

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАНАРНОЇ МЕАНДРОВОЇ ІНВЕРТОВАНОЇ F-АНТЕНИ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ ІоТ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі отримано результати дослідження хвильових і спрямованих характеристик варіанту конструкції планарної меандрової інвертованої F-антени для технічних засобів систем IoT. Отримані результати математичного та комп'ютерного імітаційного моделювання.

Ключові слова: F-антена, діаграма спрямованості, діапазон частот, характеристичний опір, коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі.

Abstract

The paper presents the results of studying the microwave and directional characteristics of a design variant of a planar meander inverted F-antenna for IoT equipment. The results of mathematical and computer simulation modelling are obtained.

Keywords: F-antenna, radiation pattern, frequency range, characteristic impedance, voltage standing wave ratio.

Вступ

У сучасних пристроях інфокомунікаційних систем широке поширення отримали мікросмужкові патч-антени [1]. Для звичайних прямокутних мікросмужкових патч-антен їхня довжина L має бути трохи меншою за $\lambda/2$, щоб вони працювали належним чином [2]. Для багатьох практичних застосувань, особливо на низьких частотах і в мобільних пристроях, ця довжина може бути зовсім великою. Однак довжину мікросмужки, незалежно від того, живиться вона від мікросмужкової лінії або від зонда, можна зменшити практично до половини її розміру від звичайної конструкції, використовуючи на її кінці замикаючу лінію або штифт [2]. Такі антени називають чвертьхвильовими мікросмужками патч-антенами [2]. Їхні характеристики випромінювання подібні до звичайних півхвильових мікросмужкових конструкцій [1].

Серед переваг мікросмужкової чвертьхвильової патч-антени можна виділити такі [1]:

- Низький рівень зворотного випромінювання знижує питомий коефіцієнт поглинання (SAR) порівняно з іншими типами антен при використанні в мобільних застосуваннях.
- Можна приймати сигнали як вертикальної, так і горизонтальної поляризації.
- Легко інтегрується в мобільні пристрої.
- Має невелику вагу.
- Вона конформна.
- Її легко спроектувати.
- Має низьку вартість.
- Має високу надійність.

Серед чвертьхвильових планарних антен на практиці отримала широке поширення планарна F-антена (PFA) та планарна інвертована F-антена (PIFA). Але ці дві зазначені антени мають головний недолік – великі геометричні розміри екранувальної поверхні (ground plane) для досягнення хвильового опору 50 Ом у робочій смузі частот. Тому на практиці частіше використовують варіант меандрової планарної інвертованої F-антени, що має менші геометричні розміри при забезпеченні потрібної форми діаграми спрямованості [3].

Метою роботи комп'ютерне моделювання хвильових і спрямованих характеристик варіанту конструкції планарної меандрової інвертованої F-антени для діапазону частот 2,4 МГц.

Результати дослідження

Плоска інвертована F-антена (PIFA) складається з тонкого плеча або дроту, замкненого на одному з кінців до площини землі, як показано на рис. 1 [2]. Довжина плеча повинна бути приблизно $\lambda/4$ [2].

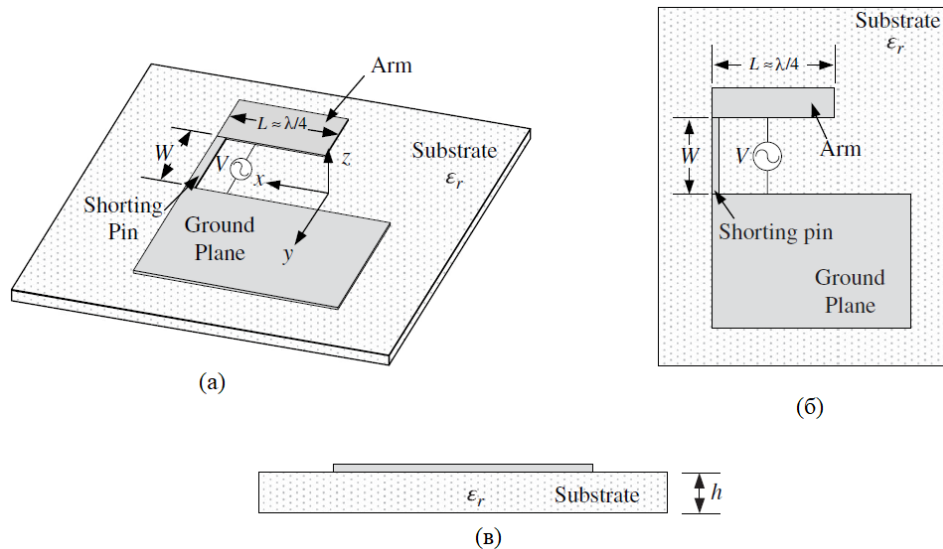


Рис. 1. Конструкція плоскої інвертована F-антена (PIFA): 3D вигляд (а), вигляд згори (б) і вигляд збоку (в) [2]

Положення подачі живлення відносно замикаючого штиря контролює вхідний опір [2]. Чим подача стає ближчою до замикаючого штиря тим сильніше вхідний опір зменшується. Таким чином, для отримання вхідного опору 50 Ом (використовується в більшості практичних конструкцій), подача повинна бути ближче до замикаючого виводу, ніж до відкритого кінця [2].

Основним недоліком конструкції PIFA є великий геометричний розмір екранувальної поверхні (Ground Plane) і задовгий впромінювальний вібратор довжиною $\lambda/4$, особливо на діапазон частот 2,4 ГГц, як це показано в роботі [4].

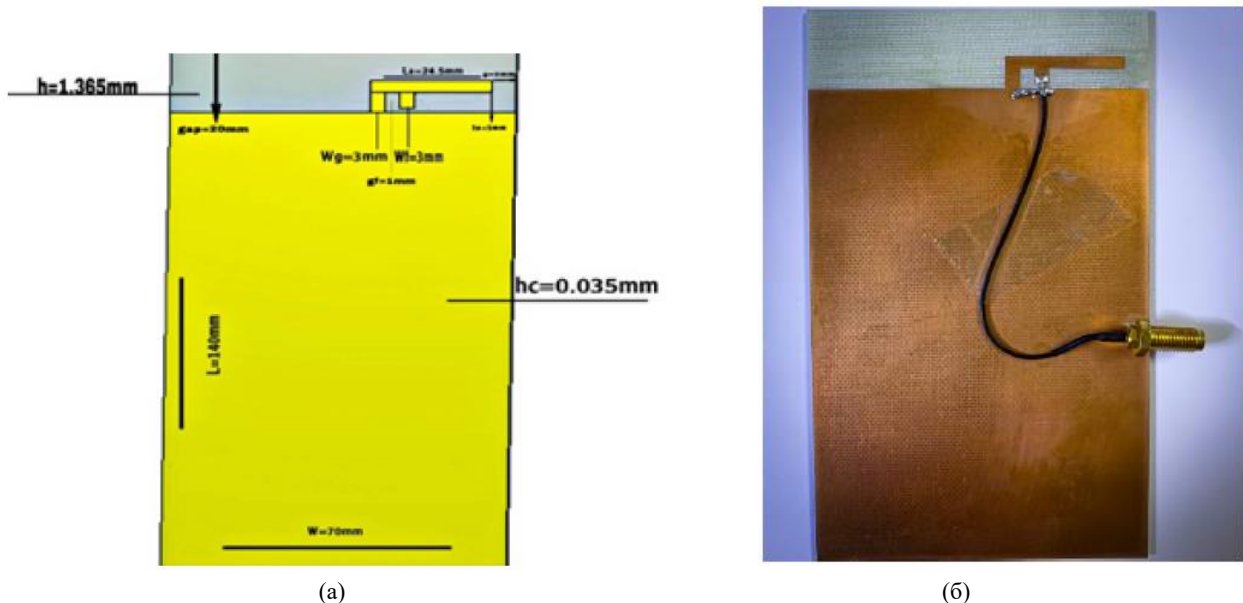


Рис. 2. Конструкція планарної інвертованої F-антена (PIFA) на діапазон 2,4 ГГц: скізне креслення (а) дослідний зразок (б) [4]

Тому на практиці для зменшення геометричних розмірів застосовують конструкцію планарної меандрової інвертированої F-антени.

Меандрована інвертована F-антена (MIFA) – це модифікація PIFA антени, у якій випромінюваний друкований провідник виконаний у вигляді меандру. Ця модифікація дає змогу зробити антену ще компактнішою, що часто необхідно в сучасних мобільних пристроях (рис. 3) [5]. MIFA може бути інтегрована безпосередньо в плату розроблюваного пристрою [5].

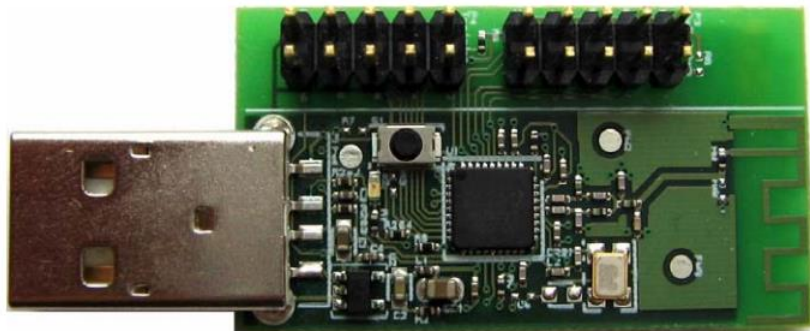


Рис. 3. Конструкція мобільного пристрою з використанням друкованої меандрованої інвертованої F-антени (MIFA) [5]

Діаграма спрямованості (ДС) MIFA являє собою закритий тороїд з віссю обертання вздовж вхідного каналу аналогічно елементарному електричному випромінювачу [6]. MIFA має вертикальну поляризацію, паралельну осі обертання тороїда. Геометричні розміри досліджуваної MIFA наведені на рис. 4 [7].

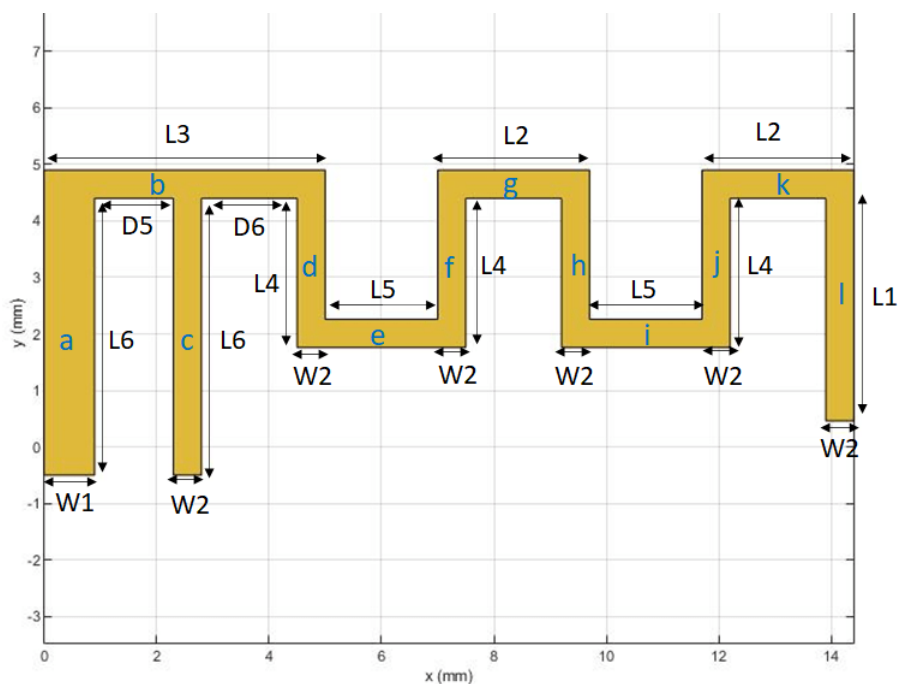


Рис. 4. Геометричні розміри досліджуваної MIFA по обох осях у міліметрах [7]

Для комп'ютерного моделювання MIFA потрібно задати параметри матеріалів, з яких вона буде виготовлена (рис. 5). Матеріал друкованої плати – FR4. Діелектрична проникність для FR4 становить 4,5. Розміри заземленої площини приймаються як 30 мм, а діелектрична підкладка – FR4 із загальною висотою плати 1 мм. Антена друкованої плати має чотири шари, деталі шарів наведено нижче [7]:

- 1) Випромінюючий шар – провідник (мідь).
- 2) Діелектричний шар - FR4 товщиною 0,25 мм.
- 3) Заземлюючий шар – провідник (мідь).
- 4) Загальна товщина антени - 0,75 мм (ця висота береться після об'єднання шарів 2-3 і шарів 3-4).

Антена має верхній випромінюючий шар, за яким слід шар діелектрика товщиною 0,25 мм. Третій

шар - шар ґрунту, за яким йде інший шар діелектрика товщиною 0,75 мм [7].

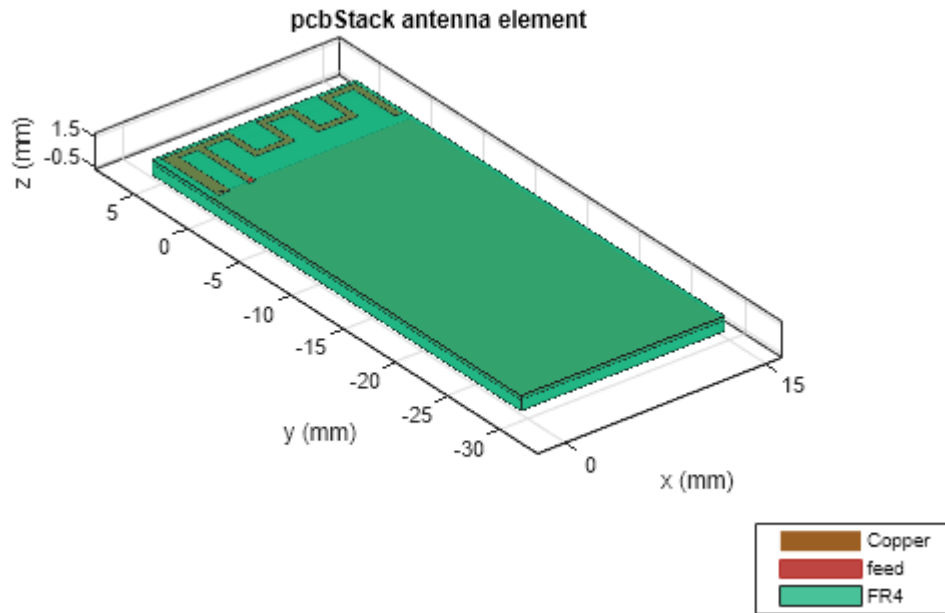


Рис. 5. Вигляд комп'ютерної моделі досліджуваної MIFA [7]

Просторова діаграма спрямованості MIFA наведена на рис. 6 [7].

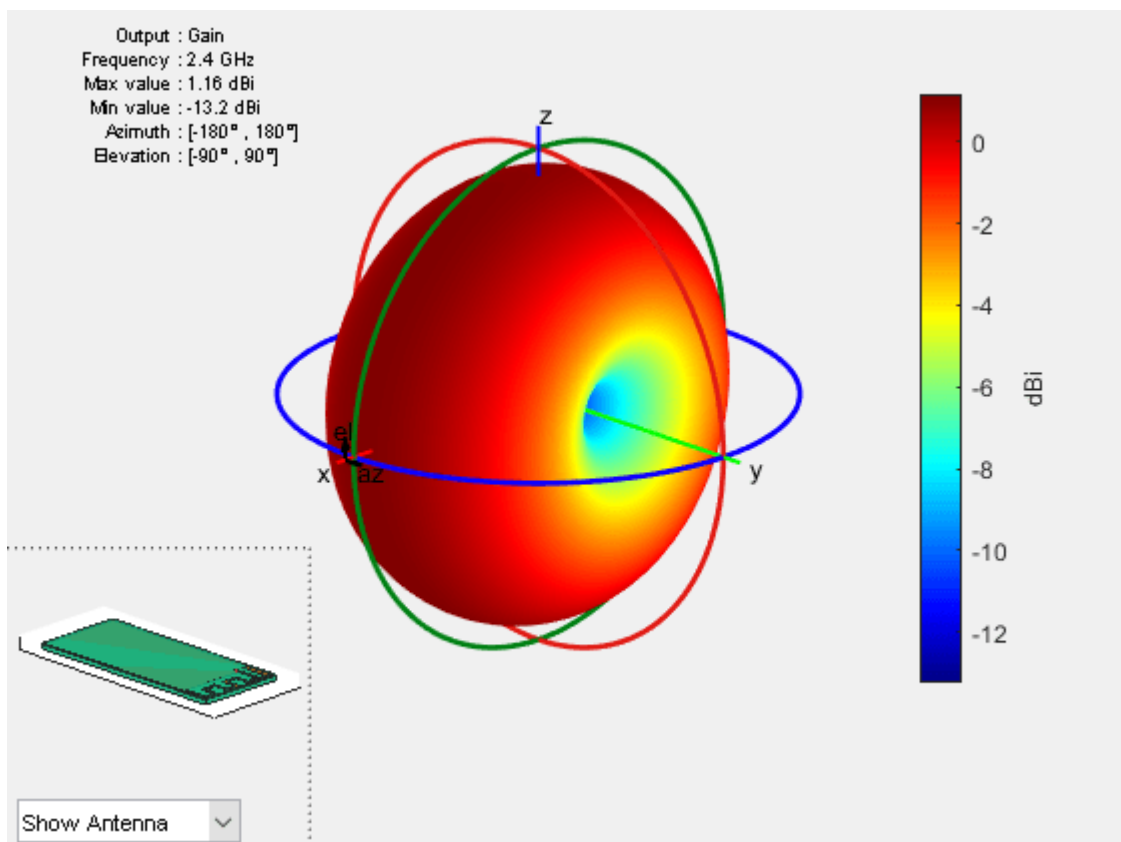


Рис. 6. Результати комп'ютерного моделювання просторової діаграми спрямованості MIFA [7]

Для оптимізації MIFA було використано пакет програм HFSS ANSYS (HFSSDesign -> Design Properties -> Optimization) [8, 9]. Результати комп'ютерного моделювання оптимізованої MIFA в пакеті програм пакет HFSS ANSYS наведені на рис. 7 – рис. 8.

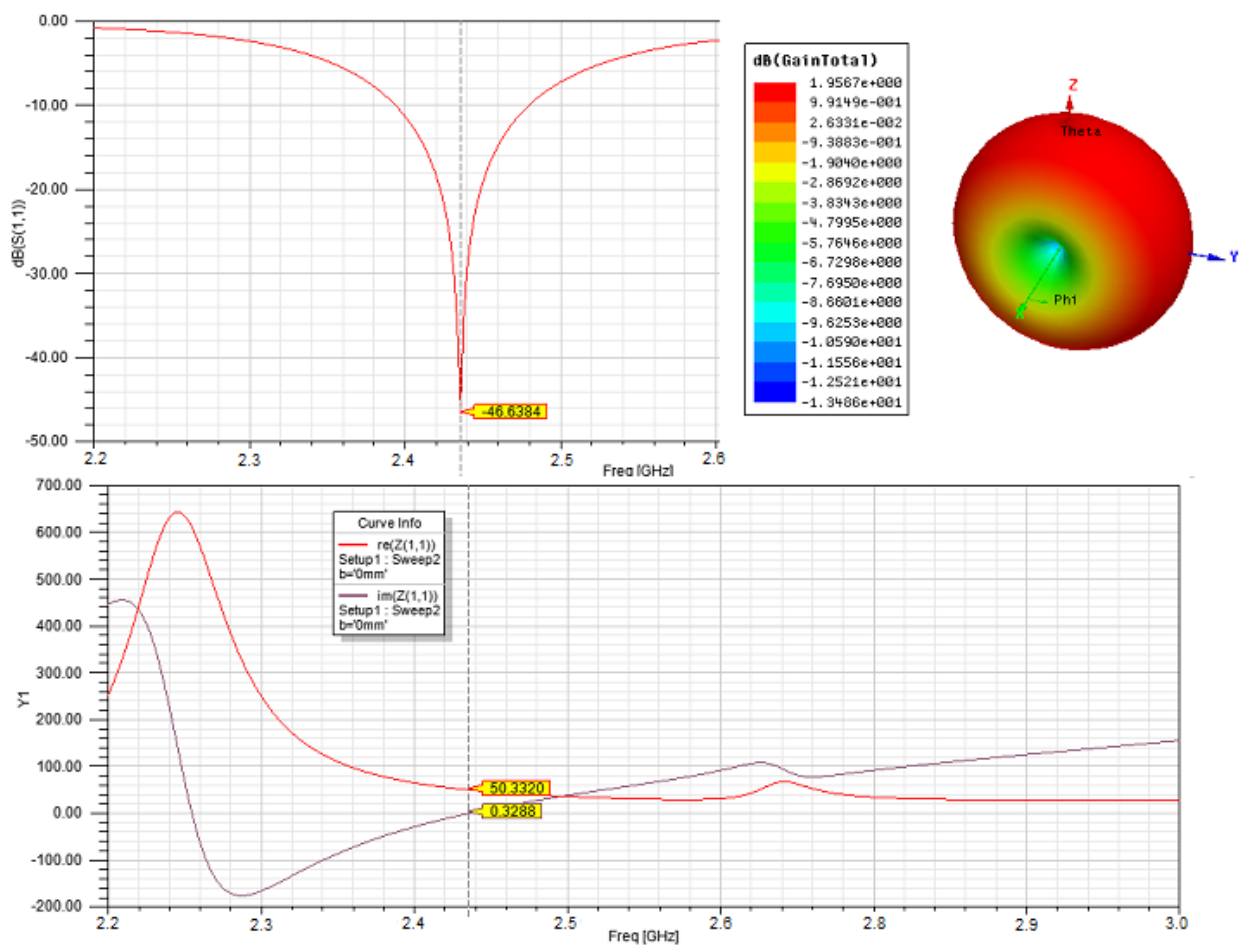


Рис. 7. Результати комп'ютерного моделювання хвильових параметрів оптимізованої MIFA в пакеті програм пакет HFSS ANSYS

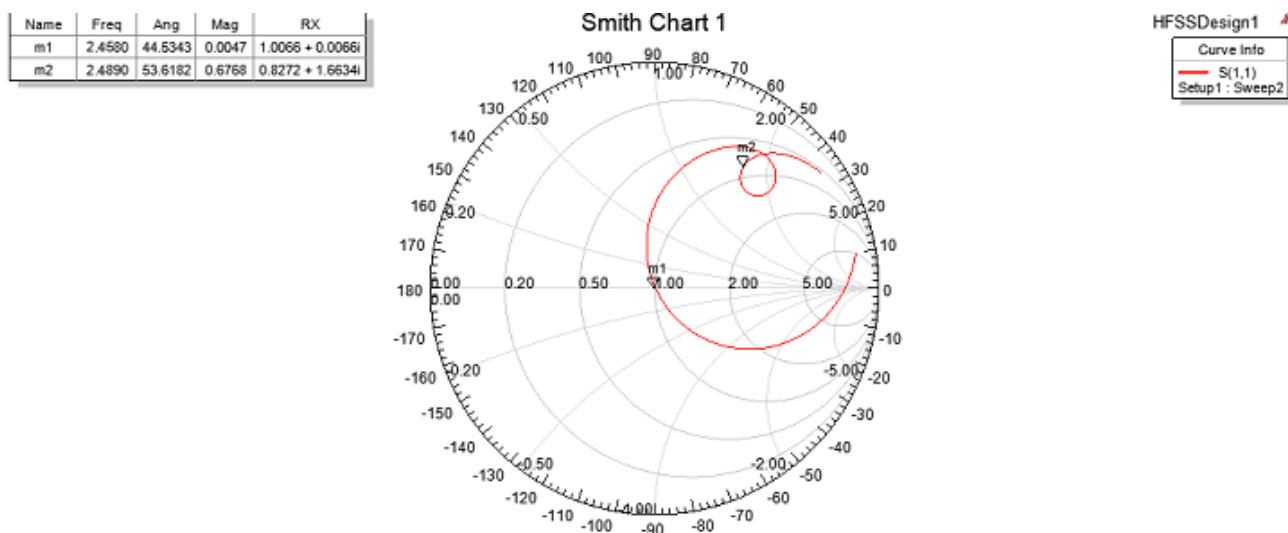


Рис. 8. Діаграма Сміта оптимізованої MIFA в пакеті програм пакет HFSS ANSYS

Висновки

У роботі досліджена меандрована інвертована F-антена (MIFA) для приймально-передавальних систем бездротових систем зв'язку, яка може працювати в резонансному S-діапазоні частот поблизу 2,4 ГГц. Завдяки тому, що антена має чверть довжини хвилі, розміри антени та зворотні втрати зменшуються. Результати комп'ютерного моделювання хвильових параметрів оптимізованої MIFA в пакеті програм пакет HFSS ANSYS показали, що на частоті 2,438 ГГц комплексний опір MIFA має активну складову 50,33 Ом і реактивну складову 0,389 Ом, а коефіцієнт відбиття на хвильовий опір фідера 50 Ом має значення -46,64 дБ. Тому можна стверджувати, що досліджена антена має хороші характеристики з точки зору зворотних втрат і діаграми спрямованості. Така антена може бути використана в додатках Bluetooth, Wi-Fi і Long Term Evolution (LTE) в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління (4G).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Semenov, A., Semenova, O., Pinaiev, B., Kulias, R., & Shpylovyi, O. (2022). Development of a flexible antenna-wristband for wearable wrist-worn infocommunication devices of the LTE standard. In Technology audit and production reserves (Vol. 3, Issue 1(65), pp. 20–26). Private Company Technology Center. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.261718>
2. Constantine A. Balanis. Antenna Theory. Analysis and Design. 4-th ed. John Wiley & Sons, Inc. 2016. 1072 p. ISBN 978-1-118-642060-1
3. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Куляс Р.О., Шпильовий О.О. (2022). Гнучка двохсмугова 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>
4. Nael Adel, R., & Hasan Khidir, A. (2023). Design and implementation of the planar inverted-F antenna using computer simulation technology for wireless applications. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 14(5). <https://doi.org/10.22075/ijnaa.2023.30020.4314>
5. Small Size 2.4 GHz PCB antenna. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/an/swra117d/swra117d.pdf> (Accessed 10.02.2025)
6. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Білик О.В., Шпильовий О.О. (2022). 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>
7. PCB Antenna for USB Dongle and BLE Applications. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/antenna/ug/pcb-antenna-for-usb-dongle-and-ble-applications.html> (Accessed 10.02.2025)
8. Semenov, A., Semenova, O., Pinaiev, B., Kozin, D., & Shpylovyi, O. (2022). Study of the radiation pattern of a rectangular horn antenna in the operation of multimode propagation of electromagnetic waves. In Technology audit and production reserves (Vol. 2, Issue 2(64), pp. 50–55). Private Company Technology Center. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256560>
9. Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., & Abd-Alhameed, R. A. (2020). Design of Multi-Mode Antenna Array for Use in Next-Generation Mobile Handsets. In Sensors (Vol. 20, Issue 9, p. 2447). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20092447>

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

Шпильовий Олександр Олександрович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shpilovyy64@gmail.com

Кристофоров Андрій Валерійович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrew199910kr@gmail.com

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

Shpylovyi Oleksandr Oleksandrovych — PhD student at the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Departments of Radio-Frequency Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: artyom.ovcharuk@gmail.com

Krystoforov Andrii Valeriiovych — PhD student at the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Departments of Radio-Frequency Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrew199910kr@gmail.com