

TÍNH TOÁN ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CHỈ SỐ KHÚC XẠ ÂM TRONG THIẾT KẾ ANTEN THẤU KÍNH HÌNH TRỤ

Phan Thanh Minh, Nguyễn Thạc Dũng, Võ Phương Lâm

Trường Đại học Thông tin Liên lạc

Tóm tắt: Nhằm thích ứng hệ thống Anten trạm gốc đối với hệ thống di động thế hệ tiếp theo (5G), Anten thấu kính hình trụ đang được phát triển. Đối với vật liệu thấu kính, sử dụng chỉ số khúc xạ âm để giảm độ dày của thấu kính. Trong bài báo này, nghiên cứu mối quan hệ của các thông số thấu kính và hình dạng thấu kính. Làm rõ các thông số thiết kế để đạt được hình dạng thấu kính mỏng thực tế. Hơn nữa, nghiên cứu độ chính xác định hình thấu kính thông qua việc kiểm tra các góc khúc xạ hoặc đường tia trên bề mặt thấu kính. Kết quả cho thấy góc khúc xạ phù hợp với giá trị lý thuyết và định hình thấu kính.

Từ khóa: Anten thấu kính hình trụ; chỉ số khúc xạ âm; phương pháp dò tia; Anten di động trạm gốc.

1. Mở đầu

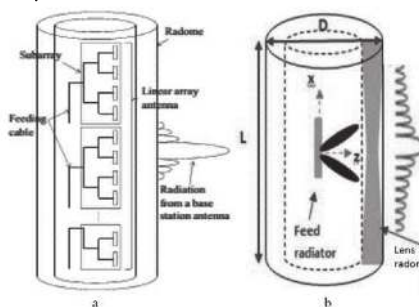
Trong hệ thống di động thế hệ tiếp theo (5G), Anten của trạm gốc yêu cầu có khả năng điều khiển chùm tia hoặc đa tia và sử dụng đa tần số [1]. Đối với Anten trạm gốc hiện nay, cấu hình Anten mảng (hình 1a) đã được sử dụng [2]. Các Anten mảng bao gồm nhiều phần tử mảng và mạng cấp nguồn, cấu trúc này không phù hợp cho các ứng dụng đa tia. Để thay thế, một cấu trúc Anten thấu kính hình trụ đã được đề xuất [3]. Các đề xuất này chỉ là sử dụng một nguồn cấp và hình thành mô hình bức xạ bằng cách định hình thấu kính. Ngoài ra, để tạo thành hình dạng thấu kính mỏng, vật liệu chiết suất âm được sử dụng cho vật liệu thấu kính.

Trong bài báo này, tác giả nghiên cứu quan hệ của các thông số Anten thấu kính và hình dạng thấu kính mỏng. Ước tính phương pháp thiết kế định hình thấu kính, kiểm tra sự phù hợp của các đường tia đạt được. Kiểm tra các góc tia thu được của thấu kính bên ngoài, bên trong và quan hệ góc với giá trị lý thuyết.

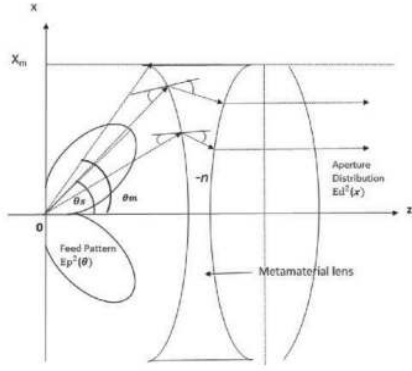
2. Phương pháp thiết kế

Định hình Anten thấu kính đạt được bằng phương pháp dò tia (ray tracing). Thông số của Anten thấu kính được hiển thị trong hình 2. Thấu kính bao gồm chỉ số âm của $(-n)$ vật liệu, các tia khúc xạ được thể hiện như trong hình 1. Chiều cao của thấu kính được biểu thị bằng $2X_m$. Góc từ nguồn cấp đến cạnh thấu kính

được biểu thị bằng θ_m . Nguồn bức xạ có mô hình bức xạ đặc biệt của chùm tia phân nhánh được biểu thị bởi $Ep^2(\theta)$. Góc dịch chuyển chùm của chùm tia phân nhánh được biểu thị bằng θ_s . Ở phía mặt mở của thấu kính, các tia được thiết kế song song. Phân bố bức xạ điện từ trên mặt mở được thể hiện bởi $Ed^2(x)$. Tia trên bề mặt của thấu kính phải thỏa mãn điều kiện khúc xạ.



Hình 1. Anten di động trạm gốc (a) Anten mảng thông thường (b) Anten thấu kính hình trụ.



Hình 2. Thông số của anten thấu kính

Ở bề mặt của thấu kính đối diện nguồn bức xạ, phương trình vi phân được xác định:

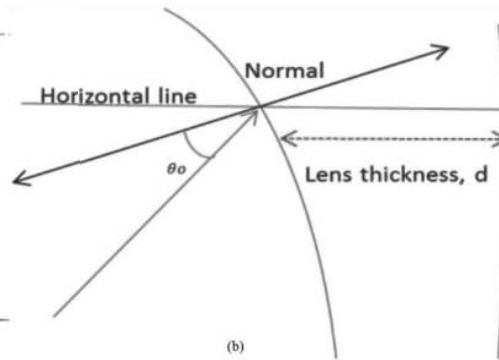
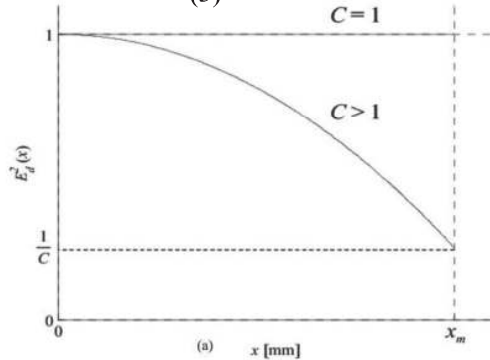
$$\frac{dr}{d\theta} = \frac{nr \sin(\theta - \theta')}{n \cos(\theta - \theta') - 1} \quad (1)$$

Ở bề mặt thấu kính đối diện với mặt mở được trình bày theo phương trình sau:

$$\frac{dz}{d\theta} = \frac{n \sin(\theta')}{1 - n \cos(\theta')} \frac{dx}{d\theta} \quad (2)$$

Một điều kiện nữa là bảo toàn năng lượng được thể hiện theo phương trình sau:

$$\frac{dx}{d\theta} = \frac{E_p^2(\theta) \sin(\theta)}{\int_0^{\theta_m} E_p^2(\theta) \sin \theta d\theta} \frac{\int_0^{x_m} E_d^2(x) x dx}{E_d^2(x) x} \quad (3)$$



Hình 4. a. Phân bố điện từ trên mặt mở của thấu kính. b. Điều kiện ban đầu.

3. Hình dạng thấu kính

Các thông số ban đầu để thiết kế thấu kính được hiển thị trong hình 4b. \$\theta_0\$ là góc tới ban đầu và \$d\$ là độ dày của thấu kính ban đầu.

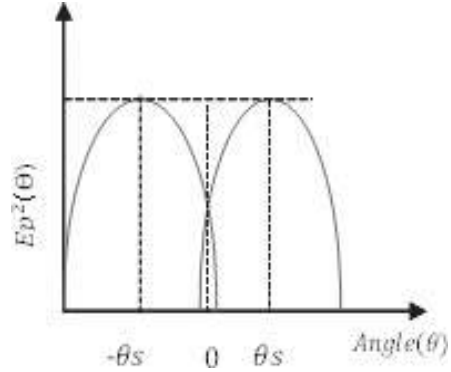
Hình dạng của thấu kính thiết kế được thể hiện trong hình 5. Các thông số chính là chiết suất (\$n\$) và góc từ nguồn bức xạ đến cạnh của thấu kính (\$\theta_m\$). Bằng cách tăng chỉ số khúc xạ, độ dày của thấu kính sẽ giảm và thấu kính bị

Đổi với chùm tia phân nhánh, sử dụng biểu thức:

$$E_p^2(\theta) = (\cos^m(\theta - \theta_s)) \quad (4)$$

Khái niệm \$Ep^2(\theta)\$ được hiển thị trong hình 3; (\$m\$) xác định độ nhọn của chùm tia. Đối với bức xạ điện từ ở trên mặt mở được cho bởi biểu thức sau

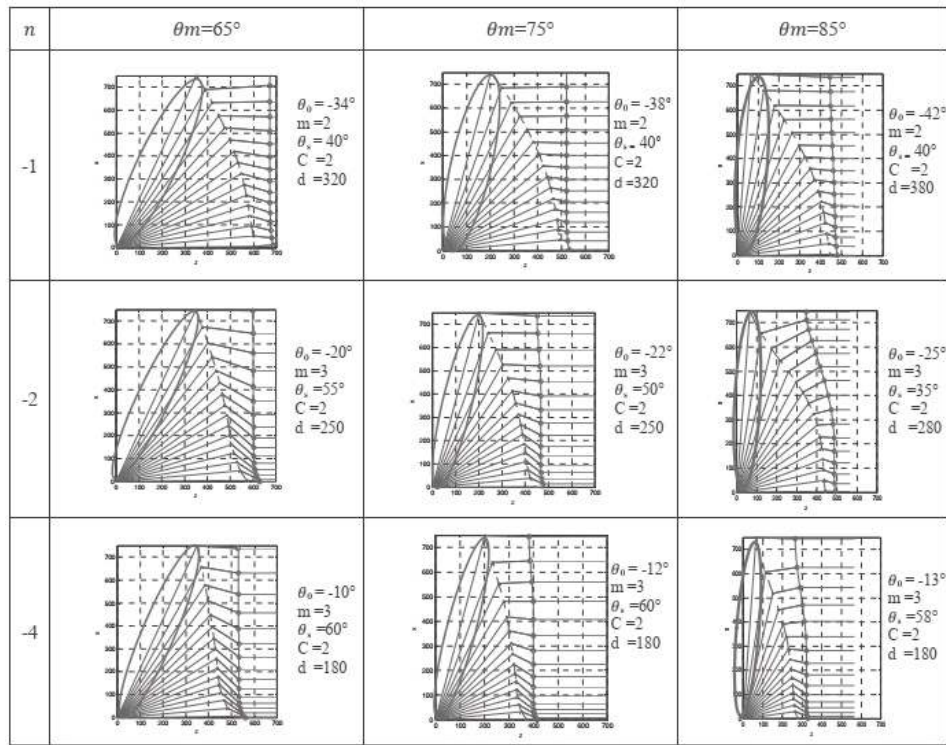
$$Ed^2(x) = (1 - (1 - \frac{1}{C})(\frac{x}{X_m})^2) \quad (5)$$



Hình 3. Hình dạng của chùm tia hai chiều.

Bức xạ điện từ \$Ed^2(\theta)\$ trên mặt mở được thể hiện trong hình 4a. \$C\$ đưa ra mức độ của sự phân bố bức xạ điện từ:

mỏng đi. Bằng cách tăng góc \$\theta_m\$, vị trí thấu kính tiếp cận với nguồn bức xạ, bán kính của thấu kính bị giảm. Để có được một thấu kính hình trụ mỏng và mảnh, đòi hỏi các tham số chiết suất và góc bức xạ cực đại \$n\$ và \$\theta_m\$ lớn. Tại \$n = -4\$ và \$\theta_m = 85^\circ\$, đạt được bán kính hình trụ \$300mm\$ và độ dày thấu kính \$180mm\$.



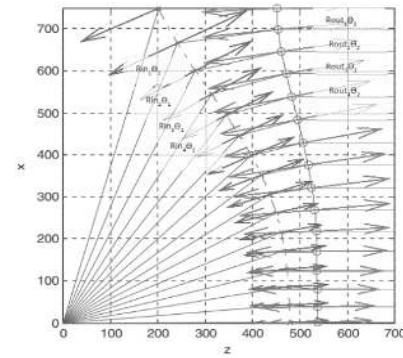
Hình 5. Hình dạng của thấu kính với các tham số thiết kế thay đổi.

4. Tính toán đường tia

Để ước tính độ chính xác của kết quả định hình thấu kính, kiểm tra quan hệ góc khúc xạ trên bề mặt thấu kính. Tại mỗi điểm thiết kế, tính toán các vector pháp tuyến. Dựa trên vector pháp tuyến, góc tới và góc khúc xạ được tính như trong sơ đồ hình 6. Đặc điểm của $(-n)$ thấu kính là các tia bên trong và bên ngoài thấu kính tồn tại trong cùng một phía của vector pháp tuyến. Đối với các góc tia bên ngoài thấu kính (θ_1) và bên trong thấu kính (θ_2) , quan hệ khúc xạ được đưa ra theo phương trình sau đây:

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (6)$$

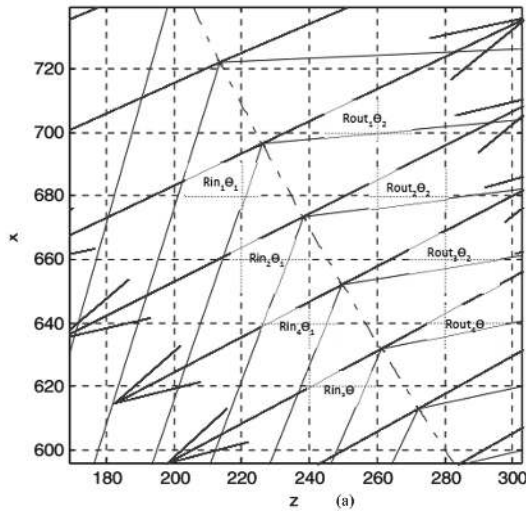
Ở đây, (n) lớn hơn 1, nên (θ_2) nhỏ hơn (θ_1) .



Hình 6. Tia vào và tia đi ra khỏi bề mặt thấu kính.

Bảng 1. Kết quả về góc tới và góc khúc xạ của các tia

Tia trong	$\theta_{in} (^{\circ})$	$\theta_{out} (^{\circ})$	n	Tia ngoài	$\theta_{in} (^{\circ})$	$\theta_{out} (^{\circ})$	n
1	48	22	1.98	1	3	6	1.99
2	45	21	1.97	2	4	8	1.99
3	43	20	1.99	3	4	9	2.24
4	40	19	1.97	4	4	10	2.49

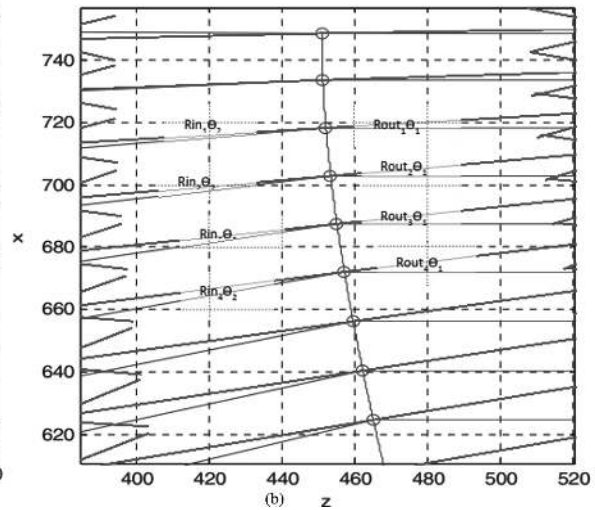


Hình 7. a. Tia tới thấu kính ($\theta_2 < \theta_1$)

Vị trí khúc xạ của các tia tới và tia đi được thể hiện chi tiết tương ứng trong hình 7a và 7b. Sử dụng kết quả mô phỏng của hình 7a và hình 7b, so sánh kết quả mô phỏng và giá trị (n) được hiển thị trong bảng 1. Trong trường hợp các tia tới, các giá trị (n) được tính $n = 2$. Trong trường hợp các tia đi, các giá trị (n) được tính lớn hơn 2 tại các tia số 3 và số 4. Lỗi này có thể xảy ra do hình dạng của thấu kính và cách xác định vector pháp tuyến tại điểm khúc xạ.

5. Kết luận

Các thông số thiết kế để đạt được thấu kính hình trụ mỏng và mảnh đã được làm sáng tỏ. Độ chính xác định hình thấu kính được kiểm tra thông qua việc lấy tỷ lệ các góc tia được tính toán bên trong và bên ngoài bề mặt thấu kính. Quan hệ góc đã thu được rất phù hợp với giá trị



b. Tia đi khỏi thấu kính ($\theta_2 < \theta_1$)

chiết suất của $n = 2$. Kết quả là ước tính được độ chính xác của việc định hình thấu kính.

Tài liệu tham khảo

1. C.X.Wang et.al (2014)., "Cellular architecture and key technologies for 5G wireless Communication networks," IEEE Communication Magazine , Vol.52(2), PP.122-130.
2. K.Jujimoto and J.R.James (2001), "Mobile Antenna Systems Handbook," Artech House.
3. N. Michishita and Y. Yamada (2014), "Metamaterial Radome Composed of Negative Refractive Index Lens for Mobile Base Station Antennas," The 2014 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC'14), pp. 60-63.

ACCURACY ESTIMATIONS OF A NEGATIVE REFRACTIVE INDEX CYLINDRICAL LENS ANTENNA DESIGNING

Phan Thanh Minh, Nguyen Thac Dung, Vo Phuong Lam

Telecommunications University

Abstract: In order to conform mobile base station antenna simply for the next generation mobile system (5G), a cylindrical lens antenna is developing. For the lens material, negative refractive index is used so as to reduce lens thickness. In this paper, relations of lens parameters and lens shapes are investigated. Design parameters for achieving practical thin lens shapes are clarified. Moreover, lens shaping accuracies are investigated through checking the refractive angles or ray paths on lens surfaces. All refractive angle results agree very well with the theoretical value. Adequateness of lens shaping results is ensured

Keywords: Cylindrical lens antenna, negative refractive index, ray tracing method, mobile base station antenna.