



(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)



1-0037882

(51)^{2020.01} G01S 13/00

(13) B

(21) 1-2021-04080

(22) 02/07/2021

(45) 25/12/2023 429

(43) 25/11/2021 404

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)

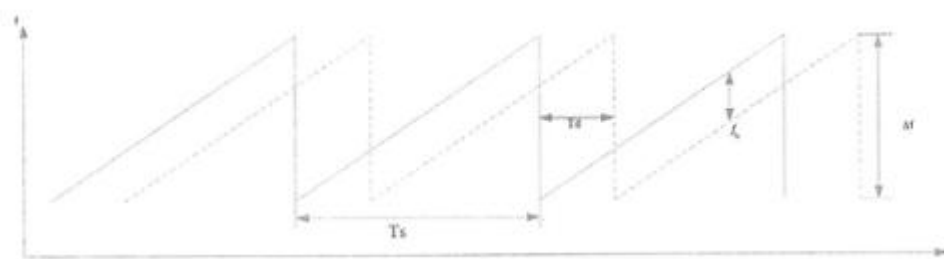
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Hoàng Dương (VN); Trần Văn Trường (VN).

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

(54) PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ LỌC ĐÁP ỨNG TẦN SỐ CHO ĐÀI RAĐA CÔNG NGHỆ SÓNG LIÊN TỤC ĐƯỢC ĐIỀU TẦN (FMCW)

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế bộ lọc bao gồm: bước 1: xác định tần số $f_{b \max}$ (tần số trung tần thu cực đại) của đài radar FMCW; bước 2: xây dựng bộ lọc thông cao với độ dốc 12 dB/octave với tần số cắt là tần số $f_{b \max}$; bước 3: mô phỏng tham số bộ lọc; bước 4: hàn lắp linh kiện tụ, cảm lên hệ thống thu. Kết quả của phương pháp là tín hiệu thu về ở vùng gần và vùng xa tương đối đồng đều nhau đối với mục tiêu có diện tích phản xạ như nhau. Phương pháp này cũng giảm công suất tín hiệu tần số thấp (tương ứng với tín hiệu phản xạ về từ mục tiêu gần) tránh được hiện tượng gây bão hoà ADC đối với các mục tiêu ở gần.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW. Cụ thể, phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số được đề cập trong sáng chế được sử dụng trong khối thu tín hiệu đài radar nhằm giải quyết vấn đề đồng đều mức công suất tín hiệu thu về cho các đài radar sử dụng công nghệ FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave – Công nghệ phát tín hiệu liên tục điều tần).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Một trong những vấn đề quan trọng cần lưu ý khi thiết kế hệ thống xử lý tín hiệu thu về của đài radar là hiện tượng hệ thống thu bị bão hòa bởi các tín hiệu vùng gần, địa vật. Vấn đề này xuất hiện xuyên suốt trong quá trình phát triển radar và tác động lên nhiều yếu tố của hệ thống như ăngten, đường truyền, hệ thống thu tín hiệu, búp sóng tín hiệu, góc phương vị.

Đối với đài radar FMCW giải quyết vấn đề xuyên nhiễu và các tín hiệu tầm gần càng quan trọng hơn vì lý do đài radar hoạt động từ cự ly từ vài chục mét đến hàng chục km. Hai vấn đề kỹ thuật cần giải quyết trong thiết kế tuyến thu đài radar FMCW bao gồm:

- Đối với cùng một loại mục tiêu, công suất tín hiệu thu về sẽ phụ thuộc khoảng cách theo hàm hai mũ bốn với khoảng cách nên tín hiệu cự ly gần 15m và tín hiệu ở cự ly xa 15km có thể chênh lệch đến 120 dB và không thể thiết kế ADC (Analog to Digital Converter - Bộ chuyển đổi tương tự sang số) nào có dải động lớn như thế.

- Nguyên lý đài Radar FMCW sử dụng hai kênh thu phát hoạt động liên tục nên tín hiệu dò từ kênh phát sang kênh thu luôn có sẽ gây bão hòa các tầng khuếch đại băng cơ sở và ADC.

Giải pháp STC (Sensitivity time control – điều khiển độ nhạy theo thời gian) bằng cách đảo ngược độ khuếch đại tín hiệu theo phương trình radar, suy hao tín hiệu giảm dần lớn nhất tại tín hiệu gần và nhỏ nhất với các tín hiệu xa (thông thường tại các khoảng cách 80 km).

Tuy nhiên giải pháp STC không thể ứng dụng cho các đài radar sử dụng công nghệ FMCW, nguyên nhân là do tín hiệu phát đi liên tục thay vì tín hiệu xung không tồn tại độ trễ. Một phương pháp được áp dụng cho các đài radar FMCW hiện nay là chia vùng phát hiện thành các trường khác nhau: trường gần, trường trung và trường xa tương đương với việc chia tín hiệu thu về thành ba phần, mỗi phần đi qua một hệ thống lọc khác nhau. Nhược điểm chính của phương pháp này là tăng mức độ phức tạp của hệ thống và chi phí do thay vì một kênh thu phải dùng ba kênh,

ngoài ra khi sử dụng sẽ không thể quan sát toàn vùng bao phủ của radar mà phải lựa chọn quan sát theo từng trường khoảng cách.

Phương án được đưa ra trong sáng chế là thiết kế một bộ lọc đáp ứng tần số dựa theo đặc tính tín hiệu băng cơ sở thu được từ tuyến thu, tần số tín hiệu băng cơ sở tỷ lệ thuận với khoảng các mục tiêu. Bằng cách tăng giảm suy hao của tín hiệu trả về tại các tần số khác nhau, sáng chế giải quyết được vấn đề đặt ra.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về cho đài radar công nghệ FMCW giải quyết các hạn chế nêu ra ở trên.

Để đạt được mục đích trên, phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW bao gồm:

- Bước 1: xác định tần số $f_{b\max}$ (tần số trung tần thu cực đại) của đài radar FMCW; tham số này phụ thuộc vào khoảng quan sát mong muốn của đài radar;
- Bước 2: xây dựng bộ lọc thông cao với độ dốc 12 dB/octave với tần số cắt là tần số $f_{b\max}$; bước này sử dụng cấu trúc bộ lọc Butterworth.
- Bước 3: mô phỏng tham số bộ lọc; bước này được thực hiện bằng phần mềm ADS (Advanced Design Systems) trên máy tính để tối ưu hóa các giá trị tính toán thành giá trị thực tế, vẽ đường đặc tuyến bộ lọc;
- Bước 4: hàn lắp linh kiện tụ, cảm lên hệ thống thu; tại bước này, tiến hành hàn lắp linh kiện tụ, cảm có giá trị mô phỏng được trong bước 3 vào ngay sau đầu ra bộ trộn tần đưa tín hiệu cao tần về tín hiệu trung tần của khối thu đài radar FMCW, kiểm tra kết quả thực tế;

Theo một phương án khác, sáng chế đề cập tới phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về cho đài radar công nghệ FMCW trong đó:

- Ở bước 2 giá trị độ dốc là 6 dB/octave và bậc bộ lọc Butterworth là một trong trường hợp đài radar tập trung vào các mục tiêu ở cự ly gần hoặc hoạt động trong điều kiện công suất phản hồi kém như thời tiết xấu. Đối với đường đặc tính 6 dB/octave này, các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về lớn hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở gần so với bộ lọc 12 dB/octave.

Theo một phương án khác, sáng chế đề cập tới phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về cho đài radar công nghệ FMCW trong đó:

- Ở bước 2 giá trị độ dốc là 18 dB/octave và bậc bộ lọc Butterworth là ba trong trường hợp đài radar tập trung vào quan sát các mục tiêu xa hoặc hoạt động trong điều kiện vùng gần có

nhiều địa vật như đồi núi vật cản. Đối với đường đặc tính 18 dB/octave này. Các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về nhỏ hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở xa so với bộ lọc 12 dB/octave.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ minh họa các tham số tín hiệu thu/phát dạng lưởi cưa (sawtooth) của đài radar sử dụng công nghệ FMCW;

Hình 2 là hình vẽ mô tả bộ lọc thông cao Butterworth;

Hình 3 là hình vẽ mô tả mô phỏng bộ lọc thông cao Butterworth sử dụng phần mềm ADS;

Hình 4 là hình vẽ mô tả đường đặc tuyến bộ lọc đáp ứng tần số 12 dB/octave tại tần số cắt 2MHz sử dụng phần mềm ADS;

Hình 5 là hình vẽ mô tả kết quả mạch lọc đáp ứng tần số thực tế;

Hình 6 là hình vẽ mô tả vị trí bộ lọc băng cơ sở trong cấu trúc máy thu radar FMCW.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế được mô tả chi tiết dưới đây có dựa vào các hình vẽ kèm theo, các hình vẽ này nhằm mục đích minh họa các phương án của sáng chế mà không làm giới hạn phạm vi bảo hộ sáng chế. Đồng thời, các thuật ngữ chuyên môn trong sáng chế này được hiểu như sau:

- Đài radar FMCW là đài radar sử dụng công nghệ FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave – Công Nghệ phát tín hiệu liên tục điều tần) có đặc điểm là tín hiệu phát đi là tín hiệu cao tần liên tục với tần số thay đổi theo thời gian theo dạng răng cưa (Hình 1) hoặc tam giác.
- Tần số trung tần thu là tần số tín hiệu được chuyển từ tín hiệu thu về cao tần (RF – Radio frequency) trộn với tín hiệu dao động nội LO (Local Oscillator Frequency) tự tạo ra trong hệ thống nhằm hạ thấp tần số tín hiệu thu về để bộ ADC có thể xử lý được, nguyên nhân do bộ ADC bị giới hạn về tần số hoạt động tối đa.
- Bộ lọc thông cao là bộ lọc cho phép tín hiệu lớn hơn tần số cắt của bộ lọc đi qua bộ lọc gần như không bị suy hao, tần số nhỏ hơn tần số cắt của bộ lọc bị suy hao mạnh.
- Độ dốc của bộ lọc là hệ số suy hao theo tần số của bộ lọc được tính theo đơn vị là dB/octave (suy hao khi tần số giảm một nửa so với tần số so sánh) hoặc dB/decade (suy hao khi tần số bằng một phần mười so với tần số so sánh)...
- Khoảng cách phát hiện xa nhất của đài radar là với mục tiêu có diện tích phản xạ hiệu dụng biết trước khoảng cách xa nhất từ mục tiêu đó đến ăngten radar mà công suất trả về lớn hơn độ nhạy máy thu.

- Độ nhạy máy thu là mức công suất nhỏ nhất mà máy thu có thể xử lý được.
- Tần số cắt là tần số tại đó bộ lọc bắt đầu hoạt động trong trường hợp ở đây là tần số trung tần lớn nhất của hệ thống.

Hình 1 mô tả các tham số tín hiệu thu/phát của đài radar FMCW được tính toán trong bước 1. Đường liền thể hiện tín hiệu phát, đường nét đứt thể hiện thu về trong điều tần dạng lưỡi cưa (sawtooth). Trong đó:

Ts: chu kỳ tín hiệu bằng hay thời gian lấy mẫu FFT bằng số mẫu FFT chia cho tần số lấy mẫu;

Td: thời gian tín hiệu đạt cực ly cực đại và trở về;

f_b : tần số trung tần thu bằng chênh lệch tần số tín hiệu cao tần thu về và tín hiệu cao tần phát đi;

Δf : băng thông tín hiệu phát bằng hiệu giữa tần số phát đi lớn nhất (đến mục tiêu xa nhất) trừ đi tần số phát nhỏ nhất (đến mục tiêu gần nhất).

Hình 2 mô tả cấu trúc bộ lọc thông cao Butterworth được dùng để thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar FMCW thể hiện trong bước 2 số thành phần của bộ lọc tương ứng với bậc bộ lọc trong trường hợp 12 dB/octave bậc bộ lọc bằng hai và gồm hai thành phần L_1 , C_2

Hình 3 mô tả cấu trúc bộ lọc thông cao Butterworth sử dụng phần mềm ADS (Advanced Design Systems) được nhắc đến trong bước 3.

Hình 4 mô tả kết quả mô phỏng của bước 3 mạch lọc đáp ứng tần số Butterworth bậc hai tại tần số cắt 2 MHz bằng phần mềm ADS thông qua thể hiện giá trị S21 của tín hiệu đầu ra bộ lọc so với đầu vào bộ lọc, trục tung là tham số S21 tính theo dB, trục hoành là tham số tần số tính theo MHz.

Hình 5 mô tả kết quả thực tế của bộ lọc được mô phỏng trong bước 3, so sánh giữa thực tế (bước 4) và mô phỏng (bước 3) < 1dB, chi tiết trong bảng dưới đây:

STT	Tần số (MHz)	Suy hao mô phỏng	Suy hao thực tế	Sai khác (dB)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)-(2)
1	0,25	-36,129	-35,372	-0,757
2	0,5	-24,104	-23,504	-0,6
3	1	-12,309	-12,009	-0,3

4	2	-3,013	-3,5024	0,4894
5	3	-0,784	-1,4595	0,6755

Hình 6 mô tả vị trí của bộ lọc được hàn lắp trong bước 4, bộ lọc được đặt ngay sau đầu ra bộ trộn tần đưa tần số cao tần xuống tần số trung tần nhằm đảm bảo công suất tín hiệu sẽ gần tương đương nhau đối với một loại mực tiêu ở các cự ly khác nhau đồng thời loại bỏ các thành phần dòng điện một chiều (DC – Direct Current) sau khối trộn tần nhằm tránh bão hoà khối ADC.

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về bao gồm:

- Bước 1: xác định tần số $f_{b \max}$ (tần số trung tần thu cực đại) của đài radar FMCW; tham số này phụ thuộc vào khoảng quan sát mong muốn của đài radar;

Tần số f_b phụ thuộc vào khoảng cách phát hiện mục tiêu mong muốn của đài radar (cự ly phát hiện càng xa thì tần số này càng lớn), việc tính toán tần số $f_{b \max}$ được người thiết kế tính toán theo công thức (1) dưới đây

$$f_{b \max} = \frac{2R_{\max}\Delta f}{T_s c} \quad (1)$$

Trong đó:

T_s : chu kỳ tín hiệu bằng hay thời gian lấy mẫu FFT bằng số mẫu FFT chia cho tần số lấy mẫu thể hiện trong Hình 1;

c : vận tốc ánh sáng ở đây lấy bằng 3×10^8 m/s;

Δf : băng thông tín hiệu phát bằng hiệu giữa tần số phát đi lớn nhất (đến mục tiêu xa nhất) trừ đi tần số phát nhỏ nhất (đến mục tiêu gần nhất) thể hiện trong Hình 1;

$R_{\max}$: khoảng cách phát hiện xa nhất của đài radar tính từ khoảng cách hoạt động xa nhất của radar đến ăngten radar;

Ý nghĩa của bước này là tìm tham số tần số trung tần lớn nhất $f_{b \max}$ phục vụ cho các bước tính toán và mô phỏng tiếp theo.

- Bước 2: xây dựng bộ lọc thông cao với độ dốc 12 dB/octave với tần số cắt là tần số $f_{b \max}$; bước này sử dụng cấu trúc bộ lọc Butterworth;

Việc lựa chọn độ dốc 12 dB/octave là do mối tương quan giữa khoảng cách phát hiện mục tiêu và công suất thu về cụ thể:

Từ công thức liên hệ giữa khoảng cách phát hiện của radar FMCW phụ thuộc vào tần số trung tần thu f_b :

$$f_b = \frac{2R\Delta f}{T_s c} \quad (2)$$

Trong đó:

T_s : thời gian lấy mẫu FFT bằng số mẫu FFT chia cho tần số lấy mẫu,

c : vận tốc ánh sáng,

Δf : băng thông quét (sweep bandwidth).

Từ công thức (2) ta có thể thấy R tỷ lệ thuận với f_b , khi khoảng cách phát hiện giảm một nửa thì f_b giảm một nửa.

Từ phương trình radar FMCW:

$$P_{RT} = \frac{P_{CW} G_t G_r \lambda^2 L_2 \sigma_T}{(4\pi)^3 R_T^4 L_{RT} L_{RR}} \quad (3)$$

Trong đó:

P_{RT} : công suất tín hiệu trả về;

P_{CW} : công suất phát CW;

G_t : độ khuếch đại ăngten chiều đi;

G_r : độ khuếch đại ăngten chiều về;

L_2 : hệ số truyền đạt hai chiều trong khí quyển;

σ_T : diện tích phản xạ hiệu dụng của mục tiêu;

R_T : khoảng cách tín hiệu trả về;

L_{RT} : suy hao đường truyền chiều phát;

L_{RR} : suy hao đường truyền chiều về.

Từ công thức (4) ta có thể thấy R tỷ lệ nghịch với P_{RT} theo hàm mũ bốn, khi khoảng cách phát hiện giảm một nửa thì P_{RT} tăng 2^4 lần hay 16 lần.

Như vậy mối quan hệ giữa tín hiệu trả về từ một điểm cách đài là d công suất trả về P_{RT1} và tần số trung tần f_{b1} so với tín hiệu trả về một điểm cách đài là 2d công suất trả về P_{RT2} và tần số trung tần f_{b2}

$$f_{b1} = \frac{f_{b2}}{2} \quad (5)$$

$$P_{RT1} = 16 P_{RT2} \quad (6)$$

$$P_{RT1} (dbm) = 10 \log(16) + P_{RT2}(dbm) = 12 \text{ dB} + P_{RT2} (\text{dBm})$$

Như vậy để bù cho tín hiệu thu về, bộ lọc thông cao có độ dốc 12 dB/octave được sử dụng.

Dựa trên yêu cầu về tần số cắt fc và độ dốc của bộ lọc (12 dB/octave), bộ lọc thông cao Butterworth bậc hai được lựa chọn, phương án thiết kế bộ lọc được thể hiện trong bảng 2 dưới đây:

Bảng 2: số bậc bộ lọc và các giá trị chuẩn hóa của bộ lọc Butterworth

n	g1	g2	g3	g4	g5	g6
1	20000					
2	1,4142	1,4142				
3	1,0000	2,0000	1,0000			
4	0,7654	1,8478	1,8478	0,7654		
5	0,6180	1,6180	2,0000	1,6180	0,6180	
6	0,5176	1,4142	1,9319	1,9319	1,4142	0,5176

Từ bảng 2 với n=2, giá trị chuẩn hóa của bộ lọc cần thiết kế.

$$g1 = 1.4142 = C'_1$$

$$g2 = 1.4142 = L'_2$$

Chuyển đổi giá trị chuẩn hóa sang giá trị thực tế bộ lọc thông cao:

$$L_K = \frac{Z_0}{\omega_c C'_K}$$

$$C_K = \frac{1}{Z_0 \omega_c L'_K}$$

Trong đó:

L_K : giá trị cảm kháng thực tế;

L'_K : giá trị cảm kháng chuẩn hóa;

C_K : giá trị dung kháng thực tế;

C'_k : giá trị dung kháng chuẩn hóa;

Z_0 : trở kháng mạch lọc (thường bằng 50Ω);

ω_c : tốc độ góc theo tần số $\text{rad/s} = 2\pi f_c$.

Ý nghĩa của bước này là bằng phương án trên tính toán bộ lọc thông cao Butterworth tính được giá trị cần thiết L1 và C2 theo lý thuyết.

- Bước 3: mô phỏng tham số bộ lọc; bước này được thực hiện bằng phần mềm ADS (Advanced Design Systems) trên máy tính để tối ưu hóa các giá trị tính toán thành giá trị thực tế, vẽ đường đặc tuyến bộ lọc; cụ thể:

+ Sử dụng phần mềm Advanced Design System để mô phỏng độ dốc bộ lọc theo các tham số đã tính được trong bước 2;

+ Tiến hành vẽ lại sơ đồ mạch in như trong Hình 3 đặt các giá trị tính được trong bước 2 vào L1 và C2;

+ Tiến hành mô phỏng S-parameter (đo tham số của ma trận tán xạ - Scattering matrix) cho khoảng tần số bộ lọc sử dụng;

+ Thay đổi giá trị tham số L1 và C2 thành tham số thực tế, nguyên nhân các tham số tính toán có thể không được sản xuất, trong trường hợp này cần thay đổi sang tham số gần nhất thực tế để đánh giá độ ảnh hưởng;

+ Vẽ đồ thị đặc tuyến S21 – tín hiệu đầu vào so với tín hiệu đầu ra bộ lọc đáp ứng tần số so sánh với độ dốc mong muốn của thiết kế ở đây là 12 dB/octave;

Ý nghĩa của bước này là thực tế hóa kết quả tính toán thiết kế trong bước hai và kiểm tra lại tham số của bộ lọc có đáp ứng yêu cầu thực tế của vấn đề độ đồng đều tín hiệu thu về đài radar FMCW.

- Bước 4: hàn lắp linh kiện tụ, cảm lên hệ thống thu; tại bước này, tiến hành hàn lắp linh kiện tụ, cảm có giá trị mô phỏng được trong bước 3 vào ngay sau đầu ra bộ trộn tần đưa tín hiệu cao tần về tín hiệu trung tần của khối thu đài radar FMCW, kiểm tra kết quả thực tế, cụ thể:

+ Hàn lắp thử linh kiện trên bản mạch đơn và đo kiểm lấy kết quả thực tế như trong Hình 5 dựa trên máy phân tích tín hiệu hoặc máy phân tích mạng;

+ Xác định vị trí đặt bộ lọc là ngay sau bộ trộn tần như Hình 6, điều này là bắt buộc đối với hệ thống thu radar FMCW để bộ lọc đạt mục đích hoạt động tốt nhất;

+ Kết thúc bước 4, bộ lọc đã được thiết kế hoàn tất và tích hợp vào hệ thống thu, độ dốc của bộ lọc đảm bảo được tính đồng đều của tín hiệu thu về vì độ dốc của bộ lọc đã được kiểm tra qua các bước là 12 dB/octave với tần số cắt là tần số trung tần cực đại.

Ý nghĩa của bước bốn là hiện thực hoá thiết kế trong bước hai, bước ba và tích hợp bộ lọc vào hệ thống thu đài radar FMCW.

Theo khía cạnh tiếp theo, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về cho đài radar công nghệ FMCW trong đó:

- Ở bước 2 giá trị độ dốc là 6 dB/octave và bậc bộ lọc Butterworth là một trong trường hợp đài radar tập trung vào các mục tiêu ở cự ly gần hoặc hoạt động trong điều kiện công suất phản hồi kém như thời tiết xấu. Đối với đường đặc tính 6 dB/octave này, các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về lớn hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở gần so với bộ lọc 12 dB/octave.

Theo khía cạnh tiếp theo, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số nhằm giải quyết vấn đề đồng đều tín hiệu thu về cho đài radar công nghệ FMCW trong đó:

- Ở bước 2 giá trị độ dốc là 18 dB/octave và bậc bộ lọc Butterworth là ba trong trường hợp đài radar tập trung vào quan sát các mục tiêu xa hoặc hoạt động trong điều kiện vùng gần có nhiều địa vật như đồi núi vật cản. Đối với đường đặc tính 18 dB/octave này, các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về nhỏ hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở xa so với bộ lọc 12 dB/octave.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Đối với hệ thống radar, hiện tượng công suất tín hiệu phản xạ vùng gần lớn gây ra vấn đề bão hoà ADC luôn là bài toán khó cần nghiên cứu để giải quyết. Sử dụng giải pháp xây dựng mạch đáp ứng tần số ở băng tần cơ sở để giảm công suất tín hiệu tần số thấp (tương ứng với tín hiệu phản xạ về từ mục tiêu gần) và giữ nguyên công suất ở tần số lớn (tương ứng với tín hiệu phản xạ về từ mục tiêu xa). Trong quá trình thử nghiệm thực tế kết quả này đã đạt được theo yêu cầu thiết kế đối với các hệ số 12 dB/octave, 6 dB/octave và 18 dB/octave.

Mặc dù các mô tả nêu trên chứa nhiều chi tiết cụ thể, chúng không được coi là giới hạn về phương án thực thi sáng chế, mà chỉ nhằm mục đích minh họa một số phương án thực thi được ưu tiên.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW:

bước 1: xác định tần số $f_{b \max}$ (tần số trung tần thu cực đại) của đài radar FMCW; tham số này phụ thuộc vào khoảng quan sát mong muốn của đài radar;

tần số f_b phụ thuộc vào khoảng cách phát hiện mục tiêu mong muốn của đài radar (cụ lý phát hiện càng xa thì tần số này càng lớn), việc tính toán tần số $f_{b \max}$ được người thiết kế tính toán theo công thức (1) dưới đây

$$f_{b \max} = \frac{2R_{\max}\Delta f}{T_s c} \quad (1)$$

trong đó:

T_s : chu kỳ tín hiệu bằng hay thời gian lấy mẫu FFT bằng số mẫu FFT chia cho tần số lấy mẫu;

c : vận tốc ánh sáng ở đây lấy bằng 3×10^8 m/s;

Δf : băng thông tín hiệu phát bằng hiệu giữa tần số phát đi lớn nhất (đến mục tiêu xa nhất) trừ đi tần số phát nhỏ nhất (đến mục tiêu gần nhất);

$R_{\max}$: khoảng cách phát hiện xa nhất của đài radar tính từ khoảng cách hoạt động xa nhất của radar đến ăngten radar;

bước 2: xây dựng bộ lọc thông cao với độ dốc 12 dB/octave với tần số cắt là tần số $f_{b \max}$; bước này sử dụng cấu trúc bộ lọc butterworth;

dựa trên yêu cầu về tần số cắt f_c và độ dốc của bộ lọc (12 dB/octave), bộ lọc thông cao butterworth bậc hai được lựa chọn, phương án thiết kế bộ lọc được thể hiện trong bảng dưới đây:

bảng: số bậc bộ lọc và các giá trị chuẩn hóa của bộ lọc butterworth

n	g1	g2	g3	g4	g5	g6
1	20000					
2	1,4142	1,4142				
3	1,0000	2,0000	1,0000			
4	0,7654	1,8478	1,8478	0,7654		
5	0,6180	1,6180	2,0000	1,6180	0,6180	

6	05176	1,4142	1,9319	1,9319	1,4142	0,5176
---	-------	--------	--------	--------	--------	--------

từ bảng trên với $n=2$, giá trị chuẩn hóa của bộ lọc cần thiết kế:

$$g1 = 1.4142 = C'_1$$

$$g2 = 1.4142 = L'_2$$

chuyển đổi giá trị chuẩn hóa sang giá trị thực tế bộ lọc thông cao:

$$L_K = \frac{Z_0}{\omega_c C'_K}$$

$$C_K = \frac{1}{Z_0 \omega_c L'_K}$$

trong đó:

L_K : giá trị cảm kháng thực tế;

L'_K : giá trị cảm kháng chuẩn hóa;

C_K : giá trị dung kháng thực tế;

C'_K : giá trị dung kháng chuẩn hóa;

Z_0 : trở kháng mạch lọc (thường bằng 50 Ω);

ω_c : tốc độ góc theo tần số rad/s = $2\pi f_c$;

bước 3: mô phỏng tham số bộ lọc; bước này được thực hiện bằng phần mềm ADS (advanced design systems) trên máy tính để tối ưu hóa các giá trị tính toán thành giá trị thực tế, vẽ đường đặc tuyến bộ lọc; cụ thể:

+ Sử dụng phần mềm advanced design system để mô phỏng độ dốc bộ lọc theo các tham số đã tính được trong bước 2;

+ tiến hành vẽ lại sơ đồ mạch in, đặt các giá trị tính được trong bước 2 vào L1 và C2;

+ tiến hành mô phỏng s-parameter (đo tham số của ma trận tán xạ - scattering matrix) cho khoảng tần số bộ lọc sử dụng;

+ thay đổi giá trị tham số L1 và C2 thành tham số thực tế, nguyên nhân các tham số tính toán có thể không được sản xuất, trong trường hợp này cần thay đổi sang tham số gần nhất thực tế để đánh giá độ ảnh hưởng;

+ vẽ đồ thị đặc tuyến S21 – tín hiệu đầu vào so với tín hiệu đầu ra bộ lọc đáp ứng tần số so sánh với độ dốc mong muốn của thiết kế ở đây là 12 dB/octave;

bước 4: hàn lắp linh kiện tụ, cảm lên hệ thống thu; tại bước này, tiến hành hàn lắp linh kiện tụ, cảm có giá trị mô phỏng được trong bước 3 vào ngay sau đầu ra bộ trộn tần đưa tín hiệu cao tần về tín hiệu trung tần của khối thu đài radar FMCW, kiểm tra kết quả thực tế, cụ thể:

+ hàn lắp thử linh kiện trên bản mạch đơn và đo kiểm lấy kết quả thực tế dựa trên máy phân tích tín hiệu hoặc máy phân tích mạng;

+ xác định vị trí đặt bộ lọc là ngay sau bộ trộn tần, điều này là bắt buộc đối với hệ thống thu radar FMCW để bộ lọc đạt mục đích hoạt động tốt nhất;

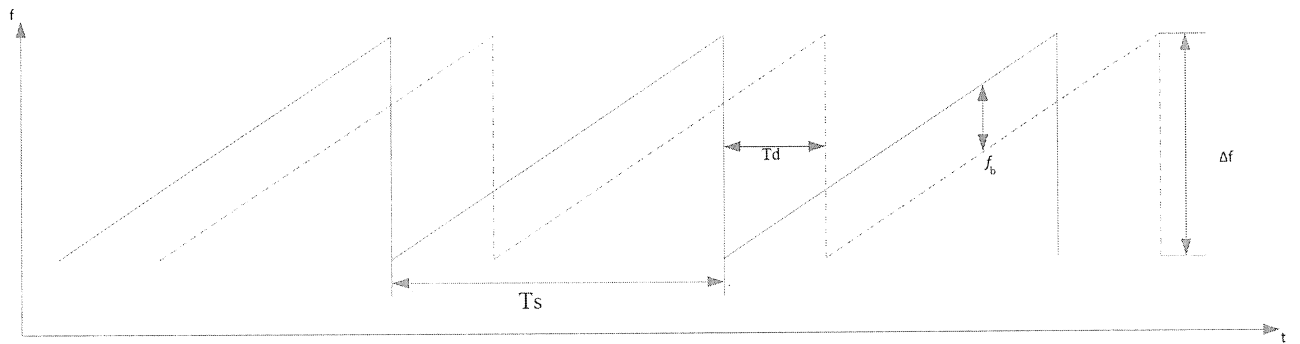
kết thúc bước 4, bộ lọc đã được thiết kế hoàn tất và tích hợp vào hệ thống thu, độ dốc của bộ lọc đảm bảo được tính đồng đều của tín hiệu thu về vì độ dốc của bộ lọc đã được kiểm tra qua các bước là 12 dB/octave với tần số cắt là tần số trung tần cực đại.

2. Phương pháp thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW theo điểm 1, trong đó:

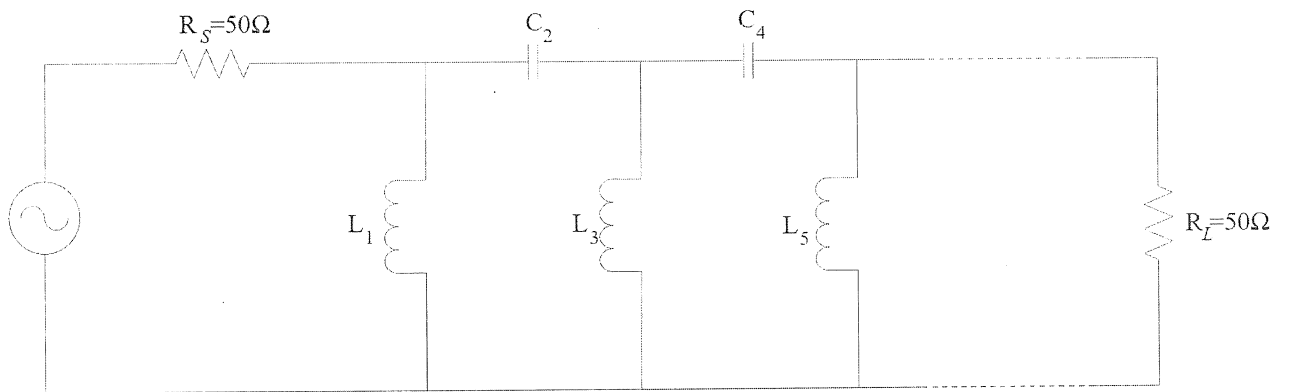
ở bước 2 giá trị độ dốc là 6 dB/octave và bậc bộ lọc butterworth là một trong trường hợp đài radar tập trung vào các mục tiêu ở cự ly gần hoặc hoạt động trong điều kiện công suất phản hồi kém như thời tiết xấu; đối với đường đặc tính 6 dB/octave này, các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về lớn hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở gần so với bộ lọc 12 dB/octave.

3. Phương pháp thiết kế thiết kế bộ lọc đáp ứng tần số cho đài radar công nghệ FMCW theo điểm 1, trong đó:

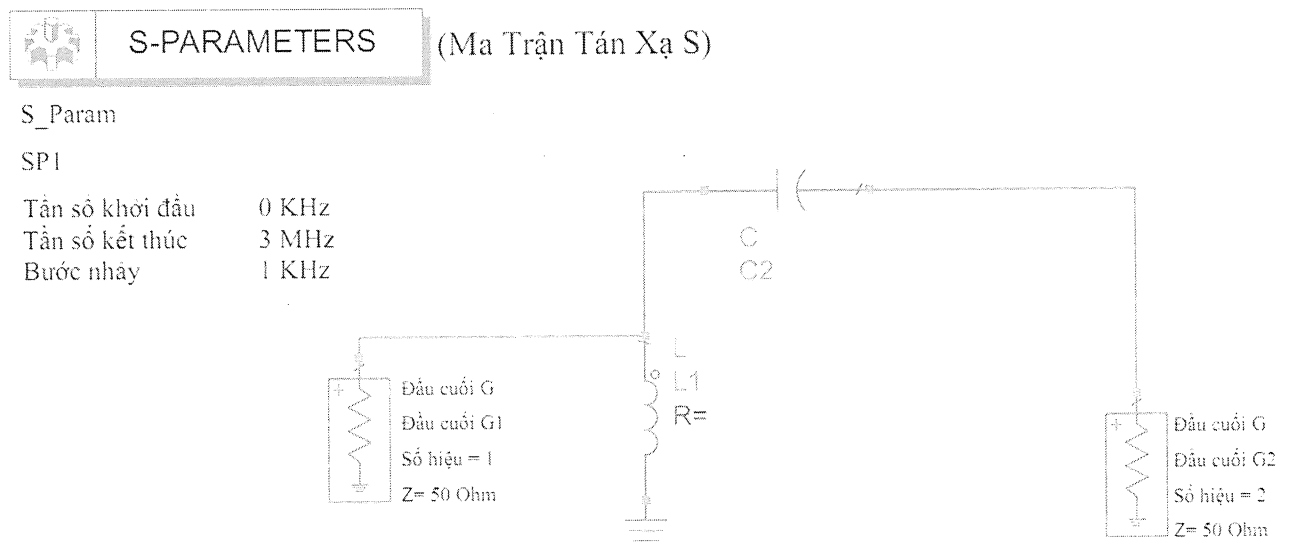
ở bước 2 giá trị độ dốc là 18 dB/octave và bậc bộ lọc butterworth là ba trong trường hợp đài radar tập trung vào quan sát các mục tiêu xa hoặc hoạt động trong điều kiện vùng gần có nhiều địa vật như đồi núi vật cản; đối với đường đặc tính 18 dB/octave này, các mục tiêu ở vùng gần sẽ có công suất thu về nhỏ hơn so với các mục tiêu ở xa khi xem xét mục tiêu có cùng diện tích phản xạ, tăng khả năng phát hiện các mục tiêu ở xa so với bộ lọc 12 dB/octave.



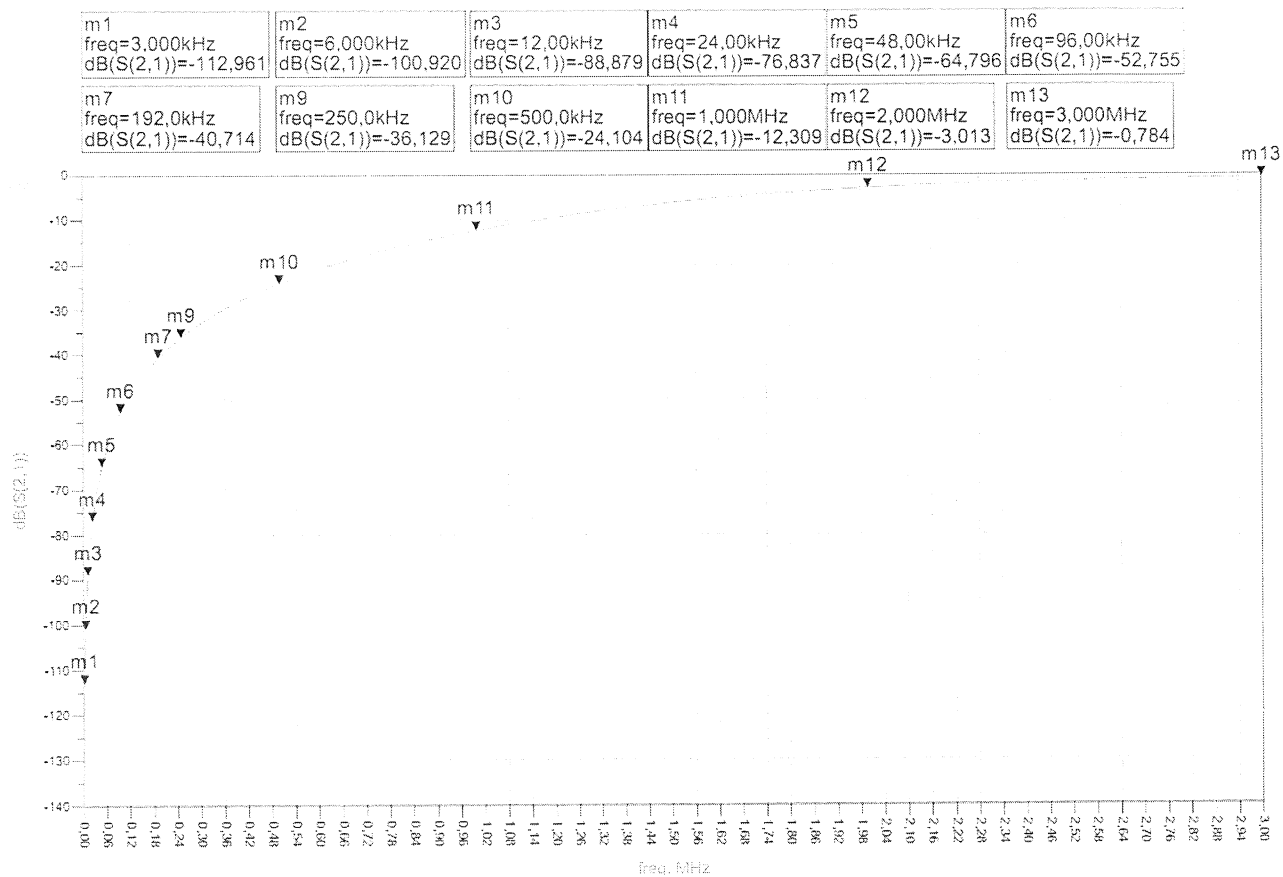
Hình 1



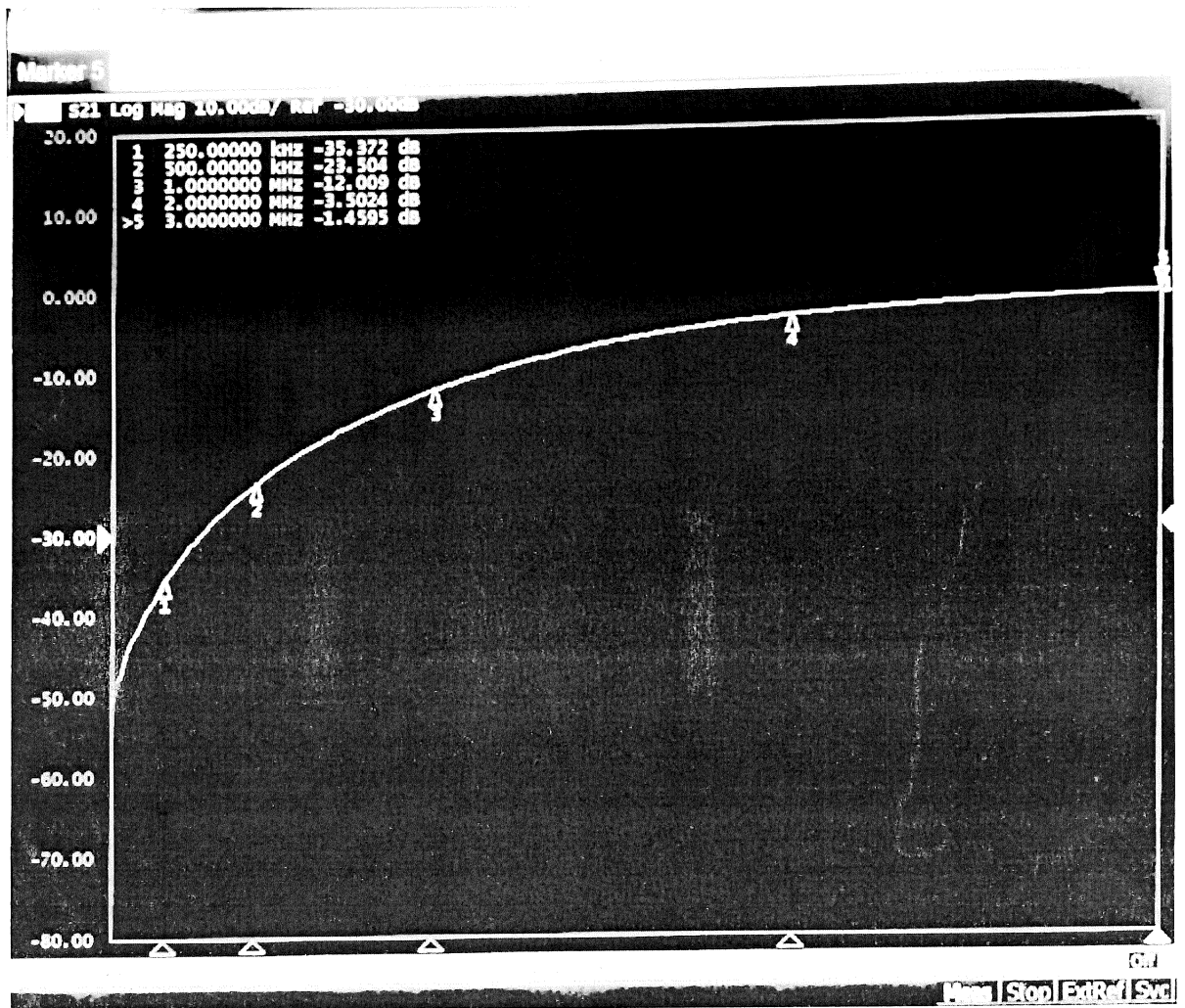
Hình 2



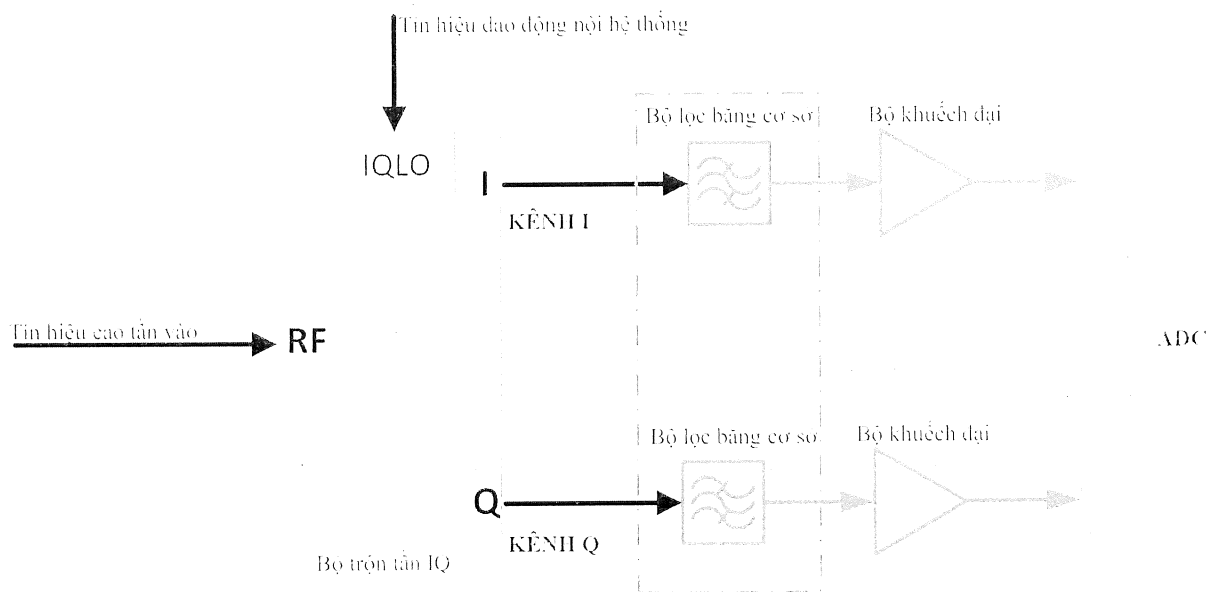
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6