

LỜI NÓI ĐẦU

Anten là một bộ phận quan trọng không thể thiếu trong bất kỳ hệ thống vô tuyến sử dụng sóng điện từ, nó quyết định rất nhiều đến hiệu năng làm việc của các tuyến thông tin liên lạc. Ngoài ra, trong thông tin vô tuyến anten là một hệ thống cho phép truyền và nhận năng lượng trường điện từ giữa máy phát và máy thu mà không cần bất cứ phương tiện truyền dẫn tập trung nào: như cáp đồng, cáp quang hay ống dẫn sóng. Trong nhiều ứng dụng, anten hoàn toàn có thể so sánh được với các phương tiện truyền dẫn khác để truyền tải năng lượng trường điện từ. Đặc biệt trong các hệ thống thông tin tần số cao, anten càng thể hiện được sự vượt trội của mình trong việc truyền tải trường điện từ.

Giáo trình Kỹ thuật anten được biên soạn theo chương trình của Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – Đại học Thái Nguyên, trên cơ sở sinh viên đã được học môn Lý thuyết Trường điện từ, Trường điện từ và truyền sóng, với mục đích cung cấp cho sinh viên các kiến thức căn bản nhất về lý thuyết và kỹ thuật anten. Giáo trình này gồm 5 chương:

Chương 1: Truyền lan sóng điện từ

Chương 2: Lý thuyết chung về anten

Chương 3: Anten bức xạ mặt

Chương 4: Anten chấn tử

Chương 5: Kỹ thuật anten

Chương 6: Anten thông minh

Sách trình bày một cách có hệ thống theo chuyên mục nhằm giúp độc giả có thể bổ túc và cập nhật những kiến thức hiện đại. Việc trình bày những khái niệm cơ bản được sắp xếp theo hướng dễ dàng tiếp cận với công nghệ đang được ứng dụng trong thực tế. Trong các chương mục, bên cạnh các nguyên lý, sách có trình bày một số ví dụ cụ thể, cuối mỗi chương đều có phần câu hỏi và bài tập.

Do hạn chế của thời lượng, nội dung sách bao gồm nhiều vấn đề khá phức tạp về lý thuyết và kỹ thuật, nên có thể có sai sót, rất mong nhận được sự góp ý của quý vị độc giả.

TM Tập thể biên soạn

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
CHƯƠNG I: TRUYỀN LAN SÓNG ĐIỆN TỪ	6
1.1. Một số tính chất cơ bản của sóng điện từ.....	6
1.2. Sự phân cực của sóng vô tuyến điện.....	7
1.2.1. Phân cực thẳng.....	8
1.2.2. Phân cực tròn	9
1.2.3. Phân cực Elipse.....	10
1.3. Phân chia sóng vô tuyến điện theo tần số và bước sóng.....	10
1.3.1 Nguyên tắc phân chia sóng vô tuyến điện.....	10
1.3.2. Các băng sóng vô tuyến điện và ứng dụng.....	11
1.4. Các phương pháp truyền lan sóng trong môi trường thực.....	12
1.4.1. Truyền lan sóng bề mặt	13
1.4.2. Truyền lan sóng không gian	14
1.4.3. Truyền lan sóng trời.....	14
1.4.4. Truyền lan sóng tự do.....	15
1.5. Công thức truyền sóng trong không gian tự do	16
CHƯƠNG II. LÝ THUYẾT ANTEN.....	18
2.1. Giới thiệu chung.....	18
2.1.1. Vị trí của anten trong thông tin vô tuyến	18
2.1.2. Quá trình vật lý của sự bức xạ sóng điện từ	20
2.1.3. Nguyên lý Huyghens.....	21
2.2. Các tham số cơ bản của anten.....	24
2.2.1. Hàm phương hướng.....	24
2.2.2. Đồ thị phương hướng	25
2.2.3. Độ rộng búp sóng	25
2.2.4. Công suất bức xạ, điện trở bức xạ và hiệu suất của anten	26
2.2.5. Hệ số hướng tính và hệ số khuếch đại của anten.....	27
2.2.6. Trở kháng vào của anten.....	29
2.2.7. Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương (EIRP)	29

2.2.8. Diện tích hiệu dụng và chiều dài hiệu dụng.....	31
2.2.9. Dải tần công tác của anten.....	32
2.2.10. Hệ số bảo vệ của anten.....	33
2.3. Các nguồn bức xạ nguyên tố	33
2.3.1. Chấn tử điện (dipole điện).....	33
2.3.2. Chấn tử từ (dipole từ).....	37
2.3.3. Nguyên tố bức xạ hỗn hợp.....	38
2.4. Nguyên lý anten thu	38
2.4.1. Bài toán khảo sát.....	38
2.4.2. Xác định suất điện động trên anten thu.....	39
2.4.3. Xác định dòng trong tải anten.....	40
2.5. Câu hỏi, bài tập	41
CHƯƠNG III. ANTEN CHẤN TỬ	42
3.1. Giới thiệu	42
3.2. Anten chấn tử đối xứng	42
3.2.1. Khái niệm về anten chấn tử đối xứng.....	42
3.2.2. Phân bố dòng điện.....	43
3.2.3. Bức xạ của chấn tử đối xứng trong không gian tự do.....	45
3.2.4. Tham số của chấn tử đối xứng	47
3.2.5. Ảnh hưởng của mặt đất đến đặc tính bức xạ của chấn tử đối xứng.....	55
3.2.6. Hệ hai chấn tử đối xứng đặt gần nhau.....	59
3.2.7. Chấn tử chủ động và chấn tử thụ động	65
3.3. Các phương pháp cấp điện cho chấn tử đối xứng	66
3.3.1. Cấp điện bằng dây song hành.....	66
3.3.2. Cấp điện bằng cáp đồng trục	70
3.3.3. Thiết bị biến đổi đối xứng dùng đoạn cáp chữ U.....	72
3.4. Anten chấn tử không đối xứng	73
3.4.1. Chấn tử không đối xứng ở dải sóng cực ngắn và sóng ngắn	73
3.4.2. Chấn tử không đối xứng ở dải sóng trung và sóng dài	78
3.4.3. Tiếp điện và phối hợp trở kháng cho anten chấn tử không đối xứng.....	88

3.5. Anten nhiều chấn tử	90
3.5.1. Dàn chấn tử đồng pha	90
3.5.2. Anten Yagi	92
3.5.3. Anten Logarit chu kỳ (loga – chu kỳ)	93
3.6. Bài tập	96
CHƯƠNG IV. ANTEN BỨC XẠ MẶT	98
4.1. Giới thiệu	98
4.2. Nguyên lý bức xạ mặt	98
4.3. Đặc điểm anten bức xạ mặt.....	100
4.4. Các kiểu anten bức xạ mặt.....	101
4.4.1. Anten Loa	101
4.4.2. Anten gương	105
4.4.3. Anten Parabol.....	105
<i>Anten hai gương- anten Cassegrain.....</i>	<i>109</i>
4.4.3. Anten khe (Anten khe trên ống dẫn sóng)	111
<i>Cấu tạo</i>	<i>111</i>
4.4.4. Anten vi dải.....	114
<i>Hình dạng cơ bản của anten vi dải</i>	<i>115</i>
4.4.5. Anten vi dải chữ nhật.....	117
4.6. Bài tập	118
CHƯƠNG V. KỸ THUẬT ANTEN	120
5.1. Giới thiệu	120
5.2. Tổng hợp đồ thị phương hướng.....	120
5.2.1. Phương pháp tần số.....	121
5.3. Mở rộng dải tần	122
5.3.1. Phương pháp cơ bản mở rộng dải tần	122
5.3.2. Thiết lập anten dải rộng	125
5.4. Giảm nhỏ kích thước anten	126
5.4.1. Phương pháp dùng tải thuần kháng để điều chỉnh phân bố dòng điện .	126
5.4.2. Phương pháp dùng đường dây sóng chậm.....	131

5.5. Bài tập	132
CHƯƠNG VI. ANTEN THÔNG MINH.....	134
6.1. Giới thiệu	134
6.1.1. Đặc điểm truyền lan sóng.....	134
6.1.2. Yêu cầu với anten	135
6.2. Anten thông minh (Smart Antenna)	135
6.2.1. Khái niệm	136
6.2.2. Tính thông minh của anten.....	136
6.2.3. Khái quát nguyên lý hoạt động của anten thông minh.....	137
6.2.4. Phân loại anten thông minh	139
6.2.5. Cấu trúc và kỹ thuật trong hệ thống anten thông minh.....	142
6.2.6. Mô hình toán của anten thông minh.....	144
6.3. Ưu nhược điểm của anten thông minh	149
6.3.1. Ưu điểm	149
6.3.2. Nhược điểm	149
6.4. Anten cho hệ thống băng siêu rộng	149
6.4.1. Giới thiệu về Ultra Wideband	149
6.4.2. Tiêu chuẩn kỹ thuật cho anten trong UWB	150
6.4.3. Anten cho hệ thống UWB	150
6.5. Bài tập	153
MỘT SỐ BÀI TẬP THAM KHẢO	154
PHỤ LỤC 1. BIỂU DIỄN VÉC TƠ VÀ CÁC HỆ THỨC.....	160
GIẢI TÍCH VÉC TƠ.....	160
BẢNG CHỮ CÁI HY LẠP.....	163
TÀI LIỆU THAM KHẢO	164

CHƯƠNG I: TRUYỀN LAN SÓNG ĐIỆN TỪ

1.1. Một số tính chất cơ bản của sóng điện từ

Sóng điện từ bao gồm hai thành phần: điện trường, ký hiệu E (V/m) và từ trường, ký hiệu H (A/m). Chúng có quan hệ mật thiết với nhau trong quá trình truyền lan và được mô tả bằng hệ phương trình Maxwell, viết ở các dạng khác nhau.

Giả sử ta xét một sóng phẳng truyền lan trong môi trường điện môi đồng nhất và đẳng hướng có các tham số hệ số điện môi ϵ và hệ số từ thẩm μ . Khi không có dòng điện và điện tích ngoài, thì hệ phương trình Maxwell biểu thị mối quan hệ giữa điện trường và từ trường được viết dưới dạng vi phân như sau:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} &= -\frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} &= -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

Nghiệm của hệ phương trình này cho ta dạng của các thành phần điện trường và từ trường là một hàm bất kỳ.

$$\begin{aligned} E_x &= F_1\left(t - \frac{z}{v}\right) + F_2\left(t + \frac{z}{v}\right) \\ H_y &= G_1\left(t - \frac{z}{v}\right) + G_2\left(t + \frac{z}{v}\right) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Trong đó: F_1, F_2, G_1, G_2 là các hàm sóng tùy ý. Z là trở kháng sóng môi trường, v là vận tốc truyền sóng.

$$G_1 = F_1/Z, G_2 = F_2/Z, Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (\Omega)$$

Vận tốc truyền sóng được xác định bằng biểu thức: (m/s)

$$V = \frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Nếu môi trường truyền sóng là chân không (còn được gọi là không gian tự do) khi đó trở kháng sóng $Z = Z_0$, $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m), $\epsilon = \epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$ (F/m), các tham số của môi trường có giá trị:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} = c$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \text{ (\Omega)}$$

Trong thực tế sóng điện từ thường biến đổi điều hòa theo thời gian. Đối với các sóng điện từ phức tạp ta có thể coi nó là tổng vô số các dao động điều hòa, nghĩa là có thể áp dụng phép phân tích Fourier để biểu thị. Trong trường hợp này khi giả thiết chỉ có sóng thuận, tức là sóng truyền từ nguồn theo phương trục z và môi trường mà không có sóng phản xạ thì các thành phần điện trường và từ trường được biểu thị như sau:

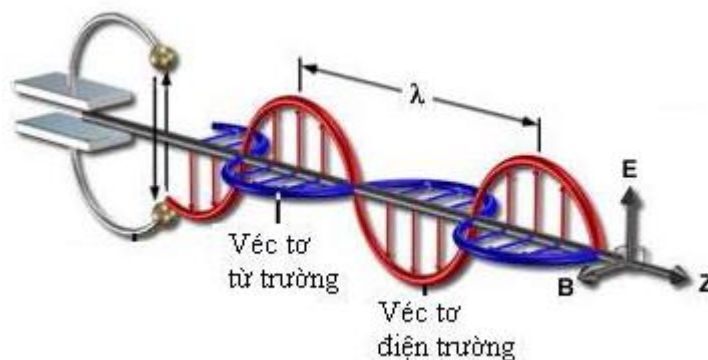
$$\vec{E} = E_m \cos \omega \left(t - \frac{z}{v} \right) = E_m \cos \omega (t - kz)$$

$$\vec{H} = \frac{E_m}{Z} \cos \omega \left(t - \frac{z}{v} \right) = \frac{E_m}{Z} \cos \omega (t - kz)$$

(1.3)

Trong đó $k = \omega/v = 2\pi/\lambda$ gọi là hệ số pha hay hằng số sóng.

Sóng điện từ có mật độ công suất (hay còn gọi là thông lượng năng lượng), được biểu thị bởi véc tơ năng lượng $\vec{k} = [\vec{E} \times \vec{H}]$. Như vậy sóng điện từ có các véc tơ \vec{E} và \vec{H} nằm trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền sóng \vec{k} . Bởi vậy sóng điện từ truyền đi trong môi trường đồng nhất đẳng hướng là sóng điện từ ngang TEM.



Hình 1.1. Sự lan truyền sóng điện từ

1.2. Sự phân cực của sóng vô tuyến điện

Trường điện từ của sóng vô tuyến điện khi đi trong một môi trường sẽ dao động theo một hướng nhất định. Phân cực của sóng điện từ chính là hướng dao động của trường điện từ. Việc sử dụng các phân cực khác nhau của

sóng điện từ có một ý nghĩa rất lớn trong việc sử dụng hiệu quả tần số trong thông tin vô tuyến.

Trường tại vùng xa của anten có dạng sóng phẳng TEM và được xác định bằng vectơ Pointing: $\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}]$. Điều này có nghĩa là các vectơ \vec{E} và \vec{H} nằm trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền sóng \vec{k} .

Phương của đường do đầu mút của véc tơ trường điện vẽ lên sẽ xác định phân cực sóng. Trường điện và trường từ là các hàm thay đổi theo thời gian. Trường từ thay đổi đồng pha với trường điện và biên độ của nó tỷ lệ với biên độ của trường điện, vì thế ta chỉ cần xét trường điện. Có ba loại phân cực sóng vô tuyến điện: phân cực thẳng, phân cực tròn và phân cực elip.

1.2.1. Phân cực thẳng

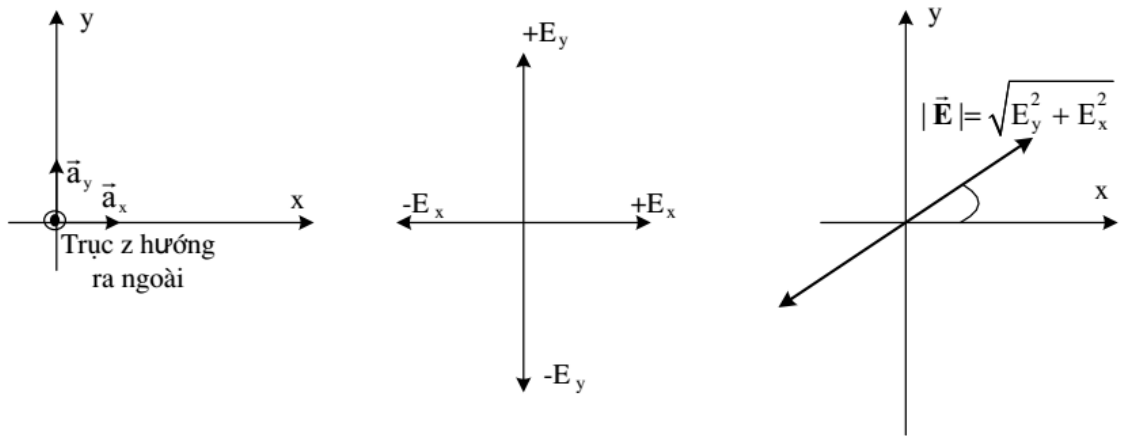
Hầu hết truyền dẫn vô tuyến sử dụng phân cực tuyến tính, trong đó phân cực đứng được gọi là phân cực trong đó trường điện vuông góc với mặt đất và phân cực ngang được gọi là phân cực trong đó trường điện song song với mặt đất. Giả thiết rằng phương ngang và đứng được coi là trục x và y (hình 1.2). Tại một điểm nào đó trong không gian, vectơ trường của sóng được biểu thị bởi các thành phần thẳng đứng và nằm ngang như sau:

$$\begin{aligned} \vec{E}_y &= \vec{a}_y E_y \sin \omega t \\ \vec{E}_x &= \vec{a}_x E_x \sin \omega t \end{aligned} \quad (1.4)$$

Trong đó \vec{a}_y , \vec{a}_x là các vectơ đơn vị trong phương đứng và phương ngang. E_y , E_x là giá trị đỉnh (hay biên độ) của trường điện trong phương đứng và phương ngang. Trường tổng sẽ là vectơ E hợp với trục ngang một góc

được xác định như sau: $\alpha = \arctan g \frac{E_y}{E_x}$

Trong trường hợp này ta thấy vectơ \vec{E} không biến đổi. Độ dài của vectơ thay đổi theo thời gian nhưng đầu mút của vectơ luôn nằm trên đường thẳng cố định trùng với phương của vectơ có góc nghiêng α (hình 2c). Đó là hiện tượng phân cực đường thẳng của sóng điện từ. Khi $\alpha = 0^\circ$ ta có sóng phân cực ngang, lúc này vectơ \vec{E} luôn song song với mặt đất; còn khi $\alpha = 90^\circ$ ta có sóng phân cực đứng, vectơ \vec{E} luôn vuông góc với mặt đất.



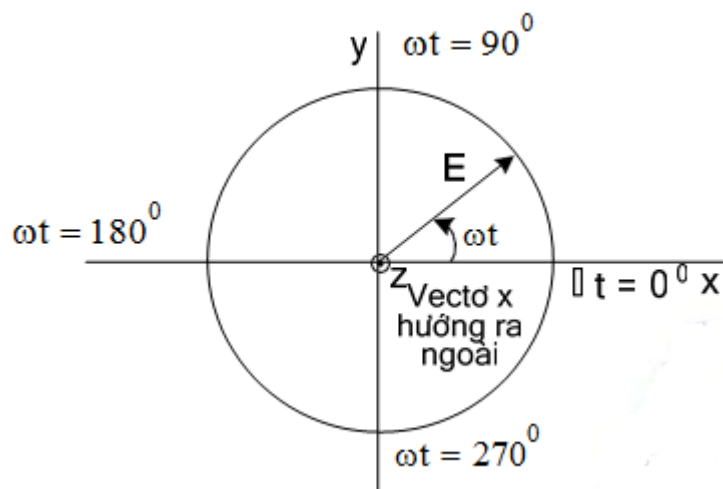
Hình 1.2. Các thành phần ngang và đứng của phân cực thẳng

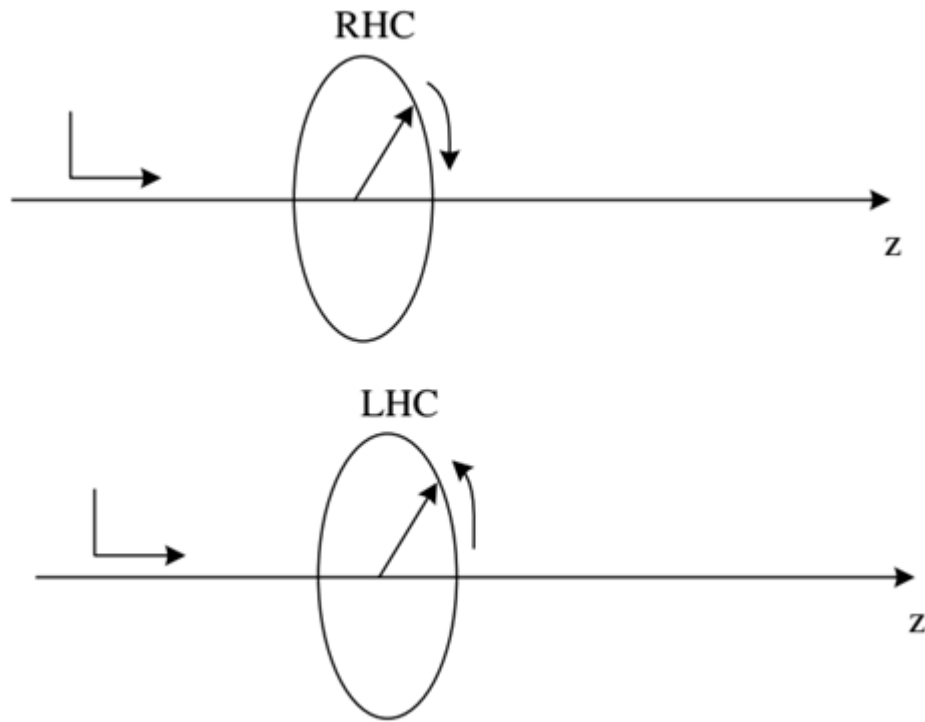
1.2.2. Phân cực tròn

Khi các thành phần thẳng đứng và nằm ngang có biên độ bằng nhau (ký hiệu là E_0) nhưng một trường nhanh pha hơn 90° . Các phương trình thể hiện chúng trong trường hợp này như sau:

$$\begin{aligned}\vec{E}_y &= \vec{a}_y E_0 \sin \omega t \\ \vec{E}_x &= \vec{a}_x E_0 \cos \omega t\end{aligned}\quad (1.5)$$

Biên độ vectơ tổng là E_0 . Trong trường hợp này, vectơ \vec{E} có biên độ không đổi nhưng hướng của nó thay đổi liên tục theo thời gian với quy luật ωt . Nói cách khác, vectơ \vec{E} quay quanh gốc của nó trong mặt phẳng xy với vận tốc góc ω . Đầu mút của vectơ trường điện vẽ lên đường tròn có bán kính bằng độ dài vectơ. Đó là hiện tượng phân cực tròn.





Hình 1.3. Hướng của phân cực tròn được định nghĩa bởi phương quay của vectơ điện nhưng điều này đòi hỏi ta phải quan sát cả chiều quay của vectơ. Theo định nghĩa của IEEE thì phân cực tròn tay phải (RHC) là phân cực quay theo chiều kim đồng hồ khi nhìn dọc theo phương truyền sóng (hình 1.3), còn phân cực tròn tay trái (LHC) là phân cực quay ngược chiều kim đồng hồ khi nhìn dọc theo phương truyền sóng. Phương truyền sóng dọc theo trục z dương.

1.2.3. Phân cực Elipse

Trong trường hợp tổng quát hơn sóng điện từ có dạng phân cực elip. Điều này xảy ra khi hai thành phần điện trường theo phương x và y có dạng:

$$\begin{aligned}\vec{E}_y &= \vec{a}_y E_y \sin \omega t \\ \vec{E}_x &= \vec{a}_x E_x \cos(\omega t + \delta)\end{aligned}\tag{1.6}$$

Tỷ số sóng phân cực elip là tỷ số giữa trục chính và trục phụ của elip. Phân cực elip trục giao xảy ra khi một sóng có cùng tỷ số phân cực nhưng phương quay ngược chiều.

1.3. Phân chia sóng vô tuyến điện theo tần số và bước sóng

1.3.1 Nguyên tắc phân chia sóng vô tuyến điện

Sóng điện từ nói chung đã được ứng dụng rất rộng rãi trong đời sống ở

nhiều lĩnh vực khác nhau như y học, quốc phòng, thăm dò tài nguyên khoáng sản, nghiên cứu vũ trụ, thông tin liên lạc...Dựa vào tính chất vật lý, đặc điểm truyền lan để phân chia sóng vô tuyến điện thành các băng sóng khác nhau.

Sóng cực dài: Những sóng có bước sóng lớn hơn 10.000 m (tần số thấp hơn 30 kHz). Sóng dài: Những sóng có bước sóng từ 10.000 đến 1.000 m (Tần số từ 30 đến 300 kHz)

Sóng trung: Những sóng có bước sóng từ 1.000 đến 100 m (Tần số từ 300 kHz đến 3MHz)

Sóng ngắn: Những sóng có bước sóng từ 100 đến 10 m (Tần số từ 3 đến 30 MHz). Sử dụng cho thông tin phát thanh điều tần, truyền hình.

Sóng cực ngắn: Những sóng có bước sóng từ 10 m đến 1mm (Tần số từ 30 đến 300.000 MHz). Sóng cực ngắn được chia nhỏ hơn thành một số băng tần số.

Tiếp đến là các băng sóng gần ánh sáng, hồng ngoại, ánh sáng trắng, tia cực tím, tia X... Khoảng tần số từ 30 Hz đến 3000 GHz được chia thành 11 băng tần như trong bảng 1.1

1.3.2. Các băng sóng vô tuyến điện và ứng dụng

Mỗi băng sóng được ứng dụng cho các hệ thống thông tin khác nhau do đặc điểm truyền lan sóng trong các môi trường thực.

Băng sóng cực dài sử dụng ở lĩnh vực vật lý, thông tin vô tuyến đạo hàng, thông tin trên biển.

Băng sóng dài và băng sóng trung được sử dụng cho thông tin phát thanh nội địa, điều biên; thông tin hàng hải; vô tuyến đạo hàng.

Băng sóng ngắn sử dụng cho phát thanh điều biên cự ly xa và một số dạng thông tin đặc biệt

Băng sóng mét được sử dụng cho phát thanh điều tần và truyền hình.

Băng sóng decimét được sử dụng cho truyền hình, các hệ thống thông tin vi ba số băng hẹp, thông tin di động.

Băng sóng centimét được sử dụng cho thông tin vi ba số băng rộng, thông tin vệ tinh.

Băng sóng milimét được sử dụng hạn chế cho thông tin vệ tinh với băng Ka, dùng cho thông tin vũ trụ.

Tên băng tần (băng sóng)	Ký hiệu	Phạm vi tần số
--------------------------	---------	----------------

Tần số vô cùng thấp	ULF	30 – 300 Hz
Tần số cực thấp	ELF	300 – 3000 Hz
Tần số rất thấp	VLF	3 – 30 kHz
Tần số thấp (sóng dài)	LF	30 – 300 kHz
Tần số trung bình (sóng trung)	MF	300 – 3000 kHz
Tần số cao (sóng ngắn)	HF	3 – 30 MHz
Tần số rất cao (sóng mét)	VHF	30 – 300 MHz
Tần số cực cao (sóng decimet)	UHF	300 – 3000 MHz
Tần số siêu cao (sóng centimet)	SHF	3 – 30 GHz
Tần số vô cùng cao (sóng milimet)	EHF	30 – 300 GHz
Dưới milimet		300 – 3000 GHz

1.4. Các phương pháp truyền lan sóng trong môi trường thực

Sơ lược về bầu khí quyển:

Bầu khí quyển của trái đất được chia làm 3 vùng chính: tầng đối lưu, tầng bình lưu và tầng điện ly. Biên giới giữa các tầng này không rõ ràng và thay đổi theo mùa và theo vùng địa lý. Tính chất của các vùng này rất khác nhau.

Tầng đối lưu là khoảng không gian tính từ bề mặt trái đất lên đến độ cao 6 đến 11 km. Nhiệt độ của không khí trong tầng đối lưu thay đổi theo độ cao (nhiệt độ giảm khi độ cao tăng). Ví dụ nhiệt độ trên bề mặt trái đất là 10⁰C có thể giảm đến -55⁰C tại biên trên của tầng đối lưu.

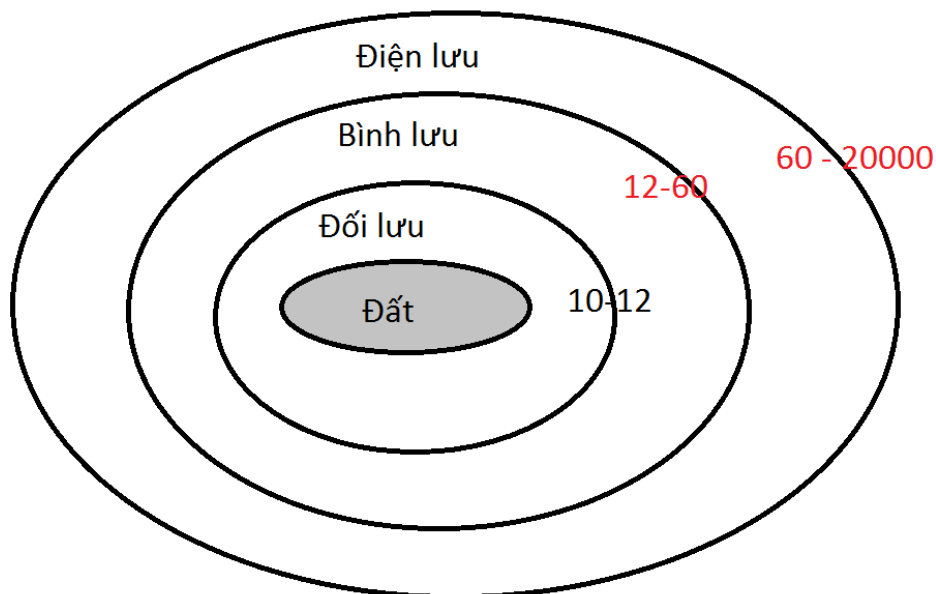
Tầng bình lưu bắt đầu từ biên trên của tầng đối lưu và có phạm vi khoảng 50 km. Đặc điểm của tầng này là nhiệt độ hầu như không thay đổi theo độ cao.

Tầng điện ly tồn tại ở độ cao khoảng từ 60 km đến 600 km. Lớp khí quyển ở tầng này rất mỏng và bị ion hóa rất mạnh chủ yếu là do bức xạ của mặt trời, ngoài ra còn có bức xạ của các vì sao, các tia vũ trụ, chuyển động của các thiên thạch tạo thành một miền bao gồm chủ yếu là các điện tử tự do và các ion.

Bên cạnh đó, do tính chất vật lý của mỗi băng sóng mà mỗi băng sóng có phương thức truyền lan thích hợp để đạt được hiệu quả nhất.

Do đó, tùy theo môi trường truyền sóng có bốn phương thức truyền lan sau: truyền lan sóng bề mặt, truyền lan sóng không gian, truyền lan sóng trời

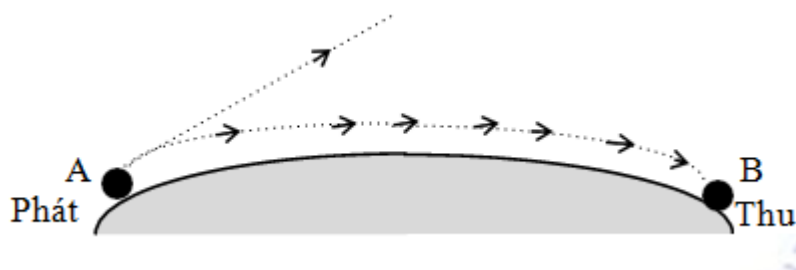
(sóng điện ly), và truyền lan sóng tự do. Sóng bề mặt và sóng không gian đều được gọi là sóng đất (cùng truyền lan trong tầng đối lưu) tuy nhiên chúng có sự khác nhau rõ rệt.



Hình 1. 4. Các vùng truyền sóng trong bầu khí quyển trái đất

1.4.1. Truyền lan sóng bề mặt

Sóng bề mặt truyền lan tiếp xúc trực tiếp với bề mặt trái đất. Bề mặt quả đất là một môi trường bán dẫn điện, khi một sóng điện từ bức xạ từ một anten đặt thẳng đứng trên mặt đất, các đường sức điện trường được khép kín nhờ dòng dẫn trên bề mặt quả đất như chỉ ra ở hình 1.5. Nếu gặp vật chắn trên đường truyền lan, sóng sẽ nhiễu xạ qua vật chắn và truyền lan ra phía sau vật chắn.



Hình 1.5: Quá trình truyền lan sóng bề mặt

Như vậy sự truyền lan sóng bề mặt có thể dùng để truyền tất cả các băng sóng. Tuy nhiên, sóng bề mặt bị suy giảm nhiều do sự hấp thụ của trái đất. Sự suy giảm phụ thuộc vào tần số, khi tần số tăng thì sự suy giảm càng

lớn. Hơn nữa khả năng nhiễu xạ qua vật chắn trên đường truyền phụ thuộc vào độ cao tương đối của vật chắn so với bước sóng.

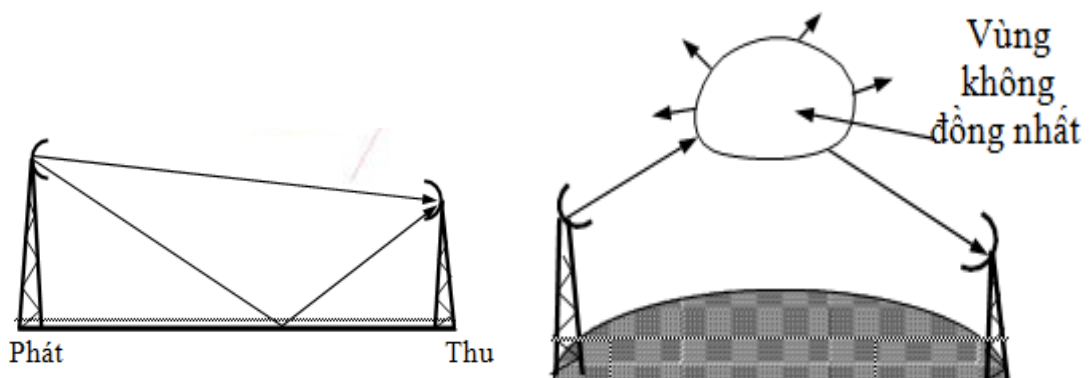
Với các loại đất có độ dẫn điện lớn như mặt biển, đất ẩm thì sóng ít bị suy hao trong đất, làm cho cường độ trường tại điểm thu tăng lên. Các sóng vô tuyến điện có bước sóng lớn khả năng nhiễu xạ mạnh và bị mặt đất hấp thụ nhỏ. Bởi vậy sóng bề mặt được sử dụng để truyền lan các băng sóng dài và sóng trung như trong hệ thống phát thanh điều biên, hay sử dụng cho thông tin trên biển

1.4.2. Truyền lan sóng không gian

Lớp khí quyển bao quanh quả đất có độ cao từ 0 đến 11km (với tầng đối lưu tiêu chuẩn), gọi là tầng đối lưu. Các hiện tượng thời tiết như sương mù mưa, bão, tuyết... đều xảy ra trong tầng đối lưu và ảnh hưởng rất lớn đến quá trình truyền lan sóng vô tuyến điện.

Nếu hai anten thu và phát đặt cao (nhiều lần so với bước sóng công tác) trên mặt đất thì sóng có thể truyền trực tiếp từ anten phát đến anten thu, hoặc phản xạ từ mặt đất, hoặc lợi dụng sự không đồng nhất của một vùng nào đó trong tầng đối lưu để tán xạ sóng vô tuyến dùng cho thông tin gọi là thông tin tán xạ tầng đối lưu. Các phương thức thông tin như trên gọi là truyền lan sóng không gian hay sóng tầng đối lưu.

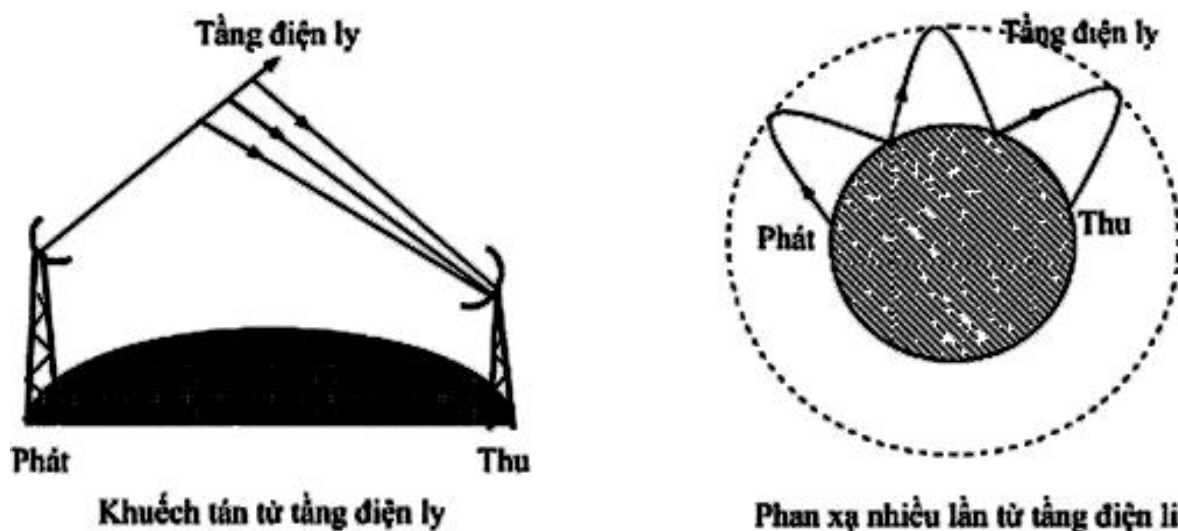
Phương thức truyền lan sóng không gian thường được sử dụng cho thông tin ở băng sóng cực ngắn (VHF, UHF, SHF), như truyền hình, các hệ thống vi ba như hệ thống chuyển tiếp trên mặt đất, hệ thống thông tin di động, thông tin vệ tinh...



Hình 1.6. Truyền lan sóng không gian phía phát và thu

1.4.3. Truyền lan sóng trời

Lớp khí quyển ở độ cao khoảng 60 km đến 600 km bị ion hoá rất mạnh chủ yếu do năng lượng bức xạ của mặt trời, tạo thành một lớp khí bao gồm chủ yếu là điện tử tự do và các ion. Lớp khí quyển đó được gọi là tầng điện ly. Tính chất đặc biệt của tầng điện ly là trong những điều kiện nhất định có thể phản xạ sóng vô tuyến điện. Lợi dụng sự phản xạ đó để sử dụng cho thông tin vô tuyến bằng cách phản xạ một hoặc nhiều lần từ tầng điện ly

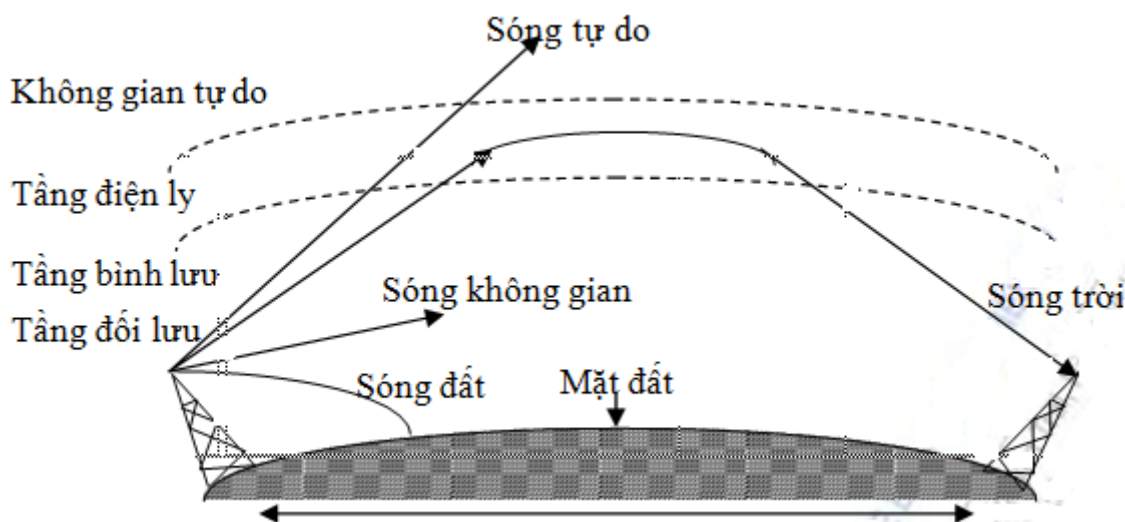


Hình 1.7. Phương thức truyền lan sóng trời

1.4.4. Truyền lan sóng tự do

Trong một môi trường đồng nhất, đẳng hướng và không hấp thụ ví dụ như môi trường chân không, sóng vô tuyến điện khi truyền lan từ điểm phát đến điểm thu sẽ đi theo đường thẳng, không ảnh hưởng đến quá trình truyền sóng.

Trong thực tế một môi trường lý tưởng như vậy chỉ tồn tại ngoài khoảng không vũ trụ. Với lớp khí quyển quả đất chỉ trong những điều kiện nhất định, khi tính toán cũng có thể coi như môi trường không gian tự do. Hình 1.7 cho ta thấy các phương pháp truyền lan sóng trong môi trường thực của khí quyển quả đất



Hình 1.8. Các phương thức truyền sóng vô tuyến điện

1.5. Công thức truyền sóng trong không gian tự do

Giả thiết có một nguồn bức xạ vô hướng (đẳng hướng) có công suất phát $P_T(W)$ đặt tại điểm A trong một môi trường không gian tự do là môi trường đồng nhất đẳng hướng và không hấp thụ, có hệ số điện môi tương đối bằng 1. Xét trường tại một điểm M cách A một khoảng r (m).

Vì nguồn bức xạ là vô hướng, môi trường đồng nhất và đẳng hướng nên năng lượng sóng điện từ do nguồn bức xạ sẽ tỏa đều ra không gian thành hình cầu. Như vậy mật độ công suất (mật độ thông lượng năng lượng) ở điểm M cách nguồn một khoảng r sẽ được xác định bằng công thức sau:

$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2} (W / m^2) \quad (1.7)$$

Theo lý thuyết trường điện từ ta có:

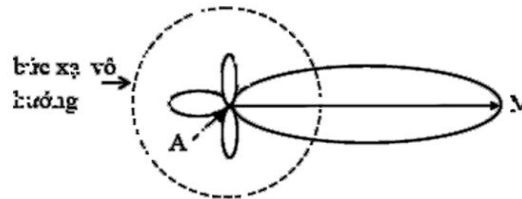
$$\begin{aligned} S_i &= E_h H_h (W / m^2) \\ H_h &= \frac{E_h}{120\pi} (A / m) \end{aligned} \quad (1.8)$$

Trong đó: E_h (V/m), H_h (A/m) là giá trị hiệu dụng của cường độ điện trường và từ trường; 120π là trở kháng sóng của không gian tự do.

Nhận xét: cường độ điện trường của sóng vô tuyến điện truyền lan trong môi trường đồng nhất đẳng hướng và không hấp thụ tỷ lệ thuận với căn hai công suất bức xạ, tỷ lệ nghịch với khoảng cách. Khoảng cách tăng thì cường độ trường giảm vì năng lượng sóng tỏa rộng ra không gian, còn gọi là sự khuếch tán tất yếu của sóng. Để hạn chế sự khuếch tán này người ta sử dụng

các bộ bức xạ có năng lượng tập trung về hướng cần thông tin để làm tăng cường độ trường lên. Đó chính là các anten có hướng, với hệ số hướng tính D hoặc hệ số khuếch đại G.

Nếu nguồn bức xạ có hướng, lúc đó năng lượng của sóng vô tuyến điện sẽ được tập trung về hướng điểm M được biểu thị bằng hệ số hướng tính hay hệ số khuếch đại như chỉ ra trên hình 1.9.



Hình 1.9. Nguồn bức xạ có hướng

Trong trường hợp này mật độ công suất được xác định theo công thức:

$$S_i = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (1.9)$$

Khi đó cường độ điện trường sẽ được tính theo công thức:

$$E_h = \frac{\sqrt{30 P_T G_T}}{r} \text{ (V / m)} \quad (1.10)$$

Nếu sóng điện từ do nguồn bức xạ biến đổi điều hoà theo thời gian, nghĩa là theo quy luật $\sin\omega t$, $\cos\omega t$, hoặc viết dưới dạng phức số thì giá trị tức thời của cường độ điện trường sẽ được biểu thị bởi công thức:

$$E(t) = \frac{\sqrt{60 P_T G_T}}{r} e^{j(\omega t - kr)} \text{ (V / m)} \quad (1.11)$$

Trong đó: ω tần số góc của sóng

$k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ hệ số sóng (hệ số pha)

CHƯƠNG II. LÝ THUYẾT ANTEN

2.1. Giới thiệu chung

Việc truyền dẫn năng lượng điện từ trong không gian có thể được thực hiện bằng hai cách sau:

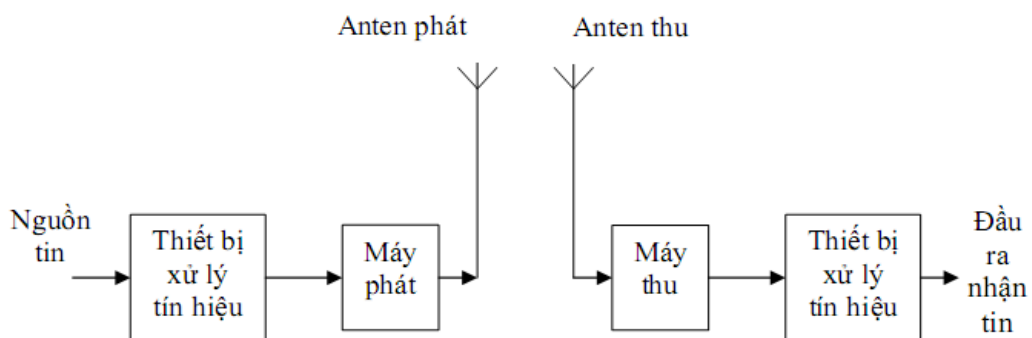
- Dùng các hệ truyền dẫn, nghĩa là các hệ dẫn sóng điện từ như đường dây song hành, đường truyền đồng trục, ống dẫn sóng kim loại hoặc điện môi... . Sóng điện từ truyền lan trong các hệ thống này thuộc loại sóng điện từ ràng buộc.

- Bức xạ sóng ra không gian. Sóng sẽ được truyền đi dưới dạng sóng điện từ tự do.

Thiết bị dùng để bức xạ sóng điện từ hoặc thu nhận sóng từ không gian bên ngoài được gọi là *Anten*. Trong chương này chúng ta sẽ phân tích vị trí, vai trò của anten trong thông tin vô tuyến, hoạt động, các thông số kỹ thuật cơ bản của anten và các nguồn bức xạ nguyên tố (các anten đơn giản nhất).

2.1.1. Vị trí của anten trong thông tin vô tuyến

Anten là một hệ cấu trúc có khả năng bức xạ và thu nhận các sóng điện từ. Anten là thiết bị không thể thiếu được trong các hệ thống thông tin vô tuyến điện, bởi vì thông tin vô tuyến điện sử dụng sóng điện từ bức xạ ra không gian để truyền lan từ nơi phát đến nơi thu. Một hệ thống truyền dẫn vô tuyến đơn giản bao gồm máy phát, máy thu, anten phát và anten thu được biểu diễn trên hình 2.1.



Hình 2.1. Hệ thống truyền tin vô tuyến đơn giản

Ở bên phát, sóng điện từ cao tần được truyền từ máy phát đến anten thông qua hệ thống fidor (feeder) dưới dạng sóng điện từ ràng buộc. Anten phát có nhiệm vụ biến đổi sóng điện từ ràng buộc trong fidor thành sóng điện

từ tự do bức xạ ra không gian, cấu tạo của anten quyết định đặc tính biến đổi năng lượng điện từ nói trên. Tại nơi thu, anten thu làm nhiệm vụ ngược lại với anten phát, nghĩa là tiếp nhận sóng điện từ tự do từ không gian bên ngoài và biến đổi chúng thành sóng điện từ ràng buộc. Sóng này sẽ được truyền qua fidor tới máy thu.

Yêu cầu của thiết bị anten-fidor là phải thực hiện việc truyền và biến đổi năng lượng sóng điện từ với hiệu suất cao nhất và không gây méo dạng tín hiệu.

Anten sử dụng trong các hệ thống thông tin khác nhau phải có những yêu cầu khác nhau, trong các hệ thống thông tin quảng bá như phát thanh, truyền hình,... thì yêu cầu anten phải có bức xạ đồng đều trong mặt phẳng ngang (mặt đất) để cho mọi hướng đều có thể thu được tín hiệu của đài phát. Nhưng trong mặt phẳng thẳng đứng anten lại phải có bức xạ định hướng sao cho hướng cực đại trong mặt phẳng này song song với mặt đất, để máy thu thu được tín hiệu lớn nhất và giảm được năng lượng bức xạ hướng không cần thiết, giảm được công suất máy phát, giảm được can nhiễu. Tuy nhiên, trong các hệ thống thông tin vô tuyến điểm – điểm như: hệ thống thông tin vi ba, thông tin vệ tinh, radar... yêu cầu anten bức xạ với tính hướng cao, nghĩa là sóng bức xạ chỉ tập trung vào một góc rất hẹp trong không gian.

Như vậy nhiệm vụ của anten không chỉ đơn thuần là chuyển đổi sóng điện từ ràng buộc thành sóng điện từ tự do và ngược lại mà phải bức xạ sóng điện từ theo những hướng nhất định với các yêu cầu kỹ thuật đề ra.

Anten có thể có nhiều cách phân loại khác nhau, thường được phân loại theo các cách sau:

- Công dụng của anten: Anten có thể được phân thành anten phát, anten thu hoặc anten phát + thu dùng chung. Thông thường anten làm nhiệm vụ cho cả phát và thu.

- Dải tần công tác của anten: Anten sóng dài, anten sóng trung, anten sóng ngắn và anten sóng cực ngắn.

- Cấu trúc của anten.

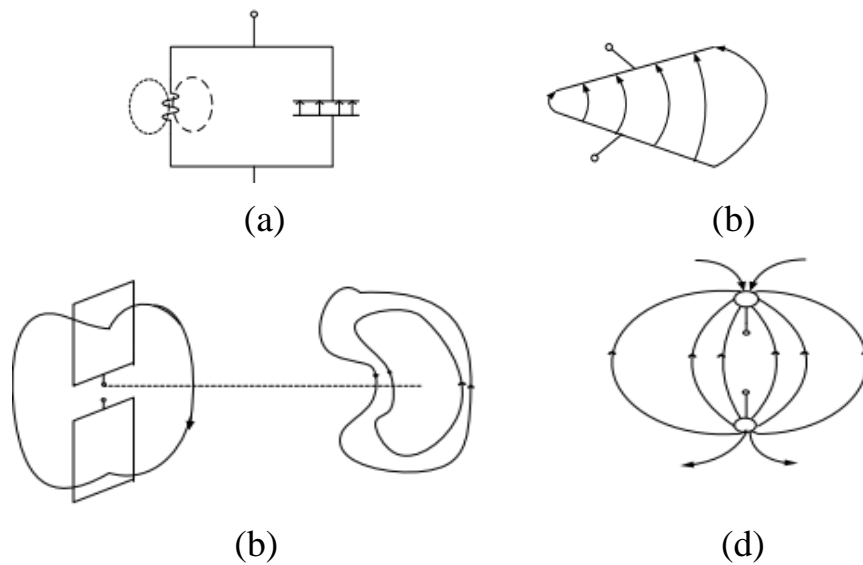
- Đồ thị phương hướng của anten: Anten vô hướng và anten có hướng.

- Phương pháp cấp điện cho anten: Anten cấp điện đối xứng, anten cấp điện không đối xứng.

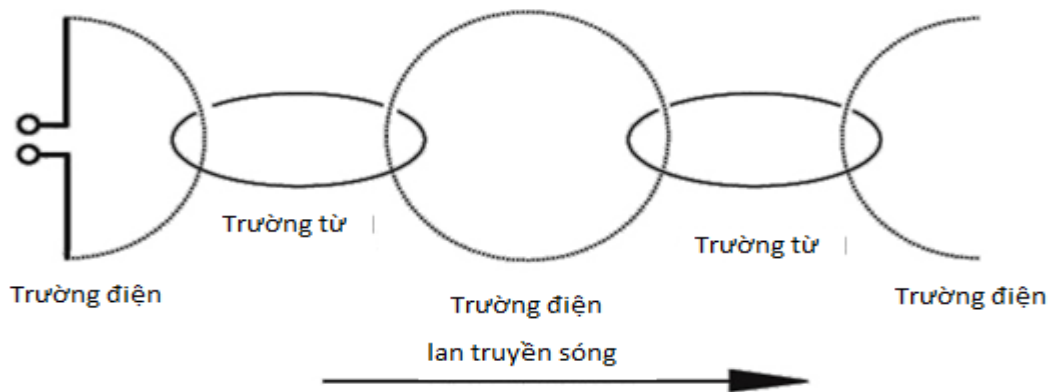
2.1.2. Quá trình vật lý của sự bức xạ sóng điện từ

Xét về nguyên lý, bất kỳ một hệ thống điện từ nào có khả năng tạo ra điện trường hoặc từ trường biến thiên đều bức xạ sóng điện từ, tuy nhiên trong thực tế sự bức xạ chỉ xảy ra trong những điều kiện nhất định.

Ví dụ xét một mạch dao động L, C như chỉ ra trong hình 2.2a. Nếu đặt vào một suất điện động biến đổi thì giữa hai má tụ sẽ phát sinh điện trường biến thiên, còn không gian trong lòng cuộn dây sẽ phát sinh từ trường biến thiên. Nhưng trường điện từ này hầu như không bức xạ ra bên ngoài mà bị ràng buộc bởi các phần tử của mạch. Dòng điện dịch chuyển qua tụ điện theo đường ngắn nhất trong khoảng không gian giữa hai má tụ, nên năng lượng điện trường bị giới hạn trong khoảng không gian ấy, còn năng lượng từ trường tập trung chủ yếu trong lòng cuộn dây. Năng lượng của toàn bộ hệ thống sẽ được bảo toàn nếu không có tổn hao nhiệt trong dây dẫn của cuộn cảm và tổn hao trong chất điện môi giữa hai bản tụ điện.



Hình 2.2. Minh họa quá trình bức xạ sóng điện từ



Hình 2.3. Quá trình truyền lan sóng điện từ

Nếu mở rộng khoảng cách giữa hai má tụ điện như trong hình 2.2b dòng điện dịch được biểu thị trùng với đường sức điện trường, sẽ không dịch chuyển trong khoảng không gian giữa hai má tụ điện mà một bộ phận sẽ lan toả ra môi trường bên ngoài và có thể truyền tới những điểm khá xa nguồn (nguồn sinh ra điện trường chính là các điện tích trên hai má tụ điện).

Tiếp tục mở rộng khoảng cách giữa hai má tụ điện như hình 2.2c thì dòng điện dịch sẽ lan toả càng nhiều và tạo ra điện trường biến thiên với biên độ lớn hơn trong khoảng không gian bên ngoài. Điện trường biến thiên được truyền lan với vận tốc ánh sáng. Khi đạt tới một khoảng cách khá xa nguồn, chúng sẽ tự khép kín và không bị ràng buộc bởi nguồn, nghĩa là không còn liên hệ với điện tích trên hai má tụ điện nữa. Còn các đường sức ở gần tụ điện không tự khép mà bắt nguồn từ điện tích dương trên má tụ và kết thúc ở má tụ có điện tích âm, do đó giá trị của điện trường ở những điểm nằm trên đường sức ấy sẽ biến thiên theo sự biến thiên của điện tích trên hai má tụ điện. Còn những điểm ở cách xa nguồn, ví dụ tại điểm M có thể đạt một giá trị nào đó trong lúc điện tích trên hai má tụ điện lại biến đổi qua giá trị không, các đường sức tự khép kín, nghĩa là đã hình thành một điện trường xoáy. Theo quy luật biến thiên (được biểu thị bởi hệ phương trình Maxwell) thì điện trường xoáy sẽ tạo ra một từ trường biến đổi, từ trường biến đổi lại tạo ra điện trường xoáy, nghĩa là hình thành quá trình truyền lan sóng điện từ.

Trường điện từ thoát khỏi sự ràng buộc của nguồn, tự nó khép kín gọi là trường điện từ tự do, năng lượng của trường điện từ này gọi là năng lượng bức xạ, phần năng lượng này là năng lượng có ích và được sử dụng cho thông tin vô tuyến. Trường điện từ bị ràng buộc bởi nguồn gọi là trường điện từ ràng buộc, năng lượng của trường điện từ này gọi là năng lượng vô công.

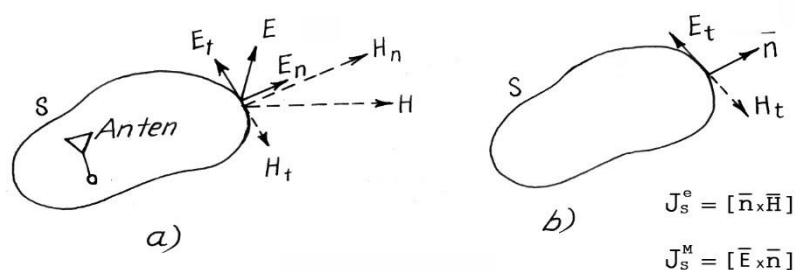
Như vậy, một thiết bị bức xạ điện từ là thiết bị trong đó điện trường hoặc từ trường biến thiên có khả năng thâm nhập.

2.1.3. Nguyên lý Huyghens

Một trong những bài toán cơ bản của lý thuyết anten là xác định các véc tơ \vec{H} và \vec{E} của trường điện từ bức xạ bởi anten ở một điểm nào đó trong không gian bao quanh anten.

Để giải thích chính xác bài toán này cần xác định chính xác phân bố của dòng điện hoặc điện tích trên anten, nghĩa là cần xác định được phân bố thực của nguồn trường trong không gian, tuy nhiên, phân bố thực của nguồn

trường chỉ có thể được xác định trong một số trường hợp thật đơn giản. Trong nhiều trường hợp thực tế, bài toán bức xạ của anten chỉ được giải một cách gần đúng, khi đó có thể dựa vào một số cơ sở vật lý đã biết để suy ra quy luật phân bố biên độ và pha của các dòng trên anten, sau đó tiến hành giải bài toán bức xạ với qui luật giả định ấy. Phương pháp điện hình để giải bài toán trên được dựa trên nguyên lý Huyghens, nghĩa là không cần dựa vào phân bố của nguồn thực của dòng điện hoặc điện tích trên anten trong không gian, mà chỉ cần căn cứ vào phân bố biên độ và pha của các thành phần tiếp tuyến của điện và từ trường trên một mặt kín S nào đó bao quanh nguồn trường (hình 2.4)



Hình 2.4. Phân bố biên độ và pha của các thành phần tiếp tuyến của điện và từ trường

Theo nguyên lý trên, ta có thể coi mỗi mặt sóng bất kỳ là tập hợp của vô số các nguồn nguyên tố thứ cấp (nguyên tố Huygens), các nguyên tố này sẽ bức xạ và hình thành những mặt sóng mới, khi đó trường tạo ra bởi nguồn thực ở một điểm nào đó trong không gian có thể được coi là trường giao thoa, tạo bởi các nguồn thứ cấp phân bố trên một mặt kín S bao quanh nguồn thực.

Nguyên lý Huygens được đề ra khoảng 300 năm trước đây, nguyên lý này được Huygens áp dụng đầu tiên để giải thích hiện tượng ánh sáng uốn qua chướng ngại vật trên đường truyền lan, khi áp dụng cho trường điện từ, nguyên lý Huygens được diễn tả dưới một hình thức khác gọi là nguyên lý tương đương của điện động học, hoặc nguyên lý dòng điện – dòng từ tương đương.

Sau đây sẽ khảo sát nội dung tóm tắt của nguyên lý này.

Giả sử một nguồn bức xạ (anten) được đặt trong không gian vô hạn, cường độ trường bức xạ được biểu thị bởi các vectơ \vec{E} và \vec{H} trên mặt S (S là một mặt kín tùy ý bao quanh anten hình 2.4) có thể được phân tích làm hai thành phần: thành phần tiếp tuyến và thành phần pháp tuyến đối với S

$$\begin{aligned}\overline{E} &= \overline{E}_t + \overline{E}_n \\ \overline{H} &= \overline{H}_t + \overline{H}_n\end{aligned}$$

(2.1)

Do tính chất tuyến tính của các phương trình Maxwell, ta có thể khảo sát riêng biệt hai trường hợp ứng với hai cặp véctơ trên mặt S, sau đó xếp chồng các kết quả nhận được.

Trường hợp 1: Trên mặt S có các thành phần trường \vec{H}_t và \vec{E}_n , các thành phần còn lại bằng không ($\vec{E}_t = 0, \vec{H}_n = 0$), trong trường hợp này, mặt S được xem là mặt dẫn điện lý tưởng vì trên đó chỉ có thành phần tiếp tuyến của từ trường và thành phần pháp tuyến của điện trường. Dòng điện mặt với mật độ với mật độ \vec{J}_S^e được xác định theo điều kiện bờ:

$$E_t = 0, H_n = 0, \vec{J}_S^e = |\vec{n} \times \vec{H}_t| \quad (2.2)$$

Trong đó:

E_t : Thành phần tiếp tuyến của cường độ điện trường trên bề mặt vật dẫn

H_n : Thành phần pháp tuyến của cường độ từ trường trên bề mặt vật dẫn

\vec{J}_S^e : Véc tơ mật độ dòng điện mặt (A/m²)

\vec{n} : Véc tơ pháp tuyến ngoài của bề mặt vật dẫn.

Trường hợp 2: Trên mặt S, có các thành phần trường \vec{E}_t và \vec{H}_n , các thành phần còn lại bằng không ($\vec{H}_t = 0, \vec{E}_n = 0$), trong trường hợp này, mặt S có thể được xem là mặt dẫn từ lý tưởng (vì trên đó chỉ có thành phần tiếp tuyến của điện trường và thành phần pháp tuyến của từ trường). Tương tự như trên, có thể coi trên mặt S có dòng từ mặt với mật độ \vec{J}_S^m được xác định theo biểu thức:

$$E_n = 0, H_t = 0, \vec{J}_S^m = -|\vec{n} \times \vec{E}_t| \quad (2.3)$$

Trong đó: \vec{J}_S^m là véc tơ mật độ dòng từ mặt (V/m²).

Các dòng điện mặt và từ mặt nói trên là các dòng mặt tương đương.

Khi đã biết các dòng mặt tương đương ta có thể xác định trường bức xạ theo phương pháp véctơ thế¹

¹ Phương pháp véc tơ thế đã trình bày trong Trường điện từ và truyền sóng

$$\vec{E} = -i\omega\mu\vec{A}^e + \frac{1}{i\omega\varepsilon_\varphi}\text{grad div}\vec{A}^e - \text{rot}\vec{A}^e \quad (2.4)$$

$$\vec{H} = -i\omega\varepsilon_\varphi\vec{A}^m + \frac{1}{i\omega\mu}\text{grad div}\vec{A}^m + \text{rot}\vec{A}^e$$

Như vậy, việc xác định trường tạo bởi các dòng trên nguồn thực được thay thế bởi việc xác định trường tạo bởi các dòng mặt tương đương trên mặt S.

2.2. Các tham số cơ bản của anten

Để đánh giá, lựa chọn hoặc sử dụng tốt một anten phải dựa trên những đặc tính và tham số của nó, do đó trong phần này sẽ trình bày những đặc tính và tham số cơ bản của anten.

2.2.1. Hàm phương hướng

Hàm phương hướng là hàm số biểu thị sự phụ thuộc của cường độ trường bức xạ bởi anten theo các hướng khác nhau trong không gian với khoảng cách không đổi, được kí hiệu là $f(\theta, \varphi)$

Hàm phương hướng được thể hiện ở các dạng sau:

Trong trường hợp tổng quát, hàm phương hướng là hàm véc tơ phức, bao gồm các thành phần theo θ và φ

$$\vec{f}(\theta, \varphi) = f_\theta(\theta, \varphi)\vec{i}_\theta + f_\varphi(\theta, \varphi)\vec{i}_\varphi \quad (2.5)$$

Trong đó: θ và φ lần lượt là góc bức xạ của anten (góc phương ngang và góc phương vị).

Hàm phương hướng biên độ biểu thị quan hệ của biên độ trường bức xạ theo hướng khảo sát với cự ly khảo sát không đổi, đó chính là biên độ của hàm phương hướng phức (cụ thể là modun của hàm phương hướng)

$$|f(\vec{\theta}, \varphi)| = \sqrt{|f_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |f_\varphi(\theta, \varphi)|^2} \quad (2.6)$$

Để đơn giản cho việc khảo sát phương hướng của một anten cũng như thiết lập và phân tích đồ thị phương hướng người ta thường dùng một hàm biên độ chuẩn hóa, là hàm số biểu thị biên độ cường độ trường ở hướng khảo sát trên biên độ cường độ trường ở hướng cực đại.

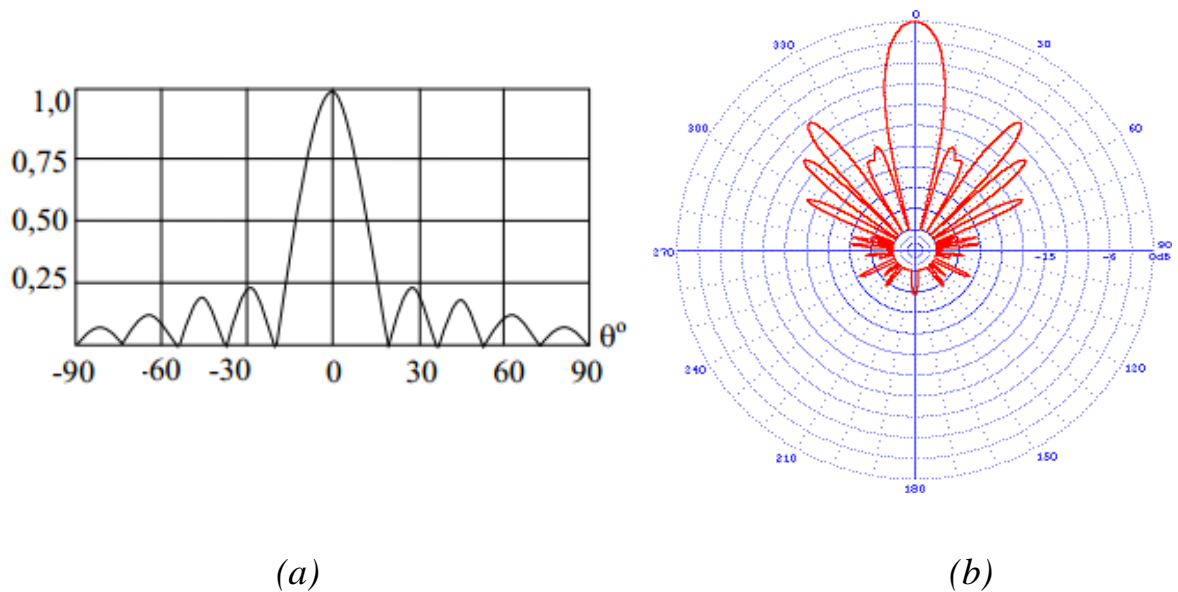
$$F(\theta, \varphi) = \frac{|f(\theta, \varphi)|}{|f(\theta, \varphi)_{\max}|}; F_{\max} = 1 \quad (2.7)$$

2.2.2. Đồ thị phương hướng

Nếu hàm phương hướng cho biết giá trị cụ thể hướng tính của một anten, thì đồ thị phương hướng được dùng để cảm nhận được bằng trực thị hướng tính của một anten, đồ thị phương hướng được vẽ bởi hàm phương hướng.

Đồ thị phương hướng của anten mô tả mối quan hệ giữa cường độ trường bức xạ (hoặc công suất bức xạ) của anten trong các hướng khác nhau với một khoảng cách khảo sát cố định (tính từ anten). Đồ thị phương hướng được biểu diễn trong không gian ba chiều nhưng rất khó để hiển thị một cách đầy đủ, thông thường đồ thị phương hướng là một mặt cắt của đồ thị hướng tính ba chiều, đó là đồ thị hướng tính hai chiều trong hệ tọa độ Cực hoặc trong hệ tọa độ vuông góc, loại đồ thị có thể hiển thị dễ dàng trên giấy (hình 2.5).

Để đơn giản đồ thị phương hướng thường được vẽ từ hàm phương hướng biên độ chuẩn hóa và được gọi là đồ thị phương hướng chuẩn hóa của anten, đồ thị này cho phép so sánh đồ thị phương hướng của các anten khác nhau.



Hình 2.5. Đồ thị phương hướng của anten

(a). Đồ thị phương hướng trong hệ tọa độ vuông góc

(b). Đồ thị phương hướng trong hệ tọa độ cực

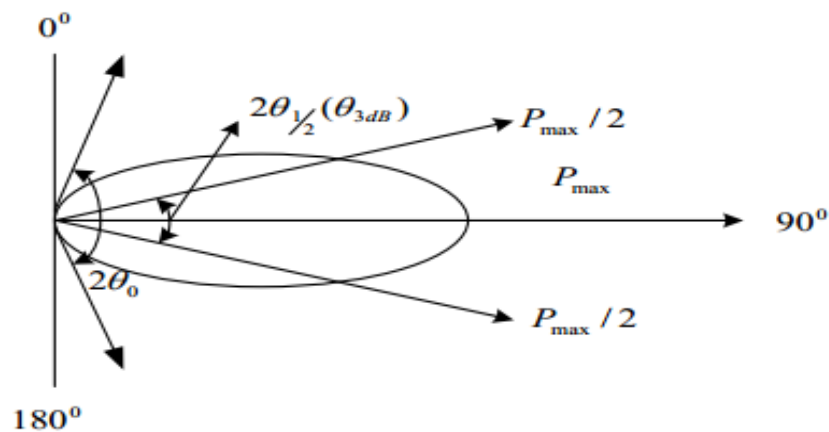
2.2.3. Độ rộng búp sóng

Từ đồ thị phương hướng trên hình 2.5 nhận thấy rằng, giá trị trường bức xạ biến đổi theo sự biến đổi của các góc phương hướng khác nhau. Vì vậy để đánh giá dạng của đồ thị phương hướng của các anten khác nhau ta sử dụng khái niệm độ rộng của đồ thị phương hướng hay còn gọi là độ rộng búp sóng.

Độ rộng búp sóng được xác định bởi góc giữa hai hướng mà theo hai hướng đó cường độ trường hoặc công suất bức xạ giảm đi một giá trị nhất định.

Có nhiều cách đánh giá độ rộng búp sóng, thường thì độ rộng búp sóng nửa công suất được sử dụng, trong đó độ rộng búp sóng nửa công suất là góc giữa hai hướng mà theo hai hướng đó công suất bức xạ giảm đi một nửa so với công suất bức xạ cực đại. Nếu tính theo giá trị của cường độ điện trường thì độ rộng búp sóng này ứng với góc giữa hai hướng mà theo hai hướng đó cường độ điện trường giảm đi $\sqrt{2}$ lần so với giá trị cực đại của anten trong tọa độ cực. Nếu tính theo đơn vị decibel (dB), khi công suất giảm đi một nửa sẽ tương ứng với công suất sẽ giảm 3 dB. Do vậy độ rộng búp sóng nửa công suất còn được gọi là độ rộng búp sóng 3 dB, ký hiệu là θ_{3dB} hay $\theta_{1/2}$ (hình 2.6).

Như vậy độ rộng búp sóng thể hiện tính chất tập trung năng lượng bức xạ theo một hướng nào đó, nếu góc θ_{3dB} càng bé thì anten đó tập trung công suất bức xạ càng mạnh.



Hình 2.6. Độ rộng của đồ thị phương hướng

2.2.4. Công suất bức xạ, điện trở bức xạ và hiệu suất của anten

Công suất đưa vào anten P_a do máy phát đưa trực tiếp đến anten hoặc thông thường qua fidor cung cấp cho anten. Trong quá trình chuyển đổi năng lượng cao tần từ máy phát thành năng lượng bức xạ sóng điện từ không thể tránh các tổn hao do nhiệt bởi vật dẫn, chất điện môi của anten, và phần mất mát do cảm ứng và che chắn bởi các linh kiện phụ như thanh đỡ bộ chiếu xạ, hay bản thân bộ chiếu xạ... Vì vậy, công suất đưa vào anten bao gồm cả công suất tổn hao P_{th} và công suất bức xạ P_{bx}

$$P_a = P_{bx} + P_{th} \quad (2.8)$$

Nếu coi công suất bức xạ của anten tương tự như công suất tiêu hao trên một điện trở tương đương R_{bx} nào đó, thì khi đó có:

$$P_a = \frac{1}{2} I^2 (R_{bx} + R_{th}) \quad (2.9)$$

Đại lượng R_{bx} được gọi là điện trở bức xạ của anten, đại lượng này chỉ mang tính chất tượng trưng và ở một mức độ nào đó có thể dùng để đánh giá khả năng bức xạ của anten.

Anten được coi là thiết bị chuyển đổi năng lượng, do đó một thông số quan trọng đặc trưng của nó là hiệu suất làm việc, hiệu suất của anten, η_A , chính là tỷ số giữa công suất bức xạ P_{bx} và công suất máy phát đưa vào anten (P_a):

$$\eta_a = \frac{P_{bx}}{P_a} = \frac{1}{1 + \frac{P_{th}}{P_{bx}}} \quad (2.10)$$

Hiệu suất của anten đặc trưng cho mức độ tổn hao công suất của anten. Thông thường hiệu suất này luôn nhỏ hơn 1.

2.2.5. Hệ số hướng tính và hệ số khuếch đại của anten

- Hệ số hướng tính của anten:

Hệ số hướng tính của anten ở hướng đã cho là tỷ số giữa mật độ công suất bức xạ của anten ở hướng đó trên mật độ công suất bức xạ của anten đẳng hướng ở cùng hướng với khoảng cách không đổi, với điều kiện công suất bức xạ của hai anten là như nhau:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{S(\theta, \varphi)}{S_0} \text{ hoặc } D(\theta, \varphi) = \frac{E^2(\theta, \varphi)}{E_0^2} \quad (2.11)$$

Trong đó:

$D(\theta, \varphi)$ là hệ số hướng tính của anten khảo sát ở hướng (θ, φ) với khoảng cách r .

$S(\theta, \varphi)$ và S_0 là mật độ công suất bức xạ của anten khảo sát ở hướng (θ, φ) , khoảng cách r và mật độ công suất bức xạ của anten vô hướng tại cùng điểm xét.

$E(\theta, \varphi)$ và E_0 là giá trị biên độ điện trường của anten khảo sát ở hướng tại khoảng cách r và giá trị biên độ cường độ điện trường của anten vô hướng tại cùng điểm xét.

Biên độ cường độ trường tại một hướng bất kỳ có quan hệ với hàm hướng tính biên độ chuẩn hóa và giá trị cường độ trường ở hướng bức xạ cực đại theo biểu thức:

$$|E(\theta, \varphi)| = |E_{\max}| \cdot |F(\theta, \varphi)| \quad (2.12)$$

Từ hai công thức trên ta có:

$$D(\theta, \varphi) = D_{\max} \cdot F^2(\theta, \varphi) \quad (2.13)$$

D_{\max} : Hệ số hướng tính ở hướng cực đại

- Hệ số khuếch đại của anten (hệ số tăng ích hay độ lợi):

Hệ số khuếch đại của anten ở hướng đã cho là tỷ số giữa mật độ công suất bức xạ của anten ở hướng đó trên mật độ công suất bức xạ của anten chuẩn ở cùng hướng với khoảng cách không đổi, với điều kiện công suất đưa vào của hai anten là như nhau và anten chuẩn (anten vô hướng) có hiệu suất bằng 1.

$$G(\theta, \varphi) = \eta_a \cdot \frac{S(\theta, \varphi)}{S_0} = \eta_a \cdot D(\theta, \varphi) \quad (2.14)$$

Hệ số khuếch đại của anten cho thấy rằng anten có hướng tính sẽ bức xạ năng lượng tập trung về hướng được chọn và giảm năng lượng bức xạ ở các hướng khác, chính vì vậy mà nó còn được có thể được gọi là hệ số tăng ích hay độ lợi của anten



Hình 2.7. Đồ thị phương hướng của anten omni-direction và anten có hướng

Chú ý rằng, ta thường chọn phương chuẩn là phương bức xạ cực đại của anten, nên sau này khi dùng các ký hiệu D và G , đó chính là hệ số hướng tính và hệ số khuếch đại ở hướng bức xạ cực đại.

Biểu diễn hệ số hướng tính và hệ số khuếch đại theo đơn vị dB:

$$D(\text{dBi}) = 10 \lg D = 10 \lg S - 10 \lg S_0 \quad (2.15)$$

Hay

$$D(\text{dBi}) = 20 \lg E - 20 \lg E_0$$

$$G(\text{dBi}) = 10 \lg G = 10 \log \eta + 10 \lg S - 10 \lg S_0$$

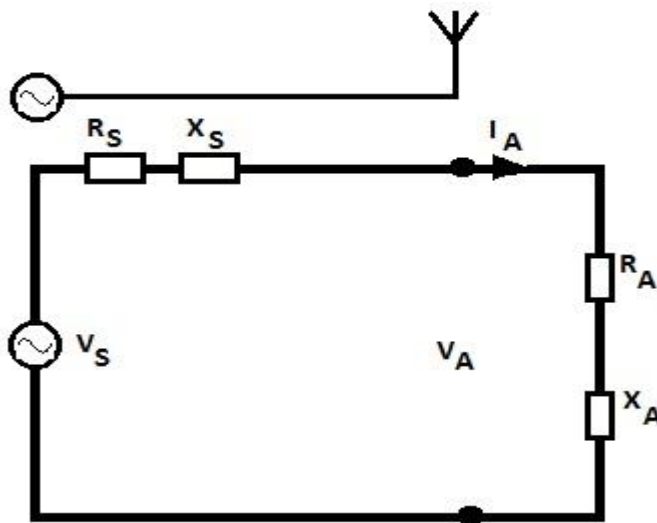
2.2.6. Trở kháng vào của anten

Khi mắc anten vào máy phát hoặc máy thu trực tiếp hay qua fidor, anten sẽ trở thành tải của máy phát hoặc máy thu, trị số của tải này được đặc trưng bởi một đại lượng gọi là trở kháng vào của anten. Trong trường hợp tổng quát, trở kháng vào là một đại lượng phức bao gồm cả phần thực (trở) phần ảo (kháng), được xác định bằng tỷ số giữa điện áp đầu vào của anten và dòng điện đầu vào

$$Z_{va} = \frac{U_a}{I_a} = R_{va} + jX_{va} \quad (2.16)$$

Trong đó:

- + Thành phần thực của nó bao gồm điện trở bức xạ và phần điện trở tổn hao.
- + Thành phần ảo của nó biểu thị phần công suất vô công không bức xạ ra ngoài.



Hình 2.8. Mạch trở kháng tương đương của anten

2.2.7. Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương (EIRP)

Công suất bức xạ của máy phát và anten phát được đặc trưng bởi tham số công suất bức xạ đẳng hướng tương đương, được xác định bởi biểu thức:

$$EIRP = P_T G_T (W) \quad (2.17)$$

Trong đó: P_T là công suất đầu ra của máy phát đưa vào anten

G_T là hệ số khuếch đại (hệ số tăng ích) của anten phát

Nếu bỏ qua suy hao từ fidor nối từ máy phát đến anten thì $P_A = P_T$.

Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương là công suất bức xạ với anten vô hướng, trong trường hợp này có thể coi $G_T = 1$.

Hệ số tăng ích G_T của anten nói lên việc tập trung công suất bức xạ của máy phát xem cung cấp cho anten vào búp sóng của anten. Công suất bức xạ đẳng hướng là công suất phát được bức xạ với anten vô hướng, trong trường hợp này có thể xem $G_T = 1$. Nếu anten có búp sóng đồ thị phương hướng càng hẹp thì giá trị EIRP của nó càng lớn, việc phát sóng với búp sóng hẹp ngoài mục đích tập trung năng lượng bức xạ theo hướng xác định còn có tác dụng hạn chế nhiễu và giảm tổn hao năng lượng trong môi trường truyền sóng.

Công thức EIRP cũng có thể tính theo đơn vị dB:

$$EIRP(dBW) = 10\lg(P_T G_T) \quad (2.18)$$

Hay

$$EIRP(dBW) = P_T(dBW) + G_T(dB)$$

Hoặc:

$$EIRP(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dB)$$

Trên một diện tích hiệu dụng A cách xa anten phát một khoảng R tương ứng với góc khối tính từ anten phát là A/R^2 thì công suất thu là:

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \cdot A = \phi A \quad (W) \quad (2.19)$$

Đại lượng $\phi = P_T G_T / 4\pi R^2$ được gọi là mật độ công suất có thứ nguyên là W/m^2 .

Ví dụ 1.1: Một anten phát có công suất bức xạ $P_{bx} = 100W$, hệ số tăng ích của anten $G_T = 10$. Giả thiết hiệu suất bức xạ 100%. Hãy xác định:

- Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương tính theo W, dBW, dBm.
- Mật độ công suất tại điểm cách xa anten 10km.
- Mật độ công suất cũng tại điểm đó nhưng với trường hợp anten vô hướng.

Giải:

- Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương

$$EIRP = P_T G_T = (100W)(10) = 1000W$$

$$EIRP(dBW) = 10\lg 1000 = 30dBW$$

$$EIRP(dBm) = 10\lg \frac{1000}{0,001} = 60dBm$$

- Mật độ công suất tại điểm cách xa anten 10km

$$\phi = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} = \frac{(100W)(10)}{4\pi(10000)^2} = 0.796 \mu W / m^2$$

c. Mật độ công suất tại điểm cách xa anten 10km của anten vô hướng

$$\phi = \frac{P_T}{4\pi R^2} = \frac{(100W)(1)}{4\pi(10000)^2} = 0,0796 \mu W / m^2$$

Ví dụ 1.2:

Một anten phát có trở kháng bức xạ là 72Ω , trở kháng tổn hao của anten là 8Ω , hệ số hướng tính là 20 và công suất máy phát đưa vào anten là 100 W. Hãy xác định:

- Hiệu suất làm việc của anten
- Hệ số khuếch đại của anten (dBi)
- Công suất bức xạ và công suất bức xạ đẳng hướng tương đương theo W, dBW và dBm

Giải:

- Hiệu suất làm việc của anten

$$\eta_a = \frac{P_{bx}}{P_{bx} + P_{th}} = 90\%$$

- Hệ số khuếch đại của anten

$$G = \eta_a D = 0,9.20 = 18$$

$$G(dBi) = 10 \lg 18 = 12,55$$

- Công suất bức xạ (chưa có hướng tính)

$$P_{bx} = \eta_a P_a = 90W$$

$$P_{bx}(dBW) = 10 \lg 90 = 19,54dBW$$

$$P_{bx}(dBm) = 10 \lg \frac{90}{0,001} = 49,54dBm$$

Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương là:

$$EIRP = P_T G_T = 100.18 = 1800W$$

$$EIRP(dBW) = 10 \lg 1800 = 32,55dBW$$

$$EIRP(dbW) = 10 \frac{1800}{0,001} = 62,55dBm$$

2.2.8. Diện tích hiệu dụng và chiều dài hiệu dụng

Khả năng làm việc của anten thu được biểu thị bởi một tham số gọi là diện tích hiệu dụng hoặc chiều dài hiệu dụng của anten. Nếu anten là anten

bức xạ mặt thì công suất thu được tại anten sẽ là tích của mật độ thông lượng công suất với diện tích hiệu dụng của anten thu.

Diện tích hiệu dụng được xác định bởi biểu thức

$$A_e = A \cdot \eta_A \quad (2.20)$$

Trong đó: A là diện tích bức xạ hay cảm ứng thực tế của anten

η_A là hiệu suất của anten

Quan hệ giữa diện tích hiệu dụng và hệ số khuếch đại của anten thu được biểu thị bởi biểu thức:

$$A_e = \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \quad (2.21)$$

Trong đó: A_e là diện tích hiệu dụng của anten (m^2)

G_R là hệ số khuếch đại của anten thu

λ là bước sóng công tác (m)

Với các anten dây, chấn tử đối xứng ... khả năng làm việc ở chế độ thu được biểu thị bằng chiều dài hiệu dụng. Nếu cường độ điện trường đặt tại điểm đặt anten thu là $E_h(V/m)$ thì sức điện động cảm ứng lên anten sẽ là:

$$\varepsilon_A = l_e \cdot E_h(V) \quad (2.22)$$

Trong đó: l_e của anten phụ thuộc vào chiều dài thực của anten và bước sóng công tác, hay nói cách khác nó phụ thuộc vào chiều dài tương đối l/λ của anten

2.2.9. Dải tần công tác của anten

Dải tần công tác của anten là khoảng tần số làm việc của anten mà trong khoảng tần số đó các thông số của anten không thay đổi hoặc thay đổi trong phạm vi cho phép.

Dải tần công tác của anten được phân làm bốn nhóm sau:

- Anten dải hẹp

$$\frac{\Delta f}{f_0} < 10\% \quad \text{hay} \quad \frac{f_{\max}}{f_{\min}} < 1,1$$

- Anten dải tần tương đối rộng

$$10\% < \frac{\Delta f}{f_0} < 50\% \quad \text{hay} \quad 1,1 < \frac{f_{\max}}{f_{\min}} < 1,5$$

- Anten dải rộng

$$1,5 < \frac{f_{\max}}{f_{\min}} < 4$$

- Anten dải rất rộng

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} > 4$$

Trong đó: $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ và $f_0, f_{\max} \cdot f_{\min}$ là tần số trung tâm, tần số cực đại và tần số cực tiểu của dải tần.

2.2.10. Hệ số bảo vệ của anten

Để giảm can nhiễu ra các hệ thống khác, đồng thời làm tăng tính hướng của anten trong các hệ thống thông tin vô tuyến thì anten yêu cầu phải bức xạ ở hướng cực đại lớn hơn một giá trị nào đó so với các hướng bức xạ khác, tính chất này được biểu thị bởi hệ số bảo vệ K_{bv} .

$$K_{bv} = \frac{E_{\max}^2}{E^2(\theta, \varphi)} = \frac{G_{\max}}{G(\theta, \varphi)} \quad (2.23)$$

Tính theo đơn vị dB ta có:

$$K_{bv}(dB) = 20 \lg E_{\max} - 20 \lg E(\theta, \varphi) \quad (2.24)$$

Hay

$$K_{bv}(dB) = G_{\max}(dBi) - G(\theta, \varphi)(dBi)$$

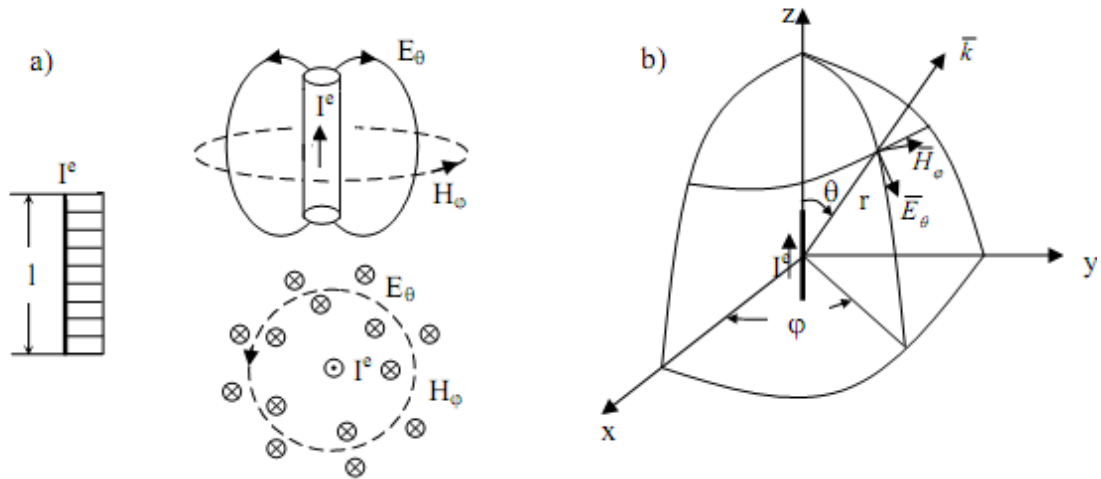
2.3. Các nguồn bức xạ nguyên tố

Theo lý thuyết về trường bức xạ thì các anten bức xạ sóng điện từ có thể được xem là tập hợp của các nguồn bức xạ đơn giản. Vì vậy khi nghiên cứu các loại anten phức tạp có thể dựa trên cơ sở nghiên cứu các anten nguyên tố, nghĩa là nguồn có kích thước hình học rất nhỏ so với bước sóng. Một trong những nguyên tố bức xạ đơn giản và thông dụng nhất là dipole Hertz, đây cũng chính là một mô hình thực tế của dipole điện (hay chấn tử điện)

2.3.1. Chấn tử điện (dipole điện)

Chấn tử điện là phần tử dẫn điện thẳng, rất mảnh, có độ dài l rất nhỏ so với bước sóng công tác, trên đó có dòng điện mà biên độ và pha được xem là đồng đều ở mọi điểm.

Phân bố dòng điện trên dipole và các đường sức điện trường, từ trường do dipole gây ra được minh họa ở hình sau:



Hình 2.25. a) Phân bố dòng và trường của dipole điện;

b) Hình vẽ tính bức xạ của dipole điện

- Khảo sát Trường tại điểm $M(r, \theta, \varphi)$ trong vùng trường xa:

Đặt dipole vào trong hệ trục tọa độ cầu, có tâm của dipole trùng với gốc của đồ thị và chiều dài của chân tử hướng theo trục z. Trường điện từ tại điểm M bất kỳ trên hình cầu có tọa độ $M(r, \theta, \varphi)$ sẽ được xác định bởi biểu thức sau:

$$\begin{aligned} \vec{E}_\theta &= \frac{ikZ}{4\pi} I^e l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \vec{i}_\theta (V/m) \\ \vec{H}_\theta &= 0 \\ \vec{E}_\varphi &= 0 \\ \vec{H}_\varphi &= \frac{ik}{4\pi} I^e l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \vec{i}_\varphi (A/m) \end{aligned} \quad (2.25)$$

Trong đó:

- + Hệ số sóng $k = 2\pi/\lambda$
 - + Z là trở kháng sóng của môi trường vật chất truyền lan (trong môi trường không khí và chân không $Z = Z_0 = 120\pi (\Omega)$)
 - + I^e là dòng điện trong dipole điện
 - + r là khoảng cách từ tâm O đến điểm khảo sát M
 - + l là chiều dài của dipole
 - + θ, φ là các góc ngẩng và góc phương vị của hệ tọa độ cầu
- Nếu thay giá trị của k và Z_0 vào biểu thức trên ta nhận được:

$$\begin{aligned} \vec{E}_\theta &= \frac{i60\pi}{\lambda} I^e l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \vec{i}_\theta \\ \vec{E}_\varphi &= 0; \vec{H}_\theta = 0 \end{aligned}$$

$$\vec{H}_\varphi = \frac{i}{2\lambda} I^e l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \vec{i}_\varphi \quad (2.26)$$

Từ các công thức trên ta có nhận xét trong vùng trường xa:

- Trường bức xạ của dipole điện là trường phân cực đường thẳng, điện trường chỉ có thành phần \vec{E}_θ và từ trường chỉ có thành phần \vec{H}_φ .

- Tại mỗi điểm khảo sát các véc tơ \vec{E}_θ và \vec{H}_φ đều có góc pha giống nhau nên năng lượng của trường bức xạ là năng lượng thực.

- Mặt phẳng E trùng với mặt phẳng kinh tuyến chứa trục chấn tử, mặt phẳng H trùng với mặt phẳng vĩ tuyến vuông với trục chấn tử.

Hàm hướng tính tổng quát của dipole điện sẽ là:

$$\vec{f}(\theta, \varphi) = -ZI^e l \sin \theta \vec{i}_\theta$$

$$|\vec{f}(\theta, \varphi)| = ZI^e l |\sin \theta|$$

$$|F(\theta)| = |\sin \theta| (\varphi = \text{const})$$

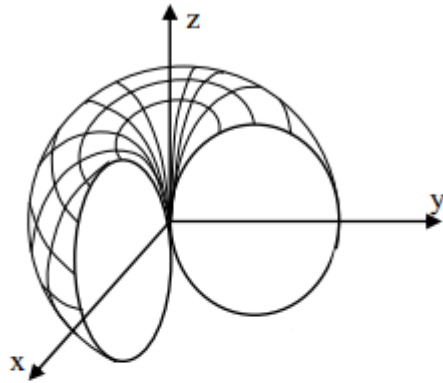
$$|F(\varphi)| = \text{const} (\theta = \text{const})$$

Như vậy hàm hướng tính của dipole chỉ phụ thuộc vào góc θ mà không phụ thuộc vào góc φ , nghĩa là trường bức xạ của dipole điện định hướng trong mặt phẳng E và vô hướng trong mặt phẳng H. Nếu chỉ xét góc $\theta = 90^\circ$ hàm hướng tính trong mặt phẳng H sẽ là:

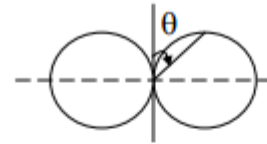
$$|F(\varphi)| = 1$$

Đồ thị phương hướng của dipole điện được xác định ở hình vẽ sau:

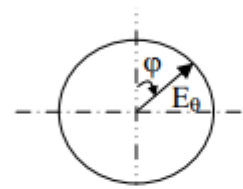
a) Trong không gian



b) Tọa độ cực

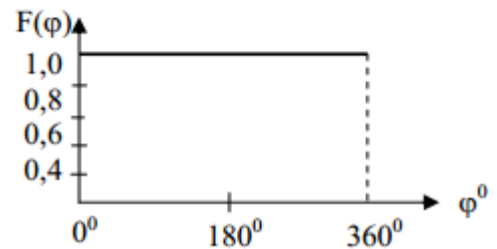
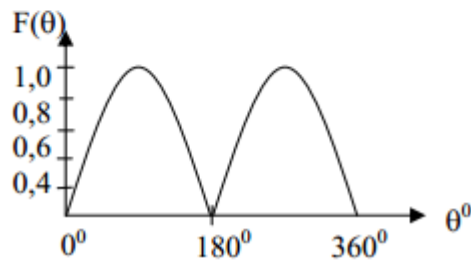


$F(\theta); \varphi = \text{const}$



$F(\varphi) = 1; \theta = \text{const}$

c) Tọa độ vuông góc



Hình 2.11. Đồ thị phương hướng của dipole điện

Công suất bức xạ của dipole điện được xác định:

$$P_{bx}^e = \frac{1}{2} \int_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \left(\frac{|E_0|^2}{Z} \right) r^2 \sin \theta d\theta \quad (2.27)$$

$$= \frac{\pi Z |I^e|^2 l}{4\lambda} \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta = \frac{\pi Z |I^e|^2}{3} \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2$$

Điện trở bức xạ của dipole điện

$$R_{bx}^e = \frac{2\pi Z}{3} \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \quad (2.28)$$

Như vậy điện trở bức xạ phụ thuộc vào chiều dài điện l/λ của dipole và các thông số của môi trường

Khi đó hệ số hướng tính của dipole điện được xác định là:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \frac{E_h^2(\theta, \varphi) 4\pi r^2}{Z P_{bx}} = \frac{3}{2} \sin^2 \theta$$

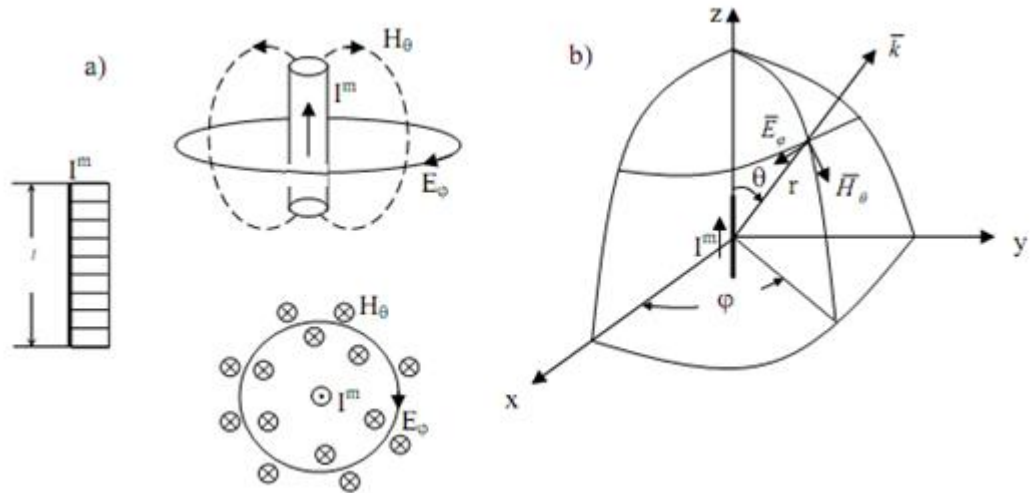
$$D_{max} = 3/2 \quad (2.29)$$

2.3.2. Chấn tử từ (dipole từ)

Tương tự như dipole điện, dipol từ là một phần tử dẫn từ thẳng rất mảnh, có chiều dài nhỏ hơn nhiều so với bước sóng công tác, trên đó dòng từ có phân bố biên độ và pha đồng đều ở tất cả mọi điểm.

Khảo sát trường bức xạ của dipole từ tương tự như dipole điện, ta thu được biểu thức sau:

$$\begin{aligned}\vec{E}_\varphi &= -\frac{ik}{4\pi} I^m l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \hat{i}_\varphi \quad (\text{V/m}) \\ \vec{E}_\theta &= 0 \\ \vec{H}_\varphi &= 0 \\ \vec{H}_\theta &= \frac{ik}{4\pi Z} I^m l \sin \theta \frac{e^{-ikr}}{r} \hat{i}_\theta \quad (\text{A/m})\end{aligned}\tag{2.30}$$



Hình 2.12. a) Phân bố dòng và trường của dipole từ

b) Hình vẽ tính bức xạ của dipole từ

So sánh công thức (2.30) và (2.26) ta thấy: khi điện trường bức xạ của dipole điện có giá trị bằng điện trường bức xạ của dipole từ thì dòng từ của dipole từ phải có giá trị gấp Z lần dòng điện của dipole điện, nghĩa là:

$$I^m = ZI^e\tag{2.31}$$

Nếu mômen điện và mô men từ của hai dipole bằng nhau thì trường tạo ra bởi dipole từ sẽ nhỏ hơn trường tạo ra bởi dipole điện Z lần, điều đó có nghĩa công suất bức xạ của dipole từ nhỏ hơn công suất bức xạ của dipole điện Z^2 lần. Công suất bức xạ của dipole điện được xác định bởi:

$$P_{bx}^m = \frac{\pi |I^m|^2}{3Z} \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2\tag{2.32}$$

Điện dẫn bức xạ của dipole từ:

$$G_{bx}^m = \frac{2\pi}{3Z} \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 (1/\Omega)$$

Hệ số hướng tính:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \frac{E_h^2(\theta, \varphi) 4\pi r^2}{Z P_{bx}} = \frac{3}{2} \sin^2 \theta$$

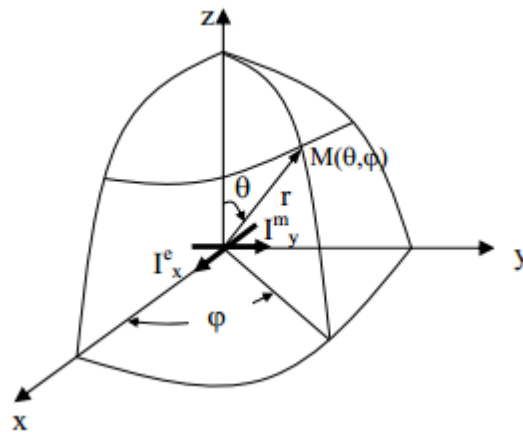
$$D_{max} = 3/2 \quad (2.33)$$

2.3.3. Nguyên tố bức xạ hỗn hợp

Nguyên tố bức xạ hỗn hợp là phần tử bức xạ bao gồm một dipole điện đặt vuông góc với một dipole từ, hình 2.13, trong đó dipole điện đặt theo trục x có dòng điện I_x^e , còn dipole từ đặt theo trục y, có dòng từ I_y^m . Giả sử độ dài của hai dipole bằng nhau và bằng l còn quan hệ biên độ giữa dòng điện và dòng từ được xác định bởi biểu thức:

$$\frac{I_y^m}{I_x^e} = aZ \quad (2.34)$$

Trong đó a là hệ số thực hoặc số phức, Z là trở kháng sóng của môi trường.

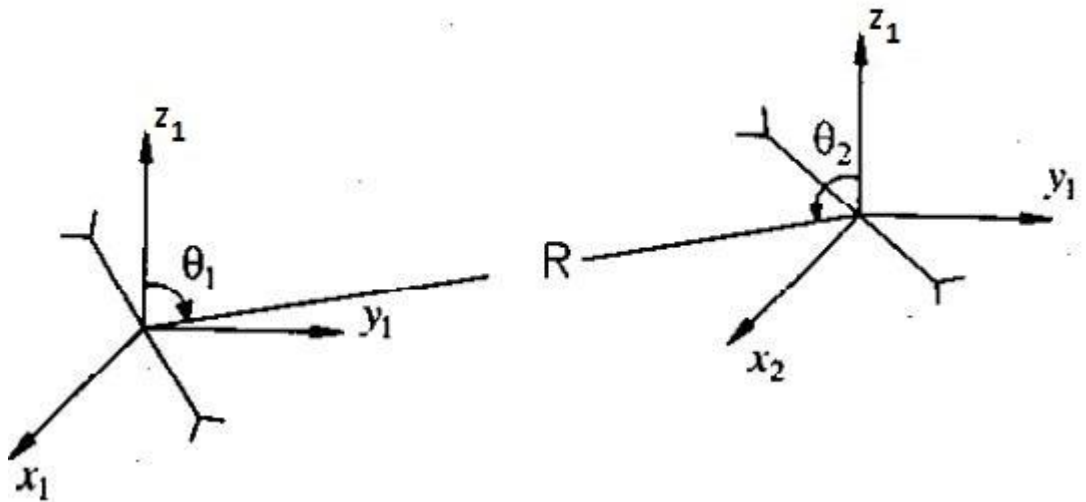


Hình 2.13. Nguyên tố bức xạ hỗn hợp

2.4. Nguyên lý anten thu

2.4.1. Bài toán khảo sát

Khảo sát hai anten 1, 2 đặt cách xa nhau trong không gian, trong một môi trường đẳng hướng. Ký hiệu tổng trở ở các cực của anten là Z_1, Z_2 như hình sau:



Hình 2.14. Khảo sát hai anten đặt cách xa nhau trong không gian.

Trường hợp tổng quát, các trở kháng này bằng tổng của trở kháng ngoài mắc vào anten và trở kháng vào bản thân của anten. Khi anten làm việc ở chế độ phát thì trở kháng ngoài là nội trở của nguồn suất điện động, còn khi anten làm việc ở chế độ thu thì trở kháng ngoài là tải của anten

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_{t1} + Z_{v1} \\ Z_2 &= Z_{t2} + Z_{v2} \end{aligned} \quad (2.35)$$

Vì môi trường truyền sóng là đẳng hướng nên ta có thể coi hệ thống hai anten và môi trường nằm ở khoảng giữa hai anten ấy như một mạng 2 cửa mà đầu vào và đầu ra của nó là các cực của hai anten.

Giả sử anten 1 là anten phát, anten 2 là anten thu. Gọi e_1 là suất điện động đặt vào cực của anten 1 còn I_{2thu} là dòng điện nhận được ở tải của anten 2. Mặt khác lại giả thiết anten 2 là anten phát, anten 1 là anten thu, còn suất điện động đặt vào anten 2 là e_2 , dòng điện trong tải anten 1 là I_{1thu} .

Theo nguyên lý tương hỗ ta có

$$\frac{e_1}{I_{2thu}} = \frac{e_2}{I_{1thu}} \quad (2.36)$$

2.4.2. Xác định suất điện động trên anten thu

Khi anten 1 là anten phát, suất điện động e_1 sẽ tạo ra trường bức xạ \vec{E}_{21} tại vị trí của anten 2. Đồng thời điện trường \vec{E}_{21} có quan hệ với dòng điện chảy theo anten 1 theo công thức tổng quát:

$$\vec{E}_{21} = \frac{-ikZ}{4\pi} L_{H1} I_{01} \vec{F}_1(\theta_1, \varphi_1) \frac{e^{-ikr}}{R} \quad (2.37)$$

Trong đó: I_{01} là dòng điện ở đầu vào của anten 1.

L_{H1} là độ dài hiệu dụng của anten 1 (khi chọn $I_C = I_0$). $\vec{F}_1(\theta_1, \varphi_1)$ là hàm phương hướng chuẩn hóa của anten 1 tại hướng θ_1, φ_1 .

Từ công thức (2.37) ta rút ra được:

$$I_{01} = \frac{\vec{E}_{21} 4\pi R}{-ikZL_{H1} \vec{F}_1(\theta_1, \varphi_1) e^{-ikR}} \quad (2.38)$$

Mặt khác, I_{01} có thể được xác định qua sức điện động e_1 và tổng trở Z_1

$$I_{01} = \frac{e_1}{Z_{t1} + Z_{v1}} = \frac{e_1}{Z_1} \quad (2.39)$$

So sánh (1.38) và (1.39) ta có:

$$e_1 = \frac{\vec{E}_{21} Z_1 4\pi R}{-ikZL_{H2} \vec{F}_1(\theta_1, \varphi_1) e^{-ikR}} \quad (2.40)$$

Tương tự như trên, khi anten 2 là anten phát ta có:

$$e_2 = \frac{\vec{E}_{21} Z_2 4\pi R}{-ikZL_{H2} \vec{F}_2(\theta_2, \varphi_2) e^{-ikR}} \quad (2.41)$$

2.4.3. Xác định dòng trong tải anten

Thay (2.40), (2.41) vào (2.36) và thực hiện phép biến đổi đơn giản ta có:

$$\frac{I_{1thu} (Z_{t1} + Z_{v1})}{\vec{E}_{12} L_{H1} \vec{F}(\theta_1, \varphi_1)} = \frac{I_{2thu} (Z_{t2} + Z_{v2})}{\vec{E}_{21} L_{H2} \vec{F}(\theta_2, \varphi_2)} \quad (2.42)$$

Dễ dàng thấy rằng vế trái của (2.42) chỉ chứa các đại lượng có liên quan đến anten 1, còn vế phải chỉ chứa các đại lượng có quan hệ với anten 2. Các anten 1 và 2 được giả thiết bất kỳ nên tỷ số của các đại lượng ở hai vế của (2.42) phải là hằng số, không phụ thuộc vào loại anten. Do đó đối với mỗi anten bất kỳ ta có thể viết hằng đẳng thức sau:

$$\frac{I_{thu} (Z_t + Z_v)}{\vec{E}_0 L_H \vec{F}(\theta, \varphi)} = C \quad (2.43)$$

Trong đó: I_{thu} là dòng điện nhận được trong tải anten dưới tác dụng của trường sóng tới.

\vec{E}_0 cường độ trường của sóng tới tại điểm đặt anten thu.

Các đại lượng $(Z_t + Z_v), L_H, \vec{F}(\theta, \varphi)$ lần lượt là tổng trở của anten, độ dài hiệu dụng và hàm phương hướng chuẩn hóa của anten làm việc ở chế độ phát.

Từ công thức (2.43) ta tính được dòng điện trong tải anten:

$$I_{thu} = C \cdot \frac{\vec{E}_0 L_H \vec{F}(\theta, \varphi)}{Z_t + Z_v} \quad (2.44)$$

Vì số hạng nằm dưới mẫu số ở vế phải của (2.44) là tổng trở của anten nên hiển nhiên tử số của tỷ số này được coi là sức điện động nhận được ở cực của anten thu.

$$e_0 = C \vec{E}_0 L_H \vec{F}(\theta, \varphi) \quad (2.45)$$

Do C là hằng số có giá trị giống nhau đối với mọi anten nên có thể dễ dàng xác định nó khi khảo sát một anten cụ thể.

2.5. Câu hỏi, bài tập

1. Nêu vị trí của anten trong thông tin vô tuyến?
2. Thế nào là hàm phương hướng của anten?
3. Độ rộng búp sóng của anten được xác định như thế nào?
4. Nêu định nghĩa và biểu thức tính hệ số định hướng của anten?
5. Nêu định nghĩa và biểu thức tính hệ số tăng ích của anten?
6. Cách tính công suất bức xạ đẳng hướng tương đương?
7. Trình bày về dipole điện?
8. Trình bày về dipole từ?
9. Trình bày về nguyên tố bức xạ hỗn hợp?
10. Xác định hệ số định hướng (theo dBi) của một anten có tính hướng tạo nên mật độ công suất tại điểm xem xét là $3\text{mW}/\text{m}^2$ khi mà anten vô hướng tạo nên mật độ công suất cũng tại điểm đó là $0,5\mu\text{W}/\text{m}^2$.
30,8 dBi; (b) 33,8 dBi; (c) 35,8 dBi; (d) 37,8 dBi
11. Xác định hệ số khuếch đại (theo dBi) của anten có hệ số định hướng là 40 và hiệu suất làm việc 60%.
13,8 dBi; (b) 15,8 dBi; (c) 17,8 dBi; (d) 20,8 dBi
12. Xác định công suất bức xạ đẳng hướng tương đương (theo dBW và dBm) của một anten có hệ số hướng tính 43 dBi, hiệu suất 70% và công suất đầu vào anten là 5 W.
45,44 dBW và 75,44 dBm; (b) 48,44 dBW và 78,44 dBm; (c) 45,44 dBW và 78,44 dBm; (d) 48,44 dBW và 75,44 dBm

CHƯƠNG III. ANTEN CHẤN TỬ

3.1. Giới thiệu

Anten chấn tử sử dụng chấn tử làm phần tử bức xạ trực tiếp sóng điện từ, có kết cấu đơn giản, được sử dụng rộng rãi ở dải sóng ngắn và cực ngắn làm các anten thu phát hoặc làm bộ chiếu xạ cho các anten gương và có đặc tính tương tự đường dây dẫn một đầu hở mạch.

Các loại anten chấn tử điển hình: anten chấn tử đối xứng, không đối xứng; anten chấn tử đơn và anten nhiều chấn tử.

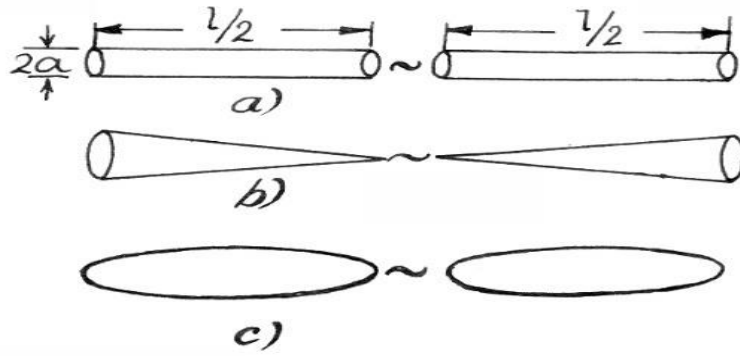
Một trong những vấn đề cơ bản khi khảo sát anten là xác định trường bức xạ tạo ra trong không gian và các thông số như trở kháng bức xạ, trở kháng vào của anten. Trong chương này, chúng ta sẽ khảo sát và tính toán các tham số của chấn tử đồng thời xem xét giải quyết các bài toán của hệ anten gồm nhiều chấn tử.

3.2. Anten chấn tử đối xứng

Chấn tử đối xứng là loại anten đơn giản nhất và là một trong những nguồn bức xạ được sử dụng khá phổ biến. Chấn tử đối xứng có thể sử dụng như một anten độc lập hoặc có thể được sử dụng để cấu tạo các anten phức tạp khác. Có thể sử dụng lý thuyết đường dây để xác định phân bố dòng điện trên chấn tử đối xứng dựa trên suy luận về sự tương tự giữa chấn tử đối xứng và đường dây song hành hở mạch đầu cuối không tổn hao.

3.2.1. Khái niệm về anten chấn tử đối xứng

Chấn tử đối xứng là một cấu trúc gồm hai đoạn vật dẫn (hai đoạn này có thể có hình dạng tùy ý: hình trụ, chóp, elipsoit,...có kích thước giống nhau, đặt thẳng hàng trong không gian, và ở giữa được nối với nguồn dao động cao tần.

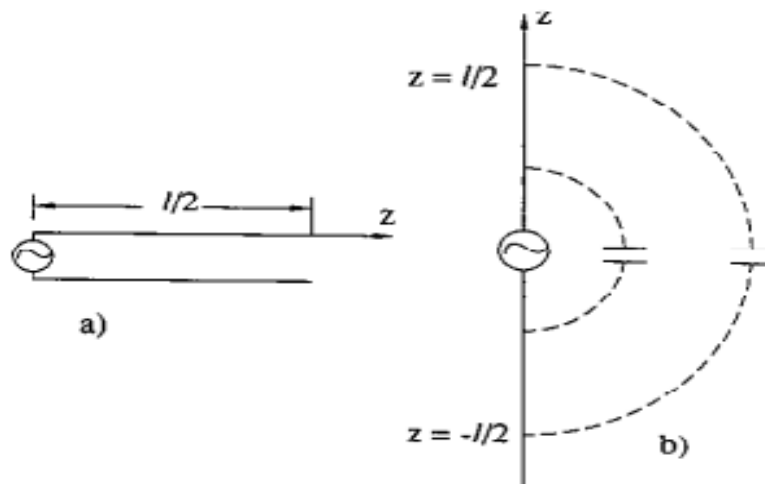


Hình 3.1. Các dạng anten chẵn tử đối xứng

3.2.2. Phân bố dòng điện

Để tìm trường bức xạ, như đã biết cần xác định hàm phân bố dòng điện trên anten. Đây là một bài toán rất phức tạp, và đã có rất nhiều công trình nghiên cứu. Trong phần này sẽ trình bày phương pháp gần đúng để xác định phân bố dòng điện trên chẵn tử, trên cơ sở đó sẽ có lời giải gần đúng bài toán xác định trường bức xạ và các thông số của anten chẵn tử.

Giả sử chẵn tử có dạng như hình vẽ 3.1a, với bán kính a rất nhỏ (do chẵn tử làm bằng dây dẫn điện hình trụ, rất mảnh). Phương pháp gần đúng xác định phân bố dòng điện trên chẵn tử đối xứng dựa trên suy luận về sự tương tự giữa chẵn tử đối xứng và đường dây song hành hở mạch đầu cuối không tổn hao, được gọi là lý thuyết đường dây.



Hình 3.2. Sự tương quan giữa chẵn tử đối xứng và đường dây song hành

Thật vậy, từ đường dây song hành (hình 3.2a) có thể biến dạng để nhận được chẵn tử đối xứng (hình 3.2b) bằng cách mở rộng đầu cuối của đường dây đến khi góc mở giữa hai nhánh bằng 180° . Việc mở rộng này sẽ làm mất

tính đối xứng của đường dây song hành và tạo điều kiện để hệ thống có thể bức xạ sóng điện từ.

Giả sử biến dạng đường dây song hành thành chấn tử đối xứng thì quy luật phân bố dòng điện trên hai nhánh vẫn không thay đổi, nghĩa là vẫn có dạng sóng đứng.

$$I_z(z) = I_b \sin k \left(\frac{l}{2} - |z| \right) \quad (3.1)$$

Trong đó: I_b là biên độ dòng điện ở điểm bụng sóng đứng

$l/2$ là độ dài một nhánh chấn tử

Tuy nhiên, những suy luận về sự tương tự nêu trên chỉ có tính chất gần đúng, vì mặc dù cả hai hệ thống (đường dây song hành và chấn tử) đều là các hệ thống dao động với thông số phân bố, nhưng giữa chúng vẫn có điểm khác biệt:

- Các thông số phân bố của đường dây (L, C) không biến đổi theo dây, còn các thông số phân bố của chấn tử thì biến đổi ứng với các giá trị khác nhau trên chấn tử (hình 3.2b).

- Đường dây song hành thực tế là hệ thống dùng để truyền dẫn năng lượng sóng điện từ, còn chấn tử là hệ thống bức xạ.

- Trên đường dây song hành không tổn hao, hở mạch đầu cuối, dòng điện chỉ biến đổi theo quy luật sóng đứng thuần túy, dạng sin, còn đối với chấn tử, ngay cả khi được cấu tạo từ vật dẫn lý tưởng cũng luôn có sự mất mát năng lượng do bức xạ (mất mát hữu ích). Do đó, nói một cách chính xác thì phân bố dòng điện trên chấn tử sẽ không theo quy luật sóng đứng thuần túy hình sin. Tuy nhiên, với các chấn tử rất mảnh (đường kính $\ll 0,01\lambda$) khi tính trường ở khu xa dựa theo giả thiết phân bố dòng điện hình sin cũng nhận được kết quả khá phù hợp với thực nghiệm. Vì vậy, trong phần lớn các tính toán kỹ thuật có thể cho phép áp dụng giả thiết gần đúng về phân bố dòng điện sóng đứng hình sin.

Biết quy luật phân bố của dòng điện trên chấn tử sẽ xác định được quy luật phân bố gần đúng của điện tích bằng cách áp dụng phương trình điện tích. Có thể giả thiết dòng điện trên chấn tử chỉ có thành phần dọc I_z , điện tích nằm ngay trên bề mặt dây và có mật độ dài Q_z . Ta có phương trình bảo toàn điện tích có dạng

$$\frac{dI_z}{dz} + i\omega Q_z = 0 \quad (3.2)$$

Trong đó:

$I_z = 2\pi a J_z$ là biên độ dòng điện tại tọa độ z của chấn tử.

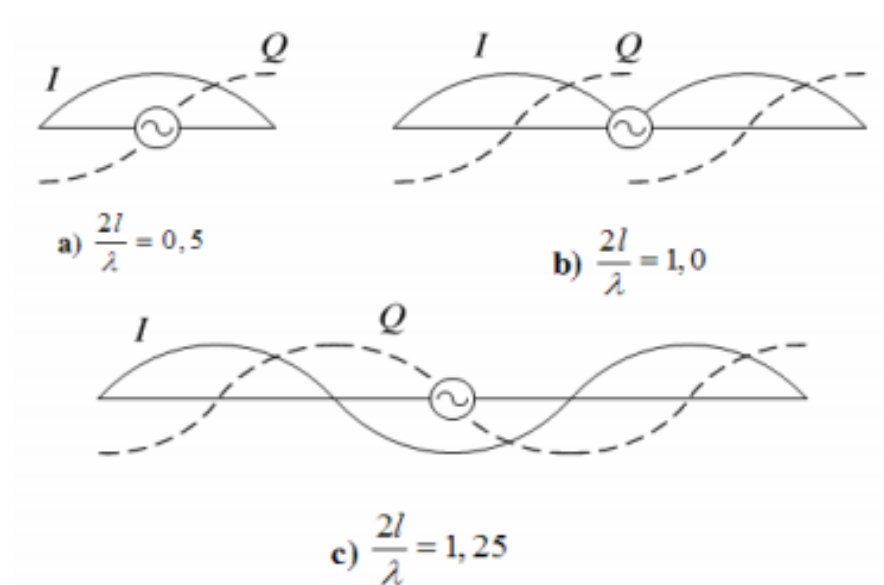
J_z là mật độ dòng điện mặt.

Q_z là điện tích mặt trên một đơn vị chiều dài chấn tử.

Giải phương trình (3.2) trong đó thay I_z bởi phương trình (3.1), ta có điện tích phân bố trên một đơn vị dài chấn tử là:

$$\begin{aligned} Q_{z1} &= \frac{kI_b}{i\omega} \cos k\left(\frac{l}{2} - z\right) & z > 0 \\ Q_{z2} &= -\frac{kI_b}{i\omega} \cos k\left(\frac{l}{2} + z\right) & z < 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Quy luật phân bố dòng điện và điện tích trên chấn tử đối xứng được biểu diễn trên hình 3.3:

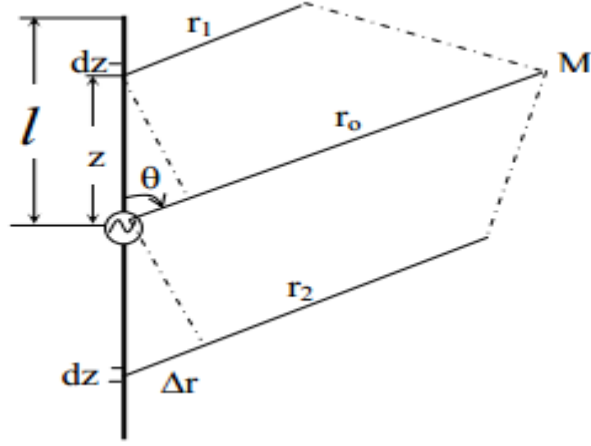


Hình 3.3. Phân bố dòng điện và điện tích trên chấn tử đối xứng

Từ hình 3.3 ta thấy quy luật phân bố điện tích dọc theo chấn tử đối xứng cũng có dạng tương tự như quy luật phân bố của hiệu điện thế trên đường dây song hành hở mạch đầu cuối, không tổn hao.

3.2.3. Bức xạ của chấn tử đối xứng trong không gian tự do

Xét một chấn tử đối xứng có chiều dài $2l$ được đặt trong môi trường đồng nhất, đẳng hướng và không hấp thụ (môi trường không gian tự do). Xét trường bức xạ của chấn tử tại điểm M, cách tâm chấn tử một khoảng r khá xa nguồn, ở hướng mà đường thẳng nối điểm M với tâm chấn tử hợp với trục chấn tử một góc θ (hình 3.4).



Hình 3.4. Mô tả các thông số tính trường bức xạ của chấn tử đối xứng trong không gian tự do

Chia chấn tử thành các đoạn dz vô cùng bé ($dz \ll \lambda$), xét trường do đoạn dây dz gây ra tại M. Vì ($dz \ll \lambda$) nên mỗi phần tử tương đương với một chấn tử điện có chiều dài dz , khoảng cách r , và mật độ dòng không đổi I_z xác định theo công thức (3.1). Điện trường tại M do dz trên hai nhánh chấn tử gây ra được xác định theo công thức:

$$d\vec{E}_1 = i \frac{60\pi I_z dz}{r_1 \lambda} \sin \theta e^{-ikr_1} \vec{i}_\theta \quad (3.4)$$

$$d\vec{E}_2 = i \frac{60\pi I_z dz}{r_2 \lambda} \sin \theta e^{-ikr_2} \vec{i}_\theta$$

Trong đó:

$$do \quad r \gg \lambda$$

$$r_1 = r_0 - z \cos \theta$$

$$r_2 = r_0 + z \cos \theta \quad (3.5)$$

Thay công thức (3.1), (3.5) vào công thức (3.4) và bỏ qua đại lượng vô cùng bé ở thành phần biên độ, ta có:

$$d\vec{E}_1 = i \frac{60\pi I_b dz}{r_0 \lambda} \sin \theta \sin k \left(\frac{l}{2} - z \right) e^{-ik(r_0 - z \cos \theta)} \vec{i}_\theta$$

$$d\vec{E}_2 = i \frac{60\pi I_b dz}{r_0 \lambda} \sin \theta \sin k \left(\frac{l}{2} - z \right) e^{-ik(r_0 + z \cos \theta)} \vec{i}_\theta \quad (3.6)$$

Điện trường do hai đoạn dz vô cùng bé trên hai nhánh của chấn tử đối xứng gây ra tại M là:

$$\begin{aligned}
d\bar{E} &= d\bar{E}_1 + d\bar{E}_2; \quad I_z = I_b \cdot \sin \left\{ k \left(\frac{l}{2} - |z| \right) \right\} \\
d\bar{E} &= i \frac{60\pi I_b dz}{r_0 \lambda} \sin \theta \sin \left\{ k \left(\frac{l}{2} - |z| \right) \right\} e^{-ikr_0} (e^{ikz \cos \theta} + e^{-ikz \cos \theta}) \bar{i}_\theta \\
d\bar{E} &= i \frac{60\pi I_b dz}{r_0 \lambda} \sin \theta \sin \left\{ k \left(\frac{l}{2} - |z| \right) \right\} e^{-ikr_0} \cdot 2 \cos(kz \cos \theta) \bar{i}_\theta
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Điện trường do toàn bộ chấn tử gây ra tại M sẽ tìm được bằng cách lấy tích phân điện trường do dz ở trên hai nhánh chấn tử gây ra tại M, trên toàn bộ chiều dài của một nhánh:

$$\vec{E} = \int_0^{l/2} d\vec{E} = i \frac{60I_b}{r_0} \cdot \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{\sin \theta} e^{-ikr_0} \bar{i}_\theta \tag{3.8}$$

$$\vec{E} = i \frac{60I_b}{r_0} \cdot e^{-ikr_0} \cdot f(\theta, \varphi) \tag{3.9}$$

$$|\vec{E}| = \frac{60I_b}{r_0} \cdot |f(\theta, \varphi)| \quad \notin \varphi$$

3.2.4. Tham số của chấn tử đối xứng

a. Hàm hướng tính và đồ thị phương hướng

So sánh công thức (3.8) và (3.9) ta thấy hàm hướng tính biên độ của chấn tử đối xứng trong mặt phẳng E là:

$$|f(\theta, \varphi)| = |f(\theta)| = \left| \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)}{\sin \theta} \right| \tag{3.10}$$

Trong mặt phẳng H (mặt phẳng vuông góc với trục chấn tử) góc θ là hằng số ở mọi hướng, nên trong công thức (3.10) $\sin \theta$ và $\cos \theta$ bằng hằng số, bởi vậy hàm tính hướng trong mặt phẳng này chỉ phụ thuộc vào giá trị kl , nói chung trong mặt phẳng H chấn tử bức xạ ô hướng. Nếu mặt phẳng khảo sát đi qua tâm chấn tử thì trong mặt phẳng H ta có:

$$f(\varphi) = 1 - \cos kl \tag{3.11}$$

Xét hàm hướng tính và đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng có chiều dài điện l/λ khác nhau:

- Với chấn tử ngắn ($l \ll \lambda$)

Từ công thức (3.10) ta có:

$$f(\theta) = \frac{(kl)^2}{2} \sin \theta$$

Khi đó hàm hướng tính biên độ chuẩn hóa trong mặt phẳng điện trường sẽ là:

$$F(\theta) = \sin \theta \quad (3.12)$$

- Với *chấn tử nửa sóng* ($l = \lambda/4$)

Từ công thức (2.10) ta có:

$$f(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) - \cos \frac{\pi}{2}}{\sin \theta} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad (3.13)$$

- Với *chấn tử toàn sóng* ($l = \lambda/2$)

Từ công thức (3.10) ta có:

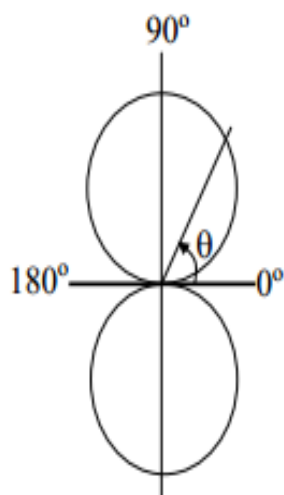
$$f(\theta) = \frac{\cos(\pi \cos \theta) + 1}{\sin \theta} = \frac{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}$$

Khi đó hàm hướng tính biên độ chuẩn hóa là:

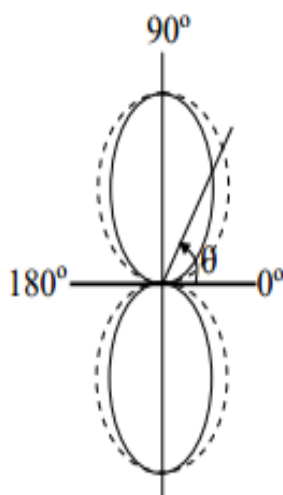
$$F(\theta) = \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad (3.14)$$

- Với *chấn tử có chiều dài lớn hơn* λ :

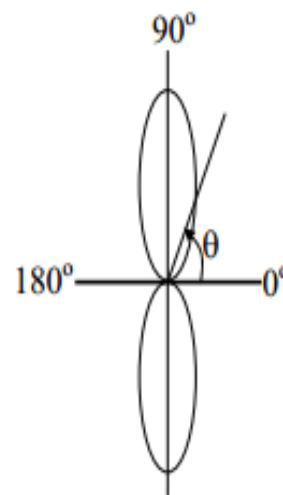
Trong trường hợp này do trên mỗi nhánh chấn tử xuất hiện dòng ngược pha nên ở hướng vuông góc không có sai pha về đường đi của các đoạn dz nhưng về dòng điện có đoạn ngược pha, do đó cường độ điện trường tổng ở hướng này sẽ giảm xuống, đồng thời xuất hiện các búp phụ ở các hướng có sai pha đường đi bù hết cho sai pha dòng điện. Nếu đoạn dòng điện ngược pha lớn dần, nghĩa là l tiến dần tới λ , búp phụ sẽ lớn dần, búp chính nhỏ dần. Khi $l = \lambda$, đoạn ngược pha trên mỗi nhánh chấn tử là bằng nhau, bức xạ ở hướng chính (tức hướng vuông góc với trục chấn tử) sẽ bằng 0, bốn búp phụ trở thành bốn búp chính.



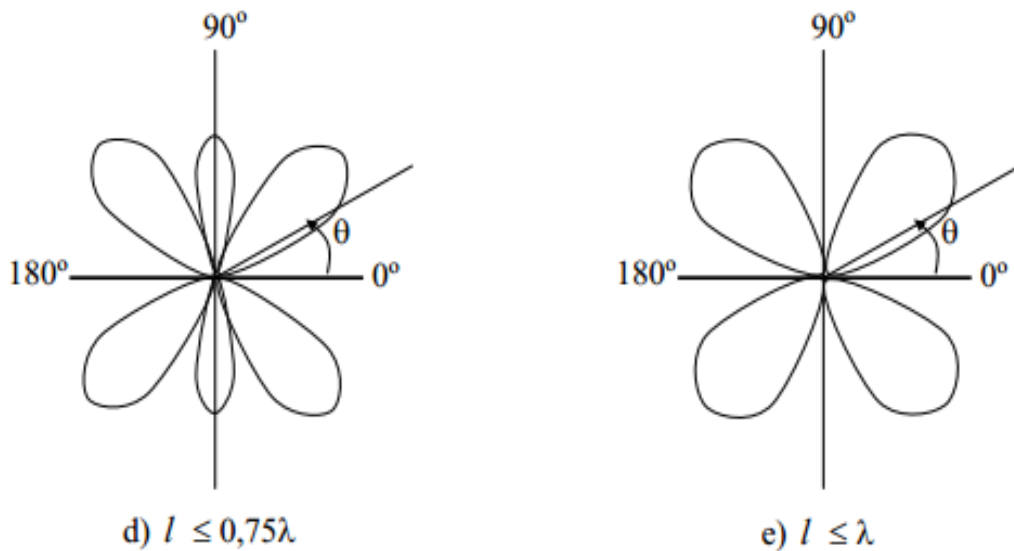
a) $l \leq 0,1\lambda$



b) $l \leq 0,25\lambda$



c) $l \leq 0,5\lambda$



Hình 3.4. Đồ thị phương hướng của chân tử đối xứng trong mặt phẳng E

Từ đồ thị phương hướng có thể nhận thấy rằng hướng tính của chân tử đối xứng phụ thuộc vào chiều dài điện l/λ .

b. Trở kháng sóng và trở kháng vào của chân tử đối xứng

- Trở kháng sóng:

Tương tự như đường dây song hành, đối với chân tử đối xứng cũng có thể đưa vào khái niệm trở kháng sóng. Theo lý thuyết đường dây, trở kháng sóng của đường dây song hành không tổn hao được xác định theo công thức:

$$Z_A = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \quad (3.15)$$

Trong đó:

L_1 : điện cảm phân bố trên đường dây

C_1 : điện dung phân bố trên đường dây

Nếu đường dây đặt trong không gian tự do thì $\mu = \mu_0$, $\varepsilon = \varepsilon_0$, trở kháng sóng của đường dây có thể được biểu thị thông qua thông số của môi trường và một trong hai thông số phân bố L_1 hoặc C_1 của đường dây.

$$Z_A = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_1 C_1}{C_1^2}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}{C_1} \quad (3.16)$$

Đối với đường dây song hành, C_1 là đại lượng không biến đổi theo chiều dài của dây và được giới hạn bằng kích thước của đường dây. Khi biểu thị trở kháng sóng qua các kích thước hình học của đường dây, công thức (3.16) sẽ có dạng:

$$Z_A = 276 \log\left(\frac{D}{r}\right) \quad (3.17)$$

Trong đó:

D là khoảng cách giữa hai dây dẫn (tính từ trục dây)

r là bán kính dây dẫn

Đối với chân tử đối xứng hoặc các loại anten dây khác, có thể áp dụng công thức (3.17) để tính trở kháng sóng của anten, nhưng cần lưu ý rằng điện dung phân bố C_1 lúc này không phải là hằng số mà thay đổi dọc theo chiều dài chân tử. Vì vậy khi tính C_1 cần lấy giá trị trung bình của nó, tức là lấy điện dung tĩnh tổng cộng của anten chia cho chiều dài của nó.

Công thức tính trở kháng sóng đối với các chân tử đối xứng khi chiều dài chân tử nhỏ hơn bước sóng công tác là

$$Z_A = 120 \left[\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - 1 \right] (\Omega) \quad (3.18)$$

Khi tăng chiều dài chân tử thì sai số tính theo công thức sẽ tăng. Như vậy khi chiều dài chân tử lớn hơn bước sóng công tác thì trở kháng sóng của chân tử sẽ được tính theo công thức Kesenich:

$$Z_A = 120 \left[\ln \left(\frac{\lambda}{\pi r} \right) - E \right] (\Omega) \quad (3.19)$$

Trong đó $E = 0,577$ là hằng số Euler

- Trở kháng vào:

Như đã đề cập ở chương I, trở kháng vào của chân tử đối xứng được xác định bởi công thức:

$$Z_{vA} = R_{vA} + jX_{vA} \quad (3.19a)$$

Phần thực bao gồm điện trở bức xạ và phần điện trở tổn hao của chân tử. Đối với chân tử đối xứng, điện trở tổn hao không đáng kể (có thể coi xấp xỉ bằng 0) phần công suất thực đưa vào anten hầu như được chuyển thành công suất bức xạ.

$$P_A \approx P_{bx} \quad (3.20)$$

Nếu biểu thị công suất bức xạ theo dòng điện ở đầu vào I_a thì công thức (3.20) có thể viết lại thành

$$\frac{I_a^2 R_{bx0}}{2} \approx \frac{I_a^2 R_{vA}}{2} \quad (3.21)$$

R_{bx0} là điện trở bức xạ tính theo dòng điện đầu vào:

$$R_{bx0} = \frac{I_b^2 R_{bxb}}{I_a^2} = \frac{R_{bxb}}{\sin^2 kl}$$

Ta có:
$$R_{vA} = \frac{R_{bxb}}{\sin^2 kl} \quad (3.22)$$

Phần kháng của trở kháng vào của chân tử đối xứng chính là trở kháng của đường dây song hành hở mạch đầu cuối và được tính theo công thức:

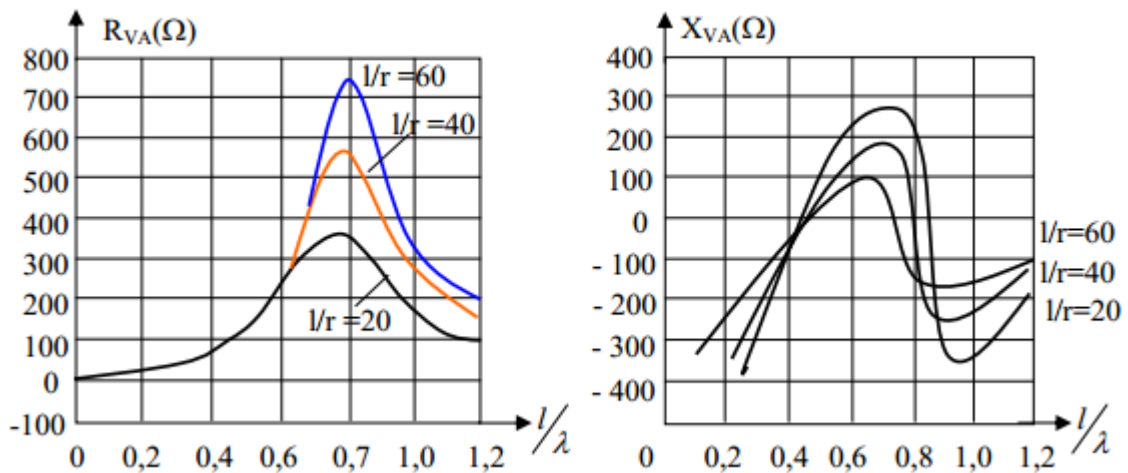
$$X_{vA} = -iZ_A \cot gkl \quad (3.23)$$

Trong đó Z_A là trở kháng sóng của chân tử

Nếu thay công thức (3.22), (3.23) vào công thức (3.19a) ta được công thức tính trở kháng vào của anten đối xứng:

$$Z_{vA} = \frac{R_{bxb}}{\sin^2 kl} - iZ_A \cot gkl \quad (3.24)$$

Công thức (3.24) áp dụng trong trường hợp điểm nút dòng điện nằm cách đầu vào chân tử một khoảng lớn hơn $(0,1 - 0,15)\lambda$ nghĩa là khi tỷ số l/λ nằm trong khoảng $0 - 0,35$ và $0,65 - 0,85$.



Hình 3.5. Sự phụ thuộc của Z_{vA} vào l/λ

Nhận xét: trở kháng vào của chân tử đối xứng phụ thuộc vào chiều dài tương đối của chân tử.

- Khi chiều dài của chân tử ($l = (2k + 1) \lambda/2$ với $k = 0, 1, 2, \dots$) bằng bội số của $\lambda/2$ thì lúc đó trở kháng của chân tử có thể xem gần đúng chỉ có điện trở thuần. Cộng hưởng nối tiếp xảy ra khi chiều dài chân tử bằng $0,5\lambda; 1,5\lambda; 2,5\lambda; \dots$ và trở kháng vào R_{vA} là giá trị thực và có giá trị bằng trở kháng bức xạ của anten. Trong trường hợp này sẽ có giá trị là $73,1\Omega$ đối với chân tử nửa sóng và 200Ω đối với chân tử toàn sóng.

- Cộng hưởng song song xảy ra khi chiều dài chân tử ($l = (2k) \lambda/2$ với $k = 0, 1, 2, \dots$) bằng bội số của bước sóng công tác ($\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$). Trở kháng vào trong trường hợp này cũng có giá trị thực vô cùng lớn, có thể đạt tới

5000Ω. Giá trị của trở kháng vào thực phụ thuộc vào tỷ số chiều dài trên bán kính chấn tử và trở kháng sóng của chấn tử.

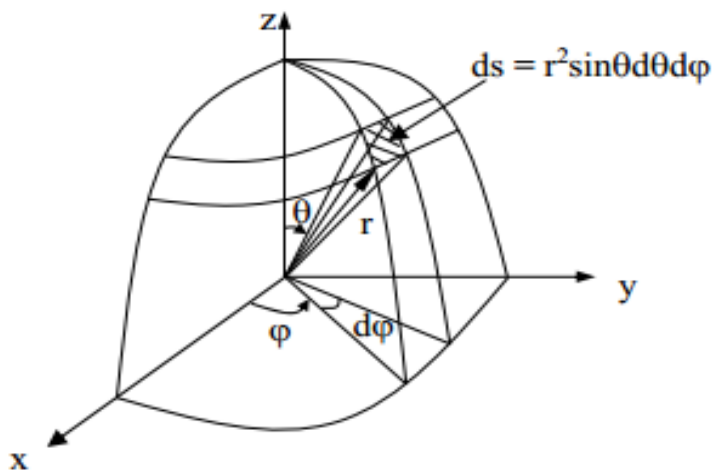
- Khi chiều dài của chấn tử không phải là bội số của $\lambda/2$ thì lúc đó trở kháng vào của anten bao gồm phần thực và phần kháng. Thành phần kháng của trở kháng vào của chấn tử đối xứng ở gần các điểm cộng hưởng nối tiếp ($l = \lambda/4$) tương tự như thành phần kháng của một mạch cộng hưởng nối tiếp (ở vùng tần số thấp hơn tần số cộng hưởng nó mang tính dung kháng và ở các vùng tần số cao hơn tần số cộng hưởng nó mang tính cảm kháng). Ở các điểm gần cộng hưởng song song ($l = \lambda/2$) trở kháng của chấn tử tương tự như thành phần kháng của một mạch cộng hưởng song song (ở vùng tần số thấp hơn tần số cộng hưởng nó mang tính cảm kháng và ở các vùng tần số cao hơn tần số cộng hưởng nó mang tính dung kháng).

Thông thường trở kháng vào của chấn tử đối xứng được chọn bằng phương pháp thực nghiệm. Bằng cách thay đổi chiều dài và đường kính của dây chấn tử ứng với tần số trung tâm của dải tần công tác, khi đó trở kháng sẽ thuần trở.

Khi biết giá trị của trở kháng vào của anten ta có thể dễ dàng thực hiện việc phối hợp trở kháng giữa anten và máy phát hoặc máy thu

c. Công suất bức xạ

Công suất bức xạ của chấn tử đối xứng có thể được xác định theo phương pháp vec tơ Poynting, giống như khi tính toán cho dipole điện



Hình 3.6. Xác định công suất bức xạ của chấn tử đối xứng
 Công suất bức xạ của chấn tử truyền qua diện tích vi phân ds là

$$dP_{bx} = \Pi_{tb} dS \quad (3.25)$$

Thay $\Pi_{tb} = E_0^2 / 120\pi$ ta có:

$$P_{bx} = \frac{ZI_b^2}{8\pi^2 r^2} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{\cos \theta} \right]^2 r^2 \sin \theta d\theta d\varphi \quad (3.26)$$

$$P_{bx} = 30I_b^2 \int_0^{\pi} \frac{[\cos(kl \cos \theta) - \cos kl]^2}{\sin \theta} d\theta$$

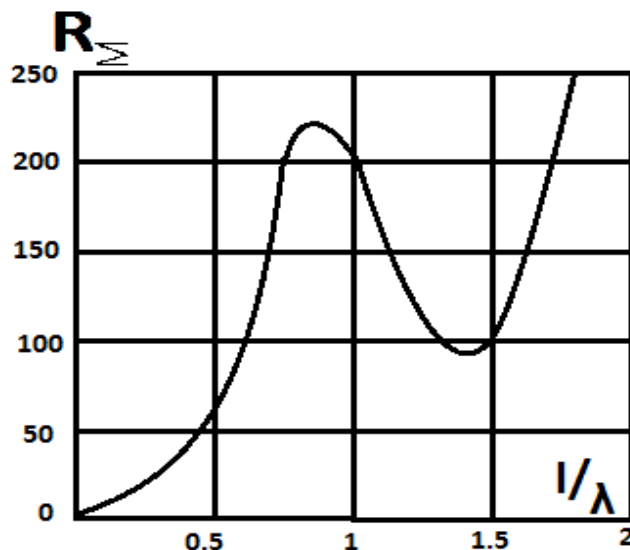
d. Điện trở bức xạ

Tương tự như đối với dipole điện, ta cũng có định nghĩa về công suất bức xạ của chấn tử đối xứng là đại lượng biểu thị quan hệ giữa công suất bức xạ và bình phương dòng điện trên chấn tử. Tuy nhiên, do dòng điện có phân bố không đồng đều dọc theo chấn tử nên khi biểu thị công suất bức xạ qua biên độ dòng điện tại vị trí nào đó trên chấn tử (ví dụ qua dòng điện đầu vào, hay qua dòng điện tại điểm bụng sóng đứng...) thì sẽ có điện trở bức xạ tương ứng (điện trở bức xạ ứng với dòng điện điểm vào, điện trở bức xạ ứng với dòng điện ở điểm bụng...), được xác định bởi công thức sau:

$$R_{bxb} = 60 \int_0^{\pi} \frac{[\cos(kl \cos \theta) - \cos kl]^2}{\sin \theta} d\theta \quad (3.27)$$

$$P_{bxb} = 30I_b^2 \int_0^{\pi} \frac{[\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)]^2}{\sin \theta} d\theta (\neq \varphi)$$

Trong thực tế, việc xác định điện trở bức xạ của anten thường dùng đồ thị. Giá trị của điện trở bức xạ ứng với dòng điện tại điểm bụng chỉ phụ thuộc vào chiều dài tương đối của chấn tử. Hình 3.7 mô tả sự phụ thuộc của điện trở bức xạ theo chiều dài tương đối của chấn tử.



Hình 3.7. Mô tả sự phụ thuộc của điện trở bức xạ theo chiều dài tương đối của chấn tử

Khảo sát đồ thị ta thấy rằng, ban đầu khi tăng độ dài tương đối của chân tử, điện trở bức xạ tăng. Tại $l/\lambda = 0,5$ (chân tử nửa sóng) có $R_{bxb} = 73,1\Omega$ và đạt tới cực đại ở gần với giá trị $l/\lambda = 1$, có $R_{bxb} = 210\Omega$. Sau đó R_{bxb} dao động có cực đại ở gần các giá trị l bằng bội số chẵn của $\lambda/2$, cực tiểu ở gần các giá trị l bằng bội số lẻ của $\lambda/2$.

Đặc tính biến đổi này có thể được giải thích từ mối quan hệ giữa công suất bức xạ (và điện trở bức xạ) với quy luật phân bố.

e) Hệ số hướng tính

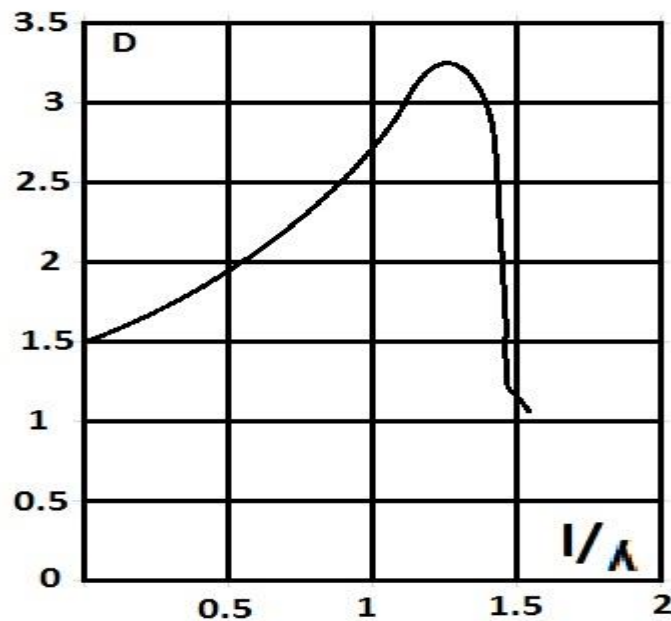
Xét dòng điện trên chân tử. Khi l/λ nhỏ thì tăng l sẽ tăng số phần tử dòng điện đồng pha. Nhưng khi $l > \lambda$, trên chân tử xuất hiện khu vực dòng điện ngược pha làm giảm công suất và điện trở bức xạ của chân tử.

Hệ số hướng tính của chân tử đối xứng được xác định theo công thức:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{E^2(\theta, \varphi) \cdot 2\pi r^2}{ZP_{bx}} \quad (3.28)$$

Nhận xét:

- Với các chân tử đối xứng có độ dài $l/\lambda < 1,25$, bức xạ cực đại vẫn duy trì ở hướng $\theta = \pm\pi/2$, tăng l thì D tăng.
- Với chân tử đối xứng có $l/\lambda > 0,675$ nếu tăng l thì D giảm do cực đại chính giảm.



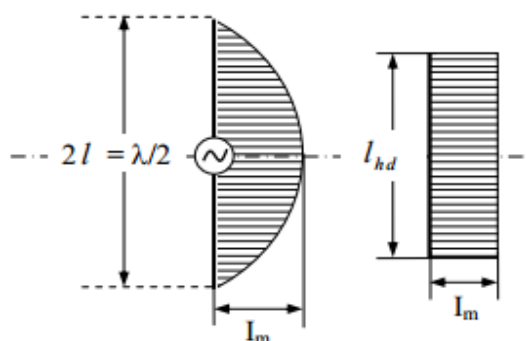
Hình 3.8. Đồ thị biểu diễn sự biến đổi của hệ số định hướng với độ dài chân tử

Từ hình vẽ ta thấy: khi độ dài chân tử nhỏ thì tăng độ dài sẽ làm tăng hệ số định hướng, với $l/\lambda = 0,5$ (chân tử nửa sóng) thì $D_{\max} = 1,64$, khi $l/\lambda = 1$ (chân tử toàn sóng) $D_{\max} = 2,41$, còn khi tăng $l/\lambda \rightarrow 1,25$ hệ số định hướng tăng lên 3,36. Nếu tiếp tục tăng độ dài chân tử, thì hệ số định hướng sẽ giảm đi. Điều này được giải thích là do có sự biến đổi dạng của đồ thị phương hướng (tăng cực đại phụ, giảm cực đại chính), kéo dài chân tử

f. Chiều dài hiệu dụng của chân tử đối xứng

Chiều dài hiệu dụng của chân tử đối xứng được hiểu là chiều dài tương đương của một chân tử có dòng điện phân bố đồng đều và bằng dòng điện đầu vào của chân tử thật với diện tích phân bố dòng điện tương đương.

Cấu trúc của anten càng tốt nếu như chiều dài hiệu dụng của anten có giá trị bằng chiều dài thực của anten.



Hình 3.9. Chiều dài thực và chiều dài hiệu dụng của chân tử đối xứng
Chiều dài hiệu dụng của chân tử đối xứng được xác định theo công thức:

$$l_{hd} = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{tg} \frac{kl}{2} \quad (3.29)$$

Với chân tử nửa sóng có chiều $2l = \lambda/2$ do đó $\operatorname{tg} \left(k \frac{l}{2} \right) = 1$ và chiều dài hiệu dụng của chân tử sẽ là $l_{hd} = \frac{\lambda}{\pi}$. Nếu là chân tử toàn sóng, thì chiều dài hiệu dụng của chân tử sẽ là $l_{hd} = \frac{2\lambda}{\pi}$.

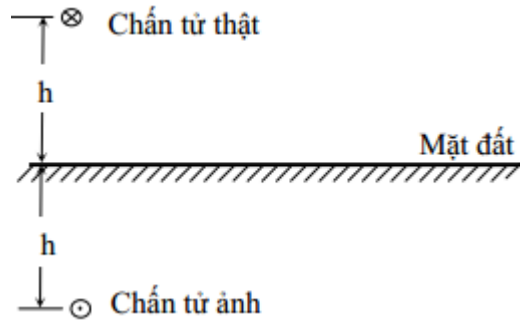
3.2.5. Ảnh hưởng của mặt đất đến đặc tính bức xạ của chân tử đối xứng

Thực tế, các chân tử thường được đặt gần mặt đất hoặc các mặt kim loại, gây ảnh hưởng đến quá trình bức xạ của chân tử. Dưới tác dụng của trường bức xạ bởi anten, trong mặt đất hoặc các vật kim loại đặt gần anten sẽ phát sinh các dòng điện dẫn và các dòng điện dịch (dòng thứ cấp). Các dòng thứ cấp sẽ tạo ra trường bức xạ do đó trường tổng trong không gian sẽ là giao thoa

của trường bức xạ trực tiếp bởi anten (bức xạ sơ cấp) và trường bức xạ của các dòng thứ cấp (trường bức xạ thứ cấp). Để xét đến ảnh hưởng này trước hết ta đề cập lại phương pháp ảnh gương.

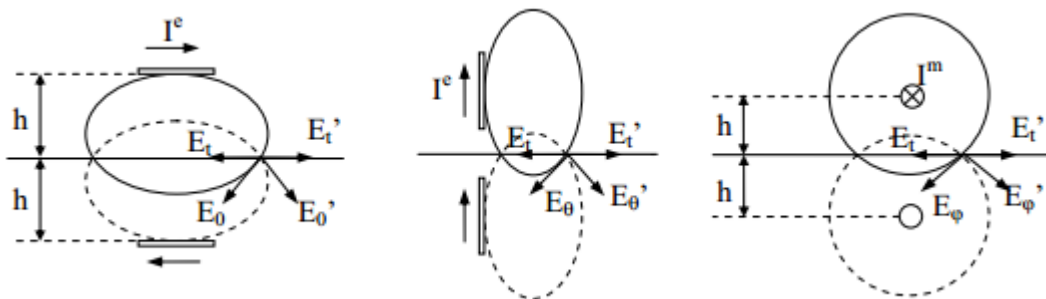
Phương pháp ảnh gương

Khi tính trường bức xạ tạo bởi chấn tử đặt trên mặt đất dẫn điện lý tưởng, tác dụng bức xạ của các dòng thứ cấp có thể được thay thế bởi tác dụng bức xạ của một chấn tử ảo, là ảnh của chấn tử thật qua mặt phân giới giữa hai môi trường, gọi là chấn tử ảnh.



Hình 3.10. Chấn tử ảnh và chấn tử thật

Dòng điện của chấn tử ảnh phải có biên độ và pha sao cho trường tổng tạo bởi hai chấn tử thật và ảnh cũng giống như trường tổng tạo bởi chấn tử thật và dòng thứ cấp, đồng thời các vectơ trường tổng phải thỏa mãn điều kiện bờ trên bề mặt phân giới giữa hai môi trường. Như vậy dòng điện trên chấn tử ảnh phải có biên độ bằng biên độ dòng điện trên chấn tử thật, còn pha của nó so với pha của dòng điện trên chấn tử thật tùy thuộc vào phương đặt của chấn tử thật trên mặt đất. Khi chấn tử điện đặt song song với mặt đất thì dòng điện trong chấn tử ảnh sẽ ngược pha với dòng điện của chấn tử thật, còn khi chấn tử điện đặt vuông góc với mặt đất thì dòng điện trên hai chấn tử đồng pha. Nếu chấn tử thật là chấn tử từ thì sẽ có kết quả ngược lại.



Hình 3.11. Nguyên lý ảnh gương

Áp dụng phương pháp ảnh gương để tính trường bức xạ của chấn tử đặt trên mặt đất cho phép ta thay thế mặt đất bởi một chấn tử ảo là ảnh của chấn

tử thật. Khi đó việc nghiên cứu bức xạ của một chấn tử đặt trên mặt đất ở độ cao h sẽ trở thành bài toán tính trường bức xạ của hệ hai chấn tử có dòng điện đồng pha hay ngược pha đặt cách nhau $2h$ trong không gian tự do. Dòng điện trong chấn tử ảnh có giá trị như sau:

$$I_a = I_t R_{px} e^{i\varphi_{px}} \quad (3.30)$$

Trong đó:

- R_{px} là môđun của hệ số phản xạ
- φ_{px} là góc pha của hệ số phản xạ
- I_a là dòng điện trong chấn tử ảnh
- I_t là dòng điện trong chấn tử thật

Các đại lượng này còn phụ thuộc vào dạng phân cực của sóng, góc nghiêng của phương sóng đến khi phản xạ, các thông số điện của mặt đất nơi sóng phản xạ và bước sóng.

Bức xạ của chấn tử đối xứng đặt trên mặt đất

Để tính trường bức xạ của chấn tử ta áp dụng phương pháp ảnh gương đã đề cập ở phần trên. Khi đó, bài toán trở thành tính bức xạ của hai chấn tử đặt cách nhau $2h$ trong không gian tự do. Nếu coi trường tạo bởi chấn tử thực tại điểm khảo sát có pha gốc thì biểu thức tính cường độ trường tạo bởi chấn tử ảnh cũng tại điểm ấy có thể viết dưới dạng:

$$E_2 = E_1 R_{bx} e^{i(\varphi_{bx} - 2khsin\Delta)} \quad (3.31)$$

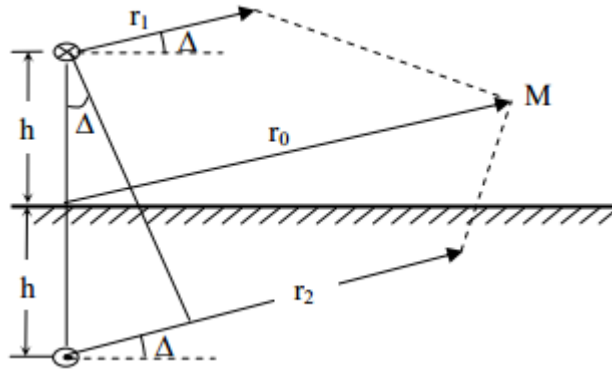
Trong đó:

E_1 là biên độ cường độ điện trường tạo bởi chấn tử đối xứng trong không gian tự do.

$$E_1 = E_0 F_0(\Delta) \quad (3.32)$$

E_0 là cường độ điện trường của chấn tử ở hướng bức xạ cực đại.

$F_0(\Delta)$ là hàm hướng tính chuẩn hóa của chấn tử trong mặt phẳng khảo sát.



Hình 3.12. Chấn tử đặt thẳng đứng và song song trên mặt đất, có tâm pha cách mặt đất một khoảng là h

$$F_0(\Delta) = \frac{\cos(kl \sin \Delta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \cos \Delta} \quad (3.33)$$

Trường tổng cộng tạo bởi chấn tử thật và chấn tử ảnh tại điểm khảo sát sẽ bằng:

$$E = E_1 + E_2 = E_0 F_0(\Delta) [1 + R_{bx} e^{i(\varphi_{bx} - 2kh \sin \Delta)}] \quad (3.34)$$

Hay

$$|E| = E_0 F_0(\Delta) \sqrt{1 + R_{bx}^2 + 2R_{bx} \cos(\varphi_{bx} - 2kh \sin \Delta)} \quad (3.35)$$

Bức xạ của chấn tử đối xứng đặt nằm ngang

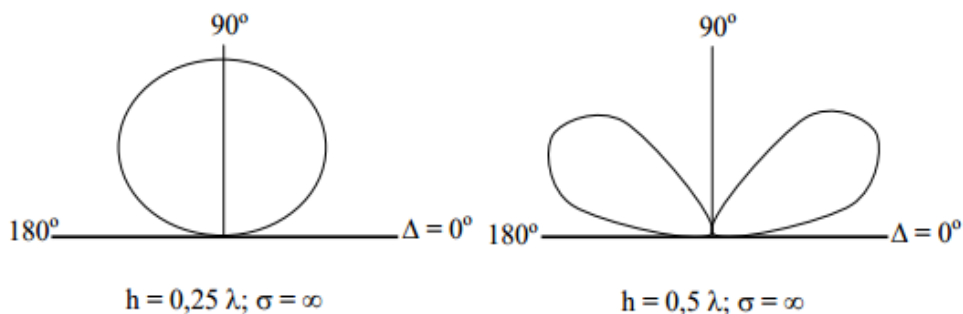
Trường hợp chấn tử nằm ngang, ở mặt phẳng vuông góc với trục và đi qua tâm chấn tử có $F_0(\Delta) = 1$. Nếu giả thiết mặt đất dẫn điện lý tưởng, thì mọi giá trị của góc Δ đều có $R_{px} = 1$, $\varphi_{px} = \pi$, khi đó

$$|E| = E_0 \sqrt{2[1 + \cos(\pi - 2kh \sin \Delta)]} \quad (3.36)$$

Biểu thức của hàm hướng tính trong trường hợp này:

$$F(\Delta) = \sin(kh \sin \Delta) \quad (3.37)$$

Đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng trong trường hợp này được mô tả như hình sau:



Hình 3.13. Đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng đặt nằm ngang trên mặt đất

Bức xạ của chấn tử đối xứng đặt thẳng đứng

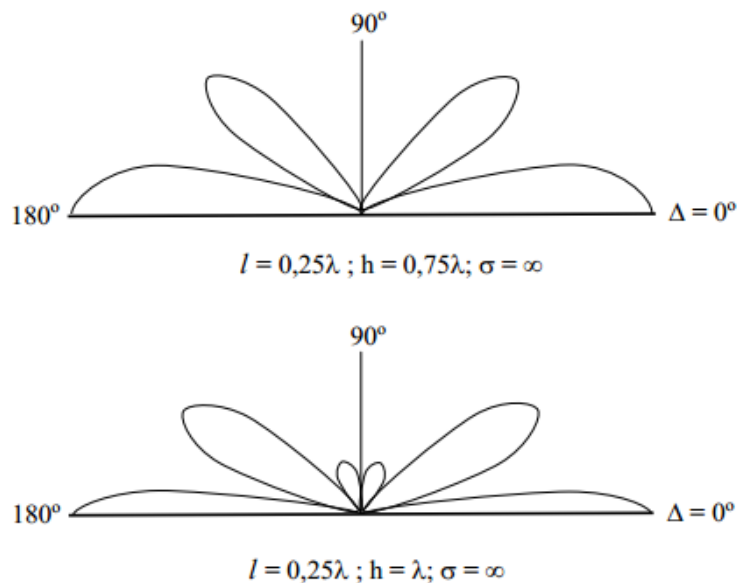
Trường hợp chấn tử đặt thẳng đứng trên mặt đất, $F_0(\Delta)$ được xác định theo công thức (3.34)

Nếu giả thiết mặt đất là dẫn điện lý tưởng, với mọi giá trị của góc Δ đều có $R_{px} = 1$, $\varphi_{px} = 0$, khi đó có:

$$|E| = 2E_0 F_0(\Delta) \cos(kh \sin \Delta) \quad (3.38)$$

Hàm hướng tính trong trường hợp này có dạng:

$$F(\Delta) = F_0(\Delta) \cos(kh \sin \Delta) \quad (3.39)$$



Hình 3.14. Đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng đặt vuông góc trên mặt đất

3.2.6. Hệ hai chấn tử đối xứng đặt gần nhau

Bức xạ của hệ hai chấn tử đặt gần nhau

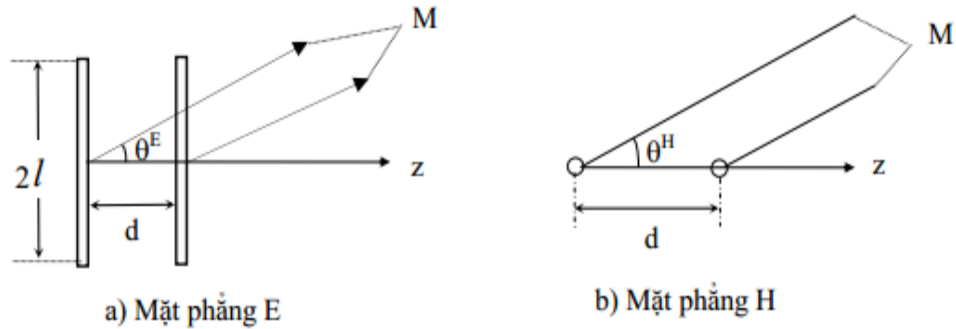
Để có được tính phương hướng khác nhau ta sử dụng các chấn tử đặt cách nhau một khoảng d nào đó và cấp điện cho chúng với pha khác nhau. Xét trường hợp đơn giản hệ gồm có hai chấn tử đặt song song và cách nhau một khoảng d .

Quan hệ của dòng điện chấn tử 2 so với dòng điện trong chấn tử 1 được biểu thị bằng biểu thức sau:

$$\frac{I_2}{I_1} = a_2 e^{i\psi_2} \quad (3.40)$$

Trong đó: a_2 là tỷ số biên độ dòng điện của chấn tử 2 và chấn tử 1.

ψ_2 là góc sai pha của dòng điện trong chân tử 2 so với dòng trong chân tử 1.



Hình 3.15. Hệ hai chân tử đối xứng đặt song song gần nhau

Như vậy trường bức xạ tại miền bức xạ sẽ là tổng của trường bức xạ của hai chân tử:

$$E = -\frac{ik}{4\pi} \frac{e^{-ikr}}{r} f_1(\theta) (1 + a_2 e^{i\psi_2} e^{ikd \cos \theta}) \quad (3.41)$$

Trong đó: $f_1(\theta)$ là hàm hướng tính của chân tử đối xứng trong mặt phẳng khảo sát.

Nếu mặt phẳng khảo sát là mặt phẳng E như đã chỉ ra trên hình 3.14a thì:

$$f_1(\theta^E) = -\frac{z}{k} 2I_b \frac{\cos(kl \cos \theta^E) - \cos(kl)}{\sin \theta^E} \quad (3.42)$$

Nếu mặt phẳng khảo sát là mặt phẳng H như đã chỉ ra trên hình 3.15b thì:

$$f_1(\theta^H) = -\frac{z}{k} 2I_b (1 - \cos kl) \quad (3.43)$$

Hàm hướng tính tổng hợp của hệ thống được xác định từ (3.41):

$$f_k(\theta) = 1 + a_2 e^{i\psi_2} e^{ikd \cos \theta} \quad (3.44)$$

Đồ thị của hàm phương hướng tổ hợp sẽ có dạng biến đổi, phụ thuộc vào các giá trị khác nhau của d/λ và $e^{i\psi_2}$.

- Trường hợp hai chân tử được kích thích bởi các dòng điện đồng biên, đồng pha ($a_2 = 1, \psi_2 = 0$)

Khi đó công thức (3.44) được viết lại:

$$f_k(\theta) = 1 + e^{ikd \cos \theta} = e^{\frac{ikd \cos \theta}{2}} \left(e^{\frac{ikd \cos \theta}{2}} + e^{-\frac{ikd \cos \theta}{2}} \right) \quad (3.45)$$

Hay

$$f_k(\theta) = 2 \cos[(kd/2)\cos\theta] e^{\frac{ikd \cos\theta}{2}} \quad (3.46)$$

Từ đó suy ra:

$$\begin{cases} f_{km} = 2 \cos[(kd/2)\cos\theta \\ \arg f_k(\theta) = (kd/2)\cos\theta \end{cases} \quad (3.47)$$

Tâm pha của hệ hai chấn tử có giá trị bằng:

$$z_0 = \frac{d}{2} \quad (3.47a)$$

Hàm hướng tính biên độ của hệ 2 chấn tử đồng pha có dạng:

$$|f_m(\theta)| = 2 |\cos[(kd/2)\cos\theta]| \quad (3.48)$$

Đồ thị phương hướng biên độ của hệ hai chấn tử đồng pha ứng với các khoảng cách d/λ khác nhau được vẽ ở hình 3.16a.

Hướng bức xạ cực đại được xác định từ điều kiện:

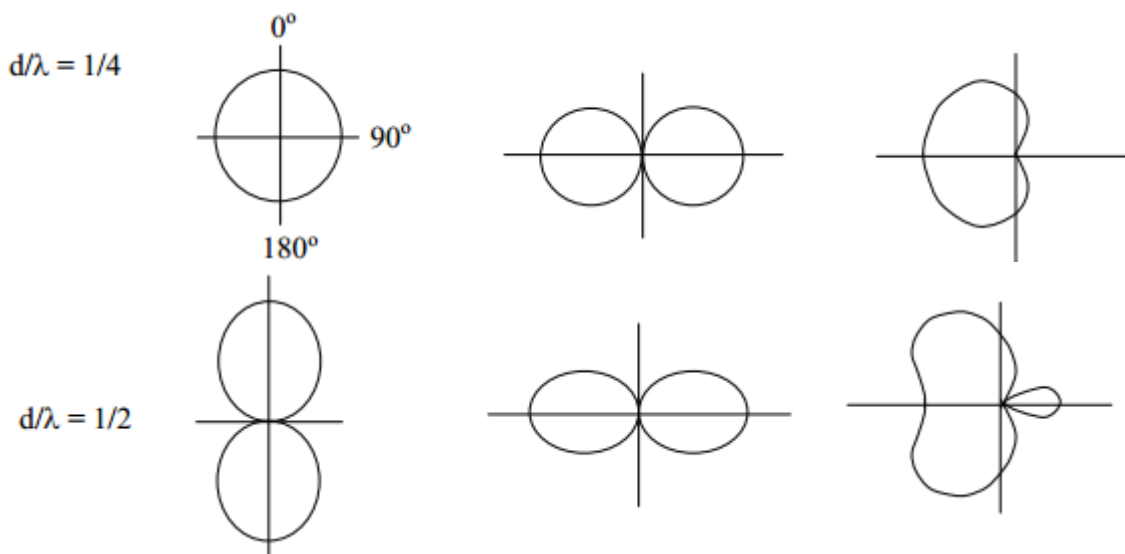
$$kd \cos \theta_{\max} = \pm 2n\pi$$

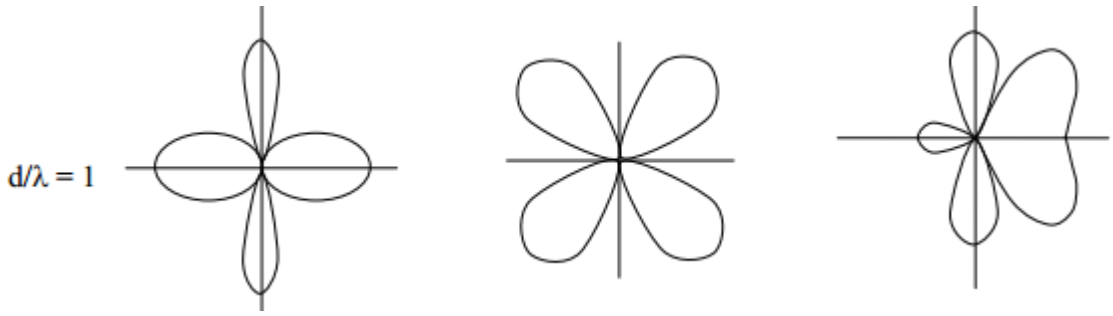
hoặc

$$\cos \theta_{\max} = \pm n\lambda/d$$

Trong đó $n = 0, 1, 2, \dots$ với $n \leq d/\lambda$ (Vì $\cos \theta_{\max} < 1$ nên $\frac{n\lambda}{d} < 1$ suy ra $n < d/\lambda$).

Đặc biệt khi $n = 0$ thì $\theta_{\max} = 90^\circ$ không phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai chấn tử, trường bức xạ của hai chấn tử trong trường hợp này đồng pha và trường tổng sẽ có giá trị cực đại và gấp đôi trường của một chấn tử.





Hình 3.16. Đồ thị phương hướng của hai chấn tử đặt song song với nhau

Các hướng bức xạ bằng không, được xác định từ biểu thức

$$kd \cos \theta_0 = \pm(2n+1)\pi \text{ hay } \cos \theta_0 = \frac{(2n+1) \lambda}{2d}.$$

Với $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ vì $\cos \theta_0 < 1$ nên suy ra $(2n+1)/2 < d/\lambda$.

Như vậy khi $n = 0$ thì $\frac{d}{\lambda} > 1/2$ nên khi $\frac{d}{\lambda} < 1/2$ sẽ không thỏa mãn điều kiện trên, nghĩa là không có hướng bức xạ không.

- Trường hợp hai chấn tử được kích thích bởi các dòng điện có biên độ bằng nhau nhưng ngược pha $a_2 = 1, \psi_2 = 180^\circ$

Khi đó công thức (3.44) được viết lại là:

$$f_k(\theta) = -2 \sin[(kd)/2 \cos \theta] e^{\frac{ikd \cos \theta}{2}} \quad (3.49)$$

Hàm hướng tính biên độ có dạng:

$$|f_{kn}(\theta)| = 2 |\sin[(kd/2) \cos \theta]| \quad (3.50)$$

Đồ thị phương hướng biên độ của mảng trong trường hợp này được vẽ ở hình 3.16b. Ta thấy bức xạ của hệ hai chấn tử theo $\theta = 90^\circ$ luôn luôn bằng không, không kể khoảng cách giữa chúng là bao nhiêu.

Hướng mà trường tổng cộng có giá trị cực đại lớn gấp 2 lần trường bức xạ của một chấn tử được xác định từ điều kiện: $kd \cos \theta_{\max} = \pm(2n+1)\pi$.

Tức là: $\cos \theta_{\max} = (2n+1)\pi / kd$ hay $\theta_{\max} = \pm \frac{(2n+1) \lambda}{2d}$ với $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Ta nhận thấy rằng khi $d/\lambda < 1/2$ sẽ không có hướng nào mà trường bức xạ lớn gấp đôi so với trường bức xạ của chấn tử đơn.

Các hướng bức xạ không, được xác định từ điều kiện $kd \cos \theta_0 = \pm 2n\pi$ với $n = 0, 1, 2, 3, \dots, n \leq d/\lambda$. Khi $n = 0$ ta có $\theta_0 = 90^\circ$ mọi giá trị của d đều thỏa mãn không phụ thuộc khoảng cách giữa hai chấn tử. Các kết quả này có thể được giải thích theo quan điểm vật lý một cách dễ dàng.

- Trường hợp $a_2 = 1, \psi = 90^\circ$

Khi đó công thức (3.44) được viết lại là:

$$f_k(\theta) = 1 + e^{i\left(kd \cos\theta + \frac{\pi}{2}\right)} \quad (3.51)$$

Hay

$$f_k(\theta) = 2 \cos \left[\frac{kd}{2} \cos\theta + \frac{\pi}{4} \right] e^{i \left[\frac{kd \cos\theta}{2} + \frac{\pi}{4} \right]} \quad (3.52)$$

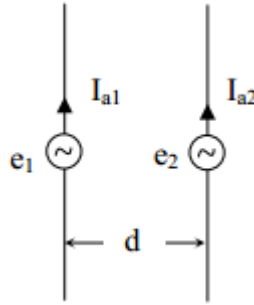
Hàm hướng tính biên độ:

$$|f_{km}(\theta)| = 2 \left| \cos \left(\frac{kd}{2} \cos\theta + \frac{\pi}{4} \right) \right| \quad (3.53)$$

Chú ý rằng khi $d = \lambda/4$ thì công thức (3.53) sẽ có cực tiểu bằng 0 khi $\theta = 90^\circ$ và cực đại bằng 2 khi $\theta = 180^\circ$. Đồ thị phương hướng của hệ hai chấn tử trong trường hợp này có dạng cardioid (hình 3.16c).

Trở kháng vào và trở kháng bức xạ của hệ hai chấn tử

Xét hai chấn tử dẫn điện lý tưởng đặt trong không gian tự do, được tiếp điện bởi nguồn sức điện động riêng rẽ như hình sau.



Hình 3.17. Hai chấn tử dẫn điện lý tưởng đặt trong không gian tự do, được tiếp điện bởi nguồn sức điện động riêng rẽ

Quy luật phân bố dòng điện giả sử được biết trước, và ảnh hưởng của hai chấn tử chỉ làm thay đổi trở kháng vào của chúng mà không tính đến thay đổi phân bố dòng điện. Sức điện động ở đầu vào mỗi chấn tử khi xét đến ảnh hưởng của trường tạo bởi chấn tử còn lại được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} e_1 &= I_{a1}Z_{11} + I_{a2}Z_{12} \\ e_2 &= I_{a2}Z_{22} + I_{a1}Z_{21} \end{aligned} \quad (3.54)$$

Trong đó: Z_{11} và Z_{22} là trở kháng riêng của chấn tử 1 và 2.

Z_{12} và Z_{21} là trở kháng tương hỗ, chúng luôn bằng nhau.

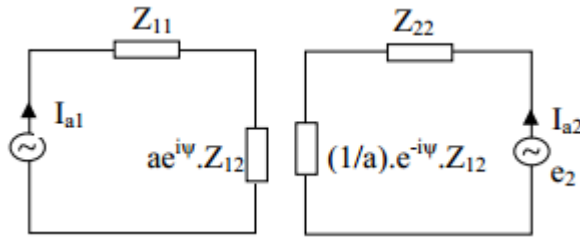
Nếu mối quan hệ dòng điện đầu vào của hệ hai chấn tử được biểu thị bằng công thức:

$$\frac{I_{a2}}{I_{a1}} = ae^{i\psi} \quad (3.55)$$

Từ (3.54), (3.55) ta nhận được công thức tính trở kháng vào của mỗi chân tử khi xét đến ảnh hưởng tương hỗ của chân tử kia:

$$\begin{aligned} Z_{v1} &= \frac{e_1}{I_{a1}} = Z_{11} + ae^{i\psi} Z_{12} \\ Z_{v2} &= \frac{e_2}{I_{a2}} = Z_{22} + ae^{-i\psi} Z_{12} \end{aligned} \quad (3.56)$$

Theo (3.56) có thể thiết lập sơ đồ tương đương của hệ hai chân tử như hình vẽ sau:



Hình 3.18. Sơ đồ tương đương của hệ hai chân tử

Trở kháng riêng và trở kháng tương hỗ của hai chân tử được viết dưới dạng phức:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= R_{11} + iX_{11} \\ Z_{22} &= R_{22} + iX_{22} \\ Z_{12} &= R_{12} + iX_{12} \end{aligned} \quad (3.57)$$

Thay (3.57) vào (3.56) và tách riêng phần thực và phần ảo, sẽ nhận được

$$\begin{aligned} Z_{v1} &= R_{11} + a(R_{12} \cos \psi - X_{12} \sin \psi) + i[X_{11} + a(R_{12} \sin \psi + X_{12} \cos \psi)] \\ Z_{v2} &= R_{22} + a(R_{12} \cos \psi + X_{12} \sin \psi) + i[X_{22} - a(R_{12} \sin \psi - X_{12} \cos \psi)] \end{aligned} \quad (3.58)$$

Nếu coi hiệu suất bức xạ của các chân tử là 100% thì công suất của máy phát cung cấp cho chân tử 1 và bức xạ bởi chân tử được xác định như sau:

$$\begin{aligned} P_{bx1} &= \frac{I_{a1} I_{a1}^*}{2} [R_{11} + a(R_{12} \cos \psi - X_{12} \sin \psi)] \\ P_{bx2} &= \frac{I_{a2} I_{a2}^*}{2} \left[R_{22} + \frac{1}{a} (R_{12} \cos \psi - X_{12} \sin \psi) \right] \end{aligned} \quad (3.59)$$

Vì $P_{bx} = \frac{I^2 R_{bx}}{2}$, khi đó công suất bức xạ của hệ thống sẽ bằng tổng công suất bức xạ riêng rẽ, tức là:

$$P_{bx} = P_{bx1} + P_{bx2} = \frac{I_{a1} I_{a1}^*}{2} [R_{11} + a^2 R_{22} - 2a R_{12} \cos \psi] \quad (3.60)$$

Điện trở bức xạ của hệ thống (tính theo dòng điện ở điểm cấp điện của chân tử 1) là:

$$R_{bx0} = R_{11} + a^2 R_{22} - 2aR_{12} \cos \psi \quad (3.61)$$

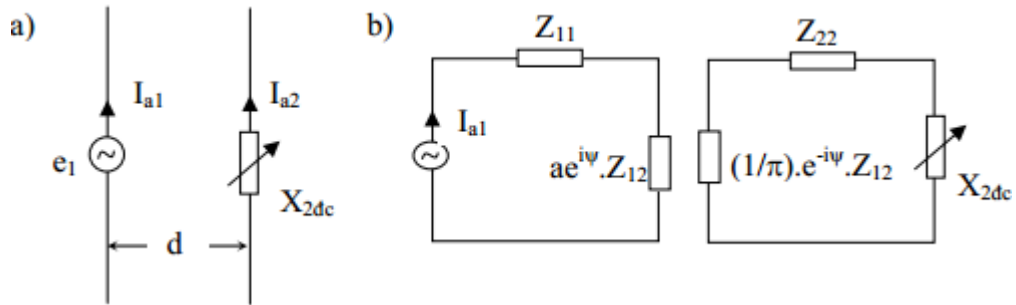
Từ (3.61) ta thấy rằng điện trở bức xạ của hệ hai chấn tử không phụ thuộc vào điện kháng riêng và điện kháng tương hỗ của hai chấn tử.

3.2.7. Chấn tử chủ động và chấn tử thụ động

Chấn tử chủ động: Là chấn tử được nối với nguồn và tự bức xạ sóng điện từ

Chấn tử thụ động: Là chấn tử không được nối với nguồn, hoạt động trên nguyên tắc cảm ứng điện từ.

Khảo sát hệ gồm một chấn tử chủ động và một chấn tử thụ động. Sơ đồ tương đương của hai chấn tử được biểu diễn trên hình 3.19.



Hình 3.19. a) Chấn tử ghép chấn tử thụ động và chấn tử chủ động

b) Sơ đồ tương đương của hai chấn tử

Vì dòng điện trên chấn tử thụ động được tạo ra do cảm ứng trường của chấn tử thụ động, nên biên độ và pha của dòng này phụ thuộc vào khoảng cách d giữa hai chấn tử và tổng trở kháng của chấn tử thụ động. Trở kháng này có thể điều chỉnh được bằng cách mắc ở đầu vào chấn tử thụ động một điện kháng biến đổi.

Áp dụng hệ phương trình (3.54) với $e_2 = 0$, ta được:

$$\begin{aligned} e_1 &= I_{a1} Z_{11} + I_{a2} Z_{12} \\ 0 &= I_{a2} (Z_{22} + iX_{2dc}) + I_{a1} Z_{21} \end{aligned} \quad (3.62)$$

Trong đó:

X_{2dc} là điện kháng điều chỉnh mắc ở đầu vào chấn tử thụ động.

Từ phương trình 2 của (3.62) ta rút ra được quan hệ dòng điện trong chấn tử thụ động và chấn tử nguồn:

$$\frac{I_{a2}}{I_{a1}} = \frac{Z_{12}}{Z_{22} + iX_{2dc}} \quad (3.63)$$

So sánh với công thức (3.55) ta có:

$$a = \sqrt{\frac{R_{12}^2 + X_{12}^2}{R_{22}^2 + (X_{22} + X_{2dc})^2}}$$

$$\psi = \pi + \operatorname{arctg} \frac{X_{12}}{R_{12}} - \operatorname{arctg} \frac{X_{22} + X_{2dc}}{R_{22}} \quad (3.64)$$

Để nhận được biểu thức tính tổng trở kháng vào của chân tử nguồn, bằng cách thay (3.63) vào (3.62):

$$Z_{v1} = Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_{22} + iX_{2dc}} \quad (3.65)$$

Tổng trở kháng của chân tử thụ động sẽ là:

$$Z_{v2} = 0 \quad (3.66)$$

Điện trở bức xạ của hệ thống được xác định theo công thức (3.61) trong đó a và ψ được xác định theo công thức (3.64).

3.3. Các phương pháp cấp điện cho chân tử đối xứng

Từ máy phát hoặc máy thu đến anten thường phải qua đường truyền dẫn fđơ hay còn gọi là đường tiếp điện. Trong phần này, chỉ khảo sát việc tiếp điện cho chân tử đơn giản được dùng phổ biến nhất là chân tử nửa sóng ($l = \lambda/2$). Để tiếp điện cho dải sóng cực ngắn có thể dùng dây song hành hoặc cáp đồng trục, còn ở dải sóng ngắn thường sử dụng dây song hành.

3.3.1. Cấp điện bằng dây song hành

Ta biết, trở kháng vào của chân tử nửa sóng có giá trị khoảng 73Ω . Khi chân tử được tiếp điện bằng đường dây song hành, thì trở kháng sóng của đường dây song hành có giá trị khoảng $200 - 600\Omega$. Sự không phối hợp trở kháng này dẫn đến hệ số sóng chạy trong đường truyền dẫn có giá trị thấp, hiệu suất truyền dẫn giảm, năng lượng cao tần đưa ra anten nhỏ. Để khắc phục hiện tượng này cần tạo các đường dây song hành đặc biệt có trở kháng thấp. Trở kháng sóng của đường dây song hành được xác định theo công thức:

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{2D}{d} \quad (\Omega) \quad (3.67)$$

Trong đó: D là khoảng cách giữa hai dây dẫn tính từ tâm

d là đường kính dây dẫn

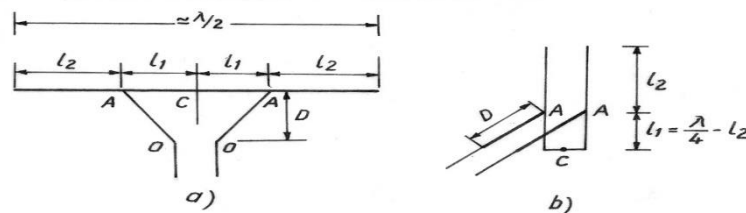
ϵ_r hằng số điện môi tương đối của môi trường bao quanh

dây dẫn

Nếu phối hợp trở kháng không tốt, sẽ làm cho hệ số sóng chạy trong đường truyền có giá trị thấp, hiệu suất truyền dẫn giảm, năng lượng cao tần đưa ra anten nhỏ. Để khắc phục hiện tượng này cần tạo ra các đường dây song hành đặc biệt có trở kháng thấp.

Chân tử kiểu Y

Một trong những sơ đồ tiếp điện cho chân tử nửa sóng bằng đường dây song hành có phối hợp trở kháng tốt là kiểu tiếp điện song song, hay còn gọi là sơ đồ phối hợp kiểu Y.



Hình 3.20. Tiếp điện kiểu song song và mạch tương đương

Trong trường hợp này chân tử được nối ngắn mạch ở giữa, còn đường dây song hành được mắc vào hai điểm A-A trên chân tử. Chân tử được coi tương đương với hai đoạn dây song hành mắc song song tại A-A, trong đó đoạn hở mạch dài l_2 còn đoạn ngắn mạch dài $l_1 = \lambda/4 - l_2$. Trở kháng vào tại A-A được xác định bằng:

$$R_v \approx R_{AA} \approx Z_{AA}^2 \frac{\sin^2(kl)}{73,1} \quad (3.68)$$

Như vậy, trở kháng vào của chân tử tại điểm tiếp điện A-A được coi gần đúng là điện trở thuần và trị số của nó phụ thuộc vào vị trí điểm cấp điện. Đoạn fidor hình Y nối chân tử với fidor tiếp điện chính trong trường hợp tổng quát có thể có trở kháng sóng bằng hoặc khác với trở kháng sóng của fidor chính. Do tính mất đối xứng nên đoạn fidor này sẽ không chỉ đơn thuần là phần tử truyền sóng mà còn bức xạ sóng. Khi ấy bức xạ của anten bao gồm bức xạ của chân tử nửa sóng và bức xạ của đoạn fidor hình chữ Y có chiều dài D. Nếu bỏ qua hiệu ứng bức xạ của đoạn fidor hình Y, đồng thời coi trở kháng sóng của đoạn fidor chuyển tiếp này bằng trở kháng sóng của đoạn fidor chính thì việc phối hợp trở kháng giữa chân tử và đoạn fidor chính có thể coi là hoàn hảo khi chọn điểm cấp điện thỏa mãn công thức trên. Nếu trở kháng sóng của đoạn fidor hình Y khác trở kháng sóng của đoạn fidor chính thì cần xác định chiều dài đoạn l_1 và D thích hợp để có trở kháng vào R_{AA} thích ứng dần với trở kháng sóng của đoạn fidor chính. Ở băng sóng ngắn và cực ngắn, nếu dùng

fiđơ loại 600Ω để tiếp điện cho chân tử nửa sóng thì chiều dài đoạn l_1 và D có thể xác định gần đúng bằng:

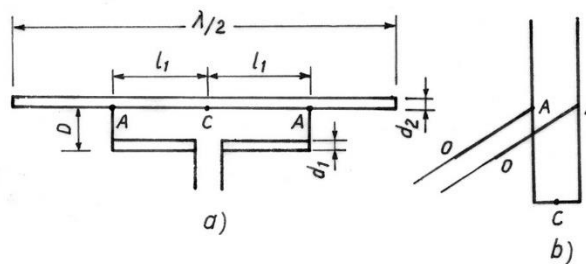
$$\begin{aligned} 2l_1 &\approx 0,12\lambda \\ D &\approx 0,15\lambda \end{aligned} \quad (3.69)$$

Nếu trở kháng sóng của fiđơ nhỏ hơn 600Ω thì cần thiết phải giảm l_1

Sơ đồ phối hợp kiểu Y như trình bày ở trên cho phép phối hợp tốt khi công tác ở một tần số cố định, không cần mắc thêm phần tử điều chỉnh phụ. Một ưu điểm nữa của phương pháp này là có thể nối trực tiếp điểm tiếp điện với cột hoặc giá đỡ kim loại mà không cần cách điện vì điểm tiếp điện là điểm nút điện áp.

Chân tử kiểu T

Một dạng khác của sơ đồ tiếp điện song song là sơ đồ phối hợp kiểu T như hình sau:



Hình 3.21. Tiếp điện song song kiểu T và mạch tương đương

Sơ đồ mạch tương đương của chân tử kiểu T tương tự như chân tử kiểu Y. Tuy nhiên, trong trường hợp này đoạn fiđơ chuyển tiếp OA đã biến dạng thành đoạn dây song hành với chân tử nên cần phải tính đến sự khác biệt về trở kháng sóng so với đoạn fiđơ chính và cũng không thể bỏ qua hiệu ứng bức xạ. Theo lý thuyết về trở kháng vào đã trình bày ở phần trên thì trở kháng vào của chân tử sẽ có giá trị cực đại khi điểm AA dịch chuyển ra phía đầu mút của chân tử ($l_1 = \lambda/4$). Nhưng nếu xét một cách hợp lý thì đầu vào của chân tử trong trường hợp này phải là tại OO, nên trở kháng vào của chân tử bây giờ là trở kháng tại AA biến đổi qua đoạn fiđơ chuyển tiếp OA. Có thể chứng minh được rằng trở kháng vào tại OO sẽ đạt được cực đại khi $l_1 = \lambda/8$ và giảm dần khi l_1 tăng. Đồng thời trị số của trở kháng này có thể biến đổi khi thay đổi tỷ lệ của các đường kính dây dẫn d_1, d_2 và chiều dài D .

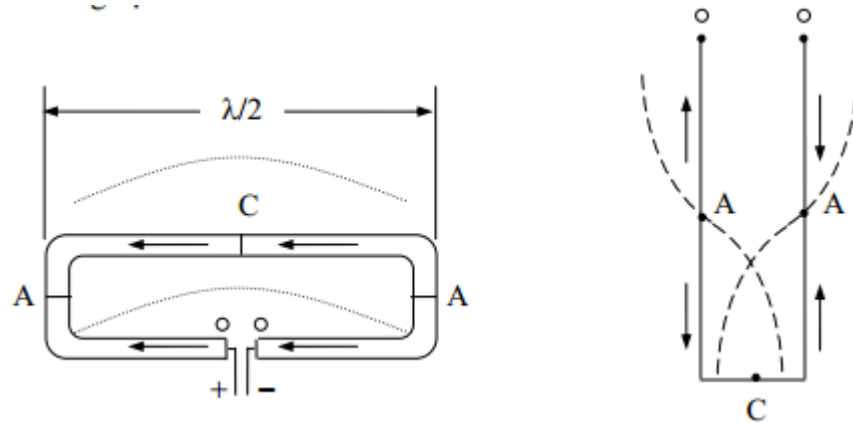
Nếu dùng fiđơ loại 600Ω để tiếp điện cho chân tử nửa sóng thì các kích thước của sơ đồ phối hợp kiểu T có thể xác định gần đúng bằng

$$\begin{aligned}
 l_1 &= (0,09 \div 0,1)\lambda \\
 D &= (0,01 \div 0,02)\lambda \\
 d_1 &= d_2
 \end{aligned}
 \tag{3.70}$$

Sơ đồ phối hợp kiểu T là một hình thức biến dạng trung gian. Nó có thể biến đổi tạo thành sơ đồ chấn tử kiểu khác như chấn tử vòng dẹt hoặc chấn tử omega.

Chấn tử vòng dẹt

Từ sơ đồ phối hợp kiểu T nếu ta dịch chuyển điểm AA ra đầu mút chấn tử ($l_1 = \lambda/4$), ta sẽ có chấn tử vòng dẹt.



Hình 3.22. Chấn tử vòng dẹt và mạch tương đương

Chấn tử vòng dẹt còn được gọi là chấn tử kép gồm hai chấn tử nửa sóng có đầu cuối được nối với nhau, một trong hai chấn tử được tiếp điện ở giữa, còn chấn tử kia được ngắn mạch ở giữa. Sơ đồ tương đương của chấn tử vòng dẹt là một đoạn dây song hành có chiều dài $l = \lambda/2$, được ngắn mạch ở đầu cuối và trên đường dây có sóng đứng.

Từ sơ đồ tương đương ta nhận thấy, hai chấn tử nối đầu cuối với nhau được kích thích bởi các dòng điện đồng pha, bụng dòng điện nằm tại điểm giữa của chấn tử, còn nút dòng điện tại hai đầu cuối AA. Trường bức xạ tổng tạo bởi hai chấn tử nhánh sẽ tương ứng nhau và bằng trường bức xạ tạo bởi một chấn tử nhưng có dòng điện lớn gấp đôi. Do đó, khi tính trường bức xạ ở khu xa có thể thay thế chấn tử vòng dẹt bởi một chấn tử nửa sóng đối xứng nhưng có dòng điện trong đó bằng tổng dòng điện trong hai chấn tử nhánh tại mỗi vị trí tương ứng. Như vậy, tính hướng của chấn tử vòng cũng giống với tính hướng của chấn tử nửa sóng. Nó chỉ khác về trở kháng bức xạ và điện trở bức xạ do có dòng lớn gấp đôi.

Nếu gọi R_{bx} là điện trở bức xạ của chân tử vòng dẹt (tính ở điểm bụng OO của dòng điện hay tại điểm tiếp điện) thì công suất bức xạ của chân tử vòng dẹt

$$P_{bx} = \frac{1}{2} I_0^2 R'_{bx} \quad (3.71)$$

Trong đó: I_0 là dòng điện tại điểm cấp điện.

Mặt khác, nếu coi chân tử vòng dẹt như một chân tử đối xứng nửa sóng, có dòng điện lớn gấp đôi so với dòng điện trong mỗi chân tử nhánh thì công suất bức xạ có thể tính:

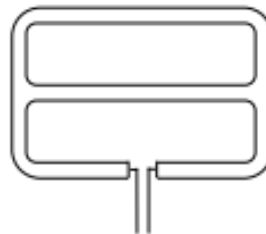
$$P_{bx} = \frac{1}{2} (2I_0)^2 R_{bx} \quad (3.72)$$

So sánh các công thức (3.64) và (3.65) ta thấy:

$$R'_{bx} = 4R_{bx} = 292\Omega \quad (3.73)$$

Điện kháng của chân tử vòng dẹt có giá trị khá nhỏ, trong thực tế có thể bỏ qua. Việc dùng chân tử vòng dẹt nửa sóng có điện trở vào lớn gấp 4 lần điện trở vào của chân tử đối xứng đơn có ý nghĩa lớn trong thực tế là có thể dùng dây song hành có trở kháng 300Ω để cấp điện trực tiếp cho anten.

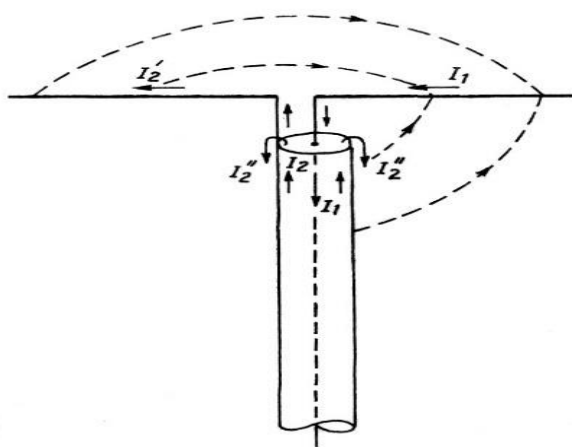
Trong thực tế có thể còn dùng chân tử vòng dẹt kép, như chỉ ra trong hình 3.23. Nguyên lý làm việc của nó tương tự như nguyên lý làm việc của chân tử vòng dẹt.



Hình 3.23. Chân tử vòng dẹt kép

3.3.2. Cấp điện bằng cáp đồng trục

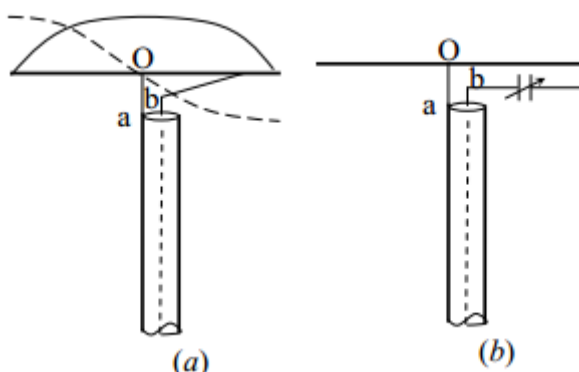
Khi cấp điện cho chân tử đối xứng bằng đường dây song hành ta thấy rằng việc cấp điện khá đơn giản và không cần thiết bị chuyển đổi. Tuy nhiên, với cách làm này, khi tần số tăng cao thì hiệu ứng bức xạ tăng dẫn đến tổn hao năng lượng và méo dạng đồ thị phương hướng của chân tử. Vì vậy ở dải sóng cực ngắn thường sử dụng cáp đồng trục để tiếp điện.



Hình 3.24. Cáp điện trực tiếp

Nếu đầu trực tiếp cáp đồng trục vào chần tử đối xứng thì dòng điện chảy trong dây dẫn trong của cáp I_1 sẽ cấp điện cho một nhánh chần tử, còn dòng điện chảy ở mặt trong của dây dẫn ngoài I_2 sẽ phân nhánh thành dòng I'_2 cấp điện cho nhánh thứ hai của chần tử và dòng I''_2 chảy ra phía ngoài của dây dẫn ngoài. Trong khi dòng I''_2 chảy ra mặt ngoài của cáp sẽ trở thành nguồn bức xạ ký sinh không những làm tổn hao năng lượng mà còn làm méo dạng đồ thị phương hướng của chần tử đối xứng.

Để giảm sự mất đối xứng khi cấp điện cho chần tử đối xứng bằng cáp đồng trục, có thể đầu cáp theo sơ đồ phối hợp hình Γ , minh họa trong hình 3.25a. Nếu sử dụng chần tử nửa sóng thì điểm giữa O của chần tử sẽ là điểm bụng dòng điện và nút điện áp, do đó có thể coi là điểm gốc điện thế. Vì vậy, có thể nối điểm O với dây dẫn ngoài của cáp tiếp điện mà không làm mất tính đối xứng của chần tử. Dây dẫn trong của cáp được nối với chần tử ở điểm có trở kháng phù hợp với trở kháng sóng của cáp. Trong thực tế, để thuận tiện trong việc điều chỉnh phối hợp trở kháng giữa fđơ và chần tử, có thể mắc thêm tụ chuẩn (hình 3.25b).

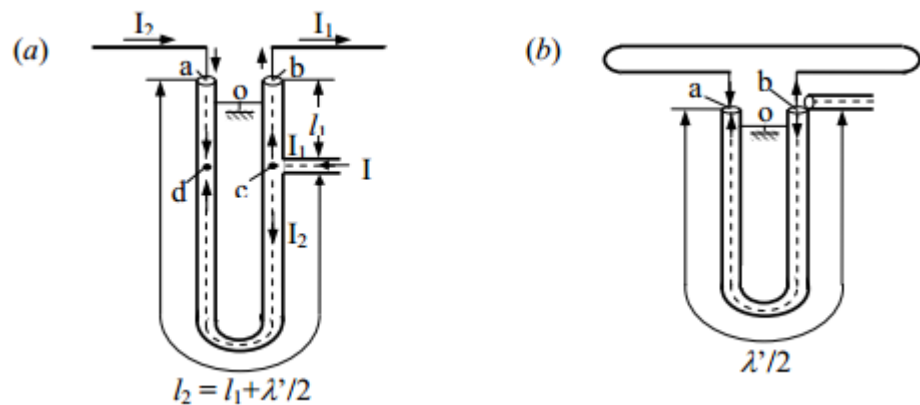


Hình 3.25. Cáp điện có bộ phối hợp

Sơ đồ cấp điện này thực hiện khá đơn giản nhưng có nhược điểm chủ yếu là không đảm bảo được cấp điện đối xứng một cách hoàn toàn. Thông thường để cấp điện cho chân tử đối xứng bằng cáp đồng trục cần có thiết bị chuyển đổi mắc giữa fidor và chân tử. Thiết bị này được gọi là thiết bị biến đổi đối xứng.

3.3.3. Thiết bị biến đổi đối xứng dùng đoạn cáp chữ U

Hình 3.26 sau trình bày sơ đồ bộ biến đổi đối xứng chữ U dùng để cấp điện cho chân tử nửa sóng.



Hình 3.26. Bộ biến đổi đối xứng chữ U

Trong sơ đồ này fidor cấp điện vào điểm c, có khoảng cách tới hai đầu của vòng chữ U là l_1 và l_2 , khác nhau nửa bước sóng ($l_1 - l_2 = \lambda'/2$; λ' là bước sóng truyền trong cáp đồng trục). Trở kháng tại đầu cuối a, b của vòng chữ U có giá trị bằng nhau và bằng một nửa trở kháng vào của chân tử đối xứng ($R_{ao} = R_{bo} = R_{ab}/2$). Trở kháng phản ánh từ đầu cuối a, b về điểm c qua đoạn l_1 và l_2 sẽ có giá trị bằng nhau. Dòng điện fidor cấp điện sẽ phân thành hai nhánh có biên độ bằng nhau ($|I_1| = |I_2|$) chảy về hai phía của vòng chữ U cấp cho hai nhánh chân tử. Vì khoảng cách từ c đến a và b khác nhau nửa bước sóng nên dòng I_1 và I_2 tại a và b có pha ngược nhau, nghĩa là đầu vào chân tử đã hình thành các dòng giống như dòng điện được đưa tới từ hai nhánh của đường dây song hành.

Để triệt tiêu dòng điện chảy ra mặt ngoài của dây dẫn ngoài, tại các đầu cuối của vòng chữ U, dây dẫn ngoài được nối ngắn mạch và tiếp đất. Thường đoạn cáp chữ U có trở kháng sóng bằng trở kháng sóng của fidor cấp điện, còn đoạn l_1 chọn sao cho thỏa mãn điều kiện phối hợp trở kháng tại điểm c, bảo đảm chế độ sóng chạy cần thiết trong fidor cấp điện.

Nếu coi gần đúng trở kháng vào của chân tử nửa sóng bằng bằng 70Ω thì $R_{ao} = R_{bo} = 35\Omega$. Giả sử đoạn cáp U đồng thời nếu $l_1 = \lambda/4$ thì trở kháng phản ảnh từ a về c cũng như từ b về c sẽ bằng:

$$R_1 = R_2 = \frac{Z_0^2}{R_{bo}} = \frac{70^2}{35} = 140\Omega$$

Trở kháng phản ảnh R_1, R_2 được coi như mắc song song tại c nên trở kháng vào tại đây sẽ là:

$$R_c = \frac{140}{2} = 70\Omega$$

Nếu fidor cáp điện có trở kháng sóng bằng 70Ω thì việc phối hợp trở kháng được coi là hoàn toàn, với hệ số sóng chạy trong fidor gần bằng 1. Trường hợp cáp điện cho chân tử vòng det, để thực hiện phối hợp trở kháng cần chọn $l_1 = 0$, lúc đó sơ đồ cáp điện được minh họa trong hình 3.26b.

Ta thấy rằng trở kháng vào của chân tử vòng det bằng bằng 292Ω , do đó $R_{ao} = R_{bo} = \frac{292}{2} = 146\Omega$. Ta có trở kháng vào tại c là $R_c = \frac{R_{ao}}{2} = 73\Omega$. Nếu dùng fidor cáp điện có trở kháng sóng bằng $(70 - 75)\Omega$ thì hệ số sóng chạy trong cáp điện cũng gần bằng 1.

3.4. Anten chân tử không đối xứng

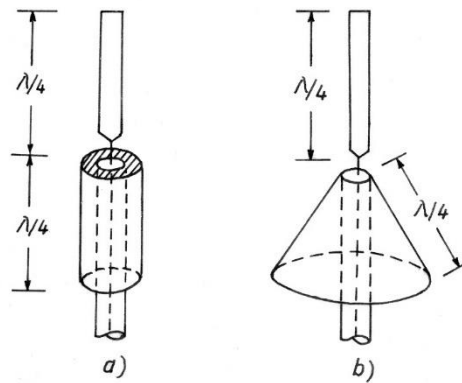
Chân tử không đối xứng là chân tử mà hai nhánh của nó có kích thước hình học khác nhau. Với định nghĩa như trên, có thể nêu nhiều ví dụ về chân tử không đối xứng: chân tử hình trụ với hai nhánh có cùng đường kính nhưng độ dài khác nhau (chân tử tiếp điện lệch); chân tử hình trụ với hai nhánh có đường kính khác nhau (chân tử không đồng đều); chân tử với một nhánh biến dạng thành mặt nón hoặc mặt phẳng; chân tử với hai nhánh biến dạng theo các dạng hình học khác nhau, bất kỳ,...

Chân tử không đối xứng được ứng dụng rộng rãi ở tất cả các dải sóng, từ sóng cực ngắn đến sóng dài và cực dài. Tuy nhiên, ở mỗi dải sóng khác nhau chân tử cũng có những đặc điểm kết cấu riêng phụ thuộc vào bước sóng và đặc điểm truyền lan của các dải sóng ấy.

3.4.1. Chân tử không đối xứng ở dải sóng cực ngắn và sóng ngắn

Ở dải sóng cực ngắn thường dùng fide tiếp điện là cáp đồng trục, vì chân tử được coi là thiết bị chuyển tiếp biến đổi sóng ràng buộc trong fide thành sóng tự do trong không gian, nên kết cấu của nó thường cũng được thực hiện

dưới dạng chuyển đổi từ kết cấu của cáp đồng trục: ruột của cáp được kéo thành một nhánh chân tử, còn vỏ cáp biến dạng thành một nhánh thứ 2.



Hình 3.27. Minh họa chân tử không đồng đều

Chân tử không đồng đều

Hình 3.27a là sơ đồ chân tử hình trụ không đồng đều, nhánh trên là phần kéo dài của ruột cáp, được kích thích bởi dòng điện chảy ở dây trong, còn nhánh dưới có dạng cốc $\lambda/4$ (đáy quay lên trên), được kích thích bởi dòng điện chảy ở mặt trong của vỏ cáp tiếp điện. Trong trường hợp này, cốc kim loại và vỏ cáp tiếp điện hình thành một đoạn cáp đồng trục mới dài $\lambda/4$, ngắn mạch đầu cuối (tại cốc). Vì trở kháng giữa đầu cuối nhánh dưới và vỏ cáp tiếp điện có giá trị vô cùng nên dòng điện chảy trên nhánh chân tử sẽ phản xạ lại từ đó mà không truyền ra vỏ ngoài cáp tiếp điện.

Nếu đường kính của hai nhánh không quá lớn ($\sqrt{a_1 a_2} < \frac{l}{100}$ với l là độ dài tổng cộng; a_1 và a_2 là bán kính các nhánh) thì phân bố dòng điện trên chân tử ở chế độ cộng hưởng hoặc gần cộng hưởng ($l \leq \lambda/2$) sẽ có dạng gần với phân bố hình sin. Đồ thị phương hướng của chân tử cũng có dạng giống như đồ thị phương hướng của chân tử có hai nhánh đồng đều.

Trở kháng vào của chân tử có thể được tính theo công thức của chân tử đối xứng, với trở kháng sóng xác định theo công thức gần đúng:

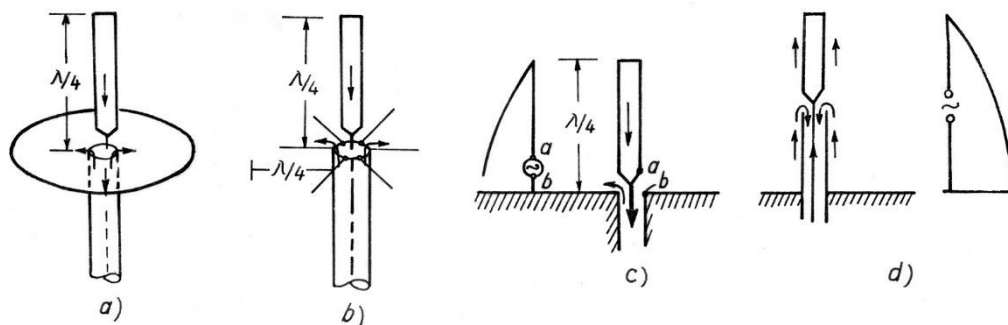
$$\rho_A \approx 120 \left[\ln \left(\frac{1}{\sqrt{a_1 a_2}} \right) - 1 \right]$$

Biểu thức này có thể nhận được khi coi chân tử tương đương với đường dây song hành có đường kính khác nhau.

Chân tử hình chóp

Hình 3.27b minh họa chân tử không đối xứng mà cốc hình trụ được thay thế bởi hình chóp có độ dài đường sinh bằng $\lambda/4$. Nguyên lý làm việc của chân tử chóp cũng tương tự như nguyên lý của chân tử hình trụ không đồng đều đã khảo sát ở trên. Trong trường hợp này sự biến đổi kích thước của nhánh chân tử dưới được thực hiện một cách đều đặn nên sự phối hợp trở kháng cũng được bảo đảm tốt hơn trong dải tần. Vì vậy đặc tính tần số của chân tử cũng được cải thiện hơn.

Chân tử thẳng đứng trên nền kim loại.



Hình 3.28. Minh họa chân tử thẳng đứng trên nền kim loại

Hình 3.28a là sơ đồ chân tử không đối xứng trong đó có một nhánh của nó biến dạng thành đĩa kim loại phẳng, kích thước hữu hạn. Trong một số trường hợp, để đơn giản có thể thay đĩa kim loại bởi các dây dẫn hướng tâm, mỗi dây dài $\lambda/4$ (hình 3.28b). Lưới dây dẫn hướng tâm trong trường hợp này còn có tên gọi là "đối trọng" của anten. Trường hợp đĩa kim loại có kích thước vô cùng lớn, trở thành màn chắn dẫn điện(*), chúng ta nhận được chân tử không đối xứng trên nền kim loại (hình 3.28c). Ở hình 3.28c cũng vẽ kèm theo sơ đồ tương đương và phân bố dòng điện trên chân tử. Nhánh chân tử thẳng đứng được kích thích bởi dòng điện chảy ở dây trong của cáp còn màn chắn kim loại được kích thích bằng dòng điện chảy ở mặt trong của vỏ cáp tiếp điện. Trong trường hợp này, vị trí tiếp điện cho chân tử được coi là tại a – b, nghĩa là ở góc của nhánh đứng (xem sơ đồ tương đương). Sơ đồ chân tử không đối xứng với điểm tiếp điện ở giữa nhánh đứng được vẽ ở hình 3.28d.

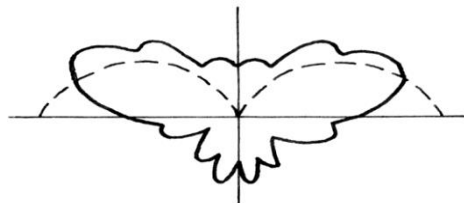
Nếu màn chắn dẫn điện rộng vô hạn thì có thể khảo sát bức xạ của chân tử theo nguyên lý ảnh gương. Đồ thị phương hướng của chân tử có cực đại hướng dọc theo màn chắn. Trường bức xạ chỉ phân bố trong một nửa không

(*) Ở dải sóng cực ngắn, màn chắn dẫn điện có thể là vỏ máy, vỏ con tàu, máy bay, v.v... Dạng của màn chắn có thể là phẳng, cầu, hoặc trụ. Nếu kích thước của màn chắn rất lớn so với kích thước chân tử và bước sóng công tác thì có thể coi màn chắn là màn dẫn điện rộng vô hạn.

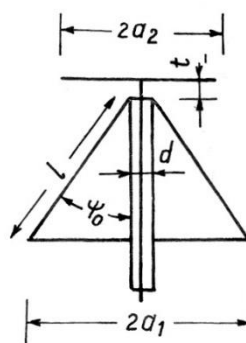
gian phía bên trên màn chắn nên đồ thị phương hướng chấn tử có dạng nửa số 8 (xem hình 3.29 đường đứt nét).

Áp dụng nguyên lý ảnh gương đối với sơ đồ tương đương của chấn tử ở hình 3.29c ta cũng xác định được trở kháng vào của chấn tử, nghĩa là trở kháng giữa hai điểm tiếp điện a – b. Như đã chứng minh ở phần lý thuyết anten, trở kháng vào của chấn tử tại a – b sẽ có giá trị bằng một nửa trở kháng vào của chấn tử đối xứng đặt trong không gian tự do, có độ dài mỗi nhánh bằng độ dài nhánh thẳng đứng của chấn tử không đối xứng. Với độ dài nhánh thẳng đứng bằng $\lambda/4$, ta có trở kháng vào của chấn tử bằng một nửa trở kháng vào của chấn tử nửa sóng đặt trong không gian tự do.

Nếu màn chắn có kích thước hữu hạn (ví dụ trường hợp đĩa kim loại ở hình 3.29) thì dòng điện chảy ở mặt trên của đĩa sẽ tiếp tục chảy qua mép đĩa, xuống mặt dưới và sau đó chảy ra mặt ngoài cáp tiếp điện. Bức xạ của dòng này sẽ làm méo dạng đồ thị phương hướng và biến đổi trở kháng vào của chấn tử. Hình 3.30 vẽ đồ thị phương hướng của chấn tử phân tư sóng, đặt trên đĩa kim loại có đường kính 6λ (đồ thị thực nghiệm - đường liền). Từ hình vẽ ta thấy rằng do ảnh hưởng của dòng điện chảy ở mặt dưới đĩa kim loại và chảy ở mặt ngoài vỏ cáp tiếp điện, hướng cực đại của đồ thị phương hướng không còn trùng với mặt phẳng kim loại nữa mà chệch lên phía trên.



Hình 3.29. Đồ thị phương hướng của chấn tử phân tư sóng, đặt trên đĩa kim loại có đường kính 6λ

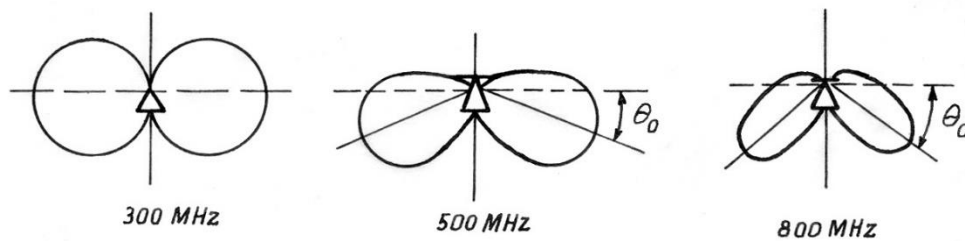


Hình 3.30. Sơ đồ một kiểu chấn tử dải rộng biến dạng

Chân tử biến dạng kiểu đĩa - chóp

Hình 3.31 là sơ đồ một kiểu chân tử dải rộng biến dạng, trong đó một nhánh chân tử biến thành hình nón giống như ở sơ đồ hình 3.27b, còn nhánh thứ 2 biến thành đĩa kim loại phẳng. Chân tử được tiếp điện bởi cáp đồng trục, lõi cáp nối với đĩa kim loại còn vỏ cáp nối với đỉnh của chóp.

Nguyên lý mở rộng dải tần của anten đĩa - chóp cũng tương tự như đối với chân tử lưỡng chóp và chân tử chóp đã trình bày trước đây, nghĩa là theo nguyên lý biến đổi và phối hợp từ từ giữa hệ thống tiếp điện và không gian bên ngoài.



Hình 3.31. Chân tử biến dạng kiểu đĩa - chóp

Giới hạn dưới của dải tần công tác được xác định ở miền tần số mà hệ số sóng chạy trong fide tiếp điện bắt đầu giảm mạnh. Bước sóng lớn nhất có giá trị bằng khoảng 3,6 lần độ dài đường sinh của hình chóp ($\lambda_{\max} \approx 3,6 l$), nghĩa là độ dài đường sinh hình chóp lớn hơn phần tư bước sóng cực đại $\left(l > \frac{\lambda_{\max}}{4} \right)$.

Khi giảm các kích thước d và t , giới hạn của dải sóng công tác được mở rộng về phía bước sóng ngắn hơn. Góc ψ_0 tốt nhất có giá trị khoảng 30° . Các kích thước của anten có quan hệ với nhau theo các hệ thức sau:

$l \approx 0,3d; a_1 = l \sin \psi_0 + \frac{d}{2}; a_2 = 0,7a_1$. Hệ số bao trùm dải sóng của anten có thể đạt

tới $\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{5}{1}$ với hệ số sóng chạy lớn hơn 0,5 khi dùng fide tiếp điện có trở

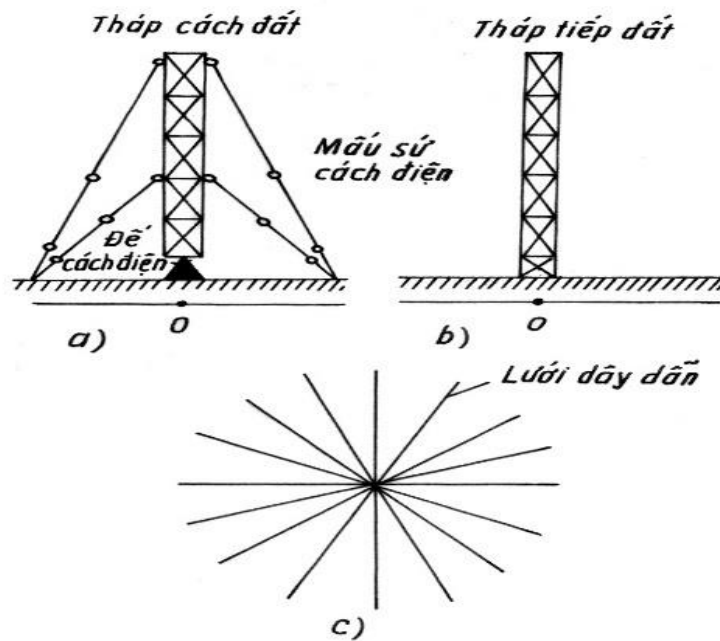
kháng sóng 50Ω . Đồ thị phương hướng của anten được biểu diễn trên hình 3.31, cụ thể trong mặt phẳng ngang có dạng đường tròn, còn trong mặt phẳng

đứng - phụ thuộc vào góc ψ_0 , tỷ số $\frac{a_2}{a_1}$ và bước sóng công tác. Khi tăng tần số

về phía cao của dải tần, hướng bức xạ cực đại sẽ lệch khỏi phương nằm ngang, về phía chóp (hình 3.31).

3.4.2. Chân tử không đối xứng ở dải sóng trung và sóng dài

Do đặc điểm của sóng trung và sóng dài là truyền lan theo phương thức sóng đất nên anten sóng trung, sóng dài thường dùng là chân tử không đối xứng đặt thẳng đứng trên mặt đất. Ở dải sóng trung, chân tử không đối xứng được thực hiện dưới dạng tháp (cột) hoặc dây thẳng đứng có tải dung kháng (anten dây có đỉnh), còn ở dải sóng dài và cực dài chân tử được thực hiện dưới dạng dây thẳng đứng có đỉnh, với một hoặc nhiều nhánh đứng. Để giảm tổn hao trong đất (tăng hiệu suất anten), ở khu vực đế anten được đặt hệ thống dây dẫn hướng tâm bên dưới mặt đất.



Hình 3.32. Kết cấu anten tháp

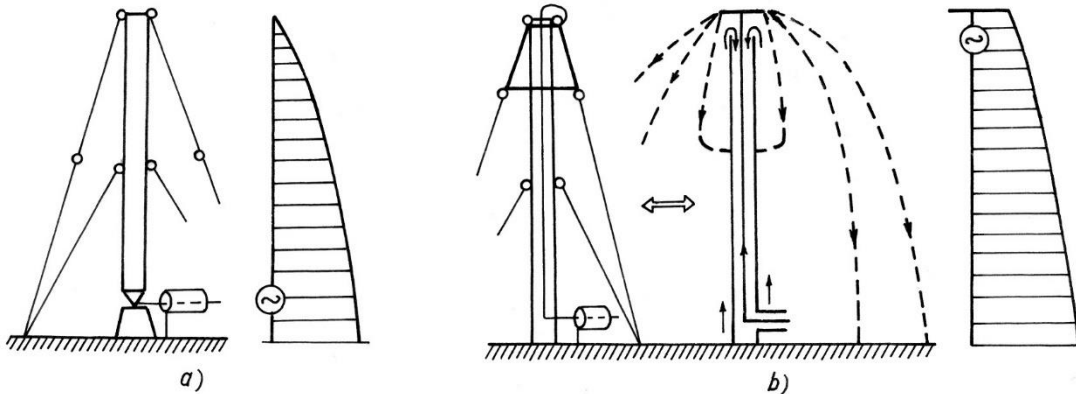
Anten tháp

Về mặt kết cấu có thể phân biệt anten tháp theo các loại: Anten tháp cách đất và anten tháp tiếp đất (hình 3.32). Để tăng độ cao hiệu ứng của tháp cũng có thể mắc thêm tải dung kháng ở đầu cuối (tháp có đỉnh). Xét về phương thức tiếp điện có thể phân biệt anten tháp theo các loại: tiếp điện nối tiếp và tiếp điện song song.

- Sơ đồ tháp tiếp điện nối tiếp

Sơ đồ tiếp điện nối tiếp cho anten tháp được trình bày ở hình 3.32, trong đó hình 3.32a là sơ đồ tiếp ở góc, áp dụng cho tháp không tiếp đất, còn hình 3.32b là sơ đồ tiếp ở đỉnh - áp dụng cho tháp tiếp đất. Bên cạnh các sơ đồ tiếp điện, có vẽ kèm theo sơ đồ tương đương và phân bố dòng điện.

Ở sơ đồ (a) phân bố dòng điện tương tự như đối với chấn tử không tải, còn ở sơ đồ (b), phân bố dòng điện tương tự trường hợp chấn tử có tải điện dung. Trong trường hợp này, tải điện dung là bộ phận dây chằng ở gần đỉnh, được biểu thị tương đương với đĩa kim loại ở hình kế bên.

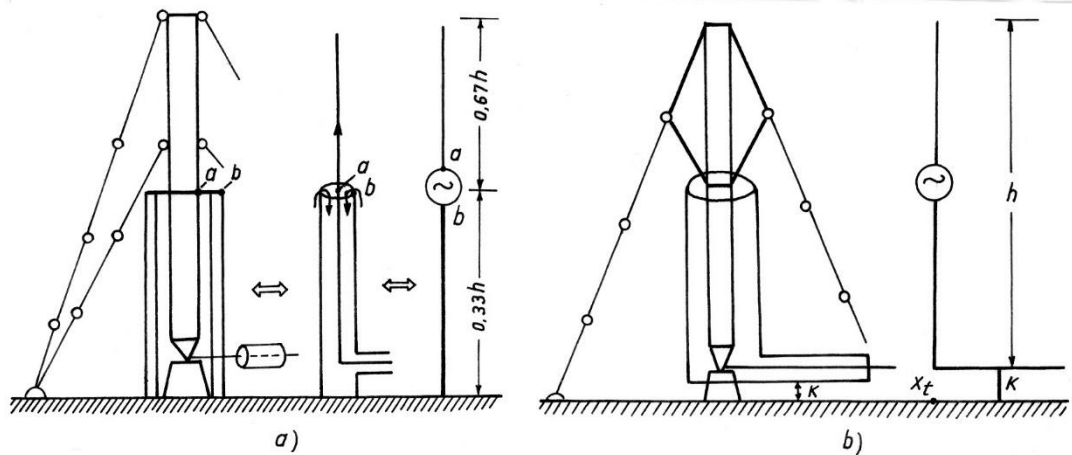


Hình 3.33. Sơ đồ tiếp điện nối tiếp cho anten tháp

Để tăng hiệu quả chống fading của anten sóng trung, độ cao anten cần đủ lớn để nhận được đồ thị phương hướng trong mặt phẳng đứng hẹp. Độ dài điện tổng cộng của anten chống fading được chọn bằng 190° ($kh = 190^\circ$, ứng với $\frac{h}{\lambda} = 0,53$). Khi tiếp tục tăng độ cao h (hoặc tương ứng - giảm bước sóng công tác λ), đồ thị phương hướng trong mặt phẳng đứng tiếp tục hẹp lại nhưng đồng thời bức xạ phụ cũng tăng, và do đó hiệu quả chống fading lại giảm đi. Để mở rộng dải tần công tác của anten có thể dùng sơ đồ tiếp điện ở giữa (hình 3.33a) và sơ đồ tiếp điện ở giữa có điều chỉnh phân bố dòng (hình 3.33b).

Ở hình 3.34a phần dưới tháp anten cùng với lưới dây dẫn bao bọc tạo thành một cấu trúc tương tự như một đoạn cáp đồng trục: ruột là tháp anten còn vỏ cáp là lưới dây dẫn bao quanh. Trong trường hợp này, anten có cấu trúc tương tự như ở sơ đồ 3.34b đã khảo sát trước đây, nghĩa là điểm tiếp điện coi như được đặt giữa đầu cuối của lưới dây dẫn hình trụ (điểm b) và điểm tương ứng của thân tháp (điểm a). Với các tháp tiếp điện ở góc hoặc ở đỉnh, khi độ cao của tháp tăng (hoặc λ giảm) tới mức tỷ số $\frac{h}{\lambda}$ vượt quá 0,5 sẽ xuất hiện khu vực dòng điện ngược pha, nhưng với tháp anten được tiếp điện theo sơ đồ trên, khi tỷ số $\frac{h}{\lambda}$ tăng đến 0,7, dòng điện ở các phần vẫn luôn luôn đồng pha nhau. Về phía tần số thấp, khi $l \ll \lambda$, phân bố dòng điện trên anten sẽ

đồng đều hơn so với các tháp thông thường có cùng độ dài. Do đó anten tiếp điện theo sơ đồ trên cũng có độ cao hiệu dụng lớn hơn.



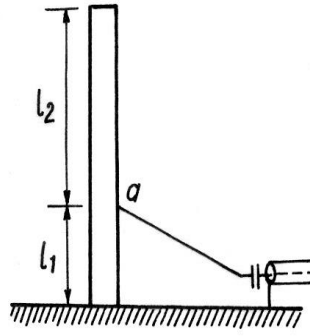
Hình 3.34. Sơ đồ tương đương của anten và vị trí tiếp điện

Sơ đồ 3.34b cũng tương tự sơ đồ 3.34 về mặt nguyên lý tiếp điện nhưng ở đây phần dưới của lưới dây dẫn hình trụ bao bọc tháp không tiếp đất trực tiếp mà được nối qua một điện kháng X_1 . Điện kháng này được hình thành giữa vỏ ngoài của cáp đồng trục tiếp điện và mặt đất. Trị số của nó có thể điều chỉnh được bởi một cầu trượt ngắn mạch K .

Nếu ở anten tiếp điện theo sơ đồ 3.34a bụng dòng điện luôn luôn nằm ở góc của tháp và phân bố dòng điện theo tháp được xác định chỉ bởi tỷ số $\frac{l}{\lambda}$ thì đối với anten tiếp điện theo sơ đồ 3.34b, phân bố dòng điện có thể điều chỉnh được khi thay đổi X_t , nghĩa là bằng cách thay đổi vị trí điểm tiếp đất của vỏ cáp đồng trục. Điểm bụng dòng điện sẽ nằm ở vị trí ngắn mạch của vỏ cáp với đất. Khi thay tần số công tác có thể chọn độ dài điện tổng cộng của chấn tử thoả mãn điều kiện chống fading bằng cách thay đổi điểm tiếp đất.

- Sơ đồ tháp tiếp điện song song

Hình 3.35 là anten tháp tiếp điện song song, được ứng dụng cho các tháp tiếp đất. Trong sơ đồ này điện áp cao tần được đặt vào điểm a cách hai đầu các khoảng cách là l_1 và l_2 . Dây tiếp điện được đặt nghiêng trên mặt đất, nối trực tiếp giữa a và đầu cuối cáp tiếp điện hoặc nối gián tiếp thông qua một điện kháng ghép.



Hình 3.35. Sơ đồ tháp tiếp điện song song

Nếu áp dụng phương pháp ảnh *gương* để khảo sát ảnh hưởng của mặt đất thì sơ đồ chấn tử hình 2.35 thực chất cũng không khác sơ đồ chấn tử đối xứng tiếp điện song song, và do đó khi phân tích chúng ta cũng có thể áp dụng sơ đồ tương đương hình 2.34b. Nếu độ cao của tháp ($l = l_1 + l_2$) có giá trị bằng $\lambda/4$ thì điện kháng của các đoạn l_1 và l_2 sẽ bù cho nhau và trở kháng vào của anten sẽ có giá trị thuần trở, được xác định theo công thức:

$$R_v = \frac{\rho_A^2}{R_{bxb} \sin^2 kl_2} \quad (3.74)$$

Trong đó:

R_{bxb} là điện trở bức xạ toàn phần của anten tính theo dòng điện ở điểm bưng;

ρ_A là trở kháng sóng của anten tháp, được xác định theo công thức:

$$\rho_A = 60 \left(\ln \frac{1}{a_{td}} - 1 \right) \quad (3.75)$$

với a_{td} là bán kính tương đương của tháp^(*).

Bằng cách chọn điểm tiếp điện thích hợp có thể nhận được R_v có trị số bằng trở kháng sóng của fide tiếp điện và như vậy có thể thực hiện việc phối hợp trở kháng giữa anten và fide không cần đến các thiết bị phối hợp ngoài. Nếu trở kháng vào của anten là đại lượng phức thì có thể điều chỉnh điện kháng ghép giữa anten và fide để khử thành phần điện kháng này.

Ở đây cần lưu ý rằng đoạn dây dẫn đặt nghiêng cũng tham gia một phần vào quá trình bức xạ và do đó cũng sẽ ảnh hưởng đến đồ thị phương hướng của anten.

(*) Đối với tháp thiết điện vuông hoặc tam giác thì a_{td} là bán kính của vòng tròn nội tiếp.

- Anten dây có tải

Đối với các đài phát công suất nhỏ hoặc các trạm thu phát lưu động, thường sử dụng loại anten đơn giản, dễ lắp đặt. Chấn tử không đối xứng đơn giản được ứng dụng phổ biến ở dải sóng trung là loại anten dây thẳng đứng có tải dung kháng. Phần dây dẫn thẳng đứng (đóng vai trò của nhánh chấn tử và làm nhiệm vụ bức xạ chủ yếu) có thể được thực hiện dưới dạng dây dẫn đơn hoặc tập hợp các dây dẫn. Tải dung kháng được kết cấu bởi một hoặc một số dây dẫn mắc ở đỉnh. Hình 3.36 giới thiệu một số phương án của anten dây có tải, trong đó hình 3.36a và 3.36b là sơ đồ anten γ (Γ) và anten T đối với hai trường hợp dây dẫn đơn và kép. Hình 3.36c là anten tán, còn hình 3.36d là anten dù.

Để khảo sát phân bố dòng điện và xác định các thông số của anten cần biết giá trị của tải mắc ở đầu cuối nhánh đứng. Trong một vài trường hợp đơn giản (ví dụ trường hợp anten Γ và anten T) bài toán có thể được giải quyết một cách đơn giản hơn, theo lý thuyết mạch. Ví dụ có anten γ với nhánh đứng có độ dài l_1 ; trở kháng sóng ρ_1 ; nhánh ngang có độ dài l_2 trở kháng sóng ρ_2 . Để xác định phân bố dòng điện ta thay thế đoạn dây ngang với độ dài l_2 , trở kháng sóng ρ_2 bởi đoạn thẳng đứng tương đương với độ dài b , trở kháng sóng ρ_1 . Khi ấy anten Γ được coi tương đương với một anten thẳng đứng không tải, có độ dài $(l_1 + b)$ và trở kháng sóng ρ_1 (hình 3.37). Hàm phân bố dòng điện trên anten sẽ được xác định theo qui luật sin đã biết:

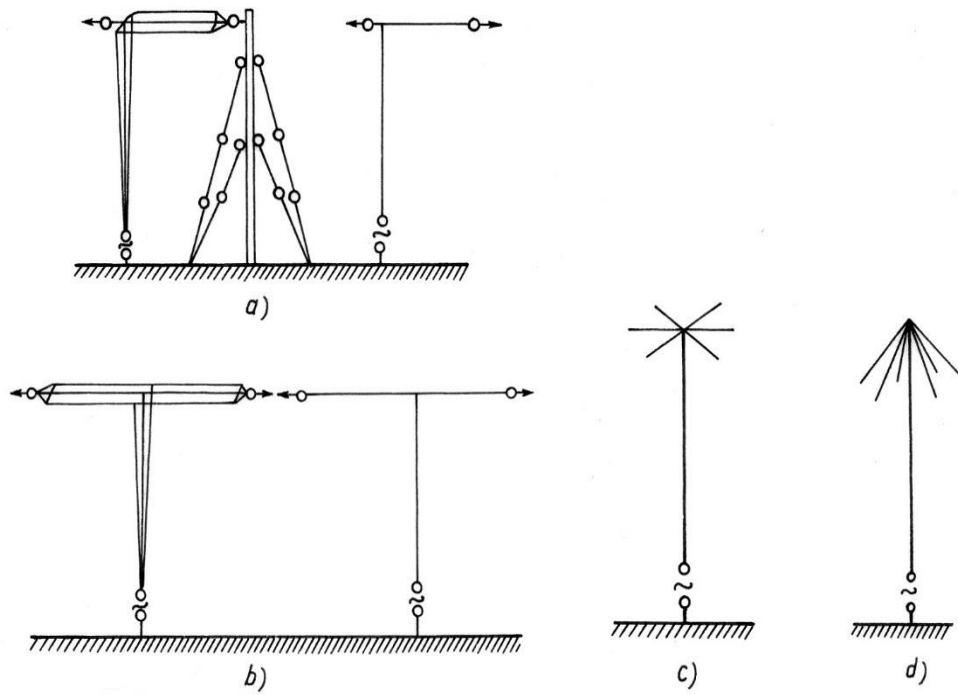
$$I(z) = \frac{I_0}{\sin k l_{t\text{đ}}} \sin k(l_{t\text{đ}} - z) \quad (3.75a)$$

Trong đó: I_0 là dòng điện ở đầu vào (gốc) anten; $l_{t\text{đ}} = l_1 + b$.

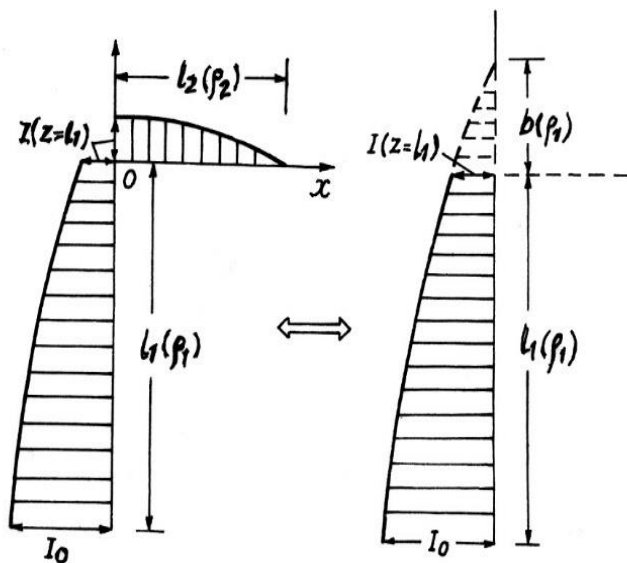
Tương ứng, ta có hàm phân bố điện áp:

$$U(z) = U_0 \frac{\cos k(l_{t\text{đ}} - z)}{\cos k l_{t\text{đ}}}, \quad (3.76)$$

Trong đó: U_0 là điện áp đầu vào anten.



Hình 3.36. Một số phương án của anten dây có tải



Hình 3.37. Anten dây có tải tương đương

Để việc thay thế không làm biến đổi phân bố dòng điện trên nhánh đứng l_1 (bộ phận bức xạ chủ yếu của anten), độ dài tương đương b cần được chọn thế nào để cho trở kháng nhìn từ đầu cuối nhánh đứng l_1 về phía đoạn dây đứng tương đương (dài b ; trở kháng sóng ρ_1) phải bằng trở kháng nhìn từ đầu cuối nhánh đứng l_1 về phía đoạn dây ngang (dài l_2 , trở kháng sóng ρ_2), nghĩa là:

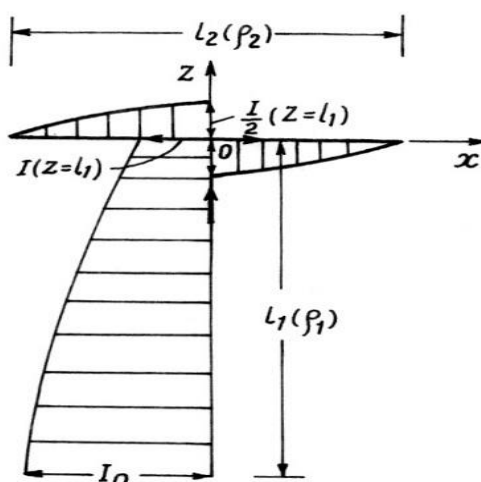
$$\rho_1 \cotg kb = \rho_2 \cotg kl_2 \quad (3.77)$$

Từ đây ta rút ra được biểu thức xác định độ dài tương đương b :

$$\cotg kb = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cotg kl_2 \quad (3.78)$$

Phân bố dòng điện trên nhánh đứng l_1 được xác định bởi (3.77), với b rút ra từ (3.75a). Biên độ dòng điện ở đầu cuối nhánh đứng phải có giá trị bằng biên độ dòng điện ở đầu vào nhánh ngang và được xác định từ (3.79a) khi cho $z = l_1$.

$$I(x=0) = I(z=l_1) = \frac{I_0 \sin kl}{\sin kl_{t\text{®}}} \quad (3.79a)$$



Hình 3.38. Dòng điện ở đầu cuối nhánh đứng phải bằng tổng dòng điện vào của hai nhánh ngang

Tương ứng, ta có điện áp đầu cuối nhánh đứng

$$U(z=l_1) = \frac{U_0 \cos kl}{\cos kl_{t\text{®}}} \quad (3.79b)$$

Phân bố dòng điện trên nhánh ngang được xác định theo qui luật sin với biên độ đầu vào xác định bởi (3.79a).

$$I(x) = I(x=0) \frac{\sin k(l_2 - x)}{\sin kl_2} \quad (3.80)$$

Đối với anten T có thể áp dụng toàn bộ phương pháp phân tích ở trên để xác định phân bố dòng trên anten. Nhưng ở đây cần lưu ý là dòng điện ở đầu cuối nhánh đứng phải bằng tổng dòng điện vào của hai nhánh ngang (hình 3.38). Dễ dàng thấy rằng, điều kiện cân bằng trở kháng khi thay thế đoạn dây ngang có độ dài l_2 , trở kháng sóng ρ_2 bởi đoạn dây đứng có độ dài b trở kháng sóng ρ_1 được viết dưới dạng:

$$\rho_1 \cotg kl = \frac{1}{2} \rho_2 \cotg \frac{kl_2}{2} \quad (3.81)$$

Thật vậy, hai nhánh ngang ở đỉnh (mỗi nhánh dài $\frac{l_2}{2}$, trở kháng ρ_2) có thể coi như được mắc song song với nhau tại đầu cuối nhánh đứng l_1 .

Phân bố dòng điện trên phần thẳng đứng cũng được xác định theo (3.75a), với b xác định từ (3.81), còn phân bố dòng điện trên hai nhánh ngang có dạng đối xứng nhau và được xác định bởi:

$$I(x) = \frac{I(z=l_1)}{2} \frac{\sin k \left(\frac{l_2}{2} - x \right)}{\sin \frac{kl_2}{2}} \quad (3.82)$$

Ở đây $I(z=l_1)$ là dòng điện ở đầu cuối nhánh đứng (khi $z=l_1$).

- *Độ dài hiệu dụng của anten*

Vì tác dụng bức xạ của các phần tử đỉnh không đáng kể nên độ dài hiệu dụng của anten được quyết định chủ yếu bởi nhánh đứng.

Diện tích phân bố dòng điện trên nhánh đứng được xác định bởi:

$$S = \frac{I_0}{\sin kl_{t\textcircled{R}}} \int_0^{l_1} \sin k(l_{t\textcircled{R}} - z) dz \quad (3.83)$$

Độ dài hiệu dụng của anten sẽ được xác định khi so sánh biểu thức (3.83) với biểu thức định nghĩa $S_1 = I_0 L_H$.

Ta nhận được:

$$L_H = \frac{1}{k} \frac{\cos kl - \cos kl_{t\textcircled{R}}}{\sin kl_{t\textcircled{R}}}, \quad (3.84)$$

Ở đây $l_{td} = l_1 + b$.

- *Trở kháng vào của anten*

Thành phần điện kháng của trở kháng vào có thể được xác định theo lý thuyết đường dây (xem lý thuyết anten):

$$X_v = -\rho_1 \cotg k(l_1 + b) \quad (3.85)$$

Với $\rho_1 = 60 \left(\ln \frac{l_1}{a} - 1 \right)$.

Để thuận tiện cho việc tính toán các phần tử điện kháng phối hợp và ghép giữa anten với máy phát, ta đưa vào khái niệm bước sóng riêng của anten.

Bước sóng riêng λ_0 được định nghĩa là bước sóng mà ứng với nó điện

kháng vào của anten có giá trị bằng không ($X_v = 0$), nghĩa là khi ấy anten làm việc ở chế độ cộng hưởng. Bước sóng riêng được xác định từ điều kiện:

$$k_0(l_1 + b) = \frac{\pi}{2}, \quad (3.86)$$

ở đây, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$.

Đối với anten không có đỉnh ($l_2 = 0$), ta có $b = 0$ và do đó $\lambda_0 = 4l_1$.

Khi bước sóng công tác lớn hơn bước sóng riêng ($\lambda_c > \lambda_0$), theo (3.85) ta nhận được $X_v < 0$ nghĩa là có đặc tính dung kháng. Để điều chỉnh cộng hưởng cần mắc ở góc anten một điện cảm có $X_{đc} = \omega L_{đc} = r_1 \cotgk(l_1 + b)$.

Nếu bước sóng công tác nhỏ hơn bước sóng riêng ($\lambda_c < \lambda_0$) từ (3.85) ta nhận được điện kháng vào của anten có đặc tính cảm kháng. Để điều chỉnh cộng hưởng cần mắc ở góc anten một tụ điện $C_{đc}$ sao cho:

$$\frac{1}{\omega C_{đc}} = -\rho_1 \cotgk(l_1 + b) \quad (3.86a)$$

Thành phần điện trở của trở kháng vào bao gồm điện trở bức xạ R_{bx0} và điện trở tổn hao R_{th} .

Điện trở tổn hao của anten được xác định bởi tổn hao cao tần dưới dạng nhiệt trong điện trở ở mặt đất gần đế anten, bởi tổn hao nhiệt trong điện trở dây dẫn anten và trong các phần tử phối hợp. Để đánh giá tổn hao trong đất có thể áp dụng công thức kinh nghiệm của Sulâykin.

$$R_{th} = A \left(\frac{\lambda_c}{\lambda_0} \right)$$

Hệ số A được xác định bởi các thông số điện của mặt đất và hệ thống lưới dây dẫn tiếp đất của anten, nó có giá trị vào khoảng $0,5 \div 0,7$.

Điện trở bức xạ R_{bx0} có thể được biểu thị qua điện trở bức xạ R_{bxb} bởi các công thức (đã suy được từ lý thuyết) có dạng sau:

Đối với anten có $l_{td} \leq 0,35\lambda$:

$$R_{bx0} = \frac{R_{bxb}}{\sin^2 kl_{t\oplus}} \quad (3.87)$$

Đối với anten có $l_{td} > 0,35\lambda$:

$$R_{bxc} = \frac{R_{bxb}}{\left(\frac{R_{bxb}}{\rho_1} \right)^2 + \sin^2 kl_{t\oplus}} \quad (3.88)$$

Điện trở bức xạ R_{bxb} đối với anten có tải có thể được xác định theo phương pháp vectơ Pointing giống như đối với chân tử thường. Ở đây cần lưu ý là phân bố dòng điện trên nhánh đứng được xác định bởi (3.85) và coi các phần tử đỉnh không bức xạ. Ta có:

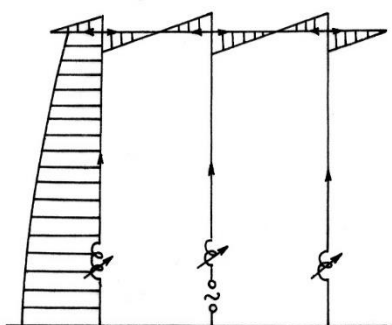
$$R_{bxb} = 30 \left[C + \ln 2k_1 - C_1 2k_{t\oplus} + \sin^2 kb \left(\frac{\sin 2k_1}{2k_1} - 1 \right) + \frac{\cos 2k_{t\oplus}}{2} (C + \ln k_1 + C_1 4k_1 - 2C_1 2k_1) + \frac{\sin 2k_{t\oplus}}{2} (\zeta 4k_1 - 2\zeta 2k_1) \right] \quad (3.89)$$

Trong đó: $C = 0,5772$ là hằng số Ole.

Anten dây có nhiều nhánh đứng

Đối với dải sóng dài và cực dài, độ cao anten thường rất nhỏ so với bước sóng khiến điện trở bức xạ của anten thường rất thấp.

Biện pháp để tăng điện trở bức xạ là thiết lập anten gồm một số chân tử không đối xứng có đỉnh liên kết với nhau.



Hình 3.39. Sơ đồ của một trong các ví dụ đối với loại anten nói trên

Trong hình 3.39 là sơ đồ của một trong các ví dụ đối với loại anten nói trên. Anten gồm có ba nhánh đứng, tiếp điện vào nhánh giữa còn ở hai nhánh kia được mắc các điện kháng điều chỉnh. Hệ thống như vậy có thể được coi như gồm 3 anten hình T ghép với nhau. Nếu bước sóng công tác lớn hơn bước sóng riêng của mỗi anten phần tử thì điện kháng điều chỉnh sẽ là điện cảm. Các điện cảm này sẽ được điều chỉnh sao cho dòng điện ở các nhánh đứng đồng pha nhau và biên độ bằng nhau.

Trở kháng bức xạ của mỗi nhánh sẽ là tổng trở kháng bức xạ riêng của nhánh ấy và trở kháng phản ảnh từ các nhánh đứng khác. Trở kháng phản ảnh có thể tính toán theo phương pháp sức điện động cảm ứng đã khảo sát ở phần

lý thuyết anten, còn trở kháng bức xạ riêng được tính theo các công thức (3.87 ÷ 3.89). Vì dòng điện ở các nhánh đứng có biên độ và pha giống nhau, khoảng cách giữa chúng nhỏ so với bước sóng công tác nên trở kháng phản ánh có giá trị gần bằng trở kháng riêng. Vì vậy tổng trở bức xạ của mỗi nhánh sẽ bằng:

$$R_{bx1} \approx nR_{bx11}$$

Ở đây R_{bx11} là điện trở bức xạ riêng của mỗi nhánh đứng, n là số nhánh đứng.

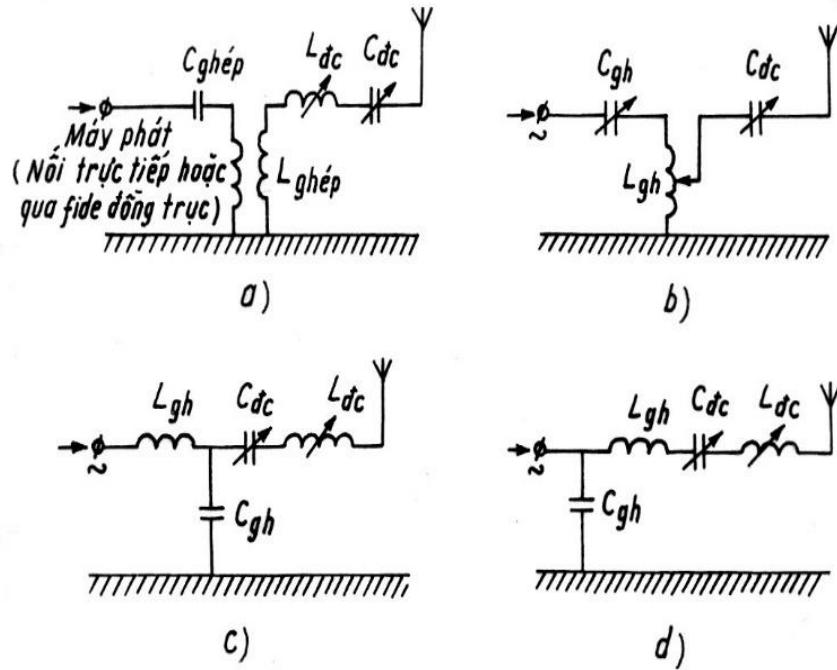
Tổng trở bức xạ của các anten sẽ bằng:

$$R_{bx} = R_{bx1} + R_{bx2} + \dots + R_{bxn} \approx n^2 R_{bx11}$$

Như vậy điện trở bức xạ của anten có n nhánh đứng sẽ bằng n^2 lần điện trở bức xạ của anten có một nhánh đứng với độ cao tương tự. Trong khi đó điện trở tổn hao của anten có n nhánh đứng chỉ tăng n lần so với điện trở tổn hao của anten một nhánh đứng. Kết quả là hiệu suất của anten sẽ tăng.

3.4.3. Tiếp điện và phối hợp trở kháng cho anten chấn tử không đối xứng

Ở các máy phát công suất lớn, anten và máy phát thường đặt cách xa nhau. Để tiếp điện cho anten thường dùng fide đồng trục nối anten với đầu ra máy phát (tiếp điện qua fide). Ở các máy phát công suất nhỏ và đài lưu động, anten và máy phát thường đặt gần nhau và có thể tiếp điện trực tiếp không qua fide. Trường hợp tiếp điện trực tiếp, tải của máy phát chính là trở kháng vào anten. Để việc truyền đạt công suất của máy phát cho tải đạt cực đại, tải cần có đặc tính thuần trở với giá trị thích hợp đối với chế độ làm việc của máy phát. Trường hợp tiếp điện qua fide thì trở kháng vào anten cần có giá trị bằng trở kháng sóng fide để đảm bảo chế độ sóng chạy. Khi ấy tải của máy phát bằng trở kháng sóng của fide.



Hình 3.40. Một số phương án phối hợp khi tiếp điện cho anten không đối xứng

Bài toán phối hợp anten với máy phát hoặc với fide có thể chia làm hai phần:

- Điều chỉnh cộng hưởng cho anten bằng cách bù phần kháng của trở kháng vào;
- Biến đổi điện trở vào anten để nhận được giá trị cần thiết.

Để thực hiện các nhiệm vụ trên có thể sử dụng các phần tử điện kháng điều chuẩn và các phần tử ghép. Hình 3.40 vẽ một số phương án phối hợp khi tiếp điện cho anten không đối xứng, trong đó hình 3.40a, b là sơ đồ anten ghép điện cảm, còn hình 3.40c là sơ đồ anten ghép điện dung (khi điện trở vào anten lớn hơn trở kháng sóng fide: $R_{VA} > \rho$). Hình 3.40d là sơ đồ ghép điện dung khi $R_{VA} < \rho$.

Để làm sáng tỏ phương pháp tính toán các phần tử phối hợp (ghép và điều chuẩn) ta khảo sát sơ đồ ghép điện dung (hình 3.40c).

Giả sử anten được điều chuẩn cộng hưởng bởi các phần tử điều chuẩn C_{dc} và L_{dc} thì trở kháng vào tại A – 0 sẽ được xác định bởi điện trở vào anten R_{VA} và C_{gh} mắc song song nhau:

$$Z_{A-0} = \frac{R_{VA} \frac{1}{i\omega C_{gh}}}{R_{VA} + \frac{1}{i\omega C_{gh}}} = \frac{R_{VA}}{1 + i\omega C_{gh} R_{VA}}$$

hoặc

$$Z_{A-0} = \frac{R_{VA}}{1 + \omega^2 C_{gh}^2 R_{VA}^2} - \frac{i\omega C_{gh} R_{VA}^2}{1 + \omega^2 C_{gh}^2 R_{VA}^2}$$

Để phối hợp trở kháng với fide hoặc máy phát, trở kháng vào tại $B - 0$ cần phải thuần trở và có giá trị bằng trở kháng sóng fide (hoặc trở kháng ra của máy phát) nghĩa là phải thực hiện được:

$$\frac{R_{VA}}{1 + \omega^2 C_{gh}^2 R_{VA}^2} = \rho \text{ (trở kháng sóng fide)}$$

$$\omega L_{gh} - \frac{\omega C_{gh} R_{VA}^2}{1 + \omega^2 C_{gh}^2 R_{VA}^2} = 0$$

L_{gh} là điện cảm ghép, có nhiệm vụ bù thành phần điện kháng tại $A - 0$.

Từ hai phương trình trên sẽ xác định được giá trị của L_{gh} và C_{gh} :

$$C_{gh} = \frac{1}{\omega R_{VA}} \sqrt{\frac{R_{VA}}{\rho} - 1}$$

$$L_{gh} = \frac{\rho}{\omega} \sqrt{\frac{R_{VA}}{\rho} - 1}$$

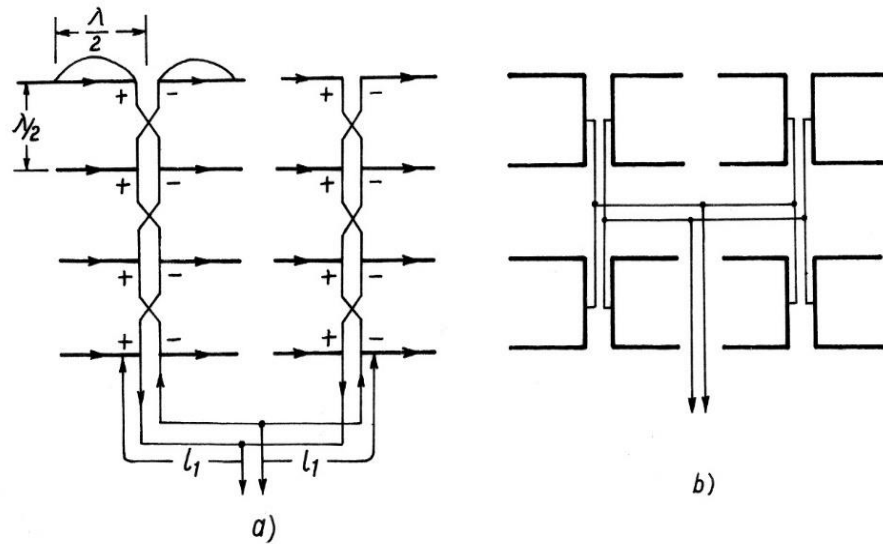
Theo các công thức trên, ta nhận thấy sơ đồ này chỉ có thể làm việc khi $\frac{R_{VA}}{\rho} > 1$, nghĩa là khi thành phần điện trở của trở kháng vào anten lớn hơn trở kháng sóng fide hoặc trở kháng ra của máy phát.

3.5. Anten nhiều chấn tử

3.5.1. Dàn chấn tử đồng pha

Dàn chấn tử đồng pha được sử dụng trong thực tế ở dải sóng ngắn và cực ngắn. Về cấu tạo, anten thường bao gồm một số chấn tử nửa sóng được sắp xếp thành hàng và cột trong cùng mặt phẳng, các chấn tử này cách nhau một khoảng $\lambda/2$ theo phương thẳng đứng và nằm ngang như hình 3.41.

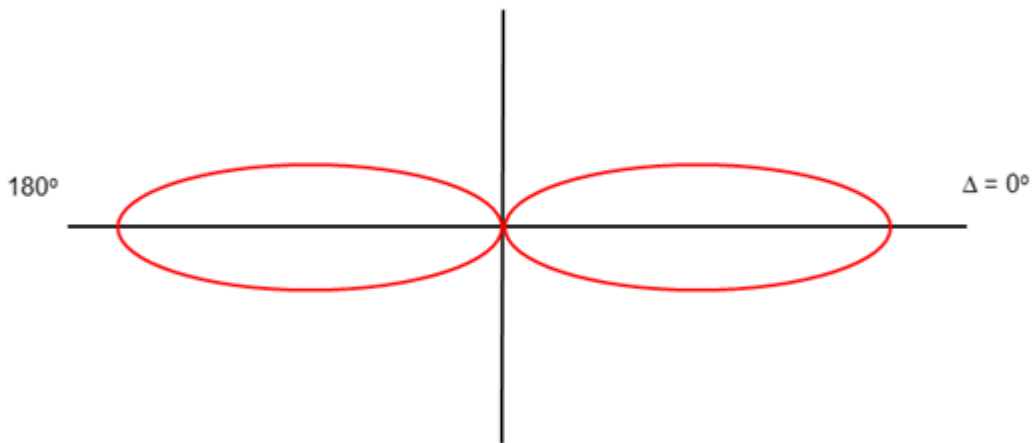
Số chấn tử dùng trong các hàng và cột thường chẵn.



Hình 3.41. Dàn chấn tử đồng pha

Về vấn đề tiếp điện: Có thể sử dụng sơ đồ mắc liên tiếp đường dây fider đầu chéo (hình 3.41a), hoặc sử dụng các mắc song song từng cặp (hình 3.41b).

Đồ thị phương hướng tổng hợp của dàn chấn tử đồng pha giống đồ thị phương hướng của chấn tử nửa sóng, nhưng do tập hợp nhiều chấn tử nửa sóng có pha giống nhau nên đồ thị phương hướng có búp sóng chính hẹp hơn nhiều và hệ số hướng tính lớn hơn nhiều so với chấn tử nửa sóng đơn.



Hình 3.42. Đồ thị bức xạ của dàn chấn tử đồng pha

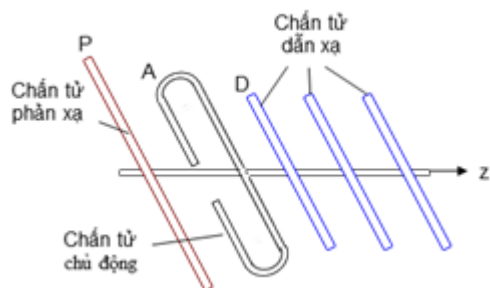
Trong thực tế, để nhận được bức xạ định hướng người ta thường kết hợp dàn chấn tử với một mặt phẳng phản xạ hoặc một dàn chấn tử phản xạ. Mặt phản xạ có thể là mặt kim loại hoặc lưới dây dẫn gồm các dây kim loại đặt song song nhau và đặt song song với dàn phát xạ ở một khoảng cách d nhất định, $d = (0,2 - 0,25)\lambda$. Dàn chấn tử phản xạ có thể làm việc ở chế độ chủ động hoặc chế độ thụ động. Trong chế độ thụ động các chấn tử không nối với

nguồn, dòng điện trong chúng có được là do cảm ứng trường bức xạ của chấn tử chính. Việc điều chỉnh biên độ và pha dòng cảm ứng được thực hiện nhờ một đoạn dây fider ngắn mạch có độ dài biến đổi được. Trong chế độ chủ động, dàn chấn tử phản xạ được nối với nguồn thông qua một bộ di pha, nhằm đảm bảo góc lệch pha cần thiết của dòng điện giữa dàn phản xạ và dàn chính.

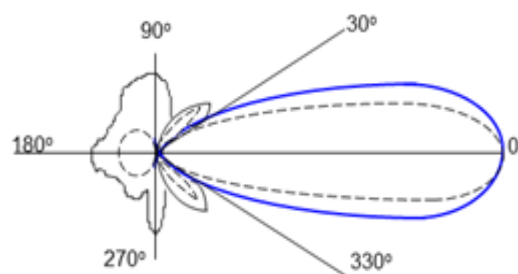
3.5.2. Anten Yagi

Anten Yagi đang được sử dụng rộng rãi ở băng sóng ngắn, băng sóng cực ngắn. Hoạt động của anten này có nhiều ưu điểm về thông số điện, đơn giản về cấu trúc, và rất thích hợp với các loại máy thu truyền hình gia đình.

Về cấu tạo của anten Yagi: Gồm một chấn tử chủ động (chấn tử được cấp nguồn) thường là chấn tử vòng dẹt nửa sóng $l = \lambda/4$ ($Z_v = 300\Omega$), một chấn tử phản xạ thụ động và một số chấn tử dẫn xạ thụ động (là chấn tử không được cấp nguồn). Các chấn tử được gắn trực tiếp trên một thanh đỡ thông thường là bằng kim loại, đặt song song với nhau trên một mặt phẳng. Việc tính toán chính xác kích thước của các chấn tử phản xạ và dẫn xạ là một bài toán phức tạp, thông thường nó được tính toán theo thực nghiệm dựa trên những lý thuyết và kết quả đã biết.



Hình 3.43. Cấu tạo anten Yagi



Hình 3.44. Đồ thị phương hướng của anten Yagi

Về nguyên lý hoạt động, xét một anten Yagi gồm 3 chấn tử chấn tử chủ động A, chấn tử phản xạ P và chấn tử dẫn xạ D. Chấn tử A được nối với máy phát cao tần và bức xạ sóng điện từ, dưới tác dụng của trường bức xạ này trong P và D xuất hiện dòng cảm ứng và sinh ra bức xạ thứ cấp. Nếu chọn độ dài của P và khoảng cách từ A đến P thích hợp thì P sẽ trở thành chấn tử phản xạ của A. Khi đó, năng lượng bức xạ của cặp chấn tử A - P sẽ giảm yếu về phía chấn tử P (hướng -z) và được tăng cường ở hướng ngược lại (hướng +z). Tương tự, nếu chọn độ dài của chấn tử D và khoảng cách A đến D thích hợp thì D sẽ trở thành chấn tử dẫn xạ của A. Khi ấy, năng lượng bức xạ của hệ A -

D sẽ hướng về chân tử D (hướng + z) và giảm yếu về hướng ngược lại (hướng -z). Kết quả năng lượng bức xạ của cả 3 chân tử sẽ tập trung về một phía, hình thành một kênh dẫn sóng dọc theo trục anten, hướng từ phía chân tử phản xạ P về phía chân tử dẫn xạ D.

Biểu thức quan hệ về dòng điện trong chân tử chủ động I_1 và chân tử thụ động I_2 :

$$\frac{I_2}{I_1} = ae^{i\psi} \quad (3.90)$$

Với:

$$a = \sqrt{\frac{(R_{12}^2 + X_{22}^2)}{R_{22}^2 + X_{22}^2}}$$

$$\psi = \pi + \arctg \frac{X_{12}}{R_{12}} - \arctg \frac{X_{22}}{R_{22}}$$

Trong đó: R_{12} , X_{12} là điện trở và điện kháng tương hỗ giữa chân tử chủ động và chân tử thụ động.

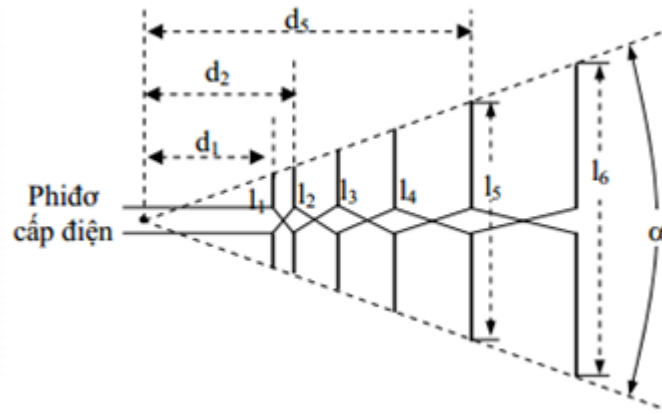
R_{22} , X_{22} là điện trở và điện kháng của chân tử chủ động.

Bằng cách thay đổi độ dài của chân tử thụ động, có thể biến đổi độ lớn và dấu của điện kháng riêng X_{22} do đó sẽ biến đổi được a và ψ .

3.5.3. Anten Logarit chu kỳ (loga – chu kỳ)

Để mở rộng dải tần công tác của anten ta có thể dựa vào nguyên lý tương tự của điện động học: Nếu biến đổi đồng thời bước sóng công tác và tất cả các kích thước của anten theo một tỷ lệ giống nhau thì các đặc tính của anten như: đồ thị phương hướng, trở kháng vào... sẽ không biến đổi. Dựa vào nguyên lý này có thể thiết lập các anten không phụ thuộc tần số bằng cách cấu tạo anten từ nhiều khu vực có kích thước hình học khác nhau nhưng tỷ lệ với nhau theo một hệ số nhất định. Khi anten làm việc với một tần số nào đó, thì chỉ có một khu vực nhất định của anten tham gia vào quá trình bức xạ, và được gọi là miền bức xạ, khi thay đổi tần số công tác, miền bức xạ sẽ dịch chuyển đến miền mới với tỷ lệ các kích thước hình học của các phần tử bức xạ so với bước sóng công tác mới, đây chính là nguyên lý cấu tạo anten logarit chu kỳ.

Anten loga - chu kỳ được cấu tạo từ nhiều chân tử có độ dài khác nhau và đặt ở khoảng cách khác nhau. Đặc tính của anten loga - chu kỳ được xác định bởi hai thông số chủ yếu là: chu kỳ τ và góc mở α , và được tiếp điện bằng fide đối xứng hay cáp đồng trục, như chỉ ra trên hình vẽ 3.45.



Hình 3.45. Cấu tạo anten loga – chu kỳ

Kích thước và khoảng cách của các chân tử biến đổi dần theo một tỷ lệ nhất định. Hệ số tỷ lệ này được gọi là chu kỳ của anten, và được xác định:

$$\tau = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \dots = \frac{d_{n-1}}{d_n} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_2}{l_3} = \dots = \frac{l_{n-1}}{l_n} \quad (3.91)$$

Trong đó: d là khoảng cách giữa các chân tử

l là chiều dài chân tử

Nếu máy phát làm việc ở một tần số f_0 nào đó, thì chân tử có chiều dài l_i bằng $\lambda_0/2$ sẽ là chân tử cộng hưởng và trở kháng vào của chân tử đó sẽ là thuần trở và bằng $73,1 \Omega$. Trong khi đó trở kháng vào của các chân tử khác sẽ có thành phần điện kháng và giá trị của thành phần này càng lớn khi độ dài của nó càng khác nhiều với độ dài của chân tử cộng hưởng, nghĩa là khi chân tử ấy càng xa chân tử cộng hưởng. Vì vậy chân tử cộng hưởng được kích thích mạnh nhất.

Vì dòng điện trong các chân tử không cộng hưởng có giá trị nhỏ, nên trường bức xạ của anten được quyết định chủ yếu bởi bức xạ của chân tử cộng hưởng và một vài chân tử lân cận với nó. Những chân tử này tạo thành miền bức xạ của anten. Dòng điện trong các chân tử của miền bức xạ được hình thành do cảm ứng trường của chân tử cộng hưởng và nhận trực tiếp từ fide. Các chân tử nằm ở phía trước có độ dài nhỏ hơn độ dài cộng hưởng do đó trở kháng vào mang tính dung kháng, dòng cảm ứng trong nó chậm pha hơn so với dòng trong chân tử cộng hưởng (hoặc các chân tử có độ dài lớn hơn nó). Các chân tử nằm ở phía sau có độ dài lớn hơn độ dài cộng hưởng nên trở kháng vào mang tính cảm kháng và dòng cảm ứng sớm pha hơn dòng trong chân tử cộng hưởng (hay chân tử ngắn hơn nó). Đối với dòng điện do fide cấp thì do cách tiếp điện chéo nên pha của dòng trong hai chân tử kề nhau lệch

pha 180° cộng với góc lệch pha do truyền sóng trên đoạn fidor mắc giữa hai chân tử. Tập hợp tất cả yếu tố trên, sẽ nhận được dòng tổng hợp trong các chân tử của miền bức xạ có góc pha giảm dần theo chiều giảm kích thước của anten.

Với quan hệ pha như trên, các chân tử đứng phía trước chân tử cộng hưởng sẽ thỏa mãn điều kiện chân tử hướng xạ, còn chân tử phía sau sẽ thỏa mãn điều kiện chân tử phản xạ. Bức xạ của anten sẽ được định hướng theo trục anten về phía chân tử ngắn, tương tự anten Yagi.

Nếu anten làm việc ở tần số τf_0 , nghĩa là ở bước sóng dài hơn, lúc đó chân tử cộng hưởng sẽ dịch chuyển sang chân tử l_{i+1} có độ dài lớn hơn kế đó. Ngược lại nếu anten công tác ở tần số cao hơn và bằng f_0/τ , nghĩa là ở bước sóng ngắn hơn, thì chân tử cộng hưởng sẽ chuyển sang chân tử l_{i-1} có chiều dài ngắn hơn chân tử kế nó.

Công thức xác định tần số làm việc:

$$f_n = \tau^{n-1} f_1 \quad (3.92)$$

Nghĩa là khi anten công tác ở một tần số cho bởi công thức (3.92), trên anten sẽ xuất hiện một miền bức xạ mà chân tử phát xạ chính có độ dài xác định theo công thức sau:

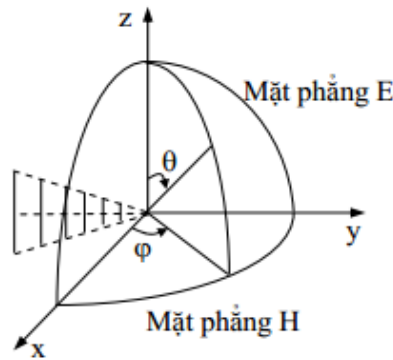
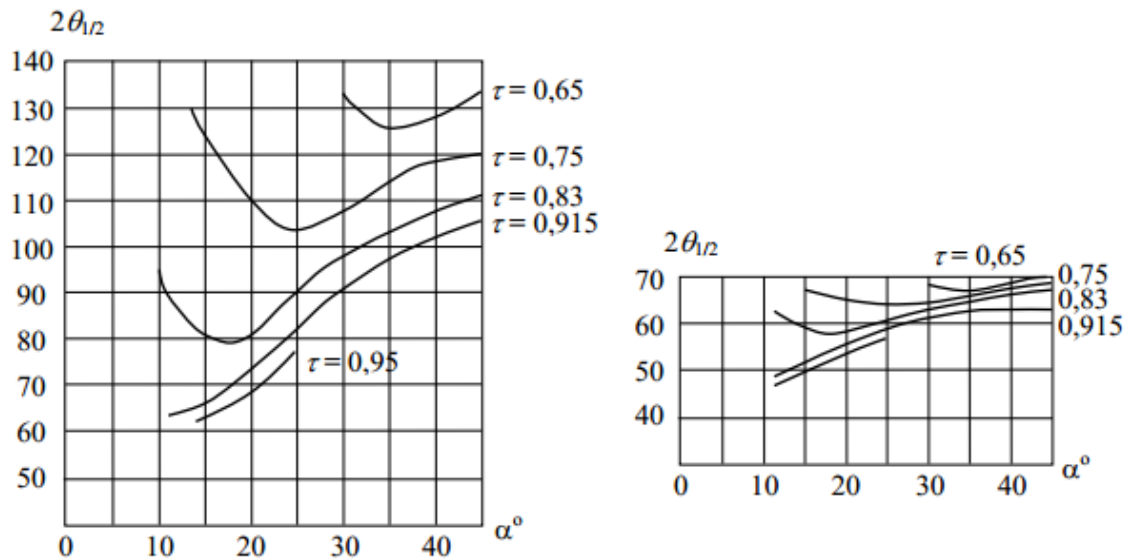
$$\ln\left(\frac{f_n}{f_1}\right) = (n-1) \cdot \ln\tau \quad (3.93)$$

Đồ thị phương hướng của anten loga – chu kỳ được xác định bởi số chân tử của miền bức xạ tác dụng (thường vào khoảng từ 3 ÷ 5) và bởi tương quan biên độ và pha của dòng điện trong các chân tử ấy. Các đại lượng này phụ thuộc vào thông số hình học chu kỳ τ và góc mở anten α , chỉ ra trên hình 3.46. Khi tăng τ , (cố định α), đồ thị phương hướng hẹp lại vì lúc đó sẽ tăng số chân tử của miền bức xạ tác dụng, nhưng nếu tăng τ quá quá lớn thì hướng tính lại xấu đi vì lúc ấy kích thước của miền bức xạ tác dụng lại giảm do các chân tử quá gần nhau. Khi giảm α (cố định τ) đến một giới hạn nhất định đồ thị phương hướng sẽ hẹp lại vì khi ấy khoảng cách giữa các chân tử lại tăng lên và do đó tăng kích thước của miền bức xạ tác dụng.

Các giá trị tới hạn của α và τ thường là:

$$\alpha_{min} = 10^\circ$$

$$\tau_{max} = 0,95$$



Hình 3.46. Quan hệ giữa $2\theta_{1/2}$ với các thông số τ và α

3.6. Bài tập

1. Tính cường độ điện trường ở vùng xa khi chấn tử đối xứng đặt trong không gian tự do?
2. Trình bày về hàm tính hướng (phương hướng) và đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng.
3. Xác định công suất bức xạ và điện trở bức xạ của chấn tử đối xứng.
4. Trở kháng vào của chấn tử đối xứng phụ thuộc vào tham số nào, hãy phân tích?
5. Trình bày ảnh hưởng của mặt đất dẫn điện lý tưởng lên chấn tử đối xứng đặt thẳng đứng trên chúng.
6. Trình bày ảnh hưởng của mặt đất dẫn điện lý tưởng lên chấn tử đối xứng đặt nằm ngang trên chúng.
7. Khảo sát trường bức xạ của hệ hai chấn tử đối xứng đặt gần nhau trong trường hợp chúng được kích thích bởi các dòng điện đồng biên, đồng pha.

8. Khảo sát trường bức xạ của hệ hai chấn tử đối xứng đặt gần nhau trong trường hợp chúng được kích thích bởi các dòng điện đồng biên, ngược pha.
9. Khảo sát trường bức xạ của hệ hai chấn tử đối xứng đặt gần nhau trong trường hợp chúng được kích thích bởi các dòng điện đồng biên, lệch pha nhau 90° .
10. Tính trở kháng vào và trở kháng bức xạ của hệ hai chấn tử.
11. Trình bày biện pháp cấp điện cho chấn tử đối xứng bằng dây song hành.
12. Trình bày biện pháp cấp điện cho chấn tử đối xứng bằng thiết bị biến đổi đối xứng dùng đoạn cáp chữ U.
13. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của anten yagi.
14. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của anten loga – chu kỳ.
15. Một chấn tử đối xứng có chiều dài toàn bộ 50 cm, công tác ở tần số 300 MHz. Xác định chiều dài hiệu dụng của nó?
16. Số liệu như bài 15, xác định điện trở bức xạ của chấn tử?
17. Số liệu như bài 15, xác định trở kháng vào của chấn tử?
18. Điện trở bức xạ của chấn tử vòng dẹt có giá trị bằng bao nhiêu?

CHƯƠNG IV. ANTEN BỨC XẠ MẶT

4.1. Giới thiệu

Trong chương này chúng ta sẽ khảo sát vấn đề thiết lập anten có đồ thị phương hướng hẹp, hoặc anten có bức xạ đơn hướng bằng cách tổ hợp hệ thống bức xạ từ các nguồn đơn giản sắp xếp trong không gian. Các nguồn đơn giản này có thể là chấn tử điện hoặc dipole điện (anten dây), chấn tử từ hoặc dipole từ (anten khe), các nguồn nguyên tố hoặc các loại anten đơn giản khác.

Khi ấy, trường bức xạ của hệ thống ở mỗi điểm bất kỳ trong không gian sẽ là kết quả giao thoa của trường bức xạ tạo bởi các phần tử riêng biệt với góc pha khác nhau. Góc pha này phụ thuộc vào độ dài đường đi của các tia bức xạ và hướng khảo sát, vào góc pha của dòng điện và đặc tính phương hướng pha của các phần tử bức xạ. Bằng cách sắp xếp các phần tử trong không gian và tiếp điện cho chúng một cách thích hợp, chúng ta sẽ nhận được đồ thị phương hướng hẹp, nghĩa là một hướng nào đó trường bức xạ sẽ được tăng cường gấp bội do các tia bức xạ đồng pha và được cộng đại số với nhau, còn ở các hướng khác trường của các tia khác pha và tổng vector giảm rất nhanh.

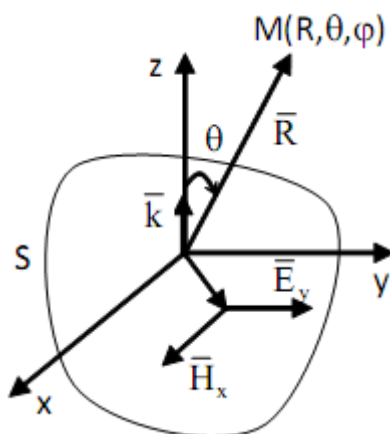
Dưới đây chúng ta sẽ khảo sát một số loại anten hoạt động dựa trên nguyên lý bức xạ mặt, và ứng dụng của nó trong các hệ thống thông tin vô tuyến.

4.2. Nguyên lý bức xạ mặt

Ở dải sóng cực ngắn, để nhận được anten có hướng tính hẹp thường sử dụng loại anten theo nguyên lý bức xạ mặt, đó là các bề mặt được kích thích bởi trường điện từ bức xạ từ một nguồn sơ cấp nào đó. Trường kích thích sẽ tạo ra trên bề mặt ấy các thành phần điện trường E và từ trường H vuông góc với nhau, lúc đó bề mặt này sẽ trở thành nguồn bức xạ thứ cấp và được gọi là mặt bức xạ của anten, trong trường hợp mặt bức xạ là phẳng, thì mặt phẳng đó được gọi là mặt mở của anten (cũng còn được gọi là khẩu độ của anten).

Giả sử miệng anten có diện tích S , trên đó các thành phần trường phân bố theo quy luật xác định. Ta chọn hệ tọa độ khảo sát như chỉ ra trên hình 4.1, trục z vuông góc với mặt phẳng bức xạ và trùng với phương của vectơ pháp

tuyến ngoài của mặt, còn vectơ trường E và H song song với trục tọa độ x, y nằm trong mặt phẳng ấy.



Hình 4.1. Hệ tọa độ khảo sát

Ta khảo sát bài toán tổng quát khi trường được kích thích trên miệng anten là hàm số theo tọa độ của mặt.

$$\vec{H}_x = \vec{i}_x \cdot H_0 \cdot f(x, y) = \vec{i}_x \cdot H_0 \cdot f_m(x, y) \cdot e^{j\psi(x, y)} \quad (4.1)$$

Trong đó:

- H_x là biên độ phức của vectơ cường độ từ trường trên bề mặt bức xạ.
- H_0 là biên độ cường độ từ trường tại gốc tọa độ.
- $f(x, y)$ là hàm phân bố phức của trường, trong đó $f_m(x, y)$ là hàm phân bố biên độ còn $\psi(x, y)$ là hàm phân bố pha.

Tỷ số thành phần tiếp tuyến của điện trường và từ trường tại mỗi điểm trên bề mặt được gọi là trở kháng bề mặt tại điểm ấy, ký hiệu là $Z_S(x, y)$

$$Z_S(x, y) = \frac{E_y}{H_x} \quad (4.2)$$

Để phân tích bức xạ bề mặt ta áp dụng nguyên lý dòng mặt tương đương. Trong trường hợp này tại mỗi điểm trên bề mặt sẽ có:

- Mật độ dòng điện mặt

$$\vec{J}_s^e = (\vec{n} \cdot \vec{H}_x) = \vec{J}_y^e = \vec{i}_x \cdot H_x \quad (4.3)$$

- Mật độ dòng từ mặt

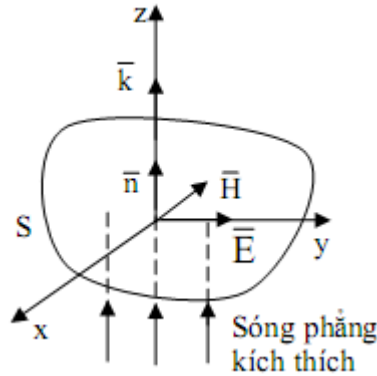
$$\vec{J}_s^m = (\vec{n} \cdot \vec{E}_y) = \vec{J}_x^m = \vec{i}_x \cdot E_y \quad (4.4)$$

Ta khảo sát trường hợp mặt bức xạ là lý tưởng: Mặt bức xạ lý tưởng là mặt phẳng và các thành phần tiếp tuyến của trường ở trên đó có biên độ và pha đồng đều ở mọi điểm.

$$\begin{aligned} f_m(x, y) &= 1 \\ \psi(x, y) &= 0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Giả sử mặt bức xạ được kích thích bởi trường của mặt sóng phẳng truyền theo hướng vuông góc với bề mặt, với trở kháng sóng Z'_S , theo định nghĩa.

$$Z'_S = \frac{|E|}{|H|} \quad (4.6)$$



Hình 4.2. Minh họa mặt bức xạ được kích thích bởi trường của mặt sóng phẳng truyền theo hướng vuông góc với bề mặt

Trong trường hợp này, các vectơ \vec{E}, \vec{H} của trường trên mặt bức xạ sẽ có biên độ và pha đồng đều (vì mặt bức xạ trùng với mặt sóng).

Chọn hệ tọa độ sao cho trục z trùng với phương truyền tới của sóng kích thích, còn vectơ điện trường trùng với trục y:

$$\vec{E} = \vec{E}_y = \hat{i}_y E_0$$

Dựa vào quan hệ E, H và vector Poynting ta sẽ thấy vectơ H sẽ có hướng theo chiều âm của trục x, nghĩa là:

$$\vec{H} = \vec{H}_x = \hat{i}_x H_0 \quad (4.7)$$

Căn cứ vào các nhận xét trên, các biểu thức (4.1) và (4.2) có thể viết dưới dạng:

$$H_x = -H_0 \quad Z_s = \frac{E_y}{H_x} = -\frac{E_0}{H_0}$$

4.3. Đặc điểm anten bức xạ mặt

Với anten bức xạ mặt, sóng điện từ được bức xạ ra từ góc mở của anten nên anten góc mở hoạt động dựa trên nguyên lý bức xạ mặt, anten bức xạ mặt đảm bảo việc nó sẽ có hệ số khuếch đại cao khi chiều dài góc mở và độ rộng phải bằng vài lần bước sóng. Ngoài ra một đặc điểm nổi bật của anten bức xạ

mặt so với các loại anten thông thường khác là nó phù hợp với các băng sóng siêu cao tần.

4.4. Các kiểu anten bức xạ mặt

Các anten bức xạ mặt thường được sử dụng ở dải sóng cực ngắn tạo anten có tính hướng hẹp, các bề mặt được kích thích bởi trường điện từ bức xạ từ một nguồn sơ cấp, trên bề mặt hình thành các thành phần điện từ trường vuông góc với nhau đến bề mặt trở thành nguồn bức xạ thứ cấp, với bức xạ sóng phẳng, thì mặt phẳng đó được gọi là mặt mở của anten (khẩu độ). Có thể kể tên một số anten điển hình là: anten loa, anten thấu kính, anten gương parabol, anten gương kép...phần sau chúng ta sẽ xem xét kỹ hơn về các loại anten này.

4.4.1. Anten Loa

Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

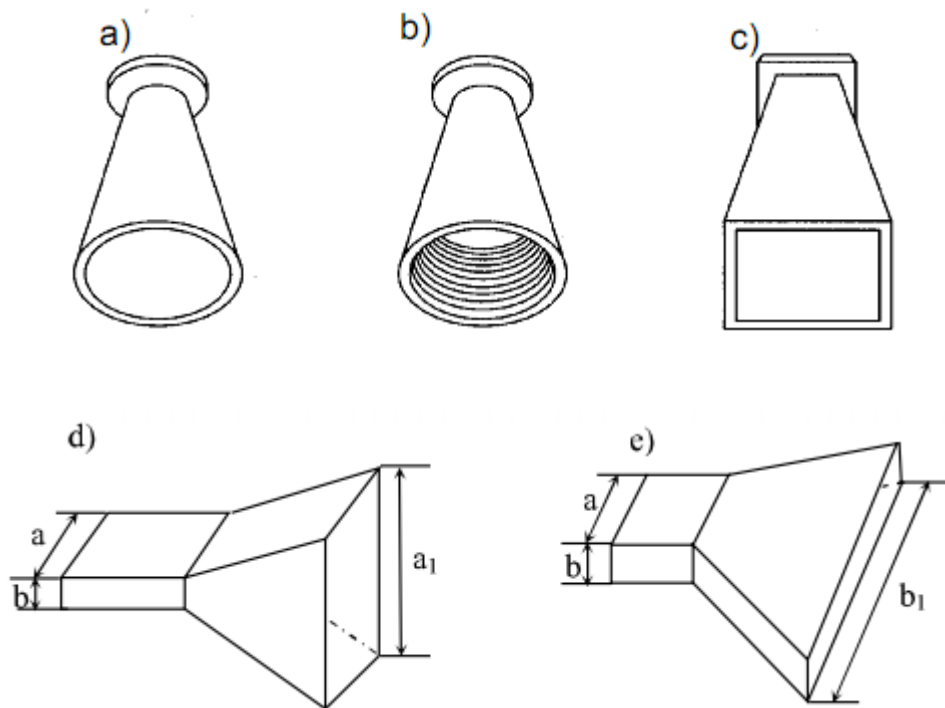
Anten loa được cấu tạo từ anten ống dẫn sóng là kiểu anten bức xạ mặt đơn giản nhất. Lý thuyết về ống dẫn sóng biết rằng, khi sóng truyền tới miệng ống dẫn sóng hở thì một phần năng lượng của sóng sẽ phản xạ trở lại, và một phần năng lượng sẽ bức xạ ra không gian bên ngoài, trường ở miệng ống là trường tổng hợp của sóng tới và sóng phản xạ, nếu mở rộng kích thước miệng ống theo các phương án khác nhau thì ta sẽ nhận được các kiểu anten loa khác nhau.

Nếu ống dẫn sóng hình chữ nhật và kích thước miệng ống được mở rộng trong mặt phẳng chứa vectơ từ trường thì loa được gọi là loa mở theo mặt H, viết tắt là loa H.

Nếu ống dẫn sóng là chữ nhật và kích thước được mở rộng trong mặt phẳng chứa vectơ điện trường ta được loa mở theo mặt điện trường (loa E).

Nếu ống dẫn sóng là chữ nhật và kích thước được mở rộng theo cả hai mặt phẳng chứa vectơ điện trường, từ trường ta được loa hình tháp.

Nếu ống dẫn sóng là hình tròn ta có loa hình nón.

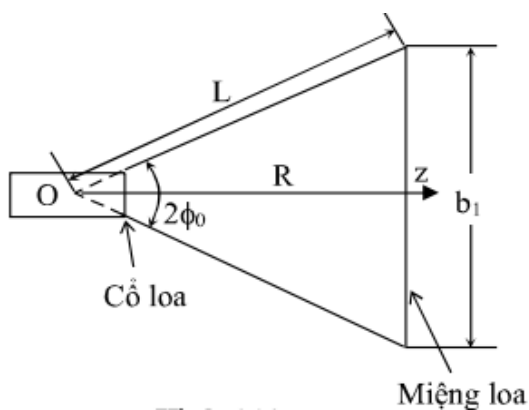


Hình 4.3. Các anten loa

a) Nón vách nhẵn. b) Nón vách gấp nếp.

c) Loa hình tháp. d) Loa E. e) Loa H

Để khảo sát nguyên lý làm việc của anten loa ta khảo sát mặt cắt dọc của anten loa như hình 4.4.



Hình 4.4. Mặt cắt dọc của anten loa

Năng lượng cao tần được truyền theo ống dẫn sóng đến cổ loa dưới dạng sóng phẳng. Ở đây một phần năng lượng sẽ phản xạ trở lại còn đại bộ phận tiếp tục truyền theo thân loa dưới dạng sóng phân kỳ tới miệng loa. Tại miệng loa, phần lớn năng lượng được bức xạ ra ngoài, một phần phản xạ trở lại, sự phản xạ sóng ở cổ loa càng lớn khi góc mở của loa càng lớn còn sự phản xạ sóng tại miệng loa càng nhỏ khi kích thước miệng loa càng lớn. Sóng truyền đi trong loa có thể coi là sóng cầu có tâm pha tại O, do đó tại mặt phẳng

miệng loa không phải là mặt đồng pha. Nếu loa có chiều dài R cố định, muốn diện tích miệng loa lớn để tạo được bức xạ mạnh thì góc mở của loa phải lớn, nhưng điều này làm cho sóng phản xạ tại cổ loa càng lớn và sự sai pha giữa các phần tử bức xạ trên miệng loa càng lớn, gây méo pha theo hướng trục z, làm xấu tính hướng của anten, vì vậy khi tính toán anten loa có thể chọn góc mở và độ dài R của loa thích hợp để anten loa có tính hướng tốt nhất.

- Xét trường hợp loa E

Chiều dài từ tâm pha O đến mép loa L được xác định theo công thức:

$$L = \sqrt{R^2 + (0,5b_1)^2} \quad (4.8)$$

Hiệu đường đi của tia sóng từ tâm pha đến mép miệng loa với tâm loa:

$$\Delta L = L - R = \sqrt{R^2 + (0,5b_1)^2} - R = \frac{b_1^2}{8R} \quad (4.9)$$

Sẽ gây ra lệch pha của các phần tử nằm ở mép loa so với tâm loa một góc là $k \cdot \Delta L$. Trong mặt phẳng E để có tính hướng tốt thì góc lệch pha cho phép trong mặt phẳng E là $k \cdot \Delta L \leq \pi/2$.

Ta có:

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{b_1^2}{8R} \leq \frac{\pi}{2} \Rightarrow R \geq \frac{b_1^2}{2\lambda} \quad (4.10)$$

- Xét trường hợp loa H

Cũng chứng minh tương tự như trong trường hợp loa E, nhưng trong mặt phẳng H điện trường E ở mép loa bằng 0, có nghĩa là các phần tử nguyên tố bức xạ mặt càng ở xa tâm loa bức xạ càng yếu đi, do thành phần điện trường tiếp tuyến trên bề mặt mỗi nguyên tố giảm dần cho tới 0 tại mép loa. Bởi vậy cho phép góc lệch pha của phần tử bức xạ ở tâm loa so với các phần tử bức xạ ở mép loa lớn hơn trường hợp cho trong mặt phẳng E, nghĩa là $k \cdot \Delta L \leq 0,75\pi$ từ đó ta có:

$$R \geq \frac{a_1^2}{3\lambda} \quad (4.11)$$

- Xét trường hợp loa hình nón

$$R \geq \frac{(2R_0)^2}{2,4\lambda} - 0,15\lambda \quad (4.12)$$

Với R_0 là bán kính miệng loa

Loa có chiều dài loa R thỏa mã điều kiện bằng trong các biểu thức (4.10), (4.11), (4.12) được gọi là loa tối ưu, ta có

Loa E:

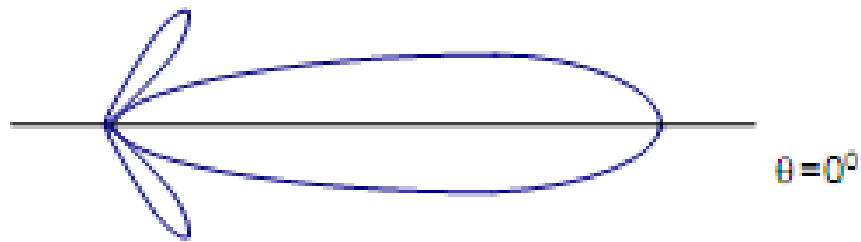
$$R_{opt} = \frac{b_1^2}{2\lambda}$$

Loa H:

$$R_{opt} = \frac{a_1^2}{3\lambda}$$

Loa nón:

$$R_{opt} = \frac{(2R_0)^2}{2,4\lambda} - 0,15\lambda$$



Hình 4.5. Đồ thị phương hướng của anten loa

Tính hướng của anten Loa

Đối với anten loa E, độ rộng búp sóng được xác định

$$2\theta_{1/2}^E = 51^\circ \frac{\lambda}{b_1}$$

$$2\theta_0^E = 115^\circ \frac{\lambda}{b_1} \quad (4.13)$$

Đối với anten loa H, độ rộng búp sóng được xác định

$$2\theta_{1/2}^H = 51^\circ \frac{\lambda}{a_1}$$

$$2\theta_0^H = 172^\circ \frac{\lambda}{a_1} \quad (4.14)$$

Để độ rộng búp sóng chính trong hai mặt phẳng E và H bằng nhau thì các cạnh của loa phải thỏa mãn điều kiện $a_1 = 1,5b_1$.

Hệ số tính hướng của anten loa được tính theo biểu thức:

$$D = \frac{4\pi S v}{\lambda^2} \quad (4.15)$$

Ở đây: S là diện tích của miệng loa;

v là hệ số sử dụng bề mặt miệng loa.

Hệ số sử dụng bề mặt của miệng loa luôn nhỏ hơn 1 do biên độ và pha của trường trên miệng loa khác nhau so với tâm loa.

Để tăng hệ số tính hướng của anten loa cần phải tăng kích thước miệng loa. Ví dụ để đạt được $D = 4500$ (36,6 dBi) với bước sóng công tác 5 cm, thì miệng loa phải có kích thước $a_1 = 1,5\text{m}$ và $b_1 = 1\text{m}$, chiều dài loa phải lớn hơn 10m.

Anten loa thường được sử dụng làm anten bức xạ sơ cấp (bộ chiếu xạ) cho các loại anten có mặt bức xạ thứ cấp như anten parabol, anten Cassegrain, ... nó cũng được sử dụng làm các anten độc lập trong các hệ thống thông tin vệ tinh, khi đó kích thước của loa rất lớn.

4.4.2. Anten gương

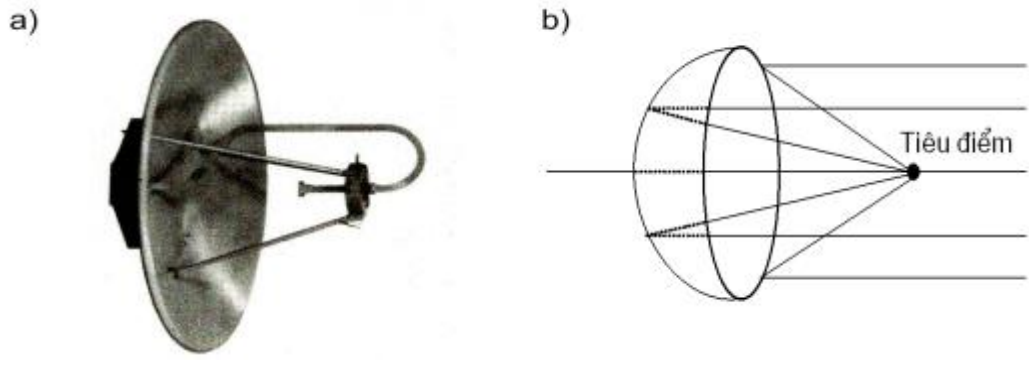
Nguyên lý làm việc của anten gương tương tự như nguyên lý làm việc của gương quang học, để thuận tiện chúng ta sẽ khảo sát hoạt động của anten gương ở chế độ phát sóng. Sóng sơ cấp với dạng mặt sóng và hướng truyền lan nhất định, sau khi phản xạ từ mặt gương sẽ trở thành sóng thứ cấp với dạng mặt sóng và hướng truyền lan biến đổi theo yêu cầu, việc biến đổi này là nhờ hình dạng và kết cấu đặc biệt của mặt phản xạ (gọi là gương).

Trong phần lớn các trường hợp gương có nhiệm vụ biến đổi sóng cầu hoặc sóng trụ bức xạ từ nguồn sơ cấp với tính hướng kém thành sóng phẳng (hoặc gần phẳng) với năng lượng tập trung trong một không gian hẹp có tính hướng mong muốn, nguồn bức xạ sơ cấp được gọi là bộ chiếu xạ, gương phản xạ thứ cấp được dùng phổ biến nhất là gương parapol, một số sử dụng gương hypepol.

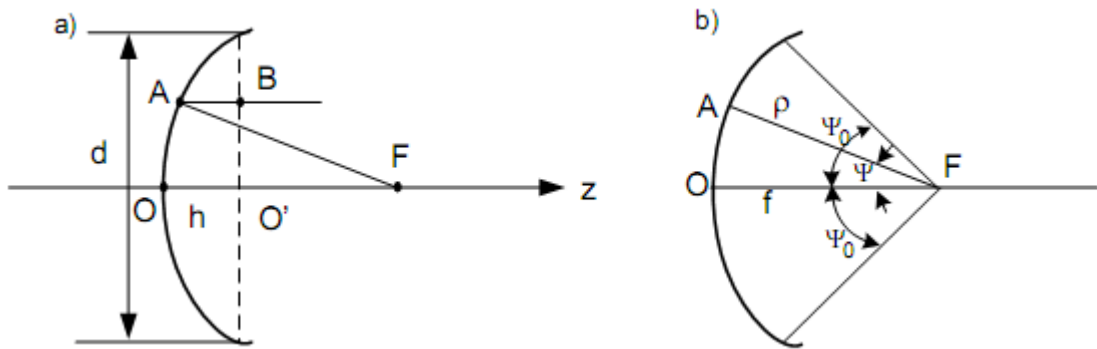
4.4.3. Anten Parabol

- Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Anten gương parapol được sử dụng phổ biến trong thông tin vi ba và thông tin vệ tinh. Cấu tạo của anten bao gồm hai bộ phận chủ yếu: một mặt phản xạ (gương) tròn xoay có mặt cong theo đường cong parapol, mặt phản xạ đảm bảo cơ chế hội tụ để tập trung năng lượng vào một phương cho trước: một bộ chiếu xạ đặt tại tiêu điểm F của gương, thực chất bộ chiếu xạ là một anten sơ cấp: bức xạ sóng cầu (với anten gương tròn xoay) hay một nguồn bức xạ thẳng dọc theo trục tiêu (gương parabol trụ) hình 4.6.



Hình 4.6. Anten gương Parabol



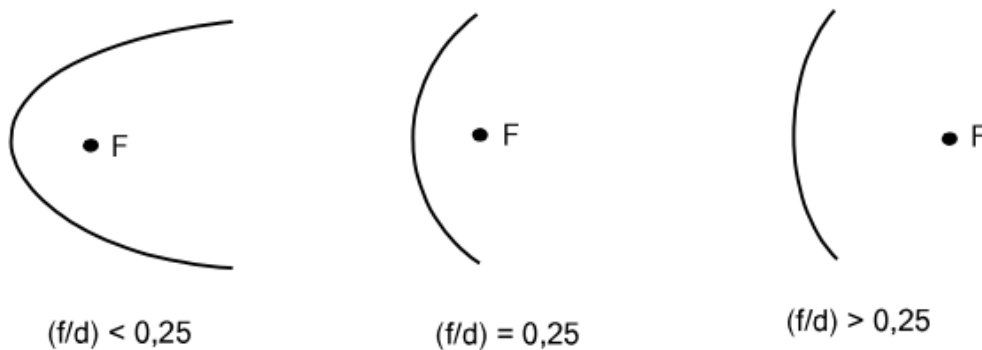
Hình 4.7. Mặt cắt dọc của anten gương parabol

Để hiểu được tính chất hình học của mặt phản xạ parabol tròn xoay, ta xét parabol là đường cong được tạo ra từ mặt phản xạ trong một mặt phẳng bất kỳ vuông góc với mặt phẳng chứa mặt mở và đi qua tiêu điểm (hình 4.7a). Tiêu điểm được ký hiệu là F và đỉnh là O, trục là đường thẳng đi qua F và O, FO là tiêu cự được ký hiệu là f . Xét quỹ đạo đi của hai tia sáng xuất phát từ bộ chiếu xạ đặt tại tiêu điểm của gương: một tia trùng với quang trục của gương và phản xạ tại đỉnh gương, đến miệng gương tại O'; Một tia phản xạ tại điểm A bất kỳ trên mặt gương và đến miệng gương tại B, Ta sẽ có $FO + OO' = FA + AB = k$ (với k là hằng số). Quỹ đạo đi dài như nhau có nghĩa rằng sóng phát từ tiêu điểm có phân bố pha đồng đều trên mặt mở, thuộc tính này cùng với thuộc tính các tia song song có nghĩa là mặt sóng là mặt phẳng. Như vậy phát xạ từ mặt phản xạ parabol tròn xoay giống như phát xạ một sóng phẳng từ một mặt phẳng vuông góc với trục và chứa đường chuẩn (đường vuông góc với FO và đi qua điểm đối xứng với F qua đỉnh O trên trục, độ dài của đường chuẩn là đường kính của miệng gương parabol còn gọi là đường kính của anten parabol). Cần lưu ý rằng theo nguyên lý đối lẫn, các tính chất này áp dụng cho cả anten ở chế độ thu.

Tỷ số giữa đường kính của miệng gương và tiêu điểm là một tỷ số quan trọng, nên ta đi xét tỷ số này, ký hiệu đường kính của miệng gương là d , ta được:

$$\frac{f}{d} = 0,25 \cot \text{ang} \frac{\Psi_0}{2} \quad (4.16)$$

Vị trí của tiêu điểm so với mặt phản xạ đối với các giá trị f/d khác nhau được cho ở hình 4.8. Đối với $f/d < 0,25$, anten sơ cấp (tiếp sóng) nằm trong không gian giữa mặt phản xạ và miệng gương và chiếu xạ giảm mạnh ở biên của mặt phản xạ. Đối với $f/d > 0,25$, anten sơ cấp nằm ngoài miệng gương vì thế chiếu xạ trở nên đồng đều hơn, nhưng một phần bị tràn ra ngoài bộ phản xạ. Ở chế độ phát sự tràn này là sự phát xạ của anten sơ cấp hướng đến bộ phản xạ nhưng vượt ra ngoài góc $2\Psi_0$.



Hình 4.8. Vị trí tiêu điểm đối với các giá trị f/d khác nhau

- Đồ thị phương hướng của anten parabol

Năng lượng của sóng điện từ được phản xạ từ gương và tập trung xung quanh quang trục của gương, được gọi là búp sóng chính. Tuy nhiên, do có sự ảnh hưởng bởi sự che chắn của các thanh đỡ bộ chiếu xạ cũng như của chính bộ chiếu xạ nên gây ra ngoài mặt gương; mặt phản xạ không phẳng tuyệt đối nên khi phản xạ một phần năng lượng bị tán xạ. Do đó đồ thị phương hướng của anten gương parabol ngoài búp sóng chính còn có các búp sóng phụ.

Độ rộng búp sóng chính θ_{3dB} hay góc nửa công suất của đồ thị phương hướng được các định theo công thức:

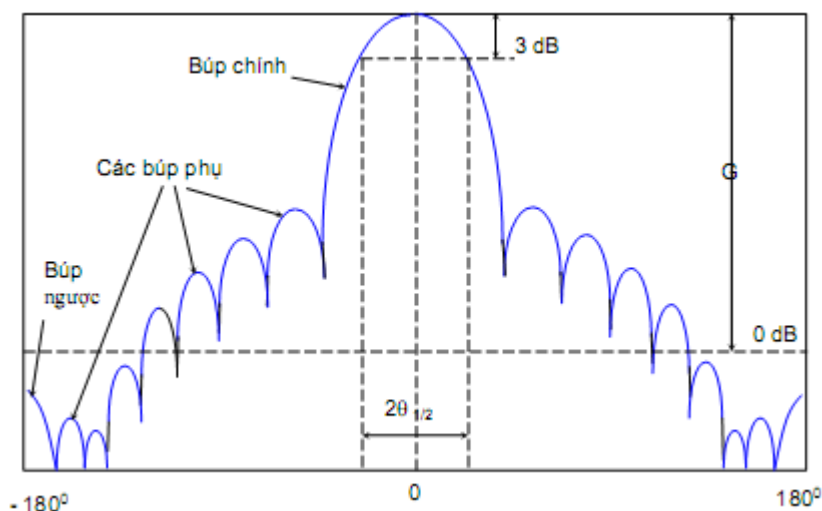
$$\theta_{3dB} = 2\theta_{\frac{1}{2}} = \frac{21}{fd} \quad (4.16) \quad \text{Hay} \quad \theta_{3dB} = 2\theta_{\frac{1}{2}} = \frac{70\lambda}{d} \quad (4.17)$$

Trong đó:

f : là tần số công tác (GHz),

d : là đường kính miệng gương (m),

λ : bước sóng công tác (m).



Hình 4.9. Đồ thị phương hướng của anten parabol trong tọa độ vuông góc

- Hiệu suất làm việc của anten parabol

Ở anten parabol không phải tất cả năng lượng sóng bức xạ từ nguồn sơ cấp (bộ chiếu xạ) đều được phản xạ từ gương parabol, Một phần năng lượng sóng được hấp thụ từ gương và một phần khác bị tán xạ ra xung quanh mép gương do mặt gương không phẳng tuyệt đối. Thêm vào đó, bộ chiếu xạ đặt ở giữa gương cộng với giá đỡ sẽ che chắn một phần miệng gương (tạo nên một vùng tối đôi diện với gương). Chính vì thế mà trong thực tế hiệu suất của anten parabol chỉ đạt được khoảng 55-70% công suất bức xạ từ bộ chiếu xạ.

Hệ số tính hướng và hệ số khuếch đại của anten gương parabol tròn xoay:

$$D = \frac{4\pi S \eta}{\lambda^2} = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (4.18)$$

$$G = \eta D = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \eta \quad G(dBi) = 20 \lg d_{(m)} + 20 \lg f_{(GHz)} + 10 \lg \eta + 20,4 \quad (4.19)$$

Trong đó:

d: đường kính miệng gương (m)

λ bước sóng công tác (m)

η hiệu suất làm việc của anten

S là diện tích thực của miệng anten $S = \pi d^2 / 4$

Nếu biểu thị theo đơn vị decibel ta có:

$$D(dBi) = 20 \lg d_m + 20 \lg f_{GHz} + 20,4 \quad (4.20)$$

Chú ý: hệ số tính hướng D và hệ số khuếch đại G trong các công thức được tính ở hướng bức xạ cực đại.

Ví dụ: Một anten parabol có đường kính miệng parabol là 2m, công suất bức xạ 5W, tần số công tác 6 GHz, hiệu suất làm việc 55%. Hãy xác định:

- Độ rộng búp sóng chính
- Hệ số khuếch đại
- Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương.

Giải

- Áp dụng công thức (4.16) ta có độ rộng búp sóng nửa công suất là:

$$\theta_{3dB} = \frac{21}{fd} = \frac{21}{6.2} = 1,75^\circ$$

- Hệ số khuếch đại được tính theo công thức (4.20)

$$\begin{aligned} D(dBi) &= 20 \lg d_m + 20 \lg f_{GHz} + 20,4 \\ &= 20 \lg 2 + 20 \lg 6 + 10 \lg 0,55 + 20,4 = 39,4(dBi) \end{aligned}$$

- Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương:

$$EIRP = G_T(dBi) + P_T(dBm) = 39,4 + 10 \lg \frac{5}{0,001} = 39,4 + 37 = 76,4(dBm)$$

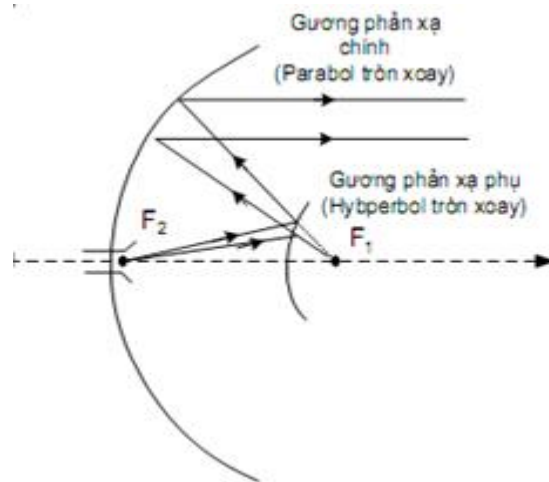
Anten hai gương- anten Cassegrain

Anten Cassegrain gồm một gương phản xạ parabol tròn xoay còn gọi là gương chính, một gương phản xạ hyperbol còn gọi là gương phụ và một bộ chiếu xạ dùng anten loa, bộ chiếu xạ được bố trí sao cho tâm loa nằm giữa đỉnh parabol, gương phụ có hai tiêu điểm: một trùng với tiêu điểm của gương chính và một trùng với tâm pha của bộ chiếu xạ (hình 4.10: Mặt cắt dọc theo quang trục của anten Cassegrain).

Anten biến đổi sóng cầu từ bộ chiếu xạ thành sóng phẳng đồng pha ở miệng gương chính sau hai lần phản xạ liên tiếp tại gương phụ và gương chính.

Ưu điểm của anten Cassegrain là độ rộng búp sóng chính của đồ thị phương hướng nhỏ hơn so với anten parabol đơn, bộ chiếu xạ đặt ở ngay đỉnh gương chính nên rất thuận lợi cho việc cấp điện. Gương phản xạ phụ được lắp phía trước gương phản xạ chính nói chung có kích cỡ nhỏ hơn loa tiếp sóng và gây ra che tối ít hơn. Như vậy, anten Cassegrain cũng có nhược điểm là gương phụ chắn mất một phần không gian ở trước gương chính gây ra miền tối, làm cho phân bố biên độ của trường không đồng đều, giảm tính định hướng của anten.

Hệ thống Cassegrain được sử dụng rộng rãi cho các trạm mặt đất.



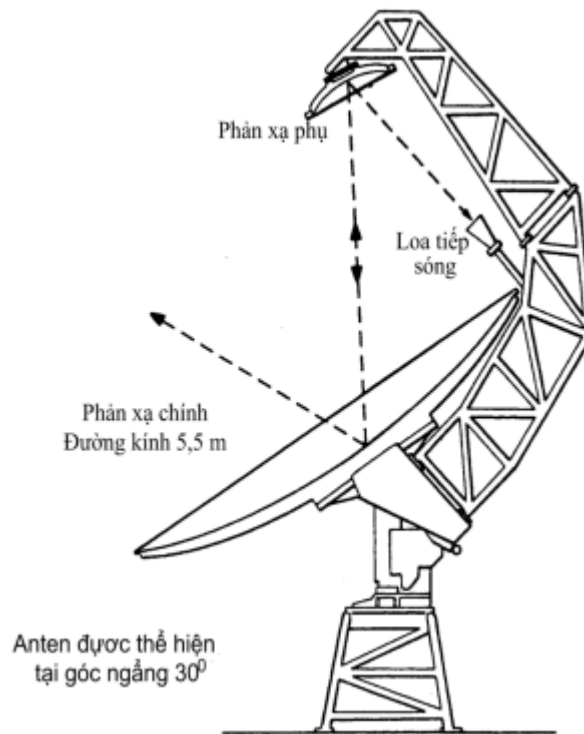
Hình 4.10. Mặt cắt dọc theo quang trục của anten Cassegrain và các tia truyền đối với anten.



Hình 4.11. Anten hai gương Cassegrain

Anten Gregorian

Một dạng của anten hai gương là Anten Gregorian gồm một gương phản xạ parabol tròn xoay chính và một gương phản xạ phụ elip tròn xoay. Cũng như ở trường hợp trên, gương phản xạ phụ có hai tiêu điểm, một trùng với tiêu điểm của gương phản xạ chính và điểm kia trùng với tâm pha của loa tiếp sóng. Hoạt động giống với anten Cassegrain. Anten Gregorian được minh họa ở hình 4.12.



Hình 4.12. Anten Gregorial lệch trục

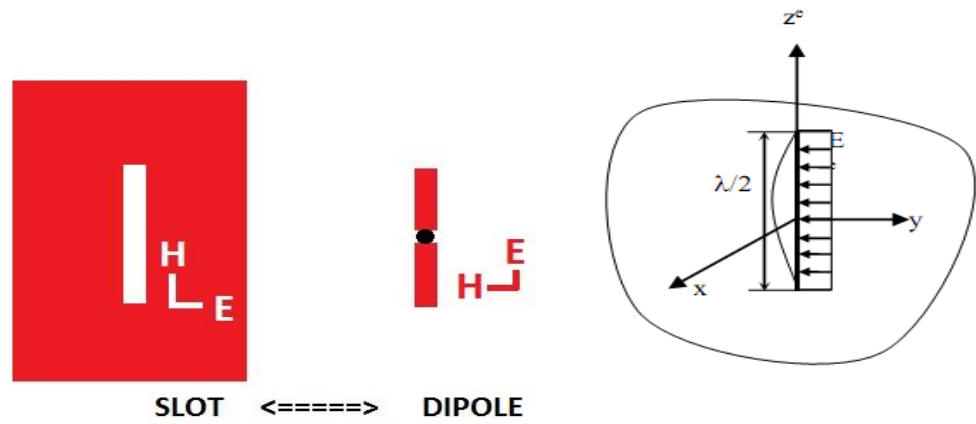
4.4.3. Anten khe (Anten khe trên ống dẫn sóng)

Cấu tạo

Một anten khe bao gồm một mặt kim loại, thường là 1 bản kim loại phẳng, với 1 cái lỗ hoặc khe được cắt ra. Khi bản kim loại được truyền bằng nhiều anten với cùng tần số, khe bức xạ sóng điện từ bằng cách tương tự nhau đến anten lưỡng cực. Hình dạng và kích cỡ của khe, ở tần số truyền lý tưởng sẽ xác định được mô hình của sự phân bố bức. Thường thì sóng vô tuyến được tạo ra bằng ống dẫn sóng, và anten bao gồm nhiều khe trong ống dẫn sóng, các anten thẳng khi được yêu cầu biểu diễn mô hình bức xạ tốt hơn. Nhiều anten khe được sử dụng rộng rãi trong anten rada, các anten khu vực sử dụng cho trạm gốc di động, và thường được thấy trong màn hình chuẩn của những nguồn sóng vi ba, được sử dụng cho những mục đích nghiên cứu.

Ưu điểm chính của anten khe là kích thước, thiết kế đơn giản, và đáp ứng của nó tạo ra thuận lợi cho việc sản xuất đại trà công nghệ máy tính bảng.

Ví dụ một khe đứng có mô hình và chiều giống với mặt lưỡng cực ngang, nếu chúng ta có thể dự tính được mô hình sự bức xạ của một lưỡng cực, vì thế 1 khe theo chiều dọc trong ống dẫn sóng bức xạ vuông góc với khe.



Hình 4.13. Anten khe

Nguyên lý hoạt động

Những anten khe ống dẫn sóng thường được sử dụng trong những anten sóng viba đa hướng. Theo Watson, mạng khe được phát minh vào năm 1943 tại đại học Mc. Grill ở Montreal, điểm nổi bật của những anten này là sự phân cực ngang và độ lợi đa hướng xung quanh góc phương vị, chúng cũng đơn giản và dễ thiết kế.

Anten khe, ống dẫn sóng được cấu tạo từ một ống dẫn sóng chữ nhật hoặc tròn, trên thành ống được cắt một hoặc nhiều khe có độ dài bằng nửa bước sóng (khe nửa bước sóng). Dưới tác dụng của sức điện động đặt vào khe, trong khe sẽ xuất hiện các đường sức điện trường hướng vuông góc với hai mép khe. Điện áp giữa hai mép khe bằng tích của cường độ điện trường với độ rộng của khe ($U = E \cdot b$).

Khi có sóng điện từ truyền lan trong ống, ở mặt trong của thành ống sẽ có dòng điện mặt. Vectơ mật độ của nó được xác định bởi biểu thức:

$$\vec{J}_s^e = [\vec{n} \times \vec{H}]$$

Trong đó: \vec{n} Vectơ pháp tuyến với mặt trong của thành ống

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

Với quan hệ dòng và áp được xác định theo biểu thức (4.21) và (4.22).

$$I_{day}^m = -2bE_{khe}(z) = -2U_{khe}(z) \quad (4.21)$$

$$I_{day}^m = -2U_{bkhe} \sin\left(\frac{l}{2} - |z|\right) \quad (4.22)$$

Trong đó $U_{khe}(z)$ là điện áp sóng đứng, phân bố đối xứng với tâm khe:

$$U_{khe}(z) = U_{bkhe} \sin\left(\frac{l}{2} - |z|\right)$$

Trường bức xạ:

$$E_{\varphi} = i \frac{U_{bkhe}}{\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right) - \cos \frac{kl}{2}}{\sin \theta} \right] e^{-ikr} \quad (4.23)$$

$$H_{\varphi} = -i \frac{U_{bkhe}}{Z\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right) - \cos \frac{kl}{2}}{\sin \theta} \right] e^{-ikr} \quad (4.24)$$

Đồ thị phương hướng

Giả thiết rằng đồ thị phương hướng của khe nửa bước sóng trong mặt phẳng H cũng giống như đồ thị phương hướng của chân tử điện nửa sóng trong mặt phẳng E, ta sẽ nhận được biểu thức hàm phương hướng của hệ thống khe dọc đồng pha trên ống dẫn sóng từ biểu thức hàm phương hướng đối với hệ thống chân tử đồng pha sắp xếp theo đường thẳng:

$$F(\theta) = \frac{E}{E_{max}} = \frac{1}{N} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right) \sin\left(\frac{Nkd}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta \sin\left(\frac{kd}{2} \sin \theta\right)} \quad (4.25)$$

Trong đó:

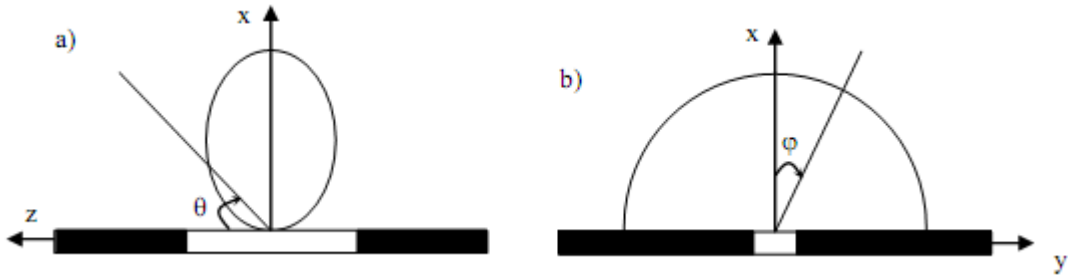
N Số khe

d khoảng cách giữa hai tâm khe kề nhau

θ góc giữa pháp tuyến đối với tâm rộng của ống dẫn sóng và hướng của điểm khảo sát.

Công thức này có thể dùng để tính toán đồ thị phương hướng anten trong một nửa không gian ($-90^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$). Bức xạ của anten trong nửa không gian phía sau các khe không đáng kể có thể bỏ qua.

Đồ thị phương hướng của anten khe dọc trên ống dẫn sóng trong mặt phẳng E cũng có dạng tương tự như đồ thị phương hướng trong mặt phẳng E của 1 khe đơn.



Hình 4.14. Đồ thị phương hướng của khe nửa sóng

a) mặt phẳng H;

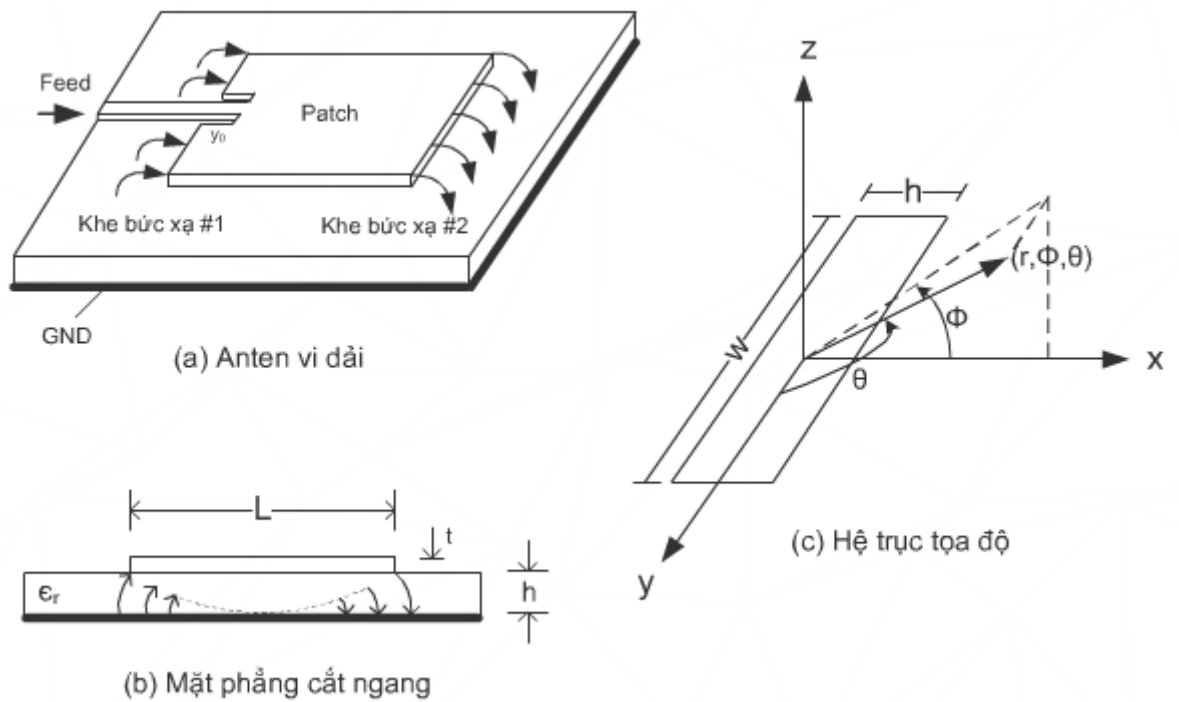
b) mặt phẳng E

4.4.4. Anten vi dải

Giới thiệu chung

Các khái niệm bức xạ vi dải lần đầu tiên được đưa ra bởi Deschamps vào năm 1953. Nhưng mãi đến 20 năm sau, một anten ứng dụng kỹ thuật vi dải mới được chế tạo. Anten vi dải thực nghiệm lần đầu tiên được phát triển bởi *Howell* và *Munson* và được tiếp tục nghiên cứu và phát triển trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

Anten vi dải đơn giản nhất bao gồm một tấm (patch) kim loại rất mỏng (bề dày $t \ll \lambda_0$, λ_0 là bước sóng trong không gian tự do) đặt cách mặt phẳng đất một khoảng rất nhỏ ($h \ll \lambda_0$, thường thì $0,003 \lambda_0 < h < 0,05 \lambda_0$). Patch của anten vi dải được thiết kế để có đồ thị bức xạ cực đại. Điều này được thực hiện bằng cách lựa chọn đúng mode của trường bức xạ ở vùng không gian bên dưới patch, bức xạ end – fire cũng có thể thực hiện được bằng cách lựa chọn đúng mode hoạt động. Đối với một patch hình chữ nhật, chiều dài L thường được sử dụng trong khoảng $\lambda_0 / 3 < L < \lambda_0 / 2$. Patch và mặt phẳng đất được tách biệt bởi một lớp điện môi nền như hình 4.15.

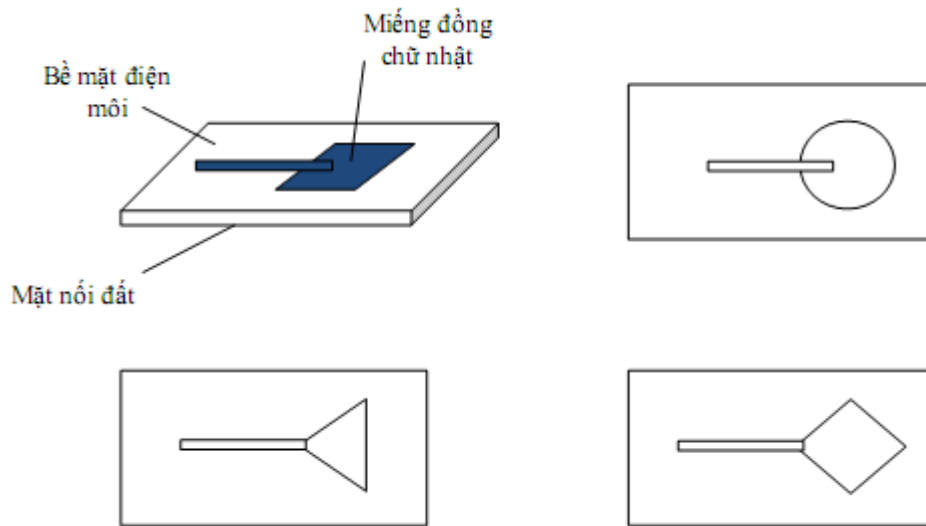


Hình 4.15. Anten vi dải

Có nhiều điện môi nền có thể được sử dụng để thiết kế anten vi dải và hằng số điện môi của chúng thường nằm trong khoảng $2,2 < \epsilon_r < 12$, những lớp điện môi được sử dụng để thiết kế anten hầu hết là những nền dày, hằng số điện môi của chúng thường thấp hơn giá trị ở cuối dải vì chúng cho hiệu suất tốt hơn, băng thông lớn và giới hạn sự bức xạ các trường tổn hao vào trong không gian, nhưng kích thước các phần tử lớn hơn. Giới hạn sự bức xạ các trường tổn hao vào trong không gian nhưng kích thước các phần tử lớn hơn. Nền mỏng với hằng số điện môi lớn hơn có thể dùng để thiết kế các mạch vi sóng, bởi vì chúng yêu cầu giới hạn trường chặt chẽ để giảm thiểu sự bức xạ và kết hợp không mong muốn, đồng thời cũng cho kích thước các phần tử nhỏ hơn. Tuy nhiên vì sự mất mát lớn hơn, dẫn đến hiệu suất thấp và băng thông nhỏ hơn.

Hình dạng cơ bản của anten vi dải

Anten vi dải được đặc tả bởi nhiều thông số hơn các anten truyền thống khác. Chúng cũng được thiết kế dưới dạng hình học khác nhau như: hình vuông (*square*), hình tròn (*circular*), tam giác (*triangular*), bán cầu (*semicircular*), hình quạt (*sectoral*), hình vành khuyên (*annular ring*).



Hình 4.16. Các dạng anten vi dải thông dụng.

Tất cả anten vi dải được chia làm 4 loại cơ bản: anten patch vi dải, dipole vi dải, anten khe dùng kỹ thuật in, anten sóng chạy vi dải.

- Anten patch vi dải

Một anten patch vi dải bao gồm một patch dẫn điện dưới dạng hình học phẳng hay không phẳng trên mặt của miếng đế điện môi và mặt phẳng đất nằm trên mặt phẳng còn lại của đế. Anten patch vi dải có nhiều dạng khác nhau nhưng đặc tính bức xạ của chúng hầu như giống nhau do chúng hoạt động giống như một dipole. Trong số các loại anten patch vi dải, anten có dạng hình vuông và hình tròn là hai dạng thông dụng và sử dụng rộng rãi.

- Dipole vi dải

Dipole vi dải có hình dạng giống với anten vi dải patch hình vuông nhưng chỉ khác nhau tỷ số L/W . Bề rộng của dipole thông thường bé hơn 0.05 lần bước sóng trong không gian tự do. Đồ thị bức xạ của dipole vi dải và anten patch vi dải giống nhau tuy nhiên ở các đặc tính khác như: điện trở bức xạ, băng thông và bức xạ phân cực chéo (*cross-polar*) thì chúng hầu như khác nhau. Anten dipole vi dải thì thích hợp với các ứng dụng tần số cao do chúng sử dụng miếng đế điện môi có bề dày tương đối dày do vậy chúng đạt được băng thông đáng kể, việc lựa chọn mô hình cấp nguồn rất quan trọng và phải tính đến khi phân tích anten dipole vi dải.

- Printed Slot Antenna

Printed Slot Antenna có cấu tạo bao gồm một khe trong mặt phẳng của một đế được nối đất (ground substrate). Khe này có thể có nhiều hình dạng khác nhau như: hình chữ nhật, hình tròn, hình nón,...anten này bức xạ theo

hai hướng nghĩa là chúng bức xạ trên hai mặt của khe. Chúng ta có thể tạo ra bức xạ đơn hướng bằng cách sử dụng một mặt phản xạ ở một phía của khe.

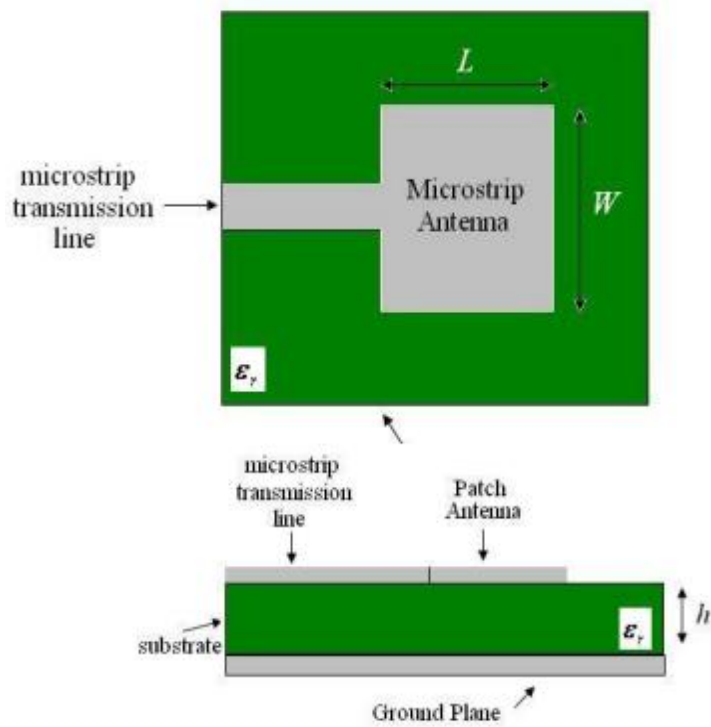
- Microstrip Traveling – Wave Antennas (MTA)

MTA được cấu thành bởi một loại các vật dẫn xích lại với nhau hay một đoạn đường truyền vi dải đủ dài và đủ rộng để có thể hỗ trợ chế độ truyền TE, trong đó, đầu của anten được nối đất và đầu còn lại được phối hợp trở kháng để tránh hiện tượng sóng đứng trên anten.

Anten MTA có thể được thiết kế để hướng búp sóng chính trong bất kỳ phương nào từ *broadside* đến *endfire*.

4.4.5. Anten vi dải chữ nhật

Cấu tạo



Hình 4.14. Cấu tạo anten vi dải chữ nhật

+ Hoạt động

- Tần số làm việc

$$f_c = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_0}}$$

- Trường bức xạ

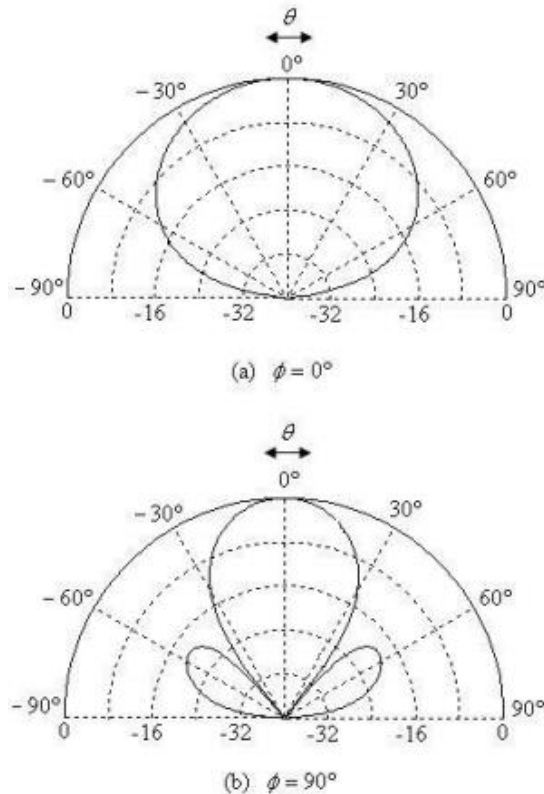
$$E_\theta = \frac{\sin\left(\frac{kZ \sin \theta \sin \varphi}{2}\right)}{\frac{kZ \sin \theta \sin \varphi}{2}} \cos\left(\frac{kL}{2} \sin \theta \cos \varphi\right) \cos \varphi$$

$$E_{\varphi} = \frac{\sin\left(\frac{kZ \sin \theta \sin \varphi}{2}\right)}{\frac{kZ \sin \theta \sin \varphi}{2}} \cos\left(\frac{kL}{2} \sin \theta \cos \varphi\right) \cos \theta \cos \varphi$$

- Hàm phương hướng

$$f(\theta, \varphi) = \sqrt{E_{\theta}^2 + E_{\varphi}^2}$$

- Đồ thị bức xạ



Hình 4.15. Đồ thị bức xạ

4.6. Bài tập

1. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của anten loa. Điều kiện để loa tối ưu.
2. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của anten gương parabol.
3. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của anten gương kép Cassegrain.
4. Một anten parabol đường kính 5m có hiệu suất làm việc 0,65 làm việc tại tần số 6 GHz. Tìm diện tích mặt mở hiệu dụng của anten:
5. Số liệu như bài 4, tìm hệ số khuếch đại của anten.
6. Số liệu như bài 4, xác định độ rộng búp sóng chính.

7. Một anten parabol đường kính 3m có hiệu suất làm việc 0,55 làm việc tại tần số 2GHz. Tìm diện tích mặt mở hiệu dụng của anten.
8. Số liệu như bài 7, tìm hệ số khuếch đại của anten.
9. Số liệu như bài 7, xác định độ rộng búp sóng chính.
10. Một anten gương parabol có hệ số khuếch đại là 50 dBi, hiệu suất làm việc 60%. Tính góc nửa công suất.
11. Một anten có góc nửa công suất bằng 2^0 . Xác định hệ số khuếch đại khi biết hiệu suất làm việc của anten là 55%.
12. Một anten phát có hệ số khuếch đại là 40 dBi, anten có công suất phát là bao nhiêu để anten thu gương parabol có đường kính miệng gương 0,9 m; hiệu suất làm việc 0,55 đặt cách anten phát 50 km nhận được công suất -70 dBW. Giả thiết sóng truyền trong không gian tự do.
13. Anten gương parabol có hệ số khuếch đại là 40 dBi, hiệu suất làm việc 60%, làm việc tại tần số 4GHz. Tính đường kính miệng gương.
14. Số liệu như bài 13, tính độ rộng búp sóng θ_{3dB} .
15. Một anten phát có hệ số khuếch đại là 30 dBi, công suất phát của anten là 5W. Ở cự ly 50 km đặt một anten thu gương parabol có đường kính miệng gương 1,5m. Tính công suất anten thu nhận được.
16. Số liệu như bài 15, tính tổn hao truyền sóng trong không gian tự do khi truyền từ anten phát đến anten thu.
17. Một anten gương parabol có hệ số khuếch đại là 30 dBi, hiệu suất làm việc 60%. Tính góc nửa công suất.
18. Một anten có góc nửa công suất bằng $1,2^0$. Xác định hệ số khuếch đại khi biết hiệu suất làm việc của anten là 55%.

CHƯƠNG V. KỸ THUẬT ANTEN

5.1. Giới thiệu

Như chúng ta đã biết anten là thiết bị được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật vô tuyến điện. Tùy theo nhiệm vụ của hệ thống vô tuyến mà có các yêu cầu khác nhau đối với thiết bị anten. Tuy nhiên để hướng bức xạ của anten luôn bám sát, nhằm thu và phát tín hiệu tốt nhất thì cần phải có các phương pháp điều khiển đồ thị phương hướng bức xạ của anten.

Để quét búp sóng trong không gian có thể áp dụng 3 phương pháp: cơ học, cơ – điện và phương pháp điện – điện tử.

Trong chương này sẽ đi vào giới thiệu một số phương pháp được sử dụng phổ biến trong kỹ thuật anten dùng trong thông tin vô tuyến.

5.2. Tổng hợp đồ thị phương hướng

Trong trường hợp tổng quát, anten được hiểu là tập hợp của các phần tử bức xạ được sắp xếp theo đường thẳng, mặt phẳng, mặt cầu, v.v...

Đối với hệ anten thẳng, một dạng kết cấu điển hình của hệ anten nhiều phần tử, hướng bức xạ cực đại của búp sóng anten được xác định theo công thức:

$$\cos \theta_M = -\frac{\psi}{kd} \quad (5.1)$$

Trong đó: ψ là góc lệch pha của dòng điện giữa hai phần tử kề nhau
 d là khoảng cách giữa các phần tử

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Nếu phần tử bức xạ của hệ thống không phải là chân tử mà là các phần tử bức xạ mặt thì góc lệch pha ψ là của trường trên mặt bức xạ của hai phần tử kề nhau.

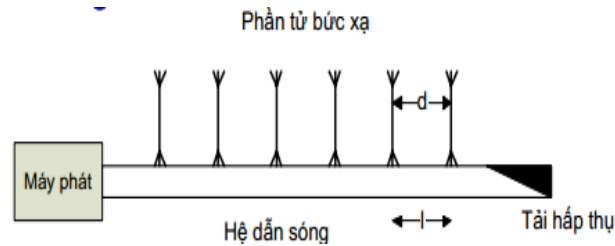
Rõ ràng theo công thức (5.1) thì hướng bức xạ cực đại của hệ thống phụ thuộc vào d , λ và góc lệch pha ψ , do đó việc điều khiển đồ thị phương hướng anten trong không gian có thể thực hiện dễ dàng bằng cách thay đổi một trong các thông số trên. Tuy nhiên phương pháp biến đổi khoảng cách giữa các phần tử trong thực tế ít được sử dụng vì khó khăn về mặt kỹ thuật.

Nếu biến đổi tần số máy phát (hay biến đổi bước sóng) ta có phương pháp điều khiển đồ thị phương hướng anten theo phương pháp tần số, còn khi

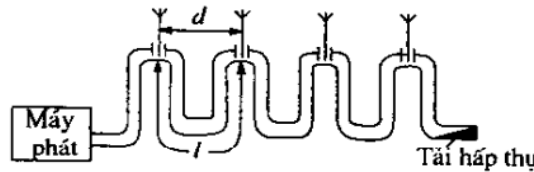
điều khiển đồ thị phương hướng anten bằng cách thực hiện điều khiển phân bố pha giữa các phần tử, ta nhận được phương pháp điều khiển đồ thị phương hướng anten theo pha. Ngoài ra, người ta còn dùng phương pháp biến đổi biên độ - pha trong thực tế.

5.2.1. Phương pháp tần số

Xét sơ đồ hệ thống như hình vẽ sau:



a) Khi chiều dài fidor l bằng khoảng cách d giữa các phần tử



a) Khi chiều dài fidor l lớn hơn khoảng cách d giữa các phần tử

Hình 5.1. Sơ đồ của anten điều khiển tần số, tiếp điện nối tiếp

Nếu d khá lớn có thể bỏ qua tác dụng tương hỗ của các phần tử gần nhau thì hàm phương hướng tổ hợp của dãy N phần tử bức xạ được viết dưới dạng:

$$F_{KN}(\theta) = \frac{|\sin(N\alpha)|}{N \left| \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right|} \quad (5.2)$$

Trong đó: $\alpha = kd \cos \theta + \psi$, ψ là góc dịch pha giữa hai phần tử kế nhau.

Trong trường hợp tổng quát, góc lệch pha ψ bằng tổng của góc lệch pha cố định ψ_0 (nếu có) và góc lệch pha do đoạn fidor mắc giữa hai phần tử gây ra.

$$\psi = -\psi_0 - \frac{2\pi}{\lambda_s} l$$

Hướng bức xạ cực đại:

$$F_{KN}(\theta) = 1 \Rightarrow \alpha = 2n\pi$$

$$\cos \theta_M = \frac{\lambda}{d} \left(n + \frac{\psi_0}{2\pi} \right) + \frac{\lambda}{\lambda_s} \cdot \frac{l}{d} \quad n = 0, \pm 1, \pm 3, \dots$$

Nếu sóng bức xạ và sóng truyền trong fidor có cùng tần số với máy phát như trong các hệ thống ở hình 5.1 thì:

$$\frac{2\pi}{\lambda_s} = k\zeta; \frac{\lambda}{\lambda_s} = \zeta$$

Khi đó

$$\cos\theta_M = \frac{\lambda}{d} \left(n + \frac{\psi_0}{2\pi} \right) + \frac{\lambda}{\lambda_s} \frac{l}{d} \quad (5.3)$$

Rõ ràng khi thay đổi tần số máy phát thì λ và ζ sẽ thay đổi, do đó hướng bức xạ của đồ thị phương hướng sẽ thay đổi theo.

5.2. Mở rộng dải tần

5.2.1. Phương pháp cơ bản mở rộng dải tần

Đối với anten chân tử (dù đối xứng hay không đối xứng) thì yếu tố quyết định dải tần số công tác của anten là sự phụ thuộc của trở kháng vào anten với tần số, còn đồ thị phương hướng của anten thường có hướng bức xạ cực đại ít thay đổi trong một dải tần khá rộng.

Để giảm sự phụ thuộc vào tần số của trở kháng vào chân tử, có thể áp dụng các biện pháp sau: giảm nhỏ trở kháng sóng của chân tử; biến đổi từ từ thiết diện của chân tử; và hiệu chỉnh trở kháng vào của chân tử, ngoài ra còn có phương pháp dùng nguyên lý kết cấu tự bù, nguyên lý tương tự, v.v...

Giảm nhỏ trở kháng sóng của chân tử

Ở một góc độ nào đó, anten chân tử có thể xem như một mạch dao động với trở kháng đặc trưng của mạch chính là trở kháng sóng của chân tử, và điện trở tổn hao của mạch là điện trở bức xạ của chân tử. Để mở rộng dải tần cần giảm hệ số phẩm chất Q_A .

Mà hệ số phẩm chất của anten chân tử lại được xác định theo công thức:

$$Q_A = A \frac{\rho_A}{R_{\Sigma_0}} \quad (5.4)$$

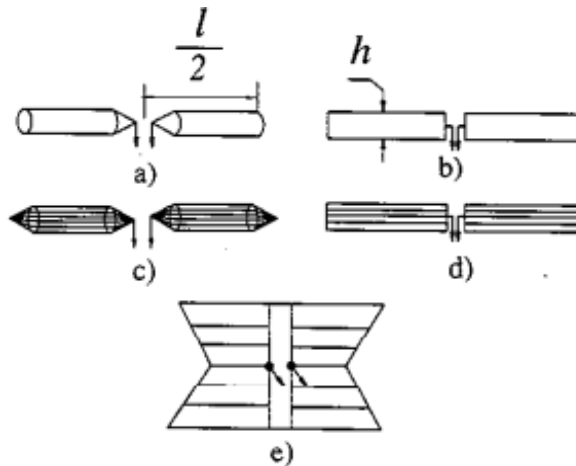
Trong đó: trở kháng sóng của anten chân tử được xác định:

$$\rho_A = 120 \left(\ln \frac{l}{a} - 1 \right) \quad (5.5)$$

Theo công thức (5.4) có thể thấy rằng việc giảm Q_A có thể được thực hiện bằng cách giảm trở kháng sóng ρ_A .

Với anten có chiều dài l cố định, thì rõ ràng việc giảm trở kháng sóng được thực hiện bằng cách tăng đường kính chân tử. Khi đó anten chân tử có thể được cấu tạo bằng dây dẫn có đường kính lớn (hình 5.2a), hoặc bằng tấm

kim loại có bản rộng (hình 5.2b), hoặc bằng cách sắp xếp các dây dẫn có đường kính nhỏ thành khối hoặc diện tích rộng (hình 5.3c, d và e).

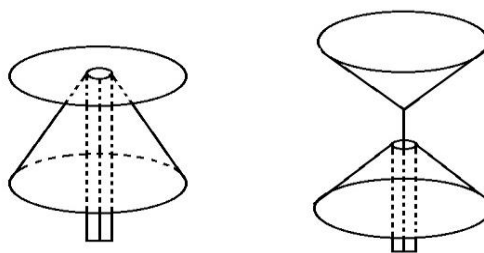


Hình 5.2. Một số cấu tạo của anten chân tử

Biến đổi từ từ thiết diện của chân tử

Ngoài việc được xem như một mạch dao động, anten cũng có thể được xem như một thiết bị chuyển tiếp giữa hệ thống fidor tiếp điện và môi trường truyền sóng (không gian tự do), biến đổi sóng điện từ ràng buộc trong fidor thành sóng tự do trong không gian. Vì vậy, để giảm nhỏ sự phụ thuộc của trở kháng vào anten với tần số, bản thân anten cần có cấu tạo dạng chuyển tiếp, nghĩa là kích thước của nó cần được biến đổi một cách từ từ.

Trường hợp fidor được tiếp điện bằng dây song hành đối xứng thì sự chuyển tiếp đường dây vào không gian bên ngoài có thể thực hiện dưới dạng hai chóp đối xứng (hình 5.5), kết quả có chân tử đối xứng.



Hình 5.5. Dạng anten chóp không đối xứng và đối xứng tiếp điện bằng fidor đồng trục

Nếu cặp hình chóp đối xứng dài vô hạn thì hệ thống này sẽ hình thành một đường truyền sóng đồng nhất không có phản xạ, với sóng truyền lan là sóng cầu. Trở kháng sóng của đường truyền sẽ là hằng số, trở kháng vào của anten cũng là hằng số và bằng trở kháng sóng của đường truyền.

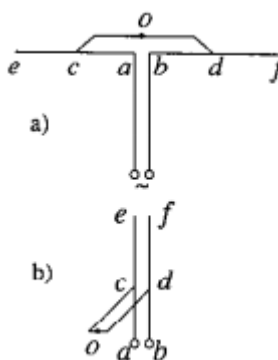
$$\rho = 276 \lg \left(\cot g \frac{\beta}{2} \right) \quad (5.6)$$

Khi chóp có độ dài hữu hạn thì sóng sẽ bị phản xạ lại một phần ở đầu cuối anten, phần còn lại bức xạ ra không gian. Trở kháng vào của anten sẽ là một số phức, phụ thuộc vào tần số. Nhưng nếu chọn góc β và độ dài của chóp thích hợp ($30^\circ < \beta < 60^\circ$) thì trở kháng vào của anten sẽ ít phụ thuộc vào tần số trong một dải tần khá rộng. Thực tế anten có thể làm việc với hệ số bao trùm dải sóng $\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \approx \frac{4}{1}$, trong dải tần số này hệ số sóng chạy trong fidor không nhỏ hơn 0,5.

Hiệu chỉnh trở kháng vào trong dải tần

Trong phương pháp này, chân tử cần được thiết lập sao cho kết cấu của nó bao gồm hai bộ phận, trong đó điện kháng vào của mỗi bộ phận có dấu ngược nhau và có thể bù cho nhau trong dải tần số công tác.

Sơ đồ anten có hiệu chỉnh trở kháng vào được minh họa ở hình 5.6:



Hình 5.6. Sơ đồ anten có hiệu chỉnh trở kháng vào

Ở đây hai nhánh của chân tử ae và bf , còn đoạn cod hình thành một đường dây nhánh mắc song song với chân tử. Nếu chọn kích thước của các phần tử một cách thích hợp thì thành phần điện kháng của trở kháng vào anten sẽ có giá trị rất nhỏ. Thật vậy, xét sơ đồ tương đương của chân tử (hình 5.6b), hai nhánh của chân tử tương đương với một đoạn dây song hành ngắn mạch.

Nếu chọn kích thước các đoạn dây thích hợp thì đoạn dây nhánh sẽ có điện kháng vào cảm tính, còn đoạn hở mạch $ce - df$ sẽ có điện kháng vào dung tính, sao cho hai điện kháng này có thể bù cho nhau trong một dải tần xác định. Đồng thời đoạn $ac - bd$ sẽ được chọn một cách phù hợp để trở kháng vào tại cd sau khi biến đổi về ab sẽ có phần thực lớn và phần kháng nhỏ.

5.2.2. Thiết lập anten dải rộng

Nguyên lý kết cấu tự bù

Từ công thức biểu thị mối quan hệ giữa các trở kháng vào khi khảo sát bài toán bức xạ của các nguồn điện và từ:

$$G_{\Sigma_k} = \frac{4R_{\Sigma d}}{W^2} \quad (5.7)$$

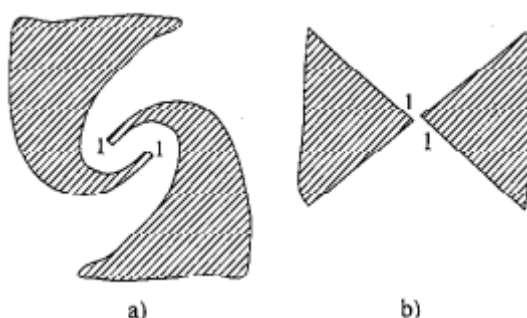
Ta có thể rút ra được trở kháng vào của chân tử khe theo trở kháng vào của chân tử điện giống nhau là:

$$Z_{vk} = \frac{W^2}{4Z_{vd}} \quad (5.8)$$

Trong đó:

- Z_{vk}, Z_{vd} lần lượt là trở kháng vào của chân tử khe và chân tử điện tử có hình dạng giống nhau.
- $W = 120\pi$.

Xét một anten phẳng rộng vô hạn gồm các tấm dẫn điện vô cùng mỏng, có hình dạng tùy ý như hình 5.7.



Hình 5.7. Tập hợp các anten điện và khe mắc song song

Ta thấy điểm 1-1 là đầu vào của anten điện cũng đồng thời là đầu vào của anten khe, nên $Z_{vk} = Z_{vd}$.

Từ các điều kiện trên ta xác định được trở kháng vào của anten:

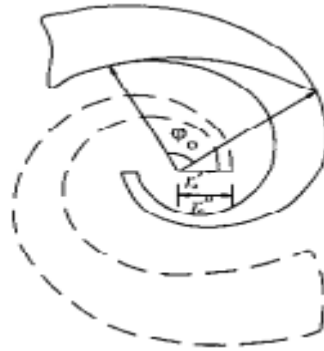
$$Z_{vA} = 60\pi \quad (5.9)$$

Do trở kháng vào của anten là một số thực không phụ thuộc vào tần số, do đó anten có thể làm việc với dải tần số rộng.

Như vậy, với phương pháp này ta ghép song song các anten điện với anten khe có hình dạng giống nhau. Đặc tính phương hướng của anten cũng không phụ thuộc vào tần số, do kết cấu bức xạ được xác định chỉ bởi góc tọa

độ của nó trong hệ trục tọa độ cực, nên tỷ số của kích thước anten với bước sóng sẽ không đổi.

Trong thực tế, việc thiết lập anten theo nguyên lý tự bù chỉ có thể được thực hiện gần đúng vì kích thước anten không thể rộng vô hạn, đồng thời các tấm dẫn điện cũng không phải là vô cùng mỏng, tuy nhiên theo nguyên lý tự bù này có thể thiết lập các anten mà trở kháng vào của chúng biến đổi rất ít trong một dải tần rộng và thành phần điện kháng có giá trị rất nhỏ, anten xoắn phẳng logarit là điển hình.

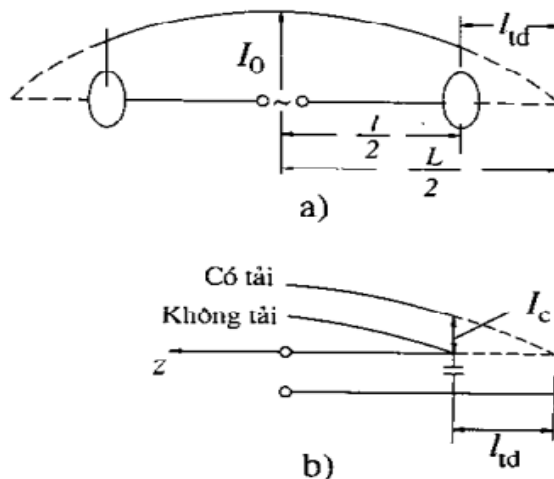


Hình 5.8. Anten xoắn phẳng lôgarit

5.3. Giảm nhỏ kích thước anten

5.3.1. Phương pháp dùng tải thuần kháng để điều chỉnh phân bố dòng điện

Một trong những phương pháp có thể thay đổi phân bố dòng điện trên chấn tử là mắc ở đầu cuối của nó tải thuần kháng dung tính có dạng khối kim loại đĩa hoặc hình cầu (hình 5.9).



Hình 5.9. Dùng tải thuần kháng ở cuối chấn tử

Khác với trường hợp đường dây không tải (trở kháng đầu cuối lớn vô cùng, dòng điện đầu cuối bằng không) ở đây do mắc tải nên trở kháng đầu cuối có giá trị hữu hạn (phụ thuộc trị số tải) dòng điện đầu cuối sẽ khác

không, nghĩa là phân bố dòng điện sẽ tương tự trường hợp chấn tử được kéo dài thêm một đoạn

Hàm phân bố dòng điện trên chấn tử có mắc tải điện kháng đầu cuối:

$$I(z) = I_C \cos kz + i \frac{U_C}{\rho} \sin kz \quad (5.10)$$

Trong đó: I_C , U_C là dòng điện và điện áp ở cuối chấn tử (chỗ mắc tải)
 ρ trở kháng sóng của chấn tử

z là khoảng cách của điểm khảo sát tính từ cuối chấn tử

Ở đây góc tọa độ được lấy tại đầu cuối chấn tử và chiều của trục được chọn theo hướng về phía nguồn.

Ta có:

$$I(z) = I_C A \sin(kz + \psi) \quad (5.11)$$

Từ công thức (5.11) cho phép xác định biên độ dòng điện tại mỗi điểm bất kỳ:

$$A = \sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 C^2 \rho^2}} \quad (5.12)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \omega C \rho \quad (5.13)$$

Các kết quả phân tích ở trên cho phép ta có thể thay thế tải dung tính của chấn tử đối xứng bởi một đoạn dây tương đương có độ dài điện $kL_{td} = \psi$ (hình 5.9).

Như vậy, nếu xét theo quan điểm phân bố dòng điện thì chấn tử đối xứng có tải với chiều dài mỗi nhánh $\frac{l}{2}$ có thể được thay thế bởi một chấn tử đối xứng không tải với độ dài mỗi nhánh bằng:

$$\frac{L}{2} = \frac{l}{2} + \frac{\psi}{k} \quad (5.14)$$

Hàm phân bố dòng điện bây giờ có thể viết lại theo (4.11) như sau:

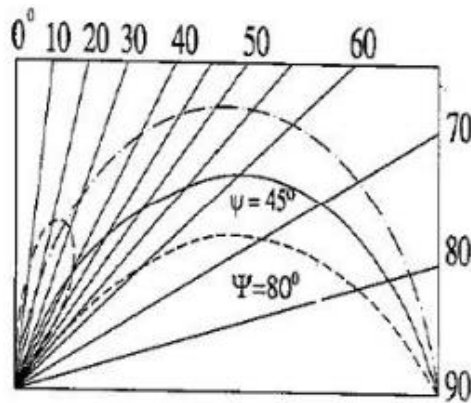
$$I(z) = \frac{I_C}{\sin \frac{kL}{2}} \sin k \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \quad (5.15)$$

Ở đây z là tọa độ điểm khảo sát tính từ đầu vào chấn tử, còn $L/2$ được xác định theo (5.14)

Cường độ trường bức xạ của chấn tử được tính theo công thức:

Trong đó:

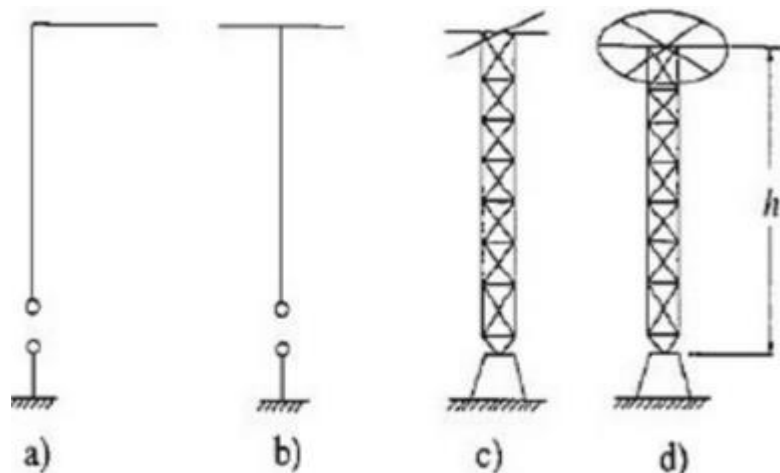
$$\Phi(\theta) = \frac{\cos \frac{kL}{2} - \cos \left(\frac{kL}{2} \cos \theta \right) \cos \psi + \sin \left(\frac{kL}{2} \cos \theta \right) \sin \psi \cos \theta}{\sin \theta} \quad (5.16)$$



Hình 5.10. Đồ thị phương hướng của chấn tử đối xứng mắc tải điện dung có $l/2 = 0,42\lambda, 0,5\lambda$ ứng với các giá trị khác nhau của tải $\psi = 45^\circ, 80^\circ$

Phương pháp này được ứng dụng rộng rãi để thiết lập các anten sóng dài và sóng trung, cho phép giảm nhỏ kích thước anten khoảng 20 – 30%.

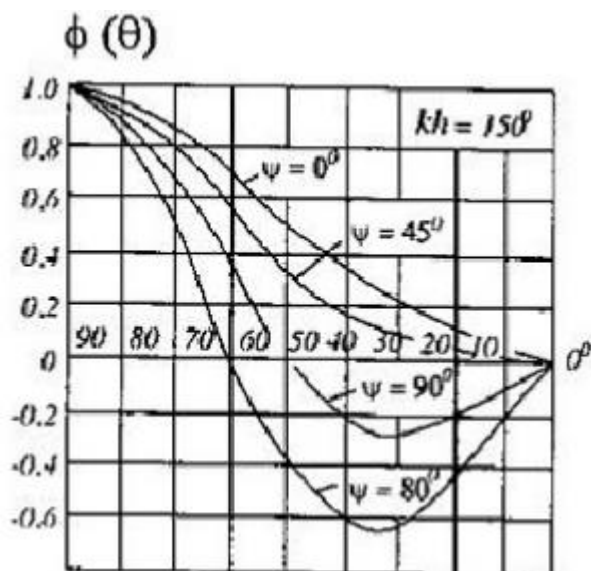
Đối với sóng dài và sóng trung, thường dùng anten chấn tử không đối xứng đặt thẳng đứng trên mặt đất. Khi ấy để giảm độ cao, ở đầu cuối anten được mắc thêm đỉnh ngang, tạo thành điện dung đối với mặt đất. Đối với anten dây đặt thẳng đứng, đỉnh ngang có thể có dạng đối xứng hay không đối xứng (hình 5.11a, b). Đối với anten thấp, đỉnh ngang có thể có dạng tán (hình 5.11c, d).



Hình 5.11. Các dạng đỉnh ngang của anten dây đặt thẳng đứng và đối với anten thấp

Hình 5.12 vẽ đồ thị phương hướng $\phi(\theta)$ của chấn tử thẳng đứng không đối xứng có độ cao $h = 0,42\lambda (kh = 150^\circ)$ với các giá trị điện dung đỉnh khác nhau $\psi = 0^\circ, 45^\circ, 80^\circ, 90^\circ$

So sánh chi tiết hơn, đồ thị phương hướng của anten có tải và không có tải có thể thấy rằng khi điện dung tải ứng với $\varphi = 45^\circ$ và độ dài điện của anten $kh = 150^\circ$, nghĩa là độ dài tổng cộng bằng 195° thì đồ thị phương hướng của chấn tử không tải với độ dài điện bằng 190° ($h = 0,53\lambda$).



Hình 5.12. Đồ thị phương hướng của chấn tử thẳng đứng không đối xứng có độ cao $h = 0,42\lambda$ với các giá trị điện dung đỉnh ψ khác nhau

Độ cao hiệu dụng của anten trong trường hợp chấn tử có tải cũng lớn hơn so với trường hợp chấn tử không có tải có cùng chiều dài. Độ cao hiệu dụng của anten bằng:

$$H_{hd} = \frac{1}{I_0} \int_0^h I(z) dz \quad (5.17)$$

Với I_0 là dòng điện ở đầu vào chấn tử.

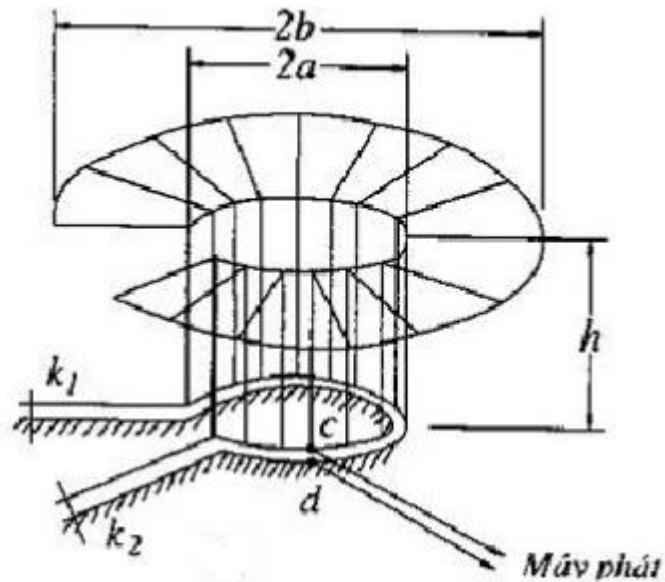
Ở chấn tử có tải, phân bố dòng điện trên chấn tử được dịch chuyển ra phía đầu cuối, do đó điện tích phân bố dòng điện tăng lên và điện tích hiệu dụng cũng tăng theo.

Trường hợp cần đảm bảo hiệu suất của anten không đổi khi giảm độ cao, cần thực hiện chấn tử với đường kính lớn để giảm mật độ dòng điện phát sinh trong đất ở gần đế anten. Kết cấu anten thấp, hiệu suất cao được minh họa ở hình 5.13. Ví dụ với dải sóng công tác $\lambda = 200 - 600m$, anten có kích thước hình học như sau:

Độ cao phần thẳng đứng $h = 22m$

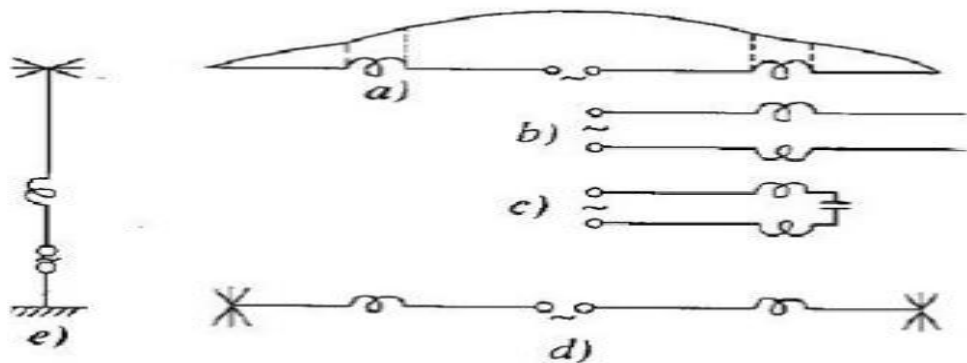
Bán kính hình trụ $a = 24m$

Bán kính của tán nằm ngang $b = 67,5m$



Hình 5.13. Kết cấu của anten tháp, hiệu suất cao

Đường fidor truyền năng lượng từ máy phát được nối vào hai điểm c, d của fidor phân phối. Điểm nối này cần phải lựa chọn để thực hiện được sự phối hợp trở kháng giữa file và anten. Muốn điều chỉnh anten cộng hưởng, nghĩa là muốn cho trở kháng vào tại c, d có thành phần điện kháng bằng không, người ta dùng các dây nhánh ngắn độ dài của nó có thể điều chỉnh được bởi các cầu trượt k_1, k_2 . Việc biến đổi phân bố dòng điện trên chân tử còn có thể đạt được bằng các cách như hình 5.14.



Hình 5.14. a. Mắc tải cảm tính nối tiếp giữa chân tử

b. Sơ đồ tương đương của chân tử

c. Trở kháng vào của đoạn dây nhìn từ điểm mắc cuộn cảm về phía đầu cuối sẽ có đặc tính dung kháng

Tại đây, nếu điện kháng cảm tính của tải và điện kháng dung tính của đoạn dây bù được cho nhau, thì sẽ xảy ra cộng hưởng liên tiếp và dòng điện sẽ đạt được giá trị lớn. Khi ấy, phân bố dòng điện trên đoạn dây tính từ đầu

vào đến vị trí mắc tải sẽ tương đương với phân bố dòng điện trên chân tử có độ dài lớn.

Trong nhiều trường hợp có thể giảm độ dài chân tử bằng cách mắc hỗn hợp tải dung tính và cảm tính (hình 5.14 d và e). Khi ấy, hiệu quả rút ngắn kích thước chân tử sẽ cao hơn khi dùng từng biện pháp riêng rẽ.

5.3.2. Phương pháp dùng đường dây sóng chậm

Như chúng ta đã biết, khi kết cấu chân tử bằng dây dẫn thẳng có đường kính rất nhỏ so với bước sóng ($\frac{a}{\lambda} \ll 1$) (a là bán kính dây dẫn) thì vận tốc pha của dòng điện trên chân tử có thể được coi bằng vận tốc ánh sáng trong chân không, ta có hệ số pha $\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$ (λ là bước sóng trong không gian tự do).

Độ dài cộng hưởng của anten chân tử được xác định từ hệ thức:

$$kL = n\pi \quad (5.18)$$

Với n là các số nguyên 1, 2, 3

L độ dài chân tử

Nếu xung quanh dây dẫn được bọc một lớp vật liệu điện môi có hệ số điện thẩm khá lớn ($\epsilon_r \gg 1$) hoặc một lớp vật liệu từ tính có hệ số từ thẩm khá lớn ($\mu \gg 1$) thì vận tốc pha của dòng điện truyền theo dây dẫn chân tử sẽ nhỏ hơn vận tốc ánh sáng, khi ấy hệ số pha $\beta > k$ và theo (5.18) thì độ dài cộng hưởng của chân tử sẽ giảm đi.

Đối với hệ thống chậm có truyền sóng TM thì:

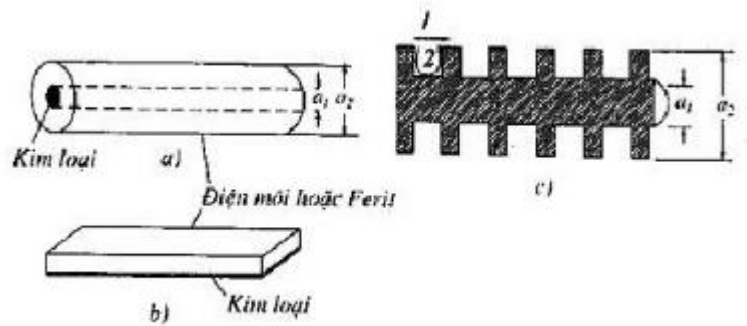
$$Z_{TM} = \frac{E_z}{H_\phi} \quad (5.19)$$

Còn đối với hệ thống có sóng TE:

$$Z_{TE} = \frac{E_\phi}{H_z} \quad (5.20)$$

Việc lựa chọn loại đường dây sóng chậm nào cần chú ý hai thông số quan trọng là hệ số chậm và hệ số suy giảm của kết cấu.

Các đường dây sóng chậm thường gặp là các dây dẫn kim loại có phủ lớp điện môi hoặc ferit, trục kim loại hình răng lược.



Hình 5.15. Các đường dây sóng chậm thường gặp

Anten chấn tử thực hiện từ các đường dây sóng chậm nếu ở trên được gọi là chấn tử impedang.

Nguyên lý hình thành sóng chậm trong các kết cấu trên được giải thích một cách đơn giản như sau: Ví dụ, ta xét kết cấu dây dẫn mà bên ngoài được phủ lớp điện môi hoặc ferit (hình 5.15a). Giả sử dây dẫn được kích thích bởi một sóng phẳng truyền lan dọc dây. Năng lượng điện từ truyền theo kết cấu trên sẽ gồm có hai phần, một phần truyền trong môi trường không khí bao quanh kết cấu với vận tốc pha bằng vận tốc sóng trong không gian tự do và một phần truyền trong lớp điện môi hoặc từ môi với vận tốc pha nhỏ hơn vận tốc sóng trong không gian tự do.

5.4. Bài tập

1. Trình bày phương pháp tần số điều khiển đồ thị phương hướng.
2. Trình bày phương pháp pha điều khiển đồ thị phương hướng.
3. Trình bày việc thiết lập anten dải rộng theo nguyên lý tự bù.
4. Trình bày việc thiết lập anten dải rộng theo nguyên lý tương tự.
5. Trình bày phương pháp điều chỉnh phân bố dòng điện để giảm nhỏ kích thước anten.
6. Trình bày nguyên tắc phương pháp làm chậm sóng để giảm kích thước anten.
7. Trình bày biện pháp cấp điện cho chấn tử đối xứng bằng đường dây song hành.
8. Trình bày biện pháp cấp điện cho chấn tử đối xứng bằng thiết bị biến đổi đối xứng dùng đoạn cáp chữ U.

CHƯƠNG VI. ANTEN THÔNG MINH

6.1. Giới thiệu

Trong một hệ thống thông tin vô tuyến tiên tiến, anten thông minh có hai chức năng cơ bản: chức năng chính là bức xạ các tín hiệu RF từ máy phát dưới dạng sóng vô tuyến hoặc chuyển đổi sóng vô tuyến thành tín hiệu RF để xử lý ở máy thu; chức năng khác của anten thông minh là bức xạ tín hiệu sóng vô tuyến theo một hay nhiều hướng mong muốn, hoặc thu nhận tín hiệu từ một hay nhiều hướng mong muốn còn các hướng khác thường bị loại bỏ. Về mặt đặc trưng hướng của anten, có nghĩa là việc phát xạ theo các hướng không mong muốn hoặc là việc thu từ các hướng không mong muốn sẽ bị loại bỏ. Các đặc trưng hướng của một anten là nền tảng để hiệu anten được sử dụng như thế nào trong hệ thống thông tin vô tuyến, các đặc trưng có liên hệ với nhau này bao gồm hệ số khuếch đại, tính định hướng, mẫu bức xạ và phân cực; các đặc trưng khác như búp sóng, độ dài hiệu dụng, góc mở hiệu dụng được suy ra từ bốn đặc trưng cơ bản trên. Trở kháng đầu cuối (đầu vào) là một đặc trưng cơ bản khác khá quan trọng, nó cho biết trở kháng của anten để kết hợp một cách hiệu quả công suất đầu ra của máy phát với anten hoặc để kết hợp một cách hiệu quả công suất từ anten vào máy thu, tất cả các đặc trưng anten này đều là một hàm của tần số.

6.1.1. Đặc điểm truyền lan sóng

Sóng điện từ lan truyền trong không gian, tại mỗi điểm sóng điện từ được đặc trưng bởi pha và cường độ. Trong quá trình lan truyền sóng, sóng điện từ bức xạ ra không gian dưới dạng vô số các mặt sóng liên tiếp, các mặt sóng được tạo ra đóng vai trò là nguồn bức xạ thứ cấp tạo ra các mặt sóng tiếp sau nó, với bước sóng cực ngắn: 1mm \rightarrow 10 m (30MHz \rightarrow 300 GHz) và truyền lan trong giới hạn nhìn thấy trực tiếp.

Ngoài ra, sóng điện từ có tính chất đó là truyền thẳng, phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ và khúc xạ cho nên xảy ra hiện tượng giao thoa giữa tia trực tiếp và tia phản xạ. Trong quá trình truyền lan sóng còn bị ảnh hưởng bởi các điều kiện truyền sóng: Địa hình, khí quyển, đất, nước, ... trên đường sóng vô tuyến đi qua. Do ảnh hưởng của điều kiện này mà có sự biến đổi cường độ tín hiệu sóng mang cao tần tại anten thu do có sự biến đổi không đồng đều về chỉ số

khúc xạ của khí quyển, các phản xạ của đất và nước trên đường truyền sóng vô tuyến đi qua. Hiện tượng này gọi là fading trong quá trình lan truyền sóng. Việc dùng các kỹ thuật để giảm fading trong quá trình lan truyền sóng sẽ thu được hướng thông tin xác định và tránh được các tổn hao truyền sóng.

6.1.2. Yêu cầu với anten

Để anten trong thông tin vô tuyến hoạt động tốt, ngoài yêu cầu về kết cấu chắc chắn, độ bền cao, và phải mang tính kinh tế thì yêu cầu quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng hoạt động của anten là hệ số định hướng cao, ở đây hệ số định hướng của anten được định nghĩa là tỉ số cường độ bức xạ của anten ở một hướng đã cho so với cường độ bức xạ của anten đẳng hướng với cùng một công suất bức xạ. Nếu hướng đã cho chưa được xác định, thì hệ số định hướng ám chỉ hướng cực đại.

Khi hệ số định hướng của anten cao sẽ giúp nâng cao hiệu suất truyền dẫn, bức xạ gần như toàn bộ năng lượng đầu vào tới môi trường truyền dẫn, giảm nhiễu từ các trạm vô tuyến lân cận; còn ngược lại, anten với hệ số định hướng thấp dẫn tới hiệu suất kém, năng lượng tín hiệu sẽ bị tổn hao, hấp thụ bên trong anten và chỉ bức xạ một phần nhỏ năng lượng tín hiệu nhận được từ đầu vào của anten.

Ngoài hai yêu cầu trên đối với anten để một anten hoạt động tốt trong thông tin thì *dải tần công tác phải rộng* để đảm bảo việc truyền tín hiệu phổ rộng, *các búp sóng phụ nhỏ*, toàn bộ năng lượng sẽ tập chung ở búp sóng chính, đảm bảo việc búp sóng chính luôn hướng chính xác về phía tín hiệu đang làm việc, tránh được hiện tượng phản xạ để anten có thể phối hợp trở kháng tốt.

6.2. Anten thông minh (Smart Antenna)

Hệ thống thông tin liên lạc vô tuyến hiện nay đặt ra một số thách thức đặc biệt đó là:

- Mật độ phân bố phổ hạn chế trong một giới hạn công suất.
- Môi trường truyền sóng vô tuyến và di chuyển của người sử dụng làm phát sinh fading tín hiệu, phân bố theo thời gian, không gian và tần số.
- Tuổi thọ pin hạn chế ở các thiết bị di động

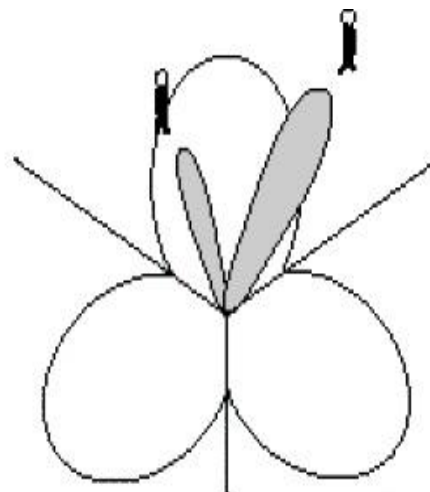
Chính vì vậy, việc áp dụng thương mại hóa kỹ thuật anten thông minh là một sự hứa hẹn tuyệt vời để giải quyết các vấn đề suy hao và can nhiễu trong môi trường truyền thông không dây.

6.2.1. Khái niệm

Anten thông minh là một hệ thống dàn anten gồm nhiều phần tử anten có độ lợi thấp, được bố trí phù hợp về mặt hình học và kết nối liên thông về điện để tạo ra một giản đồ phát xạ định hướng mong muốn (hình 6.1). Anten loại này có khả năng thay đổi đồ thị bức xạ thu hay phát một cách linh hoạt sao cho thích hợp với môi trường tín hiệu trong tế bào di động, vì vậy, anten thông minh còn được gọi bằng một tên khác là *Anten thích nghi* (Adaptive Antennas).



Hình 6.1. Anten thông minh



Hình 6.2. Vùng bức xạ của anten thường và anten thông minh

Nhìn vào hình vẽ vùng bức xạ của anten thường và anten thông minh (hình 6.2) ta dễ dàng nhận thấy sự khác biệt giữa hai loại anten này:

- Khác nhau về vùng bức xạ: Anten thông minh có các búp sóng (beam) hẹp hơn và có tính định hướng cao hơn so với anten thường.

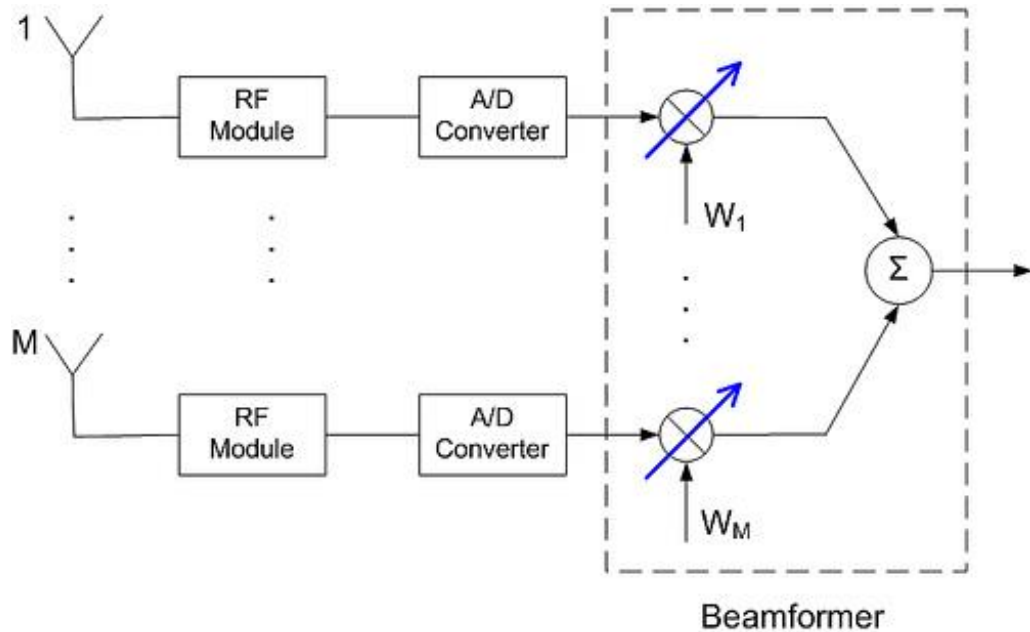
- Anten thông minh gồm nhiều phần tử anten kết hợp với bộ xử lý tín hiệu số có tác dụng kết hợp tín hiệu sau đó tập trung bức xạ theo một hướng đặc biệt.

6.2.2. Tính thông minh của anten

Trong hệ thống anten thông minh, bản thân các phần tử anten không thông minh mà sự thông minh được tạo ra do quá trình xử lý tín hiệu số các tín hiệu đến các phần tử anten. Quá trình kết hợp tín hiệu, sau đó tập trung

bức xạ theo một hướng đặc biệt được gọi là quá trình tạo chùm (beamforming).

Bộ xử lý tín hiệu số của anten thông minh xử lý tín hiệu theo hai chuẩn: tiêu chuẩn cực đại tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SIR) và tiêu chuẩn cực tiểu lỗi trung bình bình phương (MSE).



Hình 6.3. Sơ đồ tổng quát của anten thông minh

Trong sơ đồ tổng quát của anten thông minh, có thể thấy rằng tín hiệu đến các phần tử anten, sau đó được nhân với một bộ trọng số rồi được lấy tổng để thu được tín hiệu ở lối ra. Chính bộ trọng số này giúp anten có thể tập trung bức xạ theo hướng mong muốn. Bằng cách sử dụng các giải thuật thích nghi trong quá trình beamforming, mà bộ trọng số này luôn được cập nhật để anten thông minh có thể bám theo người sử dụng khi họ di chuyển.

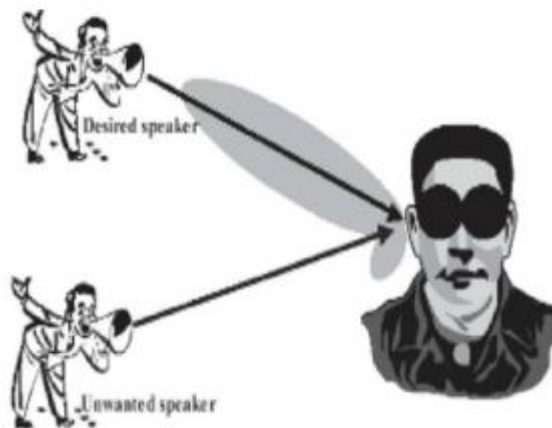
6.2.3. Khái quát nguyên lý hoạt động của anten thông minh

Hệ thống anten thông minh được phát triển dựa trên một ý tưởng hoạt động của cơ quan thính giác con người. Một người xác định hướng truyền đến của một âm thanh bằng một quá trình gồm 3 giai đoạn.

- Tai của một người hoạt động như một bộ cảm biến âm thanh và thu tín hiệu.

- Bởi vì khoảng cách giữa hai tai, nên mỗi tai nhận một tín hiệu với thời gian trễ khác nhau.

- Não người là bộ xử lý đặc biệt, thực hiện hàng trăm phép tính để phân tích thông tin và tính toán vị trí của âm thanh thu được



Hình 6.4. Khả năng định hướng của tai người

Ví dụ: Hai người nói chuyện trong một phòng biệt lập

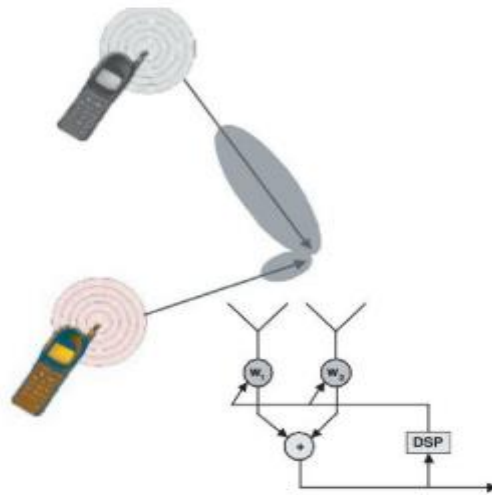
Não người có khả năng định hướng tín hiệu và phân biệt giữa nhiều tín hiệu có hướng đến khác nhau.

Nếu một người mới tham gia vào cuộc nói chuyện, bộ não có thể tăng cường tín hiệu thu từ người nói đáng quan tâm và bỏ ngoài âm thanh nhiễu không mong muốn.

Người nghe có khả năng phân biệt giọng nói của một người giữa nhiều người đang nói đồng thời, và tập trung vào một cuộc hội thoại tại một thời gian, điều này làm âm thanh nhiễu không mong muốn được giảm bớt.

Ngược lại, người nghe có thể đáp trả lại cùng hướng như hướng của người nói bằng việc định hướng miệng (hay bộ phát) của người đó hướng về phía người nói.

Hệ thống anten điện thông minh làm việc tương tự bằng cách sử dụng 2 anten thay cho 2 tai, một bộ xử lý tín hiệu thay cho bộ não như hình sau:

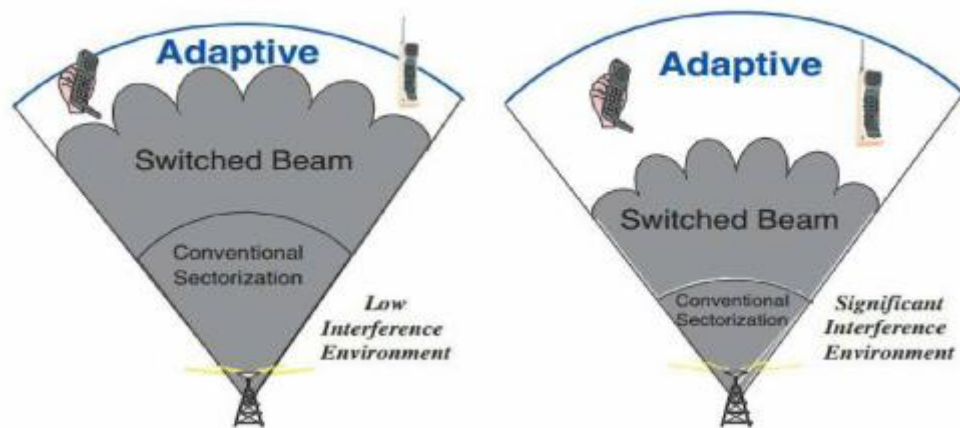


Hình 6.5. Khái quát nguyên lý anten thông minh

Dựa trên thời gian trễ tín hiệu, bộ xử lý tín hiệu số tính toán hướng đến (DOA) của tín hiệu quan tâm (SOI) và điều chỉnh pha để tạo ra kiểu bức xạ chỉ tập trung vào SOI trong khi loại bỏ các tín hiệu nhiễu hay tín hiệu không quan tâm.

6.2.4. Phân loại anten thông minh

Về cơ bản, anten thông minh gồm 2 loại chính: anten *chuyển mạch búp sóng* và anten *dàn thích nghi*.

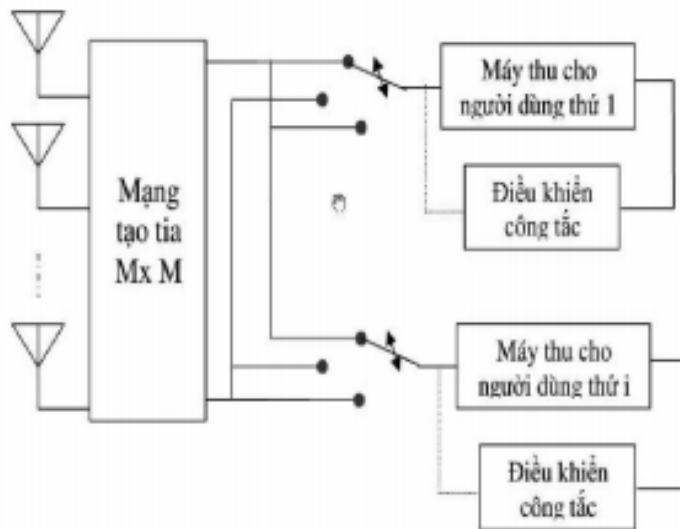


Hình 6.6. Minh họa vùng phủ sóng của anten chuyển búp, anten dàn thích nghi và anten thường

Anten chuyển mạch búp sóng (SBA):

- Đặc điểm:

Gồm các anten thành phần thu phát một cách độc lập, biểu đồ hướng anten sẽ thay đổi chuyển từ anten thành phần này sang anten thành phần khác để bám theo đối tượng khi thuê bao di chuyển.



Hình 6.7. Hệ thống SBA đơn giản

Anten chuyển mạch búp sóng được trang bị thêm những bộ phận mới để phát triển mở rộng hệ thống tế bào, người ta có thể bổ sung bằng cách cộng thêm những địa chỉ thông minh cần thiết trong mạng sau khi đã tính toán kỹ càng.

- Về mặt công dụng:

Hệ thống SBA có thể nâng cao vùng phủ của trạm gốc hơn từ 20% đến 200% so với hệ thống phân vùng tế bào cổ điển phụ thuộc vào hoàn cảnh môi trường phân cứng và phần mềm được dùng.

Vùng phủ sóng được cộng thêm có thể tiết kiệm nguồn nhân lực, giá cơ sở hạ tầng thực tế và giá trung bình cho người tiêu dùng sẽ thấp hơn.

- Về ưu điểm: Anten loại này đơn giản và dễ lắp đặt.

- Nhược điểm:

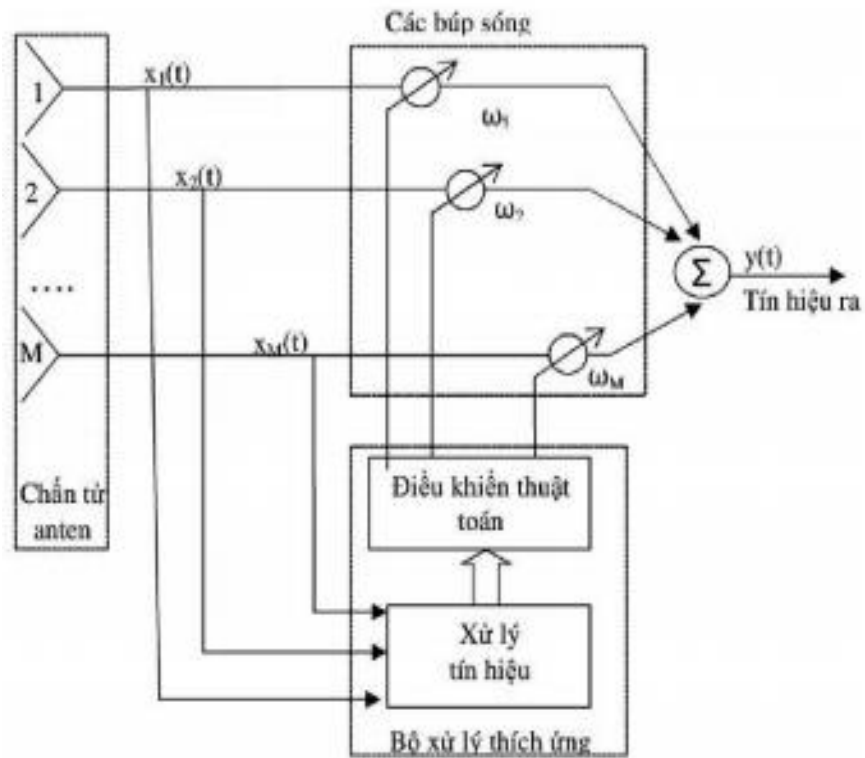
+ Dung lượng hệ thống phụ thuộc vào số lượng anten thành phần trong mạng anten.

+ Không tận dụng được tính chất đa đường để tăng cường tín hiệu, ...

Anten dàn thích nghi (AAA):

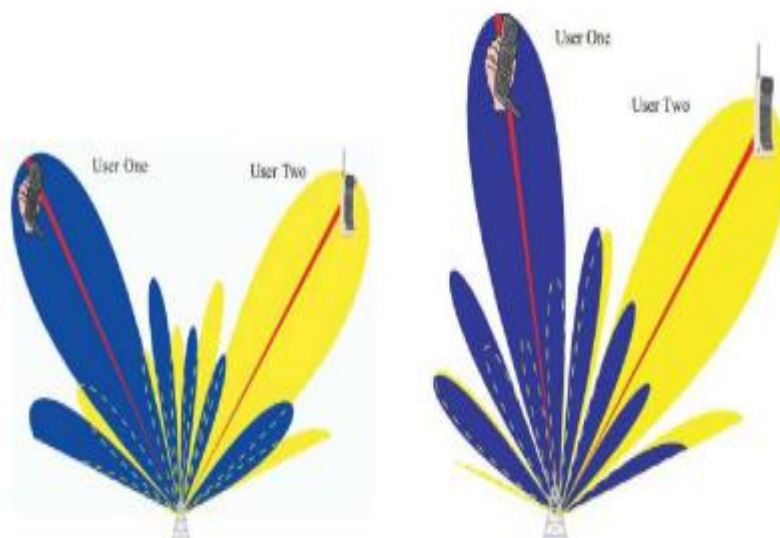
- Đặc điểm: Là một hệ thống bao gồm một dàn các chân tử anten và một xử lý thích ứng thời gian cho phép điều khiển búp sóng tự động thông qua các tiêu chuẩn lựa chọn thuật toán.

Biểu đồ hướng sóng không xác định, mang tính chất động và các biểu đồ hướng sóng anten đó có thể điều chỉnh theo thời gian thực.



Hình 6.8. Cấu trúc hệ thống AAA đơn giản

- Ưu điểm:
 - + Dung lượng của hệ thống có thể thay đổi một cách linh hoạt nhờ tính chất động của hệ thống anten.
 - + Khắc phục những nhược điểm cơ bản của hệ thống SBA, lợi dụng tính chất đa đường để tăng cường tín hiệu,...
- Nhược điểm: Hệ thống phức tạp



Hình 6.9. Minh họa búp sóng của 2 thuê bao trong hệ thống anten dàn thích nghi

So sánh hệ thống SBA và AAA:

Tiêu chuẩn	SBA	AAA
Cấu trúc	<ul style="list-style-type: none">- Lắp đặt đơn giản- Giá thành thấp	<ul style="list-style-type: none">- Bộ thu/phát phức tạp- Giá thành cao- Ít phần cứng dự phòng
Vùng phủ sóng	<ul style="list-style-type: none">- Vùng phủ sóng rộng hơn so với hệ thống thường nhưng hẹp hơn hệ thống AAA	<ul style="list-style-type: none">- Vùng phủ sóng rộng hơn hệ thống SBA
Giảm nhiễu	<ul style="list-style-type: none">- Khó khăn trong việc phân biệt nhiễu và tín hiệu quan tâm- Không phản ứng với sự chuyển động của nhiễu	<ul style="list-style-type: none">- Tập trung triệt để vào tín hiệu quan tâm- Có khả năng loại bỏ nhiễu triệt để

6.2.5. Cấu trúc và kỹ thuật trong hệ thống anten thông minh

Cấu trúc:

Hệ thống anten thông minh gồm nhiều anten cấu thành mạng, các anten thành phần đó hoàn toàn giống nhau.

Các chấn tử của dàn anten thông minh có thể được sắp xếp theo các cấu trúc hình học khác nhau như: dãy tuyến tính cách đều nhau (linear equally spaced – LES), dãy tròn đồng đều (Uniform circular), dãy không gian phẳng đồng đều (Uniform spaced planar)... Mặc dù hình dạng và kiến trúc khác nhau nhưng tất cả đều phải đảm bảo điều kiện sau:

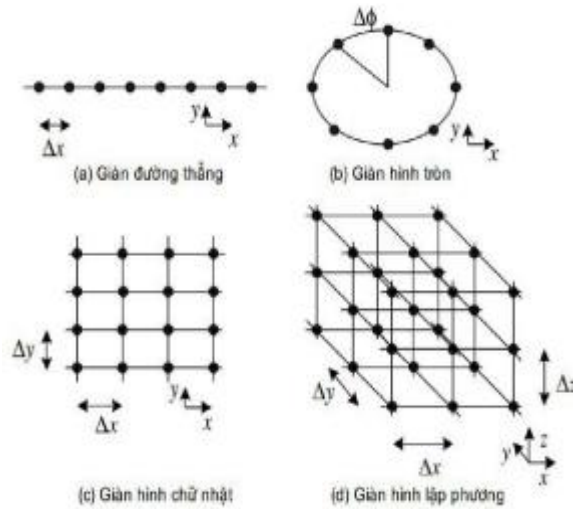
- Các anten thành phần phải như nhau về mọi mặt: tính chất vật lý, kích thước, khoảng cách giữa các phần tử, ... và biểu đồ hướng sóng của mỗi anten.

- Không có sự tác động qua lại giữa các anten thành phần.

- Không có sự biến đổi biên độ giữa các anten.

- Tín hiệu thu được phải độc lập, có thể rời rạc hóa trên mặt phẳng sóng.

Ngoài ra người ta có thể đưa ra thêm các cấu trúc hình học mới của anten thông minh bằng các phương pháp toán học.

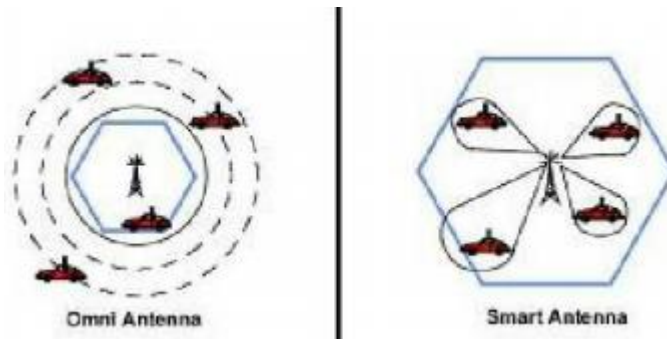


Hình 6.10. Một số cấu trúc của anten thông minh

Các kỹ thuật trong anten thông minh:

1. Tăng ích tín hiệu: các tín hiệu vào từ các phần tử anten được kết hợp với nhau để tối ưu hóa công suất sẵn có nhằm tạo ra được một mức độ phủ sóng nhất định.

Lợi ích: Tăng độ rộng vùng phủ và tăng khoảng cách phủ sóng. Khi sử dụng anten thông minh ở các khu vực này cho phép tăng bán kính phủ sóng của trạm nhiều lần so với anten đẳng hướng hay *anten sector*.



Hình 6.10. Mở rộng vùng phủ sóng sử dụng anten thông minh

2. Đa truy cập phân chia theo không gian (SDMA)

+ Hệ thống anten thông minh cho phép một trạm phủ sóng có thể liên lạc với 2 hay nhiều thuê bao sử dụng cùng một tần số khi sử dụng công nghệ đa truy cập phân chia theo không gian.

+ Lợi ích: Cho phép hệ thống sử dụng các tài nguyên mạng hiệu quả hơn.

3. Tiết kiệm công suất

+ Kết hợp các tín hiệu vào từ các phần tử để tối ưu hóa tăng ích xử lý.

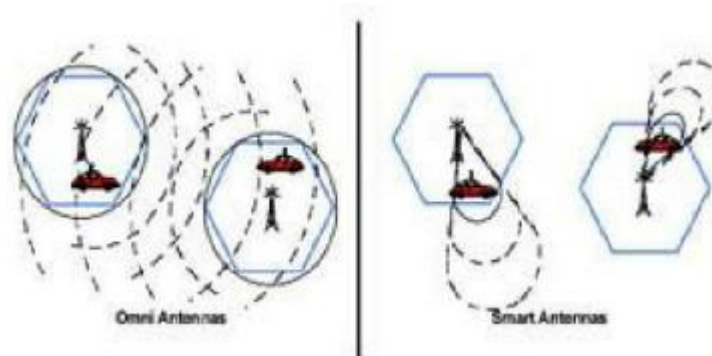
+ Lợi ích: chi phí cho bộ khuếch đại công suất thấp hơn, công suất tiêu thụ thấp hơn và độ tin cậy cao hơn.

4. Giảm nhiễu đường truyền

+ Các búp sóng của anten hướng chính xác thuê bao, do vậy công suất phát chỉ phát đúng đến hướng cần thiết và tránh phát tín hiệu về phía nguồn can nhiễu.

+ Nhiễu xuyên kênh kiểu đồng kênh chỉ xảy ra nếu các thuê bao này cùng nằm trong một búp sóng khá hẹp (5^0 đến 10^0).

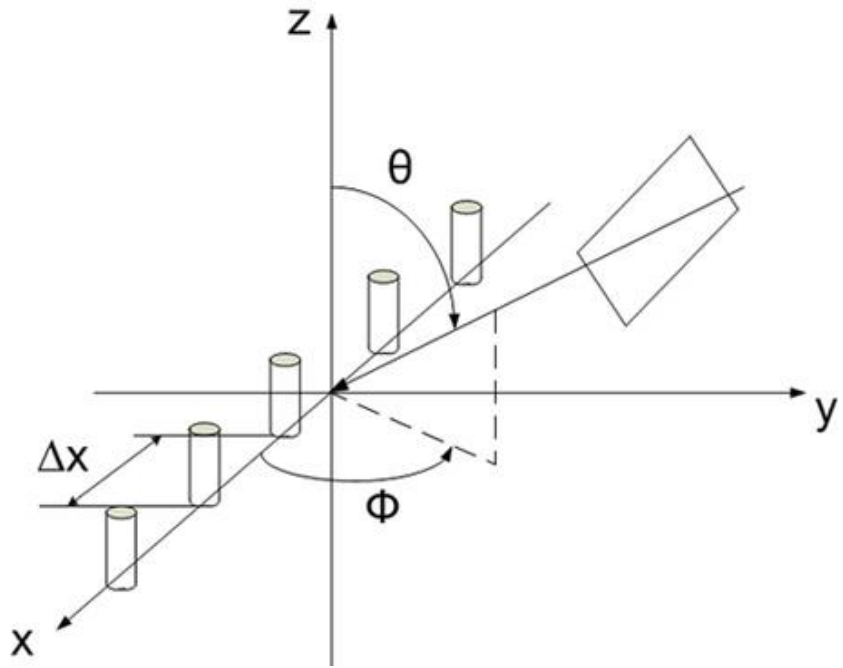
+ Lợi ích: giảm số lượng trạm phủ sóng, tăng hiệu quả sử dụng băng tần và dung lượng.



Hình 6.11. Giảm nhiễu đường truyền của anten thông minh

6.2.6. Mô hình toán của anten thông minh

Xét mô hình dãy anten tuyến tính cách đều nhau như hình 5.12 phương pháp xây dựng mô hình toán dưới đây có thể áp dụng một cách tương tự cho tất cả các dãy đồng nhất: Uniform circular, Uniform spaced planar ...

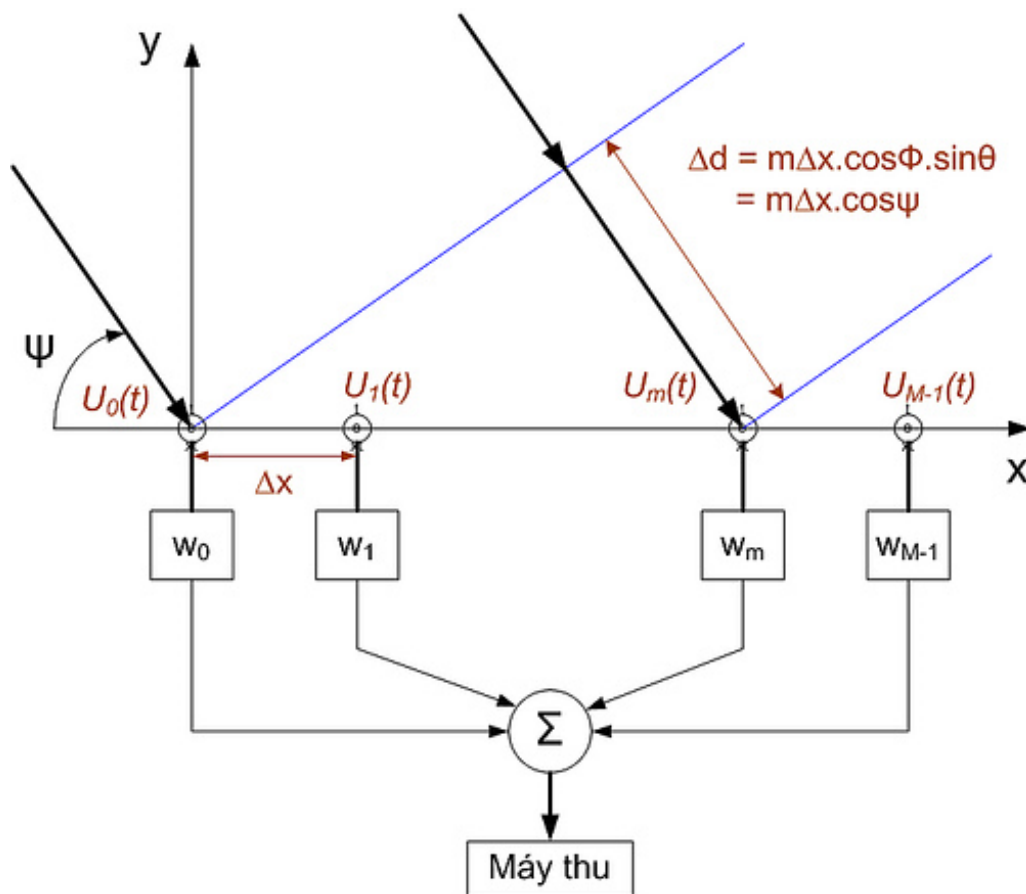


Hình 6.12. Mô hình dãy anten tuyến tính cách đều nhau

Trong hình 6.12, ϕ là góc phương vị còn θ là góc ngẩng của mặt phẳng sóng tới trên dãy anten. Mặt phẳng ngang được biểu diễn bởi $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Để đơn giản hóa việc phân tích dãy anten, ta đưa ra một số giả thiết sau:

- + Khoảng cách giữa các phần tử anten là đủ nhỏ để không có sự thay đổi nào về biên độ giữa các tín hiệu được nhận tại từng phần tử anten.
- + Không có sự kết nối tương hỗ giữa các anten.
- + Tất cả những trường sóng tới đều có thể chia thành một lượng các mặt phẳng sóng rời rạc. Như vậy, số tín hiệu đến anten là hữu hạn.



Hình 6.13. Mô hình Toán của anten thông minh

Đối với một mặt phẳng sóng tới dãy anten từ hướng (θ, ϕ) , như hình 6.13, tín hiệu đến phần tử thứ m phải đi thêm một đoạn đường:

$$\Delta d = m \cdot \Delta x \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta$$

So với phần tử tham chiếu tại gốc tín hiệu, tức là tín hiệu đến phần tử thứ m sẽ trễ hơn tín hiệu đến phần tử tham chiếu một khoảng thời gian $t_m = \Delta d / c$.

Như vậy, độ sai pha giữa thành phần tín hiệu đến phần tử thứ m và phần tử tham chiếu tại gốc là:

$$\Delta \psi = \omega \cdot t_m = \beta \cdot \Delta d \text{ với } \omega = 2\pi f,$$

f là tần số sóng mang tính theo Hz.

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ là hệ số truyền pha.

Giả sử rằng mỗi phần tử anten là đẳng hướng và có độ lợi như nhau tại tất cả các hướng. Tín hiệu đến một mặt sóng có đường bao phức là $s(t)$. Theo các phân tích ở trên về sự trễ pha của các phần tử anten trong dãy, tín hiệu nhận được tại phần tử anten thứ m là:

$$u_m(t) = s(t)e^{-j\beta\Delta d} = s(t)e^{-j\beta m \Delta x \cos \phi \sin \theta} \quad (6.2)$$

Tín hiệu tại ngõ ra của dãy, sau khi được nhân với bộ trọng số $[w_0 w_1 \dots w_{M-1}]$ với M là số phần tử anten trong dãy là:

$$y(t) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m u_m(t) = s(t) \sum w_m e^{-j\beta m \Delta x \cos \phi \sin \theta} = s(t) f(\theta, \phi) \quad (6.3)$$

Phần tử $f(\theta, \phi)$ được gọi là hệ số mảng, nó xác định tỷ số giữa tín hiệu nhận được tại ngõ ra dãy anten và tín hiệu $s(t)$ đo được tại phần tử tham khảo. Hệ số mảng là một hàm theo hướng đến (Direction of Arrival). Bằng cách điều chỉnh bộ trọng số $[w_0 w_1 \dots w_{M-1}]$, ta có thể hướng cho búp sóng chính của hệ số mảng theo hướng mong muốn (θ_0, ϕ_0) .

Ta định nghĩa *vector trọng số* (weight vector):

$$w = [w_0 \quad w_1 \dots w_{M-1}]^T \quad (6.4)$$

Tín hiệu từ mỗi phần tử anten được nhóm lại thành một *véc tơ dữ liệu* (data vector):

$$u = [u_0(t) \quad u_1(t) \dots u_{M-1}(t)]^T \quad (6.5)$$

Tín hiệu ngõ ra của dãy anten là tích vô hướng của vector trọng số và vector dữ liệu:

$$y(t) = w^H u(t) \quad (6.6)$$

Ký hiệu w^H thể hiện phép biến đổi Hermitian, tức là chuyển vị rồi lấy liên hợp phức.

Hệ số mảng theo hướng (θ, ϕ) được biểu diễn lại như sau:

$$f(\theta, \phi) = w^H a(\theta, \phi) \quad (6.7)$$

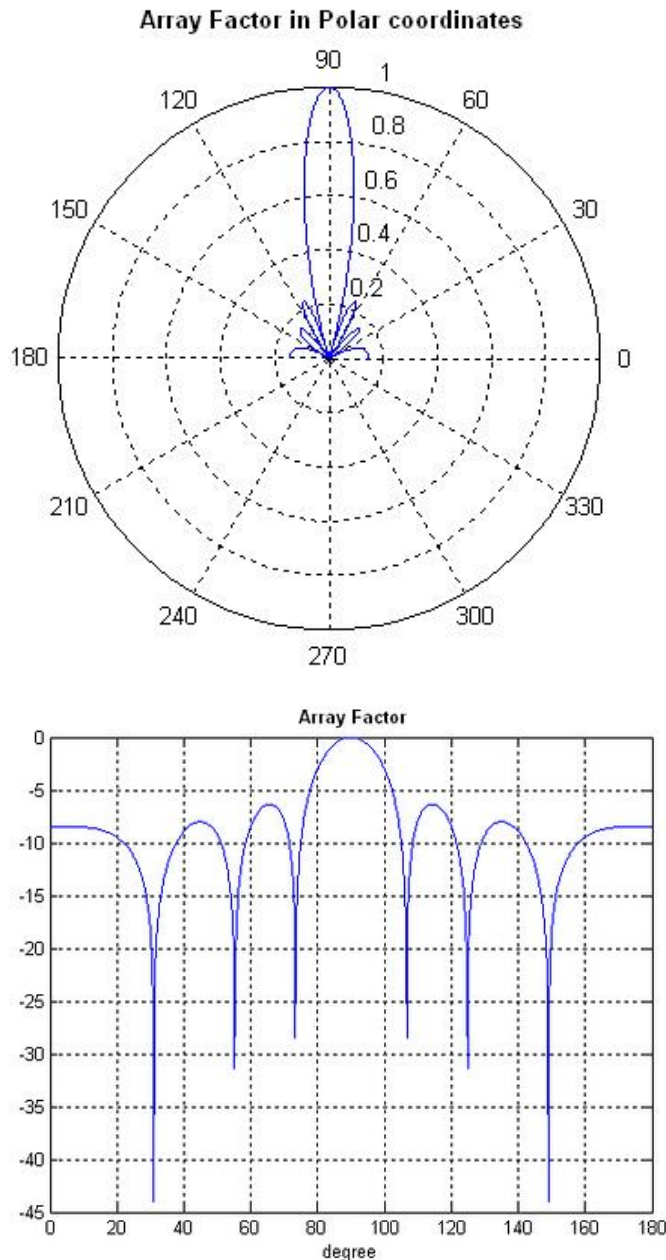
Vector $a(\theta, \phi)$ được gọi là vector lái theo hướng (θ, ϕ) . Cho trước một mặt phẳng sóng tới từ hướng (θ, ϕ) như hình 5.4, vector lái $a(\theta, \phi)$ biểu diễn pha của tín hiệu tại mỗi phần tử anten so với tín hiệu tham gốc.

$$a(\theta, \phi) = [1 \quad a_1 \dots a_{M-1}(\theta, \phi)]^T \quad (6.8)$$

Trong đó $a_m(\theta, \phi) = e^{-j\beta m \Delta x \cos \phi \sin \theta}$

Một tập các vector lái, được đo đạc hoặc được tính toán trước, được gọi là array manifold.

Ví dụ: ARRAY FACTOR của dãy anten 7 phần tử, hướng đến 90° .



Hình 6.14. Array factor

Các hướng nghiên cứu:

1. Digital Beamforming (DBF): cải thiện DBF bằng cách dùng Interpolation hoặc Beamforming miền tần số ...

2. Adaptive Beamforming: tìm hiểu về các giải thuật thích nghi và ứng dụng để giải quyết các vấn đề:

- Triệt tiêu can nhiễu: đây là vấn đề bức thiết đối với tất cả các hệ thống thông tin.

- Cân chỉnh mô hình dãy anten không lý tưởng (mô hình thực tế) do các phần tử anten hoặc các bộ phận RF, khuếch đại không đồng nhất, vị trí các phần tử anten thay đổi theo thời gian ...

3. Direction of Arrival (DOA): sử dụng các giải thuật để ước lượng hướng đến.

4. Sparse Array: tìm hiểu các phương pháp tối ưu hóa vị trí cho Sparse Array

6.3. Ưu nhược điểm của anten thông minh

6.3.1. Ưu điểm

- Cải thiện chất lượng tín hiệu của các hệ thống truyền thông vô tuyến.
- Cải thiện dung lượng hệ thống do tăng khả năng sử dụng lại tần số trong cùng một cell.
- Công suất phát cho phép thời gian sử dụng năng lượng lâu hơn, và do đó có thể giảm kích thước và khối lượng của các thiết bị đầu cuối.
- Anten thông minh thích hợp với hầu hết các hệ thống truyền thông vô tuyến hiện nay.

6.3.2. Nhược điểm

- Hệ thống phức tạp, yêu cầu các trạm anten với bộ vi xử lý số và hệ thống điều khiển rất mạnh. Nên khi gặp sự cố khó chuẩn đoán hơn.
- Giá thành cao hơn.

6.4. Anten cho hệ thống băng siêu rộng

6.4.1. Giới thiệu về Ultra Wideband

- Ultra Wideband

Hệ thống băng thông siêu rộng (còn được gọi tắt là UWB) là một công nghệ vô tuyến tiên phong bởi Robert A. Scholtz và cộng sự của ông, có thể được sử dụng ở một mức năng lượng rất thấp cho đường truyền ngắn, băng thông cao, thông tin liên lạc bằng cách sử dụng một lượng lớn phần của phổ tần vô tuyến.

- Đặc điểm

Băng thông của các hệ thống UWB lớn hơn rất nhiều băng thông của các hệ thống hiện tại sử dụng trong thông tin liên lạc. UWB là tín hiệu có băng thông chiếm tỷ lệ 20% của tần số trung tâm hoặc băng thông tối thiểu 500 MHz bất kể băng thông tỷ lệ.

Từ 14-2-2002, FCC (Federal Communication Commission) đã cho phép sử dụng UWB trong dải tần từ 3,1 GHz – 10,6 GHz cho các mục đích dân sự.

Ngày nay kỹ thuật UWB được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực thông tin liên lạc. Nhờ đó các ứng dụng của UWB ngày càng mở rộng và phát triển.

6.4.2. Tiêu chuẩn kỹ thuật cho anten trong UWB

- Anten cho UWB phải đạt được một băng thông rộng trong khi vẫn phải duy trì hiệu suất bức xạ cao trên toàn băng.

- Anten UWB phải có khả năng hoạt động trên cả dải tần 3,1GHz – 10,6GHz.

- Độ trễ nhóm (group delay): thể hiện chất lượng truyền đi một xung UWB và mức độ bị ảnh hưởng méo hay tán sắc của xung đó. Anten cho UWB phải đảm bảo độ trễ nhóm luôn là một hằng số.

- Đồ thị bức xạ và hiệu suất bức xạ: trong khi thiết kế cho phép đặt vị trí máy thu và phát ở các vị trí không cố định.

- Công nghệ băng siêu rộng chủ yếu hướng tới các thiết bị di động, cầm tay.

Điều đó đồng nghĩa với việc anten được thiết kế phải có hình dạng, kích thước nhỏ (anten vi dải) cho phép tích hợp vào trong các thiết bị.

Bảng sau đây trình bày các yêu cầu chung của các anten dành cho các thiết bị di động băng thông siêu rộng.

Dải tần hoạt động	3,1 GHz – 10,6 GHz
Hiệu suất bức xạ	Cao > 70%
Pha	Gần tuyến tính, trễ nhóm không đổi
Đồ thị bức xạ	Đẳng hướng
Độ rộng búp sóng nửa công suất	Rộng > 60 ⁰
Hình dạng	Nhỏ, gọn, đồng phẳng
Hệ số định hướng và hệ số tăng ích	Thấp

Bảng 6.1. Yêu cầu của anten cho thiết bị di động băng thông siêu rộng

6.4.3. Anten cho hệ thống UWB

Các yêu cầu chung:

- Với các xung hẹp dưới ns (nano giây) sẽ yêu cầu cấu trúc anten đặc biệt khác với anten ở hệ thống băng hẹp thông thường. Nhìn chung anten UWB phải tuyến tính về pha và phải có tâm pha cố định. Mạch phối hợp trở

kháng thường không tuyến tính về pha và do đó anten phải tự phối hợp trở kháng.

- Đặc tính bức xạ của anten ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng của anten. Hệ số khuếch đại anten cần phải ít biến đổi trong cả băng tần rộng để tránh làm giảm méo xung phát.

Chỉ tiêu	Anten trạm cơ sở	Anten thiết bị cầm tay
Tần số (GHz)	2 – 10	3 – 10
Phối hợp trở kháng (VSWR)	< 2	<3
Hiệu suất bức xạ (%)	50	10
Tính hướng (dB)	0 – 30	0
Độ trung thực	> 0,7	> 0,7
Kích thước (cm ²)	Không quy định	< 100 trên PCB

Bảng 6.2. Chỉ tiêu cơ bản của anten UWB

Loa TEM

Loa TEM và các biến thể của nó nằm trong số những anten được sử dụng phổ biến nhất trong ứng dụng UWB. Cấu trúc cơ bản gồm hai tấm kim loại hình nêm được cấp điện bằng đường dây song hành chế độ TEM.

Loa TEM duy trì tốt dạng xung và có tâm pha không đổi. Độ mở và độ dài của anten có thể điều chỉnh để thay đổi đồ thị bức xạ, phối kháng và đặc tính quá độ của anten. Hệ số khuếch đại: 5 – 15 dB (phù hợp cho các trạm cơ sở có hướng).

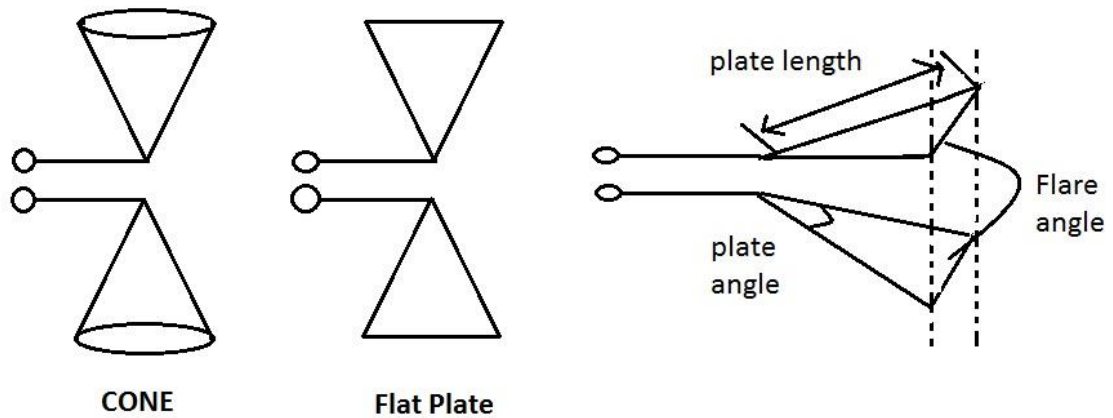
Anten bức xạ xung

Anten bức xạ xung IRA bao gồm loa TEM tiếp điện cho mặt phản xạ parabol. Với anten này có thể đạt được hệ số khuếch đại cao hầu như không phụ thuộc vào tần số, giá trị đạt tới 25dBi.

Hệ số khuếch đại có thể điều chỉnh bằng cách di chuyển loa TEM ra xa tiêu điểm của mặt phản xạ parabol. Với hệ số khuếch đại cao anten này phù hợp cho các trạm cơ sở có cự ly rất xa. Độ rộng búp sóng hẹp và các xung hẹp tạo ra bởi anten điều khiển nó không chịu ảnh hưởng của nhiễu.

Anten ngẫu cực và đơn cực

Anten ngẫu cực và đơn cực không có tải thuận trở hoạt động dựa trên kỹ thuật cộng hưởng, do đó hiệu ứng dao động ringing làm giảm đáng kể chất lượng của chúng.



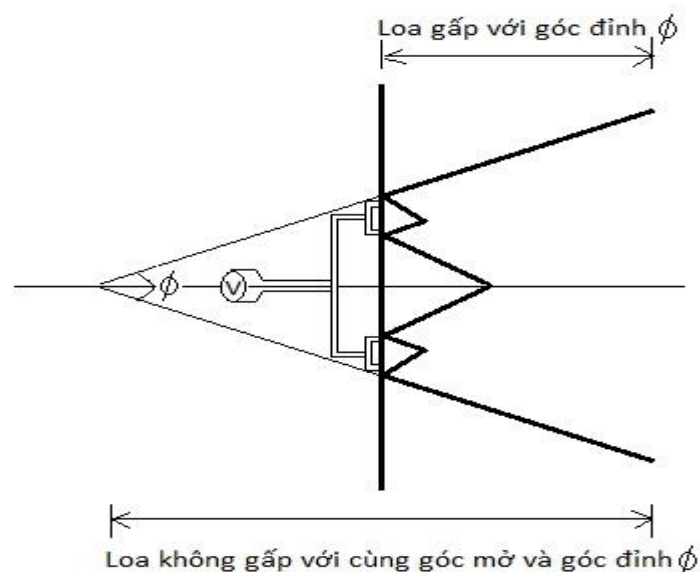
Hình 6.15. Một số loại anten nơ bằng rộng

Một thiết kế điển hình của anten loại này là anten nơ. Anten nơ được sử dụng khá phổ biến cho anten băng siêu rộng. Độ rộng búp sóng và trở kháng vào của anten nơ phụ thuộc trực tiếp vào hình dạng của anten và chúng gần như không đổi trên cả dải tần. Để cân bằng và tiếp sóng băng rộng cho anten nơ ta sử dụng cấu trúc lai với anten khe. Độ rộng băng tần của anten nơ phụ thuộc độ dài của các tấm kim loại. Độ rộng búp sóng của anten nơ quan hệ tuyến tính với góc mở.

Anten loa gấp

Ý tưởng cho anten loa gấp đến từ việc chèn các loa nhỏ vào trong loa chính.

Các loa nhỏ chia góc mở ban đầu của loa thành 2 phần bằng nhau. Sử dụng kỹ thuật này, kích thước của anten có thể giảm xuống.



Hình 6.7. Anten loa gấp

6.5. Bài tập

1. Trình bày đặc điểm truyền lan của sóng điện từ.
2. Trình bày các yêu cầu đối với anten.
3. Trình bày khái niệm anten thông minh.
4. Trình bày các ưu điểm của anten thông minh.
5. Trình bày mô hình toán học của anten thông minh.
6. Trình bày về tiêu chuẩn kỹ thuật cho anten trong hệ thống băng siêu rộng.
7. Trình bày về một số loại anten cho hệ thống băng siêu rộng.

MỘT SỐ BÀI TẬP THAM KHẢO

1. Một anten gương Parabol có hệ số tăng ích là 50 dBi, hiệu suất làm việc 60%. Tính góc nửa công suất?

Cách 1:

Theo bài ra $G = 50 \text{ dBi} \Rightarrow G = 10^5$ lần

Góc nửa công suất được xác định theo công thức:

$$2\theta_{1/2} = \frac{70\lambda}{D}$$

Trong đó: λ (m); d (m)

Mặt khác ta có:

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \eta_a$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{d} = \pi \sqrt{\frac{\eta_a}{G}}$$

$$\text{Vậy } 2\theta_{1/2} = 70\pi \sqrt{\frac{\eta_a}{G}} = 70\pi \sqrt{\frac{0,6}{10^5}} = 0,54^\circ$$

Cách 2:

Theo bài ra $G = 50 \text{ dBi} \Rightarrow G = 10^5$ lần

Góc nửa công suất xác định theo công thức:

$$2\theta_{1/2} = \frac{21}{df}$$

Trong đó: f (GHz); d (m)

Mặt khác ta có:

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \eta_a = \left(\frac{\pi df}{c}\right)^2 \eta_a$$

$$\Rightarrow df = \frac{c}{\pi} \sqrt{\frac{G}{\eta_a}} \text{ với } d(\text{m}); f(\text{Hz})$$

$$\text{Vậy: } 2\theta_{1/2} = \frac{21\pi}{c \cdot 10^{-9}} \sqrt{\frac{\eta_a}{G}} = \frac{21\pi}{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9}} \sqrt{\frac{0,6}{10^5}} = 0,54^\circ$$

Cách 3:

Góc nửa công suất được xác định theo công thức:

$$2\theta_{1/2} = \frac{21}{df} \text{ (độ)}$$

Trong đó: f (GHz); d (m)

Ta có:

$$\Rightarrow 20 \lg d_{(m)} f_{(GHz)} = G(dBi) - 10 \lg \eta_a - 20,4$$

$$\Rightarrow d_{(m)} f_{(GHz)} = 10^{(G(dBi) - 10 \lg \eta_a - 20,4)/20}$$

$$\text{Vậy: } 2\theta_{1/2} = \frac{21}{df} = 0,54^\circ$$

2. Một anten gương parabol có góc nửa công suất bằng 2° . Xác định hệ số tăng ích khi biết hiệu suất làm việc của anten là 55%?

Cách 1:

Hệ số tăng ích được xác định theo công thức:

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \eta_a$$

Trong đó: λ (m) ; d (m)

Mặt khác ta có:

$$2\theta_{1/2} = \frac{70\lambda}{d}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{\lambda} = \frac{70}{2\theta_{1/2}} \text{ (độ)}$$

Vậy

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{70}{2\theta_{1/2}}$$

$$\text{Do đó: } G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \eta_a = \left(\frac{70\pi}{2\theta_{1/2}} \right)^2 \eta_a = \left(\frac{70\pi}{2} \right)^2 0,55 = 6642,9$$

$$\text{Hay } G = 10 \lg 6642,9 = 38,22 \text{ dBi}$$

Cách 2:

$$\text{Ta có: } G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \eta_a = \left(\frac{\pi df}{c} \right)^2 \eta_a$$

$$2\theta_{1/2} = \frac{21}{df} \text{ (độ) với } f(\text{GHz}); d(\text{m})$$

Và:

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \eta_a = \left(\frac{\pi df}{c} \right)^2 \eta_a \text{ với } f(\text{Hz}); d(\text{m})$$

$$\Rightarrow G = \left(\frac{21\pi}{2\theta_{1/2} 10^{-9} c} \right)^2 \eta_a = \left(\frac{21\pi}{2 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^8} \right)^2 0,55 = 6642,9$$

$$\text{Hay } G = 10 \lg 6642,9 = 38,22 \text{ dBi}$$

Cách 3:

Ta có: $2\theta_{1/2} = \frac{21}{df}$ (độ) với $f(\text{GHz}); d(\text{m})$

$$\Rightarrow fd = \frac{21}{2\theta_{1/2}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mặt khác: } G(\text{dBi}) &= 20\lg d_{(\text{m})} + 20\lg f_{(\text{GHz})} + 10\lg \eta_a + 20,4 \\ &= 20\lg (21/2\theta_{1/2}) + 10\lg \eta_a + 20,4 \\ &= 20\lg (21/2) + 10\lg 0,55 + 20,4 \\ &= 38,22 \text{ dBi} \end{aligned}$$

3. Một anten phát có hệ số tăng ích là 30 dBi, hiệu suất làm việc 60%, đưa vào anten một công suất là 5W. Ở cự ly 50 km đặt một anten thu gương Parabol tròn xoay có đường kính miệng gương là 1,5m. Tính tổn hao truyền sóng trong không gian tự do khi truyền từ anten phát đến anten thu và công suất anten thu nhận được?

(Tính góc bức xạ nửa công suất? Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương anten phát?)

Hướng dẫn:

Theo bài ra $G = 30 \text{ dBi} \Rightarrow G = 10^3$ lần

Coi hiệu suất anten thu bằng 1 $\Rightarrow D_2 = G_2$

Công suất anten thu nhận được:

$$P_2 = \frac{P_a G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2} \quad (\text{W}) \quad \text{với } P_1(\text{W}), \lambda(\text{m}), r(\text{m})$$

Mặt khác đối với anten gương parabol tròn xoay ta có:

$$D_2 = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{số lần}) \Rightarrow D_2 \lambda^2 = (\pi d)^2$$

$$\text{Do đó: } P_2 = \frac{P_a G_1 \pi^2 d^2}{(4\pi r)^2} = \frac{P_a G_1 d^2}{(4r)^2}$$

$$\text{Thay số: } P_2 = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 1,5^2}{(4 \cdot 5 \cdot 10^4)^2} = 0,028 \cdot 10^{-5} \text{ (W)}$$

$$\text{Tổn hao truyền sóng: } L = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_a \eta_1}{P_2} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{0,028 \cdot 10^{-5}} = 107,143 \cdot 10^8 \text{ lần}$$

$$\text{Hay: } L = 10 \lg 107,143 \cdot 10^8 = 162,39 \text{ dB}$$

4. Một anten phát có công suất 2W, hệ số tăng ích 40 dBi công tác tại tần số 3GHz. Anten thu có hệ số tăng ích 30 dBi, hiệu suất làm việc 55% đặt cách anten phát 50km. Tính công suất anten thu nhận được?

Hướng dẫn:

Theo bài ra $G_1 = 40 \text{ dBi} \Rightarrow G_1 = 10^4$ lần; $G_2 = 30 \text{ dBi} \Rightarrow G_2 = 10^3$ lần

Công suất anten thu nhận được:

$$P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2 \eta_2} \text{ (W) với } P_1 \text{ (W), } \lambda \text{ (m), } r \text{ (m)}$$

Mà $\lambda = c/f$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 c^2}{(4\pi r)^2 \eta_2 f^2} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 10^3 \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{(4\pi \cdot 5 \cdot 10^4)^2 \cdot 0,55 \cdot (3 \cdot 10^9)^2} = 9,22 \cdot 10^{-7} \text{ W}$$

5. Một anten phát có hệ số tính hướng (định hướng) là 35 dBi, hiệu suất làm việc 60%. Tại điểm thu cách anten phát 30 km đặt một anten thu có diện tích 1,5 m²; hiệu suất làm việc 55%. Xác định công suất của máy phát biết công suất của anten thu nhận được là 10⁻⁶ W?

Hướng dẫn:

Theo bài ra: $D_1 = 35 \text{ dBi} \Rightarrow D_1 = 10^{3,5}$ lần

Từ công thức:

$$P_2 = S_2 \cdot A_{\text{hd}} \text{ (W) với } S_2 \text{ mật độ công suất tại điểm thu (W/m}^2\text{)}$$

A_{hd} diện tích hiệu dụng của anten thu (m²)

$$S_2 = \frac{P_1 G_1}{4\pi r^2} \text{ với } P_1 \text{ (W), } r \text{ (m), } G_1 \text{ (số lần)}$$

$$A_{\text{hd}} = A \cdot \eta_2 \text{ với } A \text{ là diện tích thực của anten thu}$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{P_1 G_1 \cdot A \cdot \eta_2}{4\pi r^2}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{P_2 4\pi r^2}{D_1 \cdot A \cdot \eta_2}$$

Vậy công suất của máy phát là:

$$P_a = P_1 / \eta_1 = \frac{P_2 4\pi r^2}{D_1 \cdot A \cdot \eta_2 \cdot \eta_1} = \frac{10^{-6} 4\pi \cdot (3 \cdot 10^4)^2}{10^{3,5} \cdot 1,5 \cdot 0,55 \cdot 0,6} = 7,2 \text{ W}$$

6. Một anten phát có hệ số tăng ích là 30 dBi, hiệu suất làm việc 60%. Để có cường độ điện trường hiệu dụng tại điểm thu cách anten 100km bằng 3,46 mV/m thì cần phải đưa vào anten công suất là bao nhiêu? Với điều kiện sóng truyền trong không gian tự do.

Hướng dẫn:

Theo bài ra $G_1 = 30 \text{ dBi} \Rightarrow G_1 = 10^3$ lần

Từ công thức:

$$E_h = \frac{173 \sqrt{P_{1(\text{kW})} \cdot G_1}}{r_{(\text{km})}} \quad (\text{mV/m})$$

Mà $P_a = P_1 / \eta_a$; $D_1 = G_1 / \eta_a$

$$\Rightarrow P_{a(\text{kW})} = \frac{E_h^2 \cdot r^2_{(\text{km})}}{173^2 \cdot G_1}$$

$$\text{Thay số: } P_{a(\text{kW})} = \frac{3,46^2 \cdot 100^2}{173^2 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-3} (\text{kW})$$

Hay $P_a = 4 \text{ W}$

7. Một anten phát có hệ số tăng ích là 40 dBi, cần phải đưa vào anten công suất là bao nhiêu để anten thu gương Parabol có đường kính miệng gương 0,9m đặt cách anten phát 50 km nhận được công suất 70 dBW. Giả thiết sóng truyền trong không gian tự do.

Hướng dẫn:

Theo bài ra $G_1 = 40 \text{ dBi} \Rightarrow G_1 = 10^4$ lần

$$P_2 = -70 \text{ dBW} \Rightarrow P_2 = 10^{-7} \text{ W}$$

Coi hiệu suất anten thu bằng 1 $\Rightarrow D_2 = G_2$

Ta có:

$$P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2} \quad (\text{w}) \text{ với } P_1(\text{W}), \lambda(\text{m}), r(\text{m})$$

Mặt khác anten thu là anten gương Parabol tròn xoay ta có:

$$G_2 = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot \eta_2 = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ với } d \text{ là đường kính miệng gương}$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{P_1 G_1 d^2}{(4r)^2} \quad (\text{W})$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{P_2 16 \cdot r^2}{G_1 d^2} \quad (\text{W})$$

Vậy công suất đưa vào anten là

$$P_1 = \frac{10^{-7} (16 \cdot 50^2)}{10^4 \cdot 0,9^2} = 7,9 \text{ W}$$

8. Xác định công suất máy phát cần thiết để thực hiện thông tin vô tuyến với các điều kiện: cự ly thông tin là 40 km, bước sóng công tác 20 cm, hệ số suy giảm là 30 dB, hệ số định hướng $D_1 = D_2 = 30$ dBi, yêu cầu công suất ở anten thu là 10^{-4} W. Biết hiệu suất làm việc của anten là 60%.
9. Anten gương Parabol có hệ số tăng ích 40 dBi, hiệu suất làm việc 0,6 công tác tại tần số 4 GHz. Tính đường kính miệng gương và độ rộng búp sóng θ_{3dB} ?
10. Một anten phát có hệ số định hướng là 30 dBi, hiệu suất làm việc 50%. Tại điểm thu cách anten phát 50 km đặt một anten thu có diện tích $1,5$ m²; hiệu suất làm việc 55%. Xác định công suất của máy phát biết công suất anten thu nhận được là 10^{-7} W?

PHỤ LỤC 1. BIỂU DIỄN VEC TƠ VÀ CÁC HỆ THỨC GIẢI TÍCH VEC TƠ

1. Vector

$$a = \{a_x, a_y, a_z\} = ia_x + ja_y + ka_z$$

$$b = \{b_x, b_y, b_z\} = ib_x + jb_y + kb_z$$

$$c = \{c_x, c_y, c_z\} = ic_x + jc_y + kc_z$$

- $a \cdot b = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$

- $a \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = i(a_y b_z - a_z b_y) + j(a_z b_x - a_x b_z) + k(a_x b_y - a_y b_x)$

- $a \cdot b = |a||b|\cos(a, b)$

- $a \times b = c$

Phương: $c \perp (a, b)$

Chiều: theo qui tắc vặn nút chai

Độ lớn: $|c| = |a||b|\sin(a, b)$

- $a \times (b \times c) = b(a \cdot c) - c(a \cdot b)$

2. Định nghĩa và tính chất của Gradiên

Gradiên của một hàm vô hướng là một véc tơ:

$$\text{gradu} = i \frac{\partial u}{\partial x} + j \frac{\partial u}{\partial y} + k \frac{\partial u}{\partial z} \quad (1)$$

Tại mỗi điểm của không gian, vectơ gradu thẳng góc với mặt đẳng thế của hàm u, và hướng theo chiều tăng của u

$$\text{grad}R = i \frac{\partial R}{\partial x} + j \frac{\partial R}{\partial y} + k \frac{\partial R}{\partial z}$$

$$= i \frac{x}{R} + j \frac{y}{R} + k \frac{z}{R}$$

$$\text{grad}R = \frac{\vec{R}}{R} = R^0 \quad (2)$$

(R^0 là vec tơ đơn vị theo phương của bán kính vec tơ \vec{R})

3. Định nghĩa và tính chất của Dive

Dive của một hàm vec tơ là một vô hướng:

$$\operatorname{div} \vec{A} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{1}{V} \oint_{\sigma} A_n d\sigma$$

Trong đó V là một thể tích bất kỳ, σ là mặt kín bao quanh thể tích V , và chiều dương của pháp tuyến \vec{n} hướng từ trong ra ngoài mặt σ

Trong hệ tọa độ Descartes:

$$\operatorname{div} \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \quad (3)$$

$$\operatorname{div} \vec{R} = \frac{\partial x}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial y} + \frac{\partial z}{\partial z} = 3 \quad (4)$$

Định lý Ostrogradski – Gauss: Nếu các thành phần A_x, A_y, A_z của hàm vec tơ \vec{A} và các đạo hàm riêng của chúng là liên tục trong một thể tích V bất kỳ nào đó, và nếu σ là mặt kín bao quanh thể tích V , ta có:

$$\int_V \operatorname{div} \vec{A} dV = \oint_{\sigma} A_n d\sigma = \oint_{\sigma} \vec{A} \cdot \vec{n} d\sigma \quad (5)$$

4. Định nghĩa và tính chất của Rôta

Rôta của một hàm vec tơ là một vec tơ:

$$\operatorname{rot}_n \vec{A} = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{1}{\sigma} \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{r} \quad (6)$$

Trong đó, σ là một mặt bất kỳ, C là chu tuyến khép kín bao quanh mặt σ và \vec{n} là pháp tuyến của mặt σ chọn sao cho chiều quay dương trên chu tuyến C là ngược chiều quay của kim đồng hồ.

Trong hệ tọa độ Descartes:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \quad (7)$$

Hay
$$\operatorname{rot} \vec{A} = \vec{i} \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) + \vec{j} \left(\frac{\partial A_z}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial z} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \quad (8)$$

$$\operatorname{rot} \vec{R} = \vec{i} \left(\frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\partial y}{\partial z} \right) + \vec{j} \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial x}{\partial z} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial y}{\partial x} - \frac{\partial x}{\partial y} \right) = 0 \quad (9)$$

Định lý Stokes: Nếu các thành phần A_x, A_y, A_z của hàm vec tơ \vec{A} và các đạo hàm riêng của chúng là liên tục trên một mặt σ bất kỳ, và nếu C là chu tuyến bao quanh mặt σ đó, ta có:

$$\int_{\sigma} \text{rot } \vec{A} \, d\vec{\sigma} = \oint_C \vec{A} \, d\vec{r} \quad (10)$$

5. Toán tử Hamilton (Toán tử nabla)

∇ là một vec tơ tượng trưng được định nghĩa bằng hệ thức:

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (11)$$

Bản thân ∇ không có một giá trị thực nào. Nó chỉ có ý nghĩa khi ta nhân nó với một hàm vô hướng hoặc một hàm vec tơ.

$$\nabla u = \text{gradu}$$

$$\nabla \vec{A} = \text{div } \vec{A}$$

$$\left[\nabla \vec{A} \right] = \text{rot } \vec{A}$$

Về bản chất, ∇ là toán tử của một phép đạo hàm, nên nó tuân theo những quy tắc của các phép tính đạo hàm, và chỉ tác dụng lên những vec tơ hoặc vô hướng đứng sau nó. Như vậy, ∇ vừa có tính chất của vec tơ vừa có tính chất của đạo hàm. Sau đây, trong các phép tính trung gian, chúng ta quy ước những lượng chịu tác dụng của ∇ được biểu diễn bằng những chữ in đậm, và trong kết quả cuối cùng chúng ta chỉ đặt sau ∇ những lượng nào chịu tác dụng của nó.

1.6. Số phức

Hàm mũ

$$e^z = e^{x+iy} = e^x (\cos y + i \sin y)$$

Hàm mũ là một hàm tuần hoàn có chu kì là $2\pi i$. Thực vậy, ta có

$$e^{2k\pi i} = \cos 2k\pi + i \sin 2k\pi = 1$$

Suy ra

$$e^{z+2k\pi i} = e^z \cdot e^{2k\pi i} = e^z$$

Công thức Euler

$$e^{iy} = \cos y + i \sin y$$

Khi đó số phức $z = r e^{i\varphi} = r(\cos\varphi + i\sin\varphi)$

BẢNG CHỮ CÁI HY LẠP
(Các ký hiệu dùng trong sách)

Chữ Hoa	Chữ Thường	Cách đọc
A	α	Alpha
B	β	Bêta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
E	ϵ	Epsilon
Z	ζ	Zêta
H	η	Êta
Θ	θ	Têta
I	ι	iota
K	κ	Kappa
Λ	λ	Lamda
M	μ	Muy
N	ν	Nuy
Ξ	ξ	Kxi
O	o	ômikrôn
Π	π	Pi
P	ρ	Rô
Σ	σ	Xích ma
T	τ	Tô
τ	υ	Ipsilon
Φ	φ	phi
X	χ	Khi
Ψ	ψ	Pxi
Ω	ω	ômêga

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phan Anh, *Trường điện từ và truyền sóng*, NXB Đại học Quốc gia Hà nội.
- [2]. Phan Anh, *Lý thuyết và kỹ thuật anten*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
- [3]. Nguyễn Viết Minh, *Truyền sóng và Anten*, Bài giảng, Học viện công nghệ BCVT, 6/2010.
- [4] Constantine A. Balanis, “Antenna theory analysis and design”, John Wiley & Sons, 3 thg 12, 2012
- [5] Frank Gross, *Smart antenna for wireless communications with Matlab*, McGraw Hill, 2005.