

NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN ĐỘ CHỊU ĐỰNG CÔNG SUẤT CỦA BỘ LỌC HỐC CỘNG HƯỞNG ĐỒNG TRỤC ỨNG DỤNG TRONG TRẠM THU PHÁT SÓNG 5G

A NEW METHOD FOR IMPROVING POWER HANDLING CAPACITY OF COAXIAL CAVITY FILTER IN 5G TRANSCEIVER

Trần Thị Thu Hương, Bùi Thị Phượng

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 06/05/2021 chấp nhận đăng ngày 28/05/2021

Tóm tắt: Bài báo đề xuất một phương án cải tiến cấu trúc hốc nhằm cải thiện đặc tính chịu đựng công suất của bộ lọc hốc cộng hưởng. Cấu trúc hốc cộng hưởng mới gồm một khối nón cụt kim loại đặt phía trên hộp cộng hưởng hình trụ tròn, đỉnh ốc trong hốc cộng hưởng được bo tròn với bán kính 1 mm. Từ đó, diện tích tiếp xúc giữa đỉnh ốc và trụ cộng hưởng giảm đi dẫn tới việc tối thiểu hóa cường độ điện trường lớn nhất trong mỗi hốc. Khả năng chịu đựng công suất của bộ lọc hốc cộng hưởng được cải thiện. Ảnh hưởng của việc thay đổi góc nghiêng của khối nón cụt đến cường độ điện trường lớn nhất trong mỗi hốc được tính toán đánh giá. Các kết quả cho thấy cường độ điện trường đạt tối thiểu khi góc nghiêng xấp xỉ bằng 30°, cường độ điện trường giảm 32,6% so với cấu trúc cũ. Cấu trúc hộp cộng hưởng mới được áp dụng cho trạm phát sóng 5G, dải tần 3600-3800 MHz. Bộ lọc thu được có công suất chịu đựng đạt 1028,85W, cải thiện 346,4 W so với cấu trúc cũ.

Từ khóa: Bộ lọc hốc cộng hưởng, bộ cộng hưởng, độ chịu đựng công suất, trạm thu phát 5G.

Abstract: In this paper, a novel structure of resonator is proposed to improve the power handling of cavity filter. In which, the conical cone with open bottom at the top is added to the top of resonator and the self-coupling screw is blended with a radius of 1 mm. Because the contact area of screw and resonator is reduced, the electrical field strength maximum value in the single cavity resonator can be reduced. From that, power handling capacity can be improved significantly. Electrical field in cavity filter is simulated and evaluated when changing the cone angle. This field strength is minimum at the cone angle of approximately 30°, and reduced to 32,6% comparing with the old structure. The proposed structure is applied to design one 5G transceiver base station in the frequency range 3600 to 3800 MHz. The power handling of cavity filter can reach 1028,85W, improve 346,4W comparing with the old resonator.

Keywords: Cavity filter, resonator, power handling, 5G transceiver base station.

1. GIỚI THIỆU

Trong trạm thu phát sóng di động, tín hiệu với công suất lớn đi ra từ bộ khuếch đại sẽ được truyền dẫn qua bộ lọc trước khi ra anten. Do đó, để hệ thống vận hành ổn định, khả năng

chịu đựng công suất của bộ lọc hốc cộng hưởng siêu cao tần trong máy phát (TX - Transmitter) trở thành yếu tố quan trọng trong việc thiết kế bộ lọc. Khả năng chịu đựng công suất được hiểu là mức công suất có thể cung

cấp cho thiết bị mà không gây ra hiện tượng đánh hỏng. Trên thực tế, khả năng chịu đựng công suất của một bộ lọc thông dải siêu cao tần chịu ảnh hưởng bởi hiện tượng đánh thủng điện môi, phóng điện, nhiễu liên điều chế thụ động (PIM - Passive Intermodulation), méo đặc tuyến do mất tuyến tính cơ khí - điện liên quan đến nhiệt. Thông số này thường được xác định bằng đánh giá năng lượng lưu trữ trong mỗi hốc cộng hưởng, qua đó tìm ra giá trị cường độ điện trường lớn nhất tại hốc đó [1]. Đây chính là phương pháp chung để phân tích, thiết kế các hốc cộng hưởng. Các kỹ thuật mô hình hóa điện từ trường (EM - Electromagnetic) và phân tích bộ lọc thông thấp mẫu được kết hợp với nhau để ước lượng công suất chịu đựng. Ngoài ra, phương pháp đơn cực điện từ cũng được sử dụng trong việc phân tích bộ lọc theo mô hình hóa EM [2]. Gần đây, khả năng chịu đựng công suất cao tần RF của bộ lọc hốc cộng hưởng siêu cao tần được chú trọng xem xét, đặc biệt là với các bộ lọc đa mode [3] và các bộ lọc điều hưởng [4-5]. Trong bộ lọc, hộp cộng hưởng (resonator) có dạng trụ tròn đơn [6-9] hoặc phân bậc [10], vật liệu kim loại [6-8,10] hoặc điện môi [9]. Tuy nhiên, hộp cộng hưởng điện môi có độ suy hao do xen trong dải thông thấp hơn so với trường hợp hộp cộng hưởng bằng kim loại [11]. Do đó, hộp cộng hưởng hoàn toàn bằng vật liệu kim loại dẫn điện tốt được lựa chọn để sử dụng trong bộ lọc thông dải siêu cao tần của trạm thu phát di động. Hốc cộng hưởng (cavity) thường được mạ kim loại dẫn điện tốt ở lớp ngoài cùng như đồng hoặc bạc. Thiết diện của hốc cộng hưởng đa dạng gồm tròn, đa giác đều hoặc đa giác thường tùy thuộc vào giới hạn về cơ khí trong thiết kế [10-11]. Trong các nghiên cứu trên, độ chịu đựng công suất của bộ lọc bị giới hạn bởi kết cấu cơ khí, cấu trúc vật lý chưa được tối ưu hóa để tăng khả năng chịu đựng công suất của

mỗi bộ lọc. Bên cạnh đó, một quy trình thiết kế bộ lọc sao cho đảm bảo khả năng chịu đựng công suất theo yêu cầu chưa được xây dựng đầy đủ. Với những phân tích ở trên, từ việc phân tích đặc tính chịu đựng công suất của bộ lọc, bài báo này sẽ đề xuất phương án cải tiến cấu trúc hộp cộng hưởng nhằm cải thiện đặc tính chịu đựng công suất của bộ lọc và xây dựng quy trình thiết kế bộ lọc hốc cộng hưởng sao cho đảm bảo được yêu cầu về công suất. Bộ lọc hốc cộng hưởng tuyến phát (TX) của trạm phát sóng 5G áp dụng cấu trúc mới được thiết kế, mô phỏng nhằm kiểm nghiệm lại đề xuất.

2. PHÂN TÍCH VỀ ĐẶC TÍNH CHỊU ĐỰNG CÔNG SUẤT CỦA BỘ LỌC

Với bộ lọc, công suất chịu đựng được bao gồm: công suất tối đa là công suất có thể cung cấp cho sản phẩm trong thời gian ngắn; công suất danh định là công suất tối đa cho phép trong điều kiện thiết bị hoạt động liên tục. Để phân tích đặc tính chịu đựng công suất của bộ lọc hốc cộng hưởng đồng trục siêu cao tần, cơ sở lý thuyết và phương pháp tính toán khả năng chịu đựng công suất của đường truyền đồng trục và của bộ lọc hốc cộng hưởng đồng trục siêu cao tần sẽ được trình bày trong phần này.

2.1. Đặc điểm về khả năng chịu đựng công suất của đường truyền đồng trục

Khi thiết kế bộ lọc hoạt động ở công suất cao, người thiết kế thường phải tính đến các tác động như hiện tượng đánh thủng đa tác nhân (là đánh thủng cộng hưởng điện từ), đánh thủng do ion hóa, nhiễu xuyên điều chế thụ động, đánh thủng công suất cao liên quan đến nhiệt và sự lệch hưởng.

Hiện tượng đánh thủng đa tác nhân là cơ chế đánh thủng trong môi trường chân không cao tần (RF - Radio Frequency) mà ở đó sự cộng

hường làm tăng trao đổi điện tử tự do giữa hai bề mặt. Cường độ trường sinh ra khi các điện tử bắn phá các vách hốc cộng hưởng tạo ra các điện tử thứ cấp.

Hiện tượng đánh thủng ion hóa là hiện tượng đánh thủng khí RF (như không khí), ở đó mật độ điện tử ban đầu thấp, sau đó tăng lên giống hiện tượng tuyết lở, biến khí cô lập thành plasma dẫn. Đánh thủng ion hóa xảy ra do áp suất cao.

Điện trường của một đường dây đồng trục biến thiên theo một hàm của vị trí dọc theo đường hướng tâm từ dây dẫn bên ngoài đến dây dẫn bên trong (ký hiệu là “ ρ ” trong hệ tọa độ xuyên tâm).

$$E(\rho) = \frac{V_0}{\rho \ln(b/a)} \quad (1)$$

Trong đó, b (m) là bán kính ngoài của cáp đồng trục, a (m) là bán kính của lõi. V_0 (V) là biên độ điện áp. Cường độ điện trường lớn nhất xuất hiện ngay trên bề mặt của lõi (V/m):

$$E(d) = \frac{V_{\text{peak.max}}}{a \ln(b/a)} \quad (2)$$

Với $V_{\text{peak.max}}$ (V) là điện áp đỉnh lớn nhất trong hốc cộng hưởng. Công suất đỉnh lớn nhất:

$$P_{\text{peakmax}} = \frac{E_d^2 a^2 \ln(b/a) \sqrt{\epsilon_R}}{120} \quad (3)$$

Trong đó, P_{peakmax} (W) là công suất đỉnh lớn nhất mà đường truyền đồng trục chịu đựng được; E_d (V/m) là cường độ điện trường lớn nhất xuất hiện trên bề mặt của lõi cáp đồng trục được tính từ phương trình (2); ϵ_R là hằng số điện môi của cáp đồng trục.

2.2 Phân tích, tính toán thông số về khả năng chịu đựng công suất của bộ lọc

Giả sử đầu vào của bộ lọc được nối với trở kháng nguồn R_s , đầu ra bộ lọc nối với trở

kháng tải R_L , công suất đầu ra của bộ lọc sẽ được xác định thông qua cường độ dòng điện ra i_N của hốc cộng hưởng thứ N :

$$P = \frac{1}{2} \cdot R_L \cdot i_N^2 \cdot \text{FBW} \quad (4)$$

Trong đó:

$$\text{FBW} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}$$

với ω_2 , ω_1 là tần số góc lớn nhất và nhỏ nhất của dải thông, ω_0 là tần số góc trung tâm. Năng lượng điện trường W_{Stored} được lưu trữ trong hốc cộng hưởng thứ i tỉ lệ thuận với bình phương cường độ điện trường [1]:

$$W_{\text{Stored}} \propto E_0^2 \quad (5)$$

Năng lượng lưu trữ trong mỗi trụ cộng hưởng tại một tần số bất kỳ được tính bởi công thức:

$$W_{\text{Stored}} = \frac{1}{4} C_i V_i^2 \left(1 + \left(\frac{f_{\text{res}}}{f} \right)^2 \right) \quad (6)$$

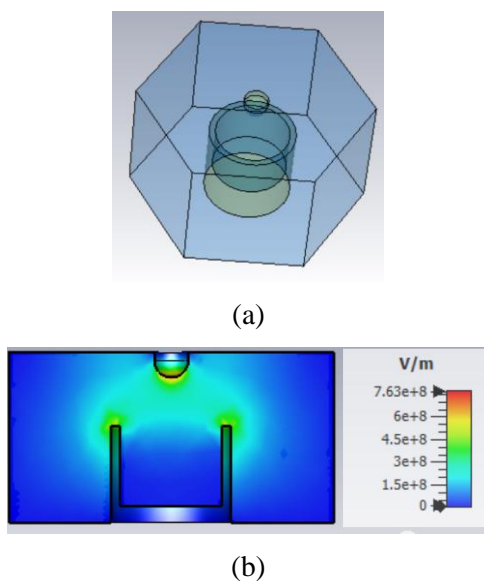
Trong đó, f_{res} , C_i và V_i tương ứng là tần số cộng hưởng riêng, điện dung và điện áp nút i . Tùy theo bậc và cấu hình của bộ lọc, bộ các tham số này có giá trị khác nhau, năng lượng lưu trữ lớn nhất của hốc có thể xảy ra tại bất kỳ hốc nào trong bộ lọc. Công suất chịu đựng được của bộ lọc có thể được tìm thấy bằng cách so sánh ngưỡng điện trường đánh thủng của không khí và điện trường lớn nhất trong hốc có năng lượng lớn nhất. Công suất đánh thủng phụ thuộc vào cường độ điện trường lớn nhất được tính theo công thức sau [5]:

$$P_{\text{breakdown}} = \frac{W_{\text{EM}}}{W_{\text{res}}} \left(\frac{E_{\text{breakdown}}}{E_{\text{EM}}} \right)^2 \quad (7)$$

Trong đó, $E_{\text{breakdown}}$ [V/m] là cường độ điện trường đánh thủng vật liệu, ví dụ với vật liệu không khí $E_{\text{breakdown}} = 3.10^6$ V/m; W_{EM} [W] là năng lượng điện trường chứa trong một hốc cộng hưởng; W_{res} [nJ/W] là năng lượng điện

trường lớn nhất trong hốc cộng hưởng; E_{EM} [V/m] là cường độ điện trường chứa trong hốc cộng hưởng; $P_{breakdown}$ là công suất đỉnh của bộ lọc. Từ phương trình (4), nếu biết cường độ điện trường đỉnh thì sẽ tìm được năng lượng lưu trữ trong hốc cộng hưởng. Cuối cùng là có thể tìm được công suất đỉnh của bộ lọc.

Lấy ví dụ một phần tử hốc cộng hưởng đơn có thiết diện hình lục giác, phân bố cường độ điện trường tại mặt cắt ngang của hốc cộng hưởng đơn tại tần số trung tâm của bộ lọc được thể hiện trong hình 1. Từ kết quả mô phỏng trên, vị trí cường độ điện trường lớn nhất hay năng lượng điện trường nằm ở biên của trụ cộng hưởng và ốc tinh chỉnh. Đây chính là cơ sở để tác giả đề xuất phương án thiết kế mới nhằm làm giảm cường độ điện trường E_{EM} , từ đó nâng cao khả năng chịu đựng công suất $P_{breakdown}$ của bộ lọc.



Hình 1. Mô hình 3D của hốc cộng hưởng đơn (a), phân bố cường độ điện trường trong hốc cộng hưởng (b)

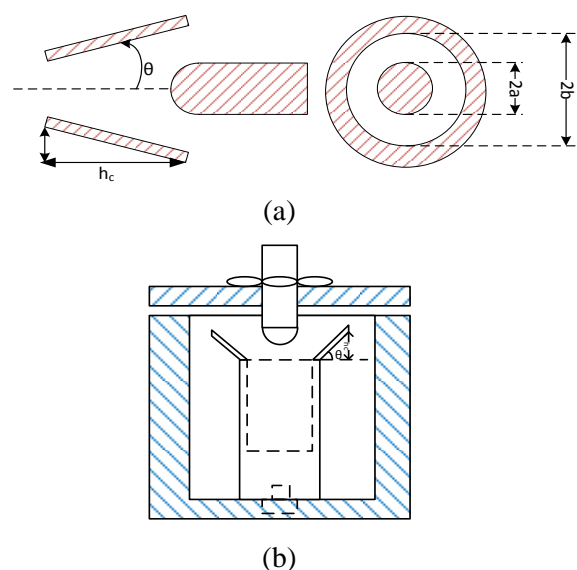
3. ĐỀ XUẤT CẤU TRÚC CẢI TIẾN ĐẶC TÍNH PH CỦA BỘ LỌC

3.1. Cấu trúc đề xuất

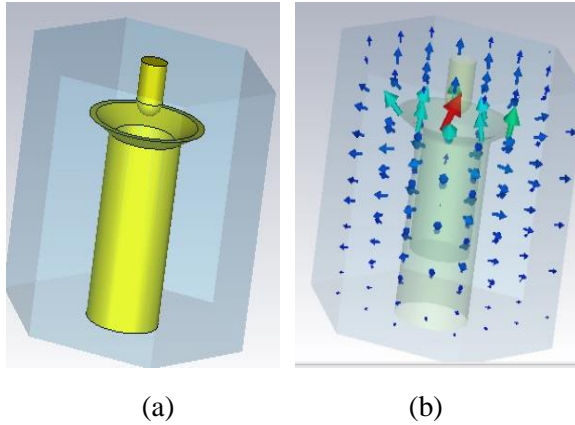
Từ hình 1, ta có thể thấy cường độ điện

trường lớn nhất ở tại vị trí xuất hiện thành phần tụ điện phân bố. Do đó, muốn giảm E_{EM} cần giảm khoảng cách hoặc diện tích của hai bản tụ điện. Cấu trúc hốc cộng hưởng cải tiến mà bài báo đề xuất được mô tả trong hình 2. Trong đó, hốc cộng hưởng đơn bao gồm trụ cộng hưởng hình trụ và ốc điều chỉnh, phía trên đỉnh của trụ cộng hưởng có dạng hình chóp cụt, chiều cao là h_c , góc nghiêng θ so với trục, đường kính trong của đỉnh chóp là $2a$. Từ đó, đỉnh của trụ cộng hưởng được mở rộng. Diện tích của hai bản tụ điện phân bố được giảm đi. Vì vậy, cường độ điện trường lớn nhất trong hốc cộng hưởng có giá trị nhỏ hơn.

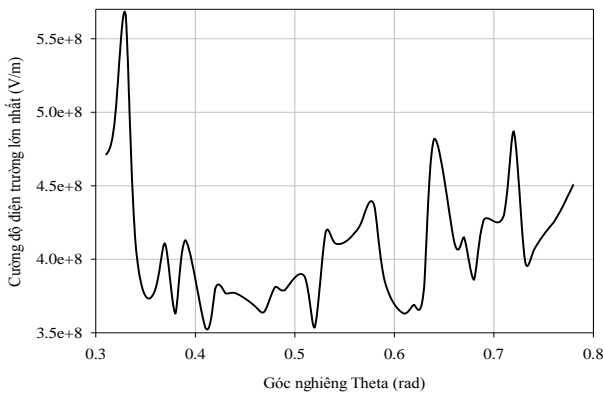
Các thành phần điện từ trường trong hốc cộng hưởng được ước lượng bằng phần mềm CST tại $h_c = 2$ mm [12]. Các kết quả mô phỏng được trình bày trong hình 3 và hình 4. Phân bố vector cường độ điện trường tại góc nghiêng $\theta = 30^\circ$ và tần số cộng hưởng $f_0 = 1842.5$ MHz được biểu diễn trong hình 3. Với việc thay đổi giá trị góc nghiêng θ , sự ảnh hưởng của góc nghiêng đến cường độ điện trường lớn nhất trong hốc cộng hưởng đơn được trình bày trong hình 4.



Hình 2. Hình chiếu cạnh và hình chiếu bằng của khối nón (a) và mặt cắt của hốc cộng hưởng (b)



Hình 3. Mô hình 3D của hốc cộng hưởng đơn (a), phân bố trường vector cường độ điện trường trong hốc (b)



Hình 4: Sự ảnh hưởng của góc nghiêng θ đến điện trường lớn nhất [V/m] trong hốc cộng hưởng đơn

Các kết quả tính toán cho thấy, cường độ điện trường E thay đổi khi θ thay đổi, đạt giá trị nhỏ nhất tại $\theta_1 \approx 0,42$ rad, đỉnh xấp xỉ nhỏ nhất thứ hai tại $\theta_2 \approx 0,52$ rad. Trong hai giá trị trên, giá trị θ_2 có góc mở lớn hơn sẽ được lựa chọn do dễ gia công cơ khí. Mức cường độ điện trường này giảm về $\sim 3,54 \cdot 10^8$ [V/m] (hay giảm xấp xỉ 32,6% so với trường hợp trụ tròn đơn). Bởi vậy, $P_{\text{breakdown}}$ cũng giảm tương ứng. Góc nghiêng này sẽ được lựa chọn để mô phỏng bộ lọc TX trong hệ thống thu phát gNodeB trong phần 3.3.

3.2. Quy trình thiết kế bộ lọc đạt công suất chịu đựng mong muốn

Tiến trình thiết kế bộ lọc công suất cao được

bắt đầu từ yêu cầu về công suất đỉnh. Nó bao gồm một số bước như sau:

Bước 1: Phân tích các yêu cầu về công suất đỉnh và công suất trung bình để chọn công nghệ bộ lọc hốc cộng hưởng, như bộ lọc hốc cộng hưởng, bộ lọc vật liệu điện môi...

Bước 2: Tìm cường độ điện trường lớn nhất. Trong đó, $W_{EM} = 1$ W bằng phần mềm CST. W_{res} [nJ/W] là năng lượng lớn nhất trong hốc cộng hưởng, có thể tìm được từ sơ đồ nguyên lý đã mô phỏng hoặc từ tổng hợp bộ lọc. E_{EM} [V/m] là kết quả của mô phỏng mô hình hốc cộng hưởng đơn trong Eigenmode. $P_{\text{breakdown}}$ là công suất đỉnh mong muốn.

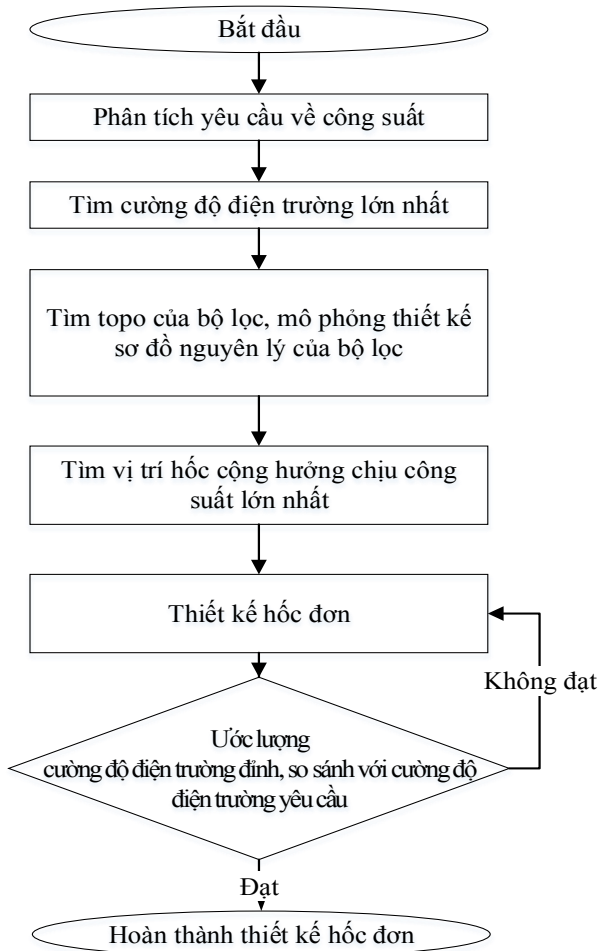
Bước 3: Xác định topo của bộ lọc sao cho đạt được các yêu cầu kỹ thuật. Sau đó, thiết kế sơ đồ nguyên lý và tối ưu bằng phần mềm ADS hoặc Genegys.

Bước 4: Sau khi đạt được tất cả các yêu cầu đặc tuyến, 1 nguồn với công suất $P_{ac} = 1$ W được thêm vào trở thành cổng vào của bộ lọc. Công suất được phân tích để tìm ra vị trí của hốc mà hốc đó mang năng lượng lưu trữ lớn nhất.

Bước 5: Thực hiện thiết kế hốc cộng hưởng đơn 3D sử dụng phần mềm CST, mô phỏng biên độ của cường độ điện trường.

Bước 6: So sánh cường độ điện trường của hốc cộng hưởng đơn với cường độ điện trường lớn nhất trong bước 2. Nếu $|\vec{E}| > |\vec{E}_{EM}|$ thì hốc cộng hưởng đã đạt yêu cầu.

Đầu ra của tiến trình này là mô hình 3D của hốc cộng hưởng đơn đạt yêu cầu, trong đó, công suất đánh thủng phải nhỏ hơn công suất chịu đựng theo yêu cầu. Lưu đồ quá trình thiết kế được tóm tắt trong hình 5.



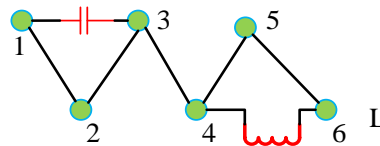
Hình 5. Tiến trình thiết kế hốc đơn

3.3. Áp dụng cấu trúc đề xuất vào thiết kế bộ lọc hốc trong máy phát TX trạm 5G (gNodeB)

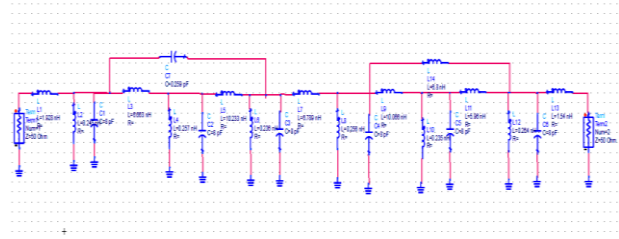
Trong phần này, bài báo sẽ thiết kế bộ lọc sử dụng trong máy phát gNodeB trong mạng 5G có các yêu cầu kỹ thuật như đặc tả kỹ thuật thiết bị của nhà cung cấp Samsung Electronic trong bảng 1 [13]. Trong thiết kế này, ốc tinh chỉnh đã bo tròn bán kính 1 mm được sử dụng nhằm giảm thêm việc bị tích điện tích tại giao diện giữa ốc tinh chỉnh và trụ cộng hưởng. Topo của bộ lọc kiểu Chebyshev được xây dựng như hình 6. Bộ lọc có bậc 6 với đường ghép chéo kiểu tam giác tại 1-3 (kiểu C) và 4-6 (kiểu L) để tạo thành 2 điểm không truyền dẫn tại bên trái và bên phải dải thông, tăng độ dốc của bộ lọc.

Bảng 1. Các yêu cầu kỹ thuật bộ lọc

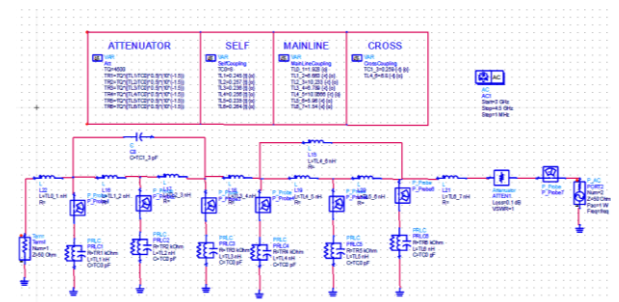
Tham số	Yêu cầu	Đơn vị
Dải thông	3600 ~ 3800	MHz
Độ rộng băng tần	200	MHz
Tổn hao trong dải thông	0.8	dB
Độ gợn trong dải thông	1	dB
Tổn hao ngược	10	dB
Tổn hao trong dải chắn	15	dB
Công suất chịu đựng được	1000	W



Hình 6. Topo của bộ lọc máy phát trạm gNodeB



(a)



(b)

Hình 7. Sơ đồ nguyên lý mô phỏng bộ lọc (a) và sơ đồ tính toán công suất mỗi hốc (b)

Sơ đồ nguyên lý của bộ lọc được biểu diễn trong hình 7. Phần mềm ADS được sử dụng để thiết kế và mô phỏng mạch nguyên lý [14]. Giá trị L, C của sơ đồ nguyên lý được tối ưu tự động với thuật toán chiến lược tiến hóa thích ứng ma trận hiệp phương sai (CMA -

Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy) sao cho đáp ứng được các chỉ tiêu trình bày trong bảng 1 [15]. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 2. Từ sơ đồ mạch LC này, độ rộng đường truyền ghép chính, ghép chéo và tần số cộng hưởng riêng của mỗi hốc cộng hưởng được tính toán để làm đầu vào cho các bước thiết kế sơ đồ 3D của bộ lọc.

Bảng 2. Bảng giá trị các phần tử LC của sơ đồ mạch nguyên lý

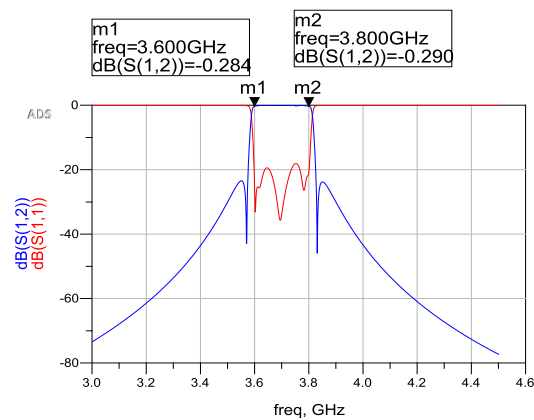
Phần tử LC của hốc cộng hưởng (nH)	Phần tử LC của đường liên kết chính (nH)		Phần tử LC của liên kết chéo		
TL1	0.245	TLS_1	1.928	TC1_3	0.259pF
TL2	0.257	TL1_2	6.663	TL4_6	6.8nH
TL3	0.236	TL2_3	10.233		
TL4	0.256	TL3_4	6.789		
TL5	0.235	TL4_5	10.066		
TL6	0.264	TL5_6	5.96		
		TL6_L	1.54		

Kết quả mô phỏng các tham số tán xạ và mức năng lượng lưu trữ trong mỗi hốc cộng hưởng ở chế độ xoay chiều AC được biểu diễn trong hình 8. Từ kết quả này, ta thấy: bộ lọc nguyên lý LC đã đáp ứng các chỉ tiêu về đặc tính phản xạ và độ tổn hao trong dải thông; hốc cộng hưởng thứ hai của bộ lọc có năng lượng trường điện từ lớn nhất. Do đó, hốc này đóng vai trò quyết định đến độ chịu đựng công suất của bộ lọc này. Vì vậy, việc xem xét, thiết kế bộ lọc đáp ứng chỉ tiêu về công suất sẽ được thực hiện dựa trên việc thiết kế hốc cộng hưởng thứ 2 của bộ lọc.

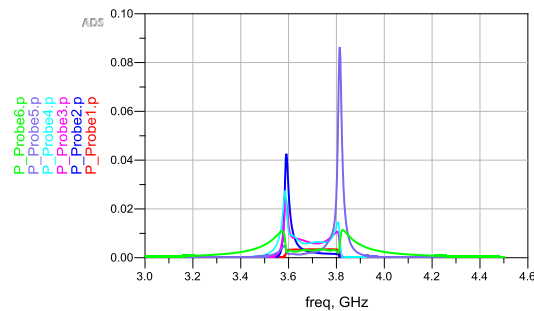
Tại tần số $f_0 = 3,7$ GHz, $E_{EM1} = 7,76.10^8$ V/m với hốc cộng hưởng với mô hình cũ; $E_{EM2} = 6,31.10^8$ V/m với hốc cộng hưởng mới. Công suất chịu đựng được của bộ lọc được xác định như sau:

$$P_{breakdown1} = \frac{1}{21,97 * 10^{-9}} \left(\frac{3 * 10^6}{7,76 * 10^8} \right)^2 \approx 682,45 \quad (8)$$

$$P_{breakdown2} = \frac{1}{21,97 * 10^{-9}} \left(\frac{3 * 10^6}{6,31 * 10^8} \right)^2 \approx 1028,85 \quad (9)$$

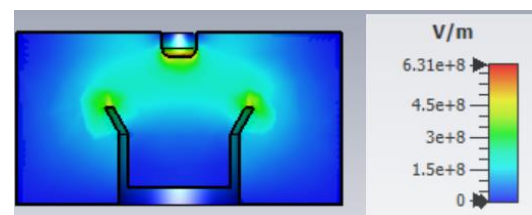


(a)



(b)

Hình 8. Biểu đồ tham số tán xạ của sơ đồ nguyên lý (a), năng lượng điện từ lưu trữ trong hốc cộng hưởng (b)

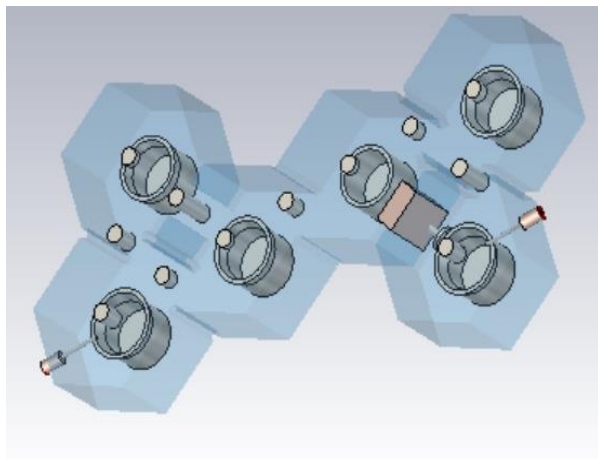


Hình 9. Cường độ điện trường đỉnh [V/m] trong hốc cộng hưởng thứ 2 tại tần số f_0

Theo kết quả trên, khả năng chịu đựng công suất được cải thiện 346,4 W so với cấu trúc hộp cộng hưởng trụ tròn cũ (từ 682,45 W lên 1028,85 W), có thể được sử dụng để thiết kế và tối ưu bộ lọc TX gNodeB. Mô hình 3D của bộ lọc được thiết kế như hình 10 với các kích thước được liệt kê trong bảng 3. Kết quả mô phỏng đặc tuyến bộ lọc trong hình 10 và được liệt kê chi tiết trong bảng 4.

Bảng 3. Kích thước cơ bản của bộ lọc hốc cộng hưởng gNodeB

Tham số	Kích thước (mm)
Bán kính hốc cộng hưởng	19.05
Chiều cao hốc cộng hưởng	15
Bán kính trụ cộng hưởng	7
Bán kính ngoài trụ cộng hưởng	6
Chiều cao đế trụ cộng hưởng	2
Chiều cao khối nón trụ	3
Góc nghiêng khối nón trụ	$\pi/6$
Chiều cao tiếp điện	11,7
Bán kính ốc tinh chỉnh self-coupling (bo góc 1mm)	2
Đường kính ốc tinh chỉnh mainline-coupling	2
Kích thước quả chuông liên kết chéo (bán kính x chiều dày)	3x1

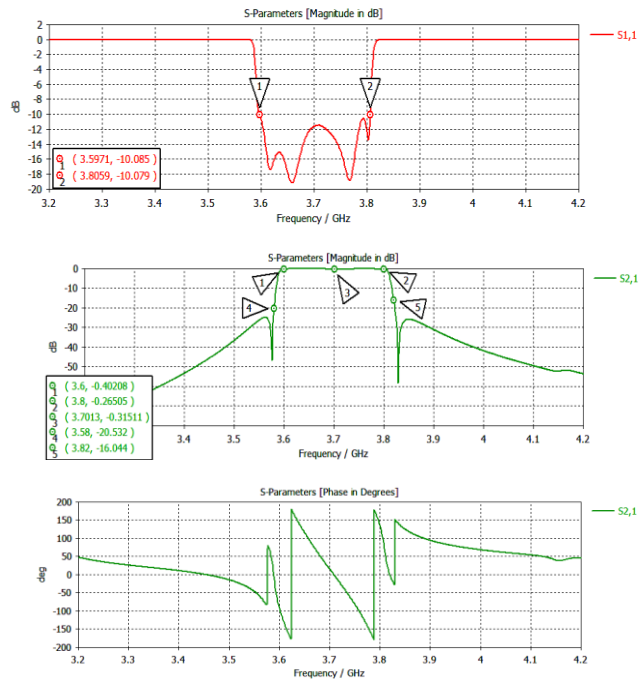


Hình 10. Bộ lọc hốc cộng hưởng TX gNodeB hoàn chỉnh

Kết quả mô phỏng bộ lọc hốc cộng hưởng ứng dụng trong trạm thu phát sóng 5G cho thấy các chỉ tiêu đạt hoặc tốt hơn so với yêu cầu kỹ thuật đặt ra, pha của tín hiệu hoàn toàn tuyến tính trong dải thông. Nếu chưa áp dụng cấu trúc đề xuất mới, công suất chịu đựng của bộ lọc chỉ đạt 682,45 W. Bộ lọc sau khi áp dụng cấu trúc mới, có khả năng chịu đựng công suất lên đến 1028,85 W.

Bảng 4. So sánh đặc điểm đặc tuyến sau mô phỏng

Tham số	Yêu cầu	Kết quả	Đơn vị
Dải thông	3600 ~ 3800	3600 ~ 3800	MHz
Độ rộng băng tần	200	200	MHz
Tổn hao trong dải thông	0.8	0.4	dB
Độ gợn trong dải thông	1	0.14	dB
Hệ số phản xạ	-10	-11.5	dB
Tổn hao trong dải chắn	15dB@B W±20MHz	16dB@BW ±20MHz	dB
Công suất chịu đựng được	1000	1028,85	W



Hình 10. Đồ thị hệ số tán xạ sau khi tối ưu, tinh chỉnh

Để làm rõ tính ưu việt của thiết kế mới so với các thiết kế khác đã được công bố, các đặc tính kỹ thuật của bộ hốc mới được so sánh với các số liệu do các tác giả khác công bố (bảng 5). Kết quả so sánh cho thấy, bộ lọc có cấu trúc mới có độ chịu đựng công suất tốt hơn hẳn so với bộ lọc tham khảo. Đối với chỉ tiêu hệ số phản xạ, theo tiêu chuẩn chung của thế giới $S_{11} \leq -10$ dB, thiết kế trong bài báo đều

đáp ứng được nhưng kém hơn so với bộ lọc bộ lọc thương mại hóa. Tuy nhiên, đặc điểm này thường sẽ đạt tốt hơn khi tinh chỉnh trong thực tế sau lắp ráp. Việc so sánh các chỉ tiêu kỹ thuật của cấu trúc đề xuất mới với những kết quả nghiên cứu tương tự là khó khăn vì các công trình liên quan đến cải tiến cấu trúc của bộ lọc hốc cộng hưởng dạng đồng trục, của Duplexer, của Diplexer... với cùng dải tần là không có hoặc rất ít được công bố.

Bảng 5. So sánh đặc điểm đặc điểm kỹ thuật với một số bộ lọc hốc cộng hưởng đã có

Tài liệu tham khảo	Dải tần (MHz)	S_{11} (dB)	Bậc	Công suất lớn nhất
[7]	1905- 1925	-18	5	200 W
[8]	1710- 1880	-17.7	10	300 W
Đề xuất mới	3600- 3800	-10.6	6	1028.85W

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nội dung đề xuất cải tiến cấu trúc hốc cộng hưởng nhằm cải tiến độ

chịu đựng công suất của bộ lọc. Cấu trúc mới gồm một khối kim loại hình nón cụt được đặt phía trên đỉnh hộp cộng hưởng đã có và ốc điều chỉnh được bo tròn với bán kính 1 mm nhằm làm giảm diện tích tiếp xúc giữa trụ cộng hưởng và ốc tinh chỉnh. Tiến trình thiết kế hốc cộng hưởng đơn để đảm bảo chỉ tiêu về công suất chịu đựng cũng được xây dựng. Bộ lọc đã đề xuất ở trên có thể hoạt động trong dải công suất cao. Tuy nhiên, việc chế tạo bộ lọc hốc cộng hưởng mới sẽ gặp khó khăn hơn so với bộ lọc có cấu trúc cũ. Nhưng trụ cộng hưởng thường được chế tạo bằng cách đúc theo khuôn nên cấu trúc này hoàn toàn khả thi. Để kiểm nghiệm hiệu quả của đề xuất, một bộ lọc hốc cộng hưởng ứng dụng trong hệ thống máy phát 5G được thiết kế, mô phỏng và đánh giá. Kết quả cho thấy bộ lọc hoàn toàn đáp ứng yêu cầu về kỹ thuật, độ chịu đựng công suất tăng 346,4 W. Bộ lọc với cấu trúc này hoàn toàn có thể ứng dụng trong các hệ thống thông tin với dải tần khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chi Wang and Kawthar A. Zaki, "Analysis of Power Handling Capacity of Band Pass Filters", 2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Phoenix, AZ, USA (2001).
- [2] M. Yu, "Power-Handling Capacity for RF Filter", IEEE Microwave Magazine, Vol. 8, no. 5, pp. 88–97, 2007.
- [3] J. Monge, J.A. Ruiz-Cruz, S. Anza, C. Vicente, K.A. Zaki, J.R. Montejo-Garai, J. M. Rebollar, J. Gil, B. Gimeno and V.E. Boria, "High Power Analysis and Design of Dual-Mode Channel Filters", 2009 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Boston, MA, USA, 2009.
- [4] Piere Blondy and Dimitrios Peroulis, "Handling RF Power: The Latest Advances in RF-MEMS Tunable Filters", IEEE Microwave Magazine, Vol. 14, no. 1, pp. 24–38, 2013.
- [5] S. Saeedi, J. Lee and H. Sigmarsson, "Prediction of power handling in tunable, high-Q, substrate-integrated, evanescentmode cavity bandpass filters" Electronics Letters, Vol. 52, no. 10, 2016.
- [6] Yuliang Chen and Ke-Li Wu, "An All-metal Capacitive Coupling Structure for Coaxial Cavity Filters" 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2020, pp. 583-586, doi: 10.1109/IMS30576.2020.9223932.
- [7] Yuliang Chen and Ke-Li Wu, "An All-metal Capacitive Coupling Structure for Coaxial Cavity Filters" 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2020, pp. 583-586, doi: 10.1109/IMS30576.2020.9223932.
- [8] Antenna Line Devices của Ace Technologies, "Diplexer Dual Band Diplexer 1821" <http://acetech.co.kr/vtn/business/product.asp?Catecode=4499223871>, truy cập tháng 5/2021.

- [9] Liu-Xing Zeng and Fu-Min Lin, “*Miniaturized High-Performance Cube-Shaped Filter Made Up of Quasi-TM₀₁₀ Mode Dielectric-Loaded Cavities*”, IEEE Access, vol. 8, pp. 847-855, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2960452.
- [10] Tran Thi Thu Huong, Nguyen Xuan Quyen and Vu Van Yem, “*Model and design of a duplexer for LTE-A transceiver with hexagon cylinder cavities*”, JP Journal of Heat and Mass Transfer, Special Volume, Special Volume, Issue III, Advances in Mechanical System and ICT-convergence, Pages 381 – 386, August 2018.
- [11] Richard J. Cameron, ChandraM. Kudsia, Raafat R. Mansour, “*Microwave Filters for Communication Systems: Fundamentals, Design, and Applications*”, JohnWiley & Sons, Inc, 2018.
- [12] 3DEXPERIENCE Company, “*Tuning of Bandpass Filter: A Tour Round to various Methods*”, 11/3/2015.
- [13] JH PARK, “MM-32T32R-3.7G-S Approval sheet, EP96-05420A”, Samsung Electronic, 2018.
- [14] Agilent Technologies Inc, “*Advanced Design System 2011.01 - Examples*”, http://edadownload.software.keysight.com/eedl/ads/2011_01/pdf/examples.pdf, truy cập tháng 5/2021.
- [15] Elie BouDaher; Ahmad Hoorfar, “*Electromagnetic Optimization Using Mixed-Parameter and Multiobjective Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy*”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: 63, Issue: 4, pp. 1712 – 1724, April 2015.

Thông tin liên hệ: **Trần Thị Thu Hường**

Điện thoại: 0983966694 - Email: ttthuong.kdt@uneti.edu.vn

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.