

Міністерство освіти і науки України  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра фізики

Дипломна робота  
магістра

з теми: **«МОДЕЛЮВАННЯ, РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА  
ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ»**

Виконав:  
здобувач вищої освіти II курсу, групи F1-M22  
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика)  
**Журбей Віктор Сергійович**

Керівник **Поведа Р. А.**,  
кандидат фізико-математичних наук, доцент

Рецензент **Теплінський Ю.В.**,  
доктор фізико-математичних наук, професор

Кам'янець-Подільський – 2023

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>3</b>
<b>РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНКОВІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ РІЗНОМАНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>6</b>
1.1 Симетричний вібратор.....	6
1.2 Петльовий вібратор .....	8
1.3 Рамкові антени.....	11
1.4 Спіральна антена .....	16
1.5 Симетрування та узгодження антен з фідерами.....	18
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>23</b>
2.1 Метод моментів. Загальні обмеження методу моментів.....	23
2.2 Програми моделювання антен. Місце MMANA в ряду моделювальників .....	27
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>33</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>54</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>55</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції щодо мінімізації телекомунікаційних засобів вимагають впровадження компактних комбінованих інтегральних антен, які мають відповідні рівні багатодіапазонності та широкосмуговості. Систематизація існуючих джерел, що пов'язані з даною проблематикою дозволяє виділити кілька узагальнених напрямів досліджень. Але в цілому, проведений аналіз існуючих антенних рішень свідчить, що у теоретичному плані поки що недостатньо опрацьовані антени на базі фрактальних структур на основі чисел Фібоначі, в тому числі, при одночасному застосуванні кількох видів фракталів.

Вивчення фрактальних антен може відкривати нові можливості для розробки інноваційних технологій та покращених систем зв'язку. Розуміння їхніх властивостей та оптимізація їхнього дизайну може призвести до створення ефективних та компактних рішень для різних застосувань. Фрактальні антени можуть бути використані у військових та оборонних системах для створення ефективних та схованих засобів зв'язку, що є важливим у сучасних умовах збільшеної кількості електромагнітних сигналів та електронного вторгнення.

Отже, враховуючи зростання потреб в ефективних системах зв'язку, розвиток нових технологій та вимоги до високочастотних пристроїв у різних галузях, вивчення та оптимізація фрактальних антен має велике практичне значення та є актуальною для сучасного дослідження.

**Предметом** даного дослідження є моделювання, розрахунок та побудова широкосмугових антенних систем. Ретельне вивчення їх параметрів та характеристик дозволить оптимізувати їхню роботу в різних умовах та забезпечити високу якість зв'язку в широкому спектрі частот.

**Об'єкт дослідження:** розробка та експлуатація фрактальних антен.

**Мета** полягає в розширенні знань про фрактальні антени, розумінні їхнього фізичного базису, оптимізації їхньої конструкції та вивченні можливостей їхнього застосування у сучасних широкосмугових системах зв'язку. Мета включає в себе не лише теоретичний аналіз, але і практичну реалізацію, щоб забезпечити

перевірку та підтвердження відповідності теоретичних результатів реальним умовам експлуатації. Для досягнення мети даного поставлено наступні **завдання**:

**1. Моделювання та розрахунок параметрів фрактальних антен.**

Розробити математичні моделі та числові методи для точного моделювання та розрахунку основних параметрів фрактальних антен. Це включає в себе оптимізацію геометричних параметрів та врахування впливу навколишнього середовища.

**2. Оптимізація та підбір параметрів для максимізації широкосмуговості.** Використовуючи методи оптимізації, визначити оптимальні параметри фрактальних антен для досягнення максимальної широкосмуговості.

**3. Дослідження впливу фрактальних антен в реальних умовах.** Провести експериментальні вимірювання та тестування створених прототипів фрактальних антен в реальних умовах. Визначити, наскільки теоретичні результати відповідають реальним умовам та з'ясувати можливість використання отриманих даних в практичних застосуваннях.

**4. Оцінка ефективності антен у застосуванні.** Визначити практичне значення та ефективність фрактальних антен у конкретних застосуваннях.

Розглянемо основні **методи**, які були використані в рамках даного дослідження:

– **Метод скінченних елементів (МСЕ).** Використовувався для аналізу електричних та магнітних полів, отримання параметрів і характеристик антен, таких як коефіцієнт відбиття, діаграма напрямку та імпеданс.

– **Аналітичні методи.** Використовувався для отримання аналітичних виразів для ефективного аналізу та розуміння характеристик антен, їхньої ефективності та взаємодії з електромагнітним полем.

– **Оптимізаційні методи.** Використовувалися для автоматизованого вдосконалення дизайну антен з метою досягнення оптимальних характеристик.

– **Експериментальні методи.** Використовувалися для перевірки та підтвердження результатів, отриманих теоретичними та числовими методами, а також для визначення впливу зовнішніх факторів на реальну ефективність антен.

– *Моделювання на комп'ютері та симуляція.* Дозволили проводити велику кількість варіантів та експериментів без фізичного виготовлення прототипів, що значно зекономило час та ресурси.

Застосування різноманітних методів дозволило отримати повний обсяг інформації та забезпечити найточніші результати при розробці та оптимізації фрактальних антен.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані під час дослідження результати мають велике практичне значення в розробці та вдосконаленні широкосмугових антенних систем. Вони можуть бути використані в різних сферах, таких як телекомунікації, безпека, медична техніка та інші, для покращення ефективності та стабільності зв'язку в умовах змінних електромагнітних полів.

**Апробація результатів дослідження.** Результати проведеного дослідження було представлено та обговорено науковій конференції студентів і магістрантів за підсумками НДР у 2022-2023 навчальному році (4-5 квітня 2023 р. м. Кам'янець-Подільський).

**Результати роботи опубліковані:**

1. ЖУРБЕЙ Віктор. Моделювання, розрахунок і побудова широкосмугових антенних систем. Збірник наукових праць студентів та магістрантів Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. Випуск 17. 315 с.

2. ЖУРБЕЙ Віктор. Оптимізація, розрахунок та проектування антенних систем з широкосмуговим спектром. Збірник матеріалів наукової конференції здобувачів вищої освіти фізико-математичного факультету Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. 1 листопада 2023 року [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. 47 с.

**Структура роботи:** робота містить вступ, 3 розділи, висновки, список використаних джерел. Загальний обсяг роботи 56 сторінок.

## ВИСНОВКИ

Проблема побудови антен, узгоджених для роботи в широкій смузі частот була та залишається актуальною. І її доводиться вирішувати щоразу для кожного конкретного випадку чи приладу. Одним із способів побудувати такі широкопasmові конструкції антен є використання фракталів.

Нами були сконструйовані та виміряні характеристики фрактальної варіації петльового вібратора Пістолькорса з ітераціями 0 (власне, сам вібратор Пістолькорса), ітераціями №1 та №2. Зафіксовано утворення широкопasmової зони безперервного узгодження вже в ітерації №3.

Розуміння впливу, фракталу на характеристики антени, ролі основних та проміжних резонансів, суцільних діапазонів та впливу взаємодоповнюючих структур на частотні властивості антени дозволяє нам проектувати фрактальні антени практично на будь-який діапазон та з будь-якими бажаними вхідними характеристиками. Ми можемо керувати всіма характеристиками антени за допомогою фракталу.

Сучасні системи зв'язку, гаджети, «інтернет речей» і в принципі розвиток цивілізації висуває нові вимоги до антени гранична – компактність та здатність працювати відразу в кількох діапазонах. І тут фрактальні антени можуть розкрити весь свій могутній потенціал.

Вивчення фрактальних антен може відкривати нові можливості для розробки інноваційних технологій та покращених систем зв'язку. Розуміння їхніх властивостей та оптимізація їхнього дизайну може призвести до створення ефективних та компактних рішень для різних застосувань.

Отримані під час дослідження результати мають велике практичне значення в розробці та вдосконаленні широкопasmових антенних систем. Вони можуть бути використані в різних сферах, таких як телекомунікації, безпека, медична техніка та інші, для покращення ефективності та стабільності зв'язку в умовах змінних електромагнітних полів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Analysis of space-frequency characteristics of a quasi-fractal DRA based on a cube and truncated pyramid. / Sliusar I.I., Slyusar V.I., Polishchuk Y.V. and Stas E.I. // Nauka i studia. Przemysl, 2018. № 11. P. 3-12.
2. Antenna synthesis based on fractal approach and DRA technologies / I.I. Sliusar, V.I. Slyusar, S.V. Voloshko, L.N. Degtyareva // IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), July 26. Lviv, 2019. P. 29-34.
3. Balanis C.A Antenna theory: analysis and design / C. A. Balanis. N.Y.: John Wiley and Sons, 1992 p. 941 c.
4. Birand M.T. and Gelsthorpe R.V. Experimental Millimetric Array Using Dielectric Resonators Fed by Means of Dielectric Waveguide. / Birand M.T. and Gelsthorpe R.V. Electronics Letters. Sept. 1981, v.17.P. 633-635.
5. International ScientificPractical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). Kharkov, 2018. P. 313-316.
6. Long S.A. The Resonant Cylindrical Dielectric Cavity Antenna. / Long S.A., McAllister M.W. and Chen L.C. // IEEE Trans Antennas and Propagation. May 1983, AP-31. P. 406-412.
7. Mandelbrot B. Fractals: Forme, Chance and Dimension. / Mandelbrot B. San-Francisco: Freeman, 1977. 365 p.
8. McAllister M. Rectangular Dielectric Resonator Antennas. / McAllister M., Long S.A. and Conway G.L. Electronic Letters. March 1983, EL-19. P. 219-220.
9. Synthesis of quasi-fractal hemispherical dielectric resonator antennas. / Sliusar I.I., Slyusar V.I., Voloshko S.V. and Smolyar V.G. // IEEE 2018 5th
10. The Quasi-Fractal Microstrip Antenna. / Mayboroda D.V., Pogarsky S.A., Poznyakov A.V., Sukhov V.N. and Shcherbatiuk E.V. // IEEE 2018 9TH International Conference On Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS). Odessa, 2018. P. 349-352.
11. Гончаренко І. В. Антени КВ і УКХ. Частина І. Комп'ютерне моделювання. ММНА. М.: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2004 р. 128 с.

12. Гончаренко І. В. Антени КВ і УКХ. Частина II. Основи і практика. М.: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2005 р. 288 с.
13. Гончаренко І. В. Антени КВ і УКХ. Частина III. Прості КВ антени. М.: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2006 р. 288 с.
14. Гончаренко І. В. Антени КВ і УКХ. Частина IV. Напрямок КВ антени: синфазні і повздовжнього випромінювання М.: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2007 р. 256 с.
15. Гончаренко І. В. Антени КВ і УКХ. Частина V. Напрямок КВ антени скорочення, фазованні, багатодіапазонні М.: ІП РадіоСофт, Журнал «Радіо». 2010 р. 320 с.
16. Григоров В. Н. Антенны. Налаштування і узгодження М.: РадіоСофт, 2015 р. 272 с.
17. Неганов В. А., Табаков Д. П., Яровий Г. П. Сучасна теорія і застосування антен. М.: Радіотехніка, 2009 р. 720 с.
18. Пудовкин А. П., Панасюк Ю. Н., Іванков А. А. Основи теорії антен: навчальний посібник / – Т.: ГОУ ВПО ТГТУ 2011 р. 92 с.
19. Ротхамель К., Кришке А. Антени. Том 1: М. ДМК Прес 2005 р. 416 с.
20. Ротхамель К., Кришке А. Антени. Том 2: М. ДМК Прес 2006 р. 412 с.