

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ КОНІЧНОЇ СПІРАЛЬНОЇ АНТЕНИ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація.

В роботі проведено математичне моделювання діаграми спрямованості конічної спіральної антени у вільному просторі в діапазоні довжин хвиль 18..36 см. Встановлено, що при зростанні довжини хвилі, ширина головної та додаткових пелюсток діаграми спрямованості збільшується.

Ключові слова: конічна спіральна антена, довжина хвилі, діапазон частот, діаграма спрямованості, випромінювання.

Abstract.

The mathematical modeling of the directivity pattern of the conical spiral antenna in free space in the wavelength range of 18..36 cm was obtained in the work. It is established that as the wavelength increases, the width of the main and additional lobes of the directivity pattern increases.

Keywords: conical spiral antenna, wavelength, frequency range, directivity pattern, radiation.

Вступ

Спіральні антени відносяться до типу антен, електромагнітне поле випромінювання яких має обертову (кругову) поляризацію в напрямку їхньої осі. По типу сповільнюючої системи і способу забезпечення роботи в широкому діапазоні частот спіральні антени поділяють на: циліндричні регулярні, конічні, нерегулярні [1].

Циліндричні і конічні спіральні антени широко застосовуються на сантиметрових, дециметрових хвилях. Такі антени широко використовуються в радіолокації для одержання більш контрастного зображення цілі на тлі завад, а також при роботі з літальними і космічними апаратами, положення антен яких у просторі змінюється в часі. Спіраль може працювати як самостійна антена чи бути елементом антенних решіток або випромінювачем дзеркальної антени. [2]

Максимальне випромінювання антени буде в напрямках, які утворюють гострий кут відносно осі антени, і просторова діаграма виходить у вигляді конуса.

Спіральні антени є дуже поширеними. Наприклад, на рисунку 1,а зображена спіральна антена для WiFi радіозв'язку [3], а на рисунку 1,б зображені спіральні антени, які використовуються в системі протидії дронам UAV Scrambler 300 [4].



Рис. 1. Приклади використання сучасних спіральних антен

Ще однією з модифікацій спіральних антен є квадрифілярна антена – це об'єднання чотирьох спіральних антен, характеристики спрямованості яких в результаті сумування набуває

всенаправленості. Квадрифілярні спіральні антени добре відомі в антенній техніці. Вони використовуються в різноманітних радіоелектронних системах в якості антен кругової поляризації, які мають достатньо малі габарити і забезпечують направлене одностороннє випромінювання. Кожен спіральний випромінювач представляє собою один металічний провідник, вигнутий вздовж спіральної лінії. Антена має основу, на якій розміщені елементи живлення, що збуджують спіральні випромінювачі [2].

До переваг спіральних антен відносяться наступні: широкосмуговість, активний вхідний опір, простота конструкції і те, що вони працюють як із круговою, так і з лінійною поляризацією поля [1].

До недоліків спіральних антен можна віднести наступні: високий (порядку 100-160 Ом) вхідний опір, який залежить від частоти і який доводиться узгоджувати з опорами кабелів живлення (хвильовий опір яких становить 50, 75 Ом) за допомогою спеціальних пристроїв; порівняно великий рівень бічних пелюсток (порядку 18 дБ) і неможливість одержання вузьких діаграм спрямованості [2].

У деяких спеціальних випадках (антена для моноімпульсної радіолокаційної станції, антена з електричним зміщенням променя і т.д.) використовуються складні антенні решітки, які складаються з великої кількості спіралей. Взаємний зв'язок між сусідніми спіралями в таких антенах не дуже великий. [1]

Метою роботи є математичне дослідження діаграми спрямованості конічної спіральної антени у вільному просторі в діапазоні довжин хвиль 18..36 см.

Результати дослідження

Для розрахунку діаграми спрямованості була використана система координат, яка зображена на рис. 1. , де Θ - кут між напрямком в точку спостереження та віссю OZ .

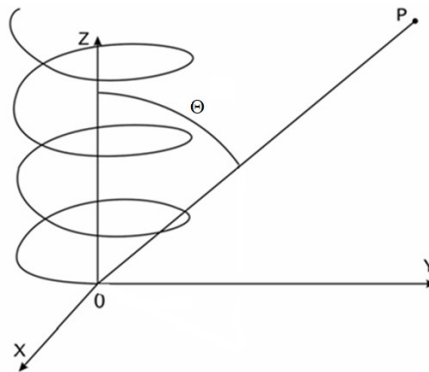


Рис. 2. Система координат для розрахунку параметрів антени

Для математичного моделювання діаграм спрямованості антени було використано програмне забезпечення MathCad 13.

Діаграма спрямованості розраховується за формулою [5]

$$F(\Theta) = \cos(\Theta) \frac{\sin\left[\frac{\pi S n}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22L^2}} - \cos \Theta\right)\right]}{f_{\max} * n * \sin\left[\frac{\pi S}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22L^2}} - \cos \Theta\right)\right]}, \quad (1)$$

де L - довжина витка еквівалентної циліндричної спіралі, $L = \lambda_{cep} = 25$ см;

S - крок еквівалентної циліндричної спіралі, $S = 0,22 * \lambda_{cep} = 55$ мм;

$n = 23$ – число витків конічної спіралі.

Нормовані діаграми спрямованості спіральної конічної антени наведені на: рис. 3 – при частоті 1600 МГц, рис. 4 – при частоті 1212 МГц, рис. 5 – при частоті 825 МГц.

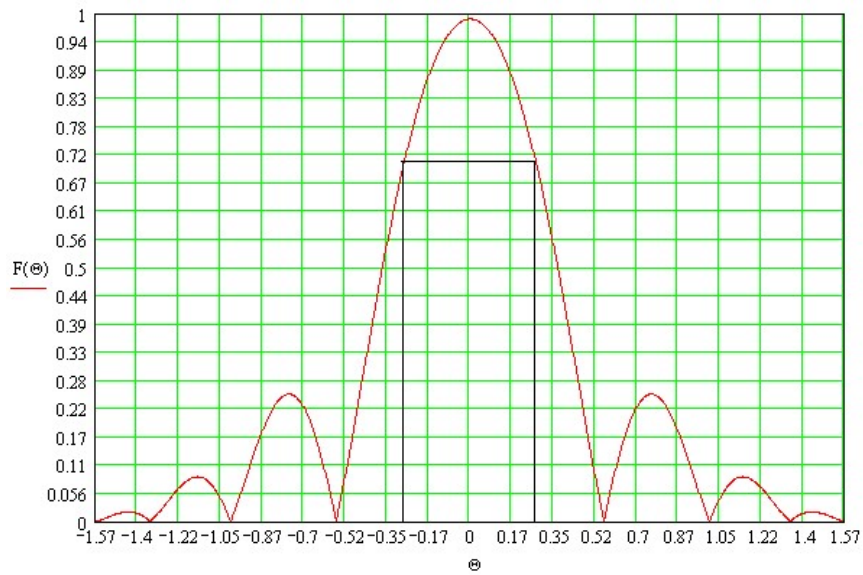


Рис. 3. Нормована діаграма спрямованості конічної антени на частоті 1600 МГц

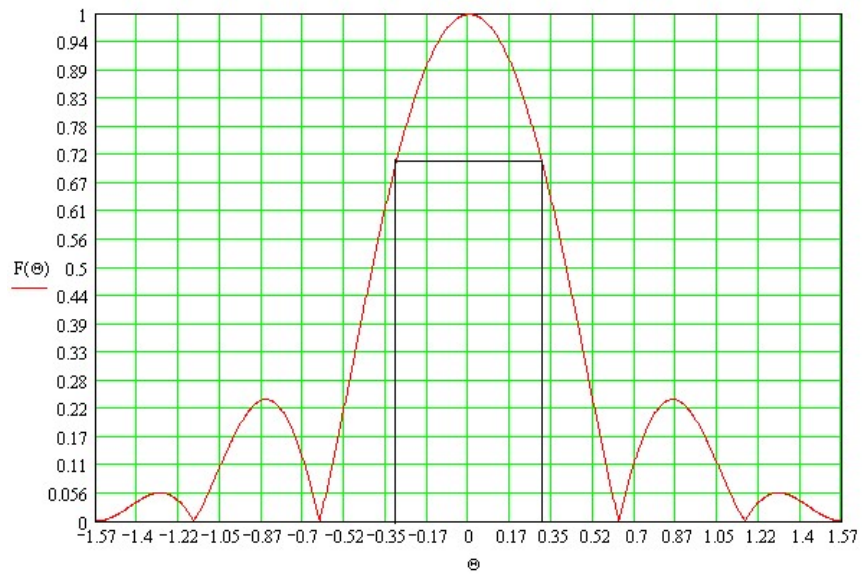


Рис. 4. Нормована діаграма спрямованості конічної антени на частоті 1212 МГц

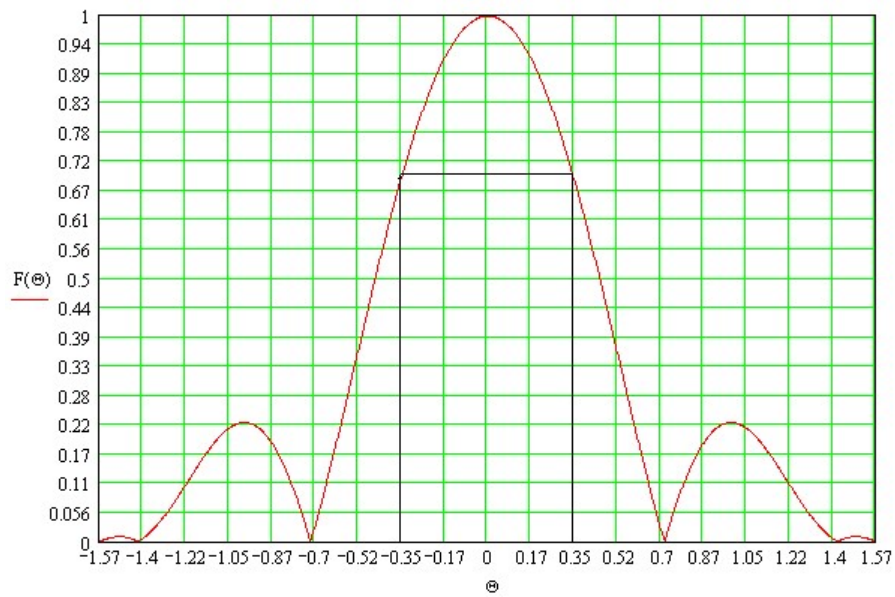


Рис. 5. Нормована діаграма спрямованості конічної антени на частоті 825 МГц

Визначимо коефіцієнт спрямованої дії за формулою [5]

$$D = 15 * \left(\frac{l'}{\lambda}\right) \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2, \quad (2)$$

де L – довжина витка еквівалентної циліндричної спіралі,

l' – довжина антени еквівалентної циліндричної спіралі, $l' = 583$ мм.

При $\lambda=0,18$ м маємо

$$D = 15 * \left(\frac{0.583}{0.18}\right) \left(\frac{0.25}{0.18}\right)^2 = 83.6.$$

При $\lambda=0,25$ м

$$D = 15 * \left(\frac{0.583}{0.25}\right) \left(\frac{0.25}{0.25}\right)^2 = 35.$$

При $\lambda=0,36$ м

$$D = 15 * \left(\frac{0.583}{0,36}\right) \left(\frac{0.25}{0,36}\right)^2 = 11.7.$$

Графічна залежність коефіцієнта спрямованої дії від довжини хвилі $D = f(\lambda)$ показана на рис. 6.

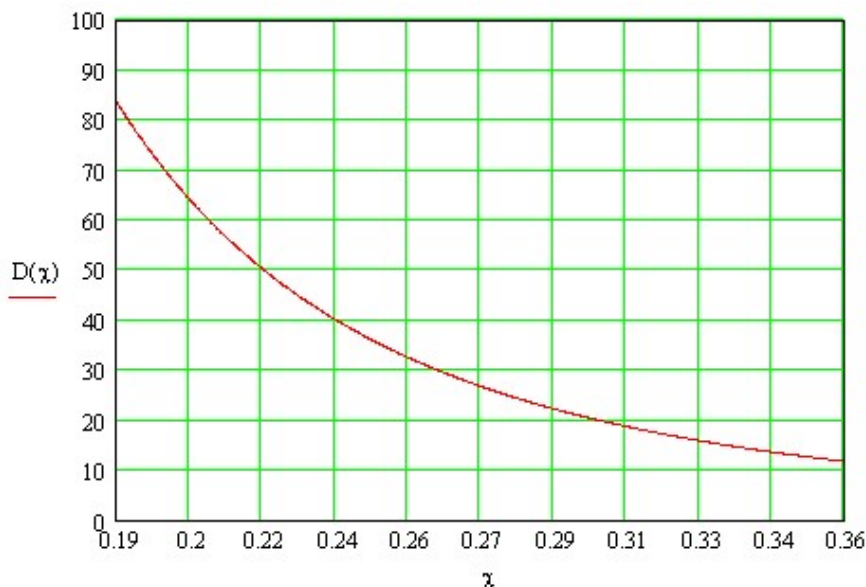


Рис. 6. Залежність коефіцієнта спрямованої дії від довжини хвилі

Провівши аналіз діаграм спрямованості, було встановлено, що: на частоті 1600 МГц ширина променя становить $2\theta_{0,5} = 31,8^\circ$ та рівень бокових пелюсток дорівнює 0,25; на частоті 1212 МГц ширина променя становить $2\theta_{0,5} = 32,5^\circ$ та рівень бокових пелюсток дорівнює 0,24; на частоті 825 МГц ширина променя становить $2\theta_{0,5} = 38,8^\circ$ та рівень бокових пелюсток дорівнює 0,225.

Висновки

У роботі проведено математичне моделювання діаграми спрямованості спіральної конічної антени та розраховано її коефіцієнт спрямованої дії для трьох довжин хвиль: $\lambda = 18$ см, $\lambda = 25$ см, $\lambda = 36$ см. При зростанні довжини хвилі рівень та кількість бокових пелюсток зменшується: при $\lambda = 18$ см рівень першої бокової пелюстки становить 0,25, а при $\lambda = 36$ см рівень першої бокової пелюстки становить 0,225. Також розраховано коефіцієнт спрямованої дії. При довжині хвилі $\lambda=18$ см коефіцієнт спрямованої дії дорівнює 83,6; при $\lambda=25$ см він дорівнює 35; при $\lambda=36$ см він дорівнює 11,7.

Аналіз використання спіральних антен показав, що вони мають широке застосування у багатьох

областях радіоелектронних комунікацій: стільниковий зв'язок, телебаченні, далекий космічний радіозв'язок. При використанні конічних спіральних антен ми можемо збільшити робочий діапазон частот в порівнянні з застосуванням циліндричних спіральних антен. Також для конічних антен характерно те, що діаграма спрямованості в основному формується групою з трьох витків, для яких виконується умова осевого випромінювання. При зміні частоти активна зона переміщується уздовж осі спіралі, тобто умова осевого випромінювання виконується вже для іншої групи витків. При порівнянні конічних спіральних антен з циліндричними можна відзначити, що основних їх перевагою є велика широкосмуговість але при цьому вони мають менший коефіцієнтом спрямованої дії в результаті того, що у формуванні діаграми спрямованості бере участь не вся спіраль, а тільки окрема її частина.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. Антенні пристрої: Навч. посібник. – К: НАУ, 2018. – 200 с.
2. Khalid Fawzy Ahmed Hussein. Conical Linear Spiral Antenna for Tracking, Telemetry and Command of Low Earth Orbit Satellites. Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 29, 2012. – P. 97-107. doi:10.2528/PIERC12031610
3. Igor Grigorov. Shortened Spiral Antennas. Published by Free e-magazine. Canada, Richmond Hill, 2016. – 52 p.
4. Arthur Holland Michel. Counter-Drone Systems. 2nd Edition. Center for the Study of the Drone at Bard College, 2019. – 45 p.
5. Balanis C. A. Antenna Theory: Analysis and Design. 4th Edition / C. A. Balanis. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. – 534 p.

Прутула Максим Олександрович – к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritulamo@ukr.net

Івацко Ольга Віталіївна - студентка групи ТКР-20б, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ivackoolga@gmail.com

Prytula Maksym Oleksandrovych - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritulamo@ukr.net

Ivatsko Olha Vitaliivna - student of group TKR-20b, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivackoolga@gmail.com