

ПЛІШ ВОЛОДИМИР

Державний університет «Інтелектуальних технологій і зв'язку»

e-mail: volplish@gmail.com**АНДРУХІВ ТАРАС**

Державний університет «Інтелектуальних технологій і зв'язку»

e-mail: tandrukhir@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ АНТЕННОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ СИГНАЛУ GPS В УСКЛАДНЕНИХ УМОВАХ

У дослідженні аналізується проблема забезпечення надійності та стабільності GPS-сигналів у міських ландшафтах, гірській місцевості та зонах з високим рівнем перешкод. Основна увага приділяється розробці та вдосконаленню антенних технологій для забезпечення високої точності та стабільності прийому сигналу. Представлено інноваційний підхід до проектування антен з круговою поляризацією з урахуванням зовнішніх факторів, таких як відбиття сигналу від споруд і рельєфу. Для оцінки ефективності антен було проведено детальне моделювання та експериментальне тестування.

Ключові слова: антенна техніка, глобальна навігаційна система, поляризаційна антена, характеристики направленості.

PLISH VOLODYMYR, ANDRUKHIV TARAS

State University of "Intellectual Technologies and Communication"

OPTIMIZATION OF THE ANTENNA TECHNIQUE TO INCREASE THE RELIABILITY AND STABILITY OF THE GPS SIGNAL IN COMPLICATED CONDITIONS

This article explores the critical challenges of maintaining reliable and stable GPS signal reception in complex environments such as urban landscapes, mountainous terrains, and areas with high interference levels. It emphasizes the design, optimization, and implementation of microstrip antennas with circular polarization to enhance the reliability and stability of GPS signals. Addressing issues such as signal reflections from structures and terrain, the study proposes an innovative approach to antenna design that incorporates compact dimensions, efficient signal reception, and advanced polarization techniques.

The research integrates theoretical modeling with experimental validation, employing finite element methods to analyze key parameters such as gain, directivity, and standing wave ratios. The experimental tests conducted under variable environmental conditions demonstrate the proposed antenna's capacity to isolate unwanted signals, maintain consistent performance, and significantly enhance signal stability.

Special attention is given to the implications of this technology for unmanned aerial vehicles (UAVs) and other mobile platforms, where lightweight and compact antennas are essential for minimizing aerodynamic impact and optimizing performance. By achieving effective circular polarization through innovative feeding mechanisms and phase adjustments, the study demonstrates how the proposed antenna design improves the overall efficiency of GPS-based navigation systems.

The article further discusses the comparative analysis of antenna design methodologies and provides insights into the integration of the proposed solutions with modern satellite navigation technologies. It highlights the practical benefits of implementing advanced antenna systems in transport, logistics, and autonomous systems, emphasizing their critical role in enhancing the accuracy and reliability of navigation.

Future research directions include expanding the frequency band compatibility of the proposed antenna and its integration with alternative satellite systems to broaden its applicability. The findings of this research contribute to the ongoing development of robust and efficient navigation technologies, particularly for environments with challenging conditions, paving the way for more reliable and versatile GPS applications.

Keywords: antenna technology, global navigation system, circular polarization, directional characteristics.

Постановка проблеми

Глобальні системи позиціонування (GPS) є ключовим інструментом для точного визначення місцезнаходження користувача за допомогою супутникової технології. Вони застосовуються у багатьох галузях, включаючи транспорт, логістику, геодезію та оборону. Проте, точність визначення координат часто ускладнюється через вплив зовнішніх факторів, таких як електромагнітні завади, відбиття сигналів від будівель і природних об'єктів, а також несприятливі атмосферні умови.

Проблема стає особливо актуальною у складних умовах, таких як густонаселені міські райони, гірські території або зони з високим рівнем радіоперешкод. У таких ситуаціях стандартні антени можуть не забезпечити необхідного рівня стабільності сигналу, що негативно впливає на точність і надійність навігаційних систем.

Висока надійність і стабільність сигналу є критично важливими для безпілотних транспортних систем, де помилки у визначенні координат можуть призвести до серйозних наслідків. Тому існує потреба у вдосконаленні антенної техніки, яка дозволить зменшити вплив зовнішніх факторів, забезпечити надійний прийом сигналів GPS і підвищити загальну ефективність навігаційних систем у складних умовах.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблеми, пов'язані з інтерференцією та відбиттям сигналів, досліджувалися у багатьох наукових роботах. Наприклад, у [1-4] представлено результати детального аналізу впливу електромагнітних завод на якість супутникового зв'язку. У цих дослідженнях особливу увагу приділено

використанню антен з коловою поляризацією, які здатні ефективно знижувати вплив перешкод завдяки ізоляції небажаних сигналів. Такі антени мають покращені характеристики спрямованості, що дозволяє мінімізувати втрати сигналу навіть у зонах з високим рівнем перешкод.

Додатково, у сучасних дослідженнях аналізуються підходи до моделювання антенних систем, які враховують специфічні умови експлуатації, такі як міські середовища, зони з високим коефіцієнтом відбиття та гірські території. Оптимізація конструкції антен, особливо тих, що працюють у діапазоні GPS-сигналів (L1), дозволяє забезпечити стабільний прийом сигналу в складних умовах. У той же час, залишаються актуальними питання вдосконалення алгоритмів управління сигналами та інтеграції антен із сучасними супутниковими технологіями для підвищення загальної ефективності систем навігації.

Формулювання цілей статті

Метою статті є розробка та дослідження антени з коловою поляризацією, яка дозволяє підвищити надійність і стабільність сигналу GPS в умовах міських ландшафтів, гірської місцевості та зон з високим рівнем завад. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- дослідити теоретичні аспекти роботи антен з коловою поляризацією;
- розробити тривимірну модель антени та провести її моделювання;
- проаналізувати ефективність запропонованої антени у реальних умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Супутникова радіонавігаційна система GPS є ключовим інструментом для точного визначення місцезнаходження та часу у будь-якій точці планети з достатнім доступом до супутникових сигналів. Ця система, створена та експлуатована Космічними силами США, не залежить від телефонного зв'язку або Інтернету, забезпечуючи незалежність та надійність у роботі. GPS надає важливі можливості позиціонування для різних секторів, включаючи військові, цивільні та комерційні застосування. Важливою особливістю є той факт, що система GPS вільно доступна для всіх користувачів, які мають відповідне обладнання.

Застосування GPS охоплює різноманітні галузі, включаючи аграрний та сільськогосподарський сектор, контроль над природними ресурсами, археологію, історичні дослідження, військово-морську навігацію, спорт та відстеження рухомих об'єктів. Крім того, різні країни розробляють власні системи супутникової навігації, такі як китайська система BeiDou, європейська система Galileo, японська система Quasi-Zenith та індійська система IRNSS.

Усі супутники GPS транслюють на двох однакових частотах: 1,57542 ГГц (діапазон L1) і 1,2276 ГГц (діапазон L2). Для передачі даних використовується метод CDMA з розширеним спектром, що полягає в кодуванні повідомлень за допомогою псевдовипадкових послідовностей. Одержувач повинен мати відповідні коди для кожного супутника для відновлення даних повідомлень. Також використовується сигнал L3 на частоті 1,38105 ГГц для передачі даних з супутників на наземні станції, що використовується для виявлення ядерних детонацій США та виконання договорів про заборону ядерних випробувань. Смуга частот L4 на 1,379913 ГГц використовується для додаткової іоносферної корекції, а смуга L5 на частоті 1,17645 ГГц додана під час модернізації GPS [1].

Приймальні антени для GPS у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) можна розділити за такими характеристиками:

- Тип антени. Це можуть бути різноманітні варіанти, такі як планарні, друковані або петлеві антени.
- Поляризація. Вибір між лінійною або круговою поляризацією залежить від умов отримання сигналу і збільшення його ефективності в умовах можливих втрат.
- Діапазон частот. Оскільки система GPS працює в конкретному діапазоні частот, антена має бути оптимізована для цих частот.
- Виробничі матеріали. Матеріали, використовувані для створення антени, можуть впливати на її ефективність та вагу, що має значення для БПЛА.
- Фізичні розміри. Розміри антени можуть мати важливе значення, особливо для компактних безпілотних апаратів.

При виборі антени GPS для безпілотного літального апарата (БПЛА) потрібно уважно розглядати кілька ключових аспектів. Спочатку, антена повинна мати високу ефективність у прийманні сигналів GPS, особливо в умовах з великою кількістю перешкод або обмеженим покриттям сигналу. З огляду на обмежену масу і розміри БПЛА, антена має бути компактною та легкою, щоб не впливати на загальну масу і аеродинаміку апарата. Крім того, вона повинна бути стійкою до різних зовнішніх факторів, таких як атмосферні умови, вологість, температура та вібрації. Важливо, щоб антена була сумісною зі стандартами та протоколами системи GPS, які використовуються в конкретному БПЛА. Надійність та довговічність антени також є критичними, оскільки доступ до GPS сигналу вирішально важливий для навігації та керування БПЛА. Правильно враховуючи ці аспекти, можна зробити оптимальний вибір антени GPS для конкретного безпілотного літального апарата.

Система глобального позиціонування забезпечує визначення місцезнаходження за допомогою аналізу сигналів, отриманих від декількох супутників та вимірювання часу їхнього приходу до приймача. Це здійснюється шляхом застосування методу триангуляції. Проте, реальні системи можуть зіткнутися з різними проблемами, які можуть вплинути на точність визначення координат приймача. Зокрема, такими

проблемами можуть бути сигнали від супутників, які перешкоджають (рис. 1.а), або сигнали, що відбиваються від поверхні Землі, будівель та інших об'єктів (рис. 1.б).

Отримання таких сигналів перешкоджає прийому інформації з GPS-сигналу, оскільки не буде забезпечено необхідне співвідношення сигнал/шум в першому випадку. У другому випадку, сигнали від супутників дістануться до приймача по довшій траєкторії, що погіршить точність визначення координат.

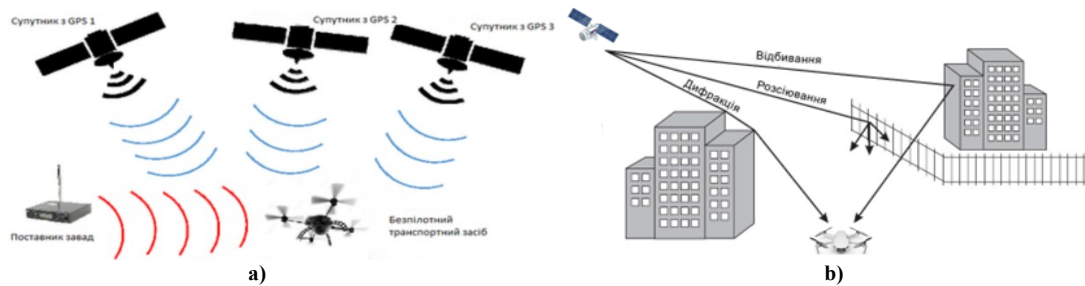


Рис. 1. Отримання сигналів GPS в умовах з перешкодами: а - сигнали від інтерференції; б - відбиті сигнали від споруд

У даній роботі для вирішення цих проблем запропоновано застосування антени з обмеженою шириною діаграми спрямованості. Це дозволить уникнути прийому небажаних сигналів від постановників завод, розташованих під приймачем або на поверхні Землі, а також сигналів, відбитих чи розсіяних від будівель та рельєфу місцевості.

Параметри розробленої антени включають праву кругову поляризацію, робочу частоту 1.57542 ГГц (діапазон L1), та ширину діаграми спрямованості 90 градусів.

Створення віртуального відображення антени для отримання сигналів GPS. Для отримання колової поляризації можна скористатися двома антенами з лінійною поляризацією, такими як диполі. Їх розміщують перпендикулярно одна одній та живлять зі зсувом фаз 90°, створюючи ортогональні моди [2].

У виборі типу антени для використання на транспортних засобах важливими факторами є вплив на аеродинамічні характеристики транспортного засобу та вага самої антени. З урахуванням цього, для даної роботи було обрано мікрополоскові антени. Вони можуть бути легко розміщені на поверхні машини чи літака, не впливаючи на їх аеродинаміку. Такі антени можуть бути інтегровані на плату разом з електричними колами транспортного засобу, що дозволяє економити вагу антени, особливо важливо для безпілотних літальних апаратів.

Для досягнення кругової поляризації у мікрополоскових антенах використовуються різноманітні методи.

Один із підходів полягає в застосуванні спеціальної геометрії друкованих антен, таких як антени з круглим випромінювачем або з круглою формою. Додатково, для досягнення цілісної поляризації використовуються антени зі складною просторовою структурою, наприклад, спіральні антени або антени з діелектричним покриттям.

Фазозсувні елементи застосовуються для регулювання фазових характеристик сигналів, що перпендикулярні один одному [3].

Хоча прямокутні і круглі випромінювачі елементи мають тенденцію до лінійної поляризації, але застосування різних схем живлення та зсуву фази дозволяє отримувати як кругову, так і еліптичну поляризацію [4-7].

Для створення кругової поляризації можна використовувати дві лінійно поляризовані хвилі, що перпендикулярні одна до одної та мають фазову різницю у 90° між ними. Це досягається шляхом налаштування розмірів друкованого випромінювача та використання одного або декількох живильних портів. Наприклад, для квадратного елемента простим методом отримання кругової поляризації є живлення елемента з двох суміжних країв. Це ілюструється на рисунках 2 – 4, де для генерації перпендикулярних поляризацій використовуються моди $TM_{x_{100}}$ та $TM_{x_{001}}$ з різних країв. Різницю фаз можна досягти за допомогою фідерних ліній різної довжини, щоб їхні електричні довжини відрізнялися на 90° на робочій частоті.

У приведених прикладах (рис. 2 – 4), демонструється отримання колової поляризації за допомогою мікрополоскових антен [4-5].

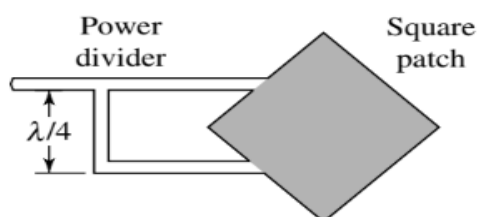


Рис.2. Мікросмушковий випромінювач прямокутної форми з живленням, що використовує подільник потужності та має фазовий зсув у 90° між живильними портами

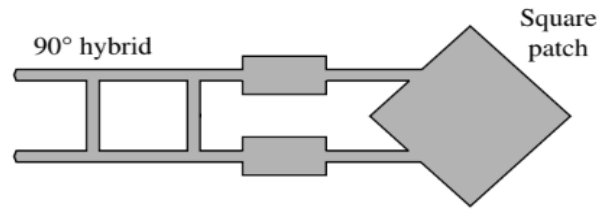


Рис. 3. Мікросмушковий випромінювач прямокутної форми з використанням гібридного подільника потужності для живлення

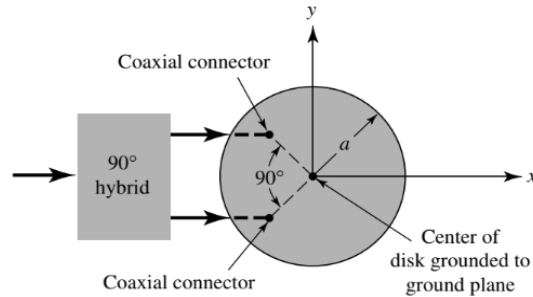


Рис. 4. Мікросмушкова антена з круговою поляризацією, яка живиться через коаксіальний кабель

Для живлення мікросмушкової антени потрібно створити мікросмушкову передавальну лінію зі стандартним хвильовим опором $\rho = 50$ Ом. На рис. 5 наведено приклад такої лінії, що складається з діелектричної підкладки, провідної металевої смужки та провідного металевого шару.

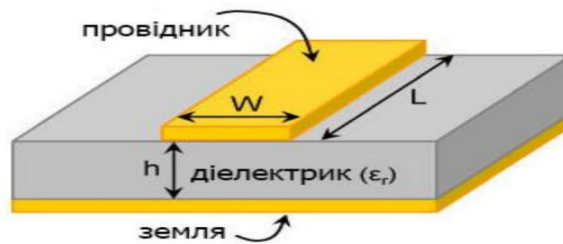


Рис. 5. Лінія передачі на основі мікрополоскових технологій

Для проектування мікросмушкових ліній на діелектричній підкладці використовується матеріал RO4003 від компанії Rogers з показником відносної діелектричної проникності $\epsilon_r = 5,4$ та товщиною $h = 1,5$ мм. Одним із ключових параметрів є ширина провідника W , яка визначається відносною діелектричною проникністю підкладки, товщиною та іншими фізичними характеристиками. Знання таких параметрів дозволяє ефективно проектувати мікросмушкові лінії з урахуванням їхніх електричних властивостей та вимог проекту.

Детальне зображення антени зображено на рис.6 у формі тривимірної моделі.

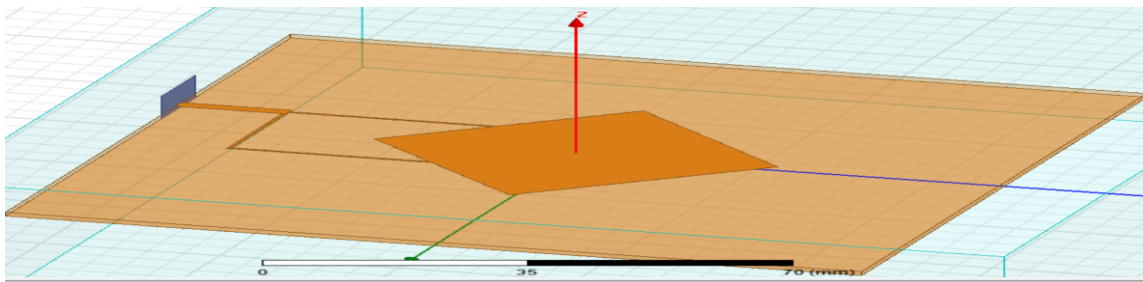


Рис. 6. Графічне відображення тривимірної конструкції антени

У розглянутій мікросмушковій лінії, яка зображена на рис. 3, спостерігається зміна товщини на різних відрізках. Ширина першого відрізка становить 2.4 мм і має хвильовий опір 50 Ом. В той час як ширина двох відрізків, що контактують з квадратним випромінювачем, становить 1 мм кожен. Їхній хвильовий опір складає 100 Ом, оскільки вони підключені паралельно до першого відрізка фідера.

Використовуючи розроблену тривимірну модель, були проведені чисельні розрахунки електродинамічних характеристик антени. На рис.7., а представлена тривимірна діаграма напрямленості антени за електричною складовою електромагнітного поля з правильною круговою поляризацією. Максимальна інтенсивність електричної складової становить 7.4089 одиниць.

Рисунок 7.а демонструє нормалізовану діаграму напрямленості на робочій частоті, де кут 0° відповідає напрямку осі OZ.

На основі отриманої нормалізованої діаграми розподілу електричної складової поля (рисунк 7.6), ширину діаграми спрямованості визначено на рівні 0.7. Зазвичай для графіків просторового розподілу потужності ширина діаграми спрямованості визначається на рівні 0.5. Однак, оскільки відлік кута theta на графіку розпочинається від напрямку максимального випромінювання, ширина діаграми складається з суми відстаней від напрямку 0° до мітки m1 (51°) та від мітки m2 до напрямку 360° (42°). Таким чином, ширина діаграми становить 93°.

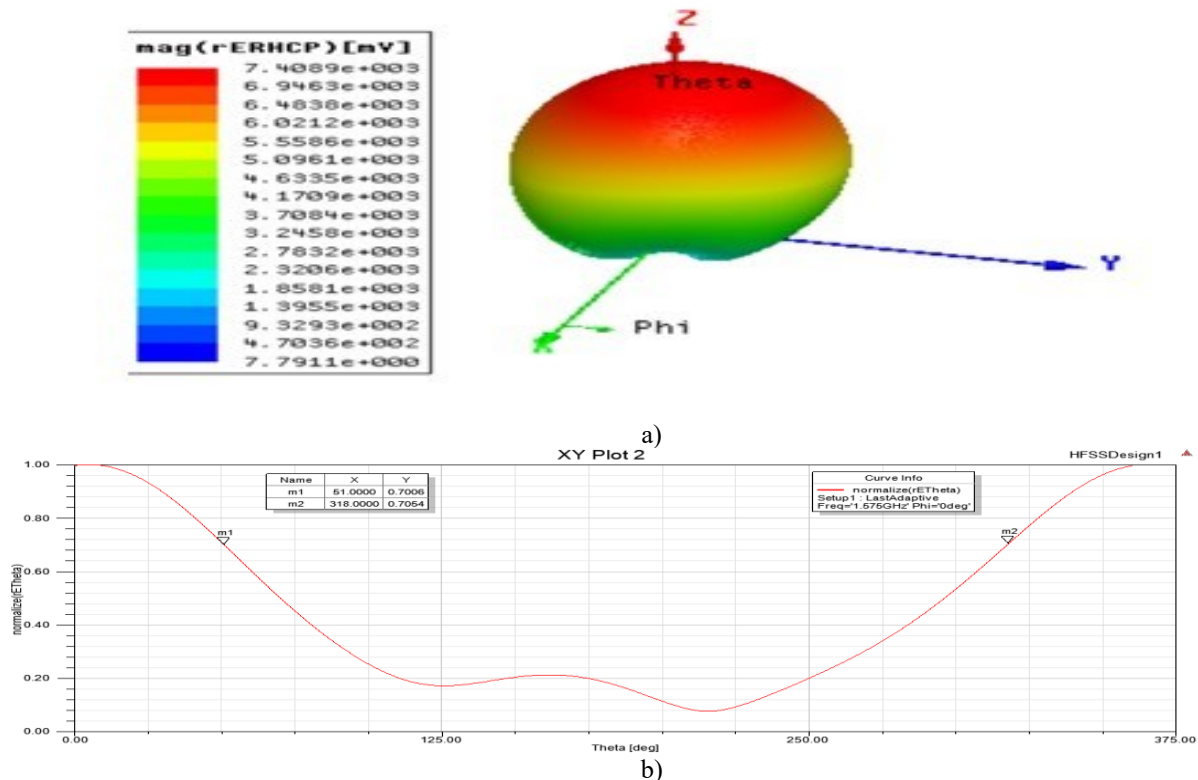


Рис. 7. Зображення діаграми напрямленості антени: а) тривимірна діаграма напрямленості; б) графік залежності електричного поля від координати в площині X0Z

На наступному зображенні рис. 8 представлений коефіцієнт стоячої хвилі розробленої антени.

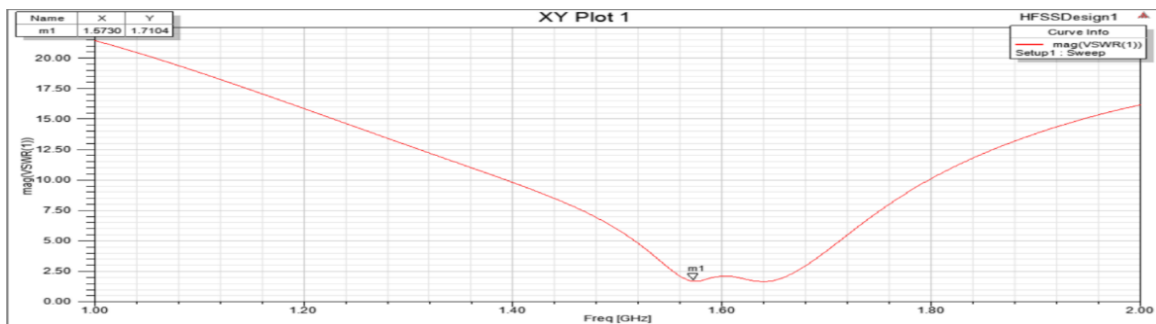


Рис. 8. Показник стійкості антени

Використання віртуального моделювання антени є ефективним інструментом для дослідження та оптимізації антен для отримання сигналів GPS. Розроблені методи та результати дослідження можуть бути корисними для подальшого вдосконалення антенних систем для GPS-приймачів.

Висновки

В цьому дослідженні було представлено огляд основних характеристик системи GPS, її застосування та технічні параметри, включаючи приймачі та їх різновиди, а також переваги та недоліки системи GPS. Також були проаналізовані різні типи антен, які можуть бути використані для прийому GPS сигналу. Виявлено, що для ефективного використання на транспортних засобах важливими факторами є його вплив на аеродинамічні характеристики та вагу. З цією метою був обраний мікросмушковий тип антени.

Також були досліджені принципи отримання колової поляризації антенами. Для моделювання був використаний метод живлення антени за допомогою двох ліній передачі зі взаємним зсувом на 90°.

У програмі HFSS 15.0 була розроблена 3D модель мікросмужкової лінії передач, параметр S21 якої склав 0,0791 дБ.

Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію характеристик антени для роботи у різних частотних діапазонах, а також інтеграцію з іншими технологіями супутникової навігації.

Література

1. Антонов, С. В., & Іваненко, В. О. (2022). Особливості проектування антен для систем GPS-навігації в умовах міського середовища. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, (2), 45–52.
2. Ковальчук, О. М., & Пилипчук, Т. В. (2021). Аналіз впливу завад на якість сигналу супутникових систем навігації. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*, (4), 113–119.
3. Гнатюк, М. В., & Сидоренко, П. П. (2020). Методи оптимізації антенних систем з урахуванням умов експлуатації. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, (3), 75–82.
4. Петриченко, І. О., & Левченко, К. А. (2023). Сучасні підходи до проектування антен для безпілотних транспортних систем. *Український журнал інформаційних технологій*, (3), 89–95.
5. Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design*. Wiley.
6. Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering* (4th ed.). Wiley.
7. Yang, F., & Rahmat-Samii, Y. (2009). *Electromagnetic band gap structures in antenna engineering*. Cambridge University Press.

References

1. Antonov, S. V., & Ivanenko, V. O. (2022). Osoblyvosti proektuvannia anten dlia system GPS-navihatsii v umovakh miskoho seredovyshcha. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, (2), 45–52.
2. Kovalchuk, O. M., & Pylypchuk, T. V. (2021). Analiz vplyvu zavad na yakist syhnalu suputnykovykh system navihatsii. *Infokomunikatsiini tekhnolohii ta elektronna inzheneriia*, (4), 113–119.
3. Hnatiuk, M. V., & Sydorenko, P. P. (2020). Metody optymizatsii antennykh system z urakhuvanniam umov ekspluatatsii. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnikha"*, (3), 75–82.
4. Petrychenko, I. O., & Levchenko, K. A. (2023). Suchasni pidkhody do proektuvannia anten dlia bezpilotnykh transportnykh system. *Ukrainskyi zhurnal informatsiinykh tekhnolohii*, (3), 89–95.
5. Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design*. Wiley.
6. Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering* (4th ed.). Wiley.
7. Yang, F., & Rahmat-Samii, Y. (2009). *Electromagnetic band gap structures in antenna engineering*. Cambridge University Press.