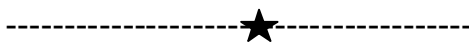


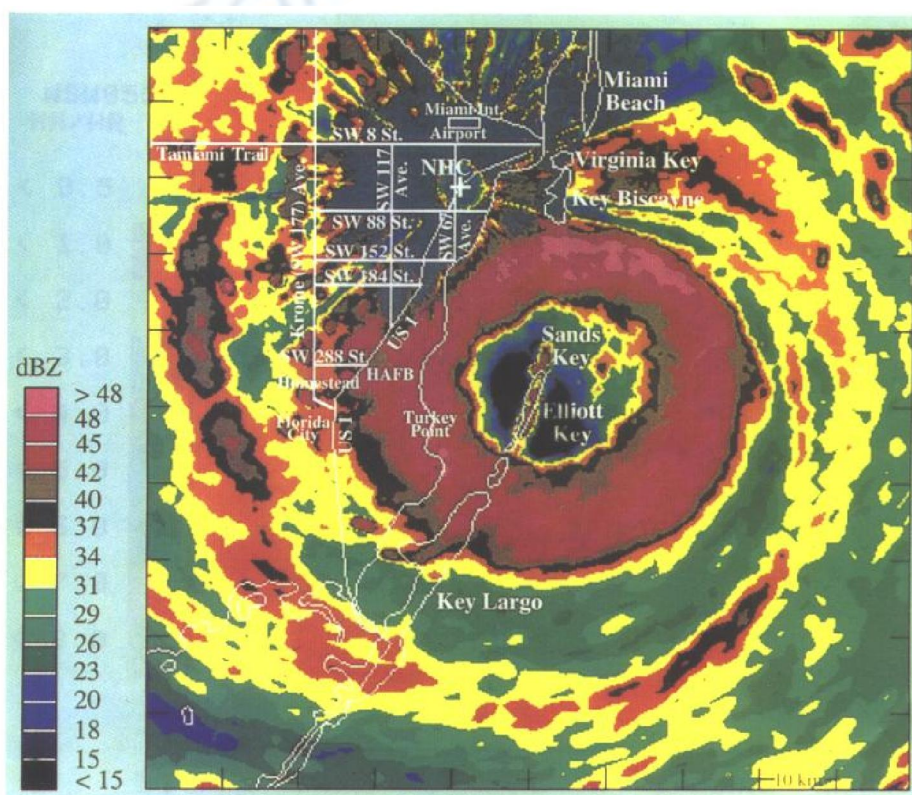
ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN



NGUYỄN HƯỚNG ĐIỀN (CHỦ BIÊN) - TẠ VĂN ĐÀ

KHÍ TƯỢNG RADAR



Hà Nội - 2007

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Khí tượng radar ra đời nhằm đáp ứng nhu cầu giảng dạy môn học cùng tên ở trường Đại Học Khoa Học Tự Nhiên, Đại Học Quốc Gia Hà Nội.

Toàn bộ giáo trình gồm 5 chương. Bốn chương đầu bao hàm những kiến thức cơ sở về khí tượng radar. Chương cuối đưa ra một số ảnh hiển thị radar mà chúng tôi thu thập được cùng những phân tích về chúng như phần thực hành phân tích ảnh dựa trên những kiến thức lí thuyết đã học. Chương này là phần mở của giáo trình, tức có thể được thay đổi, bổ sung theo ý người dạy. Các ảnh trong chương này đều là ảnh màu cho nên, để thuận lợi cho việc in ấn, được ghi trên đĩa CD đi kèm với giáo trình. Chương 3 do TS. Tạ Văn Đa viết bản thảo, các chương còn lại do PGS. TS. Nguyễn Hướng Điền viết. Việc sửa chữa và biên tập lại cũng do PGS. TS. Nguyễn Hướng Điền đảm nhiệm. Tuy nhiên, trong quá trình biên soạn, giữa các tác giả luôn có sự bàn bạc, góp ý và cung cấp thêm tư liệu cho nhau. Một số hình ảnh sử dụng trong giáo trình do TS. Tạ Văn Đa sưu tầm hoặc thu thập từ các trạm radar thời tiết ở Việt Nam.

Giáo trình cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các học viên cao học hoặc nghiên cứu sinh và những ai muốn tìm hiểu về khí tượng radar.

Khi biên soạn giáo trình, chúng tôi đã cố gắng trình bày theo phương châm “cơ bản, hiện đại, Việt Nam”.

Giáo trình cũng đã qua một số vòng giảng dạy, rút kinh nghiệm và bổ sung. Để hoàn thành giáo trình, chúng tôi đã nhận được sự hỗ trợ của trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, sự giúp đỡ quý báu của các bạn đồng nghiệp trong trường và ở Đài Khí tượng Cao không thuộc Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường, đặc biệt là TS. Nguyễn Thị Tân Thanh, TS. Trần Duy Sơn đã cung cấp nhiều hình ảnh và tài liệu để chúng tôi có thể hoàn thành giáo trình này. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

Giáo trình không tránh khỏi còn nhiều khiếm khuyết, do vậy chúng tôi rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của các bạn đọc.

Các tác giả

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	2
MỤC LỤC	3
CHƯƠNG 1.....	5
RADAR THỜI TIẾT VÀ NGUYÊN LÝ ĐO CƯỜNG ĐỘ PHẢN HỒI VÔ TUYẾN.....	5
1.1. Sóng điện từ và sự lan truyền sóng điện từ trong không gian	5
1.2. Radar và ứng dụng của nó trong đời sống	11
1.3. Giới thiệu về cấu tạo và các thông số kĩ thuật của radar thời tiết.....	12
1.4. Thể tích xung và mật độ năng lượng sóng trong xung phát.....	20
1.5. Các kiểu phản hồi.....	22
1.6. Mục tiêu khí tượng	22
1.7. Phương trình radar đối với mục tiêu điểm và mục tiêu khí tượng trong môi trường không hấp thụ và tán xạ sóng điện từ	24
1.8. Phương trình radar Probert-Jones.....	28
1.9. Phương trình radar đơn giản. Độ suy yếu và độ truyền qua.....	29
1.10. Đơn vị đo độ phản hồi vô tuyến và công suất.....	31
1.11. Các yếu tố ảnh hưởng đến công suất sóng thu.....	33
1.12. Quan hệ giữa tần số lặp của xung và khoảng cách quan trắc đúng tối đa	36
1.13. Hiện tượng “khoảng cách ảo”	37
1.14. Hiệu ứng búp sóng phụ.....	40
1.15. Khúc xạ tia quét của radar và hiện tượng lớp dẫn sóng	41
1.16. Phương trình quỹ đạo sóng	42
1.17. Sai số khoảng cách và độ phân giải về khoảng cách	45
1.18. Sai số về góc hướng và độ phân giải theo góc hướng	46
1.19. Dải sáng.....	48
CHƯƠNG 2.....	52
PHÂN TÍCH GIÓ DOPPLER VÀ MỘT SỐ SẢN PHẨM CỦA RADAR DOPPLER	52
2.1. Giới thiệu chung	52
2.2. Nguyên lý đo tốc độ gió bằng radar Doppler	52
2.3. Độ rộng phổ Doppler.....	56
2.4. Tốc độ ảo.....	60
2.5. Dữ liệu Doppler ở khoảng cách ảo. Nhận biết và xử lí ảnh hưởng của dữ liệu ở khoảng cách ảo.....	62
2.6. Giải quyết tình thế “tiến thoái lưỡng nan” của radar Doppler.....	64
2.7. Mở rộng giới hạn đo chính xác tốc độ và khoảng cách	65
2.8. Xác định hướng và tốc độ gió	69
2.9. Xác định vùng xoáy, phân kì và hội tụ của gió.....	74
2.10. Quét khối và các sản phẩm cơ bản của radar Doppler.....	77
2.11. Các sản phẩm dẫn xuất của phần mềm EDGE TM	78
CHƯƠNG 3.....	93
ƯỚC LƯỢNG MƯA BẰNG RADAR THỜI TIẾT	93

3.1.	Một số kiến thức cơ bản về mưa	93
3.2.	Sử dụng radar để phát hiện mưa	99
3.3.	Sử dụng radar để ước lượng mưa.....	100
3.4.	Dự đoán mưa đá bằng radar có hai bước sóng.....	106
3.5.	Các nguyên nhân gây ra sai số khi ước lượng mưa.....	107
3.6.	Biến đổi của profile độ phản hồi theo khoảng cách.....	111
3.7.	Hiệu chỉnh ước lượng mưa bằng radar theo số liệu đo mưa ở mặt đất.....	113
CHƯƠNG 4.....		117
NHẬN BIẾT MỤC TIÊU KHÍ TƯỢNG BẰNG RADAR THỜI TIẾT		117
4.1.	Nhận biết các loại mây qua độ phản hồi vô tuyến của radar	117
4.2.	Nhận biết hiện tượng đứt thẳng đứng của gió qua số liệu của radar không Doppler.....	121
4.3.	Nhận biết các hiện tượng thời tiết nguy hiểm liên quan đến mây đối lưu mạnh (dông, tố, lốc, vòi rồng)	122
4.4.	Nhận biết bão.....	131
CHƯƠNG 5.....		ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
PHÂN TÍCH ẢNH HIỂN THỊ RADA.....		ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.1.	Phân tích ảnh mô phỏng hiển thị tốc độ gió Doppler.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.	Giới thiệu các sản phẩm của radar Doppler ...	Error! Bookmark not defined.
5.3.	Ảnh hiển thị mây và mưa đối lưu của radar ở Nha Trang....	Error! Bookmark not defined.
5.4.	Ảnh hiển thị các trường hợp xảy ra vào đầu mùa hè ở Guam.....	Error! Bookmark not defined.
5.5.	Hình thế gió biển	Error! Bookmark not defined.
5.6.	Sự bùng phát của gió mùa tây-nam	Error! Bookmark not defined.
5.7.	Phân tích mặt cắt tốc độ gió.....	Error! Bookmark not defined.
5.8.	Phân tích các sản phẩm ETOP và VIL	Error! Bookmark not defined.
5.9.	Sự tan rã đối lưu diện rộng.....	Error! Bookmark not defined.
5.10.	Ảnh phản hồi từ biển.....	Error! Bookmark not defined.
5.11.	Xoáy thuận nhiệt đới	Error! Bookmark not defined.
5.12.	Bão nhiệt đới	Error! Bookmark not defined.
5.13.	Lốc và vòi rồng	Error! Bookmark not defined.
5.14.	Front	Error! Bookmark not defined.
TÀI LIỆU THAM KHẢO		ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Chương 1

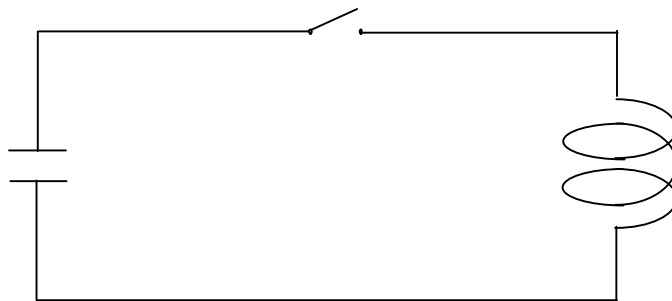
RADAR THỜI TIẾT VÀ NGUYÊN LÝ ĐO CƯỜNG ĐỘ PHẢN HỒI VÔ TUYẾN

1.1. SÓNG ĐIỆN TỪ VÀ SỰ LAN TRUYỀN SÓNG ĐIỆN TỪ TRONG KHÔNG GIAN

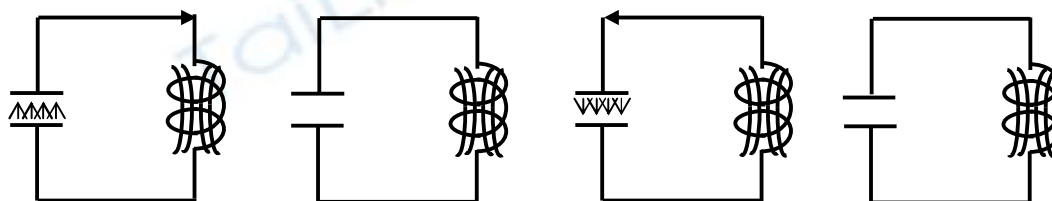
1.1.1. Dao động điện từ và sóng điện từ

Chúng ta đã có khái niệm về trường điện từ. Muốn từ đó đi đến khái niệm về sóng điện từ cần phải thông qua khái niệm về dao động điện từ.

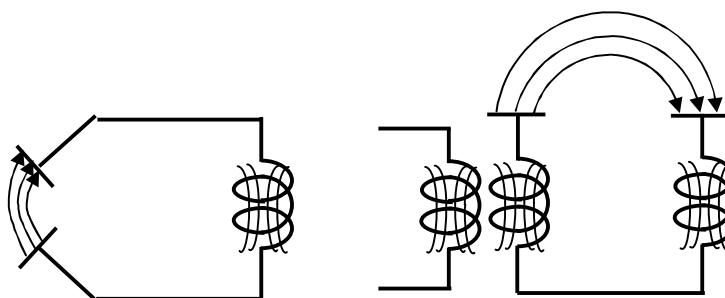
Ta có một mạch điện gồm tụ C và cuộn dây L nối với nhau (hình 1.1). Ta tích điện cho tụ C, giữa hai bản của tụ điện sẽ có điện trường. Ở ngoài tụ điện không có điện trường do tác dụng triệt tiêu lẫn nhau của các điện tích trái dấu ở hai bản. Cuộn dây L do những vòng dây dẫn điện hợp thành. Nó có tính chất là, khi có dòng điện đi qua, sẽ tạo nên một từ trường tập trung trong lõi cuộn dây và lan ra ngoài rất ít. Khi nối công tắc K, tụ C phóng điện, điện tích sẽ chuyển động qua cuộn dây L và tạo thành từ trường trong lõi cuộn dây. Từ trường này đạt giá trị cực đại khi toàn bộ điện tích rời khỏi tụ điện, nghĩa là điện trường giữa các bản của tụ điện trên triệt tiêu. Do chuyển dịch của dòng điện, hai bản của tụ điện C lại tích điện, nhưng trái dấu, cho đến khi điện trường giữa hai bản của tụ C đạt cực đại, còn từ trường trong cuộn dây triệt tiêu. Sau đó tụ C lại phóng điện, các điện tích lại tiếp tục chuyển động theo chiều ngược lại. Đến đây ta thấy rằng hiện tượng trao đổi giữa điện trường (của tụ) và từ trường (của cuộn dây) cũng giống như hiện tượng trao đổi giữa thế năng và động năng của con lắc. Dòng điện chạy trong mạch, nếu giả thiết không có tổn hao, sẽ biến thiên theo thời gian giống hình 1.2 và tiếp tục như thế mãi mãi. Tương ứng với dòng điện, điện trường trong tụ và từ trường trong cuộn dây cũng biến thiên như vậy. Đó là dao động điện từ, mạch LC gọi là mạch dao động. Trong khoảng không gian giữa hai bản tụ điện có một điện trường biến đổi tuần hoàn và theo lý thuyết thì điện trường biến đổi tại một điểm sẽ tạo ra một từ trường biến đổi tại điểm đó và vùng lân cận, từ trường biến đổi đến lượt nó lại tạo ra điện trường biến đổi ở vùng lân cận. Cứ như vậy, điện trường và từ trường biến đổi qua lại và lan rộng dần trong không gian từ bản tụ này sang bản tụ kia. Đó chính là sóng điện từ.



Hình 1.1. Khung dao động



Hình 1.2. Dao động điện từ trong khung dao động



Hình 1.3. Minh hoạ sự phát sóng điện từ vào không gian

Nếu hai bản của tụ điện mở rộng dần ra, sóng điện từ sẽ lan truyền từ bản này sang bản kia qua một khoảng không gian rộng hơn (hình 1.3a). Khi hai bản tụ điện

rời xa nhau thì chúng sẽ trở thành anten phát và anten thu (hình 1.3b). Ở nơi phát, người ta phải có riêng bộ phận tạo và duy trì dao động (hình 1.3c) bù lại những tổn hao trong mạch.

Một trong những thông số đặc trưng của dao động điện từ hay sóng điện từ là chu kỳ dao động. Trong vô tuyến điện, chu kỳ dao động thường thay đổi từ 10^{-6} đến 10^{-10} s. Những dao động có chu kỳ ngắn như vậy thường được gọi là dao động cao tần, nghĩa là có tần số cao. Theo công thức (1.1), ứng với dao động có chu kỳ $T = 10^{-6}$ s thì tần số $f = 10^6$ Hz hay 1 MHz; ứng với dao động có chu kỳ $T = 10^{-7}$ s thì tần số $f = 10$ MHz.

Sóng điện từ lan truyền trong chân không theo quỹ đạo thẳng với tốc độ bằng tốc độ ánh sáng c ($\approx 3 \cdot 10^8$ m/s).

Sóng điện từ, ngoài chu kỳ dao động T và tần số f , còn được đặc trưng bởi độ dài bước sóng λ . Độ dài bước sóng là khoảng cách mà sóng điện từ lan truyền được trong thời gian một chu kỳ. Như vậy:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}. \quad (1.1)$$

Trong thông tin vô tuyến, người ta sử dụng sóng điện từ có tần số hàng ngàn Hz trở lên, và được gọi là sóng vô tuyến. Phổ tần số sóng vô tuyến có thể chia ra như trong bảng 1.1.

Bảng 1.1. Tên gọi, bước sóng và tần số của các dải sóng vô tuyến

TT	Tên gọi	Bước sóng	Tần số
1	Sóng cực dài và dài	100 km- 3 km	3 kHz - 100 kHz
2	Sóng trung	50 m - 3 km	6 MHz - 100 kHz
3	Sóng ngắn	10 m - 50 m	30 MHz - 6 MHz
4	Sóng mét	1 m - 10 m	300 kHz - 300 kHz
5	Sóng đề xi mét	0,1 m - 1 m	3 GHz - 3 GHz
6	Sóng cen ti mét	1 - 10 cm	30 GHz - 3 GHz
7	Sóng mi li mét	1 - 10 mm	300 GHz - 30 GHz

Ngoài ra trong chiến tranh, để đảm bảo bí mật, ở dải sóng cực ngắn dùng cho radar, người ta còn dùng chữ cái để phân chia thành các băng sóng L, S, X... Sau này vẫn tiếp tục sử dụng các phân chia này (bảng 1.2).

Bảng 1.2. Tên gọi, bước sóng và tần số của một số dải sóng cực ngắn dùng cho radar

TT	Tên gọi	Bước sóng	Tần số
1	Băng L	30 cm - 15 cm	1 GHz - 2 GHz
2	Băng S	15 cm - 8 cm	2 GHz - 4 GHz
3	Băng C	8 cm - 4 cm	4 GHz - 8 GHz
4	Băng X	4 cm - 2,5 cm	8 GHz - 12 GHz
5	Băng Ku	2,5 cm - 1,7 cm	12 GHz - 17 GHz
6	Băng K	1,7 cm - 1,2 cm	17 GHz - 27 GHz

1.1.2. Sự tán xạ sóng điện từ

Nếu trên đường lan truyền, sóng điện từ gặp các vật thể mà tính chất điện (hằng số điện môi và hệ số từ thẩm) khác với môi trường truyền thì trên bề mặt vật thể xuất hiện các dòng điện cảm ứng biến thiên mà tần số bằng tần số của sóng. Các dòng điện này tạo ra sóng điện từ thứ cấp lan truyền đi mọi hướng và một phần theo hướng ngược lại phía sóng tới. Đó là hiện tượng tán xạ hay là phản xạ sóng điện từ. Các vật thể nói trên được gọi là mục tiêu.

Với năng lượng sóng tới và khoảng cách đến mục tiêu không đổi, năng lượng phản xạ về phía radar phụ thuộc vào kích thước, tính chất, hình dáng và sự bố trí của mục tiêu. Thông thường để sử dụng trong tính toán và đánh giá độ phản xạ của mục tiêu người ta đưa ra đại lượng đo, đó là diện tích tán xạ hiệu dụng. Mỗi mục tiêu được đặc trưng bởi một diện tích tán xạ hiệu dụng. Diện tích tán xạ hiệu dụng của mục tiêu là diện tích của mặt phản xạ lí tưởng đặt vuông góc với đường truyền sóng và phản xạ năng lượng sóng chiếu vào nó ra mọi hướng, tạo ra tại điểm thu một năng lượng sóng điện từ bằng năng lượng thực tế nhận được ở điểm thu đó.

Diện tích tán xạ hiệu dụng đo bằng m^2 (hoặc cm^2), nó phụ thuộc vào kích thước, hình dạng và tính chất của mục tiêu. Nó không phụ thuộc vào năng lượng sóng tới và khoảng cách đến mục tiêu. Thông thường diện tích tán xạ hiệu dụng được xác định bằng phương pháp thực nghiệm.

1.1.3. Hiện tượng khúc xạ sóng điện từ

Sóng điện từ lan truyền trong chân không với quỹ đạo thẳng và có tốc độ không đổi, bằng tốc độ ánh sáng. Nhưng trong môi trường không khí hoặc trong môi trường vật chất bất kì, sóng điện từ lan truyền với tốc độ nhỏ hơn và quỹ đạo có thể bị uốn cong. Trong các điều kiện bình thường của khí quyển, nếu sóng được truyền ngang, quỹ đạo này cong về phía mặt đất và độ cong bằng $1/4$ độ cong bề mặt trái đất. Hiện tượng đó gọi là hiện tượng khúc xạ sóng điện từ. Tỷ số của tốc độ truyền sóng trong chân không trên tốc độ truyền sóng cho môi trường bất kì được gọi là chỉ số khúc xạ của môi trường:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (1.2)$$

trong đó:

n là chỉ số khúc xạ thực (chiết suất) của môi trường.

c là tốc độ truyền sóng trong chân không.

v là tốc độ truyền sóng trong môi trường.

Trong lí thuyết, người ta thường sử dụng chỉ số khúc xạ phức m của môi trường được tính bằng công thức:

$$m = n + i k, \quad (1.3)$$

trong đó: $i = \sqrt{-1}$,

k - phần ảo của chỉ số khúc xạ phức, đặc trưng cho mức độ hấp thụ sóng bởi môi trường.

Trong môi trường không khí, ở độ cao mực nước biển chỉ số khúc xạ n có giá trị vào khoảng 1,0003. Trong điều kiện khí tượng bình thường, chỉ số khúc xạ n giảm dần từ 1,0003 ở sát mặt đất cho đến 1,000 ở tầng trên cùng của khí quyển. Thông thường có một sự giảm đều khi độ cao tăng lên. Để tiện trong tính toán, người ta chuyển đổi chỉ số khúc xạ sang một khái niệm khác, đó là độ khúc xạ (hay chỉ số khúc xạ qui đổi) N , và xác định như sau:

$$N = (n-1) \cdot 10^6. \quad (1.4)$$

Chỉ số khúc xạ qui đổi hoặc độ khúc xạ của khí quyển tự do phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ không khí và áp suất hơi nước trong khí quyển như sau:

$$N = \frac{77,6}{T} \left(p + 4810 \frac{e}{T} \right), \quad (1.5)$$

trong đó:

T là nhiệt độ không khí tính ra độ Kelvin;

p là áp suất khí quyển, tính ra hPa;

e là áp suất hơi nước, tính ra hPa.

Trong tầng đối lưu thường ta tính được N nhờ số liệu thám không.

1.1.4. Sự suy yếu sóng điện từ khi lan truyền trong khí quyển

Sự suy yếu sóng điện từ trong khí quyển chủ yếu do hiện tượng hấp thụ và hiện tượng tán xạ (bao gồm cả hiện tượng phản xạ) gây ra. Ở dải sóng centimet trở lên, sự hấp thụ của không khí là không đáng kể, nhưng sự suy yếu trong mây và giáng thủy cần phải được tính đến trong toàn bộ dải sóng có bước sóng dưới 10 cm, đặc biệt là đối với các sóng 1 cm và 3 cm.

1.1.4.1. Sự suy yếu trong không khí

Không khí chứa nitơ, ôxy, hydro, hơi nước và các khí khác. Suy yếu sóng điện từ trong nitơ và các khí khác là không đáng kể, trong khi đó suy yếu trong hơi nước và trong ôxy cần phải được tính đến. Hình 1.4 cho thấy sự suy yếu sóng điện từ trong ôxy và trong hơi nước, đồng thời cho thấy sự phụ thuộc của nó vào tần số của sóng. Từ hình vẽ thấy rằng, sự suy yếu không đáng kể đối với dải tần số thấp hơn 16 GHz. Tất nhiên khi hơi nước đậm đặc hơn độ suy yếu sẽ lớn hơn.

Chú ý rằng độ suy yếu được tính ra dB/km, do đó sóng lan truyền trên quãng đường 100 km thì sự suy yếu sẽ là đáng kể.

1.1.4.2. Sự suy yếu trong mây

Sự suy yếu trong mây dao động nhiều so với không khí vì bản thân mây cũng rất thay đổi. Bảng 1.3 cho ta thấy độ suy yếu sóng điện từ phụ thuộc vào bước sóng,

Độ suy yếu
(dB/km)

Graph showing Attenuation (Độ suy yếu) in dB/km versus Wavelength (λ) in nm. The curve illustrates the relationship between wavelength and attenuation, showing a sharp increase in attenuation as the wavelength approaches 1600 nm.

Bảng 1.3. Độ suy yếu trong mây (dB/km)/(g/m) Theo Gunn và East, 1954

Pha của mây	Nhiệt độ (°C)	Bước sóng (cm)			
		0.9	1.24	1.8	3.2

Mây nước	20	0,647	0,311	0,128	0,0483
	10	0,681	0,401	0,179	0,0630
	0	0,99	0,532	0,267	0,0858
	-8	1,25	0,684	0,34	0,122
Mây băng	0	0,00874	0,00635	0,00436	0,00246
	-10	0,00291	0,00211	0,00146	0,00081
	-20	0,00200	0,00145	0,00100	0,00056

* Giá trị ngoại suy

1.1.4.3. Sự suy yếu trong mưa

Sự suy yếu của sóng điện từ trong mưa lớn hơn trong mây nhiều. Bảng 1.4 cho ta thấy độ suy yếu phụ thuộc vào cường độ mưa và tần số (hoặc bước sóng): cường độ mưa và tần số càng lớn (bước sóng càng nhỏ) thì sự suy yếu càng mạnh.

Bảng 1.4. Độ suy yếu (dB/km) của sóng điện từ trong mưa ở 18°C

Cường độ mưa (mm/h)	Bước sóng (cm)				
	0,5	1,0	3,0	3,2	10
0,25	0,160	0,037	0,00224	0,0019	0,0001
1,25	0,72	0,228	0,0161	0,0117	0,00042
2,5	9,49	5,47	0,656	0,555	0,0072
50	16,6	10,7	1,46	1,26	0,0149
100	29,0	20,0	3,24	2,80	0,0311

Đối với bước sóng từ 3,2 cm trở xuống, sự suy yếu rất đáng kể trong mọi loại mưa, nhất là mưa bão.

1.2. RADAR VÀ ỨNG DỤNG CỦA NÓ TRONG ĐỜI SỐNG

“RADAR” (viết tắt từ **R**adio **D**etection **A**nd **R**ange) là một phương tiện kỹ thuật phát hiện và xác định vị trí của mục tiêu ở xa bằng sóng vô tuyến điện. Có một điều thú vị là bản thân từ RADAR trong tiếng Anh có thể đánh vần ngược từ cuối lên đầu mà vẫn giữ nguyên các âm tiết như khi đọc xuôi, như thể mang một hàm ý rằng sóng của radar phát đi vào không gian lại quay trở về radar.

Trước chiến tranh thế giới lần thứ hai, các nước có khoa học kỹ thuật tiên tiến đã bắt đầu nghiên cứu về radar. Mặc dù việc nghiên cứu được giữ kín trong mỗi nước, radar đã gần như phát triển đều ở các nước tiên tiến. Đến đầu chiến tranh thế giới lần thứ 2 thì Liên Xô (cũ), Anh, Hoa Kỳ, Đức đều có radar. Trong chiến tranh, radar được sử dụng rộng rãi cho mục đích quân sự. Các radar thế hệ đầu này đều là các radar định vị (“xác định vị trí”). Sau này người ta mới phát triển loại radar có nhiều tính năng hơn: chúng cũng phát sóng vào không gian, thu về sóng phản hồi, nhưng phân tích sóng phản hồi và so sánh với sóng phát, ta không những có thể biết được vị trí của mục tiêu mà còn biết được nhiều thông tin về mục tiêu (hình dạng gần đúng, độ phản xạ sóng của mục tiêu, tốc độ di chuyển,...). Các radar

thời tiết thuộc loại này. Radar có thể được gắn trên máy bay, vệ tinh ..., song trong khí tượng radar người ta chỉ nghiên cứu các thông tin do radar đặt tại mặt đất đem lại. Mặc dù quan trắc từ vệ tinh có nhiều lợi thế như có thể quan sát một vùng rộng lớn, sóng điện từ ít bị khí quyển làm cho suy yếu..., nhưng quan trắc bằng radar đặt tại mặt đất lại có những lợi thế khác. Một trong những lợi thế của radar đặt tại mặt đất là nó có thể quan trắc được các hiện tượng xảy ra dưới mây ở khoảng cách gần, chẳng hạn như giáng thủy.

Radar có tác dụng rất lớn trong quốc phòng cũng như trong các ngành kinh tế quốc dân và nghiên cứu khoa học.

Về mặt quân sự, radar định vị có thể phát hiện được máy bay đi từ xa hàng trăm kilômét. Nó có thể tự động bám sát mục tiêu, có thể ngắm đúng mục tiêu để chỉ huy bắn trúng. Ngoài ra, radar có thể chỉ huy hàng loạt máy bay đi và hạ cánh an toàn trong bất kì điều kiện khí tượng và tầm nhìn xa nào.

Trong các ngành kinh tế quốc dân khác như hàng không, hàng hải, đều có trang bị radar. Ngành hàng không sử dụng radar để quản lí hoạt động của máy bay được an toàn. Ngành hàng hải đặt các radar trên tàu để phát hiện các chướng ngại vật trên biển. Ngành giao thông đường bộ sử dụng radar để kiểm soát tốc độ của các phương tiện giao thông trên đường.

Ngành Khí tượng Thủy văn sử dụng radar định vị để theo dõi các máy thám không vô tuyến thả theo bóng Pilot, nhận các thông tin đo đạc các yếu tố khí tượng trên cao, sử dụng radar thời tiết để theo dõi, phát hiện và thu về các sóng phản hồi từ các vùng xảy ra các hiện tượng thời tiết kèm theo mây và giáng thủy như dông, bão, mưa, mưa đá... Phân tích các sóng này, ta có thể biết được nhiều thông tin quý giá về các hiện tượng thời tiết đó, sử dụng cho các mục đích nghiên cứu khí quyển, dự báo, phòng chống thiên tai...

1.3. GIỚI THIỆU VỀ CẤU TẠO VÀ CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA RADAR THỜI TIẾT

1.3.1. Nguyên lí chung

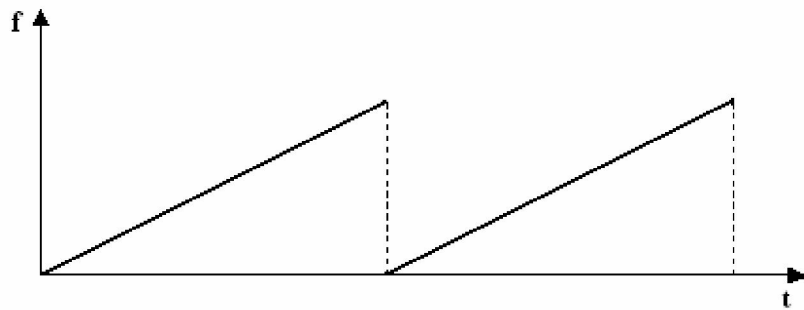
Người ta sử dụng tính chất truyền thẳng với tốc độ không đổi và tính chất phản xạ của sóng điện từ để phát hiện và xác định vị trí của mục tiêu. Radar gồm máy phát để tạo ra sóng điện từ và nhờ anten tạo ra tia sóng hẹp truyền vào không gian, máy thu của radar thu tín hiệu phản xạ từ mục tiêu. Hướng của mục tiêu được xác định bởi anten định hướng, còn khoảng cách từ radar đến mục tiêu được xác định bởi hệ thức:

$$r = \frac{c\Delta t}{2}, \quad (1.6)$$

trong đó r là khoảng cách đến mục tiêu, Δt - thời gian từ lúc phát điện từ đi cho đến lúc ta thu được sóng phản xạ, c - tốc độ truyền sóng.

Nguyên lí của radar đơn giản như đã nói ở trên, nhưng để làm được như vậy cần kĩ thuật phức tạp và có nhiều cách để làm. Do đó radar có nhiều loại, tùy theo công dụng cần có và khả năng công nghiệp và kĩ thuật của người chế tạo. Ngày nay trên thế giới người ta đã sản xuất rất nhiều radar khác nhau về tầm hoạt động (xa, trung, gần, cực xa), bước sóng (sóng decimet, sóng centimet) và về chế độ làm việc. Theo chế độ làm việc, có thể chia radar ra làm hai loại: radar phát liên tục và radar phát xung.

Loại radar phát liên tục làm việc theo nguyên lí sau: Máy phát phát sóng liên tục trong suốt thời gian hoạt động của radar, nhưng tần số phát thay đổi tuần hoàn theo thời gian theo một qui luật nào đó, chẳng hạn như quy luật “răng cưa thẳng” (hình 1.5). Sau khi máy thu thu được sóng phản xạ, đem so sánh tần số sóng phản xạ với sóng phát ta thu được độ chênh lệch tần số Δf . Biết quy luật biến thiên của tần số phát ta tính được khoảng thời gian Δt kể từ thời điểm phát sóng và thời điểm thu sóng, nhờ đó xác định được khoảng cách đến mục tiêu.

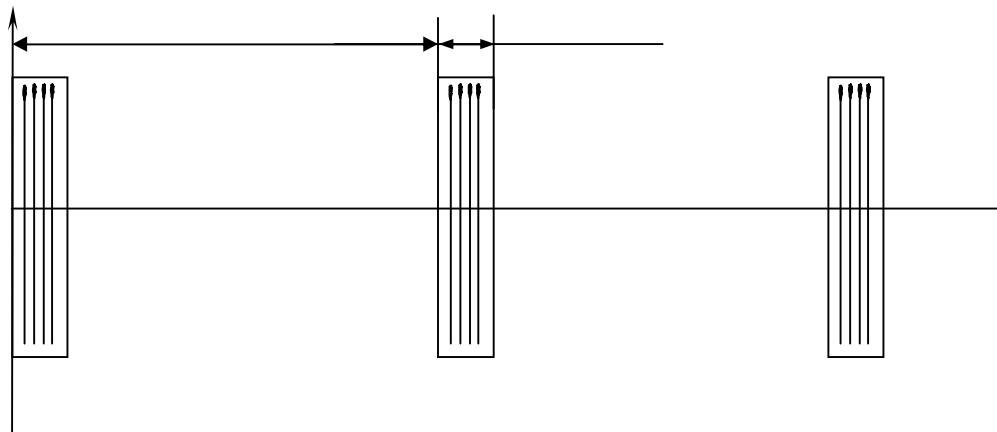


Hình 1.5. Biến đổi tần số sóng theo thời gian dạng “răng cưa thẳng”

Radar loại này có nhược điểm chỉ đo được khoảng cách của một mục tiêu. Vì vậy người ta thường đặt nó trên máy bay để đo độ cao của chính máy bay đó. Nhờ độ phản xạ của mặt đất rất lớn nên không cần máy phát mạnh mà vẫn đo được cự li xa với độ chính xác cao. Thiết bị radar vì vậy khá đơn giản.

Loại radar xung là loại phát sóng không liên tục mà phát gián đoạn. Trong những khoảng thời gian bằng nhau, máy phát ra năng lượng sóng siêu cao tần cực mạnh trong một khoảng khắc rất ngắn τ rồi lại nghỉ (hình 1.6).

Sóng điện từ được phát ra trong khoảng khắc gọi là xung phát. Xung phát được



Hình 1.6. Các xung phát; T- chu kì lặp lại; τ - độ rộng xung

đặc trưng bởi các thông số: Công suất xung P_u (thường là hàng trăm đến hàng vài nghìn kW), độ rộng xung τ và chu kì lặp lại T (hay tần số lặp $F = 1/T$).

Radar xung là loại được sử dụng rộng rãi và phát triển tương đối hoàn chỉnh, do đó chúng ta sẽ xem xét kĩ radar xung. Và từ nay về sau nói radar, ta hiểu là radar làm việc theo chế độ xung (hay radar xung).

1.3.2. Các bộ phận chính của hệ thống radar. Phân loại radar thời tiết

Các bộ phận chính của hệ thống radar bao gồm:

- 1) Bộ phát tạo sóng điện từ với tần số cao;
- 2) Một anten bức xạ năng lượng điện từ và nhận tín hiệu phản hồi;
- 3) Bộ thu nhận, khuếch đại, biến đổi tín hiệu phản hồi trở thành tín hiệu thị tần (tần số thấp);
- 4) Hệ thống chỉ thị (màn hình), trên đó tín hiệu phản hồi có thể được hiển thị.

Phần lớn các radar thời tiết đều sử dụng một anten làm việc ở cả chế độ phát và chế độ thu. Để đảm bảo an toàn người ta sử dụng một bộ khoá thu – phát tự động đóng máy thu trong một khoảng thời gian rất ngắn khi máy phát hoạt động để bảo vệ máy thu khỏi xung phát cực mạnh.

Radar thời tiết có rất nhiều chủng loại, nhưng có thể phân làm hai loại chính: số hoá và không số hoá.

Các radar thời tiết trước đây thường là loại không số hoá. Các tín hiệu phản hồi do chúng thu được chỉ cho ta biết vị trí và “ảnh” của mục tiêu. Dựa vào vị trí, hình dạng ảnh và cường độ phản hồi, người ta có thể biết được một số đặc điểm, tính chất của mục tiêu. Các radar cũ nhãn hiệu MRL do Nga chế tạo đặt ở Phù Liễn, Vinh thuộc loại này.

Các radar thời tiết ngày nay thường là loại đã số hoá. Chúng cũng có thể phân ra làm ba loại: radar thường, radar Doppler và radar phân cực.

Radar số hoá thường hay còn gọi là “NON – COHERENT RADARS”, “CONVENTIONAL RADARS”. Chúng khác với loại không số hoá ở chỗ tín hiệu (“ảnh”) phản hồi được số hoá, do vậy ta có thể dùng các phần mềm để lấy ra nhiều thông tin về mục tiêu, xử lí, cho hiển thị với màu sắc như ý và lưu trữ dễ dàng. Tuy nhiên, chúng chỉ đo cường độ phản hồi mà không đo độ lệch tần số của tín hiệu phản hồi và tín hiệu phát, do vậy không xác định được tốc độ di chuyển của mục tiêu qua một lần đo (muốn xác định tốc độ di chuyển của mục tiêu, cần phải quan trắc nhiều lần, theo dõi vị trí liên tiếp của mục tiêu theo thời gian). Chúng cũng không xác định mức độ phân cực của sóng phản hồi. Các radar loại TRS-2730 do Pháp chế tạo đặt tại Phù Liễn, Việt Trì và Vinh đều là radar loại này.

Các radar Doppler hay còn gọi là “COHERENT RADARS” sử dụng nguyên lý Doppler (xét đến độ lệch tần số của tín hiệu phản hồi và tín hiệu phát) để đo tốc độ

di chuyển của mục tiêu. Chúng cũng có thể đo được cả cường độ phản hồi vô tuyến (PHVT).

Các radar phân cực có thể phát đi sóng phân cực hoàn toàn theo một phương xác định, thu về sóng phản hồi với một mức độ phân cực nào đó. Phân tích mức độ phân cực của sóng phản hồi và so sánh với sóng phát, ta có thể biết được một số thông tin về mục tiêu (như sự định hướng của mục tiêu trong không gian). Chúng cũng có khả năng đo cường độ PHVT và có thể cả tốc độ gió nữa.

Các radar thời tiết số hoá hiện đại thường có 2 hoặc cả 3 khả năng nêu trên (đo được cường độ phản hồi vô tuyến, tốc độ di chuyển của mục tiêu và mức độ phân cực của sóng phản hồi như radar phân cực). Các radar được đặt tại Tam Kỳ, Nha Trang và Nhà Bè (TP. Hồ Chí Minh) đều là radar Doppler với hai khả năng: đo cường độ phản hồi vô tuyến của mục tiêu và tốc độ gió. Một số loại radar Doppler, chẳng hạn như radar DWSR-2500C, còn có thể hoạt động ở 2 chế độ xung: chế độ xung dài với $\tau = 2.10^{-6}s$ được dùng khi đo cường độ phản hồi vô tuyến và chế độ xung ngắn với $\tau = 0,8.10^{-6}s$ được dùng khi đo gió nhằm nâng cao độ chính xác. Các loại radar Doppler phân cực có cả ba khả năng nêu trên.

1.3.3. Hệ thống chỉ thị

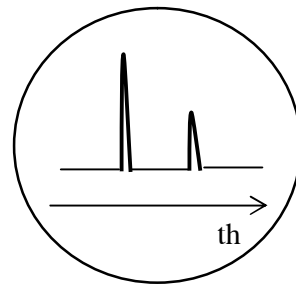
Hệ thống chỉ thị dùng để chỉ thị các thông tin về mục tiêu do radar thu được. Nó cho phép ta quan sát được mục tiêu dưới nhiều dạng khác nhau. Loại chỉ thị biên độ, cho phép ta quan sát mục tiêu dưới dạng các tín hiệu phản hồi hình xung với biên độ khác nhau (hình 1.7), trong đó một xung mạnh là tín hiệu phát, còn lại là các tín hiệu phản hồi. Hệ thống chỉ thị loại này không cho thấy “hình ảnh” của mục tiêu nên không được dùng trong các radar thời tiết mà chỉ dùng trong các radar định vị.

Ở các radar thời tiết có hai loại chỉ thị cơ bản:

- Loại chỉ thị quét tròn cho phép ta quan sát các mục tiêu nằm trên mặt hình nón có trục thẳng đứng và đỉnh tại nơi đặt radar khi anten quét theo góc phương vị và giữ nguyên một góc cao nhất định. Các “hình ảnh” của mục tiêu được chiếu lên mặt nằm ngang (hình 1.8).

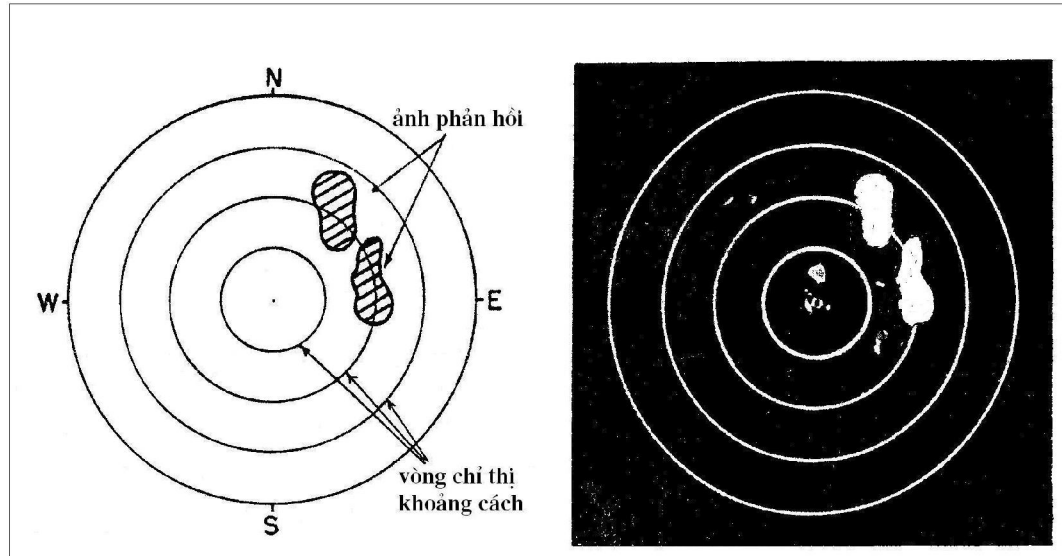
- Loại chỉ thị quét đứng hay cao-xa cho phép ta quan sát các mục tiêu nằm trên một mặt cắt thẳng đứng khi anten quét trong mặt phẳng thẳng đứng theo một góc phương vị nhất định (hình 1.9).

“Hình ảnh” của mục tiêu hiển thị trên màn ảnh gọi là vùng phản hồi vô tuyến (vùng PHVT).

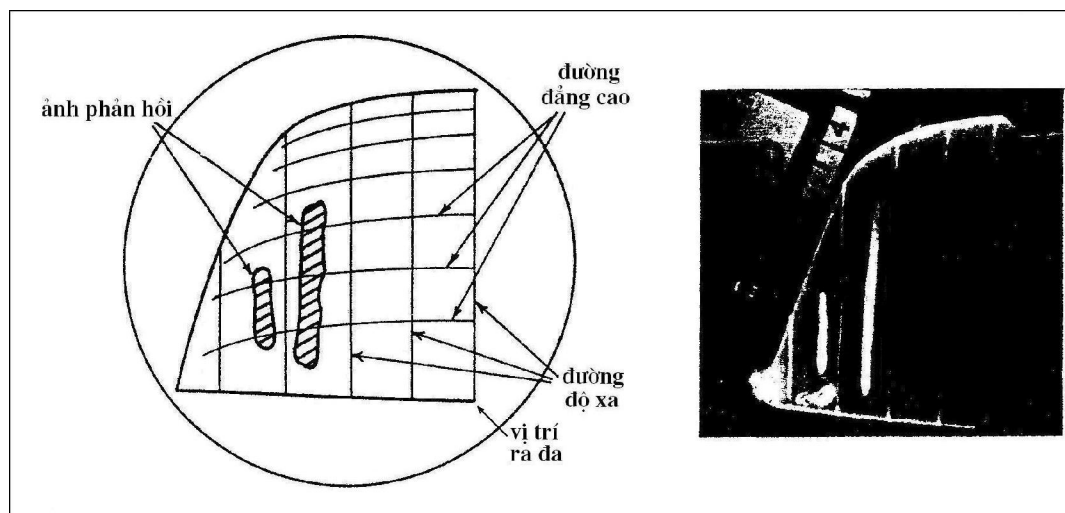


Hình 1.7. Sơ đồ màn chỉ thị biên độ

Trước đây, khi radar chưa được số hoá thì trên màn hình chỉ có thể xuất hiện các chỉ thị như vậy với màu sắc đơn điệu (đen và trắng); còn ngày nay, các radar số hoá còn có thể cho hiển thị sự phân bố không gian của những đặc trưng khác nhau của mục tiêu với nhiều màu sắc tùy chọn.



Hình 1.8. Màn chỉ thị quét tròn (Plan – Position Indicator, PPI)



Hình 1.9. Màn chỉ thị quét đứng hay cao-xa (Range-Height Indicator, RHI)

1.3.4. Các thông số kỹ thuật của radar thời tiết

Mỗi radar được đặc trưng bởi một thông số kỹ thuật xác định. Sự lựa chọn các thông số này phụ thuộc vào công dụng của radar phù hợp với tính chất mục tiêu

cần xác định. Việc chọn lựa chính xác các thông số này bảo đảm nâng cao hiệu quả hoạt động của radar. Ta có thể xem xét thông số của radar thông qua thông số của từng bộ phận của nó.

1.3.4.1. Thông số kỹ thuật của hệ thống phát

- Tần số phát f : Đây là tần số siêu cao do đèn phát tạo ra trong thời gian làm việc của máy phát. Việc chọn tần số phát là dựa vào nhiều yếu tố như: tính chất của mục tiêu, kích thước của radar, yêu cầu của độ chính xác của việc xác định mục tiêu... Trong thực tế giải tần làm việc của radar thường được chọn từ 100÷10000 MHz ($\lambda = 3 \text{ m} \div 3 \text{ cm}$). Các sóng vô tuyến tần số này ít bị các chất khí của khí quyển hấp thụ và nó có thể xuyên sâu vào các mục tiêu khí tượng (các đám mây, vùng mưa), bị tán xạ bởi các hạt mây hoặc mưa ngay cả khi chúng nằm sâu bên trong các mục tiêu đó.

- Độ rộng xung phát τ : là thời gian máy phát tạo ra một đợt sóng siêu cao tần. Việc chọn độ rộng xung phụ thuộc vào yêu cầu độ xa cực tiểu cần đo và độ phân giải theo khoảng cách. Trong thực tế, độ rộng xung thường được chọn trong khoảng 0,1-15 μs .

- Tần số lặp lại của xung phát F : là số lượng xung phát trong một giây. Vì radar xung sử dụng khoảng thời gian giữa các xung phát để thu sóng phản xạ từ mục tiêu, do đó tần số xung được chọn sao cho thời gian giữa các xung đủ để xác định khoảng cách cực đại của radar.

Trong thực tế người ta chọn tần số lặp lại F trong khoảng từ 200 đến 1500Hz, tùy thuộc vào công dụng và khoảng cách cực đại mà radar cần xác định.

- Công suất xung phát P_t : Đây là công suất sóng điện từ trong thời gian đèn phát làm việc. Vì máy phát chỉ phát trong khoảng thời gian rất ngắn, sau đó ngừng phát một khoảng dài, do đó công suất phát trung bình $\bar{P}$ cho một chu kỳ thường bé hơn nhiều so với công suất xung. Thật vậy, từ

$$\bar{P} = P_t \tau F, \quad (1.7)$$

nếu $P_t = 250 \text{ kw}$; $\tau = 2 \mu\text{s}$; $F = 300 \text{ Hz}$ ta có $\bar{P} = 150 \text{ W}$

1.3.4.2. Thông số kỹ thuật của hệ thống thu

- Hệ số tạp âm N : Máy thu vô tuyến nào cũng có tạp âm của chính nó do các linh kiện điện tử trong mạch tạo ra. Tín hiệu khi đi qua máy thu được khuếch đại lên, nhưng tạp âm trong nó cũng tăng lên. Do đó hệ số tạp âm máy thu là con số nói lên rằng tỉ số tín hiệu/ tạp âm ở đầu ra máy thu giảm đi bao nhiêu lần so với tỉ số tín hiệu/ tạp âm ở đầu vào máy thu. Trong máy thu radar hệ số N thường thay đổi từ 5 đến 25. Một máy thu lí tưởng thì $N = 1$.

$$N = \frac{\text{công suất tạp âm ra / công suất tín hiệu ra}}{\text{công suất tạp âm vào / công suất tín hiệu vào}} > 1$$

Trong một số tài liệu, hệ số tạp âm tính ra đơn vị dB, khi đó nó được gọi là mức tạp âm N' :

$$N'[\text{dB}] = 10 \lg N. \quad (1.8)$$

- Độ nhạy máy thu (MDS) P_w : Đây là đại lượng nói lên chất lượng máy thu. Độ nhạy máy thu chính là mức công suất nhỏ nhất của sóng phản xạ ở đầu vào máy thu mà ở đầu ra có tín hiệu bảo đảm thiết bị chỉ thị phân biệt được mục tiêu trên nền tạp âm. Với kỹ thuật ngày nay, người ta có thể chế tạo được các máy thu có độ nhạy từ 10^{-12} đến 10^{-14}W .

- Tần số trung: Vì sóng siêu cao tần khó khuếch đại, do đó trong máy thu người ta thường tìm cách giảm tần số xuống. Hệ số khuếch đại của máy thu chủ yếu là ở tần số này. Trong radar tần số trung được chọn là 30 MHz.

- Dải thông tần máy thu: Hệ số khuếch đại của máy thu nói chung, phụ thuộc vào tần số. Dải thông tần là dải tần số mà ở đó hệ số khuếch đại đồng đều ở tất cả các tần số.

- Dải động của máy thu: Hệ số khuếch đại của máy thu nói chung, ngoài sự phụ thuộc tần số, còn phụ thuộc vào công suất của tín hiệu vào. Độ lớn của tín hiệu phản xạ từ mục tiêu khí tượng lại thay đổi trong khoảng rất rộng. Dải động chính là dải công suất vào máy thu mà hệ số khuếch đại của nó ổn định.

Máy thu cần phải có hệ số khuếch đại ổn định, do vậy nó cần phải được thiết kế sao cho có một dải động thích hợp và làm việc ở tần số nằm trong dải thông.

1.3.4.3. Thông số của hệ thống anten

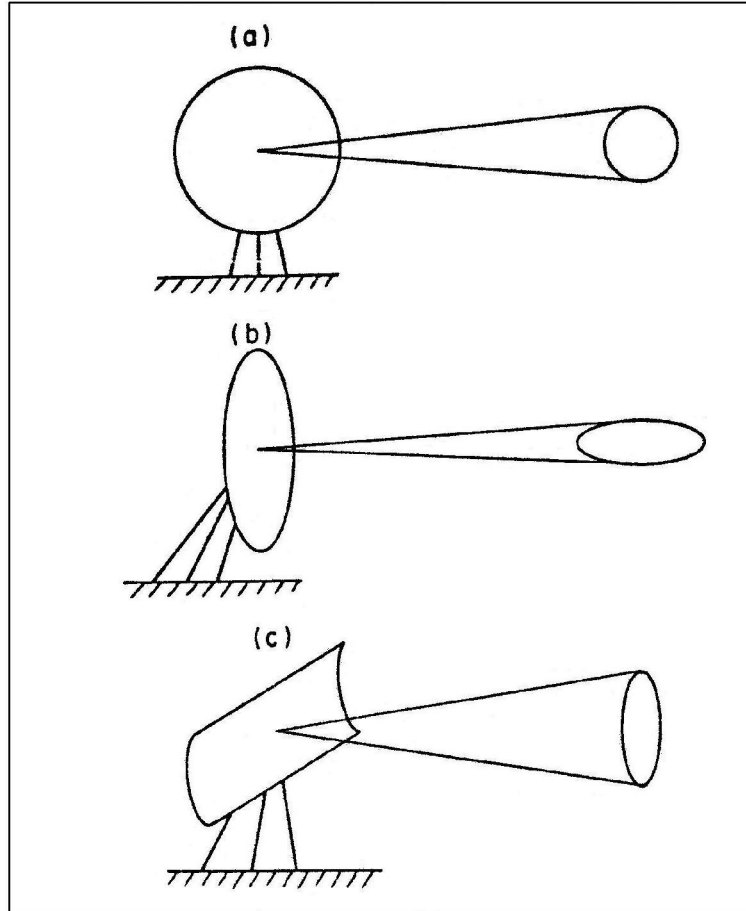
ANTEN của các radar thời tiết có nhiều dạng khác nhau (hình 1.10). Loại anten thông dụng nhất của các radar thời tiết có dạng “chảo” tròn parabol (hình 1.10a). Nó có tác dụng tập trung năng lượng sóng phát theo một hướng nhất định, thường trùng với trục của “chảo”.

Mỗi anten có một số đặc trưng sau đây:

- Cánh sóng: Cánh sóng (hay búp sóng) là thông số đặc trưng cho tính chất hoạt động có hướng (hướng tính) của anten. Đồ thị hướng tính của anten được trình bày ở hình 1.11.

- Độ rộng cánh sóng θ : Độ rộng cánh sóng là thông số đặc trưng nhất và cần quan tâm nhất của anten, vì nó quyết định độ chính xác của phép xác định tọa độ góc của mục tiêu.

Độ rộng cánh sóng là góc tạo bởi các hướng theo đó “công suất” (thực chất là độ chói bức xạ) phát đi bằng 50 % “công suất” cực đại phát theo trục cánh sóng. ANTEN parabol cho phép thu được cánh sóng hẹp. Người ta chứng minh được rằng độ rộng cánh sóng phụ thuộc vào bước sóng và kích thước anten theo hệ thức sau:



Hình 1.10. Một số dạng anten của radar thời tiết kèm các cánh sóng chính của chúng

$$\theta = 73 \frac{\lambda}{D_a}, \quad (1.9)$$

trong đó: θ là độ rộng cánh sóng (độ).

λ là bước sóng (m).

D_a là đường kính anten (m).

Như vậy, ta thấy rằng muốn tạo được cánh sóng hẹp thì anten phải có đường kính lớn hoặc sử dụng bước sóng ngắn.

Ví dụ: Khi bước sóng $\lambda = 5,6 \text{ cm} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$,

Radar của Hoa Kỳ có anten parabol với $D_a = 4,2 \text{ m} \Rightarrow \theta = 1^\circ$.

Radar của Pháp có anten parabol với $D_a = 3,05 \text{ m} \Rightarrow \theta = 1,25^\circ$.

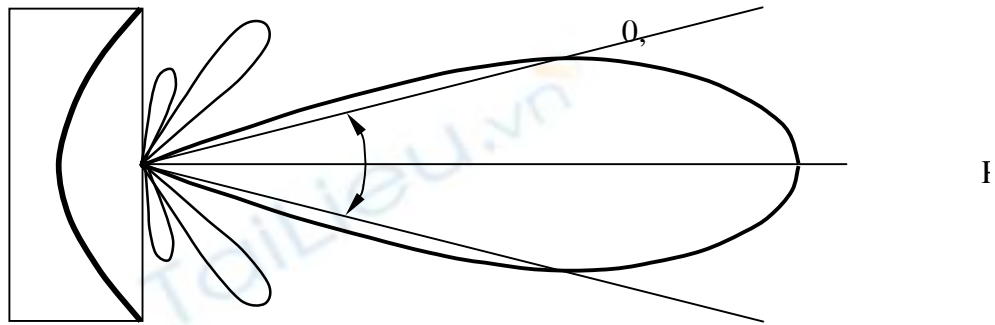
- Hệ số khuếch đại của anten G: Hệ số khuếch đại của anten G cũng là thông số đặc trưng cho tính chất hoạt động có hướng của anten. G cho ta biết công suất bức xạ anten vô hướng phải tăng lên bao nhiêu lần so với anten có hướng để nó thu

được công suất sóng phản hồi từ mục tiêu bằng với công suất mà anten có hướng thu được.

Thực nghiệm chứng minh được rằng:

$$G = \frac{4\pi \cdot A_e}{\lambda^2}, \quad (1.10)$$

trong đó A_e là diện tích phản xạ hiệu dụng của anten.



Hình 1.11. Đồ thị định hướng của anten

- Tốc độ quay của anten: Có hai tốc độ quay của anten, đó là số vòng quay ngang và số lần chúc gập (quay thẳng đứng) của anten trong một đơn vị thời gian (có thể là một phút hoặc một giây).

- Cánh sóng phụ của anten: anten lí tưởng là anten chỉ phát xạ sóng điện từ về một hướng với tia hẹp, không phát sóng theo các hướng khác. Nhưng trong thực tế, không thể chế tạo được anten như vậy. Cánh sóng phụ là phần năng lượng sóng điện từ bức xạ ra các hướng khác với cánh sóng chính (hình 1.11). Thường đối với anten parabol thì cánh sóng phụ có công suất bức xạ khoảng 10 % cánh sóng chính. Sự hiện diện của cánh sóng phụ làm tăng vùng mù của radar, đồng thời nó còn tạo ra những mục tiêu giả trên màn chỉ thị... Như trên đã nói việc giảm cánh sóng phụ đòi hỏi anten phải có kích thước lớn, nhưng sẽ làm cho việc chế tạo nó khó hơn nhiều và giá thành của radar tăng lên đáng kể.

1.4. THỂ TÍCH XUNG VÀ MẬT ĐỘ NĂNG LƯỢNG SÓNG TRONG XUNG PHÁT

Máy phát của radar thời tiết phát năng lượng thành từng xung không liên tục, lan truyền đi xa từ anten của radar với tốc độ xấp xỉ tốc độ ánh sáng ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). Thể tích mỗi xung năng lượng tác động lên các mục tiêu từ đó năng lượng được phản hồi trở về radar và sẽ nhận được các sản phẩm khác nhau do radar cung cấp. Hình dáng, kích thước của anten radar, bước sóng của năng lượng phát, thời gian