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

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

(11) **1-0039151**

(51)[7] **H01P 5/00**

(13) **B**

(21) 1-2019-07497

(22) 31/12/2019

(45) 25/03/2024 432

(43) 25/02/2020 383A

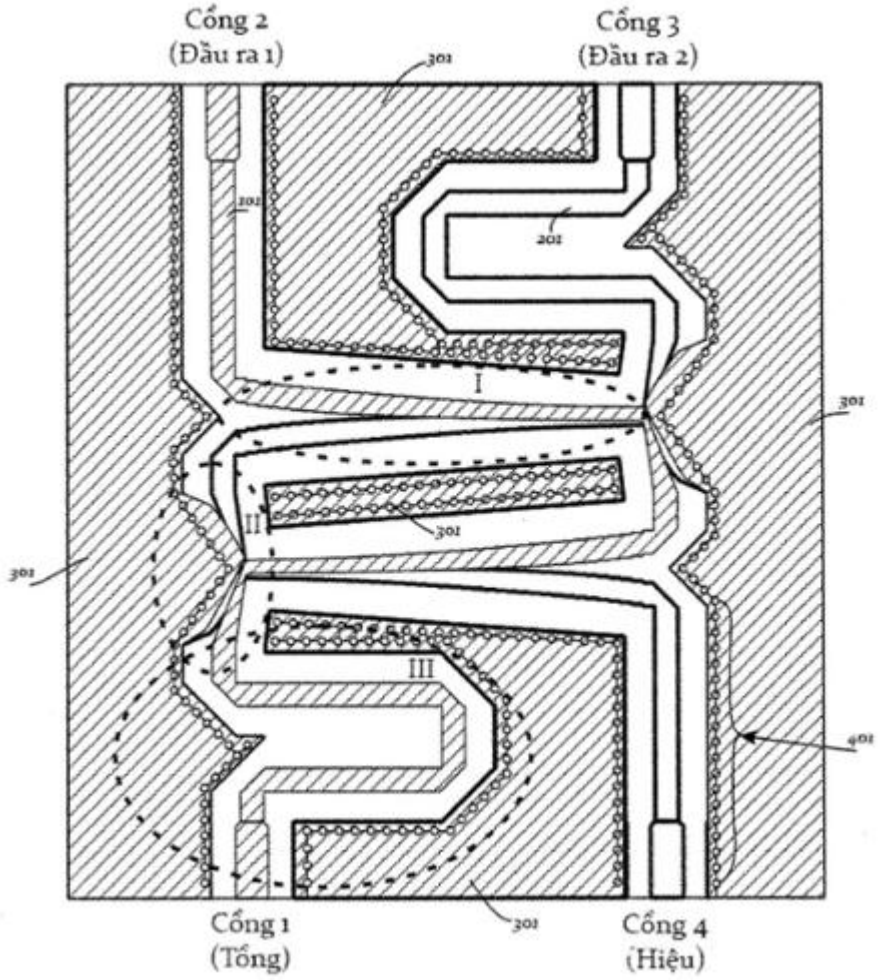
(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)
Lô D26 khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Bá Đạt (VN); Nguyễn Hoàng Linh (VN); Nguyễn Tiến Mạnh (VN); Đinh Công Kiên (VN); Nguyễn Thái Bình (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) BỘ GHÉP LAI NGƯỢC PHA DẢI RỘNG TRÊN MẠCH IN NHIỀU LỚP VỚI HỆ SỐ CÁCH LY CAO

(57) Sáng chế đề cập đến bộ ghép lai ngược pha dải rộng trên mạch in nhiều lớp với hệ số cách ly cao, được thiết kế theo nguyên lý giảm dần hệ số tương hỗ theo chiều dài trên đường truyền ghép cặp ngang. Bộ ghép lai có các đặc trưng riêng gồm: cấu trúc và đặc tính các lớp điện môi; mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập và mô hình phối hợp trở kháng cho đoạn chuyển hướng; hình dáng các đường truyền độc lập bù pha tín hiệu. Nhờ những đặc trưng đó mà bộ ghép lai đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật: dải tần hoạt động rộng từ một bát độ (octave) tới một thập phân (decade); hệ số sóng đứng (VSWR) nhỏ hơn 1,5:1; hệ số cách ly dưới -20 dB; hệ số cân bằng biên độ dưới 1 dB; hệ số cân bằng pha trong ngưỡng ±5°.


Cổng 2
(Đầu ra 1)
Cổng 3
(Đầu ra 2)
301
202
202
I
301
II
301
301
III
401
301
Cổng 1
(Tổng)
Cổng 4
(Hiệu)

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến bộ ghép lai ngược pha (180^O hybrid coupler) dải rộng trên mạch in nhiều lớp với hệ số cách ly cao. Cụ thể, bộ ghép lai được đề cập trong sáng chế được sử dụng như một bộ dịch pha, chia hoặc cộng tín hiệu trong các thiết bị cao tần như bộ khuếch đại công suất, bộ chuyển mạch, mạng tiếp điện cho ăng-ten mảng pha và được ứng dụng trong nhiều thiết bị viễn thông khác.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Bộ ghép lai (hybrid coupler) là một mạng bốn cửa thụ động, trong đó có hai cổng đóng vai trò đầu vào và hai cổng còn lại đóng vai trò là đầu ra. Trên lý thuyết, cả bốn cổng được phối hợp trở kháng hoàn toàn, thông thường theo chuẩn 50Ω, các cặp cổng đầu vào và đầu ra được cách ly hoàn toàn với nhau, nghĩa là tín hiệu chỉ truyền từ các đầu vào tới các đầu ra, không có tín hiệu dò giữa hai đầu vào hoặc hai đầu ra.

Bộ ghép lai (hybrid coupler) là một trường hợp riêng của bộ ghép định hướng (directional coupler) khi công suất tín hiệu từ đầu vào được chia đều trên hai đầu ra với hệ số theo thang logarit là -3 dB. Bộ ghép lai có hai loại là 90^O và 180^O thể hiện cho mối quan hệ về pha của hai tín hiệu tại hai đầu ra. Sáng chế đề cập đến bộ ghép lai loại 180^O (ngược pha), trong đó hai cổng đầu vào có chức năng khác nhau, được gọi là cổng tổng và cổng hiệu. Khi cấp một tín hiệu cao tần vào cổng tổng, tại hai đầu ra sẽ thu được hai tín hiệu cùng pha; còn khi cấp một tín hiệu cao tần vào cổng hiệu, tín hiệu nhận được tại hai đầu ra sẽ ngược pha với nhau (lệch pha góc 180^O). Các cổng đầu vào và đầu ra có thể hoán đổi vai trò cho nhau, mà các mối quan hệ về pha vẫn được giữ nguyên.

Có một số nguyên tắc thiết kế bộ ghép lai 180^O (ngược pha) khác nhau gồm: kiểu vòng nhẫn (ring coupler hay rat-race coupler); kiểu đường ghép cặp dựa trên nguyên lý tương hỗ giữa hai đường truyền sóng gần nhau (coupled line); hoặc kiểu ghép ống dẫn sóng. Các bộ ghép lai cũng được chế tạo trên nhiều công nghệ đa dạng như: mạch dải, mạch vi dải, mạch dải treo, công nghệ ống dẫn sóng,... Tùy từng mục đích sử dụng mà lựa chọn nguyên tắc thiết kế và công nghệ chế tạo phù hợp. Bộ ghép lai được đề xuất trong sáng chế với mục đích để dùng cho mạch tiếp điện cho ăng-ten

mảng pha. Chúng được yêu cầu phải có dải tần số hoạt động rộng, đáp ứng các chỉ tiêu về phối hợp trở kháng, hệ số cách ly, hệ số cân bằng biên độ và cân bằng pha.

Để đạt được chỉ tiêu dải tần số hoạt động rộng, bộ ghép lai thường được thiết kế theo nguyên lý của đường truyền ghép cặp với hệ số tương hỗ giữa cặp đường truyền giảm dần theo chiều dài. Nguyên lý này đã được công bố bởi R. H. DuHamel và M. E. Armstrong với tiêu đề "The Tapered-Line Magic-T" năm 1965. Khi thiết kế các bộ ghép lai theo nguyên lý đó, có ba khó khăn chính phát sinh: thứ nhất, đạt được hệ số tương hỗ mạnh, thứ hai, triệt tiêu các thành phần ký sinh gây ra bởi sự gián đoạn giữa đường truyền đơn nối với đường ghép cặp, thứ ba, tách rời đường truyền ghép cặp tại vị trí hai đường tương hỗ mạnh nhất thành các đường truyền độc lập đi ra các cổng. Hệ số tương hỗ mạnh có thể đạt được bằng cách sử dụng cấu trúc đường truyền ghép cặp ngang (broadside coupled line) trên các tấm nền điện môi mỏng. Hầu hết các bộ ghép lai dải rộng đều có chung nguyên tắc thiết kế và cấu trúc đường truyền ghép cặp, sự khác biệt nằm ở việc lựa chọn vật liệu của tấm nền điện môi và độ dày của từng tấm nền. Việc giải quyết tốt vấn đề thứ hai và thứ ba sẽ giúp làm tăng hiệu năng của bộ ghép lai tới gần giá trị lý tưởng hơn.

Sáng chế đề xuất một thiết kế bộ ghép lai 180^{O} trong đó giải quyết các vấn đề nêu trên, từ đó nâng cao hệ số cách ly và cải thiện hiệu năng đáng kể. Bộ ghép lai trong sáng chế có các chỉ tiêu kỹ thuật phù hợp để tích hợp trong các hệ thống ăng-ten mảng pha băng rộng và các bộ khuếch đại công suất siêu cao tần dải rộng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất bộ ghép lai 180^{O} (ngược pha) có dải tần hoạt động rộng, hiệu năng tốt, hệ số cách ly cao, thỏa mãn các yêu cầu về chỉ tiêu kỹ thuật để có thể sử dụng trong hệ thống ăng-ten mảng pha của máy rađa quân sự. Sáng chế cũng đưa ra giải pháp giúp nâng cao hệ số cách ly trong thiết kế bộ ghép lai trên cấu trúc đường truyền ghép cặp ngang (broadside coupled line) và đồng thời giải quyết các vấn đề khó khăn phát sinh trong quá trình thực hiện bộ ghép lai từ mô hình lý thuyết ra thiết bị thực tế.

Đặc trưng của sáng chế là thiết kế và chế tạo ra bộ ghép lai với các ưu điểm nổi bật sau:

- Dải tần số hoạt động rộng hơn một bát độ (octave) và có thể lên tới hơn một thập phân (decade);
- Hệ số sóng đứng (VSWR) tại các cổng có thể tối ưu xuống dưới 1,5:1 trên dải tần hoạt động;
- Hệ số cách ly có thể đạt ngưỡng dưới -20 dB trong dải tần hơn một bát độ (octave) và ngưỡng dưới -15 dB trong dải tần một thập phân (decade);
- Hệ số cân bằng biên độ thấp hơn 1 dB;
- Hệ số cân bằng pha trong ngưỡng $\pm 5^{O}$;
- Thiết kế trên công nghệ mạch in nhiều lớp, dễ dàng gia công chế tạo và áp dụng công nghiệp.

Bộ ghép lai ngược pha dải rộng trên mạch in nhiều lớp với hệ số cách ly được đề cập trong sáng chế được thiết kế dựa trên nguyên tắc giảm dần hệ số tương hỗ theo chiều dài trên đường truyền ghép cặp ngang với mô hình thiết kế được minh họa trong Hình 1. Để nâng cao hiệu năng nhằm đạt các chỉ tiêu yêu cầu kỹ thuật, nhóm tác giả đã có những sáng tạo mới trong thiết kế và cấu trúc mô hình bộ ghép lai. Các đặc trưng riêng của bộ ghép lai trong sáng chế gồm: cấu trúc và đặc tính các lớp điện môi; mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập và mô hình phối hợp trở kháng cho đoạn chuyển hướng; hình dáng các đường truyền độc lập bù pha tín hiệu. Trong đó:

Cấu trúc và đặc tính các lớp điện môi: gồm ba lớp điện môi chính và hai lớp phụ để liên kết; lớp điện môi chính thứ hai có độ dày 5 mils và làm bằng vật liệu có hằng số điện môi 2,2 (Rogers duroid 5880 hoặc Taconic TLY-5), hai mặt được ăn mòn để tạo thành các đường mạch truyền tín hiệu; hai lớp điện môi chính thứ nhất và thứ ba có cùng độ dày là 20 mils và cùng vật liệu có hằng số điện môi 2,2 (Rogers duroid 5880 hoặc Taconic TLY-5), mặt tiếp xúc với lớp giữa bị ăn mòn hoàn toàn; các lớp phụ là các lớp điện môi mỏng có tính chất kết dính có hằng số điện môi gần bằng 2,2 và chỉ mỏng cỡ 1-3 mils.

Mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập: gồm hình dáng của đoạn chuyển hướng tách cặp đường truyền thứ nhất và thứ hai; mô hình phối hợp trở kháng cho đoạn chuyển hướng gồm: mặt cắt đường chuyển hướng, phân bố đất cùng phía, phân bố đất phía đối diện và lỗ xuyên dẫn điện nối thông các lớp đất.

Hình dáng các đường truyền độc lập bù pha tín hiệu: gồm bốn đoạn gấp khúc; độ dài đoạn gấp khúc thứ nhất và thứ ba được điều chỉnh đồng thời với nhau sao cho vị trí đoạn gấp khúc thứ tư không thay đổi.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: hình vẽ minh họa mô hình đường mạch của bộ ghép lai được đề xuất trong sáng chế;

Hình 2: hình vẽ mô tả cấu trúc các lớp mạch và các lớp điện môi;

Hình 3: hình vẽ mô tả đoạn đường truyền ghép cặp ngang với hệ số tương hỗ giảm dần theo chiều dài;

Hình 4: hình vẽ mô tả đoạn chuyển tiếp giữa đường truyền ghép cặp với đường truyền độc lập;

Hình 5: hình vẽ mô tả cấu hình phần đường truyền độc lập để cân bằng pha;

Hình 6: hình vẽ biểu diễn các kết quả đạt được về hệ số phản xạ công suất tại bốn cổng và hệ số cách ly giữa các cặp cổng với ví dụ thực hiện bộ ghép lai ở dải tần 8-18GHz;

Hình 7: hình vẽ biểu diễn kết quả về hệ số cân bằng pha trong ví dụ thực hiện bộ ghép lai ở dải tần 8-18GHz;

Hình 8: hình vẽ biểu diễn kết quả về hệ số cân bằng biên độ trong ví dụ thực hiện bộ ghép lai ở dải tần 8-18GHz.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả chi tiết phương án thực hiện sáng chế thông qua diễn giải, hình vẽ minh họa và ví dụ đính kèm.

Tham chiếu hình 1: mô hình đường mạch của bộ ghép lai trong sáng chế này gồm ba phân đoạn đặc trưng gồm: đoạn đường truyền ghép cặp với hệ số tương hỗ giảm dần theo chiều dài; mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường truyền ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập; mô hình đường truyền độc lập để cân bằng pha. Mô hình được triển khai trên hai mặt của lớp điện môi thứ hai 502 với các đường truyền ở lớp trên 101, các đường truyền ở lớp dưới 201, các mô hình phân bố đất 301 là các mảng đồng tạo thành điểm tham chiếu điện thế 0V bao quanh các đường truyền sóng được hình thành trên lớp đồng của các tấm điện môi; các vùng đất tham chiếu được kết nối với nhau bởi các lỗ xuyên dẫn điện nối thông đất 401 là các lỗ khoan, có đường kính 0.3mm, được mạ đồng, xuyên qua tất cả các lớp điện môi. Trong đó, các đường truyền ở lớp trên 101 và các đường truyền ở lớp dưới 102 được cấu tạo bởi các đường mạch bằng đồng lần lượt nằm ở lớp trên và lớp dưới của lớp điện môi thứ hai 502, hai đường truyền kết hợp với nhau tạo thành các phân đoạn: phân đoạn ghép cặp tương hỗ, phân đoạn tách cặp, phân đoạn độc lập; ba lớp điện môi chính cùng vật liệu có hằng số điện môi 2,2, trong đó lớp điện môi thứ hai 502 có độ dày 5 mils, lớp điện môi thứ nhất 501 và lớp điện môi thứ ba 503 cùng có độ dày là 20 mils.

Tham chiếu hình 2: mô hình đường mạch của bộ ghép lai trong sáng chế này được triển khai trên bo mạch in nhiều lớp với cấu trúc gồm ba lớp điện môi: lớp điện môi thứ nhất 501, lớp điện môi thứ hai 502, lớp điện môi thứ ba 503 và bốn lớp đồng 504. Trong đó các thông số về hằng số điện môi và độ dày của các lớp điện môi quyết định trực tiếp đến hiệu năng của bộ ghép lai. Các lớp điện môi được lựa chọn với các thông số kỹ thuật sao cho vừa đủ để thực hiện đường truyền ghép cặp ngang với hai đường ở mặt trên và dưới hoàn toàn chồng lên nhau tại vị trí có hệ số tương hỗ lớn nhất. Lựa chọn từ các loại vật liệu điện môi thương mại cho mạch in trên thị trường, có một số cấu hình khác nhau để thỏa mãn điều kiện trên, nhóm tác giả đã nghiên cứu và thử nghiệm để đưa ra cấu hình được cho là tối ưu như sau: cả ba lớp có cùng một loại vật liệu với hằng số điện môi là 2,2 (như Rogers duroid 5880 hoặc Taconic TLY-5); lớp điện môi thứ nhất 501 và lớp điện môi thứ ba 503 có cùng độ dày là 20 mils trong khi lớp điện môi thứ hai 502 có độ dày là 5 mils; giữa các lớp điện môi có các lớp phụ

có tính chất kết dính để liên kết các lớp thành một khối, các lớp phụ này cũng có hằng số điện môi xấp xỉ 2,2 với độ dày cỡ 1-3 mils.

Tham chiếu hình 3: cấu trúc đoạn đường truyền ghép cặp ngang với hệ số tương hỗ giảm dần theo chiều dài gồm hai đường mạch nằm ở hai mặt đối diện nhau có kích thước và khoảng cách thay đổi dần theo chiều dài. Cấu trúc đường truyền ghép cặp ngang theo đường cắt *A-B* gồm hai đường mạch thứ nhất 505 và đường mạch thứ hai 506 có độ rộng bằng nhau và lệch nhau một khoảng. Độ rộng đường mạch và độ lệch giữa hai đường mạch sẽ quyết định hệ số tương hỗ của đường truyền ghép cặp ngang tại điểm cắt đó. Hai đường càng lệch nhau nhiều thì hệ số tương hỗ càng yếu, độ rộng của đường mạch phải thay đổi theo hệ số tương hỗ để giữ nguyên trở kháng đặc tính. Tại vị trí bắt đầu ghép cặp tương ứng với điểm 102 thuộc đường mạch lớp trên và điểm 202 thuộc đường mạch lớp dưới, hệ số tương hỗ của đường truyền ghép cặp ngang là lớn nhất, tương ứng với độ rộng đường mạch nhỏ nhất và hai đường lệch nhau ít nhất – gần như chồng lên nhau hoàn toàn. Để giảm dần hệ số tương hỗ, cặp đường mạch có độ rộng tăng dần và độ lệch giữa hai đường cũng tăng dần. Hệ số tương hỗ thấp nhất tại vị trí kết thúc ghép cặp tương ứng với điểm 103 thuộc đường mạch lớp trên và điểm 203 thuộc đường mạch lớp dưới là gần như hai đường truyền độc lập. Với các bộ ghép lai ở các dải tần số khác nhau thì đường truyền ghép cặp chỉ thay đổi chiều dài, độ dài đường ghép cặp bằng khoảng nửa bước sóng tại tần số hoạt động thấp nhất của bộ ghép lai.

Tham chiếu hình 4: mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường truyền ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập gồm đoạn đường mạch chuyển hướng tách cặp đường truyền tách cặp lớp trên 104, đường truyền tách cặp lớp dưới 204 và cấu hình phân bố đất phối hợp trở kháng. Mô hình được làm rõ hơn thông qua mặt cắt ***C-D*** gồm: mặt cắt của đường chuyển hướng tách cặp 507; cấu hình phân bố đất cùng phía 508; cấu hình phân bố đất phía đối diện 509; các lỗ xuyên dẫn điện thông đất 510. Tại điểm có hệ số tương hỗ mạnh nhất, cặp đường truyền phải tách nhau ra ngay lập tức thành hai đường truyền độc lập có trở kháng 50 Ω, điều này gây ra rất nhiều khó khăn trong thiết kế. Để tách cặp đường truyền, đoạn chuyển hướng được thiết kế bẻ một góc rất gấp, dẫn đến sự biến đổi lớn về độ rộng đường mạch. Sự biến đổi này gây thay đổi trở kháng đặc tính rất lớn nếu không có phương pháp thiết kế thích hợp.

Phương pháp mà nhóm tác giả sử dụng để phối hợp trở kháng trong sáng chế này là thêm vào các mô hình phân bố đất ở bên cạnh và ở phía đối diện đường mạch. Để duy trì trở kháng đặc tính của đường mạch luôn bằng 50 Ω trong khi độ rộng đường mạch thay đổi thì các mô hình phân bố đất được thêm vào theo nguyên tắc: độ rộng đường mạch càng nhỏ thì phân bố đất phía cạnh mạch càng sát vào và phân bố đất ở phía đối diện mạch càng chồng vào đường mạch nhiều. Mô hình phân bố đất sẽ được khảo sát theo từng đoạn mặt cắt theo độ dài đường chuyển hướng một cách cẩn thận trước khi áp dụng vào thiết kế bộ ghép lai.

Tham chiếu hình 5: đường truyền độc lập bù pha tín hiệu là một đường gấp khúc gồm bốn đoạn: đoạn gấp khúc thứ nhất 105, đoạn gấp khúc thứ hai 106, đoạn gấp khúc thứ ba 107 và đoạn gấp khúc thứ tư 108. Các đường truyền độc lập có cấu trúc của đường truyền mạch dải với độ rộng đường mạch 511 tương ứng với trở kháng đặc tính đường truyền là 50 Ω. Các đường truyền độc lập sau khi tách ra từ đường truyền ghép cặp cần phải có độ dài phù hợp để đảm bảo độ cân bằng pha của bộ ghép lai. Tổng chiều dài đường truyền độc lập đi ra cổng thứ nhất (hoặc cổng thứ ba) phải bằng tổng chiều dài đường truyền ghép cặp cộng với chiều dài đường truyền độc lập đi ra cổng thứ tư (hoặc cổng thứ hai). Đoạn đường truyền độc lập bù pha tín hiệu được thiết kế để độ dài đoạn đoạn gấp khúc thứ nhất 105 và đoạn gấp khúc thứ ba 107 được chiều chỉnh đồng thời với nhau sao cho vị trí đoạn gấp khúc thứ tư 108 không thay đổi.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Để chứng minh khả năng ứng dụng của sáng chế, nhóm tác giả đưa ra ví dụ thiết kế bộ ghép lai 180^{O} ở dải tần hoạt động từ 8GHz đến 18GHz với các kết quả lần lượt được biểu diễn trên các hình: Hình 6, Hình 7, Hình 8.

Tham chiếu hình 6: bộ ghép lai áp dụng mô hình trong sáng chế đạt được độ phối hợp trở kháng rất tốt tại cả bốn cổng. Hệ số phản xạ công suất tại cả bốn cổng đều nằm dưới -15 dB trên cả dải tần thiết kế, tương ứng với mức VSWR nhỏ hơn 1,25:1. Đồng thời hệ số cách ly giữa cặp cổng đầu vào và cặp cổng đầu ra đều tốt hơn -20 dB trên cả dải tần thiết kế.

Tham chiếu hình 7: bộ ghép lai áp dụng mô hình trong sáng chế đạt được độ cân bằng pha tốt, nằm trong khoảng $\pm 5^{O}$.

Tham chiếu hình 8: bộ ghép lai áp dụng mô hình trong sáng chế đạt được hệ số cân bằng biên độ tốt, nhỏ dưới 1 dB. Đồng thời hình vẽ cũng thể hiện hệ số suy hao chèn khá thấp, trung bình khoảng 0,5 dB.

Sáng chế được mô tả chi tiết bằng cách sử dụng các phương án được mô tả ở trên. Tuy nhiên, rõ ràng là đối với người hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sáng chế không bị giới hạn ở phương án được mô tả trong phần mô tả sáng chế. Sáng chế có thể được thực hiện ở chế độ cải biên hoặc thay đổi mà không nằm ngoài phạm vi sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ. Vì vậy những gì được mô tả trong phần mô tả sáng chế chỉ nhằm mục đích minh họa, và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với sáng chế.

Yêu cầu bảo hộ

1. Bộ ghép lai ngược pha dải rộng trên mạch in nhiều lớp với hệ số cách ly cao bao gồm các bộ phận:

các đường truyền ở lớp trên và các đường truyền ở lớp dưới, hình thành bởi các đường mạch bằng đồng lần lượt nằm ở lớp trên và lớp dưới của lớp điện môi thứ hai, hai đường truyền kết hợp với nhau tạo thành các phân đoạn: phân đoạn ghép cặp tương hỗ, phân đoạn tách cặp, phân đoạn độc lập;

mô hình phân bố đất là các vùng tham chiếu điện thế 0V bao quanh các đường truyền sóng được hình thành trên lớp đồng của các tấm điện môi; các vùng đất tham chiếu được kết nối với nhau bởi các lỗ xuyên dẫn điện nối thông đất là các lỗ khoan có đường kính 0.3mm, được mạ đồng, xuyên qua tất cả các lớp điện môi;

ba lớp điện môi chính cùng vật liệu có hằng số điện môi 2,2, trong đó lớp điện môi thứ hai có độ dày 5 mils, lớp điện môi thứ nhất và lớp điện môi thứ ba cùng có độ dày là 20 mils.

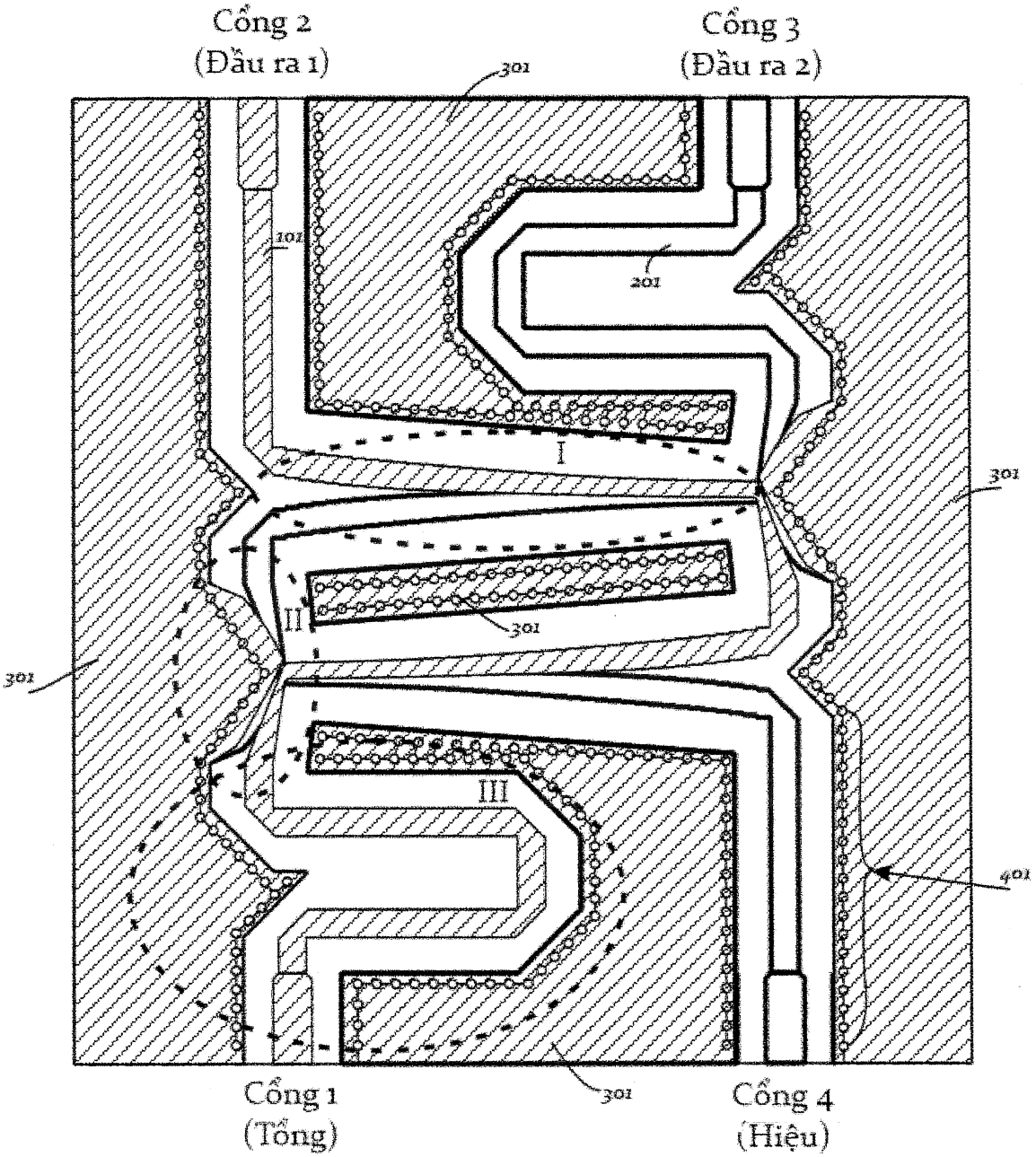
2. Bộ ghép lai ngược pha dải rộng trên mạch in nhiều lớp với hệ số cách ly cao theo điểm 1 có các đặc trưng riêng gồm: cấu trúc và đặc tính các lớp điện môi; mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập và mô hình phối hợp trở kháng cho đoạn chuyển hướng; hình dáng các đường truyền độc lập bù pha tín hiệu; trong đó:

cấu trúc và đặc tính các lớp điện môi gồm: ba lớp điện môi chính và hai lớp điện môi phụ để liên kết; lớp điện môi chính thứ hai có độ dày 5 mils và làm bằng vật liệu có hằng số điện môi 2,2 (rogers duroid 5880 hoặc Taconic TLY-5), hai mặt được ăn mòn để tạo thành các đường mạch truyền tín hiệu; hai lớp điện môi chính thứ nhất và thứ ba có cùng độ dày là 20 mils và cùng vật liệu có hằng số điện môi 2,2 (rogers duroid 5880 hoặc Taconic TLY-5), mặt tiếp xúc với lớp giữa bị ăn mòn hoàn toàn; các lớp phụ là các lớp điện môi mỏng có tính chất kết dính có hằng số điện môi gần bằng 2,2 và chỉ mỏng cỡ 1-3 mils;

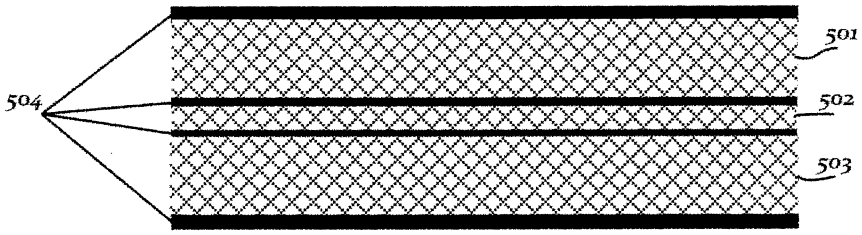
mô hình chuyển tiếp giữa đoạn đường ghép cặp có hệ số tương hỗ mạnh với đường truyền độc lập: gồm hình dáng của đoạn chuyển hướng tách cặp đường truyền

thứ nhất và thứ hai; mô hình phối hợp trở kháng cho đoạn chuyển hướng gồm: mặt cắt đường chuyển hướng, phân bố đất cùng phía, phân bố đất phía đối diện và lỗ xuyên dẫn điện nối thông các lớp đất;

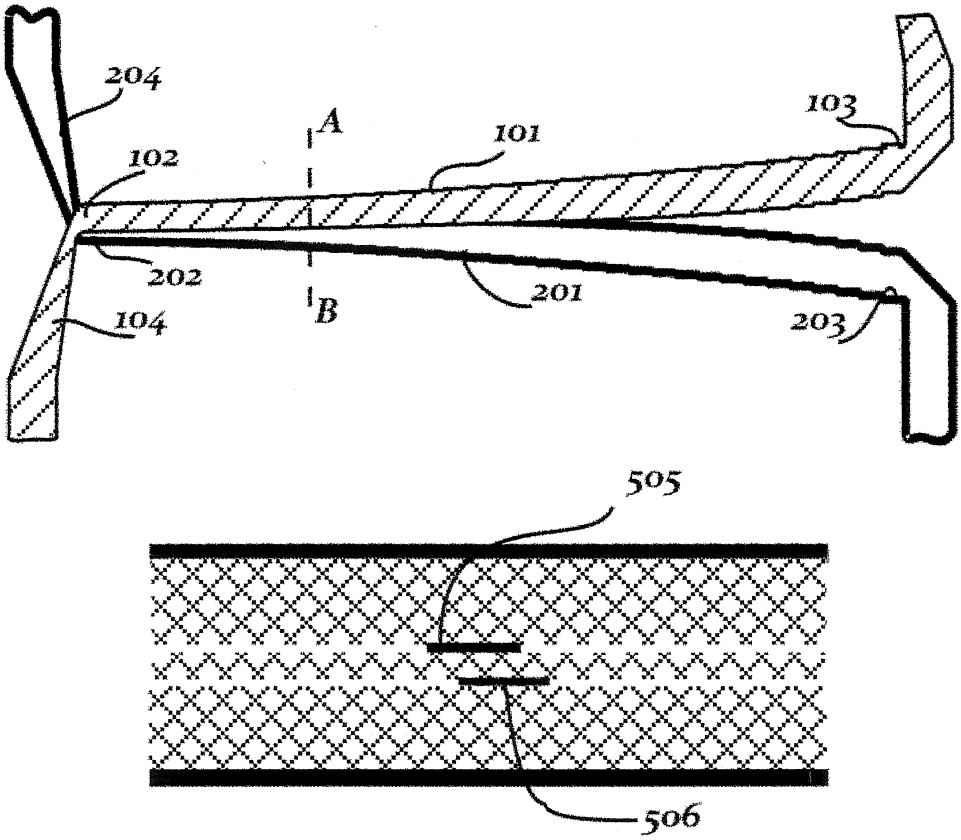
hình dáng các đường truyền độc lập bù pha tín hiệu: gồm bốn đoạn gấp khúc; độ dài đoạn gấp khúc thứ nhất và thứ ba được chiều chỉnh đồng thời với nhau sao cho vị trí đoạn gấp khúc thứ tư không thay đổi.


Cổng 2
(Đầu ra 1)
Cổng 3
(Đầu ra 2)
301
101
201
I
301
II
301
301
III
401
Cổng 1
(Tổng)
301
Cổng 4
(Hiệu)

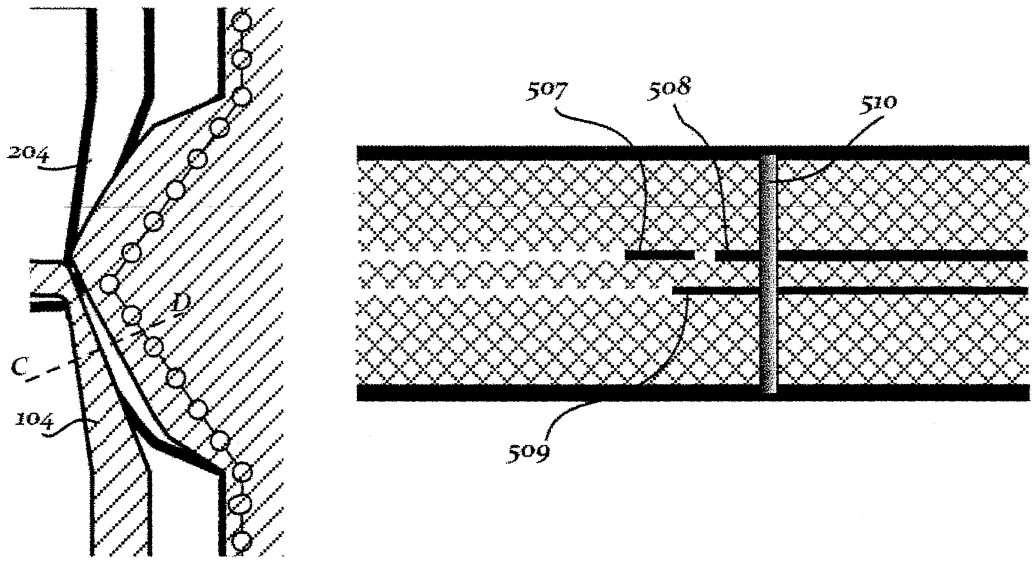
Hình 1


501
502
503
504

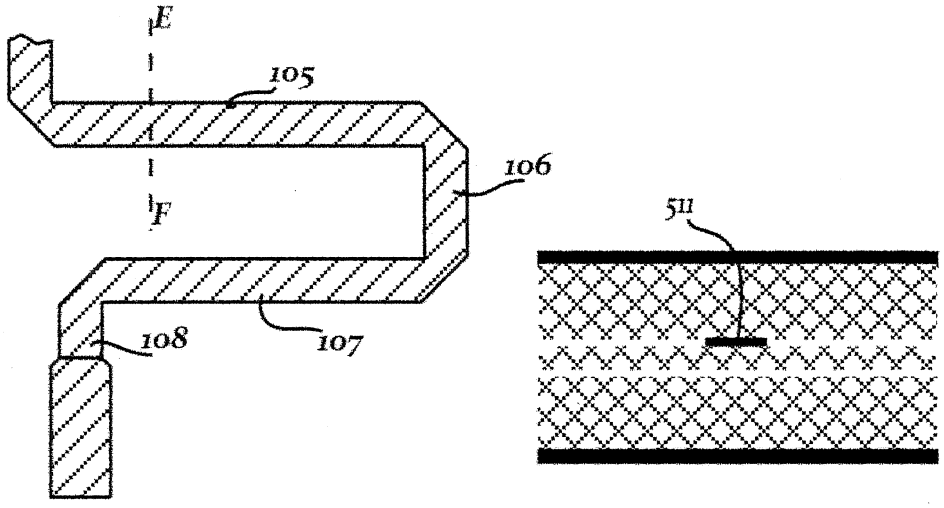
Hình 2


204
A
101
103
102
202
201
104
B
203
505
506

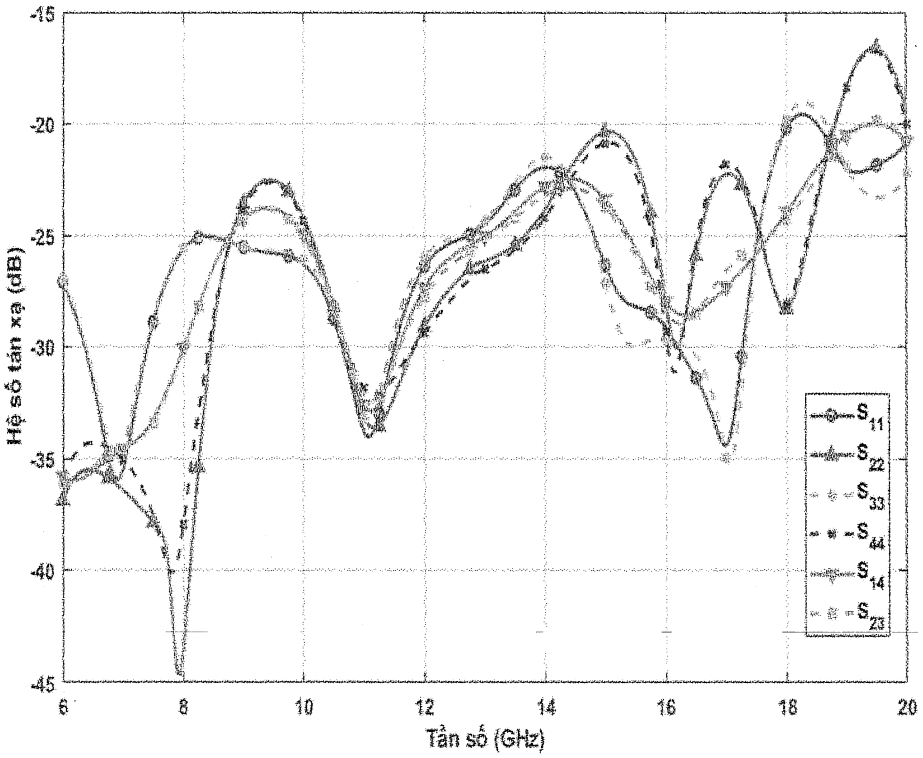
Hình 3


204
D
C
104
507
508
510
509

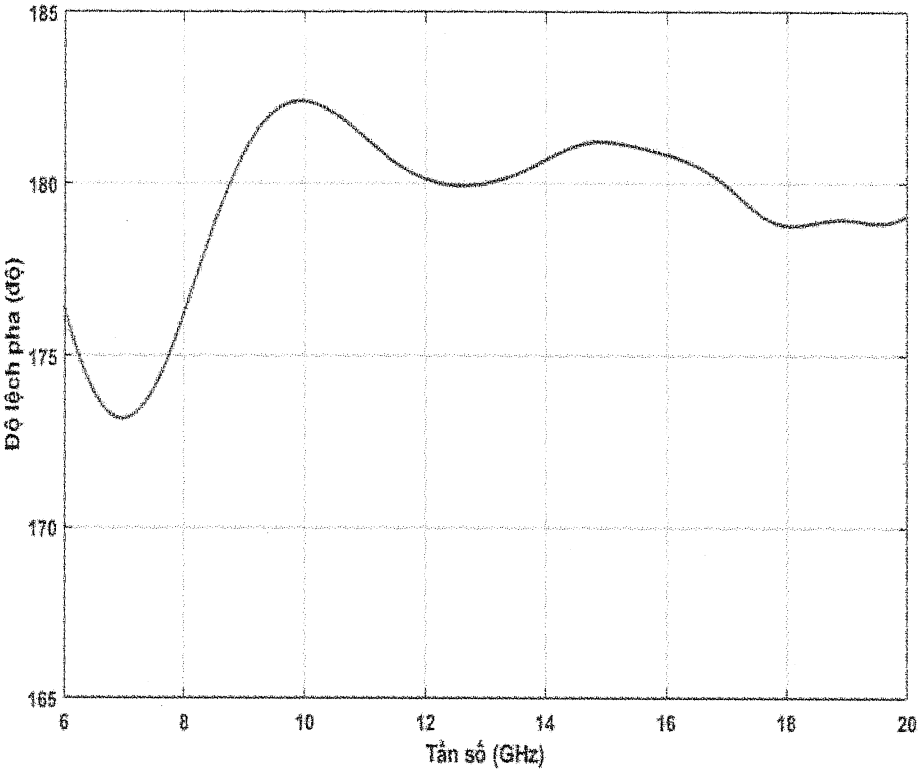
Hình 4


E
105
106
F
511
108
107

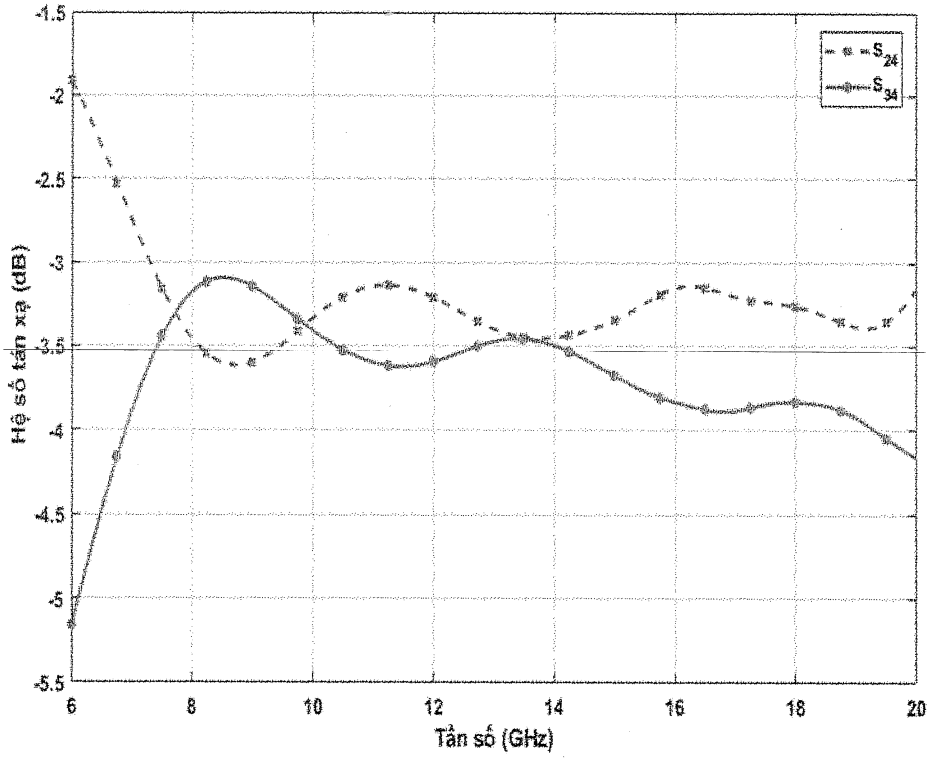
Hình 5


Hệ số tán xạ (dB)
Tần số (GHz)
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
6
8
10
12
14
16
18
20
S11
S22
S33
S44
S14
S23

Hình 6


185
180
175
170
165
Độ lệch pha (độ)
6
8
10
12
14
16
18
20
Tần số (GHz)

Hình 7


-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
-4
-4.5
-5
-5.5
Hệ số tán xạ (dB)
S24
S34
6
8
10
12
14
16
18
20
Tần số (GHz)

Hình 8