Оригінальна стаття
https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-08
УДК 537.868.3

Є.О. АНТОНЕНКО[1], к. ф.-м. наук, с.н.с.
e-mail: antonenko@karazin.ua ORCIDL: https://orcid.org/0000-0003-1090-5017
Ю.В. АНТОНЕНКО [2], к. ф.-м. наук, с.н.с.
e-mail: antonenko@rian.kharkov.ua ORCIDL: https://orcid.org/0000-0001-5606-9099
Д.О. ШТОДА[1], н.с.
e-mail: dshtoda@karazin.ua ORCIDL: https://orcid.org/0000-0001-9831-6510
В.О. КАТРИЧ[1], д. ф.-м. наук, проф.
e-mail: vkatrich@karazin.ua ORCIDL: https://orcid.org/0000-0001-5429-6124
О.В. ГРИБОВСЬКИЙ[2], д. ф.-м. наук, проф.
e-mail: grib@rian.kharkov.ua ORCIDL: https://orcid.org/0000-0002-7289-4950
М.В. НЕСТЕРЕНКО[1], д. ф.-м. наук, пров. наук. співроб.
e-mail: mikhail.v.nesterenko@gmail.com ORCIDL: https://orcid.org/0000-0002-1297-9119
[1]*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.
[2]*Радіоастрономічний інститут Національної Академії Наук України, вул. Мистецтв, 4, м. Харків,61002, Україна.*

АНТЕННА РЕШІТКА НА ОСНОВІ РОЗІМКНУТИХ КІЛЬЦЕВИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

Актуальність. Створення антенних решіток для систем зв'язку є актуальними задачами у галузях безпілотної авіації, зокрема, для систем передачі відеосигналу. Також актуальність роботи обумовлена потребою використання саме направлених або однопроменевих антен для систем пеленгації і радіолокації.
Мета роботи. Теоретична та експериментальна перевірка можливості застосування, як поодиноких патч-антен, так і антенних решіток на їх основі, для систем передачі відеосигналу у діапазоні 5.8 ГГц. Оптимізація геометричних параметрів випромінювача, при яких коефіцієнт підсилення буде максимальним. Вирішення задачі ділення НВЧ потужності для живлення елементів антенної решітки.
Матеріали та методи. У роботі представлено теоретичні результати моделювання частотних і просторово-енергетичних характеристик поодинокого випромінювача і серії антенних решіток на його основі. Проведено порівняльний аналіз експериментальних і теоретичних досліджень характеристик узгодження для поодинокого випромінювача. Моделювання та оптимізація параметрів антен проведено за допомогою комерційного пакету Ansoft HFSS.
Результати. Проведено дослідження патч-антени у формі розімкнутого кільця. Отримано серію конструкцій антенних решіток з лінійною та круговою поляризацією 5.8 ГГц для застосування у системах передачі відеосигналу, наприклад, для реалізації режиму керування безпілотними апаратами від першої особи (FPV). Для живлення антенної решітки застосовано дільник потужності на основі чвертьхвильових трансформаторів. Показано, що коефіцієнт підсилення поодинокої патч-антени може перевищувати 10 дБ. Антенна решітка з 4 елементів, які знаходяться у вузлах прямокутної сітки, може мати коефіцієнт підсилення понад 16 дБ.
Висновки. Запропонований тип антен адаптовано для систем зв'язку, зокрема, передачі відеосигналу на частоті 5.8 ГГц. Разом із задовільними просторово-енергетичними характеристиками, запропоновані технічні рішення є простими і придатними для серійного виробництва.
КЛЮЧОВІ СЛОВА: *патч-антена, антенна решітка, мікросмужковий дільник потужності, діаграма спрямованості.*

Як цитувати: Антоненко ЄО, Антоненко ЮВ, Штода ДО, Грибовський ОВ, Катрич ВО, Нестеренко МВ. Антенна решітка на основі розімкнутих кільцевих випромінювачів. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка». 2022;37:98-105. https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-08

In cites: Antonenko Ye., Antonenko Y., Shtoda D, Gribovsky A., Katrych V., Nesterenko M. Antenna array based on open ring radiators. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Radio Physics and Electronics". 2022;37:98-105. (In Ukrainian). https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-08

© Є.О. Антоненко, Ю.В. Антоненко, Д.О. Штода, О.В. Грибовський, В.О. Катрич, М.В. Нестеренко, 2022
Open access. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by/3.0

ВСТУП

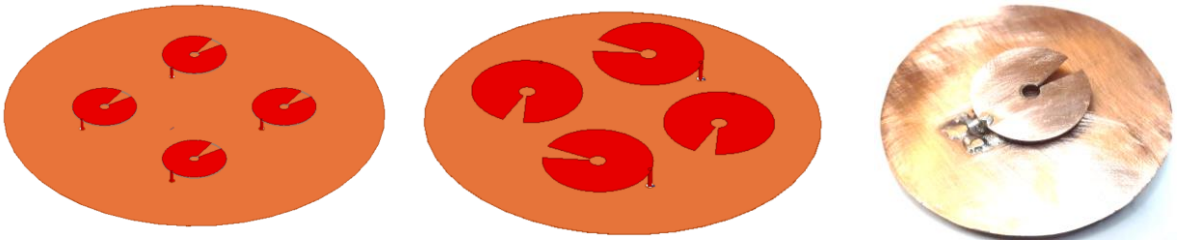
Термін «мікросмужкова патч-антена» з'являється у літературі починаючи з 1952 року [1] . З тих пір відомо безліч варіацій таких антен. Поодинокі патч антени стали елементами антенних решіток [2-4] та елементарними комірками метаматеріалів [5-8]. Таким чином, в залежності від типу елементів, способу їх розташування і живлення створюються різноманітні високочастотні пристрої: антенні решітки, відбивні решітки [9-12], перетворювачі поляризації [13-15], просторові фільтри, тощо.

Низька собівартість, компактність (низькопрофільна планарна структура), простота серійного виробництва і налаштування робить даний клас антен економічно доцільним для використання у складі телекомунікаційного обладнання.

Переважна більшість поодиноких мікросмужкових патч випромінювачів мають коефіцієнт підсилення 5 - 7 дБ [16-18], у рідких випадках коефіцієнт підсилення може досягати 9 дБ [19-20].

У даній роботі розглянуто патч антени з випромінювачем у формі розімкнутого плоского металевого кільця, що знаходиться над плоским металевим екраном. Дана форма випромінювача детально описана у публікаціях [21, 22] в яких за допомогою несиметричного збудження розімкнутого кільцевого випромінювача авторам вдалося отримати поляризацію близьку до кругової. Також слід зауважити, що коефіцієнт підсилення антен не перевищує 11 дБ, що, ймовірно, можна вважати практичною межею коефіцієнта підсилення даного класу антен. Проведений аналіз літератури показує, що у конструкціях поодиноких патч антен, які мають коефіцієнт підсилення більше 10 дБ, в якості діелектрика використовується вільний простір (повітря). За відсутності діелектрика, розмір антени для обраної робочої частоти 5.8 ГГц є цілком прийнятними з практичної точки зору. В роботі представлені результати досліджень низки антенних решіток з випромінювачами вищезазначеного типу.

Загальний вигляд моделей антенних решіток з 2x2 елементів і фото експериментального зразка антени представлені на Рис. 1. Експериментальні зразки виготовлено з тонколистової міді. Підведення енергії до розімкнутого кільця здійснюється через отвір в екрані. На тильній стороні екрану розташовано коаксіальний роз'єм типу SMA, зовнішній контакт роз'єму припаяно безпосередньо до екрану.



(a) (b) (c)

Рис. 1 Аксонометричні зображення антенних решіток з лінійною (a) та круговою (b) поляризацією, фото експериментального зразка антени поодинокого випромінювача (c).

Fig. 1. Axonometric images of antenna arrays with linear (a) and circular (b) polarization, photo of an experimental sample of a single radiator antenna (c).

Випромінювач являє собою плоске розімкнуте металеве кільце, яке розташовано над поверхнею круглого металевого екрану. З практичних міркувань, для мінімізації зворотного випромінювання, діаметр екрану обирається кратним робочий довжині хвилі $D = \lambda n$. Таким чином досягається часткова компенсація струмів, наведених на зворотній стороні екрана.

Геометрія випромінювача та розподіл струму по ньому для першої моди коливань представлена на Рис. 2. Для резонансної частоти 5.8 ГГц розімкнуте кільце знаходиться на відстані від екрану $h = 4.5\,mm$ (Рис. 2б), має зовнішній радіус $r_1 = 13.3\,mm$, внутрішній радіус $r_2 = 2\,mm$, сектор, що розмикає кільце $\alpha = 22^\circ$. Діаметр металевого екрана для поодинокого випромінювача складає $D = 52\,mm$. Точка живлення знаходиться на відстані r_1 від центру симетрії. Вибір такого положення точки живлення обумовлений тим, що при розташуванні точки живлення на відстані r_1 від центру, розміри випромінювача є мінімальними. Таким чином, ми отримуємо синфазне збудження двох половин розімкнутого кільця, що підтверджується епюрою розподілу поверхневого струму (Рис. 2с).

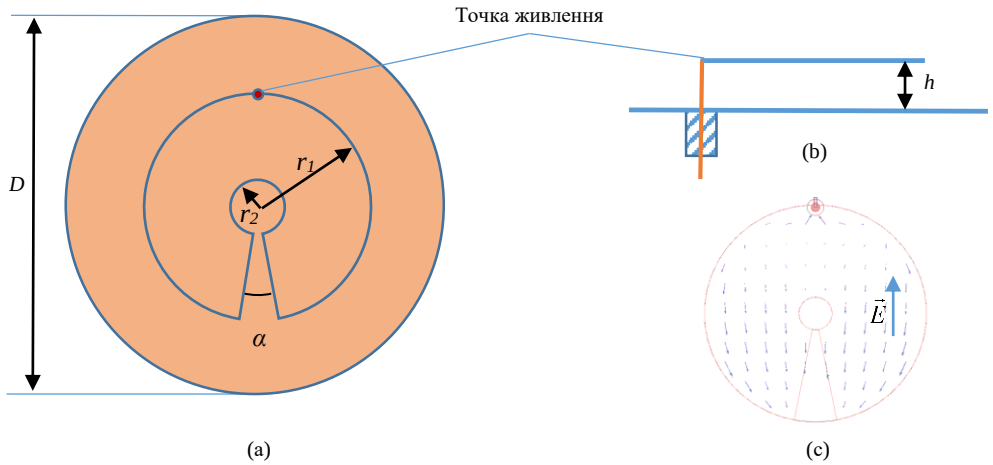
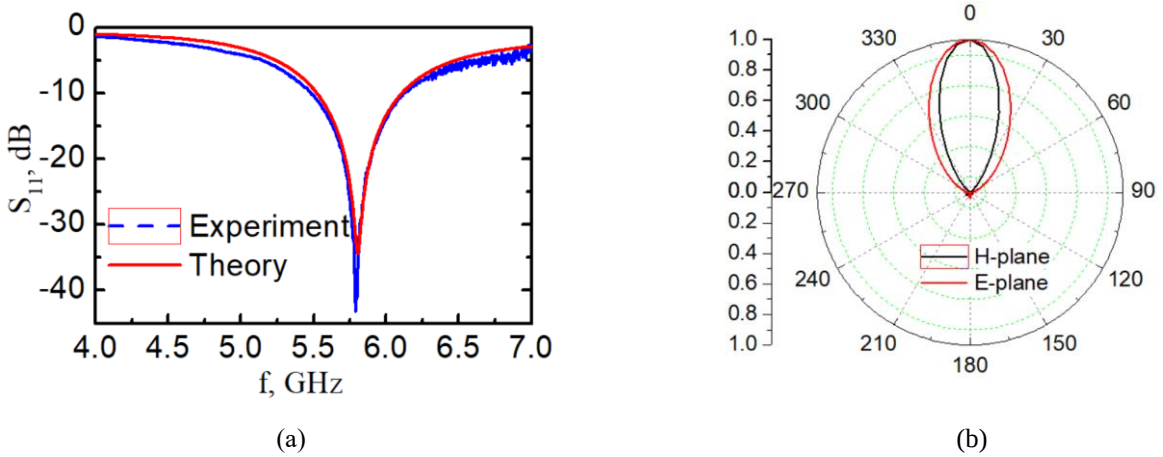


Рис. 2 Геометрія активного елемента (a, b) і розподілення струму по ньому для першої моди коливань (c).
Fig. 2. The geometry of the active element (a, b) and the distribution of the current for the first oscillation mode (c).

Напрямок струму визначає орієнтацію вектору електричного поля $\vec{E}$, а отже і поляризацію. При симетричному розташуванні точки живлення поляризація поодинокого випромінювача є близькою до лінійної. Таким чином, маємо 2 окремих однакових випромінювача, які знаходяться на відстані один від одного менше половини довжини робочої хвилі. Це збільшує коефіцієнт направленої дії антени без появи дифракційних пелюсток діаграми спрямованості.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Усі моделювання антен, що розглядаються в даній роботі, проведено в комерційному пакеті Ansoft HFSS. Першочергово було проведено моделювання й оптимізацію поодинокого випромінювача. Враховуючи конструкцію і геометрію задачі (Рис. 1-2), маємо 5 геометричних параметрів для оптимізації: D, h, r_1, r_2, α. Після оптимізації геометричних параметрів виготовлено експериментальний зразок і проведено його налаштування регулюванням відстані h між екраном і випромінювачем. Результати порівняння моделювання і експериментальних досліджень представлено на Рис. 3а. Можливість варіювання параметром h дозволила досягти майже ідеального узгодження з фідером. Вимірювання параметрів узгодження проведено за допомогою двопортового векторного аналізатора електричних кіл Rohde&Schwarz ZNB40. На практиці, рівень коефіцієнта відбиття S_{11} вдалося отримати на рівні $-42\ дБ$, що краще за результат моделювання.



(a) (b)

Рис. 3. Частотна залежність коефіцієнта відбиття S_{11} поодинокого випромінювача (a) і нормовані діаграми спрямованості поодинокого випромінювача у E- та H-площинах (b).
Fig. 3. Return loss of a single radiator (a) and normalized directivity diagrams of a single radiator in E- and H-planes (b).

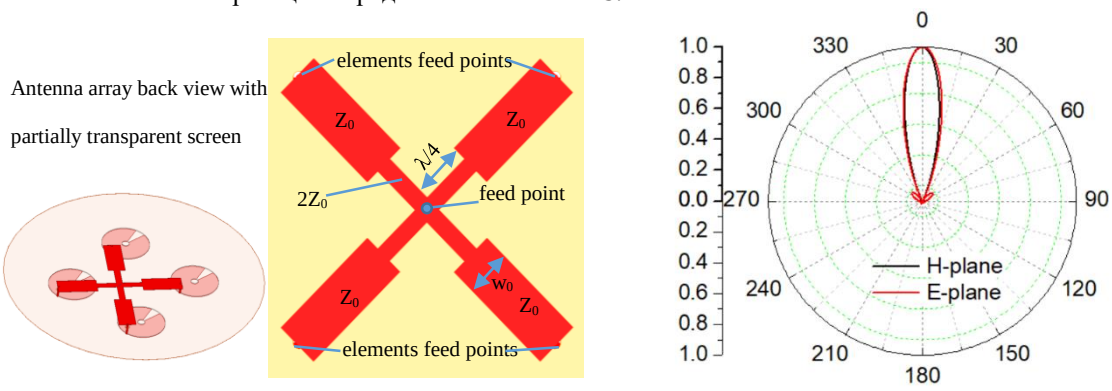
Діаграма спрямованості поодинокого випромінювача приведена на Рис. 3b. Розрахункове значення

коефіцієнта підсилення поодинокого випромінювача складає $G = 10.59\ дБ$. Результати тестування дають дещо нижчий коефіцієнт підсилення, який складає $G = 10.2\ дБ$. Ширина діаграм спрямованості поодинокого випромінювача в Е-площині становить близько 40°, ширина діаграми спрямованості в Н-площині складає близько 30°.

Після налагодження і тестування поодинокого випромінювача проведено моделювання чотириелементної антенної решітки з лінійною поляризацією. Окремої уваги заслуговує спосіб живлення елементів антенної решітки. Живлення елементів здійснюється синфазно з однаковою амплітудою. Для решітки 2х2 елементів доцільно використовувати мікросмужковий хрестоподібний дільник потужності на 4 (Рис. 4а), який розташовується на тильній стороні екрануючого диска.

У моделі мікросмужкового дільника матеріал підложки відсутній, відповідно $\varepsilon = 1$. З точки живлення сигнал подається на чвертьхвильові трансформатори з хвильовим опором $Z = \sqrt{n} Z_0$ кожний, де n - кількість портів, $Z_0 = 50 - j0\ Ом$. Для частоти 5.8 $ГГц$ довжина мікросмужкового трансформатора складає $l = 12.5\ mm$. Ширина смужки чвертьхвильового трансформатора складає $w = 3.4\ mm$, ширина мікросмужкової лінії з опором Z_0 складає $w_0 = 9.4\ mm$ при відстані до екрана $t = 2\ mm$. Для перевірки ефективності використання такого мікросмужкового дільника потужності та оцінки втрат НВЧ енергії також проведено моделювання, при якому окремий елемент антенної решітки живиться від окремого порту. Отримано ідентичні значення коефіцієнту підсилення антени на рівні 16 дБ. При порівнянні діаграм спрямованості двох моделей антенних решіток у випадку живлення елементів через мікросмужковий дільник спостерігається збільшення зворотного випромінювання приблизно на 2 $дБ$, що цілком очікувано.

В процесі оптимізації антенної решітки, з метою отримання максимального коефіцієнта підсилення, встановлено, що для періоду решітки $p \approx 0.5\lambda$ спостерігається значний взаємний вплив між елементами. Коефіцієнт підсилення в такому випадку становить, приблизно, $G \approx 14\ дБ$. При збільшенні періоду решітки до значення $p = \lambda$ і більше спостерігається зростання дифракційних максимумів і зменшення амплітуди головного пелюстка діаграми спрямованості. Для даної антенної решітки з лінійною поляризацією оптимальний період решітки, при якому отримано максимальний коефіцієнт підсилення, складає $p \approx 0.89\lambda$. У цьому випадку коефіцієнт підсилення складає $G = 16.3\ дБ$. На практиці досягнуто значення коефіцієнту підсилення $G = 16.1\ дБ$. Діаграма спрямованості чотириелементної антенної решітки з лінійною поляризацією представлена на Рис. 4b.



(a) (b)

Рис. 4. Загальний вигляд та схема дільника потужності (а), нормовані діаграми спрямованості антенної решітки у Е- та Н-площинах (b).
Fig. 4. General appearance and geometry of the power divider (a), normalized directivity diagrams of the antenna array in E- and H-planes (b).

Як видно з діаграми спрямованості антенної решітки, на відміну від діаграми спрямованості поодинокого елемента, у Е-площині спостерігаються дифракційні максимуми у напрямку $\pm 50^\circ$. Рівень дифракційних пелюсток складає, приблизно, $-10\ дБ$.

Розглянемо чотирьохелементну лінійну антенну решітку (Рис. 5а). Період антенної решітки становить $p \approx 0.86\lambda$. Діаграма спрямованості цієї антенної решітки внаслідок лінійного розташування елементів має

значне звуження в Е-площині (Рис. 5b). Антенні решітки з дископодібною діаграмою спрямованості використовуються для радарів в транспортних засобах, метеорологічних радарів в авіації, пеленгаторів та в інших системах безпеки. Перспективним напрямком застосування антенних решіток з дископодібною діаграмою спрямованості є суднові радіолокаційні станції. Коефіцієнт підсилення чотириелементної антенної решітки дорівнює $16.5\,дБ$. Ширина діаграм спрямованості антенної решітки з 1x4 елементів в площині Е становить близько 13°, ширина діаграми спрямованості в площині Н становить близько 32°.

Під час моделювання встановлено, що форма екрана у вигляді дисків, що перетинаються, дозволяє знизити рівень зворотного випромінювання порівняно з прямокутним екраном.

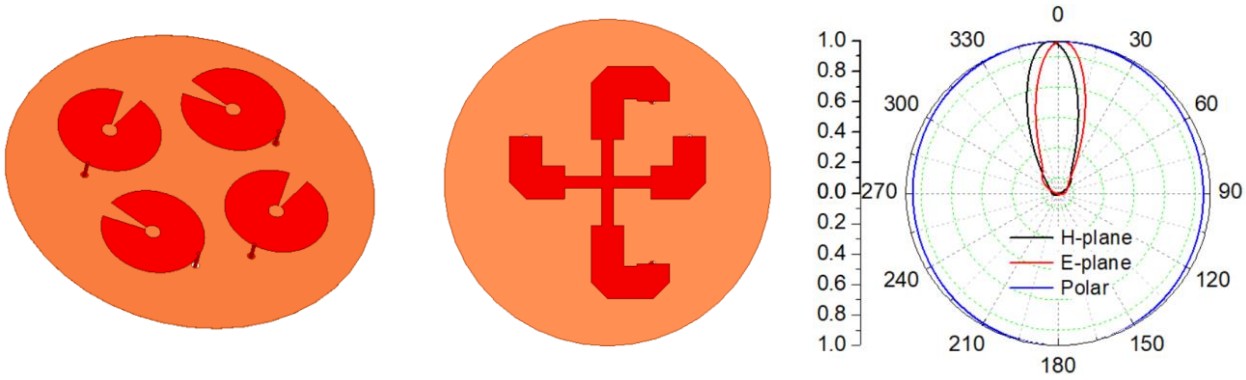
(a) (b)

Рис. 5. Загальний вигляд лінійної антенної решітки (а), нормовані діаграми спрямованості антенної решітки у Е- та Н-площинах (б).
Fig. 5. General appearance of the linear antenna array (a), normalized directivity diagrams of the antenna array in E- and H-planes (b).

Основним застосуванням вищевказаних антен є системи передачі відеосигналу в аматорському діапазоні $5.8\,ГГц$, а також системи пеленгації джерел випромінювання в цьому діапазоні.

Представлені вище антенні решітки мають лінійну поляризацію. Для збільшення завадостійкості і підвищення надійності зв'язку між рухомими об'єктами частіше використовують круговий тип поляризації. В антенних решітках для отримання випромінювання з круговою поляризацією використовується два підходи: перший – необхідно, щоб поодинокий елемент решітки мав випромінювання з круговою поляризацією, другий підхід дозволяє використовувати випромінювачі з лінійною поляризацією, відносний поворот вектору поляризації половини з яких складає 90° при різності фаз живлячого сигналу $\pi/2$ радіан. Саме другий підхід застосовано для отримання антенної решітки з круговою поляризацією (Рис. 6). Як видно з Рис. 6а, дві групи елементів мають взаємну орієнтацію випромінювачів 90°. Виконання умови збудження груп з різністю фаз $\pi/2$ радіан досягається подовженням шляху підводу енергії до елементів однієї з груп. Топологія дільника потужності для формування кругополяризованого випромінювання приведено на Рис. 6b. Підхід до проєктування дільника потужності описано вище (Рис.4а) з різницею додавання мікросмужкових ліній затримки, які забезпечують обертання фази на $-\pi/2$ радіан.

Результати моделювання характеристик спрямованості антенної решітки з круговою поляризацією представлено на Рис. 6с.



(а) (б) (с)

Рис. 6. Загальний вигляд антенної решітки з круговою поляризацією (а), топологія дільника потужності (b), нормовані діаграми спрямованості антенної решітки у Е- та Н-площинах і поляризаційна характеристика (с).
Fig. 6. General appearance of the antenna array with circular polarization (a), topology of the power divider (b), normalized directivity diagrams of the antenna array in E- and H-planes and polarization characteristics (c).

Коефіцієнт підсилення антенної решітки з круговою поляризацією становить $G = 12.8\,дБ$, що приблизно на $3\,дБ$ менше аналогічної (за кількістю елементів і способом розташування їх у вузлах прямокутної сітки) антенної решітки з лінійною поляризацією. На практиці досягнуто значення коефіцієнту підсилення $G = 12\,дБ$. Діаграми спрямованості у *Е*- і *Н*-площинах та поляризаційна характеристика чотириелементної антенної решітки з круговою поляризацією представлено на Рис. 6с. Як видно з графіка, спостерігається відхилення головного променю від нормалі в *Е*- і *Н*-площинах. Причиною відхилення є неідеальне виконання умов збудження внаслідок порушення балансу амплітуд. Частина енергії розсіюється на ділянках мікросмужкових ліній, що забезпечують необхідний зсув фази. Поляризаційна характеристика має форму еліпса, коефіцієнт еліптичності складає $K = 0.95$. Ширина головних променів діаграм спрямованості антенної решітки *Е*- і *Н*-площинах становить близько 30°.

Недоліками даного класу антенних решіток є вузький частотний діапазон і необхідність організації механічного способу просторового сканування. Перевагами цих антенних решіток є простота і надійність конструкції. Для масивів з малою кількістю елементів доцільно використовувати прості дільники потужності, які побудовані за принципом, описаним вище.

ВИСНОВКИ

Таким чином, проведено дослідження антенних решіток з лінійною і круговою поляризацією на основі випромінюючих елементів у формі плоского розімкнутого кільця. Проведено оптимізацію геометричних параметрів поодинокого елемента і антенних решіток на його основі. Для живлення антенної решітки застосовано дільник потужності на основі чвертьхвильових трансформаторів. Розподілення потужності відбувається ефективно, з незначним збільшенням рівня зворотного випромінювання (не більше 2 *дБ*). Представлені антени розраховано на діапазон з центральною частотою 5.8 *ГГц* для застосування у системах передачі відеосигналу, наприклад, для реалізації режиму FPV для радіокерованих дронів. Конструкції антен досліджено за допомогою засобів автоматичного проєктування та експериментально. Показано, що коефіцієнт підсилення поодинокої патч-антени може перевищувати 10 *дБ*. Чотириелементна антенна решітка лінійної поляризації може мати коефіцієнт підсилення понад 16 *дБ*, а чотириелементна антенна решітка кругової поляризації має коефіцієнт підсилення понад 12 *дБ*.

Разом із задовільними просторово-енергетичними характеристиками запропоновані технічні рішення є простими і придатними для серійного виробництва. Відмова від застосування діелектриків спрощує технологію і збільшує рентабельність в умовах серійного виробництва.

КОНФЛІКТ ИНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Grieg D, Engelmann H. Microstrip-A New Transmission Technique for the Klilomegacycle Range. Proceedings of the IRE. 1952 Dec;40(12):1644–50. https://doi.org/10.1109/JRPROC.1952.274144
2. Deschamps, GA. Microstrip Patch Antenna. Third USAF symposium on Antennas; 1953.
3. Midasala V, Siddaiah P. Microstrip Patch Antenna Array Design to Improve Better Gains. Procedia Computer Science. 2016;85:401–9. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.181
4. Rao KP, Vani RM, Hunagund PV. Planar Microstrip Patch Antenna Array with Gain Enhancement. Procedia Computer Science. 2018;143:48–57. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.350
5. Antonenko YN, Antonenko YA, Gribovsky AV. Experimental Studies of the Fabry-Perot Resonator with Mirrors Perforated by Coaxial-Sector Holes. 2019 Sep 1; https://doi.org/10.1109/DIPED.2019.8882613
6. Rajak N, Chattoraj N, Mark R. Metamaterial cell inspired high gain multiband antenna for wireless applications. AEU - International Journal of Electronics and Communications [Internet]. 2019 Sep 1 [cited 2022 May 28];109:23–30. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1434841119313949 https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.07.003
7. Bakhtiari A. Investigation of Enhanced Gain Miniaturized Patch Antenna Using Near Zero Index Metamaterial Structure Characteristics. IETE Journal of Research. 2019 Jul 25;1–8. https://doi.org/10.1080/03772063.2019.1644973
8. Singh AK, Abegaonkar MP, Koul SK. Miniaturized multiband microstrip patch antenna using metamaterial loading for wireless application. Progress In Electromagnetics Research C. 2018;83:71–82. http://dx.doi.org/10.2528/PIERC18012905
9. Phua YN, Eng Hock Lim, Chung BK. Design of a single-layer broadband reflectarray using circular microstrip patch loaded with two unequal slots. 2020 Sep 1;124:153341–1.. https://doi.org/10.1016/j.aeue.2020.153341
10. Xue F, Wang H, Wang Y, Zhang L. Broadband and high efficiency single-layer reflectarray using circular ring attached two sets of phase-delay lines. Progress In Electromagnetics Research M. 2018;66:193–202. http://dx.doi.org/10.2528/PIERM18010916
11. Liu Y, Wang H, Xue F, Dong X. A new single-layer reflectarray using circular patch with semicircular ring slots. Progress In Electromagnetics Research Letters. 2017;66:105–11. http://dx.doi.org/10.2528/PIERL17011806
12. Guo WL, Wang GM, Liu K, Zhuang Y, Ge Q. Design of Single-Layered Ultrawideband High-Efficiency Circularly Polarized Reflectarray. 2018 Jun 12;17(8):1386–90. https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2846663
13. Dong Hyun Yang, Lin H, and Xiaojun Huang. Dual broadband metamaterial polarization converter in microwave regime. Progress in Electromagnetics Research Letters. 2016 Jan 1;61:71–6. http://dx.doi.org/10.2528/PIERL16033004
14. Patel K, Joshi M. Wideband Radar Cross Section Reduction of Microstrip Patch Antenna using Polarization Converter Metasurface. Defence Science Journal. 2022 Aug 26;72(4):568–80. https://doi.org/10.14429/dsj.72.17818
15. Liu Y, Yang H, Huang XJ, Yu Z, Li S, Yang Y. A metamaterial polarization converter with half reflection and half transmission simultaneously. 2021 Feb 1;389:127101–1. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.127101
16. Al Ahmad M, Kabeer S, Sanad AA, Olule LJA. Compact single-varactor diode frequency-reconfigurable microstrip patch antenna. IET Microwaves, Antennas & Propagation. 2021 Mar 25;15(9):1100–7. https://doi.org/10.1049/mia2.12117
17. Shao Z, Zhang Y. A Single-Layer Miniaturized Patch Antenna Based on Coupled Microstrips. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2021 May;20(5):823–7. https://doi.org/10.1109/LAWP.2021.3064908
18. Wang Z, Liu J, Long Y. A Simple Wide-Bandwidth and High-Gain Microstrip Patch Antenna With Both Sides Shorted. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2019 Jun;18(6):1144–8. https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2911045
19. Anantha B, Gosula RSR. Compact Single Feed Dual Band Microstrip Patch Antenna with Adjustable Dual Circular Polarization. IETE Journal of Research. 2019 Apr 9;1–9. https://doi.org/10.1080/03772063.2019.1598293
20. Zoukalne K, Chaibo A, Khayal MY. Design of Microstrip Patch Antenna Array for 5G Resonate at 3.6GHz. Current Journal of Applied Science and Technology. 2020 Nov 17;164–70. http://dx.doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i3431046
21. Chen QQ, Li JY, Yang GW, Ding YX. SINGLE-FED HIGH-GAIN CIRCULARLY POLARIZED MICROSTRIP ANTENNA. Progress In Electromagnetics Research M. 2019;83:151–9. http://dx.doi.org/10.2528/PIERM19052002
22. Yi Y, Jian-Ying L, Kun W, Rui X, Guang-wei Y. Circularly polarised cut ring microstrip antenna. 2015 Feb 1;51(3):199–200. https://doi.org/10.1049/el.2014.3729

Стаття надійшла до редакції: 3 листопада 2022 р.
Рекомендовано до друку: 2 грудня 2022 р.

ANTENNA ARRAY BASED ON OPEN RING RADIATORS

Ye.O. Antonenko[1], **Y.V. Antonenko**[2], **D.O. Shtoda**[1], **V.O. Katrich**[1], **O.V. Gribovsky**[2], **M.V. Nesterenko**[1]
[1]V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody sq., Kharkiv, 61022, Ukraine
[2]Institute of Radio Astronomy of the National Academy of Sciences of Ukraine,4, Mystetstv St., Kharkiv 61002, Ukraine.

Relevance. The creation of antenna arrays for communication systems is an urgent task in the unmanned aviation industries, in particular, for video signal transmission systems. Also, the relevance of the work is due to the need to use directional or single-beam antennas for direction finding and radar systems.
The purpose of the work. Theoretical and experimental verification of the possibility of using both single patch antennas and antenna arrays based on them for video signal transmission systems in the 5.8 GHz band. Optimization of the geometrical parameters of the radiator, at which the gain will be maximum. Solution of the problem of microwave power division for powering the antenna array elements.
Materials and methods. The paper presents theoretical results of modeling the frequency and spatial-energy characteristics of a single radiator and a series of antenna arrays based on it. A comparative analysis of experimental and theoretical studies of the matching characteristics for a single radiator is carried out. Modeling and optimization of antenna parameters was carried out using the Ansoft HFSS commercial package.
Results. A patch antenna in the form of an open ring was investigated. A series of designs of antenna arrays with linear and circular polarization of 5.8 GHz has been obtained for use in video signal transmission systems, for example, to implement the first-person view (FPV) control mode for unmanned vehicles. A power divider based on quarter-wave transformers is used to power the antenna array. It is shown that the gain of a single patch antenna can exceed 10 dB. An antenna array of 4 elements located in the nodes of a rectangular grid can have a gain of more than 16 dB.
Conclusion. The proposed type of antennas is adapted for communication systems, in particular, video signal transmission at 5.8 GHz. Along with satisfactory spatial and energy characteristics, the proposed technical solutions are simple and suitable for mass production.
KEYWORDS: *patch antenna, antenna array, microstrip-line power divider, directivity diagram.*

The article was received by the editors: 3 November 2022
The article is recommended for printing: 2 December 2022