

## ANTEN MẢNG BÚP SÓNG HÌNH DẢI QUẠT RỘNG ỨNG DỤNG NGOÀI TRỜI

### A WIDE FAN BEAM ANTENNA ARRAY FOR OUTDOOR APPLICATIONS

Nguyễn Trì<sup>1</sup>, Bùi Thị Duyên<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Khoa học và Công nghệ quân sự

<sup>2</sup>Trường Đại Học Điện Lực

Ngày nhận bài: 08/8/2022, Ngày chấp nhận đăng: 24/8/2022, Phản biện: TS. Nguyễn Ngọc Lan

#### Tóm tắt:

Bài báo trình bày anten mảng mới độ lợi cao, băng thông rộng ứng dụng cho các thiết bị vô tuyến ngoài trời ở tần số trung tâm 5GHz. Mảng anten được đề xuất gồm có mảng phẳng  $2 \times 9$  phần tử và một mặt phản xạ. Anten đề xuất có độ lợi cực đại là 15,7dBi và độ rộng băng thông là 2GHz từ 4,0 GHz đến 6,0GHz ứng với S11 nhỏ hơn 10dB. Độ rộng búp sóng theo phương dải quạt là  $240^\circ$  ứng với độ lợi lớn hơn 2dBi. Kích thước tổng của anten là  $31,5 \times 13,4 \times 1,2 \text{cm}^3$  và được chế tạo từ chất nền RO4003C. Anten đã được chế tạo và đo kiểm, kết quả đo tương đồng với kết quả mô phỏng.

#### Từ khóa:

Anten mảng, anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in, búp sóng hình dải quạt, mạng tiếp điện nối tiếp.

#### Abstract:

This paper introduces a novel high gain and wideband antenna array at 5 GHz for outdoor applications. The proposed array consists of a  $2 \times 9$  elements planar array and a reflector. This antenna has a gain peak of 15.7 dBi and a bandwidth of 2 GHz from 4.0 GHz to 6.0 GHz. The angle coverage of  $240^\circ$  in the azimuth plane with gain 2dBi higher. The total dimension of the antenna array is  $31.5 \times 13.4 \times 1.2 \text{cm}^3$  which is fabricated on RO4003C substrate. The antenna has been fabricated and measured, the measurement and the simulation results are in good agreement.

#### Keywords:

Planar array, printed dipole-Yagi antenna, fan beam, series feed.

### 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay, truyền thông không dây Wi-Fi ngày càng phổ biến dựa trên chuẩn IEEE 802n/ac tại dải tần 5GHz, mạng cục bộ không dây (WLANs-Wireless local area networks), mạng cá nhân (PAN-Personal area network), mạng giao tiếp tầm gần chuyên dụng (DSRC-Dedicated short range communication) [1-2]. Các điểm truy cập ngoài trời có anten gắn trên

tường hoặc gần những nơi công cộng, các máy quay truyền hình ảnh không dây trực tiếp, hệ thống giao thông thông minh, các thiết bị tự hành không người lái [3-4]. Những ứng dụng này đều cần có anten với giá thành thấp, gọn nhẹ, độ lợi cao, băng thông rộng. Nếu muốn truyền tin quảng bá theo phương ngang và trải rộng, thường sử dụng anten đa hướng. Để truyền xa cần phát công suất có cường độ

lớn vì độ lợi của loại này lớn nhất là 2dBi. Muốn truyền xa, rộng, nhanh yêu cầu độ lợi cao, băng thông rộng và góc phủ lớn [5-8] hoặc dạng MIMO để tăng góc phủ [9] hoặc dùng anten thông minh cũng là một giải pháp [10-11] nhưng hệ sẽ phức tạp. Như vậy, anten có độ lợi cao và vùng phủ rộng là cần thiết cho các ứng dụng ngoài trời như đã kể trên.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất anten gọn nhẹ, độ lợi cao, băng thông rộng và có búp sóng dải quạt tạo độ phủ rộng theo phương ngang. Anten đề xuất có độ lợi lớn nhất là 15,7 dBi và độ rộng băng thông 2 GHz đạt 40%. Độ rộng búp sóng ứng với vùng có độ lợi lớn hơn 3dBi là 240°. Anten phần tử là loại lưỡng cực dẫn xạ mạch in gọn nhẹ, đơn giản, hiệu suất cao được chế tạo dựa trên chất nền Roger4003C. Anten đề xuất dễ lắp đặt, tích hợp vào các thiết bị vô tuyến.

Trình tự của bài báo gồm ba mục: mục 1 mở đầu; mục 2 trình bày cơ sở lý thuyết, cấu trúc và thiết kế chế tạo anten phần tử và anten mảng; kết quả mô phỏng và đo của anten. Trong mục 3 là kết luận của bài báo.

## 2. THIẾT KẾ ANTEN MẢNG BÚP SÓNG HÌNH DẢI QUẠT

### 2.1. Anten phần tử lưỡng cực dẫn xạ mạch in

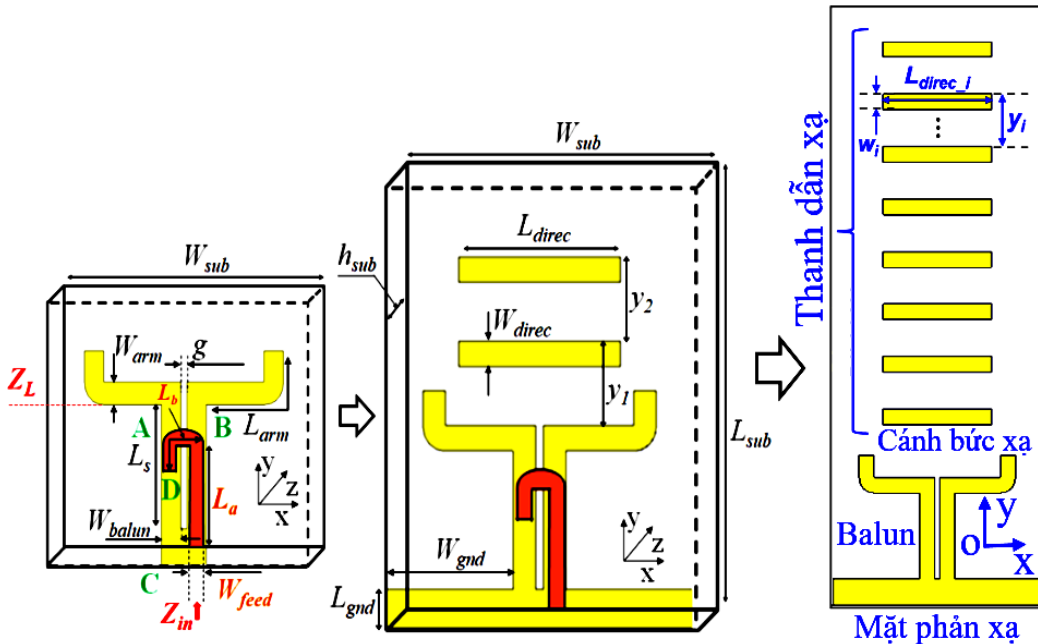
Anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in được lựa chọn thiết kế trong bài báo này bắt nguồn từ ý tưởng của anten lưỡng cực với bộ cân bằng tín hiệu (gọi là balun) ở đầu ra 2 cực anten của W.Roberts [12]. Chúng tôi đã đề xuất bộ tạo cân bằng tín hiệu vi dải ở

đầu ra dựa trên nguyên lý balun dây của W.Roberts. Cấu trúc của anten phần tử bao gồm anten lưỡng cực mạch in nửa bước sóng hai cánh bức xạ uốn cong giúp giảm kích thước chiều ngang và hai chân tử dẫn xạ được thêm vào phía trước song song với cánh bức xạ. Anten phần tử được mô tả như hình 1 tạo thành anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in. Khoảng cách giữa các chân tử dẫn xạ và cánh bức xạ thường  $(0,1 \div 0,35)\lambda_0$  [13]. Anten sử dụng nền Rogers 4003C với độ từ thẩm 3,55, bề dày chất nền là 0,8mm và có tổn hao nhỏ. Anten được mô phỏng dựa trên phần mềm CST phương pháp phần tử hữu hạn, thực hiện khảo sát sơ bộ anten phần tử với số lượng các thanh dẫn xạ khác nhau ( $n = 0 - 9$ ). Đặc điểm của anten lưỡng cực dẫn xạ vẫn duy trì các tính chất của anten dẫn xạ thông thường, khi tăng số thanh dẫn xạ thì độ lợi cũng tăng theo. Việc tối ưu anten lưỡng cực dẫn xạ làm các tham số như  $L_{gnd}$ ,  $L_{arm}$ ,  $L_{feed}$ ,  $g$ ,  $W_{arm}$ ,  $L_{direc}$  thay đổi không đáng kể khi tăng số chân tử dẫn xạ  $y_i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ). Kết quả về băng thông và độ lợi được biểu diễn trong Bảng 2, độ lợi càng cao thì kích thước của anten càng lớn.

Kết quả khảo sát về độ lợi và băng thông được trình bày trong Bảng 1. Qua khảo sát, với  $n$  lớn hơn 2 độ lợi tăng nhưng kích thước chiều cao của anten cũng tăng, xét đến bất lợi về kích thước nên bài báo đã lựa chọn anten phần tử có số lượng thanh dẫn xạ là  $n = 2$  gọi là LC-DX2. Các tham số của LC-DX2 được lựa chọn dựa trên mô phỏng sao cho độ lợi tốt nhất tại tần số 5GHz và được thể hiện ở bảng 2.

Anten với LC- DX2 có hai thanh dẫn xạ đạt được độ lợi là 7,64 dBi tại 5GHz, độ rộng băng thông là 500MHz và có hiệu suất bức xạ trên 96,2%. Anten phân tử có

kích thước là  $29 \times 37 \times 0,8 \text{ mm}^3$ . Kết quả mô phỏng S11 và giản đồ bức xạ hai chiều của anten được thể hiện trong hình 2 và hình 3.



Hình 1. Hình ảnh nguyên lý và chế tạo của anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in

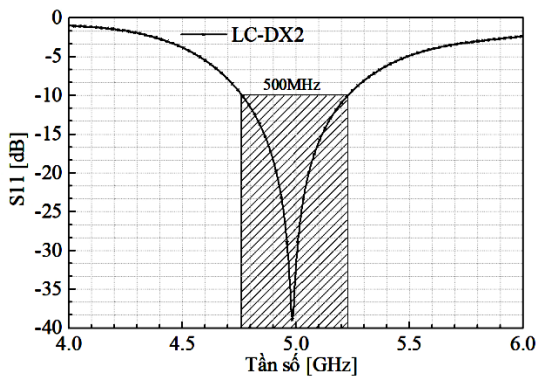
Bảng 1. Bảng thông và độ lợi của anten lưỡng cực dẫn xạ mạch in khi thay đổi số lượng chấn từ dẫn xạ (n) tại tần số trung tâm 5GHz

| n | BW [MHz] | Độ lợi [dBi] |
|---|----------|--------------|
| 0 | 770      | 6,03         |
| 1 | 592      | 7,00         |
| 2 | 500      | 7,64         |
| 3 | 450      | 8,18         |
| 4 | 820      | 8,43         |
| 5 | 580      | 8,77         |
| 6 | 470      | 9,28         |
| 7 | 450      | 9,64         |
| 8 | 588      | 9,81         |
| 9 | 582      | 9,89         |
| 5 | 580      | 8,77         |

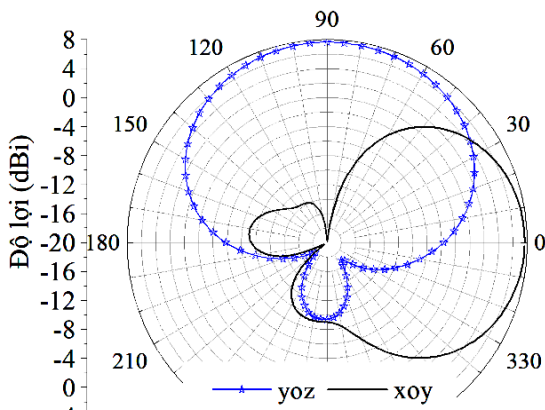
Bảng 2. Các tham số của anten LC-DX2 tại 5GHz

Đơn vị mm

| Tham số      | Giá trị | Tham số     | Giá trị               |
|--------------|---------|-------------|-----------------------|
| $L_{arm}$    | 11,4    | $y_1$       | 7 ( $0,15\lambda_g$ ) |
| $W_{arm}$    | 2,1     | $y_2$       | 7 ( $0,15\lambda_g$ ) |
| $L_s$        | 8,0     | $L_{gnd}$   | 3,5                   |
| $g$          | 0,7     | $W_{gnd}$   | 12,0                  |
| $h_{sub}$    | 0,8     | $W_{balun}$ | 2,1                   |
| $L_{sub}$    | 37,0    | $L_a$       | 10,1                  |
| $W_{sub}$    | 29,0    | $L_b$       | 8,0                   |
| $L_{direct}$ | 15,0    | $W_{feed}$  | 2,1                   |
| $W_{direct}$ | 2,1     |             |                       |



Hình 2. Hệ số S11 của anten phần tử LC-DX2



Hình 3. Giản đồ bức xạ hai chiều của LC-DX2 theo mặt phẳng xoy và yoz

## 2.2. Mạng tiếp điện cho anten mảng

Bài báo đề xuất anten mảng gồm hai mảng con, mỗi mảng gồm 9 phần tử LC-DX2 được bố trí trên một đường thẳng theo trục ox là mảng tuyến tính. Mạng tiếp điện trong mảng con là nối tiếp được trình bày trong hình 4. Giản đồ bức xạ của mảng được hình thành dựa trên giản đồ bức xạ của anten phần tử và hệ số mảng thể hiện trong công thức (1) [9].

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kdcos\theta+\beta)} \quad (1)$$

Trong đó, k là hệ số truyền sóng, d  $\approx$

0,583 $\lambda$  là khoảng cách giữa các phần tử và  $\beta = 2\pi$  là độ lệch pha giữa các phần tử trong mảng con, N là số phần tử trong mảng con (N=9). Mảng con có kích thước tổng là 315 $\times$ 60 $\times$ 0,8 mm<sup>3</sup>.

Đầu vào mạng tiếp điện cho mảng con là  $Z_{in} = Z_0 = 50 \Omega$ , theo nguyên tắc của bộ chia nguồn hình chữ T thì  $Z_1 = 35,36 \Omega$ , với đoạn chuyển đổi một phần tư bước sóng ( $\lambda/4$ ). Qua quá trình mô phỏng tối ưu đường truyền sóng, các bề rộng đường truyền có giá trị như sau  $W_1 = 1,75$  mm ;  $W_2 = 2,9$  mm; d = 35 mm. Mảng con gồm 9 $\times$ 1 phần tử mắc nối tiếp tạo đồ thị bức xạ có độ lợi là 14,2 dBi, để tăng độ định hướng cũng như nâng cao độ lợi cho mảng con, tác giả đề xuất thêm một mặt phản xạ đặt cách mảng h = 12,17 mm. Mảng con khi cho thêm một mặt phẳng phản xạ ở dưới mảng thì độ lợi tăng lên là 15,3 dBi, độ rộng búp sóng theo phương dải quạt là  $\sim 90^\circ$ , do đó muốn búp rộng hơn cần ghép MIMO như công bố trước của tác giả [9].

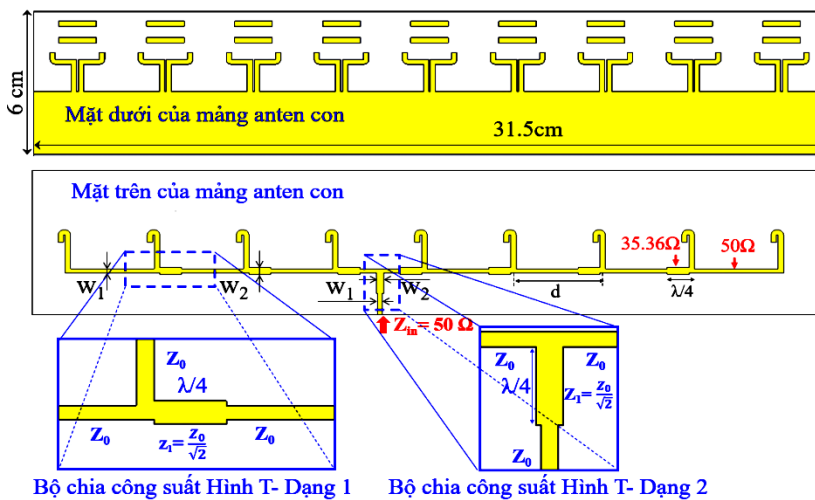
Để vùng phủ rộng hơn, hệ đỡ phức tạp hơn tác giả đã ghép hai mảng con song song tạo thành một mảng anten được trình bày như hình 5. Trở kháng vào của mảng là 50  $\Omega$ , mảng sử dụng bộ chia nguồn hình chữ T để cấp nguồn cho hai mảng con như hình dưới đây. Để nâng cao độ lợi cho mảng cũng như tăng tính định hướng của giản đồ bức xạ, chúng tôi đã sử dụng một mặt phẳng phản xạ dựa trên chất nền rẻ hơn RO4003C là FR4. Mặt phản xạ có kích thước chiều dài và chiều rộng bằng mảng anten, được đặt cách mảng anten một khoảng là h=12,17mm

như hình 5. Mảng Anten và mặt phẳng phản xạ có kích thước tổng là  $31,5 \times 13,4 \times 1,217 \text{ cm}^3$ .

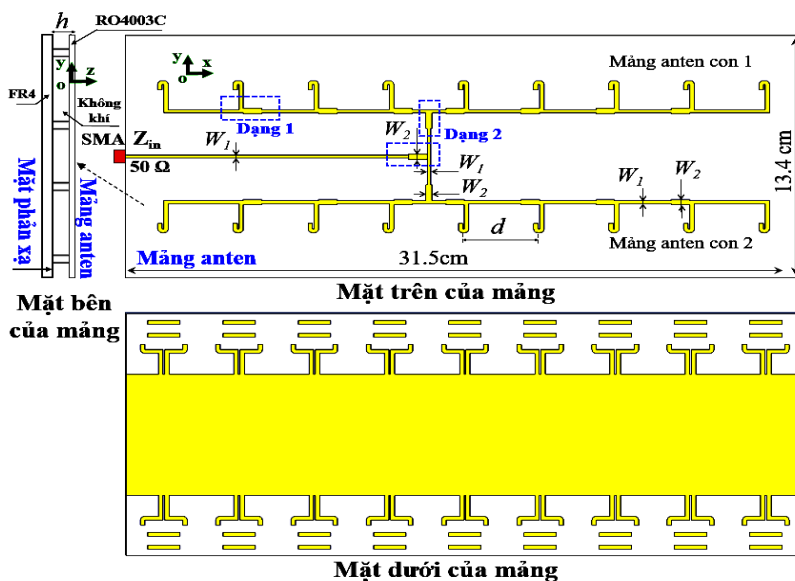
### 2.3. Kết quả mô phỏng và kết quả đo mảng Anten đề xuất

Mảng Anten đã được chế tạo và đo kiểm bằng máy VNA được thể hiện trên hình 6 và hình 7. Kết quả đo S11 khá tương đồng so với kết quả mô phỏng với độ rộng băng

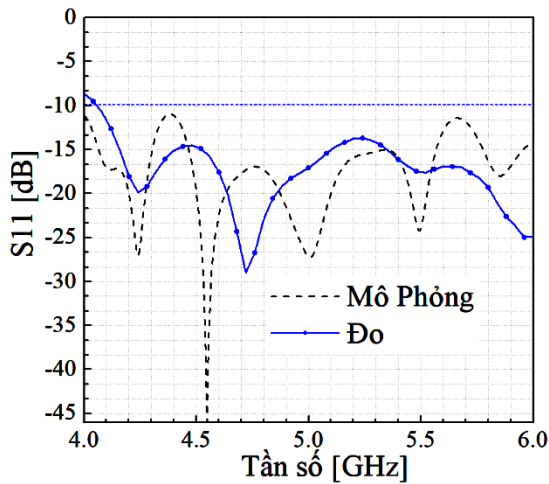
thông hơn 2GHz ( $S_{11} < -10\text{dB}$ ). Tại 5GHz giản đồ bức xạ hai chiều của Anten mảng có kết quả mô phỏng như trên hình 8 và hình 9; với độ lợi lớn nhất là 15,7 dBi, độ rộng theo phương dài quạt tính với độ lợi lớn hơn 2dBi (bằng độ lợi của Anten đa hướng) có góc phủ rộng  $240^\circ$ . Giản đồ bức xạ ba chiều của mảng Anten được thể hiện trên hình 10 và hình 11; với hiệu suất bức xạ đạt 85,8%.



Hình 4. Cấu trúc mảng Anten con 9 phần tử đề xuất



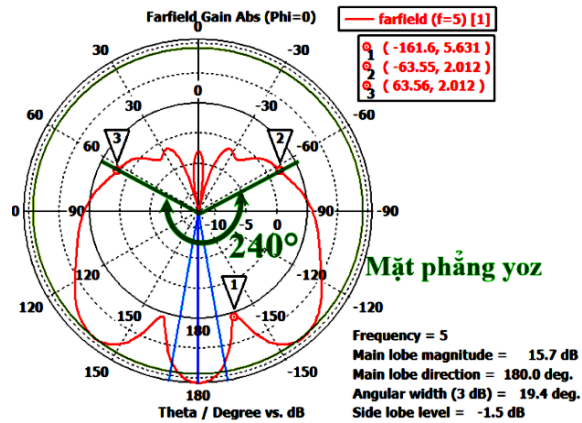
Hình 5. Cấu trúc mảng Anten đề xuất



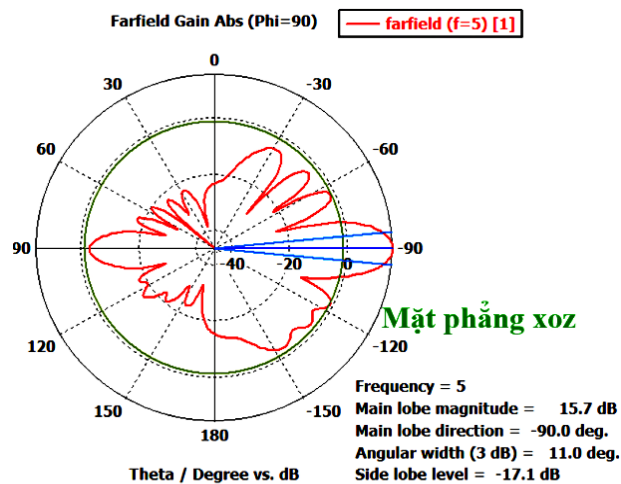
Hình 6. Hệ số S11 mô phỏng và đo



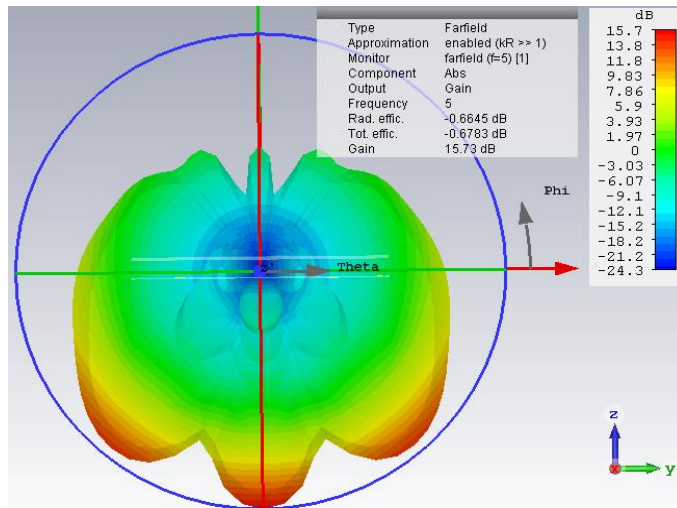
Hình 7. Hình ảnh đo Anten mảng bằng máy VNA



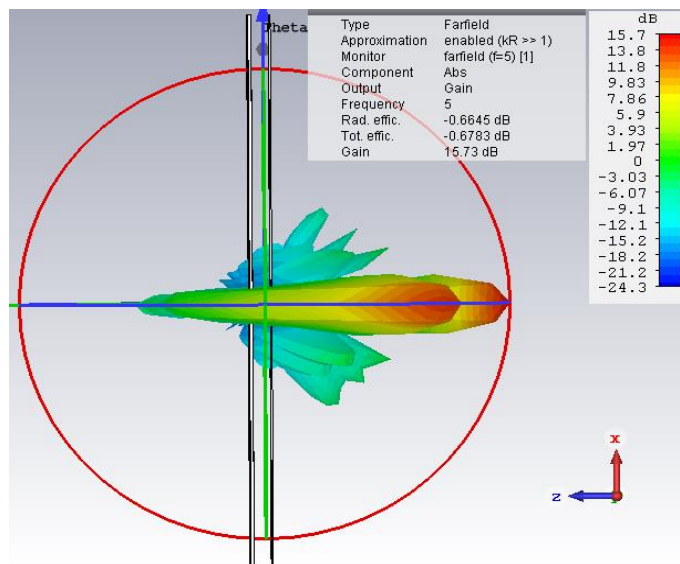
Hình 8. Giản đồ bức xạ hai chiều của mảng theo mặt phẳng yoz



Hình 9. Giản đồ bức xạ hai chiều của mảng theo mặt phẳng xoz



Hình 10. Giản đồ bức xạ ba chiều của mảng theo mặt phẳng xoz



Hình 11. Giản đồ bức xạ ba chiều của mảng theo mặt phẳng yoz

### 3. KẾT LUẬN

Mảng Anten mới chúng tôi đề xuất đã được chế tạo với điểm nổi bật là độ lợi cao 15,7dBi, băng thông rộng 2GHz và vùng phủ khi sử dụng mảng Anten trên rộng với độ lợi lớn hơn 240°. Do đó, Anten mảng đề xuất ứng dụng phù hợp cho truyền thông quảng bá và truyền tin dạng hình ảnh trực tuyến cho các hệ thống

viễn thông ngoài trời. Anten mảng được thiết kế nhỏ gọn dễ lắp đặt tích hợp vào các trang thiết bị vô tuyến. Mẫu Anten mảng đề xuất đã được thực hiện thử nghiệm ở ngoài trời với hiệu suất tốt. Mảng Anten đề xuất được thiết kế cần thiết cho các trang thiết bị vô tuyến ứng dụng Wi-Fi ngoài trời tại dải tần phổ biến hiện nay.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, 'IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks', IEEE Commun. Mag., vol. 35, no. 9, pp. 116–126, Sep. 1997, doi: 10.1109/35.620533.
- [2] Hyunseo Oh, Chungil Yae, Donghyon Ahn, and Hanberg Cho, '5.8 GHz DSRC packet communication system for ITS services', in Gateway to 21st Century Communications Village. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th Vehicular Technology Conference (Cat. No.99CH36324), Amsterdam, Netherlands, 1999, pp. 2223–2227 vol.4. doi: 10.1109/VETECF.1999.797333.
- [3] A. Nesic, V. Brankovic, D. Krupezevic, M. Ratni, and D. Nesic, 'Broadband printed high gain antenna with wide angle radiation in azimuth', in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2001 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.01CH37229), Boston, MA, USA, 2001, vol. 2, pp. 468–471. doi: 10.1109/APS.2001.959763.
- [4] C.-A. Yu et al., '24 GHz Horizontally Polarized Automotive Antenna Arrays With Wide Fan Beam and High Gain', IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 67, no. 2, pp. 892–904, Feb. 2019, doi: 10.1109/TAP.2018.2880099.
- [5] A. Nesic, V. Brankovic, D. Krupezevic, M. Ratni, and D. Nesic, 'Dipole feed arrangement for corner reflector antenna', US6940470B2, Jul. 31, 2001
- [6] M. NaghshvarianJahromi, M. NejatiJahromi, and A. Falahti, 'Dual-band fan-beam array antenna for GSM900, DECT and 3G wireless applications', in 2011 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications, Torino, TBD, Italy, Sep. 2011, pp. 524–527. doi: 10.1109/APWC.2011.6046779.
- [7] A. Falahati, M. NaghshvarianJahromi, and R. M. Edwards, 'Wideband Fan-Beam Low-Sidelobe Array Antenna Using Grounded Reflector for DECT, 3G, and Ultra-Wideband Wireless Applications', IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 61, no. 2, pp. 700–706, Feb. 2013, doi: 10.1109/TAP.2012.2226224.
- [8] T. The Toan, N. Minh Tran, and T. Vu Bang Giang, 'A low sidelobe fan-beam series fed linear antenna array for IEEE 802.11ac outdoor applications', in 2017 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), Quy Nhon, Oct. 2017, pp. 161–165. doi: 10.1109/ATC.2017.8167609.
- [9] B. Thi Duyen, L. Minh Thuy, and N. Quoc Cuong, 'High gain antenna with wide angle radiation for modern wireless communication applications', in International Conference on Advanced Technologies for Communications, Quy Nhon, Oct. 2017, pp. 39–42. doi: 10.1109/ATC.2017.8167638.
- [10] C. A. Balanis and P. I. Ioannides, 'Introduction to Smart Antennas', Synthesis Lectures on Antennas, vol. 2, no. 1, pp. 1–175, Tháng Một 2007, doi: 10.2200/S00079ED1V01Y200612ANT005.
- [11] B. T. Duyen, H. T. Phuong Thao, L. Minh Thuy, and N. Quoc Cuong, 'Design of a beam steering antenna array using 8x8 butter matrix for indoor positioning system', Electromagnetics, vol. 40, no. 7, pp. 500–514, Oct. 2020, doi: 10.1080/02726343.2020.1824313.
- [12] W. Roberts, 'A New Wide-Band Balun', Proceedings of the IRE, vol. 45, no. 12, pp. 1628–1631, 1957, doi: 10.1109/JRPROC.1957.278293.
- [13] Phan Anh, Lý thuyết và kỹ thuật anten. nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2007.



### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Trì tốt nghiệp đại học chuyên ngành kỹ thuật đo và tin học công nghiệp năm 2004 tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành tự động hóa năm 2015 tại Học viện kỹ thuật quân sự. Hiện nay tác giả là nghiên cứu viên của Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Bộ Quốc phòng.

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, hệ thống giám sát cảnh báo tự động trong quân sự.



Tác giả Bùi Thị Duyên tốt nghiệp đại học chuyên ngành kỹ thuật đo và tin học công nghiệp năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành tự động hóa năm 2007; nhận bằng tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điều khiển và tự động hóa năm 2020 tại Trường 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.