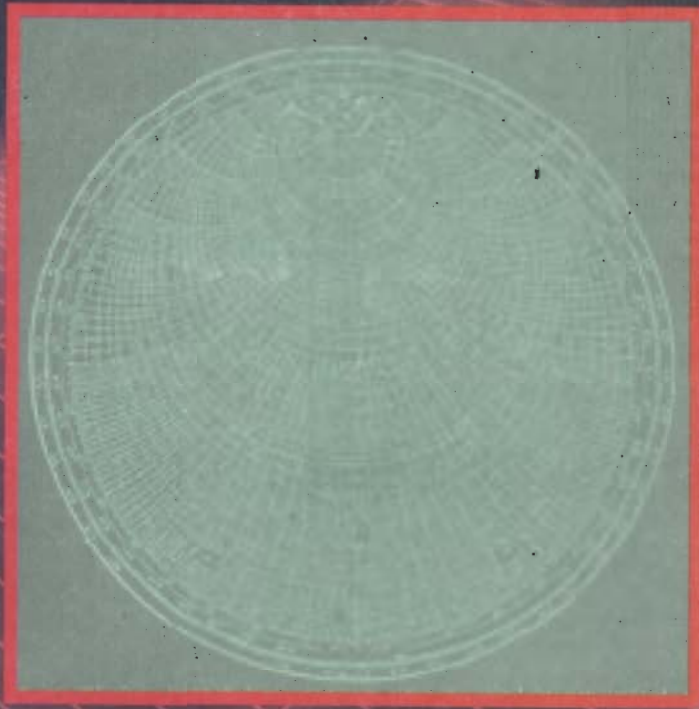


KIỀU KHẮC LẬU

CƠ SỞ KỸ THUẬT  
SIÊU CAO TẦN



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

KIỀU KHẮC LÂU

# CƠ SỞ KỸ THUẬT SIÊU CAO TẦN

*(Tái bản lần thứ hai)*

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC - 2006

## LỜI NÓI ĐẦU

Cuốn sách này nhằm trình bày những kiến thức về lý thuyết và kỹ thuật các quá trình vật lý của sự truyền các dao động và sóng điện từ ở dải siêu cao tần (là các dải sóng điện từ có bước sóng từ 10m đến 1mm hay có tần số từ  $3 \cdot 10^7$  đến  $3 \cdot 10^{11}$  Hz). Ngày nay các thiết bị vô tuyến điện tử làm việc ở dải sóng siêu cao tần được sử dụng rất rộng rãi trong các lĩnh vực như: khoa học kỹ thuật, quân sự và đời sống hàng ngày. Chẳng hạn như chúng được dùng trong phát thanh FM, truyền hình, thông tin viễn thông, radar, đạo hàng và đo lường v.v... Do đó yêu cầu hiểu biết những khái niệm cơ bản, các quy luật, tính chất những quá trình dao động và sóng điện từ ở dải siêu cao tần trong các môi trường vật chất khác nhau là rất cần thiết, đồng thời cũng là những kiến thức cơ sở không thể thiếu với những người công tác trong ngành vô tuyến điện. Cuốn sách gồm 3 chương và phụ lục.

**Chương 1:** Trình bày các quá trình lan truyền sóng siêu cao tần trong các loại đường truyền dẫn phổ biến như: ống dẫn sóng chữ nhật, ống dẫn sóng tròn, ống dẫn sóng đồng trục, cáp đồng trục, ống dẫn sóng điện môi, đường dây song hành, mạch dải, đường truyền sóng chậm. Các bài toán bờ điện động lực được tìm nghiệm theo phương pháp lý thuyết trường. Ở đây các mối quan hệ giữa các đại lượng đặc trưng cho các dạng trường điện từ và các tham số của môi trường truyền dẫn được tính toán, phân tích để tìm điều kiện tốt nhất cho sự truyền sóng siêu cao tần trong các dạng đường truyền nói trên.

**Chương 2:** Mô tả các quá trình dao động điện từ ở dải siêu cao tần trong các mạch dao động cộng hưởng khác nhau gọi là các hộp cộng hưởng như: hộp cộng hưởng chữ nhật, hộp cộng hưởng trụ tròn, hộp cộng hưởng hình xuyên, hộp cộng hưởng đồng trục có khe. Các dạng trường tồn tại trong các hộp được xét về cấu trúc và các đại lượng cơ bản của chúng được tìm như: điều kiện cộng hưởng, bước sóng cộng hưởng, độ phẩm chất. Chương này cũng chỉ ra các phương pháp kích thích các dạng trường cần thiết trong các đường truyền dẫn và trong các hộp cộng hưởng khác nhau cũng như cách ghép năng lượng từ chúng ra ngoài.

**Chương 3:** Trình bày các phương pháp phân tích, tổng hợp và tính toán các tham số ngoài cơ bản của các phần tử tuyến siêu cao tần mà ta thường gọi là các mạng nhiều cực siêu cao tần. Từ đây cũng dẫn ra sự giải thích nguyên tắc công tác và ứng dụng của một số mạng nhiều cực siêu cao tần phổ biến trong kỹ thuật như: các mạng 2 cực (tải không phản xạ, tải phản xạ hoàn toàn, đầu tách sóng siêu cao), mạng 4 cực (các tấm chắn và que dò, các bộ chuyển tiếp, các bộ suy giảm, các bộ quay pha thuận nghịch, các bộ lọc tần số siêu cao), các mạng 6 cực (chạc 3 vuông góc

kiểu E, kiểu H, chạc 3 đối xứng chữ Y kiểu E, kiểu H), mạng 8 cực (các bộ ghép định hướng, các bộ cầu siêu cao), các mạng nhiều cực điều khiển sự truyền sóng siêu cao tần dùng ferít và dùng điốt bán dẫn loại PIN (các bộ van cộng hưởng, các bộ quay pha không thuận nghịch, các bộ phân mạch vòng tuần hoàn, các bộ chuyển mạch nhiều kênh v.v...). Chương này cũng trình bày sự phối hợp trở kháng ở siêu cao, giải các bài toán cơ bản về phối hợp dải hẹp, dải rộng các phép đo dùng đường dây đo và tính toán với đồ thị vòng tròn. Cứ sau mỗi chương đều dẫn ra các bài tập cần thiết để ôn luyện và kiểm tra. Cuốn sách có dẫn ra một số phụ lục nhằm bổ sung cho các kết luận ở các chương.

Cuốn sách có thể dùng làm tài liệu học tập cho các sinh viên đại học và cao đẳng kỹ thuật ngành vô tuyến điện tử và tài liệu tham khảo cho cán bộ nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực kỹ thuật siêu cao tần. Cuốn sách chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót, tác giả rất mong nhận được các ý kiến đóng góp xây dựng nhằm hoàn thiện cuốn sách.

**Hà Nội, tháng 12 năm 1997**

Tác giả

## MỞ ĐẦU

Dải sóng siêu cao tần là một phần của dải sóng điện từ có bước sóng  $\lambda$  nằm trong khoảng từ 10 mét cho đến 1mm, tương ứng với dải tần số  $f$  từ  $3 \cdot 10^7$  đến  $3 \cdot 10^{11}$  Hz. Nó được phân ra bốn dải nhỏ hơn là:

- Dải sóng mét hay VHF ( $\lambda = 10\text{m} \div 1\text{m}$ ;  $f = 3 \cdot 10^7 \div 3 \cdot 10^8$  Hz).
- Dải sóng decimét hay UHF ( $\lambda = 10\text{dm} \div 1\text{dm}$ ;  $f = 3 \cdot 10^9 \div 3 \cdot 10^{10}$  Hz).
- Dải sóng centimét hay SHF ( $\lambda = 10\text{cm} \div 1\text{cm}$ ;  $f = 3 \cdot 10^9 \div 3 \cdot 10^{10}$  Hz).
- Dải sóng milimét hay EHF ( $\lambda = 10\text{mm} \div 1\text{mm}$ ;  $f = 3 \cdot 10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$  Hz).

Các dải sóng siêu cao tần trên được sử dụng ngày càng rộng rãi trong các thiết bị của ngành vô tuyến điện tử ở các lĩnh vực khác nhau như: truyền hình, phát thanh FM, thông tin vệ tinh, radar, đạo hàng vv...

Sở dĩ như vậy vì sóng siêu cao tần có các tính chất đặc biệt sau:

1. Sóng siêu cao tần truyền thẳng trong phạm vi nhìn thấy trực tiếp. Hầu hết các dải sóng này đều có khả năng xuyên qua bầu khí quyển của trái đất và thay đổi ít về công suất và phương truyền của mình.

2. Sóng siêu cao tần có tính định hướng cao khi bức xạ từ những vật có kích thước lớn hơn nhiều so với bước sóng.

3. Sóng siêu cao tần cho phép khoảng tần số sử dụng rất lớn, tức chúng ta có thể sử dụng số kênh rất lớn trong dải sóng siêu cao tần, đáp ứng được truyền lượng thông tin ngày càng tăng.

Để thấy rõ ưu điểm này, ta nêu một ví dụ sau đây: trong tất cả dải sóng ngắn ( $\lambda = 100\text{m} \div 10\text{m}$ ,  $f = 3\text{MHz} \div 30\text{MHz}$ ) chỉ có thể phân bố được khoảng 4000 kênh thoại hay 4 kênh video của truyền hình không nhiều lần nhau. Song với lượng kênh cần sử dụng như trên khi dùng dải sóng cm, chỉ cần một khoảng khá nhỏ từ bước sóng  $\lambda = 2,992$  đến 3cm.

4. Ở dải sóng siêu cao tần nhất là hai dải nhỏ là cm và mm thì kích thước của các phần tử và thiết bị so sánh được với chiều dài bước sóng, thậm chí có trường hợp chúng còn lớn hơn nhiều so với bước sóng. Do đó trong các trường hợp như vậy phải chú ý đến hiệu ứng giữ chậm của sóng điện từ. Trong các đèn điện tử chân không thông thường, thời gian bay của điện tử giữa các cực của đèn có thể so sánh hoặc lớn hơn chu kỳ dao động siêu cao tần (nhất là ở dải cm và mm). Nên ta phải chú ý đến

hiệu ứng quán tính bay của điện tử. Trong các dụng cụ bán dẫn thông thường ở dải sóng siêu cao tần cũng có hiệu ứng quán tính dịch chuyển của điện tử và lỗ trống.

Do những đặc tính riêng của dải sóng siêu cao tần, nên các khái niệm về các phân tử tập trung ở đây không còn áp dụng được, mà ta phải thay bằng khái niệm về các phân tử phân bố. Đồng thời chúng cũng đặt ra nhiều vấn đề lớn cần giải quyết như: các hệ truyền dẫn năng lượng, các mạch dao động, các hệ bức xạ và các dụng cụ điện tử và bán dẫn để tạo ra các dao động siêu cao.

Trong phạm vi của cuốn sách này, tác giả chỉ giới hạn trình bày những cơ sở lý thuyết bản chất vật lý các quá trình dao động và truyền sóng siêu cao tần trong các hệ truyền dẫn năng lượng và trong các mạch dao động cộng hưởng đồng thời chỉ ra những ứng dụng của chúng trong kỹ thuật siêu cao tần. Hai phần còn lại độc giả có thể tìm hiểu trong các tài liệu về anten và dụng cụ điện tử, dụng cụ bán dẫn siêu cao tần.

## Chương I

# ĐƯỜNG TRUYỀN NĂNG LƯỢNG SIÊU CAO TẦN

### § 1.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐƯỜNG TRUYỀN NĂNG LƯỢNG SIÊU CAO TẦN VÀ PHÂN LOẠI

Chúng ta gọi đường truyền là các thiết bị hay hệ để giới hạn đường truyền lan các dao động điện từ hay các dòng năng lượng điện từ theo hướng đã cho. Đường truyền dùng để truyền dẫn năng lượng siêu cao tần hay sóng siêu cao gọi là đường truyền năng lượng siêu cao tần. Để cho gọn ta gọi tắt đường truyền năng lượng siêu cao tần là đường truyền siêu cao.

Đường truyền siêu cao gọi là đường truyền đồng nhất nếu như dọc theo hướng truyền sóng tiết diện ngang không thay đổi và môi trường chứa trong nó là đồng nhất. Trong kỹ thuật siêu cao tần đường truyền đồng nhất được sử dụng là chủ yếu. Người ta có thể phân loại đường truyền đồng nhất ra các loại sau: đường truyền hở và đường truyền kín.

Trong đường truyền hở tại tiết diện ngang không có vòng kim loại bao bọc vùng truyền năng lượng siêu cao tần. Đường truyền hở có nhiều dạng khác nhau như: đường dây đôi, mạch dải, đường truyền sóng mặt v.v...

Đối với đường truyền kín thì trong nó phải có ít nhất một mặt vật dẫn (kim loại) để bao bọc hoàn toàn vùng truyền năng lượng siêu cao tần. Đường truyền kín là các loại ống kim loại rỗng có tiết diện khác nhau bên trong có thể nhét đầy các chất điện môi đồng nhất khác nhau hoặc không khí hay chân không. Chúng được gọi là ống dẫn sóng.

Có nhiều loại ống dẫn sóng được dùng trong kỹ thuật siêu cao tần như: ống dẫn sóng đồng trục, ống dẫn sóng chữ nhật, ống dẫn sóng trụ tròn v.v...

Ở dải sóng mét, người ta ứng dụng đường dây đôi (song hành) và cáp đồng trục hay ống dẫn sóng đồng trục để truyền dẫn năng lượng siêu cao. Đường dây đôi có cấu trúc đơn giản và cho kích thước ngang khá gọn, dễ điều chỉnh phối hợp. Nhưng ở dải sóng decimet, ống dẫn sóng đồng trục hay cáp đồng trục được dùng phổ biến để truyền dẫn năng lượng siêu cao. Đường dây đôi không được sử dụng trong dải sóng này vì tổn hao do bức xạ và hiệu ứng bề mặt.

Trong dải sóng centimet, đường truyền siêu cao phổ biến là các ống dẫn sóng chữ nhật và trụ tròn vì nó cho tiêu hao nhỏ, kích thước phù hợp, ống dẫn sóng đồng trục hay cáp đồng trục ít được dùng vì tổn hao do hiệu ứng bề mặt ở lõi trong và tổn hao trong điện môi rất lớn. Nó chỉ dùng ở khoảng cách ngắn và công suất nhỏ.

Trong dải milimet, các ống dẫn sóng chữ nhật và tròn không được dùng phổ biến do kích thước nhỏ, khó chế tạo và tiêu hao lớn. Ở dải sóng này, đường truyền siêu cao phổ biến là mạch dải, đường truyền sóng mặt như: ống dẫn sóng điện môi, dây dẫn đơn có phủ chất điện môi.

Trong chương này chúng ta sẽ tìm trường điện từ tồn tại và truyền lan trong các dạng đường truyền siêu cao phổ biến như: ống dẫn sóng chữ nhật, ống dẫn sóng trụ tròn, ống dẫn sóng hoặc cáp đồng trục, ống dẫn sóng điện môi, đường dây đôi, mạch dải vv...Ta cũng tiến hành xét điều kiện truyền lan các dạng trường TEM, TE, TM trong chúng và nghiên cứu các đại lượng đặc trưng cho trường và cho đường truyền để từ đó áp dụng chúng có hiệu quả nhất khi truyền dẫn năng lượng siêu cao.

## § 1.2. BÀI TOÁN TÌM TRƯỜNG ĐIỆN TỪ ĐỐI VỚI ĐƯỜNG TRUYỀN ĐỒNG NHẤT

### a) Bài toán

Với một số đường truyền đồng nhất có cấu trúc tương đối đơn giản (như ống dẫn sóng chữ nhật, ống dẫn sóng trụ tròn, ống dẫn sóng hay cáp đồng trục, ống dẫn sóng điện môi phẳng hay trụ tròn hai lớp) ta có thể áp dụng phương pháp lý thuyết trường điện từ để tìm trường điện từ truyền lan trong chúng. Tức là ta có thể tìm nghiệm của phương trình Macxoen với các điều kiện bờ cụ thể của các dạng đường truyền trên. Để cho đơn giản ta xét với trường điện từ điều hòa với tần số vòng  $\omega$  (thừa số phụ thuộc vào thời gian ta lấy là hàm  $e^{i\omega t}$ ) đặt trong môi trường điện môi đồng nhất và đẳng hướng. Khi xét các quá trình sóng truyền trong đường truyền đồng nhất ta không tính đến vai trò của nguồn. Với điều nói trên hệ phương trình Macxoen cho trường điều hòa trong đường truyền đồng nhất không tiêu hao có dạng:

$$\begin{aligned} \text{rot } \vec{H}_m &= i\omega\epsilon \vec{E}_m \\ \text{rot } \vec{E}_m &= -i\omega\mu \vec{H}_m \\ \text{div } \vec{E}_m &= 0 \\ \text{div } \vec{H}_m &= 0 \end{aligned} \tag{1.2.1}$$

Với điều kiện bờ:

$$E_t \Big|_S = \psi \tag{1.2.2}$$

Ở đây các  $\vec{E}_m$ ,  $\vec{H}_m$  là các vectơ biên độ phức của cường độ điện trường và từ trường.  $E_t$  là thành phần tiếp tuyến của cường độ điện trường,  $S$  là mặt giới hạn của đường truyền,  $\epsilon$  và  $\mu$  là hằng số điện môi (hay độ điện thẩm) và hằng số từ môi (hay độ từ thẩm) của môi trường.



Để tìm nghiệm của hệ (1.2.1) với điều kiện bờ (1.2.2) ta chuyển nó về dạng các phương trình sóng cho các vectơ  $\vec{E}_m$  và  $\vec{H}_m$  và được các phương trình thuần nhất sau:

$$\nabla^2 \vec{E}_m + k^2 \vec{E}_m = 0 \quad (1.2.3)$$

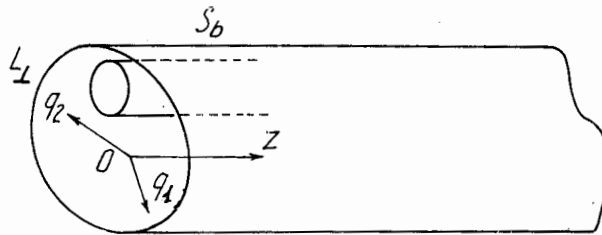
$$\nabla^2 \vec{H}_m + k^2 \vec{H}_m = 0$$

Ở đây  $k = \omega \sqrt{\epsilon\mu}$  (1.2.4)

Đến đây ta thấy bài toán tìm trường điện từ trong đường truyền đồng nhất là bài toán tìm nghiệm của hệ phương trình sóng thuần nhất (1.2.3) với điều kiện bờ (1.2.2).

### b) Tìm nghiệm phương trình sóng

Phương trình sóng (1.2.3) có thể tìm nghiệm theo các phương pháp khác nhau. Ta nhận thấy rằng: đường truyền siêu cao đồng nhất có trục truyền sóng là thẳng và tiết diện ngang không đổi dọc theo trục truyền sóng. Vì vậy khi áp dụng hệ tọa độ trụ tổng quát ta có thể tìm nghiệm của các phương trình sóng (1.2.3) theo phương pháp chung rất thuận tiện cho các dạng khác nhau của đường truyền siêu cao đồng nhất (hình 1.1).



HÌNH 1.1

Trục Oz của hệ ta lấy song song với trục truyền sóng của đường truyền, hai trục tọa độ ngang khác có tọa độ là  $q_1, q_2$  nằm trong mặt phẳng tiết diện ngang của đường truyền đồng nhất. Mặt giới hạn vùng truyền dẫn ký hiệu là:  $S_{bk}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) và các đường bao ngang ký hiệu là  $L_{\perp k}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).

Áp dụng phương pháp phân ly biến số, ta có thể tìm nghiệm của các phương trình sóng (1. 2. 3) trong hệ tọa độ trụ tổng quát dưới dạng sau:

$$\vec{E}_m(q_1, q_2, z) = \vec{E}_{\perp}(q_1, q_2) \cdot F(z) \quad (1.2.5)$$

$$\vec{H}_m(q_1, q_2, z) = \vec{H}_{\perp}(q_1, q_2) \cdot F(z)$$

và tìm được dạng của hàm  $F(z) = e^{\pm\gamma z}$  (xem phụ lục III)

Ở đây  $\gamma = \alpha + i\beta$  (1.2.6) là hằng số truyền của sóng dọc theo trục z của đường truyền,  $\alpha$  là hệ số tiêu hao,  $\beta$  là hệ số pha của sóng. Như vậy các quá trình sóng truyền dọc trục z của đường truyền phụ thuộc vào tọa độ z đều có thể biểu diễn qua hàm mũ  $e^{\pm\gamma z}$ .

Dấu trừ ở số mũ của nó ứng với sóng truyền theo hướng trục z dương, còn dấu

cộng ứng với sóng truyền theo hướng ngược lại. Từ nay về sau ta chỉ sử dụng hàm  $e^{-\gamma z}$ . Tức là chọn hàm  $F(z)$  có dạng:

$$F(z) = e^{-\gamma z} \quad (1.2.7)$$

Các  $\vec{E}_\perp$ ,  $\vec{H}_\perp$  là các vectơ cường độ điện, từ trường phụ thuộc vào các tọa độ ngang  $q_1, q_2$ .

Ta đặt:

$$\vec{E}_\perp(q_1, q_2) = \vec{E}_q(q_1, q_2) + \bar{z}_0 \cdot E_z(q_1, q_2) \quad (1.2.8)$$

$$\vec{H}_\perp(q_1, q_2) = \vec{H}_q(q_1, q_2) + \bar{z}_0 \cdot H_z(q_1, q_2)$$

Các  $\vec{E}_q$ ,  $\vec{H}_q$  là các thành phần ngang của trường, còn  $E_z$ ,  $H_z$  là các thành phần dọc theo trục  $z$  của trường,  $\bar{z}_0$  là vectơ đơn vị hướng theo trục  $z$ . Vì trường phụ thuộc vào tọa độ  $z$  có dạng của biểu thức (1.2.7) nên toán tử Laplace trong tọa độ trụ tổng quát có thể viết:

$$\nabla^2 = \nabla_q^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla_q^2 + \gamma^2 \quad (1.2.9)$$

$\nabla_q^2$  là toán tử Laplace tác động chỉ lên các tọa độ ngang  $q_1, q_2$ .

Từ các biểu thức (1.2.5), (1.2.7), (1.2.8) và (1.2.9) ta chuyển được các phương trình sóng (1.2.3) về dạng đơn giản hơn sau:

$$\nabla_q^2 \vec{E}_q + \chi^2 \vec{E}_q = 0 \quad (1.2.10)$$

$$\nabla_q^2 \vec{H}_q + \chi^2 \vec{H}_q = 0$$

$$\nabla_q^2 E_z + \chi^2 E_z = 0 \quad (1.2.11)$$

$$\nabla_q^2 H_z + \chi^2 H_z = 0$$

$$\text{Ở đây } \chi^2 = k^2 + \gamma^2 \quad (1.2.12)$$

được gọi là số sóng ngang, nó liên quan đến dạng cụ thể của tiết diện ngang đường truyền đồng nhất.

Từ hệ thống phương trình Macxoen (1.2.1) các thành phần ngang của cường độ điện từ trường có thể biểu diễn qua các thành phần dọc của chúng (xem phụ lục III) theo biểu thức sau:

$$\chi^2 \vec{E}_q = -\gamma \nabla_q E_z + i\omega\mu [\bar{z}_0 \times \nabla_q H_z] \quad (1.2.13)$$

$$\chi^2 \vec{H}_q = -\gamma \nabla_q H_z - i\omega\varepsilon [\bar{z}_0 \times \nabla_q E_z]$$

$$\text{Ở đây } \nabla = \nabla_q + \bar{z}_0 \cdot \gamma \quad (1.2.14)$$

là toán tử Gradien,  $\nabla_q$  là các thành phần ngang của nó trong tọa độ trụ tổng quát (xem phụ lục III). Như vậy việc tìm nghiệm của các phương trình sóng (1.2.3) chuyển về việc tìm nghiệm của các phương trình sóng (1.2.11) cho các thành phần dọc của trường  $E_z$ ,  $H_z$  và áp dụng biểu thức (1.2.13).