

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва

Освітня програма Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

Шифр і назва

на тему «Монопольна антена для бездротових технологій»

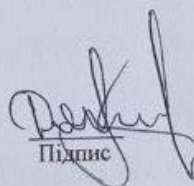
КвРТР.2020004.01.04.ПЗ

Виконав:  
студент 4 курсу, група ТР1-20-1

  
Підпис

Максим КОВАЛЬЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:  
канд.техн. наук, доц.

  
Підпис

Денис МАКАРИШКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Нормоконтролер

  
Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.

  
Підпис

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«07» червня 2024р.

Хмельницький, 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня-професійна програма Телекомунікації та інформаційно-  
комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

*В. Ільєвський*

«10» 01 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

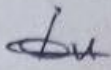
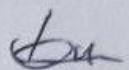


Ковальчук Максим Юрійович

1. Тема роботи: Монопольна антена для бездротових технологій  
керівник роботи Макаришкін Д.А., к.т.н. доцент  
Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8.
2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.
3. Вихідні дані до роботи: Завдання на кваліфікаційну роботу
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ.  
Формування випромінювання. Основна частина. Результати експериментів та їх  
обговорення. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу: // презентаційних слайдів.

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

### Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

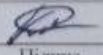
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання « 10 » \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Формування випромінювання	15.03.2024р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2024р.	Виконано
4	Результати експериментів та їх обговорення	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення креслень, презентаційних матеріалів	01.06.2024р.	Виконано

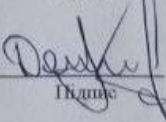
Студент

  
Підпис

Максим КОВАЛЬЧУК

Ім'я, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Монопольна антена для бездротових технологій».

Автор роботи: Максим КОВАЛЬЧУК.

Керівник роботи: Денис МАКАРИШКІН

Пояснювальна записка: 63 с., 18 рис., 0 табл., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

МОНОПОЛЬНА АНТЕНА, БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК,  
КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.

Метою роботи є розгляд монопольної антени для використання в бездротових технологіях. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання: визначити принципи роботи монопольної антени; виділити основні класифікації антен; пояснити значимість монопольної антени в бездротових технологіях.

20.06.2024  
Дата

  
Підпис студента

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ФОРМУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	6
1.1 Види антен.....	7
1.2 Класифікація антен.....	9
1.3 Бездротовий зв'язок.....	10
1.3.1 РЧ-СИГНАЛИ.....	11
1.3.2 ІНФРАЧЕРВОНА ПЕРЕДАЧА.....	12
1.4 Бездротовий телефон.....	15
1.5 Бездротові повторювачі.....	16
1.6 Висновки до першого розділу.....	25
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	26
2.1 Переваги та недоліки використання монопольної антени.....	26
2.2 Основні сфери застосування монопольних антен.....	27
2.3 Монопольні та дипольні антени.....	31
2.4 Надширокосмугові антени для бездротових систем.....	32
2.5 Типи та варіанти антен з логарифмічною періодичною структурою.....	37
2.6 Висновки до другого розділу.....	43
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	44
3.1 Фрактальні монопольні антени.....	46
3.2 Експерименти та схема монопольної антени.....	50
3.3 Висновки до третього розділу.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	57

				КвРТР.2020004.01.04 ПЗ			
	№докум.	Підпис			Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Ковальчук М.Ю.		27.06.24	Монопольна антена для бездротових технологій		2	61
Перевір.	Макаришків Д.А.		27.06.24				
Т.контр.							
Н.контр.	Корецька Л.О.		27.06.24				
Затвер.	Мартинюк В.В.		27.06.24				
				ХНУ, ТР1-20-1			

## ВСТУП

Актуальність теми. Радіопристрої та випромінювання приймають радіохвилі. Точніше сказати, це обладнання радіозв'язку, радіолокація, обладнання радіоелектронної боротьби та радіонавігаційне обладнання, має не мало важливу частину. Антени, як правило, виготовляються з металевого дроту (стрижня) або металеві поверхні, виготовлені з них, називають дротовою антеною. Антена для випромінювання радіохвиль, зазначених в якості передавальних, направляється на передавач, і енергія перетворюється в простір зі змінною електромагнітною енергією. Антена для прийому радіохвиль, звана приймальною антеною, в якій електромагнітна енергія з простору прийому перетворюється в енергію змінного струму, задану приймачем. Як правило, в якості передавальної антени можна використовувати звичайну антену, а також приймальну антену, як у випадку, коли дуплексер з антеною може одночасно передавати і приймати Дані загального доступу. Але деякі антени підходять тільки для прийому самої антени.

Метою роботи є розгляд монопольної антени для використання в бездротових технологіях.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- визначити принципи роботи монопольної антени;
- виділити основні класифікації антен;
- пояснити значимість монопольної антени в бездротових технологіях.

Об'єктом дослідження є монопольна антена та бездротові технології

Предметом дослідження є пояснення принципу використання монопольної антени в бездротових технологіях

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі була використана статистика та програмне забезпечення для моделювання та проектування

Практична значимість отриманих результатів:

Обґрунтування принципу використання монопольної антени в бездротових технологіях.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 60 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 25 малюнків, список використаних джерел вміщує 44 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні терміни:

- інфрачервона передача;
- бездротовий телефон;
- бездротові повторювачі;
- типи комунікаційних технологій;
- стільниковий зв'язок;
- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- ZigBee;
- система WiMAX.

В другому розділі розглянуто основні принципи монопольних антен, дипольних та логарифмічних антен і надали методологію дослідження. Основні принципи включають розуміння структури, принципу роботи та сфер застосування цих видів антен, такі як логарифмічна періодичність і функція антени. Також розглянуто основні параметри та розміри, які характеризують монопольні та логарифмічні антени, включаючи діапазон робочих частот, довжину елементів, відстані між елементами та кут нахилу диполів.

Третій розділ присвячений вивченню методів мініатюризації для зменшення розмірів друкованих Ірda-антен. Розглядаються різні методи, такі як використання верхнього навантаження, метод фрактальних ітерацій, метод відсікаючих елементів і використання відбивача.

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			5

## 1 ФОРМУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Цей розділ описує електричні властивості основних електричних параметрів антени: діаграму, підсилювальний коефіцієнт, вхідний опір та загальна ефективність ширини смуги. Шаблон антени - це центр кулі до антени або сфера (радіус якої набагато більший за довжину самої хвилі) на просторовому розподілі розмірних графіків напруженості електричного поля. Зазвичай містить максимальний напрямок випромінювання двох взаємно-перпендикулярних площинних графіків. Для концентрації в певних напрямках випромінювання або прийому електромагнітних хвиль, зазначена спрямована антена, напрямок, показаний на рисунку 1, пристрій може збільшувати ефективну відстань, щоб поліпшити стійкість пристрою до шуму. Можна використовувати певні функції схеми антени, такі як пошук, навігація, спрямованість зв'язку та інші.

Іноді для подальшого покращення спрямованості антени можна скласти ряд однотипних компонентів антен, але за певними правилами, для того, щоб сформувати антенну решітку. Розглянемо коефіцієнт посилення антени: якщо антену замінити бажаною ненаправленою, то антена в початковому напрямку максимальної напруженості поля, на тій же відстані все одно виробляє ті ж умови напруженості поля, вхідна потужність до ненаправленої антени з вхід до фактичного відношення антени. В даний час великий коефіцієнт посилення мікрохвильової антени близький до 10.

Геометрія антени та пряме співвідношення довжини хвиль має більшу спрямованість, та коефіцієнт посилення також буде вищий. Хочу зазначити, що вхідний опір імпедансу антени представлений, як правило, включає опір двох частин антени. Він впливає на отримане значення, передавач та його дані збігаються. А тепер про ефективність, вона полягає в: потужності випромінювання антени та її співвідношенні вхідної потужності, роль антени

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			6





Активним пристроєм називають активну антену, яка може збільшити коефіцієнт підсилення та досягти мініатюризації, призначеної виключно для приймальної антени.

Адаптивна антена - це антенна решітка та адаптивна процесорна система, яка обробляється за допомогою виходу кожного елемента масиву, так щоб вихідний сигнал був максимально корисним для покращення зв'язку, радіолокаційного та іншого обладнання.

В цій антені мікросмугова решітка прикріплена до діелектричної підкладки металевим випромінюючим елементом з одного боку та з іншого, що складається з поверхонь літальних апаратів однакової форми, невеликих розмірів, невеликої ваги, придатних для швидкісних літаків.

## 1.2 Класифікація антен

Ми можемо розділити за призначенням такі види антен, як антени зв'язку, радіоантени, телевізійної антени, радіолокаційних антени. Щоб виявити робочу довжину хвилі, потрібно розділити на довгохвильову антену, АМ-антену, короткохвильову антену, FM-антену, мікрохвильові антени.

Опишу антени за розмірними точками можна, які складаються з двох типів:

- одновимірна;
- двовимірна.

Одновимірна дротова антена складається з немалої кількості компонентів, таких як дроти, які використовуються на телефонній лінії, , як кабель на телевізорі перед використанням старих кролячих вух, показано рисунку 1.2. Монопольна антена і двоступенева двома основними одновимірними антенами.

Також антену за її програмами можна розділити на:

- ручні станційні антени;
- автомобільні антени;

– базові антени трьох категорій.

Ручні станційні антени використовуються для особистого користування, а портативні антени для рацій.

Конструкція автомобільної антени встановлюється на антени зв'язку, найпоширенішою є присосна антена. Структура антени автомобіля також має укорочену чверть хвилю, довжину хвилі п'ять восьмих, подвійні форми антени на половину довжини.

Антени базових станцій у всій системі зв'язку відіграють надзвичайно велику роль, особливо як центр зв'язку станцій зв'язку.

Зазвичай використовується склопластикова антена базової станції вона має високий коефіцієнт посилення, антену решітки (вісім кільцевих антен), спрямовану антену.

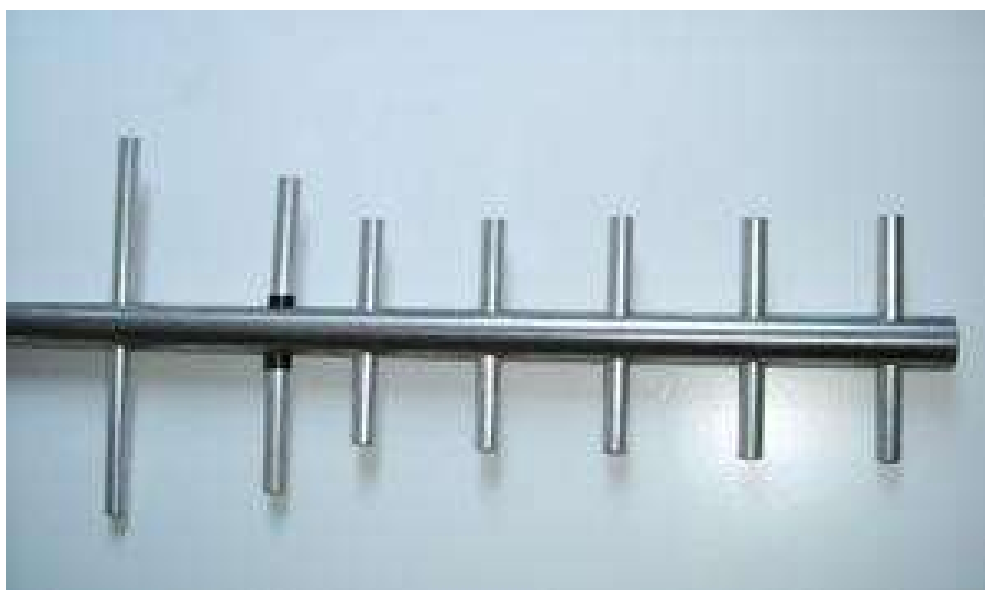


Рисунок 1.2 – Одновимірний дротова антена, яка складається з дротів

### 1.3 Бездротовий зв'язок

Бездротовий зв'язок відіграє важливу роль у повсякденному житті. Окрім зв'язку, бездротові технології стали невід'ємною частиною нашої повсякденної

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	10
		№докум.	Підпис			

діяльності. Бездротова передача даних або інформації з одного місця в інше називається бездротовим зв'язком. Це забезпечує обмін даними без будь-якого провідника через РЧ та радіосигнали. Інформація передається через пристрої на відстань від кількох метрів до сотень кілометрів через чітко визначені канали.

Термін бездротовий означає передачу або передачу інформації на відстань без використання проводів, кабелів чи будь-яких інших електричних провідників. Бездротовий зв'язок є одним із важливих засобів передачі даних або інформації іншим пристроям. Зв'язок налаштовано, і інформація передається по повітрю, без використання кабелів, за допомогою електромагнітних хвиль, таких як радіочастоти, інфрачервоні, супутникові тощо, у мережі бездротового зв'язку.

У зв'язку між пристроями для бездротової передачі даних використовуються різні типи сигналів. Нижче наведено різні електромагнітні сигнали, які використовуються залежно від їх довжини хвилі та частоти.

### 1.3.1 РЧ-сигнали

РЧ-сигнали легко генеруються в діапазоні від 3 кГц до 300 ГГц. Вони використовуються в бездротовому зв'язку через їхню властивість проникати крізь об'єкти та долати великі відстані. Радіосистема є одним із видів бездротової передачі даних, і це бездротовий носій, який передає дані шляхом перенесення електромагнітних хвиль з низькими частотами у віддалені місця через електричний провідник та антену.

Любителі радіоаматори обмінюються інформацією та служать допоміжними засобами зв'язку під час стихійних лих за допомогою свого потужного аматорського радіомовного обладнання та можуть навіть передавати цифрові дані через радіочастотний спектр. Радіозв'язок залежить від довжини хвилі, потужності передавача, якості приймача, типу, розміру та висоти антена.

Що стосується недоліків, то вони залежать від частоти, та мають відносно низьку пропускну здатність для передачі даних.

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			11

### 1.3.2 Інфрачервона передача

Інфрачервона передача випромінювання – це електромагнітне поле з більшою довжиною хвилі, ніж видиме світлу. Зазвичай вони використовуються для зв'язку на невеликій відстані. Ці сигнали не проходять крізь тверді предмети. Інфрачервона мережа – це система передачі даних, яка передає сигнали даних через світлодіоди (світлодіоди) або лазери. Інфрачервоний випромінювання - це електромагнітна енергія з довжиною хвилі, більшою, ніж у червоного світла. Інформація не може передаватися через перешкоди в інфрачервоній системі, але може бути загальмована світлом. Одним із типів інфрачервоного випромінювання є система "точка-точка", в якій можлива передача між двома точками, обмеженими діапазоном і прямою видимістю.

Частота сигналу для передачі в системі "точка-точка" становить від 100 ГГц до 1,000 терагерц (ТГц). ), а швидкість коливається від 100 Кбіт/с до 16 Мбіт/с. Інший метод передачі інфрачервоного випромінювання включає систему мовлення – і в цьому методі відбивний матеріал або блок передачі підсилюють і повторно передають сигнал даних кільком іншим блокам, показано на рисунку 1.3. Нормальна частота інфрачервоної системи мовлення становить від 100 ГГц до 1,000 ТГц з обмеженою швидкістю 1Мбіт/с.

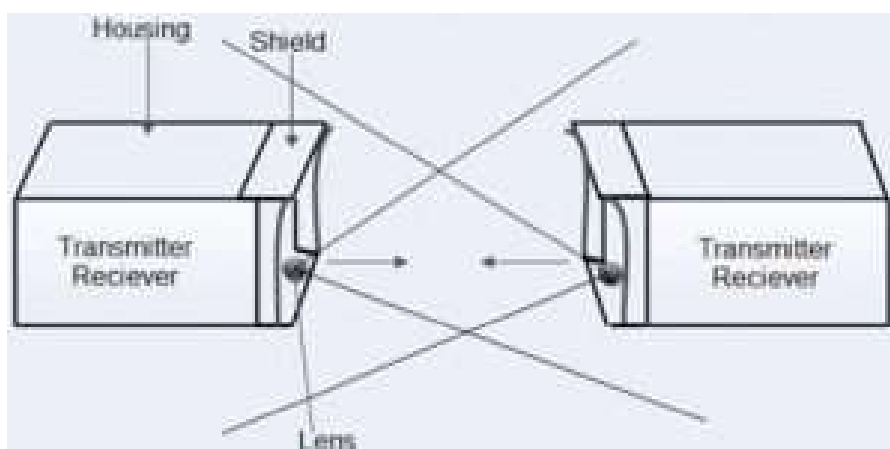


Рисунок 1.3 – Зображений метод передачі інфрачервоного випромінювання

Інфрачервона передача, або мікрохвильова передача мікрохвилі є формою електромагнітної передачі, яка використовується в системах бездротового зв'язку. Довжина хвилі мікрохвиль коливається від одного метра до одного міліметра. Частота коливається від 300 МГц до 300 ГГц. Вони широко використовуються для міжміського зв'язку і є відносно меншими.

Мікрохвильова піч є ефективним типом бездротової передачі даних, яка передає інформацію за допомогою двох окремих методів. Одним із методів, який використовується для передачі даних через бездротовий носій мікрохвильової печі, є супутниковий метод, який передає інформацію через супутник, який обертається на орбіті 22,300 11 миль над Землею.

Наземні станції надсилають і отримують сигнали даних на супутник і з нього з частотою від 14 ГГц до 1 ГГц і зі швидкістю передачі від 10 Мбіт/с до 4 Мбіт/с, показано на рисунку 1.4. Іншим методом є наземний метод, при якому використовуються дві мікрохвильові вежі з чітким оглядом між ними, щоб не було перешкод для порушення цієї лінії зору. З метою конфіденційності він часто використовується. Частота передачі даних для наземних систем зазвичай становить від 6 ГГц до 21 ГГц або від 23 ГГц до 1 ГГц, а швидкість зазвичай становить від 10 мегабіт на секунду (Мбіт/с) до XNUMX Мбіт/с.



Рисунок 1.4 – Наземні станції, що надсилають та отримують сигнали даних і нього з частотою від 14 ГГц до 1 ГГц

Недоліками вузла мікрохвильової передачі є непрохідність крізь будівлі. Погана погода впливає на передачу сигналу. Вони залежать в основному від частоти.

Передача світлової хвилі – це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від інфрачервоного випромінювання до ультрафіолетового. Довжина хвилі коливається від 430 до 750 ТГц, показано на рисунку 1.5.

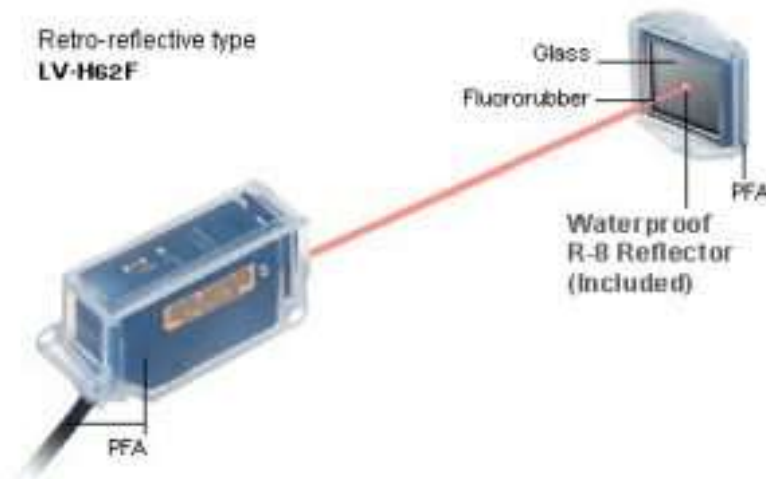


Рисунок 1.5 – Передача світлової хвилі, довжина якої коливається від 430 до 750 ТГц

Це некеровані оптичні сигнали, такі як лазери, і є односпрямованими. Недоліки передачі світлових хвиль. Ці сигнали не можуть проникнути крізь дощ і туман. Лазерний промінь легко відводиться повітрям. Бездротові телефони Еволюція стільникових мереж перераховується поколіннями.

Багато різних користувачів спілкуються в одному діапазоні частот через стільникові та бездротові телефони. Стільникові та бездротові телефони є ще двома прикладами пристроїв, які використовують бездротові сигнали. Бездротові телефони мають обмежений діапазон, але стільникові телефони

зазвичай мають набагато більший діапазон, ніж локальні бездротові мережі, оскільки мобільні телефони використовують великі телекомунікаційні вишки для забезпечення покриття стільникового телефону. Деякі телефони використовують для зв'язку сигнали від супутників, подібно до пристроїв глобальної системи.

#### 1.4 Бездротовий телефон

Бездротові телефони та інші пристрої, все що використовує радіосигнали для зв'язку, можна вважати бездротовим пристроєм, показано на рисунку 1.6. Звичайні пристрої, такі як механізми відкривання дверей гаража, радіоняні, певні ігрові консолі та рації, використовують бездротові технології. Бездротові адаптери – це апаратні пристрої, які встановлюються всередині комп'ютерів, які забезпечують бездротове підключення. Якщо комп'ютер не має бездротового адаптера, він не зможе під'єднатися до маршрутизатора для доступу до Інтернету.

Деякі комп'ютери мають бездротові адаптери, вбудовані безпосередньо в материнську плату, а також можна встановити автономні бездротові адаптери, щоб додати бездротові можливості комп'ютеру, який не має вбудованої функції. Бездротовий повторювач Бездротовий ретранслятор – це пристрій бездротової мережі. який використовується для розширення діапазону бездротового маршрутизатора.

Ретранслятор приймає бездротові сигнали і посилює їх силу, а потім повторно випромінює їх. Потужність сигналу можна збільшити, розмістивши ретранслятор між маршрутизатором і комп'ютером, підключеним до маршрутизатора.

## Mobile Communication Systems



Рисунок 1.6 – Бездротові телефони та інші пристрої, все що використовує радіосигнали для зв'язку

### 1.5 Бездротові повторювачі

Типи технологій бездротового зв'язку в останні дні стали невід'ємною частиною кількох типів комунікаційних пристроїв, оскільки вони дозволяють користувачам спілкуватися навіть з віддалених районів. Пристроями, що використовуються для бездротового зв'язку, є бездротові телефони, мобільні телефони, пристрої GPS, технологія ZigBee, бездротові комп'ютерні частини, супутникове телебачення тощо. Технологія бездротового зв'язку поділяється на різні типи залежно від відстані зв'язку, діапазону даних та тип використовуваних пристроїв. На рисунку 1.7 наведено різні типи технологій бездротового зв'язку.



Рисунок 1.7 – Наведено різні типи технологій бездротового зв'язку.

## 1.6 Типи комунікаційних технологій

Виділяють наступні типи телекомунікаційних технологій:

- супутникове радіо;
- телевізійне мовлення;
- радарний зв'язок;
- супутниковий зв'язок;
- стільниковий зв'язок;
- система глобального позиціонування;
- WiFi;
- Bluetooth;
- радіочастотна ідентифікація.

Радіозв'язок, був однією з перших розроблених бездротових технологій, які використовуються досі. Портативні багатоканальні радіоприймачі дозволяють користувачеві спілкуватися на короткі відстані, тоді як радіостанції для громадян і морські радіостанції надають послуги зв'язку на великі відстані для далекобійників і моряків, показано на рисунку 1.8.

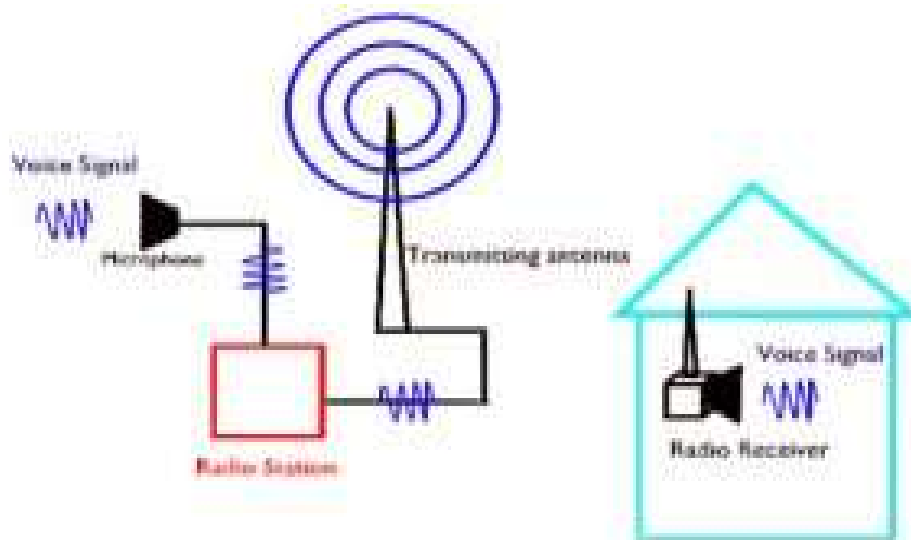


Рисунок 1.8 – Портативні багатоканальні радіоприймачі

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	17
		№докум.	Підпис			

Здебільшого радіо передає звук через повітря у вигляді радіохвиль. Радіо має передавач, який передає дані у вигляді радіосигналів на антену приймача. Для мовлення загальні програмні станції пов'язані з радіомережами. Трансляція відбувається або в одночасній передачі, або в синдикації, або в обох формах.

Радіомовлення може здійснюватися через кабельне FM, а супутники на великі відстані до двох мегабіт/сек. Стільниковий зв'язок. Стільникова мережа Elect, показано на рисунку 1.9, використовує зашифровані радіоканали, модульовані, щоб дозволити багатьом користувачам спілкуватися в одному діапазоні частот. Оскільки окремі телефони не мають значної потужності мовлення, система залежить від мережі веж стільникового зв'язку, які здатні тріангуляти джерело будь-якого сигналу та передавати обов'язки прийому на найбільш підходящу антену.

Передача даних через стільникові мережі можлива за допомогою сучасних систем 4G, які здатні досягати швидкості дротового DSL, показано на рисунку 1.10. Компанії стільникового зв'язку стягують зі своїх клієнтів хвилину голосу та кілобайти за дані.

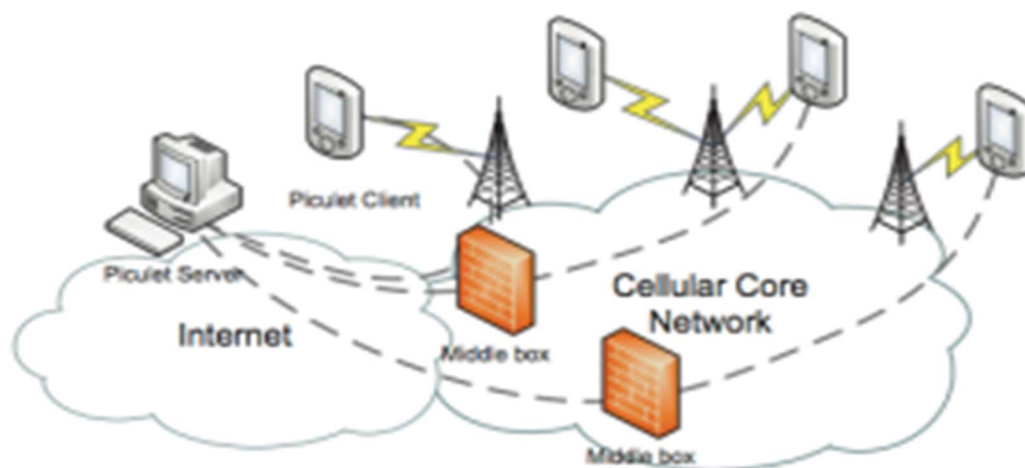


Рисунок 1.9 – Стільникова мережа Elect, яка використовує зашифровані радіоканали





Ця мережа полегшує підключення багатьох пристроїв залежно від конфігурації маршрутизатора. Але обмежені в радіусі дії через наднизьку потужність передачі, що дозволяє користувачеві підключатися лише в безпосередній близькості.

Легкість інтеграції та зручність – бездротова технологія таких мереж дозволяє всім користувачам отримувати доступ до мережевих ресурсів майже з будь-якого зручного їм місця (удома, на роботі, в громадських місцях).

Мобільність – із появою загальнодоступних бездротових мереж користувачі можуть отримати доступ до Інтернету навіть за межами свого звичайного робочого середовища. кількість клієнтів з наявним обладнанням. У дротовій мережі додаткові клієнти вимагають додаткового підключення, показано на рисунку 1.12.

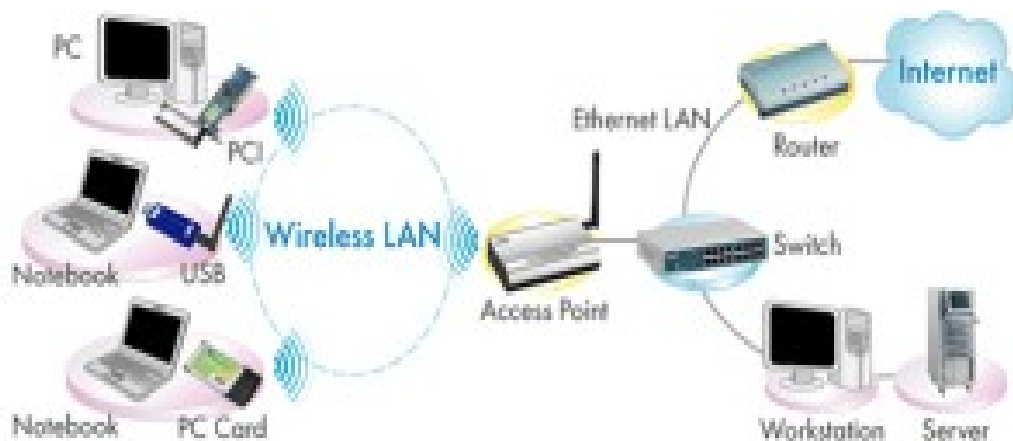


Рисунок 1.12 – Зображено, як додаткові клієнти вимагають додаткового підключення до дротової мережі

Недоліки WiFi. Також бездротові локальні мережі деколи можуть бути небажаними з ряду причин. Радіочастотна передача та сигнали бездротової мережі піддаються широкому спектру перешкод, включаючи складні ефекти поширення, які не контролюються адміністратором мережі.





Особливостями технології ZigBee, є пристрої розроблені для низького споживання енергії. Також вона використовується в комерційних програмах, таких як додатки для зондування та моніторингу. ZigBee використовує дуже низьку потужність і надзвичайно тривалий термін служби батареї пристрою. До цього всього вона дає можливість робити більше завдяки надійній бездротовій роботі від акумулятора.

WiMAX існують бездротові широкопasmові системи, які пропонують швидкий веб-серфінг без підключення через кабель або DSL (прикладом бездротового широкопasmового доступу є WiMAX). Хоча WiMAX потенційно може передавати дані зі швидкістю понад 30 мегабіт на секунду, постачальники пропонують середню швидкість передачі даних 0.6 Мбіт/с і часто передають менше, що робить послугу значно повільнішою, ніж жорсткий широкопasmовий доступ, показано на рисунку 1.15.

Фактична вартість даних, доступних за допомогою WiMAX, сильно змінюється залежно від відстані від передавача. WiMAX також є однією з версій бездротової мережі 4G, доступної в телефонах як технологія Sprint 4G.



Рисунк 1.15 – Зображена широкопasmова система WiMAX

## 1.6 Висновки до першого розділу

В першому розділі описано загальні визначення, принципи випромінювання, класифікації та види антен, також все про бездротовий зв'язок і його системи. В загальному цей розділ описує електричні властивості основних параметрів антени: діаграму, коефіцієнт підсилення, вхідний опір та ефективність ширини смуги. Також ми розглянули види бездротового зв'язку такі як:

- інфрачервона передача;
- бездротовий телефон;
- бездротові повторювачі;
- типи комунікаційних технологій;
- стільниковий зв'язок;
- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- ZigBee;
- система WiMAX.

У першому розділі наведено рисунки, на яких показано: напрямок спрямованої антени, форму антени, яка може збільшити коефіцієнт підсилення та досягти мініатюризації, одновимірну дротову антена, яка складається з дротів, наземні станції, що надсилають та отримують сигнали даних, передача світлової хвилі, бездротові телефони та інші пристрої, різні типи технологій бездротового зв'язку, портативні багатоканальні радіоприймачі, стільникова мережа Elect, передача даних через стільникові мережі за допомогою сучасних систем 4G, малопотужна форма бездротового зв'язку, основні функції технології Bluetooth, систему ZigBee, широкосмугову система WiMAX.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Переваги та недоліки використання монопольної антени

Монопольні антени широко використовуються у світі зв'язку завдяки своїй простоті та ефективності. Однак, як і в будь-якій системі, є переваги та недоліки, які варто враховувати. У цій кваліфікаційній роботі детально розглядаються переваги та недоліки використання монопольної антени, щоб була змога приймати зважені рішення та оптимізувати свій зв'язок.

У світі зв'язку антени відіграють фундаментальну роль. Це пристрої, які дозволяють передавати та приймати електромагнітні сигнали, що дозволяє нам насолоджуватися телебаченням, радіо або доступом до Інтернету. Однією з найпоширеніших і використовуваних антен є монопольна антена. Монопольна антена – це однополюсна антена або випромінюючий елемент. Тобто вона складається з вертикального стрижня або дроту, який випромінює та приймає електромагнітні сигнали. Важливо відзначити, що для правильної роботи цього типу антени потрібна заземлена площина або маса.

Принцип дії монопольної антени заснований на електромагнітному випромінюванні. Коли через випромінювальний елемент протікає електричний струм, навколо нього створюється електромагнітне поле. Це поле поширюється в просторі у вигляді хвиль і вловлюється іншими приймальними антенами.

Ефективність монопольної антени залежить від кількох факторів, таких як довжина випромінюючого елемента та належне заземлення. Довжина випромінюючого елемента повинна бути пропорційна довжині хвилі сигналу, який передається або приймається. У випадку монопольних антен, які використовуються для прийому радіо- та телевізійних сигналів, довжина зазвичай становить частку довжини хвилі.

Заземлення монопольної антени є важливим для її правильної роботи. Площина заземлення діє як відображення випромінюючого елемента, підвищуючи ефективність антени. На практиці площина заземлення може бути реалізована за допомогою металевій конструкції, металевій пластини або навіть закопаного кабелю.

Важливо відзначити, що полярність монопольної антени може бути вертикальною або горизонтальною в залежності від розташування випромінюючого елемента. Вибір полярності залежатиме від потреб передавання або прийому та характеристик середовища.

## 2.2 Основні сфери застосування монопольних антен

Монопольні антени є одними з найпоширеніших типів антен, які використовуються в різних сферах застосування. Їх проста конструкція та ефективність роблять їх ідеальними для широкого спектру використання. Нижче наведено деякі з основних застосувань монопольних антен:

- мобільний зв'язок;
- радіо- та телепередачі;
- супутниковий зв'язок;
- радар;
- наукові програми.

Мобільний зв'язок: Монопольні антени широко використовуються в мережах мобільного зв'язку, таких як мережі стільникового телефону. Ці антени встановлюються на стільникових вежах і використовуються для передачі та прийому сигналів мобільного телефону, що забезпечує бездротовий зв'язок, показано на рисунку 2.1.



3. Супутниковий зв'язок: Монопольні антени також використовуються в супутниковому зв'язку. Ці антени використовуються для передачі та прийому супутникових сигналів, що забезпечує зв'язок на великі відстані. Крім того, монопольні антени також використовуються для прийому супутникових сигналів у будинках та інших середовищах, показано на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Монопольна антена для супутникового зв'язку

4. Радар: Монопольні антени використовуються в радіолокаційних системах для виявлення та відстеження об'єктів. Ці антени використовуються для передачі радіолокаційних сигналів і прийому сигналів, відбитих від об'єктів. Проста та ефективна конструкція монопольних антен робить їх придатними для використання в радіолокаційних системах, показано на рисунку 2.4.

5. Наукові програми: Монопольні антени також використовуються в широкому діапазоні наукових застосувань, показано на рисунку 2.5. Наприклад, вони використовуються в радіоастрономічних дослідженнях для виявлення та вивчення радіосигналів із космосу. Вони також використовуються в

дослідженнях поширення радіосигналів і в дослідженнях властивостей електромагнітних хвиль.



Рисунок 2.4 – Монопольна антена в радіолокаційних системах

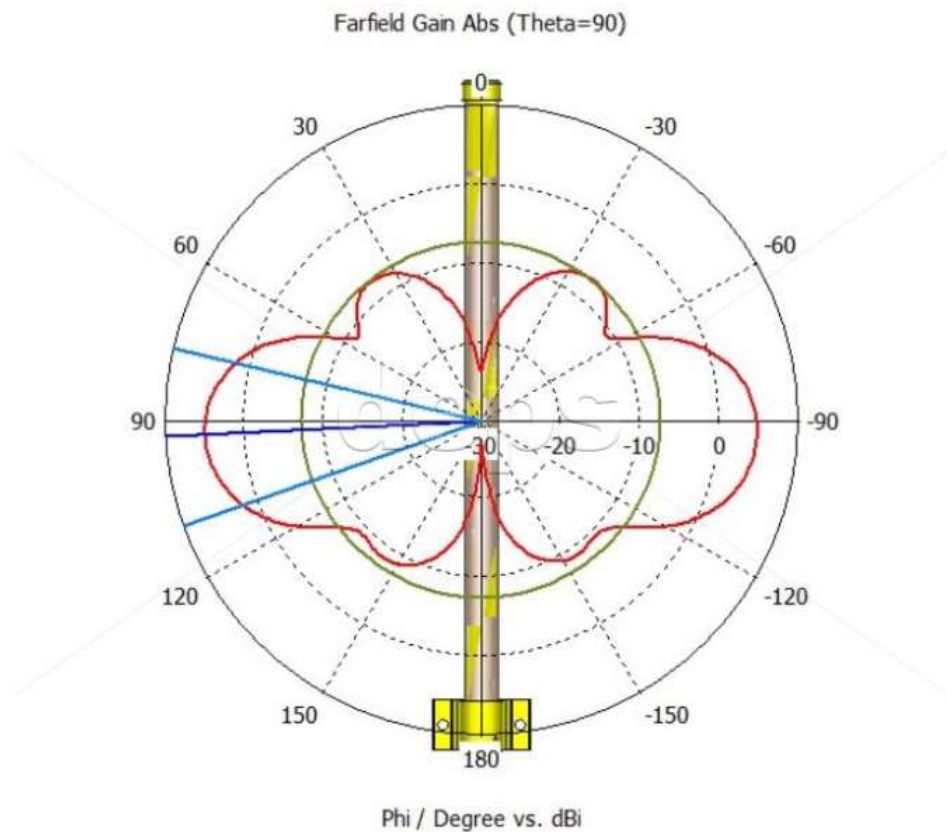


Рисунок 2.5 – Приклад експериментів над монопольною антеною в наукових програмах

## 2.3 Монопольні та дипольні антени

Монопольні антени є однополярними антенами, тобто вони мають один випромінюючий елемент. Таким випромінюючим елементом може бути вертикальний металевий стрижень або кільцева антена. Довжина випромінюючого елемента пов'язана з робочою частотою антени. Як правило, для досягнення кращої ефективності використовується кілька довжин хвиль робочої частоти.

Монопольна антена є всенаправленою антеною, що означає, що вона випромінює енергію в усіх напрямках горизонтально. Це робить її придатною для застосувань, де необхідно охопити широку область однорідним сигналом. Деякі приклади застосування монопольної антени включають FM-радіостанції, телевізійні антени та антени мобільних телефонів.

Дипольні антени є біполярними антенами, тобто вони мають два випромінювальні елементи. Ці випромінювальні елементи, як правило, розташовані у формі перевернутої букви «V» або паралельно. Довжина кожного випромінюючого елемента пов'язана з робочою частотою антени.

Як і монопольні антени, дипольні антени є всеспрямованими, випромінюючи енергію в усіх напрямках по горизонталі. Однак, на відміну від монопольних антен, дипольні антени мають більш симетричну діаграму спрямованості та вищу ефективність. Це робить їх придатними для застосувань, де потрібне високе посилення та чудова продуктивність, наприклад, антени радіомовлення та антени радарів.

Відмінності між монопольними і дипольними антенами:

– конфігурація: основна відмінність між монопольними та дипольними антенами полягає в їхній конфігурації. Монопольні антени мають один випромінюючий елемент, тоді як дипольні антени мають два випромінювальні елементи.

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			31

– діаграма спрямованості: монопольні антени мають ширшу та менш симетричну діаграму спрямованості порівняно з дипольними антенами.

Недоліками дипольних антен можна вказати наступне. На якість сигналу впливає велика кількість завад, наприклад, якщо абонент проживає поблизу електростанції або гроза на вулиці. Для таких випадків краще підійде використання монопольної антени.

## 2.4 Надширокосмугові антени для бездротових систем

Антени широкосмугового зв'язку у своїй переважній більшості застосовуються в різних системах бездротового зв'язку для наступних видів призначення:

- військового;
- промислового та ін.

Для прикладу, для використання технології визначення напрямку у військових цілях потрібна антена, яка дозволяє генерувати сигнал в більш широкому діапазоні частот і визначати кут в азимутальній площині для прийому.

Антени з такими сучасними застосуваннями застосовуються для визначення місцезнаходження передавачів невідомих сигналів з метою відстеження та виявлення місцезнаходженню необхідних цілей і впроваджуються в різних державних програмах. Вимірювання в галузі електромагнітної сумісності (ЕМС) із використанням антени як джерела ЕМ випромінювання в ревербераційній камері є предметом досліджень в цьому діапазоні частот.

Антени зі широкосмуговою технологією (UWB, ultra-wideband) викликають спільний інтерес у сучасних дослідженнях, оскільки вони є не від'ємною складовою бездротових систем зв'язку. Останніми роками технології UWB досліджують для задоволення потреб у високій швидкості передачі всіх даних, нижчих витратах та меншому споживанні електроенергії. Планерні

антени набувають більшої популярності для застосувань UWB після того, як Центральна комісія зі зв'язку (ССС) виділила неліцензований UWB діапазон частот з 3,1 ГГц по 10,6 ГГц. Для нових бездротових застосувань з широкосмуговою технологією використовуватимуться антени типу монополь та слот-антени друковані завдяки їхнім перевагам:

- легку інтеграцію з іншими активними пристроями;
- задовільну частотну відповідь;
- просту реалізацію.

UWB антени мають широке застосування у наступних галузях:

- для радіочастотної ідентифікації;
- в радарах;
- розташування обладнання;
- забезпечення громадської безпеки.

Деякі інтелектуальні програми UWB антен містять:

- автомобільні радіолокаційні системи;
- системи спостереження;
- програмовані радіостанції;
- спектральний аналіз.

Деякі теми досліджень антен UWB включають відповідність стійкість до випромінювання, широкосмугового опору, компактні розміри, низький профіль та доступну вартість. Зараз зростає інтерес до використання надширокосмугових технологій як у деяких поточних та майбутніх додатках. Особливо покращилася технологія UWB в 2002 році, коли комерційним комунікаційним програмам [1] було дозволено використовувати діапазон частот (неліцензійний) від 3,1 ГГц до 10,6 ГГц.

Існуючі технології зв'язку третього покоління (3G) забезпечують абсолютну пропускну здатність до 7,5 ГГц для різних послуг, таких як:

- відеотелефонія,

- високошвидкісний доступ до Інтернету,
- цифрові голосові послуги,
- покращене завантаження відео/музики.

Це все становить близько 110% від часткової смуги пропускання центральної частоти.

Така широка смуга пропускання доступна для використання в радіолокаційних службах, а також для високошвидкісного зв'язку і системах безпеки. Ще однією перевагою технології UWB є низьке енергоспоживання. Максимальна потужність, завдяки розподілу енергії UWB-сигналу в широкому діапазоні частот, доступна антені як частини UWB-системи, складатиме всього 0,5 МВт в залежності від спектральної потужності.

Вважається, що ця потужність невелика, і насправді вона дуже близька до рівня шуму в порівнянні з тим, що в даний час використовується в різних системах бездротового зв'язку [2].

Надширокосмугові (UWB) технологія-це нова технологія майбутнього для радарів і геолокації, а також для радіозв'язку малої дальності з високою швидкістю передачі даних.

Дійсно, використання високої пропускну здатності забезпечує безліч переваг, включаючи стійкість до уповільнення поширення, високу швидкість передачі даних, точне визначення геолокації та дальності, стійкість до перешкод, відмінне проникнення через перешкоди, співіснування із системами з вузькою смугою пропускання та придушення перешкод. Перший сигнал UWB, слід зазначити, був створений в експерименті Герца, який випромінює іскру через широкосмуговий диполь навантаження.

Однак у той час від цього типу зв'язку відмовилися через відсутність ресурсів для ефективного відновлення широкосмугової енергії. Пізніше, у 1960-х і 1970-х роках, технології імпульсного радіо використовувалися для розробки військового зв'язку та спеціальних програм, радарів, зондування. Росс у 1973

році на UWB зв'язок подав знаковий патент. Термін «надширокосмуговий» з'явився саме в 1989 році в публікації міністерства оборони США, і перший патент був поданий від імені Hughes у 1993 році з точним словосполученням «UWB антена».

Отже інтерес до UWB віродився у 90-х роках минулого сторіччя завдячуючи досягненню цифрової обробки сигналів, зокрема вивченню Веном та Шольцем імпульсного радіо (ІЧ) у 1998 році. Саме у 2002 році завдяки рішенням Федеральної комісії зв'язку США (FCC) регуляторного органу частот, інтерес до системи UWB значно зріс. Федеральна комісія видала звіт, що дозволяє використовувати пристрої UWB, що працюють у декількох діапазонах частот, які є неліцензованими: [0-960 МГц], [3,1-10,6 ГГц], [22-29 ГГц].

З тих пір правила були визначені, зокрема, за допомогою спектральних радіаційних масок по всьому світу. В Європі Комісія з електронних комунікацій (ЕСС) Востаннє запропонувала цю пропозицію в 2009 році. грудні грудня Дек.дек. На відміну від одного рівня радіаційної маски FCC у смузі UWB, цей звіт рекомендує два низькочастотні піддіапазони в діапазоні від 3,1 ГГц до 4,8 ГГц (що дозволено для забезпечення співіснування до 2011 року) та два у високочастотному діапазоні від 6 ГГц до 8,5 ГГц. Вважається загальноприйнятною верхня межа ефективної ізотропної випромінюваної потужності (EIRP) і становить 41,3 дБм / МГц.

Визначення UWB є універсальним, навіть якщо допустимий діапазон частот змінюється залежно від регіону світу. UWB описує технологію радіозв'язку фізичного рівня, яка використовує пропускну здатність не менше 500 МГц або принаймні 20% від використовуваної центральної частоти. Ми розробили два підходи для систем UWB: імпульсний режим та деякі вузькосмугові. Серед цих методів оригінальний підхід заснований на концепції ІЧ-випромінювання. Імпульсний радіозв'язок передбачає використання серії

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			35

імпульсів занадто короткої тривалості, які модулюються по амплітуді і/або положенню.

Обробка проміжних частот не потрібна, оскільки сигнал не містить несучої, є лише сигнал базової смуги. Альтернативними схемами є множинний доступ з Кодовим Поділом несучих (MCC DMA) і багатосмугове мультиплексування з ортогональним частотним поділом (MB-OFDM). Для забезпечення співіснування UWB з іншими стандартами зв'язку допустима потужність передачі завжди дуже низька, що обмежує розробку UWB-систем зв'язку з дуже високими швидкостями передачі даних та/або дальнім охопленням. Зв'язок між системами з декількома входами та декількома виходами (MIMO), що використовують технологію UWB (з використанням середовища з високим рівнем розсіювання з декількома антенами), все більше вивчається.

Це дуже перспективний підхід для збільшення пропускної здатності, дальності дії, надійності зв'язку та усунення перешкод. Недавні дослідження також показали перспективність використання технології UWB в системах RFID (радіочастотної ідентифікації) наступного покоління. Насправді системи багаторазового доступу обіцяють забезпечити більший діапазон, точну локалізацію, стійкість до перешкод та підвищену безпеку.

І при розгляді радіосистем, які є потенційними пропозиціями на когнітивні радіостанції, UWB представляється одним з найкращих варіантів, оскільки він має внутрішні можливості для задоволення деяких ключових вимог до когнітивних радіостанцій. Ці вимоги включають відсутність регульовану форму імпульсу, підтримку різних смуг пропускання, помилкових перешкод для ліцензованих систем, пропускну здатність та потужність передачі, інформаційну безпеку, адаптивний багаторазовий доступ.

Однак не стверджується, що когнітивна радіосистема, яка використовує лише технологію UWB, може відповідати всім вимогам, що пред'являються до

ідеального когнітивного радіо. Досягнення в реконфігурації радіочастотних інтерфейсів, особливо реконфігурованих (множинних) антен, забезпечують нове "апаратне" вимірювання для оптимізації продуктивності бездротових систем зв'язку (2007). Хоча перспективи UWB постійно зростають, майбутні бездротові системи, що використовують технологію UWB, мають багато нових завдань, особливо пов'язаних з проектуванням та моделюванням UWB-антен.

## 2.5 Типи та варіанти антен з логарифмічною періодичною структурою

Існує кілька типів логоперіодичних антен. Точний тип, найбільш підходящий для конкретного завдання, залежить від ваших вимог. Основними типами антен з логарифмічною періодичною структурою є: логарифмічна дипольна решітка (LPDA) - це конструкція антени, яка використовує логарифмічну періодичність для отримання характеристик широкосмугового випромінювання.

Головною особливістю LPDA є те, що розмір і повний опір цієї антени періодично змінюються в залежності від частоти, що дозволяє їй працювати в широкому діапазоні частот. Вона складається з розташованих в певному порядку диполів, кожен з яких призначений для роботи на певній частоті. У той же час частотний діапазон, в якому працює LPDA, включає як низькі, так і високі частоти. Вузьку діаграму спрямованості зазвичай має LPDA, тому вона корисна для використання, де потрібна спрямованість сигналу, таких як вимірювання антен, радіорозвідка, системи спрямованості та інше. Він також може працювати в широкому діапазоні частот, що робить його корисним для бездротового зв'язку та інших використань, де важлива пропускна здатність із широкою смугою.

Багаторівневе логарифмічне антенне вікно - це антенна конструкція, яка використовує для отримання характеристик широкосмугового випромінювання принцип логарифмічної періодичності. Ця антенна конструкція включає в себе систему диполів або інших випромінюючих елементів, які мають форму кулі або

сфери і розташовані на поверхні або всередині сферичної решітки. Головною особливістю цієї структури є те, що вона може працювати в широкому діапазоні частот, забезпечуючи при цьому високий коефіцієнт посилення і спрямованість.

Багат шарові логарифмічні антенні вікна використовуються в різних системах бездротового зв'язку, бездротової розвідки, вимірювання антен та інших додатках, де потрібна широкопasmовою та спрямована пропускна здатність.

Зигзагоподібна логарифмічна антенна решітка - це модифікована версія логарифмічної антенної решітки (LPDA) з дипольними елементами, розташованими зигзагоподібно, як показано на малюнку 2.6. Ця антена має кілька дипольних елементів, які створюють логарифмічну періодичність інтерференціям між собою для досягнення широкопasmових характеристик випромінювання.

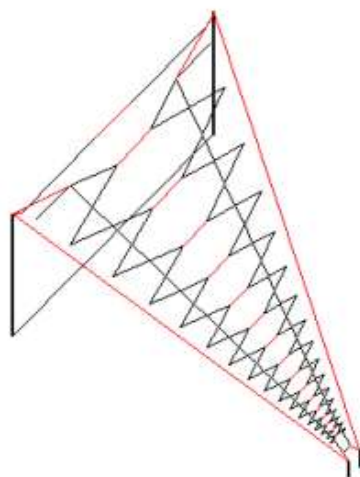


Рисунок 2.6 – Зигзагоподібна логарифмічна антенна решітка

Основною перевагою зигзагоподібною логарифмічної антенної решітки є те, що вона може працювати в широкому діапазоні частот і великий частотний діапазон та забезпечувати високу спрямованість. Така конструкція антени застосовна для бездротового зв'язку, бездротових розвідувальних систем,

визначення напрямку та інших використань, де здатність працювати на різних частотах і важливі спрямованість.

Трапецієподібна логарифмічна антенна решітка - де дипольні елементи розташовані у вигляді трапеції або трапецієподібної конструкції і це один із типів логарифмічних антенних решіток. Така конфігурація забезпечує логарифмічну періодичність і дозволяє антенній решітці працювати в широкому діапазоні частот. Трапецієподібні логарифмічні антенні решітки використовуються в додатках, де важливі спрямованість і можливість роботи на різних частотах. Вони використовуються в системах радіотехнічної розвідки, бездротового зв'язку, системах надширокосмугового зв'язку та інших областях, де важливо поєднання характеристик широкосмугового випромінювання і високої інтенсивності випромінювання.

Логарифмічна антенна решітка V-подібної форми - це один із типів логарифмічних антенних решіток, де дипольні елементи розташовані у формі "V". Дана конфігурація антеною решітки спеціально розроблена для роботи в широкому діапазоні частот.

V-подібні антенні решітки часто використовуються в бездротовому зв'язку та інших додатках, що вимагають поєднання спрямованості та високої пропускну здатності. Вони можуть працювати на різних частотах у широкому діапазоні, що робить їх корисними в сучасних комунікаційних технологіях.

В цілому, логарифмічні антенні решітки V-подібної форми можуть забезпечувати високий коефіцієнт посилення і широку смугу пропускання, що робить їх важливим компонентом сучасних систем бездротового зв'язку та інших додатків бездротової інженерії. Найбільш поширеним типом є логарифмічна дипольна антенна решітка LPDA, яка розглядається.

Логарифмічна дипольна решітка складається з декількох дипольних елементів. Розмір цих елементів поступово зменшується від задньої частини в напрямку максимального випромінювання від менших передніх елементів.

Кожен дипольний елемент LPDA живиться, але фаза між сусідніми дипольними елементами змінюється. Це забезпечує належну фазову синхронізацію сигналів між різними елементами.

Це також показує, що необхідно подавати живлення по всій довжині антени. Зазвичай вона налаштована таким чином, щоб стати частиною механічної конструкції антени. Не всі антенні решітки активні на будь-якій частоті. Активна область, тобто область антени, яка сприяє передачі або прийому, змінюється зі зміною частоти, і насправді лише близько 3-ох може сприяти випромінюванню на будь-якій частоті. Крім того, при зміні робочої частоти відбувається плавний перехід активної області LPDA уздовж антени, як показано на рис. 2.7.

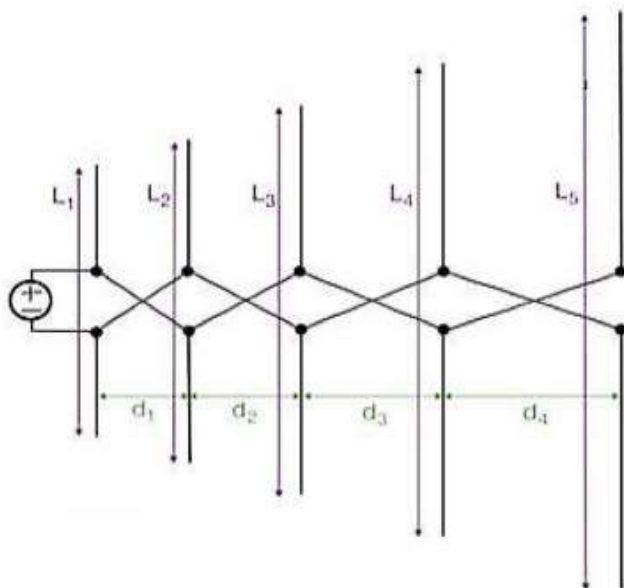


Рисунок 2.7 – Решітка логарифмічних періодичних диполів, концепція LPDA

Елемент, розташований на задній панелі антенної решітки, де він найбільший, є напівхвильовим на найнижчій робочій частоті, а найдовший елемент діє як напівхвильовий диполь на найнижчій частоті. Відстань між елементами також зменшується в напрямку передньої частини Антени, де

розташовані найменші елементи. Верхня частота залежить від довжини найкоротшого елемента.

Крім того, зазвичай до кінця фідера прикріплений короткозамкнений узгоджений фідерний контур, який розташований далі від найкоротшого елемента і забезпечує необхідне вирівнювання вздовж антенного фідера і лінії електропередачі в антені. Одним з ключових елементів концепції LPDA є фазовий зсув між сусідніми дипольними елементами.

Це забезпечує правильну фазову кореляцію між різними антенними елементами. Кожен диполь живиться, і для цього зазвичай потрібен кабель живлення, вбудований в конструкцію антени. LPDA має активну область, яка змінюється при зміні частоти і використовується в складі антени для забезпечення працездатності на певних частотах. Таким чином, LPDA забезпечує можливість роботи на багатьох різних частотах з високою спрямованістю і хорошою кореляцією імпедансів.

Ця концепція дозволяє створювати антени з широкосмуговими функціями і робить LPDA корисним для різних застосувань, включаючи радар, вимірювання амплітуди імпульсів, визначення напрямку та інші.

Логарифмічні дипольні матриці LPDA зазвичай працюють в частотному діапазоні орієнтовно 2:1 і можуть забезпечувати пряме посилення в порівнянні з дипольними матрицями. Як і антена Yagi, вона має пряме посилення та високе співвідношення передньої та задньої частот, але має менший коефіцієнт посилення порівняно з антеною Yagi з подібною кількістю елементів і LPDA може працювати в набагато ширшому діапазоні частот. В процесі експлуатації діаграма спрямованості конструкції LPDA залишається приблизно однаковою у всьому робочому діапазоні.

Крім того, такі параметри, як радіаційна стійкість і відбита потужність, відображаються за допомогою коефіцієнтів стоячої хвилі. З точки зору продуктивності, типова логарифмічна антена забезпечує пряме посилення 2:1 на

3-6 дБ порівняно з дипольною антеною в діапазоні частот і може підтримувати коефіцієнт стоячої хвилі менше 1,3:1. При такому рівні продуктивності логарифмічна антена набагато більша, ніж антена Yagi з подібним коефіцієнтом посилення, але ідеально підходить для багатьох застосувань.

Логарифмічні антени використовуються в багатьох областях, де потрібні широкосмугові характеристики поряд з спрямованістю і коефіцієнтом посилення. Ця антена використовується в декількох областях, таких як: високочастотний зв'язок: логарифмічні антени часто використовуються для дипломатичного спілкування в діапазоні високих частот. Логарифмічні антени добре справляються з цим завданням, оскільки посольствам і подібним користувачам необхідно працювати в широкому діапазоні частот у високочастотному діапазоні, і часто буває реально мати тільки 1-у антену.

Одна логарифмічна антена забезпечує доступ до достатньої кількості частот у високочастотній області, що дозволяє підтримувати зв'язок, незважаючи на зміни в іоносфері, що впливають на оптимальну робочу частоту, оскільки телевізійні канали можуть бути розміщені на широкому ділянці надвисокочастотного спектру, логарифмічні частоти можуть охоплювати достатній широкосмуговий діапазон частот.

Визначення рівня електромагнітної сумісності (ЕМС): ЕМС є важливою проблемою для всіх електронних пристроїв. Для проведення тесту потрібна частота сканування в широкому діапазоні частот. Для тестування випромінювання потрібна антена, яка може забезпечити рівномірну реакцію в широкому діапазоні частот. Логарифмічні антени широко використовуються в додатках такого формату, які можуть забезпечити необхідну продуктивність.

Інші області застосування: існує безліч інших додатків, які можуть застосовуватись логарифмічні антени. Така конструкція радіочастотної антени ідеально підходить для будь-якого застосування, де потрібно спрямований і широкосмуговий діапазон. З огляду на її розміри і низький коефіцієнт посилення

в порівнянні з Yagi, логарифмічні дипольні решітки зазвичай використовуються не так широко, як Yagi. Однак LPDA добре працює, якщо вам потрібен широкий діапазон пропускної здатності.

## 2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі описані основні принципи роботи монопольних, дипольних і логарифмічних антен і представлена методологія дослідження. Основні принципи включають розуміння принципу роботи, структури та застосування таких типів антен, таких як логарифмічна періодичність та функції антени. Також враховуються основні розміри і параметри, що характеризують логарифмічну і монопольну антени, включаючи довжину елементів, відстань між елементами, діапазон робочих частот і кут нахилу диполя.

У цій кваліфікаційній роботі наведено методологія дослідження підходу, що використовується при вивченні монопольних антен, включаючи використання програмного забезпечення для проектування та моделювання, аналіз результатів та проведення експериментів. У ньому представлена методологія як основний підхід до досягнення цілей роботи з вивчення монополів з використанням логарифмічних антен.

У цьому розділі представлені методологічний підхід та теоретичні основи до вивчення логарифмічних та монопольних антен, які закладають основу для подальших досліджень та експериментів.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сьогодні, в умовах стрімкого технічного прогресу і постійного розвитку бездротових технологій, потреба в системах зв'язку і бездротових пристроях нового покоління зростає. Досягнення в цій області призводять до розширення доступного діапазону радіочастот, призначених для використання в системах бездротового зв'язку.

Однією з ключових характеристик такої системи є її здатність працювати в широкосмуговому діапазоні частот, що охоплює значний діапазон від 3,1 ГГц до 10,6 ГГц. Для забезпечення ефективної роботи систем бездротового зв'язку в цих діапазонах частот необхідні антени з високою пропускну здатністю і стабільними характеристиками діаграми спрямованості. Як правило, однією з конструкцій антен, яку дослідники розглядають для використання в надширокосмугових системах, є монопольна антена.

Ці антени дозволяють створювати ефективні пристрої, здатні передавати і приймати сигнали в широкому діапазоні частот. Однак важливо зазначити, що багато існуючих монопольних антен не здатні забезпечити стабільну схему випромінювання у всьому діапазоні частот, що може знизити ефективність та придатність для конкретних застосувань. Тому для задоволення деяких додаткових вимог, пов'язаних зі стабільністю і спрямованістю сигналу, інженери шукають інші типи антен та інженерні рішення.

У різних областях техніки, таких як бездротовий зв'язок, радіолокація, системи ідентифікації радіочастотних міток і багато інших, необхідна надійна і ефективна (монопольна) антена, здатна працювати в надширокосмуговому діапазоні частот. Це важливо для забезпечення високої швидкості передачі даних, низьких витрат на електроенергію та відповідності нормативним вимогам. У цьому контексті монопольна антена може бути привабливим варіантом через її широкосмугові можливості. Однак існує проблема, яка полягає

в тому, що необхідно підтримувати стабільну діаграму спрямованості у всьому діапазоні частот.

Для деяких нових додаткових використань, таких як системи з точною спрямованістю сигналу, можуть знадобитися різні конструкції антен або пошук нових рішень, що відповідають цим вимогам. На додаток до монопольної антени, антена типу Vivaldi, яку також називають кінчною щілинною антеною, відноситься до антен для надширокосмугового застосування. Вони являють собою ще один ефективний варіант завдяки своїм особливим властивостям. Конічні щілинні антени характеризуються стабільною діаграмою спрямованості у всьому діапазоні частот і здатністю надійно передавати або приймати сигнали в напрямку кінцевого пункту призначення, що робить їх привабливим вибором для областей, де потрібна надійна і стабільна спрямованість сигналу. Конічна щілинна антена була значно вдосконалена для роботи в діапазоні частот від 3,1 до 10,6 ГГц (надширокосмуговому діапазоні частот).

У порівнянні з іншими типами антен, вони можуть забезпечувати стабільні характеристики діаграми спрямованості, які зберігаються у всьому діапазоні частот. Чудова продуктивність є важливою особливістю кінчної щілинної антени, оскільки вона має низьку вартість виготовлення і легко інтегрується з іншими пристроями. Деякі з основних застосувань включають бездротовий зв'язок, радіолокаційні системи, системи радіочастотної ідентифікації та системи безпеки загального призначення. Однак антени типу Vivaldi можуть бути великими, особливо для роботи на низьких частотах. Ця функція може створювати суттєві обмеження в деяких додатках, де обмежений фізичний простір є ключовим фактором, наприклад, в безпілотних літальних апаратах і стаціонарних системах відеоспостереження.

У таких випадках вам можуть знадобитися альтернативні антенні рішення, які дозволяють підтримувати високу продуктивність, але в той же час мають менші розміри і обсяг. Антени типу Vivaldi можуть вимагати значного обсягу

простору і ресурсів для розміщення і підтримки, незалежно від переваг щодо характеристик випромінювання. Це може виявитися непрактичним в деяких обмежених або вимогливих умовах експлуатації, де фізичні розміри дуже важливі.

### 3.1 Фрактальні монопольні антени

У світі бездротових технологій, де зв'язок відіграє ключову роль, постійно зростає попит на ефективні та компактні антени. Саме тут на сцену виходять фрактальні антени, які поєднують у собі елегантність фрактальної геометрії та практичність бездротових комунікацій.

Фрактальні монопольні антени – це інноваційний тип антени, який використовує фрактальні або квазіфрактальні структури для оптимізації своїх характеристик. Фрактали – це самоподібні геометричні фігури, що визначаються повторюваним шаблоном, який проявляється на різних масштабах. Оскільки резонансна частота антени визначається її довжиною, то для збереження її незмінності при фрактальному перетворенні її загальна довжина  $L_{\Sigma(n)}$  для фрактала  $n$ -ї ітерації має задовільняти рівності (3.1):

$$L_{\Sigma(n)} = z \quad (3.1)$$

де:  $z$  - довжина фрактала 0-ї ітерації (при  $n=0$ );  $n$  - номер ітерації фрактального перетворення.

При побудові фрактальної антени початковий фрактал  $z$  ділиться на 3 рівні частини  $z/3$ , як це прийнято для побудови кривої Коха. Затим центральна частина замінюється ребрами рівнобедреного трикутника зі стороною  $z/3$ , які в свою чергу поділяються знову на 3 рівні частини з довжиною фрактала  $z/9$ , потім  $z/27$

і т.д.. При цьому кожна ітерація збільшує довжину антени відповідно до формули 3.2:

$$L_{\Sigma(n)} = z \left( \frac{4}{3} \right)^n \quad (3.2)$$

де: z - довжина фрактала 0-ї ітерації; n - число ітерацій.

Ця унікальна властивість фракталів дозволяє створювати антени зі збільшеною ефективною довжиною або периметром, не збільшуючи загальних габаритів антени.

З метою досягнення максимальної ефективної довжини антени можна скористатись кривою іншого типу, наприклад шляхом заміни трикутника на квадрат, як це показано на рисунку 3.8.

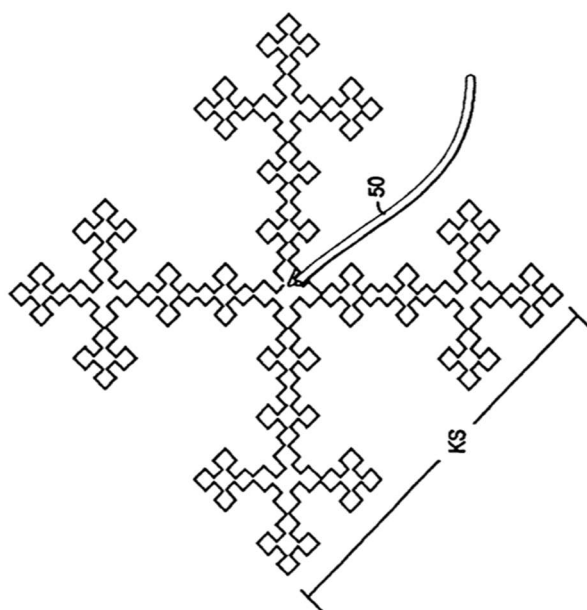
Цей ефект є суттєвим лише для п'яти - шести перших ітерацій, тобто для збільшення ефективної довжини антени використовують не дійсні фрактали, а лише кілька їх перших ітераційних форм.

U.S. Patent

Sep. 17, 2002

Sheet 6 of 12

US 6,452,553 B1



**FIGURE 7E**

Рисунок 2.8 – Зображено фрактальну монопольну антену

Розмірність узагальненого фрактала і властивості антени зв'язані між собою, як це видно з формули Джорджа Віна (3.3):

$$L_{fp} = \frac{\log 4}{\log(2(1 + \cos(\alpha)))} \quad (3.3)$$

де  $\alpha$  - може змінюватись в діапазоні від 0 до 90 градусів.

З неї видно, що збільшення кута фрактала веде до збільшення довжини фрактала і при 90 градусах вона практично подвоюється. Тому для досягнення максимальної ефективної довжини монопольної фрактальної антени при її фіксованих геометричних розмірах необхідно вибирати фрактал з максимально можливим кутом.

Фрактальні монопольні антени: Ці антени мають монопольний дизайн і використовують фрактальні структури для збільшення їх ефективної довжини. Вони прості у виготовленні та мають компактні розміри, що робить їх популярними в мобільних пристроях та портативній електроніці.

Резонансна частота фрактальних антен визначається формулою 3.4:

$$L_{\sum, n=0,6} = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}} \quad (3.4)$$

де:  $\lambda$  - резонансна довжина хвилі;  $\varepsilon_{ef}$  - ефективна діелектрична проникність середовища між антеною та земною поверхнею.

Фрактальні монопольні антени знаходять широке застосування у різноманітних галузях, серед яких:

Мобільні пристрої: Фрактальні антени активно використовуються в мобільних телефонах, планшетах та інших портативних пристроях, де їх компактні розміри та висока ефективність є ключовими факторами.

Бездротові мережі: У мережевих пристроях, таких як маршрутизатори та точки доступу Wi-Fi, фрактальні антени забезпечують широке охоплення та стабільний зв'язок у складних середовищах.

Безпілотні транспортні засоби (БПЛА): Фрактальні антени встановлюють на БПЛА для забезпечення надійного зв'язку між ними та наземними станціями управління.

Фрактальні антени є перспективною технологією, яка активно розвивається та обіцяє ще більше покращення в майбутньому. Очікується, що фрактальні антени будуть використовуватися в наступних сферах:

Інтернет речей (IoT): У світі IoT фрактальні антени можуть оптимізувати зв'язок між численними пристроями, забезпечуючи стабільне та надійне підключення до мережі.

5G та майбутні покоління бездротових мереж: Фрактальні антени можуть відігравати важливу роль у розгортанні мереж 5G та майбутніх поколінь бездротового зв'язку, забезпечуючи високу пропускну здатність та зменшуючи затримки сигналу.

Космічні дослідження: У космічних апаратах та супутниках можуть бути використані фрактальні антени для забезпечення надзвичайно довгого та надійного зв'язку з наземними станціями.

Інтеграція з іншими технологіями: Фрактальні антени можуть бути інтегровані з іншими технологіями, такими як матеріали з метаматеріалами або нанотехнології, для створення ще більш ефективних і компактних антен.

Розробка нових алгоритмів проектування: Дослідники працюють над розробкою нових алгоритмів проектування, які дозволять створювати фрактальні антени з заданими характеристиками більш ефективно.

Пошук нових матеріалів: Вчені шукають нові матеріали з високими електромагнітними властивостями, які дозволять створювати ще більш ефективні фрактальні антени.

Фрактальні антени відкривають нові можливості в світі бездротових комунікацій. З їх компактними розмірами, високою ефективністю та різноманітними застосуванням. Також антени є перспективним напрямком у розвитку антенних технологій. Вони пропонують ряд переваг, включаючи компактність, широкосмуговість, високу ефективність, поліпшену спрямованість та стійкість до електромагнітних перешкод.

Фрактальні монопольні антени знаходять застосування в широкому спектрі технологій, таких як мобільні пристрої, бездротові мережі, аерокосмічні системи, радіолокаційні системи та медичні пристрої.

Перспективні напрямки розвитку фрактальних антен включають інтеграцію з іншими технологіями, розробку нових алгоритмів проектування та пошук нових матеріалів.

### 3.2 Експерименти та схема монопольної антени

Пропускна здатність та діапазон робочих частот антени класифікує передавача або приймальні антени, які завжди в певному діапазоні частот роботи мають смугу пропускання антени. Також існують два різних визначення:

Ширина смуги робочої частоти антени – це перший:  $SWR \leq 1.5$  VSWR;

Посилення антени в межах смуги пропускання –це другий параметр (вниз 3 дБ).

Як правило, у системах мобільного зв'язку, що визначається стандартом, зокрема, смуго. пропускання КСВ не більше 1.5, (діапазону частот). Як правило, ширина робочої смуги частот відповідає кожній точці, але існує відмінність в

ефективності антени, тому продуктивність деградації, викликана різницею є прийнятним для вимірювання.

Основні технічні показники, які мені вдалось отримати з антени базової станції:

Основні технічні характеристики:

Тип антени: 11-ти елементний хвильової канал

Робочий діапазон частот, 850-960 Мгц

Коефіцієнт підсилення, дБ 14 dBi

КСВ в робочому діапазоні частот не більше 1.2

Поляризація : вертикальна

У горизонтальній площині, градусів. 25°

У вертикальній площині, градусів. 20°

Робоча температура, °С ...-60 .. + 60

Вітрове навантаження, До 45м/с

Розміри антени, мм 960 x 191 x 40

Вага антени, кг. - 0,35

Діапазон передачі до 20км

Ідеально підходить для RFD x868, x900



У цій дипломній роботі виконано вимірювання значень напруженості поля антена, вимірювання проводилось за допомогою коефіцієнта напруги вихідного порту приймача антени.

Тож, формула для визначення електромагнітної сумісності:  $AF = E / V$

У логарифмічному вигляді:  $dBAF = DBE - дБВ$

$AF (дБ/м) = E (дВ\mu v/m) - V (дВ\mu v)$

$$E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = V \text{ (dB}\mu\text{V)} \text{ AF (дБ / м)}$$

Де: E - напруженість поля антени, в одиницях вимірювання dB $\mu$ V / м

V - напруга на антенному порту, одиниця dB $\mu$ V

AF- фактор антена в одиницях дБ / м

Антенний коефіцієнт AF слід вказувати, коли антена виробляється та регулярно калібрується. Антенні коефіцієнти, наведені на малюнку, як правило, знаходяться в дальньому, невідбиваючому навантаженні 50 Ом.

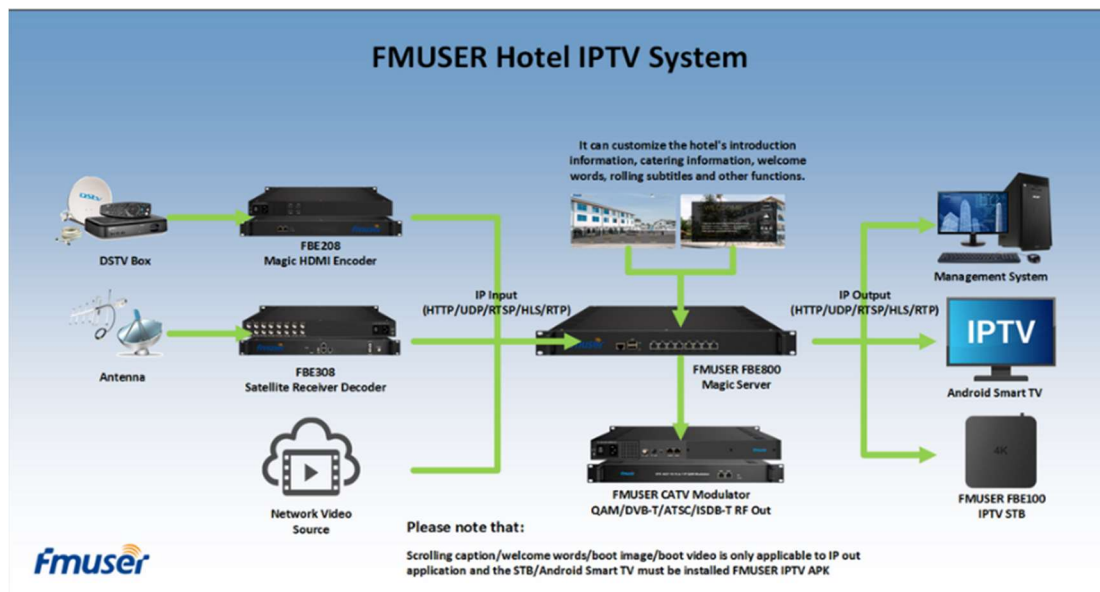


Рисунок 2.9 – Схема роботи IPTV системи в Готелі

Поляризація: антена випромінює електромагнітні хвилі та може використовуватися для вертикальної або горизонтальної поляризації. Коли у передавальній антені та її чутливому обладнанні однакові поляризаційні характеристики, вони можуть випромінювати пристрої в індукованій напрузі та генеруватись на вході ще сильніше.

Полярна діаграма: найважливішою функцією антени є радіометрична або Полярна діаграма. Полярна діаграма антени показує випромінювання в різних кутових напрямках на діаграмі генерованої потужності або напруженості поля.

Підсилення антени: вираз потужності антени G, в будь-якому напрямку випромінювання антени трохи менше вхідної потужності.

Взаємність з іншими діаграмами: полярна діаграма приймальної антени схожа на полярну діаграму передавальної антени. Таким чином, принципових відмінностей між передавальною і приймальною антенами немає, але вони також можуть бути незворотними.

Аргументуючи свою думку, визначено, що дотримання частот антен, смуга в яких конструкцій може ефективно працювати зовні цієї частоти неефективна. Тому, різні форми і структури частоти електромагнітної хвилі, яку приймає антена, різні. Немало важливо, що антена широко використовується в радіотехнічному бізнесі, електромагнітна сумісність її, в основному використовується як вимірювання датчиків електромагнітного випромінювання, тоді електромагнітне поле перетворюється на змінну напругу. Потім із значеннями напруженості поля отримуємо коефіцієнт антени.

Таким чином, зазначу, що вимірювання ЕМС в антенах, вимагає більш високої точності, хороших параметрів, стабільності та антени ширшого діапазону.

### 3.3 Висновки до третього розділу

У кваліфікаційній роботі були досліджені і представлені різні методи використання різних антен в бездротових технологіях.

Виділені методи включали використання верхнього навантаження, метод фрактальної ітерації, метод відсікаючих елементів, використання відбивача для збільшення коефіцієнта посилення, заземлення відбивача для збільшення коефіцієнта посилення, діелектричне навантаження і диполь зі згорнутою плоскою спіраллю.

Ці методи дозволили зменшити розмір LPDA, що важливо для додатків, де ключовими факторами є обмежені просторові розміри. Зменшення розміру антени допоможе поліпшити її придатність для різних застосувань і розширить можливості використання в обмежених просторах.

Цей підхід до мініатюризації антен був застосований на практиці, що сприяло розвитку систем бездротового зв'язку та бездротового моніторингу.

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			54

## ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі виконано вимірювання значень напруженості поля антена, вимірювання проводилось за допомогою коефіцієнта напруги вихідного порту приймача антени, також досліджено та розглянуто різні аспекти мініатюризації та оптимізації монопольних антен, особливо антен зі структурою логарифмічного періоду та антен для надширокосмугових технологій.

У першому розділі розглянуто електричні властивості основних електричних параметрів антени: ефективність ширини смуги, коефіцієнт підсилення, діаграму, вхідний імпеданс. Також описано загальні визначення, принципи випромінювання, класифікації та види антен, та все про бездротовий зв'язок і його системи. Досить важливим було висвітлення основних типів комунікаційних технологій, а саме: супутникове радіо, телевізійне мовлення, радарний зв'язок, супутниковий зв'язок, стільниковий зв'язок, система глобального позиціонування, WiFi, Bluetooth, радіочастотна ідентифікація та радіозв'язок.

У другому розділі пояснюються основні принципи роботи монопольних, дипольних і логарифмічних антен і наводиться методологія дослідження. Основні принципи включають розуміння структури, принципу роботи та застосування таких типів антен, таких як логарифмічна періодичність та функції антени. Також наведено основні параметри і розміри, які характеризують монопольну і логарифмічну антени: діапазон робочих частот, довжину елементів, відстань між елементами, кут нахилу диполя. У цьому розділі викладаються теоретичні основи та методологічний підхід до вивчення монопольних та логарифмічних антен, що створює основу для подальших досліджень та експериментів.

Третій розділ присвячено експериментам з випромінюванням антен які я проводив та дослідженню методів і класифікації монопольних антен.

		№докум.	Підпис					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	55

Розглядаються різні методи, такі як використання верхнього навантаження, метод фрактальних ітерацій, метод відсікаючих елементів і використання відбивача.

Узагальнюючи наведене у кваліфікаційній роботі можна стверджувати, що важливим завданням є оптимізація та дослідження антен з метою досягнення нових досягнень та інновацій у системах бездротового зв'язку та інших сферах. Оптимізація, мініатюризація антен можуть підвищити продуктивність та адаптуватися до конкретних вимог додатків.

Такі дослідження необхідні для подальшого розвитку радіотехніки і сприяють створенню більш ефективних і компактних антен.

					КвРТР.2020004.01.04.ПЗ	
		№докум.	Підпис			56

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Abumushar A. J., Sertel K. 5:1 Bandwidth Dielectric Rod Antenna using a Novel Feed Structure. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2017, vol. 65, iss. 5, pp. 2208–2214. doi: 10.1109/TAP.2017.2677379
2. Balanis C. Antenna Theory. Analysis and design. John Wiley & Sons Inc., 2005. 1073 с.
3. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої. Навчальний посібник / [М.Д. Ільїнов, Т.Г. Гурський, І.В. Борисов, К.М. Гриценюк]. – К.: ВІТІ, 2018. – 250 с.
4. Birand M.T., Gelsthorpe R.V. Experimental Millimetric Array Using Dielectric Resonators Fed by Means of Dielectric Waveguide.– Electronics Letters. Sept. 1981, v.17, p.633–635.
5. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слоболлдянюк П.В., Благодарний В.Г. Антени телекомунікаційних та моніторингових систем, За ред. Л.Я. Ільницького. – К., 2012. – 240 с.
6. Навчальний посібник до вивчення курсу „Техніка та електроніка НВЧ”. Елементи мікрохвильової техніки [Текст] / О. О. Дробахін, В. Д. Рябчій, Д. Ю. Салтиков. – Д.: РВВ ДНУ, 2012.– 80 с
7. Long S.A., McAllister M.W. and Chen L.C. , The Resonant Cylindrical Dielectric Cavity Antenna.– IEEE Trans Antennas and Propagation. May 1983, AP-31, p. 401–415.
8. Ільїнов М. Д. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль. Керівництво до лабораторних робіт / М. Д. Ільїнов, Г. Д. Радзівілов, О. П. Москаленко. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 64 с.
9. Mongia R.K. and Bhartia P. Dielectric resonator antennas —a review and general design relations for resonant frequency and bandwidth.– International Journal of Microwave and Millimeterwave Computer-Aided Engineering, 1997, v.4, p.230–254. 89

10. Прудюс Н.Н. Основи антенної техніки. – Львів: Вид. Держ. Ун-ту „Львівська політехніка”, 2000. – 224с.
11. Pozar, D. M., Microwave Engineering [Text] / D. M. Pozar. – 3-rd edition. – N.Y.: Wiley, 2005. – 700 p.
12. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. Антени та пристрої надвисоких частот : Підручник для ВНЗ/ За ред. Л.Я. Ільницького. – К: Укртелеком, 2003. – 496с.
13. Сайт компанії, розробника пакетів програм Сайт CST компанії розробника програми CST STUDIO SUITE [Електронний ресурс].URL:[https://www.3ds.com/products-services/simulia/?utm\\_source=cst.com&utm\\_medium=301&utm\\_campaign=products](https://www.3ds.com/products-services/simulia/?utm_source=cst.com&utm_medium=301&utm_campaign=products) (дата звернення: 30.11.2021).
14. Semenov V.N. Квазіфрактальна діелектрична резонаторна антена на основі паралелепіпеда / V.N. Semenov, V.I. Slyusar, I.I. Sliusar // Системи управління, навігації та зв’язку. Збірник наукових праць. – Полтава:ПНТУ,2018.–Т.2(48).–С.167-171.–  
doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.167>.
15. Ciais P., Luxey C., Diallo A., Staraj R., Kossiavas G. Design of Internal Multiband-Antennas for Mobile Phone and WLAN Standards. - In: Joint COST 273/284 Workshop on Antennas and Related System Aspects in Wireless Communications, June 7-10, 2004.- Chalmers University of TechnologyGothenburg,Sweden.[http://www.s2.chalmers.se/costworkshop/workshop\\_papers/126.pdf](http://www.s2.chalmers.se/costworkshop/workshop_papers/126.pdf).
16. Семенова О. О. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
17. Цалієв Т. А. Антени та пристрої НВЧ. Частина 1. Термінологія та методи теорії антен: конспект лекцій з дисципліни «Антени і пристрої НВЧ» – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2005. – 56 стор.

18. Colin, R. E. Foundations for Microwave Engineering [Text] / R. E. Colin. – 2-nd edition. – N.Y.: Wiley-Interscience, 2001. – 924 p.

19. Collins B.C., Iellici D., Kingsley S.P. et al. A hybrid ceramic quadband antenna for handset applications. – Antenova Ltd. – [www.antenova.com/media/papers/IEEE%20Symposium20Shanghai.pdf](http://www.antenova.com/media/papers/IEEE%20Symposium20Shanghai.pdf). Collins B.C., Iellici D., Kingsley S.P. et al

20. Стеклов В.К. Теорія електричного зв'язку / Л.Н. Беркман; за ред. дра техн. наук, проф. В.К. Стеклова. - К.: «Техніка», 2006. – 390 с.

21. Stutzman W. and Davis B. Antennas for Wireless Communications – Basic Principles and System Applications.– Virginia Tech Antenna Group.–June9,2006.–  
[http://wireless.vt.edu/tutorials/Stutzman\\_Davis.pdf](http://wireless.vt.edu/tutorials/Stutzman_Davis.pdf).

22. Сучасні методи аналізу, синтезу і оптимізації пристроїв надвисоких частот та антен : методичні рекомендації для студентів напряду підготовки 6.050901 «Радіотехніка» / Д. О. Василенко. – К. : НТУУ «КПІ», РТФ, 2015. – 61 с..

23. Tam, Tsz Kai. Compact Dielectric Resonator Antennas for Wireless Communications.–A Thesis of the Requirements. The Hong Kong University of Science and Technology. Aug. 1998. – [cenwit.ee.ust.hk/postscript/matthew-thesis.ps](http://cenwit.ee.ust.hk/postscript/matthew-thesis.ps)

24. Мікрохвильова техніка: Електронні кола надвисоких частот [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньо-професійною програмою «Електронні мікро- і наносистеми та технології» / Уклад.: В. І. Тимофєєв, О. В. Семеновська – Електронні текстові дані (1 файл: 615,102 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 85 с., 97 рис.

25. Салабай О. В. Ескізне проектування радіоприймальних пристроїв. /Салабай О. В. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2012 – с. 76.

26. Turk A. S., Keskin A. K., Senturk M. D. Dielectric Loaded TEM HornFed Ridged Horn Antenna Design for Ultra Wideband Ground- 91 Penetrating Impulse

Radar. Turkish J. of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2015, vol. 23, pp. 1479–1488. doi: 10.3906/elk-1303- 48

27. Антенно-фідерні пристрої. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів зі спеціальності 172 “Телекомунікації та радіотехніка” /Укл.: Д.В. Трушаков. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 27 с.

28. Проектування приймальних пристроїв НВЧ : Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПП ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,17 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 65 с.

29. Howard S J., Jr. Conformal and Small Antenna Designs.– U.S.Army Electronics Research and Development Command. Harry Diamond Laboratories. Adelphi. – HDL-TR-1952. April 1981. – stinet.dtic.mil/cgiabin/GetTRDoc?AD=A100699&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf.

30. Chair R., Kishk A.A., Lee K.F. and Kajfez D. Performance Comparisons Between Dielectric Resonator Antennas and Printed Microstrip Patch Antennas at X-Band.// Microwave Journal, Jan. 2006. г.URL:[http://www.mwjjournal.com/Journal/article.asp?HH\\_ID-AR\\_31](http://www.mwjjournal.com/Journal/article.asp?HH_ID-AR_31). (дата звернення: 17.01.2022).

31. Chen Zhi Ning, Kazuhiro Hirasawa. On the Effect of GroundPlane Thickness on an Aperture-Coupled Dielectric Resonator Antenna. – International Journal of RF & Microwave CAE. July 2000, v.10, N4, p. 272–277. – [www1.i2r.astar.edu.sg/~chenzn/IJRFMWCAE-0400.pdf](http://www1.i2r.astar.edu.sg/~chenzn/IJRFMWCAE-0400.pdf). URL (дата звернення: 11.01.2022).

32. Chen Z. N. and Chia M. Y. W. A Circular planar inverted-L antenna with vertical ground plane. – Microwave and Optical Technology Letters, Nov., 2002, v.35, N4, p.315–317. <http://www1.i2r.astar.edu.sg/~chenzn/MOTL-1102.pdf>.

33. Cheng-Shong Hong and Chih-Yu Huang. Sequentially Rotated Array of Dielectric Resonator Antennas// Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A). 2001, v.25,N3,p.202–204.–URL 92 <http://nr.stic.gov.tw/ejournal/ProceedingA/v25n3/202-204.pdf>. (дата звернення: 10.05.2022).

34. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої: навчальний посібник / М. Д. Ільїнов, Т. Г. Гурський, І. В. Борисов, К. М. Гриценко. — Київ: Вид. дім «СКІФ», 2023. — 250 с

35. Білець А.І., Любімов О.Д. Пристрої генерації та формування сигналів: навчальний посібник. – К.: НАУ, 2000. – 157 с.

36. Wittemen N. R. Ultra Wideband Dielectric Rod Antenna Advancements through Additive Manufacturing. 2018 IEEE Intern. Symp. on Anten. and Prop. & USNC/URSI National Radio Science Meeting. Boston, Massachusetts, 8–13 July, 2018. doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608445 9. Lee K.-H., Chen C.-C., Lee R. UWB Dual

37. Yarovoy A. G., Schukin A. D., Kaploun I. V., Lighthart L. P. The Dielectric Wedge Antenna. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2002, vol. 50, iss. 10, pp. 1460–1472. doi: 10.1109/TAP.2002.803968

38. <https://polaridad.es/uk/las-ventajas-y-desventajas-de-utilizar-una-antena-monopolo/>

39. [https://uk.fmuser.org/news/Antenna/The-principle-of-the-antenna\\_35b347bd.html](https://uk.fmuser.org/news/Antenna/The-principle-of-the-antenna_35b347bd.html)

40. <https://reporter.zp.ua/fraktalna-antena-l-uk-2.html>

# ДОДАТОК А

## Презентаційні матеріали

1

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

#### Монопольна антена для бездротових технологій

Виконав  
ст. гр. TP1-20-1  
М.Ю. Ковальчук

Науковий керівник  
к.т.н., доц.  
Федула М.В.

### ВСТУП

2

**Актуальність теми.** В наші дні, в умовах стрімкого технологічного прогресу та постійного розвитку бездротових технологій, існує зростаюча потреба в системах зв'язку та бездротових пристроях нового покоління. У цьому контексті, монопольні антени можуть бути привабливим варіантом завдяки їхній здатності до ширококутової роботи.

**Метою роботи** є розгляд монопольної антени для використання в бездротових технологіях.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- визначити принципи роботи монопольної антени;
- виділити основні класифікації антен;
- пояснити значимість монопольної антени в бездротових технологіях.

- o **Об'єкт дослідження** – є монопольна антена та бездротові технології
- o **Предмет дослідження** є пояснення принципу використання монопольної антени в бездротових технологіях
- o **Методи досліджень.** При вирішенні поставлених завдань у роботі була використана статистика та програмне забезпечення для моделювання та проектування
- o **Практичне значення.** Обґрунтування принципу використання монопольної антени в бездротових технологіях

## Види антен

Зазначу, що багато форм антен, відповідно до використання, частоти, класифікації структури, розділяють на: довгу, середньо-смугову, яка часто використовує Т-подібну перевернуту антену парасольки; короткохвильову, довжина якої зазвичай використовує біполярні, клітинні, алмазні, журнальні види форм.

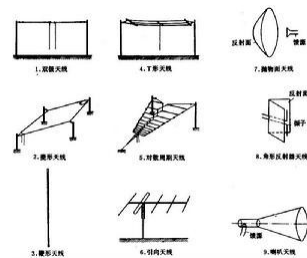


Рисунок 1.2 – Форма антени, яка може збільшити коефіцієнт підсилення та досягти мініятуризації та призначена виключно для приймальної антени

## Бездротові повторювачі

Типи технологій бездротового зв'язку в останні дні стали невід'ємною частиною кількох типів комунікаційних пристроїв, оскільки вони дозволяють користувачам спілкуватися навіть з віддалених районів. Пристроями, що використовуються для бездротового зв'язку, є бездротові телефони, мобільні телефони, пристрої GPS, технологія ZigBee, бездротові комп'ютерні частини, супутникове телебачення тощо.

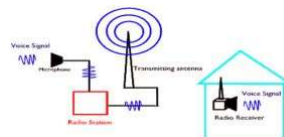


Рисунок 1.7 – Наведено різні типи технологій бездротового зв'язку.

Рисунок 1.8 – Портативні багатоканальні радіоприймачі

## Основні сфери застосування монопольних антен

Монопольні антени є одними з найпоширеніших типів антен, які використовуються в різних сферах застосування. Їх проста конструкція та ефективність роблять їх ідеальними для широкого спектру використання.

Нижче наведено деякі з основних застосувань монопольних антен:

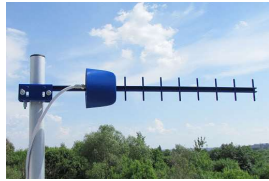


Рисунок 2.1 – Використання монопольної антени для стільникової мережі



Рисунок 2.2 – Монопольна антена для радіо та телепередач.



Рисунок 2.3 – Монопольна антена для супутникового зв'язку

## Монопольні антени також використовуються в широкому діапазоні наукових застосувань <sup>6</sup>

Наприклад, вони використовуються в радіоастрономічних дослідженнях для виявлення та вивчення радіосигналів із космосу. Вони також використовуються в дослідженнях поширення радіосигналів і в дослідженнях властивостей електромагнітних хвиль.



Рисунок 2.4 – Монопольна антена в радіолокаційних системах

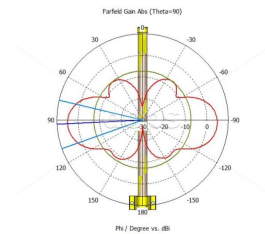


Рисунок 2.5 – Приклад експериментів над монопольною антеною в наукових програмах

## Типи та варіанти антен з логарифмічною періодичною структурою <sup>7</sup>

Існують кілька форм логарифмічних періодичних антен. Точний тип, який найбільше підходить для будь-якої конкретної застосовуваної задачі, залежить від вимог. Основні типи антен з логарифмічною періодичною структурою включають: **Логарифмічний дипольний масив (LPDA)** – це антенна конструкція, яка використовує логарифмічну періодичність для отримання широкосмугової характеристики випромінювання.

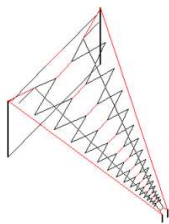


Рисунок 2.6 – Схема зигзагоподібної короткохвильової антени LPA, чорним позначено металеві провідники, червоним – ізоляційні опори

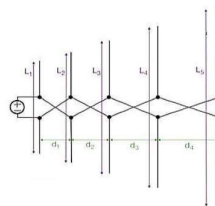


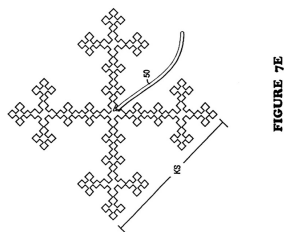
Рисунок 2.7 – Масив логарифмічних періодичних диполів, концепція LPDA

## Фрактальні монопольні антени

8

Фрактальні монопольні антени – це інноваційний тип антени, який використовує фрактальні або квазіфрактальні структури для оптимізації своїх характеристик. Фрактали – це самоподібні геометричні фігури, що визначаються повторюваним шаблоном, який проявляється на різних масштабах.

U.S. Patent Sep. 17, 2002 Sheet 6 of 12 US 6,452,553 B1



Малюнок 2.8. Зображено фрактальну монопольну антену.

Розмірність узагальненого фрактала і властивості антени зв'язані між собою, як це видно з формули Джорджа Віна 3:

$$L_{\text{фр}} = \frac{\log 4}{\log(2(1 + \cos(\alpha)))}$$

де  $\alpha$  може змінюватись в діапазоні від 0 до 90 градусів.

З неї видно, що збільшення кута фрактала веде до збільшення довжини фрактала і при 90 градусах вона практично подвоюється. Тому для досягнення максимальної ефективної довжини монопольної фрактальної антени при її фіксованих геометричних розмірах необхідно вибрати фрактал з максимально можливим кутом.

Резонансна частота фрактальних антен визначається формулою 4:

$$L \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}} = 0,6 \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}}, \quad [4]$$

де:

- $\lambda$  - резонансна довжина хвилі;
- $\varepsilon_{\text{эф}}$  - ефективна діелектрична проникність середовища між антеною

та земною поверхнею.

В першому розділі були розглянуті наступні терміни:

- інфрачервона передача;
- бездротовий телефон;
- бездротові повторювачі;
- типи комунікаційних технологій;
- стільниковий зв'язок;
- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- ZigBee;
- система WiMAX.

## ВИСНОВКИ

В другому розділі розглянуто основні принципи монопольних антен, дипольних та логарифмічних антен і надали методологію дослідження. Основні принципи включають розуміння структури, принципу роботи та сфер застосування цих видів антен, такі як логарифмічна періодичність і функція антени.

Також розглянуто основні параметри та розміри, які характеризують монопольні та логарифмічні антени, включаючи діапазон робочих частот, довжину елементів, відстані між елементами та кут нахилу диполів.

Третій розділ присвячено дослідженню методів мініатюризації для зменшення розміру друкованих LPDA антен. Були розглянуті різні методи, такі як використання верхнього навантаження, фрактально-ітераційний метод, метод відсіченого елемента, використання рефлектора та інші.

Дякую за увагу

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:  
1016390888

Дата перевірки:  
27.06.2024 12:53:07 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
27.06.2024 12:56:56 EEST

ID користувача:  
100005862

Назва документа: КовальчукМ\_антиплагіат

Кількість сторінок: 63 Кількість слів: 10069 Кількість символів: 77767 Розмір файлу: 2.71 MB ID файлу: 1016203898

1251 слово позначене як "вилучене" та не враховується у підрахунку слів

## 9.25% Схожість

Найбільша схожість: 3.71% з Інтернет-джерелом ([https://uk.fmuser.org/news/Antenna/The-principle-of-the-antenna\\_35b](https://uk.fmuser.org/news/Antenna/The-principle-of-the-antenna_35b).

5.14% Джерела з Інтернету 150 ..... Сторінка 65

4.66% Джерела з Бібліотеки 59 ..... Сторінка 65

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0.06% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.01% Вилучення з Інтернету 5 ..... Сторінка 66

0.05% Вилученого тексту з Бібліотеки 18 ..... Сторінка 66

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 83

Wed Jun 19 02:01:46 EEST 2024, Федула Микола Васильович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%**

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Помилки в документах: 12%**

ID: 131430 Назва: БКР Монопольна антена для бездротових технологій Додано в БД: 2024-06-19 Автора: Максим КОВАЛЬЧУК Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	71340	556	1332 (2%)	15 (3%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Ковальчук М. Ю.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи ТР1-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

03.06.2024

дата

М.Ю. Ковальчук

підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ковальчук Максим Юрійович

Тема: Монопольна антена для бездротових технологій

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість презентаційних слайдів 11 Кількість сторінок записки 63

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: обґрунтовано принцип використання монопольної антени в бездротових технологіях, розглянуто монопольну антену для використання в бездротових технологіях

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення. В першому розділі були розглянуті наступні терміни: інфрачервона передача; бездротовий телефон; бездротові повторювачі; типи комунікаційних технологій; стільниковий зв'язок; Wi-Fi; Bluetooth; ZigBee; система WiMAX. В другому розділі розглянуто основні принципи монопольних антен, дипольних та логарифмічних антен і надали методологію дослідження. Основні принципи включають розуміння структури, принципу роботи та сфер застосування цих видів антен, такі як логарифмічна періодичність і функція антени. Також розглянуто основні параметри та розміри, які характеризують монопольні та логарифмічні антени, включаючи діапазон робочих частот, довжину елементів, відстані між елементами та кут нахилу диполів. Третій розділ присвячений вивченню методів мініатюризації для зменшення розмірів друкованих LPDA-антен. Розглядаються різні методи, такі як використання верхнього навантаження, метод фрактальних ітерацій, метод відсікаючих елементів і використання відбивача.

4. Позитивні сторони роботи: актуальність

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Чеснун Віктор Миколайович,

канд. техн. наук, доцент кафедри кібербезпеки

"24" 06 2024 р.

 (підпис)

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Монопольна антена для бездротових технологій

Автор: Ковальчук Максим Юрійович

Спеціальність: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;



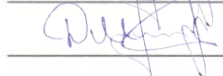
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 9,25% і адресується до 150 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН

Денис МАКАРИШКІН