

ANTEN LƯỠNG CỰC ĐIỀU CHỈNH TẦN SỐ CÓ HỆ SỐ TĂNG ÍCH CAO ỨNG DỤNG CHO CÁC THIẾT BỊ VÔ TUYẾN CẦM TAY

A HIGH GAIN DIPOLE ANTENNA WITH TUNED FREQUENCY FOR HANDSETS

Phạm Duy Phong, Hoàng Thị Phương Thảo

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 12/03/2020, Ngày chấp nhận đăng: 10/06/2020, Phản biện: TS. Phan Xuân Vũ

Tóm tắt:

Bài báo trình bày một thiết kế anten lưỡng cực có thể điều chỉnh tần số với hệ số tăng ích cao. Bằng cách thêm phần tử phản xạ, anten có kích thước nhỏ gọn ($95,5 \times 50,3 \times 0,8 \text{ mm}^3$) nhưng có độ định hướng cao, hệ số khuếch đại của anten đạt lên tới 5,35 dBi ở tần số 1,8 GHz. Anten có thể được điều chỉnh tự động giữa hai băng tần công tác xung quanh tần số 1,8 GHz và 2,1 GHz nhờ vào chuyển mạch điốt PIN được tích hợp vào phần tử bức xạ. Anten được thiết kế trên nền đế điện môi RO 5880 và mô phỏng bằng phần mềm CST. Quá trình thiết kế anten được trình bày đầy đủ trong bài báo.

Từ khóa:

Anten dipole, anten lưỡng cực, anten tái cấu hình.

Abstract:

The paper presents a design of tuned frequency dipole antenna with high gain. By adding a reflective element, the antenna has a small size of $95.5 \times 50.3 \times 0.8 \text{ mm}^3$, but it has high gain. The antenna gain achieves 5.35 dBi at frequency of 1.8 GHz. It can be automatically adjusted to operate at two operating bands of 1.8 GHz and 2.1 GHz thanks to two diodes integrated into the radiation element. The antenna is designed on RO 5880 substrate and simulated by CST software. The antenna design steps are detail presented in the paper.

Keywords:

Anten dipole, tuned frequency antenna, reconfigurable antenna.

1. MỞ ĐẦU

Trong một số ứng dụng cần quét để dò tìm sóng điện từ hoặc phát sóng công suất lớn cho khoảng cách xa trong một hướng hẹp ở một vài dải tần nhất định, anten cho các thiết bị thu phát sóng trong các ứng dụng như vậy cần phải có hệ số tăng ích cao, búp sóng hẹp và kích thước nhỏ gọn. Trong đó, anten mảng có hệ số tăng ích

cao, tuy nhiên sử dụng anten mảng sẽ làm tăng kích thước, giá thành và độ phức tạp của thiết bị [1-3]. Anten đơn cho kích thước nhỏ gọn, đơn giản hơn nhưng vẫn đề cải thiện hệ số tăng ích vẫn là một thách thức cho các nhà thiết kế anten. Ngoài ra, để hoạt động ở vài dải tần khác nhau, cần phải tích hợp nhiều anten đơn bằng cùng một lúc hoặc sử dụng anten

băng rộng, anten đa băng trong một thiết bị. Việc sử dụng nhiều anten đơn băng sẽ làm tăng giá thành và kích thước của thiết bị, còn nếu sử dụng anten đa băng hay băng rộng sẽ làm cấu trúc bộ lọc trở nên phức tạp [4]. Bên cạnh đó, băng thông anten càng rộng sẽ càng làm giảm hệ số tăng ích của anten. Vì thế, một anten đơn băng hẹp có thể điều chỉnh tự động băng tần hoạt động, có kích thước nhỏ gọn và hệ số tăng ích cao là một giải pháp tối ưu để có thể giải quyết đồng thời các yêu cầu trên. Anten có thể điều chỉnh băng tần tự động gọi là anten tái cấu hình theo tần số. Để một anten có thể đảm bảo nhiều tiêu chí cùng một lúc luôn là một thách thức cho các nhà thiết kế anten và vẫn đang cần tiếp tục được nghiên cứu.

Có một số loại anten phù hợp cho yêu cầu băng hẹp, hệ số tăng ích cao, trong đó, anten lưỡng cực vi dải là một trong những giải pháp tối ưu do đặc điểm dễ chế tạo, dễ tiếp điện, dễ tích hợp vào các mạch trong hệ thống. Bên cạnh đó, đồ thị bức xạ của anten cũng dễ dàng điều chỉnh theo mong muốn của từng ứng dụng.

Anten tái cấu hình có thể được phát triển dựa trên các anten có băng tần cố định truyền thống khác nhau, phụ thuộc vào từng yêu cầu cụ thể. Các thông số của anten tái cấu hình hầu hết đều kế thừa đặc điểm của anten băng tần cố định truyền thống, ngoại trừ việc có thể được điều chỉnh tự động băng tần. Việc điều chỉnh các băng tần làm việc được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau, trong đó phổ biến là sử dụng các chuyển mạch điốt PIN để làm thay đổi cấu trúc vật lý

của anten. Đối với anten dipole tái cấu hình theo tần số, có một số công trình được công bố trong những năm vừa qua [5-7]. Các anten tái cấu hình được trình bày trong [5-7] đều dựa vào cấu trúc anten lưỡng cực vi dải. Anten đề xuất trong [5] có kích thước phần tử bức xạ lớn hơn $32 \times 54 \text{ mm}^2$ (chưa bao gồm kích thước đế điện môi), có thể hoạt động ở 4 dải tần số khác nhau với dải tần số nhỏ nhất xung quanh 0,9 GHz. Anten có đồ thị bức xạ định hướng với hệ số tăng ích lớn nhất là 1,5 dBi. Anten trong [6] có kích thước $40 \times 70 \text{ mm}^2$, hai cấu hình tần số với dải tần thấp hơn từ 1,55 GHz đến 2,1 GHz. Hệ số tăng ích của anten tối đa là 2,56 dBi. Anten lưỡng cực vi dải đề xuất trong [7] hoạt động ở hai dải tần số, với tần số cộng hưởng trung tâm xấp xỉ 4,7 GHz và 5,0 GHz. Mặc dù tần số cao nhưng anten chỉ đạt hệ số tăng ích xấp xỉ 3,5 dBi.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một cấu trúc anten lưỡng cực nhằm đạt được hệ số tăng ích cao, búp sóng hẹp. Tiếp theo, hai điốt PIN được tích hợp vào phần tử bức xạ của anten. Bằng cách chuyển mạch điốt, chiều dài của phần tử bức xạ được thay đổi để anten có thể hoạt động ở hai cấu hình tần số khác nhau.

Anten đề xuất có kích thước $95,5 \times 50,3 \times 0,8 \text{ mm}^3$, có thể hoạt động ở hai băng tần cho sóng 3G xung quanh tần số 2100 MHz và cho 4G xung quanh tần số 1800 MHz với hệ số tăng ích đạt lần lượt là 5,35 dBi và 4,39 dBi. Anten có thể được dùng cho các thiết bị cầm tay để phát sóng công suất lớn hoặc dò tín hiệu ở các

dải tần di động 3G hoặc 4G tại Việt Nam. Anten có hệ số tăng ích cao, búp sóng hẹp nên cũng phù hợp cho các thiết bị định vị để xác định vật thể.

Phần 2 của bài báo sẽ trình bày cấu trúc và kết quả đạt được của một anten dipole truyền thống, phần 3 trình bày đề xuất cải tiến hệ số tăng ích, phần 4 về anten dipole điều chỉnh tần số, các kết quả đạt được và cuối cùng là kết luận của bài báo.

2. ANTEN BĂNG TẦN CỐ ĐỊNH

Với anten lưỡng cực mạch in thông thường, cần phải tiếp điện sao cho đảm bảo giữ được tính cân bằng về điện cho hai cánh bức xạ nhằm giữ nguyên đặc trưng của anten lưỡng cực. Để giải quyết vấn đề này, bộ tạo cân bằng tín hiệu vi dải ở đầu ra (gọi là balun) được đề xuất dựa trên nguyên lý balun dây của W. Roberts [8]. 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 dài. Trên hình 1 mô tả sơ đồ tương đương của balun và tính toán trở kháng theo các công thức (1).

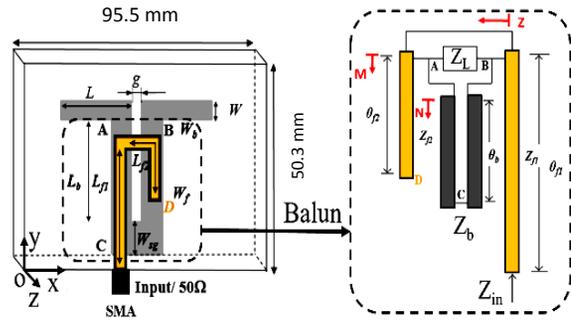
$$Z_{in} = -j \cdot Z_{f2} \cdot \cot \theta_{f2} + \frac{j \cdot Z_b \cdot \tan \theta_b \cdot Z_L}{j \cdot Z_b \cdot \tan \theta_b + Z_L} \quad (1)$$

trong đó, các thông số trong công thức được thể hiện như ở hình 1.

Để đạt được phối hợp trở kháng hoàn hảo, các tham số của balun phải thỏa mãn yêu cầu sau: $L_{f2} = L_b = \lambda/4$ hay $\theta = \theta_{f2} = \theta_b = 90^\circ$.

Anten lưỡng cực mạch dài nửa bước sóng

được thiết kế tại tần số trung tâm 1,8 GHz trên chất nền Roger RO5880 với các thông số: bề dày chất nền $h = 0,8$ mm, bề dày lớp đồng $t = 0,035$ mm, hằng số điện môi $\epsilon_r = 2,2$ và hệ số suy hao điện môi $\tan \delta = 0,0004$. Kích thước tổng của anten là $95,5 \times 50,3 \times 0,8$ mm³.



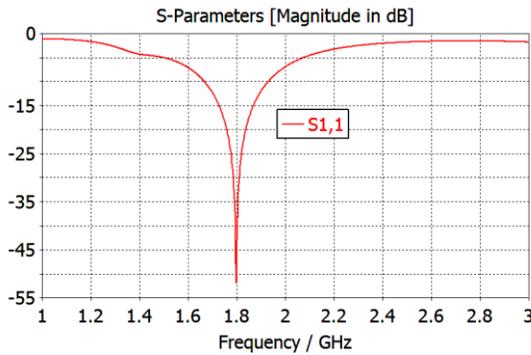
Hình 1. Cấu trúc của anten tích hợp balun hình chữ “J” và sơ đồ tương đương của balun

Các tham số kích thước chi tiết của anten đề xuất sau khi tính toán được tối ưu bằng phần mềm CST và được chỉ ra trong bảng 1.

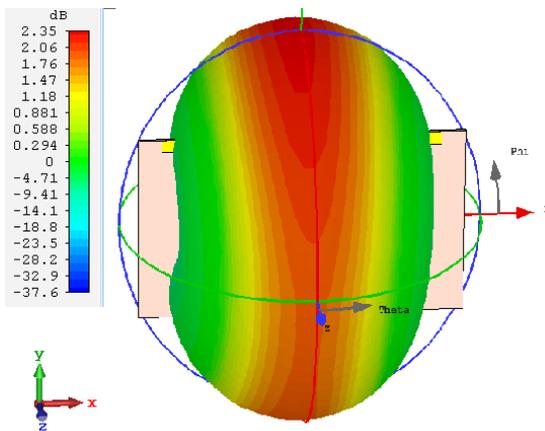
Bảng 1. Kích thước của anten (mm)

Tham số	L	W	g	L _b
Giá trị	39,5	3,5	2,5	35
Tham số	W _b	W _{sg}	L _{f1}	L _{f2}
Giá trị	3,5	12	37	20

Hình 2 và 3 lần lượt là kết quả mô phỏng tham số suy hao phản hồi và đồ thị bức xạ 3D của anten. Kết quả mô phỏng cho thấy anten cộng hưởng tốt ở tần số 1,8 GHz, đạt băng thông tính từ -10 dB là 276 MHz (từ 1660 MHz đến 1936 MHz). Hệ số tăng ích cực đại của anten đạt 2,35 dBi với hiệu suất 98%.

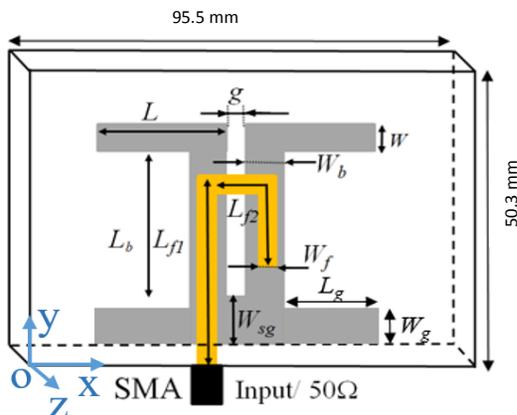


Hình 2. Kết quả mô phỏng của hệ số $|S_{11}|$ của anten



Hình 3. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ 3D của anten tại tần số 1,8 GHz

3. NÂNG CAO HỆ SỐ TĂNG ÍCH CỦA ANTEN LŨNG CỰC



Hình 4. Cấu trúc của anten lưỡng cực khi thêm phần tử phản xạ

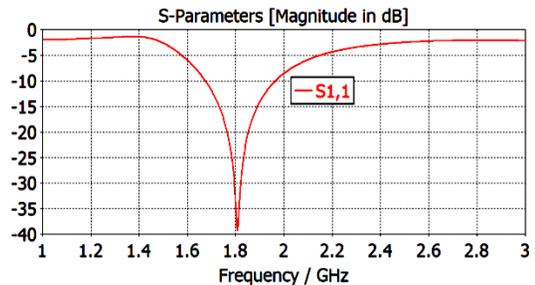
Để nâng cao hệ số tăng ích của anten trình

bày trong mục 2, một chấn tử phản xạ được đặt cách cánh bức xạ một khoảng cách bằng một phần tư bước sóng như hình 4. Do đó, giản đồ bức xạ từ đa hướng chuyển thành định hướng trực giao với cánh bức xạ.

Bảng 2. Kích thước của anten có phần tử phản xạ (mm)

Tham số	L	W	g	L_b	W_b
Giá trị	38	3,4	2,5	29,5	3,6
Tham số	W_{sg}	L_{f1}	L_{f2}	W_g	
Giá trị	12,5	34,5	20	13	

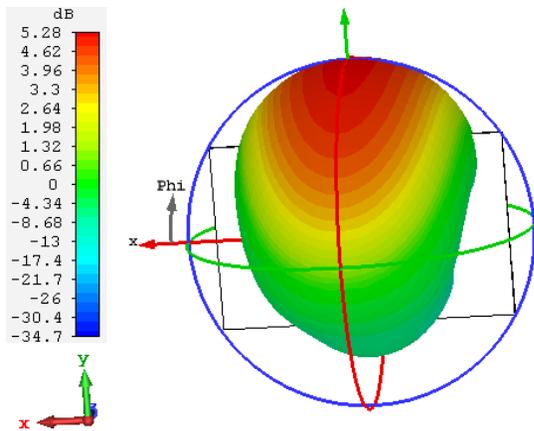
Tham số của chấn tử phản xạ được xác định thông qua nguyên lý tương hỗ. Kích thước tổng anten vẫn giữ nguyên ($95,5 \times 50,3 \times 0,8 \text{ mm}^3$). Sau khi tính toán và tối ưu, anten cải tiến có các tham số được chỉ ra ở bảng 2.



Hình 5. Kết quả mô phỏng của hệ số $|S_{11}|$ của anten tích hợp thêm phần tử phản xạ

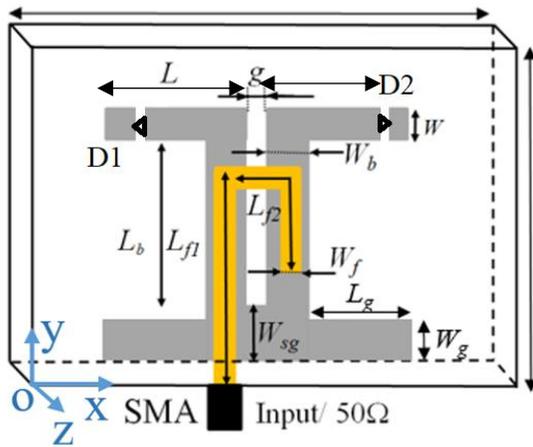
Hình 5 và 6 biểu diễn kết quả mô phỏng tham số $|S_{11}|$ và đồ thị bức xạ 3D của anten khi thêm phần tử phản xạ. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, anten vẫn cộng hưởng tốt ở tần số trung tâm 1,8 GHz, băng thông đạt 306 MHz (từ 1667 MHz đến 1973 MHz). Hệ số tăng ích của anten được cải thiện, đạt 5,28 dBi tại tần số 1,8 GHz. Như vậy, bằng cách thêm phần tử

phản xạ cho anten, hệ số tăng ích của anten đã được cải thiện thêm gần 3 dB.



Hình 6. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ 3D của anten tại tần số 1,8 GHz khi thêm phần tử phản xạ

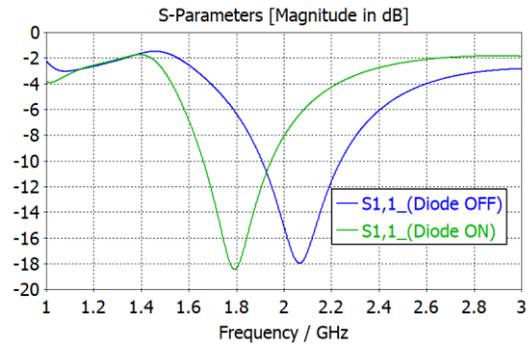
4. ANTEN LƯỢNG CỰC ĐIỀU CHỈNH TẦN SỐ



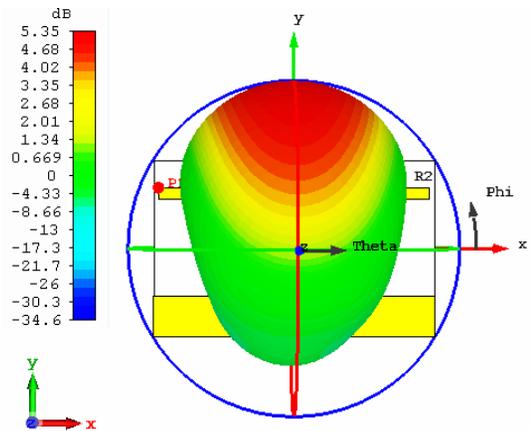
Hình 7. Cấu trúc của anten lưỡng cực tích hợp thêm chuyển mạch diốt PIN

Bảng 3. Kích thước của anten tích hợp chuyển mạch (mm)

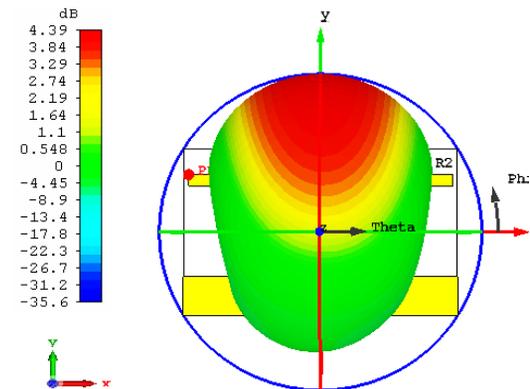
Tham số	L	W	g	L_b	W_b
Giá trị	40,8	3,6	2,4	32,4	3,6
Tham số	W_{sg}	L_{f1}	L_{f2}	W_g	L_1
Giá trị	12,5	33	19,8	12,5	31



Hình 8. Kết quả mô phỏng của hệ số $|S_{11}|$ của anten tích hợp chuyển mạch ở hai cấu hình



(a)



(b)

Hình 9. Đồ thị bức xạ 3D của anten ở hai cấu hình tần số khác nhau: (a) $f = 1,8$ GHz, (b) $f = 2,1$ GHz

Để anten có thể hoạt động thêm ở tần số 2,4 GHz, hai diốt PIN được tích hợp đối

xúng vào hai cánh bức xạ của anten như trong hình 7. Bằng cách thay đổi trạng thái “bật”, “tắt” của điốt, chiều dài cánh bức xạ của anten thay đổi, dẫn đến tần số cộng hưởng thay đổi theo. Ở cấu hình thứ nhất, khi hai điốt tắt, mỗi bên cánh bức xạ có chiều dài L_1 , khi cả hai điốt bật, mỗi cánh bức xạ có chiều dài L . Chiều dài L và L_1 được tính toán và tối ưu để anten cộng hưởng ở tần số trung tâm lần lượt là 1,8 GHz và 2,1 GHz. Hay nói cách khác, ở trạng thái hai điốt bật thì anten cộng hưởng ở tần số 1,8 GHz và ở trạng thái cả hai điốt tắt thì anten cộng hưởng ở tần số 2,1 GHz. Các bước tính toán kích thước cho anten tương tự như đối với anten được trình bày ở mục 2 và chi tiết kích thước của anten được trình bày ở bảng 3. Tuy nhiên, do anten hoạt động ở hai cấu hình tần số nên kích thước của balun được dung hòa để anten có thể được phối hợp trở kháng ở cả hai tần số. Do đó, phối hợp trở kháng cho anten và hiệu suất anten không thể tốt bằng so với trường hợp anten hoạt động ở băng tần cố định trình bày trong mục 2 và 3. Hình 8 trình bày kết quả mô phỏng hệ số suy hao phản hồi của anten ở cả hai cấu hình. Kết quả mô phỏng cho thấy, anten có thể chuyển giữa

hai cấu hình tần số 1,8 GHz và 2,1 GHz với băng thông tính từ -10 dB lần lượt là 294 MHz và 339 MHz. Hình 9 biểu diễn đồ thị bức xạ của anten ở cả hai cấu hình tần số 1,8 GHz và 2,1 GHz với hệ số tăng ích là 5,35 dBi và 4,39 dBi. Hiệu suất anten đạt 94% ở cấu hình 1,8 GHz và 68% ở cấu hình còn lại.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất một cấu trúc anten lưỡng cực có thể điều chỉnh tần số hoạt động. Bằng cách tích hợp hai chuyển mạch điốt vào phần bức xạ, anten có thể hoạt động ở hai dải tần khác nhau với tần số trung tâm lần lượt là 1,8 GHz và 2,1 GHz. Mặc dù kích thước anten nhỏ gọn nhưng vẫn đạt được hệ số tăng ích cao 5,35 dBi ở tần số 1,8 GHz và 4,39 dBi ở tần số 2,1 GHz. Anten đề xuất có thể ứng dụng cho các thiết bị cầm tay để phát tín hiệu có công suất lớn ở các dải tần trên. Anten được thiết kế trên nền đế điện môi RO5880 và được mô phỏng theo phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên phần mềm CST. Anten sẽ tiếp tục được chế tạo và đo đạc hệ số suy hao phản hồi, giản đồ bức xạ để kiểm chứng với các kết quả mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd a.b. Wiley-Interscience, 2005.
- [2] G. Lovat, P. Burghignoli, F. Capolino, và D. R. Jackson, “Bandwidth analysis of highly-directive planar radiators based on partially-reflecting surfaces”, 2006, tr 1–6, doi: 10.1109/EUCAP.2006.4584719.
- [3] X. Chen, T. M. Grzegorzczak, B.-I. Wu, J. Pacheco, và J. A. Kong, “Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials”, *Phys. Rev. E*, vol 70, số p.h 1, tr 016608, tháng 7 2004, doi: 10.1103/PhysRevE.70.016608.

- [4] Haider, N., Caratelli, D., Yarovoy, A.G.: 'Recent developments in reconfigurable and multiband antenna technology', *Int. J. Antennas Propag.*, 2013, 2013, pp. 1–14
- [5] A. Dey, A. Kiourt, G. Mumcu and J. L. Volakis, "Microfluidically reconfigured frequency tunable dipole antenna," *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Lisbon, 2015, pp. 1-2.
- [6] A. E. Zahran, M. A. Abdalla and M. H. A. El-Azeem, "Single/dual band reconfigurable metamaterial dipole loaded antenna for wireless applications," *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Fajardo, 2016, pp. 457-458.
- [7] E. Jo *et al.*, "A frequency reconfigurable slot dipole antenna using surface PIN diodes," *2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Phuket, 2017, pp. 1-2.
- [8] W. Roberts, "A New Wide-Band Balun", *Proceedings of the IRE*, vol 45, số p.h 12, tr 1628–1631, 1957, doi: 10.1109/JRPROC.1957.278293.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Duy Phong tốt nghiệp tại Trường Đại học Giao thông Vận tải ngành vô tuyến điện và thông tin liên lạc năm 2000, nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội ngành điện tử viễn thông năm 2007, nhận bằng Tiến sĩ tại Viện Nghiên cứu điện tử, tin học, tự động hóa ngành kỹ thuật viễn thông năm 2013. Hiện nay, tác giả là Phó Trưởng Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: anten và truyền sóng, thông tin vô tuyến, di động; ứng dụng điện tử, viễn thông trong điều khiển, giám sát hệ thống điện; tiếp đất, chống sét, chống ảnh hưởng của đường dây điện lực sang hệ thống thông tin, viễn thông, tín hiệu



Tác giả Hoàng Thị Phương Thảo nhận bằng Kỹ sư Điện tử viễn thông năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ Khoa học Điện tử viễn thông năm 2007 và nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật viễn thông năm 2019 tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hiện nay, tác giả là đang giảng dạy tại khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Điện lực

Lĩnh vực nghiên cứu: siêu vật liệu ứng dụng cho anten, anten tái cấu hình, anten thông minh, anten dải sóng millimeter và bộ lọc siêu cao tần ứng dụng cho hệ thống thông tin vô tuyến.

