

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Шутко В.М.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
"БАКАЛАВР"**

Тема: \_\_\_\_\_ Використання портативного програмно-визначеного ресиверу  
\_\_\_\_\_ для моніторингу та розпізнання радіовипромінювань \_\_\_\_\_

Виконавець: \_\_\_\_\_ Лисенко О.О. \_\_\_\_\_

Керівник: \_\_\_\_\_ Іванов В.О. \_\_\_\_\_

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_

**Київ 2021**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ аеронавігації, електроніки та телекомунікацій \_\_\_\_\_

Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернет речей \_\_\_\_\_

Освітнього ступеня \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_

Спеціальність 171 “Електроніка” ОПП “Електронні системи” \_\_\_\_\_  
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Шутко В.М.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи (проекту)

\_\_\_\_\_ Лисенка Олександра Олександровича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** “Використання портативного програмно-визначеного ресиверу  
\_\_\_\_\_ для моніторингу та розпізнання радіовипромінювань” \_\_\_\_\_

затверджена наказом ректора від "01" \_\_\_\_\_ квітня 2021 року № 526 /ст. \_\_\_\_\_

**2. Термін виконання роботи:** з 17.05.2021 до 20.06.2021 \_\_\_\_\_

**3. Вихідні дані до роботи:** 1) вимоги до змісту системи;  
\_\_\_\_\_ 2) основні операції в системі \_\_\_\_\_

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**

1) аналіз принципів роботи скануючих приймачів; \_\_\_\_\_

2) аналіз методів розробки SDR-приймача; \_\_\_\_\_

3) розробка структурних схем SDR-приймача та налаштування його роботи. \_\_\_\_\_

**5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:**

1) \_\_\_\_\_

2) \_\_\_\_\_

3) \_\_\_\_\_

4) \_\_\_\_\_

5) \_\_\_\_\_

## 6. Календарний план

№ п/п	Етапи виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів	Примітка
1	Провести аналіз літератури за темою дипломного проекту та аналіз існуючих систем	17.05.21-19.05.21	
2	Провести аналіз предметної області передачі радіосигналів	19.05.21-21.05.21	
3	Написати перший розділ пояснювальної записки	22.05.21-23.05.21	
4	Розробити структуру апаратних засобів для моніторингу та розпізнання радіовипромінювань	24.05.21-26.05.21	
5	Написати другий розділ пояснювальної записки	27.05.21-29.05.21	
6	Провести налаштування програмних засобів	30.05.21-02.06.21	
7	Написати другий розділ пояснювальної записки	03.06.21-05.06.21	
8	Оформити пояснювальну записку згідно нормативних положень	06.06.21-12.06.21	
9	Підготувати презентацію та графічні матеріали	13.06.21-14.06.21	
10	Захистити дипломний проект	15.06.20-20.06.21	

## 7. Дата видачі завдання « 17 » травня 2021 р.

Керівник дипломного проекту \_\_\_\_\_ Іванов В.О.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Лисенко О.О.  
(підпис студента)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту “Використання портативного програмно-визначеного ресиверу для моніторингу та розпізнання радіовипромінювань”: \_\_\_ с., 15 рис., \_\_ літературних джерела, \_\_\_ додаток.

*Radio, SDR*, радіовипромінювання, радіомоніторинг, радіохвиля, радіоелектронне обладнання.

**Об’єкт дослідження** – процеси моніторингу та розпізнання радіовипромінювань.

**Предмет дослідження** – портативний програмно-визначений ресивер для моніторингу та розпізнання радіовипромінювань.

**Мета дипломної роботи:** створення портативного аналізатора спектру на основі програмно-визначеного ресиверу *SDR*

**Прогнози припущення щодо розвитку об’єкта дослідження** – використанні розробленого пристрою для пошуку РЕО.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ .....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ СКАНУЮЧИХ ПРИЙМАЧІВ .....	11
1.1 Особливості поширення радіохвиль .....	11
1.2. Вплив перешкод на якість зв'язку .....	16
1.3. Загальні поняття радіомоніторингу .....	19
1.4. Технічні засоби радіомоніторингу .....	20
1.5. Аналіз ринку обладнання радіоконтролю та спеціальних засобів вимірювань .....	23
1.6. Висновки до розділу .....	26
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ <i>SDR</i> -ПРИЙМАЧА .....	27
2.1. Поняття про <i>SDR</i> -технологію .....	27
2.2. Узагальнена схема <i>SDR</i> -приймача .....	38
2.3. Використання <i>SDR</i> -технології для моніторингу радіомережі .....	41
2.4. Висновки за розділом 2 .....	45
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ <i>SDR</i> -ПРИЙМАЧА ТА НАЛАШТУВАННЯ ЙОГО РОБОТИ .....	46
3.1. Структурна схема апаратної частини скануючого <i>SDR</i> - приймача .....	46
3.2. Розрахунок основних параметрів лінійного тракту приймача .....	48
3.3 Підбір елементів лінійного тракту .....	49
3.4. Розрахунок коефіцієнтів посилення і коефіцієнта шуму приймального тракту .....	57
3.5. Висновки за розділом 3 .....	58
ВИСНОВКИ .....	59
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	61
Додаток А 65	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

*DFD – Data Flow Diagrams*

*SADT – Structured Analysis and Design Technique*

*SDR – Software Defined Radio*

ІМ – інфологічна модель

РЕО – радіоелектронне обладнання

## ВСТУП

Радіоприймальні пристрої – це головний і важливий елемент будь-якої системи передачі інформації, що використовує радіохвилі. За рахунок нього відбувається управління енергією електромагнітного поля, що переносить корисну інформацію, посилення потужності корисного радіосигналу, детектування, посилення потужності прийнятого сигналу і перетворення його в повідомлення, яке надходить одержувачу інформації.

У точці прийому присутні сторонні електромагнітні поля. Природного і штучного походження створювані джерелами радіозавад. Корисний сигнал спотворюється за рахунок перешкод і тому відбуваються помилки в прийомі повідомлення. Беручи до уваги, що реальні умови прийому сигналів змінюються в часі, режими його роботи і структура приймача повинні бути оптимізовані, з метою отримання мінімальної величини помилки в точці прийомі повідомлень.

Останнім часом в області радіозв'язку з'явився новий термін – "радіомоніторинг", який розкриває діяльність по контролю і вивчення радіообстановки. В якості основних пристроїв радіомоніторингу на даний момент використовуються багатоканальні скануючі приймачі, що дозволяють виробляти автоматичний пошук знаходяться в ефірі радіосигналів, так і здійснювати постійний контроль заздалегідь заданих частот.

Визначення напрямку на джерело радіовипромінювання (ДРВ) є одним із головних завдань, що повинні виконуватись системами радіомоніторингу та контролю використання радіочастотного ресурсу [20, 21]. Для виконання вимог сучасності системами радіомоніторингу повинні базуватись на підходах програмно визначеного радіо (ПВР), як і більшість існуючих та перспективних класів радіотехнічних систем [1]. Це дає змогу здійснювати швидко та гнучке реконфігурування приймальних трактів, реалізовувати методи виявлення, визначення параметрів, класифікації та демодуляції різних видів сигналів [1, 7]. Основною проблематикою є те, що радіопеленгатори вважаються окремими,

досить складними частинами систем радіомоніторингу. Проте застосування підходів, які надає технологія ПВР, дозволяє значно спростити реалізацію відомих методів радіопеленгування, скоротити склад апаратної частини та реалізувати функції радіопеленгування у кожному програмно визначеному радіоприймачі. У зв'язку із цим існує актуальне науково-практичне завдання, яке полягає у реалізації методів автоматичного радіопеленгування у системах радіомоніторингу.

Забезпечення безпеки при веденні переговорів у радіосистеми встає на перше місце, коли передається інформація має конфіденційний характер або є інформацією обмеженого доступу, що особливо актуально для державних відомств і великих комерційних підприємств. Однак, саме той факт, що інформація представляє якийсь інтерес, може спонукати потенційного порушника до протиправних дій.

В органах державної безпеки, розвідки і спеціального зв'язку проблеми радіомоніторингу є доволі актуальним на даний момент.

Наприклад, останні дослідження дозволяють використовувати метод оцінки відбитків передавачів АЗН-В, що використовуються в сучасних літаках. Представлений вченими метод може стати проблемою для держав, які намагаються видавати свої військові або урядові літаки за звичайні цивільні. Технологія АЗН-В використовується на багатьох сайтах для відстеження рейсів, в тому числі *Flight Radar 24* і *Flightaware*. Передавачі АЗН-В транслюють *GPS*-координати літака і його унікальний ідентифікатор, зареєстрований уповноваженим державним органом. Для захоплення радіосигналів дослідники використовували приймач з відкритим вихідним кодом *RTL-SDR*, а для їх обробки – згорткові нейронні мережі *Alexnet* і *GoogLeNet*.

Необхідно виділити ряд причин, що призводять до ускладнення РЕО на захищених (контрольованих) об'єктах:

– велика кількість радіостанцій розташоване в дуже стислому і обмеженому просторі, що сильно ускладнює розпізнавання побічних радіозасобів;



– значне зростання швидкості передачі інформації і використання надмірності для збільшення скритності і завадостійкості радіозасобів, до яких відносяться в першу чергу пристрої, які застосовуються в вимірювальних та інформаційних радіосистемах як державних, так і комерційних структур, широкопasmові системи з динамічної частотно-часовою структурою і т.п.;

– нерівномірний за часом використання РЕЗ, яке призводить до додаткового ускладнення РЕО в моменти найбільшої інтенсивності роботи радіосистем.

З розвитком нових технологій, що використовується радіоэфір «забруднюється» непотрібними перешкодами, які дуже сильно впливають на якість інформації, що передається. Найчастіше при організації зв'язку між абонентами чутність переданих повідомлень залишається на низькому рівні. Для підвищення якості зв'язку необхідний якісний радіомоніторинг, але його використання ускладнюється через низку деяких причин:

1. Велика частина станцій зв'язку відноситься до парку старого типу, а дані апаратні не укомплектовані цим обладнанням;

2. Вітчизняні і зарубіжні аналізатори спектра мають високу вартість і не розраховані для роботи в польових умовах;

3. Для оснащення станцій старого парку сучасним обладнанням займе багато часу. Виходячи з цього, в дипломному проекті пропонується проектування приймального пристрою за технологією *SDR* для оперативного моніторингу радіомережі. Даний аналізатор спектра має ряд переваг відносно іншої апаратури вимірювання і аналізу.

Метою роботи є оцінка можливості реалізації приймального пристрою на основі *SDR*-технологій для визначення радіовипромінювань.

Для досягнення мети були визначені завдання, які необхідно вирішити в процесі дослідження:

- проаналізувати існуючі скануючі приймачі;
- проаналізувати шляхи розробки приймача за технологією *SDR*;
- розробити структурну схему *SDR* приймача.

Дипломний проект складається з 3 глав. У першому розділі розглянуто суть *SDR*-технології, існуючі види перешкод різного походження в радіодіапазоні і проведено аналіз існуючих способів і пристроїв, застосовуваних для оцінки радіочастотного спектру. У другому розділі розглянуто принципи і методи побудови *SDR* приймачів. У третьому розділі викладена апаратна частина приймача за технологією *SDR* для контролю радіочастотного спектру.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ СКАНУЮЧИХ ПРИЙМАЧІВ

#### 1.1 Особливості поширення радіохвиль

В даний час дослідження радіохвиль ведуться в багатьох провідних університетах світу.

Радіохвилі – це «що поширюються в просторі змінні електромагнітні поля».

При випромінюванні електромагнітних хвиль при зміні частоти коливань зарядів змінюється довжина хвилі і купується різні властивості. При цьому процесі відбувається виділення енергії.

Електромагнітні хвилі мають здатність поширення. Руху зарядів властиво прискорення, швидкість яких змінюється з плином часу і є головною умовою для випромінювання електромагнітних хвиль. Потужність хвилі безпосередньо пов'язана з силою прискорення і прямо пропорційна їй.

Показники, що відображають особливості електромагнітного випромінювання:

- частота коливання заряджених частинок;
- довжина хвилі випромінюваного потоку;
- поляризація (рис. 1.1).

Довжина хвилі ( $\lambda$ ) – це відстань між сусідніми гребенями хвилі.

Амплітуда ( $a$ ) – максимальне відхилення від середнього значення при коливальному русі.

Період ( $T$ ) – час одного повного коливального руху

Частота ( $\nu$ ) – кількість повних періодів в секунду

<i>Кафедра ЕРМІТ</i>				НАУ 21 03 96 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	<i>Лисенко О.О.</i>			<i>Аналіз принципів роботи скануючих приймачів</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Іванов В.О.</i>				<i>Д</i>	<i>11</i>	<i>63</i>
<i>Консульт.</i>					171 ЕС 304Б/стн		
<i>Норм. контр.</i>							
<i>Зав. Каф.</i>	<i>Шутков В.М.</i>						

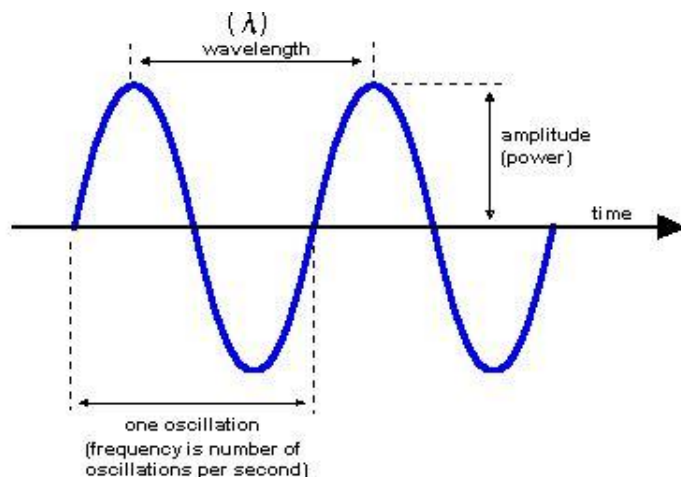


Рис. 1.1. Графічне представлення хвилі

Існує формула, що дозволяє визначати довжину хвилі по частоті:

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

Де  $\lambda$  – довжина хвилі (м) дорівнює відношенню швидкості світла (км / ч) до частоти (кГц).

Поширення радіохвиль залежить від їх довжини. Виділяють ультра короткі, короткі, довгі, наддовгі хвилі.

#### 1.1.1. Наддовгі радіохвилі

Наддовгі хвилі-  $\nu = 3-30$  кГц ( $\lambda = 10-100$  км).

Мають властивість проникати вглиб товщі води до 20 м і в зв'язку з цим застосовуються для зв'язку з підводними човнами, причому, човні не обов'язково спливати на цю глибину, досить викинути радіо буй до цього рівня.

Ці хвилі можуть поширюватися аж до огибання землі, відстань між земною поверхнею і іоносферою, представляє для них «хвилевід», відповідно до якої безперешкодно поширюються.

#### 1.1.2. Довгі хвилі

Довгі хвилі  $\nu = 150-450$  кГц ( $\lambda = 2000-670$  м).

Цей тип радіохвилі має властивість огинати перешкоди, використовується для зв'язку на великі відстані. Також має слабку проникаючу здатність, так що якщо у вас немає виносної антени, вам навряд чи вдасться зловити будь-яку радіостанцію.

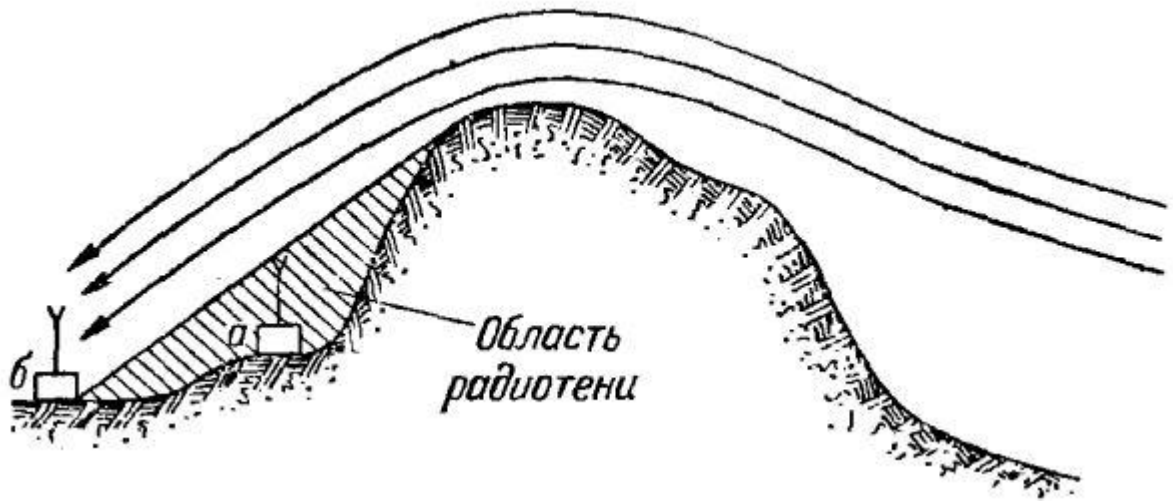


Рис. 1.2. Область радіотіні

### 1.1.3. Середні хвилі

Середні хвилі  $\nu = 500-1600$  кГц ( $\lambda = 600-190$  м).

Ці радіохвилі добре відбиваються від іоносфери (рис. 1.3), що знаходиться на відстані 100-450 км над поверхнею землі. Особенность цих хвиль в тому, що в денний час вони поглинаються іоносферою і ефекту віддзеркалення не відбувається. Цей ефект використовується практично, для зв'язку, зазвичай на кілька сотень кілометрів на нічний час.

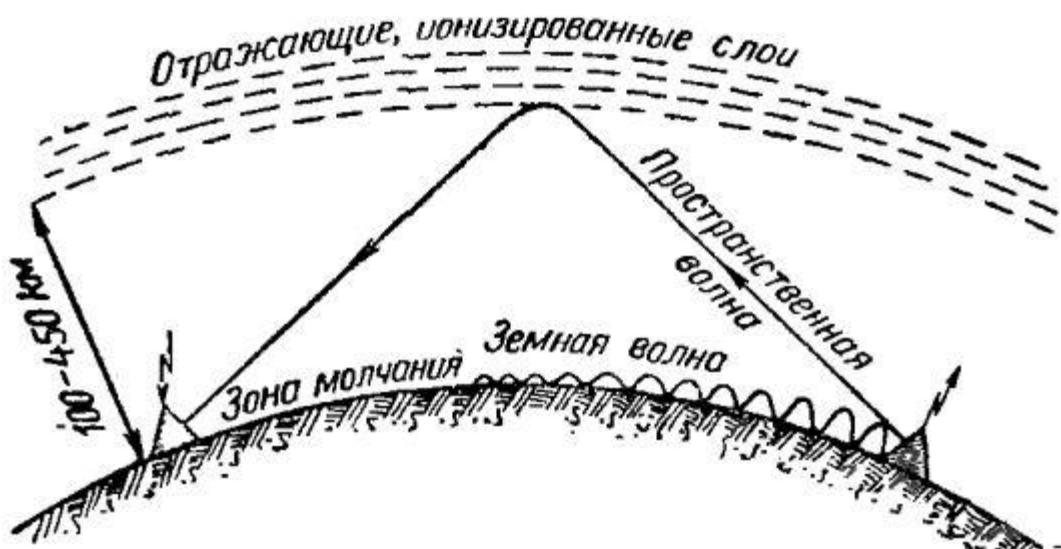


Рис. 1.3. Відбивання радіохвиль від іоносфери

#### 1.1.4. Короткі хвилі

Короткі хвилі  $\nu = 3-30$  МГц ( $\lambda = 100-10$  м).

Подібно середнім хвилям, добре відбиваються від іоносфери, але на відміну від них, не залежно від часу доби. Можуть поширюватися на великі відстані (кілька тисяч км) за рахунок пере відображень від іоносфери і поверхні землі, таке поширення називають Скачкова. Передавачів великої потужності для цього не потрібно.

#### 1.1.5. Ультракоткі хвилі

Ультракоткі хвилі  $\nu = 30$  МГц – 300 МГц ( $\lambda = 10-1$  м).

Ці хвилі можуть огинати перешкоди розміром в кілька метрів, а також мають хорошу проникаючу здатність. За рахунок таких властивостей, цей діапазон широко використовується для радіо трансляцій. Недоліком є їх порівняно швидке загасання при зустрічі з перешкодами.

Існує формула, яка дозволяє розрахувати дальність зв'язку в УКХ діапазоні:

$$R[\text{км}] = 4,12(\sqrt{h_1[\text{м}]} + \sqrt{h_2[\text{м}]})$$

Так наприклад при радіотрансляції з телевежі заввишки 500 м на приймальну антену висотою 10 м (рис. 1.4), дальність зв'язку за умови прямої видимості складе близько 100 км.

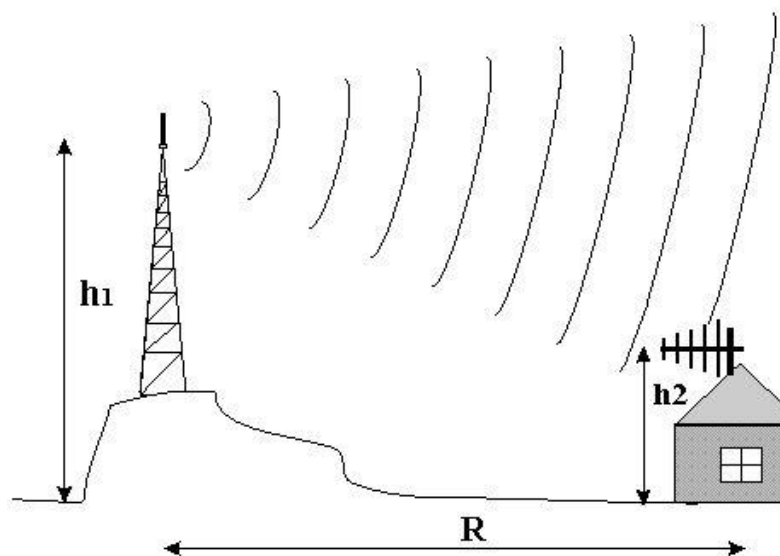


Рис. 1.4. Приклад розповсюдження радіохвиль від телевежі

### 1.1.6. Поширення хвиль в залежності від частоти

Високі частоти (ВЧ-сантиметровий діапазон)  $\nu = 300$  МГц – 3 ГГц ( $\lambda = 1-0,1$  м). Хвилі не огинають перешкоди і мають хорошу проникаючу здатність. Використовуються в мережах стільникового зв'язку і *wi-fi* мережах.

Ще однією цікавою особливістю хвиль цього діапазону, є те, що молекули води, здатні максимально поглинати їх енергію і перетворювати її в теплову. Цей ефект використовується в мікрохвильових печах.

Вкрай високі частоти (міліметровий діапазон)  $\nu = 3$  ГГц – 30 ГГц ( $\lambda = 0,1-0,01$  м). Відображаються практично всіма перешкодами, вільно проникають через іоносферу. За рахунок своїх властивостей використовуються в космічній зв'язку.

Найчастіше, приймальні пристрої мають положення перемикачів *am-fm*:

- *AM*- амплітудна модуляція (рис. 1.5);
- *FM*- частотна модуляція (рис. 1.6).

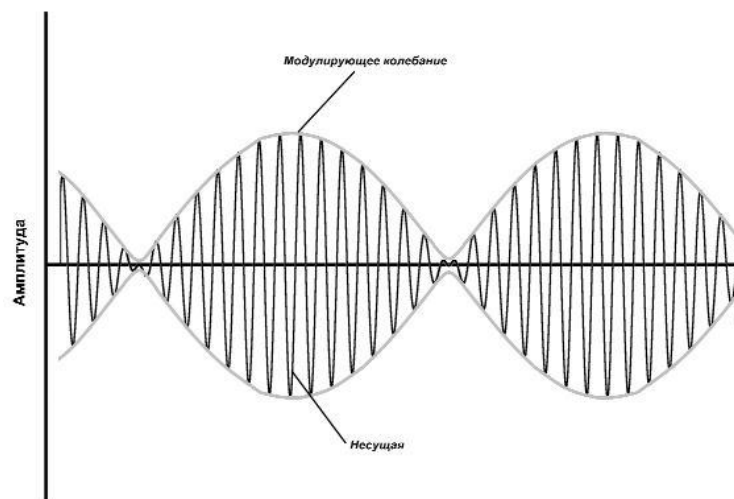


Рис. 1.5. Графічне представлення *AM* (амплітудної модуляції)

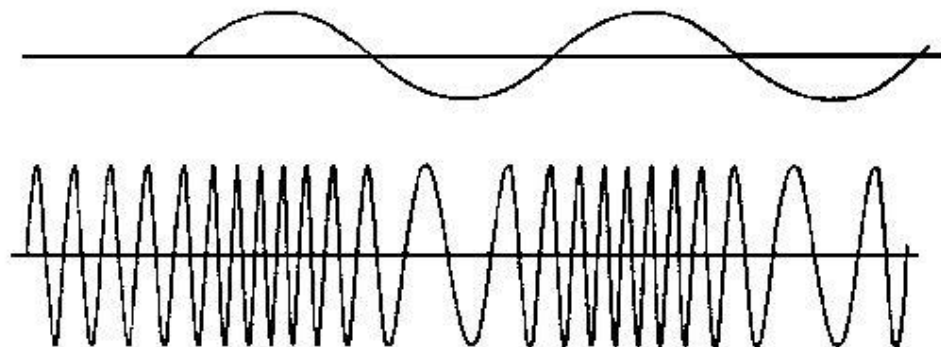


Рис. 1.6. Графічне представлення *FM* (частотної модуляції)

*AM* – це зміна амплітуди несучої частоти під дією кодує коливання, наприклад голосу з мікрофону. *AM* – перший вид модуляції придуманий людиною. З недоліків, як і будь-який аналоговий вид модуляції, має низьку завадостійкість.

*FM* – це зміна несучої частоти під вплив кодує коливання. Хоча, це теж аналоговий вид модуляції, але він має більш високу стійкість перед перешкодами ніж *AM* і тому широко застосовується в звуковому супроводі ТВ трансляцій і УКХ мовлення.

Також хвилям властиві такі явища як інтерференція та дифракція.

Інтерференція – в результаті відображень хвиль від різних перешкод, хвилі складаються. У разі складання в однакових фазах, амплітуда початкової хвилі може збільшитися, при додаванні в протилежних фазах, амплітуда може зменшитися аж до нуля.

Це явище найбільше проявляється при прийомі УКХ ЧМ і ТВ сигналу.

Тому, наприклад всередині приміщення якість прийому на кімнатну антену ТВ сильно «плаває».

Дифракція – явище, що виникає при зустрічі радіохвилі з перешкодами, в результаті чого, хвиля може змінювати амплітуду, фазу і напрямок.

Дане явище пояснює зв'язок на коротких хвилях через іоносферу, коли хвиля відбивається від різних неоднорідностей і заряджених частинок і тим самим, змінює напрямок поширення.

Цим же явищем пояснюється здатність радіохвиль поширюватися без прямої видимості, огинаючи земну поверхню. Для цього довжина хвилі повинна бути співмірна перешкоди.

## 1.2. Вплив перешкод на якість зв'язку

Радіоелектронні перешкоди – це невражаючі електромагнітні випромінювання, які погіршують якість функціонування радіоелектронних засобів, керованої зброї, систем обробки та передачі інформації.



Причина впливу перешкод на радіозв'язок полягає в тому, що до складу радіолокаційних, радіонавігаційних систем, систем радіоуправління і систем радіозв'язку, входить радіоприймач. Прийом відбувається будь-якого електромагнітного випромінювання, який перебуває у відповідній налаштованому діапазоні хвиль. За умови, якщо рівень випромінювання буде досить потужним, то корисний сигнал буде не помітний.

У міру впровадження радіоелектроніки в збройні сили поле дії радіохвилі розширювалося. Управління військами багато в чому відбувається за рахунок радіозв'язку. Принагідно порушення процесу радіозв'язку керівництво по радіо стає марним, якщо його радіоелектронна система паралізована. Радіохвиля викликана об'єктивними процесами в розвитку військової техніки, зумовленими безперервної гонкою озброєнь між засобами ураження та захисту. Поява нового озброєння і новітніх засобів зв'язку завжди тягне за собою розробку методів і засобів, протидії йому. Так вийшло і при впровадженні радіоелектроніки в збройні сили.

Електромагнітні хвилі, що не несуть корисної інформації на частотах спектра сигналу, представляють собою радіоперешкоди. Вони маскують корисні сигнали і спотворюють, ускладнюючи обробку сигналу, підвищується рівень зростання ймовірності помилок при проходженні інформації по радіоканалах. Розрізняють перешкоди загального і нормального вигляду.

Перешкоди нормального вигляду – такі перешкоди, джерело якого є елемент в ланцюгах даного тракту пристрою або каналу зв'язку. Найчастіше джерелами перешкод нормального бувають елементи ланцюга, що генерують сигнали, точки з'єднання різнорідних провідників.

Перешкоди загального вигляду – такі перешкоди, джерело якого знаходиться в сигнальних або силових ланцюгах, що не відносяться до даного каналу зв'язку. Джерелами перешкод загального вигляду можуть бути елементи ланцюга, електротехнічне обладнання, системи заземлення, струмопровідні елементи будівельних конструкцій.

У канал передачі даних перешкоди загального вигляду можуть проникати різними способами: електростатичні і електромагнітні поля, загальні ділянки

ланцюга і т.д. шлях проникнення завади в канал зв'язку – це точно такий же канал зв'язку, тільки паразитного властивості і має таку ж структуру, як і звичайний канал зв'язку.

Канал радіозв'язку вносить лінійні і нелінійні спотворення. Причини цих спотворень заздалегідь відомі, тому їх можна усунути відповідним коригуванням. На відміну від спотворень перешкоди, що діють в каналі, носять випадковий характер і їх повністю усунути неможливо.

Будь-яка електромагнітна енергія може заважати роботі радіолокаційної станції, що потрапила в приймач станції через антену і ускладнює виділення відбитого від цілі сигналу на виході приймача. Перешкоди можуть мати різне походження. Це можуть бути природні перешкоди: відбиття від місцевих предметів, хмар, випромінювання передавачів, що працюють на частоті, близькою до частоти РЛС і ін.

Можна виділити наступні класи радіоелектронних перешкод:

1) за природою виникнення розрізняють природні і штучні перешкоди. Природними є перешкоди природного походження. Штучні перешкоди мають техногенну природу;

2) за способом створення розглядають перешкоди або створені пристроями, які випромінюють електромагнітні коливання, або відбивачами, що розсіюють енергію падаючих радіохвиль. У першому випадку говорять про активні перешкоди, в другому – про пасивні;

3) в залежності від джерела утворення штучні перешкоди діляться на ненавмисні і навмисні. Перші з них виникають в результаті роботи власних джерел радіовипромінювань. Другі спеціально створюються для придушення радіоелектронних засобів;

4) за ефектом впливу на РЕО, що придушується, розрізняють маскуючі і імітують перешкоди (дані типи перешкод в основному стосуються авіаційного і розвідувального напрямів). При цьому маскуючі ускладнюють процеси виявлення корисного сигналу і вимірювання координат цілі, а імітуючі несуть неправдиву інформацію про кількість, координати і параметри руху цілей;

5) активні маскуючі перешкоди в залежності від точності наведення по частоті підрозділяються на прицільні і загороджувальні.

### 1.3. Загальні поняття радіомоніторингу

Радіомоніторинг – діяльність з вивчення і контролю радіообстановки, виявлення і пошук законних і незаконних радіопередавачів і джерел інших радиоизлучений. Безперервність отримання даних, актуальність і достовірність видобуваються даних, є важливою перевагою радіомоніторингу. Безперервність досягається постійністю роботи засобів моніторингу, актуальність – своєчасністю отримання необхідних для прийняття рішення даних достовірність – документальним характером інформації, що надходить.

Багатоканальні скануючі приймачі в даний час використовуються, в якості основних засобів радіомоніторингу, що дозволяють здійснювати автоматично як пошук знаходяться в ефірі радіосигналів, так і постійний контроль за заданих частот зв'язку. Крім сканерів в процесі ведення радіомоніторингу застосовується і інша необхідна апаратура: портативні частотоміри, аналізатори радіоспектра, широкосмугові антени, смугові і режекторние фільтри, малешумливі антенні підсилювачі, пристрої шумоочистки мови, високочастотні кабелі з малими втратами і ін.

Отримання своєчасного і якісного результату радіомоніторингу, як і в подібних сферах діяльності, залежать не тільки від наявності дорогої апаратури, а й правильного розташування та монтажу антен та кабелів, і від методів і прийомів роботи.

Область застосування систем радіомоніторингу повинна бути обмежена виходячи з бюджетних обмежень і з урахуванням певних вимог завдань і здійснювати:

– контроль і вимірювання за радіоелектронними засобами, призначеними для передачі (випромінювання) електромагнітних хвиль різних діапазонів, з метою забезпечення електромагнітної сумісності різних засобів зв'язку, виконання санітарних норм і законодавчих обмежень.

– отримання інформації про працюючих передавачах в певній місцевості (або в межах об'єкта), визначення їх типу, основних характеристик, кількості і демодуляція / декодування інформації, що передається з метою їх виявлення або контролю;

– виявлення, спостереження, перехоплення та обробка даних, отриманих за допомогою засобів радіомоніторингу, як засіб оперативного отримання інформації з метою виконання інформаційної безпеки (радіорозвідка – різновид радіомоніторингу).

#### 1.4. Технічні засоби радіомоніторингу

Головним засобом для радіомоніторингу є – радіоприймальної пристрій, призначений для роботи в певному діапазоні частот. Залежно від завдання це може бути радіоприймач або аналізатор спектру. Найважливішим елементом радіоприймального пристрою є антена, яка вибирається в залежності від діапазону частот, завдання і умов застосування РПУ.

Устаткування для радіомоніторингу може бути розрахованим як на певний діапазон частот і тип сигналів, так і бути широкосмуговим, універсальним. РПУ може бути обладнано різними демодуляторами, пристроями візуального відображення і реєстрації радіосигналів, можливістю запису, різними засобами технічного аналізу. Зазвичай РПУ спеціально призначене для радіомоніторингу має спеціальні функції для пошуку радіосигналів, таких як пошук в заданому діапазоні або сканування осередків пам'яті, відображення спектру в реальному часі або його записи, автоматична реєстрація сигналів на виході демодулятора. РПУ часто є частиною комплексу, призначеного для радіомоніторингу і знаходиться під управлінням комп'ютера, який управляє РПУ, забезпечує інтерфейс, реєструє дані. Комплекс для радіомоніторингу може мати дистанційне керування, наприклад з метою пеленгации радіосигналів або віддаленого спостереження за електромагнітної обстановкою і інформаційною безпекою. РПУ бувають автономними, з власними органами управління.

Приймачі та аналізатори спектра є незамінними інструментами всіх служб радіомоніторингу. Основні відмінності полягають у тому, що приймачі, як правило, забезпечують попередню селекцію в тракті радіочастоти і призначені для демодуляції, в той час як аналізатори спектра призначені для відображення спектральних характеристик радіочастотного сигналу. Вимірювання, що стосуються аналогових радіослужб, в тому числі, наприклад, вимірювання відхилення частоти і сумарної потужності сигналу ЧМ-радіомовлення повинні виконуватися в приймачі. Вимірювання напруженості поля також виконуються з використанням приймачів. Вимірювання таких параметрів, як частота і ширина смуги, можуть здійснюватися і з використанням аналізатора спектра. Аналізатори можуть використовуватися також для вимірювання сигналів з цифровою модуляцією або для виявлення невідомих джерел перешкод. Сучасні приймачі можуть мати деякі характеристиками, які зазвичай потрібні від аналізаторів спектра. І навпаки, аналізатори спектра, що працюють в режимі нульового інтервалу часу, можуть виконувати деякі функції приймачів. У той же час виконання аналізу з використанням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) і в приймачі, і в аналізаторі спектра стало прийнятним в ціновому відношенні, і йому слід віддавати перевагу. Зовсім не обов'язково, що цей метод виявиться більш дорогим, ніж традиційний аналіз з використанням хитається частоти.

За характером застосування можна розділити РПП на:

- портативні;
- переносні / мобільні;
- стаціонарні.

Пошукові способи- засновані на перебудові приймача в заданій смузі частот. При значному часу розвідки дозволяють виявити і виміряти несучу частоту з високою точністю. Розрізняють три способи пошуку:

- повільний пошук;
- швидкий пошук;
- пошук із середньою швидкістю.

При повільному пошуку час перебудови приймача на ширину його смуги пропускання більше повторювати сигнал. Повільний пошук добре підходить для

виявлення постійно працюють радіоелектронних засобів. При цьому точність визначення частоти дуже висока. Серйозним недоліками повільного пошуку є великий час виявлення сигналу і мала ймовірність розвідки короткочасно працюють радіоелектронних засобів. Для подолання цієї вади, доводиться збільшувати ширину смуги пропускання приймача, що призводить до зниження чутливості.

При швидкому пошуку час перебудови приймача у всьому діапазоні дуже мало, а швидкості перебудови дуже великі (сотні і тисячі мегагерц в мікросекунду). При даному способі пошуку висока ймовірність виявлення короткочасно працюють радіоелектронних засобів за один період перебудови приймача, проте роздільна здатність і точність визначення частоти в порівнянні з повільним пошуком нижче, що пов'язано з інерційністю резонансних ланцюгів приймача.

При пошуку з середньою швидкістю, виявлення короткочасних сигналів не гарантується протягом одного періоду перебудови, інші ж параметри виявляються досить хорошими для цілей радіомоніторингу.

Безпошукове способи- засновані на одночасному прийомі сигналів в широкому діапазоні робочих частот без перебудови гетеродинів або фільтрів. Час розвідки частоти діючих радіоелектронних засобів може бути дуже малим, так як всі складові спектра виявляються одночасно і практично миттєво.

Типи безпошукове методів:

- інтерференційні методи;
- використання одноканальних приймачів;
- використання багатоканальних приймачів.

Інтерференційний спосіб заснований на відомій залежності зсуву фази від довжини шляху і частоти. Сигнал з виходу антени розгалужується на дві фідерні лінії різної довжини. Після проходження цих ліній відбувається тимчасове зміщення сигналів. Отримані сигнали нормуються за рівнем і віднімаються. Перевагою інтерференційного способу є простота реалізації апаратури, недоліком – зниження точності при розширенні діапазону розвідки і низька чутливість.

Одноканальні приймачі широкосмугові: їх смуга пропускання дорівнює діапазону розвідувати частот. Найпростіший широкосмуговий приймач прямого підсилення складається з антени, демодулятора, відео підсилювача і індикатора. Точність частоти і чутливість низькі. Одноканальні приймачі застосовуються лише для встановлення самого факту випромінення.

Багатоканальні приймачі забезпечують високу точність визначення частоти. Це пов'язано з тим, що робочий діапазон частот розділяється системою фільтрів на ряд піддіапазонів. Смуги прозорості фільтрів примикають один до одного. Багатоканальні приймачі застосовуються для грубого визначення частоти і типу радіоелектронного засобу. Число каналів в них досягає декількох десятків.

Для дослідження динамічного діапазону обрана структура приймача з прямим перетворенням. Вибір обґрунтований тим, що реалізація приймача прямого перетворення простіше і перспективніше з точки зору розвитку схемотехнічної реалізації.

#### 1.5. Аналіз ринку обладнання радіоконтролю та спеціальних засобів вимірювань

Протягом багатьох років було розроблено багато різних типів радіоприймачів. Різні типи приймачів виникли внаслідок потреб дня та наявних технологій.

Ранні радіоприймачі мали низьку продуктивність порівняно з тими, що використовувались сьогодні. У наш час завдяки таким передовим технологіям, як цифрова обробка сигналів, а також високопродуктивним напівпровідникам та іншим компонентам, радіостанції з високою продуктивністю є звичним явищем.



Рис. 1.7. Професійний тип супергетеродинного радіоприймача *Icom*

Сьогодні існує багато різних додатків для радіоприймачів. Все – від більш традиційного радіоприймача до професійних приймачів зв'язку. На додаток до цього, вибух стільникового та бездротового зв'язку означав, що існує дуже багато різних радіоприймачів, необхідних для різних застосувань.

Кожна програма має свої вимоги, і як результат, потрібно багато різних типів радіоприймачів. Деякі типи радіоприймачів набагато простіші, ніж інші, тоді як деякі мають вищий рівень продуктивності і не так обмежені простором. Зважаючи на величезну різницю у вимогах та необхідних рівнях продуктивності, сьогодні можна побачити багато різних типів радіостанцій.

Багато різних типів радіоприймачів існують вже багато років. Технологія компонентів, зокрема напівпровідникова, зросла вперед, що дозволяє досягти набагато вищих рівнів продуктивності в набагато меншому просторі:

1. Радіоприймачі з налаштованою радіочастотою (*TRF*) – цей тип радіоприймача був одним із перших, який був використаний. Найперші радіоприймачі цього типу просто склалися з налаштованої схеми та детектора. Кристалічні набори були ранніми формами радіостанцій *TRF*. Пізніше були додані підсилювачі для підвищення рівня сигналу як на радіочастотах, так і на звукових частотах. З цією формою приймача було кілька проблем. Головним з них була відсутність вибіркової.

2. Регенеративний приймач: регенеративний радіоприймач значно покращив рівні посилення та селективності, які можна отримати. Він використовував позитивний зворотний зв'язок і працював в точці безпосередньо перед коливанням. Таким чином було отримано значне множення рівня "*Q*" налаштованої схеми.

3. Супер регенеративний приймач: супер регенеративний радіоприймач висуває концепцію регенерації на наступний етап. Використовуючи друге коливання нижчої частоти на тій самій стадії, це друге коливання гасить або перериває коливання основної регенерації – як правило, на частотах близько 25 кГц або близько того, що перевищує звуковий діапазон. Таким чином, основну



регенерацію можна виконати так, щоб каскад ефективно коливався, де він забезпечує набагато вищі рівні посилення. Використовуючи друге загасання коливань, ефекти запуску сцени в коливанні не очевидні для слухача, хоча він випромінює помилкові сигнали, які можуть спричинити локальні перешкоди. Підвищення рівня понад мільйон не рідкість при використанні цього типу радіоприймачів.

4. Супергетеродинний приймач: супергетеродинна форма радіоприймача була розроблена для забезпечення додаткових рівнів селективності. Він використовує гетеродин або процес змішування для перетворення сигналів, зроблених на фіксовану проміжну частоту. Зміна частоти гетеродина ефективно налаштовує радіо.

5. Приймач прямого перетворення: цей тип радіоформату перетворює сигнал безпосередньо на частоту базової смуги. Спочатку він використовувався для передач *AM*, *Morse (CW)* та *SSB*, але зараз він широко використовується для цифрових комунікацій, де *IQ*-демодулятори використовуються, щоб скористатися різноманітністю фазової маніпуляції, *PSK* та квадратурної амплітудної модуляції, сигналів *QAM*.

Багато з цих різних типів радіоприймачів сьогодні широко використовуються. Кожен тип радіо має свої особливості, які дозволяють використовувати його для певних програм.

В останні роки приймач *TRF* здебільшого ігнорувався. Інші топології приймача забезпечують набагато кращий рівень продуктивності, а завдяки технології інтегральних схем додаткові схеми інших типів приймачів не є проблемою.

Була одна спроба зробити достатньо вибірково налаштовану інтегральну схему радіочастотного приймача.

Інтегральна схема *Ferranti ZN414* була представлена в 1972 році і була успішно використана в ряді конструкцій. Пізніші версії, *ZN415* і *ZN416* включали підсилювачі звуку.

Продуктивність мікросхем була призначена для того, щоб забезпечити можливість роботи в середньому діапазоні хвиль до частот близько 1,6 МГц. Як правило, межа роботи цих мікросхем був менше 5 МГц.

Однак із загибеллю компанії *Ferranti* дизайн зупинив виробництво. Однак на ринку було декілька ІС для заміни. До них належать: *MK484*, *YS414*, *TA7642*, *UTC7642*, *LMF501T*, *LA1050*. Їх іноді можна придбати на відкритому ринку та використовувати в невеликих радіостанціях, щоб помістити їх у сірникові коробки тощо.

### 1.6. Висновки до розділу

В першому розділі було проведено аналіз принципу поширення радіохвиль, виділено типології радіохвиль за довжиною та частотою.

Було проаналізовано вплив перешкод на розповсюдження радіохвиль та визначено основні задачі радіомоніторингу.

Для реалізації поставленої задачі було проаналізовано технічні засоби радіомоніторингу та проведено аналіз ринку обладнання для радіомоніторингу.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ *SDR*-ПРИЙМАЧА

#### 2.1. Поняття про *SDR*-технологію

Програмно розроблений радіоприймач (*SDR*) використовує програмне забезпечення для виконання багатьох основних функцій приймача – за допомогою програмного забезпечення легко переналаштувати та використовувати програмне забезпечення на багатьох платформах та для багатьох різних функцій

Програмно визначена радіотехнологія значно вдосконалилася за останні роки. Досягнення апаратних засобів означають, що витрати впали, а продуктивність зросла.

Це означає, що програмні радіоприймачі тепер можна побачити у всьому, починаючи від найвищого обладнання радіозв'язку, закінчуючи простими *USB*-модулями, доступними за дуже низьку ціну.

Програмне забезпечення радіо, *SDR*, технологія може надати деякі значні переваги перед традиційними апаратними конструкціями радіо. Використовуючи потужність цифрової обробки, програмні радіостанції використовуються в багатьох різних додатках у багатьох різних сферах.

##### 2.1.1. Основна концепція *SDR*

Основна концепція програмного радіо *SDR* полягає в тому, що радіо може бути повністю налаштоване або визначене програмним забезпеченням.

<i>Кафедра ЕРМІТ</i>				НАУ 21 03 96 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	<i>Лисенко О.О.</i>			<i>Аналіз методів розробки SDR-приймача</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Іванов В.О.</i>				<i>Д</i>	27	63
<i>Консульт.</i>					171 ЕС 304Б/стн		
<i>Норм. контр.</i>							
<i>Зав. Каф.</i>	<i>Шутко В.М.</i>						

В ідеальному світі вхідний сигнал відразу перетворюється в цифровий формат, а потім сигнал обробляється повністю цифровим способом.

І навпаки, для передачі сигнал генерується цифровим способом і перетворюється в кінцевий аналоговий сигнал на антені.

Цей підхід має ті переваги, що радіо можна повністю змінити на нову програму, просто змінивши програмне забезпечення. Оновлення можна робити, щоб не відставати від нових форматів модуляції, нових програм тощо, просто оновлюючи програмне забезпечення.

Це також означає, що загальна апаратна платформа може бути використана в різних продуктах та додатках, тим самим зменшуючи витрати, одночасно підтримуючи або покращуючи продуктивність.



Рис. 2.1. Приклад *SDR*, що використовується для досліджень та розробок

Концепція програмного забезпечення радіозв'язку *SDR* застосовується до багатьох областей використання:

– мобільний зв'язок: програмні радіостанції дуже корисні в таких областях, як мобільний зв'язок. Оновивши програмне забезпечення, можна застосовувати зміни до будь-яких стандартів і навіть додавати нові форми сигналів суто шляхом оновлення програмного забезпечення та без необхідності змін в апаратному забезпеченні. Це можна зробити навіть віддалено, тим самим забезпечуючи значну економію витрат.

– Дослідження та розробки: *SDR* є дуже корисним у багатьох дослідницьких проектах. Радіостанції можуть бути налаштовані на забезпечення точних вимог приймача та передавача для будь-якого додатку без необхідності загальної апаратної конструкції з нуля.

– військові цілі: військові багато використовували програмну радіотехнологію, що дозволяє їм повторно використовувати апаратне забезпечення та оновлювати форми сигналу за необхідності.

– аматорське радіо: радіотехнічні радіоапарати дуже успішно застосували програмне забезпечення, визначене радіотехнологією, використовуючи її для підвищення продуктивності та гнучкості.

– інші галузі використання: існує дуже багато інших програм, які можуть використовувати технологію *SDR*, що дозволяє радіо з точністю адаптувати до вимог за допомогою програмних налаштувань.

Існує багато можливостей розглянути можливість використання *SDR* концепції. По мірі того, як час прогресує і технологія рухається вперед, можна буде використовувати концепцію в нових сферах.



Рис. 2.2. Автономний радіоприймач, що визначається програмним забезпеченням

### 2.1.2. Визначення програмного забезпечення радіо

Хоча це може здатися тривіальною вправою, створення визначення *SDR* не таке просто, як здається. Необхідно також дати чітке визначення з багатьох причин, включаючи регулятивні програми, питання стандартів, а також для того, щоб технологія *SDR* могла рухатися вперед швидше.

З'явилося багато визначень, які можуть охоплювати визначення програмного забезпечення, радіо, *SDR*. Форум *SDR* сам визначив два основні типи програм, що містять радіо, таким чином:

**Радіо з програмним управлінням:** Радіо, в якому деякі або всі функції фізичного рівня програмно керовані. Іншими словами, цей тип радіо використовує лише програмне забезпечення для управління різними функціями, які закріплені в радіо.

**Програмне забезпечення радіо:** Радіо, в якому деякі або всі функції фізичного рівня визначені програмним забезпеченням. Іншими словами, програмне забезпечення використовується для визначення специфікації радіо і того, що воно робить. Якщо програмне забезпечення всередині радіо змінено, його продуктивність та функції можуть змінитися.

Іншим визначенням, яке, схоже, охоплює суть програмно визначеного радіо, *SDR*, є те, що воно має загальну апаратну платформу, на якій програмне забезпечення працює, щоб забезпечити функції, включаючи модуляцію та демодуляцію, фільтрацію (включаючи зміни смуги пропускання) та інші функції, такі як вибір частоти та при необхідності перестрибування частоти. Переконфігурувавши зміну програмного забезпечення, змінюється продуктивність радіостанції.

Для досягнення цього програмно визначена радіотехнологія використовує програмні модулі, що працюють на загальній апаратній платформі, що складається з процесорів цифрової обробки сигналів (*DSP*), а також процесорів загального призначення для реалізації радіофункцій для передачі та прийому сигналів.

В ідеальному світі сигнал на кінцевій частоті і на правильному рівні буде надходити, і так само для прийому сигнал від антени буде безпосередньо перетворюватися в цифри, і вся обробка здійснюватиметься під програмним контролем. Таким чином апаратне забезпечення не обмежує жодних обмежень. Для цього цифрово-аналогове перетворення для передачі повинно мати відносно

високу потужність, залежно від програми, а також повинно мати дуже низький рівень шуму для прийому. Як результат, повне визначення програмного забезпечення, як правило, неможливе.



Рис. 2.3. *SDRplay RSPdx*

### 2.1.3. Спільна тактична радіосистема *JTRS SDR*

Спільна тактична радіосистема *JTRS* – це програмно визначена радіоініціатива, яка дала великий поштовх для розвитку програмно-визначеної радіотехнології.

Спрямований насамперед на військові програми, *JTRS* був спрямований на поліпшення взаємодії між різними бездротовими мережами, польовими радіостанціями та пристроями.

Ініціатива *JTRS* включала як програмне, так і апаратне забезпечення, технологію *SDR*, щоб можна було розвивати багаторежимні, багатодіапазонні та багатофункціональні бездротові пристрої та мережеве обладнання. Завдяки технології *SDR* метою було те, щоб їх можна було динамічно переналаштовувати, вдосконалювати та модернізувати за допомогою оновлення програмного забезпечення та реконфігурації обладнання.

*JTRS* була особливо привабливою пропозицією, особливо для операцій в стилі коаліції, де сили з різних країн можуть діяти разом. Радіо можна переконфігурувати, щоб забезпечити можливість зв'язку між військами з різних країн тощо.

#### 2.1.4. Переваги та недоліки програмних радіостанцій

Як і будь-яка інша технологія, у вас є переваги та недоліки щодо використання програмно визначеної радіотехнології.

Переваги технології *SDR*:

- можна досягти дуже високого рівня продуктивності.
- продуктивність можна змінити, оновивши програмне забезпечення (оновлювати апаратно-залежні атрибути неможливо).
- можна переналаштувати радіостанції, оновивши програмне забезпечення
- одна і та ж апаратна платформа може використовуватися для декількох різних радіостанцій.

Недоліки технології *SDR*

- аналого-цифрові перетворювачі обмежують верхні частоти, які можуть використовуватися цифровою секцією.
- для дуже простих радіостанцій базова платформа може бути занадто дорогою.
- розробка програмно визначеного радіо вимагає як апаратних, так і програмних навичок.

Оскільки обробна потужність стає дешевшою у впровадженні, тому радіостанції на базі *SDR* все частіше використовуються для високоякісних програм, а також все частіше вони переходять і в радіостанції нижчого класу.

Однією з головних переваг технології *SDR* є те, що вона може бути налаштована точно відповідати вимогам користувача – невеликі зміни в програмному забезпеченні можуть змусити радіостанцію точно відповідати вимогам. Крім того, з таким програмним забезпеченням з відкритим кодом, як програмне забезпечення *GNU*, воно стає дедалі легшим у впровадженні.

У сучасному середовищі радіозв'язку важливий динамічний радіодіапазон приймача, оскільки необхідно приймати як сильні, так і слабкі сигнали, і слабкі сигнали за наявності сильних.



Завдяки величезній кількості радіостанцій постійно передається багато сигналів – наприклад, мобільні телефони повинні одночасно приймати як слабкі, так і сильні сигнали. Конструкція радіочастотної схеми радіостанції визначатиме фактори, що регулюють динамічний діапазон, тому важливо враховувати їх на самих ранніх етапах концепції.

Хоча динамічний діапазон дуже важливий для радіоприймачів та додатків радіозв'язку, він також важливий у багатьох інших областях – від фотокамер до аудіомікшерів та багатьох інших елементів, де існує безліч різних рівнів вхідного сигналу, які потрібно розмістити.

Хоча деякі параметри будуть змінюватися залежно від обладнання, яке розглядається, основною концепцією динамічного діапазону залишається діапазон, в якому обладнання може успішно обробляти вхідні сигнали.

Динамічний діапазон радіоприймача – це, по суті, діапазон рівнів сигналу, над якими він може працювати.

Динамічний діапазон радіоприймача найкраще визначити як діапазон вхідних рівнів, через який радіоприймач може успішно приймати необхідні сигнали.

З динамічним діапазоном приймача існує багато параметрів, важливих для програм радіозв'язку будь-якої форми.

Нижній кінець діапазону регулюється його чутливістю, тоді як у верхньому кінці він регулюється його перевантаженням або сильною продуктивністю обробки сигналу. Тим не менш, існує кілька різних умов, які використовуються для вимірювання динамічного діапазону приймача.

У специфікаціях, як правило, використовуються цифри, засновані або на ефективності взаємомодуляції, або на характеристиці блокування. На жаль, не завжди можливо порівняти один набір з іншим, оскільки динамічний діапазон, як і багато інших параметрів, можна цитувати різними способами.

Однак, щоб отримати уявлення про те, що саме означає динамічний діапазон радіоприймача, варто поглянути на способи вимірювань, щоб визначити дальність радіоприймача:

– чутливість. Перша специфікація для дослідження – це чутливість приймача. Основним обмежуючим фактором будь-якого радіоприймача є внутрішній шум, який генерується. Для багатьох програм радіозв'язку використовується або співвідношення сигнал / шум, або показник шуму. Однак для специфікацій динамічного діапазону часто використовується цифра, яка називається мінімальним помітним сигналом (*MDS*). Зазвичай це приймається як сигнал, рівний за силою рівню шуму. Оскільки рівень шуму залежить від використовуваної смуги пропускання, це також слід зазначити в специфікації. Зазвичай рівень рівня *MDS* подається в дБм, тобто дБ відносно міліват, а типові значення складають близько -135 дБм в смузі пропускання 3 кГц;

– спосіб обробки сигналу. Хоча чутливість важлива, спосіб, яким радіоприймач обробляє сильні сигнали, також дуже важливий;

– спектр інтермодуляції від двох сигналів;

– блокування: інша проблема, яка може виникнути, коли присутній сильний сигнал, відома як блокування. Як впливає з назви, потужний сигнал може блокувати або принаймні зменшувати чутливість радіоприймача. Ефект можна помітити при прослуховуванні відносно слабкої станції, а поруч передавач починає випромінювати, і потрібний сигнал зменшується в силі. Ефект виникає, коли фронтальний ВЧ-підсилювач починає стискатися. Коли це відбувається, найсильніший сигнал має тенденцію "захоплювати" ВЧ-підсилювач, зменшуючи силу інших сигналів. Ефект такий же, як ефект захоплення, пов'язаний з *FM*-сигналами. Цей аспект роботи радіоприймача дуже важливий у великій кількості програм радіозв'язку від мобільних телефонів до стратегічних радіосистем. Рівень блокування, очевидно, залежить від рівня сигналу. Це також залежить від того, наскільки далеко від каналу знаходиться сильний сигнал. Чим далі, тим більше воно зменшиться під час тюнінгу передньої частини і тим

меншим буде ефект. Зазвичай блокування вказується як рівень небажаного сигналу при заданому зміщенні (зазвичай 20 кГц), щоб отримати зменшення коефіцієнта посилення на 3 дБ.

– точка перехоплення: у ідеальному світі вихід *RF*-підсилювача буде пропорційний входу для всіх рівнів сигналу. Однак підсилювачі *RF* мають лише обмежену вихідну здатність, і виявляється, що після певного рівня вихід падає нижче необхідного рівня, оскільки він не може обробляти великі рівні, які від нього вимагаються. Це дає таку характеристику, як показано нижче. З цього видно, що підсилювачі ВЧ лінійні для нижньої частини характеристики, але оскільки вихідні каскади не здатні обробляти більш високі рівні потужності, сигнали починають стискатися, як це видно з кривої в характеристиці.

Той факт, що ВЧ-підсилювач є нелінійним, сам по собі не створює великої проблеми. Однак побічні ефекти роблять. Коли сигнал проходить через нелінійний елемент, спостерігаються два основні ефекти. Перший – це створення гармонік. На щастя, навряд чи вони спричинять серйозні проблеми. Щоб гармоніка падала поблизу частоти, що приймається, сигнал з половиною прийнятої частоти повинен надходити в РЧ-підсилювач. Фронтальна настройка повинна зменшити це на достатній рівень, щоб це не було помітною проблемою за більшості обставин.

Інша проблема, яку можна помітити, полягає в тому, що сигнали змішуються, утворюючи небажані продукти. Вони знову навряд чи спричинять проблему, оскільки будь-які сигнали, які можуть змішуватися між собою, повинні бути достатньо видалені за допомогою налаштування переднього кінця. Натомість проблеми виникають, коли гармоніки внутрішньосмугових сигналів змішуються між собою.

#### 2.1.5. Технічні характеристики динамічного діапазону

Розглядаючи технічні характеристики динамічного діапазону, слід бути обережними при їх інтерпретації. *MDS* на кінці низького сигналу слід розглядати

уважно, але обмежуючі фактори у верхньому кінці демонструють набагато більшу різницю в способі їх задання.

Там, де використовується блокування, зазвичай вказується зниження чутливості на 3 дБ, але в деяких випадках може застосовуватися 1 дБ. Там, де продукти інтермодуляції вибираються граничною точкою, часто приймається рівень вхідного сигналу для них, який відповідає *MDS*. Однак, які б специфікації не були надані, слід подбати про інтерпретацію цифр, оскільки вони можуть дещо відрізнятись в способі вимірювання від одного приймача до іншого.

Щоб відчувати цифри, які можуть бути отримані там, де інтермодуляція є граничним фактором, характерні цифри в діапазоні від 80 до 90 дБ, і де блокування є граничним фактором, цифри близько 115 дБ, як правило, досягаються в хорошому радіоприймачі, що використовується для професійних програм радіозв'язку.

Розробити високочутливий радіоприймач, який також має широкий динамічний діапазон, непросте завдання. Конструкція радіочастотної схеми вимагає ретельного балансу багатьох різних мережевих параметрів для отримання оптимальних характеристик. Однак це є важливою вимогою для багатьох систем радіозв'язку, особливо там, де мобільні пристрої радіозв'язку можуть знаходитися в безпосередній близькості один від одного.

Для досягнення необхідного рівня продуктивності можна використовувати ряд методів.

Ефективність шуму на передній панелі: Конструкція радіочастотної схеми передньої частини радіоприймача є найбільш критичною з точки зору шумових характеристик. Його слід оптимізувати для шумових характеристик, а не для посилення. Для цього вирішальне значення має відповідність вхідного опору. Цікаво відзначити, що оптимальний збіг не зовсім відповідає найкращим шумовим характеристикам. Електронні компоненти, включаючи активний пристрій, слід вибирати за характеристиками шуму.

Можливість переднього виходу: Фронтальний підсилювач також повинен мати відносно високу вихідну здатність, щоб забезпечити його не перевантаження. Конструкція ВЧ повинна забезпечувати достатню вихідну здатність, не створюючи при цьому високих рівнів шуму.

Змішувач високого рівня: Робота змішувача є одним з ключових електронних компонентів для забезпечення гарного динамічного діапазону та продуктивності від перевантаження. Радіочастотна конструкція радіостанції повинна гарантувати, що змішувач не перевантажений. Для досягнення цього не повинно бути надмірного виграшу перед цим. Також слід використовувати змішувач високого рівня (тобто такий, який призначений для прийому сигналу локального генератора високого рівня). Таким чином, він може переносити високі вхідні сигнали без погіршення продуктивності.

Конструкція радіочастотної схеми повинна забезпечувати, щоб пізніші етапи приймача могли переносити рівень сигналів, які можуть виникнути при отриманні сильних сигналів. Порівняно легко розрахувати максимальні рівні сигналу, які виникають на кожному етапі приймача, а потім переконатися, що вони можуть бути прийняті за проектом ВЧ. На цих етапах ефективність шуму не є настільки важливою, і тому високі рівні струму можуть бути використані для забезпечення необхідних рівнів сигналу.

Включення системи АРУ у ВЧ-конструкцію також допомагає запобігти перевантаженню та генерації небажаних фальшивих сигналів. Застосовуючи напругу, що залежить від рівня сигналу, до деяких з попередніх каскадів приймача, можна забезпечити, щоб останні на конструкції ВЧ не перевантажувались. Схема схеми для АРУ може бути досить залученою, оскільки можуть знадобитися різні постійні часу в контурі АРУ, щоб забезпечити оптимальний контроль для різних типів модуляції: *AM*, *SSB* тощо.

Хоча чутливість потрібна для багатьох застосувань, це мало корисно, якщо сильні передачі поблизу як за частотою, так і за місцем розташування означають, що чутливість неможливо реалізувати.

## 2.2. Узагальнена схема SDR-приймача

Архітектура апаратного забезпечення SDR повинна бути ретельно зрозуміла і розроблена, щоб забезпечити оптимальну продуктивність.

Апаратне забезпечення програмно визначеної радіостанції є особливо важливим елементом загальної конструкції. Хоча вся ідея радіо полягає в тому, що воно принципово керується програмним забезпеченням, воно все ще потребує основного обладнання, щоб забезпечити роботу програмного забезпечення.

програмно визначене радіобладнання представляє кілька цікавих проблем для інженера-розробника апаратного забезпечення. Продуктивність апаратного забезпечення визначатиме, скільки точно можна зробити в рамках програмного забезпечення.

Оскільки інтерфейс між програмно-апаратними контрольованими функціями повинен бути якомога ближче до антени, щоб забезпечити більший рівень програмного управління і, отже, переконфігурацію, це створює більші проблеми з точки зору дизайну, продуктивності та вартості. Як результат, рішення потрібно приймати на самих ранніх стадіях будь-якого проектування, щоб визначити, де буде межа, виходячи з необхідної функціональності, продуктивності та вартості.

Незважаючи на те, що існує багато різних рівнів СПЗ та багато способів, за допомогою яких може бути спроектована програмно визначена радіостанція, можна дати деякі узагальнені коментарі щодо основних структур, які використовуються (рис. 2.4).

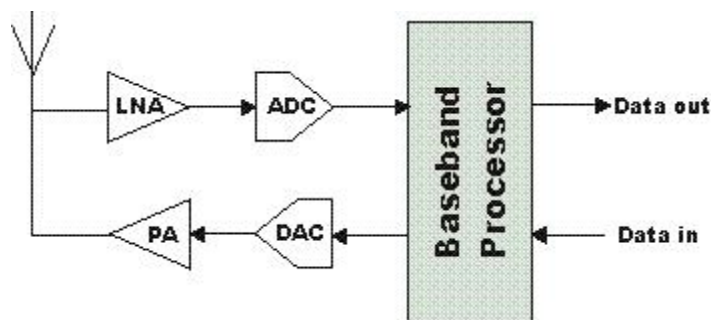


Рис. 2.4. Структурна схема «Ідеального SDR»

У цій конфігурації не використовується перетворення частоти, оскільки перетворення  $A2D$  та  $D2A$  відбувається на частоті роботи

Окрім програмного забезпечення для управління та управління та супутнього обладнання, програмно визначений радіоприймач ( $SDR$ ) може містити ряд основних функціональних блоків:

- РЧ-підсилювання: цими елементами є РЧ-посилення сигналів, що надходять до антени та від неї. На передавальній стороні підсилювач використовується для підвищення рівня радіочастотного сигналу до необхідної потужності для передачі. Навряд чи пряме перетворення ЦАП дасть необхідний вихідний рівень. На стороні прийому сигнали від антени повинні бути посилені, перш ніж проходити далі в приймач. Якщо сигнали антени безпосередньо перетворюються на цифрові, шуми квантування стають проблемою, навіть якщо обмеження частоти не перевищені;

- перетворення частоти: у багатьох конструкціях може знадобитися певна аналогова обробка. Зазвичай це може включати перетворення сигналу в кінцеву радіочастоту та з неї. У деяких конструкціях цей аналоговий розділ може бути відсутній, і сигнал буде перетворений безпосередньо на та з кінцевої частоти з і в цифровий формат. Деякі обробки проміжної частоти також можуть бути присутніми;

- цифрове перетворення: саме на цьому етапі відбувається перетворення сигналу між цифровим та аналоговим форматами. Ця переробка багато в чому лежить в основі обладнання. При здійсненні цих перетворень виникають питання, які необхідно враховувати. На стороні прийому велике значення мають максимальна частота та кількість бітів для отримання необхідного шуму квантування. З боку передавача, максимальна частота та необхідний рівень потужності є одними з основних проблем;

- процесор базової смуги: процесор базової смуги знаходиться в самому центрі програмного забезпечення радіо. Він виконує багато функцій, від цифрового перетворення вхідного або вихідного сигналу в частоту. Ці елементи

відомі як *Digital Up Converter (DUC)* для перетворення вихідного сигналу з базової частоти на необхідну вихідну частоту для перетворення цифрового в аналоговий. На стороні прийому використовується цифровий перетворювач вниз (*DDC*) для зниження частоти сигналу. Сигнал також потрібно фільтрувати, демодулювати і витягувати необхідні дані для подальшої обробки.

Однією з ключових проблем процесора базової смуги є обсяг необхідної обробної потужності. Чим більший рівень обробки, тим вищий струм споживання і, в свою чергу, це вимагає додаткового охолодження тощо. Це може вплинути на те, чого можна досягти, якщо енергоспоживання та розмір є обмеженнями. Також слід враховувати формат будь-якої обробки – можуть використовуватися загальні процесори, *DSP*, *ASIC* і, зокрема, *FPGA*. ПЛІС представляють особливий інтерес, оскільки вони можуть бути переналаштовані для зміни визначення радіо.

Зараз програмно визначені радіостанції широко доступні у всіх формах, починаючи від недорогих *SDR*-модулів *USB*, які можна підключити до комп'ютера, і закінчуючи доступними аматорськими радіоприймачами та професійними системами приймачів та передавачів.

Завдяки широкому розмаїттю програмних засобів радіосистем, які доступні, при покупці таких варіантів вибір може бути страшним.

Знання того, на що звертати увагу – навіть просто знання того, що представляють різні пропозиції СПЗ, і чого чекати за ці гроші.

Перший крок у виборі найкращого програмного забезпечення для придбання радіостанції – це повне розуміння того, що ви шукаєте. Існує декілька широких категорій програмно визначеного радіо:

– верхнє обладнання радіозв'язку, призначене для професійного та найвищого радіоаматорського використання. Багато з цих радіостанцій, як правило, є автономними, хоча вони взаємодіють з комп'ютерами.



– радіостанції, визначені програмним забезпеченням середнього та високого класу, які використовують дисплей та можливості управління комп'ютером.

Радіоприймачі початкового рівня, які визначаються програмним забезпеченням – вони, як правило, мають форму *USB*-ключа тощо.

Одне з перших рішень, яке потрібно прийняти, стосується типу програмного забезпечення, призначеного для придбання радіо. Завдяки великому розмаїттю різних підходів до використання технології *SDR* існує безліч різноманітних продуктів.

## 2.3. Використання *SDR*-технології для моніторингу радіомережі

### 2.3.1. *SDR*-технології для моніторингу радіомережі

Суть технології *SDR* полягає в тому, що базові параметри приємперадаючого пристрою визначається саме програмним забезпеченням, а не апаратної конфігурацією, як ми звикли бачити в класичних конструкціях. Таким чином, це словосполучення можна перевести, наприклад, як «радіо, яке визначається програмним забезпеченням», але можна піти далі і скоротити до двох слів: «програмне радіо». Завдяки програмної налаштування один приймач може бути пристосований під безліч різних форм сигналу.

Для аналізу в роботі застосовується програма *SDR Sharp*, що володіє широким набором функцій:

- програма обробляє сигнал;
- перебудовує приймач за діапазоном;
- моделює необхідні фільтри;
- має панорамний індикатор, що відображає спектрограму (на якому видно обстановку в ефірі);
- вимірює рівні сигналу.

### 2.3.2. Принципи вибору *SDR* пристроїв

Одним із рішень, яке потрібно прийняти, є рівень необхідного обладнання *SDR*, будь то простий ключ з можливо меншою продуктивністю, окремий блок середнього та високого діапазону, який вимагає ПК для керування самим блоком *SDR*, або приймач (або передавач) який використовує технологію *SDR*, але може працювати як автономний блок.

Часто передбачуване використання та вартість визначають, яку форму обладнання для *SDR* потрібно, тому це рішення, ймовірно, не буде враховувати основні вимоги.

Сьогодні програмно визначені радіостанції пропонують фантастичний рівень покриття частот. Залежно від того, що таке програма, модуль *SDR*, ймовірно, охоплює значно більший діапазон частот, ніж насправді потрібно.

Часто вони поширюються до 5 або 6 ГГц і до дуже низьких частот. Часто продуктивність падає на будь-який кінець діапазону покриття, але перевірка охоплення – це те, що потрібно.

Для прямого перетворення в цифровий домен та з нього основним обмежуючим фактором є продуктивність аналого-цифрового перетворювача у випадку приймача або цифрово-аналогового перетворення у випадку передавача. Досягнення цієї технології означають, що за останні роки найвищі доступні частоти значно зросли.

Незважаючи на те, що більшість радіостанцій *SDR* приймають лише приймачі, цілком можливо, щоб ті самі методи використовувались і для передачі.

Замість сигналу від антени, що переходить у цифро-аналоговий перетворювач, сигнал генерується в зоні обробки сигналу і передається в цифро-аналоговий перетворювач.

Для більшості додатків потрібен лише приймач, а більшість доступних пристроїв мають можливість прийому. Деякі можуть передбачати генерацію сигналів.

Програмне забезпечення *SDR* працює на ПК, а потім взаємодіє з самим радіо. Популярні пакети програм *SDR* включають: *Matlab*, *HDSDR*, *SDR Touch*, *Planeplotter SDR*, тощо.

Деякі *SDR* будуть сумісними з деякими програмами чи програмами, інші навіть використовують свої, щоб отримати більш тісну інтеграцію та кращу продуктивність.

При розгляді питання придбання певного програмного забезпечення радіо, необхідно перевірити, які програми можна використовувати, щоб перевірити сумісність.

Крім того, на додаток до базового програмного забезпечення *SDR*, можуть знадобитися додаткові пакети для підтримки програмного забезпечення *SDR*. Перш ніж купувати апаратне забезпечення *SDR*, перевірте, що потрібно.

Також пам'ятайте, що за ці програми можуть виникнути додаткові витрати, тому загальна вартість придбання *SDR* може бути більшою, ніж просто обладнання. Вартість програмного забезпечення повинна враховуватися при покупці.

Операційні системи для ПК. Більшість програмних пакетів програмного забезпечення, призначених для програмного забезпечення, призначені для роботи на ПК *Windows*. Програмне забезпечення *SDR* доступне для інших платформ, але потрібно трохи обережно переконатися, що все доступне для роботи на таких платформах, як *Linux*, *Android*, *iOS* тощо. Перш ніж купувати програмне забезпечення *SDR* або *SDR*, перевірте сумісність із використовуваною операційною системою.

Потрібне обладнання ПК. Для запуску програмного пакету *SDR* потрібен певний рівень обладнання. Перш ніж купувати програмно визначену радіосистему, перевірте, чи передбачений ПК здатний запускати необхідне програмне забезпечення. Більшість сучасних ПК повинні мати такі можливості, але старі машини можуть не відповідати своїй роботі, тому перед покупкою необхідно перевірити.

Основні характеристики приймача. Оскільки *SDR* є перш за все радіоприймачем, основні технічні характеристики радіо особливо важливі при покупці та *SDR*.

Важливими є ключові характеристики вибіркості, чутливості тощо<sup>^</sup>

– чутливість: чутливість радіоприймача по суті полягає в його здатності приймати слабкі сигнали. Він обмежений шумом, що генерується всередині приймача, хоча для нижчих частот шум, що генерується зовні, є високим, і тому наявність наднизького шуму та чутливого приймача не приносить величезної користі. Чутливість радіоприймача будь-якої форми є ключовим аспектом його роботи. Існує кілька методів, що використовуються для визначення чутливості, включаючи відношення сигнал / шум, *SINAD*, показник шуму та інші.

– вибіркості: селективність радіоприймача полягає в його здатності приймати сигнали на необхідній частоті і відхиляти сигнали на сусідніх частотах або каналах. Селективність сусіднього каналу приймача – це здатність набору приймати сигнали на бажаному каналі або частоті та відхиляти будь-які на інших сусідніх каналах або частотах, оскільки вони можуть перешкоджати бажаному сигналу. У супергет-радіостанції ця вибіркості забезпечується насамперед фільтрами на проміжних етапах.

– динамічний діапазон: однією з ключових проблем будь-якого радіоприймача є отримання слабких сигналів при наявності поруч сильних сигналів. Іноді дуже сильні сигнали можуть спричинити проблеми, пов'язані з перевантаженням, і це може перешкодити прийому бажаних слабких сигналів. Відповідно динамічний діапазон приймача може бути настільки важливим, якщо не більше реальної чутливості.

– точність частоти: У деяких випадках точність частоти програмно визначеного радіо може бути важливою. Точність частоти визначатиметься годинником, що використовується *SDR*. Це може бути дуже точно, а в деяких випадках і менше. Це важливо для випадків, коли, можливо, потрібно буде знати точну частоту прийому. Це залежить від точності годинника, що

використовується в *SDR*. Часто можуть використовуватися кристалогенератори з компенсацією температури. Специфікації будуть наведені в перерахунку на мільйонні частини для даного підвищення температури, швидкості старіння тощо. Деякі приймачі *SDR* можуть мати можливість використовувати зовнішній контрольний пристрій, оскільки точність частоти є важливою;

– вимоги до живлення: особливо для СПЗ на основі донглів, вимоги до енергії будуть важливі. Варто перевірити потужність *USB*-порту, який, ймовірно, буде використовуватися. Більшість радіоприймачів, заснованих на програмному забезпеченні *USB*, споживають порівняно мало енергії, але деякі можуть вимагати достатнього рівня енергії. Очевидно, що автономні радіостанції з використанням програмної радіотехнології, як правило, живляться від електромережі, і це не повинно представляти великих проблем;

– вимоги до охолодження: деякі типи *USB*-ключів *SDR* можуть споживати розумну кількість енергії, і в результаті вони можуть працювати досить тепло. Варто перевірити будь-які вимоги до дзвінків, оскільки їм може не сподобатися працювати в середовищі, яке не рухається повітрям. Охолодження не повинно бути проблемою для дорогих одиниць, навіть якщо вони підключені до комп'ютера через *USB*-з'єднання. Деякі дуже маленькі ключі можуть стати надзвичайно гарячими, тому будьте обережні, торкаючись цих, коли вони працюють.

#### 2.4. Висновки за розділом 2

Програмно визначені радіостанції (*SDR*-стнції) пройшли дуже довгий шлях за останні роки. З переходом у цифровий домен і з нього, який тепер може функціонувати на дуже високих частотах, це повністю революціонізувало ринок СПЗ та запровадило ці приймачі у загальне користування за цінами, які є дуже прийнятними. Це робить їх ідеальною пропозицією для багатьох – від любителів до професійних користувачів.

РОЗДІЛ 3  
РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ SDR-ПРИЙМАЧА ТА  
НАЛАШТУВАННЯ ЙОГО РОБОТИ

3.1. Структурна схема апаратної частини скануючого SDR-приймача

Розробка будь-якого радіоприймального пристрою, здатного вирішити поставлені завдання, починається з визначення його структури і необхідних параметрів. Величезну роль при розробці грає доступна елементна база. Крім досягнення високих параметрів приймального тракту необхідно грамотно вирішити задачу стикування лінійного і цифрового приймачів (*SDR – Soft Defined Radio*). Зрозуміло, що передові технологічні рішення вимагають розширення смуги тракту проміжної частоти до 20, 40 і більше МГц, а сучасні розробники надають можливості швидких 16 розрядних АЦП. Лінійна частина звужується, але при цьому виникає цілий ряд важко вирішуваних завдань, пов'язаних зі зменшенням посилення в тракті при збереженні архітектури приймача. Вибираючи архітектуру приймача, зупинимося на сучасній схемі SDR приймача. У нашому випадку смуга приймача становить 20 МГц.

- Схема апаратної частини містить:
- Вхідні фільтри;
- МШГ (малошумливий підсилювач);
- змішувач;
- фазоврацатель;
- гетеродин;
- ФНЧ (фільтр низьких частот).

<i>Кафедра ЕРМІТ</i>				НАУ 21 03 96 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	<i>Лисенко О.О.</i>			Розробка структурних схем SDR-приймача та налаштування його роботи	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Іванов В.О.</i>				Д	46	63
<i>Консульт.</i>					171 ЕС 304Б/стн		
<i>Норм. контр.</i>							
<i>Зав. Каф.</i>	<i>Шутко В.М.</i>						

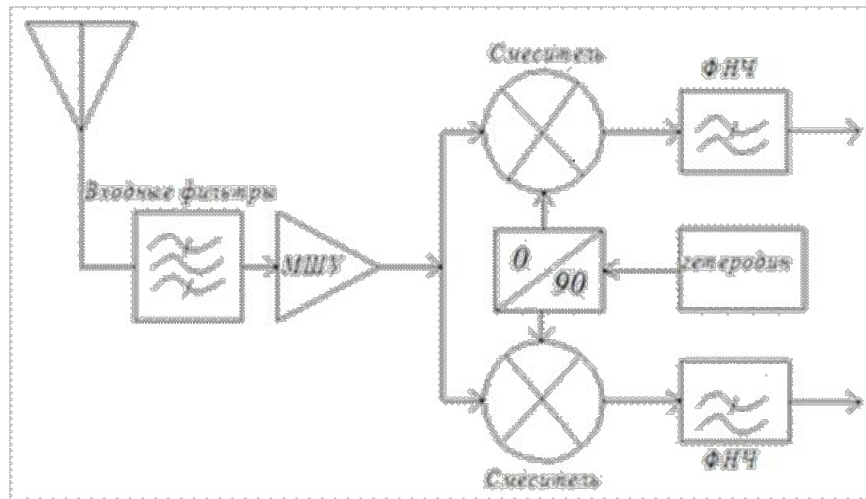


Рис. 3.1 – Схема апаратної частини скануючого SDR приймача

Після ФНЧ сигнал надходить на АЦП. Проблемою є з'єднання лінійного тракту приймача з входом АЦП. Характеристики АЦП, передбачуваного до використання:

- максимальний рівень сигналу на вході 1 В (р-р, або повний розмах);
- число розрядів  $n$  – 12, 14, 16;
- тактова частота, або швидкість вибірки  $F_{sample}$  200 МГц.

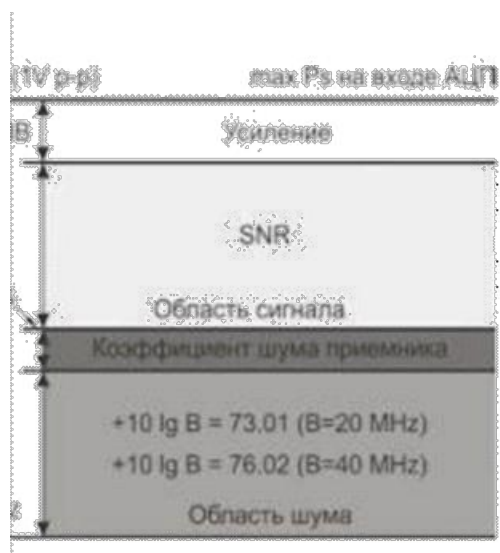


Рис. 3.2. Діаграма рівнів потужності в приймачі

### 3.2. Розрахунок основних параметрів лінійного тракту приймача

Основними параметрами лінійного тракту приймача при заданій смузі тракту і обраному АЦП на вході цифрового приймача відносяться:

- коефіцієнт посилення  $G_{\text{пр}}$ ;
- чутливість приймача, або мінімально-детектується сигнал  $MDS$ ;
- коефіцієнт шуму  $NF_{\text{пр}}$ ;
- динамічний діапазон  $DR_{\text{пр}}$ .

Динамічний діапазон можна визначити різними способами, визначимо для початку динамічний діапазон, як відношення потужності сигналу  $P1dB$  по виходу при стисненні на 1 дБ до  $MDS$ :

Чутливість приймача, або  $MDS$ , залежить від смуги сигналу коефіцієнта шуму приймача  $NF_{\text{пр}}$ . Всі розрахунки далі можна зробити, скориставшись діаграмою рівнів сигналу в приймачі (рис. 3.2) та супроводжуваними формулами. Скориставшись виразом для мінімально-детектируемого сигналу:

Теоретичним значенням відношення сигнал / шум для АЦП:

$$SNR = 6,02n + 1,76dB + 10lg Fs / 2B \quad (3.3)$$

де  $n$  – число розрядів,

$Fs$  – частота вибірки,

$B$  – смуга сигналу.

З огляду на шуми квантування  $Nq$ , отримуємо загальне вираз для розрахунку необхідного посилення лінійного тракту  $G$ :

$$- 174dB / Hz + 10lgB + NF_{\text{пр}} + 6,02n + 1,76dB + 10lg Fs / 2B - Nq + G = 10дБм \quad (3.4)$$

або, необхідний коефіцієнт посилення дорівнює:

$$G = 174dB / Hz - 10lgB - NF_{\text{пр}} - 6,02n - 1,76dB - 10lg Fs / 2B + Nq + 10 дБм. \quad (3.5)$$



Реально досяжна величина коефіцієнта шуму приймача  $NF_{пр}$  становить величину 6 – 15  $dB$ , причому з ростом частоти зростає і коефіцієнт шуму. Візьмемо для розрахунків середню величину  $NF_{пр} = 10\text{ dB}$ . Шум квантування зазвичай приймають рівним 6,5  $dB$ , а частоту вибірки – обраної по Найквіста. Розрахунки за формулою (3.5) представлені в таблиці 3.1 для різної розрядності АЦП. Мною був обраний 12 бітний АЦП *ADS4229* компанії виробника *Texas Instruments* з швидкодією 250 мільйонів вибірок в секунду.

Таблиця 3.1

Розрахунки необхідного коефіцієнта посилення

Число розрядів АЦП, $n$	Коефіцієнт посилення $G$ (Смуга тракту 20 МГц), дБ
12	38
14	26
16	14

### 3.3 Підбір елементів лінійного тракту

Визначимося з діапазоном частот проектованого приймача. Охоплення більшого діапазону частот є головним завданням програмно-обумовленого радіо. Ця система дозволяє мати велику кількість режимів роботи і набір діапазонів частот, перемикання між якими здійснюється автоматично і динамічно або віддаленим способом.

Внаслідок аналізу існуючої елементної бази мною був обраний діапазон 30-5800 МГц, що охоплює великий діапазон радіомовлення, телебачення та стільникового зв'язку, таких стандартів, як *GSM*, *UMTS*, *LTE*.

Чутливість РПУ визначається перш за все вхідним підсилювачем, тому він повинен бути малошумливим, тобто мати низький коефіцієнт шуму. Крім того,

бути широкосмуговим, тобто його посилення повинно бути достатнім у всьому діапазоні частот приймача, а також мати хороші лінійність і динамічний діапазон.

Проведений аналіз показав, що цілком прийнятним за даними параметрами є підсилювач типу *WR-LNA* виробництва компанії *WiNRADiO*. Його короткі характеристики наведені нижче:

коефіцієнт шуму  $NF$  – 1.7 дБ на частоті 500 МГц;

коефіцієнт посилення 27 дБ на 500 МГц;

робоча температура від -40 до +60 С0;

потужність на виході при стисненні на 1  $dB P1dB = 22$  дБм;

точка  $IP3 = 30$  дБм

### 3.3.1 Розробка системи фільтрів

Система фільтрів, розбиває діапазон частот на піддіапазони для того, щоб забезпечити лінійні динамічні характеристики. Куплені системи такого типу надзвичайно дороги, практично недоступні і за параметрами не задовольняють висунутим вимогам. Розроблена нами система містить 15 фільтрів, систему комутаторів і забезпечує попередню селекцію сигналів у всьому діапазоні частот, аж до 5,8 ГГц.

Пристрої на ПАР знайшли застосування в різноманітних радіоелектронних системах, зокрема в РЛС, в системах зв'язку і радіомовлення. Найчастіше такі пристрої здійснюють процедуру лінійної обробки сигналів, тобто створюють вихідну реакцію, яка пов'язана з вхідним сигналом за допомогою заданого лінійного співвідношення. У теорії систем такі пристрої називають лінійними фільтрами. Прикладами служать лінії затримки, смугові фільтри, фільтри для кореляційної обробки складних сигналів. Характеристики пристроїв на ПАР визначаються властивостями матеріалу підкладки і його топологією, тобто типом, кількістю, взаємним розташуванням і геометричними розмірами перетворювачів і відбивачів ПАР.

Топологія пристрою залежить не тільки від виконуваної операції обробки сигналу, але і від необхідних технічних характеристик. Число різних варіантів топологій сучасних пристроїв на ПАР обчислюється сотнями.

Фільтр на поверхневих акустичних хвилях (ПАР) (рис. 3.4) є твердотілим функціональним пристроєм і являє собою підкладку з пьезоелектрика 1, на поверхню якої методом фотолітографії наносяться системи струмопровідних елементів.

Одна з таких систем – випромінюючий перетворювач ПАР 2 – підключається до джерела вхідного сигналу, інша – приймальний перетворювач ПАР 3 – до навантаження.

Під дією високочастотного електричного напруги джерела сигналу в зазорах між суміжними електродами випромінюючого перетворювача виникає змінне електричне поле, яке внаслідок п'єзоефекту матеріалу підкладки викликає механічні коливання в її поверхневому шарі. Ці коливання поширюються в тонкому приповерхневому шарі підкладки в напрямках, перпендикулярних електродів у вигляді поверхневих акустичних хвиль.

Між суміжними електродами приймального перетворювача внаслідок зворотного п'єзоефекту механічні коливання ПАР зумовлюють появу електричної напруги, яке і є вихідним сигналом.

Метою усунення небажаних відображень ПАР від торців підкладки, також з метою ослаблення інших типів акустичних хвиль, які можуть бути порушені випромінюють перетворювачем ПАР, все неробочі межі і її торці покриваються спеціальним звукопоглинальним покриттям 4.

Для зменшення внесеного загасання фільтра часто застосовують спеціальні погоджують ланцюга, які включаються між джерелом сигналу і випромінюючих перетворювачем, а також між прийомним перетворювачем і навантаженням (на рис 3.5 погоджують ланцюга не показані).

Підкладка з перетворювачами і погоджують ланцюга при необхідності містяться в загальний корпус, в якості якого зазвичай використовується один з

уніфікованих корпусів мікросхем. Характеристики фільтра на ПАР в основному визначаються частотно-виборчими процесами перетворення електричного сигналу в акустичні хвилі і назад, тобто залежать від топології перетворювачів ПАР, а саме: від кількості, геометричних розмірів і взаємного розташування електродів в перетворювачі, від протяжності зон перекриття суміжних електродів (протяжності зазорів), від черговості під'єднання електродів до загальних суммируючим шинам.

Таблиця 3.2

Відповідність діапазонів з частотою

Діапазон	Нижня частота, <i>MHz</i>	Верхня частота, <i>MHz</i>
1	20	40
2	40	80
3	80	130
4	130	220
5	220	350
6	350	610
7	610	1040
8	1040	1350
9	1350	1800
10	1800	2400
11	2400	3000
12	3000	3600
13	3600	4100
14	4100	4900
15	4900	5800

Вибір конкретних значень частоти обумовлений також наявністю фільтрів ПАР на ці значення частоти. Практично у всіх сучасних приймачах використовуються фільтри ПАР як найтехнологічніші і мають стабільні

повторювані характеристики. Однак широкосмугові фільтри ПАР мають значні втрати. У той же час поки альтернативи цим фільтрам не видно.

Розрахунок параметрів топології фільтра для 7 діапазону Вихідні дані:

- центральна частота  $f_0 = 825 \times 10^6$  Гц;
- відносна смуга пропускання  $\Delta f / f_0 = 0,52\%$ ;
- число пелюсток імпульсного відгуку  $m = 4$ ;
- функція аподизації  $\omega(n) = 0,04 + 0,96 \cdot \cos^2(N+1)$  (3.6)

Матеріал звукопровода – ніобат літію  $LiNbO_3$ , Орієнтація зрізу  $41,5^\circ X$  зі швидкістю поширення хвилі  $v = 4 \cdot 10^3$  м / с. Клас обробки звукопровода -V13.

Структурна схема фільтра – вхідний перетворювач еквідистантним неаподізований, вихідний – нееквідистантний аподізований.

а) розрахунок топології вхідного перетворювача (еквідистантним неаподізованого).

Знаходимо апертуру (ступінь перекриття) електродів  $W = (10 \dots 200) \lambda$

Опис конструкції проектного фільтру:

Фільтр містить один вхідний перетворювач і один вихідний. Вхідний перетворювач – еквідистантним неаподізований широкосмуговий, число пар штирів – 2. Вихідний перетворювач – нееквідистантний аподізований з числом пар штирів – 10.

Матеріалом для звукопровода проектного фільтру на ПАР є ніобат літію з орієнтацією  $ZY$ . Клас обробки звукопровода -V13.

Розміри підкладки  $24,19 \times 10,1 \times 1,5$  мм

### 3.3.2. Вибір змішувачів

В даний час існує великий вибір елементної бази змішувача різних типів. Змішувачі бувають трьох типів:

– *Single-Device Mixer* (змішувач на одному нелінійному елементі, діод, транзистор): є найменш ефективним, так як додає в оброблюваний сигнал шуми гетеродина, і тому завжди вимагає наявності фільтра;

– *Single-Balanced Mixer* (балансним змішувач): дозволяє вирішити проблеми змішувача на одному компоненті, маючи балансних схему включення двох таких змішувачів;

– *Double-Balanced Mixer* (кільцевої балансний змішувач): володіє найбільшими втратами перетворення (найменшим посиленням) і меншою верхньої частотою в порівнянні зі звичайним балансним змішувачем, але дає ширшу смугу пропускання.

Основні переваги балансних схем перед однокомпонентними пристроями:

- придушення паразитних і інтермодуляційних продуктів;
- найкраща ізоляція сигналів між високочастотним входом, входом гетеродина і вихідним сигналом;
- придушення амплітудних шумів гетеродина;

Кращим є кільцевої балансним змішувач, через своїх хороших показників по динамічному діапазону. Динамічний діапазон це одна з найбільш важливих технічних характеристик змішувача. Значне зростання числа використовуваних передавачів і наявність джерел перешкод означає, що сучасні радіоприймачі, як правило, працюють в жорстких умовах перешкод. Вибираємо змішувач виробництва компанії *Linear Technology* високолінійний змішувач *LTC5510* для систем з перетворенням частоти вгору і вниз.

Таблиця 3.5 – Характеристики змішувача

Параметр	Значення
Діапазон частот	0-6000 МГц
втрати перетворення	1.5 дБ
коефіцієнт шуму	7.25 дБ
<i>IP3</i>	25 дБм
Максимальний вхідний рівень сигналу	15дБм
	-6 дБм
Мінімальний рівень сигналу гетеродина	

Максимальний Вхідний рівень сигналу гетеродина	10 дБм
Напруга живлення	5 В

### 3.3.3 Вибір гетеродина

Найбільш оптимальний варіант, на мій погляд, це синтезатор прямого синтезу (*DDS*). Він простий за конструкцією, містить мінімум елементів і практично не вимагає налагодження. В якості основи синтезатора я вибрав мікросхему *AD9951* фірми «*Analog devices*». Вона здатна працювати з тактовою частотою до 400 МГц, що теоретично дозволяє формувати сигнал з частотою до 200 мГц. У даній конструкції максимальна частота гетеродина 130 мГц. Загалом, *AD9951* – це розумний компроміс між ціною, простотою реалізації і якістю роботи.

### 3.3.4 Вибір перемикачів і атенюатора

Обрані високочастотні перемикачі компанії *MACOM*. Перемикач типу *MASW-000932* ділить весь частотний діапазон на два піддіапазони: від 30 до 3500 МГц і від 3500 до 5800 МГц. Він відрізняється високою лінійністю, відмінною ізоляцією і співвідношенням втрат.

Далі кожен поддіапазон розбивається на 15 діапазонів перемикачем *MASW-010351-TR3000*.

Далі по тракту, після фільтрів і перемикача включений атенюатор з цифровим управлінням від 0 до 31.5 дБ через 0.5 дБ. Атенюатор управляється програмно і служить для обмеження потужних сигналів, вирівнювання АЧХ і регулювання посилення в приймачі в цілому. Тип атенюатора *HMC542BLP4E* компанії *Analog Device*.

Короткі характеристики перемикачів і атенюатора представлені нижче в таблицях 3.5, 3.6 і 3.7.

Таблиця 3.6

Характеристики *MASW-010351-TR3000*

параметр	Значення
Діапазон частот	0-6000 МГц
Внесені втрати	0.6 дБ
<i>IP3</i>	72 дБм
Керуюча напруга	0-5 В

Таблиця 3.7

Характеристики *HMC542BLP4E*

параметр	значення
Діапазон частот	0-6000 МГц
Внесені втрати	1 дБ
<i>IP3</i>	50 дБм
Керуюча напруга	5 В
Максимальна робоча температура	+85 С
Мінімальна робоча температура	-40 С
Діапазон частот	0-6000 МГц
Діапазон регулювання посилення	31.5 дБ
Керуюча напруга	5 У
Внесені втрати	1.7
<i>IP3</i>	50 дБм
Довжина кроку атенюатора	0.5 дБ
Керуюча напруга	0-5 В
Максимальна робоча температура	+85 С
Мінімальна робоча температура	-40 С



### 3.4. Розрахунок коефіцієнтів посилення і коефіцієнта шуму приймального тракту

Загальний коефіцієнт посилення приймача дорівнює:

$$K_{\text{пр}} = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n,$$

– де  $K_1, K_2, K_3, K_n$  – коефіцієнти посилення окремих елементів тракту шуму елементів тракту прийому, взяті з технічних характеристик елементів і зведені в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8

Характеристики підібраних елементів

Параметр	K (дБ)	K (рази)	NF <sub>пр</sub> (дБ)	NF <sub>пр</sub> (рази)
Вхідні фільтри	-3.9	0.417	2.8	1.9
МШП	25	500	1.7	1.47
Атенюатор	-1.7	0.660	1.5	1.41
Змішувач	-7.1	0.1910	7.25	5.31
ФНЧ	-1.5	0.700	2	1.56

$$K_{\text{пр}} = -3.9 + 25 - 1.7 - 7.1 - 1.5 = 10.8$$

Необхідно зауважити, що розрахунок підсилення підсилювача типу *WR-LNA* в середньому дорівнює 12 дБ. Для 12 розрядного АЦП легко домогтися необхідного посилення, використовуючи підсилювач.

Використовуючи відому формулу загального коефіцієнта шуму декількох з'єднаних послідовно каскадів, знайдемо коефіцієнт шуму приймального тракту.

Розрахунки коефіцієнта шуму шпр приймача показують, що коефіцієнт шуму не перевищує 6.5 дБ. Вибір підсилювача з параметрами  $P1dB = 12$  дБм і  $IP3 = 22$  дБм гарантує високу динаміку радіоприймального пристрою.

Так як був обраний 12 бітний АЦП *ADS4229* компанії виробника *Texas Instruments* з швидкодією 250 мільйонів вибірок в секунду. Коефіцієнт посилення приймального тракту для роботи з цим АЦП не повинен перевищувати:

$$G_{max} = 174dB / Hz - 10lgB - NF_{пр} - SNR + P_{max}, (3.32)$$

де  $P_{max}$  – максимальний рівень сигналу на вході АЦП.

При використанні даного АЦП в режимі симетричного входу розмах вхідного напруги дорівнює 2В (від -1 до 1 В), вхідний опір становить 750 Ом.

Виходячи з цього:

$$P_{max} = 10lg (U^2 / R / 1мВ) = 10lg (12/750 / 0.001) = 1.25 \text{ дБм} (3.33) \quad G_{max} = 174dB / Hz - 10lg (20 * 106) - 4.9 - 65 + 1.25 = 31.9 \text{ дБ}$$

Тракт приймача, з коефіцієнтом посилення  $G_{пр} = 10.8$  дБ (підрахований вище), підходить на вимогу АЦП до максимального рівня сигналу на вході.

### 3.5. Висновки за розділом 3

## ВИСНОВКИ

У даній роботі розглядається історія, основні особливості та методи побудови програмно-обумовленого радіо *SDR*. Описано основні архітектурні рішення.

Радіоприймальні пристрої – це головний і важливий елемент будь-якої системи передачі інформації, що використовує радіохвилі. За рахунок нього відбувається управління енергією електромагнітного поля, що переносить корисні інформацію, посилення потужності корисного радіосигналу, детектування, посилення потужності прийнятого сигналу і перетворення його в повідомлення, яке надходить одержувачу інформації.

Спроектовано в роботі приймач володіє наступними характеристиками:

- діапазон частот 30-5800 МГц;
- смуга пропускання 20 МГц;
- коефіцієнт шуму приймача менше 6.5 дБ;
- коефіцієнт посилення приймального тракту 12 дБ;

Не можна сказати, що технологія *Software Defined Radio* є молодий, оскільки військові вже давно використовують її в своїй апаратурі.

В точці прийому присутні сторонні електромагнітні поля. Природного і штучного походження створювані джерелами радіозавад. Корисний сигнал спотворюється за рахунок перешкод і тому відбуваються помилки в прийомі повідомлення. Беручи до уваги, що реальні умови прийому сигналів змінюються в часі, режими його роботи і структура приймача повинні бути оптимізовані, з метою отримання мінімальної величини помилки в точці прийомі повідомлень.

Останнім часом в області радіозв'язку з'явився новий термін – "радіомоніторинг", який розкриває діяльність по контролю і вивчення радіообстановки. В якості основних пристроїв радіомоніторингу на даний момент використовуються багатоканальні скануючі приймачі, що дозволяють виробляти

автоматичний пошук знаходяться в ефірі радіосигналів, так і здійснювати постійний контроль заздалегідь заданих частот.

Забезпечення безпеки при веденні переговорів у радіосистеми встає на перше місце, коли передається інформація має конфіденційний характер або є інформацією обмеженого доступу, що особливо актуально для державних відомств і великих комерційних підприємств. Однак, саме той факт, що інформація представляє якийсь інтерес, може спонукати потенційного порушника до протиправних дій

З комерційної ж точки зору технологію можна вважати досить молодий і швидко розвивається. Компоненти для цифрової обробки сигналів, аналого-цифрового перетворення удосконалюються і дешевшають з кожним днем, що постійно наближає вихід технології *SDR* в маси. Як було показано в роботі, складність конструкції традиційних трансиверів істотно вище, ніж у *SDR*, не кажучи вже про відсутність у перших будь-якої гнучкості, так необхідної в сучасних умовах, що швидко змінюються стандартів. Тому тотальний перехід до архітектури *SDR* неминучий, це лише питання часу.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *SDR Forum, "TECHNICAL REPORT 2.1: Architecture and Elements of Software Defined Radio Systems as Related to Standards", November 1999*
2. *SDR Forum, "FAQ", <http://www.sdrforum.org/pages/TheForum/faqs.asp>*
3. *Lee Pucker, "Software Defined Radio Technology in Commercial and Military Applications: A Contrast in Requirements", Proceedings of the SDR '02 Technical Conference, November 2002*
4. *Stephen M. Blust, "Perspective on Software Defined Radio – Download and Reconfigurability for Radio Software" ITU Seminar on IMT-2000 and Systems Beyond Ottawa, 28 May 2002*
5. *SDR Forum Base Station Working Group, "Base Station System Structure", SDRF-01-S-0006-V2.00, 15 January 2002*
6. *Lee Pucker, "OBSAI and CPRI Update", SDRF-04-I-0038-V0.00, 21 April 2004*
7. *SDR Forum, "Software Defined Radio Commercial Handset Guidelines", SDRF-04-A-0006-0.00, 25 August 2004*
8. *Open Mobile Alliance, "OMA Service Environment Architecture Document Version 1.0.3", 22 June 2006*
9. *Service Availability Forum, "Introduction to the Service Availability Forum", [http://www.saforum.org/about/saforum\\_introduction/index.html](http://www.saforum.org/about/saforum_introduction/index.html)*
10. *SDR Forum Hardware Abstraction Layer Working Group, "Hardware Abstraction Layer Working Group Report on Results of Request For Information", SDRF-04-A-0009-V0.00, 4 October 2004*
11. *SDR Forum System Interface Working Group, "API Position Paper", SDRF-03-I-0030-V1.00*
12. *SDR Forum Download Working Group, "Overview and Definition of Software Download for RF Reconfiguration", SDRF-02-A-0002-V0.00, 6 August 2002*
13. *Dr. Didier Bourse, "E2R Reconfigurable Radio Resource and Spectrum Management", WWI-MOCCA Workshop, 30 March 2006*

14. Bard J. *Software Defined Radio The Software Communications Architecture* / J.Bard, V.J. Kovarik // John Wiley & Sons Ltd. – 2007. – 439 p.
15. Kossor M. (WA2EBY) *A Doppler Radio-Direction Finder. Part 1, 2* / M.Kossor // QST. – 1999. – pp.35-40. -Режим доступа: <https://archive.org/details/ADopplerRadioDirectionFinder>.
16. *List of software-defined radios* // Wikipedia, the free encyclopedia. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_software-defined\\_radios](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software-defined_radios).
17. *Introduction into Theory of Direction Finding* // Rohde & Schwarz Radiomonitoring & Radiolocation Catalog 2011 / 2012. – 2012. -Pp. 72-95. -Режим доступа: <http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/ot3tm2/df.pdf>.
18. Rajan J. *SDR platform enables reconfigurable direction finding system* / J.Rajan // RFDesign. – 2005. – P. 36-46. – Режим доступа: [http://www.spectrumsignal.com/publications/SDR\\_in\\_Direction\\_Finding\\_RFDesign\\_0105.pdf](http://www.spectrumsignal.com/publications/SDR_in_Direction_Finding_RFDesign_0105.pdf).
19. *RasHAWK Distributed EM Situational Awareness Based on Raspberry Pi and REDHAWK AOC Susquehanna Tech Challenge 2013 Final Report*. – 2014. – 25 p. – Режим доступа: [http://www.geontech.com/dwnld/AOC\\_Challenge.pdf](http://www.geontech.com/dwnld/AOC_Challenge.pdf).
20. Roupael T.J. *RF and Digital Signal Processing for Software-Defined Radio: A Multi-Standard Multi-Mode Approach* / T.J. Roupael. – Burlington, Newnes Inc. – 2009. – 383 p.
21. Seeber B. *Software Defined Radio Direction Finding* / B.Seeber // Ettus Research. – 2013. – 57 p. – Режим доступа: <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/679473/21303404/1355863220773/seeber-DirectionFinding.pdf>.
22. *Synchronized RTL-SDR receivers and direction finding*. – Tejeez, 2016.- Режим доступа: [https://github.com/tejeez/rtl\\_coherent](https://github.com/tejeez/rtl_coherent).
23. Автоматические радиопеленгаторы семейства "Артикул" с улучшенными техническими характеристиками / А.В. Ашихмин, М.Ю. Власов, В.А. Козьмин, А.М. Рембовский. – Режим доступа: <http://www.ircos.ru/zip/art201102.pdf>.
24. Технические характеристики и особенности построения автоматических радиопеленгаторов семейства "АРТИКУЛ" / А.В. Ашихмин, В.А.

Козьмин, А.М. Рембовский, А.Р. Сергиенко // Спецтехника и связь. – 2008. – № 2. – С. 26-35.

25. Ашихмин А.В. Цифровая обработка сигналов в носимой аппаратуре радиоконтроля / А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин, А.В. Поляков // Труды 9-го Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, 13-16 сентября 2011 г. – Санкт-Петербург. – 2011. – С. XXX. – Режим доступа: <http://www.ircos.ru/zip/art201114.pdf>.

26. Безрук В.М. Совместное обнаружение, пеленгование и распознавание радиоизлучений с учетом неопределенности измерений параметров сигналов / В.М. Безрук, А.В. Чеботов // Системи обробки інформації. – 2009. – Вып. 5 (79). – С. 82-84.

27. Виноградов А.Д. Корреляционно-фазовый способ радиопеленгования с использованием эквидистантных кольцевых антенных решеток / А.Д. Виноградов // Антенны. – 2009. – Вып. 4 (143). – С. 22-34.

28. Дощич О. Любительский пеленгатор / О.Дощич // Український УКХ портал – 2016. – Режим доступа: <http://vhfdx.in.ua/index.php/pub/tech/28-lyubitelskij-pelengator>.

29. Дубровин Н.А. Применение высокочувствительных активных антенн в комплексах пеленгования КВ диапазона / Н.А. Дубровин // Антенны. – 2008. – Вып. 3 (130). – С. 21-25.

30. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р.Лайонс ; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: ООО. "Бином-Пресс", 2006. – 656 с.

31. Системы, комплексы, устройства контроля средств связи [Электронный ресурс]. – Харьков: ООО "НТЦ РТС АН ПРЭ", 2013. – 18 с. – Режим доступа: [http://www.ntcrts.com/attachments/Catalog\\_2013.pdf](http://www.ntcrts.com/attachments/Catalog_2013.pdf).

32. Павлюк В.В. Побудова високошвидкісних цифрових дециматорів на основі напівсмугових фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою / В.В. Павлюк, О.А. Нагорнюк, Б.В. Молодецький [Електронний ресурс] // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Житомир: ЖВІ. – 2015. – Вип. 12. – С. 60-67. – Режим доступу: [www.zvir.zt.ua/images/stories/ZbirnikNP/ZbirnikZHVI\\_12.pdf](http://www.zvir.zt.ua/images/stories/ZbirnikNP/ZbirnikZHVI_12.pdf).

33. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком. – 2009. – 624 с.

34. Слободянюк П.В. Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра / П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарный ; под общ. ред. П.В. Слободянюка. – Прилуки: ООО "Издательство "Аір-Поліграф", 2010. – 296 с.

35. Кулинченко В.Н., Демиденко О.М. Изучение влияния внешних помех на качество сигнала в сетях *Wi-Fi* / – Проблемы физики, математики и техники, № 4 (25). – 2015. – С. 96-99.

36. ДСТУ 3008-95 Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

37. Бойченко С.В., Іванченко О.В. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного авіаційного університету. – К.: НАУ, 2017. – 63 с.



## Додаток А