

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗЕМЛІ НА ДІАГРАМУ СПРЯМОВАНOSTІ ДИПОЛЯ НАДЕНЕНКО

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі здійснено аналітичне дослідження впливу землі на діаграму спрямованості диполя Надененко. Запропоновані нові аналітичні співвідношення для знаходження сумарної діаграми спрямованості диполя Надененко з врахуванням відбиття від землі, та поглинання землею електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: антена, диполь Надененко, діапазон частот, випромінювання, діаграма спрямованості.

Abstract

In this work, an analytical study of the influence of the earth on the radiation pattern of the Nadenenko dipole was carried out. New analytical relations are proposed for finding the total radiation pattern of the Nadenenko dipole, taking into account the reflection from the earth and the absorption of electromagnetic radiation by the earth.

Keywords: antenna, Nadenenko dipole, frequency range, radiation, radiation pattern.

Вступ

У діапазоні коротких хвиль дуже поширений діапазонний вібратор, що запропонований С.І. Надененко. Відомо, що симетричний вібратор у великому діапазоні хвиль зберігає напрямок максимуму випромінювання [1]. У вібраторах цього типу вхідний опір сильно змінюється при зміні довжини хвилі. С.І. Надененко запропонував робити плечі вібратора з великим поперечним перерізом. Завдячуючи цьому набагато знижується хвильовий опір вібратора, що призводить до зменшення зміни вхідного опору антени зі зміною довжини хвилі [1].

У значному діапазоні хвиль з коефіцієнтом перекриття по частоті 2,5 ... 4,0 для диполів Надененка можна отримати задовільний коефіцієнт біжної хвилі [2]. Завдячуючи простій конструкції, діапазонності, доброму узгодженню зі стандартними фідерами вібратор Надененко широко використовується в тих випадках, коли потрібні слабко направлені діапазонні антени [3]. Особливими якостями, які вимагаються у антен коротких хвиль – діапазонність та спрямованість [2]. Через зміни умов поширення цих хвиль в іоносфері, доцільно декілька разів за добу переходити з однієї хвилі на іншу без суттєвого переналадження антено-фідерного тракту, тому наряду зі звичайними налагодженими антенами (пів хвильовий горизонтальний та чверть хвильовий вертикальний вібратори) застосовуються спеціальні діапазонні антени [2]. Така антена являє собою симетричний вібратор великого діаметра, який складається з дротів, що розташовані по твірній циліндру. Підвіс антени повинен бути не менше ніж $\frac{\lambda_{\max}}{4}$, діапазонність такої антени досягається за рахунок зменшення її хвильового опору, шляхом збільшення діаметра диполя, котрий дорівнює $(0.4 \div 0.6) \lambda$ [1, 3].

Метою роботи є модельне дослідження впливу Землі на діаграму спрямованості диполя Надененко при випромінюванні радіохвиль гектаметрового діапазону частот.

Результати дослідження

Диполь Надененко являє собою симетричний вібратор, розташований на деякій відстані від поверхні землі [1]. Довжина кожного плеча вібратора „l”, висота розташування над поверхнею землі „H”. Схематично конструкція антени показана на рис. 1. На рис. 1 такі позначення: 1,2,3- ізолятори; 4,5- плечі вібратора; 6- фідер зниження; 7- приймач або передавач.

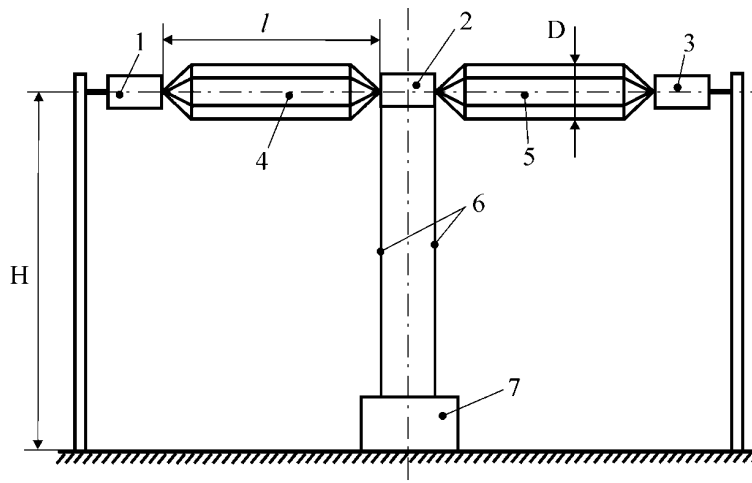


Рис. 1. Конструкція диполя Надененко

При аналізі роботи диполя Надененко слід врахувати наступні фактори: висоту підвісу антени H , довжину плечей вібратора l , діаметр плечей D [3].

Для аналізу поля випромінювання антени необхідно враховувати вплив землі, цей вплив розраховують, застосовуючи метод дзеркального відбиття [4]. Поверхня землі впливає на характеристики антени в тих випадках, коли антена розташована на невеликій висоті [5, 6]. Тоді значна частина випромінюваної енергії падає на землю біля антени, це приводить до появи променів, відбитих від землі. За рахунок інтерференції прямих та відбитих променів, характеристика випромінювання антени в вертикальній площині відрізняється від характеристики випромінювання симетричного вібратора, розташованого на значній відстані від землі.

Точний розрахунок впливу землі має складний характер, тому що інтенсивність хвилі, відбитої від землі залежить від хімічного складу землі під антеною, довжини хвилі, поляризації хвиль [4]. Якісно вплив землі можна показати, вважаючи, що земля під антеною має опір $R = 0$ (ідеальний провідник). В цьому випадку коефіцієнт відбиття дорівнює одиниці, а саме відбиття підкоряється законам оптики. Така ідеальна земля по відношенню до антени виконує функцію плоского дзеркала. В цьому випадку хвилі, відбиті від землі можна вважати як хвилі, які випромінюються від дзеркального відбиття антени.

Дзеркальне відбиття горизонтального вібратора відносно ідеально провідної землі показано на рис. 2.

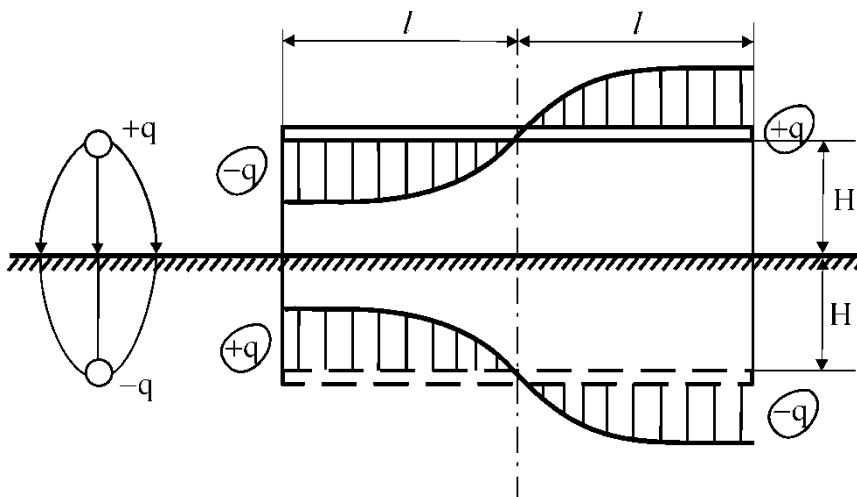


Рис. 2. Дзеркальне відбиття горизонтального вібратора від ідеально провідної землі

На рис. 2 показано розподіл зарядів на поверхні антени та на її дзеркальному відображенні. З рис. 2. видно, що на кінцях вібраторів створюється досить сильне поле зміщення.

Дзеркальним відбиттям горизонтального вібратора є горизонтальний протифазний вібратор. До цього висновку можна прийти, враховуючи зміну фази хвилі при відбитті від землі. Горизонтальний вібратор випромінює горизонтально-поляризовані хвилі, фаза яких змінюється на 180° при відбитті від землі. За рахунок цього сам вібратор та його дзеркальне відбиття вважають протифазним. З методу дзеркального відбиття видно, що діаграму спрямованості диполя Надененко можна побудувати як діаграму спрямованості випромінюючої системи, яка складається із двох протифазних вібраторів, відстань між якими $2H$. Інтерференція прямого та відбитого від землі променя показано на рисунку 3. Максимумам випромінювання відповідають напрямки, в яких падаюча та відбита хвилі складаються в фазі, мінімумам випромінювання відповідають напрямки, в яких обидві хвилі складаються у протифазі.

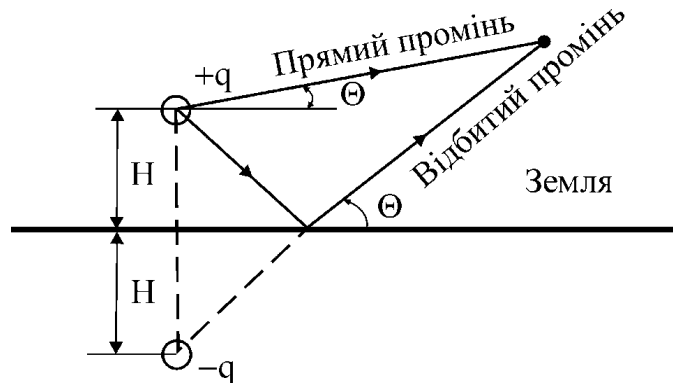


Рис. 3. Інтерференція прямого та відбитого від землі променя горизонтального вібратора в вертикальній площині

Діаграма спрямованості диполя Надененко в вертикальній площині має багатопелюстковий характер. Кількість пелюсток залежить від " l ", " H ", " λ ". Одна з пелюсток спрямована вздовж поверхні землі, за рахунок цієї пелюстки відбувається зв'язок між наземними станціями на максимальну можливу відстань. В горизонтальній площині енергія не випромінюється.

Запишемо вихідну формулу для знаходження сумарної діаграми спрямованості диполя Надененко з врахуванням відбиття, та поглинання випромінювання

$$f(\varphi) = F(\theta)[1 + |R_{в,г}| \exp(-j2kH \cos \theta + j\Phi_{в,г})], \quad (1)$$

де $F(\theta)$ – характеристика діаграми спрямованості у вільному просторі; H – висота підвісу центра випромінювання; $2kH \cos \theta$ – електрична різниця ходу струму; $|R_{в,г}| \exp(j\Phi_{в,г})$ – коефіцієнти відбиття Френеля.

Коефіцієнт відбиття Френеля при горизонтальній поляризації

$$|R_r = R_r| \exp(j\Phi_r) = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta}}{\cos(\theta) + \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta}}, \quad (2)$$

$$|R_v = R_v| \exp(j\Phi_v) = \frac{\epsilon' \cdot \cos(\theta) - \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta}}{\epsilon' \cdot \cos(\theta) + \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta}}. \quad (3)$$

де ϵ' – комплексна діелектрична проникність землі, що розраховується з формули

$$\epsilon' = \frac{\epsilon_a}{\epsilon_0} \left(1 - \frac{j\delta}{\omega\epsilon_a}\right), \quad (4)$$

де δ – відносна об'ємна провідність землі.

Після підстановки формули (4) в (3) і (2), підставимо (3) і (2) в (1) і отримаємо кінцеві вирази для знаходження діаграми спрямованості в горизонтальній площині, і в вертикальній площині.

Висновки

У роботі здійснено аналітичне дослідження впливу поверхні землі на спрямовані властивості диполя Надененко. Запропоновані нові аналітичні співвідношення для знаходження сумарної діаграми спрямованості диполя Надененко з врахуванням відбиття від землі, та поглинання землею електромагнітного випромінювання. Аналітичні співвідношення враховують коефіцієнт відбиття Френеля при горизонтальній поляризації електромагнітної хвилі. Діаграма спрямованості диполя Надененко в вертикальній площині має багатопелюстковий характер. Кількість пелюсток залежить від висоту підвісу антени H , довжину плечей вібратора l і довжини робочої хвилі λ . Одна з пелюсток спрямована вздовж поверхні землі. За рахунок цієї пелюстки відбувається зв'язок між наземними станціями на максимальну можливу відстань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. – 496 с.
2. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. Пристрої надвисоких частот та антени: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013. – 188 с.
3. Семенов А.О., Гнатенко А.Ю., Козюк М.Е. Дослідження спрямованих та енергетичних характеристик антени Надененко. Тези доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 12-14 грудня 2022 р., Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 46-47. ISBN 978-617-529-397-3
4. Семенов А.О., Шутило М.А., Луцький Є.Ф., Зубарев О.В. Дослідження впливу поверхні землі на спрямовані властивості пасивних логіперіодичних антен цифрового телебачення стандартів DVB-T і DVB-T2. Збірник тез доповідей II міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 29-31 жовтня 2013 року, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 206-208.
5. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Куляс Р.О., Шпильовий О.О. Гнучка двоохмугова LTE антена для радіочастотних технологій доступу носимих пристроїв бездротових інфокомунікаційних і сенсорних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 4 2022. Частина 1. С. 32-38. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/07>
6. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Білик О.В., Шпильовий О.О. Дослідження густини потоку електромагнітного випромінювання від елементарного електричного випромінювача у ближній та проміжних зонах. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 3 2022. С. 13-19. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/03>

Семенов Андрій Олександрович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Пінаєв Богдан Олегович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pinaev.bogdam@gmail.com

Козін Дмитро Олегович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dimakoua@gmail.com

Semenov Andriy Oleksandrovych — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Pinaev Bogdan Olegovich — postgraduate student of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pinaev.bogdam@gmail.com

Kozin Dmytro Olehovych — PhD student of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : dimakoua@gmail.com