

Giải pháp thiết kế bộ xoay pha số hoạt động ở băng tần C

Phuong Văn Quang^{1*}, Vũ Đình Tuấn¹, Nguyễn Sỹ Quyên², Hồ Đình Linh³

¹Viện Ra đa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

²Học viện Phòng không - Không quân;

³Viện Công nghệ Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.

*Email: phuongquangmta@gmail.com

Nhận bài: 10/12/2022; Hoàn thiện: 15/01/2023; Chấp nhận đăng: 02/02/2023; Xuất bản: 28/02/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.85.2023.163-166>

TÓM TẮT

Trong ra đa và hệ thống tác chiến điện tử hiện đại các bộ xoay pha được áp dụng rộng rãi. Bộ xoay pha hiện nay được thiết kế ngày càng trở nên nhỏ gọn, dải xoay pha rộng, chịu đựng công suất lớn, 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 xoay pha băng C. Bộ xoay pha sử dụng nhiều diot PIN kết hợp với đường truyền stripline nhằm thu nhỏ kích thước tổng thể mà vẫn đảm bảo bước nhảy pha chính xác theo yêu cầu thiết kế.

Từ khóa: Ra đa; Bộ xoay pha; Đường truyền stripline.

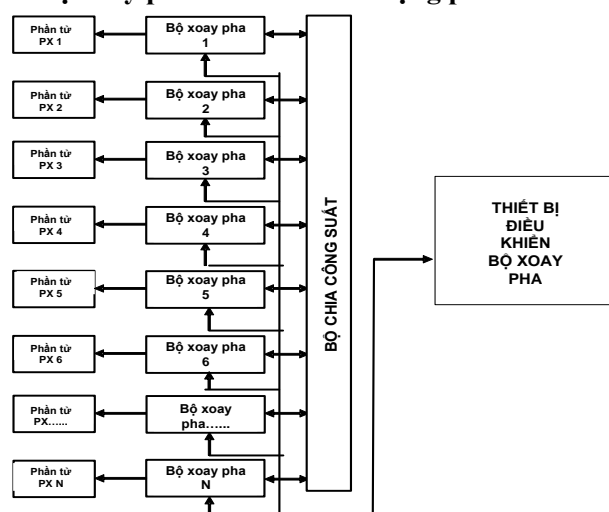
1. MỞ ĐẦU

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 C. Các đài này sử dụng anten mạng pha, quét búp sóng chính theo góc tà bằng phương pháp số. Trong đó, bộ xoay pha số là một trong những công nghệ then chốt đảm bảo khả năng quét búp sóng chính của anten mạng pha [1].

Các bộ xoay pha số 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 các bộ xoay pha số 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. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO BỘ XOAY PHA SỐ

2.1. Mô hình tổng quan bộ xoay pha số trên anten mạng pha



Hình 1. Sơ đồ hệ thống cấp nguồn và pha cho các phân tử phát xạ của hệ thống anten mạng pha.

Bộ xoay pha số được ứng dụng trong kỹ thuật anten mạng pha gồm nhiều phần tử phát xạ được sử dụng rộng rãi trong ra đa hiện đại được thể hiện trong hình 1.

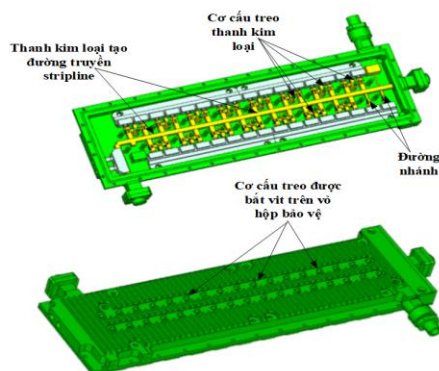
Tùy từng yêu cầu chiến kỹ thuật cụ thể mà hình dạng giản đồ hướng phát xạ tổng hợp của anten sẽ được tổ hợp từ giản đồ hướng phát xạ của các phần tử thành phần với nhiều hình dạng như: hình cosec, hình cosec ngược, hình quạt,... thậm chí có thể thay đổi hướng bức sóng chính trong không gian 3 chiều bằng việc kết hợp sử dụng bộ xoay pha số và bộ chia công suất cho từng phần tử phát xạ. Nhờ đó các đài ra đa thế hệ mới có khả năng phát hiện được các vật thể bay đầy đủ 3 tọa độ (3 tham số cự ly, phương vị và độ cao) và tăng cường khả năng bắt thấp và rất thấp. Đây là tính năng quan trọng trong việc phát hiện tên lửa đường đạn chiến thuật - chiến dịch.

2.2. Yêu cầu và giải pháp thiết kế bộ xoay pha số

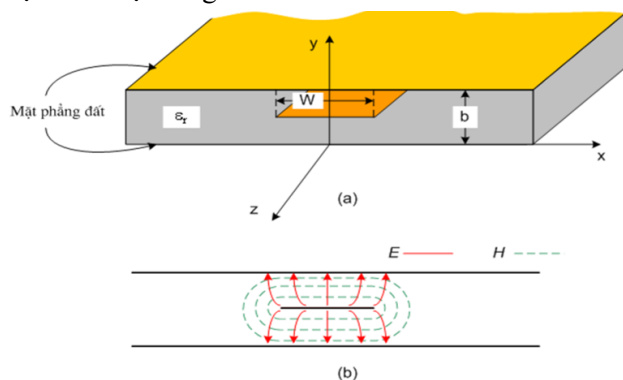
Thiết kế bộ xoay pha số hoạt động ở băng tần C có những yêu cầu về mặt thiết kế như sau:

- Tần số làm việc: Băng C;
- Số trạng thái thay đổi pha: 32;
- Độ lệch pha giữa các trạng thái: $11,25 \pm 4$ độ;

Bộ xoay pha số áp dụng giải pháp thiết kế đường truyền stripline [2] và 32 diot PIN bố trí trong cấu trúc cơ khí dạng hộp kim loại có các phiến tản nhiệt bên ngoài nhằm đảm bảo số trạng thái thay đổi pha và khả năng hoạt động ổn định của hệ thống.



Hình 2. Cấu trúc đường truyền stripline trên bộ xoay pha số.



Hình 3. Mô hình công nghệ đường truyền stripline.

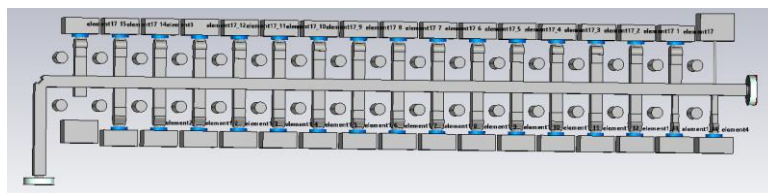
Đọc đường truyền stripline gắn 32 đường nhánh được phân bố cách nhau 1 khoảng bằng $\lambda/4$. Tại đầu mút các đường nhánh bố trí diot PIN được cấp tín hiệu điều khiển để chuyển đổi các diot PIN từ trạng thái thiên áp thuận ($I_{thuan} = 200$ mA) sang trạng thái thiên áp ngược ($V_{nguoc} = 230$ V).

Đường truyền stripline được tạo ra bởi thanh kim loại và cơ cấu treo nhằm cố định thanh kim loại cách đều 2 mặt của hộp kim loại ở khoảng cách nhất định. Chất điện môi bao quanh đường truyền trong trường hợp này là không khí. Xét về mặt điện từ trường, cấu trúc thanh kim loại và hộp kim loại bao quanh tương đương với cấu trúc đường truyền stripline [3] ở hình 3.

Việc chuyển từ trạng thái mở sang trạng thái đóng của mỗi diot PIN được gắn ở đầu mút của đường nhánh tạo ra bước nhảy pha là $11,25 \pm 4$ độ. Việc chuyển từ trạng thái mở sang trạng thái đóng của tổ hợp diot PIN cho phép ta nối bất kỳ trạng thái pha nào tùy thuộc số đường nhánh và số diot PIN gắn trên đường truyền stripline. Để đáp ứng yêu cầu thiết kế bộ xoay pha cần sử dụng 32 đường nhánh kết hợp diot PIN.

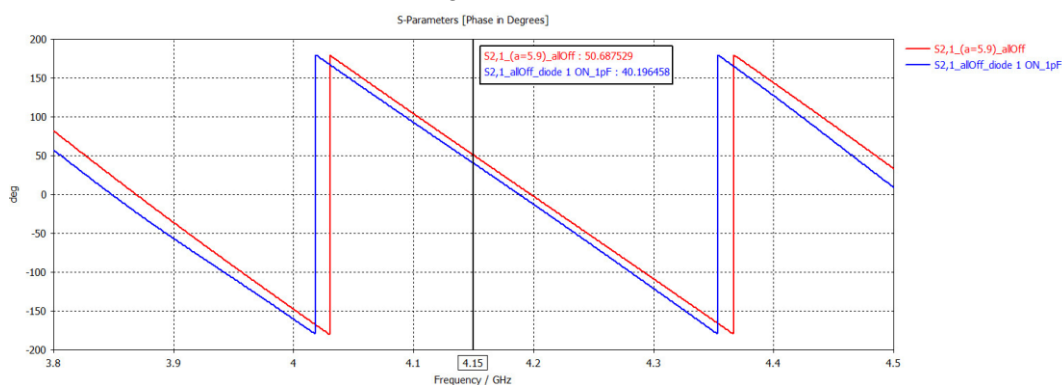
2.3. Mô phỏng và chế tạo bộ xoay pha số

Sử dụng phần mềm CST 2011 để xây dựng mô hình và tiến hành mô phỏng mô hình bộ xoay pha số có 1 đầu vào và 1 đầu ra với 32 diot PIN gắn ở cuối đường nhánh như hình 4.



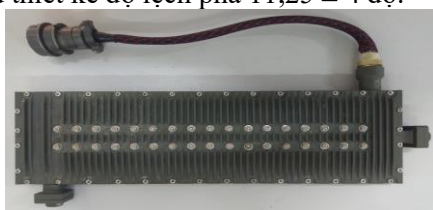
Hình 4. Xây dựng mô hình và mô phỏng bộ xoay pha trên phần mềm CST2011.

Đặt cổng đầu vào là cổng 1, các cổng đầu ra là cổng 2. Đánh giá độ dịch pha của bộ xoay pha khi lần lượt cấp tín hiệu điều khiển cho 32 diot PIN. Kết quả mô phỏng so sánh pha đầu ra của tín hiệu ở hai trường hợp: Được cấp điện áp điều khiển cho diot PIN và không được cấp điện áp điều khiển cho diot PIN được thể hiện trong hình 5.

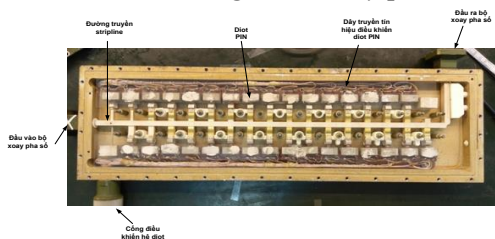


Hình 5. Kết quả mô phỏng độ lệch pha giữa các trạng thái của bộ xoay pha trên phần mềm CST 2011.

Kết quả mô phỏng cho thấy độ lệch pha giữa hai trạng thái đạt 10,5 độ, tức là thỏa mãn yêu cầu thiết kế độ lệch pha $11,25 \pm 4$ độ.



a) Cấu trúc bên ngoài bộ xoay pha số.



b) Cấu trúc bên trong bộ xoay pha số.



c) Kết quả đo độ lệch pha giữa các trạng thái của bộ xoay pha trên máy phân tích mạng.

Hình 6. Sản phẩm bộ xoay pha số hoạt động ở băng tần C được chế tạo và đo kiểm

Áp dụng giải pháp thiết kế ở mục 2.2. Chế tạo bộ xoay pha số hoạt động ở băng tần C như hình 6a, 6b. Sử dụng phương pháp gia công CNC kết hợp mạ bạc mặt trong của hộp bảo vệ, mặt ngoài thanh kim loại và đường nhánh. Kết quả đo độ lệch pha giữa các trạng thái của bộ xoay pha số bằng máy phân tích mạng đạt $10,02 \div 11,77$ độ thuộc giới hạn độ lệch pha giữa các trạng thái theo yêu cầu thiết kế là $11,25 \pm 4$ độ (hình 6c).

3. KẾT LUẬN

Dựa trên giải pháp xoay pha trên đường truyền stripline, tác giả đã thiết kế, mô phỏng và chế tạo bộ xoay pha hoạt động ở băng tần C với 32 bước thay đổi pha nhờ sử dụng 32 diot PIN, đáp ứng độ lệch pha giữa các trạng thái đạt $11,25 \pm 4$ độ. Kết quả đo kiểm sản phẩm và mô phỏng mô hình trên phần mềm CST 2011 chứng tỏ sự phù hợp giữa cơ sở lý thuyết và thực tế thiết kế, chế tạo. Giải pháp thiết kế bộ xoay pha sử dụng công nghệ đường truyền stripline kết hợp diot PIN có tính khả thi cao, không chỉ áp dụng trên các đài ra đa mạng pha băng tần C mà còn có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực điện- điện tử.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Richard C. Johnson, “*Antenna engineering handbook*”, Georgia Institute of Technology, pp. 682-749, (1993).
- [2]. Joseph Helszajn, “*Microwave Polarizers, Power Dividers, Phase Shifters, Circulators, and Switches*”, Heriot Watt University, pp. 99-100, (2019).
- [3]. K.K.Lâu, “*Cơ sở kỹ thuật siêu cao tần*”, NXB Giáo dục, tr. 45-46, (2006).

ABSTRACT

A designing solution for the C-band digital phase shifter

Nowadays, phase shifters are widely applied in modern radar and electronic warfare systems. The design of phase shifters is becoming more and more compact, with large phase coverage, high max input power, and high efficiency at a lower cost. This paper presents technical solutions and technology used in designing of C-band phase shifter. The phase shifter uses multiple PIN diodes in combination with the stripline in order to reduce the overall size while ensuring the accuracy of the phase shift step according to design requirements.

Keywords: Radar; Phase changer; Stripline.