

ANTEN BA BĂNG SỬ DỤNG CẤU TRÚC BA VÒNG CỘNG HƯỞNG CHO CÁC ỨNG DỤNG IoT

TRIPLE-BAND ANTENNA USING RESONANCE TRIPLE-RING STRUCTURE FOR IoT APPLICATIONS

Dương Thị Thanh Tú*

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Hà Nội, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: tudtt@ptit.edu.vn

(Nhận bài / Received: 20/2/2024; Sửa bài / Revised: 21/4/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 22/4/2024)

Tóm tắt - Trong kỷ nguyên phương tiện giao thông kết nối internet (IoT-Internet of Vehicles), một lượng lớn dữ liệu được tạo và truyền thông giữa các phương tiện và các mạng không đồng nhất để đảm bảo kết nối giữa con người cũng như cung cấp các dịch vụ viễn thông với yêu cầu ngày một phát triển. Điều này đòi hỏi anten cần phải đa băng cho đa công nghệ thu phát trong phương tiện giao thông và băng rộng cho truyền tải lưu lượng dữ liệu lớn. Trong bài báo này, một cấu trúc ba vòng cộng hưởng được đề xuất, nhằm tạo ra anten ba băng tần với ba tần số đều là tần số phổ dụng của truyền thông IoT. Đó là băng tần 2,4GHz; 5GHz và 5,9GHz. Những băng tần này được khuyến nghị trong các chuẩn IEEE tiên tiến như IEEE 802.11 be, bd. Anten đề xuất có kích thước nhỏ, đạt $35 \times 32 \times 1,6 \text{ mm}^3$ với băng thông rộng, tương ứng 322MHz, 473GHz, and 393MHz. Các kết quả được phân tích và đánh giá trên mô phỏng cũng như thực nghiệm.

Từ khóa - IoT; IoT; anten ba băng; cấu trúc ba vòng tròn

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh số lượng phương tiện giao thông gia tăng đáng kể, vấn đề tắc đường và tình hình giao thông ngày càng trở nên phức tạp. Công nghệ V2X (Vehicle-to-Everything), công nghệ truyền thông không dây cho phép trao đổi dữ liệu giữa xe cộ với môi trường xung quanh, hoạt động trên băng tần 5,9 GHz với khả năng trao đổi thông tin liên quan đến tình huống giao thông, tình trạng đường và lưu lượng xe cộ đã và đang trở thành vấn đề thu hút sự quan tâm rất lớn. Đây là một công nghệ mang lại tiềm năng để giải quyết các thách thức giao thông hiện đại, tạo ra một hệ thống giao thông thông minh và hiệu quả hơn để phục vụ cộng đồng [1]. Bên cạnh đó, IoT (Internet of Vehicles), bước tiến tiếp theo của IoT (Internet of Things) là cuộc cách mạng kết nối các phương tiện giao thông với internet, tạo ra một kỷ nguyên mới về giao thông thông minh cũng như các thiết bị tự hành. Các giao thức truyền thông chính của IoT là Giao thức tầm ngắn chuyên dụng DSRC (Dedicated Short Range Communication), V2X và WiFi [2]. Điều này đòi hỏi anten cho các thiết bị IoT cần phải đa băng cho đa công nghệ, đa băng tần, đáp ứng được cho các chuẩn giao thức khác nhau [3].

Trong thời gian gần đây, đã có một số nghiên cứu về anten đa băng cho các thiết bị IoT được đề xuất [3], [5]-[8]. Wei Luo và các cộng sự [3] sử dụng cấu trúc mái nhà (rooftop) cho tạo ra anten hai băng: một băng rộng cộng hưởng tại 820MHz và một băng siêu rộng cộng hưởng tại 2.2MHz. Tuy nhiên, băng thông này được nhóm tác giả

Abstract - In the era of the IoT (Internet of Vehicles), large-scale data generation and consumption occur between vehicles and heterogeneous resources due to connecting people and growing telematics services. An enormous quantity of processing, storing, and transmitting data must be done via multiple connections. Thus, it leads to the requirement of multi-band antenna for multiple technologies and wideband for carrying big data. This paper proposes a resonance triple-ring structure to achieve the desired resonant frequencies for a multi-band antenna. The proposed triple-ring antenna operates at three bands well-known for IoT. They are 2.4GHz, 5GHz, and 5.9 GHz as IEEE modern standards of IEEE 802.11 be, bd. The antenna has a compact size of $35 \times 32 \times 1.6 \text{ mm}^3$ and wide bands of 322MHz, 473GHz, and 393MHz, respectively. The results are analyzed and evaluated in simulation as well as experimental.

Key words - IoT; IoT; triple-band antenna; triple ring structure

đánh giá tại điểm S11 đạt -6dB và kích thước anten khá lớn, đạt $250 \times 250 \text{ mm}^2$. Nếu lấy băng thông theo tiêu chuẩn tại $S_{11} = -10 \text{ dB}$ [4], anten cộng hưởng tại ba băng tần 820MHz, 1,7GHz và 3GHz trong đó băng thông của băng thứ nhất khá hẹp còn băng thứ hai và ba lại không bao phủ băng tần của WiFi cũng như DSRC. Duaa H. Abdulzahra và các cộng sự [5] sử dụng cấu trúc hai vòng chữ nhật hở để tạo ra ba băng tần 2,4; 3,7 và 5,8GHz với băng thông rộng, kích thước nhỏ gọn. Tuy nhiên, anten có hệ số khuếch đại tương đối thấp, dao động xung quanh 1dB cho tất cả các băng với hiệu suất bức xạ từ 68% đến 82%. Đây cũng là nhược điểm của anten fractal trong nghiên cứu [6]. Mिंग-An Chung và các cộng sự [7] sử dụng cấu trúc cải tiến của hình tam giác kép để tạo anten hai băng cho ứng dụng IoT tuy nhiên anten cộng hưởng tại băng X và Ku của băng tần vệ tinh tầm thấp, là những băng tần chưa chính thức được chuẩn hóa cho IoT. Đây cũng đặc điểm của anten phản xạ trong công bố [8].

Trong bài báo này, anten đề xuất sử dụng mặt bức xạ có cấu trúc ba hình vành khăn cải tiến để tối ưu hóa ba băng tần cộng hưởng tại 2,4 / 5 / 5,9 GHz bao phủ băng tần của các công nghệ 802.11ax, be và bd [1], [9], [10] cho truyền thông IoT. Thiết kế trên vật liệu điện môi FR4 dễ kiếm và rẻ tiền, anten đề xuất đạt cấu trúc gọn nhỏ với tổng kích thước $35 \times 32 \times 1,6 \text{ mm}^3$ mà vẫn thu được hệ số khuếch đại tốt, lần lượt đạt 2,24dB; 3,63dB; 3,02dB và hiệu suất bức xạ khả quan, đạt 86%; 80% và 77% tương ứng với các tần số cộng hưởng 2,4GHz, 5GHz và 5,9GHz.

¹ Posts and Telecommunications Institute of Technology, Hanoi, Vietnam (Dương Thị Thanh Tú)

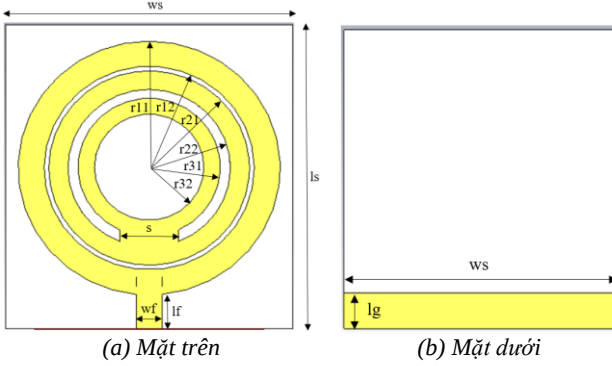
2. Cấu trúc Anten đề xuất

2.1. Tính toán thô

Anten sử dụng vật liệu FR4 có giá thành thấp và được sử dụng phổ biến cho chế tạo mạch in, có hằng số điện môi $\epsilon_r = 4,3$, độ tổn hao $\delta = 0,02$, chiều cao $h = 1,6\text{mm}$. Cấu trúc anten đề xuất bao gồm hai phần:

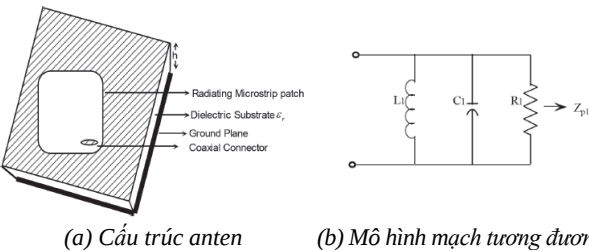
– Phần bức xạ gồm cấu trúc ba hình vành khăn cải tiến với thiết kế chi tiết được thể hiện như trên Hình 1 nhằm tạo ra ba hốc cộng hưởng khác nhau theo ý muốn.

– Phần mặt phẳng đất sử dụng cấu trúc mặt phẳng đất khuyết hay mặt phẳng đất không hoàn hảo DGS (Defected Ground Structure) nhằm giảm thiểu tương tác dòng giữa các vòng tròn cộng hưởng đồng thời tạo bức xạ đa hướng giúp anten có thể thu phát tại các hướng khác nhau, tăng tính linh hoạt của anten trong ứng dụng khác nhau của IoT.



Hình 1. Thiết kế anten ba vòng tròn cộng hưởng

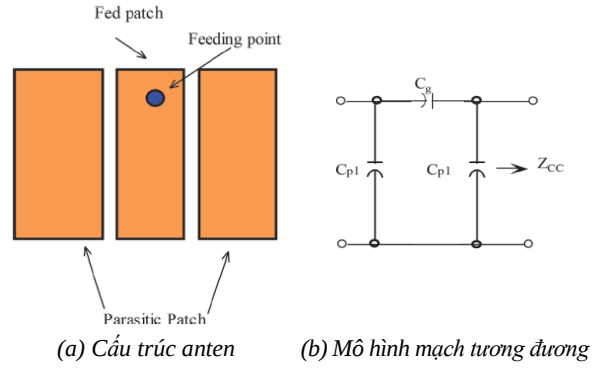
Nguyên lý sử dụng mặt phẳng đất khuyết DGS để giảm thiểu tương tác dòng giữa các vòng tròn cộng hưởng có thể giải thích dựa trên cấu trúc mạch cộng hưởng của anten vi dải truyền thống [11]. Khi anten vi dải có cấu trúc bức xạ đơn băng, mô hình mạch tương đương của anten được thể hiện trên Hình 2 với R và L được sinh ra bởi đặc tính của mặt bức xạ, C hình thành bởi bề mặt kim loại của mặt bức xạ và mặt phẳng đất.



Hình 2. Anten vi dải truyền thống và mô hình mạch tương đương [11]

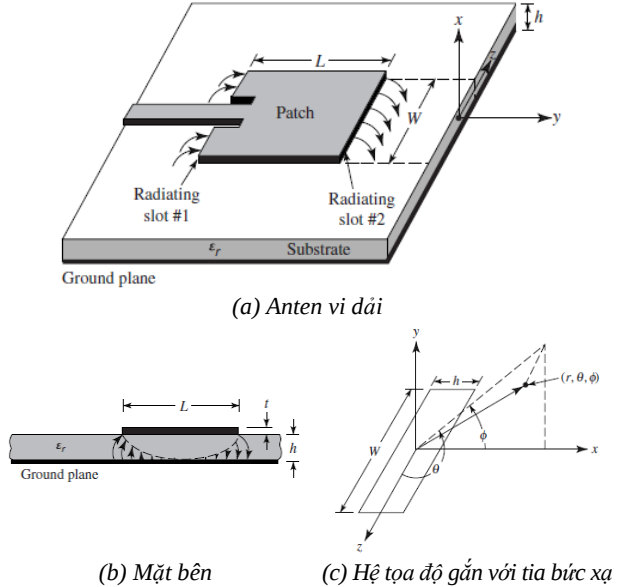
Khi anten hoạt động đa băng dựa trên cảm ứng từ dựa trên nguyên lý phần tử ký sinh, mô hình mạch tương đương xuất hiện thêm các phần tử C mới như thể hiện trong Hình 3.

Các phần tử C này bao gồm C_{p1} , C_{p2} được hình thành bởi các khe hở giữa hai phần bức xạ bằng kim loại. C_g hình thành bởi bề mặt kim loại của phần mặt bức xạ tạo cộng hưởng và mặt phẳng đất. Như vậy, nếu mặt phẳng đất của anten đa băng được khuyết đi phần kim loại ứng với đúng diện tích kim loại của bề mặt bức xạ, tụ điện C_g sẽ không xuất hiện hay nói cách khác, cấu trúc DGS đã giảm bớt đi một thành phần điện gây tác động đến tần số cộng hưởng của anten.



Hình 3. Anten vi dải đa băng dựa trên phần tử ký sinh và mô hình mạch tương đương [11]

Nguyên lý tạo bức xạ đa hướng được giải thích dựa trên nguyên lý bức xạ của anten vi dải [12] như chỉ ra trong Hình 4. Có thể thấy, khi mặt phẳng đất của anten được phủ kín bởi bề mặt kim loại, sóng tới anten phần lớn sẽ được phản xạ trên bề mặt này, tạo ra bức xạ có định hướng cho anten. Vì vậy, nếu bề mặt kim loại của anten bị thiếu khuyết, sóng sẽ đi từ bề mặt bức xạ xuyên qua lớp điện môi, tạo ra hướng bức xạ ngược lại hay anten từ định hướng trở thành đa hướng.



Hình 4. Nguyên lý bức xạ trong anten vi dải [12]

Anten sử dụng phương pháp tiếp điện bằng đường truyền vi dải với các kích thước được tính toán trong trường hợp trở kháng đường truyền được chọn là 50Ω [11].

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_f} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Trong đó, ϵ_{eff} là hằng số điện môi hiệu dụng, W_f là chiều rộng của đường tiếp điện vi dải, h là chiều cao của chất nền.

Ở chế độ TM_{nm} , tần số cộng hưởng của anten được xác định gần đúng theo công thức của anten có mặt bức xạ tròn:

$$f_{nm} = \frac{X_{nm}c}{2\pi r_{ije}\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

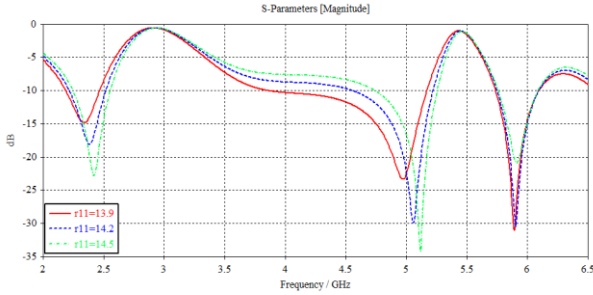
Trong đó, X_{nm} là bậc thứ m của hàm Bessel cấp n [12]. Để anten đạt kích thước nhỏ nhất, chế độ $n = 1, m = 1$ được

lựa chọn với $X_{11} = 1,84118$ [12], c là tốc độ ánh sáng trong không gian tự do, ϵ_r là hằng số điện môi của chất nền, r_{ije} là bán kính hiệu dụng của các vòng tròn trong các hình vành khăn được xác định theo công thức sau:

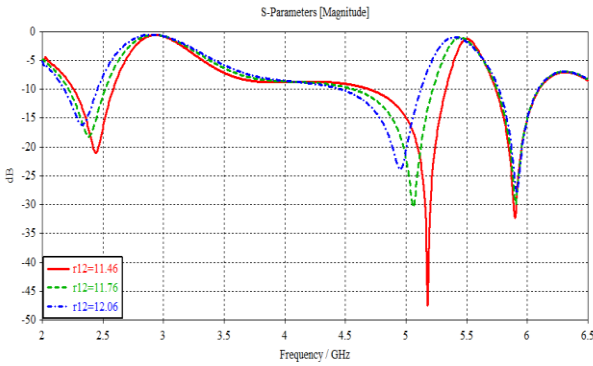
$$r_{ije} = r_{ij} \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi r_{ij} \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi r_{ij}}{2h} + 1.7726 \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Trong đó, r_{ij} là bán kính các vòng tròn trong hình vành khăn. Biểu thức này cho kết quả tương đối chính xác với sai số nhỏ hơn 2,5% khi $\frac{r_{ij}}{h} \gg 1$.

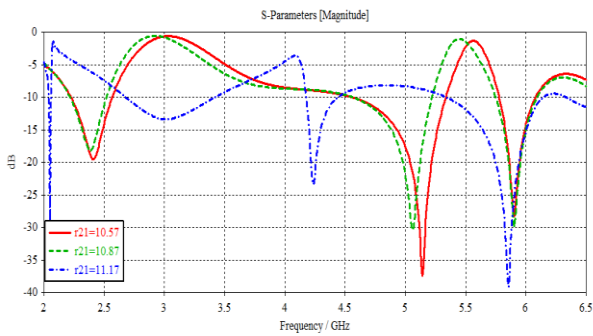
2.2. Tối ưu hóa kích thước



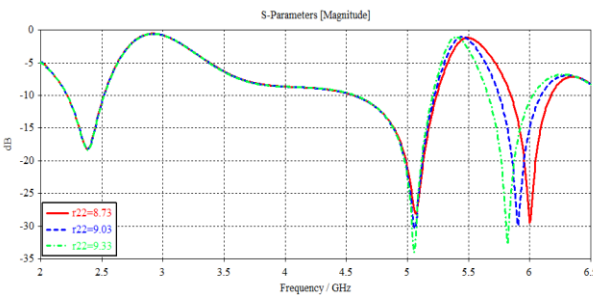
(a) Bán kính ngoài của hình vành khăn thứ nhất (r_{11})



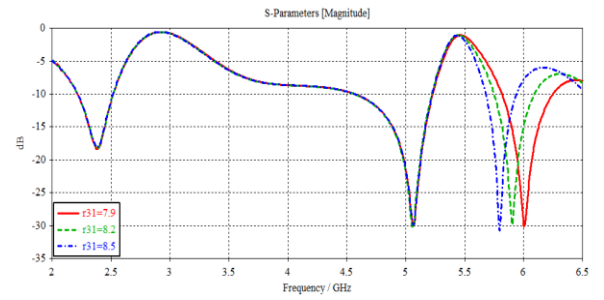
(b) Bán kính trong của hình vành khăn thứ nhất (r_{12})



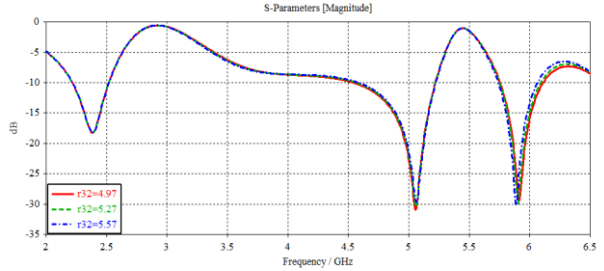
(c) Bán kính ngoài của hình vành khăn thứ hai (r_{21})



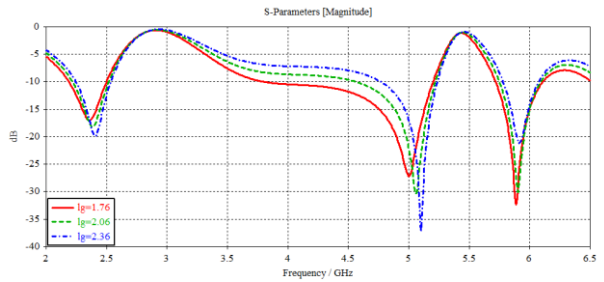
(d) Bán kính trong của hình vành khăn thứ hai (r_{22})



(e) Bán kính ngoài của hình vành khăn thứ ba (r_{31})



(f) Bán kính trong của hình vành khăn thứ ba (r_{32})



(g) Chiều dài của cấu trúc DGS (l_g)

Hình 5. Ảnh hưởng của thông số thiết kế lên đặc tính cộng hưởng của anten

Để đạt được chính xác các tần số cộng hưởng mong muốn cũng như băng thông đủ rộng đáp ứng các chuẩn truyền thông không dây tiên tiến, các kích thước vòng cộng hưởng sau khi được tính toán thô sẽ tiếp tục tối ưu trên phần mềm mô phỏng CST với giá trị tính toán thô thu được là các giá trị trung tâm của mô phỏng. Như chỉ ra trong Hình 5(a) và (b), kích thước của hình vành khăn thứ nhất (hình vành khăn ngoài cùng), có ảnh hưởng lớn đến tần số cộng hưởng cũng như độ rộng băng thông của hai băng thấp, băng 2,4 và 5GHz trong khi kích thước này chỉ có ý nghĩa rất nhỏ đối với sự phối hợp trở kháng của băng cao, băng 5,9GHz.

Tương tự như vậy, Hình 5(c) và (d) cho thấy, hình vành khăn thứ hai (hình vành khăn ở giữa), sẽ tác động chính lên hai băng cao. Tuy nhiên, nếu bán kính ngoài của hình vành khăn tăng lên đến một giá trị nhất định, khoảng cách giữa hai vòng tròn đủ nhỏ để hình thành nên một tụ điện, đặc tính cộng hưởng của anten sẽ thay đổi.

Có một chút khác biệt trong hình vành khăn thứ ba (hình vành khăn trong cùng). Do hoạt động tại tần số cao, cỡ GHz, hiệu ứng bề mặt xảy ra dẫn đến các dòng điện sẽ tập trung nhiều ở phía rìa của vòng tròn, gây tác động đến các đặc tính cộng hưởng. Nguyên lý hoạt động của đặc tính này tương tự như việc tập trung của dòng điện ở phía rìa của dây dẫn kim loại [19]. Như chỉ ra trong Hình 5(e) và

(f), kích thước vòng tròn ngoài của hình vành khăn thứ ba sẽ tác động chính lên băng tần cộng hưởng cao nhất, băng 5,9GHz trong khi đó, ảnh hưởng của đường kính trong gần như chỉ có một chút tác động nhỏ với băng tần này và gần như không ảnh hưởng đến hai băng tần thấp.

Để đảm bảo bức xạ đa hướng, kích thước của cấu trúc DGS cũng được tối ưu. Như chỉ ra trong Hình 5(g), giá trị này ảnh hưởng đến tất cả các băng và thường giá trị tối ưu đạt được xấp xỉ giá trị của chiều dài tiếp điện L_f .

Sau khi tối ưu, anten ba vòng cộng hưởng thu được các thông số kích thước như chỉ ra trong Bảng 1.

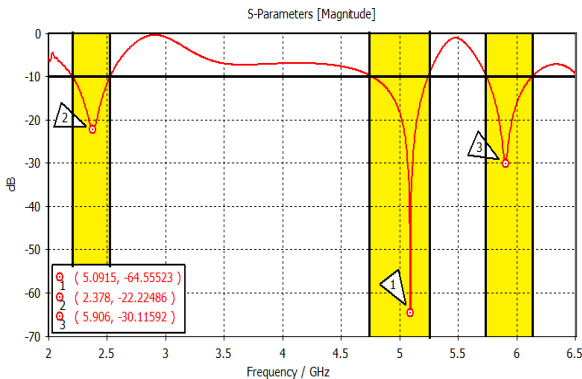
Bảng 1. Thông số kích thước của anten đề xuất

Tham số	r_{11}	r_{12}	r_{21}	r_{22}	r_{31}	r_{32}	l_s	w_s	s	w_f	l_f
Giá trị (mm)	14,6	11,7	11,2	9	8	6,9	35	32	6,5	2,9	6,8

3. Kết quả và phân tích

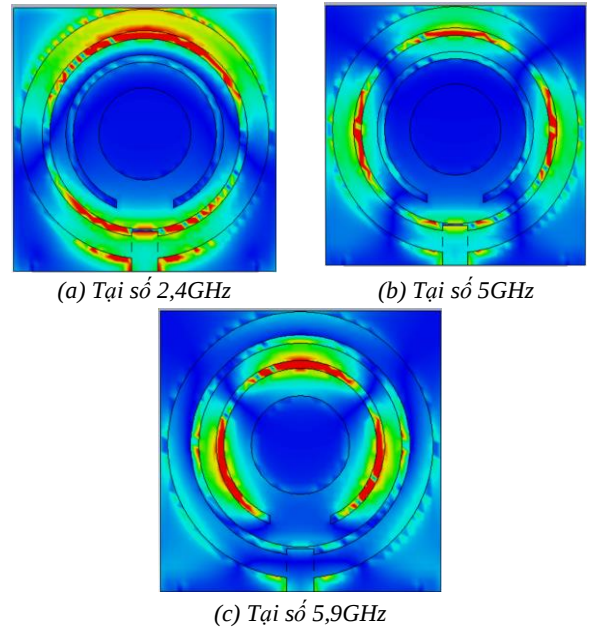
3.1. Kết quả mô phỏng

Hình 6 là đồ thị tham số tán xạ S_{11} của anten ba vòng cộng hưởng đề xuất. Có thể thấy rõ, anten cộng hưởng tại ba băng tần phổ dụng cho IoV tuân theo chuẩn IEEE 802.11 ax/be/bd là 2,4/ 5/ 5,9 GHz với băng thông tương ứng lần lượt là 322 MHz, 473 MHz, 393 MHz. Các băng thông này đều đáp ứng yêu cầu về độ rộng băng thông 320MHz cho truyền thông IoV băng rộng [1], [9], [10]. Anten phối hợp trở kháng tốt trên cả ba băng, đặc biệt là băng tần 5GHz với độ sâu của tham số S_{11} lần lượt là -22,2dB, -64dB, -30dB.

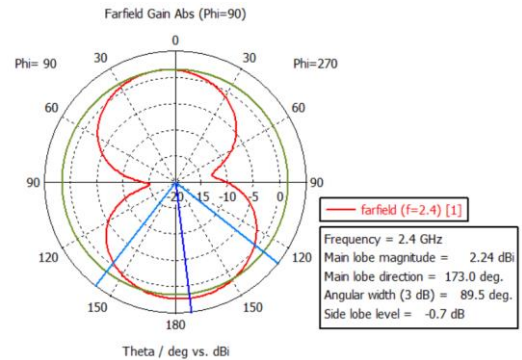


Hình 6. Tham số tán xạ S_{11} trên anten ba băng đề xuất

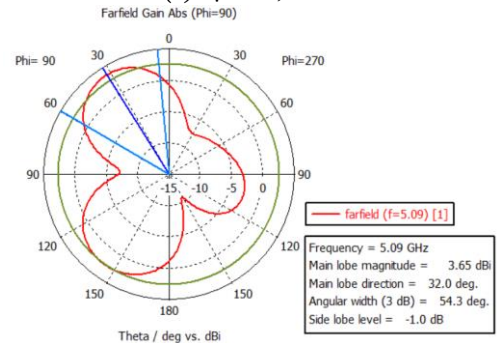
Đặc tính cộng hưởng của anten cũng có được thể hiện dựa trên phân bố điện từ trường như trong Hình 7. Có thể thấy, tại tần số cộng hưởng 2,4GHz, dòng điện đi từ đường tiếp điện vì dài đến phân bố chủ yếu trên hình vành khăn ngoài bao gồm cả rìa bán kính ngoài lẫn bán kính trong. Tại tần số cộng hưởng 5GHz, điện từ trường tập trung trong khe hẹp giữa hai hình vành khăn. Tương ứng với cho thông số bán kính trong của hình vành khăn ngoài và bán kính ngoài của hình vành khăn giữa có ảnh hưởng lớn đến tần số cộng hưởng này. Tại tần số cộng hưởng 5,9GHz, trường điện từ chuyển dời lên khe hẹp giữa hai hình vành khăn trong cùng và vành khăn giữa, tương ứng với thông số bán kính trong của vành khăn thứ hai và bán kính ngoài của hình vành khăn thứ ba có ý nghĩa quyết định đến băng tần 5,9GHz. Như vậy, dựa trên phân bố trường điện từ trên anten ta cũng thu được kết luận tương tự như trên đồ thị tham số tán xạ S_{11} .



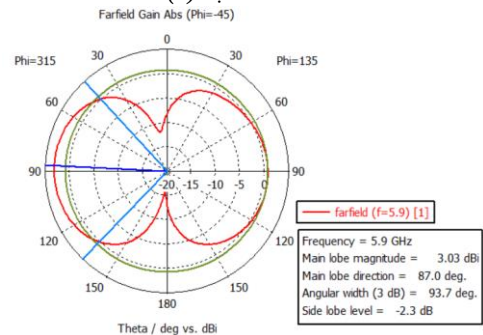
Hình 7. Phân bố điện từ trường trên anten



(a) Tại số 2,4GHz



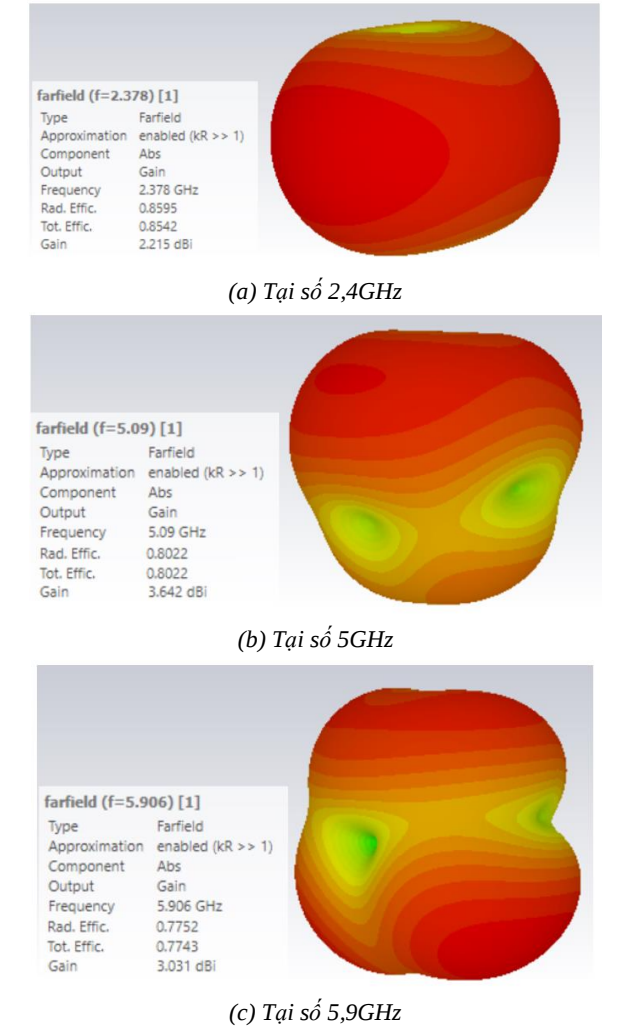
(b) Tại số 5GHz



(c) Tại số 5,9GHz

Hình 8. Đồ thị bức xạ 2D của anten

Hình 8, Hình 9 tương ứng với đồ thị bức xạ 2D và 3D trên Anten tại các tần số cộng hưởng. Trong đó, tại tần số 5,9GHz, bức xạ 2D được lấy trên mặt cắt có bức xạ lớn nhất phi=45⁰. Tại băng tần 2,4GHz và 5GHz, mặt phẳng có bức xạ lớn nhất là phi=90⁰. Có thể thấy Anten đều có bức xạ đa hướng với hệ số khuếch đại khá tốt trên tất cả các tần số cộng hưởng. Góc mở 3dB lần lượt là 89,5⁰, 54,3⁰ và 93,7⁰ tương ứng với các tần số cộng hưởng 2,4GHz, 5GHz và 5,9GHz.



Hình 9. Đồ thị bức xạ 3D của Anten

Các tham số bức xạ cụ thể của Anten bao gồm: hệ số khuếch đại, hiệu suất bức xạ và độ định hướng của Anten trên các băng tần được thống kê chi tiết trong Bảng 2. Có thể thấy, tuy thiết kế trên vật liệu FR4 giá thành rẻ, độ tổn hao lớn nhưng Anten ba băng tần vẫn thu được hệ số khuếch đại khả quan trên cả ba băng cho bức xạ đa hướng, bên cạnh đó, hiệu suất bức xạ khá tốt, lên đến 86% cho băng tần 2,4GHz

Bảng 2. Các tham số bức xạ của Anten đề xuất

Tần số (GHz)	Băng thông (MHz)	Hệ số khuếch đại (dB)	Hệ số tính hướng (dB)	Hiệu suất bức xạ (%)
2,4	322	2,24	2,9	86
5	473	3,63	4,59	80
5,9	393	3,02	4,2	77

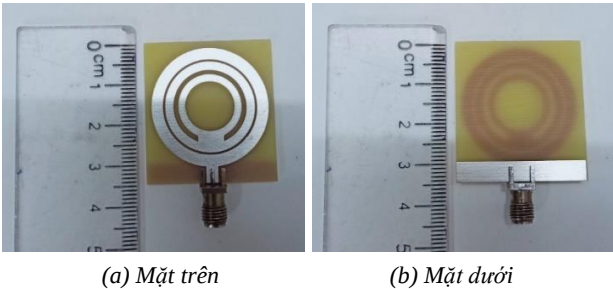
Bảng 3. So sánh Anten DGS ba băng tần đề xuất với một số Anten băng 2,4GHz gần đây

Ref	Số băng tần	Tần số (GHz)	Kích thước (mm ³)	Vật liệu	Độ lợi (dB)	Băng thông - 10dB (MHz)	Hiệu suất (%)
[3]	3	2,5	60*70	-	-	700	-
		3,55			6,9	500	-
		5,7			-	200	-
[5]	3	2,4	33*22*1,6	FR4	1,43	300	82
		3,7			0,9	360	71
		5,8			1,1	900	68
[14]	2	2,4	81,6*55,2*0,504	RT5880	7	384	82
		5,2/5,8			7,7	1000	82
[15]	3	2,4	39,7*47*1,6	FR4	1,59	71	48,4
		3,8			1,34	89	
		4,6			1,32	80	
[16]	2	2,45	56*57*1,4	-	3,37	113	37,15
		5,85			6,47	947	77,13
[17]	2	2,4	60*60*1,6	FR4	2,21	740	78
		5			-	2920	-
[18]	3	2,4	53*48*1,5	RO4350	4,2	185	90
		5			5	335	95
		5,9			6,1	261	82
Đề xuất	3	2,4	35*32*1,6	FR4	2,24	322	86
		5			3,63	473	80
		5,9			3,02	393	77

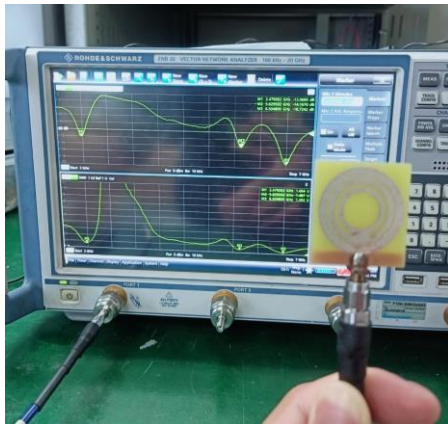
Bảng 3 chỉ ra kết quả so sánh giữa Anten ba vòng cộng hưởng đề xuất với các công bố gần đây khi cùng băng tần hoạt động thấp nhất, băng 2,4GHz. Có thể thấy, ở cùng một băng tần thấp nhất, Anten đề xuất thu được ba băng tần cộng hưởng mong muốn với kích thước tương đối nhỏ, băng thông không có băng hẹp [15], [16], [18] mà đều là băng rộng cho cả ba băng tần hoạt động, đảm bảo đáp ứng đủ độ rộng băng thông cho ứng dụng theo khuyến nghị của công nghệ băng rộng tiên tiến WIFI 6E/ Wi-Fi7/ V2X trong IoV nhưng không quá rộng để gây nhiễu sang băng tần dưới 6GHz trên thiết bị cũng như các thiết bị khác [3], [5], [14], [16], [17]. Bên cạnh đó, dù thiết kế trên vật liệu FR4 có độ tổn hao thấp, giá thành rẻ nhưng Anten đề xuất vẫn thu được độ lợi hay hệ số khuếch đại cao, hiệu suất bức xạ khả quan so với các công bố trước đó.

3.2. Kết quả thực nghiệm

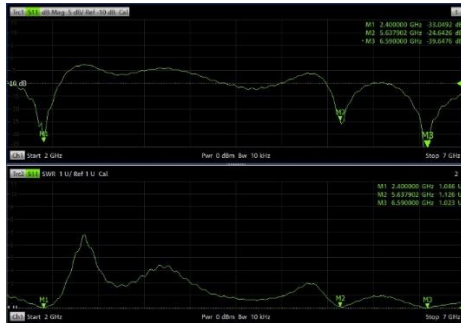
Anten đề xuất được chế tạo trên vật liệu FR4 có chiều cao 1,6mm, đạt kích thước tổng thể 35*32*1,6mm³ như thể hiện trong Hình 10.



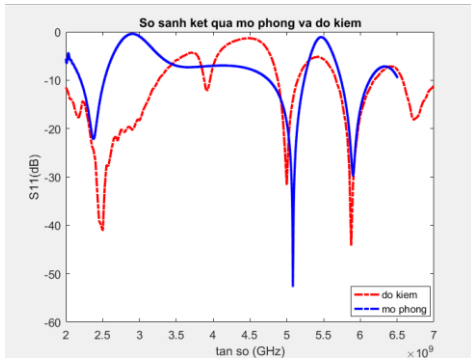
Hình 10. Anten chế tạo



(a) Anten trên máy đo VNA



(b) Tham số S11 trên máy đo VNA



(c) So sánh kết quả thực nghiệm với kết quả mô phỏng

Hình 11. Tham số S11 trên máy đo VNA

Anten được đánh giá trên thiết bị Phân tích mạng vectơ VNA-ZNB-20 với dải đo chuẩn hóa nằm trong khoảng 2GHz đến 7GHz như minh họa trong Hình 11. Có thể thấy, Anten thực nghiệm sử dụng cấu trúc ba vòng cộng hưởng với mặt bức xạ hình vành khuyên cải tiến cộng hưởng tại 3 tần số 2,4GHz, 4,8GHz, 5,9GHz giống như trong kết quả mô phỏng với 3 băng tần có độ rộng tương ứng là 1GHz, 450MHz và 390MHz. Như vậy, Anten thực nghiệm hoàn toàn có thể hoạt động tại ba băng tần phổ dụng cho IoT cũng như IoV với băng thông rộng, đáp ứng được cho truyền thông lưu lượng lớn.

4. Kết luận

Với việc kết hợp mặt bức xạ có cấu trúc ba hình vành khuyên cải tiến và mặt phẳng đất khuyết DGS, Anten đề xuất đạt được cộng hưởng tại ba băng tần với các thông số đáp ứng được các tiêu chuẩn khuyến nghị mới nhất của IEEE 802.11 cho các ứng dụng IoV/ IoT. Bên cạnh đó, Anten cũng đạt được kích thước nhỏ gọn, dễ dàng lắp đặt trên các thiết bị di động cũng như cố định trong hệ thống giao thông

thông minh. Tuy thiết kế trên vật liệu rẻ tiền FR4 nhưng với cấu trúc đề xuất, Anten thu được hiệu suất bức xạ khả quan, 77% đến 86% cùng hệ số khuếch đại tốt, trên 2,24dB. Kết quả nghiên cứu được đánh giá và phân tích dựa trên lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm, đảm bảo khả năng ứng dụng của Anten trên thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE 802.11bd-2022, *IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information exchange between systems Local and Metropolitan area network*, IEEE Standard Association, 2023.
- [2] J. A. Fadhill and Q. I. Sarhan, "Internet of Vehicles (IoV): A Survey of Challenges and Solutions", *21st International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*, 2020.
- [3] W. Luo, W. Chen, Y. Feng, and Y. Yang, "A novel automobile antenna for vehicles communication of IoT systems in 5G network", *Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2020, no. 1, pp. 1-19, 2020.
- [4] Q. Lio, S. Gao, W. Liu, and C. Gu, *Low-cost Smart Antenna*, Microwave and Wireless Technologies Series, John Wiley and Son publication, 2019.
- [5] D. H. Abdulzahra, F. Alnahwi, A. S. Abdullah, Y. I. A. Al-Yasir, and R. A. Abd-Alhameed, "A Miniaturized Triple-Band Antenna Based on Square Split Ring for IoT Applications", *Electronics*, vol. 11, pp. 2818-2832, 2022.
- [6] S. Akkole and N. Vasudevan, "Microstrip Fractal MultiBand Antenna Design and Optimization by using DGS Technique for Wireless Communication", *2021 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 2021.
- [7] M. Chung, K. Tseng and I. Meiy, "Antennas in the Internet of Vehicles: Application for X Band and Ku Band in Low-Earth-Orbiting Satellites", *Vehicles*, vol. 5, pp.55-74, 2023.
- [8] L. Zhang, J. Zhang, Y. He, C. Mao, W. Li, S. Wong, P. Mei, and S. Gao, "A Single-Layer 10-30 GHz Reflectarray Antenna for the Internet of Vehicles", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 71, no.2, pp.1480-1490, 2022.
- [9] IEEE 802.11ax-2021, *IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information exchange between systems Local and Metropolitan area network*, IEEE Standard Association, 2021.
- [10] IEEE P802.11be, "IEEE Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and Information exchange between systems Local and Metropolitan area network", IEEE Standard Association, 2019.
- [11] A. Singh, K. Shet, D. Prasad, A. K. Pandey and M. Aneesh, "A Review: Circuit Theory of Microstrip Antennas for Dual-, Multi-, and Ultra-Widebands", in *Modulation in Electronics and Telecommunications*, InTech Open, 2020.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, Edition 4th, Wiley, 2016.
- [13] R. Grag, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Antennas and Propagation Library, 2001.
- [14] C. Feng, Y. Kang, L. Dong, and L. Wang, "High-Gain SIR Dual-Band Antenna Based on CSRR-Enhanced SIW for 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2020, Article ID 8725192, pp. 10, 2020.
- [15] S. Akkole and N. Vasudevan, "Microstrip Fractal MultiBand Antenna Design and Optimization by using DGS Technique for Wireless Communication", *2021 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 2021.
- [16] S. Mallavarapu and A. Lokam, "Dual-Band, EBG-DGS Wearable Antenna for Emergency Services and Responses in WBAN", *Electrical, Control and Communication Engineering*, vol. 18, no. 1, pp.1-10, 2023.
- [17] S. Khade, A. Chinchole, P. Pandey, S. Umredkar, V. Magare, and M. Sonkusale, "Circularly Polarized Cylindrical Slot Antenna With and Without DGS", *2020 the Fourth International Conference on Trends in Electronics and Informatics*, 2020.
- [18] D. T. T. Tu and N. V. Hoa, "Triple-band antenna using combining DGS-SIW structure for WiFi-6E/WiFi-7 and V2X terminals in IoE applications", *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 21, no. 9.1, pp.1-5, 2023.
- [19] R. Ludwig and P. Bretchko, *RF Circuit Design: Theory and Application*, Prentice Hall, 2000.