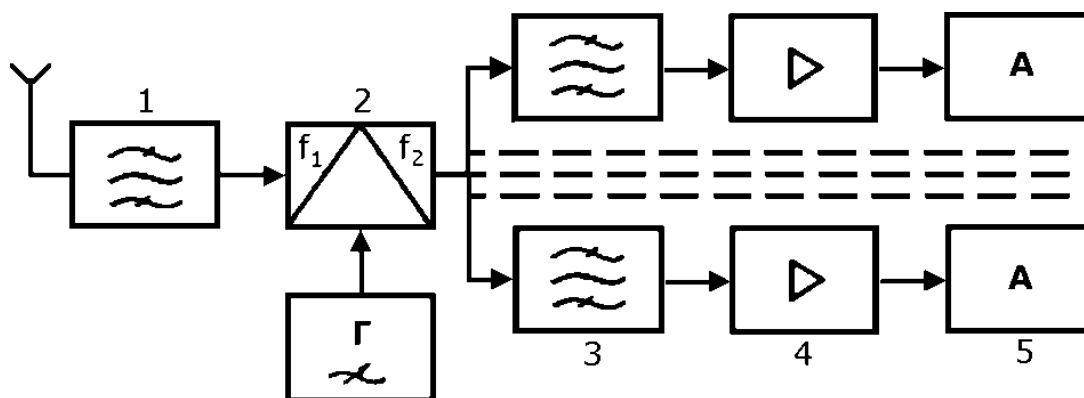


Рис.3.1. Структурна схема панорамного приймального пристрою з паралельним аналізом сигналів

Тут ВЧ-фільтр 1 формує необхідну смугу огляду, в якій ведеться виявлення сигналів; змішувач 2 виконує лінійний перенесення спектра прийнятого випромінювання в низькочастотну область радіодіапазону; смугові фільтри 3 - здійснюють частотне розділення сигналів. Вихідний підсилювач 4 забезпечує необхідний рівень сигналу, достатній для нормальної роботи аналізує пристрої 5.

Така структура робить можливим практично миттєве виявлення сигналів в смузі огляду за умови, що їх рівень перевищує порогову чутливість приймача. Однак не складно порахувати, що якщо контрольований діапазон частот простягається хоча б від 20 до 1500 МГц, то при ширині спектра

модульованого промовою сигналу 5-10 кГц потрібно от 2000 до 300 000 каналів. Ясно, що зробити таку систему, яка здатна «брати»

будь-яку радіозакладками, практично нереально через її колосальної складності, а значить і вартості.

В радіоприймачі послідовного аналізу(3.2), відповідно, здійснюється послідовна перебудова в смузі огляду і виявлення сигналу.

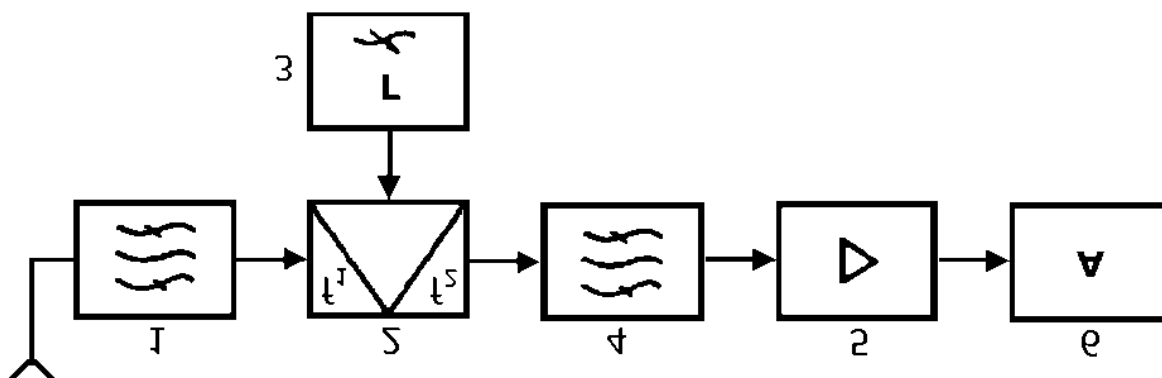


Рис.3.2 . Структурна схема панорамного радіоприймального пристрою з послідовним аналізом

Тут ВЧ-фільтр 1 має смугу пропускання, що дорівнює смузі огляду, а гетеродин 3 забезпечує перебудову приймача в заданій смузі. Проміжна частота - фіксована. Після селекції фільтром 4 і посилення підсилювачем 5 виявлений сигнал надходить в аналізує пристрій 6. При автоматичної перебудови приймач як би «прощупує» (сканує) частотний діапазон, звідси і його назва - сканер. Термін не зовсім точний, але широко використовуваний.

3.3 Аналізатори спектрів радіосигналів (їх вид, призначення, особливості використання).

Аналізатор спектра призначений для візуалізації та вимірювання спектру сигналу. Цей пристрій часто можна зустріти в науково-дослідних лабораторіях і на виробництві в промислових підприємствах. Спектроаналізатори реагують на зміну амплітуди хвилі. [10]

Слід зазначити, що саме аналізатори спектру останнім часом найбільш інтенсивно розвиваються з усіх засобів вимірювальної техніки, що використовуються для радіоконтролю.

За останні роки спостерігається активний розвиток саме аналізаторів спектру з поміж усіх засобів вимірювальної техніки, що використовується у сфері радіоконтролю. На рисунку 3.3 представлено етапи розвитку спектроаналізаторів, від аналогових до аналізаторів у режимі реального часу.

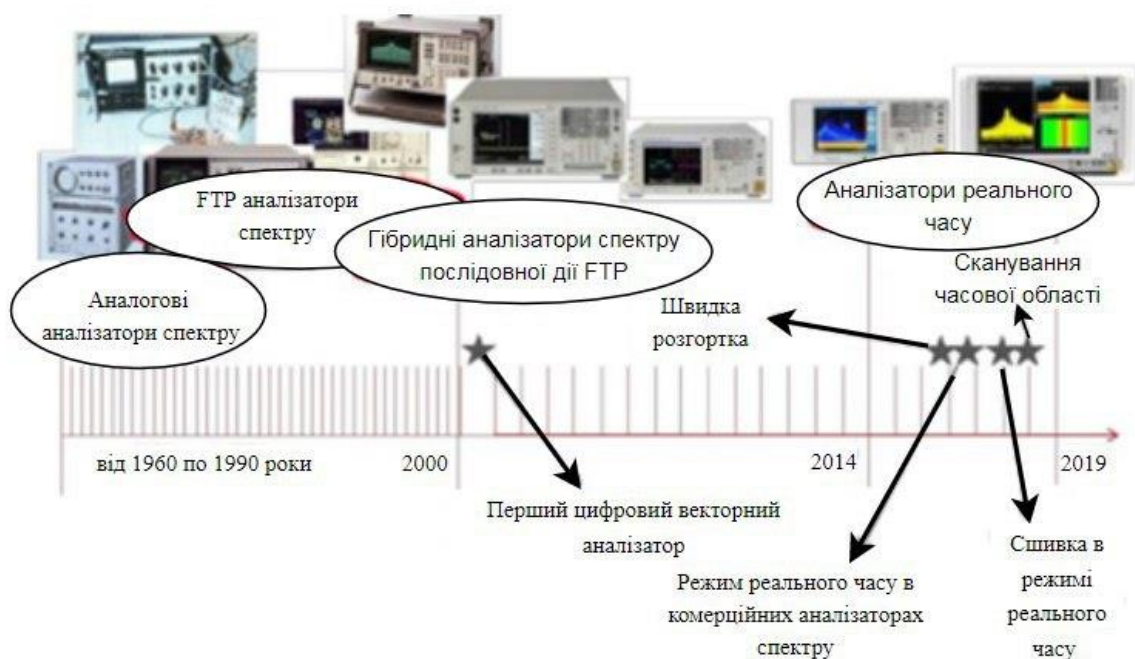


Рис.3.3 Розвиток аналізаторів спектру

Цей пристрій призначений для візуалізації та аналізу спектру сигналу. Сигнальний спектр являє собою набір синусоїдальних хвиль в конкретний момент часу. За допомогою аналізатора спектра можна побачити розподіл енергії по частотах і отримати амплітудно-частотну характеристику сигналу. На підставі отриманих даних можна заглушити шуми і перешкоди, повернути сигнал на закріплену за ним частоту.

Основні параметри аналізатора спектру:

- Частотний діапазон;
- Чутливість;
- Смуга аналізу сигналу;
- Точні характеристики (похибка амплітудна та фазова);
- Динамічний діапазон;
- Спотворення (в західних джерелах використовується поняття точки перетину по інтермодуляційним складовим 3-го порядку);
- Смуга аналізу сигналу;

Пристрій застосовується:

- при вимірюванні частотних характеристик в мікрохвильовій і радіохвильовій областях;
- під час тестування кабельного телебачення та радіо;
- для вирішення вузькоспеціалізованих завдань, спрямованих на підвищення сумісності двох радіоприладів, перевірки стійкості готової техніки до перешкод і т.д;
- для калібрування генераторів;
- під час контролю, випробувань, тестування якості електронних виробів;
- для вивчення спектральних показників;
- для перевірки відповідності пристроїв мобільного і радіозв'язку чинним стандартам;
- в процесі діагностики імпульсного відповідності та роботи генераторів.

ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ

Інтерес до того, як працює аналізатор спектру, цілком природний. Основне призначення аналізатора спектра - спостереження та вимір коливань енергії в частотній смузі. Ці процедури потрібно проводити для того, щоб радіоприлади працювали виключно в своїй смузі, не створюючи для один одного перешкод. За результатами отриманих за допомогою аналізатора вимірювань здійснюється подальша настройка техніки. Принцип дії аналізатора спектра залежить від його типу.

ТИПИ АНАЛІЗАТОРІВ СПЕКТРА

Існує багато видів вимірює спектрального обладнання. Класифікують прилади виходячи з їх основних характеристик:

За принципом дії: послідовні (скануючі) і паралельні (багатоканальні).

За способом обробки інформації, що надходить: аналогові і цифрові.

По виду аналізу: скалярні (для отримання інформації виключно про гармонійних складових) і векторні (для отримання інформації про гармонійних і фазових складових).

За діапазону частот: низькочастотні, широкосмугові, що працюють в оптичному діапазоні.

Послідовні аналізатори спектра вважаються більш поширеними. Вони сканують частотну смугу за допомогою малопотужного генератора електричних коливань. Селективний підсилювач проміжної частоти послідовно виділяє спектральні складові, і їхні відгуки відтворюються на екрані. Аналізатори паралельного типу укомплектовані високодобротні резонаторами, налаштованими на певні частоти. При одночасному впливі сигналу кожен вузькосмуговий фільтр виділяє по одній його складової, що дозволяє вести паралельний аналіз даних.

ОСНОВ

НІ

ХАРАКТ

ЕРИСТИ

КИ

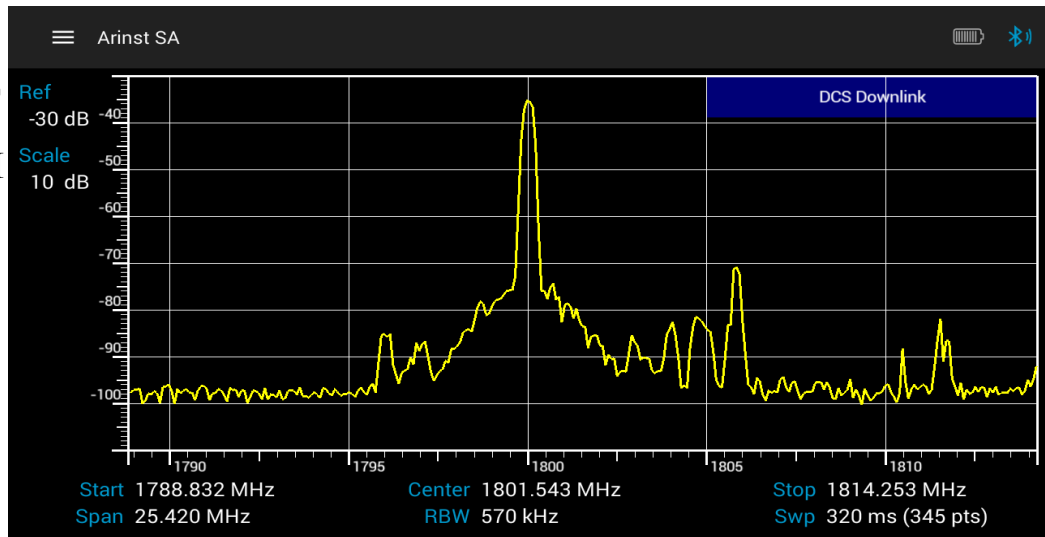


Рис.3.4 Спектрограма

Спектроаналізаторами часто вимірюють частоту, потужність, шум, спотворення, модуляцію спектра. Спектральний склад сигналу дуже важливий в системах з обмеженою по ширині смугою частот. Передана потужність теж відіграє значну роль. Якщо цей показник буде занадто маленьким, то звукова хвиля не досягне точки призначення. Занадто великі значення потужності швидко виснажують запас акумуляторів, підвищують робочу температуру системи, викликають додаткові перешкоди.

Оцінка якості модуляції потрібна для того, щоб переконатися в коректності роботи системи. При аналоговій модуляції вимірюють рівні смуги бічних частот, заповнення смуги частот, коефіцієнт модуляції. При цифровій модуляції оцінюють дисбаланс IQ, модуль вектора похибки, залежність похибки від фази часу. До основних характеристик аналізують приладів відносять:

Роздільну здатність. Ця характеристика являє собою мінімальний інтервал частот, при якому прилад виділить сусідні складові спектра як окремі лінії, а

потім зможе виміряти їх рівні. Роздільна здатність буває динамічної та статичної.

Діапазон частот. Це частотний інтервал, в якому можливий спектральний аналіз. Діапазон в пристрої може бути розбитий на піддіапазони. Зазвичай в приладах передбачена можливість досліджувати сигнали не по всьому інтервалу, а тільки в конкретній його частині. Її називають смугою огляду. Такий підхід застосовується для того, щоб підвищити точність аналізу.

Час аналізу. Позначає швидкість вимірювань. На нього впливає динамічна роздільна здатність і час, необхідний для отримання показань з резонаторів.

Похибка по частоті. Показує з якою точністю пристрій визначає діапазон між спектральними складовими.

Похибка по амплітуді. Залежить від інструментальної похибки аналізатора і сигнального спектра.

3.4 Види Аналізаторів спектра

Всі прилади можна поділити на низькочастотні, радіочастотні і оптичні. Низькочастотні здатні працювати в діапазонах від декількох герц до сотень кілогерц. Радіочастотні працюють з смугою до сотень гігагерц.



Рис.3.5 Зовнішній вид спектроаналізатора

Аналізатори спектра бувають:

Смуговими

На пристрій відобразатиме безліч смуг, які демонструють рівень сигналу. У перших моделях такої техніки використовувалися аналогові фільтри. Смугові аналізатори часто використовують для налаштування амплітудно-частотних характеристик акустичних систем в театрах, на концертних майданчиках. У них для аналізу сигналу застосовується перетворення Фур'є.

Смугові спектроаналізатори часто застосовуються для настройки АЧХ (амплітудно-частотної характеристики) акустичних систем на концертних майданчиках. Якщо на вхід такого аналізатору подати *рожевий шум* (який має однакову потужність в кожній октаві), то дисплей покаже горизонтальну лінію, з можливою поправкою на варіацію шуму в часі. Якщо рожевий шум, проходячи через звукопідсилювальну систему залу, спотворився, то зміни його спектру будуть видні на аналізаторі. При цьому аналізатор, як і наше вухо, буде слабо чутливий до вузьких провалів АЧХ (менше 1/3 октави).

FFT-аналізатори

Вони здатні аналізувати звукові сигнали в режимі реального часу. Щоб попередити розмиття тони по частоті при вимірах використовуються вагові вікна.Що представляють сигнал спектрограмою. Ці прилади дозволяють візуально відслідковувати зміни звукової хвилі в часі. Час відображається по горизонтальній осі, частота - по вертикальній, а звукову амплітуду позначають окремим кольором. Відлік може бути різним. [11]

Розглянемо роботу типового FFT-аналізатора. На вхід йому надходить цифровий аудіосигнал. Аналізатор вибирає з сигналу послідовні інтервали

(«вікна»), на яких буде обчислюватися спектр, і вважає FFT в кожному вікні для отримання амплітудного спектра X_k . Обчислений спектр відображається у вигляді графіка залежності амплітуди від частоти. Аналогічно смуговим аналізатора, зазвичай використовується логарифмічний масштаб по осях частот і амплітуд. Але через лінійного розташування смуг FFT за частотою спектр може виглядати недостатньо детальним на нижніх частотах або надмірно осцилюють на верхніх частотах.

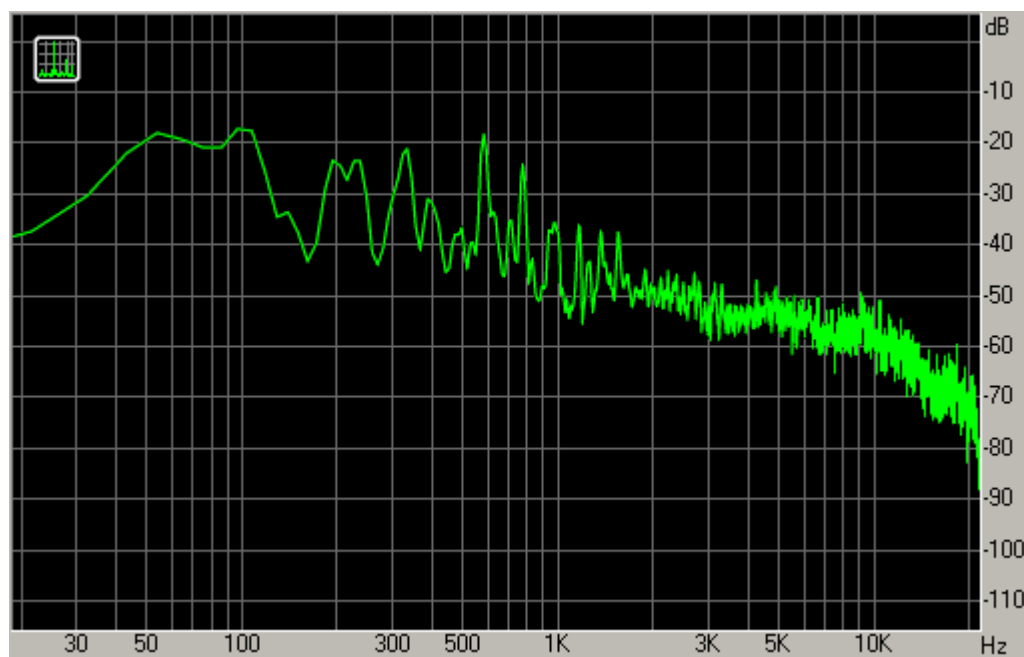


Рис. 3.6 Дисплей FFT-аналізатора

Якщо розглядати FFT як набір фільтрів, то, на відміну від смугових фільтрів третьоктавний аналізатора, фільтри FFT матимуть однакову ширину в герцах, а не в октавах. Тому рожевий шум на FFT-аналізаторі буде вже не горизонтальною лінією, а похилій, зі спадом 3 дБ / окт. Горизонтальною лінією на FFT-аналізаторі буде *білий шум* - він містить рівну енергію в рівних лінійних частотних інтервалах.

Параметр N - число аналізованих відліків сигналу - має вирішальне значення для виду спектра. Чим більше N , тим щільніше сітка частот, за якими FFT розкладає сигнал, і тим більше деталей по частоті видно на спектрі. Для досягнення більш високого частотного дозволу доводиться аналізувати довші ділянки сигналу. Якщо сигнал в межах вікна FFT змінює свої властивості, то

спектр буде відображати деяку усереднену інформацію про сигнал з усього інтервалу вікна.

Коли потрібно проаналізувати швидкі зміни в сигналі, довжину вікна N вибирають маленькою. У цьому випадку дозвіл аналізу за часом збільшується, а по частоті - зменшується. Таким чином, дозвіл аналізу по частоті обернено пропорційно вирішенню за часом. Цей факт називається *співвідношенням невизначеностей*.

Сучасні моделі аналізаторів підтримують функції всіх перерахованих вище типів приладів. Вони також працюють з аналоговими і цифровими фільтрами, що значно розширює сферу їх застосування.

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ

Устаткування підбирають виходячи з поставлених завдань. Основні правила вибору аналізаторів:

Визначення класу пристрою. Техніка цього виду буває бюджетної та преміальної. Дорогі спектроаналізатори працюють з різними типами частот.

Оцінка необхідної точності і чутливості вимірювань. Для деяких видів робіт потрібні високоточні і надчутливі прилади, які не можуть бути бюджетними.

Наявність / відсутність можливості підключення додаткових плат. Модульність дозволяє в подальшому підключати до пристрою нові вимірювальні прилади, підвищити точність проведеного аналізу.

Аналізатори з високою точністю збирають відомості про інтенсивність окремих гармонік застосовують в електротехнічних лабораторіях. Звукорежисерам через вид діяльності доводиться користуватися приладами для вимірювання низьких частот. З їх допомогою можна визначити ступінь розбірливості звуку

Перед тим, як перейти до розгляду аналізаторів часу в режимі реального часу , розглянемо еволюцію архітектури аналізаторів сингалу.

Свіпіруючі аналізатори

В свіпіруючих аналізаторах (рис.) залежність потужності від частоти визначається шляхом перетворення досліджуваного сигналу з пониженням частоти і його свіпірування в межах смуги пропускання фільтра проміжної частоти (ПЧ), званої смугою дозволу (RBW). Детектор, включений за фільтром ПЧ, обчислює амплітуду на кожній частоті обраної смуги огляду. Таке рішення забезпечує широкий динамічний діапазон, але має істотний недолік: в кожен момент часу амплітуду можна обчислити тільки на одній частоті. [12]

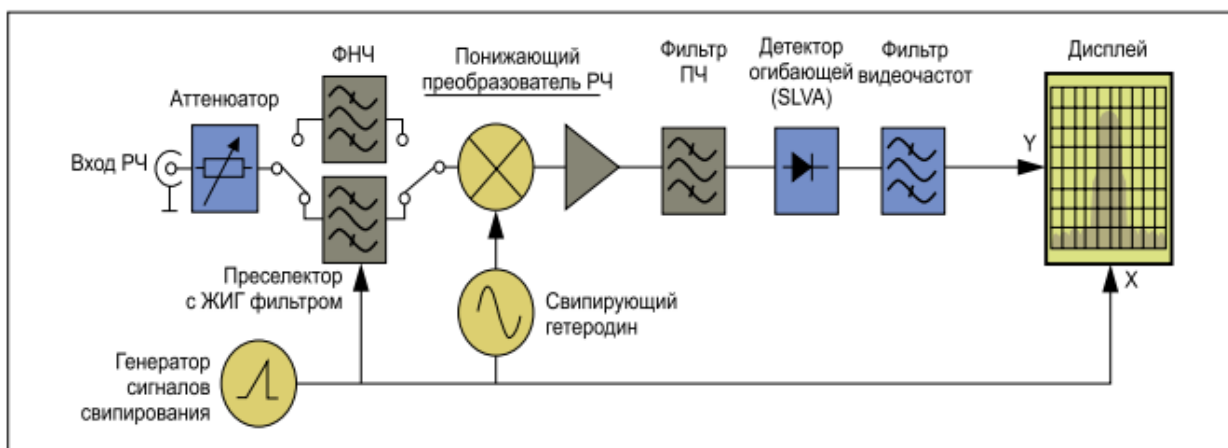


Рис. 3.7. Структурна схема свіпіруючого аналізатора

Даний підхід заснований на припущенні, що протягом повного свіпірування вимірюваний сигнал залишається практично незмінним. Отже, достовірні вимірювання можна отримати тільки для відносно стабільних вхідних сигналів. При різких змінах сигналу можливий пропуск деяких з цих змін.

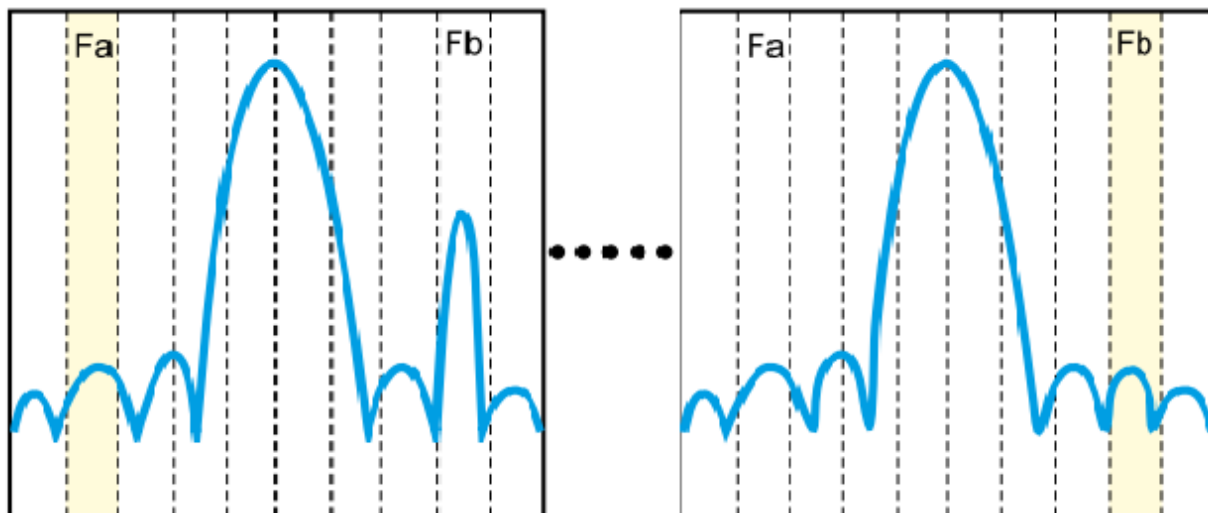


Рис. 3.8. Свіпіруючий аналізатор спектру дозволяє спостерігати послідовність частотних сегментів

Як видно з рис. 3.8, Свіпіруючий аналізатор спектру аналізує частотний сегмент Fa, тоді як короткочасне зміна в спектрі відбувається в сегменті Fb (зображення зліва). Коли свіпірування досягає сегмента Fb, ця подія припиняється, не будучи виявленим (зображення праворуч). Оскільки свіпіруючий аналізатори спектра не можуть надійно реєструвати подібні явища, при їх використанні для дослідження радіочастоти сигналів більшості сучасних засобів зв'язку не можна розраховувати на високу продуктивність. Крім пропуску короткочасних сигналів, є ймовірність неправильного уявлення спектра імпульсних сигналів, використовуваних в сучасних системах радіозв'язку і РЛС. Свіпіруючі аналізатори забезпечують спектр імпульсного сигналу тільки при багаторазовому свіпіруванню.

Векторні аналізатори спектру

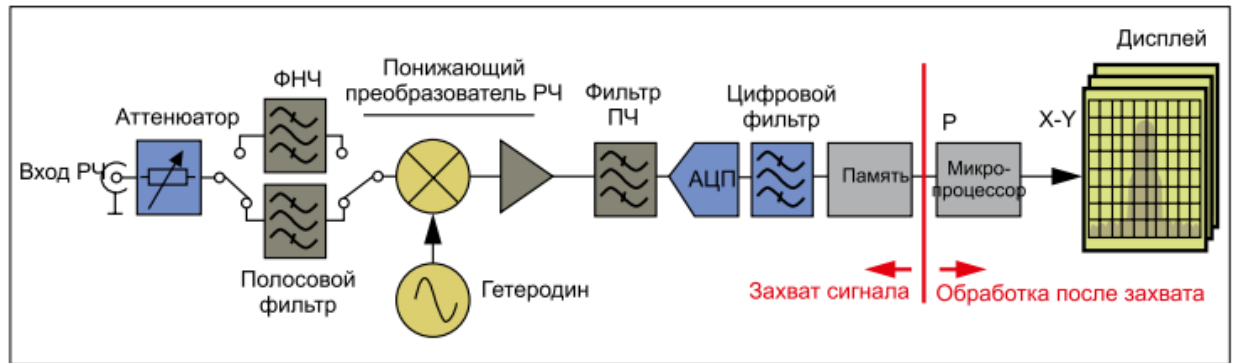


Рис. 3.9. Векторний аналіз спектра

При аналізі сигналів з цифровою модуляцією для отримання інформації про амплітуду і фазі сигналу необхідні векторні виміру. Спрощена структурна схема векторного аналізатора сигналів (VSA) приведена на малюнку 3. Векторний аналізатор перетворює вхідний РЧ-сигнал в цифрову форму в межах смуги пропускання приладу і записує в пам'ять інформацію про амплітуду і фазі перетвореного сигналу, яка використовується цифровим сигнальним процесором для демодуляції, обробки і відображення результатів вимірювань АЦП. Що входить до складу векторних аналізаторів сигналів АЦП оцифровує широкосмуговий сигнал ПЧ, після чого перетворення з пониженням частоти, фільтрація і детектування виконуються цифровим способом. Алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) застосовуються для перетворення з тимчасової області в частотну. Векторний аналізатор вимірює параметри модуляції, наприклад девіацію частоти ЧМ-сигналу, потужність в кодової області, амплітуду вектора помилки (EVM) і діаграму сузір'їв. Крім того, за допомогою векторного аналізатора сигналів можна відобразити потужність в каналі, її залежність від часу і спектрограми. Незважаючи на можливість збереження осцилограм в пам'яті, векторний аналізатор має обмежені функції аналізу короточасних перехідних процесів. У режимі автоматичної розгортки, звичайному для таких аналізаторів, захоплені сигнали перед обробкою повинні заноситися в пам'ять. При послідовній обробці пакетів даних прилад не реагує на події, що з'являються

між моментами реєстрації даних. Це ускладнює і навіть унеможлиблює виявлення одиночних або рідкісних подій.

РОЗДІЛ 4. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ АНАЛІЗАТОРА СПЕКТРУ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ.

4.1 Вибірки, кадри і блоки.

Вимірювання, що виконуються аналізатором спектру в реальному масштабі часу, реалізовані за допомогою прийомів цифрової обробки сигналів (ЦОС). Щоб зрозуміти, як виробляються виміру радіосигналу в тимчасовій і частотній областях і в області модуляції, перш за все необхідно розібратися в тому, яким чином в приладі збираються і зберігаються дані про сигнал. Віслюку перетворення в цифрову форму за допомогою А & 'сигнал представлений даними в тимчасовій області, по яким за допомогою & Про розраховуються всі параметри в частотній області і області модуляції. ієрархія даних, що зберігаються в аналізаторі спектра в реальному масштабі часу при безперервному захопленні сигналу в реальному часі, описується трьома термінами: вибірки, кадри і блоки. На рис.3.1 Зображена структура «Вибірка-кадр-блок».

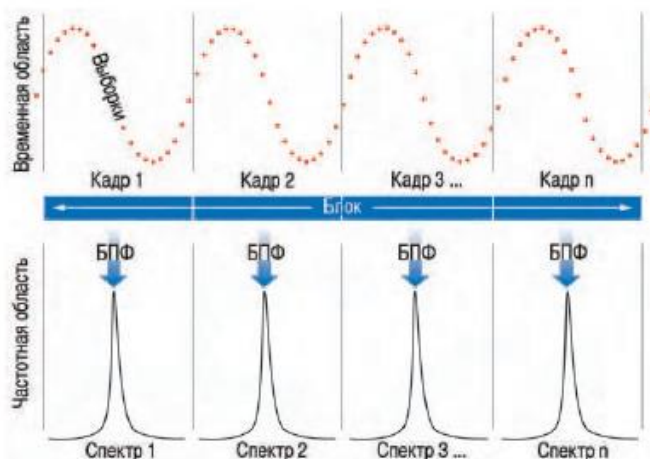


Рис.4.1 «Вибірки, кадри і блоки: ієрархія пам'яті аналізатора спектра в реальному масштабі часу»

Нижчим рівнем ієрархії даних є вибірка, представляє дискретну точку даних в тимчасовій області. Цей елемент зустрічається і в інших випадках застосування цифрової дискретизації сигналів, наприклад в осцилографах

реального масштабу часу і цифрових перетворювачах на основі ПК. Фактична частота вибірки, визначається часовим проміжком між сусідніми вибірками, залежить від обраного діапазону. в аналізаторі спектра в реальному масштабі часу вибірки зберігаються в пам'яті у вигляді пар квадратурних компонентів I / Q, що містять інформацію про амплітуду і про фазу.

Наступним етапом є кадр. Кадр складається з цілого числа безперервних вибірок і є основною одиницею, до якої може бути застосовано швидке перетворення фур'є (ШПФ) для перетворення даних з тимчасової області в частотну. При цьому з кожного кадру виходить один спектр в частотній області. На верхньому рівні ієрархії реєстрації сигналу варто блок, що складається з декількох сусідніх кадрів, захоплених безперервно в часі. Довжина блоку (звана також довжиною реєстрації) представляє повний час, охоплене одним безперервним збором даних. В межах блоку вхідний сигнал представлений без розривів по часу.

Якщо аналізатор знаходиться в режимі реального часу, доні кожного з блоків збираються безперервно та зберігаються в пам'яті. Потім вони обробляються засобами ЦОС для аналізу залежності сигналу від часу, по частоті та модуляції. В звичайних режимах спектрального аналізу, аналізатор спектра в реальному масштабі часу може імітувати роботу аналізатора з «розверткою» шляхом поетапної перенастройки радіочастотних вхідних ланцюгів в діапазонах частот, перевищуючих максимальну смугу частот в реальному масштабі часу.

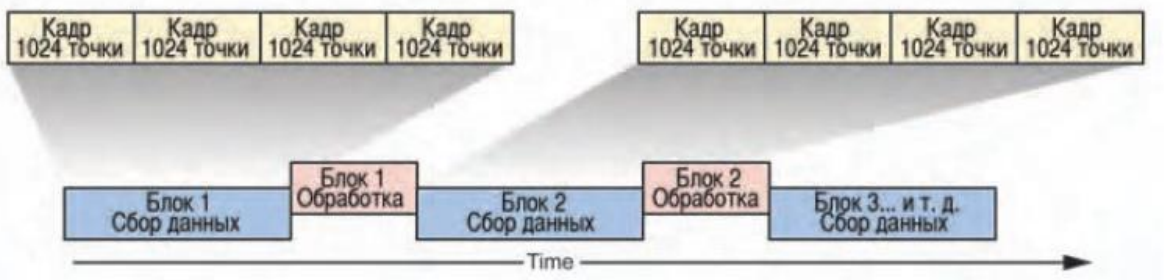


Рис.4.2 «регістрація та обробка блоків даних за допомогою Аналізатора спектра в реальному масштабі часу»

На рис.3.2 Зображено процес реєстрації блоку даних. Він забезпечує неперервний захват в реальному масштабі часу. Кожна реєстрація сигналу забезпечує неперервний запис всіх кадрів блоку, але між блоками залишаються розриви. Після завершення обробки сигналу в одному записаному блоці починається реєстрація даних наступного блоку. Після збереження блока в пам'яті можна виконати будь-які зміни в реальному масштабі часу. Наприклад сигнал записаний в режимі спектрального аналізу в реальному масштабі часу, можна проаналізувати в режимі демодуляції і в часовому режимі. [13]

Число кадрів в блоці можна визначити діленням довжини реєстрації на довжину кадру. Довжина реєстрації, введена користувачем, округляється таким чином, щоб в блоці було ціле число кадрів. Максимальна довжина реєстрації варіює від декількох секунд до декількох днів і залежить від обраного частотного діапазону вимірювань і глибини пам'яті приладу

4.2 Синхронізація в реальному масштабі часу

У більшості приладах для спектрального аналізу довгий час бракувало розвинених функцій синхронізації. Аналізатор спектра в реальному масштабі часу – перший аналізатор, в якому реалізована синхронізація в частотній області в реальному масштабі часу і інші інтуїтивно зрозумілі режими синхронізації на додаток до простої синхронізації на рівні ПЧ і зовнішньої синхронізації.

Існує безліч причин, за якими звичайна схема аналізатора спектра з розгорткою не підходить для синхронізації в реальному часі. Основна з них та, що в аналізаторі з розгорткою подія синхронізації використовується для запуску розгортки. З іншого боку, в аналізаторі спектра в реальному масштабі часу подія синхронізації використовується в якості точки відліку в часі для безперервної реєстрації сигналу. Це дозволяє реалізувати кілька додаткових функцій, наприклад можливість зберегти інформацію як до, так і після моменту синхронізації.

Ще одна важлива особливість аналізаторів спектра в реальному масштабі часу - синхронізація по частотній масці в реальному масштабі часу, що дозволяє користувачеві встановити синхронізацію за обраними подій в частотній області. Як показано на рис.4.2, маска визначає набір умов в межах смуги пропускання приладу в реальному масштабі часу, що призводять до появи події синхронізації.

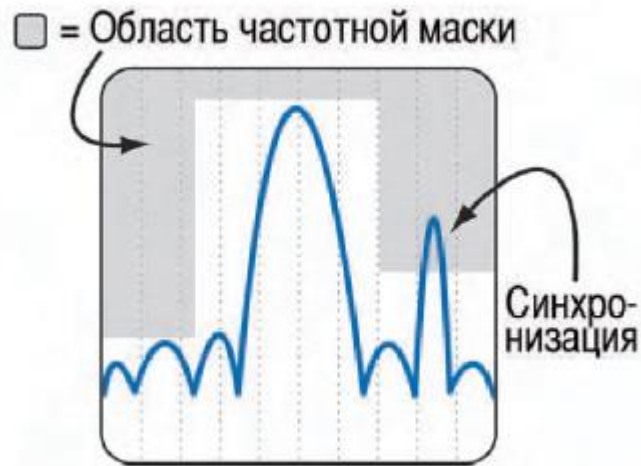


Рис. 4.3. «Інхронізація в частотній області в реальному масштабі часу з використанням частотної маски»

Гнучка синхронізація по частотній масці - потужний засіб надійного виявлення і аналізу динамічних радіосигналів. Крім того, цю функцію можна використовувати для проведення вимірювань, які неможливо виконати за допомогою звичайних аналізаторів спектра, наприклад захоплення нестационарних подій з невисоким рівнем сигналу, що відбуваються на тлі більш потужних радіосигналів (див.рис.4.4) і виявлення періодично з'являються сигналів на заданих частотах в складному частотному спектрі (див. рис.4.5).

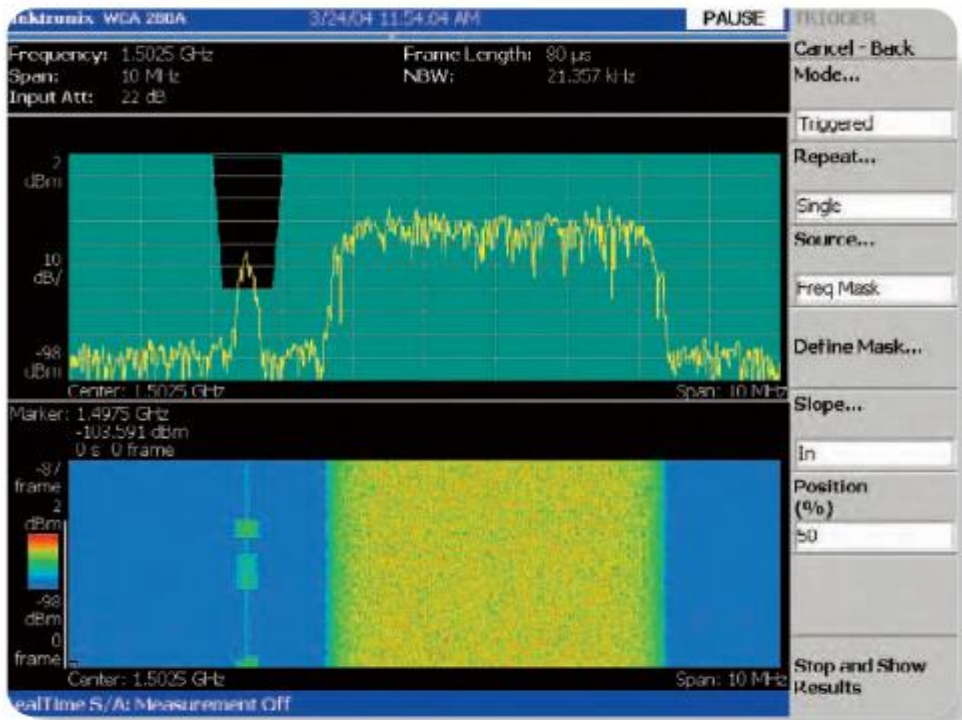


Рис.4.4. використання частотної маски для синхронізації по імпульсу низького рівня в присутності великого сигналу

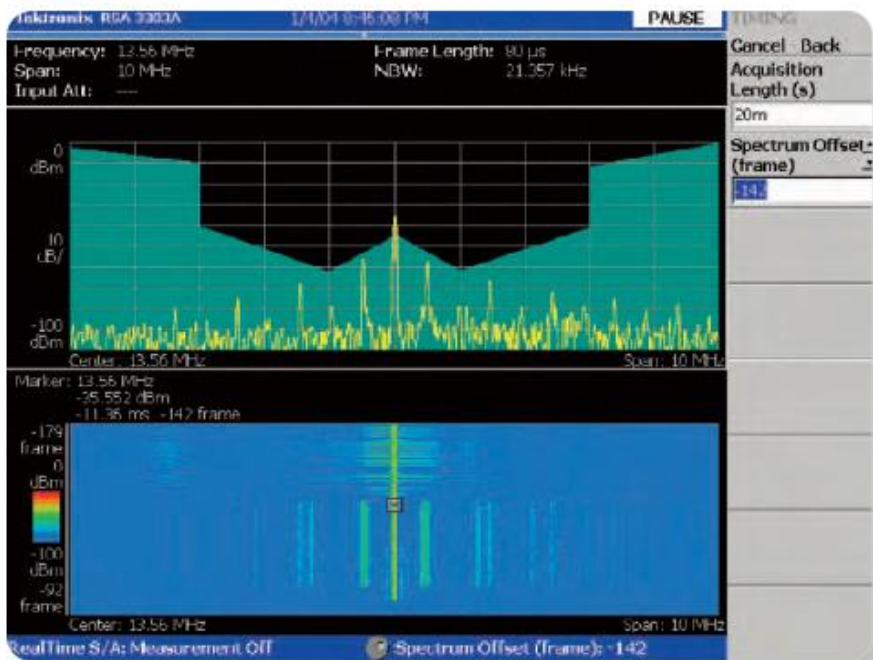


Рис. 4.5. Використання частотної маски для синхронізації по особливим сигналом в складних спектральних умовах

Безперервне захоплення сигналу і спектрограма після того як визначені умови запуску в реальному масштабі часу і прилад підготовлений до початку реєстрації сигналу, аналізатор спектру в реальному масштабі часу безперервно шукає у вхідному сигналі заданий подія синхронізації. під час очікування цієї події безперервно виробляється перетворення сигналу в цифрову форму і передача даних в буфер захоплення, організований у вигляді черги («перший увійшов-перший вийшов»), в якому більш старі дані видаляються в міру накопичення нових. Таким чином, при виявленні події синхронізації в пам'яті аналізатора знаходяться як дані, що передують цій події, так і дані, які йдуть за ним.

Як було описано раніше, цей процес забезпечує безперервну реєстрацію заданого блоку, в межах якого сигнал представлений безперервної послідовністю вибірок в тимчасовій області. Після збереження цих даних в пам'яті вони доступні для обробки і аналізу з використанням різних способів відображення, наприклад потужність в залежності від частоти, спектрограми та подання в декількох областях. Зібрані дані зберігаються в пам'яті з довільним доступом до тих пір, поки поверх них не будуть записані дані наступної реєстрації; крім того дані можна записати на внутрішній жорсткий диск аналізатора спектра в реальному масштабі часу.

Спектрограма - важливий вимір, що забезпечує інтуїтивно зрозуміле відображення залежності частоти і амплітуди від часу. По горизонтальній осі представлений той же діапазон частот, що і при відображенні залежності потужності від частоти в звичайному аналізаторі. Однак в спектрограмі по вертикальній осі відображається час, а амплітуда представлена кольором. Кожен «шар» спектрограми відповідає одному частотному спектру, обчисленому по одному кадру даних в тимчасовій області. на рис. 4.6 зображений принцип побудови спектрограми динамічного сигналу.

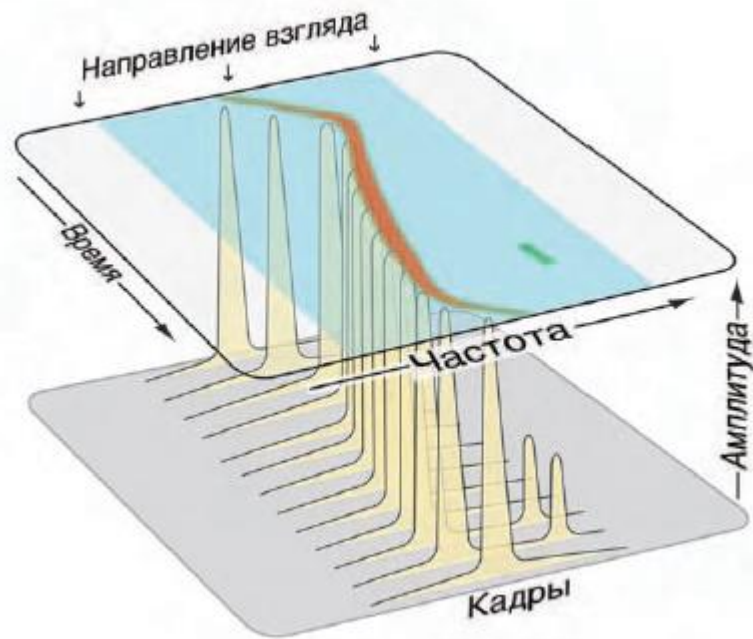


Рис. 4.6. відображення спектрограми

На рис.4.7 зображений знімок екрана з частотним спектром (Залежність потужності від частоти) і спектрограмою для сигналу, зображеного на рис.4.6. На спектрограмі самий старий кадр відображається у верхній частині, а найновіший в нижній частині спектрограми. На цій спектрограмі відображений радіосигнал, частота якого змінюється з часом. Крім того, виявлено нестационарний сигнал невеликого рівня, що з'являється і зникає в кінці блоку. Оскільки дані зберігаються в пам'яті, можлива зворотна прокрутка спектрограми в часі за допомогою маркера. На рис.3.7 маркер знаходиться на зображенні нестационарного події на спектрограмі. В результаті у вікні спектру відображається залежність потужності від частоти для обраного моменту часу.

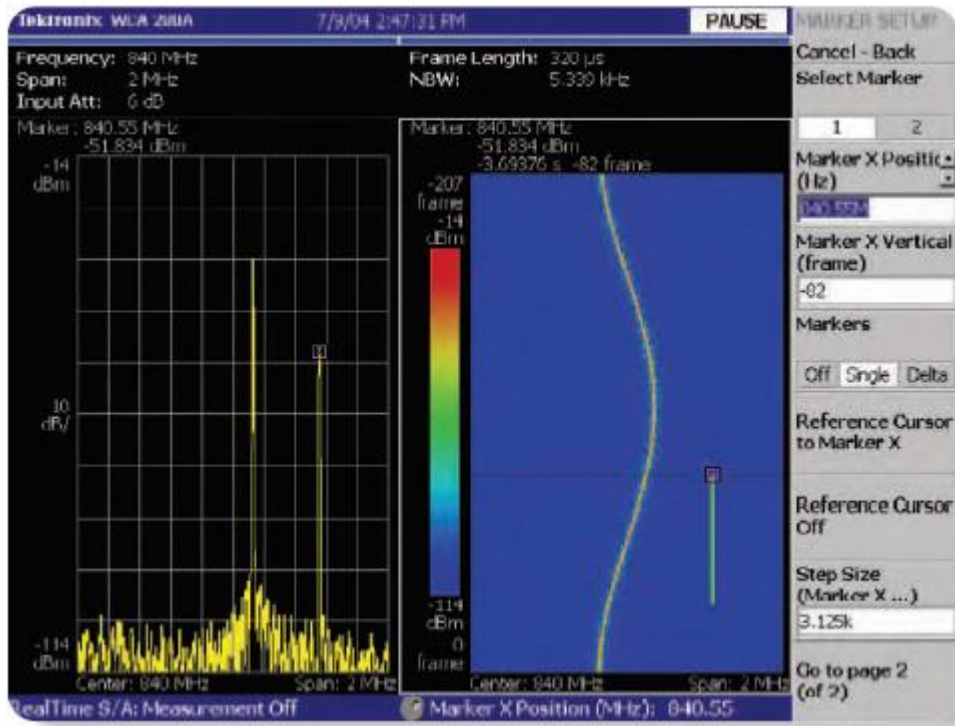


Рис. 4.7 "Синхронні уявлення: залежність потужності від частоти (зліва) і спектрограма (праворуч)

Синхронний аналіз в кількох областях

Після реєстрації сигналу і збереження його в пам'яті проводиться аналіз сигналу з використанням різноманітних синхронних уявлень, передбачених в аналізаторі спектра в реальному масштабі часу. Приклади аналізу наведені на рис.4.8. Це засіб особливо корисно при налагодженні пристроїв і визначенні характеристик сигналів. Всі перераховані вимірювання виконуються на одному і тому ж наборі вибірок в тимчасовій області, що зумовлює два істотних переваги даної схеми.

- Комплексний аналіз сигналу в частотній і тимчасовій областях і в області модуляції на основі одних і тих ж даних.

- Зіставлення різних областей, що дозволяє зрозуміти, як пов'язані окремі події в частотній і тимчасовій областях, а також в області модуляції на загальній шкалі часу.

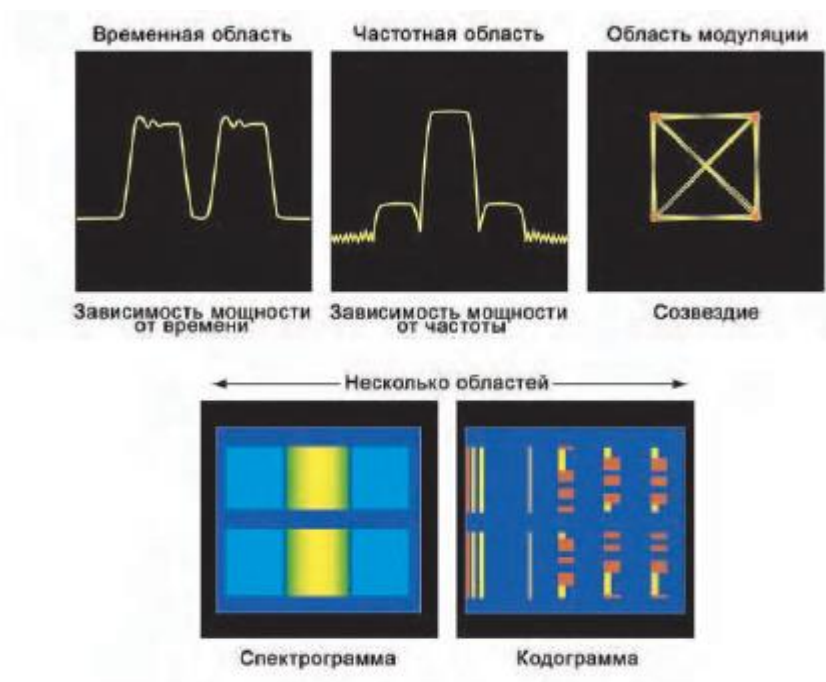


Рис. 4.8. Приклади кількох синхронних вимірювань, за допомогою аналізатора спектра в реальному масштабі часу

У режимі аналізу спектру в реальному масштабі часу аналізатор забезпечує два синхронних уявлення захопленого сигналу: залежність потужності від частоти і спектрограму. Ці два подання зображені на рис.4.7.

В інших режимах вимірювання в реальному масштабі часу, призначених для аналізу в тимчасовій області і області модуляції, на аналізаторі відображаються кілька уявлень захопленого сигналу, як показано на Рис.4.9 і 4.10. Вікно в лівій верхній частині екрану називається оглядовим; в ньому відображається залежність потужності від часу або спектрограма. В оглядовому вікні представлені всі зареєстровані дані блоку. Це вікно служить показником при роботі з іншими вікнами аналізу.

Вікно верху справа (обведене пурпурової рамкою) називається вікном додаткового представлення. У ньому відображається та ж залежність

потужності від частоти, що і в режимі аналізу спектру в реальному масштабі часу. Як і на екрані, зображеному на рис.4.7, в цьому вікні відображається спектр одного кадру даних; для перегляду спектру в будь-який момент часу вікно можна переміщати по всій довжині записи. Ця операція виконується шляхом настройки зсуву спектра в меню часових параметрів аналізатора спектру в реальному масштабі часу. Крім того, в оглядовому вікні відзначено пурпуровою лінією положення в часі, відповідне відображенню в частотній області у вікні додаткового уявлення, обведеному пурпуровою рамкою.

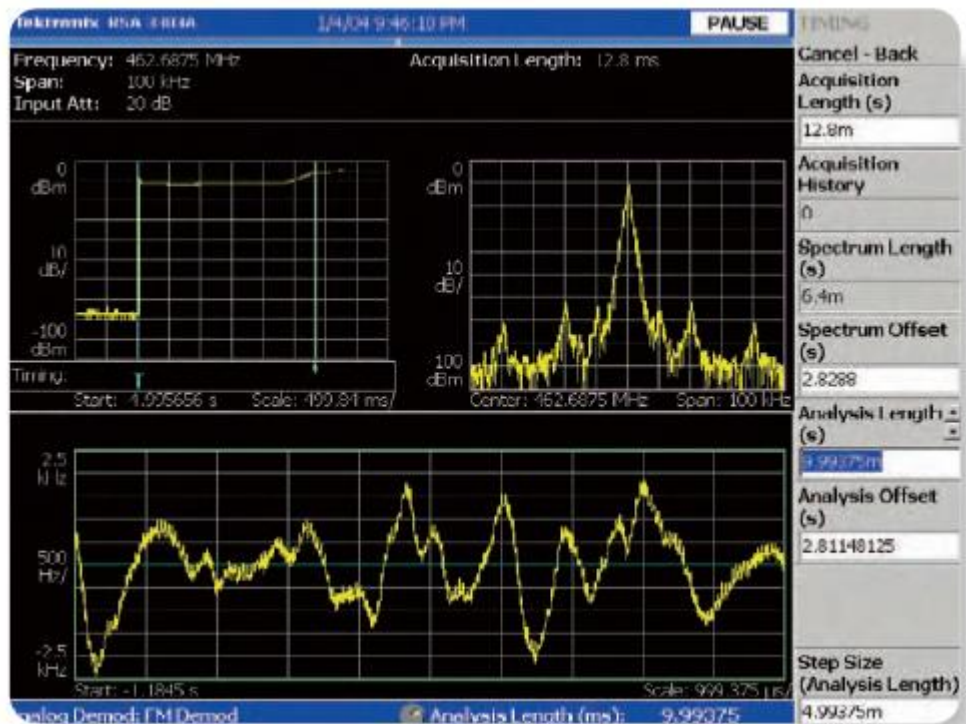


Рис.4.9. Перегляд кількох областей: залежність потужності від часу, залежність потужності від частоти і частотна демодуляція

Вікно в нижній частині екрана (обведене Зелена рамка), називається вікном аналізу або вікном основного подання; в ньому відображаються результати обраного вимірювання часових параметрів або модуляції.

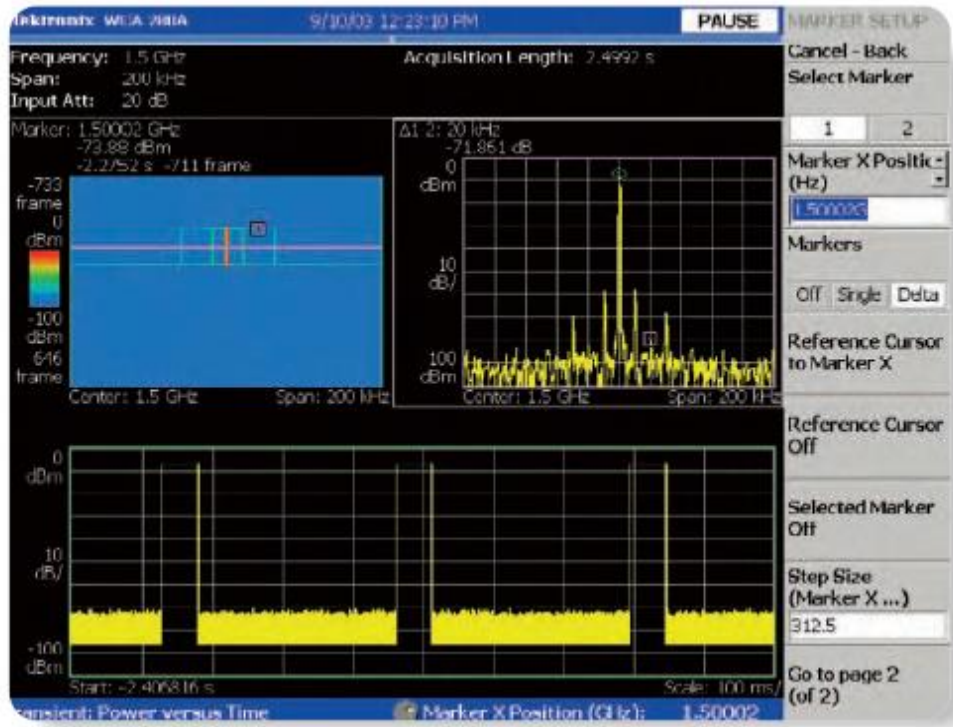


Рис.4.10 Перегляд кількох областей: спектрограма, залежність потужності від частоти і потужності від часу

На рис.4.9 зображений приклад аналізу частотної модуляції, а на рис.4.10 приклад аналізу залежності потужності від часу для нестационарного процесу. Як і додаткове вікно перегляду, вікно аналізу, обведене Зелена рамка, може бути розміщено в будь-якій точці записи, що відображається у вікні огляду; становище цього вікна відзначено зеленими лініями. Крім того, передбачена гнучка настройка ширини вікна аналізу на розмір, менший або більший одного кадра. Синхронний аналіз в кількох областях забезпечує різноманітні можливості масштабування і ретельного вивчення різних частин зареєстрованого радіосигналу за допомогою різних засобів аналізу.

4.3 Структурні схеми та принцип дії аналізаторів спектрів у реальному часі.

Аналізатори спектру в режимі реального часу

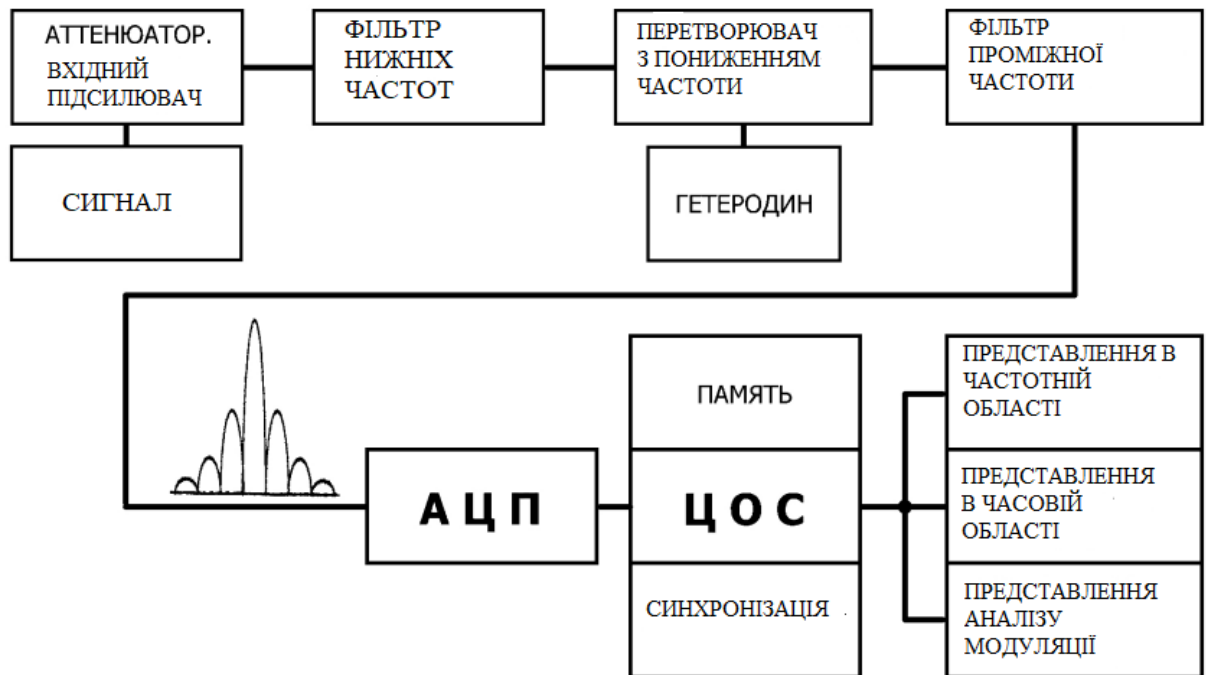


Рис. 4.11. Спрощена структурна схема (блок схема) типового аналізатора спектра в реальному часі

Термін «реальний час» з'явився на ранніх етапах цифрового моделювання фізичних систем. Аналіз сигналів в режимі реального часу передбачає виконання операцій аналізу зі швидкістю, достатньою для точної обробки всіх складових сигналу в цікавій для смузі частот. Для цього необхідне дотримання наступних умов:

- частота дискретизації вхідного сигналу відповідає критерію Котельникова (частота дискретизації повинна мінімум в два рази перевищувати задану смугу пропускання);
- всі виміри виконуються безперервно і досить швидко, щоб відстежувати зміни вхідного сигналу

Архітектура аналізатора спектра реального часу (RTSA) розрахована на вирішення проблем, пов'язаних з неможливістю використання свіпуючого і векторного аналізаторів спектра для аналізу динамічних РЧ-сигналів і перехідних процесів (див. Рис. 4.12). RTSA аналізує сигнал з використанням цифрової обробки

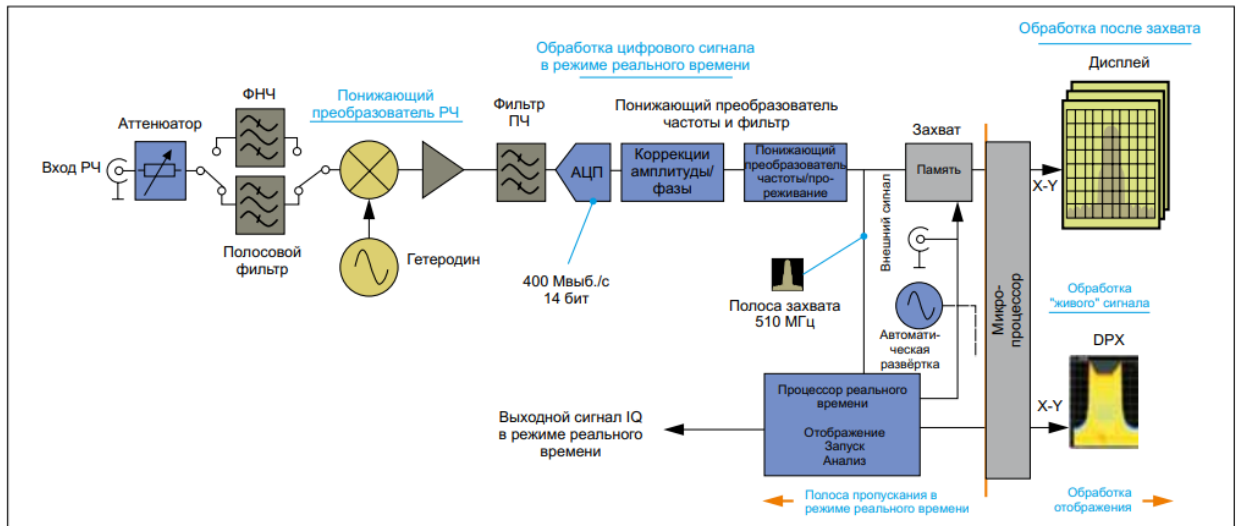


Рис. 4.12. Структурна схема аналізатора спектру реального часу

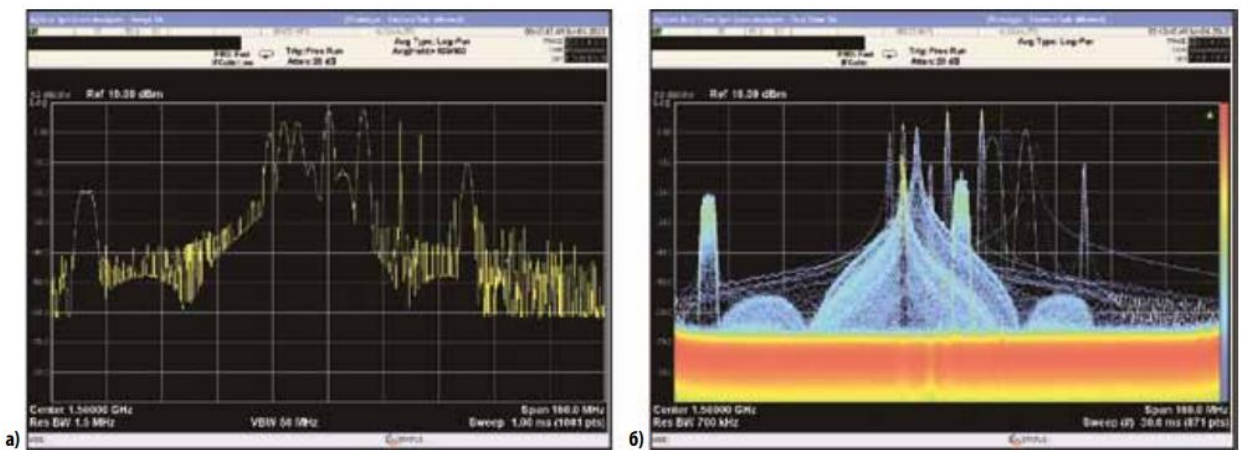


Рис. 4.13. Спектр сигналу: а) в свіпуючому аналізаторі; б) в реальному часі

сигналів (DSP) перед занесенням даних в пам'ять, що докорінно відрізняється від обробки після захоплення сигналів, закладеної в архітектуру векторного аналізатора. Обробка в реальному часі дозволяє виявляти події, які не можуть реєструватися аналізаторами з іншою архітектурою, і виконувати запуск за цими подіями, щоб вибірково зберігати дані в пам'яті. На рисунку 4.13 представлений спектр сигналу в свіпуючому аналізаторі і в реальному часі. Відмінність в даному випадку далеко не тільки в кольорі, скільки в деталізації структури ефіру і спектра. Використання аналізатора спектру в режимі реального часу, відкриває такі можливості:

- Системи з множинним доступом, в яких несучі інформаційних сигналів можуть змінювати частоту кілька сотень разів в секунду. ППРЧ (псевдо випадкова перебудова робочої частоти) використовується як у військовій, так і цивільній сферах: сигнал, що передається з використанням цього методу, стійкий до глушіння.

- Аналіз перехідних процесів. Аналіз сигнальних аномалій, часто дозволяє ідентифікувати причину виникнення неполадок, серед яких можуть бути частотні обмеження засобів передачі сигналів (коли фільтруються високочастотні складові сигналу), неправильна конструкція друкованих вузлів, трактів передачі сигналу, некоректна робота інтегральних та дискретних компонентів.

- Визначення характеристик радіолокаційних і імпульсних сигналів. Радари, що працюють в імпульсному режимі, передають сигнали протягом дуже короткого часу і застосовують стрибкоподібної перебудови у частоти. Щоб зареєструвати такий сигнал і виставити перешкоду, необхідно виявляти слабкі сигнали дуже малої тривалості.

Таким чином аналізатори спектра реального часу відкривають нову віху в аналізі сигналів і дозволяють виявляти події, які ще вчора залишилися б непізнаними.

Проблеми при здійсненні аналізу спектра в реальному часі

Перекриття ШПФ

Обробка результатів ШПФ короточасних подій (коротких в порівнянні з часом захоплення ШПФ) є складною проблемою, яку в аналізаторі спектра реального масштабу часу (щоб уникнути появи похибок за рівнем) необхідно врахувати належним чином.

Для демонстрації критичної ситуації, припустимо, що захоплені тимчасові кадри для двох послідовних ШПФ не перекриваються. Енергія короткого імпульсу, який стосується кордону двох кадрів, як показано на рис. 5, буде розподілено між результатами обох сусідніх ШПФ. У разі кожного з результатів ШПФ покаже більш низький рівень потужності в порівнянні з реальною потужністю імпульсу в тимчасовій області.

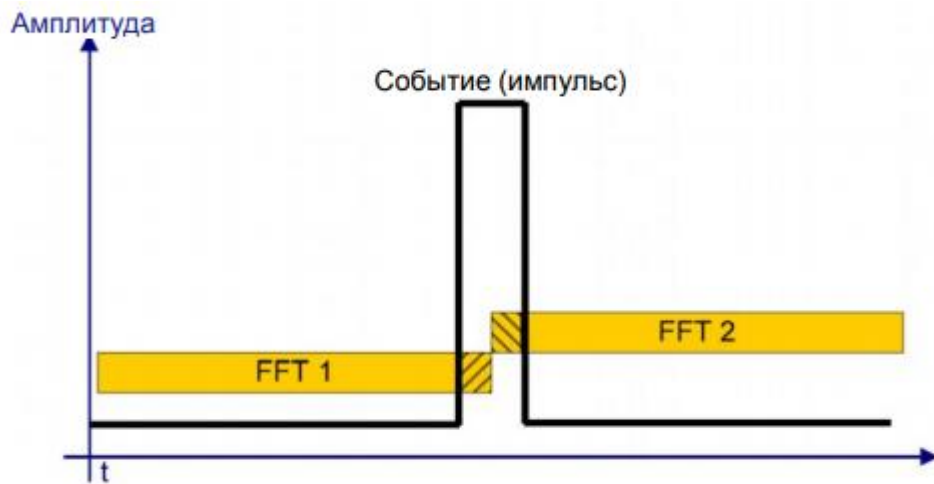


Рис.4.14 Імпульс захоплений двома послідовними часовими кадрами ШПФ без перекриття

Щоб уникнути подібної ситуації в аналізаторі R & S FSVR використовується технічний прийом, званий перекриття (накладення) ШПФ. Перекриття призводить до «повторного використання» відліків, які вже були задіяні для обчислення попереднього результату ШПФ. На рис. 6 показаний імпульсний сигнал, захоплений кількома перекриваються тимчасовими кадрами БПФ.

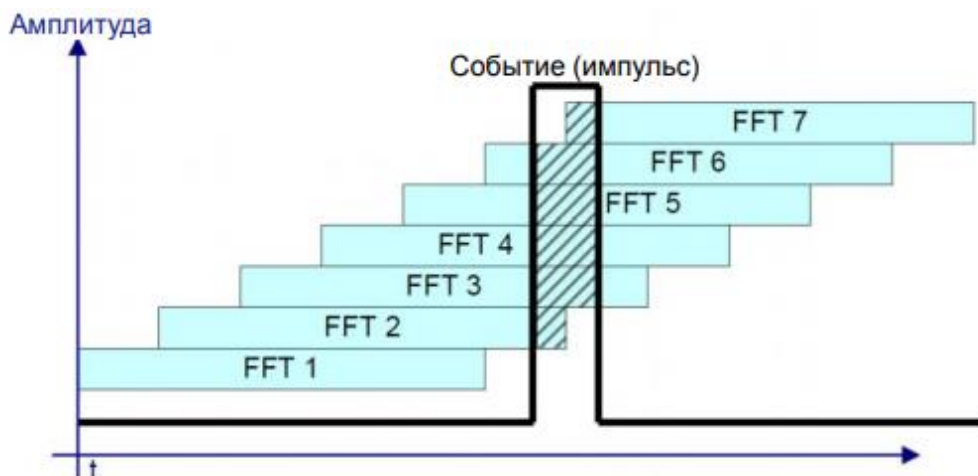


Рис.4.15 Імпульс захоплений декількома послідовними часовими кадрами ШПФ, що перекриваються

При більш детальному погляді на техніку розрахунку ШПФ відкривається інша проблема, яка вимагає відповідного коефіцієнта перекриття.

ШПФ-аналізатор перед обчисленням ШПФ зазвичай застосовує непрямокутні віконні функції до захопленим квадратурних даними. Очевидно, що без активного використання вікна пристрій застосовує прямокутну віконну функцію для відліків тимчасової області, вирізаючи їх з потоку реального сигналу. Непрямокутної вікна, такі як вікно Блекмена-Харріса, вікно Хеннінг і т.д., мають перевагу перед прямокутними вікнами в частотній області, тому породжують менше бічних пелюсток в порівнянні з формою $\sin(x)/x$ для прямокутних вікон. Недоліком же є зважування відліків тимчасової області на краях вікна. На рис. 7 показані 3 тимчасових кадру ШПФ, які застосовують різне зважування імпульсу. Очевидно, що для усунення недоліків ШПФ-аналізу і, в той же час, забезпечення використання переваг технології ШПФ підходить високий коефіцієнт перекриття.

В аналізаторі R & S FSVR при коефіцієнті перекриття рівному 80% і вище можна ігнорувати похибки за рівнем, пов'язані з розрахунком ШПФ.

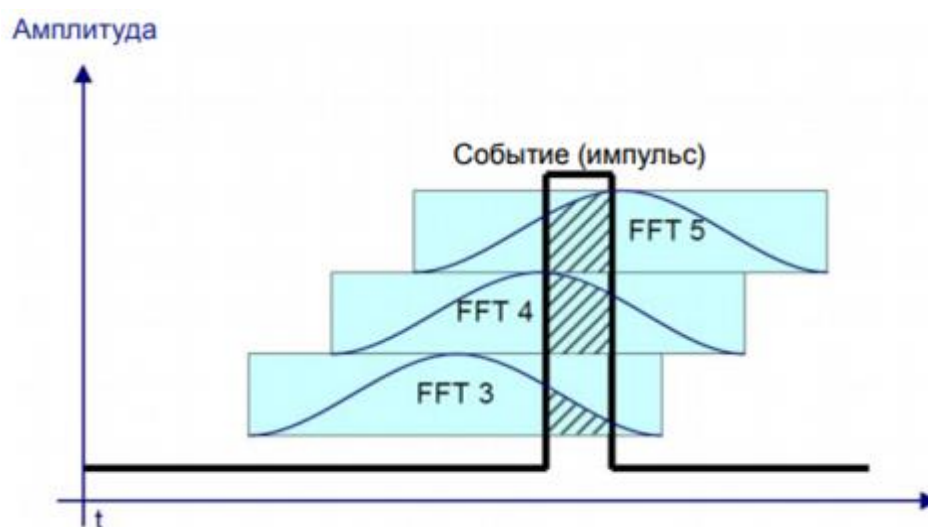


Рис.4.16. Перекриття компенсують ефекти що створює віконними функціями

До цього можна додати, що, для того щоб добитися належного запуску FMT при дуже короткочасних подіях, доцільно буде задати границі рівнів частотної маски нижче, ніж очікувані рівні спектральної потужності.

Ще до проблем аналізу спектра в реальному часі можна віднести, можливість розриву сигналу між блоками (групами кадрів). А так як ці групи представляють повний час, охоплений одним безперервним збором даних. В границях блоку вхідний сигнал представлений без розривів в часі. Самі розриви знаходяться між цими блоками, коли перший блок закінчився а другий ще не почав реєстрацію даних, і тут можливе упущення короткочасного сингалу.

До цього всього слід додати, що робочі швидкості реальної системи та змодельованої цифрової системи реального часу повинні бути рівними.

Аналіз сигналів в режимі реального часу передбачає виконання операцій аналізу зі швидкістю, достатньою для точної обробки всіх складових сигналу в цікавій для смузі частот. Для цього необхідне дотримання наступних умов:

- Частота дискретизації вхідного сигналу задовольняє критерієм Котельникова (Найквіста). Це означає, що частота дискретизації мінімум в два рази перевищує потрібну смугу пропускання.
- Все вимірювання виконуються безперервно і досить швидко, щоб відстежувати зміни вхідного сигналу

В завершення до всього вище сказаного слід додати, що реалізація такого аналізатора спектру, що має змогу фіксувати короткі в часі широкосмугові нерегулярні сигнали, стало можливою тільки останнім часом. Причиною цього є поява практично безінерційної елементної бази, тобто це елементи, характеристики яких не залежать від швидкості зміни змінних. Для таких

елементів статичні та динамічні характеристики збігаються. Також ці обставини скоротило час обробки сигналів до занесення їх в наступні блоки пам'яті.

РОЗДІЛ 5. СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОКАЗНИКІВ СИГНАЛІВ.

5.1. Частота випромінювання

Під частотою випромінювання часто розуміють несучу частоту, для окремих сигналів – частоту опорного колювання або середню частоту спектра. Частотомір використовують для вимірювання аналогових сигналів, а з аналізатором спектра можна визначати як частоти несучої, піднесучої, так і середню частоту спектра (сигнали OFDM, COFDM, FHSS).

Більшу точність та швидкодію вимірювання частоти цифрових сигналів забезпечує метод вимірювання миттєвої частоти. В ньому вхідне гармонічне коливання порівну поділяється на два канали, в одному з яких сигнал затримується на інтервал τ . Сигнали каналів перемножуються [14]

$$U(t) = U_0^2 \cos(\omega_0 t) \cos[\omega_0(t - \tau)] = (U_0^2/2) \{ \cos[\omega_0 t - \omega_0 \tau] + \cos[2\omega_0(t - \tau)] \}, \quad (5.1)$$

де: U_0 - амплітуда напруги сигналів; ω_0 - частота вхідного коливання.

Другий доданок в (5.1) відфільтровується, а перший – використовується для визначення миттєвої частоти:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau} \frac{\arccos(2U(t))}{U_0^2 H(f_0)}, \quad (5.2)$$

де: $U_0^2 H(f_0)$ – коефіцієнт передачі фільтра низьких частот на частоті f_0 .

За іншим методом визначення миттєвої частоти цифрового сигналу під час кожного вимірювання визначається фаза у квадратурних каналах I та Q .

$$\varphi = \arctg\left(\frac{I}{Q}\right) \quad (5.3)$$

За інтервал спостереження τ миттєва фаза φ змінюється. Миттєва частота знаходиться із використанням значень фази на інтервалі τ .

$$f = \frac{\varphi(t) - \varphi(t - \tau)}{2\pi\tau} \quad (5.4)$$

Тривалість вибірки, яка використовується для усереднення миттєвих значень частоти, залежить від радіотехнології. Часто приймається значення тривалості в 1с.

Частота радіовипромінювання вимірюється також із застосуванням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Частота визначається за спектральною складовою із максимальним рівнем або шляхом усереднення спектру. Для використання ШПФ має бути відповідність між кількістю відліків сигналу N як функції часу з роздільною здатністю Δf за частотою

$$N \geq \frac{f_{max}}{\Delta f}, \quad (5.5)$$

де: f_{max} – максимальна частота спектра сигналу

Точність вимірювання частоти може досягати значень $\pm 10^{-8} \dots \pm 10^{-11}$. Із зменшенням смуги частот, що аналізується і збільшенням тривалості вибірки, зменшується частота відліків за часом (ZOOM FFT). При цьому умови вимірювання покращуються.

Потрібно зазначити, що точність вимірювання залежить від частотного діапазону, призначення РЕЗ і регламентується Res. ITU-R SM.337-4. Таким чином в сантиметровому діапазоні хвиль точність вимірювання має бути $\pm 10^{-8}$.

5.2. Вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання

Поняття ширини смуги частот радіовипромінювання деталізується в нормативних документах.

У відповідності до них розрізняють необхідну ширину смуги частот (НШСЧ), займану ширину смуги частот (ЗШСЧ), ширину смуги частот радіовипромінювання на рівні X дБ, контрольну ширину смуги частот, ширину основної смуги та присвоєну ширину смуги частот.

Згідно з ДСТУ 3254-95 [15] НШСЧ – мінімальна смуга радіочастот певного класу радіовипромінювання, необхідна для передавання повідомлень із заданою якістю. Визначення з Регламенту радіозв'язку [16] включає також швидкість передачі.

НШСЧ – ширина смуги частот для певного класу випромінювання, яка достатня для забезпечення передавання інформації зі швидкістю та якістю, потрібними для заданих умов.

ЗШСЧ радіовипромінювання – ширина смуги частот радіовипромінювання, за межами якої випромінюється не більше ніж задана частина β від загальної потужності сигналу РЕЗ [17].

Якщо Рекомендація ІТУ-Р не містить додаткової інформації для певного класу випромінювання, то поза верхньою і нижньою межею смуги знаходиться по $\frac{\beta}{2} = 0,5\%$ від загальної потужності випромінювання РЕЗ.

За Регламентом радіозв'язку ЗШСЧ – ширина смуги частот радіовипромінювання, за межами якої потужність випромінювання складає задану частину від загальної потужності випромінювання. Тобто визначення практично співпадають.

Візуально ЗШСЧ представлена на графіку залежності спектральної щільності потужності від частоти, рис. 5.1.

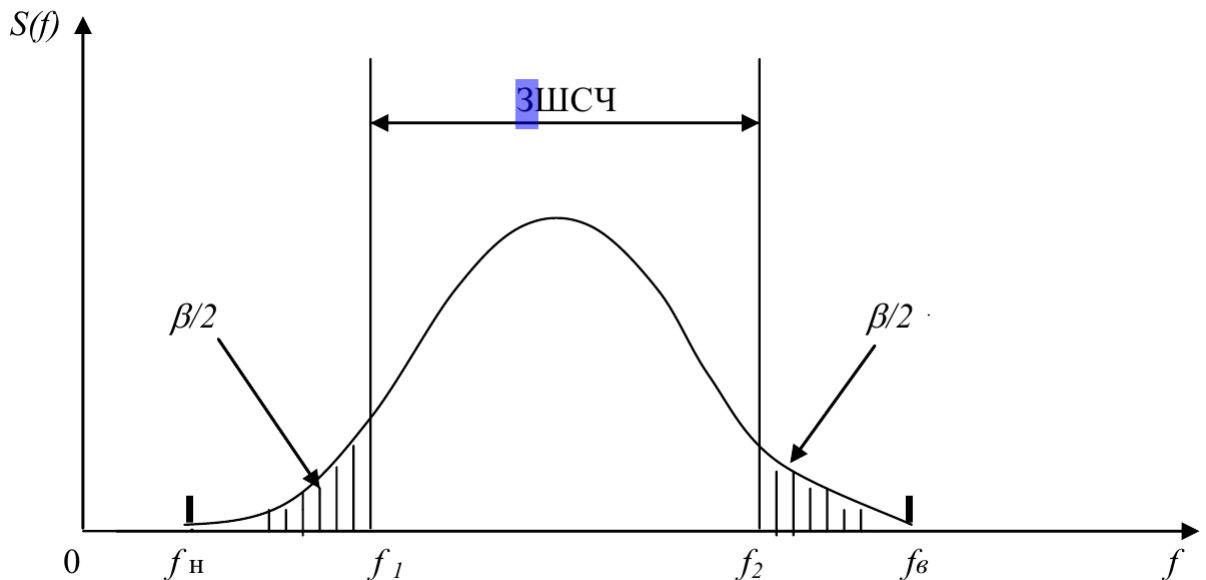


Рис. 5.1. Займана ширина смуги частот радіовипромінювання

Ширина смуги частот радіовипромінювання на рівні X дБ – ширина смуги частот, за межами якої будь-який спектральний складник має послаблення на X дБ і більше відносно рівня випромінювання, прийнятого за 0 дБ [18].

Контрольна смуга радіочастот – смуга частот, за верхньою та нижньою межами якої будь-яка спектральна складова має послаблення на 30 дБ і більше відносно рівня випромінювання, прийнятого за 0 дБ [18].

Ширина основної смуги є перекладом відомого англomовного терміну Baseband bandwidth. Це – ширина смуги частот, займана одним сигналом або декількома ущільненими сигналами, які повинні передаватися по лінії або радіопередавальній системі [19].

Присвоєна смуга частот – смуга частот, в якій дозволено випромінювання станції [16].

Під позасмуговим спектром розуміють частину густини потужності, яка знаходиться поза НШСЧ і є результатом процесу моделювання за виключенням побічних випромінювань [17].

РЧР буде використовуватися оптимальним чином за умови рівності займаної ширини смуги частот необхідній ширині смуги частот відповідного класу

радіовипромінювання. Якісне функціонування радіолінії передбачає відповідність між радіовипромінюванням та характеристиками радіоприймального пристрою. Тому НШСЧ характеризує весь тракт передавання модульованого сигналу [14]. Визначення необхідної ширини смуги частот для класів випромінювання містяться у Rec. ITU-R SM.1138 [19].

Значення НШСЧ визначаються за формулами або, у випадку сучасних цифрових радіотехнологій, надаються їх значення та відповідні частотні маски. У відповідності до Rec. ITU-R SM.443-4 на практиці застосовуються два основних методи вимірювання ширини смуги частот випромінювання: $\frac{\beta}{2}$ метод і метод X дБ. На рис. 5.2 зліва розглядаються випадки відповідності спектра випромінювання нормативному значенню НШСЧ за $\frac{\beta}{2}$ методом, а у лівій частині – за методом X дБ.

При більшій за оптимальну ширині спектра можуть виникнути проблеми з електромагнітною сумісністю з іншими РЕЗ. Якщо займана ширина смуги частот є меншою за необхідну, то у відповідності до визначення НШСЧ відбувається втрата якості під час передавання, що може призвести до спотворень, зниженні швидкості передавання.

Практика УДЦР [20] свідчить, що ЗШСЧ більша за НШСЧ, що пояснюється нестабільністю характеристик радіопередавача, неоптимальністю вибору параметрів передавання. Також потрібно зазначити, що на практиці використовуються безпосередні методи вимірювання ($\frac{\beta}{2}$ і X дБ) ЗШСЧ. Причина цього полягає в тому що непрямі методи більш складні і не характеризуються універсальністю по відношенню до класів радіовипромінювання.

В Rec. ITU-R SM.443-4 характеризуються умови застосування і точність $\frac{\beta}{2}$ методу. Точність визначення ЗШСЧ підвищується при формі спектра з крутими схилами і за меншого значення роздільної здатності RBW.

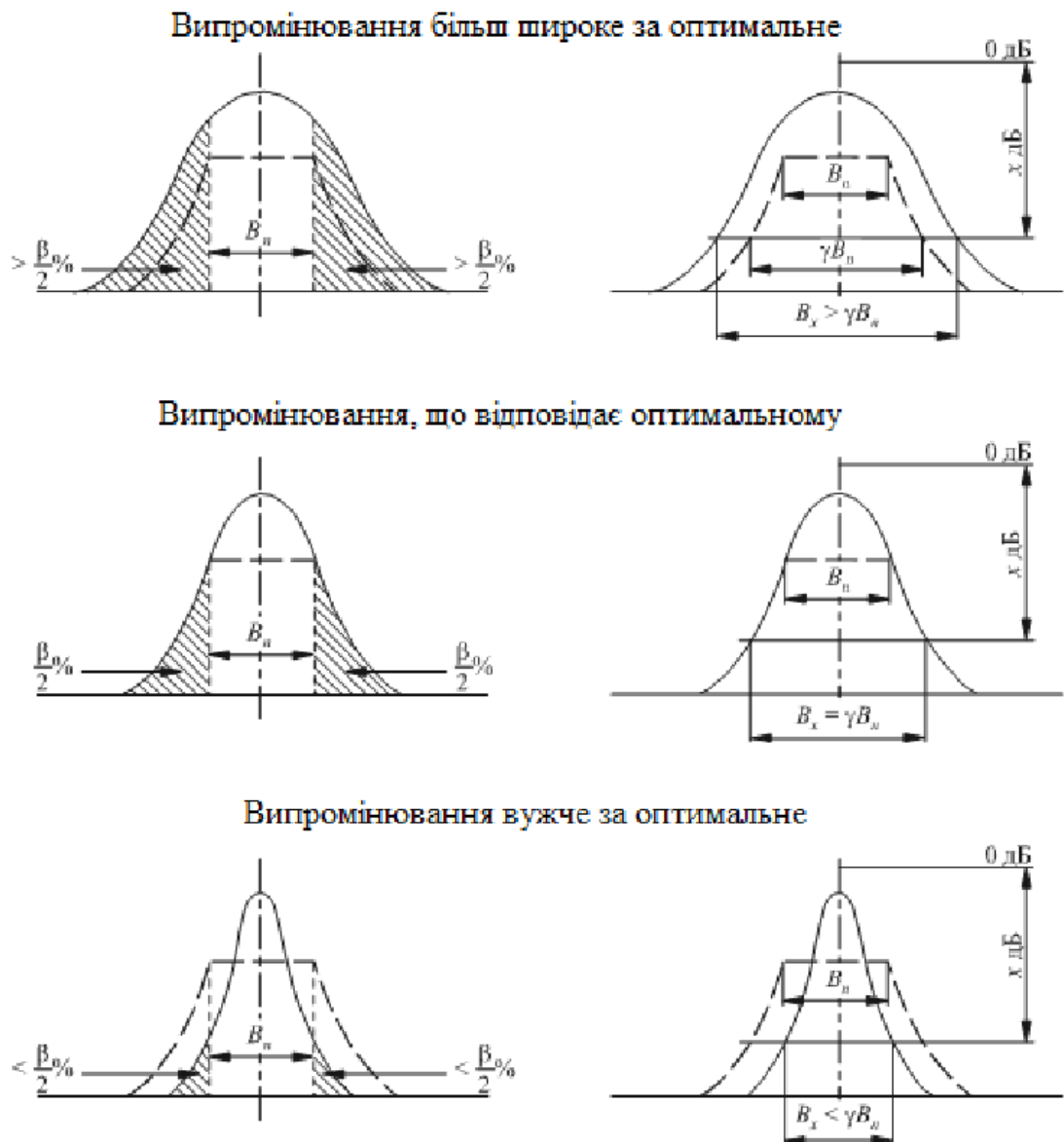


Рис. 5.2. Відповідність спектра випромінювання нормативному значенню
НШСЧ

Позначення: B_n - необхідна ширина смуги частот; B_x - ширина смуги частот на рівні X дБ; x – значення рівня вимірювання, дБ; γ - коефіцієнт зв'язку між шириною смуги частот на рівні X дБ і НШСЧ, який визначається рівнем X дБ і кривою позасмугового спектра; $\frac{\beta}{2}$ половина припустимої позасмугової потужності.

Інтервал вимірювання не повинен бути дуже широким з метою виключення потужності шумів, але він має враховувати спектральні складові нижче 25 дБ. З метою отримання точності оцінки ЗШСЧ менше 10% рекомендується використовувати мінімальне відношення потужностей у сусідніх каналах або мінімальну різницю пікового рівня і рівня крайніх частот у 30 дБ, рис. 5.3. Внаслідок флуктуацій сигналу для отримання усередненого значення ЗШСЧ кількість вимірів має бути не менше за 400.



Рис. 5.3. Різниця між піковим рівнем спектра сигналу і рівнем крайніх частот

Під час практичного використання $\frac{\beta}{2}$ -методу використовується ітераційна процедура визначення границь спектра, за якою спочатку обирається початкова ширина смуги частот. Надалі обрана смуга поступово звужується до настання моменту суттєвого зменшення значення ЗШСЧ. Рекомендується користуватися спрямованою приймальною антеною, яка розміщується у дальньому полі випромінювання передавальної антени та в умовах прямої видимості між антенами.

За методом X дБ визначається опорний рівень 0 дБ, за який, як правило, обирається спектральна складова з найбільшим рівнем. Від опорного рівня відраховується обраний рівень X дБ, рис. 5.4. Для досягнення точності вимірювання в межах 10% різниця між опорним рівнем та рівнем шумів повинна складати не менше X+5 дБ.

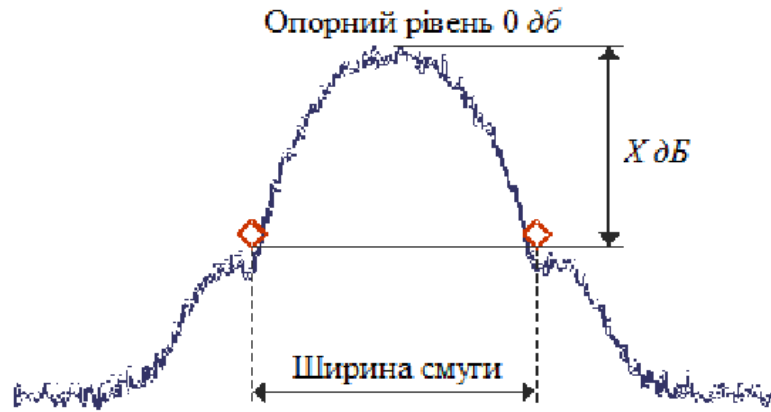


Рис. 5.4. Вимірювання ЗШСЧ за методом 0 дБ

У деяких випадках методом X дБ можна виміряти ЗШСЧ навіть у присутності завад, наприклад у випадку двох завад 1 і 2 на рис. 5.5.

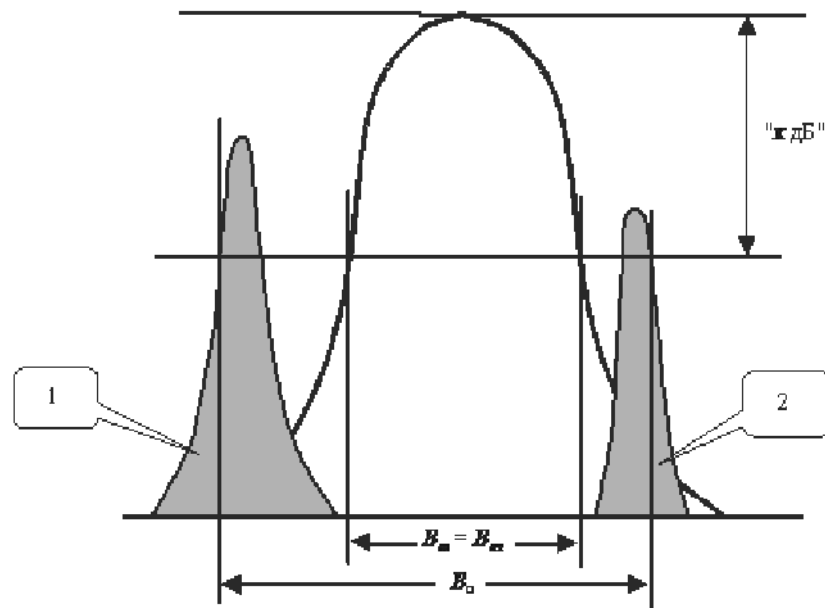


Рис. 5.5. Вимірювання ЗШСЧ за методом X дБ у присутності двох завад

Точність застосування методу залежить від визначення опорного рівня. Універсального методу встановлення опорного нульового рівня не існує. Як зазначено вище, для значного числа класів аналогових та цифрових сигналів обирається спектральна складова з максимальною щільністю потужності. Даний підхід не спрацює у випадку частотно-модульованих сигналів, у

яких спостерігається часова зміна рівня несучої відповідно до модуляції. Загальний випадок: визначення опорного рівня за рівнем немодульованого сигналу несучої. Рекомендації щодо визначення опорного рівня класів випромінювання наводяться у ГОСТ 30318-95 [21].

Вимірювання за рівнем X дБ реалізується за допомогою методів спектрального аналізу [14].

Метод послідовного аналізу передбачає використання одиночного фільтра з вузькою смугою пропускання, яку можна зміщувати вздовж частотної осі автоматично або в ручному режимі. На кожній частоті настройки фільтра в обраній частотній смузі можливе пряме вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання. Послідовний метод застосовується в аналізаторах спектра. Точність результатів залежить від форми спектра сигналу. Наприклад, вимірювання ЗШСЧ за методом X дБ сигналу із значною кількістю спектральних складових низького рівня характеризується значними похибками.

За паралельним методом вимірювання частотна смуга поділяється на ряд частин. Кількість частин дорівнює кількості вузькосмугових фільтрів. Паралельний метод характеризується більшою швидкістю і більшою апаратною складністю у порівнянні з послідовним, а також дозволяє ефективно вимірювати ЗШСЧ неперіодичних сигналів.

Серед інших методів реалізації вимірювання ширини смуги частот радіовипромінювання на рівні X дБ, що застосовуються в апаратурі радіоконтролю, потрібно відзначити використання швидкого перетворення Фур'є.

В країнах СНД поширена практика вимірювання контрольної ширини смуги частот за методом X дБ на рівні – 30 дБ. Вибір даного рівня пояснюється тим, що для багатьох класів радіовипромінювання різниця значень НШСЧ і КШСЧ складає (10 – 20) %.

За Rec. ITU-R SM.443-4 існують два підходи порівняння ЗШСЧ за методом X дБ і необхідною шириною смуги частот. За першим – вимірюють ЗШСЧ на рівні – 26 дБ, а потім застосовують коефіцієнт перетворення. За другим – вимірюють ЗШСЧ на рівнях X дБ, які відповідають НШСЧ окремо для кожного класу випромінювання. Таблиці відповідності ширини смуги частот класів випромінювання включені до нормативних документів [22, 17]. Причому Норми 19-13 (РФ) включають дані щодо цифрових радіотехнологій.

Перетворення сигналу з часової у частотну область найчастіше реалізується за допомогою швидкого перетворення Фур'є. За ШПФ число відліків сигнальної вибірки N у часовій області повинно бути кратним ступені два та обиратися за формулою:

$$N = 2^k, \quad (5.6)$$

де f_s – частота відліків вибірки у часовій області; Δf – дискретність спектра; $f_{c \max}$ – максимальна частота спектра сигналу при перенесенні його до нульової частоти

Тобто, для досягнення бажаної роздільної здатності за частотою, яка необхідна для визначення ЗШСЧ за $\frac{\beta}{2}$ - методом, потрібно забезпечити достатню тривалість сигнальної вибірки.

Спектральні складові сигналу за ШПФ визначається за формулою:

$$G(m\Delta f) = \sum_{n=0}^{N-1} U(n\Delta t) e^{-j2\pi mn/N}, \quad (5.7)$$

де: $G(m\Delta f)$ – значення щільності потужності на частоті $m\Delta f$; m – номер спектральної складової; n – номер відліку в часовій області; $U(n\Delta t)$ – значення вибірки сигналу в момент часу $n\Delta t$

5.3. Вимірювання напруженості поля та щільності потужності

Мета вимірювання напруженості поля та щільності потужності може бути різною. Під час радіомоніторингу вимірювання цих характеристик здійснюється для перевірки відповідності результатів встановленим нормативним показникам, що зазначені в ліцензії на експлуатацію.

Вимірювання напруженості поля передбачає використання відомої формули з теорії приймальних антен:

$$E = \frac{EPC}{l_{\text{л}}}, \quad (5.8)$$

де: EPC – електрорушійна сила, що збуджується в антені; $l_{\text{л}}$ - діюча довжина лінійної антени.

Еквівалентна схема приймальної антени включає джерело EPC , вхідний опір антени $Z_{\text{а}} = R_{\text{а}} + X_{\text{а}}$ та опір навантаження $Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} + X_{\text{н}}$. За узгодженості вхідного опору антени з опором навантаження за реактивністю $X_{\text{а}} = -X_{\text{н}}$, напруга на навантаженні (напруга на вході радіоприймача) [23]:

$$U_{\text{н}} = EPC \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{а}} + R_{\text{н}}} \quad (5.9)$$

Тоді (3.6) записується у вигляді:

$$E = \frac{U_{\text{н}}}{l_{\text{л}}} \cdot \frac{R_{\text{а}} + R_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} \quad (5.10)$$

Для визначення напруженості поля з урахуванням втрат у фідері та вхідної напруги приймача використовується антенний фактор:

(5.11)

Часто напруженість поля виражають у логарифмічному масштабі, наприклад, дБ(мкВ/м).

На частотах вище 1ГГц рівень електромагнітного поля прийнято представляти в одиницях щільності потужності.

Для апертурних антен щільність потужності (вектор Пойнтінга Π) зв'язана з максимальною потужністю у навантаженні антени через діючу площу антени S_a [23].

(5.12)

Для однорідної плоскої електромагнітної хвилі в тропосфері напруженість поля пов'язана з щільністю потужності через хвильовий опір середовища W .

(5.13)

Напруженість поля (густина потужності) може вимірюватись на основі оцінки сигналу у часовій області, приведеного до входу приймача, або на основі спектра.

Перший метод реалізується в станціях радіомоніторингу, оскільки є більш простим і має більшу швидкодію.

Другий метод можна використати за допомогою аналізаторів спектра, в якому вимірюється канална потужність [22]:

де: S_i - щільність потужності i -ої складової спектра сигналу [Вт/Гц]; n – кількість відліків у спектрі; Δf – роздільна здатність спектра.

В логарифмічному масштабі:

Використовуються наступні рекомендації з вибору режиму роботи аналізатора спектра: ширина смуги частот (Span), що розглядається, має суттєво (до двох разів) перевищувати ширину спектра сигналу; значення розділення за частотою RBW складає 3...5 % від Span; ширина смуги за відео частотою VBW (після детектора обвідної) не менше ніж в три рази більша за RBW.

Методи вимірювання напруженості поля під час радіоконтролю представлені в Rec. ITU-R SM.338-7 [24]. Похибка вимірювання повинна бути в межах ± 2 дБ для смуги 9кГц...30МГц і ± 3 дБ для 30МГц...3ГГц. Даються рекомендації щодо розміщення антен, точності визначення коефіцієнта підсилення антени, калібрування вимірювальних приймачів, тощо.

Калібровка антени та фідерної системи під час вимірювань, як правило, не проводиться, оскільки використовуються параметри, що отримані на етапі виробництва та зазначені в документації на апаратуру станції радіомоніторингу. Потрібно зазначити, що антенні параметри залежать від частоти. Тому для отримання максимальної точності бажано визначити коефіцієнти підсилення антени або значення антенного фактору на відповідних частотах.

Допуск на похибки, що наведені в [24], передбачає сприятливі умови, а саме: відсутність зовнішніх завад та інтерференції хвиль, в тому числі при

багатошляховому поширенні, застосування апаратури з низьким рівнем власних шумів. Цьому сприяє використання спрямованих антен. Взагалі сприятливі умови радіоконтролю характерні для стаціонарних станцій радіомоніторингу.

Методика вимірювання напруженості поля [25], розроблена в УДЦР, деталізує процес радіоконтролю. В частині вимог до обладнання зазначається: отримання вимірів пропорційних середньоквадратичному значенню напруженості поля радіочастотного сигналу; динамічний діапазон не менше 60 дБ; можливість збереження отриманих даних та їх оброблення в комп'ютері.

Потрібно вибрати антену, що відповідає діапазону частот і умовам вимірювання, визначити необхідність її калібрування, знайти оптимальне значення затухання атенюатора у складі радіоприймача.

5.4. Рівень сигналу

Рівень сигналу визначається на вході радіоприймального пристрою і представляється в одиницях напруженості поля або щільності потужності.

Вірогідність результатів вимірювання залежить від ряду факторів, одним з головних є вибір типу детектора.

Піковий рівень сигналу характеризує не тільки його максимальне значення, але і вплив інтерференції. Вимірюється піковим детектором, або іншим детектором в режимі утримання максимального значення.

Середньоквадратичний рівень сигналу характеризує середню енергію неперервного сигналу. Використовується для визначення зони дії РЕЗ, ЕМС з іншими засобами і оцінюється на основі вибірок, отриманих за допомогою детектора середнього значення.

Середній рівень імпульсу вимірюють для тих же цілей, що і середньоквадратичний рівень сигналу, але для TDMA сигналів. Тривалість вибірки є меншою за тривалість імпульсу. Початок вимірювань потрібно синхронізувати з сигналом, що не завжди можна реалізувати за допомогою аналізаторів спектра і вимірювальних приймачів [23].

Ширина смуги частот вимірювального засобу обирається меншою за ширину спектра сигналу. Сучасні вимірювальні радіоприймачі включають піковий детектор, середньоквадратичний детектор, детектор середнього значення та квазіпіковий детектор. Вірогідність результатів при застосуванні аналізатора спектра залежить від правильного вибору роздільної здатності за частотою (RBW) та режиму роботи приладу.

5.5. Вимірювання характеристик модуляції.

Аналогова модуляція застосовується для передачі дискретних даних по каналах з вузькою смугою частот, типовим представником яких є канал тональної частоти, що надається в розпорядження користувачам громадських телефонних мереж.

Методи аналогової модуляції.

Аналогова модуляція є таким способом фізичного кодування, при якому інформація кодується зміною амплітуди, частоти або фази синусоїдального сигналу несучої частоти. Основні способи аналогової модуляції показані на рис. На діаграмі показана послідовність біт вихідної інформації, представлена потенціалами високого рівня для логічної одиниці і потенціалом нульового рівня для логічного нуля. Такий спосіб кодування називається потенційним кодом, який часто використовується при передачі даних між блоками комп'ютера. [26]

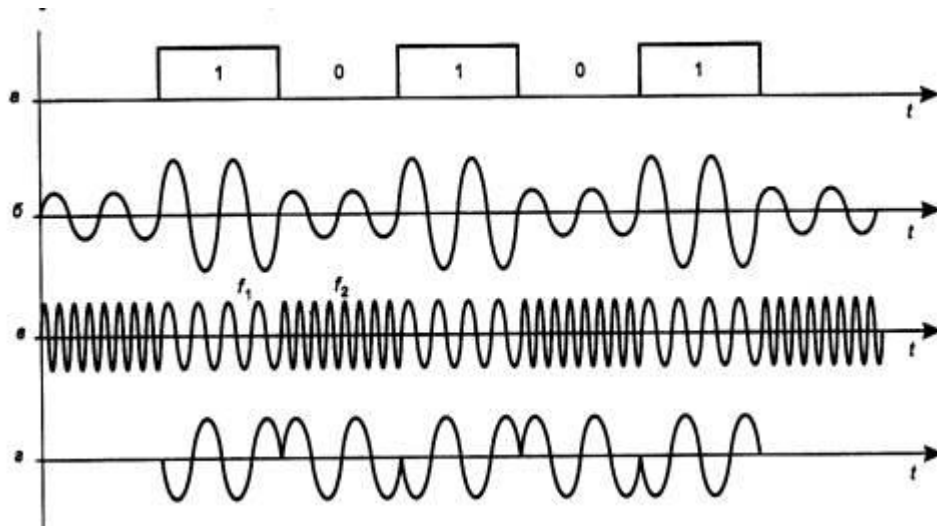


Рис.5.6. Різні типи модуляції (а - вихідна інформація, б-амплітудна модуляція, в - частотна модуляція, г - фазова модуляція).

При амплітудній модуляції для логічної одиниці вибирається один рівень амплітуди синусоїди несучої частоти, а для логічного нуля - інший. Цей спосіб рідко використовується в чистому вигляді на практиці через низку перешкодостійкості, але часто застосовується в поєднанні з іншим видом модуляції - фазовою модуляцією.

При частотній модуляції значення 0 і 1 вихідних даних передаються синусоїдами з різною частотою - f_0 і f_1 . Цей спосіб модуляції не вимагає складних схем в модемах і звичайно застосовується в низькошвидкісних модемах, які працюють на швидкостях 300 або 1200 біт / с.

При фазовій модуляції значенням даних 0 і 1 відповідають сигнали однакової частоти, ніс різної фазою, наприклад 0 і 180 градусів або 0,90,180 і 270 градусів.

У швидкісних модемах часто використовуються комбіновані методи модуляції, як правило, амплітудна в поєднанні з фазовою. [15]

Цифрова модуляція

Знизити вплив перешкод на передані інформаційні сигнали можна за допомогою розширення спектра інформаційного сигналу для обраного методу модуляції.

Інший, більш ефективний спосіб передачі сигналів (по можливості без перешкод) полягає у використанні методів цифрової модуляції. Тільки цифрова модуляція має такими методами, як кодування, які дозволяють відновити спотворений інформаційний сигнал у вигляді виправлення помилок при декодуванні в приймальнику. Перешкоди від деяких методів цифрової модуляції можуть бути проаналізовані за допомогою Глазкової діаграми або діаграми сигнального сузір'я, яка відображає передані символи в комплексній площині. Цифровий інформаційний сигнал передається або в своїй первісній частотній області по дротах (пряма передача) або по радіоканалу. Радіопередача здійснюється за допомогою модуляції (маніпуляції) високочастотної несучої. До методів прямої передачі відносяться, наприклад, імпульсно-кодова модуляція і дельта-модуляція. Ці види модуляції в цьому документі не обговорюються.

Методи цифрової модуляції дозволяють передавати символи, які однозначно визначені для передавача і приймача. Символ являє собою найменший елемент інформації. Символи містять в собі - в залежності від режиму модуляції - n окремих бітів, де n береться з безлічі натуральних чисел. Ці символи утворюють набір чисел, який використовується режимом модуляції. Пропускна здатність радіоінтерфейсу обмежується швидкістю передачі символів і кількістю бітів в символі. Форма символів має змінюватися шляхом фільтрації (Фільтрація в основній смузі) таким чином, щоб необхідний для передачі спектр залишався у встановленій смузі частот каналу передачі. Аналогові сигнали (мова, музика) повинні бути оцифровані для передачі за допомогою застосовуваного методу цифрової модуляції. Потім цифрові дані перетворяться в передані символи. Сигнал цифрової модуляції містить дійсні значення з певним інтервалом дискретизації i , отже, є дискретним за часом. Інтервал часу між точками вибірки визначає

символьну швидкість. Сигнал цифрової модуляції передає лише кінцеве число різних значень, і тому він є дискретним за рівнем. передача може містити $2n$ чисел з n бітів. Таким чином, по відношенню до переданому інформаційного сигналу цифрова модуляція вважається методом модуляції з дискретизацією за часом і дискретизацією за рівнем. З іншого боку, тимчасові характеристики високочастотного сигналу модуляції безперервні по часу і безперервні за рівнем.

Деякі з методів цифрової модуляції отримані безпосередньо з аналогових методів модуляції. При вивченні сигналу з цифровою модуляцією на векторній діаграмі стає ясно, що цифрова модуляція - це всього лише аналогова модуляція з кінцевим числом дискретних станів.

Важливу роль тут відіграє фазова модуляція, в першу чергу, для бездротової зв'язку. Однак існує також цілий ряд видів цифрової модуляції, які не відбуваються безпосередньо від аналогових методів; тут вони докладно не розглядаються. Наприклад, широтно-імпульсна модуляція є особливий вид цифрової кутовий модуляції, яка також може використовуватися для тимчасової дискретизації аналогового сигналу.

Методи цифрової модуляції також можуть використовуватися для того, щоб розподілити потік корисних даних за кількома несучим (модуляція з декількома несучими). Це призводить до додаткової можливості оптимального узгодження з характеристиками каналу передачі. Якщо вузькосмугова перешкода виникає в межах спектра корисного сигналу, то цей метод може використовуватися для виключення несучих, на які впливають перешкоди від передачі даних. Хоча при цьому дещо знижується загальна пропускна здатність, передача даних залишається можливою, незважаючи на перешкоди. оскільки руйнує перешкода (послабляє

інтерференція) в результаті багатопроменевого прийому зачіпає тільки окремі несучі, спосіб передачі з декількома несучими має явну перевагу над методом з однієї несучої. Типовим методом модуляції з декількома несучими є ортогональне частотне розділення каналів (ОЧРК або OFDM), яке використовується в стандарті LTE мобільного стільникового зв'язку.

РОЗДІЛ 6. ВИМІРЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ.

6.1. Вимірювання в часовій області

Залежність частоти від часу

При побудові залежності частоти від часу, значення частоти – відкладаються по вертикальній осі, а час – по горизонтальній. Не дивлячись на те що спектрограма також містить інформацію про частоту та час, окреме представлення залежності частоти від часу має дві важливі відмінності. По-перше, воно має більший діапазон по часу ніж спектрограма. По-друге, при зміні одного значення частоти в кожен момент часу не вдається відобразити декілька РЧ сигналів, що можливо при відображенні спектрограми.

Спектрограма створюється на основі результатів ДПФ та має постстрокову роздільну здатність по часу, що дорівнює довжині одного кадру ДПФ. Діапазон залежності частоти від часу рівний інтервалу між двома

послідовними вибірками. При використанні 1024 вибірок для обрахування спектру, роздільна здатність (діапазон) по часу в 1024 разів кращий за діапазон спектрограми. Це полегшує детальне вивчення незначних змін частоти. Побудова залежності частоти від часу можна порівняти з роботою частотоміра. Кожна вибірка характеризується певною частотою, а смуга огляду лежить в межах від сотень герц до десятків мегагерц. Залежність частоти від часу для сигналів з постійною частотою, таких як немодульовані сигнали чи сигнали з АМ, має пласку форму [27].

Представлення залежності частоти від часу є найбільш наглядним, коли сигнал має відносно високий рівень на одній частоті

На рис. 6.1 представлені результати порівняння залежності частоти від часу та спектрограми.

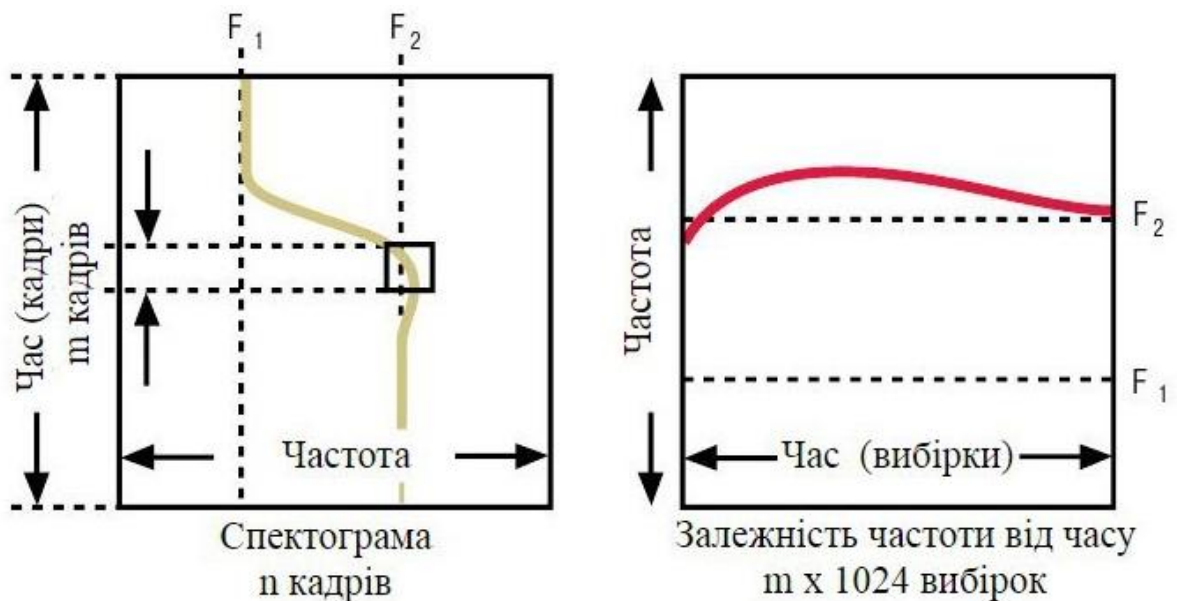


Рис. 6.1. Порівняння спектрограми та залежності частоти від часу для одного сигналу

В деякому сенсі вікно залежності частоти від часу можна розглядати як збільшену частину спектрограми. Це дуже корисно для аналізу короткострокових перехідних процесів, таких як стрибкоподібна зміна частоти чи перехідні процеси у вигляді затухаючих коливань. При здійсненні вимірювань декількох сигналів, один сигнал з яких має підвищений рівень то

варто використовувати спектрограму, оскільки вона дає можливість прослідкувати зміни амплітуд всіх частот у вибраному діапазоні огляду.

На рис. 6.2, 6.3, 6.4 показано три різних представлення одного й того ж сигналу. Як видно на рис. 6.2 запуск по частотній масці використовувався для захоплення сигналу передатчика, частота якого є нестабільною.

Оскільки частота сигналу не відповідає частоті «пелюстки» маски по центру екрана, відбувається порушення границь частотної маски, що являється сигналом запуску. Спектрограма (справа) ілюструє процес встановлення частоти передатчика.

На наступних рисунках (рис. 6.3 та рис. 6.4) показані залежності частоти від часу для одного сигналу.

На рис. 6.3 показано встановлення тієї ж частоти, що й на спектрограмі з тривалістю аналізу 25мс.

На рис. 6.4 відображена можливість більш детального аналізу тривалістю 1мс для відображення змін частоти в часі з кращим діапазоном (роздільною здатністю) в часі.

Це дає змогу виявляти залишкові коливання сигналу навіть після встановлення необхідної частоти.

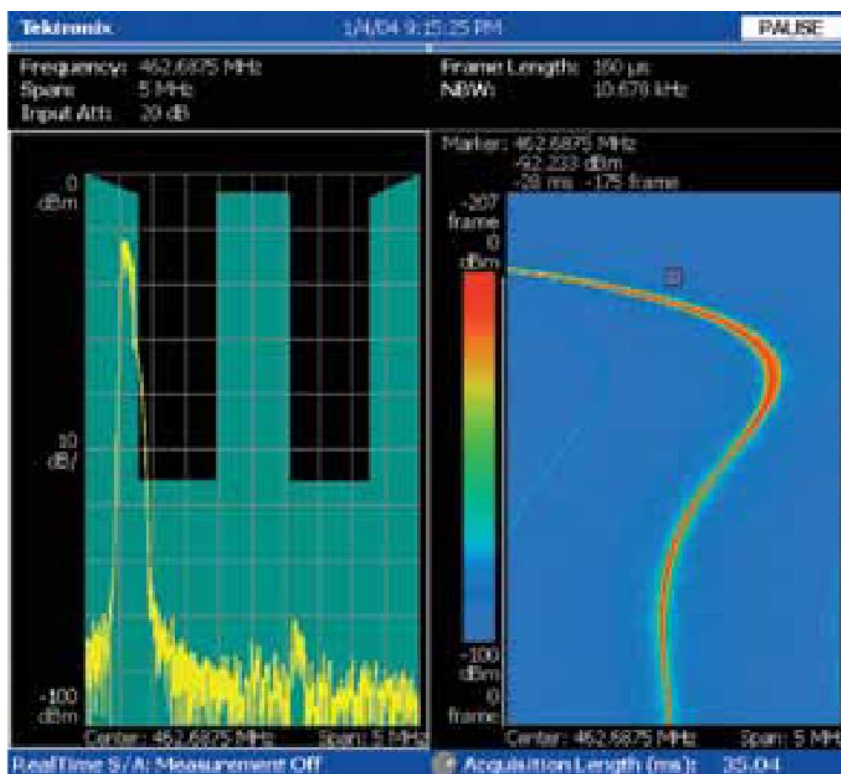


Рис.6.2. Залежність частоти від часу процесу встановлення частоти сигналу 5МГц протягом 35мс

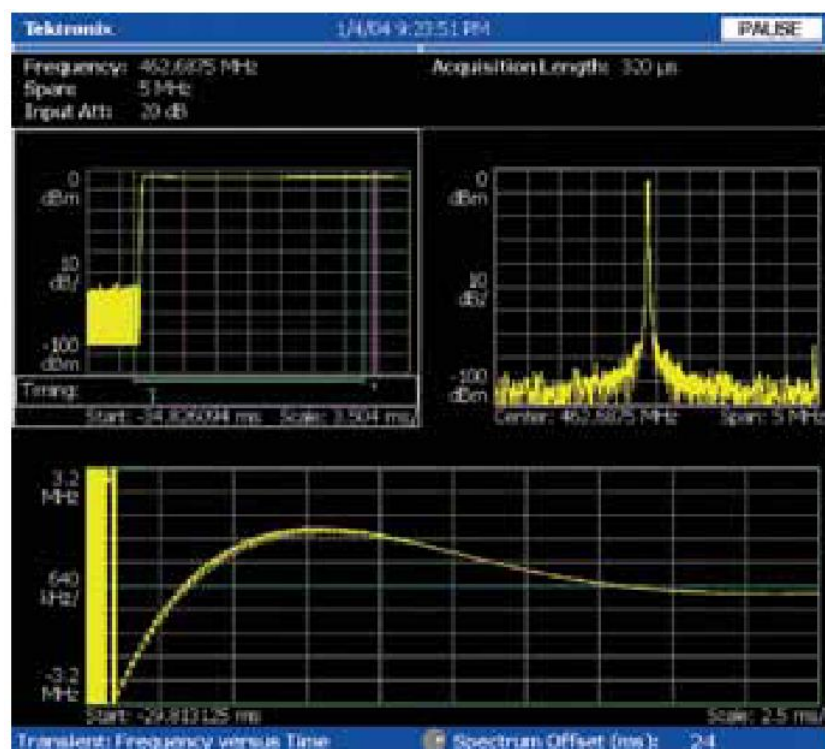


Рис. 6.3. Залежність частоти від часу процесу встановлення частоти сигналу 5МГц протягом 35мс

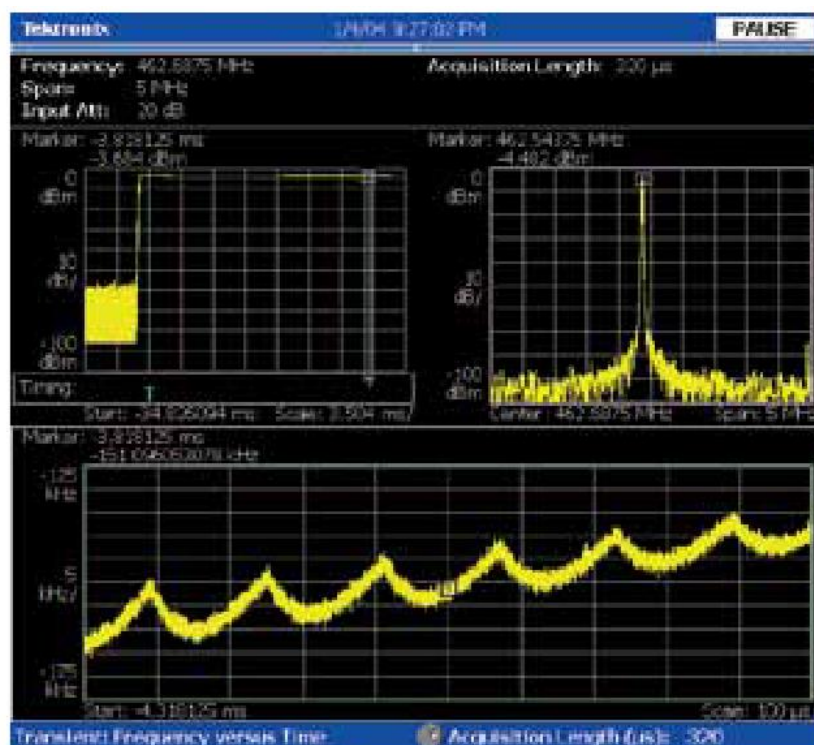


Рис.6.4. Розтягування для відображення встановлення частоти вище 50кГц протягом 1мс.

Залежність амплітуди чи потужності від часу

На рис 6.5 у вікні залежності потужності від часу представлено зміну потужності сигналу від вибірки до вибірки.

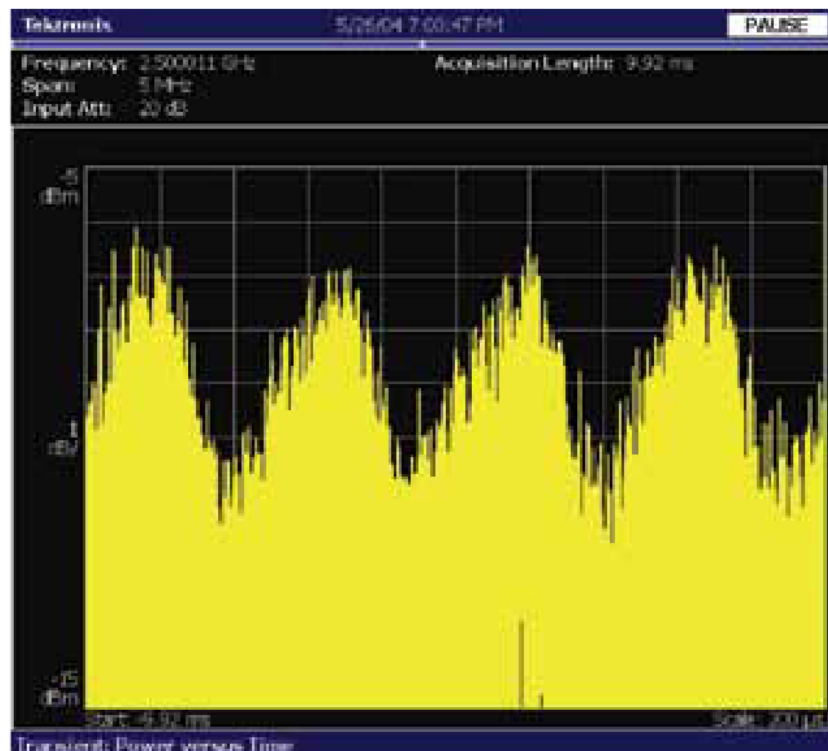


Рис. 6.5. Вікно залежності потужності від часу

Шкала амплітуди сигналу в дБм має логарифмічний масштаб. Це вікно подібно представленню сигналу в часовій області на екрані осцилографа, де по горизонтальній осі відкладається час. Відмінність полягає в тому, що по вертикальній осі відкладений логарифм потужності, а не напруга по лінійній шкалі. Для сигналу з остійною потужністю графік буде у вигляді плоскої траси, оскільки потужність не змінюється в часі [28].

Для кожної вибірки потужність вираховується згідно формули:

$$P = 10 \log \frac{[(I)^2 + Q^2]}{1 \text{ мВт}}, \quad (6.1)$$

де, I та Q – синфазна та квадратурна складові сигналу.

Ця потужність вимірюється в децибелах на 1 мВт ($\text{дБ}_{\text{мВт}}$).

Вікно залежності потужності від часу доступно в режимі огляду сигналу в часовій області. В цьому режимі амплітуда РЧ сигналу показана у всій смузі захвату, в той час як у вікні залежності потужності від часу представлений сегмент часу, що заданий вікнами зміщення аналізу та тривалості аналізу.

Залежність фази від часу

Представлення залежності фази від часу, подібне до залежності потужності від часу. Для кожної пари IQ вираховується значення фази, а результат відображається як функція часу. Фаза кожної вибірки IQ вираховується згідно формули:

(6.2)

Залежність IQ в часі

Залежність IQ в часі – це ще одне відображення в часовій області, що представляє амплітуди компонентів I та Q, як функцію часу. Зображення такої залежності представлено на рис. 6.6 [28].



Рис. 6.6. Вимірювання залежності IQ від часу на спаді перехідного процесу

Результатом вимірювання є рівні вихідних сигналів I та Q, що потрапляють від цифрового понижуючого перетворювача частоти. Це відображення не дає ніякого уявлення про модуляцію сигналу, що аналізується. З допомогою деяких видів аналізу модульованих сигналів також можна отримати залежність I та Q від часу але лише після демодуляції.

Результати вимірювання дають змогу отримати повну інформацію про похибку та нестабільність частоти та фази.

6.2. Вимірювання в частотній області

Основними вимірами в частотній області є виміри для відображення спектру DPX («живого» РЧ спектру), вимірювання для відображення спектру та спектрограми.

Окрім цього до вимірів частотної області відносять амплітудно-частотну характеристику потужності сигналу та фазового зсуву, проте ці виміри можуть бути реалізовані і класичними векторними а також аналізаторами спектра з розгорткою. Тому саме можливість побудови DPX-

спектрів при якому використовується технологія цифрового фосфору є відмінною особливістю аналізаторів спектру реального часу при проведенні вимірів в частотній області.

При відображенні DPX спектру на рівні з поточним спектром, будуються поступово затухаючі в часі спектри для попередніх моментів часу. Це не рідко дозволяє зафіксувати швидкоплинні аномалії спектру, котрі не можуть зареєстровані іншими аналізаторами.

В якості основного параметру для DPX технології –використовують мінімальну тривалість сигналу при 100 відсотковій імовірності захвату одиничної події. Для сучасних спектроаналізаторів реального часу це значення становить близько 10,3мкс (модель Tektronix RSA6000).

Спектр DPX дозволяє отримувати точне представлення декількох сигналів, що мають однакові частоти в різні моменти часу. Приклад такого представлення зображено на рис. 6.7 [27].

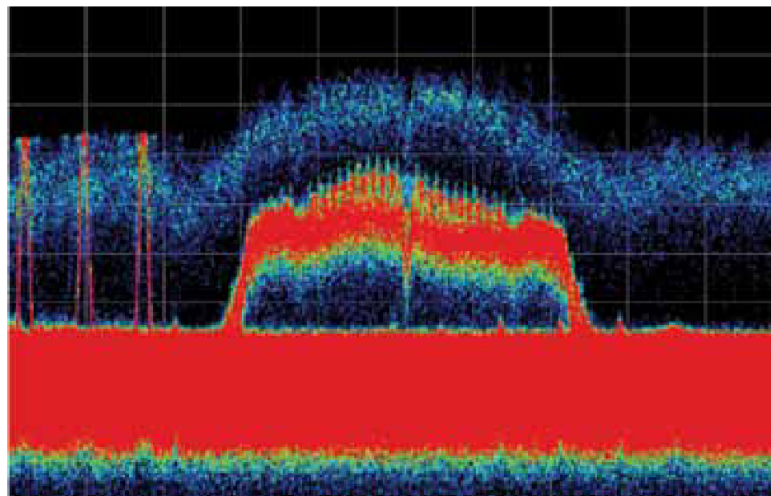


Рис. 6.7. Спектр DPX, представлений декількома сигналами з однаковими частотами в різні моменти часу

Вимірювання спектрів та спектрограм.

В основі цих видів вимірювань лежить ДПФ аналіз даних сигналів, що збережені в пам'яті спектроаналізатора. Вимірювання можна виконувати як з ручним запуском, так і в режимі автоматичної розгортки. У всіх моделях спектроаналізаторів реального часу Tektronix виміряні спектр та спектрограма відображаються окремо. Результати вимірів оброблюються

разом, оскільки вони отримані на основі одних і тих самих даних в процесі захвату та зв'язані маркерами по часу та частоті [29].

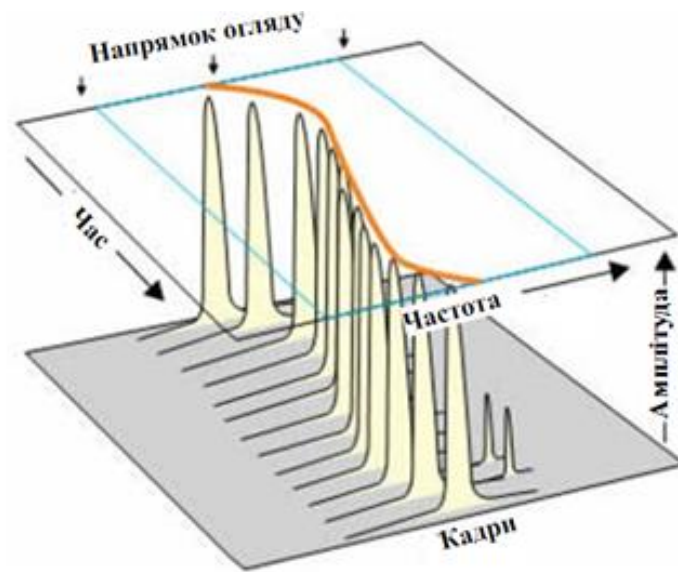


Рис. 6.8. Відображення спектрограми

Як показано на рис. 6.8 за допомогою спектрограми можна інтуїтивно уявляти зміну частоти та амплітуди в часі. Подібно до відображення спектру, по горизонтальній вісі відкладаються значення частоти в смузі огляду. Час відкладається по горизонтальній вісі, а амплітуда представлена кольором траси. Кожен горизонтальний «шар» спектрограми відповідає одному частотному спектру.

На рис. 6.9 представлений знімок екрану спектроаналізатора зі спектром та спектрограмою сигналу, представленого на рис. 6.8.

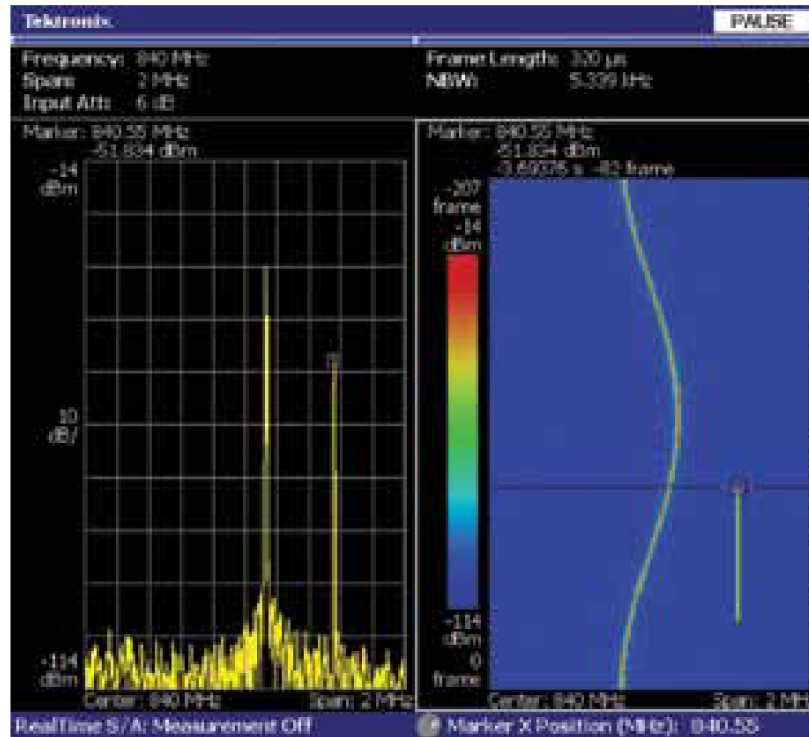


Рис. 6.9. Корельовані по часу представлення: залежність потужності від частоти (зліва) та спектрограма (справа)

Самий старий кадр знаходиться у верхній частині вікна спектрограми. Даний вимір демонструє РЧ сигнал, частота якого змінюється в часі, а також нестійкий сигнал низького рівня, що з'являється та зникає ближче до кінця спектрограми. Дані зберігаються в пам'яті, тому за допомогою маркера є можливість переглядати раніше виміряні спектри.

На рис. 6.9 маркер на відображенні спектрограми встановлений на короткочасний перехідний процес, а зліва відображається спектр, що відповідає положенню маркера.

Вимірювання за межами смуги пропускання реального часу.

Як показано на рис. 6.10 аналізатори спектру реального часу виконують виміри в частотній області аналогічно до вимірів традиційних скануючих аналізаторів спектрів з розгорткою [30].

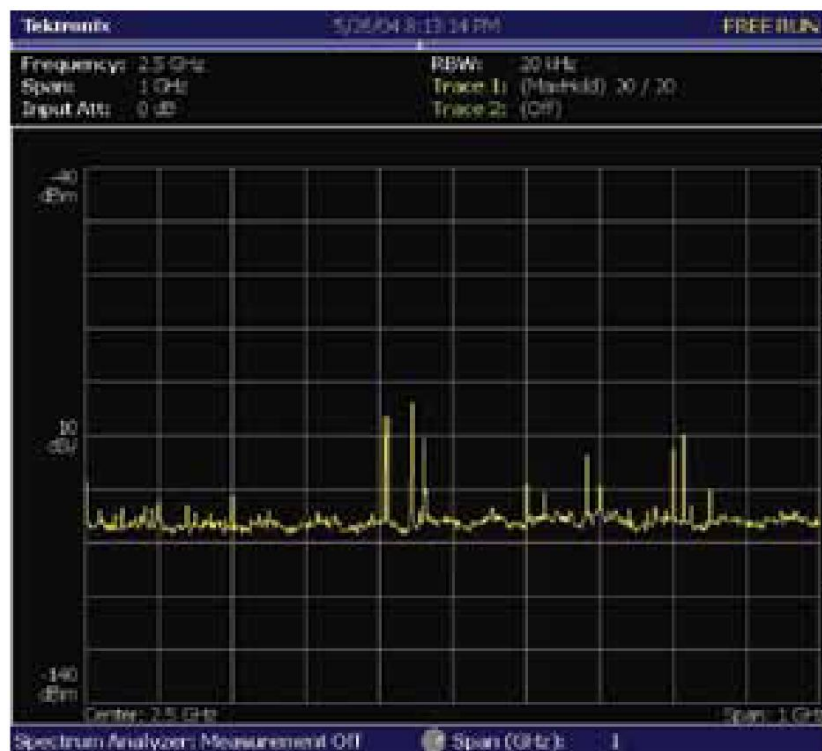


Рис. 6.10. Стандартний режим скануючого аналізатору спектра відображає вимірювання в смузі огляду 1ГГц з утриманням максимуму

Для смуг огляду, більших за смугу пропускання спектроаналізатору в режимі реального часу, відбувається перестроювання по заданій смузі огляду аналогічно традиційним аналізаторам спектру, а послідовні вибірки спектру виконуються перед переходом на наступний крок.

Спеціальна апаратна опція для аналізаторів спектру Tektronix серії RSA6000 реалізує функцію скануючого DPX. При цьому в кожному частотному сегменті аналізатор обробляє один або велику кількість кадрів ДПФ, кожен з яких містить результати до 14600 спектральних перетворень. Час обробки кожного сегменту регулюється, тому його можна контролювати протягом 100 секунд перед переходом до наступного кроку. Під час обробки сегмента, вірогідність захвату сигналу на цій ділянці спектра така ж як і при захваті в смузі огляду реального часу – 100% для подій тривалістю не менше 10,3 мкс. Повне піксельне растрове представлення створюється для кожного сегменту та стискається по горизонталі до кількості стовбчиків, необхідних для представлення частотного сегменту [27].

Стиснення відбувається за рахунок усереднення по щільності пікселів, об'єднаних крапками траси. Растрове відображення фінальної розгортки (сканування) має таку ж роздільну здатність що й піксельне растрове зображення без розгортки. Повні траси створюються для кожного сегменту та стискаються по горизонталі для отримання вибраного користувачем числа точок траси у всій смузі огляду.

6.3. Вимірювання в кодовій області

Представлення кодограм

Для побудови кодограми до вимірів потужності в кодовій області для стандартів на основі CDMA додають вісь часу. Подібно до спектрограми, кодограма дає можливість інтуїтивно оцінювати зміни в часі [29].

Загальне представлення кодограми наведено на рис. 6.11.

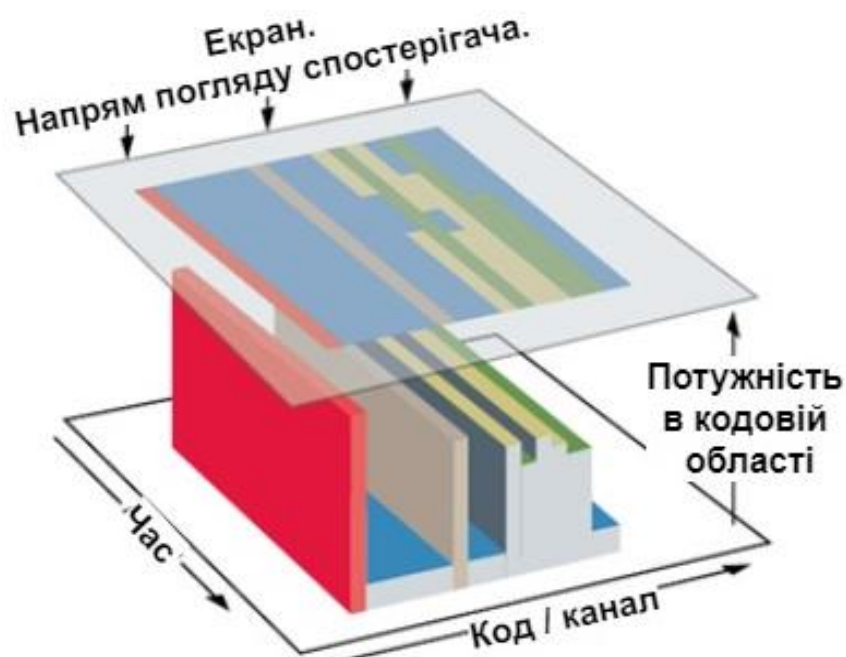


Рис. 6.11. Загальне представлення кодограми

На рис. 6.12 представлена кодограма сигналу стандарту W-CDMA, отримана з допомогою спектроаналізатору реального часу Tektronix [27]. Дана кодограма зображує імітацію передачі управління, при якій швидкість передачі різко збільшується, щоб компенсувати короткочасну перерву в

передачі. Протягом цієї перерви двостандартний мобільний термінал W-CDMA/GSM виконує пошук базової станції GSM без відключення від бази W-CDMA.



Рис. 6.12. Зміна кодограми ущільненого сигналу W-CDMA

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Характеристика електромагнітного поля та його вплив на навколишнє середовище

Електромагнітне поле - це сукупність електричного і магнітного полів, що породжують один одного при взаємодії електрично заряджених тіл. Хвилею називають зміну стану електромагнітного поля, що поширюється в просторі. Вони бувають: наддовгими (радіохвилі), терагерцеві, інфрачервоні, видиме світло, ультрафіолетові, рентгенівські й жорсткі (гамма). Хвилі поширюються всюди, в тому числі і в вакуумі. Випромінювання - це характеристика загасання поля в міру віддалення від джерела виникнення. Залежить від довжини хвилі. Воно практично без загасання поширюється на величезні відстані, навіть в просторі, заповненим речовиною.

Навколо Землі існують електричне та магнітне поля, інтенсивність яких не залишається постійною. Спостерігаються річні, добові коливання цих полів під дією грозових розрядів, опадів, вітрів, а також під дією сонячної активності (магнітні бурі).

У процесі науково-технічного розвитку людство додало до фонового випромінювання цілий ряд факторів, які підсилили це випромінювання в декілька разів (антропогенні ЕМП). У побуті та промисловості набули масового застосування обладнання та прилади, робота яких пов'язана з утворенням електромагнітних випромінювань широкого діапазону частот. Зростання рівня ЕМП різко підсилювалось з початку 30-х років ХХ століття. В окремих районах їх рівень в сотні разів перевищує рівень полів природного походження. Джерелами випромінювань електромагнітної енергії є потужні радіо та телевізійні станції, ретранслятори, засоби радіозв'язку різного призначення, в тому числі і супутникового, промислові установки високочастотного нагрівання металів, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт, вимірювальні прилади, персональні комп'ютери (ПК).

В аеропортах та на військових об'єктах працюють потужні радіолокатори, які випромінюють в навколишнє середовище потоки електромагнітної енергії. Потужність та кількість джерел ЕМП постійно зростає.

Відомо, що навколо провідника, по якому протікає електричний струм, виникають електричне та магнітне поля. Якщо струм постійний, то ці поля існують незалежно одне від одного.

При змінному електричному струмі електричне та магнітне поля пов'язані між собою, становлячи єдине електромагнітне поле. При появі електричної напруги на струмоведучих частинах з'являється електричне поле (ЕП). Якщо електричне коло замкнуте, тобто по ньому протікає струм, це супроводжується появою магнітної складової поля, і в цьому випадку говорять про існування електромагнітного поля (ЕМП). Для характеристики ЕМП введено поняття напруженості його складових - електричного та магнітного полів.

Точний механізм впливу цього випромінювання на живий організм невідомий. В першу чергу його впливу схильна мембранна структура клітин.

Електромагнітне забруднення навколишнього середовища починається з загального для всього живого компонента - води. Вплив на неї має визначальне значення. Під впливом поля змінюються властивість води, що позначається на швидкості реакцій, що проходять в організмі.

На клітинному рівні, найбільш чутливою до різних фізичних і хімічних подразників і впливів є мембрана. Навіть незначне електромагнітне опромінення тягне за собою морфологічні та функціональні порушення в ній. Енергія поля клітини в результаті цього перетворюється в інші види, а клітина може збільшитися в розмірах.

Слабкі поля, до теплового порога, змінюють живу тканину і погіршують її регенерацію. Під дією змінного електричного поля вона нагрівається. Чим довше і під великою напругою знаходиться, тим її нагрівання більше. Будова тканини також впливає на ступінь її нагрівання. Особливо чутливі до

нагрівання такі органи тварин: мозок, нирки, сечовий і жовчний міхур і органи зору.

Мікроорганізми дуже чутливі до навіть слабких електромагнітних полів. При впливі на них полем, це проявляється в зниженні рухової активності, здатності до виживання і, відповідно, підвищеної смертністю. Більш того, опромінення може викликати мутації.

Рослини реагують на вплив слабких і сильних полів. Як правило, ця реакція відбивається на зростанні і функції розмноження. Зазначені зміни в формі і розмірах листя, квіток і стебел рослин, які ростуть під лініями електропередач, а також на приріст дерев, які ростуть поблизу. Надвисокочастотне випромінювання на картоплю і пшеницю втрат врожаю у них не викликало. Різний вплив на рослинний світ, як на основне джерело кисню і харчування на Землі, це вже сильний аргумент, щоб почати більш багатосторонні дослідження.

Комахи, що живуть в рослинному світі, по-своєму реагують на вплив випромінювань. Деякі види, в залежності від будови тіла і способу життя, уповільнюють свій розвиток і зростання, може бути втрата орієнтації або підвищена агресивність. Але основна реакція - це прагнення уникнути впливу поля ліній електропередач. Якщо ж мова йде про вплив НВЧ-випромінювання, то це, як правило, викликає летальний результат, що говорить про меншу стійкість комах до цього виду випромінювання, ніж рослин.

Встановлено, що під впливом електромагнітного поля, страждає, перш за все, центральна нервова система птахів і тварин. У щурів дія ЕМП викликає зміну загального стану, порушення обміну речовин, внутрішньоутробного і постнатального розвитку плоду у самок, а у самців проявляється безпліддям. Характерно, що птахи не гніздяться біля радіолокаційних станцій.

Вплив на різні види тварин не носить однакового характеру і може позначитися на співвідношенні видів в рамках однієї екосистеми. А це обов'язково призведе до дисбалансу і порушення її стійкості, а потім, можливо, її зміни і зникнення.

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання.

Встановлено, що переважна частина населення знаходиться в умовах підвищеної активності ЕМП. Можна вважати, що в діапазоні промислових частот (у тому числі 50 Гц) допустимо розглядати вплив на біологічний об'єкт електричної і магнітної складових поля роздільно (нарізно). В будь-якій точці ЕМП промислової частоти енергія магнітної складової поля, яка поглинається тілом людини, майже в 50 разів менша від енергії електричної складової цього поля, що поглинається тілом. Це дає змогу зробити висновок, що в діапазоні промислових частот дією магнітної складової поля на біологічний об'єкт можна знехтувати, а негативний вплив на організм обумовлений електричною складовою поля.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини взагалі залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень та захворювань.

На початку 60-х років у науково-технічній літературі з'явилися перші відомості про те, що люди, опромінені імпульсом НВЧ коливаль, можуть постійно чути якийсь звук. Залежно від тривалості та частоти повторень імпульсів цей звук сприймається як щебет, цвірінчання чи дзюркіт у деякій точці всередині чи ззаду голови. Це явище викликало інтерес вчених, які

розпочали систематичні дослідження на людях та тваринах. Під час дослідів люди повідомляли про свої відчуття.

Отже, електромагнітне випромінювання як хвороботворний чинник слід розглядати на підставі клінічних та експериментальних матеріалів. Сумісну дію цих випромінювань широкого діапазону можна класифікувати як окрему радіохвильову хворобу. Тяжкість її наслідків знаходиться у прямій залежності від напруженості ЕМП, тривалості впливу, фізичних особливостей різних діапазонів частот, умов зовнішнього середовища, а також від функціонального стану організму, його стійкості до впливу різних чинників можливостей адаптації.

Поряд із радіохвильовою хворобою (як специфічним результатом дії ЕМП) зростає ризик виникнення загальних захворювань, захворювань органів дихання, травлення тощо. Це відбувається також і за дуже малої інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи. Ймовірно, що причиною тут є порушення нервово-психічної діяльності як головної у керуванні всіма функціями організму.

У результаті дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц - 300 МГц спостерігається: загальна слабкість, підвищена втома, сонливість, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухомі реакції. Виникає ряд симптомів, які свідчать про порушення роботи окремих органів - шлунку, печінки, підшлункової залози. Погіршуються харчові та статеві рефлексії, діяльність серцево-судинної системи, фіксуються зміни показників білкового та вуглеводного обміну, змінюється склад крові, зафіксовані зміни на рівні клітин.

При систематичній дії ЕМП високої та надвисокої частоти на організм людини спостерігається підвищення кров'яного тиску, трофічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів). ЕМП викликають зміну поляризації молекул та атомів, які є складовою частиною клітин, в результаті чого виникає небезпечний нагрів. Надмірне тепло може нанести шкоду як окремим органам, так і всьому організму людини.

Вплив випромінювань надвисокої частоти (НВЧ) на організм людини привертає увагу великої кількості дослідників і відображається у численних наукових доповідях і публікаціях. В одній із них наведені відомості про клінічні прояви дії НВЧ залежно від інтенсивності опромінення. При інтенсивності близько 20 мкВт/см² спостерігається зменшення частоти пульсу, зниження артеріального тиску, тобто явна реакція на опромінення. Вона сильніша й може навіть виражатися у підвищенні температури шкіри в осіб, які раніше потрапляли під дію опромінення.

Із ростом інтенсивності відбуваються електрокардіографічні зміни, при хронічному впливі - тенденція до гіпотонії, до змін у нервовій системі. Потім спостерігається прискорення пульсу, коливання об'єму крові.

При інтенсивності 6 мВт/см² помічені зміни у статевих залозах, у складі крові, помутніння кришталика. Далі - зміни у здатності крові зсідатися, умовно-рефлекторній діяльності, вплив на клітини печінки, зміни у корі головного мозку. Потім - підвищення кров'яного тиску, розрив капілярів і крововиливи у легені та печінку.

Випромінювання інтенсивністю до 100 мВт/см² викликають стійку гіпотонію, стійкі зміни серцево-судинної системи, двосторонню катаракту. Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові почуття. Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см², це спричинює дуже швидко втрату зору, що є одним із серйозних ефектів дії НВЧ на організм людини. На більш низьких частотах такі ефекти не відбуваються, і тому їх треба вважати специфічними для НВЧ діапазону. Ступінь пошкодження залежить, в основному, від інтенсивності та тривалості опромінення.

Інтенсивне НВЧ опромінення відразу викликає сльозотечу, подразнення, звуження зіниці ока. Після короткого (1-2 доби) прихованого періоду спостерігається погіршення зору, що посилюється під час повторного опромінення і свідчить про кумулятивний характер пошкоджень. Спостереження за людьми доводять існування механізму відбудови пошкоджених клітин, який вимагає тривалого часу (10-20 діб). Зі зростанням

часу та інтенсивності впливу пошкодження набувають незворотного характеру.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. Але серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1...10 ГГц має кришталік. Сильні пошкодження кришталіка зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²). За малої інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої - по всьому об'єму кришталіка.

Катароутворення пояснюється не тільки тепловою дією, воно залежить також від ряду інших не повністю встановлених чинників. Значну роль можуть відігравати концентрація поля у середовищах з окремими діелектричними властивостями та об'ємні резонансні ефекти. Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії ЕМ-випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань. Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 "ССБТ. Электромагнитное поле радиочастот рівні ЕМП необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція старих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію.

Вплив електромагнітного поля на водні і ґрунтові екосистеми слабо вивчені, а проведені дослідження показали стійкість цих систем і слабкий на них вплив випромінювання.

7.2 Розрахунок інтенсивності електромагнітного поля на робочому місці

Під час налагоджування, ремонту, випробування та експлуатації радіоелектронної апаратури електротермічних установок існує можливість опромінення обслуговуючого персоналу.

В зв'язку з цим необхідно здійснювати попередній розрахунок інтенсивності опромінення електромагнітного поля та передбачати використання засобів захисту від випромінювань.

При ізотропному випромінюванні напруженість електричної E та магнітної H складових поля у ближній зоні:

$$E = \frac{Il}{2\pi\omega\epsilon r^3}; \quad (8.1)$$

$$(8.2)$$

де: I - сила струму в провіднику (антені), А; l - довжина провідника (антени), м; ω - кругова частота поля; ϵ - діелектрична проникність середовища; r - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м.

В дальній зоні напруженість електричної та магнітної складових:

$$E = \frac{\sqrt{30P\sigma}}{r}; \quad (8.3)$$

$$H = \frac{\sqrt{P\sigma/30}}{4\pi r}; \quad (8.4)$$

де: P - потужність випромінювання, Вт; σ - коефіцієнт підсилення антени.

При напрямленому випромінюванні щільність потоку енергії в ближній зоні по осі діаграми направленості випромінювання:

$$(8.5)$$

де: $P_{\text{СЕР}}$ - середня потужність випромінювання, Вт; S - площа випромінювальної системи, м².

Для установок, котрі працюють в імпульсному режимі, середня потужність:

$$(8.6)$$

де: $P_{\text{ІМП}}$ - потужність випромінювання в імпульсному режимі; τ - тривалість імпульсу; T - період чергування імпульсів.

У проміжній зоні щільність потоку енергії:

(8.7)

де r - відстань від центра розкриття антени до даної точки, розташованої в проміжній зоні.

В дальній точці щільність потоку енергії по осі випромінювання :

(8.8)

Визначаємо допустиму величину магнітної складової поля з врахуванням, що допустима напруженість поля $E_{\text{п.д.}} = 5 \text{ В/м}$ (за санітарними нормами):

Напруженість на робочому місці при відсутності екрана:

Необхідна ефективність екранування на робочому місці:

Дійсна ефективність екранування на робочому місці:

де: d - товщина екрана, мм; δ - глибина проникнення поля в екран, м; μ_e^1 -

відносна магнітна проникність екрана $\left(\mu_e^1 = \frac{\mu_e}{\mu_0}\right)$.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_e \gamma_e \omega f}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,55 \cdot 10^7 \cdot 314 \cdot 6 \cdot 10^4}} = 0,32 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d = 1$ мм.

Таким чином, вибраний екран забезпечує необхідний захист на місці, оскільки $E_{x.d.} > E_{x.n.}$ ($10,5 > 1,57$).

7.3. Способи захисту від електромагнітного поля

Вибір того чи іншого способу захисту від дії електромагнітних випромінювань залежить від робочого діапазону частот, характеру виконуваних робіт, напруженості та щільності потоку енергії ЕМП, необхідного ступеня захисту.

До заходів щодо зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел ЕМП, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно

використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і радіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спірально обвитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок неконтактуючих проводів.

Найбільш ефективним способом захисту є екранування. Електромагнітне поле послаблюється екраном внаслідок створення в його товщі поля протилежного напрямку. Ступінь ослаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщу екрану. Чим більша магнітна проникність екрана і вище частота екрануючого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана. Екранують або джерело випромінювань, або робоче місце.

Крім виконання своєї прямої функції, екранування значно знижує шкідливий вплив електромагнітних випромінювань на організм людини. Воно дозволяє також зменшити вплив електромагнітних шумів на роботу пристроїв.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

Таким чином, усвідомлення небезпеки дії електромагнітних полів та обізнаність у методах захисту від них є необхідною умовою для людини, що здійснює виявлення наявності електромагнітних полів у приміщенні.

Висновок

У зв'язку зі стрімким зростанням числа технологій і приладів уникнути впливу ЕМП в сучасному світі практично неможливо.

Вплив електромагнітних полів на біо-об'єкти залежить від багатьох чинників: типу поля і його характеристик, самого біо-об'єкта, а також від властивостей середовища, що його оточує. Сам вплив електромагнітних полів багатогранний, але можна зробити висновки, що найбільші зміни відбувається на клітинному рівні. Причому нагрівання тканин організму, за досить високої інтенсивності випромінювання, не значне. Тому можна стверджувати, що вплив на біо-об'єкти обумовлений взаємодіями електромагнітного поля з інформаційними електричними полями організму, що призводить до порушення природних ритмів і спричиняє фізіологічні порушення у вигляді радіохвильової хвороби.

Різні організації як державні, так і міжнародні розробили безліч стандартів і вимог для запобігання якого б то не було впливу електромагнітного поля на людину. Майже вся електронна техніка, що реалізується в ринкових умовах відповідає цим вимогам. Таким чином, можна зробити висновок, що дотримання санітарних і гігієнічних норм при містобудуванні і виконання

необтяжливих рекомендацій з використання побутових приладів практично нівелює вплив електромагнітних полів на людину. Хоча це питання має і буде досліджуватися далі.

Окрім цього велике значення має дотримання правил дотримання електромагнітного захисту на підприємствах, враховуючи вік працівника, індивідуальні особливості, стан здоров'я.

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ

У зв'язку з тим, що тема дипломного проекту передбачає дослідницьку діяльність, суб'єктом охорони праці обрано інженера-дослідника. Оскільки робота інженера-дослідника проводиться в оточенні, в якому знаходяться безліч електричних, теплових та інших чинників, що заважають і можуть становити загрозу йому та якості його праці, постає необхідність розробки заходів з охорони праці для даного суб'єкта.

Для аналізу умов праці було обрано робоче місце у дослідницькій лабораторії, яка знаходиться в будівлі ДП «Український державний центр радіочастот».

Позначення: 1 – вікно; 2 – батарея опалення; 3 – жалюзі; 4 – стілець; 5 – стіл; 6 – комп'ютер; 7 – шафа; 8 – кондиціонер; 9 – шафа для одягу; 10 – телефон; 11 – вогнегасник; 12 – принтер типу МФП; 13 – Wi-Fi роутер; 14 – радіо; 15 – аналізатор спектру.

На суб'єкта охорони праці (інженера-дослідника) в межах лабораторії та його робочого місця діють такі шкідливі та небезпечні виробничі чинники:

- 1) неіонізуючі електромагнітні поля і випромінювання;
- 2) виробничий шум;
- 3) штучне освітлення;
- 4) електрична мережа та підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого при певних ситуаціях може відбутися через тіло людини;
- 5) шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

Неіонізуючі електромагнітні поля і випромінювання

На інженера-дослідника на його робочому місці діють електромагнітні випромінювання промислової частоти від техніки та устаткування і електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону.

Згідно з ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» напруженість електромагнітного поля промислової частоти (50 Гц), що діє на інженера-дослідника не повинна перевищувати 5 кВ/м.

Граничні значення для неіонізуючого випромінювання радіочастотного діапазону наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Граничні значення для неіонізуючого випромінювання радіочастотного діапазону

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот				
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц
$E_{гд}, \frac{В}{М}$	1000	700	500	300	80
	120000	40000	20000	7000	800
$H_{гд}, \frac{А}{М}$	75	57	50	-	3,0*
	675	390	200	-	0,72*

* ГДР енергетичного навантаження магнітного поля поширюється на діапазон частот 30-50 МГц.

Виробничий шум

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівні шуму в дослідницькій лабораторії, що діє на інженера-дослідника, мають складати 50 дБ, а фактичне значення рівня шуму складає 55-65 дБ. Це пов'язано з наявністю у приміщенні установок кондиціонування повітря, вентиляції та повітряного опалення, які утворюють шум. На робочому місці наявні такі види шумів як механічний, електромагнітний та аеродинамічний; інфра- та ультразвук відсутні.

Рівні звукового тиску, що характеризують ступінь перевищення звукового тиску над певним порогом сенсорного сприйняття даного фактору, для виробничого шуму наведені у табл. 8.2.

Рівні звукового тиску в дБ для працівників лабораторії

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньогерметтичними частотами, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Еквівалентні рівні шуму, дБ А
Наукова діяльність, робочі місця – лабораторії для теретичних робіт та обробки даних	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Природне і штучне освітлення

Згідно з ДБН-В.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення» нормовані показники освітленості на робочому місці інженера-дослідника мають складати 300-500 лк, а фактичне значення освітленості складає 250-430 лк. Це пов'язано з застарілістю системи освітлення. Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях визначається, в основному, характеристикою зорової роботи. Нормовані показники носять міжгалузевий характер.

Місцеве освітлення – це освітлення, що додається до загального, що створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Чергове освітлення – освітлення за відсутності основного робочого процесу. Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки та евакуаційне.

Евакуаційне освітлення: у приміщеннях 0,5 лк, на відкритих ділянках – 0,2 лк.

На робочому місці інженера-дослідника використовується змішане освітлення. В якості природного освітлення в даному приміщенні використовується одностороннє освітлення за допомогою трьох вікон.

Для штучного освітлення в даному випадку необхідні джерела світла з досить великим ККД у світильниках загального освітлення, що розташовуються рівномірно по всій площі приміщення. Найкраще підходять в такому випадку світлодіодні (LED) лампи, які мають один з найвищих показників світловіддачі.

В нашому випадку використовуються люмінесцентні лампи, які розміщені так, як показано на рис. 8.2.

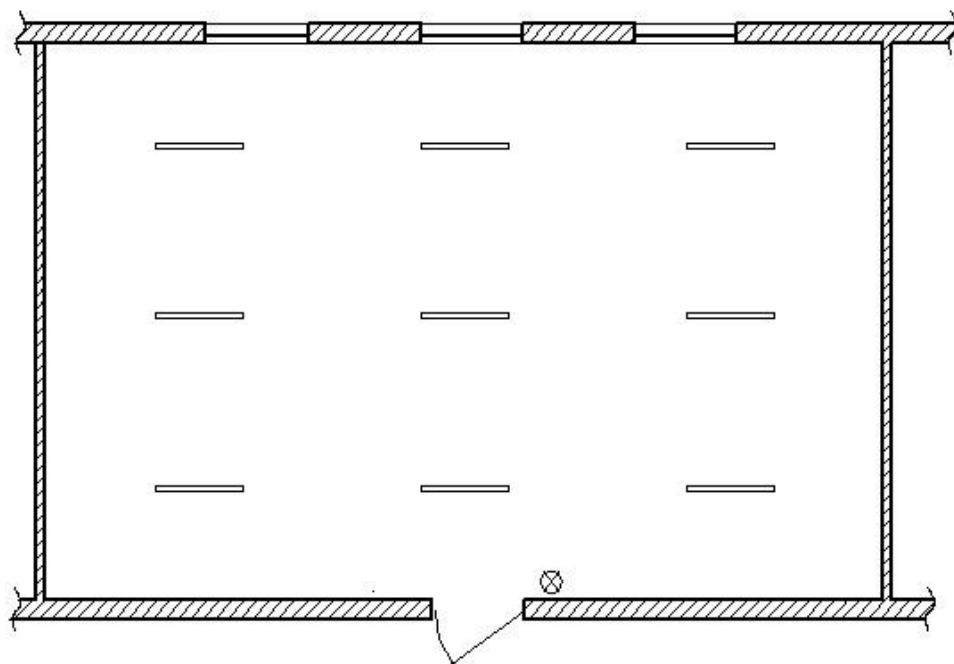


Рис. 8.2. Розміщення ламп та аварійного освітлення

При правильно розрахованому і виконаному освітленні виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети, не стомлюючись. Такі умови сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей. Рациональне освітлення має задовольняти ряд вимог та умов.

Воно має бути:

- достатнім, щоб мати можливість без напруги розрізняти предмети;
- постійним для цього напруга в мережі живлення не повинна коливатися більше ніж на 4%;
- рівномірно розподіленим по робочих поверхнях;
- таким, що не здійснює осліплюючу дію на око людини як від самого джерела світла, так і від поверхонь, що віддзеркалюють його та знаходяться в полі зору інженера;
- не викликати різких тіней на робочих місцях. Цього можна уникнути при правильному розташуванні світильників.

8.2. Розрахунок параметрів електромагнітного поля

Ведемо розрахунки згідно з формулами, представленими в ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів».

Розраховуємо допустимий час перебування в електричному полі за формулою:

$$, \tag{8.1}$$

$T_{гд}$

де: $T_{гд}$ - допустимий час перебування в електричному полі при відповідному рівні напруженості, год; E - напруженість електричного поля у контрольованій зоні, кВ/м, що дорівнює 5 кВ/м.

За одержаними даними розраховуємо допустимі значення енергетичного навантаження протягом допустимого часу перебування в електромагнітному полі частотою 50-300 МГц використовуючи формули:

(8.2)

(8.3)

$E_{гд}$ та $H_{гд}$ - граничнодопустимі значення напруженості електричного (В/м) та магнітного (А/м) полів, що становлять 10 В/м та 0,28 А/м відповідно;

та - граничнодопустимі значення енергетичного навантаження протягом

робочого дня, та .

Після перетворення отримуємо потрібні для розрахунку формули:

(8.4)

(8.5)

Отже, згідно з розрахованими даними, допустимий час перебування в електричному полі відповідає часу регламентованого робочого дня, а допустимі значення енергетичного навантаження відповідають граничним значенням, наведеним в табл. 8.1.

8.3. Пожежна безпека

Основними причинами пожеж та вибухів на підприємстві є:

- несправність виробничого обладнання
- несправність та перенавантаження електричного обладнання;
- необережне ставлення до вогню (паління, використання відкритого вогню в недозволених місцях, залишання без нагляду електрообладнання);
- порушення правил пожежної безпеки.

Згідно з НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні», у приміщеннях встановлюються надійні засоби попереднього сповіщення

небезпеки виникнення пожежі, та розміщуються схеми евакуації (рис. 8.3). На стелі приміщення встановлюється певна кількість датчиків пожежної сигналізації.

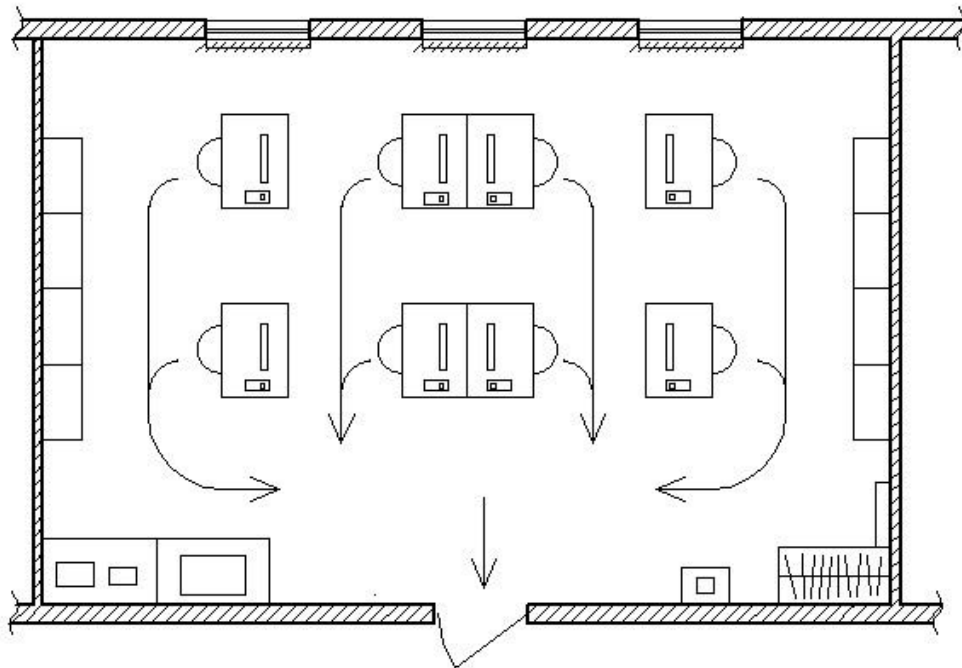


Рис. 8.3. План евакуації з приміщення

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», дане приміщення належить до категорії «Д». В ньому повинна бути встановлена система пожежної сигналізації типу «ППКП Тирас-4П» (система стикується з пультом пожежної охорони) з димовими пожежними сповіщувачами СПД-3.4, та переносні порошкові вогнегасники ВП-5, в кількості 1 шт.

В даному розділі розглядалося робоче місце інженера-дослідника в дослідницькій лабораторії НДІ.

Основними шкідливими чинниками являються працюючі технічні засоби та устаткування, а саме дія електромагнітного поля та енергетичного навантаження від них на інженера-дослідника протягом робочого дня. Були розраховані допустимий час перебування інженера-дослідника в приміщенні та допустимі значення енергетичного навантаження протягом цього часу. Для даного випадку в якості захисту можна запропонувати застосування методу екранування – встановити в потрібних місцях стаціонарні екрани, а в

якості індивідуального захисту використовувати індивідуальні екрануючі комплекти.

ВИСНОВКИ

Радіомоніторинг є важливою діяльністю в сфері контролю за використанням РЧР, а також активно застосовується військовими та відомчими організаціями задля виявлення, спостереження та знешкодження технічних засобів противника, здійсненні пошуку електронних засобів запису інформації під час дипломатичних зустрічей високого рівня та ін. Особливої актуальності РМ набуває в умовах бурхливого розвитку інтернету речей, інформаційних і телекомунікаційних технологій.

В ході виконання дипломної роботи було досліджено особливості побудови та специфіку роботи різних типів аналізаторів спектра, а також виявлення та спостереження за радіовипромінюваннями, розглянуто види радіомоніторингу та радіотехнічного контролю, встановлено процедури за якими вони здійснюється.

Проведені дослідження показали, що моніторинг радіочастотного спектра здійснюється, переважно, із застосуванням стаціонарних і мобільних засобів, що входять до загальної системи АСРМ. Складовою частиною АСРМ є цілий комплекс контрольно-виміральної апаратури, що включає в себе: генератори високочастотних сигналів, вимірвачі потужності, вимірвальні антени, засоби вимірювання геодезичного та топографічно-навігаційного призначення, засоби вимірювання висот підвісу антен, аналізатори спектру (аналізатори сигналів) та ін. Дослідивши класифікацію та особливості кожної з груп дійшов до висновку, що саме аналізатори спектру є основними вимірвальними приладами, призначеними для здійснення аналізу сигналів і вимірювання їх характеристик.

Для чіткого розуміння принципів роботи контрольно-вимірального обладнання завдяки якому реалізується РМ, було визначено основні характеристики радіосигналів, що виявляються в процесі радіомоніторингу, здійснено їх математичний аналіз. Такими характеристиками є - частота випромінювання, рівень сигналу, напруженість поля, щільність потужності, ширина смуги частот радіовипромінювання. Аналіз відбувався з огляду рекомендацій ІТУ-Р та положень УЦРЧ в розрізі практичного вимірювання вищевказаних характеристик.

Для того щоб повністю розкрити тему моніторингу випромінювань у реальному часі, значна увага в дипломній роботі приділена аналізаторам спектру. В умовах великої кількості спеціалізованого обладнання для задач РМ, що виробляється відомими корпораціями такими як: Rohde & Schwarz, Tektronix, Keysight, основним завданням було віднайти аналізатор спектра, котрий би мав високу ефективність при здійсненні аналізу швидкоплинних процесів. Під час проведення досліджень з цього питання було детально розглянуто, принципи побудови та особливості роботи гетеродинних (скануючих) та векторних спектроаналізаторів. Дослідження здійснювалось на основі структурних схем, що дало можливість побачити всю тенденцію розвитку застосовуваних схемотехнічних рішень. Таким чином визначено, що гетеродинні аналізатори спектру з розгорткою не здатні забезпечувати

синхронізацію по нестационарних сигналах та не зберігають повний запис інформації про залежність сигналу від часу, оскільки перенесення компонентів спектру в смугу проміжної частоти в них здійснюється послідовно за допомогою скануючого супергетеродина (перелаштовуваного). Тобто можна зробити висновок, що такі пристрої не підходять для аналізу цифрової модуляції. Що стосується векторних аналізаторів спектра сигналу, то їх застосування дозволяє аналізувати цифрові модуляції, оскільки вони дають інформацію про амплітуду та фазу сигналу. Проте їх недоліком є те, що в переважній більшості векторних аналізаторів при послідовній обробці пакетів записаних в пам'яті пристрій не реагує на події, що з'являються між моментами реєстрації даних. Ця особливість унеможлиблює виявлення одиничних подій.

Найтехнологічнішими є аналізатори спектру в реальному режимі часу. Вони здатні синхронізуватись як по відомим, так і по непередбачуваним подіям, миттєво захоплювати сигнали, зберігати їх в пам'яті, здійснювати аналіз залежності від частоти, амплітуди та параметрів модуляції від часу.

Реалізувати такі можливості стає можливим завдяки високошвидкісній оцифровці та запам'ятовуванню сигналу за допомогою АЦП і блоку пам'яті та його детектуванню цифровим гетеродином. При цьому групи кадрів – блоки піддаються цифровій обробці із застосуванням короткого перетворення Фур'є. Це дає змогу будувати спектрограми сигналів у площині «час-частота», на відміну від звичайних спектроаналізаторів, де спектр будується в площині «амплітуда – частота». На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що аналізатори спектра реального часу ідеально підходять для аналізу динамічних РЧ сигналів та перехідних процесів.

Опрацювання великої кількості літератури, технічних брошур та навчальних посібників безпосередньо від виробників дало змогу візуалізувати реальні спектрограми сигналів, що можуть бути отримані аналізаторами спектрів реального часу.

Отримані в результаті досліджень дані дозволяють стверджувати що можливості сучасних спектральних аналізаторів повністю відповідають

викликам сучасності, проте вартість таких пристроїв є дуже високою (від 1.5 до 8 тис. у о.). Це значно ускладнює та навіть унеможлиблює їх використання в навчальному процесі і радіолюбительській практиці.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-14#Text>
2. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3759-12#Text>
3. <https://www.kmu.gov.ua/npas/25976178>
4. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/803%D0%B0-95-%D0%BF#Text>
5. «Радиосигналы и радиоустройства в информационных системах»
Александр Куприянов
6. <https://studfile.net/preview/3757704/page:4/>

7. https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/28232/1/%d0%9f%d1%96%d0%b4%d1%80%d1%83%d1%87%d0%bd%d0%b8%d0%ba_%d0%95%d0%9c%d0%a1%d0%a0%d0%95%d0%90.pdf
8. https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/152..htm
9. <https://www.delphiplus.org/zashchita-informatsii-tekhnicheskimi-sredstvami/printsiyu-postroeniya-i-vidy-panoramnykh-priemnikov.html>
10. **«Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики», В. П. Дьяконов**
11. Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : збірник наукових праць. Вип. 14 / Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова. – Житомир : ЖВІ, 2017. – 144, 42-43с.
12. http://www.elcomdesign.ru/netcat_files/File/27.pdf
13. http://www.tehcom.com/Categories/Spectrum_Signal_Analyzers/Theory/Tektronix_Guide_to_Real_Time_Spectrum_Analysis.pdf
14. Слободянюк П.В., Благодарный В.Г. Справочник для инженеров по радиомониторингу.- Киев, 2012. – 720 с.
15. Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А. Супутникові системи зв'язку і навігації. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2019. –123 с
16. Регламент радиосвязи. Сборник рабочих материалов по международному регулированию планирования и использования радиочастотного спектра. Т.1. – М.: 2004.
17. Recommendation ITU-R SM.328-11. Spectra and bandwidth of emissions
18. ДСТУ 3254-95. Радіозв'язок. Терміни та визначення. –К.: Держстандарт України, 1996.
19. Recommendation ITU-R SM.443-4. Bandwidth measurement at monitoring.

- 20.Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу – Ніжин "Видавництво "Аспект-Поліграф" 2008 – 19с.
- 21.ГОСТ 30318-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерения и контроля. – 36 с
- 22.Нормы 19-02. Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения. – М.:ГКРЧ, 2002.
- 23.Басанський О.А. Вимірювання займаної ширини смуги частот випромінювання цифрового телебачення : Дисертація - Київ – 2015, – 115 с.
- 24.Recommendation ITU-R SM.378-7. Field-strength measurement at monitoring stations.
- 25.Методика інструментального оцінювання (вимірювання) напруженості електромагнітного поля випромінювання засобами радіочастотного контролю/Затвер. наказом Українського державного центру радіочастот 22.01.2007 N 12. – 13 с.
- 26.http://www.emftest.ru/media/2017/09/Modulyaciya_i_formirovanie_signalov_v_s_pomoshchyu_generatorov_signalov_kompanii_r_s_Obuchayushchie_materialy.pdf
- 27.Анализаторы сигнала в реальном времени. Серия RSA5100B.Краткое руководство по эксплуатации. Tektronix Inc. –
- 28.Основы анализа спектра в режиме реального времени, научное пособие: 2Test Inc,
- 29.Agilent Spectrum Analysis Basics Application Note 150: Agilent Technologies – 2014, 17, 25, 26 с.
- 30.Carl-Laufer - The-Hobbyists-Guide-To-RTL-SDR, 2014 – 54, 101с.