

УДК 621.396.67

МОДЕЛІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ АНТЕН

Доброскоккіна А.О.

e-mail: anastasiia.dobroshokina@nure.ua

Науковий керівник – канд. фіз.- мат. наук Онищенко А.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. Фізики
м. Харків, Україна

This thesis examines the principles of antenna operation and the relationship between wavelength and antenna dimensions. Traditional antennas often have limited bandwidth and large size at low frequencies. Fractal antennas based on self-similar geometries (Sierpinski, Koch, and Hilbert curves) allow size reduction while maintaining effective electrical length. The presence of multiple scale elements provides multiband operation in communication systems such as GSM, Wi-Fi, GPS, 5G, and IoT. Due to their compact size and improved efficiency, fractal antennas are promising for modern wireless and satellite communication technologies.

Стрімкий розвиток бездротових технологій, мобільного зв'язку, супутникових систем та Інтернету речей зумовлює потребу у компактних багатофункціональних антенах. Традиційні антени мають значні габарити при роботі на низьких частотах та зазвичай оптимізовані для вузького діапазону частот. Це створює технічні обмеження при проектуванні сучасних портативних пристроїв.

Одним із перспективних напрямів розв'язання цієї проблеми є використання фрактальної геометрії в антенній техніці. Фрактальні антени дозволяють зменшити фізичні розміри випромінювача та забезпечити роботу у кількох частотних діапазонах одночасно.

Робота антени базується на випромінюванні та прийомі електромагнітних хвиль. Довжина хвилі визначається наступним співвідношенням: $\lambda = \frac{c}{f}$.

Ефективне випромінювання досягається, коли довжина антени співрозмірна довжині хвилі. Для дипольної антени: $L = \frac{\lambda}{2}$.

Отже, для низькочастотних сигналів антени повинні мати значні розміри, що ускладнює їх використання у компактних пристроях.

Фрактали – це геометричні структури із властивістю самоподібності, коли форма повторюється на різних масштабах. Використання фракталів в антенах дозволяє збільшити електричну довжину провідника без збільшення його фізичних розмірів.

Довжина кривої Коха після n ітерацій визначається

$$L_n = L_0 \left(\frac{4}{3} \right)^n,$$

де L_0 – початкова довжина, n – кількість ітерацій.

Зі збільшенням кількості ітерацій довжина провідника зростає, тоді як геометричні розміри залишаються майже незмінними.

Фрактальна розмірність структури визначається формулою

$$D = \frac{\log N}{\log \left(\frac{1}{s} \right)},$$

де N – кількість самоподібних елементів, s – коефіцієнт масштабування.

Збільшення фрактальної розмірності сприяє розширенню робочого частотного діапазону антени.

Самоподібна структура створює кілька резонансних довжин, кожна з яких відповідає певній частоті: $f_n \approx \frac{c}{2L_n}$.

Великі елементи структури резонують на нижчих частотах, тоді як менші – на вищих. Це забезпечує багатодіапазонну роботу антени.

Однією з найвідоміших фрактальних антен є антена на основі трикутника Серпінського. Її структура формується шляхом послідовного вилучення центральних трикутників, що створює самоподібну геометрію. Такі антени мають мультирезонансні властивості та здатні працювати у кількох частотних діапазонах, тому застосовуються в мобільних пристроях, бездротових мережах і системах радіозв'язку.

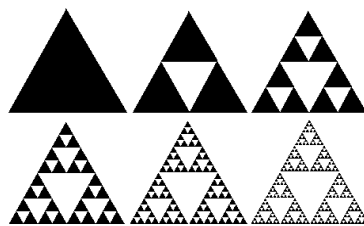


Рис. 1 – Геометрія фрактальної антени на основі трикутника Серпінського.

Антена на основі кривої Коха утворюється шляхом фрактального перетворення прямолінійного провідника. Це дозволяє збільшити електричну довжину провідника та зменшити фізичні розміри антени. Подібні антени використовуються у портативних радіостанціях, навігаційних системах і компактних бездротових пристроях.

Антена на основі кривої Гільберта належить до площинозаповнювальних фракталів, що ефективно використовують

доступну площу. Завдяки цьому вона відзначається високою компактністю та може інтегруватися у друковані плати електронних пристроїв.

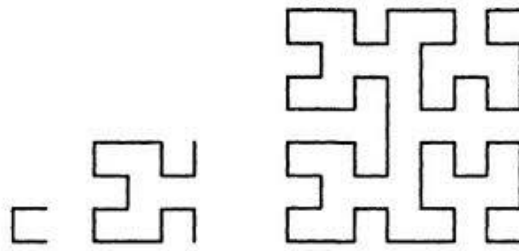


Рис. 2 – Фрактальна антена на основі кривої Гільберта

Фрактальні антени активно застосовуються у сучасних телекомунікаційних технологіях. Вони використовуються у мобільних телефонах, маршрутизаторах бездротового зв'язку, системах супутникової комунікації та сенсорних мережах Інтернету речей. Провідні технологічні компанії, зокрема Apple, Samsung, Huawei та Qualcomm, застосовують компактні багатодіапазонні антени у своїх мобільних пристроях та бездротових модулях. Крім того, фрактальні антени досліджуються та використовуються у супутникових системах зв'язку та малих космічних апаратах.

Фрактальні антени є перспективним напрямом розвитку антенних систем завдяки використанню властивостей фрактальної геометрії. Самоподібні структури дозволяють значно зменшити габарити антен, забезпечити багатодіапазонну роботу та підвищити ефективність випромінювання. Це робить їх ключовими компонентами сучасних бездротових технологій, мобільних пристроїв та систем зв'язку майбутнього.

Список використаних джерел:

1. A. K. Al-Zabee, S. Q. Jabbar, D. Wang. Fractal Antennas (Study and Review). *International Journal of Computers & Technology*. 2016. Т. 15. С. 7387–7399.
2. H. H. Patil, S. V. Khobragade. Design of H-fractal antenna for multiband applications. *Asian Journal of Convergence in Technology*. 2016. Т. 2. С. 1–4.
3. M. Karhana, R. Kumar. A Review on Fractal Antenna. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2017. С. 1–3.
4. Teklehaimanot Y. G. , Et Al. Performance Evaluation of Fractal Array Antenna for Small Satellite Applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2016. Т. 3. С. 356–368.
4. Лазоренко О. В., Онищенко А. А., Чорногор Л. Ф. Мультифрактальний аналіз модельних фрактальних і мультифрактальних сигналів // Радіотехніка. Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2022. № 211. С. 74 – 85.