

TRƯỜNG .....  
KHOA.....



## BÁO CÁO TỐT NGHIỆP

Đề tài:

**Thiết kế anten vi  
dài băng rộng**

## **LỜI CẢM ƠN**

Em xin chân thành cảm ơn Tiến sĩ Trần Minh Tuấn, thầy đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ em trong suốt thời gian thực hiện khóa luận. Không có sự giúp đỡ và những lời khuyên vô giá của thầy, khóa luận của em không thể được hoàn thành.

Thêm nữa, em cũng muốn bày tỏ lời cảm ơn tới GS. Phan Anh và Ths. Trần Thị Thúy Quỳnh đã kịp thời trả lời những câu hỏi và những thắc mắc của em trong quá trình thực hiện khóa luận, cũng như đã tạo điều kiện thuận lợi để em sử dụng các thiết bị, máy móc trong phòng thí nghiệm để thực hiện chế tạo và đo đạc thực nghiệm.

Cuối cùng, em muốn cảm ơn sâu sắc tới gia đình em. Gia đình đã yêu thương, ủng hộ và giúp đỡ em không chỉ trong thời gian làm khóa luận mà trong cả khóa học.

Hà Nội, tháng 06 năm 2008

Sinh viên

**Lưu Văn Hoan**

## **TÓM TẮT NỘI DUNG KHÓA LUẬN**

Khóa luận tập trung nghiên cứu, thiết kế, chế tạo một anten vi dải băng rộng, có khả năng hoạt động tại nhiều dải tần. Anten này sử dụng cho các thiết bị di động hoạt động trong các dải tần GSM, DCS, PCS, UTMS, WLAN. Anten được chế tạo trên chất nền có hằng số điện môi  $\epsilon_r = 4.4$ , độ dày là 0.8 mm và được thiết kế tại tần số 900 MHz và 2000 MHz.

Nội dung khóa luận bao gồm 4 chương và phần đánh giá kết quả khóa luận và hướng phát triển tiếp theo. Trong đó có thể chia thành hai phần với nội dung như sau:

Phần đầu tiên của khóa luận đề cập tới lý thuyết cơ bản về anten, anten vi dải và đường truyền vi dải. Chương 1 giới thiệu và định nghĩa anten, nêu ra một số tham số cơ bản để đánh giá hiệu suất của anten như: giản đồ bức xạ, công suất bức xạ, hệ số định hướng, hệ số tăng ích, phân cực, trở kháng vào, ... Tiếp theo là khái niệm về anten vi dải: các ưu điểm, nhược điểm và một số loại anten vi dải đã được nghiên cứu và thiết kế. Một số điểm tổng quát về đường truyền vi dải cũng được trình bày. Chương 2 đưa ra các phương pháp để thiết kế anten vi dải băng rộng và anten vi dải có thể hoạt động tại nhiều băng tần. Trong đó, một số phương pháp để thiết kế anten vi dải được trình bày như: phương pháp phối hợp trở kháng liên tục, phương pháp sử dụng chất nền dày hơn, phương pháp kích thích đa mode, phương pháp sử dụng nhiều patch xếp chồng nhau, ... Đồng thời đưa ra các phương pháp để thiết lập anten vi dải có khả năng hoạt động tại nhiều dải tần khác nhau. Việc thiết kế các anten băng rộng và đa dải tần đáp ứng xu thế tích hợp, thu nhỏ kích thước cho các thiết bị di động đa năng.

Phần thứ hai đi vào thiết kế, mô phỏng và đo đạc các tham số của anten. Chương 3 trình bày phương pháp thiết kế các thành phần của anten: thành phần bức xạ, bộ phối hợp trở kháng dải rộng, và đường truyền vi dải 50  $\Omega$ . Chương 4 trình bày quá trình mô phỏng, qui trình thiết kế và đo đạc thực nghiệm. Phần mô phỏng giới thiệu về phần mềm Ansoft HFSS, phần mềm được sử dụng trong mô phỏng các bài toán điện từ 3D. Trong đó trình bày việc thiết đặt các tham số quan trọng để thực hiện phân tích cấu trúc anten, kết quả mô phỏng cấu trúc anten có nhánh điều chỉnh và không có nhánh điều chỉnh. Sau khi quá trình thiết kế, mô phỏng đã hoàn thành (đạt được các tiêu chí yêu cầu), tiến hành chế tạo và đo đạc các tham số của anten sử dụng máy Network Analyse và hệ đo trường bức xạ của anten.

Kết quả đo đạc thực nghiệm và kết quả mô phỏng cho anten được thiết kế trong khóa luận tương đối phù hợp nhau. Dựa vào việc phân tích kết quả và phân tích qui trình chế tạo anten, khóa luận đưa ra các nguyên nhân gây ra sai lệch. Đồng thời đề ra phương hướng giải quyết và phương hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm cải thiện các đặc tính của anten.

## MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN.....	i
TÓM TẮT NỘI DUNG KHÓA LUẬN .....	ii
MỤC LỤC .....	iii
LỜI NÓI ĐẦU.....	1

### **Chương 1: Lý thuyết cơ bản về anten và anten vi dải**

1.1. Lý thuyết chung về anten .....	3
1.1.1. Giới thiệu.....	3
1.1.2. Các tham số cơ bản của anten .....	5
1.1.2.1. Sự bức xạ sóng điện từ bởi một anten .....	5
1.1.2.2. Giảm đồ bức xạ .....	6
1.1.2.3. Mật độ công suất bức xạ .....	10
1.1.2.4. Cường độ bức xạ.....	11
1.1.2.5. Hệ số định hướng.....	12
1.1.2.6. Hệ số tăng ích .....	13
1.1.2.7. Băng thông.....	14
1.1.2.8. Phân cực.....	15
1.1.2.9. Trở kháng vào .....	17
1.2. Đường truyền vi dải và anten vi dải .....	18
1.2.1. Đường truyền vi dải .....	18
1.2.1.1. Cấu trúc đường truyền vi dải .....	18
1.2.1.2. Cấu trúc trường của đường truyền vi dải.....	18
1.2.2. Anten vi dải .....	19
1.2.2.1. Giới thiệu chung .....	19
1.2.2.2. Một số loại anten vi dải cơ bản.....	20
1.2.2.3. Anten patch hình chữ nhật.....	22

### **Chương 2: Anten mạch dải băng rộng và anten mạch dải nhiều băng tần**

2.1. Giới thiệu chung .....	24
2.1.1. Dải thông tần .....	24
2.1.2. Dải tần công tác.....	25
2.2. Mở rộng băng thông của anten vi dải.....	25
2.2.1. Giới thiệu.....	25
2.2.2. Ảnh hưởng của các tham số chất nền tới băng thông .....	27
2.2.3. Lựa chọn hình dạng thành phần bức xạ thích hợp .....	28
2.2.4. Lựa chọn kỹ thuật tiếp điện thích hợp.....	29
2.2.5. Kỹ thuật kích thích đa mode .....	30
2.2.5.1. Mở rộng băng thông sử dụng nhiều thành phần bức xạ xếp chồng.....	30
2.2.5.2. Mở rộng băng thông sử dụng các thành phần kí sinh đồng phẳng .....	31
2.2.5.3. Các kỹ thuật kích thích đa mode khác .....	35
2.2.6. Các kỹ thuật mở rộng băng thông khác .....	35
2.2.6.1. Phối hợp trở kháng.....	36
2.2.6.2. Mắc tải điện trở .....	37

2.3. Anten vi dải nhiều băng tần.....	37
2.3.1. Anten vi dải 2 tần số cộng hưởng .....	37
2.3.2. Anten vi dải nhiều hơn 2 tần số cộng hưởng .....	38
2.4. Phối hợp trở kháng dải rộng .....	39
2.4.1. Ý nghĩa của việc phối hợp trở kháng .....	39
2.4.2. Phối hợp trở kháng dải rộng.....	39
2.4.3. Một số bộ phối hợp trở kháng dải rộng.....	42
2.4.3.1. Bộ phối hợp trở kháng liên tục dạng hàm mũ .....	42
2.4.3.2. Bộ phối hợp trở kháng liên tục dạng tam giác.....	43
2.4.3.3. Bộ phối hợp trở kháng liên tục Klopfenstein.....	44
2.4.4. Tiêu chuẩn Bode – Fano .....	46

### **Chương 3: Thiết kế anten dẹt cấu trúc xoắn, tiếp điện dùng đường truyền vi dải**

3.1. Giới thiệu .....	48
3.2. Thiết kế thành phần bức xạ .....	49
3.3. Thiết kế thành phần phối hợp trở kháng dải rộng .....	50
3.3.1. So sánh một số bộ phối hợp trở kháng dải rộng.....	50
3.3.2. Lựa chọn bộ phối hợp trở kháng dải rộng.....	52
3.4. Thiết kế đường truyền vi dải 50 $\Omega$ .....	53
3.4.1. Thiết kế với Ansoft Designer 2.0 .....	53
3.4.2. Thiết kế dựa vào lý thuyết đường truyền vi dải .....	54
3.4.2.1. Trở kháng đặc trưng $Z_0$ .....	54
3.4.2.2. Bước sóng trên đường vi dải $\lambda$ .....	55
3.4.2.3. Công suất cho phép trung bình $P_{av}$ .....	57
3.4.2.4. Công suất cho phép tối đa $P_p$ .....	58

### **Chương 4: Mô phỏng, chế tạo và đo đạc các tham số của anten**

4.1. Mô phỏng cấu trúc anten với phần mềm Ansoft HFSS.....	59
4.1.1. Phần mềm HFSS phiên bản 9.1.....	59
4.1.2. Kết quả mô phỏng với HFSS 9.1 .....	61
4.2. Chế tạo anten .....	67
4.3. Đo đạc các tham số của anten.....	69

PHỤ LỤC .....	73
A. Phụ lục 1: Thuật toán chia lưới thích nghi của Ansoft HFSS 9.1 .....	73
B. Phụ lục 2: Một số lưu ý về thiết đặt các tham số trong HFSS.....	74
B.1. Solution Setup .....	74
B.2. Mesh Operations .....	77
B.3. Radiation Boundary .....	78

TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	80
--------------------------	----

## LỜI NÓI ĐẦU

Truyền thông không dây đã phát triển rất nhanh trong những năm gần đây, theo đó các thiết bị di động đang trở nên càng ngày càng nhỏ hơn. Để thỏa mãn nhu cầu thu nhỏ các thiết bị di động, anten gắn trên các thiết bị đầu cuối cũng phải được thu nhỏ kích thước. Các anten phẳng, chẳng hạn như anten vi dải (microstrip antenna) và anten mạch in (printed antenna), có các ưu điểm hấp dẫn như kích thước nhỏ và dễ gắn lên các thiết bị đầu cuối, ...; chúng sẽ là lựa chọn thỏa mãn yêu cầu thiết kế ở trên. Cũng bởi lý do này, kỹ thuật thiết kế anten phẳng bằng rộng đã thu hút rất nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu anten.

Gần đây, đặc biệt là sau năm 2000, nhiều anten phẳng mới được thiết kế thỏa mãn các yêu cầu về băng thông của hệ thống truyền thông di động tế bào hiện nay, bao gồm GSM (Global System for Mobile communication, 890 – 960 MHz), DCS (Digital Communication System, 1710 – 1880 MHz), PCS (Personal Communication System, 1850 – 1990 MHz) và UMTS (Universal Mobile Telecommunication System, 1920 – 2170 MHz), đã được phát triển và đã xuất bản trong nhiều các tài liệu liên quan. Anten phẳng cũng rất thích hợp đối với ứng dụng trong các thiết bị truyền thông cho hệ thống mạng cục bộ không dây (Wireless Local Area Network, WLAN) trong các dải tần 2.4 GHz (2400 – 2484 MHz) và 5.2 GHz (5150 – 5350 MHz).

Anten vi dải vốn đã có băng thông hẹp, và mở rộng băng thông thường là nhu cầu đối với các ứng dụng thực tế hiện nay. Do đó, việc giảm kích thước và mở rộng băng thông đang là xu hướng thiết kế chính cho các ứng dụng thực tế của anten vi dải. Nhiều sự cải tiến đáng kể để thiết kế anten vi dải “nén” với đặc tính băng rộng, nhiều băng tần, hoạt động với cả hai loại phân cực, phân cực tròn và tăng ích cao đã được báo cáo trong một vài năm gần đây.

Khóa luận tập trung thiết kế một anten vi dải băng rộng và đa dải tần. Đồng thời sử dụng phần mềm Ansoft HFSS để thiết kế và mô phỏng. HFSS sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method, FEM), kỹ thuật chia lưới thích nghi (adaptive meshing) và giao diện đồ họa đẹp để mang đến sự hiểu biết sâu sắc đối với tất cả các bài toán trường điện từ 3D.

Khóa luận gồm 4 chương:

*Chương 1: Lý thuyết cơ bản về anten và anten vi dải*

*Chương 2: Anten mạch dải băng rộng và anten mạch dải nhiều băng tần*

*Chương 3: Thiết kế anten dẹt cấu trúc xoắn, tiếp điện dùng đường truyền vi dải*

*Chương 4: Mô phỏng, chế tạo và đo đạc các tham số của anten*

Bằng những nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, kết hợp với mô phỏng khóa luận đã thực hiện được những nội dung chính sau đây:

- Nghiên cứu lý thuyết về anten và anten vi dải.
- Nêu ra nguyên lý và các phương pháp để xây dựng anten vi dải băng rộng và anten có khả năng hoạt động tại nhiều dải tần.
- Thiết kế, mô phỏng và chế tạo anten vi dải dẹt có cấu trúc xoắn, tiếp điện dùng đường truyền mạch dải.
- Đo đạc và đánh giá các đặc tính của anten được thiết kế như: tần số cộng hưởng, băng thông, trở kháng vào, giản đồ bức xạ.

Tailieu.vn



## CHƯƠNG 1 LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ ANTEN VÀ ANTEN VI DẢI

### Tóm tắt

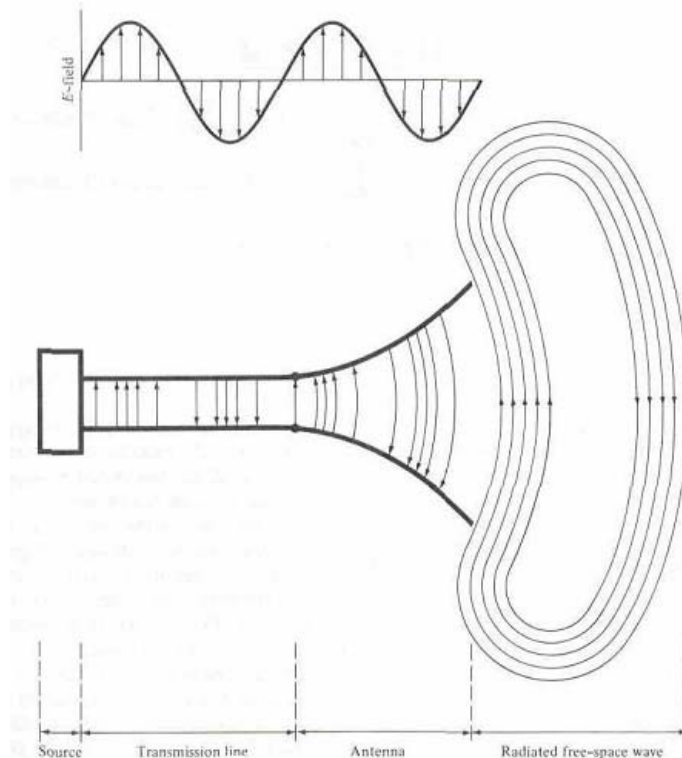
Chương này trình bày các vấn đề sau:

- Định nghĩa Anten
- Các tham số cơ bản của Anten
- Đường truyền vi dải
- Anten vi dải, mô tả cụ thể Anten vi dải có patch hình chữ nhật

### 1.1. Lý thuyết chung về Anten

#### 1.1.1. Giới thiệu

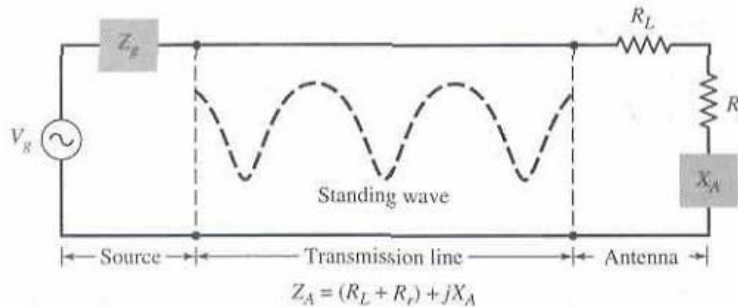
Thiết bị dùng để bức xạ sóng điện từ (anten phát) hoặc thu nhận sóng (anten thu) từ không gian bên ngoài được gọi là Anten. Nói cách khác, Anten là cấu trúc chuyển tiếp giữa không gian tự do và thiết bị dẫn sóng (guiding device), như thể hiện trong hình 1.1. Thông thường giữa máy phát và Anten phát, cũng như giữa máy thu và Anten thu không nối trực tiếp với nhau mà được ghép với nhau qua đường truyền năng lượng điện từ, gọi là fide. Trong hệ thống này, máy phát có nhiệm vụ tạo ra dao động điện cao tần. Dao động điện sẽ được truyền đi theo fide tới Anten phát dưới dạng sóng điện từ ràng buộc. Ngược lại, Anten thu sẽ tiếp nhận sóng điện từ tự do từ không gian bên ngoài và biến đổi chúng thành sóng điện từ ràng buộc. Sóng này được truyền theo fide tới máy thu. Yêu cầu của thiết bị Anten và fide là phải thực hiện việc truyền và biến đổi năng lượng với hiệu suất cao nhất và không gây ra méo dạng tín hiệu.



Hình 1.1. Anten như một thiết bị truyền sóng [3]



Phương trình tương đương Thevenin hệ thống Anten trong hình 1.1 làm việc ở chế độ phát được thể hiện trong hình 1.2, trong đó nguồn được thể hiện bởi bộ tạo dao động lý tưởng, đường truyền dẫn được thể hiện bởi đường dây với trở kháng đặc trưng  $Z_0$ , và Anten được thể hiện bởi tải  $Z_A$ , trong đó  $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$ . Trở kháng tải  $R_L$  thể hiện sự mất mát do điện môi và vật dẫn (conduction and dielectric loss), 2 thành phần mất mát này luôn gắn với cấu trúc Anten. Trở kháng  $R_r$  được gọi là trở kháng bức xạ, nó thể hiện sự bức xạ sóng điện từ bởi Anten. Điện kháng  $X_A$  thể hiện phần ảo của trở kháng kết hợp với sự bức xạ bởi Anten. Ngoài sóng điện từ bức xạ ra khu xa, còn có trường điện từ dao động ở gần Anten, giàng buộc với Anten. Phần công suất này không bức xạ ra ngoài, mà khi thì chuyển thành năng lượng điện trường, khi thì chuyển thành năng lượng từ trường thông qua việc trao đổi năng lượng với nguồn. Công suất này gọi là công suất vô công, và được biểu thị thông qua điện kháng  $X_A$ . Trong điều kiện lý tưởng, năng lượng tạo ra bởi nguồn sẽ được truyền hoàn toàn tới trở kháng bức xạ  $R_r$ . Tuy nhiên, trong một hệ thống thực tế, luôn tồn tại các mất mát do điện môi và mất mát do vật dẫn (tùy theo bản chất của đường truyền dẫn và Anten), cũng như tùy theo sự mất mát do phản xạ (do phối hợp trở kháng không hoàn hảo) ở điểm tiếp điện giữa đường truyền và Anten.



*Hình 1.2. Phương trình tương đương Thevenin cho hệ thống Anten trong hình 1.1 [3]*

Sóng tới bị phản xạ tại điểm tiếp điện giữa đường truyền dẫn và đầu vào Anten. Sóng phản xạ cùng với sóng truyền đi từ nguồn thẳng tới Anten giao thoa nhau tạo thành sóng đứng (standing wave) trên đường truyền dẫn. Khi đó trên đường truyền xuất hiện các nút và bụng sóng đứng. Một mô hình sóng đứng điển hình được thể hiện là đường gạch đứt trong hình 1.2. Nếu hệ thống Anten được thiết kế không chính xác, đường truyền có thể chiếm vai trò như một thành phần lưu giữ năng lượng hơn là một thiết bị truyền năng lượng và dẫn sóng. Nếu cường độ trường cực đại của sóng đứng đủ lớn, chúng có thể phá hủy đường truyền dẫn. Tổng mất mát phụ thuộc vào đường truyền, cấu trúc Anten, sóng đứng. Mất mát do đường truyền có thể được tối thiểu hóa bằng cách chọn các đường truyền mất mát thấp, trong khi mất mát do Anten có thể được giảm đi bằng cách giảm trở kháng bức xạ  $R_L$  trong hình 1.2. Sóng đứng có thể được giảm đi và khả năng lưu giữ năng lượng của đường truyền được tối thiểu hóa bằng cách phối hợp trở kháng của Anten với trở kháng đặc trưng của đường truyền. Tức là phối hợp trở kháng giữa tải với đường truyền, ở đây tải chính là Anten.

Một phương trình tương tự như hình 1.2 được sử dụng để thể hiện hệ thống Anten trong chế độ thu, ở đó nguồn được thay bằng một bộ thu. Tất cả các phần khác của

phương trình tương đương là tương tự. Trở kháng phát xạ  $R_r$  được sử dụng để thể hiện trong chế độ thu nhận năng lượng điện từ từ không gian tự do truyền tới anten.

Cùng với việc thu nhận hay truyền phát năng lượng, anten trong các hệ thống không dây thường được yêu cầu là định hướng năng lượng bức xạ mạnh theo một vài hướng và triệt tiêu năng lượng ở các hướng khác. Do đó, anten cũng cần phải có vai trò như một thiết bị bức xạ hướng tính. Hơn nữa, anten cũng phải có các hình dạng khác nhau để phù hợp cho các mục đích cụ thể.

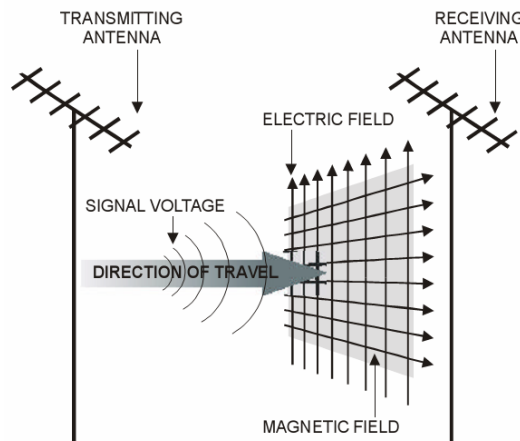
Anten là một lĩnh vực sôi động. Công nghệ anten đã là một phần không thể thiếu trong các giải pháp truyền thông. Nhiều sự cải tiến đã được đưa ra trong thời gian cách đây hơn 50 năm vẫn còn sử dụng ngày nay; tuy nhiên các kết quả mới và những thay đổi đã được đưa ra ngày nay, đặc biệt là nhu cầu hiệu suất hệ thống ngày càng lớn hơn.

### **1.1.2. Các tham số cơ bản của anten**

Phần này trình bày một số khái niệm và các quan hệ cơ bản về anten như: sự bức xạ sóng, trường bức xạ và giản đồ trường bức xạ, phân cực sóng bức xạ, độ định hướng, tần số cộng hưởng, trở kháng, băng thông, tăng ích, ...

#### **1.1.2.1. Sự bức xạ sóng điện từ bởi một anten**

Khi năng lượng từ nguồn được truyền tới anten, 2 trường được tạo ra. Một trường là trường cảm ứng (trường khu gần), trường này giằng buộc với anten; còn trường kia là trường bức xạ (trường khu xa). Ngay tại anten (trong trường gần), cường độ của các trường này lớn và tỉ lệ tuyến tính với lượng năng lượng được cấp tới anten. Tại khu xa, chỉ có trường bức xạ là được duy trì. Trường khu xa gồm 2 thành phần là điện trường và từ trường (xem hình 1.3).



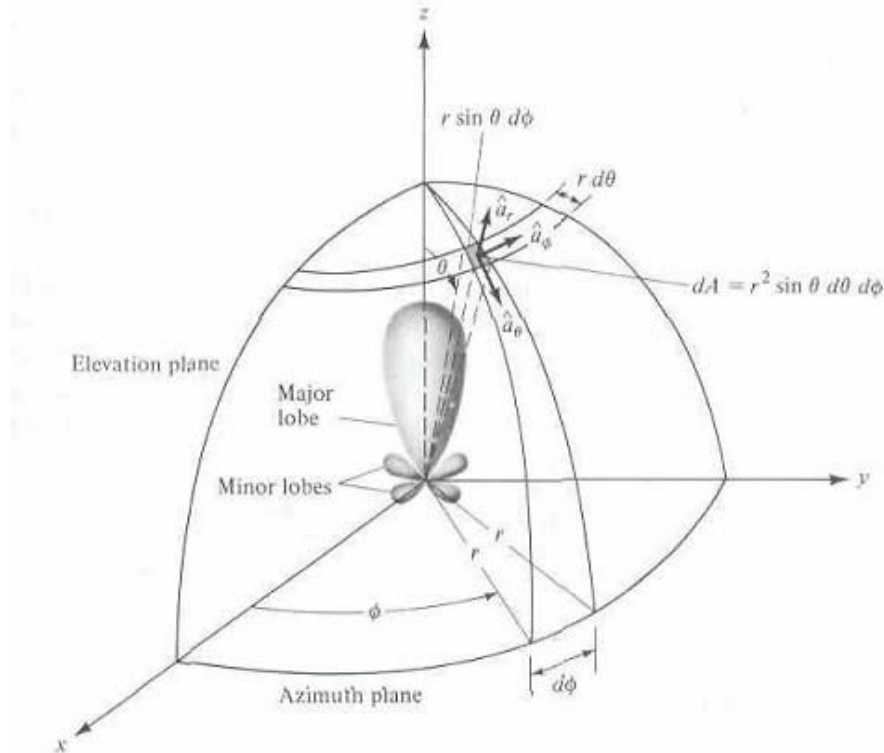
Hình 1.3. Các trường bức xạ tại khu xa [8]

Cả hai thành phần điện trường và từ trường bức xạ từ một anten hình thành trường điện từ. Trường điện từ truyền và nhận năng lượng điện từ thông qua không gian tự do. Sóng vô tuyến là một trường điện từ di chuyển. Trường ở khu xa là các sóng phẳng. Khi sóng truyền đi, năng lượng mà sóng mang theo trải ra trên một diện tích ngày càng lớn hơn. Điều này làm cho năng lượng trên một diện tích cho trước giảm đi khi khoảng cách từ điểm khảo sát tới nguồn tăng.

### 1.1.2.2. Giảm đồ bức xạ

Các tín hiệu vô tuyến bức xạ bởi anten hình thành một trường điện từ với một giản đồ xác định, và phụ thuộc vào loại anten được sử dụng. Giảm đồ bức xạ này thể hiện các đặc tính định hướng của anten.

Giảm đồ bức xạ của anten được định nghĩa như sau: “là một hàm toán học hay sự thể hiện đồ họa của các đặc tính bức xạ của anten, và là hàm của các tọa độ không gian”. Trong hầu hết các trường hợp, giản đồ bức xạ được xét ở trường xa. Đặc tính bức xạ là sự phân bố năng lượng bức xạ trong không gian 2 chiều hay 3 chiều, sự phân bố đó là hàm của vị trí quan sát dọc theo một đường hay một bề mặt có bán kính không đổi. Hệ tọa độ thường được sử dụng để thể hiện trường bức xạ trong hình 1.4.



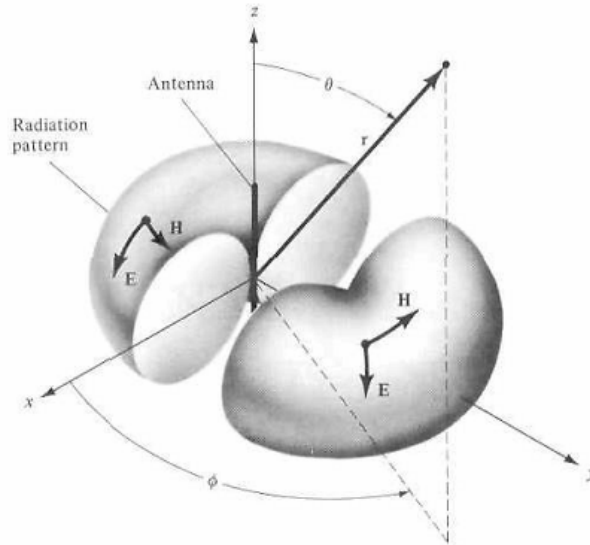
Hình 1.4. Hệ thống tọa độ để phân tích anten [3]

Trong thực tế, ta có thể biểu diễn giản đồ 3D bởi hai giản đồ 2D. Thông thường chỉ quan tâm tới giản đồ là hàm của biến  $\theta$  với vài giá trị đặc biệt của  $\phi$ , và giản đồ là hàm của  $\phi$  với một vài giá trị đặc biệt của  $\theta$  là đủ để đưa ra hầu hết các thông tin cần thiết.

### Giản đồ đẳng hướng và hướng tính

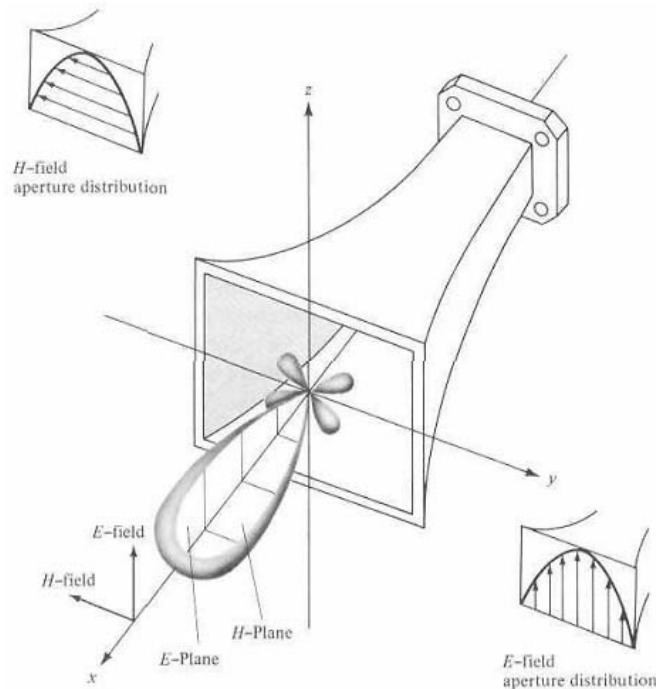
Anten đẳng hướng chỉ là một anten giả định, bức xạ đều theo tất cả các hướng. Mặc dù nó là lý tưởng và không thể thực hiện được về mặt vật lý, nhưng người ta thường sử dụng nó như một tham chiếu để thể hiện đặc tính hướng tính của anten thực. Anten hướng tính là “anten có đặc tính bức xạ hay thu nhận sóng điện từ mạnh theo một vài hướng hơn các hướng còn lại.

Một ví dụ của Anten với giản đồ bức xạ hướng tính được thể hiện trong hình 1.5. Ta nhận thấy rằng giản đồ này là không hướng tính trong mặt phẳng chứa vector  $H$  (azimuth plane) với  $[f(\phi), \theta = \pi/2]$  và hướng tính trong mặt phẳng chứa vector  $E$  (elevation plane) với  $[g(\theta), \phi = \text{const}]$ .



Hình 1.5. Giản đồ bức xạ vô hướng của một anten [3]

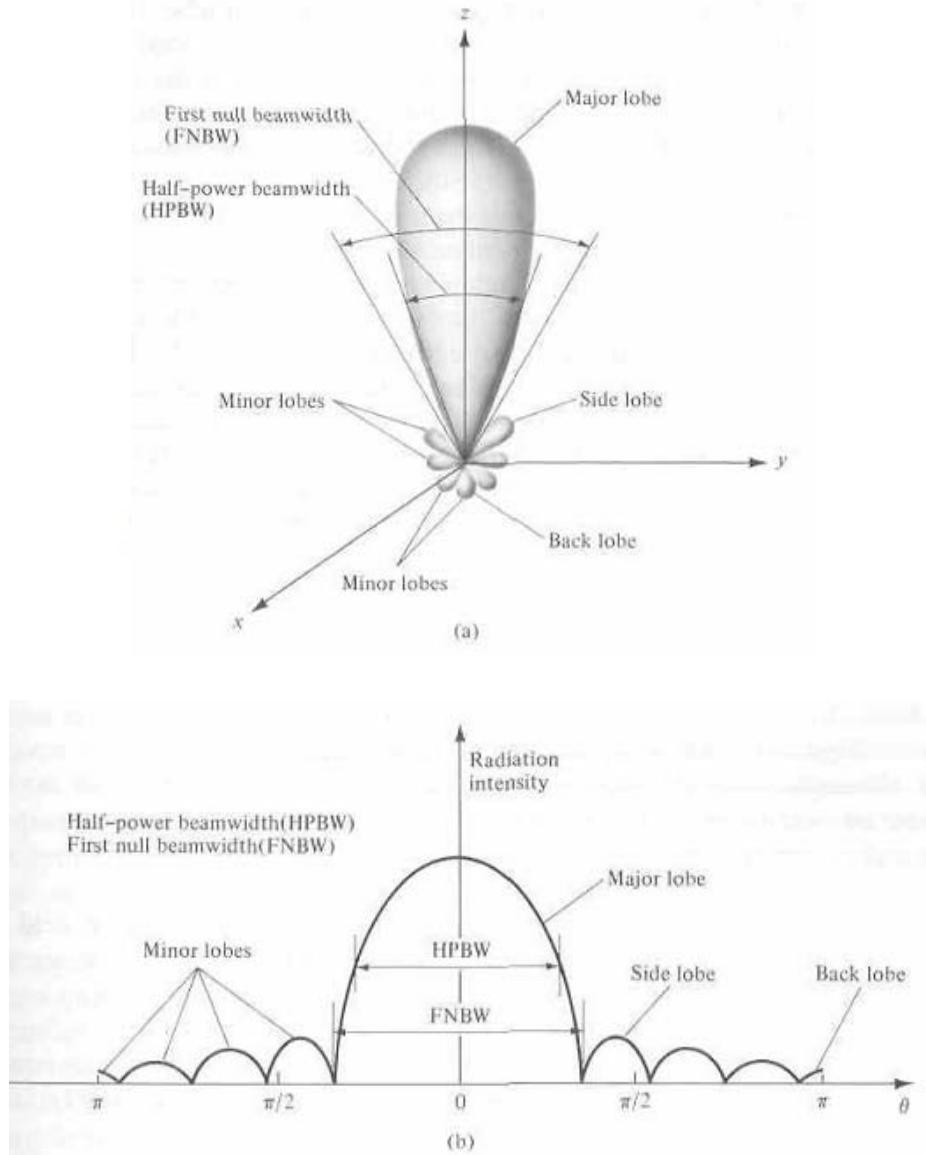
Mặt phẳng  $E$  được định nghĩa là “mặt phẳng chứa vector điện trường và hướng bức xạ cực đại”, và mặt phẳng  $H$  được định nghĩa là “mặt phẳng chứa vector từ trường và hướng bức xạ cực đại”. Trong thực tế ta thường chọn hướng của anten thế nào để ít nhất một trong các mặt phẳng  $E$  hay mặt phẳng  $H$  trùng với một trong các mặt phẳng tọa độ (mặt phẳng  $x$  hay  $y$  hay  $z$ ). Một ví dụ được thể hiện trong hình 1.6. Trong ví dụ này, mặt phẳng  $x$ - $z$  (với  $\phi = 0$ ) là mặt phẳng  $E$  và mặt phẳng  $x$ - $y$  (với  $\theta = \pi/2$ ) là mặt phẳng  $H$ .



Hình 1.6. Giản đồ bức xạ trong mặt phẳng  $E$  và mặt phẳng  $H$  cho anten loa [3]

### **Các búp sóng của giản đồ bức xạ hướng tính**

Các búp sóng khác nhau của giản đồ bức xạ định hướng hay còn gọi là các thùy (lobe) có thể phân loại thành thùy chính, thùy phụ, thùy bên và thùy sau. Hình 1.7(a) minh họa giản đồ cực 3D đối xứng với một số thùy bức xạ. Một vài thùy có cường độ bức xạ lớn hơn các thùy khác. Nhưng tất cả chúng đều được gọi là các thùy. Hình 1.7(b) thể hiện giản đồ 2D (một mặt phẳng của hình 1.7(a)).



Hình 1.7. Các búp sóng của anten bức xạ hướng tính [3]

(a). Thùy bức xạ và độ rộng chùm của anten

(b). Đồ thị của giản đồ công suất và các thùy và các độ rộng chùm kết hợp với nó

Thùy chính (cũng được gọi là chùm chính) được định nghĩa là “thùy chứa hướng bức xạ cực đại”. Trong hình 1.7, thùy chính đang chỉ theo hướng  $\theta = 0$ . Có thể tồn tại nhiều hơn một thùy chính. Thùy phụ là bất kỳ thùy nào, ngoại trừ thùy chính. Thường thường, thùy bên là thùy liền sát với thùy chính và định xứ ở bán cầu theo hướng của chùm chính. Thùy sau là “thùy bức xạ mà trục của nó tạo một góc xấp xỉ 180 độ so với thùy chính. Thường thì thùy phụ định xứ ở bán cầu theo hướng ngược với thùy chính.



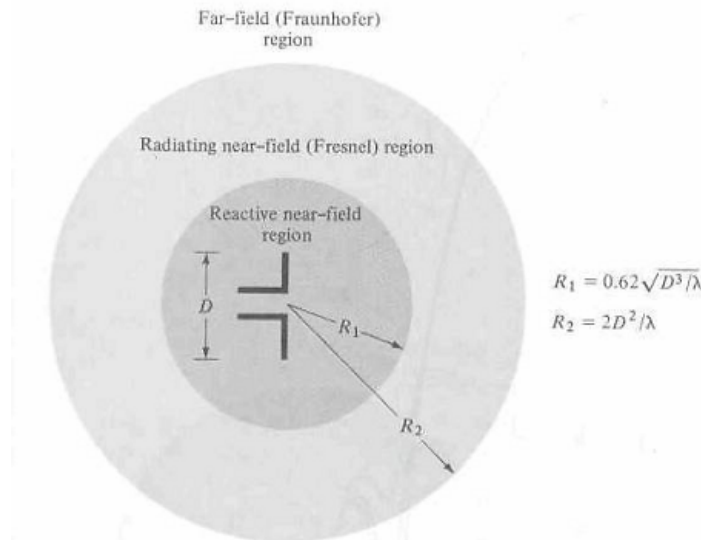
Thùy phụ thể hiện sự bức xạ theo các hướng không mong muốn, và chúng phải được tối thiểu hóa. Thùy bên thường là thùy lớn nhất trong các thùy phụ. Cấp của thùy phụ được thể hiện bởi tỷ số của mật độ công suất theo hướng của thùy đó với mật độ công suất của thùy chính. Tỷ số này được gọi là tỷ lệ thùy bên hay cấp thùy bên.

### ***Trường khu gần và trường khu xa***

Không gian bao quanh một anten được chia thành 3 vùng; (a) trường gần tác động trở lại (reactive near-field), (b) trường gần bức xạ (radiating near-field, Fresnel) và (c) trường xa (Fraunhofer) như chỉ ra trong hình 1.8.

Các vùng trường được phân định như vậy để xác định cấu trúc trường trong mỗi vùng. Không có sự thay đổi trường đột ngột nào khi đi qua biên giới giữa các vùng nói trên. Các biên phân giới các vùng trường không phải là duy nhất, do có nhiều tiêu chuẩn khác nhau sử dụng để xác định các vùng trường.

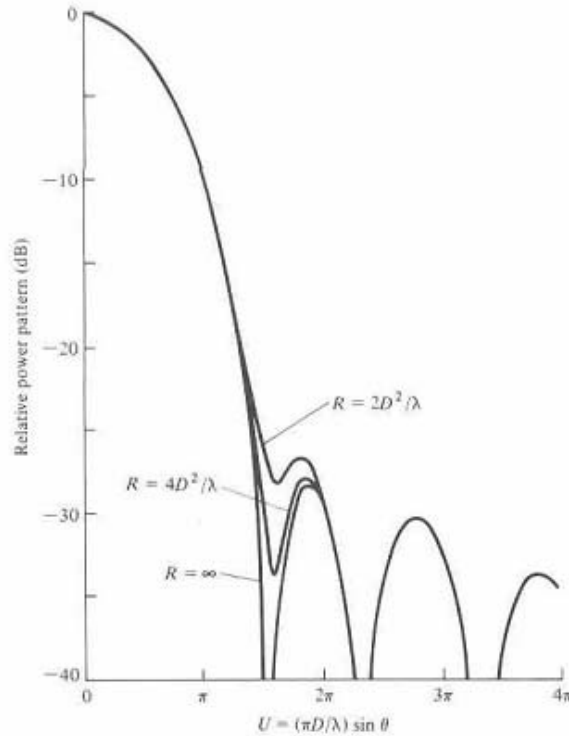
Vùng trường gần tác động trở lại (reactive near-field region) được định nghĩa là “phần không gian trường gần trực tiếp bao quanh anten, xét ở khía cạnh trường tác động trở lại chiếm ưu thế”. Trường này giằng buộc với nguồn bức xạ và trao đổi năng lượng với nguồn. Với hầu hết các anten, biên của vùng này được tính tại khoảng cách  $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  tính từ mặt phẳng anten, ở đó  $\lambda$  là bước sóng và  $D$  là đường kính lớn nhất của anten.



Hình 1.8. Các vùng trường của một anten [3]

Vùng trường gần bức xạ (radiating near-field (Fresnel) region) được định nghĩa là “phần không gian nằm giữa trường gần tác động trở lại và trường xa, xét ở khía cạnh trường bức xạ chiếm ưu thế”. Nếu đường kính cực đại của anten không lớn hơn so với bước sóng, vùng này có thể không tồn tại. Biên trong được tính ở khoảng cách  $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  và biên ngoài ở khoảng cách  $R < 2D^2/\lambda$ , trong đó  $D$  là kích thước lớn nhất của anten.

Vùng trường xa (Far-field (Fraunhofer) region). Nếu anten có kích thước lớn nhất là  $D$  ( $D$  phải lớn hơn bước sóng,  $D > \lambda$ ), vùng trường xa thường được xem là tồn tại ở khoảng cách lớn hơn  $2D^2 / \lambda$  tính từ anten. Trong vùng này, trường là trường điện từ ngang. Biên bên trong được xem như ở khoảng cách  $R = 2D^2 / \lambda$  và biên ngoài ở vô cực. Trong vùng trường xa, dạng của giản đồ bức xạ hầu như không thay đổi khi dịch chuyển điểm quan sát ra xa dần. Điều này được minh họa trong hình 1.9.



Hình 1.9. Giản đồ bức xạ trường xa của anten parabol tại các khoảng cách  $R$  khác nhau [3]

### 1.1.2.3. Mật độ công suất bức xạ

Sóng điện từ được sử dụng để truyền tải thông tin qua môi trường vô tuyến hay cấu trúc dẫn sóng, từ điểm này tới điểm khác. Đại lượng được sử dụng để mô tả năng lượng kết hợp với sóng điện từ là vector Poynting tức thời được định nghĩa như sau:

$$\mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \quad (2.1)$$

Ở đó,  $\mathcal{W}$  = vector Poynting tức thời ( $\text{W/m}^2$ )

$\mathcal{E}$  = cường độ điện trường tức thời ( $\text{V/m}$ )

$\mathcal{H}$  = cường độ từ trường tức thời ( $\text{A/m}$ )

Tổng công suất đi qua một mặt kín có thể thu được bằng cách tích phân thành phần pháp tuyến với mặt kín của vector Poynting trên toàn mặt kín đó. Phương trình là:

$$\mathcal{P} = \oint_S \mathcal{W} \cdot d\mathbf{s} = \oint_S \mathcal{W} \cdot \hat{\mathbf{n}} da \quad (2.2)$$

Trong đó,  $\mathcal{P}$  = tổng công suất tức thời ( $\text{W}$ )

$\hat{\mathbf{n}}$  = vector đơn vị pháp tuyến với bề mặt

$da$  = vi phân diện tích của bề mặt ( $\text{m}^2$ )



Khi trường biến đổi theo thời gian, ta thường tìm mật độ năng lượng trung bình bằng cách tích phân vector Poynting tức thời trong 1 chu kỳ và chia cho chu kỳ. Khi trường biến đổi tuần hoàn theo thời gian có dạng  $e^{j\omega t}$ , ta định nghĩa các trường phức  $\mathbf{E}$  và  $\mathbf{H}$ , chúng có quan hệ với các thành phần tức thời  $\mathcal{E}$  và  $\mathcal{H}$  bởi công thức:

$$\mathcal{E}(x, y, z; t) = \text{Re}[\mathbf{E}(x, y, z)e^{j\omega t}] \quad (2.3)$$

$$\mathcal{H}(x, y, z; t) = \text{Re}[\mathbf{H}(x, y, z)e^{j\omega t}] \quad (2.4)$$

Ta có  $\text{Re}[Ee^{j\omega t}] = \frac{1}{2}[Ee^{j\omega t} + E^*e^{-j\omega t}]$ . Khi đó (2.1) có thể được viết lại là:

$$\mathbf{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] + \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}e^{j2\omega t}] \quad (2.5)$$

Thành phần đầu tiên của (2.5) không biến đổi theo thời gian, và thành phần thứ hai biến đổi theo thời gian có tần số bằng 2 lần tần số  $\omega$  cho trước. Vector Poynting trung bình theo thời gian (mật độ công suất trung bình) có thể được viết lại là:

$$\mathbf{W}_{av}(x, y, z) = [\mathbf{W}(x, y, z; t)]_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.6)$$

Thành phần  $\frac{1}{2}$  xuất hiện trong (2.5) và (2.6) bởi vì các trường  $\mathbf{E}$  và  $\mathbf{H}$  tính theo biên độ.

Dựa trên định nghĩa (2.6), công suất trung bình bức xạ bởi anten (công suất bức xạ) có thể được định nghĩa là:

$$\begin{aligned} P_{rad} &= P_{av} = \oint_S \mathbf{W}_{rad} \cdot d\mathbf{s} = \oint_S \mathbf{W}_{av} \cdot \hat{\mathbf{n}} da \\ &= \frac{1}{2} \oint_S \text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \cdot d\mathbf{s} \end{aligned} \quad (2.7)$$

#### 1.1.2.4. Cường độ bức xạ

Cường độ bức xạ theo một hướng cho trước được định nghĩa như sau: “năng lượng được bức xạ từ anten trên một đơn vị góc đặc”. Cường độ bức xạ là tham số trường xa, và được tính bằng cách đơn giản là nhân mật độ bức xạ với bình phương của khoảng cách.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.8)$$

Ở đó,  $U$  là cường độ bức xạ (W/đơn vị góc đặc).

$W_{rad}$  là mật độ bức xạ (W/m<sup>2</sup>).

Cường độ bức xạ cũng có quan hệ với điện trường trong trường xa của anten bởi:

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} [E(r, \theta, \phi)]^2 \approx \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2] \\ &\approx \frac{1}{2\eta} [|E^\circ_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E^\circ_\phi(\theta, \phi)|^2] \end{aligned} \quad (2.8a)$$

Ở đó:  $\eta$  là trở kháng sóng của môi trường.

$E(r, \theta, \phi) = E^o(\theta, \phi) \frac{e^{-jkr}}{r}$  là cường độ điện trường trong trường xa của anten.

$E_\theta, E_\phi$  là các thành phần điện trường trong trường xa của anten.

Tổng công suất bức xạ nhận được bằng cách tích phân cường độ bức xạ, như được cho bởi (2.8) trên toàn góc đặc  $4\pi$ . Do đó:

$$P_{\text{rad}} = \oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.9)$$

Ở đó,  $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$  là một vi phân góc đặc.

### 1.1.2.5. Hệ số định hướng

Hệ số định hướng của anten được định nghĩa như sau: “tỉ lệ của cường độ bức xạ theo một hướng cho trước so với cường độ bức xạ trung bình trên tất cả các hướng. Cường độ bức xạ trung bình bằng tổng công suất bức xạ bởi anten chia cho  $4\pi$ . Nếu hướng không được xác định, hướng của cường độ bức xạ cực đại được chọn”.

Đơn giản hơn, hệ số định hướng của một nguồn bức xạ hướng tính bằng với tỉ lệ của cường độ bức xạ theo một hướng cho trước ( $U$ ) và cường độ bức xạ của một nguồn đẳng hướng ( $U_0$ ):

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.10)$$

Hướng bức xạ cực đại (hướng tính cực đại) được biểu diễn như sau:

$$D_{\text{max}} = D_0 = \frac{U|_{\text{max}}}{U_0} = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.10a)$$

Ở đó,  $D$  là hướng tính (không có thứ nguyên).

$D_0$  là hướng tính cực đại (không có thứ nguyên).

$U$  là cường độ bức xạ (W/đơn vị góc đặc).

$U_{\text{max}}$  là cường độ bức xạ cực đại (W/đơn vị góc đặc).

$U_0$  là cường độ bức xạ của nguồn đẳng hướng (W/đơn vị góc đặc).

$P_{\text{rad}}$  là tổng công suất bức xạ (W).

Với nguồn đẳng hướng, hiển nhiên từ (2.10) hay (2.10a) ta nhận thấy rằng hướng tính bằng 1 khi  $U$ ,  $U_{\text{max}}$  và  $U_0$  bằng nhau.

Với anten có các thành phần phân cực trực giao, chúng ta định nghĩa hệ số định hướng riêng (partial directivity), theo một phân cực cho trước và một hướng cho trước, là tỉ lệ của cường độ bức xạ tương ứng với một phân cực cho trước chia cho tổng cường độ bức xạ trung bình trên tất cả các hướng. Với định nghĩa này, thì theo một hướng cho trước “hệ số định hướng tổng là tổng của các hệ số định hướng riêng”. Trong hệ tọa độ cầu, hướng tính cực đại  $D_0$  với các thành phần tọa độ  $\theta$  và  $\phi$  của anten có thể được viết là:

$$D_0 = D_\theta + D_\phi \quad (2.11)$$

Trong đó hệ số định hướng riêng  $D_\phi$  và  $D_\theta$  được biểu diễn bởi:

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (2.11a)$$

$$D_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (2.11b)$$

Ở đó,  $U_\theta$  là cường độ bức xạ theo một hướng cho trước chỉ phụ thuộc  $\theta$ .

$U_\phi$  là cường độ bức xạ theo một hướng cho trước chỉ phụ thuộc  $\phi$ .

$(P_{rad})_\theta$  là công suất bức xạ theo tất cả các hướng chỉ phụ thuộc vào  $\theta$ .

$(P_{rad})_\phi$  là công suất bức xạ theo tất cả các hướng chỉ phụ thuộc vào  $\phi$ .

### 1.1.2.6. Hệ số tăng ích

Một đơn vị khác để mô tả hiệu suất của anten là hệ số tăng ích (G). Hệ số tăng ích của anten có quan hệ với hệ số định hướng, và là đơn vị dùng để tính toán hiệu suất của anten cũng như khả năng hướng tính của nó. Trong khi hệ số định hướng chỉ thể hiện được đặc tính hướng tính của anten.

Hệ số tăng ích được xác định bằng cách so sánh mật độ công suất bức xạ của anten thực ở hướng khảo sát và mật độ công suất bức xạ của anten chuẩn (thường là anten vô hướng) ở cùng hướng và khoảng cách như nhau, với giả thiết công suất đặt vào hai anten bằng nhau, còn anten chuẩn là anten có hiệu suất bằng 1 (không tổn hao).

Cường độ bức xạ của anten đẳng hướng bằng với công suất đặt vào anten chia cho  $4\pi$  (do ta giả thiết anten chuẩn có hiệu suất bằng 1, nên công suất bức xạ bằng công suất đặt vào anten). Do đó, ta có:

$$G = 4\pi \frac{\text{Cường độ bức xạ của anten thực tại hướng khảo sát}}{\text{Cường độ bức xạ của anten anten vô hướng}} \Rightarrow G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{Không thứ nguyên}) \quad (2.12)$$

Tổng công suất bức xạ ( $P_{rad}$ ) có quan hệ với tổng công suất đặt vào anten ( $P_{in}$ ) bởi:

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.13)$$

Ở đó,  $e_{cd}$  là hiệu suất bức xạ của anten (không thứ nguyên). Sử dụng (2.13) biến đổi (2.12) thành:

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left[ 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right] \quad (2.14)$$

Sử dụng công thức (2.10), ta có:

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (2.15)$$

Giá trị cực đại của hệ số tăng ích có quan hệ với hệ số định hướng cực đại bởi:

$$G_0 = G(\theta, \phi)|_{\max} = e_{cd} D(\theta, \phi)|_{\max} = e_{cd} D_0 \quad (2.16)$$

Cũng như đối với hệ số định hướng, ta định nghĩa hệ số tăng ích riêng (partial gain) của anten theo một phân cực cho trước và một hướng cho trước như sau: “phần cường độ bức xạ tương ứng với một phân cực cho trước chia cho tổng cường độ bức xạ khi anten bức xạ đẳng hướng”. Với định nghĩa này, thì theo một hướng cho trước “tổng hệ số tăng ích là tổng của các hệ số tăng ích riêng”. Trong hệ tọa độ cầu, hệ số tăng ích cực đại  $G_0$  theo các thành phần trực giao  $\theta$  và  $\phi$  của anten có thể được viết như sau, theo dạng tương tự như hệ số định hướng cực đại trong (2.11a) và (2.11b):

$$G_0 = G_\theta + G_\phi \quad (2.17)$$

Trong khi các hệ số tăng ích riêng  $G_\theta$  và  $G_\phi$  được biểu diễn bởi:

$$G_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{P_{in}} \quad (2.17a)$$

$$G_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{P_{in}} \quad (2.17b)$$

Trong đó:  $P_{in}$  là tổng công suất đưa vào anten.

$U_\theta$  là cường độ bức xạ theo một hướng cho trước chứa trong thành phần trường  $E_\theta$ .

$U_\phi$  là cường độ bức xạ theo một hướng cho trước chứa trong thành phần trường  $E_\phi$ .

Thường thì hệ số tăng ích được biểu diễn theo khái niệm dB thay vì không có thứ nguyên như trong công thức (2.16). Công thức tương ứng được cho bởi:

$$G_0(dB) = 10 \log_{10}[e_{cd} D_0] \quad (2.18)$$

### 1.1.2.7. Băng thông

Băng thông (BW) của anten được định nghĩa như sau: “khoảng tần số mà trong đó hiệu suất của anten thỏa mãn một tiêu chuẩn nhất định”. Băng thông có thể được xem xét là khoảng tần số, về hai bên của tần số trung tâm (thường là tần số cộng hưởng), ở đó các đặc tính anten (chẳng hạn như trở kháng vào, giản đồ, độ rộng chùm, phân cực, cấp thùy bên, hệ số tăng ích, hướng chùm, hiệu suất bức xạ) đạt giá trị có thể chấp nhận được.

Với các anten dải rộng, băng thông thường được biểu diễn là tỉ số của tần số trên và tần số dưới khi anten hoạt động với các đặc tính có thể chấp nhận được. Ví dụ, băng thông 10:1 chỉ ra rằng, tần số trên lớn hơn 10 lần tần số dưới.

$$BW = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \quad (2.19)$$

Với anten dải hẹp, băng thông được thể hiện bởi tỉ lệ phần trăm của sự sai khác tần số (tần số trên – tần số dưới) so với tần số trung tâm của băng thông. Ví dụ, băng thông 5% thể hiện rằng, sự sai khác tần số là 5% tần số trung tâm của băng thông.

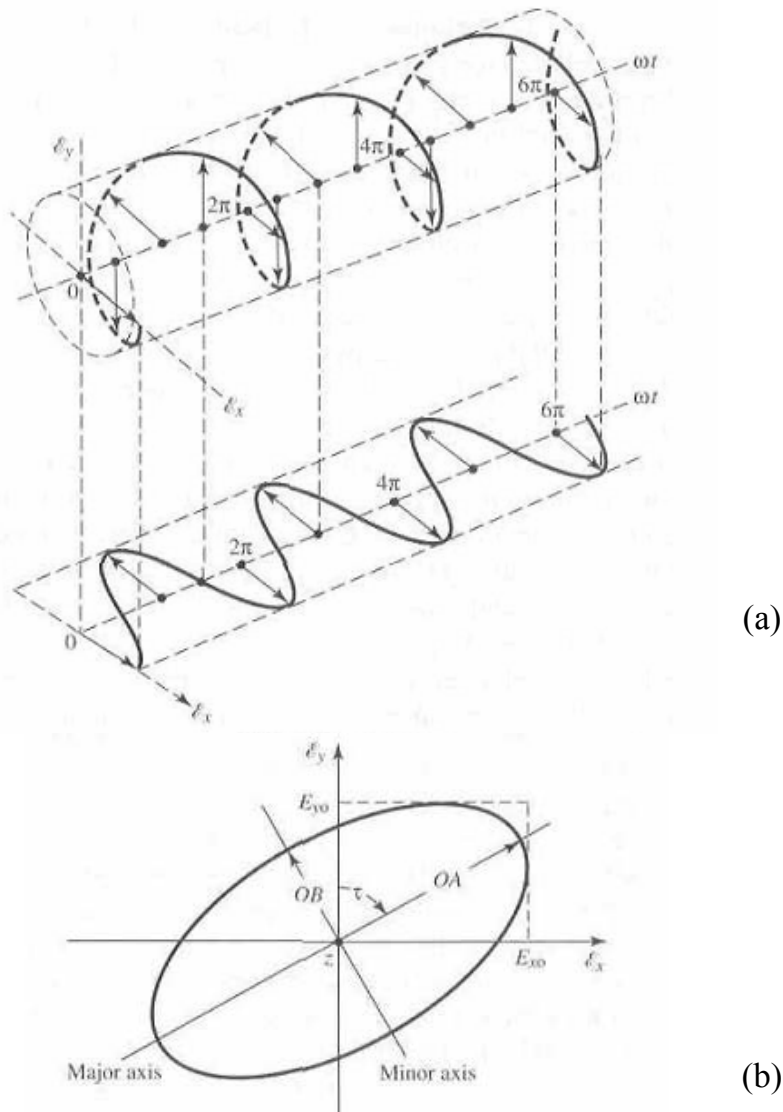
$$BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \quad (2.20)$$

Bởi vì các đặc tính như trở kháng vào, giản đồ bức xạ, hệ số tăng ích, phân cực, ... của anten không biến đổi giống nhau theo tần số, nên có nhiều định nghĩa bằng thông khác nhau. Tùy từng ứng dụng cụ thể, yêu cầu về các đặc tính của anten được chọn thế nào cho phù hợp.

### 1.1.2.8. Phân cực

Phân cực của anten theo một hướng cho trước được định nghĩa như sau: “là phân cực của sóng được truyền đi bởi anten. Chú ý: khi không đề cập tới hướng nào, phân cực được xem là phân cực theo hướng có hệ số tăng ích cực đại”.

Sự phân cực của sóng bức xạ được thể hiện bởi đầu mút của vector điện trường tức thời, và hướng mà nó vạch theo khi quan sát dọc theo hướng truyền sóng. Một đường vạch theo bởi đầu mút của vector điện trường là hàm của thời gian được thể hiện trong hình 1.10(a) và (b).



Hình 1.10. Sự quay của sóng điện từ phẳng phân cực elip là hàm theo thời gian [3]

(a). Sự quay của vector điện trường

(b). Phân cực elip ở  $z = 0$