KỸ THUẬT CẢI THIỆN THAM SỐ CHẤT LƯỢNG CỦA ĂNG-TEN VI DẢI

Vũ Văn Yêm[1*], Nguyễn Ngọc Lan[2]

Tóm tắt: *Ngày nay, ăng-ten vi dải được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng thực tế bởi những sự ưu việt của nó như dễ dàng chế tạo với chi phí thấp, kích thước nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ cũng như dễ dàng tích hợp. Tuy nhiên, ăng-ten vi dải vẫn còn tồn tại những hạn chế như băng thông hẹp, hệ số tăng ích và hiệu suất thấp. Nghiên cứu cải thiện các tham số của ăng-ten vi dải nhằm nâng cao chất lượng các hệ thống thông tin vô tuyến luôn rất cần thiết và vẫn đang là chủ đề thu hút được các nhà khoa học trong và ngoài nước. Nhiều phương pháp đã được đề xuất để cải thiện hiệu năng cho ăng-ten vi dải. Để có một bức tranh tổng quát, bài báo này trình bày và phân tích một số những phương pháp phổ biến, tập trung vào việc cải thiện băng thông, hệ số tăng ích, tương hỗ cho ăng-ten vi dải. Các kết quả chính trình bày cũng là tổng hợp các kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả trong nhiều năm qua.*

Từ khóa: Ăng-ten vi dải; Siêu vật liệu MTM; EBG; DGS; MIMO; Ăng-ten mảng.

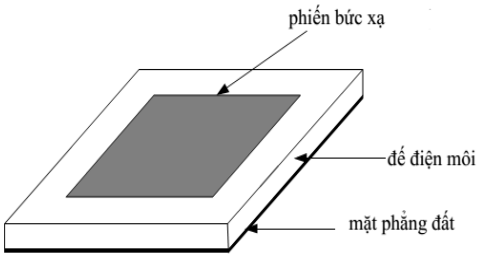
1. MỞ ĐẦU

Ăng-ten là một phần tử không thể thiếu, đóng vai trò quan trọng về chất lượng của hệ thống thông tin vô tuyến. Ăng-ten phát trong hệ thống có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện cao tần (RF) thành sóng điện từ để bức xạ ra không gian. Ăng-ten thu có nhiệm vụ ngược lại chuyển sóng điện từ thành tín hiệu điện cao tần. Chất lượng của việc biến đổi này do nhiều tham số khác nhau của ăng-ten quyết định như băng thông, độ định hướng, hệ số tăng ích, đồ thị bức xạ, hiệu suất,... [1]. Tùy thuộc vào những ứng dụng cụ thể mà loại ăng-ten được lựa chọn là ăng-ten nào. Hiện nay, có nhiều loại ăng-ten khác nhau như ăng-ten parabol, ăng-ten loa, ăng-ten xoắn (helical),... trong đó, mỗi loại ăng-ten có cấu trúc và đặc tính riêng.

Bên cạnh đó, nhu cầu truyền thông băng thông rộng đang ngày một tăng. Ngoài ra, ăng-ten với hệ số tăng ích cao là cần thiết để bù lại sự suy hao tín hiệu trong môi trường truyền sóng. Trong những hệ thống vô tuyến hiện đại, ăng-ten cũng cần phải có kích thước nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ và dễ dàng tích hợp. Do đó, việc thiết kế ăng-ten ngày càng yêu cầu cao về chất lượng. Để đáp ứng các yêu cầu trên, ăng-ten thiết kế không chỉ cần có băng thông đủ rộng và hệ số tăng ích lớn, mà còn phải có đồ thị bức xạ không méo dạng, cấu trúc đơn giản, kích thước gọn nhẹ và dễ tích hợp. Ăng-ten vi dải đã cho thấy là một ứng cử viên sáng giá nhờ những tính năng ưu việt của nó như trọng lượng nhẹ, dễ dàng chế tạo với chi phí thấp, cấu hình thấp cũng như là dễ dạng tích hợp. Tuy nhiên, bên cạnh những ưu điểm trên, ăng-ten vi dải cũng tồn tại một số những giới hạn như băng thông còn hẹp, hệ số tăng ích và hiệu suất thấp [2]. Để khắc phục những nhược điểm trên, nhiều kỹ thuật đã được nghiên cứu đề xuất cho ăng-ten vi dải gồm cấu trúc mặt đế không hoàn hảo (Defected Ground Structure-DGS) [3], sử dụng nguyên lý siêu vật liệu (metamaterial-MTM) [4], phần tử ký sinh [5]. Có những kỹ thuật không chỉ cải thiện chỉ một tham số nào đó cho ăng-ten (ví dụ như băng thông, hệ số tăng ích, tương hỗ,...) mà còn có thể cải thiện đồng thời nhiều tham số của ăng-ten vi dải như kỹ thuật siêu vật liệu có thể cải thiện băng thông, hệ số tăng ích, tương hỗ, giảm nhỏ kích thước, cải thiện RCS (Radar Cross Section) [6–12]. Tương tự như vậy, các kỹ thuật khác như cấu trúc mặt đế không hoàn hảo [13–17] và phần tử ký sinh [5, 18, 19], đường dây trung tính [20] hay những đường uốn khúc [21] cũng có thể cải thiện hiệu năng cho ăng-ten vi dải. Để có được một bức tranh tổng quát, khái quát hóa về sự nghiên cứu phát triển của ăng-ten vi dải, bài báo này trình bày việc khảo sát và phân tích những kỹ thuật được sử dụng để tăng cường hiệu năng cho ăng-ten vi dải. Cụ thể, bài báo tập trung phân tích các kỹ thuật để cải thiện băng thông, hệ số tăng ích và ảnh hưởng tương hỗ cho ăng-ten vi dải.

2. ĂNG-TEN VI DẢI

Khái niệm về ăng-ten vi dải được giới thiệu năm 1953, nhưng phải đến những năm 70 của thế kỷ trước, ăng-ten vi dải mới bắt đầu nhận được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu [1]. Cấu tạo của ăng-ten vi dải truyền thống gồm ba lớp: lớp bức xạ, lớp điện môi và lớp đất và được minh họa trong hình 1. Lớp bức xạ và lớp đất thường là một lớp kim loại (ví dụ như đồng) có chiều dày t và độ dẫn điện σ. Trong khi đó, lớp điện môi là một vật liệu điện môi được đặc trưng bởi một số tham số quan trọng như hằng số điện môi, mức độ suy hao tanδ và chiều dày đế điện môi h. Cần chú ý rằng, lớp bức xạ và lớp đất có chiều dày (t) nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dày của lớp điện môi (h). Ngoài ra, hình dạng của lớp bức xạ là rất đa dạng và chúng được liệt kê trong [1]. Nhờ vào sự linh hoạt trong hình dạng và sự phẳng của lớp bức xạ, mà ăng-ten vi dải càng trở nên dễ dàng tích hợp và chế tạo.



Hình 1. *Cấu tạo của ăng-ten vi dải truyền thống.*

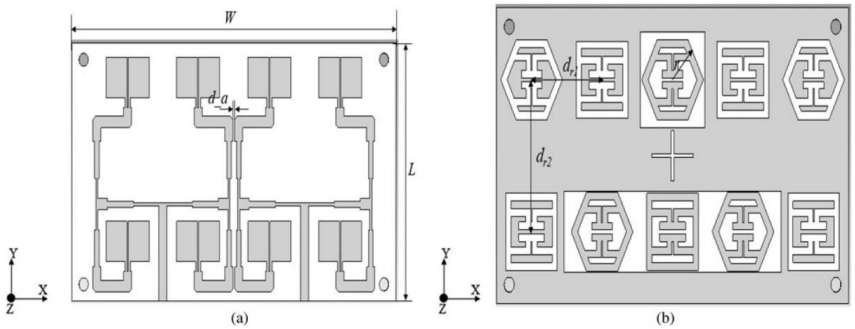
Ăng-ten vi dải có nguyên lý hoạt động khá đơn giản. Khi ăng-ten được cấp nguồn sẽ hình thành phân bố điện tích giữa tấm bức xạ và mặt phẳng đất. Lực đẩy giữa các điện tích tạo ra việc hình thành một luồng di chuyển điện tích từ biên tới bên trong của tấm bức xạ. Sự dịch chuyển này tạo ra các mật độ dòng tương ứng ở tấm bức xạ và mặt phẳng đất. Với hầu hết các ăng-ten vi dải, tỉ số giữa chiều dày của tấm điện môi và chiều rộng của tấm bức xạ là rất nhỏ. Vì vậy, phần lớn sự tập trung điện tích được nằm ở dưới miếng bức xạ. Khi đó, việc bức xạ của ăng-ten vi dải được xác định từ phân bố trường giữa tấm bức xạ và mặt phẳng đất [22].

3. CÁC KỸ THUẬT CẢI THIỆN THAM SỐ CHO ĂNG-TEN VI DẢI

3.1. Các kỹ thuật cải thiện hệ số tăng ích cho ăng-ten vi dải

Ăng-ten vi dải có nhiều tham số cần phải được cải thiện, tham số mà có được nhiều giải pháp nhất đó là hệ số tăng ích. Hiện nay, có nhiều giải pháp đã được nghiên cứu đề xuất để cải thiện hệ số tăng ích cho ăng-ten vi dải như sử dụng siêu vật liệu, cấu trúc mặt đế không hoàn hảo, bề mặt phản xạ,... Những kỹ thuật này có thể chia thành 2 loại, đó là: thay đổi phân bố dòng và sử dụng bề mặt phản xạ.

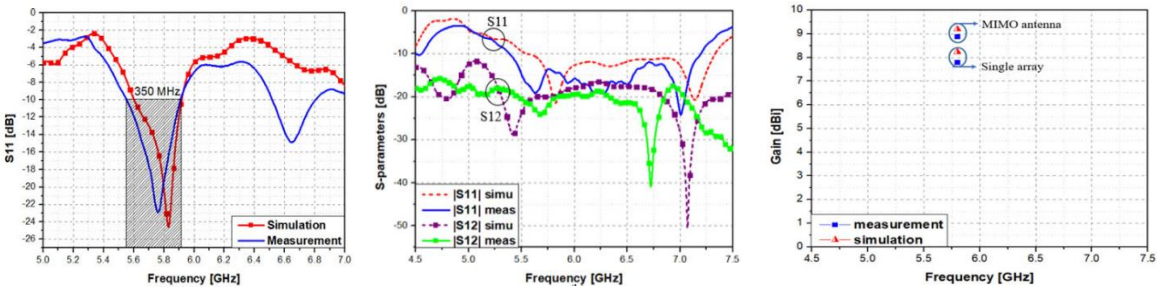
A. Cải thiện hệ số tăng ích của ăng-ten vi dải dựa trên việc phân bố lại dòng



Hình 2. *Mô hình của ăng-ten MIMO trong [6]: (a) Mặt trên, (b) Mặt dưới.*

Bức xạ của ăng-ten vi dải được xác định từ phân bố dòng giữa mặt tấm bức xạ và mặt phẳng đất. Vì vậy, các tham số như kích thước của lớp bức xạ, lớp điện môi và mặt phẳng đất là rất quan trọng. Việc thay đổi bất kỳ tham số nào cũng đều gây ra việc phân bố lại dòng cho ăng-ten và điều này dẫn tới đồ thị bức xạ bị thay đổi. Dựa vào tính chất này, bằng cách thay đổi hình dạng và kích thước của mặt phẳng đất cũng như tấm bức xạ, hệ số tăng ích của ăng-ten được cải thiện đáng kể. Chi tiết của nguyên lý này được trình bày trong [23]. Nhiều phương pháp đã được phát triển dựa trên nguyên lý này.

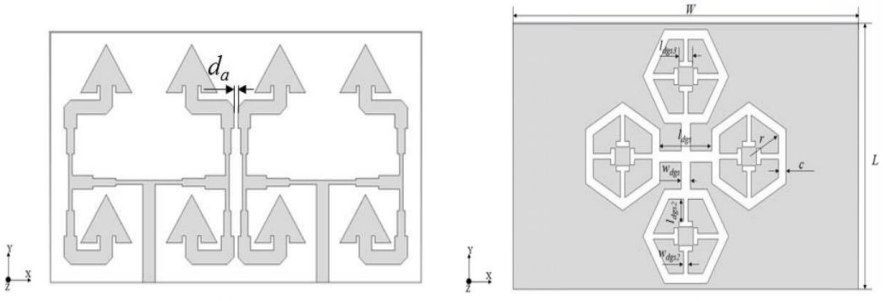
Phương pháp đầu tiên, đó là sử dụng siêu vật liệu, cấu trúc siêu vật liệu [6, 24-26]. Trong [6], một ăng-ten MIMO (nhiều đầu vào – nhiều đầu ra) được thiết kế tại tần số 5,8 GHz và mô hình của ăng-ten được hiển thị trong hình 2. Ăng-ten đề xuất gồm 2 tập ăng-ten mảng 2 x 2 với khoảng cách từ biên tới biên của hai ăng-ten là 2 mm. Bằng cách tích hợp cấu trúc siêu vật liệu ở mặt phẳng đất, ta có thể điều khiển được phân bố dòng thông qua việc điều chỉnh kích thước của cấu trúc siêu vật liệu. Kết quả là hệ số tăng ích của ăng-ten được cải thiện, tăng được 2 dB khi sử dụng cấu trúc siêu vật liệu. Vì ăng-ten đề xuất gồm 2 phần tử, trong đó, mỗi phần tử là một ăng-ten mảng kích thước 2 x 2, nên kích thước của ăng-ten lớn là điều khó tránh khỏi. Tuy nhiên, bù lại đó là hệ số tăng ích và băng thông của ăng-ten khá lớn (9.2 dBi và 30.6%). Hình 3 minh họa một số kết quả mô phỏng và đo kiểm của ăng-ten.



a) b) c)

Hình 3. *Các kết quả mô phỏng và đo lường trong [6].*

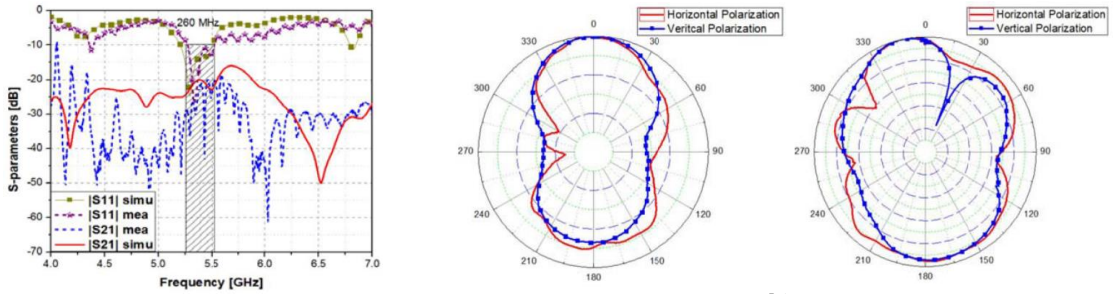
Trong một nghiên cứu khác, một ăng-ten vi dải với hệ số tăng ích được cải thiện và giảm mặt cắt radar (RCS) bằng cách sử dụng bề mặt EBG (Electromagnetic Band Gap) được đề xuất [26]. Do các đường dẫn điện trên tấm bức xạ là khác nhau, nên cấu trúc có hai pha phản xạ khác nhau cho phân cực x và phân cực y. Nói cách khác, sự khác nhau giữa bề mặt siêu vật liệu EBG-Y và EBG-X là việc quay 90°. Bằng cách thay đổi sự sắp xếp của hai loại bề mặt này, các tác giả thu được hai mô hình của ăng-ten khác nhau. Để cải thiện hệ số tăng ích và giảm RCS cho ăng-ten, các tác giả đã sử dụng các cấu trúc EBG được xếp xung quanh tấm bức xạ. Bằng cách này, không chỉ hệ số tăng ích được cải thiện 2,5 dB, mà RCS cũng được giảm 4,3 dB. Tuy nhiên, tỉ lệ phần trăm băng thông của ăng-ten chưa cao, chỉ khoảng 6% tương ứng với khoảng 200 MHz (từ 3,16 đến 3,36 GHz).



(a) (b)

Hình 4. *Mô hình của ăng-ten với cấu trúc DGS.*

Bên cạnh phương pháp sử dụng cấu trúc siêu vật liệu, việc sử dụng cấu trúc mặt đế không hoàn hảo DGS (Defected Ground Structure) cũng là một phương pháp dựa trên phân bố lại dòng. Trong [27], tác giả đã đề xuất một cấu trúc DGS để cải thiện hệ số tăng ích cho ăng-ten MIMO. Mô hình của cấu trúc đề xuất cũng như ăng-ten được minh họa trong hình 4 trong khi một số kết quả mô phỏng và đo lường của ăng-ten được hiển thị trong hình 5. Trong bài báo này, ăng-ten được thiết kế tại tần số 5,5 GHz và hệ số tăng ích đạt 9,5 dBi.



a) b)

Hình 5. *Các kết quả mô phỏng và đo kiểm của ăng-ten: (a) Tham số S; (b) Đồ thị bức xạ.*

Bảng 1 tổng kết hiệu năng của các ăng-ten đề xuất trong các công trình trên.

Bảng 1. *Tổng kết hiệu năng của các ăng-ten sử dụng phương pháp phân bố lại dòng.*

Số	Tần số (GHz)	Giải pháp	Hệ số tăng ích (dBi)	Hệ số tăng ích được cải thiện (dBi)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Kích thước (λ)
[6]	5.8	Siêu vật liệu	9.2	2	30.6	73	2.64 x 1.48 x 0.058
[24]	5.2/6.75	Siêu vật liệu	6.1/8.2	2.1/2.44	2.1/4.6	x	X
[25]	3.06 – 36.4	Siêu vật liệu	8	x	139	95	2.56 x 2.24 x 0.063
[26]	3.25	Siêu vật liệu	11	5	6	x	X
[27]	5.5	DGS	9.5	0.8	5	93	2.56 x 1.55 x 0.027

Rõ ràng là dựa trên việc phân bố lại dòng, việc cải thiện hiệu năng cho ăng-ten vi dải đã được những kết quả đáng ghi nhận. Một số các công bố khác cũng sử dụng nguyên lý này [28-30].

B. Cải thiện hệ số tăng ích của ăng-ten sử dụng bề mặt phản xạ

Ngoài phương pháp phân bố lại dòng, việc cải thiện hệ số tăng ích của ăng-ten còn có thể thực hiện thông qua việc sử dụng bề mặt phản xạ. Đây cũng là một phương pháp khá phổ biến và ngày càng được sử dụng rộng rãi. Nguyên lý của phương pháp này có thể miêu tả như sau: khi một sóng tới bề mặt phản xạ, luồng năng lượng phản xạ tổng từ bề mặt phản xạ sẽ là tổng các việc phản xạ từ tất cả các tế bào đơn vị. Hệ số tăng ích có thể được cải thiện khi pha của luồng năng lượng tổng là cùng pha với tín hiệu kích thích của ăng-ten.

Hiện nay, có nhiều công trình đã được xuất bản dựa trên phương pháp bề mặt phản xạ [31–34]. Trong [31], một ăng-ten vi dải được thiết kế tại tần số 28 GHz cho các ứng dụng mm được đề xuất. Trong bài báo này, hệ số tăng ích và băng thông được cải thiện thông qua việc sử dụng bề mặt lựa chọn tần số (FSS). Dựa vào vị trí của bề mặt phản xạ, chúng ta có thể chia thành hai loại, đó là bề mặt phản xạ ở phía dưới của ăng-ten và bề mặt ở phía trên của ăng-ten. Với trường hợp đầu tiên, cơ chế hoạt động của bề mặt phản xạ giống như nguyên lý đã đề cập ở trên. Trường hợp thứ hai, khi bề mặt phản xạ ở phía trên của ăng-ten, nguyên lý hoạt động của nó có được

trình bày chi tiết trong [35]. Kết quả nghiên cứu đạt được là tỉ lệ phần trăm băng thông của ăng-ten là 9% trong khi hệ số tăng ích đạt đỉnh là 15,4 dBi tại 29 GHz và ăng-ten đề xuất có hiệu suất khoảng 90% trong toàn dải tần từ 26 - 30,5 GHz.

Ngoài công trình [31], có nhiều bài báo đã được xuất bản cùng sử dụng bề mặt phản xạ để cải thiện hệ số tăng ích cho ăng-ten. Để có được cái nhìn tổng quát, bảng 2 tổng kết hiệu năng của các ăng-ten được xuất bản trong thời gian gần đây. Cần chú ý rằng, việc so sánh trong bảng này chỉ là tương đối bởi sự khác nhau về tần số hoạt động cũng như cấu trúc của ăng-ten. Do đó, rất khó để có thể kết luận là ăng-ten trong công trình nào là tốt nhất. Nhìn vào bảng này, chúng ta có thể thấy rằng, việc sử dụng bề mặt phản xạ của ăng-ten đã mang lại sự cải thiện hệ số tăng ích lớn nhất là 12 dB. Điều này đã cho thấy được hiệu quả của việc sử dụng bề mặt phản xạ trong việc cải thiện hệ số tăng ích của ăng-ten.

Bảng 2. *Tổng kết hiệu năng của các ăng-ten sử dụng bề mặt phản xạ.*

Số	Tần số (GHz)	Hệ số tăng ích (dBi)	Hệ số tăng ích được cải thiện (dBi)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Kích thước (λ)
[31]	28	15.4	12	9	90	X
[32]	2.4/5.8	7.54/6.8	5	7/18.8	X	0.65 x 0.65
[33]	2.5-11	8.5/9	2.5	121.43%	X	1.92 x 1.92/1.46 x 1.46
[34]	3.16-15	13.54	6	130.3%	90	1.6 x 1.6 x 0.61
[36]	5-8	9	4	50.77%	X	1.51 x 1.51 x 0.7

C. Sử dụng phần tử ký sinh

Bên cạnh việc sử dụng phân bố lại dòng và bề mặt phản xạ để nâng cao hệ số tăng ích của ăng-ten vi dải, việc sử dụng phần tử ký sinh cũng là một phương pháp khá phổ biến. Với phương pháp này, hệ số tăng ích được cải thiện thông qua việc thêm nguồn bức xạ phụ (bên cạnh nguồn bức xạ chính). Hiện nay, có nhiều công trình đã được xuất bản liên quan đến phương pháp này [37–40]. Trong [40], tác giả đã đề xuất mô hình ăng-ten thiết kế ở dải tần 15 GHz. Bên cạnh nguồn bức xạ chính, nhóm tác giả đã thêm sáu cấu trúc nấm kí sinh. Như vậy, ngoài việc bức xạ từ tấm bức xạ, ăng-ten còn có thêm sáu nguồn bức xạ phụ. Kết quả là hệ số tăng ích được cải thiện đáng kể. Hệ số tăng ích đỉnh của ăng-ten đạt được là 10,5 dBi trong khi tỉ lệ phần trăm băng thông là 42%. Bảng 3 tổng hợp hiệu năng của một số ăng-ten trong các bài báo gần đây. Từ bảng 3, chúng ta có thể thấy rằng, ăng-ten trong [38] có hệ số tăng ích được cải thiện tốt nhất trong khi hệ số tăng ích của ăng-ten thiết kế trong [39] là cao nhất (14.5 dBi).

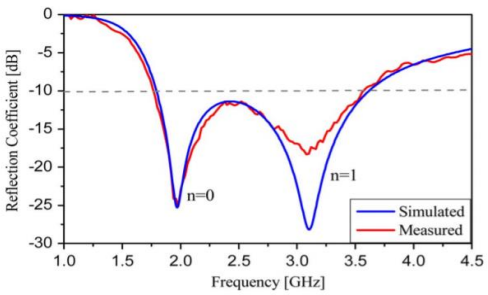
Bảng 3. *Tổng hợp hiệu năng của các ăng-ten sử dụng phần tử ký sinh.*

No	Tần số (GHz)	Hệ số tăng ích (dBi)	Hệ số tăng ích được cải thiện (dBi)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Kích thước (λ)
[37]	5.2	6.8	X	14.8	95	x
[38]	3.8	10.7	3.4	6.1	x	x
[39]	60	14.5	1.5	21.7	63.6	1.2 x 2.94 x 0.05
[40]	15	10.5	X	42	x	x

Ngoài những phương pháp trên, còn có một số phương pháp khác như sử dụng shorting pin [41], điện môi tích hợp ống dẫn sóng (SIW) [42],... Mỗi phương pháp có một sự ưu việt riêng. Vì vậy, chúng ta cần nghiên cứu kỹ các tính chất của chúng trước khi áp dụng nó.

3.2. Các kỹ thuật cải thiện băng thông cho ăng-ten

Hiện nay, nhu cầu truyền thông băng rộng ngày càng cao, đặc biệt là với các hệ thống thông tin vô tuyến. Do đó, việc mở rộng băng thông cho ăng-ten là yêu cầu đối với các nhà thiết kế ăng-ten. Nhiều phương pháp đã được đề xuất như: sử dụng cấu trúc siêu vật liệu [43, 44]; sử dụng lớp điện môi tích hợp hốc cộng hưởng (SIC) [45]; tạo khe ở tấm bức xạ hoặc mặt phẳng đất [46, 47]; sử dụng mặt đế không hoàn hảo [48]. Tuy nhiên, tất cả những phương pháp này đều dựa trên một nguyên lý chung, đó là tạo ra nhiều mode cộng hưởng liên tiếp. Để dễ hiểu hơn, chúng ta xét hệ số phản xạ của một ăng-ten như hình 6. Ta thấy rằng, nếu chỉ có một mode cộng hưởng n=0 thì băng thông của ăng-ten là khá hẹp. Để mở rộng băng thông, chúng ta có thể tạo ra nhiều mode cộng hưởng liên tiếp, mỗi mode có một băng thông nhất định. Khi ghép các mode này lại với nhau, chúng ta sẽ thu được một băng thông rộng hơn.



Hình 6. *Mở rộng băng thông dựa trên việc tạo ra nhiều mode cộng hưởng [49].*

Trong [43], một ăng-ten phân cực tròn với băng thông được mở rộng sử dụng bề mặt siêu vật liệu (metasurface) được đề xuất. Ăng-ten đề xuất được thiết kế và chế tạo ở tần số 4 GHz. Bằng cách sử dụng bề mặt siêu vật liệu, băng thông của ăng-ten đã được cải thiện đáng kể. Điều này được thể hiện qua tỉ số sóng đứng của ăng-ten nhỏ hơn 2 là 36% trong khi tỉ lệ phần trăm của tỉ số trục nhỏ hơn 3 dB là 28,3% trong khi thông thường tỉ lệ phần trăm băng thông của ăng-ten vi dải chỉ khoảng 6%. Điều này đã cho thấy sự hiệu quả trong việc sử dụng bề mặt siêu vật liệu trong việc mở rộng băng thông cho ăng-ten. Hơn nữa, hệ số tăng ích của ăng-ten đạt 7,5 dBi trong khi hiệu suất vẫn được duy trì trên 80%.

Trong một nghiên cứu khác [45], một ăng-ten mảng hoạt động tại tần số 26 GHz cho các ứng dụng 5G được đề xuất. Mỗi phần tử gồm một ăng-ten vi dải hình vuông, hai ăng-ten lưỡng cực (dipole) và các SIC. Ở đây, SIC đóng vai trò như các bộ chia công suất để cấp cho hai ăng-ten lưỡng cực. Điều đáng chú ý trong đề xuất này, đó là việc sử dụng hai ăng-ten lưỡng cực ở hai bên để tạo ra bức xạ lưỡng cực trong mặt phẳng ngang (horizontal). Việc sử dụng SIC trong bài báo này không chỉ để làm bộ chia công suất cho lưỡng cực, mà còn để mở rộng băng thông. Đây là những ý tưởng đáng để ghi nhận.

Ngoài ra, trong [47], ăng-ten vi dải hình chữ E thu được bằng cách cắt các khe trên biên của một ăng-ten vi dải hình chữ nhật được đề xuất. Nhờ việc tạo ra các khe trên tấm bức xạ, băng thông của ăng-ten đã được cải thiện đáng kể khi tỉ lệ phần trăm băng thông đã được tăng thêm 22%. Rõ ràng là việc cắt các khe ở tấm bức đã hình thành các hốc cộng hưởng và điều này dẫn tới việc tạo ra các mode cộng hưởng. Bảng 4 tổng hợp hiệu năng của một số ăng-ten sử dụng một số phương pháp để mở rộng băng thông.

Ta có thể thấy rằng, nhờ vào việc sử dụng các kỹ thuật khác nhau mà băng thông của ăng-ten đã được cải thiện đáng kể. Các ăng-ten đều có tỉ lệ phần trăm băng thông khá cao (> 13%) trong khi các tham số khác như hệ số tăng ích hay hiệu suất vẫn được đảm bảo.

Bảng 4. *Hiệu năng của một số ăng-ten sử dụng một số phương pháp để mở rộng băng thông.*

Số	Tần số (GHz)	Giải pháp	Hệ số tăng ích (dBi)	Băng thông được cải thiện (%)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Kích thước (λ)
[43]	4	Siêu vật liệu	7.5	24	36	75	0.822 x 1.18 x 0.06
[44]	9.7	Siêu vật liệu	X	16.5	18.5	88	1.25 x 0.9 x 0.04
[45]	26	SIC	12	10.6	21.15	90	x
[46]	1.8/2.6/28/37/39	Khe ở mặt phẳng đất	3.6/2.9/5.1/7/7.2	x	44.4/27.8/13.5	60/70	0.95 x 0.46 x 0.0022
[47]	2	Khe ở tấm bức xạ	8	22	27	x	x
[48]	32	DGS	10.6	10.6	38.75	80	6.18 x 1.28

3.3. Các kỹ thuật giảm ảnh hưởng tương hỗ cho ăng-ten

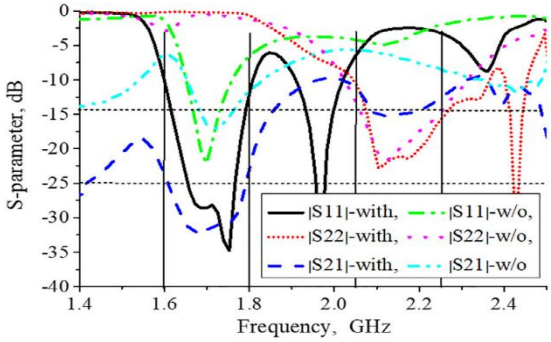
Công nghệ nhiều ăng-ten phát nhiều ăng-ten thu MIMO (Multiple Input – Multiple Output) là giải pháp tốt nhất để giải quyết các vấn đề về dung lượng, chất lượng trong thông tin vô tuyến. Nhờ công nghệ MIMO, hiệu năng của các hệ thống thông tin vô tuyến đã được cải thiện đáng kể như tăng tốc độ dữ liệu, nâng cao hiệu suất sử dụng phổ cũng như là nâng cao độ tin cậy. Tuy nhiên, khi các phần tử ăng-ten được đặt gần nhau, ảnh hưởng tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten xảy ra. Tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten không chỉ ảnh hưởng đến hiệu suất của ăng-ten, mà còn gây ra méo đồ thị bức xạ và điều này dẫn tới chất lượng hệ thống. Vì vậy, đây cũng là một vấn đề cần được giải quyết cấp bách đối với các nhà thiết kế ăng-ten. Đã có nhiều kỹ thuật được đề xuất để giảm ảnh hưởng tương hỗ cho ăng-ten như sử dụng cấu trúc mặt đế không hoàn hảo [51, 52]; siêu vật liệu [53, 54]; sử dụng đường uốn khúc [55, 56]; shorting pin [57, 58], đường dây trung tính [59, 60]. Mặc dù có nhiều phương pháp khác nhau được đề xuất, nhưng hầu hết các phương pháp giảm ảnh hưởng tương hỗ cho ăng-tenn MIMO đều dựa trên cơ chế điều khiển phân bố dòng bề mặt [58].

Trong [51], việc giảm ảnh hưởng tương hỗ giữa các ăng-ten vi dải được thực hiện bằng cách sử dụng mặt đế không hoàn hảo. Ăng-ten được thiết kế tại tần số trung tâm 1,7 GHz và 2,15 GHz. Ở thiết kế này, tấm bức xạ được đặt ở mặt dưới của lớp điện môi I trong khi mặt phẳng đất, DGS và các khe được in ở mặt dưới lớp điện môi II. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, độ cách ly của các ăng-ten khi có DGS tại các băng tần L và S lần lượt là lớn hơn 26 dB và 15 dB. Trong khi đó, các giá trị này khi không có DGS chỉ là khoảng 17 dB và 7.5 dB. Điều này cho thấy, ảnh hưởng tương hỗ đã được cải thiện đáng kể khi sử dụng DGS.

Kết quả nghiên cứu (hình 21) thấy rằng, băng thông của ăng-ten từ 1,6 - 1,8 GHz và từ 2,05 - 2,37 GHz (tính tại -10 dB), tương ứng tỉ lệ phần trăm băng thông là 11,76% và 14,8%. Ảnh hưởng tương hỗ giữa các ăng-ten là nhỏ hơn -26.5 dB và -15 dB tại hai băng tần. Kết quả đo kiểm, hệ số tăng ích của ăng-ten đạt 6,75 dBi và 5,65 dBi trong khi hiệu suất là 76% và 74%.

Phương pháp sử dụng cấu trúc siêu vật liệu cũng là giải pháp được lựa chọn để giảm ảnh

hưởng tương hỗ trong [53]. Ăng-ten được thiết kế tại tần số trung tâm 5,75 GHz gồm hai ăng-ten vi dải được song song với nhau có khoảng cách từ biên tới biên là 2.2 mm. Kết quả chỉ ra rằng với sự có mặt của siêu vật liệu, không những tương hỗ được cải thiện, mà băng thông của ăng-ten cũng được mở rộng. Cụ thể, ảnh hưởng tương hỗ đã được cải thiện 28 dB (từ -10 dB giảm còn -38 dB) trong khi băng thông tăng từ 240 MHz lên 310 MHz. Ăng-ten có tỉ lệ phần trăm băng thông là 6,4% (tương ứng từ 5,57 – 5,96 GHz). Thêm vào đó, ảnh hưởng tương hỗ được duy trì dưới -35 dB trên toàn bộ dải tần từ 5- 6,5 GHz. Ngoài ra, hệ số tăng ích đạt 7,4 dBi trong khi hiệu suất của ăng-ten đạt trên 95%.



Hình 7. *Sự khác nhau về tham số S khi có và không có DGS [51].*

Ngoài hai giải pháp trên, việc sử dụng những đường uốn khúc cũng là một trong các giải pháp được sử dụng để giảm ảnh hưởng tương hỗ cho ăng-ten vi dải và giải pháp này được sử dụng trong [56]. Trong nghiên cứu này, một ăng-ten MIMO thiết kế tại tần số 5,1 GHz với khoảng cách giữa hai ăng-ten là 0,2λ (với λ là bước sóng trong không gian tự do) được đề xuất. Kết quả chỉ ra rằng, với hai mẫu ăng-ten không có đường gấp khúc, tương hỗ giữa các ăng-ten là khoảng -19 và -15 dB trong khi với hai mẫu có đường gấp khúc, tương hỗ của ăng-ten dưới -35 dB và -50 dB tại tần số cộng hưởng. Điều này cho thấy một sự khác biệt khá lớn khi sử dụng các đường gấp khúc trong việc giảm ảnh hưởng tương hỗ.

Bảng 5. *Hiệu năng của một số ăng-ten sử dụng các giải pháp khác nhau để tăng cường cách ly.*

Số	Tần số (GHz)	Giải pháp	Hệ số tăng ích (dBi)	Cách ly được cải thiện (%)	Độ cách ly (dB)	Băng thông (%)	Hiệu suất (%)	Kích thước (λ)
[51]	1.7/2.15	DGS	6.75/5.65	9.5/7.5	26.5/15	11.76/14.8	76/74	0.72 x 0.72 x 0.062
[53]	5.75	Siêu vật liệu	7.4	28	38	6.4	>95	0.345 x 0.306 x 0.164
[56]	5.1	Đường gấp khúc	3.42/4.04	16/35	35/50	2.35/3.5	41.47/51.51	1.326 x 1.02 x 0.027
[58]	3.1 – 5	Đường trung tính	3	12.5	22.5	47.5	70	0.466 x 0.44 x 0.01
[59]	3.5	Shorting pin	3	17	20	1.7	70	0.64 x 0.35 x 0.0178

Một giải pháp khác được lựa chọn là sử dụng đường dây trung tính [59]. Trong [59], ăng-ten đề xuất gồm hai phần tử thiết kế cho dải tần từ 3,1 - 5 GHz. Khoảng cách từ biên đến biên của hai ăng-ten là 2,2 mm. Kết quả nghiên cứu thấy rằng, tương hỗ đã được giảm đáng kể khi có sự hiện diện của đường dây trung tính. Cụ thể, trong dải tần từ 3,1-5 GHz, tương hỗ đã giảm từ -10 dB xuống còn dưới -22,5 dB.

Trong một nghiên cứu khác [58], giải pháp sử dụng các shorting pin để giảm tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten được đề xuất. Ăng-ten đề xuất gồm 2 phần tử ăng-ten vi dải được đặt cách nhau $0{,}012\lambda_0$ theo khoảng cách từ biên đến biên với λ_0 là bước sóng trong không gian tự do tại tần số 3,5 GHz. Kết quả nghiên cứu công bố cho thấy, với sự có mặt của shorting pin, ảnh hưởng tương hỗ đã giảm từ -3 dB xuống còn dưới -20 dB, điều này cho thấy, việc sử dụng shorting pin đã cải thiện cách ly 17 dB, một con số đáng để ghi nhận. Việc giảm tương hỗ qua việc sử dụng shorting pin, phân bố dòng của hai ăng-ten MIMO sẽ chạy theo các góc 45° và -45°. Khi đó, chúng là trực giao lẫn nhau, dẫn đến sự cách ly giữa các phần tử ăng-ten tăng.

Bảng 5 tổng hợp hiệu năng của một số ăng-ten sử dụng các giải pháp khác nhau để tăng cường cách ly hay giảm tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một cách tổng hợp, hệ thống hóa các kỹ thuật để tăng cường hiệu năng cho ăng-ten vi dải. Mặc dù có rất nhiều kỹ thuật khác nhau, tuy nhiên nhiều kỹ thuật cùng được phát triển trên một nguyên lý. Việc cải thiện hệ số tăng ích có thể được chia thành hai nhóm đó là dựa trên nguyên lý phân bố lại dòng và bề mặt phản xạ. Trong khi đó, việc hình thành các hốc cộng hưởng để tạo ra các mode cộng hưởng liên tiếp là nguyên lý quan trọng để mở rộng băng thông cho ăng-ten vi dải. Các kỹ thuật giảm ảnh hưởng tương hỗ dựa trên việc điều khiển dòng bề mặt của ăng-ten vi dải. Việc chỉ ra các nguyên lý này giúp chúng ta có thể dễ dàng cải thiện hiệu năng cho ăng-ten cũng như là phát triển các kỹ thuật mới để đạt được các kết quả tốt hơn.

Nghiên cứu cải thiện tham số cho ăng-ten vi dải đặc biệt cho các hệ thống vô tuyến thế hệ mới luôn gặp nhiều thách thức. Yêu cầu kích thước của ăng-ten vi dải ngày càng gọn nhẹ để dễ dàng tích hợp trong các thiết bị đầu cuối vô tuyến trong khi phải đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật như hệ số tăng ích lớn, băng thông rộng và tương hỗ giữa các phần tử ăng-ten thấp đôi khi không có lời giải. Do đó, cần phải có cách nhìn tổng quát về mặt kỹ thuật để giảm thiểu chi phí và có giải pháp khả thi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. C. A. Balanis, *"Antenna Theory: Analysis and Design"*, Fourth Edi. United States of America: Wiley, 2016.

[2]. Y. Liu *et al.*, *"Some Recent Developments of Microstrip Antenna,"* Int. J. Antennas Propag., vol. 2012, 2012.

[3]. L. H. Weng, Y. C. Guo, X. W. Shi, and X. Q. Chen, *"An Overview on Defected Ground Structure,"* Prog. Electromagn. Res. B, vol. 7, pp. 173–189, 2008.

[4]. P. Kumar, T. Ali, and M. M. M. Pai, *"Electromagnetic metamaterials: A new paradigm of antenna design,"* IEEE Access, vol. 9, pp. 18722–18751, 2021.

[5]. J. Wu, Y. Yin, Z. Wang, and R. Lian, *"Broadband circularly polarized patch antenna with parasitic strips,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 14, no. c, pp. 559–562, 2015.

[6]. N. L. Nguyen and V. Y. Vu, *"Gain enhancement for MIMO antenna using metamaterial structure,"* Int. J. Microw. Wirel. Technol., no. May, pp. 1–12, 2019.

[7]. O. Sokunbi and H. Attia, *"Highly reduced mutual coupling between wideband patch antenna array using multiresonance EBG structure and defective ground surface,"* Microw. Opt. Technol. Lett., vol. 62, no. 4, pp. 1628–1637, 2020.

[8]. Y. Liu, Y. Hao, K. Li, and S. Gong, *"Radar Cross Section Reduction of a Microstrip Antenna Based on Polarization Conversion Metamaterial,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 15, no. c, pp. 80–83, 2016.

[9]. M. Li, K. M. Luk, L. Ge, and K. Zhang, *"Miniaturization of Magnetoelectric Dipole Antenna by Using Metamaterial Loading,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 64, no. 11, pp. 4914–4918, 2016.
[10]. E. A. Serria and M. I. Hussein, *"Implications of metamaterial on ultra-wide band microstrip antenna performance,"* Crystals, vol. 10, no. 8, pp. 1–24, 2020.
[11]. T. Cai, G. M. Wang, X. F. Zhang, Y. W. Wang, B. F. Zong, and H. X. Xu, *"Compact Microstrip Antenna With Enhanced Bandwidth by Loading Magneto-Electro-Dielectric Planar Waveguided Metamaterials,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 63, no. 5, pp. 2306–2311, 2015.
[12]. B. Mohamadzade, A. Lalbakhsh, R. B. V. B. Simorangkir, A. Rezaee, and R. M. Hashmi, *"Mutual coupling reduction in microstrip array antenna by employing cut side patches and ebg structures,"* Prog. Electromagn. Res. M, vol. 89, no. February, pp. 179–187, 2020.
[13]. N. N. Lan, *"Gain enhancement in MIMO antennas using defected ground structure,"* Prog. Electromagn. Res. M, vol. 87, no. December, pp. 127–136, 2019.
[14]. M. Kumar and V. Nath, *"Analysis of low mutual coupling compact multi-band microstrip patch antenna and its array using defected ground structure,"* Eng. Sci. Technol. an Int. J., vol. 19, no. 2, pp. 866–874, 2016.
[15]. C. Kumar, M. I. Pasha, and D. Guha, *"Defected ground structure integrated microstrip array antenna for improved radiation properties,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 16, no. c, pp. 310–312, 2017.
[16]. T. Sarkar, A. Ghosh, L. L. K. Singh, S. Chattopadhyay, and C. Y. D. Sim, *"DGS-Integrated Air-Loaded Wideband Microstrip Antenna for X-and Ku-Band,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 19, no. 1, pp. 114–118, 2020.
[17]. D. Gao, Z. X. Cao, S. D. Fu, X. Quan, and P. Chen, *"A Novel Slot-Array Defected Ground Structure for Decoupling Microstrip Antenna Array,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 10, pp. 7027–7038, 2020.
[18]. K. K. Naik, S. C. S. Teja, B. V. S. Sailaja, and P. A. Vijaya Sri, *"Design of flexible parasitic element patch antenna for biomedical application,"* Prog. Electromagn. Res. M, vol. 94, no. July, pp. 143–153, 2020.
[19]. H. H. Tran and H. C. Park, *"Gain and bandwidth enhancements of sequential-fed circularly polarized patch antenna array using multiple parasitic elements,"* Int. J. RF Microw. Comput. Eng., vol. 30, no. 9, pp. 1–9, 2020.
[20]. X. Shi, M. Zhang, S. Xu, D. Liu, H. Wen, and J. Wang, *"Dual-band 8-element MIMO antenna with short neutral line for 5G mobile handset,"* 2017 11th Eur. Conf. Antennas Propagation, EUCAP 2017, pp. 3140–3142, 2017.
[21]. P. Y. Qin, Y. J. Guo, and A. R. Weily, *"Broadband reflectarray antenna using subwavelength elements based on double square meander-line rings,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 64, no. 1, pp. 378–383, 2016.
[22]. R. Garg, *"Microstrip Antenna Design Handbook."* Artech House, London, p. 845, 2001.
[23]. V. Van Yem and N. N. Lan, *"Gain and bandwidth enhancement of array antenna using novel metamaterial structure,"* J. Commun., vol. 13, no. 3, pp. 101–107, 2018.
[24]. X. J. Gao, T. Cai, and L. Zhu, *"Enhancement of gain and directivity for microstrip antenna using negative permeability metamaterial,"* AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 70, no. 7, pp. 880–885, 2016.
[25]. B. Yuan, Y. H. Zheng, X. H. Zhang, B. You, and G. Q. Luo, "A bandwidth and gain enhancement for microstrip antenna based on metamaterial," Microw. Opt. Technol. Lett., vol. 59, no. 12, pp. 3088–3093, 2017.
[26]. Z.-J. Han, W. Song, and X.-Q. Sheng, *"Gain Enhancement and RCS Reduction for Patch Antenna by using Polarization-Dependent EBG Surface,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 1, no. c, pp. 1–1, 2017.
[27]. N. N. Lan, *"Gain Enhancement in MIMO Antennas Using Defected Ground Structure,"* Prog. Electromagn. Res. M, vol. 87, pp. 127–136, 2019.
[28]. G. V. R. Xavier, A. J. R. Serres, E. G. da Costa, A. C. de Oliveira, L. A. M. Martins Nobrega, and V. C. de Souza, *"Design and application of a metamaterial superstrate on a bio-inspired antenna for partial discharge detection through dielectric windows,"* Sensors (Switzerland), vol. 19, no. 19, 2019.

[29]. W. E. McKinzie, D. M. Nair, B. A. Thrasher, M. A. Smith, E. D. Hughes, and J. M. Parisi, *"60-GHz 2 × 2 LTCC Patch Antenna Array with an Integrated EBG Structure for Gain Enhancement,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 15, no. c, pp. 1522–1525, 2016.
[30]. D. De and P. K. Sahu, *"A Novel Approach towards the Designing of an Antenna for Aircraft Collision Avoidance System,"* AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 71, pp. 53–71, 2017.
[31]. M. Asaadi, I. Afifi, and A. R. Sebak, *"High Gain and Wideband High Dense Dielectric Patch Antenna Using FSS Superstrate for Millimeter-Wave Applications,"* IEEE Access, vol. 6, pp. 38243–38250, 2018.
[32]. E. M. F. Fernandes *et al.*, *"2.4–5.8 GHz dual-band patch antenna with FSS reflector for radiation parameters enhancement,"* AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 108, pp. 235–241, 2019.
[33]. Y. Yuan, X. Xi, and Y. Zhao, *"Compact UWB FSS reflector for antenna gain enhancement,"* IET Microwaves, Antennas Propag., vol. 13, no. 10, pp. 1749–1755, 2019.
[34]. A. Swetha and K. R. Naidu, *"Gain enhancement of an UWB antenna based on a FSS reflector for broadband applications,"* Prog. Electromagn. Res. C, vol. 99, no. December 2019, pp. 193–208, 2020.
[35]. S. X. Ta, Q. S. Ho, K. K. Nguyen, and C. Dao-Ngoc, *"Single-dipole antenna on a metasurface for broadband circularly polarized radiation,"* J. Electromagn. Waves Appl., vol. 32, no. 4, pp. 413–427, 2018.
[36]. A. Chatterjee and S. K. Parui, *"Gain enhancement of a wide slot antenna using a second-order bandpass frequency selective surface,"* Radioengineering, vol. 24, no. 2, pp. 455–461, 2015.
[37]. H. H. Tran and N. Nguyen-Trong, *"Performance Enhancement of MIMO Patch Antenna Using Parasitic Elements,"* IEEE Access, vol. 9, pp. 30011–30016, 2021.
[38]. J. F. Lin and L. Zhu, *"Bandwidth and gain enhancement of patch antenna based on coupling analysis of characteristic modes,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 68, no. 11, pp. 7275–7286, 2020.
[39]. T. H. Jang, H. Y. Kim, I. S. Song, C. J. Lee, J. H. Lee, and C. S. Park, *"A Wideband Aperture Efficient 60-GHz Series-Fed E-Shaped Patch Antenna Array With Copolarized Parasitic Patches,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 64, no. 12, pp. 5518–5521, 2016.
[40]. Y. Cao *et al.*, *"Broadband and High-Gain Microstrip Patch Antenna Loaded With Parasitic Mushroom-Type Structure,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 18, no. 7, pp. 1405–1409, 2019.
[41]. X. Zhang and L. Zhu, *"Gain-Enhanced Patch Antennas with Loading of Shorting Pins,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 64, no. 8, pp. 3310–3318, 2016.
[42]. M. Lin, P. Liu, and Z. Guo, *"Gain-enhanced Ka-band MIMO antennas based on the SIW corrugated technique,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 16, no. c, pp. 3084–3087, 2017.
[43]. N. Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing, *"Bandwidth Enhancement of a Single-Feed Circularly Polarized Antenna Using a Metasurface: Metamaterial-based wideband CP rectangular microstrip antenna,"* IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 58, no. 2, pp. 39–46, 2016.
[44]. O. Borazjani, M. Naser-Moghadasi, J. Rashed-Mohassel, and R. A. Sadeghzadeh, *"Bandwidth improvement of planar antennas using a single-layer metamaterial substrate for X-band application,"* Int. J. Microw. Wirel. Technol., vol. 12, no. 9, pp. 906–914, 2020.
[45]. C. X. Mao, M. Khalily, P. Xiao, T. W. C. Brown, and S. Gao, *"Planar Sub-Millimeter-Wave Array Antenna with Enhanced Gain and Reduced Sidelobes for 5G Broadcast Applications,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 67, no. 1, pp. 160–168, 2019.
[46]. E. Al Abbas, M. Ikram, A. T. Mobashsher, and A. Abbosh, *"MIMO Antenna System for Multi-Band Millimeter-Wave 5G and Wideband 4G Mobile Communications,"* IEEE Access, vol. 7, pp. 181916–181923, 2019.
[47]. A. A. Deshmukh, P. A. Kadam, P. Kamble, and A. Doshi, *"Multiple rectangular slots cut rectangular microstrip antenna for wide band response,"* Proc. - 2018 Int. Conf. Commun. Inf. Comput. Technol. ICCICT 2018, vol. 2018-January, pp. 1–5, 2018.
[48]. S. F. Jilani and A. Alomainy, *"Millimetre-wave T-shaped MIMO antenna with defected ground structures for 5G cellular networks,"* IET Microwaves, Antennas Propag., vol. 12, no. 5, pp. 672–677, 2018.
[49]. B. J. Niu, Q. Y. Feng, and P. L. Shu, *"Epsilon negative zeroth- and first-order resonant antennas with extended bandwidth and high efficiency,"* IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 12, pp.

5878–5884, 2013.
[50]. T. Nahar and S. Rawat, *"Survey of various bandwidth enhancement techniques used for 5G antennas,"* Int. J. Microw. Wirel. Technol., 2020.
[51]. C. Zhao, X. Li, C. Sun, and H. Huang, *"Reduction of mutual coupling between patch antennas using defected ground structure in L- and S-bands,"* Microw. Opt. Technol. Lett., vol. 61, no. 12, pp. 2730–2738, 2019.
[52]. J. Acharjee, K. Mandal, and S. K. Mandal, *"Reduction of mutual coupling and cross-polarization of a MIMO/diversity antenna using a string of H-shaped DGS,"* AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 97, pp. 110–119, 2018.
[53]. R. Mark and S. Das, *"Near zero parameter metamaterial inspired superstrate for isolation improvement in MIMO wireless application,"* Frequenz, vol. 74, no. 1–2, pp. 17–23, 2020.
[54]. V. Najafy and M. Bemani, *"Mutual-coupling reduction in triple-band MIMO antennas for WLAN using CSRRs,"* Int. J. Microw. Wirel. Technol., vol. 12, no. 8, pp. 762–768, 2020.
[55]. J. Ghosh, S. Ghosal, D. Mitra, and S. R. B. Chaudhuri, *"Mutual coupling reduction between closely placed microstrip patch antenna using meander line resonator,"* Prog. Electromagn. Res. Lett., vol. 59, no. April, pp. 115–122, 2016.
[56]. Q. Li *et al.*, *"Mutual Coupling Reduction between Patch Antennas Using Meander Line,"* Int. J. Antennas Propag., vol. 2018, 2018.
[57]. I. A. Tunio, Y. Mahé, T. Razban, and B. Froppier, *"Mutual coupling reduction in patch antenna array using combination of shorting pins and metallic walls,"* Prog. Electromagn. Res. C, vol. 107, no. December 2020, pp. 157–171, 2021.
[58]. M. Abdullah, Q. Li, W. Xue, G. Peng, Y. He, and X. Chen, *"Isolation enhancement of MIMO antennas using shorting pins,"* J. Electromagn. Waves Appl., vol. 33, no. 10, pp. 1249–1263, 2019.
[59]. S. Zhang and G. F. Pedersen, *"Mutual Coupling Reduction for UWB MIMO Antennas with a Wideband Neutralization Line,"* IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 15, pp. 166–169, 2016.
[60]. S. Maddio, G. Pelosi, M. Righini, S. Selleri, and I. Vecchi, *"Mutual coupling reduction in multilayer patch antennas via meander line parasites,"* Electron. Lett., vol. 54, no. 15, pp. 922–924, 2018.

ABSTRACT

A SURVEY ON PERFORMANCE IMPROVEMENT TECHNIQUES FOR MICROSTRIP ANTENNAS

Nowadays, microstrip antennas are widely utilized in different applications thanks to its benefits including easy fabrication with low cost, compact, light-weight as well as ease for integration. However, there are some limitations of microstrip antennas such as narrow bandwidth, low gain and efficiency. The improvement of microstrip antennas parameters is very necessary in order to enhance the quality of wireless communication systems and different techniques have been proposed. This paper presents a survey and analysis for some popular methods which concentrate on improvement for bandwidth, gain and mutual coupling for microstrip antennas including the results of our research.

Keywords: Microstrip antennas; MTM; EBG; DGS; MIMO; Array antenna.

Nhận bài ngày 30 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 30 tháng 7 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 8 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Điện tử Viễn thông – Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;
[2]Khoa Điện tử Viễn thông – Trường Đại học Sài Gòn.
[*]Email: yem.vuvan@hust.edu.vn.