

GIẢI PHÁP THIẾT KẾ BỘ CHIA CÔNG SUẤT BẰNG S TRONG KHỐI THU PHÁT TRM

Trần Mạnh Quý*, Võ Xung Hà, Phương Văn Quang, Vũ Đình Tuấn

Tóm tắt: Trong các đài ra đa hiện đại, các hệ thống tác chiến điện tử và các thiết bị thông tin, các bộ chia công suất trên công nghệ mạch dài được áp dụng rộng rãi. Các bộ chia đã trở nên nhỏ gọn, có độ tích hợp và hiệu suất cao với chi phí thấp hơn. Bài báo này trình bày giải pháp kỹ thuật và công nghệ sử dụng trong thiết kế bộ chia công suất bằng S thuộc mô đun khuếch đại công suất 2500 W trong tuyến phát của khối thu phát TRM. Bộ chia sử dụng nguyên lý ghép định hướng nhằm thu nhỏ kích thước cho phù hợp không gian bố trí thiết bị, tăng số cổng đầu ra của bộ chia đồng thời vẫn đảm bảo tỉ lệ chia chính xác theo yêu cầu thiết kế.

Từ khóa: Ra đa; Bộ chia công suất; Bộ ghép định hướng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong biên chế của Quân chủng Phòng Không- Không Quân có trang bị một số hệ thống ra đa cảnh giới tầm xa 3 toạ độ hiện đại, hoạt động ở băng tần S. Các đài này sử dụng anten mạng pha, quét giản đồ hướng theo góc tà bằng số. Theo phương góc tà, anten của đài radar được bố trí nhiều khối thu-phát TRM để tạo ra vùng quan sát góc tà rất linh hoạt theo từng yêu cầu nhiệm vụ. Trong đó các khối thu- phát TRM thường có công suất phát lớn, hoạt động với cường độ liên tục trong điều kiện nhiệt đới của Việt Nam. Điều này dẫn đến xác suất xảy ra hỏng là rất cao, đặc biệt là các bộ chia công suất lớn trong mô đun khuếch đại công suất 2500 W nằm trong tuyến phát của khối thu- phát TRM.

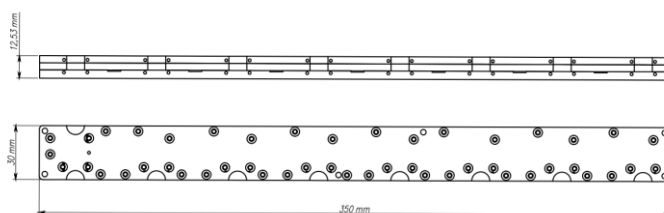
Các vật tư thay thế trong khối thu-phát TRM được nhập đồng bộ theo khí tài. Chúng có giá thành cao, phụ thuộc hoàn toàn vào nguồn cung cấp của nhà sản xuất nước ngoài dẫn đến chi phí cho công tác đảm bảo kỹ thuật của thiết bị là rất lớn. Vì vậy, việc nghiên cứu, thiết kế vật tư thay thế là các bộ chia công suất trong mô đun khuếch đại công suất 2500 W tích hợp được trên khối thu phát TRM góp phần quan trọng vào việc chủ động trong công tác đảm bảo kỹ thuật, đáp ứng ngày một tốt hơn nhiệm vụ tác chiến của Quân chủng Phòng không- Không quân.

2. GIẢI PHÁP, THIẾT KẾ BỘ CHIA CÔNG SUẤT CỦA KHỐI THU PHÁT TRM

2.1. Yêu cầu thiết kế bộ chia công suất

Bộ chia công suất trong mô đun khuếch đại công suất sử dụng trên khối thu phát TRM có những yêu cầu đặc biệt về mặt thiết kế như sau:

- Tần số làm việc: 3.1 đến 3.4 GHz;
- Công suất truyền 640 W max (liên tục);
- Không gian cho phép bố trí bộ chia công suất: dài x rộng x cao lần lượt là: 350 x 30 x 12.5 (mm);
- Số cổng đầu ra bộ chia là 8 (cổng đầu ra).



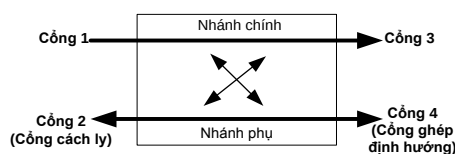
Hình 1. Kích thước của không gian bố trí bộ chia công suất trên khối thu phát TRM (mm).

Có nhiều phương pháp chia công suất khác nhau được ứng dụng trong thực tế như : Bộ chia công suất T-Junction, bộ chia công suất bằng khe trên ống dẫn sóng, bộ chia công suất Wilkinson [1, 2],... Giải pháp kỹ thuật được áp dụng là nguyên lý ghép định hướng nhằm thu nhỏ kích thước cho phù hợp không gian bố trí thiết bị, tăng số cổng đầu ra, đảm bảo khả năng chịu được công suất lớn trên đường truyền theo yêu cầu thiết kế.

2.2. Lý thuyết bộ chia công suất theo nguyên lý bộ ghép định hướng có áp dụng kỹ thuật cải tiến

2.2.1. Nguyên lý hoạt động của bộ ghép định hướng

Bộ ghép định hướng (GDH) là một phần tử thụ động được sử dụng trong lĩnh vực siêu cao tần. GDH thường được xây dựng từ hai đường truyền ghép nối được đặt đủ gần nhau để năng lượng truyền qua đường truyền nhánh chính được kết hợp với đường truyền nhánh phụ. Năng lượng sóng điện từ truyền từ cổng số 1 chỉ có thể ghép nối với cổng số 4 và cách ly với cổng số 2. Trong GDH, năng lượng sóng điện từ chỉ có thể truyền đi theo một hướng xác định trong nhánh phụ [3].



Hình 2. Mô hình GDH.

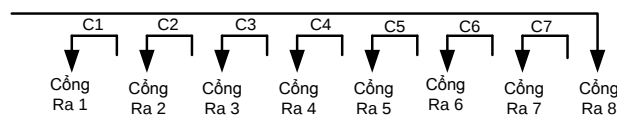
Tham số đặc trưng cho GDH là hệ số ghép, tức là tỉ số công suất năng lượng điện từ tại cổng ghép định hướng và tại cổng vào tính theo Decibel:

$$C = 10 \lg |P_{out} / P_0| \text{ (dB)} \quad (1)$$

Với P_0 là công suất đầu vào tại cổng 1, P_{out} là công suất tại cổng đầu ra 4.

2.2.2. Xây dựng bộ chia công suất dựa trên nguyên lý hoạt động của GDH

Khi thiết lập một chuỗi các nhánh ghép định hướng liên tiếp ghép với nhánh chính theo các hệ số ghép phù hợp thì ta có thể tạo thành bộ chia công suất theo tỷ lệ chia và số cổng tùy ý. Bộ chia sử dụng 7 GDH mắc nối tiếp kết hợp với đầu cuối của nhánh chính để tạo thành 8 cổng đầu ra. Năng lượng được truyền lần lượt cho 7 GDH có hệ số ghép lần lượt là C1, C2,... C7 và phần năng lượng còn lại được đưa tới đầu cuối của nhánh chính như hình 3:



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý bộ chia công suất 8 cổng đầu ra.

Để thuận lợi cho tính toán ta định nghĩa hệ số k_n là hàm liên quan của bộ chia công suất có giá trị bằng tỉ số giữa công suất tại các cổng đầu ra trên công suất còn lại trên đường truyền nhánh chính sau khi phân phối cho các cổng đầu ra trước đó (Trường hợp lý tưởng coi năng lượng truyền tới các nhánh cách ly bằng 0):

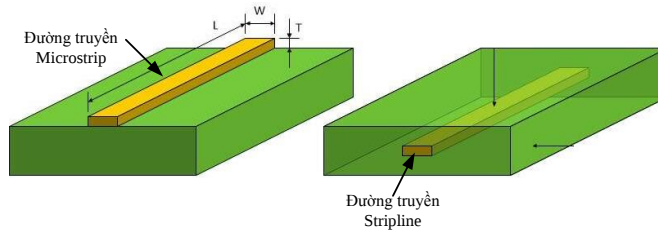
$$k_n = \frac{P_n}{\sum_{n=1}^8 P_n - \sum_{n=1}^{n-1} P_n} \quad (2)$$

Với P_0 là công suất đầu vào tại cổng 1, P_n là công suất tại cổng đầu ra n với $n=1 \div 8$.

2.2.3. Lựa chọn mô hình GDH của bộ chia công suất

Mô hình GDH được lựa chọn để thiết kế bộ chia công suất có bề mặt ghép định hướng được thực hiện trên thành rộng của đường truyền dạng Stripline [4] với chất điện môi bao quanh là

không khí. Ưu điểm của của mô hình này là khả năng chịu đựng công suất lớn và không bị hạn chế bởi độ phân giải của phương pháp chế tạo như phương pháp đường truyền Microstrip.



Hình 4. Mô hình đường truyền Stripline và Microstrip.

Khảo sát giá trị hệ số ghép $C = S_{41}$ khi H là độ lệch 2 tâm của nhánh đường truyền chính và đường truyền phụ trên mặt phẳng tạo bởi đường truyền chính tăng từ 0 mm đến 1 mm với bước dịch chuyển là 0.1 mm cho kết quả trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng giá trị hệ số ghép C biến thiên theo độ lệch tâm H.

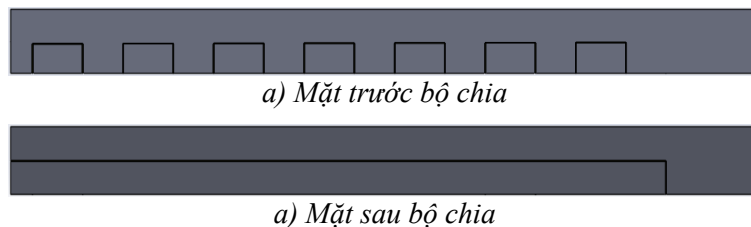
H	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
C(dB)	-3.4	-4.49	-4.58	-5.5	-5.99	-6.99	-7.34	-8.57	-9.49	-10.3	-11.1
P_4 / P_1	0.46	0.36	0.35	0.28	0.25	0.20	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08

Bảng 1 cho thấy, giá trị C không phụ thuộc tuyến tính theo tham số H. Tuy nhiên, nhìn tổng thể hệ số ghép C giảm khi giá trị H tăng lên. Đây là căn cứ cho việc tinh chỉnh bộ chia ở mục 3.

3. TÍNH TOÁN, MÔ PHỎNG BỘ CHIA CÔNG SUẤT CỦA KHỐI THU PHÁT TRM

3.1. Số liệu đầu vào

Thực hiện xây dựng mô hình bộ chia công suất 8 cổng đầu ra có sử dụng 7 GĐH như hình 5.



Hình 5. Mô hình GĐH có 8 cổng đầu ra.

Thiết kế bộ chia công suất 8 cổng đầu ra sử dụng nguyên lý ghép định hướng có công suất đầu ra chuẩn hóa (CSCH) so với công suất đầu vào thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng giá trị công suất đầu ra chuẩn hóa (CSCH) của bộ chia công suất 8 cổng.

Cổng đầu ra	Cổng đầu ra 1	Cổng đầu ra 2	Cổng đầu ra 3	Cổng đầu ra 4	Cổng đầu ra 5	Cổng đầu ra 6	Cổng đầu ra 7	Cổng đầu ra 8
CSCH	0.39	0.1	0.08	0.21	0.1	0.04	0.05	0.03

Hàm liên quan của bộ chia công suất tương ứng theo công thức (2) là:

Bảng 3. Hàm liên quan của 8 cổng đầu ra của bộ chia công suất.

Cổng đầu ra	Cổng đầu ra 1	Cổng đầu ra 2	Cổng đầu ra 3	Cổng đầu ra 4	Cổng đầu ra 5	Cổng đầu ra 6	Cổng đầu ra 7	Cổng đầu ra 8
k_n	0.39	0.16	0.16	0.49	0.45	0.33	0.63	1

Dựa theo kết quả tính hàm liên quan k_n của bộ chia công suất và kết quả rút ra từ bảng 1, xây dựng bộ tham số H cho mô hình 7 GDH:

Bảng 4. Bộ tham số H cho mô hình 7 GDH của bộ chia công suất.

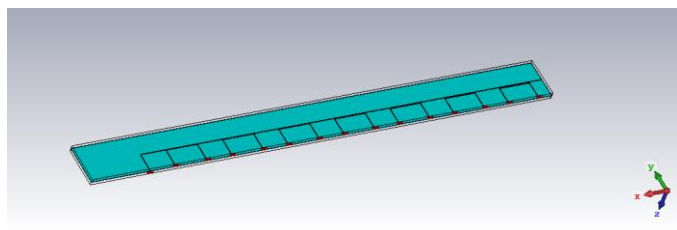
Cổng đầu ra	Cổng đầu ra 1	Cổng đầu ra 2	Cổng đầu ra 3	Cổng đầu ra 4	Cổng đầu ra 5	Cổng đầu ra 6	Cổng đầu ra 7
H(mm)	0.09	0.65	0.66	0	0	0.24	0

Trong bảng 4 giá trị H nhỏ nhất ở GDH số 7 và H có giá trị lớn nhất GDH số 2 và số 3.

3.2. Phương pháp, công cụ mô phỏng

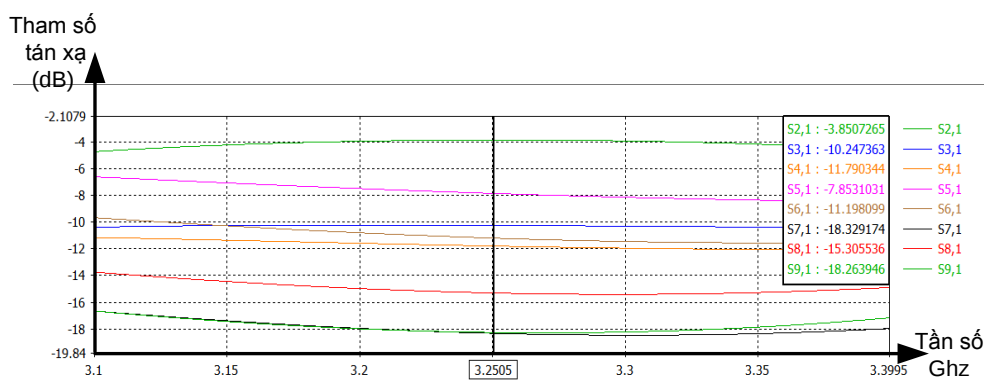
Sử dụng phần mềm CST 2011 để xây dựng mô hình và tiến hành mô phỏng mô hình bộ chia công suất 8 cổng đầu ra. Đặt cổng đầu vào là cổng 1, các cổng đầu ra lần lượt là 2, 3, 4,... 9. Đánh giá tỉ lệ chia công suất của 8 cổng đầu ra lần lượt qua 8 hệ số S_{21} , S_{31} , S_{31} , ..., S_{91} . Thông số của bộ chia công suất 8 cổng tiến hành mô phỏng:

- Độ rộng đường mạch: 0.4 mm;
- Độ dài đường mạch tại phần ghép định hướng: 23.8 mm;
- Dải tần 3.1 ÷ 3.4 GHz;
- Chất liệu đường truyền: kim loại đồng;
- Loại chất điện môi: Không khí;
- Độ dày đường mạch in: 0.034 mm;
- Kích thước 350x30 mm;
- Giá trị H của 7 GDH theo bảng 4.
- Số GDH nối tiếp: 7;



Hình 6. Xây dựng mô hình và mô phỏng bộ chia công suất trên phần mềm CST 2011.

Thực hiện tinh chỉnh giá trị H dựa theo bảng 4 và nhận xét được rút ra từ bảng 1. Kết quả mô phỏng công suất đầu ra 8 cổng của bộ chia được thể hiện trong hình 7:



Hình 7. Kết quả mô phỏng hệ số ghép trên phần mềm CST2011.

3.3. Kết quả mô phỏng và bình luận

Từ kết quả mô phỏng 8 hệ số S_{21} , S_{31} , S_{31} , ..., S_{91} ta có tỉ lệ chia công suất của 8 cổng đầu ra lần lượt được thể hiện qua bảng 5. Kết quả mô phỏng cho thấy, công suất đầu ra tại các cổng tiệm cận so với yêu cầu thiết kế. Điều đó chứng tỏ sự phù hợp giữa cơ sở lý thuyết và thực tế mô phỏng.

Bảng 5. Bộ tỉ lệ công suất đầu ra 8 cổng của bộ chia từ kết quả mô phỏng.

Cổng đầu ra	Cổng đầu ra 1	Cổng đầu ra 2	Cổng đầu ra 3	Cổng đầu ra 4	Cổng đầu ra 5	Cổng đầu ra 6	Cổng đầu ra 7	Cổng đầu ra 8
CS	0.41	0.09	0.07	0.16	0.08	0.01	0.03	0.01

Bộ chia có kết cấu nhỏ gọn đáng kể so với những bộ chia sử dụng nguyên lý khác. Đặc biệt chiều rộng của bộ chia có kích thước chỉ 30 mm rất phù hợp cho việc bố trí trong những không gian chật hẹp trên thiết bị. Bộ chia sử dụng nguyên lý GĐH không chỉ phù hợp cho việc thiết kế, chế tạo bộ chia sử dụng trên bộ KĐCS 2500 W trên khối TRM mà còn có tính ứng dụng rộng rãi trong nhiều thiết bị điện tử.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên lý thuyết về GĐH, tác giả đã xây dựng lên mô hình bộ chia công suất 8 đầu ra sử dụng 7 GĐH trên đường truyền Stripline. Kết quả mô phỏng cho thấy, phương pháp thiết kế bộ chia công suất sử dụng các GĐH có tính khả thi cao. Bộ chia có kích thước nhỏ gọn, chịu được công suất lớn không chỉ được sử dụng trong khối TRM mà còn có tính ứng dụng cao trong lĩnh vực điện- điện tử.

Tuy nhiên, giải pháp sử dụng bộ chia công suất sử dụng GĐH cần phải tiếp tục nghiên cứu tăng hiệu suất của bộ chia, giảm ảnh hưởng tương hỗ giữa các GĐH nhằm nâng cao hơn nữa chất lượng của bộ chia.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Joseph Helszajn, “ *Microwave Polarizers, Power Dividers, Phase Shifters, Circulators, and Switches*”, Heriot Watt University (2019), pp. 301-305.
- [2]. Andrei Grebennikov, “*RF and microwave power amplifier design*”, McGraw-Hill Education (2015), pp. 368-389.
- [3]. K.K.Lâu, “*Cơ sở kỹ thuật siêu cao tần*”, NXB Giáo dục (2006), tr. 148-156.
- [4]. Bing Luo-Yongliang Zhang, “*Design and Simulation of a Tunable Stripline Wideband Coupler*”, MATEC Web of Conferences 228, 03011 (2018), pp. 1-4.

ABSTRACT

THE SOLUTIONS OF DESIGNING THE S BAND POWER DIVIDER/COMBINER IN THE TRANSCIVER TRM

Nowadays, Power Dividers/Splitters based on microstrip technology are applied widely in Modern Radar, Electronic combat and Telecommunication systems. Dividers/Splitters are getting smaller and smaller with super high integration, high efficiency and low cost. This letter presents (introduces) the technique solutions of designing the S band Divider/Combiner which are included in 2500 W Amplifier Module, located in Transceiver module TRM. The dividers exploit directional coupling principle, along with new solution in order to minimize their size. This leads to fit to the system space, increase the number of divider outputs and maintain the accuration of output dividing ratio.

Keywords: Radar; Power divider and combiner; Directional Coupler.

Nhận bài ngày 09 tháng 3 năm 2021

Hoàn thiện ngày 25 tháng 3 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 7 năm 2021

Địa chỉ: Viện ra đa, Viện KH&CN quân sự.

**Email:* tranquyvr@gmail.com.