

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПРОМІНЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В.І. Магро¹, канд. фіз.-мат. наук, доцент, **С.В. Плаксін**², д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
49010, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна.

²Інститут транспортних систем і технологій «Трансмаг» Національної академії наук України,
49000, вул. Пісаржевського, 5, м. Дніпро, Україна.

При взаємодії між системою моніторингу й диспетчеризації сонячної електростанції та центральною енергетичною системою використовуються різні телекомунікаційні канали. Це може бути супутниковий канал, канал системи рухомого зв'язку, радіоканал. Система керування сонячною електростанцією містить приймально-передавальний та випромінювальний модулі. Конструкція випромінювального модуля залежить від типу телекомунікаційного каналу. Здебільшого наземні телекомунікаційні канали мають перевагу над супутниковими каналами з погляду економічності. На доповнення до стандартних конструкцій випромінювальних пристроїв системи моніторингу запропоновано використання низькопрофільної антени, а саме планарної F-подібної антени. Антена такого типу також може бути використана в системі керування для організації взаємодії між розподіленою сонячною електростанцією і магнітолевітаційною магістраллю. Проведено розрахунок планарної F-подібної антени для системи моніторингу й диспетчеризації сонячної електростанції. Створено математичну модель планарної F-подібної антени. Проведено оптимізацію геометричних розмірів такої антени за критерієм мінімуму коефіцієнта відбиття на вході антени. Встановлено, що коефіцієнт відбиття на вході такої антени не перевищує 0,15. Розраховано оптимальне положення випромінювальної поверхні відносно екрану. Проведено вибір оптимального положення заземлювальної пластини в такій випромінювальній конструкції. Для робочої частоти 2,4 ГГц розраховані загальні характеристики випромінювання даної антени: діаграма спрямованості, робоча смуга частот. Для організації двох телекомунікаційних каналів за допомогою однієї антени запропоновано використання планарної F-подібної антени з L-подібним вирізом. Розраховані характеристики випромінювання планарної F-подібної антени з L-подібним вирізом. Така модифікація антени забезпечує дві смуги робочих частот, а саме 0,9 та 1,8 ГГц. Проведена оптимізація геометричних розмірів F-подібної антени з L-подібним вирізом. Бібл. 6, рис. 7.

Ключові слова: система моніторингу та диспетчеризації, сонячна електростанція, випромінювальний пристрій, планарна F-подібна антена.

COMPUTER SIMULATION OF THE EMITTING MODULE OF THE SOLAR POWER PLANT MONITORING SYSTEM

V. Magro, candidate of physics and mathematics, associate professor, **S. Plaksin**, doctor of sciences on physics and mathematics, senior researcher

Oles Honchar Dnipro National University,
49010, 72, Gagarina avenue, Dnipro, Ukraine.

Institute of Transport Systems and Technologies of National Academy of Sciences of Ukraine,
49000, 5, Pisarzhevskogo St., Dnipro, Ukraine.

Various telecommunication channels are used in the interaction between the monitoring and dispatching system of the solar power plant and the central power system. It can be a satellite channel, a mobile communication system channel, a radio channel. The solar power plant control system contains transceiver and radiation modules. The design of the emitting module depends on the type of telecommunication channel. In most cases, terrestrial telecommunication links have an advantage over satellite links in terms of economy. In addition to the standard designs of the radiating devices of the monitoring system, the use of a low-profile antenna, namely a planar F-shaped antenna, has been proposed. An antenna of this type can also be used in a control system to organize interaction between a distributed solar power plant and a maglev line. The calculation of a planar inverted-F antenna for the monitoring and dispatching system of a solar power plant has been carried out. A mathematical model of a planar inverted-F antenna has been created. Optimization of the geometric dimensions of such an antenna was carried out according to the criterion of the minimum reflection coefficient at the antenna input. It is obtained that the reflection coefficient at the input of such an antenna

does not exceed 0.15. The optimal position of the radiating surface relative to the screen is calculated. The choice of the optimal position of the grounding plate in such a radiating structure is carried out. For the operating frequency of 2.4 GHz, the general radiation characteristics of this antenna are calculated: radiation pattern, operating frequency band. To organize two telecommunication channels with one antenna, it is proposed to use a planar inverted-F antenna with an L-shaped cutout. The radiation characteristics of a planar inverted-F antenna with an L-shaped cutout are calculated. This modification of the antenna provides two operating frequency bands, namely 0.9 and 1.8 GHz. The geometric dimensions of the F-shaped antenna with an L-shaped cutout are optimized. Ref. 6, fig.7.

Keywords: monitoring and scheduling system, solar power plant, radiating device, planar inverted-F antenna.



V.I. Magro
V. Magro

Відомості про автора: канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Освіта: Дніпропетровський державний університет, радіофізичний факультет; спеціальність «Радіофізика та електроніка»

Наукова сфера: радіофізика, радіотехніка, телекомунікації, геліоенергетика

Публікації: понад 120 наукових робіт та навчально-методичних посібників

ORCID: 0000-0003-4238-6733

Контакти: тел. 0562-464-282

e-mail: magrov@i.ua

Author information: associate professor Department of the Department of Applied Radio Physics, Electronics and Nanomaterials of Oles GONCHAR Dnipro National University, candidate of physics and mathematics, associate professor

Education: Dnipropetrovsk National University, Faculty of Radiophysics

Research area: radiophysics, radiotechnics, telecommunications, solar energy

Publications: author of more than 120 scientific and teaching works

ORCID: 0000-0003-4238-6733

Contacts: tel.: 0562-464-282

e-mail: magrov@i.ua



S.V. Plaksin
S. Plaksin

Відомості про автора: доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу систем керування Інституту транспортних систем і технологій «Трансмаг» Національної академії наук України

Освіта: Дніпропетровський державний університет, радіофізичний факультет; спеціальність «Радіофізика та електроніка»

Наукова сфера: фізика напівпровідників, системи управління, фотоелектричне перетворення енергії

Публікації: понад 320 наукових робіт

ORCID: 0000-0001-8302-0186

Контакти: тел. 056-370-21-82

e-mail: svp@westa-inter.com

Author information: Head of the Department of Control Systems of the Institute of Transport Systems and Technologies of National Academy of Sciences of Ukraine, doctor of sciences on physics and mathematics, senior researcher

Education: Dnipropetrovsk National University, Faculty of Radiophysics

Research area: physics of semiconductors, control systems, photovoltaics

Publications: author of more than 320 scientific and teaching works

ORCID: 0000-0001-8302-0186

Contacts: tel.: 056-370-21-82

e-mail: svp@westa-inter.com

Перелік використаних позначень та скорочень:

ДС – діаграма спрямованості антени;

D – ширина вертикальної замикальної пластини;

L – довжина випромінювальної пластини;

W – ширина випромінювальної пластини;

h – висота випромінювальної пластини над екраном;

S₁₁ – елемент матриці розсіяння.

Вступ. У загальному випадку сонячна електростанція складається з двох основних компонентів: сонячного поля і його компонент та системи моніторингу й диспетчеризації [1–3]. Завданням системи моніторингу та диспетчеризації є: моніторинг параметрів інвертора, параметрів трансформатора, параметрів високовольтних комірок та формування звітів про вироблену енергію. Взаємодія між системою моніторингу й диспетчеризації сонячної електростанції та центральною енергетичною системою

здійснюється різними телекомунікаційними засобами та каналами. Це може бути супутниковий канал, канал системи рухомого зв'язку, радіоканал. Зазвичай система керування сонячною електростанцією побудована на основі приймально-передавального модуля та випромінювального модуля. Залежно від того, який телекомунікаційний канал зв'язку використовується, обирають тип випромінювального пристрою. Для супутникових каналів як випромінювальні пристрої часто використовують параболічні антени [4, 5]. Проте

в умовах високого рівня зовнішніх завад можуть бути використані антени з покращеними характеристиками випромінювання [6]. У наземних телекомунікаційних каналах зазвичай використовують різноманітні конструкції випромінювальних пристроїв.

У роботі [7] запропоновано використовувати розподілену сонячну електростанцію для живлення магнітолевітаційної магістралі [8]. Для взаємодії таких систем потрібний випромінювальний пристрій, що входить до складу системи керування. Проте слід зважати на наявність часу затримки при передачі сигналу в телекомунікаційному каналі [9–12].

Додатковим завданням системи моніторингу є керування положенням сонцесприймальної поверхні з метою підвищення (а також зменшення) потужності генерації. В роботі [13] показано, що досягнення високих потужностей генерації від систем на основі фотоелектричних перетворювачів і теплових сонячних колекторів вимагає, з одного боку, використання великих площ геліополя, зважаючи на невелику щільність потоку неконцентрованого сонячного випромінювання, з іншого боку, при щільному розміщенні перетворювачів виникає проблема затінення сонцесприймальних поверхонь сусідніми рядами. Тому оптимальним технічним рішенням даної проблеми є застосування пристроїв керування кутом нахилу сонцесприймальної поверхні з метою підвищення потужності генерації геліосистеми. Пристрої керування можуть поєднуватись із системою моніторингу та диспетчеризації як дротовими, так і бездротовими лініями зв'язку. Для останніх використовується випромінювальний пристрій.

Отже, існує потреба в розробці простих та надійних випромінювальних пристроїв для системи моніторингу та диспетчеризації сонячної електростанції, які можуть бути використані для організації наземних ліній зв'язку [14–18]. Аналіз різновидів конструкцій антен показав, що зазначеним вище критеріям задовольняють низькопрофільні антени.

Мета й завдання. Метою даної роботи є вдосконалення випромінювального модуля системи моніторингу й диспетчеризації сонячної електростанції. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

1. Дослідити вплив геометричних розмірів низькопрофільної (планарної F-подібної) антени на ступінь узгодження антени з фідером живлення.
2. Дослідити характеристики випромінювання узгодженої планарної F-подібної антени.
3. Дослідити способи збільшення робочої смуги частот планарної F-подібної антени.

Результати дослідження. При виборі частоти, на якій працює випромінювальний модуль, була врахована можливість використання низькопрофільної антени в складі бездротової локальної мережі за стандартом IEEE 802.11, де робочою частотою є 2,4 ГГц. Зважаючи на розвиток мобільного зв'язку 4G в Україні, також обрано розрахункові робочі частоти 0,9 та 1,9 ГГц.

У загальному випадку конструкція планарної F-подібної антени показана на рис. 1. Електричні характеристики планарної F-подібної антени залежать від розмірів верхньої випромінювальної пластини, співвідношення довжин її сторін, висоти випромінювальної пластини над екраном, розмірів та положення вертикальної заземлювальної стінки, точки живлення антени.

Реальні геометричні розміри планарної F-подібної антени є малими завдяки тому, що її резонансна частота визначається переважно півпериметром випромінювальної пластини. Ширина смуги пропускання прямо залежить від ширини D вертикальної замикальної пластини.

За допомогою програмного середовища HFSS змодельована планарна F-подібна антена, що має розміри: $W = 13$ мм; $L = 20$ мм; $D = 2$ мм; $h = 8$ мм. Розмір екрану становить 50×26 мм, радіус фідера живлення складає 0,45 мм. Робоча частота такої антенної структури дорівнює 2,4 ГГц.

Для такої конструкції розраховано діаграму спрямованості (ДС). Форма ДС свідчить про

слабоспрямованість антени (рис. 2). ДС не є симетричною, оскільки вертикальна заземлювальна пластина розташована не посередині відносно верхньої випромінювальної пластини. Ширина ДС на рівні половинної потужності дорівнює 244° . Розраховані частотні характеристики антени. Встановлено, що при даних геометричних розмірах в антені забезпечується резонанс на частоті 2,4 ГГц. При цьому коефіцієнт відбиття на вході антени на цій частоті дорівнює 0,01. Робоча смуга частот планарної F-подібної антени на рівні $S_{11} = 0,5$ становить 790 МГц.

Існує потреба в дослідженні впливу положення точки живлення на характеристики випромінювання антени. Шляхом параметричного аналізу в програмному середовищі HFSS знайдене оптимальне положення точки живлення планарної F-подібної антени, яка працює на частоті 2,4 ГГц. Під час

аналізу розглянуті всі можливі варіації положення точки живлення відносно осей X та Y (рис. 1). Побудовано графіки залежності коефіцієнта відбиття від положення точки живлення (рис. 3). З розрахункової залежності коефіцієнта відбиття від розміщення точки живлення знайдене оптимальне положення точки живлення відносно осей X та Y (рис. 3). При значеннях $X = -0,5$ мм, $Y = 4$ мм забезпечується мінімальне значення елемента матриці розсіювання S_{11} , який має фізичний зміст модуля коефіцієнта відбиття. Видно, що значення S_{11} становить 0,01. Це свідчить про узгодженість антени з системою живлення. Для даних значень координат точки живлення ширина діаграми спрямованості на рівні половинної потужності становить $228,7^\circ$. Це значення ширини ДС задовольняє поставленим завданням, навіть з урахуванням довільної орієнтації антени у просторі.

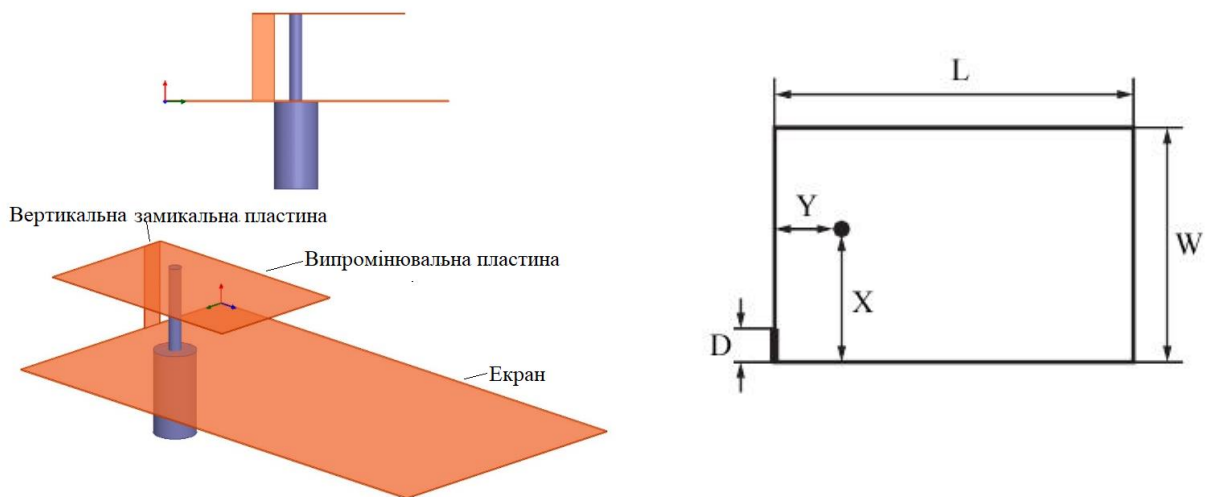


Рис. 1. Модель планарної F-подібної антени

Fig. 1. Model of a planar inverted-F antenna

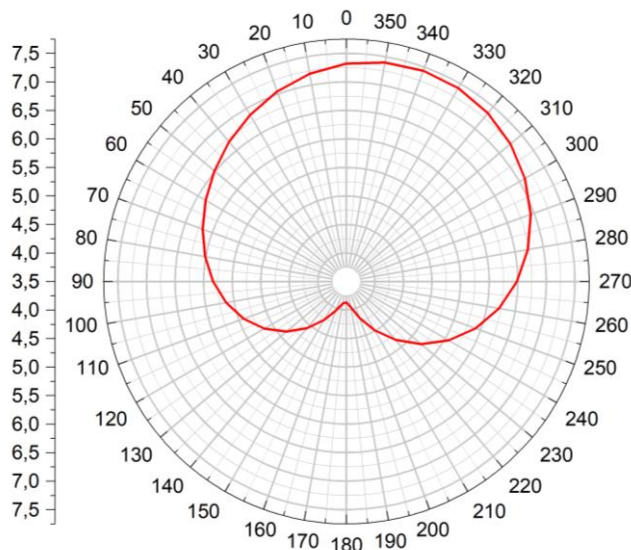


Рис. 2. Діаграма спрямованості планарної F-подібної антени

Fig. 2. Radiation pattern of a planar inverted-F antenna

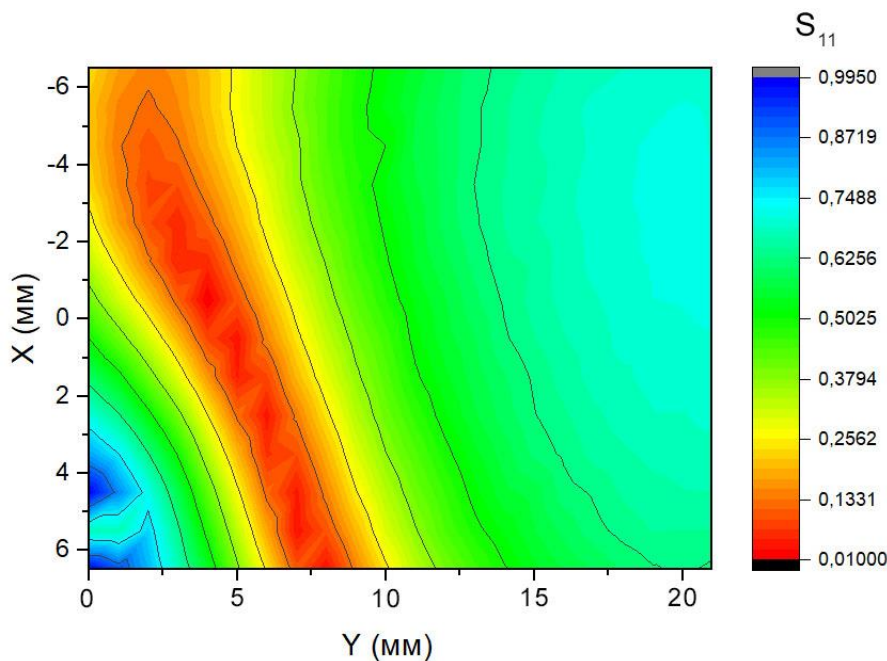


Рис. 3. Залежність коефіцієнта відбиття від розміщення точки живлення планарної F-подібної антени

Fig. 3. The dependence of the reflection coefficient on the placement of the feed point of the planar inverted-F antenna

Досліджено вплив висоти випромінювальної пластини h над екраном на характеристики антени. При проведенні моделювання висота антени h змінювалась від 0,5 до 20 мм з кроком 0,5 мм. Розраховано графіки залежності коефіцієнта відбиття від висоти h (рис. 4). Встановлено, що найкраще узгодження антени з фідером спостерігається при висоті $h = 8$ мм. При збільшенні або зменшенні висоти антени над екраном відбувається різке

збільшення значення S_{11} на розрахунковій частоті 2,4 ГГц.

Проаналізовано вплив розмірів вертикальної заземлювальної пластини D на характеристики антени. Розміри вертикальної заземлювальної пластини D змінювались у межах від 1 до 13 мм з кроком 1 мм. Встановлено, що найкраще узгодження планарної F-подібної антени з кабелем живлення при оптимізованому положенні точки живлення та оптимізованій

висоті антени над екраном спостерігається, якщо ширина заземлювальної пластини $D = 2$ мм. При збільшенні або зменшенні ширини пластини відбувається різке розузгодження антени з фідером. Встановлено, що коли вертикальна заземлювальна пластина розміщена по центру

випромінювальної пластини, то діаграма спрямованості планарної F-подібної антени має симетричну форму. Зміщення вертикальної заземлювальної пластини відносно цього положення ліворуч або праворуч призводить до спотворення форми ДС.

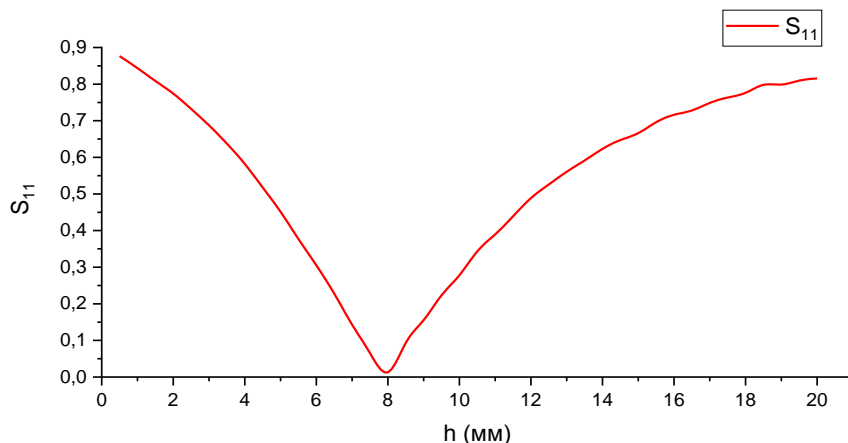


Рис. 4. Залежність елемента матриці розсіяння S_{11} від висоти антени над екраном

Fig. 4. Dependence of the scattering matrix element S_{11} on the antenna height above the screen

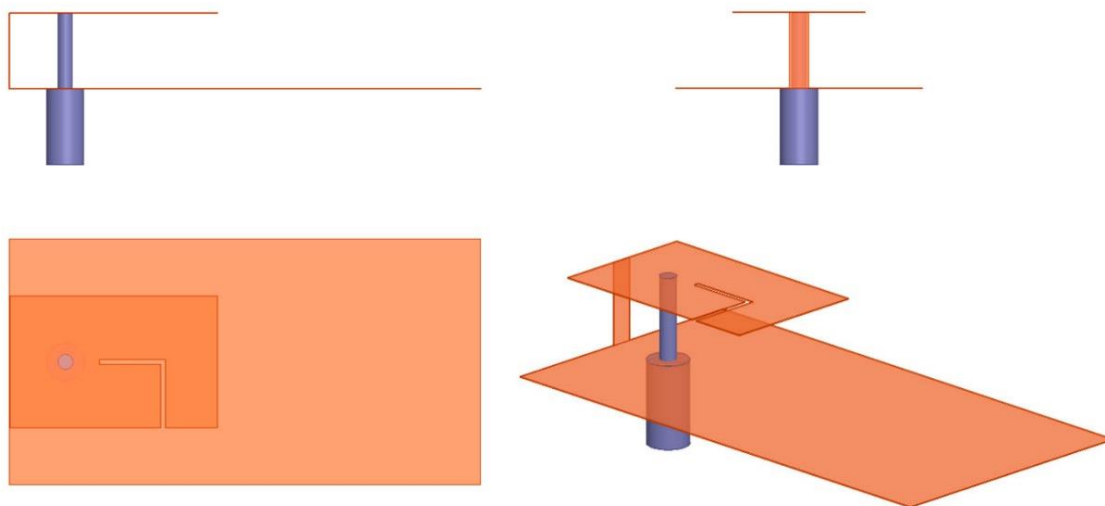


Рис. 5. Модель дводіапазонної планарної F-подібної антени

Fig. 5. Model of two-band planar inverted-F antenna.

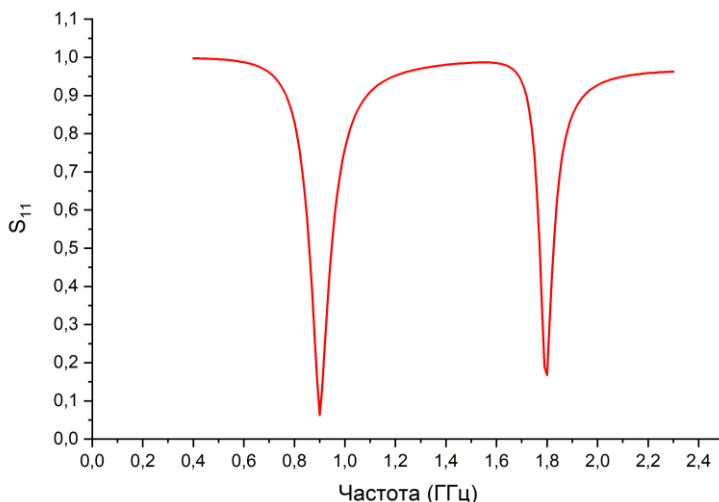


Рис. 6. Частотна характеристика дводіапазонної планарної F-подібної антени

Fig. 6. Frequency response of a dual-band planar inverted-F antenna

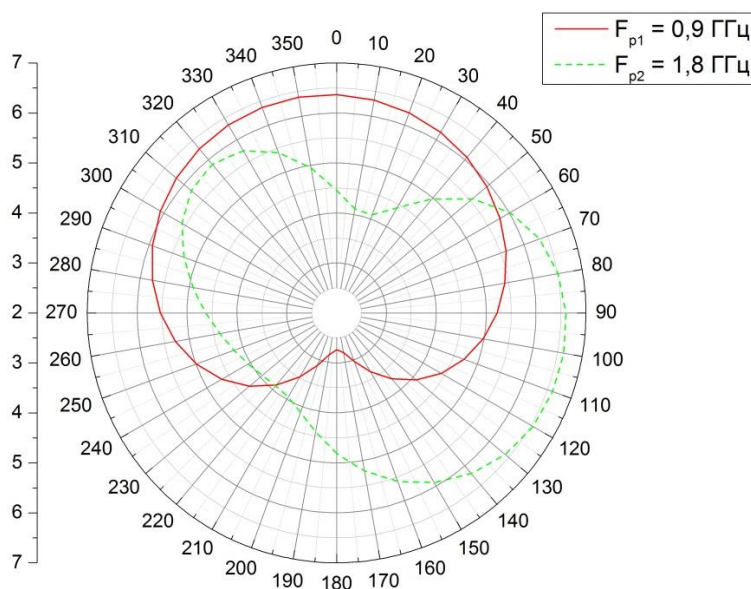


Рис. 7. Діаграми спрямованості дводіапазонної планарної F-подібної антени на робочих частотах

Fig. 7. Radiation pattern of a dual-band planar inverted-F antenna

Досліджено модель дводіапазонної планарної F-подібної антени (рис. 5). З метою розширення робочого діапазону частот у поверхню випромінювальної пластини планарної антени додано L-подібний виріз. Антена з L-подібним вирізом забезпечує дві смуги робочих частот (рис. 6). Перша – навколо частоти 0,9 ГГц, друга – навколо 1,8 ГГц. При цьому коефіцієнти відбиття на вході антени на вказаних частотах дорівнюють відповідно 0,06 та 0,17. Робоча смуга частот складає 90 МГц для робочої частоти 0,9 ГГц та 70 МГц – для робочої частоти 1,8 ГГц.

Ширина діаграми спрямованості на рівні половинної потужності становить 240,3 для робочої частоти 0,9 ГГц та 139,1 – для робочої частоти 1,8 ГГц (рис. 7). Для дводіапазонної антени досліджено вплив положення точки живлення на узгодження антени з фідером та на ширину діаграми спрямованості. Результат даного дослідження показав, що при $X = 0$ мм та $Y = 4$ мм значення модуля коефіцієнта відбиття для першої робочої частоти становить 0,06, а для другої – 0,15. Це свідчить про узгодженість антени з системою живлення. Дослідження

впливу висоти антени над екраном та ширини заземлювальної пластини на характеристики антени дало змогу встановити, що найкраще узгодження антени з фідером на розрахункових частотах спостерігається при висоті $h = 9$ мм та ширині $D = 4$ мм. При таких параметрах значення модуля коефіцієнта відбиття для першої резонансної частоти – 0,06, а для другої – 0,15.

Висновки. Низькопрофільна антена може бути використана як випромінювальний пристрій і здатна підвищити інформаційність та надійність системи моніторингу й диспетчеризації сонячної електростанції. Таку антену також доцільно застосовувати в розподіленій сонячній електростанції, що використовується для живлення магнітолевітаційної магістралі. Серед розглянутих модифікацій конструкції антени перевагу має дводіапазонна планарна F-подібна антена з L-подібним вирізом. Дана конструкція антени забезпечує дві смуги робочих частот, на яких можна організувати два телекомунікаційні канали.

1. Дзензерский В.А., Плаксин С.В., Погорелая Л.М., Соколовский И.И., Тарасов С. В., Шкиль Ю.В. Методология построения солнечных электростанций большой мощности. Відновлювана енергетика. 2010. № 1. С. 36-40.

2. Богатырев Е.А., Воронов В.Н., Смольский С.М. Измерительно-информационные комплексы для энергетических объектов. Вестник МЭИ. 2004. Вып. 2. С. 132-136.

3. Grechikhin V.A. Zamolodchikov V.N., Smolskiy S.M. Application of wireless monitoring and communication systems in the power engineering. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2012. № 3. С. 3–10.

4. Balanis C.A. Antenna theory. Analysis and design. N.Y. 2016. 1096 p.

5. Ямпольский В.Г., Фролов О.П. Антенны и ЭМС. М. 1983. 272 с.

6. Magro V.I., Morozov V.M. Investigation of the method of improving the interference protection of axisymmetric antennas in the anterior semispace. Journal of Physics and Electronics. 2019. Vol. 27(1). Pp.89–94. doi: 10.15421/331914

7. Дзензерский В.А., Плаксин С.В., Толдаев В.Г., Шкиль Ю.В. Интеграция магнітолевітаційної магістралі та розподіленої сонячної електростанції. Київ. Наукова думка. 2019. 244 с.

8. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнітолевітаційна транспортна технологія. М. 2014. 476 с.

9. Magro V.I., Святошенко В.О., Тимофеев Д.С. Метод оцінки часу затримки в процесі потокового мовлення. Системи обробки інформації. 2019. № 4(159). С. 28–35. doi: 10.30748/soi.2019.159.03.

10. Bourtsoulatze E., Thomos N, Saltarin J., Braun T. Content-aware delivery of scalable video in network coding enabled named data networks. IEEE Transactions on Multimedia. 2018. Vol. 20 (6). Pp. 1561–1575. doi: 10.1109/TMM.2017.2767778.

11. Zhang D., He H., Li W. Bitrate allocation among multiple video streams to maximize profit in content delivery networks. Personal and Ubiquitous Computing. 2016. Vol. 20 (3). Pp. 385-396. doi: 10.1007/s00779-016-0919-7.

12. Tang W.L., Yang S.H., Wu H.T, Jheng S.S. Combining layer coding and bandwidth allocation for video distribution on content delivery networks. Wireless Personal Communications. 2016. Vol. 91 (4). Pp. 1555–1573. doi: 10.1007/s11277-015-2883-3.

13. Андропова О.В., Курак В.В. Оптимізація розміщення приймачів сонячної енергії рядами для кліматичних умов півдня України. Відновлювана енергетика. 2020. № 2. С. 45–53. doi:10.36296/1819-8058.2020.2(61).45–53

14. Фимонов А.Ю. Построение мультисервисных сетей. СПб. 2007. 524 с.

15. Sklar B. Digital Communication. Fundamentals and Application. 2nd edition. NY. 2001. 1079 p.

16. Крухмалев В.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. М. 2004. 510 с.

17. Мардер Н.С. Современные телекоммуникации. М. 2006. 384 с.

18. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Современные технологии. М. 2003. 296 с.

REFERENCES

1. Dzenzerskiy V.A., Plaksin S.V., Pogorelaya L.M., Sokolovskiy I.I., Tarasov S.V., Shkil Yu.V. Metodologiya postroyeniya solnechnykh elektrostantsiy bol'shoi moshchnosti. [Methodology for constructing high-power solar power plants]. Vidnovlyuvana yenergetika. 2010. No. 1. Pp. 36–40. [in Russian]

2. Bogatyrev Ye.A., Voronov V.N., Smol'skiy S.M. Izmeritel'no-informatsionnyye komplekxy dlya energeticheskikh ob'yektov. [Measuring and information systems for energy facilities]. Vestnik MEI. 2004. Issue 2. Pp. 132–136. [in Russian]

3. Grechikhin V.A. Zamolodchikov V.N., Smolskiy S.M. Application of wireless monitoring and communication systems in the power engineering. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2012. No. 3. Pp. 3–10. [in English].

4. Balanis C.A. Antenna theory. Analysis and design. N.Y. 2016. 1096 p. [in English].

5. Yampol'skiy V.G., Frolov O.P. Antenny i EMS. Moskva. 1983. 272 p. [in Russian].

6. *Magro V.I., Morozov V.M.* Investigation of the method of improving the interference protection of axisymmetric antennas in the anterior semispace. *Journal of Physics and Electronics*. 2019. Vol. 27(1). Pp. 89–94. [in English]. doi: 10.15421/331914

7. *Dzenzerskiy V.A., Plaksin S.V., Toldayev V.G., Shkil' Yu.V.* Integratsiya magnitolevitatsionnoy magistrali i raspredelnoy solnechnoy elektrostantsii. [Integration of a maglev line and a distributed solar power plant]. Kyiv. Naukova dumka. 2019. 244 p. [in Russian]

8. *Antonov Yu.F., Zaytsev A.A.* Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic levitation transport technology]. M. 2014. 476 p. [in Russian]

9. *Magro V.I., Svyatoshenko V.O., Tymofeyev D.S.* Metod otsinky chasu zatrymky v protsesi potokovoho movlennya. [The method of estimating the delay time in the process of streaming.]. *Systemy obrobky informatsiyi*. 2019. No. 4 (159). Pp. 28–35. [in Ukrainian]. doi: 10.30748/soi.2019.159.03.

10. *Bourtsoulatze E., Thomos N, Saltarin J., Braun T.* Content-aware delivery of scalable video in network coding enabled named data networks. *IEEE Transactions on Multimedia*. 2018. Vol. 20(6). P. 1561–1575. [in English]. doi: 10.1109/TMM.2017.2767778.

11. *Zhang D., He H., Li W.* Bitrate allocation among multiple video streams to maximize profit in content delivery networks. *Personal and Ubiquitous Computing*. 2016. Vol. 20 (3). Pp. 385–396. [in English]. doi: 10.1007/s00779-016-0919-7.

12. *Tang W.L., Yang S.H., Wu H.T, Jheng S.S.* Combining layer coding and bandwidth allocation for video distribution on content delivery networks. *Wireless Personal Communications*. 2016. Vol. 91 (4). Pp. 1555–1573. [in English]. doi: 10.1007/s11277-015-2883-3.

13. *Andronova O., Kurak V.* Optymizatsiya rozmishchennya pryymachiv sonyachnoyi enerhiyi ryadamy dlya klimatychnykh umov pivdnya Ukrainy. [Optimization of row placement of solar energy collectors for the climatic conditions of the south of Ukraine]. *Vidnovluyana energetika*. 2020. No. 2. Pp. 45–53. [in Ukrainian]. doi:10.36296/1819-8058.2020.2(61).45–53.

14. *Fimonov A.Yu.* Postroyeniye mul'tiservisnykh setey. [Construction of multiservice networks]. SPb. 2007. 524 p. [in Russian]

15. *Sklar B.* Digital Communication. Fundamentals and Application. 2nd edition. NY. 2001. 1079 p. [in English].

16. *Krukhmalev V.V.* Osnovy postroyeniya telekommunikatsionnykh sistem i setey. [Fundamentals of building telecommunication systems and networks]. M. 2004. 510 p. [in Russian]

17. *Marder N.S.* Sovremennyye telekommunikatsii. [Modern telecommunications]. M. 2006. 384 s. [in Russian]

18. *Kruk B.I.* Telekommunikatsionnyye sistemy i seti. Sovremennyye tekhnologii. [Telecommunication systems and networks. Modern technologies]. M. 2003. 296 s. [in Russian]

Стаття надійшла до редакції 28.04.21
Остаточна версія 11.06.21

