

# GIẢM NHỎ KÍCH THƯỚC CHO ANTEN PIFA TÁI CẤU HÌNH THEO TẦN SỐ BẰNG CẤU TRÚC VÒNG CHIA CỘNG HƯỞNG

## MINIATURIZATION OF FREQUENCY RECONFIGURABLE PIFA ANTENNA USING CSRR

Hoàng Thị Phương Thảo

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 3/12/2018, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018, Phản biện: TS. Phan Xuân Vũ

### Tóm tắt:

Bài báo trình bày một cấu trúc vòng chia cộng hưởng CSRR (Complementary Split Ring Resonator) cho tần số 1,9 GHz. Đồng thời, một cấu trúc anten PIFA tái cấu hình theo tần số sử dụng chuyển mạch PIN diode nhằm tạo ra hai cấu trúc có tần số khác nhau, 1,9 GHz và 2,1 GHz. Để giảm nhỏ kích thước của anten PIFA tái cấu hình theo tần số, cấu trúc CSRR được đề xuất ở trên được tích hợp vào mặt phẳng bức xạ của anten. Với việc tích hợp cấu trúc CSRR, kích thước của anten được giảm 29 % so với kích thước cấu trúc anten ban đầu. Anten có thể ứng dụng cho LTE 1,9 GHz và 2,1 GHz hoặc trong thông tin vô tuyến nhận thức. Anten được thiết kế trên nền đế điện môi Rogers RT5880 và được mô phỏng bằng phần mềm CST.

### Từ khóa:

Anten tái cấu hình, PIFA tái cấu hình, siêu vật liệu, CSRR.

### Abstract:

This paper presents a design of Complementary Split Ring Resonator (CSRR) at resonant frequency of 1.9 GHz. Besides, a frequency reconfigurable PIFA is proposed with two configurations at 1.9 GHz and 2.1 GHz. In order to reduce its dimensions, the proposed CSRRs are loaded in the patch of the PIFA antenna. By using the CSRR, the antenna dimension is reduced by 29 % compared with the PIFA antenna without CSRR. The PIFA antenna is suitable for 1.9 GHz, 2.1 GHz LTE and cognitive radio. It is designed on Rogers RT5880 substrate and simulated by CST software.

### Key words:

reconfigurable antenna, reconfigurable PIFA, MTM, CSRR.

## 1. MỞ ĐẦU

Siêu vật liệu (metamaterials-MTMs) là một khái niệm xuất hiện từ hơn một thập kỷ qua và thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học trên toàn thế giới. Đây là loại vật liệu nhân tạo có độ từ thẩm, hằng số điện môi âm, với các cấu trúc điển hình gồm có vòng chia cộng hưởng (Split Ring Resonator), vòng chia cộng hưởng bù

CSRR (Complementary Split Ring Resonator) và cấu trúc CRLH-TL (Composite right/left handed transmission lines) dùng để tổng hợp và phân tích MTMs [1-5]. Cấu trúc CSRR lần đầu tiên được giới thiệu bởi Falcone và các cộng sự vào năm 2004 với hằng số điện môi âm. Siêu vật liệu nói chung và cấu trúc CSRR nói riêng được nghiên cứu để ứng

dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau bao gồm cả lĩnh vực siêu cao tần. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về việc áp dụng cấu trúc CSRR để giảm nhỏ kích thước của anten [6-10]. Các công trình này chủ yếu tập trung vào việc nghiên cứu các cấu trúc CSRR để giảm nhỏ cho anten có dải tần hoạt động cố định. Tuy nhiên, với đặc điểm của môi trường vô tuyến luôn thay đổi, các anten truyền thống có dải tần hoạt động cố định khó có thể thay đổi các tham số nhằm đáp ứng với môi trường kênh vô tuyến vốn thường xuyên thay đổi. Vì thế, anten tái cấu hình với khả năng tự thay đổi tần số hoạt động ở các dải tần khác nhau là một trong những giải pháp tiềm năng được sử dụng trong hệ thống thông tin vô tuyến nhận thức (Cognitive Radio - CR) để giải quyết các vấn đề về hiệu quả phổ tần, tự động chuyển đổi dải tần hoạt động, thích nghi với sự thay đổi của môi trường kênh vô tuyến [11]. Một anten tái cấu hình theo tần số có thể thay thế được bởi một số lượng anten đơn bằng cách thay đổi các cấu hình của nó nhờ vào các chuyển mạch được tích hợp vào anten [12]. Nhờ vậy, anten tái cấu hình góp phần giúp giảm nhỏ kích thước cho thiết bị vô tuyến. Tuy nhiên, vấn đề tiếp tục giảm nhỏ kích thước cho anten tái cấu hình theo tần số vẫn cần được quan tâm, nghiên cứu.

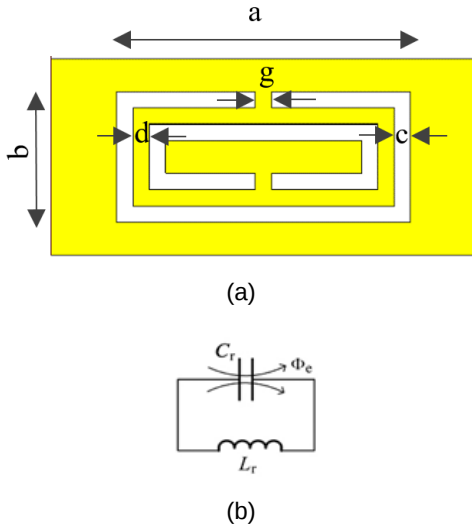
Bài báo này đề xuất một cấu trúc CSRR hình chữ nhật để cộng hưởng ở tần số 1,9 GHz. Sơ đồ tương đương của cấu trúc CSRR cũng như việc tính toán mô phỏng hằng số điện môi của cấu trúc cũng được trình bày trong bài báo để chứng minh cấu trúc đề xuất có hằng số điện môi âm.

Đồng thời, cấu trúc CSRR cũng được áp dụng vào một cấu trúc anten PIFA tái cấu hình theo tần số đề xuất nhằm chứng tỏ khả năng giảm nhỏ kích thước của cấu trúc CSRR đối với anten tái cấu hình theo tần số. Anten PIFA sử dụng 1 diôt PIN nhằm đạt hai cấu hình tần số 1,9 Hz và 2,1 Hz có thể ứng dụng cho LTE. Kích thước phần tử bức xạ của anten PIFA tái cấu hình theo tần số đạt  $27 \times 35$  mm khi chưa áp dụng cấu trúc CSRR và đạt  $24 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$  khi áp dụng cấu trúc CSRR. Việc áp dụng cấu trúc CSRR vào anten tái cấu hình cho phép anten giảm được kích thước 29 %. Anten PIFA tái cấu hình theo tần số tích hợp CSRR đạt hệ số tăng ích 2,07 dBi ở cấu hình tần số 1,9 GHz và 2,18 dBi ở cấu hình tần số 2,1 GHz. Khi tần số thay đổi giữa hai cấu hình, dạng đồ thị bức xạ của anten gần như không thay đổi.

Các phần sau của bài báo gồm: phần 2 trình bày thiết kế cấu trúc CSRR ; phần 3 trình bày về thiết kế anten PIFA tái cấu hình theo tần số và 3 về ảnh hưởng của cấu trúc CSRR trong anten PIFA tái cấu hình theo tần số đề xuất và cuối cùng là phần kết luận của bài báo.

## 2. THIẾT KẾ CẤU TRÚC CSRR

Phần này trình bày về một cấu trúc CSRR hình chữ nhật được thiết kế cho tần số cộng hưởng 1,9 GHz. Cấu trúc được phát triển dựa trên cấu trúc CSRR đơn hình vuông truyền thống. Mỗi phần tử CSRR gồm có hai khe ngược nhau được khắc trên tấm kim loại như hình 1a và có sơ đồ tương đương được biểu diễn ở hình 1b.



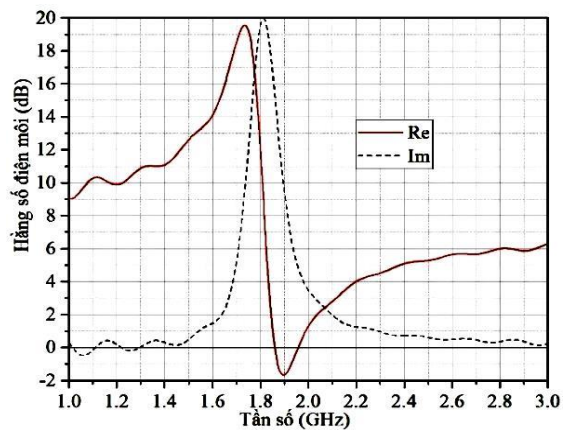
Hình 1. (a) Cấu trúc CSRR và (b) sơ đồ tương đương [1]

Tần số cộng hưởng của cấu trúc CSRR ba phần tử được tính toán xấp xỉ theo công thức (1) [1]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

trong đó,  $C_r$  đặc trưng bởi mặt kim loại được bao quanh bởi lớp đất, độ tự cảm  $L_r$  được tính toán tương đương với 1 cấu trúc CPW với kích thước  $2*(a+b)$ , độ rộng băng  $g$  và độ rộng khe  $c$ . Tuy nhiên, công thức trên chỉ có ý nghĩa về mặt định tính khi điều chỉnh tần số cộng hưởng của cấu trúc CSRR. Để thiết kế một cấu trúc CSRR áp dụng cho anten PIFA với tần số cộng hưởng mong muốn, kích thước hình học của cấu trúc CSRR được tối ưu bằng phần mềm CST với mục tiêu là hằng số điện môi âm tại tần số thiết kế. Cấu trúc một phần tử CSRR được khảo sát độc lập bằng phần mềm CST và các tham số gồm  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  được tối ưu để phần tử cộng hưởng ở tần số mong muốn. Hình 2 chỉ tham số hằng số điện môi được tính toán

từ hệ số suy hao phản hồi  $S_{11}$  và hệ số truyền đạt  $S_{12}$  khi khảo sát phần tử CSRR với mục đích áp dụng cho anten tái cấu hình PIFA theo tần số để giảm kích thước ở cấu hình tần số thấp. Với kích thước của cấu trúc CSRR sau khi tối ưu đạt  $a = 18$  mm,  $b = 8$  mm,  $c = 1$  mm,  $d = 1$  mm, tại tần số 1,9 GHz hằng số điện môi đạt giá trị âm (-2), cho thấy cấu trúc CSRR cộng hưởng ở tần số này.



Hình 2. Hằng số điện môi của cấu trúc CSRR theo tần số

### 3. THIẾT KẾ ANTEN PIFA TÁI CẤU HÌNH SỬ DỤNG ĐIỐT PIN TÍCH HỢP CẤU TRÚC CSRR

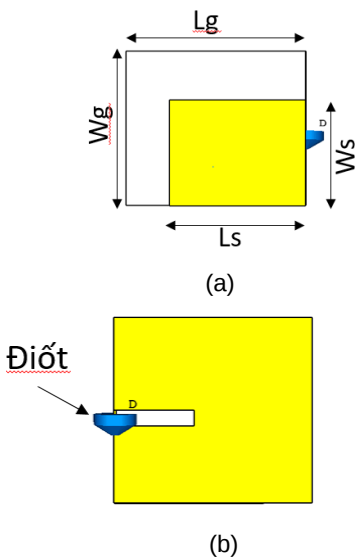
#### 3.1. Anten PIFA tái cấu hình sử dụng điốt PIN

Đầu tiên, anten PIFA hoạt động ở tần số cố định 1,9 GHz. Kích thước tổng của anten được tính toán theo công thức (2) và sau đó được tối ưu bằng phần mềm.

$$f_r = \frac{c}{4(W + L)} \quad (2)$$

trong đó,  $f_r$  là tần số cộng hưởng ở 1,9 GHz,  $c$  là vận tốc ánh sáng trong không gian tự do (m/s),  $W$ ,  $L$  lần lượt là chiều

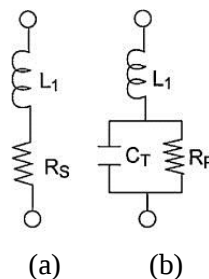
rộng và dài của phần tử bức xạ (m). Anten dựa trên cấu trúc PIFA truyền thống, anten bao gồm mặt phẳng đất có kích thước là  $W_g \times L_g = 38 \times 40$  mm, mặt phẳng bức xạ có kích thước  $W_s \times L_s = 27 \times 35$  mm, đế điện môi Rogers RT5880 với  $\epsilon = 2,2$ , chiều dày đế điện  $h_{sub}=0,8$  mm, độ cao của anten là 5 mm. Giữa mặt phẳng bức xạ và mặt phẳng đất được nối với nhau bởi tấm kim loại ngắn mạch. Tiếp theo, để tạo ra anten PIFA tái cấu hình theo tần số, ở mặt phẳng đất của anten được xẻ rãnh và được tích hợp một điốt PIN. Cấu trúc của anten tái cấu hình đề xuất như ở hình 3.



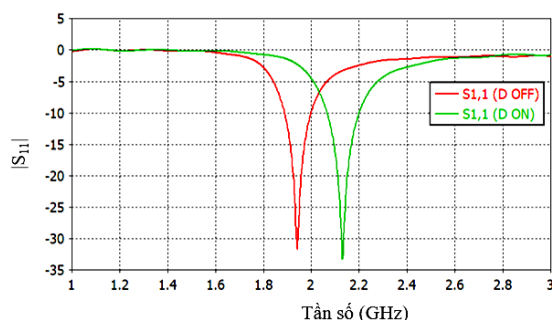
**Hình 3. Cấu trúc anten tái cấu hình không tích hợp cấu trúc CSRR: (a) Mặt trên; (b) Mặt dưới**

Anten tái cấu hình theo tần số bằng cách thay đổi trạng thái của chuyển mạch điốt ON (bật) hoặc OFF (ngắt). Trạng thái của điốt được điều khiển bằng một nguồn một chiều bên ngoài anten. Điốt được tích hợp ngay cạnh của mặt phẳng đất để nguồn cung cấp, mạch phân cực cho điốt ảnh hưởng ít nhất đến sự hoạt động của anten. Cực dương của điốt nối với mặt phẳng đất

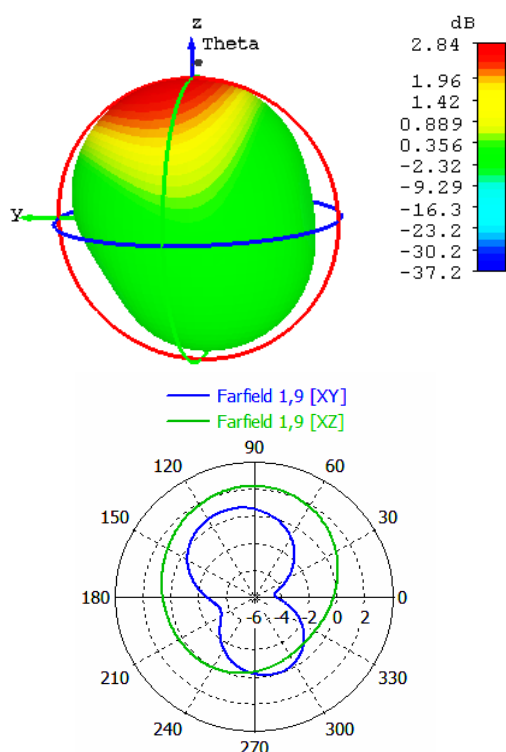
thông qua một tụ điện C nhằm ngăn dòng một chiều giữa hai cực. Ưu điểm của diode PIN đó là nguồn cấp một chiều cho diode bé, chỉ từ 3-5 V, suy hao thấp, độ cách ly tốt, đặc biệt là giá thành rẻ và tốc độ chuyển mạch nhanh (cỡ từ 1-100 ns), nhanh nhất so với tất cả các loại chuyển mạch khác [7]. Vì vậy, điốt PIN hiện nay được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng vô tuyến. Điốt được sử dụng trong thiết kế này là SMP1345 PIN với các giá trị điện trở, tụ điện và cuộn cảm là  $R_S = 2 \Omega$ ,  $L_1 = 0,45$  nH,  $C_T = 0,2$  pF,  $R_P = 7$  k $\Omega$ , có dải tần hoạt động từ 10 MHz đến 6 GHz, hoàn toàn phù hợp tần số thiết kế và có sơ đồ mạch tương đương như ở hình 4. Việc mô phỏng được thực hiện dựa trên sự kết hợp giữa CST Microwave Studio và CST Design để khảo sát được cả ảnh các tham số của điốt ảnh hưởng đến hoạt động của anten. Bằng cách sử dụng một điốt, anten có thể hoạt động ở hai trạng thái khác nhau phụ thuộc vào trạng thái của điốt. Khi điốt ở trạng thái ON, tần số cộng hưởng của anten gần như tần số của anten truyền thống ban đầu thiết kế khi chưa xẻ rãnh. Khi điốt ở trạng thái OFF, tần số cộng hưởng của anten được dịch xuống do khe xẻ rãnh làm tăng chiều dài điện của anten. Kết quả mô phỏng tham số  $|S_{11}|$  được biểu diễn trên hình 5.



**Hình 4. Sơ đồ tương đương của điốt ở trạng thái: ON (bật), (b) OFF (ngắt)**



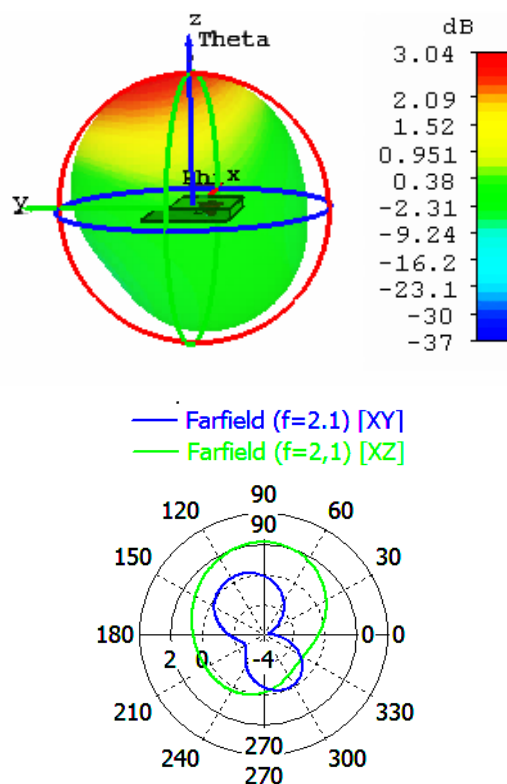
Hình 5. Kết quả mô phỏng tham số  $|S_{11}|$  của Anten tái cấu hình tần số sử dụng



Hình 6. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ 3D và 2D (mặt phẳng XY và XZ) ở tần số  $f = 1,9$  GHz

Từ đồ thị ở hình 5 cho thấy, Anten có thể hoạt động ở cấu hình với hai tần số cộng hưởng khác nhau. Khi điốt ở trạng thái OFF, Anten cộng hưởng ở tần số trung tâm 1,9 GHz với băng thông đạt được 110 Mz (từ 1,88 đến 1,99 GHz). Ở trạng thái thứ 2, khi điốt ON, Anten chuyển sang cấu hình tần số 2,1 GHz với băng thông đạt được hơn 153 MHz (từ 2,05 đến 2,21

GHz). Băng thông của Anten được tính với tham số  $|S_{11}| < -10$  dB. Hình 6 và hình 7 biểu diễn kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ 3D và 2D ở mặt phẳng XY và XZ của Anten ở hai cấu hình khác nhau. Từ kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ của Anten cho thấy, ở cả hai cấu hình, đồ thị bức xạ gần như không thay đổi. Hệ số tăng ích cực đại của hai cấu hình cao, đạt 2,84 dBi ở tần số 1,9 GHz và 3,04 dBi ở tần số 2,1 GHz.

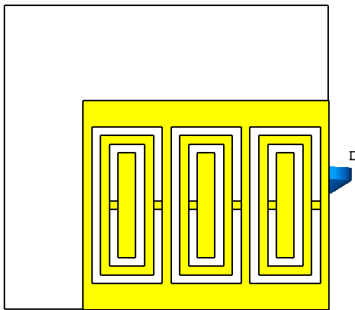


Hình 7. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ 3D và 2D (mặt phẳng XY và XZ) ở tần số  $f = 2,1$  GHz

### 3.2. Anten PIFA tái cấu hình sử dụng điốt PIN tích hợp cấu trúc CSRR

Anten PIFA tái cấu hình theo tần số được trình bày trong mục 3.1 với kích thước của phần tử bức xạ là  $27 \times 35$  mm, tương đối lớn so với các công trình đã công bố. Để giảm kích thước cho Anten trên, một

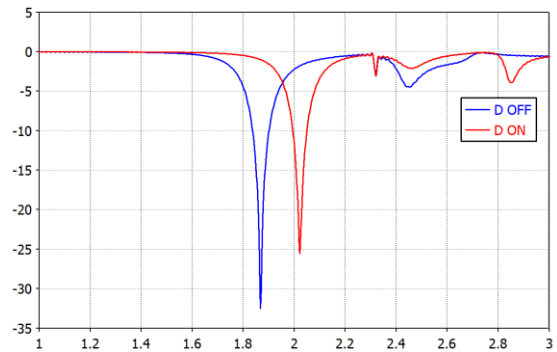
cấu trúc gồm ba phần tử CSRR như thiết kế ở mục 2 được chen vào mặt phẳng bức xạ của anten như ở hình 8. Mặt phẳng bức xạ của anten có kích thước là  $W \times L = 24 \times 28$  mm. Kết quả mô phỏng tham số  $|S_{11}|$  được biểu diễn trên hình 7 cho thấy, anten có thể hoạt động ở hai cấu hình tần số khác nhau với tần số cộng hưởng 1,9 GHz khi điốt ở trạng thái OFF và 2,1 GHz khi điốt ở trạng thái ON.



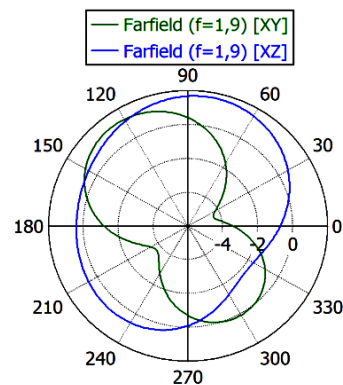
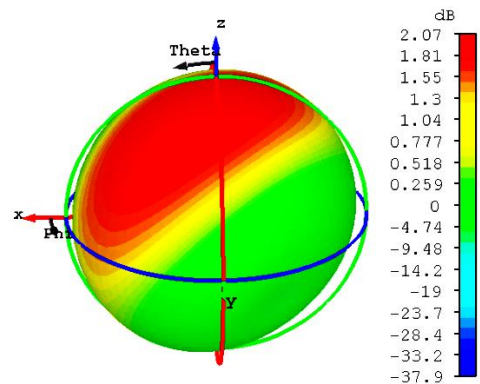
**Hình 8. Mặt phẳng bức xạ của anten PIFA tái cấu hình sử dụng nguyên lý siêu vật liệu**

Bảng thông của anten đạt 78 MHz ở cấu hình tần số 1,9 GHz và 52 MHz ở cấu hình tần số 2,1 GHz. Như vậy, khi tích hợp cấu trúc CSRR thì kích thước phần tử bức xạ của anten từ  $27 \times 35$  mm xuống còn  $24 \times 28$  mm, tương ứng với giảm 29 %. Với cấu trúc này, anten cũng cộng hưởng tốt với tham số  $|S_{11}|$  giảm tới -35 dB ở cấu hình thứ nhất và -25 dB ở cấu hình thứ 2. Tuy nhiên, một nhược điểm của thiết kế đề xuất là bảng thông của anten giảm khi sử dụng cấu trúc CSRR. Đây cũng chính là nhược điểm của các anten khi được tích hợp các cấu trúc siêu vật liệu. Hình 10 và hình 11 biểu diễn đồ thị bức xạ 3D và đồ thị trên mặt phẳng XY, XZ của anten ở hai cấu hình tần số 1,9 GHz và 2,0 GHz. Kết quả mô phỏng cho thấy cả hai cấu hình đều có đồ thị gần như tương đương nhau. Ở cấu hình tần số

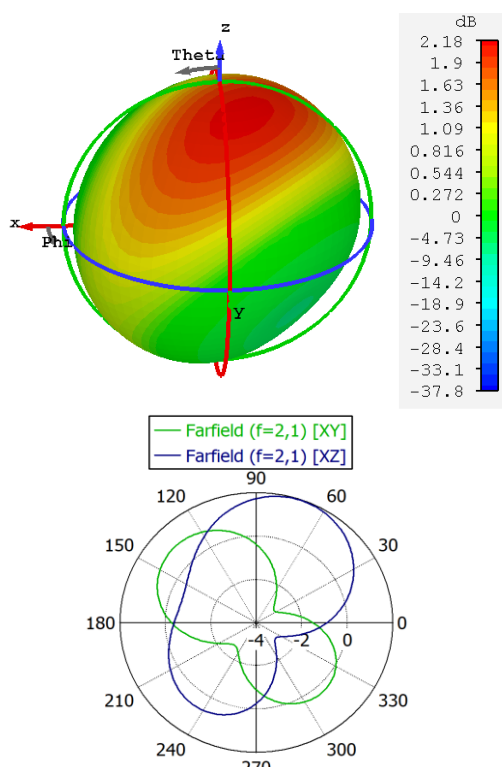
1,9 GHz, hệ số tăng ích cực đại của anten đạt 2,07 dBi và ở cấu hình tần số 2,1 GHz đạt 2,18 GHz. So với cấu trúc anten PIFA không tích hợp CSRR thì hệ số tăng ích của anten bị sụt giảm.



**Hình 9. Kết quả mô phỏng tham số  $|S_{11}|$  của anten PIFA tái cấu hình theo tần số tích hợp cấu trúc CSRR**



**Hình 10. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ với  $f=1,9$  GHz**



Hình 11. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ với  $f=2,1$  GHz

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo thiết kế một cấu trúc CSRR cho tần số 1,9 GHz, từ đó tích hợp vào cấu trúc anten PIFA tái cấu hình theo tần số

để giảm kích thước của anten. Cấu trúc CSRR được chứng minh cộng hưởng ở tần số 1,9 GHz thông qua việc tính toán hằng số điện môi vật liệu của cấu trúc. Anten sử dụng một chuyển mạch diốt PIN để đạt được hai cấu hình tần số khác nhau với tần số cộng hưởng trung tâm là 1,9 GHz và 2,1 GHz. Đồ thị bức xạ ở cả hai cấu hình gần như không thay đổi với hệ số tăng ích cực đại lần lượt là 2,07 dBi và 2,18 dBi. Để làm rõ ảnh hưởng của cấu trúc CSRR đến việc giảm nhỏ kích thước của anten, một anten PIFA tái cấu hình theo tần số không sử dụng cấu trúc siêu vật liệu được thiết kế ở cùng các tần số cộng hưởng như anten. So sánh kích thước của anten có và không sử dụng CSRR, kích thước của anten tái cấu hình theo tần số sử dụng CSRR giảm 29%. Mặc dù kích thước của anten được giảm nhỏ, anten đề xuất có một hạn chế đó là băng thông hẹp, đây cũng là một nhược điểm chung của anten PIFA. Mẫu anten cần tiếp tục được nghiên cứu để cải tiến, đặc biệt là băng thông của anten trong tương lai.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G.V. Eleftheriades and K.G. Balmain, Negative Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications, New York, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] Smith, D.R.; Padilla, W. J.; Vier, D.C.; Nemat-Nasser S. C. & Schultz, "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity ", Physical Review Letters.
- [3] Nader Engheta, "An Idea for Thin Subwavelength Cavity Resonators Using Metamaterials With Negative Permittivity and Permeability" IEEE Antennas and Wireless propagation letters vol. 1, 2002.
- [4] Baena, J.D.; Bonache, J.; Martín F.; Sillero, R.M.; Falcone, F.; Lopetegui, T.; Laso, M.A.G.; García-García, J.; Gil, I.; Portillo, M. F. & Sorolla, M. "Equivalent-circuit models for splitting resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 53, April 2005, pp.1451-1461, ISSN 0018-9480.

- [5] Christophe Caloz, Tatsuo Itoh, " Electromagnetic metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications- The Engineering Approach" Wiley pub., 2006.
- [6] Cao, Wenquan, et al. "A low-cost compact patch antenna with beam steering based on CSRR-loaded ground." IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 10 (2011): 1520-1523.
- [7] Xiaoyang, Cai, et al. "Compact triple-band-notched UWB planar monopole antenna based on modified CSRR." Antennas and Propagation (APCAP), 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on. IEEE, 2016.
- [8] Yadav, Ajay, et al. "CSRR and C-slot loaded triple band notched ultra wideband antenna." Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC), 2017 International Conference on. IEEE, 2017.
- [9] Srivastava, Gunjan, Akhilesh Mohan, and Ajay Chakrabarty. "A compact CSRR based differential slot antenna for UWB applications." Microwave Conference (APMC), 2017 IEEE Asia Pacific. IEEE, 2017.
- [10] Christydass, S. Prasad Jones, and N. Gunavathi. "Design of CSRR loaded multiband slotted rectangular patch antenna." Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 2017 IEEE, 2017.
- [11] J.T. Bernhard, Reconfigurable Antennas, the Morgan & Claypool Publishers, 2007.
- [12] Christodoulou, C.G., Y. Tawk, S.A. Lane, and S. R. Erwin, "Reconfigurable antennas for wireless and space applications", Proc. IEEE, vol. 100, no. 7, pp. 2250-2261, 2012.

#### **Giới thiệu tác giả:**



Tác giả Hoàng Thị Phương Thảo nhận bằng Kỹ sư Điện tử viễn thông năm 2004, bằng Thạc sỹ Khoa học Điện tử viễn thông năm 2007, bảo vệ luận án ngành kỹ thuật viễn thông năm 2018 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện tác giả là giảng viên Khoa Điện tử viễn thông, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: siêu cao tần, 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.

