VỀ MỘT GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, CHẾ TẠO BỘ HẠN CHẾ CÔNG SUẤT CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU CHỈNH MỨC TÍN HIỆU RA CHO RA ĐA BĂNG TẦN X

Vũ Minh Thành*, Trần Minh Nghĩa, Lương Văn Trình, Nguyễn Văn Việt

Tóm tắt: *Bài báo trình bày một nghiên cứu thiết kế chế tạo bộ hạn chế công suất có khả năng điều chỉnh mức tín hiệu ra ứng dụng cho máy thu ra đa băng tần X. Bộ hạn chế được thiết kế dựa trên 2 tầng điốt PIN được phối hợp trở kháng trên đường truyền vi dải có khả năng chịu công suất tín hiệu vào đến 59 dBm và hạn chế mức công suất ra cao nhất ở 19 dBm để bảo vệ máy thu, đồng thời có khả năng điều chỉnh suy giảm mức tín hiệu ra trong dải 0-32 dB để nâng cao dải động máy thu. Các tính toán có thể thực hiện ở dải tần thích hợp cho các ứng dụng theo yêu cầu.*

Từ khóa: Bộ hạn chế công suất; Suy giảm tín hiệu; Điốt PIN.

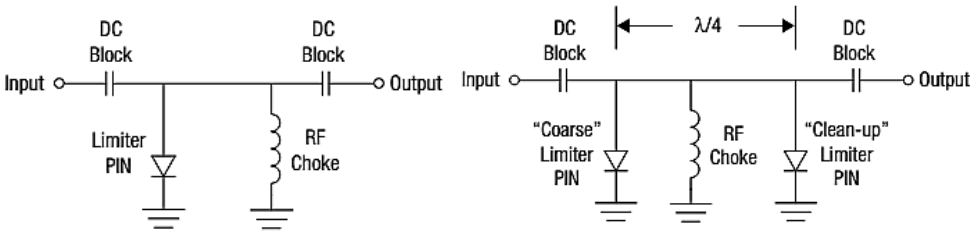
1. MỞ ĐẦU

Trong các đài ra đa bán dẫn, để nâng chất lượng tuyến thu tín hiệu người ta thường sử dụng các bộ khuếch đại tạp thấp ngay tại đầu vào. Các bộ khuếch đại này có ưu điểm là hệ số tạp rất nhỏ và hệ số khuếch đại lớn nhưng có nhược điểm là công suất chịu đựng đầu vào thường nhỏ. Do đó, các bộ khuếch đại này sẽ rất dễ bị phá hỏng nếu có sự xuất hiện của một nguồn tín hiệu có công suất lớn (tín hiệu lọt từ tuyến phát sang tuyến thu, tín hiệu từ một nguồn phát xạ khác có công suất lớn,...). Để bảo vệ cho tuyến thu không bị phá hỏng bởi tín hiệu có công suất lớn, máy thu ra đa thường tích hợp các bộ hạn chế công suất ở đầu vào. Bên cạnh đó, để đảm bảo dải động cho tuyến thu của đài ra đa, các mạch điều chỉnh hệ số khuếch đại theo thời gian thường tác động điều chỉnh ở các tầng khuếch đại trung tần hoặc khuếch đại cao tần, giải pháp này chưa giải quyết được triệt để vấn đề giới hạn các tín hiệu phản xạ mạnh ngay ở vùng gần, vì với tín hiệu phản xạ mạnh ngay đầu vào các tầng khuếch đại cao tần đã bị bão hòa. Kết hợp bộ hạn chế công suất và suy giảm tín hiệu có điều khiển là một giải pháp mang lại hiệu quả cao trong thiết kế máy thu ra đa và là giải pháp tối ưu nhất cho việc nâng cao dải động cho tuyến thu.

Hiện nay trên thế giới, một số hãng lớn chuyên sản xuất các thiết bị siêu cao tần như E2V Technology, Toshiba, JRC đã sản xuất các bộ giới hạn công suất có khả năng điều chỉnh mức suy giảm tín hiệu. Tuy nhiên, các sản phẩm này là sản phẩm độc quyền và là bí mật công nghệ của các hãng, tài liệu nghiên cứu được công bố không nhiều hoặc dưới dạng patent cụ thể. Chính vì thế, việc nghiên cứu thiết kế bộ giới hạn công suất có khả năng điều chỉnh mức tín hiệu ra có ý nghĩa quan trọng trong làm chủ thiết kế, chế tạo hệ thống thu của đài ra đa.

2. NGHIÊN CỨU BỘ HẠN CHẾ CÔNG SUẤT CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU CHỈNH MỨC TÍN HIỆU RA SỬ DỤNG ĐIỐT PIN

Trong thực tế các bộ khuếch đại tạp thấp ở đầu vào máy thu được sử dụng phổ biến thường có công suất đầu vào nhỏ. Các điốt PIN có công suất đầu vào lớn thì tương ứng công suất lọt ở đầu ra cũng sẽ lớn, việc sử dụng nối tầng thêm một hoặc nhiều điốt PIN có tác dụng đảm bảo công suất lọt ra của bộ giới hạn công suất đủ nhỏ không làm hỏng các tầng khuếch đại phía sau [4, 5]. Hình 1 thể hiện sơ đồ nguyên lý của bộ giới hạn công suất sử dụng một và hai điốt PIN [2]. Mô hình sử dụng một điốt PIN thường không đáp ứng được hệ số cách ly công suất của tín hiệu. Chính vì thế, mô hình sử dụng hai hoặc nhiều tầng đi ốt PIN thường được sử dụng phổ biến, đi ốt PIN được sử dụng ở tầng đầu tiên thường cho phép công suất tín hiệu vào lớn được gọi là điốt hạn chế thô "Coarse limiter PIN", điốt PIN thứ hai cho phép công suất lọt ở đầu ra nhỏ hơn được gọi là điốt hạn chế tinh "Clean up Limiter PIN". Khoảng cách vật lý giữa hai điốt PIN luôn phải là một phần tư bước sóng. Các cuộn cảm đóng vai trò cấp thiên áp mức không cho các điốt PIN.



Hình 1. *Sơ đồ nguyên lý bộ giới hạn công suất một tầng và hai tầng sử dụng điốt PIN.*

Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển mức tín hiệu ra sử dụng điốt PIN mắc kiểu ngắn mạch được thể hiện trong hình 2. Hệ số suy giảm mức tín hiệu truyền qua phụ thuộc vào cấu trúc của điốt PIN và dòng điện thiên áp thuận cấp cho nó, được ước lượng gần đúng theo công thức [2]:

$$\mathrm{A\ (dB)} = 20\ log\ log\left(1 + \frac{R_s}{2Z_0}\right) \quad (1)$$

Trong đó:

+ Z_0 là trở kháng đầu vào/đầu ra;

+ Rs là điện trở vùng I của điốt PIN được tính theo công thức [2]:

$$\mathrm{Rs}\ (\Omega) = \frac{W^2}{(\mu_p + \mu_n)\tau I} \quad (2)$$

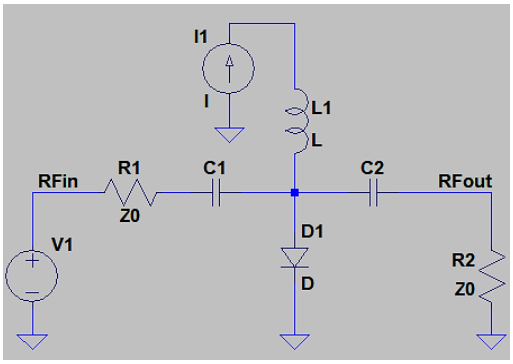
Trong đó:

+ W là độ dày vùng I của điốt PIN;

+ μ_p và μ_n lần lượt là hằng số mật độ lỗ trống và electron của điốt PIN;

+ τ: Thời gian tồn tại trung bình của electron và lỗ trống trong vùng I;

+ I: Mức dòng điện phân áp thuận cấp cho điốt PIN.



Hình 2. *Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển mức tín tín hiệu ra sử dụng điốt PIN mắc ngắn mạch.*

3. THIẾT KẾ BỘ GIỚI HẠN CÔNG SUẤT BẢO VỆ MÁY THU CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU CHỈNH MỨC TÍN HIỆU RA

Xác định tham số kỹ thuật đầu vào

Trong bài báo này, các tham số kỹ thuật thiết kế được chọn dựa trên tham số kỹ thuật hệ thống phát của một ra đa hàng hải có công suất phát đỉnh xung lớn nhất khoảng 30 kW (74,77 dBm). Hệ thống thu của đài ra đa này sử dụng bộ chuyển mạch thu phát có hệ số cách ly đạt khoảng 23 dB. Khi đó, công suất lọt lớn nhất từ tuyến phát sang tuyến thu sẽ có giá trị khoảng 51,77 dBm (150,3W), giá trị công suất này được xác định như là công suất lớn nhất đầu vào của bộ hạn chế công suất. Để bảo vệ máy thu tương ứng với mức công suất lọt trên, trong thiết kế sử dụng sơ đồ bộ giới hạn hai tầng điốt PIN của hãng Skyworks gồm: điốt PIN CLA4607 hạn chế

thô tầng đầu và CLA4610 hạn chế tinh. Tham số kỹ thuật chính của các điốt PIN [3] được liệt kê như trong bảng 1 và tham số kỹ thuật chính của bộ giới hạn công suất có khả năng điều chỉnh mức tín hiệu ra được liệt kê như bảng 2.

Bảng 1. *Tham số kỹ thuật chính của các điốt PIN được sử dụng.*

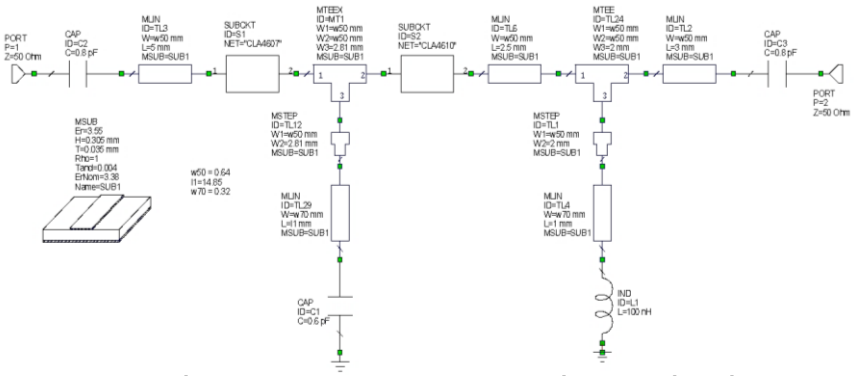
Tên tham số	Đơn vị	Giá trị	
		CLA4607	CLA4610
Điện dung đi ốt	pF	0,3	0,28
Điện trở khi làm việc	Ω	1,85	1,3
Độ dày vùng I	µm	7,0	4,5
Thời gian tồn tại trung bình τ	ns	50	20
Công suất xung lớn nhất đầu vào	dBm	59	43,5
Công suất lớn nhất đầu ra	dBm	39	19
Thời gian hồi phục cực đại	ns	50	5

Bảng 2. *Tham số kỹ thuật bộ giới hạn công suất có khả năng điều chỉnh mức tín hiệu ra.*

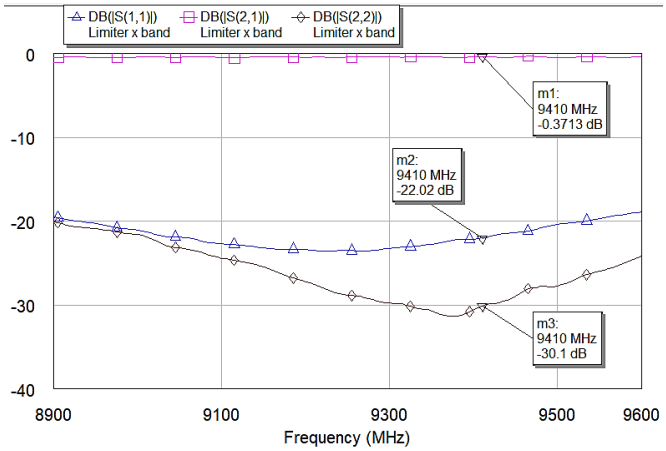
Tham số kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
Tần số làm việc	MHz	9350 ÷ 9450
Công suất đầu vào (Xung điều chế độ rộng ≤ 1µs, tần số lặp ≥ 840 Hz)	dBm	≤ 52
Công suất hạn chế đầu ra	dBm	≤ 20
Tổn hao truyền qua	dB	≤ 2
Dải điều chỉnh suy giảm tín hiệu	dB	0 ÷ 32

Mô phỏng và thiết kế trên phần mềm chuyên dụng

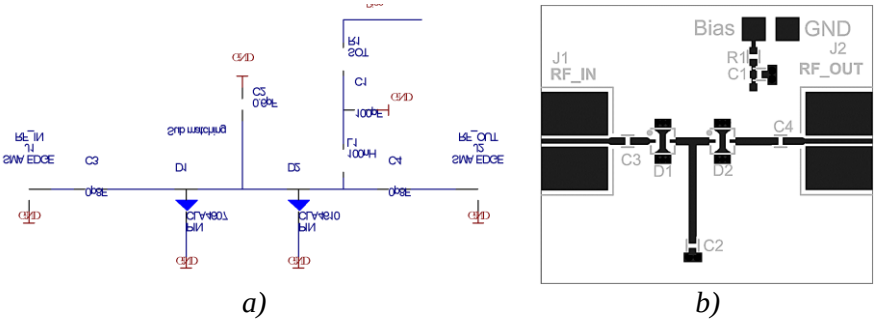
Vật liệu làm mạch in sử dụng loại mạch Roger 4003C với độ dày lớp điện môi 0.305 mm. Việc tính toán phối hợp trở kháng thực hiện bằng cách sử dụng các tham số S của các điốt PIN được cung cấp từ hãng sản xuất tại tần số 9410 MHz. Từ bảng tham số S sẽ tính toán được trở kháng vào (Z_{in}) và trở kháng đầu ra (Z_{out}) của từng điốt PIN [1]. Sử dụng công cụ "Ifilter Synthesis / Matching" của phần mềm AWR để tính toán các phần tử phối hợp trở kháng từ các giá trị Z_{in} và Z_{out}. Sau cùng sử dụng các công cụ "Optimize" và "Tune" của phần mềm AWR để tối ưu tham số S11 tại tần số 9410 MHz. Kết quả cụ thể sau khi tối ưu thể hiện như các hình 3 và hình 4. Sơ đồ nguyên lý và mạch in thực hiện trên phần mềm Altium cụ thể như hình 5.



Hình 3. *Sơ đồ nguyên lý bộ giới hạn công suất trên phần mềm AWR.*



Hình 4. *Kết quả mô phỏng tham số S của bộ giới hạn công suất trên AWR.*

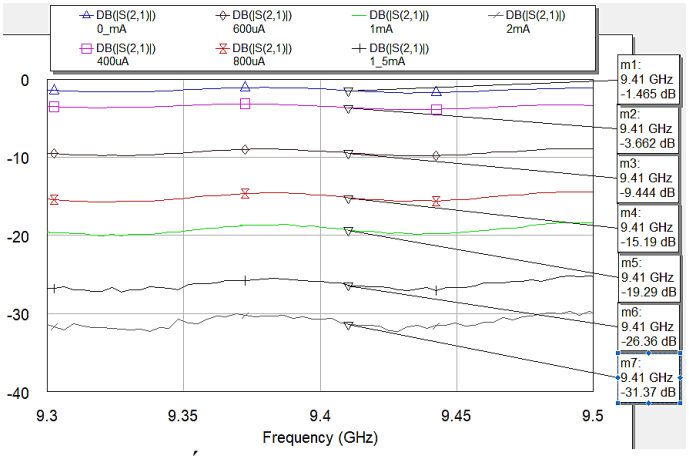


a) *b)*

Hình 5. *Sơ đồ nguyên lý a) và sơ đồ mạch in b) của bộ giới hạn công suất có khả năng điều chỉnh mức suy giảm.*

4. MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

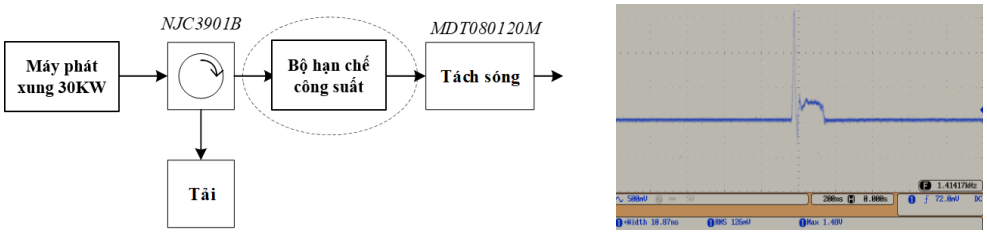
Hình 6 là các kết quả đo đánh giá trên máy phân tích mạng N9918A và hiển thị trên phần mềm AWR gồm: mức tổn hao truyền qua trong dải tần số từ 9300 MHz đến 9500 MHz khi không cấp dòng định thiên cho các điốt PIN và các mức suy giảm tín hiệu tương ứng với dòng định thiên từ 400 µA đến 2 mA cấp cho điốt PIN.



Hình 6. *Kết quả đo đánh giá mức suy giảm tín hiệu.*

Đồ thị cho thấy trong dải thông 200 MHz quanh tần số trung tâm 9410 MHz, mức suy giảm có thể điều chỉnh một cách rõ rệt nhờ thay đổi dòng định thiên của các điốt PIN và tương đối đồng đều không quá 3 dB ứng với mỗi giá trị dòng, dải điều chỉnh 32 dB khá rộng so với [6].

Hình 7 thể hiện sơ đồ kết nối với một hệ thống phát của ra đa hàng hải và kết quả đo đánh giá mức công suất tín hiệu tại đầu ra, cụ thể: mức điện áp đỉnh ở đầu ra là 1.48 V, hệ số quan hệ giữa công suất đầu vào và điện áp tại đầu ra của bộ tách sóng MDT080120M là 500 mV/mW, như vậy, công suất lớn nhất khi không điều chỉnh suy giảm tại đầu ra đo được là 2,96 mW (4,71 dBm) đảm bảo an toàn cho bộ khuếch đại đầu vào máy thu.



Hình 7. *Kết quả đo đánh giá công suất giới hạn tại đầu ra.*

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cách thiết kế chế tạo một bộ hạn chế công suất bảo vệ máy thu có khả năng điều chỉnh mức tín hiệu ra ứng dụng cho ra đa có công suất phát xung lớn. Mô đun sau chế tạo có kết quả đo đánh giá thực nghiệm hệ số tổn hao truyền qua tại tần số 9410 MHz là 1,465 dB, giá trị này lớn hơn so với [6] nhưng ở mức chấp nhận được, nguyên nhân có thể do sai số trong quá trình chế tạo mạch in, tổn hao tại các giắc kết nối vào ra và sai lệch vị trí trong quá trình lắp ráp linh kiện lên bo mạch. Hệ số suy giảm tín hiệu lớn nhất có thể đáp ứng là khoảng 32 dB tương ứng với dòng định thiên khoảng 2 mA cấp cho điốt PIN. Các kết quả này cơ bản đáp ứng được các yêu cầu và hoàn toàn có thể ứng dụng trong thực tế chế tạo hệ thống thu cho đài ra đa làm việc ở băng tần X.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Minh Việt, *"Kỹ thuật siêu cao tần"*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2002.
[2]. Skyworks, *"Design with PIN diodes application note"*, 2012.
[3]. Skyworks, *"CLA Series: silicon limiter diode bondable chips datasheet"*, 2010.
[4]. R. Cory, *"PIN-limiter diodes effectively protect receivers, Electron Design News"*, 2004.
[5]. S. S. Yang, T. Y. Kim and D. K. Kong, *"A Novel Analysis of a Ku-Band Planar p-i-n Diode Limiter"*, IEEE, 2009.
[6]. David J. Seymour, David D. Heston, Ralldan E. Lehhmna, Donna Zych, *"X band monolithic GaAs PIN diode variable attenuation limiter"*, Texas Instrument Incorporated.

ABSTRACT

AN APPROACH TO DESIGN AND MANUFACTURE A LIMITER, CAPABLE OF ADJUSTING OUTPUT SIGNAL LEVEL FOR X-BAND RADARS

This paper presents a study, design, and manufacture of a power limiter capable of adjusting the output signal level applied to the X-band radar receiver. The limiter is designed based on 2 stages of PIN diodes impedance matching on the micro-strip line is capable of withstanding up to 59dBm of input power and limiting the highest output power to 19dBm to protect the receiver while also being able to attenuate the output signal in 0-32dB range to enhance dynamic receiver range. Calculations can be performed at the appropriate frequency range for the required application.

Keywords: Limiter; Variable attenuation limiter; PIN diode.

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: Viện Ra đa - Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: vu.minh.thanh87@gmail.com.