

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN ĂNG-TEN MIMO VI DẢI BỐN PHẦN TỬ VỚI ĐỘ CÁCH LY CAO

Nguyễn Mạnh Hùng¹

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 02/06/2025

Ngày phản biện đánh giá: 08/09/2025

Ngày bài báo được duyệt đăng: 15/10/2025

DOI: 10.59266/houjs.2025.737

Tóm tắt: Bài báo tập trung vào nghiên cứu và phát triển ăng-ten MIMO vi dải nhiều phần tử với độ cách ly cao, ngay cả khi các phần tử được bố trí ở khoảng cách nhỏ. Giải pháp được đề xuất dựa trên việc sử dụng các cặp đường vi dải thụ động bố trí dọc theo cạnh bức xạ của ăng-ten nhằm giảm thiểu tương hỗ giữa các phần tử, đồng thời duy trì khoảng cách rất nhỏ giữa chúng. Trước tiên, kết quả mô phỏng ăng-ten MIMO hai phần tử cho thấy độ cách ly được cải thiện khoảng 26 dB, đạt mức cách ly tối đa 30 dB với khoảng cách giữa các phần tử chỉ $0,017\lambda_0$. Sau đó, kỹ thuật này được mở rộng và áp dụng cho ăng-ten MIMO bốn phần tử. Kết quả mô phỏng cho thấy ăng-ten đạt được hệ số cách ly lớn hơn 25 dB tại tần số 5,2 GHz, với kích thước nhỏ gọn và phù hợp cho các ứng dụng Wi-Fi hiện đại (chuẩn IEEE 802.11ac/ax).

Từ khóa: ăng-ten vi dải, độ cách ly cao, MIMO, đường vi dải thụ động, nhỏ gọn

I. Đặt vấn đề

Ngày nay, sự phát triển của các hệ thống truyền thông hiện đại đã và đang đặt ra nhiều yêu cầu cấp thiết về dung lượng kênh. Giải pháp hiệu quả giúp cải thiện đáng kể dung lượng kênh thông tin vô tuyến đó là sử dụng công nghệ MIMO (Jensen, 2004). Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ chế tạo mạch in, ăng-ten vi dải dùng cho các hệ thống MIMO đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhờ vào những ưu điểm nổi bật của mô hình ăng-ten này ở khả

năng tích hợp vào thiết bị dễ dàng và giảm thiểu chi phí sản xuất. Đối với các thiết bị di động có kích thước nhỏ gọn hoặc có không gian lắp đặt linh kiện hạn chế, các phần tử bức xạ trong hệ ăng-ten MIMO khi đặt cạnh nhau sẽ gây ảnh hưởng lẫn nhau thông qua hiện tượng tương hỗ, khiến cho phẩm chất của ăng-ten bị suy giảm đáng kể. Chính vì vậy, giảm tương hỗ cho các phần tử bức xạ vi dải khi đặt chúng gần nhau đang là một chủ đề được các nhà nghiên cứu ăng-ten đặt nhiều sự chú ý.

¹ Khoa Điện - Điện Tử, Trường Đại học Mở Hà Nội

Những công trình nghiên cứu về giải pháp giảm tương hỗ cho ăng-ten MIMO vi dải có thể được chia thành ba nhóm chính. Nhóm thứ nhất kết hợp việc thiết kế các cấu trúc giảm tương hỗ và các mạch phối hợp trở kháng cho ăng-ten, như trình bày trong các công trình của Li et al (2019) và Li et al (2021). Các giải pháp này được đề xuất dựa vào việc phân tích dữ liệu tham số tán xạ.

Một giải pháp khác mang lại hiệu quả đáng kể trong việc giảm tương hỗ được đề xuất dựa trên nguyên lý ngăn tương tác dòng bề mặt giữa các phần tử bức xạ của ăng-ten MIMO. Những đề xuất tiêu biểu cho phương pháp này gồm có cấu trúc dải chắn điện từ (EBG) như trong các công trình của Yang et al (2017) và Farahani et al (2010) và cấu trúc mặt phẳng đất khuyết Ghosh et al (2018). Cấu trúc EBG thường được đặt cùng mặt phẳng với phần tử bức xạ chính của ăng-ten, do đó sẽ không phù hợp với các cấu trúc có yêu cầu đặt các phần tử bức xạ thật gần nhau vì các phần tử EBG cần nhiều không gian thiết lập. Kết cấu mặt phẳng đất khuyết giải quyết được hạn chế của các phần tử EBG gây ra bằng cách sử dụng các đường cắt có độ dài bằng một nửa hoặc một phần tư bước sóng tại tần số cộng hưởng ở mặt phẳng đất. Tuy vậy, nhược điểm mà DGS gây ra chính là bức xạ ngược khiến cho hiệu suất bức xạ của ăng-ten bị ảnh hưởng đáng kể.

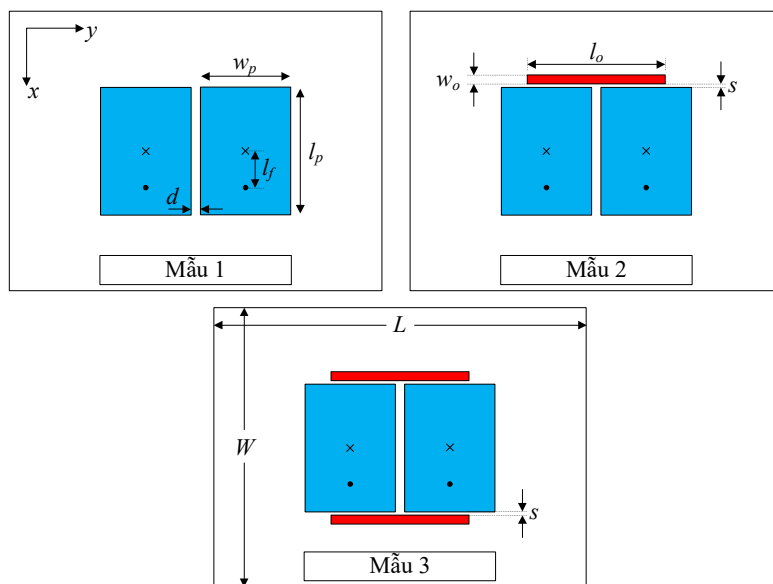
Nhóm giải pháp thứ ba được các nhà nghiên cứu ăng-ten đề xuất tập trung vào việc tạo ra thêm các đường tương hỗ khác nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của các đường tương hỗ giữa hai phần tử phát xạ chính. Ở đây, các giải pháp cụ thể được đề cập

bao gồm cấu trúc đường trung tính (NL), sử dụng nhiều nhánh phụ (Ghannad et al, 2019), sử dụng bộ cộng hưởng trường gần (Li et al, 2018) phần tử thụ động và sử dụng đường vi dải nổi đất (Pei et al, 2021). Các ăng-ten giảm tương hỗ bằng đường trung tính hay phần tử ký sinh đều có trở ngại là kích thước tổng thể khá lớn. Trong khi đó, bộ cộng hưởng trường gần thường được đặt ở một lớp điện môi khác đặt trên phần tử bức xạ chính, trực tiếp làm cho độ dày ăng-ten tăng lên.

Nhìn chung, phần lớn các nghiên cứu nhắc đến ở trên đều có điểm chung là khoảng cách giữa các phần tử ăng-ten khá lớn, thường lớn hơn $0,03 \lambda_0$, với λ_0 là bước sóng không gian tự do tại tần số hoạt động trung tâm. Một số kết quả nghiên cứu trong số này có khoảng cách các phần tử nhỏ hơn $0,03 \lambda_0$ nhưng lại có cấu trúc phức tạp và cồng kềnh. Chính vì vậy, mục tiêu của bài báo này là đề xuất một kỹ thuật giảm tương hỗ và tăng cách ly cho mảng ăng-ten MIMO vi dải gồm hai phần tử bức xạ. Ăng-ten gồm hai phần tử bức xạ vi dải bằng kim loại được sắp xếp theo mặt phẳng H. Về lý thuyết, chế độ công tác của trường điện từ trên phần tử thụ động (không được cấp nguồn) và phần tử bức xạ là giống nhau, và là nguyên nhân gây ra tương hỗ cao cho hệ ăng-ten. Theo đó, mô hình ăng-ten đề xuất trong bài báo này sử dụng một cặp đường vi dải đặt dọc theo cạnh bức xạ của ăng-ten, có tác dụng điều khiển vào tạo ra trên phần tử không bức xạ chế độ công tác trực giao với chế độ công tác trên phần tử được bức xạ. Nhờ vậy, tương hỗ sẽ được loại bỏ.

II. Ăng-ten MIMO 2 phần tử

2.1. Thiết kế, mô phỏng ăng-ten MIMO 2 phần tử



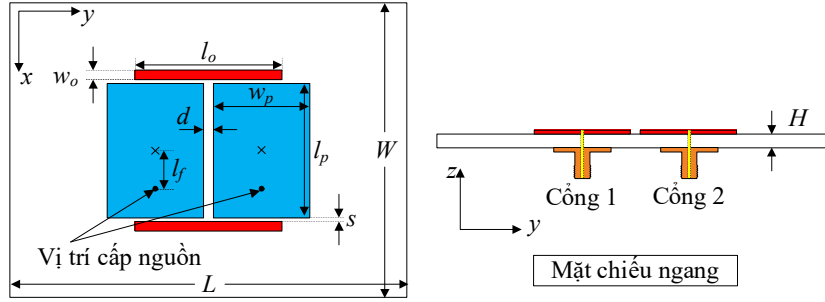
Hình 1: Minh họa các bước thiết kế và tối ưu ăng-ten

Mô hình ăng-ten đề xuất trong phần này được thiết kế thông qua 3 mẫu. Đầu tiên, mẫu 1 gồm hai phần tử phát xạ hình chữ nhật có kích thước w_p và l_p , khoảng cách giữa 2 phần tử này tính từ cạnh là d , được đặt lên trên tấm nền điện môi có kích thước L và W . Bằng cách thêm một đường vi dải có kích thước lần lượt là l_o và w_o đặt cách mép trên của phần tử phát xạ một khoảng s , ta có được thiết kế của Mẫu 2. Mẫu 3 là thiết kế tối ưu của ăng-ten đề xuất trong phần này, gồm có hai đường vi dải đặt ở mép trên và mép dưới của các phần tử phát xạ. Minh họa quá trình thiết kế và tối ưu các mẫu ăng-ten được thể hiện ở hình 2. Đồng thời, kích thước của từng mẫu ăng-ten được liệt kê cụ thể ở bảng 2. Các mẫu ăng-ten đều được thiết kế trên tấm nền điện môi FR-4 có độ dày 1,6 mm và hệ số điện môi là 4,4.

Bảng 1: Kích thước các mẫu ăng-ten
(đơn vị: mm)

Tham số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
l_p	13,6	12,6	12,5
w_p	9,7	9,7	9,7
d	1,0	1,0	1,0
l_f	2,4	2,4	2,4
l_o		13,6	13,5
w_o		1,2	0,8
s		0,3	0,3
L	40	40	40
W	30	30	30
H	1,6	1,6	1,6

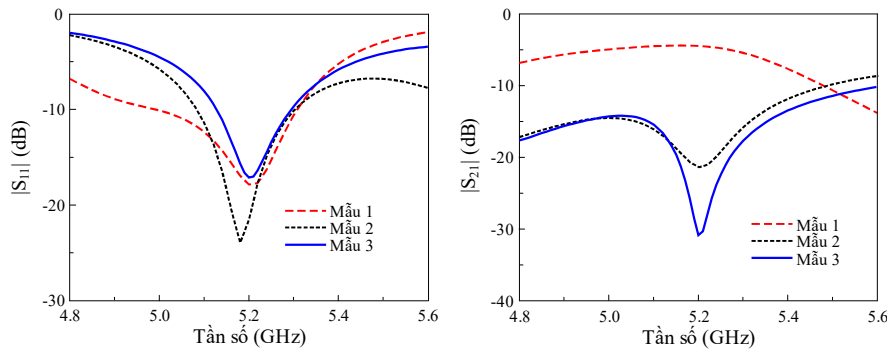
Mẫu ăng-ten 3 đề xuất được thiết kế hoạt động tại tần số 5,2 GHz, sử dụng vật liệu FR-4 làm lớp nền điện môi. Phía trên tấm điện môi, lớp đồng được ăn mòn tạo thành phần tử phát xạ và hai đường vi dải đóng vai trò làm mạch giảm tương hỗ. Mặt dưới lớp điện môi được giữ nguyên, tạo thành mặt phẳng đất cho ăng-ten. Cấu tạo của ăng-ten được mô tả ở hình 2. Kích thước của ăng-ten được liệt kê trong bảng 1.



Hình 2: Cấu tạo ăng-ten đề xuất

Hình 3 dưới đây là kết quả mô phỏng của 3 mẫu ăng-ten gồm có hệ số phản xạ $|S_{11}|$ và hệ số truyền $|S_{21}|$. Kết quả mô phỏng tham số $|S_{11}|$ cho thấy cả ba mẫu ăng-ten đều có dải tần công tác tương tự nhau xung quanh tần số 5,2 GHz. Tuy nhiên, khác biệt xảy ra khi thay đổi các mẫu thiết kế của từng ăng-ten. Với mẫu 1, độ cách ly của ăng-ten này chỉ khoảng 4 dB, tương ứng với hệ số truyền

$|S_{21}|$ khoảng -4 dB. Nguyên nhân của hiện tượng này là do hai phần tử phát xạ của mẫu 1 được đặt rất gần nhau. Với mẫu 2, sự xuất hiện của đường vi dải đã góp phần làm giảm đáng kể tương hỗ, giúp hệ số cách ly được tăng thêm 17 dB. Hệ số cách ly còn được tăng nhiều hơn khi sử dụng mẫu 3 với hai đường vi dải, hệ số cách ly đạt được là trên 25 dB.



Hình 3: Kết quả mô phỏng hệ số phản xạ $|S_{11}|$ và hệ số truyền $|S_{21}|$ của các mẫu ăng-ten

Kết quả mô phỏng khảo sát ba mô hình ăng-ten trên đã chứng minh hiệu quả của kết cấu giảm tương hỗ được đề xuất cho mẫu ăng-ten MIMO vi dải trong phần này. Bằng phương pháp sử dụng hai đường vi dải đóng vai trò là các phần tử thụ động, ăng-ten có thể đạt được hệ số tương hỗ $|S_{21}|$ lên tới -30 dB, với mức cải thiện cách ly lên tới 26 dB so với mô hình ăng-ten không có kết cấu giảm tương hỗ, đồng thời duy trì được

khoảng cách từ cạnh các phần tử rất nhỏ, chỉ $0,017\lambda$.

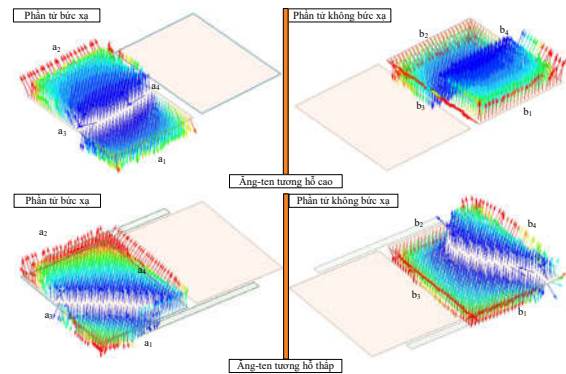
2.3. Nguyên lý giảm tương hỗ

Với mảng ăng-ten gồm hai phần tử, khi ta xét phần tử phát xạ là nguồn phát tín hiệu, còn phần tử không được bức xạ là đầu thu tín hiệu, thì năng lượng thu được bởi phần tử không bức xạ có thể được biểu diễn bằng hệ số suy hao phân cực (PLF) (Nguyen et al, 2023). Hệ số suy hao phân cực được định nghĩa khi nó có giá trị bằng

1 thì không xảy ra hiện tượng mất phối hợp phân cực, tức là giữa ăng-ten phát và ăng-ten thu có cùng dạng phân cực. Ngược lại, khi PLF bằng 0 thì giữa hai ăng-ten bị mất phân cực hoàn toàn. Trong trường hợp PLF bằng 1, năng lượng mà phần tử không bức xạ nhận được từ phần tử bức xạ là cực đại. Theo lý thuyết này, khi hai phần tử ăng-ten gần nhau trong hệ ăng-ten MIMO có cùng chế độ hoạt động thì tương hỗ giữa hai ăng-ten này là rất lớn. Ngược lại, nếu các chế độ hoạt động trên hai phần tử này trực giao thì tương hỗ sẽ bị triệt tiêu.

Nguyên lý hoạt động của kết cấu giảm tương hỗ được giới thiệu trong bài báo này có thể được giải thích bằng cách xem xét kết quả mô phỏng phân bố điện trường (E-field) của ăng-ten. Hình 4 thể hiện phân bố điện trường của mô hình ăng-ten đề xuất và ăng-ten không có mạch giảm tương hỗ tại tần số 5,2 GHz. Trong trường hợp này, giả sử rằng phần tử ăng-ten bên trái được cấp nguồn còn phần tử ăng-ten bên phải thì không. Gọi a_1, a_2, a_3 và a_4 lần lượt là các cạnh của phần tử bức xạ. Trong đó a_3 và a_4 là các cạnh dọc theo chiều dài cộng hưởng của ăng-ten. Tương tự với phần tử không bức xạ ký hiệu các cạnh lần lượt là b_1, b_2, b_3 và b_4 . Đối với ăng-ten tương hỗ cao, phần tử không bức xạ bị tương hỗ do các điện trường biên của phần tử bức xạ. Dọc theo các cạnh $a1, a2$ và $b1, b2$, chiều điện trường không đổi. Ngược lại, chiều điện trường chuyển từ hướng lên thành hướng xuống theo trục Oz dọc theo các cạnh cộng hưởng $a3, a4$ và $b3, b4$ của ăng-ten. Điều này có nghĩa là cả hai phần tử của ăng-ten đều hoạt động ở

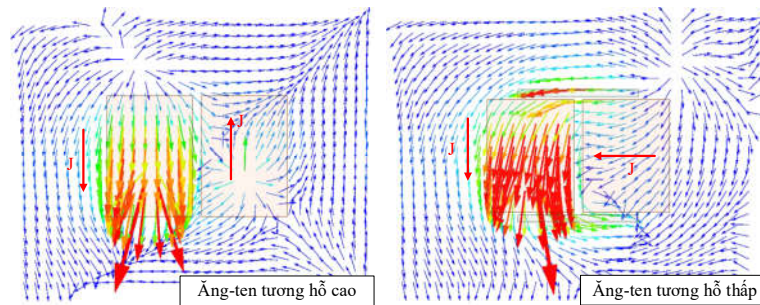
chế độ TM_{01} , điều này giải thích cho hiện tượng tương hỗ cao giữa hai phần tử.



Hình 4: Kết quả mô phỏng phân bố điện trường trên ăng-ten tương hỗ cao và ăng-ten tương hỗ thấp tại tần số 5,2 GHz.

Trên hình 4, sự có mặt của đường vi dải giúp giảm tương hỗ trong cấu tạo của mẫu ăng-ten đề xuất giúp tạo ra những đường tương hỗ khác có tác dụng làm thay đổi chế độ hoạt động trên phần tử không bức xạ. Lúc này, trên phần tử được bức xạ vẫn duy trì chế độ TM_{01} . Tuy nhiên, trên phần tử không phát xạ, ta có thể quan sát thấy chế độ làm việc ở đây là TM_{10} . Dọc theo các cạnh $b3$ và $b4$, chiều của các véc-tơ điện trường là không đổi so với phần tử bức xạ. Tuy nhiên, chiều véc-tơ phân bố điện trường theo các cạnh $b1$ và $b2$ là ngược chiều so với các cạnh $a1$ và $a2$ tương ứng. Điều này thể hiện rằng chế độ làm việc trên phần tử không bức xạ trực giao với chế độ trên phần tử lân cận, chính là chế độ TM_{10} . Như vậy, các đường vi dải ở ăng-ten tương hỗ thấp có tác dụng giảm tương hỗ và làm tăng độ cách ly cho ăng-ten một cách đáng kể bằng việc tạo ra các đường tương hỗ phụ và thay đổi chế độ làm việc trên phần tử không được cấp nguồn trở nên trực giao với chế độ hoạt động trên phần tử lân cận.

Để kiểm chứng hiệu quả thay đổi chế độ làm việc của mạch giảm tương hỗ, ta xét giản đồ phân bố dòng điện trên mặt phẳng đất của cả ăng-ten tương hỗ cao và ăng-ten tương hỗ thấp. Kết quả mô phỏng phân bố dòng mặt phẳng đất được minh họa ở hình 5.



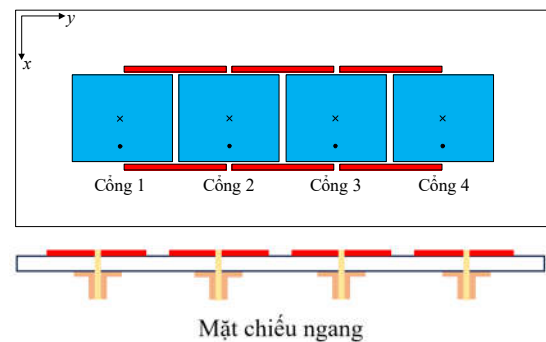
Hình 5: Kết quả mô phỏng phân bố dòng ở mặt phẳng đất của ăng-ten tương hỗ cao và ăng-ten tương hỗ thấp tại tần số 5,2 GHz.

III. Ăng-ten bốn phần tử

Sau khi đã chứng minh hiệu quả của kỹ thuật giảm tương hỗ trên cấu trúc 2 phần tử, một câu hỏi quan trọng là liệu giải pháp này có khả năng mở rộng cho các mảng ăng-ten với số lượng phần tử lớn hơn hay không, vốn là yêu cầu thực tế của các hệ thống MIMO hiện đại. Để kiểm chứng điều này, một mảng ăng-ten MIMO vi dải 4 phần tử đã được thiết kế và mô phỏng. Cấu trúc này giữ nguyên nguyên lý giảm tương hỗ nhưng được tối ưu lại các thông số hình học để đảm bảo hiệu suất hoạt động tốt nhất. Kết quả mô phỏng với ăng-ten 2 phần tử bức xạ cho thấy, kỹ thuật giảm tương hỗ sử dụng các cặp đường vi dải thụ động có thể áp dụng

Như trong hình, các véc-tơ dòng điện dưới phần tử bức xạ và phần tử không bức xạ của ăng-ten tương hỗ cao có cùng phương nhưng ngược chiều. Với ăng-ten đề xuất, dòng điện ở mặt phẳng đất bên dưới hai phần tử này có chiều vuông góc với nhau.

để cải thiện hệ số cách ly cho các ăng-ten MIMO vì dải có nhiều hơn hai phần tử. Áp dụng kỹ thuật này với mảng ăng-ten gồm 04 phần tử phát xạ sắp xếp theo mặt phẳng H là mặt phẳng chứa vector từ trường của ăng ten, ta có được cấu tạo ăng-ten như hình 6 dưới đây.



Hình 6: Cấu tạo ăng-ten bốn phần tử bức xạ

Bảng 2: Kích thước ăng-ten MIMO bốn phần tử phát xạ và so sánh với ăng-ten hai phần tử

Ký hiệu	Ăng-ten 2 phần tử (mm)	Ăng-ten 4 phần tử (mm)
l_p	12,5	12,0
w_p	9,7	14,0
d	1,0	1,0
l_f	2,4	3,0

Ký hiệu	Ăng-ten 2 phần tử (mm)	Ăng-ten 4 phần tử (mm)
l_o	13,5	14,2
w_o	0,8	0,8
s	0,3	0,36
L	40	75
W	30	30
H	1,6	1,6

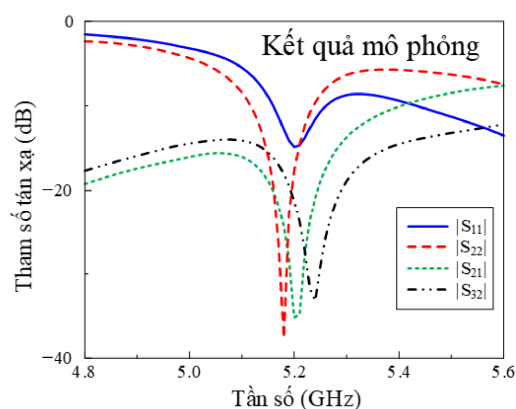
Kích thước tối ưu của ăng-ten 4 phần tử so với mảng 2 phần tử được thể hiện ở bảng 3. Ăng-ten được mô phỏng tối ưu tham số trên phần mềm HFSS bằng tấm nền FR4 có hằng số điện môi 4,4; kích thước 75 mm × 30 mm × 1,6 mm.

Cấu trúc ăng-ten 4 phần tử được minh họa trong hình 6. Các phần tử bức xạ được sắp xếp theo cấu hình mảng thẳng đồng nhất (Uniform Linear Array) trên mặt phẳng H. Các cặp đường vi dải thụ động được bố trí tương tự như với cấu trúc 2 phần tử. Các kích thước của ăng-ten (Bảng 3) đã được tối ưu lại bằng phần mềm HFSS trên cùng loại vật liệu FR-4 để đạt được sự phối hợp trở kháng và độ cách ly tốt nhất tại tần số 5,2 GHz, trong khi vẫn duy trì khoảng cách cực nhỏ $d = 1,0$ mm giữa các phần tử lân cận.

Ăng-ten MIMO bốn phần tử đạt được hiệu suất bức xạ tốt và khả năng cách ly cao trong dải tần quanh 5,2 GHz. Hệ số phản xạ $|S_{11}|$ đều nhỏ hơn -10 dB tại các tần số khảo sát (5,19–5,21 GHz), điều này chứng tỏ ăng-ten được phối hợp trở kháng tốt và hoạt động ổn định trong dải tần thiết kế. Đáng chú ý, các hệ số tương hỗ $|S_{21}|$ và $|S_{32}|$ đều có giá trị rất thấp, lần lượt đạt -35,15 dB và -30,29 dB tại 5,2 GHz. Điều này chứng minh giải pháp sử dụng các đường vi dải thụ động đã mang lại hiệu quả cao trong việc giảm tương hỗ

giữa các phần tử lân cận. Như vậy, ăng-ten MIMO bốn phần tử không những đảm bảo đặc tính phối hợp trở kháng mà còn đạt được độ cách ly vượt trội, đáp ứng yêu cầu khắt khe của các hệ thống thông tin không dây băng tần 5 GHz.

Hình 7 thể hiện các tham số tán xạ mô phỏng của ăng-ten MIMO 4 phần tử. Đầu tiên, xét về khả năng phối hợp trở kháng, các đường cong hệ số phản xạ $|S_{11}|$ và $|S_{22}|$ (đại diện cho các cổng) đều cho thấy giá trị nhỏ hơn -10 dB trong dải tần quan tâm xung quanh 5,2 GHz. Cụ thể, tại tần số 5,2 GHz, $|S_{11}|$ đạt khoảng -14,87 dB, chứng tỏ các cổng được phối hợp trở kháng tốt và năng lượng bức xạ hiệu quả.

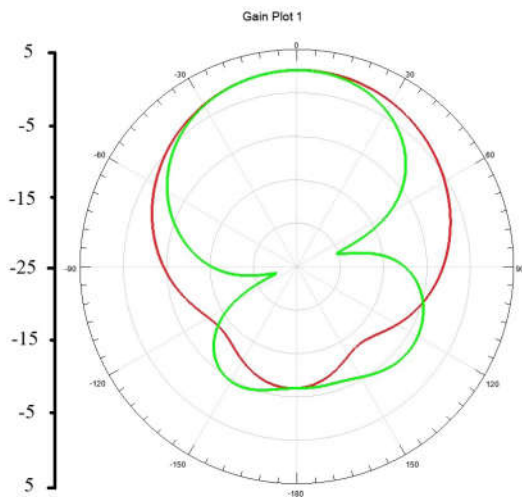


Hình 7: Kết quả mô phỏng tham số tán xạ của ăng-ten MIMO 4 phần tử

Điểm nổi bật nhất của thiết kế chính là độ cách ly cao giữa các phần tử. Hệ số truyền $|S_{21}|$ (tương hỗ giữa cổng 1 và 2) và $|S_{32}|$ (tương hỗ giữa cổng 2 và 3) đều

ở mức rất thấp. Tại tần số 5,2 GHz, $|S_{21}|$ đạt giá trị ấn tượng là -35,15 dB, trong khi $|S_{32}|$ cũng đạt -30,29 dB. Tương hỗ giữa các phần tử không kề nhau như $|S_{31}|$ và $|S_{41}|$ còn thấp hơn nữa, cho thấy năng lượng giảm dần theo khoảng cách.

Ăng-ten có độ cách ly >25 dB tại tần số 5,2 GHz, tần số này được sử dụng cho các chuẩn Wi-Fi hiện đại (802.11ac, 802.11ax), mang lại tốc độ truyền tải dữ liệu cao hơn và ít bị nhiễu hơn so với băng tần 2,4 GHz.



Hình 8: Giản đồ bức xạ của ăng ten bốn phần tử có tương hỗ cao tại tần số 5.2 GHz.

Hình 8 trình bày kết quả mô phỏng giản đồ bức xạ của anten bốn phần tử tại tần số 5.2 GHz trên hai mặt phẳng trực giao là mặt phẳng E (E-plane) và mặt phẳng H (H-plane). Độ lợi cực đại xấp xỉ 2,1 dB. Từ giản đồ cho thấy anten có một búp sóng chính rất rộng cho thấy anten có tính định hướng không cao nhưng lại sở hữu khả năng phủ sóng trong một không gian rộng lớn, rất lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu vùng phủ sóng thay vì tầm xa.

Thêm vào đó, có thể quan sát thấy giản đồ bức xạ trên mặt phẳng E và H có sự tương đồng cao về hình dạng và có tính đối xứng tốt qua trục 0-180 độ. Điều này cho thấy đặc tính bức xạ của anten là ổn định và đồng đều trong không gian, một yếu tố quan trọng để đảm bảo chất lượng tín hiệu nhất quán cho người dùng. Với các đặc điểm này, cấu trúc anten rất phù hợp cho các ứng dụng như điểm truy cập không dây (Access Point) trong mạng Wi-Fi, nơi mục tiêu chính là phủ sóng hiệu quả cho một khu vực như các văn phòng...

Những kết quả này khẳng định rằng giải pháp sử dụng các đường vi dải thụ động không chỉ hiệu quả với cặp ăng-ten mà còn duy trì được hiệu suất vượt trội khi mở rộng lên mảng 4 phần tử, đáp ứng tốt yêu cầu về độ cách ly cao cho các hệ thống MIMO hiện đại. Trên cơ sở đó, kỹ thuật được mở rộng và mô phỏng thành công cho ăng-ten MIMO bốn phần tử. Kết quả cho thấy độ cách ly giữa các phần tử lân cận đều vượt quá 25 dB tại tần số 5,2 GHz, khẳng định tính khả thi và khả năng mở rộng của giải pháp.

IV. Kết luận

Bài báo đã đề xuất thành công một kỹ thuật giảm tương hỗ hiệu quả cho ăng-ten MIMO vi dải nhiều phần tử bằng cách sử dụng các đường vi dải thụ động để tạo ra các mode hoạt động trực giao. Với cấu trúc bổ sung các đường vi dải thụ động dọc theo cạnh bức xạ, ăng-ten MIMO hai phần tử ban đầu đạt được mức cải thiện cách ly lên tới trên 25 dB trong khi khoảng cách giữa hai phần tử chỉ $0,017\lambda$. Trên cơ sở đó, kỹ thuật được mở rộng cho ăng-ten

MIMO bốn phần tử, cho thấy các phần tử lân cận đều có độ cách ly hơn 25 dB, độ lợi cực đại xấp xỉ 2,1 dB tại tần số 5,2 GHz. Kết quả mô phỏng đã khẳng định tính khả thi của giải pháp. Với đặc điểm độ phức tạp thấp, kích thước nhỏ gọn, và hiệu quả cách ly cao, ăng-ten đề xuất hứa hẹn ứng dụng tốt cho các hệ thống không dây băng tần 5 GHz, đặc biệt là Wi-Fi thế hệ mới.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Farahani, H. S., Veysi, M., Kamyab, M., & Tadjalli, A. (2010). Mutual coupling reduction in patch antenna arrays using a UC-EBG superstrate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, 57–59. <https://doi.org/10.1109/lawp.2010.2042565>
- [2]. Ghannad, A. A., Khalily, M., Xiao, P., Tafazolli, R., & Kishk, A. A. (2019). Enhanced matching and vialess decoupling of nearby patch antennas for MIMO system. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(6), 1066–1070. <https://doi.org/10.1109/lawp.2019.2906308>
- [3]. Ghosh, J., Mitra, D., & Das, S. (2018). Mutual coupling reduction of slot antenna array by controlling surface wave propagation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(2), 1352–1357. <https://doi.org/10.1109/tap.2018.2883524>
- [4]. Jensen, M., & Wallace, J. (2004). A review of antennas and propagation for MIMO wireless communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(11), 2810–2824. <https://doi.org/10.1109/tap.2004.835272>
- [5]. Li, M., Jiang, L., & Yeung, K. L. (2019). Novel and efficient parasitic decoupling network for closely coupled antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(6), 3574–3585. <https://doi.org/10.1109/tap.2019.2902656>
- [6]. Li, M., Zhang, Y., Wu, D., Yeung, K. L., Jiang, L., & Murch, R. (2021). Decoupling and matching network for Dual-Band MIMO antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 70(3), 1764–1775. <https://doi.org/10.1109/tap.2021.3118791>
- [7]. Li, M., Zhong, B. G., & Cheung, S. W. (2018). Isolation enhancement for MIMO patch antennas using Near-Field resonators as Coupling-Mode transducers. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(2), 755–764. <https://doi.org/10.1109/tap.2018.2880048>
- [8]. Nguyen-Manh, H., Pham, D., Nguyen-Hoai, G., Tran, H., & Dinh, N. Q. (2023). A design of MIMO antenna with high isolation and compact size characteristics. *IEEE Access*, 11, 93948–93955. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3309869>
- [9]. OuYang, J., Yang, F., & Wang, Z. M. (2011). Reducing mutual coupling of closely spaced microstrip MIMO antennas for WLAN application. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10, 310–313. <https://doi.org/10.1109/lawp.2011.2140310>
- [10]. Pei, T., Zhu, L., Wang, J., & Wu, W. (2021). A Low-Profile decoupling structure for mutual coupling suppression in MIMO patch antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 69(10), 6145–6153. <https://doi.org/10.1109/tap.2021.3098565>
- [11]. Rajo-Iglesias, E., Quevedo-Teruel, Ó., & Inclan-Sanchez, L. (2008). Mutual coupling reduction in patch antenna

- arrays by using a planar EBG structure and a multilayer dielectric substrate. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(6), 1648–1655. <https://doi.org/10.1109/tap.2008.923306>
- [12]. Xia, R., Qu, S., Li, P., Jiang, Q., & Nie, Z. (2015). An efficient decoupling feeding network for microstrip antenna array. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 871–874. <https://doi.org/10.1109/lawp.2014.2380786>
- [13]. Yang, X., Liu, Y., Xu, Y., & Gong, S. (2017). Isolation enhancement in patch antenna array with fractal UC-EBG structure and cross slot. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 2175–2178. <https://doi.org/10.1109/lawp.2017.2703170>
- [14]. Zhang, S., Lau, B. K., Tan, Y., Ying, Z., & He, S. (2011). Mutual coupling reduction of two PIFAs with a T-Shape slot impedance transformer for MIMO mobile terminals. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(3), 1521–1531. <https://doi.org/10.1109/tap.2011.2180329>
- [15]. Zhao, L., Yeung, L. K., & Wu, K. (2014). A coupled resonator decoupling network for Two-Element compact antenna arrays in mobile terminals. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(5), 2767–2776. <https://doi.org/10.1109/tap.2014.2308547>

RESEARCH AND DESIGN OF A FOUR-ELEMENT MICROSTRIP MIMO ANTENNA WITH HIGH ISOLATION

*Nguyen Manh Hung*²

Abstract: *The paper presents a design solution for a microstrip MIMO antenna with high isolation and very small spacing between elements. The proposed approach is based on employing pairs of passive microstrip lines placed along the radiating edges of the antenna to minimize mutual coupling while maintaining very close spacing between the elements. First, simulation results of the two-element MIMO antenna show that the isolation is improved by about 26 dB, achieving a maximum isolation of 30 dB with an inter-element spacing of only $0.017\lambda_0$. Subsequently, this technique is extended and applied to a four-element MIMO antenna. The simulation results demonstrate that the antenna achieves an isolation higher than 25 dB at 5.2 GHz, with a compact size suitable for modern Wi-Fi applications (IEEE 802.11ac/ax standards).*

Keywords: *microstrip antenna, high isolation, MIMO, passive microstrip lines, compact*

² Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Hanoi Open University