

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ BỘ GHÉP CẦU PHƯƠNG BẰNG TẦN X TRÊN ỐNG SÓNG TÍCH HỢP CHẤT NỀN

Vũ Tuấn Anh^{1*}, Dương Tuấn Việt¹, Phạm Thị Mai Anh²


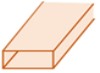
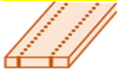



Tóm tắt: Bài báo này đưa ra một phương pháp thiết kế cấu trúc cải tiến của Bộ ghép cầu phương có tính năng hoạt động cao. Bộ ghép được thiết kế trên ống sóng tích hợp chất nền (SIW) dạng phẳng, hoạt động ở băng tần X với dải thông rộng. Kết quả thiết kế và đo kiểm đã thể hiện bộ ghép đảm bảo cân bằng về biên độ, chính xác cao về sai lệch pha cầu phương và cải thiện về tổn hao truyền. Công nghệ SIW đã cung cấp một giải pháp linh hoạt khi thiết kế bộ ghép 3-dB có tính năng hoạt động cao, giá thành rẻ, cấu trúc dạng phẳng và thích hợp với sự phát triển của các ứng dụng sóng cao tần và millimet có độ tích hợp cao. Cấu trúc cải tiến của bộ ghép đề xuất là ứng viên đóng vai trò quan trọng áp dụng trong thiết kế hệ thống anten mạng pha, ra đa cỡ nhỏ và truyền thông vô tuyến thế hệ mới.

Từ khóa: Bộ ghép định hướng; Ghép lại; Cầu phương; Ống sóng SIW.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

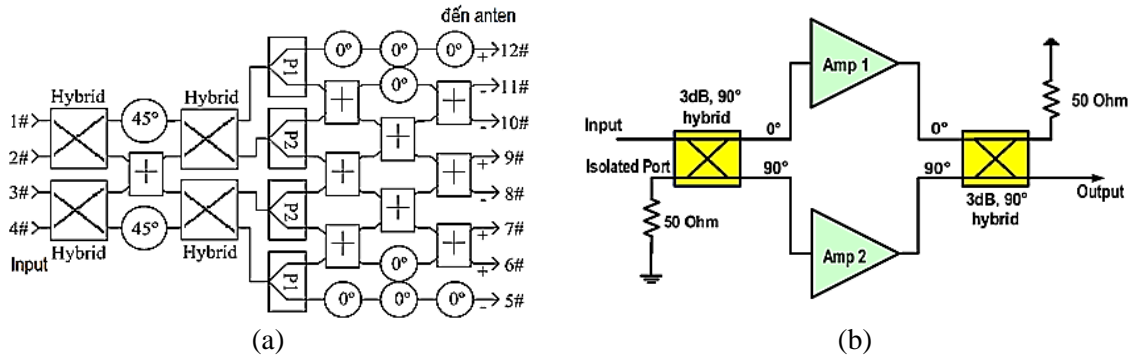
Những năm gần đây, các phần tử siêu cao tần (SCT) tính năng hoạt động cao dựa trên công nghệ SIW đã và đang được nghiên cứu, phát triển rất mạnh [1]. Đặc biệt, công nghệ SIW đã được các tập đoàn lớn trên thế giới (Huawei, Samsung, Infineon, Honeywell,...) áp dụng vào thực tiễn trong các hệ thống SCT thế hệ mới với một số lượng các băng sáng chế đã được đăng ký bảo hộ quốc tế như mạng anten phẳng [2-5], bộ phân kênh diplexer [6], bộ chuyển mạch [7], bộ lọc [8]. Bảng 1 dưới đây đã tổng hợp chi tiết các đánh giá ưu, nhược điểm của SIW so với các công nghệ đường truyền khác hiện có, làm cơ sở cho người thiết kế có thể lựa chọn nhằm đáp ứng yêu cầu của từng ứng dụng cụ thể, trong đó có bộ ghép cân bằng cầu phương.

Bảng 1. So sánh đặc trưng cấu trúc SIW phẳng so với cấu trúc dẫn sóng khác [1].

Đặc trưng	Cáp đồng trục	ODS kim loại	ODS SIW	Mạch vi dải	ODS đồng phẳng	Mạch dải dẫn
Cấu trúc minh họa						
Chế độ sóng cơ bản	TEM	TE ₁₀	Quasi-TE ₁₀	Quasi-TEM	Quasi-TEM	TEM
Dải thông	★★★★★	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
Tổn hao truyền	★★★	★★★★★	★★★	★	★★	★★
Năng lực công suất	★★★★★	★★★★★	★★★	★★	★★	★★★★
Kích thước vật lý	★★★	★	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★
Khả năng gia công	★★	★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Mức độ tích hợp	★	★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Đóng gói, bảo vệ	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★	★★	★★★★

Mức độ: ★ = rất không tốt; ★★ = không tốt; ★★★ = trung bình; ★★★★★ = tốt; ★★★★★★ = rất tốt.

Trong lĩnh vực ra đa, các bộ ghép cân bằng đường nhánh hay thường gọi là bộ ghép cầu phương 3-dB, là một trong những cấu trúc ghép định hướng có vai trò quan trọng trong các hệ thống đo lường, máy phát và mạng tạo giản đồ hướng Anten [9, 10], như biểu diễn trên hình 1. Chúng còn được sử dụng nhiều trong các mạch SCT như bộ trộn cân bằng, bộ dịch pha cân bằng [11], bộ khuếch đại công suất cao [12]. Thực tế hiện nay, các bộ ghép cầu phương làm việc ở dải SCT thường là cấu trúc thụ động dạng đường ghép hoặc dạng Lance chế tạo trên ống dẫn sóng (ODS) truyền thống [13], ODS đồng phẳng (CPW) [14] hoặc mạch vi dải [15, 21], mạch dải dẫn [22]. Điều này dẫn đến khi thiết kế, cần hài hòa lựa chọn giữa các yếu tố về cấu trúc phẳng/không phẳng, độ rộng băng thông, tổn hao truyền, độ lệch pha giữa các thành phần cầu phương. Từ đó, cấu trúc SIW là một sự thỏa hiệp tốt giữa ODS truyền thống và đường mạch dải khi thiết kế bộ ghép cầu phương 3-dB đề xuất.

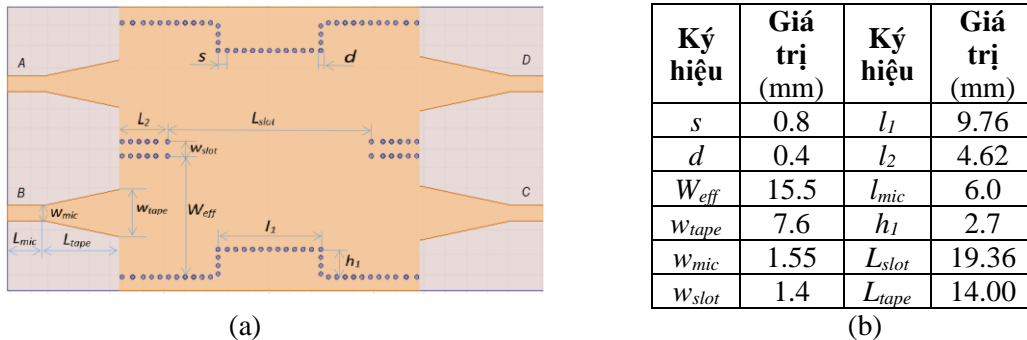


Hình 1. Ứng dụng bộ ghép Hybrid 3-dB: (a) Mạng Anten đa búp sóng [9];
(b) Bộ khuếch đại công suất cao [10].

Mục đích của nghiên cứu này là đưa ra thiết kế cải tiến bộ ghép cầu phương 3-dB băng tần X, dạng phẳng H-plane dựa trên công nghệ SIW. Nó có thể được tích hợp trong các mạch SCT chất lượng cao nhờ sở hữu một số đặc tính nổi bật như dải tần rộng, độ mất cân bằng biên độ cầu phương nhỏ, độ chính xác pha cầu phương cao, tổn hao truyền thấp. Phần 2 tiếp theo phân tích thiết kế và mô phỏng bộ ghép cầu phương. Phần 3 đánh giá các kết quả đo kiểm so với mô phỏng và với các kết quả đã công bố đến nay. Phần 4 là kết luận về kết quả đạt được và định hướng ứng dụng của bộ ghép 3-dB đề xuất.

2. THIẾT KẾ BỘ GHÉP CẦU PHƯƠNG TRÊN ỨNG SÓNG SIW

Bộ ghép cầu phương 3-dB đề xuất có nguyên lý như bộ ghép lai truyền thống (3-dB, 90° Hybrid) [15] nhưng được thiết kế cải tiến trên công nghệ SIW, như biểu diễn trên hình 2. Đây là một phần tử SCT thụ động 4 cổng có tính chất đối xứng về cấu trúc cơ và đặc tính điện và là trường hợp đặc biệt của bộ ghép định hướng.



Hình 2. Bộ ghép 3-dB đề xuất: (a) Cấu trúc SIW; (b) Kích thước.

Do sự tương đồng giữa SIW và ODS kim loại với cùng tính chất lan truyền, ta nhận được mối

quan hệ giữa chiều rộng W của SIW theo tần số hoạt động như trong ODS truyền thống, nhưng có tính đến hằng số điện môi của chất nền và hiện tượng suy giảm khi sóng TE_{mnl} truyền theo hướng trục z khi bị phản xạ giữa hai thành bên ODS với góc tới $\theta = (20 \div 50)$ độ [16], khi đó:

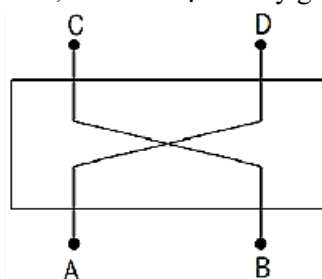
$$W = \frac{c}{2f_{TE_{mnl}} \sqrt{\epsilon_r} \cos \theta} \quad (1)$$

Trong thực tế, để tránh rò rỉ bức xạ điện từ trường, khoảng cách s giữa hai lỗ via liền kề cần gấp hai lần so với đường kính d của lỗ via. Khi đó, ta nhận được chiều rộng hiệu dụng W_{eff} thực tế của đoạn SIW là [17]:

$$W_{eff} = \frac{W}{\sqrt{1 + \left(\frac{2W-d}{s}\right) \left(\frac{d}{W-d}\right)^2 - \frac{4W}{5s^4} \left(\frac{d^2}{W-d}\right)^3}} \quad (2)$$

Như vậy, khi bộ ghép 3-dB làm việc ở băng X, để đảm bảo tổn hao bức xạ và tổn hao truyền sóng TE_{10} ở mức tối thiểu trong chất nền có $\epsilon_r = 2.2$, ta chọn góc tới $\theta = 45$ độ và $s = 2d = 0.8$ mm. Khi đó, từ công thức (1) và (2) tính được $W_{eff} = 15.8$ mm với $f_0 = 9.5$ GHz. Trong khi phần trở kháng $Z_0/\sqrt{2}$ được thực hiện bằng đoạn ODS lõm ($l_1 \times h_1$). Để kích thích chế độ dẫn sóng quasi-TEM của đường truyền vi dải (w_{mic}) phối hợp với chế độ quasi- TE_{10} của bộ ghép SIW, ta sử dụng cấu trúc phối hợp trở kháng chuyển tiếp dạng vuốt thon với độ dài L_{tape} và độ rộng thay đổi giữa $w_{mic} - w_{tape}$ [18].

Biểu diễn tương đương của bộ ghép 3-dB trong mạch SCT như trên hình 3a. Khi hoạt động với vai trò là bộ chia, tín hiệu được đưa đến một cổng đầu vào bất kỳ thì ở 2 cổng đầu ra đối diện sẽ đưa ra 2 tín hiệu có biên độ bằng nhau, cùng bị suy giảm 3 dB và có pha lệch nhau 90 độ, trong khi cổng còn lại được cách ly. Với điều kiện trở kháng đầu cuối là Z_0 , bảng sự thật về pha của bộ ghép được biểu diễn như trên hình 3b. Ta thấy rằng, sự lệch pha 90 độ giữa 2 tín hiệu cầu phương ở hai cổng ra (C, D) rất hữu ích trong thiết kế các phần tử SCT như bộ trộn cân bằng, bộ khuếch đại công suất, bộ suy giảm điều chỉnh điện,... Khi đó, các phản xạ xuất hiện do sự mất phối hợp đều được truyền đồng pha tới cổng cách ly B và lệch pha 180° hay triệt tiêu tại cổng vào A, dẫn đến độ cách ly giữa cổng A và B sẽ được cải thiện.



(a)

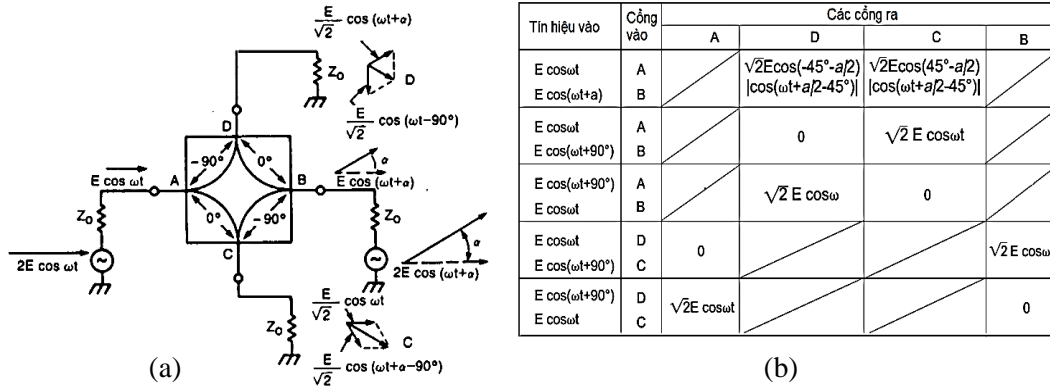
Tín hiệu đầu vào	Cổng đầu vào	Tín hiệu đầu ra			
		Cổng A	Cổng D	Cổng C	Cổng B
$E \cos \omega t$	A		$\frac{E \cos(\omega t - 90^\circ)}{\sqrt{2}}$	$\frac{E \cos \omega t}{\sqrt{2}}$	0
	D	$\frac{E \cos(\omega t - 90^\circ)}{\sqrt{2}}$		0	$\frac{E \cos \omega t}{\sqrt{2}}$
	C	$\frac{E \cos \omega t}{\sqrt{2}}$	0		$\frac{E \cos(\omega t - 90^\circ)}{\sqrt{2}}$
	B	0	$\frac{E \cos \omega t}{\sqrt{2}}$	$\frac{E \cos(\omega t - 90^\circ)}{\sqrt{2}}$	

(b)

Hình 3. Bộ ghép cầu phương 3-dB đóng vai trò là bộ chia:

(a) Biểu diễn tương đương; (b) Bảng sự thật về pha/biên độ.

Ngoài việc chia tín hiệu, bộ ghép 3-dB còn có thể sử dụng để cộng công suất tín hiệu với độ cách ly cao giữa các cổng và giữa hai cổng đầu vào với hai cổng đầu ra. Để phân tích bộ ghép 3-dB với vai trò là bộ cộng, ta sử dụng giản đồ biểu diễn mối quan hệ véc-tơ của tín hiệu tại tất cả các cổng khi đưa hai tín hiệu đầu vào có biên độ và tần số bằng nhau, nhưng pha ngẫu nhiên. Ví dụ trên hình 4a biểu diễn khi hai tín hiệu đưa vào cặp 2 cổng A và B, thì biên độ các đầu ra C và D thay đổi dựa trên pha của đầu vào, trong khi pha của các đầu ra luôn bằng nhau. Mối quan hệ về pha - biên độ tổng quát của tín hiệu đầu ra so với tín hiệu đưa vào 2 cặp cổng A, B hoặc C, D của bộ ghép 3-dB được trình bày trên bảng sự thật ở hình 4b.



Hình 4. Bộ ghép cầu phương 3-dB đóng vai trò là bộ cộng:

(a) Cấu hình theo nguồn tín hiệu; (b) Bảng sự thật về pha/biên độ.

Do có tính đối xứng, khi tất cả các cổng được phối hợp trở kháng thì bất kỳ cổng nào của bộ ghép cũng có thể áp dụng là cổng đầu vào. Vì vậy, ma trận tán xạ của bộ ghép cầu phương 3-dB đề xuất cũng có dạng đối xứng như biểu thức (3), trong đó, mỗi hàng đều là sự chuyển vị của hàng thứ nhất [16].

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Các đặc trưng của bộ ghép 3-dB được phân tích bằng phần mềm thương mại Mô phỏng hệ thống SCT (HFSS 15.0), gồm:

- Độ ghép (Coupling):

$$C_{dB} = 10 \log(A/D) = -20 \log|S(1,3)| \quad (4a)$$

- Độ cách ly (Isolation):

$$I_{dB} = 10 \log(A/B) = 20 \log|S(1,4)| \quad (4b)$$

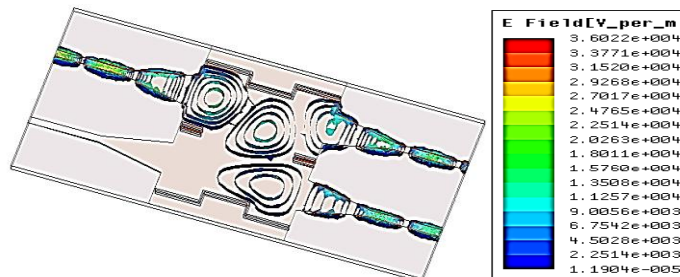
- Định hướng (Directivity):

$$D_{dB} = 10 \log(D/B) = -20 \log(|S(1,3)|/|S(1,4)|) \quad (4c)$$

- Độ tổn hao chèn (Insertion Loss):

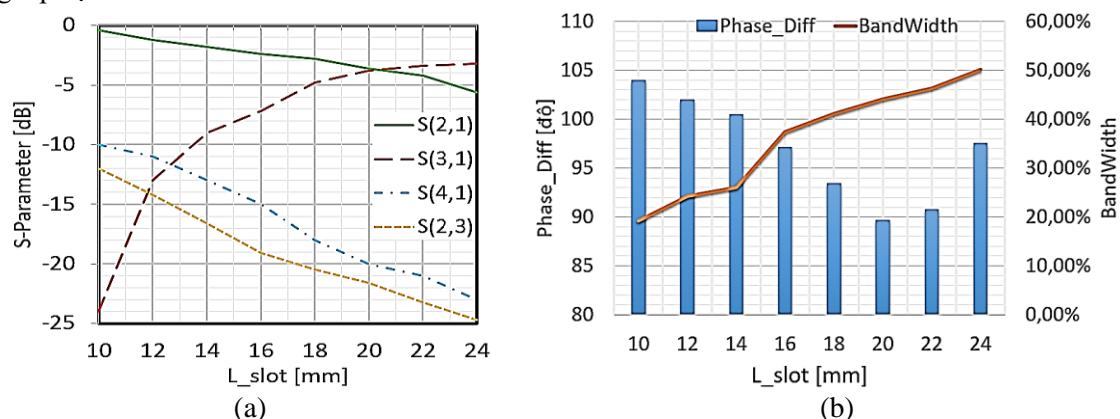
$$L_{dB} = 10 \log(A/C) = -20 \log|S(1,2)| \quad (4d)$$

Từ các biểu thức (4) ta cũng nhận được độ cách ly $I_{dB} = C_{dB} + D_{dB}$, lý tưởng thì D và I tiến đến ∞ (khi $S_{14} = 0$). Hình 5 biểu diễn phân bố điện trường của bộ ghép SIW 3-dB tại tần số 9.5 GHz. Ta thấy rằng không có phần điện trường nào được phân phối từ cổng vào đến cổng cách ly, trong khi các cổng thông và cổng ghép đều có.



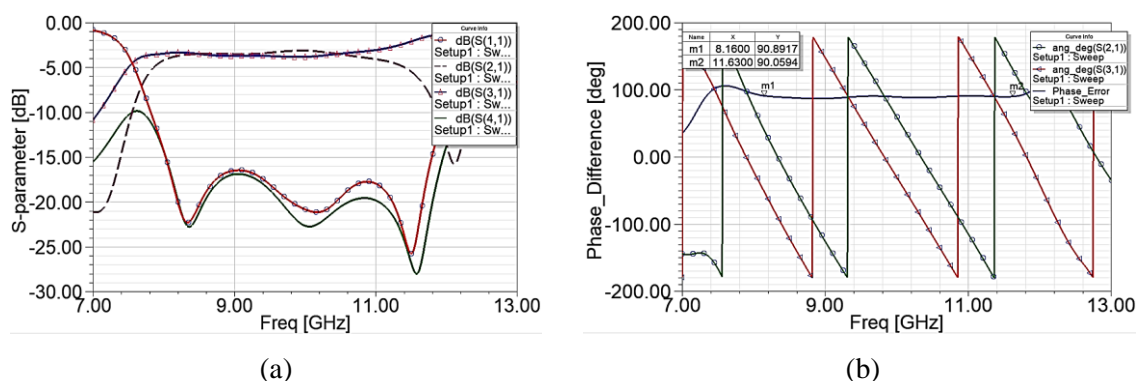
Hình 5. Phân bố điện trường của bộ ghép 3-dB tại tần số trung tâm 9.5 GHz.

Sau đây, các đặc trưng của bộ ghép đề xuất được phân tích khi thay đổi tham số điển hình là chiều dài cửa sổ ghép L_{slot} , các kết quả được trình bày trên hình 6. Từ hình 6a, ta thấy rằng chiều dài cửa sổ ghép càng tăng thì độ cách ly giữa 2 cổng ra cũng như giữa 2 cổng vào càng được cải thiện, trong khi đặc trưng về độ ghép cân bằng 3-dB tại 2 cổng ra chỉ nhận được khi $L_{slot} = (19 \div 21)$ mm. Trong dải giá trị này, hình 6b cũng thể hiện sai lệch pha cầu phương nhận được nằm trong phạm vi lân cận 90 độ, trong khi dải thông đáp ứng là rộng nhất đến 40%. Ngoài ra, ta thấy rằng khi $L_{slot} \rightarrow 10$ mm, bộ ghép cầu phương 3-dB trở thành bộ ghép định hướng thông thường, trong đó, độ tổn hao chèn nhận được là nhỏ hơn 1 dB và độ ghép tiệm cận đến 25 dB trong khi vẫn đảm bảo độ cách ly giữa các cổng vào/ra nhỏ hơn 15 dB. Như vậy, thiết kế này cũng rất linh hoạt khi có thể điều chỉnh, tối ưu tham số hình học để áp dụng cho từng ứng dụng ghép cụ thể.



Hình 6. Ảnh hưởng của chiều dài khe ghép L_{slot} lên các đặc trưng của bộ ghép.

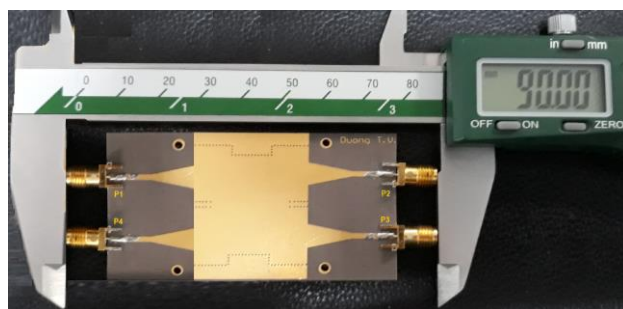
Để đáp ứng tính năng là bộ ghép cầu phương 3-dB cải tiến trên SIW, trên cơ sở phân tích các tham số hình học và tham số điện từ trường như trên, ta sử dụng phần mềm HFSS để tiến hành tối ưu hóa. Bảng tham số kích thước bộ ghép sau tối ưu được trình bày trên hình 2b, trong khi hình 7 biểu diễn kết quả phân tích các đặc trưng chính của bộ ghép sau tối ưu với dải tần rộng đến 40% và độ sai lệch pha cầu phương đạt lân cận 90 độ.



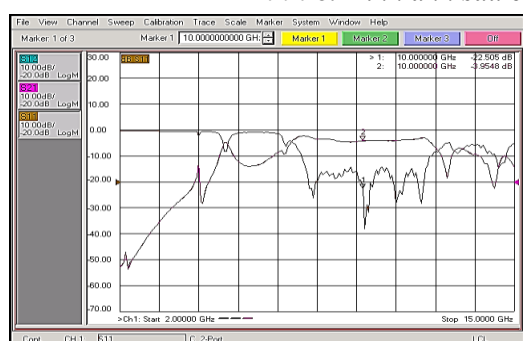
Hình 7. Kết quả mô phỏng Bộ ghép SIW 3-dB đề xuất: (a) Tham số S; (b) Sai lệch pha.

3. KẾT QUẢ ĐO KIỂM VÀ ĐÁNH GIÁ, THẢO LUẬN

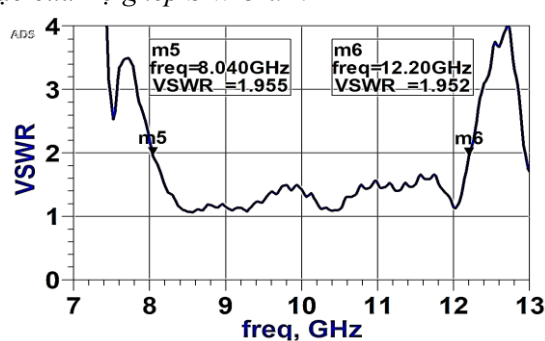
Bộ ghép cầu phương SIW 3-dB sau tối ưu được tiến hành chế tạo trên chất nền Rogers RT/Duroid5880, với độ dày $h = 0.508$ mm, hằng số điện môi $\epsilon_r = 2.2$, độ dày lớp đồng $t = 0.017$ mm, như biểu diễn trên hình 8. Các tham số đặc trưng của Bộ ghép 3-dB sau chế tạo được đo bằng Máy phân tích mạng véc-tơ N9918A của Keysight, kết quả đo được mô tả trên hình 9.



Hình 8. Hình ảnh sau chế tạo của Bộ ghép SIW 3-dB.



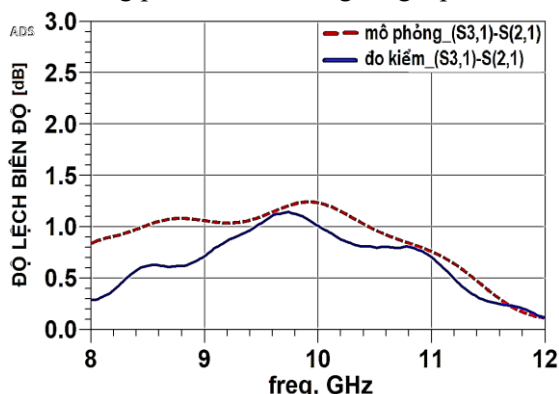
(a)



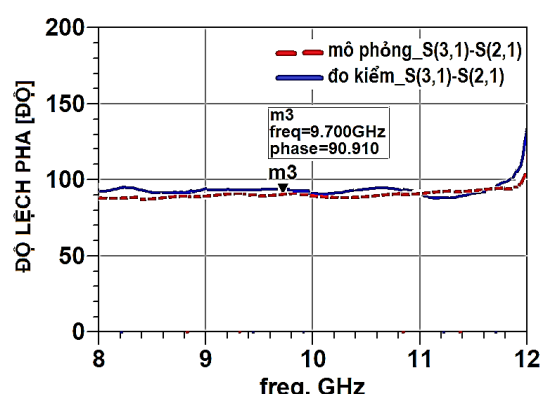
(b)

Hình 9. Kết quả đo kiểm bộ ghép SIW 3-dB: (a) Tham số S; (b) Tỷ số sóng đứng.

Từ hình 9, ta thấy rằng bộ ghép hoạt động trong dải thông đạt đến 40% (từ 8.15 GHz đến 12.15 GHz) ứng với giá trị tỷ số sóng đứng cho phép không lớn hơn 1.5, điện hình tại tần số 10.2 GHz có $VSWR=1.12:1$. Tại các cổng đầu ra nhận được độ ghép cân bằng 3 dB, độ tổn hao chèn nhỏ hơn 1 dB và độ tổn hao phản hồi nhỏ hơn 15 dB trong toàn dải. Kết quả đo được so sánh với giá trị mô phỏng và được biểu diễn trên hình 10. Ta thấy rằng độ sai lệch (mất cân bằng) về biên độ và sai lệch về pha giữa các thành phần cầu phương nhận được từ thực nghiệm vẫn có sự sai khác nhỏ so với giá trị mô phỏng, điều này là do dung sai gia công chế tạo và có thể chấp nhận được trong phạm vi dải thông bộ ghép.



(a)



(b)

Hình 10. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm giữa 2 thành phần cầu phương của bộ ghép 3-dB: (a) Độ sai lệch biên độ; (b) Độ sai lệch pha.

Dưới đây là bảng so sánh các đặc trưng nhận được của bộ ghép SIW cầu phương 3-dB đề xuất so với các công trình liên quan đã được công bố. Ta thấy cấu trúc ghép đề xuất đã hài hòa được giữa các công nghệ khác nhau khi sở hữu dải thông rộng và độ cân bằng pha ổn định.

Tham khảo	Công nghệ chế tạo	Tần số (GHz)	Dải thông (%)	Độ ghép (dB)	Độ sai lệch pha (độ)	Kích thước (mm)
[13]	SIW-GCPW	17.0	30	4.6 ± 0.4	91 ± 3	100×60
[14]	Rectangular Waveguide	185	22.8	3.5 ± 0.3	93 ± 2.5	25×20
[19]	Multilayer-HMSIW	8.7	34.5	4.4 ± 0.5	87.5 ± 2.5	105×65
[20]	Ridge gap Waveguide	14.65	14	3.7 ± 0.2	90 ± 2	230×230
[21]	Microstrip Coupled line	4.0	20	3.9 ± 0.7	93 ± 3	40×30
[22]	Broadside Stripline	9.25	188	4.8 ± 0.2	90 ± 5	97×46
Đề xuất	Doublelayer-SIW	10.2	40	3.9 ± 0.2	90 ± 2	90×45

4. KẾT LUẬN

Một cấu trúc cải tiến của bộ ghép cầu phương Hybrid 3-dB bằng công nghệ SIW đã được trình bày trong bài báo này. Bộ ghép sở hữu những đặc trưng nổi bật về dải thông rộng đến 40%, độ chính xác cao về cân bằng pha giữa các thành phần cầu phương đạt 90 ± 2 độ, trong khi độ tổn hao truyền nhỏ hơn 1.0 dB, dễ dàng thiết kế tích hợp trên các mạch phẳng đặc biệt là trong các mạch yêu cầu cao về độ cân bằng pha như mạng tạo đa búp sóng, máy phát cộng công suất cân bằng, bộ trộn cân bằng,... Ngoài ra, bằng cách tăng/giảm kích thước của sổ ghép, thiết kế đưa ra có vai trò như bộ ghép định hướng truyền thống với độ ghép lên đến 25 dB. Bộ ghép SIW 3-dB đề xuất không những có tính năng hoạt động cao, mà còn sở hữu kích thước nhỏ gọn, dễ dàng sản xuất bằng quá trình PCB giá rẻ và phù hợp với hầu hết các yêu cầu thiết kế và ứng dụng cụ thể trong lĩnh vực ra đa, SCT và truyền thông vô tuyến thế hệ mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ke Wu; Maurizio Bozzi, "Substrate Integrated Transmission Lines: Review and Applications," IEEE Journal of Microwaves, Volume: 1, Issue: 1, Jan. 2021, pp. 345 – 363.
- [2]. H. Zhou and F. Aryanfar, "Open end antenna, antenna array, and related system and method," U.S. Patent 9 742 070, Aug. 22, 2017.
- [3]. S. Kim, H. Lee, Y. Yoon, and B. Jo, "Slot antenna and slot array antenna," PCT Application WO2019/039833, Feb. 28, 2019.
- [4]. N. Wang and D. C. Vacanti, "Integrated digital active phased array antenna and wingtip collision avoidance system," U.S. Patent 10 191 152, Jan. 29, 2019.
- [5]. O. Losito, L. Mescia, "X-band SIW cavity-backed patch antenna for radar applications," European Microwave Conference 2013, pp. 199-202, 2013.
- [6]. W. Zhai, V. Miraftab, and H. Boutayeb, "Millimeter wave dual-mode diplexer and method," U.S. Patent 9 660 316, May 23, 2017.
- [7]. H. Boutayeb, "Substrate integrated waveguide switch," U.S. Patent 9985331, May 29, 2018.
- [8]. I. Tsvelikh and S. Vehovc, "Radio frequency device modules and methods of formation thereof," U.S. Patent 10 056 922, Aug. 21, 2018.
- [9]. P. Chen; W. Hong, "A Multibeam Antenna Based on Substrate Integrated Waveguide Technology for MIMO Wireless Communications", IEEE Tran. on Antenna and Prop, vol.5, pp. 909-920, 2011.
- [10]. M. Shahabadi, "X-Band Substrate Integrated Waveguide Amplifier," IEEE Microw. Wireless Compon. Letters., vol. 18, pp. 815-817, 2008.
- [11]. M. Georgiadis, et. al. "Review of substrate integrated waveguide circuits and antennas," Microw, Antenna and Prop, IET, vol. 5, pp. 909-920, 2011.

- [12]. C. Wang, W. Che, C. Li and P. Russer, "Multi-way Microwave Power Dividing/Combining Network Based on Substrate Integrated Waveguide SIW) Directional Couplers," ICMMT2008 Proceedings, 2008.
- [13]. D. F. Guan, Z. P. Qian, Y. S. Zhang and Y. Cai, "A hybrid SIW and GCPW Guided-Wave structure coupler," IEEE Microw. And Wireless Compon. Letters, vol. 24, no. 8, pp. 518-520, Aug. 2014.
- [14]. R. Monje, V. Belitsky, "A novel design of broadband waveguide directional couplers and 3-dB hybrids", IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., pp. 1169-1172, Sep. 2006.
- [15]. David M. Pozar, "Microwave Engineering," John Wiley & Sons, Inc, Fourth Edition (2012), pp. 343-363.
- [16]. F. Xu, K. Wu, "Guided-wave and Leakage Characteristics of Substrate Integrated Waveguide", IEEE Trans. Microw. Theory & Tech., Vol.53, No.1, pp. 66-73, Jan. 2005.
- [17]. D. Deslandes, K. Wu, "Accurate Modeling, Wave Mechanisms, and Design Consideration of a Substrate Integrated Waveguide", IEEE Trans. Microw. Theory & Tech., Vol.54, No.6, pp. 2516-2526, Jun. 2006.
- [18]. Deslandes D. "Design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions," In: IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. 2010: 704-704.
- [19]. S. Liu and F. Xu, "Compact Multilayer Half Mode Substrate Integrated Waveguide 3-dB Coupler", IEEE Microw. and Wireless Compon. Letters, vol. 28, no. 7, pp. 564-566, 2018.
- [20]. S. I. Shams, "Design of 3-dB hybrid coupler based on RGW technology", IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 65, no. 10, pp. 3849-3855, Oct. 2017.
- [21]. R. K. Gupta, "Impedance transforming 3-dB 90° hybrids," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 35, no. 12, pp. 1303-1307, Dec. 1987
- [22]. Anselmi, "Design and Realization of 3-dB hybrid stripline coupler in 0.5 - 18.0 GHz," IEEE 2014 44th European Microwave Conference (EuMC) – Rome (2014), pp. 464- 467.

ABSTRACT

DESIGN OF X-BAND QUADRATURE COUPLER BASED ON SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE

In this paper, an improved structural design method of a 3-dB quadrature coupler with high performance is presented. The H-plane wideband coupler is designed on the substrate-integrated waveguide (SIW). The design and simulation results show that the coupler has a low amplitude imbalanced and quadrature phase difference, small VSWR, and improved insertion loss. SIW technology has provided a flexible solution when designing a 3-dB coupler that features high performance, low cost, plane structure. It has been suitable for the development of microwave and millimeter wave applications with a high degree of integration. The proposed X-band quadrature coupler is an important candidate for application in the design of compact radar, phased antenna array, and radio communication systems.

Keywords: Quadrature coupler; 3-dB Hybrid; Substrate integrated waveguide; Coupling.

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: ¹Viện Ra đa/Viện KH-CN quân sự;
²Đại học Mỏ - Địa chất.
*Email: tuananhryazan@gmail.com.