

BỘ LỌC KHOANG CỘNG HƯỞNG CẢI THIỆN HIỆU NĂNG CHO PHẦN VÔ TUYẾN CỦA TRẠM GỐC 5G

Nguyễn Việt Hưng, Nguyễn Quý Dương, Đỗ Quang Huy, Đỗ Trung Anh
Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

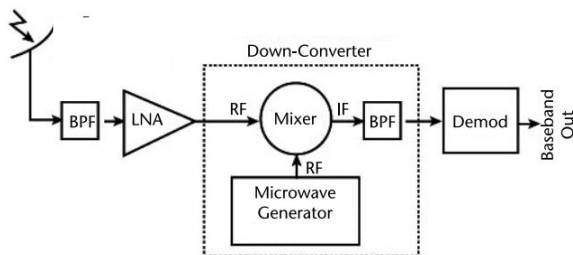
Tóm tắt: Bài báo này đề xuất một phương án thiết kế bộ lọc khoang cộng hưởng đồng trục để cải thiện hiệu năng cho trạm thu phát 5G. Bộ lọc có dạng răng lược, hoạt động tại dải tần 3.7-3.8 GHz, độ gợn < 0.2 dB, suy hao chèn = -0.64 dB, suy hao phản xạ < -16 dB tại tần số trung tâm f_0 và băng -40dB tại $f_0 \pm 110\text{MHz}$, băng thông 100MHz.

Từ khóa: Bộ lọc khoang cộng hưởng, bộ lọc răng lược, bộ lọc thông dải siêu cao tần, 5G.

I. MỞ ĐẦU

Mạng di động 5G hiện tại đã bắt đầu được triển khai thương mại tại Việt Nam. Mới đây, tập đoàn Bưu chính Viễn thông Việt Nam (VNPT) đã chính thức đầu tư thành công quyền triển khai và quy hoạch băng tần 3700-3800MHz [1]. Thống kê năm 2023 của tổ chức GSA (Global mobile Supplies Association) cho thấy, số lượng thiết bị đầu cuối 5G hỗ trợ các băng tần tầm trung 2 (từ 3.700 MHz) hiện đang tương đương số lượng thiết bị hỗ trợ băng tần trung 1 (dưới 2.600 Mhz) [2]. Việc triển khai 5G ở tần số 3700-3800 MHz sẽ mang lại thêm nhiều lựa chọn hơn cho khách hàng về máy điện thoại/thiết bị đầu cuối. Tuy nhiên, hoạt động của mạng 5G tại băng tần này có nguy cơ can nhiễu từ tín hiệu vệ tinh của hệ thống Vinasat 1. Chính vì vậy, thực tế đã đặt ra yêu cầu về những tham số cho bộ lọc tại phần vô tuyến của trạm 5G.

Bộ lọc là một thiết bị mạng 2 cửa (1 cổng ra và 1 cổng vào) mà nó cho phép tín hiệu được truyền qua tại dải tần số mong muốn với rất ít suy hao và nhiễu và đồng thời loại bỏ tín hiệu tại tần số nằm ngoài dải thông. Bộ lọc siêu cao tần là một thiết bị rất quan trọng, được sử dụng rộng rãi trong hệ thống viễn thông, truyền tin, radar.



Hình 1: Sơ đồ khối đơn giản hóa của đường truyền tín hiệu cao tần [3]

Tác giả liên hệ: Đỗ Trung Anh

Email: anhdt@ptit.edu.vn

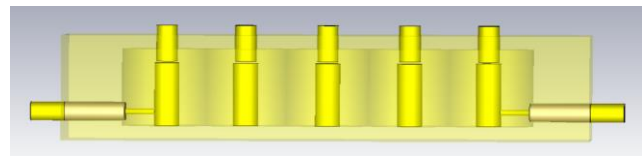
Đến tòa soạn: 10/2024, chỉnh sửa: 11/2024, chấp nhận đăng: 12/2024.

Trong hệ thống thu, phát 5G, tín hiệu đi ra từ các bộ khuếch đại công suất (PA) ở mạch phát, và khuếch đại tạp âm thấp (LNA) ở mạch thu, sẽ đi qua bộ lọc cộng hưởng vi sóng trước khi qua bộ điều chế rồi tới các thiết bị thu ở mặt đất [3].

Về mặt lý thuyết thì bộ lọc có các dạng bộ lọc kiểu đáp ứng Chebychev, Butterworth, Elliptic... Về hình dáng vật lý thì có bộ lọc dạng xoắn, bộ lọc răng lược, bộ lọc xen kẽ, bộ lọc có cấu trúc ghép nối 3 hay 4 khoang [4].

Cấu trúc của một bộ lọc thông thường bao gồm vỏ hộp, các khoang cộng hưởng, các thanh cộng hưởng, các vít tinh chỉnh, 2 đầu cắm port. Các thanh cộng hưởng được đặt sao cho một đầu ngắn mạch được gắn vào vỏ hộp, đầu còn lại hở mạch kết nối với vít tinh chỉnh tạo thành một mạch LC tương đương song song. Các cách cấp nguồn cho bộ lọc bao gồm cấp nguồn trực tiếp, cấp nguồn kiểu tụ điện và điện cảm [5].

Bộ lọc được làm bằng các kim loại như đồng, nhôm, phía mặt ngoài được mạ bạc để cải thiện hiệu năng. Kiểu cấu trúc đồng trục cho phép khoang cộng hưởng được lắp đầy bởi không khí. Gần đây cũng có nhiều thiết kế bộ lọc làm từ vật liệu điện môi hay siêu vật liệu. Bộ lọc có thể chế tạo thủ công bằng cách cắt, khoét, khoan, đục, một công nghệ chế tạo rất phổ biến hiện nay là CNC, cho phép chế tạo, cắt khoét chính xác bộ lọc bằng máy tính.



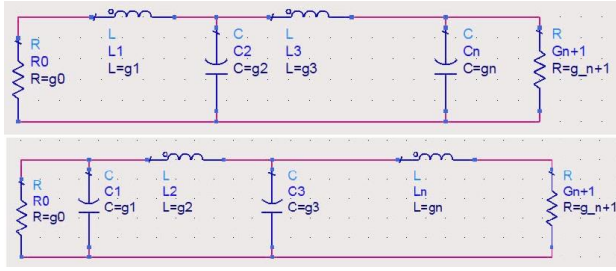
Hình 2: Mô hình bộ lọc răng lược 5 khoang

Để đánh giá chất lượng của bộ lọc, ta cần khảo sát các tham số như Insertion Loss (suy hao chèn), Return loss (suy hao phản hồi), độ suy hao tại dải chặn (rejection), Ripple (biên độ dao động), tần số trung tâm, Bandwidth (độ rộng dải thông), hệ số phẩm chất Q, công suất chịu đựng. Trong hệ thống viễn thông, một bộ lọc thường có yêu cầu về Return loss > 15dB, Ripple trong dải thông < 1dB, độ rộng dải chuyển giao đủ nhỏ để không gây nhiễu, lẫn sang dải tần khác, hệ số phẩm chất Q cao, công suất chịu đựng tốt. Điều này đặc biệt quan trọng trong việc cải thiện hiệu năng của hệ thống thu phát vô tuyến của mạng 5G, tránh can nhiễu đối với hệ thống thông tin vệ tinh trong dải lân cận.

II. THIẾT KẾ BỘ LỌC KHOANG CỘNG HƯỞNG

A. Lý thuyết chung của thiết kế bộ lọc khoang

Bộ lọc khoang cộng hưởng là bộ lọc thông dải. Ở tần số thấp, bộ lọc thông dải được chuyển hóa từ bộ lọc thông thấp bao gồm các phần tử tập trung LC như mô tả trong Hình 3.



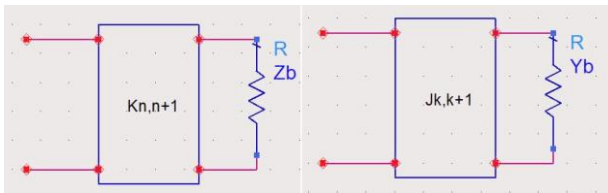
Hình 3: Mạch tương đương của bộ lọc thông thấp

Sự chuyển đổi các phần tử tập trung từ bộ lọc thông thấp lên các loại bộ lọc khác

Low-pass prototype	Low-pass	High-pass	Bandpass	Bandstop
$L = g_k$	$\frac{L}{\omega_c}$	$\frac{1}{\omega_c L}$	$\frac{L}{BW}$	$\frac{(BW)L}{\omega_0^2}$
$C = g_k$	$\frac{C}{\omega_c}$	$\frac{1}{\omega_c C}$	$\frac{C}{BW}$	$\frac{(BW)C}{\omega_0^2}$

Hình 4: Chuyển đổi từ bộ lọc thông thấp lên các loại bộ lọc khác [6]

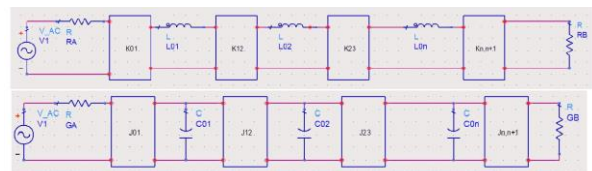
Tuy nhiên, tại tần số cao, việc xây dựng bộ lọc với các phần tử tập trung là không thể bởi kích thước của chúng là một vấn đề, kèm theo đó sự suy hao và các hiệu ứng kí sinh, hiệu ứng bề mặt. Vì vậy ta sẽ sử dụng những đoạn dây dẫn sóng để thay thế cho cấu trúc LC song song và các bộ chuyển đổi trở kháng để dễ dàng hơn cho việc xây dựng các khoang [7].



Hình 5: Bộ biến đổi trở kháng dẫn nạp

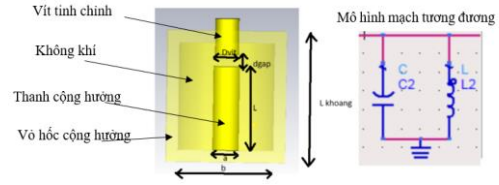
Khi đặt 2 bộ biến đổi trở kháng K-inverter mỗi bên ngay cạnh phần tử tụ điện C song song, lúc này nó sẽ trông như như một cuộn cảm L nối tiếp. Tương tự khi đặt 2 bộ biến đổi dẫn nạp J-inverter mỗi bên ngay cạnh phần tử cuộn cảm L nối tiếp, nó sẽ trông như một tụ điện C song song [8]

Áp dụng bộ biến đổi trở kháng dẫn nạp cho mạch trên ta được:



Hình 6: Mạch điện tương sử dụng bộ biến đổi trở kháng dẫn nạp.

B. Mô hình hóa khoang cộng hưởng đơn



Hình 7: Mô hình khoang cộng hưởng đơn

Mô hình khoang cộng hưởng đơn được xây dựng dựa trên lý thuyết của cáp đồng trục. Trở kháng vào của thanh cộng hưởng [9]:

$$Z_{in}(d) = \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta d)} Z_0 \quad (1)$$

Chiều dài của thanh trụ cộng hưởng cần đáp ứng tiêu chí nhỏ gọn nhưng cũng không được quá nhỏ vì sẽ khó để đạt trạng thái cộng hưởng, khó tuning và ảnh hưởng đến hệ số phẩm chất Q của bộ lọc:

$$\frac{\lambda}{12} < L < \frac{\lambda}{4} \text{ (m)} \quad (2)$$

Trong đó, β là hằng số truyền sóng, λ (m) là bước sóng, L (m) là chiều dài điện của hộp cộng hưởng, Z_0 (Ω) là trở kháng chuẩn hóa của đường truyền, Z_L (Ω) là trở kháng tải của hộp cộng hưởng, Z_{in} (Ω) là trở kháng vào của hộp cộng hưởng.

Cấu trúc thanh cộng hưởng và vít tinh chỉnh tạo nên một tụ điện có giá trị được tính như sau:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d} \text{ (F)} \quad (3)$$

Với:

C: điện dung của tụ điện

d: khoảng cách giữa đỉnh thanh cộng hưởng và vít tinh chỉnh

ϵ : hằng số điện môi, với bộ lọc đồng trục thì $\epsilon = 1$

ϵ_0 : Là hằng số điện thẩm ($\epsilon_0 \approx 8.854187817 \cdot 10^{-12}$)

S: Diện tích bản cực của tụ. Vì mặt cắt của vít và thanh cộng hưởng là hình tròn nên

$$S = \pi R^2 \text{ với } R \text{ là bán kính tiếp xúc}$$

Xét cấu trúc mạch L/C song song, để đạt được hiện tượng cộng hưởng, tổng điện dẫn và điện nạp phải bằng không. Tương đương với:

$$j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = 0$$

$$\Rightarrow j\omega C + \frac{1}{jZ_0 \tan(\beta d)} = 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{Z_0 \omega \tan(\beta d)}$$

Trở kháng đặc trưng của một khoang được tính như sau [9]:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \frac{b}{a} \Omega \quad (5)$$

Với chất điện môi là không khí nên $\sqrt{\epsilon_r} = 1$. Công thức trở thành

$$Z_0 = 60 \log_{10} \frac{b}{a} \Omega \quad (6)$$

Để bộ lọc có hệ số phẩm chất Q lớn nhất, chọn $Z_0 = 76 \Omega$, khi đó ta có tỷ số:

$$\frac{b}{a} = 3.6 \quad (7)$$

Với b là đường kính của khoang cộng hưởng, a là đường kính của thanh cộng hưởng

III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

A. Tính toán các kích thước và kết quả mô phỏng

Bài toán đặt ra: Thiết kế bộ lọc khoang cộng hưởng đồng trục băng thông 100MHz, với tần số trung tâm $f_0 = 3.75\text{GHz}$, bậc 5, Suy hao phản xạ $> 15\text{dB}$, Suy hao chèn $< 2\text{dB}$, Biên độ dao động trong dải thông Ripple $\leq 0.1\text{dB}$.

Chọn thiết kế bộ lọc hình răng lược, 5 bậc, tương đương với 5 khoang cộng hưởng. Chiều dài của thanh cộng hưởng là $L = \frac{\lambda}{6}$, đường kính của một khoang cộng hưởng là $b = \frac{\lambda}{12}$

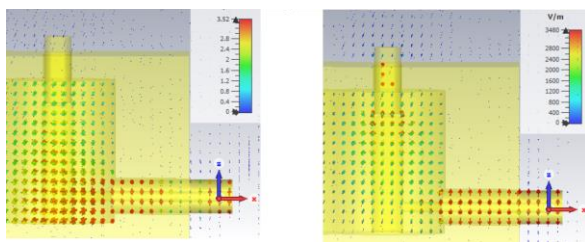
Áp dụng các lý thuyết và công thức tính toán ở phần 2, cùng với thực hiện mô phỏng sử dụng phần mềm CST Studio và tối ưu ta được bộ tham số thiết kế như sau:

Tên tham số thiết kế	Kích thước (mm)
Chiều dài của bộ lọc	78.18
Chiều rộng của bộ lọc	18.5
Chiều cao của bộ lọc	22.43
Chiều dài thanh trụ cộng hưởng	13.3
Độ dày lớp vỏ hộp	3
Khoảng cách giữa vít tinh chỉnh và khoang cộng hưởng	0.45 - 0.55
Khoảng cách giữa các khoang	8 - 8.5
Đường kính thanh trụ cộng hưởng	1.85
Đường kính khoang trụ cộng hưởng	6.67
Bán kính vít tinh chỉnh	1.55

Bảng 1: Kích thước các tham số thiết kế

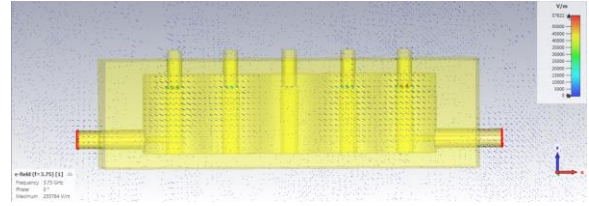
B. Khảo sát năng lượng điện từ trong bộ lọc khoang cộng hưởng

Sự phân bố từ trường và điện trường trong 1 khoang cộng hưởng được miêu tả bởi hình 8 và hình 9 dưới đây.



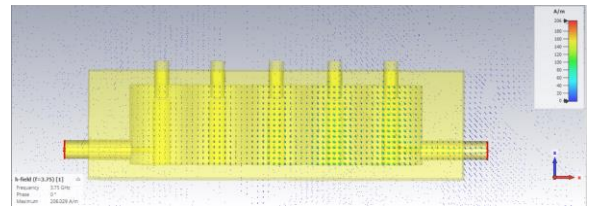
Hình 8: Sự tập trung năng lượng từ trường (trái) và điện trường (phải) bên trong một khoang cộng hưởng.

Nhận thấy rằng từ trường tập trung mạnh nhất tại phần đầu ngắn mạch của thanh trụ cộng hưởng và giảm dần về không khi tiến về đầu hở mạch. Mặt khác, điện trường tập trung mạnh nhất tại phần kết hợp giữa vít tinh chỉnh và thanh trụ cộng hưởng như minh họa trong Hình 7

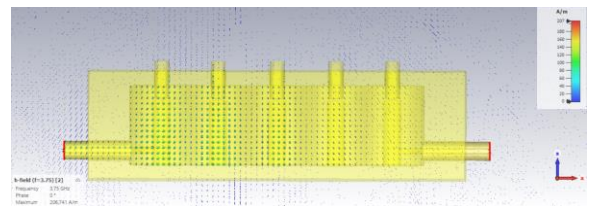


Hình 9: Sự phân bố điện trường trong bộ lọc

Kết quả mô phỏng trong Hình 9 cho thấy điện trường trong bộ lọc sẽ có cường độ lớn nhất tại khoang đầu tiên và khoang cuối cùng, nhỏ hơn tại hai khoang ở giữa và có giá trị nhỏ nhất tại khoang trung tâm.



a, port 1



b, port 2

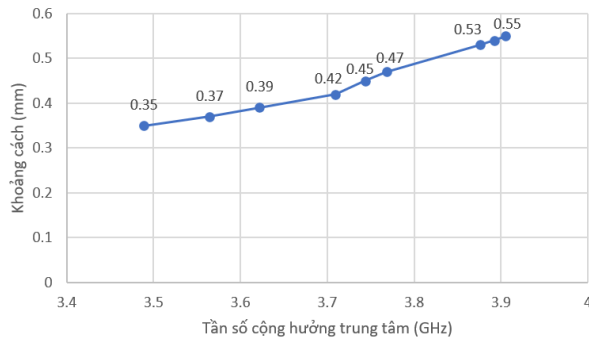
Hình 10: Sự phân bố từ trường trong bộ lọc

Từ trường trong bộ lọc sẽ đi từ nguồn và qua các khoang, từ trường mạnh nhất tại khoang đầu tiên mà nó đi qua và giảm dần cho đến khoang cuối cùng

Để điều chỉnh tần số cộng hưởng trung tâm ta có thể thay đổi chiều dài của thanh cộng hưởng, bán kính vít tinh chỉnh, khoảng cách giữa đầu hở mạch của thanh cộng hưởng và vít tinh chỉnh (gap). Tuy nhiên, theo thực tế chế tạo, chiều dài của thanh cộng hưởng thường được cố định và tham số thường được tối ưu nhất là gap. Kết quả mô phỏng sự ảnh hưởng của các tham số đến tần số cộng hưởng trung tâm được trình bày ở phần sau.

C. Khảo sát sự ảnh hưởng của các tham số kích thước đến đặc tính của bộ lọc

1) Sự ảnh hưởng của gap tới tần số cộng hưởng trung tâm của bộ lọc

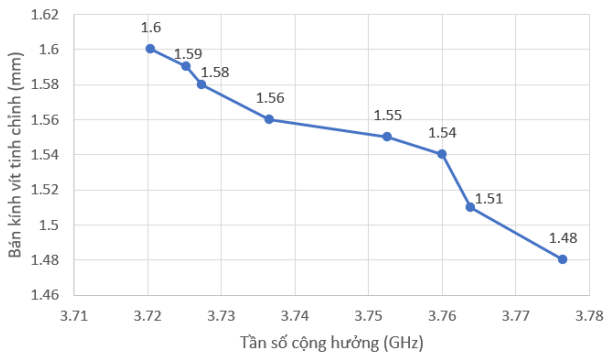


Hình 11: Sự ảnh hưởng của bán kính vít tinh chỉnh tới tần số hoạt động của bộ lọc

Hình 11 cho thấy, tần số cộng hưởng trung tâm sẽ tăng lên khi khoảng cách gap tăng lên. Điều này có thể lý giải là khi tăng khoảng cách gap, ta làm giảm giá trị của C trong công thức của tần số cộng hưởng, từ đó làm tăng tần số cộng hưởng trung tâm.

2) Sự ảnh hưởng của bán kính vít tinh chỉnh tới tần số cộng hưởng trung tâm

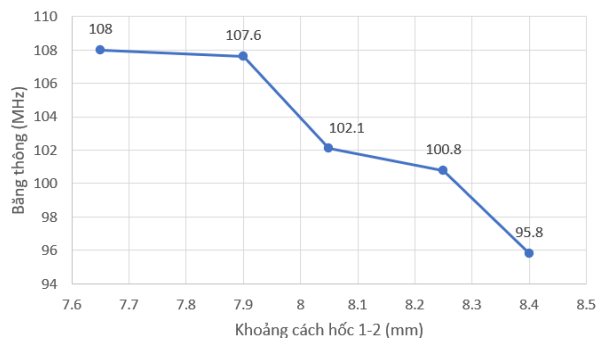
Bán kính của vít tinh chỉnh tác động trực tiếp đến phần tiết diện của vít phía trên thanh cộng hưởng. Thành phần này đóng vai trò như bản tụ điện. Do vậy khi tăng bán kính của vít chỉnh sẽ làm tăng giá trị của tụ và từ đó làm giảm tần số cộng hưởng như kết quả tổng hợp minh họa trong Hình 12



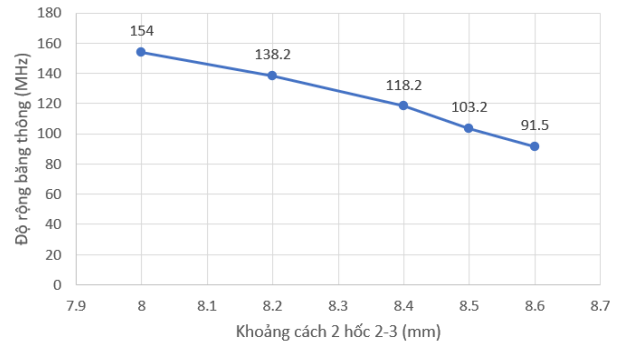
Hình 12: Sự ảnh hưởng của bán kính vít tinh chỉnh tới tần số hoạt động của bộ lọc

Khoảng cách giữa các khoang cũng ảnh hưởng tới tần số cộng hưởng trung tâm như được minh họa trong Hình 13 và 14.

3) Sự ảnh hưởng của khoảng cách các khoang tới độ rộng băng thông của bộ lọc



Hình 13: Sự ảnh hưởng của khoảng cách khoang 1 và khoang 2 tới độ rộng băng thông



Hình 14: Sự ảnh hưởng của khoảng cách khoang 2 và khoang 3 tới độ rộng băng thông

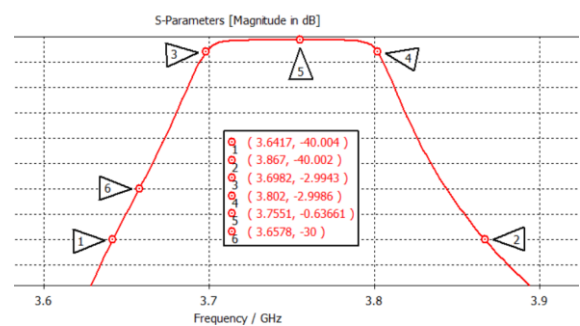
Nhận thấy khi tăng khoảng cách giữa 2 khoang liền kề nhau thì độ rộng băng thông của bộ lọc giảm và ngược lại.

D. Kết quả tham số hoạt động của bộ lọc sau tối ưu

Tham số hoạt động của bộ lọc sau tối ưu được thể hiện trong Bảng 2:

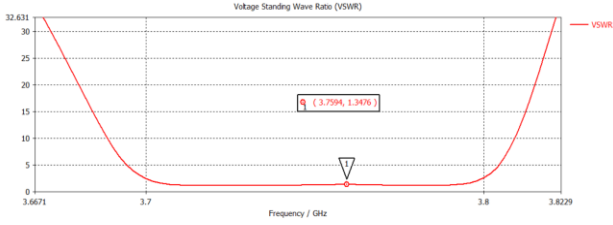
Băng thông tại 3dB	103 MHz
Số khoang cộng hưởng	5
Return loss	$\geq 16,5$ dB
Insertion loss min	0.63 dB
Ripple	≤ 1 dB
Tần số cộng hưởng trung tâm	3.75 GHz
Độ suy hao tại dải chặn tại $f = f_0 \pm 100\text{MHz}$	-40 dB
VSWR trong dải thông	1.14 – 1.35

Bảng 2: Các kết quả đạt được

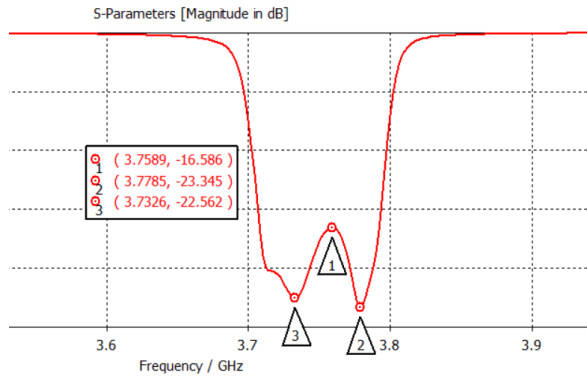


Hình 15: Độ thị tham số tán xạ S_{21} (dB)

Kết quả tham số S_{21} trong Hình 15 cho thấy bộ lọc đạt được băng thông yêu cầu từ 3700 MHz – 3800 MHz, với băng thông tại 3dB = 103 MHz. Với suy hao chèn rất nhỏ chỉ 0.63dB tại tần số trung tâm. Độ dốc của bộ lọc cũng tương đối tốt với suy hao dải chặn -40dB. Các kết quả này cũng được minh họa trong Hình 16 và Hình 17



Hình 16: Độ thị hệ số VSWR



Hình 17: Độ thị tham số tán xạ S_{21} (dB)

Các đặc tính này thỏa mãn yêu cầu của mạch thu phát 5G. Tuy nhiên có thể thấy, dải tần phía dưới tần số cộng hưởng trung tâm cho đặc tính chọn lọc tần số tốt hơn dải tần bên trên. Bộ lọc có suy hao phản xạ, suy hao chèn và độ gợn ở mức khá, tuy nhiên độ loại bỏ hay suy hao dải chắn chưa được tốt vì dải chuyển tiếp còn rộng, độ dốc chưa lớn. Do đó việc mở rộng nghiên cứu, áp dụng các kỹ thuật chuyên sâu để cải thiện hiệu năng của bộ lọc như ứng dụng các thanh coupling, cấu trúc khoang cộng hưởng theo không gian 2 chiều... sẽ được tiến hành trong các nghiên cứu tiếp theo.

IV. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một thiết kế bộ lọc khoang cộng hưởng đồng trục nhằm cải thiện hiệu năng cho trạm vô tuyến 5G, tránh can nhiễu từ và đến các hệ thống thông tin vệ tinh, đặc biệt trong dải tần hoạt động của hệ thống Vinasat 1. Bộ lọc khoang cộng hưởng dạng răng lược bậc 5. Các tham số thiết kế của bộ lọc được khảo sát để tìm kiếm kết quả tối ưu. Kết quả đạt được, bộ lọc có kích thước tổng thể chiều dài là 78.18 mm, chiều rộng là 18.5 mm, chiều cao là 22.43 mm. Bộ lọc hoạt động tại tần số trung tâm $f_0 = 3.75$ GHz, băng thông 103 MHz, Return loss ≥ 16.5 dB; Insertion loss min = 0.63 dB, VSWR max = 1.35, Ripple < 1 dB. Xét về đặc tính chọn lọc, loại bỏ, bộ lọc có suy hao $s_{11} = -40$ dB tại $f_0 \pm 100$ MHz. Các đặc tính này thỏa mãn yêu cầu của mạch thu phát 5G. Tuy nhiên có thể thấy, dải tần phía dưới tần số cộng hưởng trung tâm cho đặc tính chọn lọc tần số tốt hơn dải tần bên trên. Bộ lọc có các đặc tính suy hao ở mức khá, tuy nhiên độ loại bỏ hay suy hao dải chắn chưa được tốt vì dải chuyển tiếp còn rộng, độ dốc chưa lớn. Do đó việc mở rộng nghiên cứu, áp dụng các kỹ thuật chuyên sâu để cải thiện hiệu năng của bộ lọc là cần thiết.

LỜI CẢM ƠN

Các nghiên cứu trong bài báo này được hỗ trợ bởi đề tài khoa học và công nghệ cấp Học viện Công nghệ Bưu

chính Viễn thông: “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bộ lọc khoang cộng hưởng cải thiện hiệu suất cho phần vô tuyến của trạm thu phát 5G”. Mã số: 18-HV-2024-VT1.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] VNPT, “VNPT đầu giá thành công quyền sử dụng băng tần 3700,” 19 March 2024. [Trực tuyến]. <https://vnpt.com.vn/tin-tuc/vnpt-dau-gia-thanh-cong-quyen-su-dung-bang-tan-3700-3800mhz>. [Đã truy cập 19/8/2024].
- [2] Báo Thanh Niên, “Người dùng hưởng lợi gì khi nhà mạng trung đầu giá băng tần 5G?,” 18 March 2024. [Trực tuyến]. <https://thanhnien.vn/nguoi-dung-huong-loi-gi-khi-nha-mang-trung-dau-gia-bang-tan-5g-185240318180425557.htm>. [Đã truy cập 19/8/2024].
- [3] Protap Pramanick, Prakash Bhartia, Modern RF and Microwave Filter Design, 685 Canton Street, Norwood, MA 02760: Artech House, 2016.
- [4] J. B. Thomas, "Cross-Coupling in Coaxial Cavity," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 4, pp. 1368 - 1376, 2003.
- [5] T. T. T. Hường, "Nghiên cứu phát triển bộ lọc khoang cộng hưởng đồng trục siêu cao tần - Research and Development of Coaxial Cavity Filters for Microwave Frequencies," Hanoi, 2021.
- [6] Reinhold Ludwig and Pavel Bretchko, RF Circuit Design: Theory and Applications, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- [7] Richard J. Cameron, Chandra M. Kudsia, Raafat R. Mansour, Microwave Filters for Communication Systems, Fundamentals, Design, and Applications, John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [8] George L. Matthaei and Leo Young and E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, Artech House, Inc., 1980.
- [9] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 4, Ed., John Wiley & Sons, Inc, 2012.

CAVITY FILTER FOR ENHANCING THE PERFORMANCE OF 5G BASE STATION RADIO UNIT.

Abstract: This paper proposes a design approach for a coaxial-based resonator cavity filter to enhance the performance of 5G base stations. The filter features a comb-like structure and operates within the 3.7–3.8 GHz frequency range, with a ripple of less than 0.2 dB, an insertion loss of -0.64 dB, a return loss of less than -16 dB at the center frequency f_0 , and -40 dB at $f_0 \pm 110$ MHz, with a bandwidth of 100 MHz.

Keywords: cavity filter, 5G, comb-like filter,



Nguyen Việt Hưng, received his PhD in Signal Processing and Telecommunications from University of Rennes 1, France in 2013. He is currently a lecturer/researcher at Faculty of Telecommunications and is the Head of Wireless Communication Department, in PTIT, Vietnam. His research activities are focused on next generation

wireless communication systems. trong các hệ thống thông tin vô tuyến thế hệ mới.

Email: nvhung_vt1@ptit.edu.vn



Nguyen Quy Duong, currently a third-year student majoring in Electronics and Telecommunications Engineering at the Posts and Telecommunications Institute of Technology. Your research interests focus on intelligent communication systems for next-generation networks.



Do Quang Huy, currently a third-year student majoring in Electronics and Telecommunications Engineering at the Posts and Telecommunications Institute of Technology. Your research interests focus on intelligent communication systems for next-generation networks.



Do Trung Anh, He received the B.S. and M.S. degrees in Telecommunications and Electronics Engineering from Hanoi University of Technology, Hanoi, Vietnam, in 2009 and 2011, respectively. He received the Ph. D degree at Posts and Telecommunications Institute of Technology, Hanoi, Vietnam in 2021. His research interests include wireless communications, IoT networks with applications of Artificial Intelligence.

Email: anhdt@ptit.edu.vn