



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0052865

(51)^{2022.01} H01Q 25/00

(13) B

(21) 1-2022-07066

(22) 31/10/2022

(45) 27/10/2025 451

(43) 27/01/2023 418A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

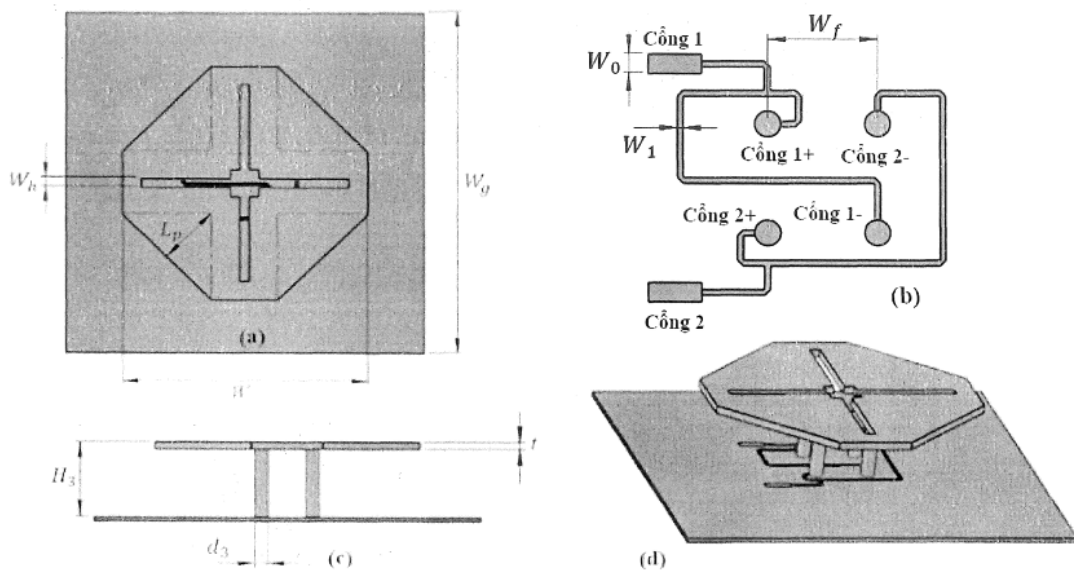
(72) HOÀNG ĐÌNH HẢI TRUYỀN (VN); VŨ THỊ ANH (VN); TRẦN QUANG NHƯỜNG (VN); ĐỖ TRỌNG TOÀN (VN); NGUYỄN VŨ XUÂN TRUNG (VN); NGUYỄN ĐỨC NHẬT (VN); LÊ MINH THÙY (VN); HOÀNG MẠNH CƯỜNG (VN); NGUYỄN HỮU ĐỊNH (VN); LÊ ĐÌNH AN (VN); NGUYỄN VIỆT ANH (VN); TRẦN THỊ HOÀI (VN).

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) ĂNG-TEN MẢNG VÁ DẠNG CHỮ THẬP SỬ DỤNG CHO TRẠM THU PHÁT SÓNG VÔ TUYẾN CÔNG NGHỆ 5G

(21) 1-2022-07066

(57) Sáng chế đề xuất một cấu trúc ăng-ten phân tử cho ứng dụng mảng ăng-ten nhiều đầu vào, ra trong trạm thu phát sóng công nghệ 5G dải tần số dưới 6 GHz. Được phát triển từ một cấu trúc ăng-ten dạng mảng và cơ bản, cấu trúc bức xạ được phát triển thành hình chữ nhật để dễ dàng phối hợp trở kháng, sử dụng chất nền là không khí để tăng băng thông, sử dụng cấu trúc tiếp điện dạng vi sai để tăng hệ số cách ly giữa hai cổng đầu vào. Ngoài ra, cấu trúc ăng-ten được thêm các miếng vá hình tam giác để tăng độ lợi cho ăng-ten. Ăng-ten có các kết quả tương đương ăng-ten 2/3 bước sóng nhưng nhỏ hơn do dòng điện bề mặt tập trung tại các khe trên phần bức xạ. Ăng-ten được thiết kế để sản xuất theo phương pháp đúc cơ khí với một khuôn đúc cả cả phần bức xạ, phù hợp trong sản xuất công nghiệp.



Hình 2

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề xuất cấu trúc ăng-ten dạng mảng và với phần bức xạ dạng khe chữ thập sử dụng chất nền không khí sử dụng trong trạm thu phát gốc vô tuyến công nghệ 5G dải tần dưới 6 GHz, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Theo chuẩn 3GPP, dải tần số dành cho công nghệ 5G đã được quy định, bao gồm hai dải tần số chính là dải tần số dưới 6GHz gọi là *sub-6GHz* và dải tần số từ 20GHz đến 60GHz gọi là dải tần số siêu cao tần (Millimeterwave -mmW). Trên thế giới, các nước phát triển cũng đã khai thác thương mại dải tần dưới 6 GHz (từ 2,5 GHz đến 4,9 GHz) và nghiên cứu dải tần mmW (khoảng từ 24 GHz đến 70 GHz). Tại Việt Nam, cục tần số đã cấp phép cho hai dải tần n41 (từ 2496 MHz đến 2690 MHz, gọi là dải tần tại 2,6 GHz) và n78 (từ 3600 MHz đến 3800 MHz), trong đó, dải tần 2,6 GHz đang được ưu tiên nghiên cứu và phát triển vì đây là dải tần phát triển từ công nghệ 4G và nay được chuyển tiếp sang công nghệ 5G, có ưu thế kế thừa một số kết quả đã làm được tại công nghệ 4G.

Tuy nhiên, đối với việc nghiên cứu và phát triển mảng ăng-ten cho các trạm thu phát sóng công nghệ 5G ở dải tần số dưới 6 GHz có một số thách thức. Thứ nhất, tần số thấp làm cho bước sóng dài hơn, do đó kích thước của các cấu trúc ăng-ten phần tử sẽ tương đối lớn, khoảng 2/3 bước sóng (xấp xỉ 80 mm tại tần số 2,6 GHz nếu sử dụng chất nền là không khí). Trong khi đó, một trong những công nghệ nổi trội của 5G đó chính là công nghệ điều hướng búp sóng (Beamforming). Công nghệ này yêu cầu hệ mảng ăng-ten cực lớn với nhiều đầu vào (Massive MIMO Antenna), ra để tăng số lượng người dùng truy cập đồng thời. Số lượng ăng-ten phần tử cần thiết có thể lên tới 64, 96 hoặc tới 128 phần tử. Do đó nếu kích thước ăng-ten phần tử quá lớn sẽ dẫn tới khó khăn về thiết kế cơ khí, khối lượng và kích thước của trạm thu phát. Thứ hai, các ăng-ten phần tử sử dụng cho mảng ăng-ten trong trạm thu phát 5G phải có cấu trúc phù hợp để sản xuất số lượng lớn với sai số thấp, hoạt động ổn định, đồng thời cũng phải đảm bảo các chỉ tiêu điện, trong đó các chỉ tiêu về băng thông, hệ số cách ly và độ lợi là các chỉ tiêu quan trọng nhất. Các cấu trúc ăng-ten phần tử cơ bản khó có thể đáp ứng đồng thời các yêu cầu trên. Vì vậy, yêu cầu đặt

ra cần có là phương pháp phân tích cụ thể và có chiều sâu liên quan đến đặc tính dòng điện bề mặt để có thể phát triển các cấu trúc ăng-ten phân tử cơ bản để nó có thể đạt cả hai tiêu chí: cơ khí và điện.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất ăng-ten dạng mảng và cấu trúc cơ khí phân cực kép với độ lợi cao, hệ số cách ly tốt và cấu hình nhỏ gọn cho dải tần n41 (2496MHz-2690MHz) cho ứng dụng mảng ăng-ten trạm thu phát gốc công nghệ 5G.

Sáng chế này đề xuất một cấu trúc ăng-ten dạng mảng và phân cực kép có khe chữ thập cho các trạm thu phát sóng công nghệ 5G hoạt động dải tần số 2,6 GHz. Cấu trúc này được phát triển từ cấu trúc ăng-ten mảng và cơ bản nên dễ dàng có thể đạt được các chỉ tiêu cơ khí bằng việc được thiết kế để sản xuất theo phương pháp đúc, có thể đáp ứng việc sản xuất hàng loạt, chi phí thấp với sai số nhỏ. Thêm vào đó, áp dụng nghiên cứu phân tích dòng bề mặt, cấu trúc ăng-ten được phát triển để có kích thước phù hợp nhưng vẫn đảm bảo các chỉ tiêu quan trọng về băng thông, hệ số cách ly và độ lợi.

Trong sáng chế này, ăng-ten đề xuất gồm ba kết cấu chính như sau:

Phần bức xạ là một mảng và cấu trúc đối xứng: với chiều rộng W ; khe chữ thập ở chính giữa với chiều rộng khe là W_h ; phần chêm hình tam giác cân có chiều cao L_p .

Phần tiếp điện bao gồm cấu trúc hai mạch chia ba cổng tạo cặp tín hiệu vi sai với độ rộng đường tín hiệu cổng vào W_0 , độ rộng đường tín hiệu hai cổng ra của cặp tín hiệu vi sai W_1 và bốn cọc cấp nguồn để đưa các cặp tín hiệu từ mạch chia đến phần bức xạ với chiều cao H_3 để tạo phân cực kép.

Phần chất nền điện môi - mặt phẳng đất bao gồm mặt phẳng đất; chất nền điện môi với hằng số điện môi >1 dành cho mạch chia ba cổng và chất nền không khí với hằng số điện môi $=1$ cho phần bức xạ của ăng-ten.

Nguyên lý hoạt động của ăng-ten là sử dụng hai cặp mạch chia công suất tạo hai cặp tín hiệu vi sai và cấp lên bốn cọc để cấp nguồn trực giao tạo phân cực tuyến tính $\pm 45^\circ$. Phần bức xạ được phát triển từ một hình ăng-ten mảng và cơ bản, sử dụng phương pháp phân tích dòng điện bề mặt để thu nhỏ cấu hình và tăng độ lợi. Ăng-ten được thiết kế với cấu hình để dễ dàng sản xuất công nghiệp với độ bề cao, sai số thấp và dải tần số hoạt động bao trùm dải tần n41 của công nghệ 5G.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: là hình vẽ mô tả cấu trúc tổng quát của ăng-ten đề xuất trong sáng chế;

Hình 2: là hình vẽ mô tả các biến liên quan của cấu trúc ăng-ten đề xuất trong sáng chế;

Hình 3: là hình vẽ mô tả sự phát triển của phần bức xạ ăng-ten trong các phiên bản;

Hình 4: là đồ thị tham số S của ăng-ten phiên bản thứ hai;

Hình 5: là hình vẽ mô tả ảnh hưởng của biến W_h tới khả năng phối hợp trở kháng của ăng-ten phiên bản thứ ba;

Hình 6: là hình vẽ mô tả phân bố dòng điện bề mặt của ăng-ten (a) phiên bản thứ hai và (b) phiên bản thứ ba;

Hình 7: là hình vẽ mô tả phân bố điện trường của ăng-ten các phiên bản thứ hai và phiên bản thứ ba tại cổng vào thứ nhất và cổng vào thứ hai;

Hình 8: là hình vẽ mô tả đồ thị bức xạ của ăng-ten tại phiên bản thứ hai và phiên bản thứ ba;

Hình 9: là hình vẽ mô tả ảnh hưởng của biến L_p lên độ lợi lớn nhất của ăng-ten phiên bản thứ ba;

Hình 10: là hình vẽ mô tả ảnh hưởng của biến H lên băng thông của ăng-ten phiên bản thứ ba;

Hình 11: là hình vẽ mô tả kết quả tham số S của ăng-ten phiên bản thứ ba;

Hình 12: là đồ thị hiệu suất và độ lợi lớn nhất của ăng-ten phiên bản thứ ba tại các cổng thứ nhất và cổng thứ hai;

Hình 13: là đồ thị bức xạ của ăng-ten đề xuất tại các tần số 2,3 GHz và 2,6GHz tại cổng thứ nhất và cổng thứ hai.

Mô tả chi tiết sáng chế

Cấu trúc của ăng-ten được đề xuất trong sáng chế cho mảng ăng-ten trong trạm thu phát sóng vô tuyến 5G được mô tả trong Hình 1 bao gồm ba thành phần chính: phần bức xạ 1 bao gồm phần bức xạ chính thứ nhất 1-1 và phần bức xạ chính thứ hai 1-2 được đặt trực giao $\pm 45^\circ$ với khe chữ thập; phần tiếp điện 2 bao gồm hai cặp mạch chia công suất vi dải ba cổng tạo cặp tín hiệu vi sai 2-1 và 2-2, bốn cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ 2-3, 2-4, 2-5, 2-6; phần chất nền điện môi - mặt phẳng đất bao gồm chất nền điện môi

cho mạch vi dải 3-1, chất nền không khí cho phần bức xạ của ăng-ten 3-2 và mặt phẳng đất 3-3.

Về tổng quát, cấu trúc ăng-ten hoạt động trên nguyên lý sau: sau khi được cấp nguồn đầu vào từ cổng vào của mạch chia công suất 2-1 và 2-2, hai cổng ra của từng mạch này sẽ tạo ra hai cặp tín hiệu vi sai với biên độ bằng nhau và lệch pha 180 độ (tương ứng là mạch chia công suất 2-1 tạo ra cặp vi sai cổng 1+ và cổng 1-; mạch chia công suất 2-2 tạo ra cặp vi sai cổng 2+ và cổng 2-). Các cặp tín hiệu vi sai này sẽ được các cọc so le để tiếp điện nối lên phần bức xạ 1. Trong đó, cổng 1+ được nối với cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ thứ nhất 2-3, cổng 1- được nối với cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ thứ hai 2-4, cổng 2+ được nối với cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ thứ ba 2-5 và cổng 2- được nối với cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ thứ tư 2-6 (sau đây lần lượt được gọi là cọc 2-3, cọc 2-4, cọc 2-5, cọc 2-6). Cặp cọc 2-3 và 2-4 sẽ đưa tín hiệu vi sai lên phần bức xạ chính thứ nhất 1-1. Cặp cọc 2-5 và 2-6 sẽ đưa tín hiệu vi sai lên phần bức xạ chính thứ hai 1-2. Hai phần bức xạ 1-1 và 1-2 đóng vai trò tạo bức xạ phân cực kép $\pm 45^\circ$.

Ưu điểm của các cấu trúc ăng-ten dạng mảng vá đó là cấu hình đơn giản, rẻ tiền. Tuy nhiên các khuyết điểm lớn của cấu trúc này đó là: băng thông hẹp, hệ số cách ly kém và độ lợi kém khiến nó không thể cạnh tranh trong các thiết kế ăng-ten trong cho các mảng ăng-ten trong trạm thu phát gốc. Trong sáng chế này, nhóm nghiên cứu tập trung cải tiến các thông số trên và tạo ra một cấu hình phù hợp để cấu trúc ăng-ten vừa có thể đảm bảo các chỉ tiêu về điện cũng như phù hợp cho việc sản xuất công nghiệp.

Cụ thể, những điểm mới trong quá trình nghiên cứu và thiết kế cho ăng-ten như sau:

Về phần bức xạ, ăng-ten được xuất phát từ một ăng-ten mảng vá cơ bản hình vuông (gọi là phiên bản thứ nhất), sử dụng các chất nền có hằng số điện môi >1 được đề xuất trong [1] - (C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, Fourth edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016.) - Hình 3a. Do đặc tính dòng điện luôn tập trung ở viền ngoài của phần bức xạ (mảng vá), do đó, nhóm nghiên cứu đã đề xuất chỉ sử dụng viền ngoài mà không cần sử dụng toàn bộ bề mặt mảng vá nhưng vẫn đảm bảo các đặc tính điện của cấu trúc ăng-ten. Ăng-ten cũng được bẻ gấp dạng chữ thập cho hai mục đích: một là thu gọn kích thước ăng-ten, hai là tạo điều kiện cho việc cấp hai cặp nguồn vi sai để tạo phân cực

kép $\pm 45^\circ$ (phiên bản thứ hai - Hình 3b) và ba là có tạo thêm các thành phần dung kháng để phối hợp trở kháng dễ dàng hơn.

Hình 4 thể hiện kết quả hệ số phản xạ của ăng-ten phiên bản thứ hai, băng thông của ăng-ten chỉ đạt gần 100 MHz (giá trị băng thông được định nghĩa là khoảng tần số mà ở đó $|S_{11}| \leq -15$ dB). Tại tần số trung tâm 2,6 GHz, trở kháng của ăng-ten phiên bản thứ hai có đặc tính dung kháng. Do đó, nhóm nghiên cứu đề xuất thay đổi thành phần dung kháng của ăng-ten tại phần bức xạ để phối hợp trở kháng cho ăng-ten. Sự thay đổi dung kháng sẽ mang trở kháng tại tần số 2,6 GHz ở đồ thị Smith gần với điểm phối hợp trở kháng hơn. Sự thay đổi này được xác định bởi độ rộng của khe chữ thập của phần bức xạ ăng-ten (W_h). Kết quả hệ số phản xạ tại Hình 5 thể hiện sự ảnh hưởng của độ rộng W_h đến khả năng phối hợp trở kháng của ăng-ten. Từ dữ liệu này, nhóm tác giả có thông tin và cơ sở để phối hợp trở kháng cho ăng-ten cho tần số khác nhau. Kết quả mô phỏng dòng điện bề mặt ở hai phiên bản thứ hai và thứ ba được thể hiện trong Hình 6 cho thấy, dòng điện ở phiên bản thứ ba vẫn tập trung ở rìa các khe chữ thập, cho thấy chiều dài điện của ăng-ten không thay đổi, do đó kích thước ăng-ten không bị thay đổi nhiều ở phiên bản thứ ba.

Do có cấu trúc đơn giản được phát triển từ ăng-ten mảng vá, một nhược điểm lớn nhất của các ăng-ten dạng mảng vá là có băng thông hẹp và độ lợi thấp. Vấn đề về băng thông sẽ được bàn luận phía sau. Để cải thiện vấn đề độ lợi, nhóm nghiên cứu đã phân tích điện trường của cấu trúc ăng-ten phiên bản thứ hai và thấy rằng: điện trường của hai cặp nguồn tập trung theo đường chéo theo cặp nguồn vi sai và trực giao với nhau (Hình 7 cổng thứ nhất, cổng thứ hai phiên bản thứ hai). Do đó, nhóm nghiên cứu đề xuất các miếng máng vá tam giác theo chiều các cặp vi sai như Hình 7 để tạo ra phiên bản ăng-ten thứ ba (Hình 3c) với chiều cao miếng vá tam giác là L_p . Kết quả điện trường ở Hình 7 cổng thứ nhất và cổng thứ hai phiên bản thứ ba cho thấy mật độ điện trường đã tập trung rõ rệt ở chiều cấp tín hiệu. Kết quả mô phỏng đồ thị bức xạ dạng 3D ở Hình 8 cũng cho thấy rằng độ rộng búp sóng chính đã hẹp hơn, chứng tỏ điện trường được tập trung vào hướng mong muốn, đây là cơ sở để tăng độ lợi cho ăng-ten. Cụ thể, Hình 9 biểu diễn độ lợi cao nhất của ăng-ten trên dải tần số 2,0GHz và 3,0GHz cho thấy khi tăng giá trị L_p (mm) thì độ lợi của ăng-ten cũng được tăng lên đáng kể từ hơn 7,8 dBi ở phiên bản thứ hai và đạt giá trị lớn nhất 9,2 dBi tại $L_p=8$ mm.

Về phần tiếp điện (cấp nguồn), ăng-ten được cấp nguồn từ hai cặp nguồn vi sai đối xứng và trực giao. Hình 2b mô tả hình vẽ hai chiều (2D) của mạng cấp nguồn được sử dụng cho hai phiên bản thứ hai và thứ ba. Cổng thứ nhất là một mạng ba cửa với đầu vào là đầu cấp tín hiệu, các cổng ra tương ứng là cổng 1+ và cổng 1-. Tín hiệu tại hai cổng này có biên độ bằng nhau và lệch pha 180 độ. Tương tự đối với cổng thứ hai, sẽ có cổng 2+ và cổng 2- với tính chất tương tự. Trong quá trình mô phỏng, hai cổng 1+ và cổng 1- sẽ được cấp cặp tín hiệu vi sai và các cổng 2+ và cổng 2- sẽ được nối với các nguồn chuẩn 50 Ohm, và lặp lại với các cổng 2+ và cổng 2-. Sau đó, thông qua các thông số của mô phỏng, nhóm nghiên cứu sẽ mô phỏng được các tham số tán xạ cho ăng-ten sử dụng cách tiếp điện vi sai từ một cổng đầu vào thông qua hai cổng vi sai độc lập. Việc sử dụng cấu trúc cấp nguồn vi sai sẽ giảm các tín hiệu có chung chế độ cộng hưởng sẽ tăng hệ số cách ly cho hai cổng đầu vào ăng-ten và giải quyết bài toán hệ số cách ly kém của ăng-ten mảng vá.

Về phần chất nền điện môi - mặt phẳng đất, thông thường các ăng-ten mảng vá sẽ được thiết kế theo dạng mạch in PCB và sử dụng các chất nền có hằng số điện môi lớn hơn một nên các cấu trúc ăng-ten mảng vá thường có băng thông hẹp. Băng thông của ăng-ten thì tỉ lệ nghịch với hằng số điện môi sử dụng. Lí do thứ nhất là để sóng bên trong ăng-ten có thể bức xạ hoàn toàn ra môi trường trở kháng nhìn từ khe bức xạ của ăng-ten phải phối hợp trở kháng với trở kháng của không gian bên ngoài. Kết quả là khi độ điện thẩm của ăng-ten nên bằng độ điện thẩm của không khí thì hệ số chất lượng của ăng-ten (Q-factor- đây là hệ số thể hiện tỷ lệ năng lượng dự trữ trong trường gần và tỷ lệ năng lượng bức xạ) có giá trị nhỏ và hệ số này tỷ lệ nghịch với băng thông của ăng-ten. Lí do thứ hai là sóng có thể nhanh chóng bức xạ từ ăng-ten ra môi trường. Một tín hiệu sẽ chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian ngắn bên trong ăng-ten trước khi nó phân rã hoàn toàn bức xạ. Mặt khác, do tính chất tương hỗ của phép biến đổi Fourier, một tín hiệu ngắn sẽ tương ứng với một băng thông rộng. Do đó, nhóm nghiên cứu đã chọn không khí làm chất nền cho ăng-ten thay vì sử dụng các chất nền có hằng số điện môi >1 như thông thường để có băng thông rộng. Sau khi chọn không khí làm chất nền cho ăng-ten để có băng thông rộng, nhóm nghiên cứu sử dụng công thức từ [1] để tính băng thông dưới dạng hàm của độ dày.

$$\text{Băng thông} = 3,771 \left[\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r^2} \right] \frac{H_3}{\lambda_0}$$

Trong đó: ϵ_r là hằng số điện môi của vật liệu sử dụng, ở đây là không khí, có thể lấy xấp xỉ bằng 1;

H_3 là chiều cao của chất nền không khí;

λ_0 là bước sóng tại tần số trung tâm và được tính theo công thức $\lambda_0 = c/f$. Trong đó c là tốc độ ánh sáng xấp xỉ 3×10^8 (m/s) và f là tần số đang xem xét (trong trường hợp này là 2,6 GHz).

Bằng cách đó, nhóm nghiên cứu chọn độ dày phù hợp cho ăng-ten phù hợp với yêu cầu băng thông. Ảnh hưởng của chiều cao ăng-ten lên băng thông được quan sát trong Hình 10. Chúng ta thấy rằng độ dày của chất nền tỷ lệ với băng thông của ăng-ten. Kết quả chọn ăng-ten có độ cao bằng 14 mm để đảm bảo $|S_{11}| < -15$ dB với băng thông lớn nhất.

Tóm lại, cấu trúc ăng-ten đã được nghiên cứu đã khắc phục được các khuyết điểm lớn của ăng-ten dạng mảng và với một cấu hình phù hợp cho việc xây dựng một mảng ăng-ten nhiều đầu vào đầu ra (Massive MIMO Antenna) trong trạm thu phát gốc công nghệ 5G. Ví dụ thực hiện sáng chế

Các tác giả đã tiến hành thiết kế thử nghiệm ăng-ten băng thông rộng cho trạm thu phát gốc công nghệ 5G hoạt động tốt ở dải tần trung tâm n41 là 2,496GHz-2,69GHz.

Ăng-ten thiết kế được sử dụng bao gồm các chi tiết với các thông số cụ thể như sau:

Phần bức xạ là một mảng và cấu trúc đối xứng: với chiều rộng W ; khe chữ thập ở chính giữa với chiều rộng khe là W_h ; phần chêm hình tam giác cân có chiều cao L_p .

Phần tiếp điện bao gồm cấu trúc hai mạch chia ba cổng tạo cặp tín hiệu vi sai với độ rộng đường tín hiệu cổng vào W_0 , độ rộng đường tín hiệu hai cổng ra của cặp tín hiệu vi sai W_1 và bốn cọc cấp nguồn để đưa các cặp tín hiệu từ mạch chia đến phần bức xạ với chiều cao H_3 để tạo phân cực kép, khoảng cách giữa các cọc cấp nguồn là W_f .

Phần chất nền điện môi - mặt phẳng đất bao gồm mặt phẳng đất bằng đồng; chất nền điện môi Roger 4003C dành cho mạch chia ba cổng và chất nền không khí với hằng số điện môi $=1$ cho phần bức xạ của ăng-ten.

Phần tiếp điện của mạch chia công suất được làm theo dạng mạch in PCB sử dụng chất nền Roger 4003C. Phần cọc tiếp điện và phần bức xạ được đúc khối liền mạch từ khuôn cơ khí sử dụng Nhôm mạ bạc ALDC12.1 hoặc ALSi10Mg

Bảng tổng hợp thông số còn lại (Hình 2) và kích thước ví dụ thiết kế ăng-ten băng thông rộng cho 2,6GHz và 3,7GHz:

Bảng 1: các thông số kích thước ăng-ten

STT	Tham số	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	W	42	mm	Chiều rộng của phần bức xạ ăng-ten
2	L_p	8	mm	Chiều cao của các tấm vá thêm vào
3	W_g	70	mm	Chiều dài của mặt phẳng đất
4	W_h	2	mm	Độ rộng của khe chữ thập trên phần bức xạ
5	t	1,5	mm	Độ dày phần bức xạ ăng-ten
6	H_3	11	mm	Độ cao của các cọc cấp nguồn ăng-ten
7	d_3	2	mm	Đường kính các cọc cấp nguồn ăng-ten
8	W_f	10	mm	Khoảng cách giữa các cọc cấp nguồn ăng-ten
9	W_0	1,8	mm	Độ rộng đường cấp nguồn cổng vào mạch chia công suất
10	W_1	1	mm	Độ rộng đường cấp nguồn cổng ra mạch chia công suất

Kết quả của ăng-ten với các tính toán thiết kế trên được thể hiện trong Hình 11: kết quả hệ số phản xạ (S_{11} và S_{22} tại các cổng thứ nhất và cổng thứ hai) và các hệ số cách ly (S_{12} và S_{21}). Kết quả mô phỏng hệ số phản xạ S_{11} và S_{22} tại hai cổng đầu vào thứ nhất và thứ hai tại Hình 11 cho thấy ăng-ten được phối hợp trở kháng tốt với băng thông lên tới 21,3% ($|S_{11}|$ và $|S_{22}| \leq -15\text{dB}$), cao hơn so với các ăng-ten dạng mảng và thông thường hơn 15%. Chứng tỏ cấu trúc ăng-ten với khe chữ thập và việc sử dụng chất nền là không khi có tác dụng lớn với việc cải thiện băng thông cho ăng-ten mảng vá. Kết quả các hệ số cách ly (S_{12} và S_{21}) đạt tốt hơn 29 dB trong dải tần hoạt động của ăng-ten. Kết quả này chứng minh phương pháp cấp nguồn vi sai cải thiện đáng kể hệ số cách ly so với việc cấp nguồn bằng phương pháp một cổng tín hiệu một đầu cuối (single-ended driven) thông thường, khoảng 5-7dB.

Kết quả độ lợi lớn nhất và hiệu suất của ăng-ten được thể hiện trong hình Hình 12. Giá trị độ lợi lớn của ăng-ten tại tần số trung tâm 2,6 GHz tại cổng thứ nhất là 8,9 dBi và

cổng thứ hai là 9,1 dBi. Trước khi thêm các mảng và tam giác vào phần bức xạ, độ lợi của cổng một chỉ đạt 7,9 dBi và cổng hai chỉ đạt 7,8 dBi. Kết quả đã chứng minh, việc sử dụng phân tích dòng điện bề mặt với cải tiến cấu trúc đã cải thiện đáng kể độ lợi của ăng-ten để cấu trúc ăng-ten này phù hợp cho việc thiết kế mảng ăng-ten cho các trạm thu phát gốc. Kết quả hiệu suất bức xạ và hiệu suất tổng cho thấy ăng-ten có hiệu suất bức xạ cao vượt trội, hơn 96% trên toàn bộ dải tần hoạt động. Các kết quả đồ thị bức xạ trên Hình 13 cũng cho thấy ăng-ten có các hệ số như góc nửa công suất (HPBW), hệ số tỷ lệ công suất bức xạ ngược (FBR) và hệ số cách ly phân cực (XPD) đạt kết quả tốt.

Bảng tổng hợp kết quả đạt được của ăng-ten sáng chế:

STT	Kết quả	Mô tả	Cổng thứ nhất	Cổng thứ hai	Đơn vị
1	Dải tần số	Dải tần số cho băng tần 3G/4G theo chuẩn 3GPP	2260-2800		MHz
2	Băng thông	Yêu cầu ăng-ten hỗ trợ 196MHz	196MHz		MHz
3	Số lượng cổng (port) trên một phần tử	Số lượng cổng Ăng-ten sử dụng cùng phần tử.	2	2	
4	Phân cực	Phân cực kép	± 45	± 45	$^{\circ}\text{C}$
5	Độ tăng ích lớn nhất (Peak Gain)	Độ tăng ích lớn nhất của một phần tử trên toàn bộ băng tần	$\geq 8,9$	$\geq 9,1$	dBi
6	Hệ số phản xạ tín hiệu	Hệ số phản xạ tín hiệu tại cổng đầu vào (Reflection coefficient)	≤ -15	≤ -15	dB
7	Hệ số cách ly	Hệ số cách ly giữa hai cổng trên cùng một phần tử	≥ 29	≥ 29	dB
8	Tỷ số búp sóng đuôi	Tỷ số búp sóng chính trên búp sóng đuôi.	≥ 17	≥ 17	dB

9	Tỷ số búp sóng phụ	Tỷ số búp sóng chính trên búp sóng lân cận	≥ 15	≥ 15	dB
10	Hệ số cách ly phân cực	Tỷ số giữa đồng phân cực và phân cực chéo	25	28	dB

Yêu cầu bảo hộ

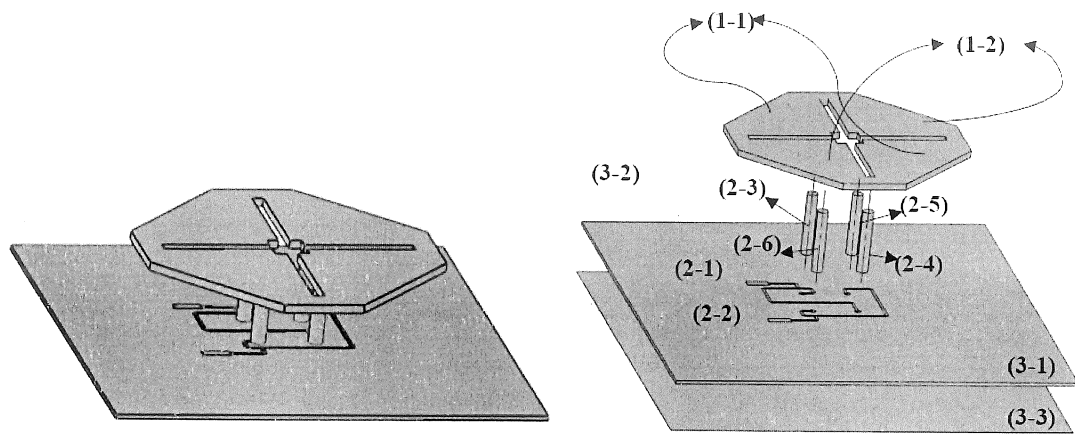
1. Ăng-ten mảng vá dạng chữ thập sử dụng cho trạm thu phát sóng vô tuyến công nghệ 5G bao gồm ba thành phần chính:

phần bức xạ bao gồm hai phần bức xạ chính được đặt trực giao $\pm 45^\circ$ với khe chữ thập; cụ thể hơn, ăng-ten chỉ sử dụng viền ngoài để bức xạ mà không cần sử dụng toàn bộ bề mặt mảng vá nhưng vẫn đảm bảo các đặc tính điện của cấu trúc ăng-ten; ăng-ten cũng được bẻ gập dạng chữ thập cho ba mục đích: một là thu gọn kích thước ăng-ten, hai là tạo điều kiện cho việc cấp hai cặp nguồn vi sai để tạo phân cực kép $\pm 45^\circ$ và ba là có tạo thêm các thành phần dung kháng để phối hợp trở kháng dễ dàng hơn; do ăng-ten có đặc điểm dung kháng, do đó khi thay đổi độ rộng của khe chữ thập trong phần bức xạ ăng-ten, trở kháng của ăng-ten tại tần số 2,6 GHz ở đồ thị smith gần với điểm phối hợp trở kháng hơn; đặc tính dòng điện bề mặt tại các phiên bản cho thấy chiều dài điện của ăng-ten không thay đổi, do đó kích thước ăng-ten không bị thay đổi nhiều ở các phiên bản, do đó dù kích thước ăng-ten đã được thu gọn nhưng đặc tính của ăng-ten vẫn tương đương với ăng-ten dài $2/3$ bước sóng;

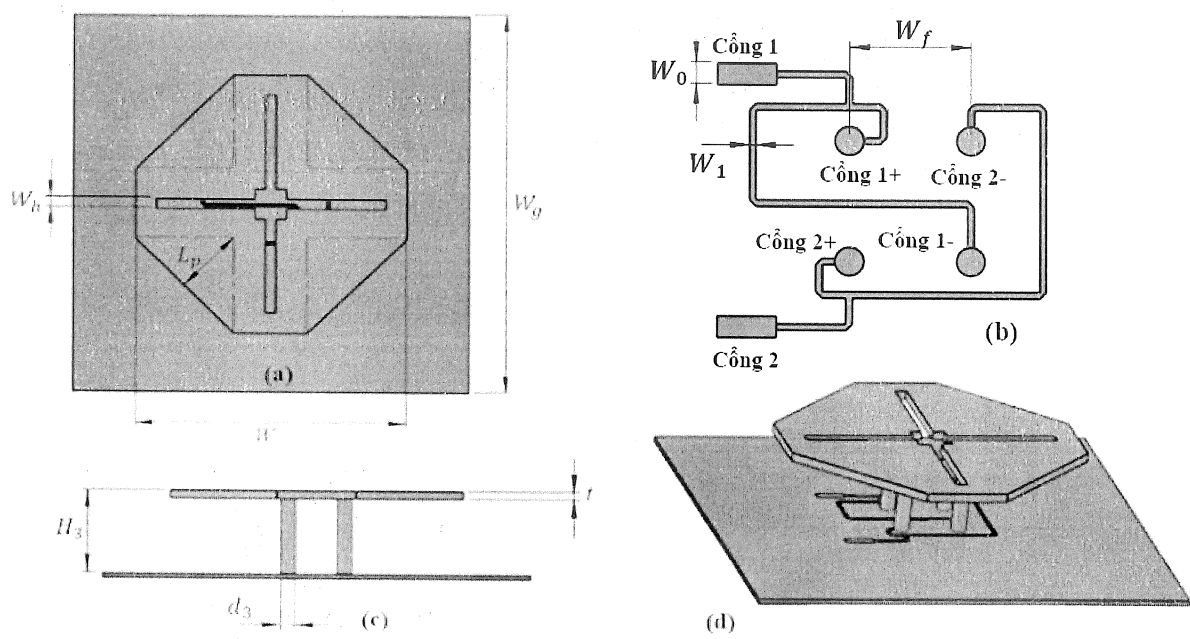
phần tiếp điện bao gồm hai cặp mạch chia công suất vi dải ba cổng tạo cặp tín hiệu vi sai, bốn cọc tiếp điện từ mạch vi sai lên phần bức xạ; cụ thể hơn, ăng-ten được tiếp điện từ hai cặp nguồn vi sai đối xứng và trực giao; cổng thứ nhất là một mạng ba cửa với đầu vào là đầu cấp tín hiệu, các cổng ra tương ứng là cổng 1+ và cổng 1-; tín hiệu tại hai cổng này có biên độ bằng nhau và lệch pha 180 độ; tương tự đối với cổng thứ hai, sẽ có cổng 2+ và cổng 2- với tính chất tương tự; trong quá trình mô phỏng, hai cổng 1+ và cổng 1- sẽ được cấp cặp tín hiệu vi sai và tương tự với cổng 2+ và cổng 2-, sau đó, thông qua các thông số của mô phỏng, sáng chế sẽ mô phỏng được các tham số tán xạ cho ăng-ten sử dụng cách tiếp điện vi sai từ một cổng đầu vào thông qua hai cổng vi sai độc lập; việc sử dụng cấu trúc cấp nguồn vi sai sẽ giảm các tín hiệu có chung chế độ cộng hưởng và sẽ tăng hệ số cách ly cho hai cổng đầu vào ăng-ten và giải quyết vấn đề hệ số cách ly kém của ăng-ten mảng vá;

phần chất nền điện môi - mặt phẳng đất bao gồm chất nền điện môi cho mạch vi dải, chất nền không khí cho phần bức xạ của ăng-ten và mặt phẳng đất; trong đó, sáng chế đã

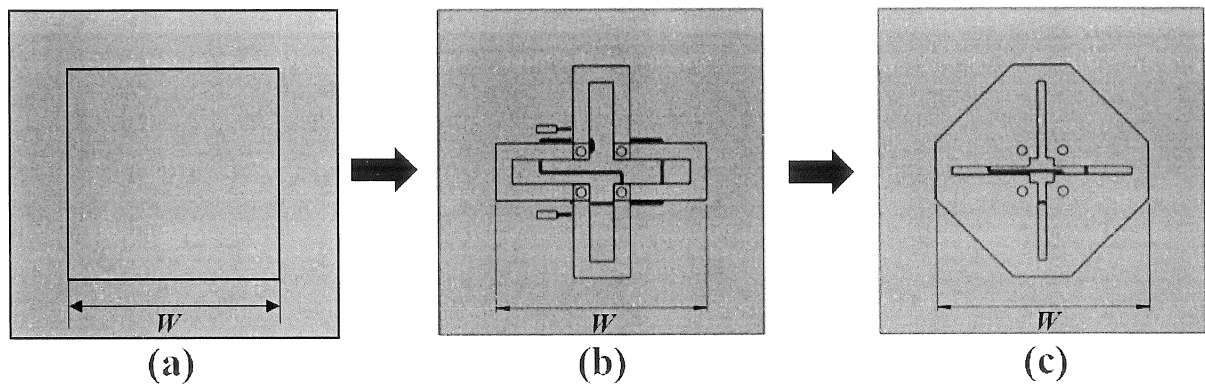
chọn không khí làm chất nền cho ăng-ten thay vì sử dụng các chất nền có hằng số điện môi $\epsilon_r > 1$ như thông thường để có băng thông rộng và băng thông này tỷ lệ với độ dày của chất nền mà ở đây là chiều cao của ăng-ten.



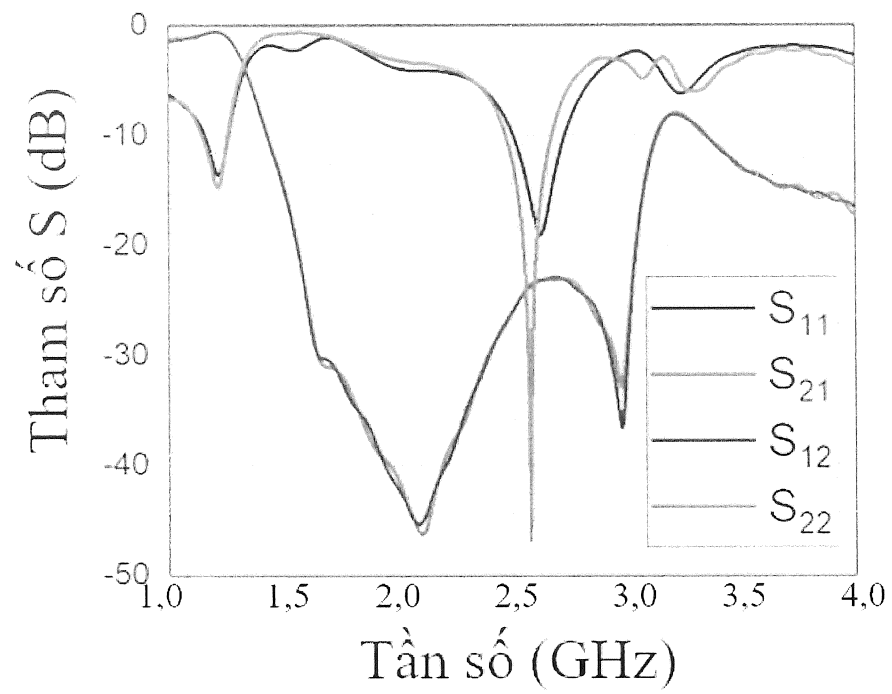
Hình 1



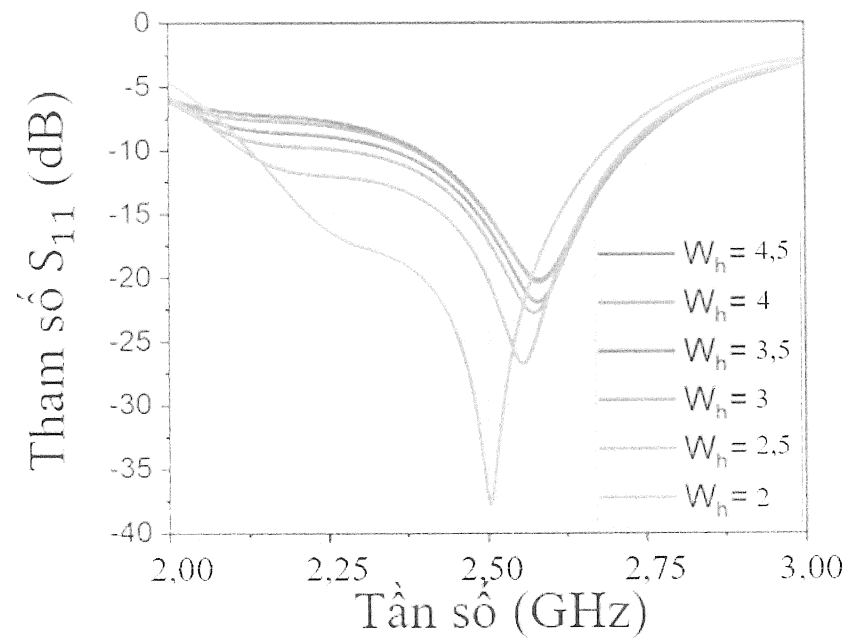
Hình 2



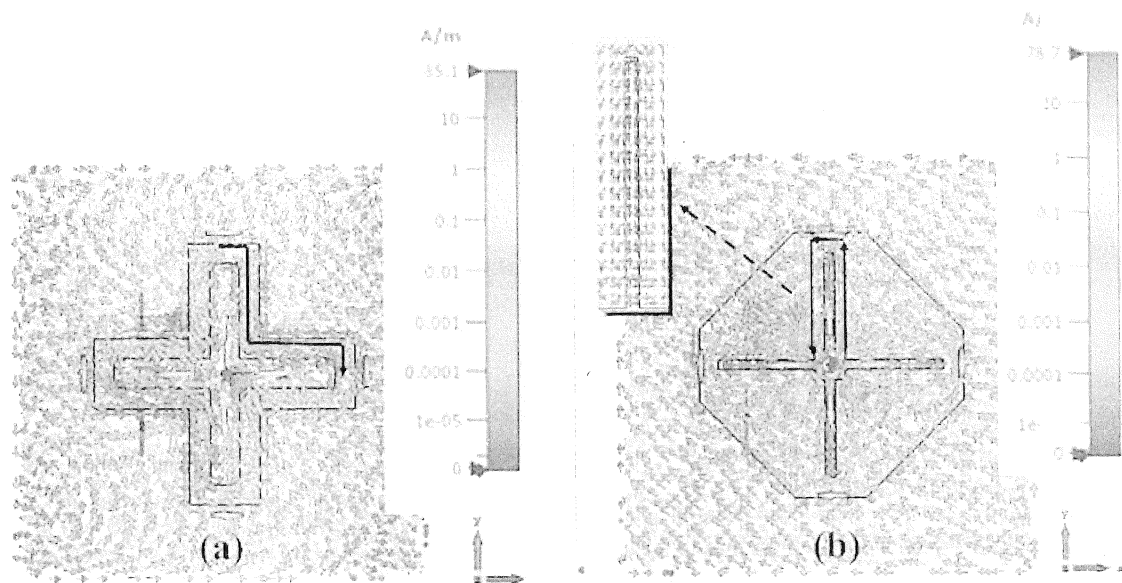
Hình 3



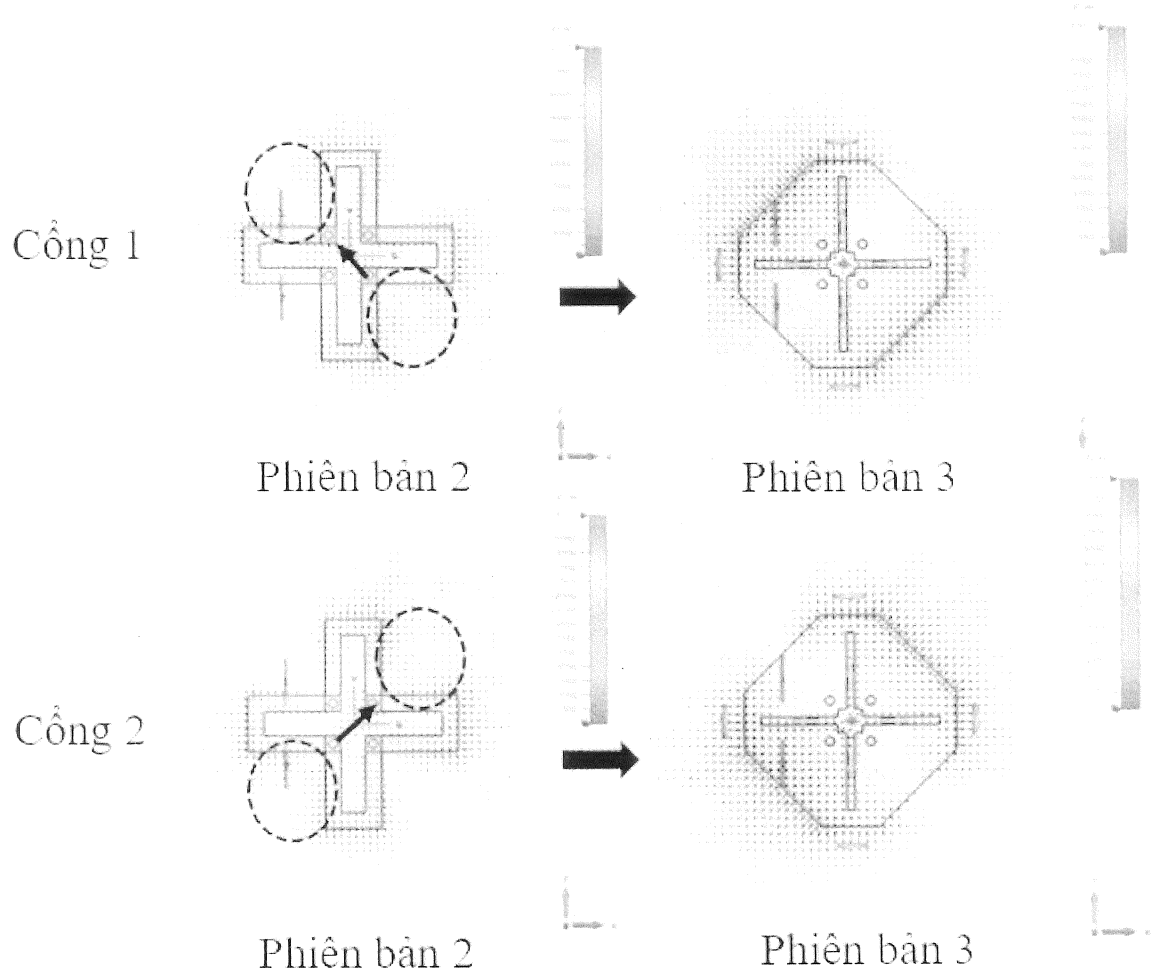
Hình 4



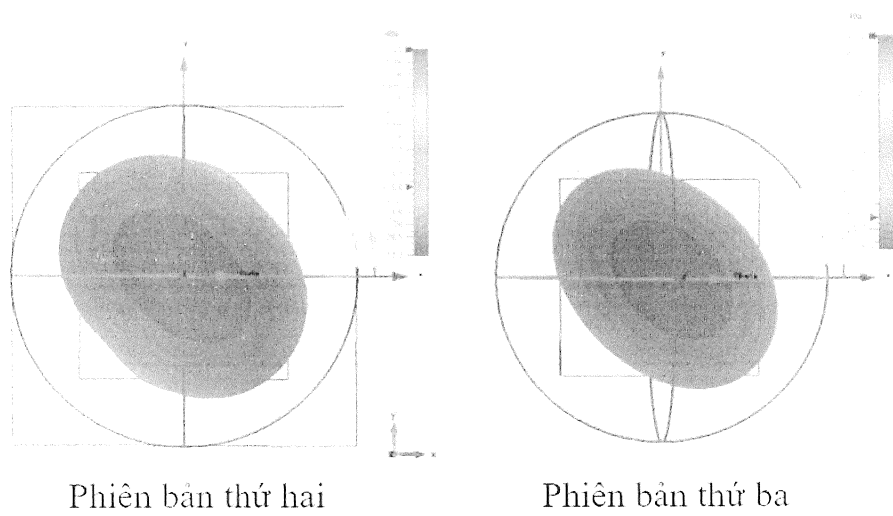
Hình 5



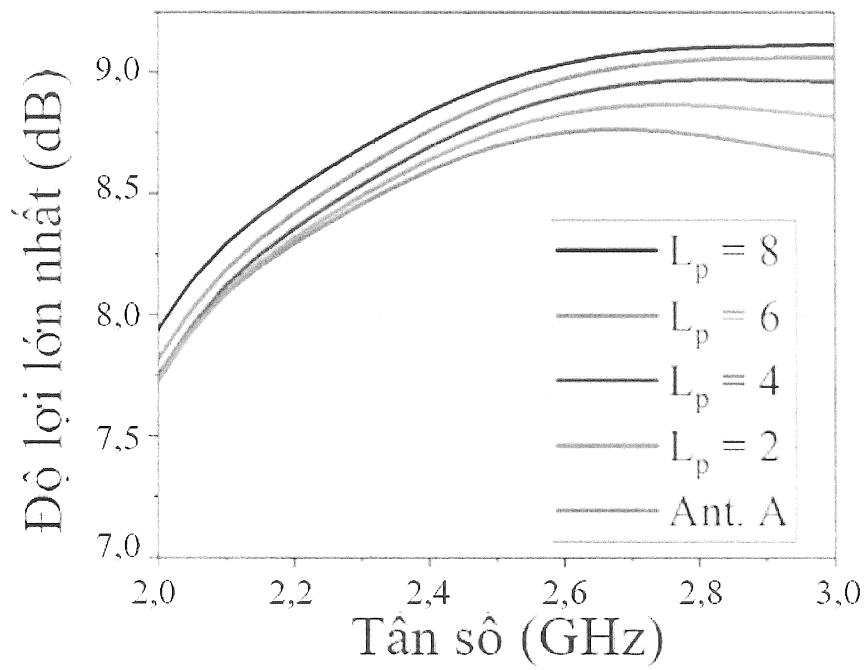
Hình 6



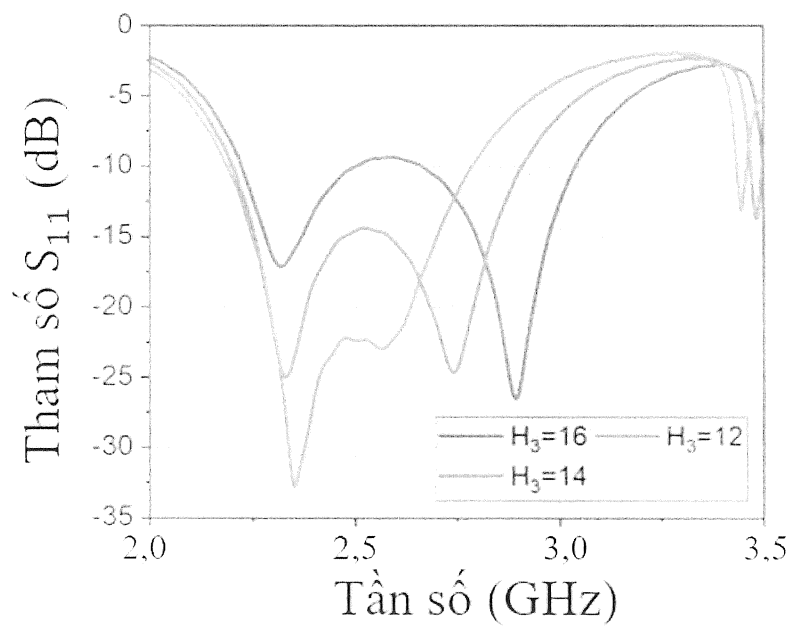
Hình 7-1



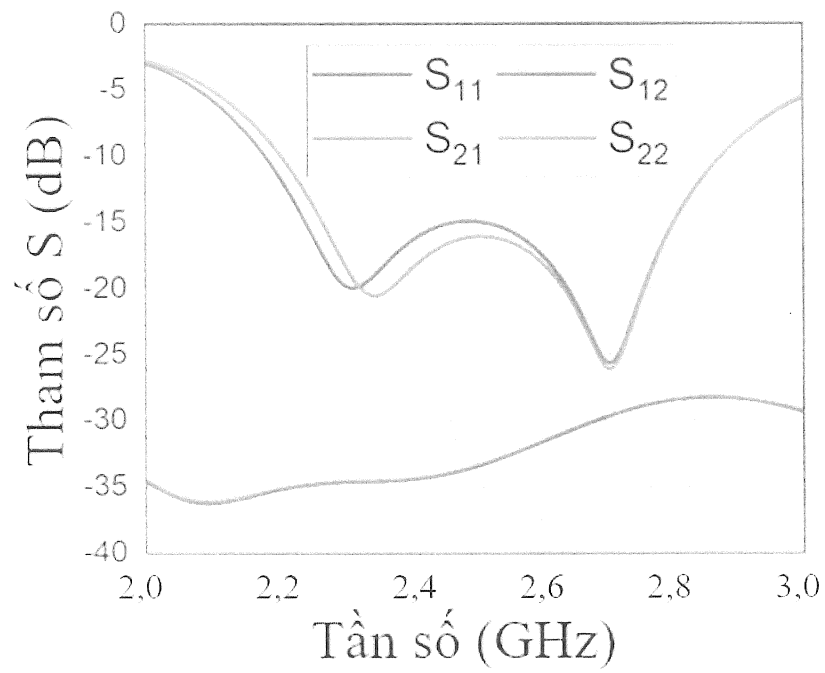
Hình 8



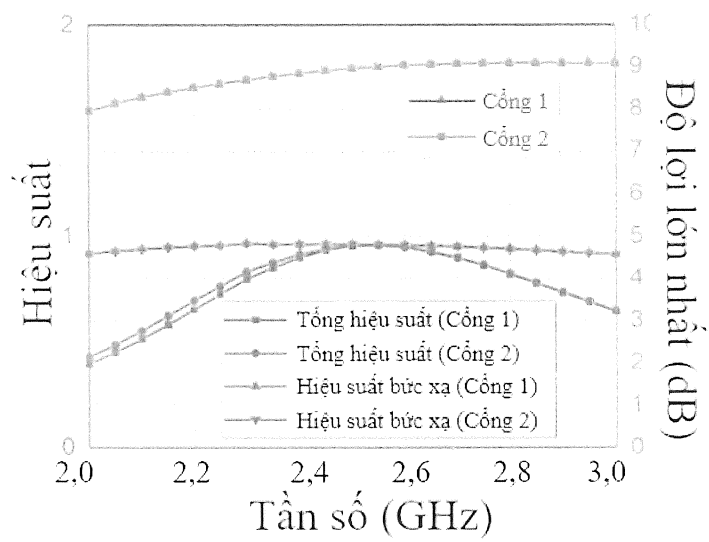
Hình 9



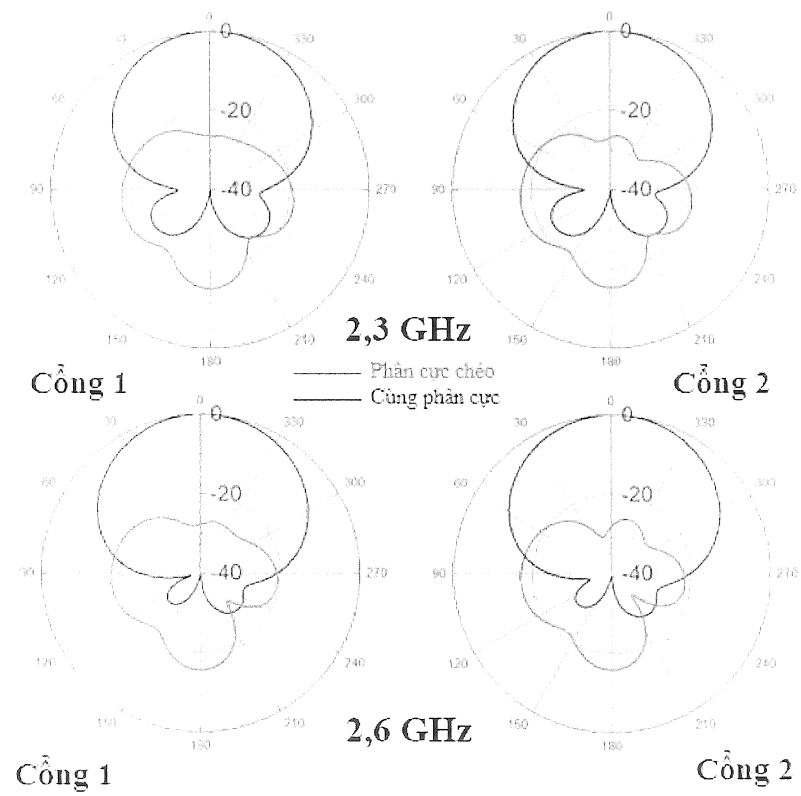
Hình 10



Hình 11



Hình 12



Hình 13