

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційних систем та технологій



2-а Міжнародна науково-практична конференція

«ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ:
РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ»
(IST 2025)



5 березня 2025 р.

ДВОДІАПАЗОННИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ДЛЯ WiMAX-СИСТЕМ ВИСОКОШВИДКІСНИХ БЕЗДРОТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Денис Назарчук, Юлій Бойко, Леся Карпова

Анотація. Розглянуто передові підходи до проєктування та оптимізації MIMO-систем у сучасних бездротових мережах WiMAX та 5G. Описано застосування спеціалізованих елементів для покращення ізоляції та зниження впливу взаємних перешкод між антенними елементами. Наведено результати дослідження ефективності конструктивних рішень для забезпечення роботи в широкому діапазоні частот із високою ефективністю випромінювання. Визначено ключові фактори, що впливають на спектральну ефективність та якість зв'язку в MIMO-системах.

Ключові слова: WiMAX; MIMO; 5G; монопольна антена антенна решітка.

I. ВСТУП

З розвитком бездротових комунікаційних технологій зростає попит на високошвидкісні та стабільні зв'язки [1], що особливо актуально в умовах високого навантаження на мережу. Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) стала ключовим рішенням для підвищення пропускної здатності та ефективного використання спектра в таких системах, як WiMAX [3] та 5G [2]. Завдяки використанню кількох антен на передавачі та приймачі, MIMO забезпечує просторове мультиплексування, що покращує якість сигналу та зменшує вплив багатопроменевого поширення, що є важливим для підтримки високої ефективності зв'язку.

Одним із основних напрямів сучасних досліджень є розробка нових антенних конфігурацій, що мають високу ізоляцію між елементами, широку смугу пропускання та високий коефіцієнт підсилення. Особливу увагу приділяють оптимізації структур випромінювачів, таких як дефектні заземлені структури (DGS) та застосування ємнісного роз'єднання, що дозволяють досягти ізоляції на рівні 15–20 дБ та забезпечити високу ефективність випромінювання. Розвиток таких рішень відкриває нові можливості для досягнення оптимальних характеристик антен у сучасних бездротових системах зв'язку.

II. ДАНІ ТА МЕТОДИ

Оптимізація конструкції заземлювальної площини (рис. 1) є важливим аспектом підвищення ефективності ізоляції між каналами в MIMO-антенах. Завдяки використанню спеціальних прорізів, модифікованих структур або зміненої геометрії заземлювальних площин можна значно знизити взаємні перешкоди між каналами, покращити характеристики випромінювання та забезпечити стабільну роботу в двоканальному режимі. Визначення оптимальних параметрів такої конструкції є критичним для досягнення високого коефіцієнта підсилення, ефективності випромінювання та узгодження з вимогами заданих частотних діапазонів, що робить ці підходи надзвичайно важливими для розробки і вдосконалення сучасних бездротових технологій, таких як WiMAX та 5G. Особливе значення має підбір геометрії прорізу в заземлювальній площині, що дозволяє значно покращити ізоляцію, зменшити взаємні перешкоди та уникнути їхнього негативного впливу на характеристики випромінювання антени. Наприклад, прямокутна щілина розміром 16,5×21,3 мм була підібрана таким чином, щоб забезпечити оптимальну ізоляцію при збереженні стабільного двоканального режиму роботи. Окрім того, додаткове збільшення площі заземлення під лініями передачі 75 Ом дозволяє уникнути небажаного впливу загальної заземлювальної площини на електричні характеристики системи. Загалом, покращення характеристики ізоляції між каналами та випромінювальних властивостей досягається не лише за рахунок змін у заземлювальних структурах, але й за допомогою оптимізації розмірів та форм

прорізів, що дозволяють значно знизити взаємні перешкоди. У цьому контексті використання додаткових методів моделювання та числових симуляцій є важливим етапом у визначенні оптимальних параметрів конструкцій для різних частотних діапазонів.

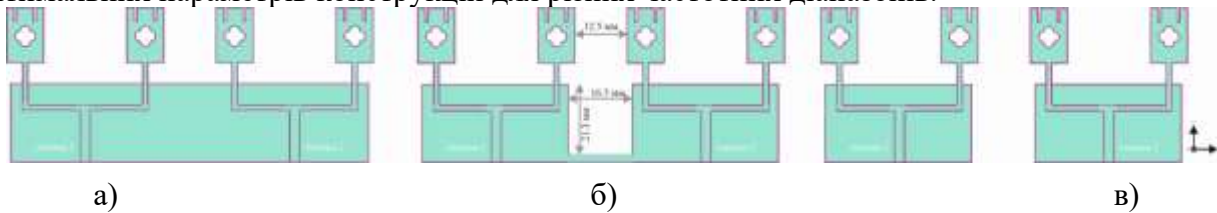


Рисунок 1. Модифікації заземлювальної площини двоелементної МІМО-антени
а) – часткова заземлювальна площа; б) – площа з прорізом для покращеної ізоляції;
в) – альтернативна структура з відокремленою заземленою площиною

Оптимально підібрані параметри конструкції, такі як форма та розмір прорізу, площа заземлення та геометрія площини, дозволяють досягти значних покращень у характеристиках антени, що забезпечує високий коефіцієнт підсилення, поліпшену ефективність випромінювання та кращу узгодженість з частотними діапазонами, необхідними для роботи в сучасних бездротових інформаційних мережах.

Для оцінки ефективності запропонованої конструкції МІМО-антени було застосовано широкий спектр методів моделювання, включаючи експериментальні дослідження та числові симуляції з використанням програмного забезпечення для симуляції електромагнітних полів.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ

Результати моделювання підтверджують ефективність запропонованої МІМО-конфігурації з прямокутним прорізом та оптимізованою геометрією заземлювальної площини. Ізоляція між каналами була підвищена до 18 дБ в порівнянні з базовими параметрами, що дозволило забезпечити стабільну роботу системи в частотних діапазонах 2,1–3,6 ГГц і 5,9–7,4 ГГц, що є важливими для сучасних бездротових технологій. На рис. 2 представлені S-параметри для запропонованої антени, що демонструють високу ефективність передачі при мінімальних втратах [4]. Подальший аналіз підсилення та ефективності антени показує, що система досягла пікового підсилення 7,5 дБі, ефективності випромінювання 99% та загальної ефективності 96% (рис. 3).

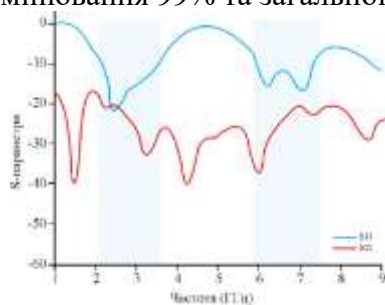


Рисунок 2. S-параметри запропонованої антени МІМО

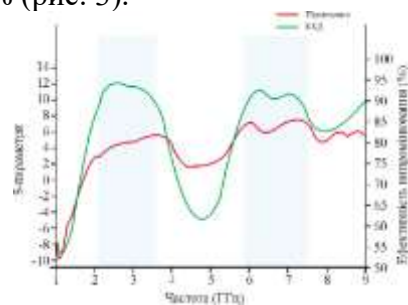


Рисунок 3. Зміни підсилення та ефективності антени МІМО залежно від частоти

Змодельовані двовимірні діаграми спрямованості антени на частотах 2,5 ГГц і 6,2 ГГц для площин Н та Е наведено на рисунку 4, що демонструє ефективність поширення сигналу в обраних частотних діапазонах.

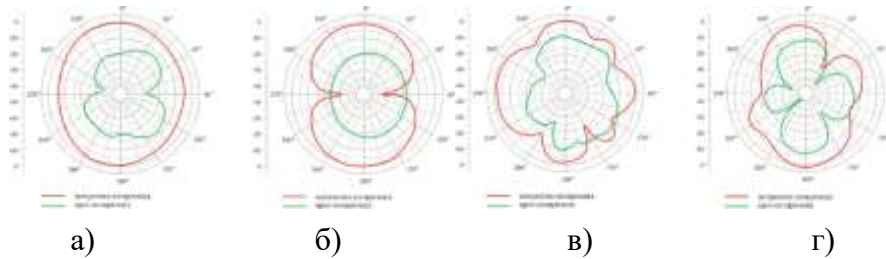


Рисунок 4. Змодельовані ДС антени для площин H і E : а) площина H на 2,5 ГГц; б) площина E на 2,5 ГГц; в) площина H на 6,2 ГГц; г) площина E на 6,2 ГГц

Аналіз коефіцієнта кореляції огинаючої (ЕСС) показав, що значення цього параметра для запропонованої системи не перевищує 0,0002, що свідчить про надзвичайно низьку кореляцію між каналами і мінімальні взаємні завади, що покращує пропускну здатність каналу [5]. Результати представлені на рис. 5а.

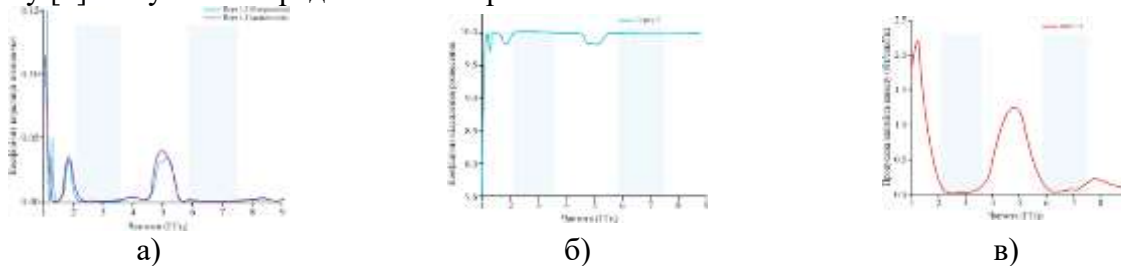


Рисунок 5. Змодельовані значення ключових показників ефективності МІМО-системи: а) – ЕСС; б) – DG; в) – ССЛ

Аналіз підсилення рознесення (DG) вказує на високу здатність системи компенсувати втрати сигналу з досягнутим значенням DG більше 9,991 дБ, що наближається до оптимального значення 10 дБ (рис. 5б). Оцінка втрати пропускну здатності каналу (ССЛ) показала значення менше 0,1 біт/с/Гц, що є значним досягненням для високонавантажених мереж (рис. 5в).

Розраховані значення TARC та MEG, що відображають ефективність мінімізації фазових зсувів та ефективність системи при багатопробієвому поширенні, показали високі результати. Термінальні значення TARC були менші за -10 дБ (рис. 6а), а значення MEG варіювались від -6,2 дБ до -7 дБ (рис. 6б), що відповідає вимогам до сучасних високоефективних МІМО-систем.

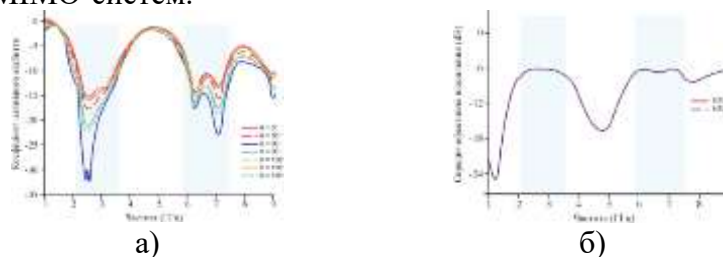


Рисунок 6. Показники активного відбиття та середнього ефективного підсилення: а) – TARC; б) – MEG

Ці результати демонструють високу ефективність запропонованої конфігурації антени, що відповідає вимогам для сучасних бездротових інформаційних систем [6].

IV. ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

На основі результатів дослідження можна зробити висновок, що оптимізація конструкції МІМО-системи значно покращує її ефективність у широких частотних

діапазонах, що використовуються для сучасних бездротових інформаційно-комунікаційних систем, таких як WiMAX та 5G. Отримані значення показників, таких як дуже низький коефіцієнт кореляції огибаючої (ECC), високий підсилення рознесення (DG), мінімальні втрати пропускної здатності (CCL), ефективний коефіцієнт активного відбиття (TARC) та оптимальне середнє ефективне підсилення (MEG), підтверджують високу продуктивність та стабільність системи. Це дозволяє забезпечити надійний зв'язок і високу пропускну здатність навіть у складних умовах, таких як висока щільність користувачів та інтенсивний трафік, що є критично важливими для майбутніх поколінь бездротових мереж.

ДЖЕРЕЛА

1. Potter, S.J., Clayton, D., Kind-Kovacs, F., Kuitenbrouwer, V., Ribeiro, N., Scales, R., & Stanton, A. (2022). *The Wireless World: Global Histories of International Radio Broadcasting*. Oxford University Press: Oxford, UK.
2. Islam, S., Zada, M., & Yoo, H. (2021). Low-Pass Filter Based Integrated 5G Smartphone Antenna for Sub-6-GHz and Mm-Wave Bands. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 69, 5424–5436.
3. Tangirala, G., Garikipati, S., Meshram, M., Durbhakula, M., Sharma, V. (2024). Quad Element Luna-Shaped UWB-MIMO Antenna with Improved Isolation and Gain Using Novel Decoupling Networks. *Wirel. Netw.*, 1–13.
4. Boiko, J., Polikarovskiykh, O., & Tkachuk, V. (2023). Development and modeling of the antenna system the direction finder unmanned aerial vehicle. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13(1), 26–32.
5. Boiko, J., Polikarovskiykh, O., Tkachuk, V., Yehoshyna, H., & Karpova, L. (2023). Design Concepts for Mobile Computing Direction Finding Systems. *Mobile Computing and Sustainable Informatics. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 166. Springer, Singapore.
6. Parhomey, I. R., Boiko, J. M., & Eromenko, O. I. (2016). Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 77(2), 75-84.



ДЕНИС НАЗАРЧУК

Здобувач ступеню бакалавра з телекомунікацій та радіотехніки, група TP2_c-22-1, у Хмельницькому національному університеті (Хмельницький, Україна).
E-mail: boiko_julius@ukr.net



ЮЛІЙ БОЙКО

д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.
ORCID:0000-0003-0603-7827
E-mail: boykoym@khnmu.edu.ua



ЛЕСЯ КАРПОВА

к.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.
ORCID: 0000-0001-5015-2107
E-mail: rtlesya@gmail.com