

KHẢO SÁT ĐẶC TÍNH VÀ TÍNH TOÁN SỐ LƯỢNG PHẦN TỬ CHO ANTEN KHE SỬ DỤNG TRONG RADAR HÀNG HẢI

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS AND DETERMINATION THE NUMBER OF SLOTS FOR SLOT ANTENNA USED IN MARINE RADAR

NGUYỄN MẠNH CƯỜNG*, ĐOÀN NGỌC ÂU, ĐỖ CÔNG DANH

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: nguyenmanhcuong@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Công nghệ anten là một phần rất quan trọng trong công nghệ điện tử và truyền thông ngày nay, sự phát triển của truyền dẫn không dây luôn gắn liền với sự phát triển của anten. Do nhu cầu sử dụng mà băng tần cao đang được nghiên cứu và sử dụng trong mục đích thông tin liên lạc, truyền dẫn và đo đạc từ xa. Đặc biệt, trong radar hàng hải, anten khe đang được sử dụng phổ biến trên các băng tần S và X của dải microwave. Bài báo này sẽ thiết kế, mô phỏng anten khe và phân tích sâu về đặc điểm về độ lợi anten, trở kháng sóng với từng dải tần sử dụng của anten khe để có được đánh giá cụ thể về mối liên hệ giữa số lượng khe, kích thước với độ lợi anten. Từ đó đưa ra được thiết kế phù hợp với từng dải tần được sử dụng của anten khe trong radar hàng hải.

Từ khóa: Anten khe, Anten dải rộng, Anten viba, Băng thông rộng, độ rộng chùm tia.

Abstract

Antenna technology is an important part of today's electronics and communications, the development of wireless transmission has always been associated with the development of antennas. According to usage requirements, high-frequency bands are being researched and used for communication, transmission, and telemetry purposes. In particular, slot antennas are being used commonly on the S and X bands of microwave bands in marine radar. This article will design and simulate the slot antenna and analyze in-depth antenna gain characteristics, wave impedance for each frequency band used by the slot antenna to obtain a specific assessment of the relationship between the number of slots, size with antenna gain. Hence, this article proposed an optimal design suitable for each frequency band of slot array antennas used in marine radar.

Keywords: Slot antenna, Wide band antenna, Microwave antenna, Broadband, Beam width.

1. Giới thiệu

Anten khe sử dụng trong Radar Hàng hải thường là loại anten được làm từ ống dẫn sóng trụ tròn hoặc ống dẫn sóng hình chữ nhật với thành ống được cắt một hoặc nhiều khe có độ dài bằng nửa bước sóng [1]. Thông thường, khi sử dụng ống dẫn sóng hình chữ nhật thì trường cơ bản lan truyền trong thành ống là trường H_{10} còn khi sử dụng ống dẫn sóng trụ tròn thì trường cơ bản lan truyền là trường H_{11} . Khi sóng điện từ được kích thích truyền lan trong ống dẫn sóng, mặt trong của thành ống xuất hiện dòng điện mặt. Với vectơ mật độ của dòng điện mặt được xác định bởi biểu thức:

$$\vec{J}_s^e = [\vec{n} \times \vec{H}] \quad (1)$$

Trong đó:

\vec{n} : Vectơ vuông góc với thành ống;

\vec{H} : Vectơ cường độ từ trường bề mặt ống.

Trong ống dẫn sóng chữ nhật, trường cơ bản H_{10} được truyền lan, vectơ từ trường bao gồm:

$$\begin{cases} H_x = H_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-i\beta z} \\ H_z = -iAH_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-i\beta z} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:

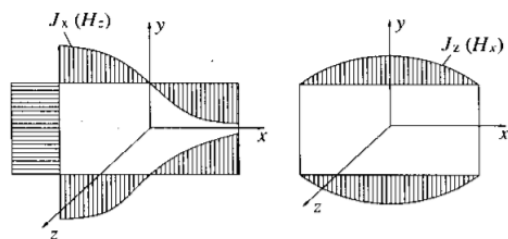
H_0 : Giá trị lớn nhất của cường độ từ trường;

A : Hằng số;

β : Hệ số pha của sóng có giá trị $2\pi/A$;

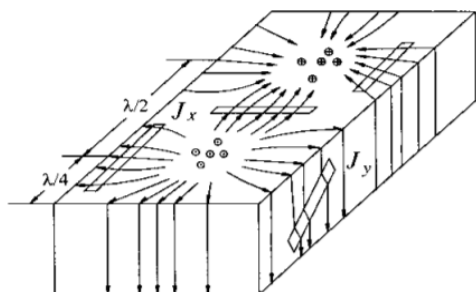
α : Độ rộng thành đứng của ống dẫn sóng.

Theo công thức (1) và (2) thì ở mặt trong của thành ống dẫn sóng xuất hiện 3 thành phần của dòng điện mặt là 2 thành phần ngang J_x , J_y và một thành phần dọc. Trong đó, thành phần ngang được gây ra bởi từ trường dọc H_z , thành phần dọc được gây ra bởi từ trường ngang H_x .



Hình 1. Phân bố thành phần dòng điện trên thành ống dẫn sóng

Nếu khe được cắt nằm trên thành ống dẫn sóng và cắt ngang đường sức mật độ dòng điện thì dòng điện dẫn tại mặt trong thành ống sẽ bị gián đoạn tại các khe và chuyển thành dòng điện dịch, dòng điện dịch này sẽ chạy vuông góc theo hai mép khe.



Hình 2. Dòng điện dịch trên ống dẫn sóng

Như vậy, tại mặt trong thành ống, với dòng điện dịch đã xuất hiện sẽ hình thành các điện trường tương ứng và phát sinh điện áp giữa hai mép khe. Nếu khe được cắt dọc theo đường sức dòng điện thì sẽ không sinh ra dòng điện dịch chảy ngang mép khe, và khe sẽ không bức xạ năng lượng. Nếu cắt khe vuông góc với đường sức dòng điện thì dòng điện dịch chảy ngang mép khe là lớn nhất, khe sẽ bức xạ sóng điện từ.

Theo nguyên lý tương hỗ, anten khe có thể được sử dụng dùng làm anten phát hoặc anten thu. Cường độ bức xạ hoặc cường độ thu của khe phụ thuộc vào vị trí của khe trên thành ống dẫn sóng. Để nhận được đồ thị phương hướng theo yêu cầu cần thiết kế anten gồm một hệ thống các khe cắt trên thành ống dẫn sóng, các khe này được bố trí theo kiểu dọc, ngang hoặc xiên và được kích thích đồng pha với nhau.

Trong hệ thống radar hàng hải với một số những yêu cầu về góc phương vị (360°), tính định hướng cao, dải thông tần đủ rộng, các búp sóng phụ là tối thiểu cả về biên độ lẫn số lượng thì anten khe đáp ứng tốt những yêu cầu trên [2, 3]. Vì vậy, anten khe được sử dụng phổ biến trong radar hàng hải, cụ thể là anten khe đồng pha.

Đặc tính định hướng của anten khe phụ thuộc lớn vào số lượng các khe và dải tần công tác. Để xác định được tính định hướng của anten khe phù hợp với từng dải tần công tác, trong bài báo này sẽ tiến hành khảo sát, thiết kế, mô phỏng hệ anten khe đồng pha trong dải tần băng S, từ đó đưa ra so sánh về độ lợi, trở kháng sóng của từng hệ anten khe.

2. Mô phỏng và khảo sát đặc tính hệ anten khe đồng pha

Giả thiết, anten radar hàng hải được sử dụng là loại ống dẫn sóng hình chữ nhật có các khe được cắt dọc theo thành ống và phân bố so le về hai phía. Trường cơ bản H_{10} được kích thích tại điểm giữa phần thành rộng của ống. Khoảng cách từ tâm khe này tới tâm khe khác liên tiếp nhau ở cùng 1 phía là λ . Việc đặt khoảng cách giữa các khe liên tiếp là λ để đảm bảo cho các khe ở cùng một phía so với thành ống sẽ được kích thích đồng pha, và khoảng cách giữa 2 tâm khe liên tiếp nằm ở 2 phía của thành ống dẫn sóng là $\lambda/2$. Vì thành phần ngang J_x sẽ đổi chiều khi chuyển qua 2 thành ống dẫn sóng nên nếu cắt các khe ở điểm cách tâm khe thứ nhất một khoảng $d = \lambda/2$ thì dòng điện mặt J_x ở đây sẽ đồng pha với dòng tại các khe. Để các khe dọc được kích thích mạnh nhất thì tâm khe cần được đặt ở điểm bụng của thành phần dọc H_z , nghĩa là khoảng cách từ khe đến điểm ngắn mạch đầu cuối cần chọn bằng $\lambda/4$ hoặc [4]:

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Xét trên băng tần S, cụ thể là tần số 2,45GHz [3], với các tham số của anten khe ở trên, tiến hành tính toán và thiết kế trên phần mềm Matlab (Hình 3).

Xét đồ thị phương hướng của hệ anten khe đồng pha, giả thiết đồ thị phương hướng của hệ anten khe cũng giống như đồ thị phương hướng của anten chấn từ điện nửa sóng, ta sẽ nhận được phương trình hàm phương hướng chuẩn hóa của hệ anten khe đồng pha trên ống dẫn sóng chữ nhật với các khe được cắt theo phương dọc [4]:

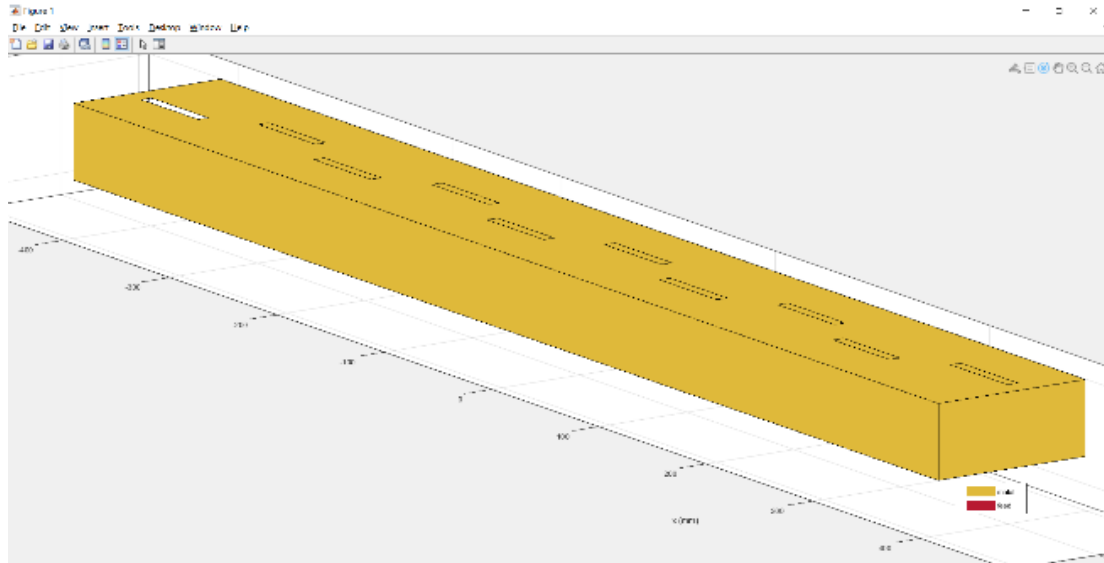
$$F(\theta) = \frac{E}{E_{max}} = \frac{1}{N} \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \sin\theta)}{\cos\theta} \frac{\sin(\frac{Nkd}{2} \sin\theta)}{\sin(\frac{kd}{2} \sin\theta)} \quad (4)$$

Trong đó:

N: Số khe cắt trên thành ống dẫn sóng;

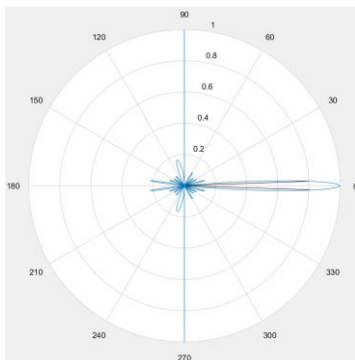
d: Khoảng cách của hai tâm khe liên tiếp;

θ : Góc giữa pháp tuyến của tâm thành rộng ống dẫn sóng với hướng khảo sát.

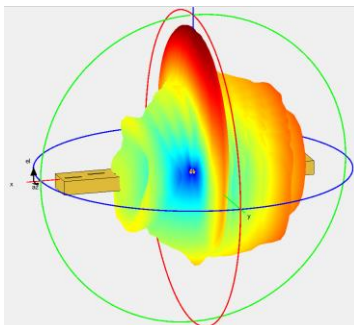


Hình 3. Hệ anten khe đồng pha với số khe là 10

Từ hàm phương hướng chuẩn hóa trên vẽ được đồ thị phương hướng trong không gian 2 chiều và 3 chiều của hệ anten khe đồng pha, tương ứng (Hình 4 và Hình 5).



Hình 4. Đồ thị phương hướng trong không gian 2 chiều của hệ anten khe đồng pha 10 phần tử



Hình 5. Đồ thị phương hướng trong không gian 3 chiều của hệ anten khe đồng pha 10 phần tử

3. Thiết kế, tính toán số lượng khe tương ứng với các dải tần số

Với việc thiết kế, mô phỏng hệ anten khe đồng pha, bài báo khảo sát được đặc tính phương hướng của hệ anten khe. Để phân tích rõ hơn về ảnh hưởng của số khe với độ lợi và trở kháng sóng của anten trên dải băng tần S, nhóm đã tiến hành xét sự thay đổi của số lượng khe sóng $N = 4 \div 24$ với tần số công tác $F = 2,1 \div 2,9\text{GHz}$. Dựa vào sự thay đổi về độ lợi và trở kháng sóng (Bảng 1 & 2), nhận thấy rằng, tại tần số 2,5GHz, độ lợi anten và trở kháng sóng là lớn nhất khi thay đổi tăng số lượng khe lớn hơn 12 khe và ở tần số 2,9GHz độ lợi anten và trở kháng sóng là nhỏ nhất.

Bảng 1. Bảng so sánh giữa trở kháng sóng với số lượng khe tương ứng trên băng tần S

N (số khe)	Max	Min
4	2,4GHz	2,9GHz
8	2,4GHz	2,9GHz
12	2,4GHz	2,9GHz
16	2,5GHz	2,9GHz
20	2,5GHz	2,9GHz
24	2,5GHz	2,9 GHz

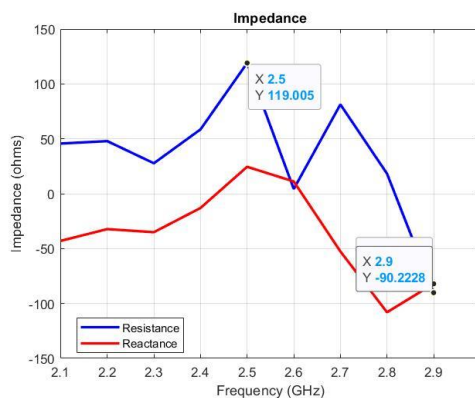
* Với Max, Min là băng tần có trở kháng sóng lớn nhất và nhỏ nhất;

* Với max, min là độ lợi của lớn nhất và nhỏ nhất trên từng băng tần (đơn vị: dBi);

Đồng thời, sau khi so sánh về trở kháng sóng, nhận thấy rằng khi số lượng khe tăng trở kháng sóng được giảm nhỏ. Hình 6 mô tả trở kháng sóng của hệ anten khe với số lượng khe $N = 24$.

Bảng 2. Bảng so sánh độ lợi với số lượng khe tương ứng trên băng tần S

F \ N		4	8	12	16	20	24
2,1	Max	7,71	10,4	12,7	13,7	14,8	14,8
	Min	-14,3	-17,8	-22,3	-22,3	-31,1	-22,5
2,2	Max	5,46	7,82	10	11,7	12,5	11,8
	Min	-21,3	-22,9	-24,6	-19,9	-25,3	-19,8
2,3	Max	5,54	8,87	11,2	13,8	15,6	15,1
	Min	-21,1	-22,6	-18,9	-20,2	-28,7	-27,9
2,4	Max	11,4	13,8	6,48	9,05	13,1	14
	Min	-25,5	-29,7	-24,3	-22,4	-25,4	-31,8
2,5	Max	5,97	9,32	12,8	14,8	17	18,1
	Min	-28,9	-21,5	-37,9	-22,1	-28,5	-24,7
2,6	Max	6,57	6,53	9,14	11,3	8,59	10,7
	Min	-21,6	-23,7	-24	-18,5	-25,2	-24
2,7	Max	6,55	6,46	7,18	7,06	7,92	10,4
	Min	-18,4	-20,8	-23,9	-28	-27,5	-24,8



Hình 6. Đồ thị trở kháng sóng tương ứng với số khe N=24 trong dải tần 2,1÷2,9GHz



Hình 7. Anten khe ngoài thực tế với số khe là 16

Với yêu cầu của anten radar Hàng hải, độ lợi trung bình nằm trong khoảng 15÷17dBi [2, 5], dựa theo Bảng 2, lựa chọn số khe N=20÷24 khe ở dải tần 2.4÷2.5GHz để anten có thể nhận được độ lợi từ 15÷17dBi và có trở kháng sóng giảm nhỏ.

Hình 7 là hình ảnh anten khe ngoài thực tế với số khe là N=16, tại đó độ lợi anten trên băng tần S đạt

được tới 14,8dBi. Khi khảo sát số lượng tăng quá 24 khe thì độ lợi sẽ bị suy giảm do biên độ cực đại phụ tăng mạnh theo lý thuyết anten mảng nói chung.

4. Kết luận

Bài báo đã khảo sát các đặc tính, đồ thị phương hướng của anten khe được sử dụng trong Radar hàng hải. Từ đó, mô phỏng thiết kế một hệ anten khe, tính toán số lượng khe phù hợp với dải tần tương ứng. Với các đặc điểm dễ chế tạo, tính định hướng cao, độ lợi lớn nên anten khe được sử dụng rất phổ biến trong radar hàng hải.

Trên băng tần S, thông qua việc khảo sát đặc tính của hệ anten khe và so sánh giữa trở kháng sóng, độ lợi và số khe với nhau, bài báo đã tính toán được số khe với giải tần số tương ứng, phù hợp. Số khe cụ thể là N = 20÷24 ở dải tần 2.4÷2.5GHz, với được độ lợi anten từ 15÷17dBi và trở kháng sóng giảm nhỏ.

Đối với mỗi dải tần khác nhau sẽ có số lượng khe phù hợp tương ứng để đảm bảo được độ lợi lớn nhất và trở kháng sóng nhỏ. Nhìn chung theo tiêu chí về độ lợi, độ rộng búp sóng và trở kháng sóng của Anten Radar hàng hải thì số lượng khe 20÷24 là phù hợp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số **DT20-21.49**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Xuân Việt, *Kỹ thuật anten*, NXB Hàng hải, Hải Phòng, 2019.
- [2] Trần Đức Inh, *Hệ thống dẫn đường hàng hải*, NXB Hàng hải, Hải Phòng, 2020.

- [3] Ramprakash K, *Design, Analysis and Fabrication of a Microstrip Slot Antenna*, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol.8 Issue-2S December, 2018.
- [4] Phan Anh, *Lý thuyết và kỹ thuật anten*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [5] Slotted Waveguide Antennas, online: http://www.antenna-theory.com/antennas/aperture/slottedwaveguide2.php?fbclid=IwAR3aewU4-q1QZKa582rO0VDWkAI9WvfHAn8QrJIU8yBlQ_jn9MJlddKMQiI

Ngày nhận bài:	16/01/2021
Ngày nhận bản sửa:	08/02/2021
Ngày duyệt đăng:	25/02/2021