

ANTEN MẢNG PHÂN CỰC TRÒN BẰNG THÔNG RỘNG ỨNG DỤNG CHO NHIỀU CHUẨN VÔ TUYẾN

A NOVEL WIDEBAND CIRCULARLY POLARIZED ARRAY ANTENNA FOR WIRELESS MULTI-STANDARDS

Bùi Thị Duyên, Hoàng Thị Phương Thảo

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 26/6/2023, Ngày chấp nhận đăng: 15/7/2023, Phản biện: TS. Nguyễn Văn Hạnh

Tóm tắt:

Bài báo đề xuất một thiết kế anten mảng mới, băng thông rộng, phân cực tròn, có cấu trúc nhỏ gọn ứng dụng cho các thiết bị vô tuyến cầm tay. Anten mảng phân cực tròn được hình thành từ bốn anten phần tử lưỡng cực (dipole) vi dải với mạch cấp nguồn sử dụng kỹ thuật quay tuần tự cấu trúc và pha. Anten mảng đề xuất có tần số cộng hưởng trung tâm tại tần số trung tâm 5,8 GHz với băng thông rộng lên tới 2 GHz (34,4%); băng thông phân cực tròn rộng 1,5 GHz (đạt 25,8%); trong khi đó anten vẫn đạt được độ lợi cực đại cao xấp xỉ 8,1 dBi tại tần số 5,8 GHz. Mẫu anten thiết kế có kích thước chỉ $50 \times 50 \text{ mm}^2$, được mô phỏng trên phần mềm CST. Anten mảng đề xuất có thể hoạt động với nhiều chuẩn vô tuyến khác nhau, phù hợp cho các thiết bị WiFi sử dụng chuẩn IEEE 802.11ac, WLAN, WiMAX và sử dụng dải tần dành cho y tế, nghiên cứu và công nghiệp.

Từ khóa:

Anten mảng, anten mảng phân cực tròn, kỹ thuật quay tuần tự cấu trúc và pha, tỷ số phân cực.

Abstract:

The paper proposes a novel low-profile wideband circularly polarized array antenna for wireless multi-standards. The circularly polarized array antenna consists of four printed dipole elements, and its feeding network is based on the sequential rotation technique. This proposed antenna operates at the center frequency of 5.8 GHz with a wide bandwidth of 2 GHz (34.4%); a wide axial-ratio 3 dB bandwidth of 1.5 GHz (25.8%); and a high maximum gain of 8.1 dBi. The antenna with a dimension of $50 \times 50 \text{ mm}^2$ is simulated using CST software. The proposed antenna is suitable for wireless multi-standards such as IEEE 802.11 ac WiFi, WLAN, WiMAX, and the industrial scientific medical (ISM) frequency band.

Keywords:

Antenna array, circularly polarized antenna, sequential rotation technique, axial-ratio.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong truyền thông không dây như rada, định danh vô tuyến, thiết bị di động,

WiFi, WLAN, WiMAX, anten phân cực tròn băng thông rộng thực sự cần thiết cho các thiết bị ứng dụng trong các lĩnh vực

trên. Anten phân cực tròn giúp giảm ảnh hưởng do đa đường, cải thiện tín hiệu nhận được cũng như tăng tính linh hoạt về hướng giữa hai phần tử thu và phát [1], [2]. Đặc điểm nổi bật của anten vi dải là gọn nhẹ, dễ chế tạo và giá thành thấp. Anten có băng thông rộng, đồ thị bức xạ định hướng cần thiết cho các ứng dụng như hệ thống định vị, hệ thống chỉ dẫn hoặc các ứng dụng khi thiết bị vô tuyến được gắn vào người hay lên tường.

Để thiết kế được anten phân cực tròn có thể dùng anten đơn hoặc anten mảng, sử dụng một đường tiếp điện hoặc nhiều đường tiếp điện. Có một vài kỹ thuật như: cắt vát hai đầu của anten patch, khoét khe, cấp nguồn vuông pha, cấp nguồn tương hỗ và tải phản kháng, ghép khe và quay tuần tự cấu trúc và pha (SR-Sequential Rotated) của mảng anten [3], [4], [5]. Anten patch đơn thông thường có độ rộng búp sóng nửa công suất trong khoảng 50° – 120° trong khi độ rộng búp sóng phân cực tròn của chúng rất hẹp khoảng 30° [6], [7], điều đó làm giảm hiệu năng của tính phân cực tròn trong quá trình thu phát tín hiệu vô tuyến. Các công bố [8], [9], [10], [11] đã cho thấy các ưu điểm của kỹ thuật SR để đạt được các thể mạnh như: độ tăng ích, băng thông, chất lượng phân cực tròn từ những phần tử phân cực tuyến tính. Tuy nhiên, để thực hiện được kỹ thuật quay tuần tự cấu trúc và pha cần đảm bảo yêu cầu nghiêm ngặt về biên và pha kích thích cho các phần tử trong mảng. Các công bố tại [9], [13], [14], [15] có ưu điểm về độ rộng băng thông, độ phân cực tròn nhưng cấu trúc anten mảng

dạng hình hộp, gập khó khăn về mặt thiết kế, lắp ghép và tích hợp vào thiết bị.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mạng tiếp điện quay pha để cải thiện chất lượng phân cực tròn cho anten mảng với độ rộng búp sóng phân cực tròn tăng và băng thông phân cực tròn của anten rộng. Từ đó thiết kế chế tạo anten phân cực tròn băng thông rộng hoàn chỉnh, trong đó mạng tiếp điện và anten mảng được thiết kế với cấu trúc phẳng để tích hợp lắp đặt cho các thiết bị vô tuyến

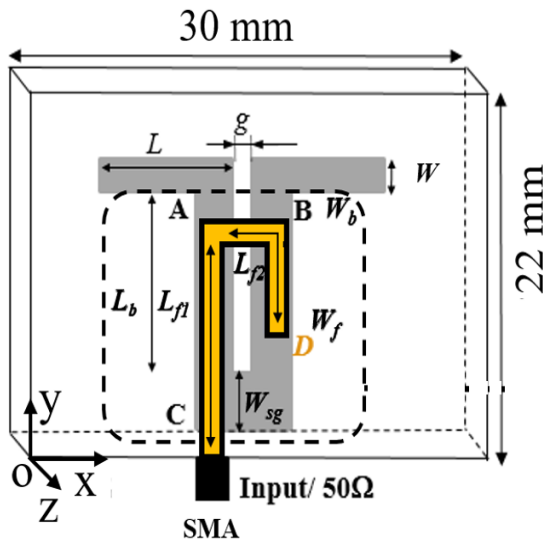
2. THIẾT KẾ ANTEN MẢNG PHÂN CỰC TRÒN

2.1. Anten phân tử

Anten lưỡng cực là loại anten có đồ thị bức xạ đa hướng được dùng phổ biến trong truyền thông không dây. Anten lưỡng cực truyền thống là loại anten dây, chúng gặp bất lợi khi ghép trên cùng một mạch với các thiết bị vô tuyến. Công nghệ chế tạo anten vi dải ra đời mang lại nhiều thuận lợi như dễ chế tạo, giá thành rẻ và dễ tích hợp. Để đảm bảo giữ được cân bằng về điện giữa hai cánh bức xạ của anten lưỡng cực, cần bộ tạo cân bằng tín hiệu vi dải ở đầu ra (gọi là balun) [12], [13]. Balun có nhiệm vụ chuyển tiếp cấu trúc truyền sóng không đối xứng sang đối xứng, cấp nguồn cho hai cánh bức xạ của anten lưỡng cực mạch in. Hình 1 trình bày cấu trúc của anten phân tử lưỡng cực vi dải.

Anten lưỡng cực vi dải nửa bước sóng được thiết kế tại tần số trung tâm 5,8 GHz trên chất nền Roger RO4003 với các thông số: bề dày chất nền 0,8 mm, bề dày

lớp đồng 0,035 mm, hằng số điện môi $\epsilon_r = 3,55$ và hệ số suy hao điện môi $\tan\delta = 0,0027$. Anten lưỡng cực vi dải được thiết kế với độ rộng băng thông là 31% từ 5,1 tới 6,9 GHz với các tham số kích thước của anten đề xuất được chỉ ra trong Bảng 1.



Hình 1. Cấu trúc của anten lưỡng cực vi dải tích hợp balun hình chữ "J"

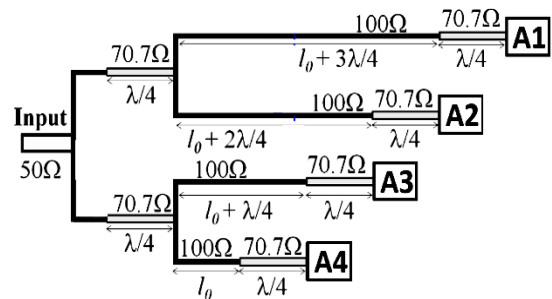
Bảng 1. Các tham số của anten phần tử tại 5,8 GHz, đơn vị mm

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
L	10,6	L_{f1}	11,1
W	1,7	W_{sg}	2,7
L_b	10,0	L_{f2}	10,0
g	0,63	W_s	1,7

2.2. Mạng tiếp điện cho anten mảng

Độ rộng búp sóng phân cực tròn, nghĩa là vùng búp sóng có tỷ số phân cực (AR-Axial Ratio) nhỏ hơn 3 dB, băng thông, hệ số tăng ích cao, bài báo sử dụng kỹ thuật quay tuần tự cấu trúc và pha cho

anten mảng [4], [5] được lựa chọn, từ đó làm cơ sở thiết kế mạch tiếp điện cho anten mảng đề xuất.

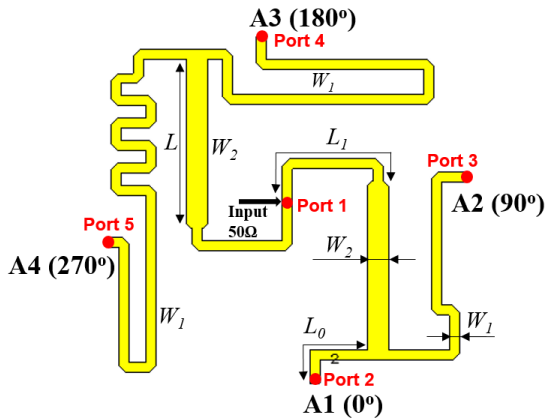


Hình 2. Mạng tiếp điện cho anten mảng

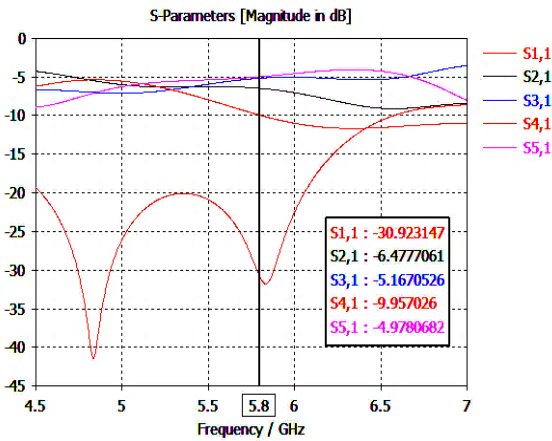
Hình 2 thể hiện nguyên lý cấp nguồn cho bốn anten phần tử (A1, A2, A3, A4) của anten mảng. Tác giả sử dụng mạch chia nguồn dựa trên bộ chia công suất hình T (T-junction). Mỗi phần tử anten lưỡng cực vi dải được thiết kế với trở kháng đầu vào là 50 Ω ở tần số 5,8 GHz. Mạng tiếp điện của anten mảng được thiết kế hoàn thiện như trong Hình 3. Trong đó, pha của các anten phần tử lệch nhau 90° tuần tự từ anten A1 (0°), A2 (90°), A3 (180°), đến anten A4 (270°). Biên độ và pha của tín hiệu cấp cho các anten phần tử được mô phỏng và thể hiện trong Hình 4. Các tham số của mạng tiếp điện cho các anten vi dải phần tử được chỉ ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Các tham số của mạng tiếp điện, đơn vị mm

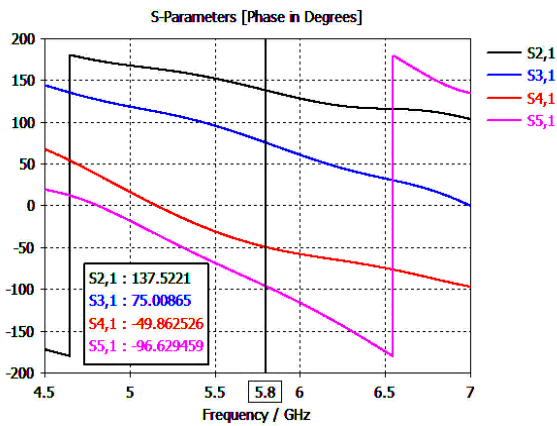
Tham số	L	L_0	L_1	W_1	W_2
Giá trị (mm)	7,35	4,07	5,8	0,45	0,95



Hình 3. Sơ đồ tổng thể mạng tiếp điện



a)



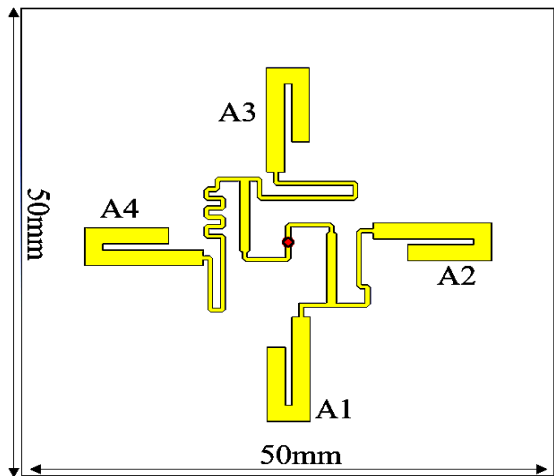
b)

Hình 4. Phân bố biên độ và pha của mạng tiếp điện cho Anten mảng

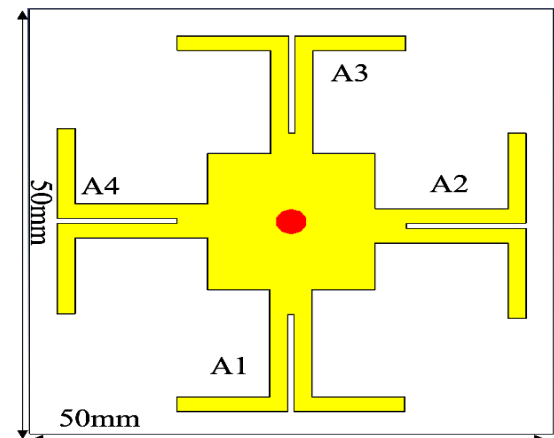
Năng lượng từ port 1 tới các cổng được minh họa trên Hình 3. Biên độ và pha đầu

ra (port 2, port3, port4, port5) chênh lệch giữa các cổng trong toàn bộ dải tần từ 4,5 đến 7 GHz. Từ kết quả mô phỏng cho thấy tương đối thỏa mãn được điều kiện cho mảng anten băng thông rộng phân cực tròn.

Để anten mảng có cấu trúc phẳng, mặt khác vẫn tuân theo quy tắc sắp xếp tuần tự xoay pha và vị trí đặt. Tác giả đã đề xuất bố trí anten mảng như Hình 5. Thành phần tiếp điện của mảng và của anten nằm ở mặt trên, thành phần bức xạ của bốn anten được bố trí ở mặt dưới của anten mảng.



a) Mặt trên anten mảng

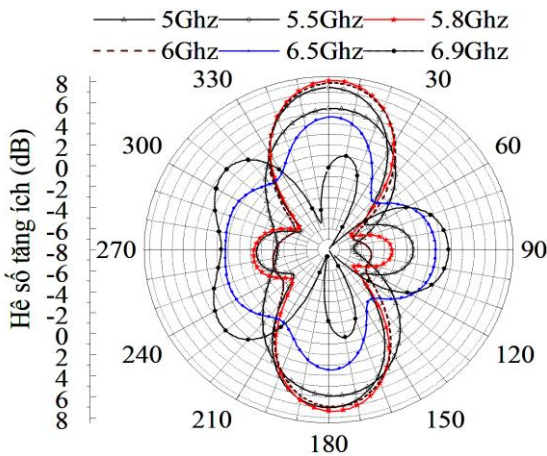


b) Mặt dưới anten mảng

Hình 5. Cấu trúc mặt trên và dưới của anten

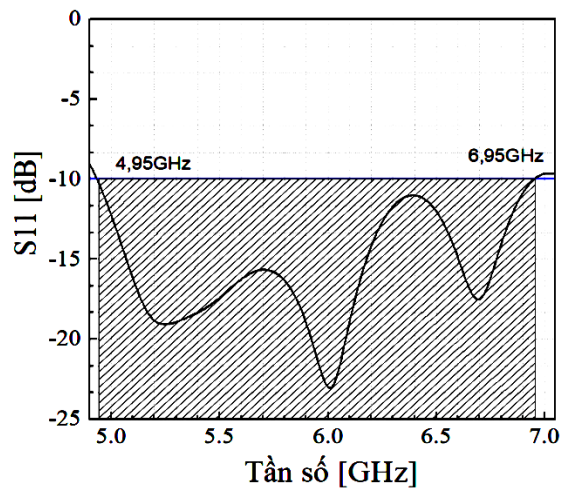
2.3. Kết quả mô phỏng và kết quả đo mảng Anten đề xuất

Kết quả mô phỏng Anten mảng đề xuất được thể hiện trong Hình 6, Hình 7 và Hình 8. Trong đó, Hình 6 cho thấy băng thông của Anten mảng rộng 2 GHz (tương ứng 34,4%) từ 4,95 đến 6,95 GHz xét mức dưới -10 dB.

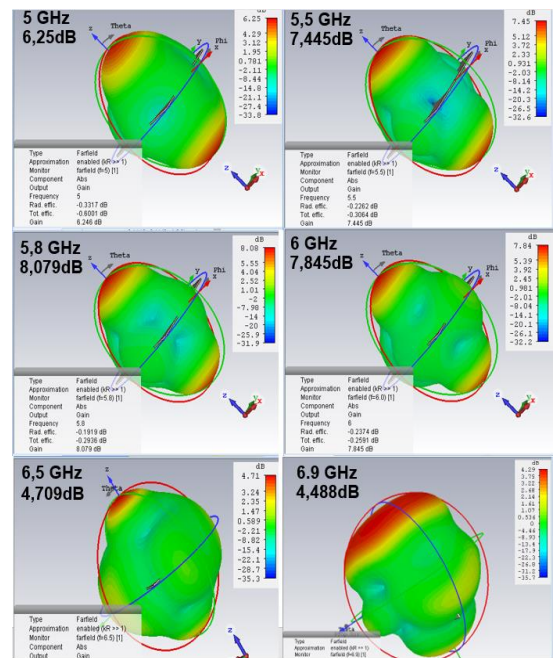


Hình 6. Biểu đồ bức xạ hai chiều của Anten mảng

Hình 6 thể hiện biểu đồ bức xạ hai chiều của Anten mảng. Biểu đồ bức xạ đẳng hướng có 2 búp đối xứng sẽ giúp các thiết bị vô tuyến thu phát tín hiệu đẳng hướng theo một phương. Với hệ số tăng ích lớn nhất là 8,079 dB tại tần số trung tâm 5,8 GHz; nhỏ nhất là 4,488 dB tại tần số 6,9 GHz khi xét trong dải tần hoạt động như trong Hình 8.



Hình 7. Hệ số S11 của Anten mảng đề xuất



Hình 8. Biểu đồ bức xạ ba chiều của Anten mảng

Bảng 3. Các công bố nghiên cứu về Anten phân cực tròn dựa trên kỹ thuật SR

Tham số	[13] 2017	[14] 2021	[15] 2021	Đề xuất
G	9,8	10,3	9,8	8,1
BW	48,3	26,7	36,2	34,4
BW-3 dB	18	9,6	22,4	25,8

Tham số	[13] 2017	[14] 2021	[15] 2021	Đề xuất
BW-3 dB AR (°)	☹	☹	☺	☹
Kính thước (λ)	0,9×0,9×0,38	1×1×0,5	0,9×0,9×0,38	0,9×0,9
BW-3 dB AR (°)	☹	☹	☺	☹

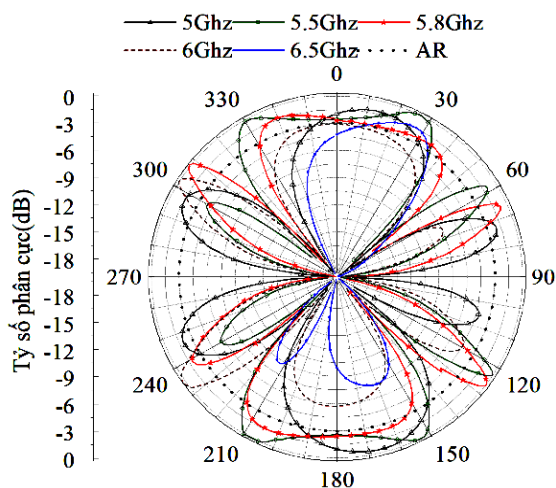
Tuy nhiên tại tần số 6,9 GHz đồ thị bức xạ định hướng, không có búp đối xứng và mất phân cực tròn; được trình bày trong Hình 8 và Hình 9.

Trong Hình 9 mô tả tỷ số phân cực tròn của Anten mảng tại các tần số từ 5 GHz đến 6,5 GHz, như vậy băng thông phân cực tròn đạt 25,8%, góc phân cực tròn rộng xấp xỉ 60° tại các tần số 5,5 GHz; 5,8 GHz.

Anten mảng đề xuất được thiết kế trên chất nền RO4003C với hằng số điện môi $\epsilon_r = 3,55$ và bề dày chất nền là 0,813 mm như Hình 5. Kết quả mô tả trên các Hình 6 đến Hình 9. Anten hoạt động trong dải tần rộng từ 4,95 đến 6,95 GHz (34,4% và dải tần số đạt 3 dB AR là 1,5 GHz (từ 5 đến 6,5 GHz (25,8%)). Tỷ số phân cực AR, hệ số tăng ích, độ định hướng và hiệu suất của Anten mảng được mô tả trên Hình 7, Hình 8 và Hình 9. Hệ số tăng ích của Anten thay đổi từ 4,425 dBi tới 8,079 dBi trong cả dải tần số 5 đến 7 GHz.

Để đánh giá Anten đề xuất với các nghiên cứu nổi trội trên thế giới, nhìn vào Bảng 3 nhận thấy: Đề xuất có ưu điểm vượt trội về kích thước của Anten mảng; các công bố khác Anten đều có dạng hình khối, riêng Anten đề xuất dạng phẳng; đồng thời các Anten trong các công bố có dạng đồ thị là dạng đẳng hướng theo 1 chiều, Anten mảng đề xuất có đồ thị bức xạ 2

hướng, theo 1 phương do đó hệ số tăng ích thấp hơn các công bố khác là điều tất nhiên. Tuy vậy, khi Anten đề xuất có 2 búp xác định đối xứng nhau sẽ là ưu điểm khi muốn truyền phát giữa 2 mục tiêu xác định nối tiếp nhau. Về chất lượng góc phân cực chưa được nổi bật như [16] tuy nhiên độ rộng băng thông phân cực tròn lại nổi bật nhất. Chúng tôi đã đề xuất Anten mảng phân cực ba chiều trong [13] tại Hội nghị Châu Á Thái Bình Dương, cũng như công bố [14], tuy nhiên chất lượng phân cực tròn của Anten này còn kém về băng thông và độ rộng búp sóng phân cực tròn so với [15]. Anten đề xuất trong [15] có nhiều ưu điểm nổi bật hơn cả, tuy nhiên vẫn chưa nhỏ gọn so với Anten mảng đề xuất lần này, đồng thời [15] chỉ có một búp sóng, còn Anten đề xuất với hai búp sóng đối xứng nhau.



Hình 9. Tỷ số phân cực của Anten mảng

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất anten mới nhỏ gọn sử dụng kỹ thuật quay tuần tự cấu trúc và pha. Anten được thiết kế ở tần số trung tâm 5,8 GHz; tăng ích lớn nhất 8,1 dBi; độ rộng băng thông 34,4%; độ rộng băng thông phân cực tròn 25,8% (3 dB-AR); góc phân cực tròn rộng xấp xỉ 60° tại dải tần 5,5 đến 5,8 GHz là điểm nổi bật của anten mảng. Kết quả mô phỏng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn trên cơ sở

phần mềm CST. Với những ưu điểm của anten này có thể ứng dụng cho các thiết bị vô tuyến, ngoài ra cũng hữu ích cho hệ thống thu năng lượng sóng điện từ, hệ thống định vị và theo dõi truy vết đối tượng di động sử dụng công nghệ vô tuyến. Để đảm bảo nguyên lý tạo ra anten phân cực tròn băng thông rộng, bài báo đã đề xuất ghép anten trên một mặt phẳng giúp kích thước nhỏ gọn hơn so với các đề xuất trước đây.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Szumny, K. Kurek, and J. Modelski, "Attenuation of multipath components using directional Antennas and circular polarization for indoor wireless positioning systems," in *2007 European Radar Conference*, Munich, Germany, Oct. 2007, pp. 401–404, doi: 10.1109/EURAD.2007.4405022.
- [2] S. Gao, Q. Luo, and F. Zhu, *Circularly polarized Antennas*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Inc, 2014.
- [3] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband microstrip Antennas*. Boston, Mass.: Artech House, 2003.
- [4] T. Tasuku and T. Nasato, "Wideband circularly polarised array Antenna with sequential rotations and phase shifts of elements," in *ISAP*, Tokyo, Japan, 1985, pp. 117–120.
- [5] J. Huang, "A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 34, no. 9, pp. 1113–1124, Sep. 1986, doi: 10.1109/TAP.1986.1143953.
- [6] C.-L. Tang, J.-Y. Chiou, and K.-L. Wong, "Beamwidth enhancement of a circularly polarized microstrip Antenna mounted on a three-dimensional ground structure," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 32, no. 2, pp. 149–153, Jan. 2002, doi: 10.1002/mop.10116.
- [7] J.R. James and P.S. Hall, Eds, *Handbook of microstrip Antennas*. London, U.K: P. Peregrinus on behalf of the Institution of Electrical Engineers, 1989.
- [8] W.-S. Lee, K.-S. Oh, and J.-W. Yu, "A wideband circular polarized planar monopole Antenna array with circular polarized and band-notched characteristics," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 128, pp. 381–398, 2012, doi: 10.2528/PIER12040307.
- [9] T. Cao, H.S. Vu, M.T. Le, and T.D. Bui, "Left Hand and Right Hand Circularly Polarized Antenna for 5G Devices", presented at the International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems, Hanoi, Vietnam, Apr. 2021.
- [10] Y. Luo, Q.-X. Chu, and L. Zhu, "A Low-Profile Wide-Beamwidth Circularly-Polarized Antenna via Two Pairs of Parallel Dipoles in a Square Contour," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 3, pp. 931–936, Mar. 2015, doi: 10.1109/TAP.2014.2387438.
- [11] S. Maddio, "A circularly polarized Antenna array with a convenient bandwidth- size ratio based on non-identical disc elements," *Prog. Electromagn. Res. Lett.*, vol. 57, pp. 47–54, 2015, doi: 10.2528/PIERL15081703.

- [12] Bùi Thị Duyên, Ngô Văn Đức, Lê Minh Thùy, and NGuyễn Quốc Cường, "Mô phỏng một số khả năng điều chỉnh đồ thị bức xạ cho dipole Antenna vi dải băng thông rộng," in *Kỷ yếu hội nghị khoa học kỹ thuật đo lường toàn quốc lần thứ sáu*, May 2015, pp. 1002–1008.
- [13] T.D. Bui, Q.C. Nguyen, and M.T. Le, "Novel wideband circularly polarized Antenna for wireless applications," in *Microwave Conference (APMC), 2017 IEEE Asia Pacific*, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 2017, pp. 430–433, doi: 10.1109/APMC.2017.8251472
- [14] T. M. Cao, T. Hoang Thi Phuong, and T. D. Bui, "Circularly polarized Antenna array based on hybrid couplers for 5G devices", *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 3, 2021.
- [15] Bùi thị Duyên, Nguyễn Trì, "Anten phân cực tròn băng thông rộng ứng dụng cho các thiết bị vô tuyến" *Journal of military science and technology*, Special Issue -No 73, 06- 2021, pp. 65-73 , ISSN 1859 - 1043.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Bùi Thị Duyên tốt nghiệp đại học ngành Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ ngành Tự động hóa năm 2007, nhận bằng tiến sĩ ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa năm 2020 tại Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả là giảng viên Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống đo lường điều khiển, thiết kế các hệ thống nhúng ứng dụng trong điều khiển và tự động hóa, mạng cảm biến không dây, anten và mạch cao tần.



Tác giả Hoàng Thị Phương Thảo tốt nghiệp đại học ngành Điện tử viễn thông năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ ngành Khoa học Điện tử viễn thông năm 2007 và nhận bằng Tiến sĩ ngành Kỹ thuật viễn thông năm 2019 tại Đại học Bách Khoa Nội. Hiện nay, tác giả là giảng viên Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: anten và các phần tử siêu cao tần, thông tin vô tuyến thế hệ mới.