

VỀ MỘT GIẢI PHÁP THIẾT KẾ BỘ LỌC THÔNG DẢI HỒC CỘNG HƯỞNG DẠNG CÀI RĂNG LƯỢC DẢI TẦN 4-8 GHz

Đặng Thị Thùy Biên*, Nguyễn Thanh Hà, Phùng Thị Thu Phương

Viện Điện tử/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: dangbo87@gmail.com

Nhận bài: 01/11/2022; Hoàn thiện: 18/11/2022; Chấp nhận đăng: 20/12/2022; Xuất bản: 25/6/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.88.2023.173-176>

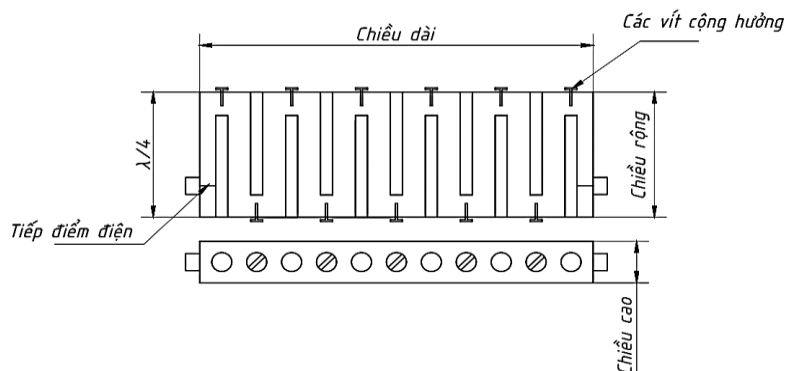
TÓM TẮT

Các bộ lọc dải siêu cao tần với băng thông siêu rộng hàng GHz là phần tử không thể thiếu trong các hệ thống thông tin, trinh sát vô tuyến điện. Với yêu cầu dải tần siêu rộng (UWB), độ suy hao dải chặn và độ dốc bộ lọc lớn thì việc nghiên cứu lựa chọn cấu trúc, quy trình thiết kế mô phỏng và công nghệ chế tạo đóng vai trò quan trọng quyết định đến chất lượng, chỉ tiêu của bộ lọc. Bài báo đề xuất một giải pháp thiết kế, chế tạo bộ lọc hốc cộng hưởng dạng cài răng lược (Interdigital cavity filter) băng thông siêu rộng (4-8 GHz). Phần mềm CST được sử dụng trong thiết kế, mô phỏng để đạt được độ chính xác về kích thước và chỉ tiêu bộ lọc. Bộ lọc hoạt động ở tần số trung tâm $f_0 = 6$ GHz với độ rộng băng thông $FBW = 4$ GHz, suy hao dải chặn -40 dB và độ dốc 10 dB/100 MHz. Các kết quả thiết kế, mô phỏng được tối ưu bằng phần mềm, bộ lọc sau chế tạo được đo kiểm đánh giá và đạt được các chỉ tiêu yêu cầu đặt ra.

Từ khoá: Bộ lọc thông dải; Bộ lọc hốc cộng hưởng dạng cài răng lược; Băng thông siêu rộng; CST.

1. MỞ ĐẦU

Bộ lọc là phần tử không thể thiếu trong các hệ thống truyền thông vô tuyến (TTVT) nói chung, góp phần nâng cao chất lượng xử lý tín hiệu và nâng cao hiệu quả phân chia, sử dụng phổ tần số [1]. Các hệ thống TTVT thế hệ mới, các hệ thống trinh sát VTĐT hoạt động trên các dải tần số siêu cao (băng C, X, Ku) với dịch vụ băng thông siêu rộng. Vì vậy, việc thiết kế, chế tạo các bộ lọc dải siêu cao, băng tần rộng, chất lượng chọn lọc tốt là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Các công nghệ thiết kế vi dải MicroStripe, StripeLine, Waveguide và Cavity được sử dụng phổ biến để chế tạo các bộ lọc [6-8], trong đó, bộ lọc hốc cộng hưởng cài răng lược cấu trúc kiểu “Interdigital cavity filter” đạt được tổn hao chèn thấp, băng thông rộng và suy hao dải chặn, độ dốc lớn nhờ một cấu trúc hình học đơn giản [1, 3, 4]. Hình 1 mô tả một ví dụ cấu trúc của bộ lọc hốc cộng hưởng siêu cao tần sử dụng các thanh cộng hưởng hình chữ nhật.



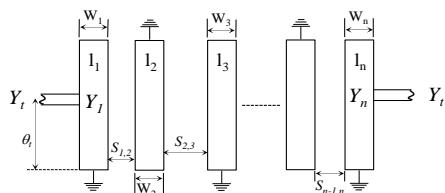
Hình 1. Cấu trúc của bộ lọc hốc cộng hưởng dạng cài răng lược.

Bài báo thực hiện nghiên cứu giải pháp thiết kế, chế tạo bộ lọc kiểu “Interdigital cavity filter” băng thông siêu rộng (Băng C). Trong đó, việc tính toán thiết kế, mô phỏng, chế tạo đảm bảo độ chính xác các phần tử trong cấu trúc lọc quyết định đến chất lượng bộ lọc.

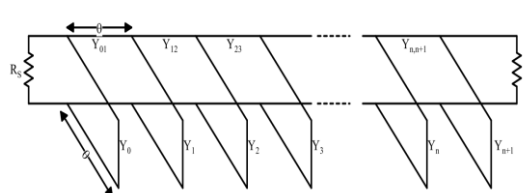
2. TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG BỘ LỌC

Bộ lọc “*Interdigital cavity filter*” có tần số trung tâm 6.0 GHz, dải thông 4.0 GHz, độ gợn trong băng ≤ 3.0 dB, suy hao dải chắn ≤ -40 dB, hệ số sóng đứng ≤ 2.5 .

2.1. Sơ đồ tương đương



Hình 2. Cấu trúc bộ lọc *Interdigital cavity*.



Hình 3. Sơ đồ tương đương *Interdigital cavity*.

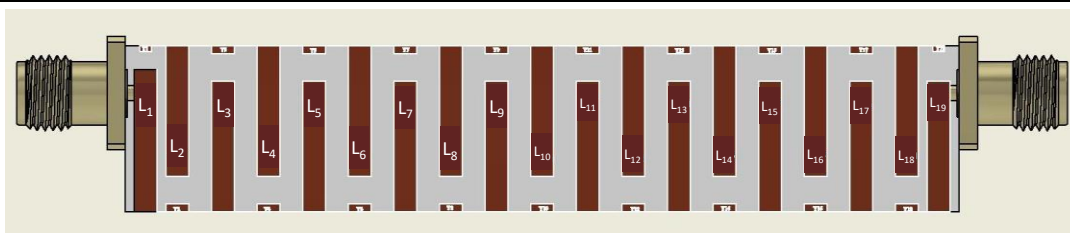
Cấu trúc của bộ lọc “*Interdigital cavity filter*” n bậc được mô tả trên hình 2 [4]. Bộ lọc gồm các phần tử cộng hưởng điện nạp chế độ TEM hoặc quasi-TEM đặt ở giữa hai mặt phẳng đất song song, mỗi phần tử có độ dài điện là 90° ở tần số trung tâm ($\lambda/4$), ngắn mạch ở một đầu và hở mạch ở đầu còn lại. Lý thuyết và quy trình thiết kế bộ lọc này dựa vào các phương trình Caspi và Adelman [5]. Dựa trên các chỉ tiêu tham số cần thiết để tính toán các tham số dẫn nạp và điện nạp sơ đồ tương đương (hình 3) để từ đó tính các kích thước, cấu trúc mạch lọc.

2.2. Thiết kế, mô phỏng mạch lọc “*Interdigital cavity filter*”

Bộ lọc thông dải “*Interdigital cavity filter*” sử dụng thanh cộng hưởng chữ nhật có các giá trị điện cảm, điện dung thành phần được tính toán bằng phần mềm CST. Theo tính toán lý thuyết, bộ lọc nguyên mẫu có dạng Chebyshev bậc 19 với độ gợn < 3.0 dB. Sử dụng ma trận tham số S (do phần mềm CST cung cấp) với trở kháng đầu vào/ra 50Ω ta tính được kích thước các phần tử. Cấu trúc bộ lọc với các tham số kích thước đã tính toán được mô tả trong bảng 1 và hình 4.

Bảng 1. Tham số các kích thước bộ lọc *Interdigital cavity filter*

Tham số	L_i	W_i	C	X_i	Y_i	h	d
mm	11	2.0	3.2	2	0.8	8.5	2,2



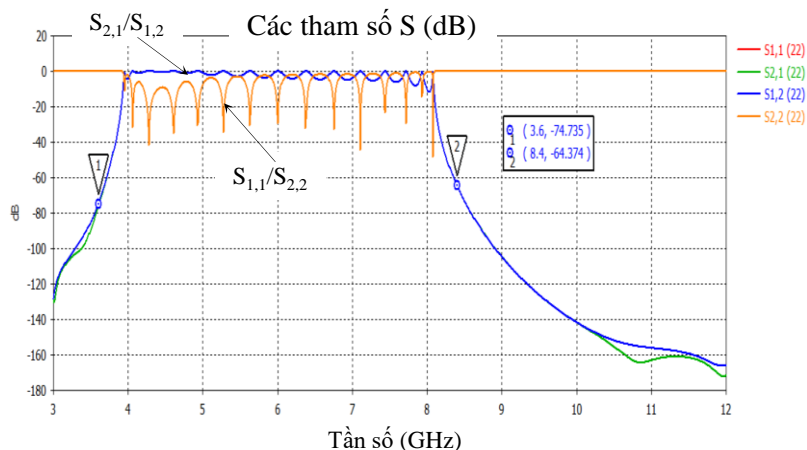
Hình 4. Cấu trúc của bộ lọc ở dạng 2D.

Các kết quả tính toán được đưa vào phần mềm CST để mô phỏng tối ưu đặc tuyến của bộ lọc như trên hình 5. Các giá trị kích thước tương ứng của bộ lọc sau khi tối ưu được lập trên bảng 2, đơn vị là mm, r là bán kính vít chỉnh cộng hưởng.

Bảng 2. Tham số các kích thước bộ lọc *Interdigital cavity filter* sau tối ưu.

a	c	h	k	L_1	L	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	r
11.5	3.3	8.2	2.1	10.8	10.3	10.7	10.4	10.5	10.1	10.4	10.5	10.5	10.5	0.35
W	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
2.1	0.85	0.83	1.8	2	2	1.9	1.9	2.1	2.2	2	0.5	0.45	0.3	0.4
Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}	Y_{19}
0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.1	0.8	0.9	0.7	0.12	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5

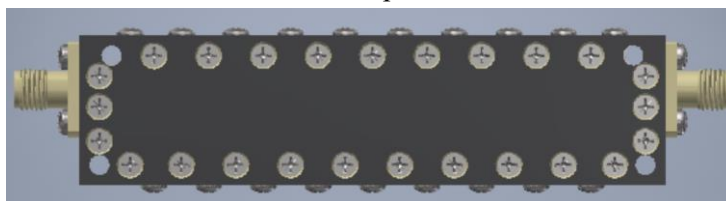
Từ kết quả mô phỏng, ta thấy tất cả các tham số đều đạt chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu của bộ lọc. Cụ thể $S_{21} \leq -74.735$ ở dải tần số $f \leq 3.6$ GHz và $S_{21} \leq -64.374$ dB ở dải tần $f \geq 8.4$ GHz.



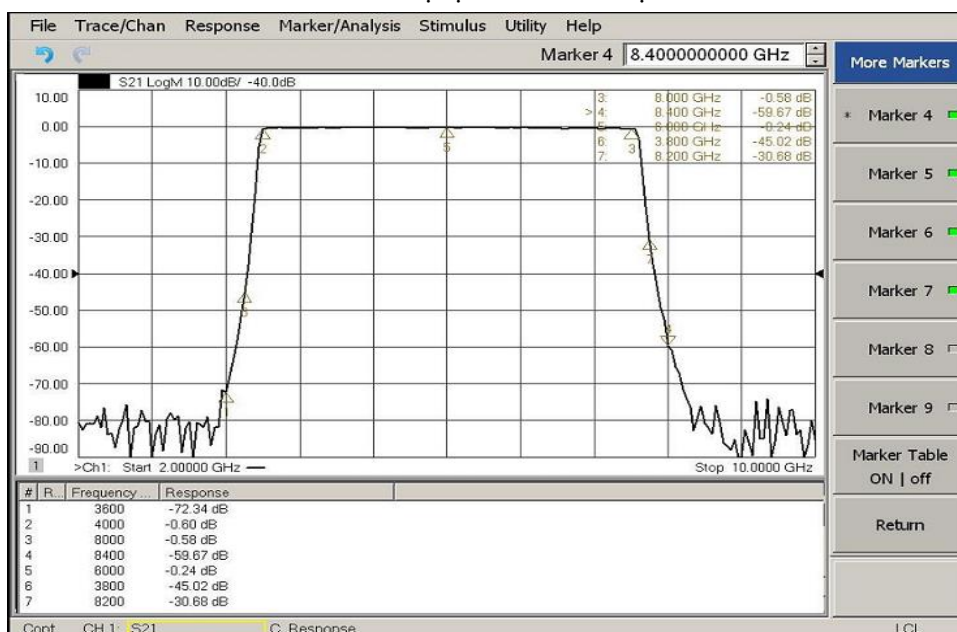
Hình 5. Đặc tuyến của bộ lọc sau khi tối ưu.

3. CHẾ TẠO, ĐO KIỂM ĐÁNH GIÁ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi các tham số mô phỏng trên phần mềm được đánh giá đảm bảo yêu cầu, nhóm tác giả đã đặt hàng gia công, chế tạo bộ lọc với các kích thước cơ khí đã có sử dụng công nghệ gia công CNC, khắc laser để chế tạo bộ lọc trên vật liệu hợp kim nhôm và mạ bạc như hình 6.



Hình 6. Bộ lọc sau khi chế tạo.



Hình 7. Kết quả đo tham số của bộ lọc.

Bộ lọc sau chế tạo được đo kiểm bằng máy phân tích mạng vector N5222A, đạt được các tham số như hình 7. Trong đó $S_{21} \leq -70$ dB với tần số $f \leq 3.6$ GHz và $S_{21} \leq -60$ dB với tần số $f \geq 8.4$ GHz, dải thông 4.0 GHz, độ gợn trong băng ≤ 3.0 dB. Kết quả cho thấy bộ lọc thông dải sau chế tạo có tham số đạt các yêu cầu đề ra, tương đồng với kết quả mô phỏng trên phần mềm CST.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả thiết kế, chế tạo bộ lọc “*Interdigital cavity filter*” sử dụng các phần tử cộng hưởng hình chữ nhật trên cơ sở sơ đồ mạch điện tương đương kết hợp với các tính toán giá trị, kích thước, khoảng cách giữa các phần tử cộng hưởng thành phần. Với mục đích nhằm đề xuất giải pháp thiết kế bộ lọc thông dải có kết cấu đơn giản mà vẫn đạt được các chỉ tiêu theo yêu cầu. Kết quả cho thấy giải pháp thiết kế bộ lọc đảm bảo sự tối ưu giữa kết cấu và hệ số phẩm chất. Kết quả mô phỏng và đo kiểm sau khi chế tạo cho thấy các tham số của bộ lọc đáp ứng yêu cầu và được ứng dụng trong hệ thống thu/phát băng C. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở để nghiên cứu thiết kế chế tạo các bộ lọc “*Interdigital cavity filter*” ở các băng tần khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jiang, S., Wang, X., & Sun, L. “*Improved Design of Ku-Band Interdigital Cavity Filter*”. International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium, China, (2019).
- [2]. N. Durga Indira, K. Nalini, H. Khan, “*Design of Interdigital Bandpass Filter*”. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol-2, Issue-4, (2013).
- [3]. Yoon, K. and Kim, K., “*Compact Size of an Interdigital Bandpass Filter with Flexible Bandwidth and Low Insertion Loss Using a Folded Spiral and Stepped Impedance Resonant Structure*”. Electronics, Vol 10, Issue 16, (2021).
- [4]. G. Matthaei, “*Interdigital band-pass filters*”, IRE Trans. Micro. Theory Tech., vol.MTT-10, no.6, pp.479-491, (1962).
- [5]. G. Matthaei, L. Young and E. Jones, “*Design of Microwave Filters*”, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, vol. II, Menlo Park, California: Stanford Research Institute, (1963).
- [6]. <https://www.rfmw.com/products/detail/b056rc4s-knowles-dli/623588/>
- [7]. <https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=ZBSS-6G-S%2B>
- [8]. <https://anatechelectronics.com/products/standard/band-pass-184/6000-mhz-strip-line-band-pass-filter.html>.

ABSTRACT

A design solution for the 4÷8 GHz bandpass interdigital cavity filter

Ultra-high frequency band filters with a bandwidth of up to GHz (UWB) are an indispensable component in radio communication and reconnaissance systems. With the requirement of ultra-wide frequency band, high barrier loss and slope, the topology selection, design and simulation techniques, and manufacture technology need to be carefully researched to achieve desired parameters and quality of the filter. This paper proposed a solution to design and manufacture an ultra-wide band (4÷8 GHz) Interdigital cavity filter. CST software is used in the design and simulation to achieve dimensional accuracy and desired parameters. The filter operates at center frequency $f_0 = 6$ GHz with a bandwidth of $FBW = 4$ GHz, barrier loss of -40 dB and slope of 10 dB/100 MHz. The design and simulation results are optimized by the software, the post-manufactured filter is measured, evaluated and achieved the required criteria.

Keywords: Bandpass filter; Interdigital cavity filter; Ultra Wide Band; CST.