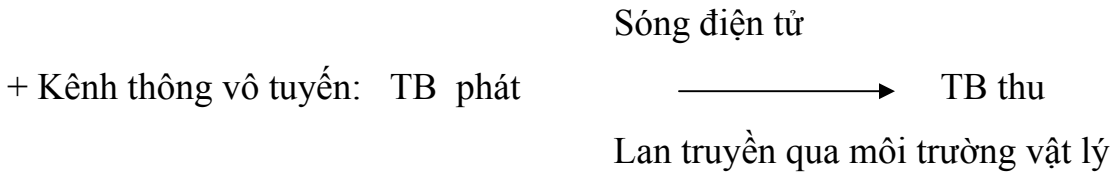


CHƯƠNG I CÁC VẤN ĐỀ CƠ BẢN VỀ TRUYỀN SÓNG VÔ TUYẾN

§ 1.1 KHÁI NIỆM

1/ Môi trường truyền sóng:



+ Môi trường truyền sóng: Khép kín mạch cho kênh thông tin \rightarrow Để đảm bảo chất lượng của kênh thông tin vô tuyến cần lưu ý đến môi trường truyền sóng, lựa chọn tần số công tác và chọn phương thức truyền sóng hợp lý.

+ Tác động của môi trường truyền sóng:

- Làm suy giảm biên độ sóng
- Làm méo dạng tín hiệu tương tự
- Gây lỗi đối với tín hiệu số do nhiễu

+ Mục tiêu nghiên cứu quá trình truyền sóng:

- Xác định trường độ tại điểm thu khi biết các thông số của máy phát và điều kiện để thu được cường độ trường tối ưu.

- Nghiên cứu sự phát sinh méo dạng hoặc gây lỗi tín hiệu và tìm biện pháp khắc phục

+ Sự suy giảm cường độ trường do các nguyên nhân:

- Sự phân tán năng lượng bức xạ khi lan truyền (suy hao khoảng cách)
- Sự hấp thụ của môi trường (tổn hao nhiệt)
- Sự nhiễu xạ sóng (tán xạ)
- Sự tán sắc

2/ Quy ước về các dải tần số và phạm vi ứng dụng:

<u>Dải tần</u>	<u>Tên, ký hiệu</u>	<u>Ứng dụng</u>
3 - 30 kHz	Very low Freq. (VLF)	Đạo hàng , định vị
30 - 300kHz	Low Freq. (LF)	Đạo hàng
300 - 3000kHz	Medium Freq. (MF)	Phát thanh AM, hàng hải, trạm thông tin duyên hải, chỉ dẫn tìm kiếm.
3 - 30MHz	High freq. (HF)	Điện thoại , điện báo, phát thanh sóng ngắn, hàng hải, hàng không
30 - 300MHz	Very High Freq. (VHF)	TV, phát thanh FM, điều khiển giao thông, cảnh sát, taxi, đạo hàng
300 - 3000MHz	Utrahigh Freq. (UHF)	TV, thông tin vệ tinh, do thám, radar giám sát, đạo hàng.
3 - 30GHz	Superhigh Freq. (SHF)	Hàng không, thông tin viba, thông tin di động, thông tin vệ tinh.
30 - 300GHz	Extremly high Freq (EHF)	Radar, nghiên cứu khoa học

*** Các băng tần (band) trong dải vi sóng:**

Tần số	Ký hiệu cũ	Ký hiệu mới
500 - 1000 MHz	VHF	C
1 - 2 GHz	L	D
2 - 3 GHz	S	E
3 - 4 GHz	S	F
4 - 6 GHz	C	G
6 - 8 GHz	C	H
8 - 10 GHz	X	I
10 - 12,4 GHz	X	J

12,4 - 18 GHz	Ku	J
18 - 20 GHz	K	J
20 - 26,5 GHz	K	K
26,5 - 40 GHz	Ka	K

3/ Khái quát về truyền sóng vô tuyến:

- * Dải sóng dài: - Dùng các anten đơn giản có độ lợi thấp đặt trên mặt đất
 - Mode truyền sóng chủ yếu là sóng mặt, suy hao $\sim R^{-4}$
 - Độ ồn do nhiễu công nghiệp cao
 - Cần máy phát công suất lớn (50-500 kw)
 - Suy hao mạnh và tăng nhanh theo tần số
 - Chiều cao anten cần lựa chọn thích hợp
 - Có thể có hiện tượng Fading trong thời gian hàng giây, phút, chịu ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm không khí, cần có biện pháp khắc phục Fading
- * Dải sóng 30-40 MHz: - Có thể sử dụng sự phản xạ từ tầng điện ly
 - Cự ly thông tin lớn, \sim hàng ngàn km \rightarrow thích hợp cho các dịch vụ truyền thông quốc tế
 - Sự phản xạ phụ thuộc mật độ điện tích được tạo ra bởi bức xạ mặt trời
 - Không dùng được cho tần số > 40 MHz (xuyên qua)
- * Trên 40 MHz:
 - Phương thức truyền thẳng (TV, viba)
 - Kích thước anten phải lớn gấp một số lần bước sóng
 - Ở dải viba (3-30 cm) có thể dùng anten gương có độ lợi cao (40-50 dB) \rightarrow \downarrow công suất máy phát
 - \rightarrow \downarrow biên độ tín hiệu
 - \rightarrow \downarrow méo điều chế.
 - Nhiễu khí quyển giảm
- * Dải sóng m m:
 - Suy hao do khí quyển và do mưa tăng
 - Cự ly thông tin bị giới hạn

§1.2. TRUYỀN SÓNG LÝ TƯỞNG

- Giả thiết nguồn bức xạ là đẳng hướng

- Sóng truyền trong không gian tự do (đồng nhất, đẳng hướng, ϵ_0 , không hấp thụ)

→ Mật độ dòng công suất trên đơn vị diện tích \perp với hướng lan truyền là không đổi trên mặt cầu bán kính r và bằng giá trị trung bình của |vector Poynting|

$$P = P_{tb} = (1/2)\text{Re}\{\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*\} = P_r/4\pi r^2 \quad (\text{W/m}^2)$$

Với P_r : Công suất bức xạ toàn phần của anten phát

- Có thể viết lại cho sóng TEM :

$$\begin{aligned} P_{tb} &= E_h^2 / Z_0 \\ &= E_h^2 / 120\pi \end{aligned}$$

hay: $E_h = (30.P_r / r^2)^{1/2}$

* Nếu anten phát có hệ số định hướng $D \neq 1$ thì mật độ công suất bức xạ trên đơn vị diện tích

$$P = D.P_{tb}$$

→ $E_h = (30.P_r.D / r^2)^{1/2}$

→ Biên độ điện trường:

$$E_0 = (2)^{1/2} E_h = (60.P_r.D / r^2)^{1/2}$$

* Giá trị tức thời của cường độ điện trường là:

$$E = (60.P_r.D / r^2)^{1/2} \cos(\omega t - k_0 r)$$

hay dạng phức: $E = (60.P_r.D / r^2)^{1/2} \exp[j(\omega t - k_0 r)]$

* Nếu cường độ điện trường đo bằng (mV/m); Công suất bức xạ đo bằng kW;

Khoảng cách đo bằng km, thì:

$$E_h = 173.(P_r.D)^{1/2} / r$$

$$E_0 = 245.(P_r.D)^{1/2} / r$$

* Nếu nguồn bức xạ (anten) đặt ngay trên mặt đất và coi mặt đất \approx vật dẫn điện lý tưởng thì mật độ dòng công suất bức xạ trên đơn vị diện tích sẽ tăng gấp đôi và cường độ trường tăng $\sqrt{2}$ lần, tức là:

$$E_h = 245.(P_r.D)^{1/2} / r$$

* Với anten dipole đặt trong không gian tự do, có chiều dài $l \ll$ so với khoảng cách khảo sát r thì

$$|\mathbf{E}| = Z_0 I l k_0 \sin\theta / 4\pi r$$

$$\rightarrow E_h = Z_0 I_h l \sin\theta / 2\lambda r$$

$$\text{hay } E_h = 60\pi I_h l \sin\theta / \lambda r$$

với θ : góc giữa hướng khảo sát và hướng trục của anten

* Với chân tử có chiều dài hiệu dụng $l \ll r$

$$E_h = 60\pi I_0 l_h / \lambda r$$

Với : I_0 : giá trị hiệu dụng của biên độ dòng điện cực đại (tại điểm bụng của sóng đứng trên chân tử). Chiều dài hiệu dụng:

$$l_h E_h = V_{oc} \quad \text{với } V_{oc}: \text{ thế hở mạch cực đại}$$

* Với chân tử đặt thẳng đứng trên mặt đất thì sẽ tạo với ảnh của nó qua mặt đất một anten dipole, khi đó cường độ trường ở khoảng cách r trên mặt đất ($\theta = \frac{\pi}{2}$) là

$$E_h = 120\pi I_0 h_h / \lambda r \quad (\text{V/m})$$

$$\text{hay } E_h = 120\pi I_0(\text{A}) h_h(\text{m}) / \lambda(\text{m})r(\text{km}) \quad (\text{mV/m})$$

Với h_h : chiều cao hiệu dụng (được định nghĩa như chiều dài hiệu dụng)

Lý do của hệ số 120π là do điện trở bức xạ tăng gấp đôi và cường độ dòng điện I_0 giảm $\sqrt{2}$ lần (với cùng công suất đặt vào anten) \rightarrow cường độ trường sẽ tăng $\sqrt{2}$ lần so với chân tử trong không gian tự do.

* Với anten chân tử đặt thẳng đứng, cách mặt đất một nhất định (để có thể bỏ qua ảnh hưởng của mặt đất lên trở kháng bức xạ của nó) thì ở khoảng cách xa trên mặt đất sẽ có :

$$E_h = 346.(P_r.D)^{1/2} / r \quad (\text{mV/m})$$

với P_r : kW, r : km

§ 1.3. CÁC DẠNG PHÂN CỰC SÓNG

1) Phân cực thẳng:

Giả sử tại một điểm nào đó trong không gian, vector cường độ điện trường của sóng điện từ lan truyền theo trục x có các thành phần:

$$E_y = E_{y0} \cos(\omega t - \varphi_1)$$

$$E_z = E_{z0} \cos(\omega t - \varphi_2)$$

Các thành phần này có thể khác nhau về pha và biên độ

Nếu $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0$ hoặc $\pm\pi$ thì phương của vector trường tổng \vec{E} sẽ không đổi theo thời gian và gọi là phân cực thẳng

-chẳng hạn khi $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$

$$\Rightarrow \quad \text{tg}(\vec{E}, \text{oy}) = \text{tg}\alpha = \text{const.}$$

Vậy : phương của \vec{E} không đổi, còn độ lớn thay đổi điều hòa theo thời gian

2/ Phân cực tròn:

$$E_{y0} = E_{z0}, \quad \Delta\varphi = \pm\pi/2$$

$$\rightarrow \text{tg}\alpha = \pm\text{tg}(\omega t - \varphi_1)$$

3/ Phân cực ellip: Có thể chứng minh trong trường hợp tổng quát phân cực có dạng ellip. Chọn $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = \varphi$ và đặt

$$E_y = E_{y0} \cos\omega t = A \cos\omega t$$

$$E_z = E_{z0} \cos(\omega t - \varphi) = C \cos\omega t + D \sin\omega t$$

- Nếu quay hệ tọa độ (y,z) đi một góc $\psi > 0$ để có hệ tọa độ (y',z') thì các thành phần E'_y, E'_z của \vec{E} trong hệ tọa độ (y',z') có mối liên hệ với E_y, E_z theo công thức sau:

$$E_y = E'_y \cos\psi - E'_z \sin\psi = A \cos\omega t$$

$$E_z = E'_z \sin\psi - E'_y \cos\psi = C \cos\omega t + D \sin\omega t$$

Nếu chọn góc ψ sao cho có thể viết

$$A \cos\psi + C \sin\psi = M \cos\psi$$

$$D \sin\psi = N \sin\psi$$

$$C \cos\psi - A \sin\psi = -N \sin\psi$$

$$D \cos \psi = N \cos \gamma$$

thì sẽ có: $(E'_y / M)^2 + (E'_z / N)^2 = 1 \quad \rightarrow \text{PT ellip}$

Tìm góc quay ψ :

$$\text{tg} 2\psi = 2AC / (A^2 - C^2 - D^2)$$

- Khái niệm quay phải, quay trái

§ 1.4 SỰ PHẢN XẠ SÓNG TỪ MẶT ĐẤT

1/ Hệ số phản xạ của sóng phân cực đứng:

* Hệ số phản xạ của sóng phẳng trên mặt phân cách giữa 2 môi trường có các thông số $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ và $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ là

$$R = (z_{n2} - z_{n1}) / (z_{n2} + z_{n1}) \quad (1)$$

Với z_{n1}, z_{n2} là các trở kháng sóng qui đổi, xác định bởi:

$$z_{n1} = Z'_{01} / \cos \theta, \quad z_{n2} = Z'_{02} / \cos \psi$$

ψ : góc khúc xạ, Z'_{01}, Z'_{02} trở kháng sóng trong môi trường 1, 2.

* Nếu vector điện trường $\vec{E} \perp$ mặt phẳng tới ($//$ mặt đất) thì gọi là sóng phân cực ngang

* Nếu $\vec{E} \subset$ mặt phẳng tới thì gọi là sóng phân cực đứng

* Viết lại (1) Với lưu ý:

$$Z'_{01} = (\mu / \epsilon_1)^{1/2}, \quad Z'_{02} = (\mu / \epsilon_2)^{1/2},$$

\rightarrow Với sóng phân cực đứng

$$\begin{aligned} R_d &= (\epsilon_1^{1/2} \cos \psi - \epsilon_2^{1/2} \cos \theta) / (\epsilon_1^{1/2} \cos \psi + \epsilon_2^{1/2} \cos \theta) \\ &= |R_d| \exp(-j\Phi_d) \end{aligned}$$

* Chú ý $\epsilon_1 = \epsilon_0, \quad \epsilon_2 = \epsilon - j\sigma/\omega = \epsilon_0(\epsilon' - j 60\lambda\sigma)$

* Tùy vào quan hệ tương đối giữa ϵ' và $60\lambda\sigma$, đất có thể được coi là:

- Điện môi khi: $\epsilon' \gg 60\lambda\sigma$
- Bán dẫn khi: $\epsilon' \approx 60\lambda\sigma$
- Dẫn điện khi: $\epsilon' \ll 60\lambda\sigma$

* Khi đất là điện môi: - Hệ số phản xạ là đại lượng thực

- tồn tại góc khúc xạ toàn phần ($R_d=0$)

$$\sin\Delta_0 = 1/(\epsilon^2+1)^{1/2}$$

* Khi đất là bán dẫn:

- R_d : Phức

- Không tồn tại góc khúc xạ toàn phần

- Chỉ tồn tại góc ứng với $|R_d|$ cực tiểu

* Khi đất dẫn điện:

- Với hầu hết các góc Δ đều có $R_d = 1$ (trừ khi Δ quá bé). Có thể nói toàn bộ năng lượng đều được phản xạ trở lại từ mặt đất

- Khi $\Delta \ll$ có thể coi $R_d = -1$: biên độ sóng phản xạ và sóng tới bằng nhau, nhưng ngược pha.

2/ Sóng phân cực ngang:

$$\begin{aligned} R_{ng} &= (\epsilon_1^{1/2} \cos\theta - \epsilon_2^{1/2} \cos\psi) / (\epsilon_1^{1/2} \cos\theta + \epsilon_2^{1/2} \cos\psi) \\ &= |R_{ng}| \exp(-j\Phi_{ng}) \end{aligned}$$

* Khi đất là điện môi: - R_{ng} là thực

- $R_{ng} < 0$ với $\forall \Delta$

- Không có khúc xạ toàn phần

* Khi đất là bán dẫn: - R_{ng} là phức

* Khi đất dẫn điện:

$$R_{ng} = -1 \text{ với } \forall \Delta$$

CHƯƠNG II

TRUYỀN SÓNG VỚI ẢNH HƯỞNG CỦA MẶT ĐẤT

§2.1 ANTEN ĐỊNH XÚ TRÊN MẶT ĐẤT PHẪNG

- Xét 1 anten phát tại chiều cao h_1 và một anten thu ở chiều cao h_2 , cách nhau một khoảng d theo phương ngang (mặt đất phẳng). Gọi R_1 là khoảng cách truyền thẳng từ anten phát đến anten thu và R_2 là khoảng cách từ ảnh của anten phát qua mặt đất tới anten thu.

- Hiện tượng giao thoa của trường bức xạ tại anten thu phụ thuộc vào sự sai khác giữa R_1 và R_2

- Trường tạo theo hướng truyền thẳng sẽ tạo ra ở anten thu một điện áp tỷ lệ với số hạng sau:

Trong đó f_1 và f_2 là dạng cường độ trường bức xạ (còn gọi là kiểu bức xạ) của hai anten.

- Điện áp tạo bởi sóng phản xạ tỷ lệ với:

$$f_1(\theta_2) \cdot f_2(\theta_2') \cdot \rho \cdot \exp(j\varphi) \cdot \exp(-jk_0 R_2 / 4\pi R_2)$$

Trong đó $\rho \cdot \exp(j\varphi)$ là hệ số phản xạ tại mặt đất.

Thông thường $h_1, h_2 \ll d$ và do đó $\theta_1, \theta_1', \theta_2, \theta_2'$ rất nhỏ \rightarrow kiểu bức xạ của các anten có thể coi không đổi trong các khoảng góc nhỏ.

+ Trường hợp ngoại lệ: Khi dùng các anten định hướng cao và h_2 lớn (trên máy bay) khi đó phần công suất bức xạ về phía mặt đất sẽ rất thấp, tức là

$$f_1(\theta_2) \ll f_1(\theta_1)$$

và nếu coi như

$$1/R_1 \approx 1/R_2$$

thì điện áp nhận được tổng cộng sẽ tỷ lệ với:

$$|f_1(\theta_1) \cdot f_2(\theta_1') \exp(-jk_0 R_1 / 4\pi R_1)| \cdot F$$

Hệ số F được coi là path - gain - factor (độ lợi đường) chỉ ra sự khác biệt của trường tại anten thu so với khi không có phản xạ từ mặt đất.

+ trường hợp

$$f_1(\theta_2) \approx f_1(\theta_1) \quad \text{và} \quad f_2(\theta_2') \approx f_2(\theta_1')$$

$$\text{thì:} \quad F = |1 + \rho \cdot \exp[j\varphi - jk_0(R_2 - R_1)]|.$$

→ Độ lợi đường chính bằng hệ số mảng của mảng gồm anten ở chiều cao h_1 và ảnh của nó dưới mặt đất với dòng kích thích khác biệt một lượng tương đối $\rho \cdot \exp(j\varphi)$

Từ tính toán hình học đơn giản => khi $h_1, h_2 \ll d$:

$$R_2 - R_1 = 2h_1h_2/d$$

Khi $\rho \cdot \exp(j\varphi) = -1$ (đất dẫn điện lý tưởng):

$$F = 2|\sin(k_0h_1h_2/d)| \quad (2.3)$$

=> ảnh hưởng của giao thoa có thể làm tăng gấp đôi cường độ trường so với khi không có giao thoa.

Gọi ψ_0 là góc tính từ chân anten phát đến anten thu so với phương ngang, có thể viết lại:

$$F = 2|\sin(k_0h_1 \text{tg}\psi_0)| \quad \text{với} \quad \text{tg}\psi_0 = h_2/d \quad (2.4)$$

- Quan hệ (2,4) thường được vẽ thành giản đồ biểu thị sự thay đổi của F theo h_2 và d với h_1 và λ_0 cho trước dưới dạng h_1/λ_0

* F sẽ đạt cực đại khi:

$$\text{tg}\psi_0 = (1/k_0h_1)(\pi/2 + n\pi)$$

và cực tiểu khi:

$$\text{tg}\psi_0 = (\lambda_0/h_1)(n/2) \quad \text{với} \quad n = 0,1,2,\dots \quad (2.5)$$

* **Giản đồ phủ sóng (coverage diagram)**: Là đồ thị cường độ trường tương đối như là hàm của hướng bức xạ trong không gian từ anten phát (tương tự kiểu bức xạ của anten).

- Thông số cố định: λ_0, h_1

- Biến: h_2 và d, tạo ra mặt phẳng (d, h_2)

- Giản đồ phủ sóng là đồ thị của các đường cong:

$$F/r = \text{const.}$$

trong mặt phẳng (d, h_2) với r là khoảng cách từ anten phát tới anten thu $\approx d$.

- Các đường cong F/r khác nhau thường được chọn vẽ để thể hiện mức tín hiệu như nhau có thể thu được tại một khoảng cách bội hoặc phần của khoảng tham chiếu không gian tự do, chẳng hạn:

$$F/r = m/r_f \quad \text{hay} \quad F = mr/r_f \approx md/r_f \quad \text{với } m = 1, 2^{1/2}, 2 \dots \text{ hay } 2^{-1/2}, 1/2 \dots$$

- Mức tín hiệu giữa các đường cong kế tiếp sẽ chênh lệch 3dB và được tìm từ quan hệ (khi hệ số phản xạ = -1)

$$F = 2|\sin(k_0 h_1 h_2 / d)| = md/d_f \quad \text{với ký hiệu } r_f = d_f \quad (2.6.a)$$

Với mặt đất phẳng thì dùng (2.3) và (2.5) sẽ tiện hơn, khi đó:

$$2|\sin(k_0 h_1 \text{tg}\psi_0)| \approx 2|\sin(k_0 h_1 \psi_0)| = md/d_f \quad (2.6.b)$$

Với d được coi là bán kính và ψ_0 là góc cực trong hệ tọa độ cực.

+ Dạng điển hình của giản đồ phủ sóng:

- r_f : Khoảng cách tự do để thu được cường độ tín hiệu cho trước \Rightarrow khoảng cách tối đa để thu được cùng mức tín hiệu khi có giao thoa là $2r_f$ tương ứng với khoảng cách :

$$d = 2 r_f \cos\psi_0$$

Ví dụ: cho $r_f = 2 \text{ km} \Rightarrow$

- Bất kỳ cặp giá trị (h_2, d) trên đường cong mô tả búp sóng sẽ thể hiện một điểm trong không gian mà tại đó cường độ tín hiệu thu được giống với khoảng cách 2km trong không gian tự do

Ví dụ : Nếu chiều cao anten thu là 10m \rightarrow công suất tín hiệu thu được ở khoảng cách 3,2km sẽ giống với ở khoảng cách 2km dưới điều kiện truyền sóng tự do (không giao thoa).

- Búp sóng nhỏ hơn với $r_f = 1,4$ biểu thị mức tín hiệu 3dB lớn hơn búp sóng to, tương ứng với $m = 2^{1/2}$ trong phương trình (2.6.b)

- Khi ψ_0 nhỏ hơn rất nhiều so với cực đại đầu tiên thì từ (2.4) =>

$$F = 2k_0 h_1 h_2 / d$$

=> Điện áp tín hiệu thu được $\sim 1/d^2$ và giảm vùng phủ sóng.

* **Hệ số phản xạ đối với sóng TEM** được cho bởi công thức Fresnel, phụ thuộc vào dạng phân cực của sóng tới (đứng, ngang) độ dẫn điện của đất, độ điện thẩm (hằng số điện môi) tần số và góc tới. Nếu độ dẫn điện của đất là σ , hằng số điện môi

$$\epsilon = \kappa \epsilon_0$$

và ψ là góc giữa tia tới và đất thì sẽ có các công thức của hệ số phản xạ tại mặt đất cho các trường hợp:

+ Sóng phân cực đứng

+ Sóng phân cực ngang

Giá trị điển hình của κ là ≈ 15 , $\sigma = 10^{-3} \rightarrow 3 \times 10^{-2}$ (S/m), và 10^{-2} (S/m) cho đất đồng cỏ. Độ dẫn của đồi núi sẽ thấp hơn nhiều và $\kappa \approx 6-7$ với độ dẫn thấp và tăng khi độ dẫn tăng.

Khi điểm phản xạ ở trên bề mặt gồ ghề thì trường bị tán xạ theo kiểu khuếch tán $\rightarrow \rho$ giảm và \rightarrow xuất hiện tượng trễ pha của sóng phản xạ khi tới an ten thu.

* Ảnh hưởng của sự thay đổi chiết suất khí quyển:

- Chiết suất giảm theo chiều cao \rightarrow đường chuyển sóng sẽ bị bẻ cong.

- Để khảo sát, có thể chia khí quyển thành nhiều lớp với các giá trị chiết suất rời rạc cho mỗi lớp.

- Theo luật khúc xạ Snell thì đường truyền bị bẻ cong về phía nằm ngang.

- Để khảo sát hiệu ứng bẻ cong đường truyền, có thể coi sóng truyền qua mặt đất hình cầu và thay mặt đất phẳng bởi một mặt đất cầu có bán kính lớn hơn và tia truyền là thẳng trong từng lớp.

- Cần phải chọn một phân bố chiết suất chuẩn và thường được chọn sao cho sự thay đổi chiết suất tương ứng với tăng bán kính quả đất bởi hệ số 4/3

- Bán kính hiệu dụng của quả đất được chọn:

$$a_e = 5280 \text{ mi, hay } 8497 \text{ km.}$$

* Khoảng chân trời:

$$d_T = (2h_1 a_e)^{1/2}$$

hoặc khi d_T đo bằng mi, h đo bằng feet (ft):

$$d_T = (2h_{1(ft)})^{1/2}$$

khoảng cách giữa 2 anten:

$$d_M = (2h_{1(ft)})^{1/2} + (2h_{2(ft)})^{1/2} \quad (\text{mi})$$

§2.2 ANTEN ĐỊNH XÚ TRÊN MẶT ĐẤT HÌNH CẦU

- Xét các anten định xứ trên mặt cầu bán kính hiệu dụng a_e (tính tới sự thay đổi chiết suất) khi đó hệ số F trở thành:

$$F = \{(1 + D\rho)^2 - 4 D\rho \sin^2[(\varphi - k_0 \Delta R)/2]\}^{1/2}$$

Với D : Hệ số sai lệch biên độ tia

* Giản đồ phủ: Được vẽ dưới dạng đường cong với

$$h_2 = \text{const.}$$

có dạng Parabol .

- Nếu hệ số phản xạ = -1 thì độ lợi đường là:

$$\begin{aligned} F &= \{(1 + D\rho)^2 - 4 D\rho \cos^2[(k_0 \Delta R)/2]\}^{1/2} \\ &= \{(1 + D\rho)^2 - 4 D\rho \cos^2[(\pi/2)v\xi]\}^{1/2} \end{aligned}$$

với

$$\begin{aligned} v &= 4h_1^{3/2}/\lambda_0(2a_e)^{1/2} \\ &= h_1^{3/2}/1030\lambda_0 \quad \text{với } h_1, h_2 \text{ tính theo m} \end{aligned}$$

* Giản đồ phủ là đồ thị của phương trình:

$$F = \{(1 + D\rho)^2 - 4 D\rho \cos^2[(\pi/2)v\xi]\}^{1/2} = m/d_T$$

với $m = d_T/r_f$

- Khi hệ số phản xạ khác -1: D và ξ được tìm từ đồ thị các đường cong $D = \text{const.}$

với các trục là (h_2 / h_1) và d/d_T và đồ thị các đường cong $\xi = \text{const.}$

- Điều kiện có thể áp dụng các công thức đơn giản của giao thoa trên mặt đất phẳng:

$$2k_0 h_1 h_2 / d - \pi v \xi < 0, 1\pi$$

Sau đó vẽ các giản đồ với

$$v = \text{const.}$$

và chọn vùng bên trái các đường cong này

*** Ứng dụng của giản đồ phủ và công thức giao thoa:**

Ví dụ 1 (Hệ thống Rada): Một Radar có chiều cao anten là $h_1 = 15\text{m}$, theo rồi máy bay đến đang ở chiều cao $300\text{m} = h_2$ bước sóng làm việc $\lambda = 10\text{cm}$, Rada dùng sóng phân cực ngang để có hệ số phản xạ $= -1$. Xác định các vùng máy bay có thể được quan sát, khi khoảng quan sát cực đại trong không gian tự do của Radar là 40km .

Giải : Dựa vào đồ thị mức tín hiệu thu tương đối, phụ thuộc d/d_T .

$$v = 0,564$$

→ có thể dùng giản đồ $v = 0,5$ (ứng với $h_1 = 13,85$)

- Khoảng chân trời $d_T 15,96 \text{ km}$

=> khoảng tự do cực đại $40\text{km} = 2,5d_T$

- Công suất sóng tới mục tiêu $\sim F^2$, công suất từ mục tiêu về lại radar cũng $\sim F^2$
=> công suất thu ở radar $\sim F^4$.

=> công suất tín hiệu giữa các búp sóng lân cận trên giản đồ thay đổi 6dB (nếu công suất thu $\sim r^4$, => sự thay đổi $2^{1/2}r$ sẽ thay đổi 6dB mức tín hiệu).

Giả sử mức tín hiệu thu được S_0 tương ứng với búp sóng có nhãn 2 trên giản đồ

Đi dọc theo đường $h_2/h_1 = 300/15 = 20$ sẽ giao với búp 2,8 tại $d \approx 4d_T$ với mức tín hiệu 6dB thấp hơn S_0 và tại $d \approx 3,6$ giao búp 2 với mức thiệu S_0

Khi mục tiêu tiếp lại gần búp 2,8 và 4 giao tại $d = 3,3$ và $3,2 d_T$.

Tại $d = 2,85 ; 2,8 , 2,7$ và $2,55$ tín hiệu thay đổi từ 12dB dưới mức $S_0 \rightarrow 6\text{dB} \rightarrow S_0 \rightarrow 6\text{dB} > S_0$ khi mục tiêu qua búp giao thoa thứ hai

- Mức tín hiệu cực đại xảy ra tại $2,45d_T$ ($8\text{dB} > S$)

Vì khoảng tự do tối đa là $2,5d_T$ và vì S_0 tương ứng với $2 d_T$ nên mức tín hiệu tối thiểu có thể thu được là

$$S_m = 0,415S_0$$

Các khoảng có thể quan sát được mục tiêu ở trên đường S_m

\Rightarrow tồn tại các vùng mù (không quan sát được) và khi mục tiêu tiến sát đến radar, mức tín hiệu thay đổi nhanh hơn và đạt các giá trị cực đại lớn hơn.

Khi mục tiêu tiến đến khoảng cách sao cho góc tiếp đất của tia phản xạ cỡ một số độ, thì độ rộng tia hữu hạn của anten radar (có thể $<5^\circ$) sẽ ngăn cản tia bức xạ tới mặt đất \rightarrow ảnh hưởng của giao thoa biến mất và mức tín hiệu tăng đơn điệu theo d^{-4} như trong không gian tự do.

* Nếu dùng công thức của mặt đất phẳng thì:

$$\operatorname{tg}\psi = (h_2 + h_1)/d$$

Giả thiết anten radar luôn hướng về mục tiêu và độ lợi của anten giảm 10dB với góc lệch 6° so với hướng trục (hướng bức xạ cực đại \rightarrow mục tiêu) và giả thiết tia tới mặt đất có biên độ giảm $\sqrt{10}$ lần thì có thể bỏ qua ảnh hưởng giao thoa.

Giải phương trình góc sẽ cho ra $d = 5,72 \text{ km} = 0,36 d_T \rightarrow$ mục tiêu phải rất gần radar mới có thể bỏ qua ảnh hưởng của giao thoa.

Ví dụ 2 (FM communication link): Một trạm phát FM có anten phát ở chiều cao $h_2 = 80\text{m}$, độ lợi anten là 5, công suất phát là 500W, anten thu ở độ cao $h_1 = 10\text{m}$ tần số hoạt động 100MHz, tìm cường độ trường theo tại khoảng cách 8,1mi từ trạm phát

Ví dụ 3 (microwave communication link): Anten phát của các trạm Viba có chiều cao 35m, $\lambda = 10\text{cm}$. Tìm khoảng cách cực đại để công suất tín hiệu không thấp hơn giá trị trong không gian tự do

Ví dụ 4 (microwave communication link with unequal tower heights): Tương tự ví dụ 3, nhưng $h_2 = 50\text{m}$, tìm F với $d = 50\text{km}$.

§2.3 TRƯỜNG TRONG VÙNG NHIỄU XẠ :

- Theo nguyên lý quang hình thì trường bên dưới tia nhìn thẳng hay tia tiếp tuyến bằng Zero. Tuy nhiên do các hiệu ứng nhiễu xạ, trường bức xạ sẽ xuyên qua vùng tối bên dưới tia tiếp tuyến.

- Mặc dầu cường độ trường suy giảm nhanh khi điểm quan sát đi sâu vào vùng tối, tuy nhiên vẫn có thể tạo ra tín hiệu hữu ích.

- Khi điểm quan sát đi vào vùng tối đủ sâu thì sẽ có biểu thức đơn giản để tìm độ lợi đường F, bằng cách tìm các giá trị của d/d_T tương ứng với cực đại đầu tiên với:

$$\pi v \xi / 2 = \pi / 2 \quad F = 1 + D$$

và
$$\pi v \xi / 2 = \pi / 4 \quad F = (1 + D^2)^{1/2}$$

thì nối những điểm này bằng một đường cong qua nhiều giá trị F xác định với các giá trị của d/d_T trong vùng nhiễu xạ (vùng tối)

§2.4 TỶ SỐ HAO DO NHIỄU XẠ KHI CÓ VẬT CẢN

- Gọi h_c : Khoảng cách từ bờ vật cản đến tia nhìn thẳng (gọi là khoảng trống)

- Khi $h_c = 0$ sẽ có tổn hao 6dB so với truyền sóng trong không gian tự do.

- Giả sử phản xạ gương đóng góp không đáng kể vào trường thu được ở an ten thu, phản xạ bờ đóng vai trò chủ yếu.

Trường nhiễu xạ: Trường đến nơi thu có thể biểu diễn dưới dạng trường bức xạ từ một mặt mở S so với khi không có bờ của vật chắn. Tỷ số giữa hai trường là tổn hao nhiễu xạ. Trường đến mặt S có dạng sóng cầu với hệ số lan truyền

$$\exp(-jk_0 R_1) \text{ tại điểm O.}$$

Tại điểm Q cách O một khoảng ρ , hệ số truyền là

$$\exp(-jk_0 R_2)$$

với
$$R_2 = (R_1^2 + \rho^2)^{1/2}$$

Nếu
$$R_1 \gg \rho$$

=>
$$R_2 = R_1 + \rho^2 / 2R_1$$

Vậy trên mặt S hệ số truyền sóng ứng với ρ là:

$$\exp(-jk_0 R_1 - jk_0 \rho^2 / 2R_1)$$

Biên độ trường ứng với ρ sẽ suy giảm theo hàm Gauss:

$$\exp(-\rho^2 / \alpha^2)$$

Khi đó điện trường trên mặt S là:

$$\mathbf{E}_i = \mathbf{a}_y (E_0 / R_1) \exp(-\rho^2 / \alpha^2) \exp(-jk_0 R_1 - jk_0 \rho^2 / 2R_1),$$

giả thiết sóng tới phân cực dọc theo trục y của hệ tọa độ xyz gốc ở O.

- Cường độ trường của sóng đến tại anten thu được xem như bức xạ từ mặt S. Mặt S được coi như một mặt miệng bức xạ, có cường độ trường được xác định bởi biến đổi Fourier ngược của hàm $\mathbf{f}(k_x, k_y)$

- Tại anten thu, \mathbf{r} gần // với trục z, do đó chỉ có các sóng có thành phần \mathbf{k}_t gần zero mới có thể tới anten thu.

=> cường độ điện trường:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = (jk_0 E_0 \mathbf{a}_y / 2\pi z R_1) \exp[-jk_0(z + R_1)] (\pi/a)^{1/2} \int_{-h_c}^{\infty} e^{-ay^2} dy_1 \quad (8)$$

- Tỷ số tích phân theo y_1 khi có mặt vật cản với trường hợp không có vật cản được gọi là tổn hao nhiễu xạ.

- Khi đó độ lợi đường do nhiễu xạ là:

$$F_d = (\pi/a)^{1/2} \left| \int_{-h_c}^{\infty} e^{-ay^2} dy_1 \right|$$

- Khi $h_c = 0$,

$$F_d = 2^{1/2} / 2 \left| \int_{-H_c}^{\infty} e^{-j\pi u^2} du \right| \quad (10)$$

(10) là tích phân Fresnel, $H_c = (2a/j\pi)^{1/2} h_c$

- Nếu anten phát có độ lợi sao cho bán kính chùm tia hiệu dụng α đủ lớn thì

$$H_c \approx (2d/\lambda_0 d_1 d_2)^{1/2} h_c$$

và tổn hao có thể bỏ qua với $H_c > 0,8$.

- Nếu độ rộng tia giữa những điểm có biên độ trường giảm 2 lần so với giá trị trên trục là θ_A , thì

$$\alpha \approx d_1 \operatorname{tg} \theta_A$$

để thỏa mãn điều kiện

$$1/\alpha^2 \ll 2d/\lambda_0 d_1 d_2$$

cần phải có

$$d_1^2 \operatorname{tg}^2 \theta_A \gg \lambda_0 d_1 d_2 / 2d$$

- Trong đa số các kênh thông tin $d \ll \lambda_0$ do đó điều kiện trên được thỏa mãn và F có thể xác định từ (8).

- Đối với vật cản là đồi núi, khoảng trống h_c cần chọn để đảm bảo độ an toàn chống Fading do khúc xạ.

- Ở điều kiện khí quyển bình thường, h_c được xác định bằng cách vẽ đường truyền trên mặt đất có bán kính hiệu dụng bằng 4/3 bán kính thực.

- Trong một số trường hợp hệ số khúc xạ có thể tăng theo chiều cao \rightarrow các tia sóng sẽ bẻ cong về phía trên và làm giảm khoảng trống hiệu dụng.

CHƯƠNG III TRUYỀN SÓNG MẶT

§ 3.1 Giới thiệu

- Khi các anten định xứ gần hoặc trên mặt đất, sóng không gian (Space wave) biến mất do trường phản xạ triệt tiêu tia trực tiếp → trường thu được ở anten thu sẽ do trường sóng mặt (Surface wave)

- Truyền sóng theo sóng mặt là mode truyền chủ yếu ở dải tần từ vài kHz đến vài chục MHz.

- Suy hao công suất tín hiệu gần như tỷ lệ nghịch với R^4 .

- Anten thường có dạng tháp cao, công suất từ 10kw đến 1Mw và phạm vi truyền sóng cỡ hàng trăm dặm. Trong chương này sẽ đưa ra lời giải giải tích cho bức xạ từ các dipole đặt vuông góc trên mặt đất phẳng có tổn hao, từ đó xác định đóng góp của sóng không gian và sóng mặt .

- Hàm suy hao sóng mặt sẽ được biểu diễn dưới dạng đồ thị .

- Các ví dụ về đánh giá kênh thông tin sẽ minh họa cho bài toán thiết kế tuyến: tính toán các mức công suất, khoảng cách truyền và các mức tín hiệu.

§3.2 SÓNG MẶT TỪ PHẦN TỬ DÒNG

- Xét phần tử dòng định hướng theo trục z, có cường độ đơn vị (để đơn giản cho tính toán), định xứ ở độ cao h trên mặt đất.

- Mặt đất được đặc trưng bởi hằng số điện môi phức.

$$\kappa = \kappa' - j\kappa'' = \kappa' - j\sigma / \omega\epsilon_0$$

- Có thể xem phần tử dòng là nguồn điểm, có mật độ dòng:

$$\mathbf{J} = \mathbf{a}_z \delta_{(x)} \delta_{(y)} \delta_{(z-h)} \quad (1)$$

- Từ phương trình Helmholtz \rightarrow thành phần $A_z = \psi$ trong không khí và $A_z = \psi_3$ dưới mặt đất thỏa mãn các phương trình sau:

$$\nabla^2 \psi + k_0^2 \psi = -\mu_0 J \quad \text{với } z > 0 \quad (2a)$$

$$\nabla^2 \psi_3 + \kappa k_0^2 \psi = 0 \quad \text{với } z < 0 \quad (2b)$$

trong đó $k_0^2 = \epsilon_0 \mu_0$

- Lời giải của hệ (2) có thể tìm nhờ biến đổi Fourier cho ψ và ψ_3 theo các biến x, y tương ứng với β_x, β_y . Với

$$\beta_x^2 + \beta_y^2 = \beta^2$$

- Biến đổi Fourier hệ (2) \rightarrow :

$$(\partial^2 / \partial z^2 + k_0^2 - \beta^2) \hat{\psi}_{(\beta_x, \beta_y, z)} = -(\mu_0 / 4\pi) \delta_{(z-h)} \quad z > 0$$

$$(\partial^2 / \partial z^2 + k^2 - \beta^2) \hat{\psi}_3_{(\beta_x, \beta_y, z)} = 0 \quad z < 0$$

- Từ điều kiện liên tục của các thành phần tiếp tuyến tại $z = 0$, (5)

có thể chọn:

$$\hat{\psi} = \hat{\psi}_1 = A \exp[-\gamma_0(z-h)], \quad \text{với } z > h \quad (6)$$

$$\hat{\psi} = \hat{\psi}_2 = A[\exp(\gamma_0 z) - \Gamma_v \exp(-\gamma_0 z)] / \{\exp(\gamma_0 h)[1 - \Gamma_v \exp(-2\gamma_0 h)]\}, \quad z < h$$

(6) là tổng của sóng xuống và lên với các hằng số A và hệ số phản xạ Γ_v cần chọn sao cho:

$$\hat{\psi}_1 = \hat{\psi}_2 \quad \text{tại } z = h$$

- Với $z < 0$ thì $A_z = \hat{\psi}_3$ và chọn $\hat{\psi}_3$ sao cho

$$\hat{\psi}_3 = \hat{\psi}_2 \quad \text{tại } z = 0,$$

$$\rightarrow \hat{\psi}_3 = A(1 - \Gamma_v) \exp(\gamma z) / \exp(\gamma_0 h)[1 - \Gamma_v \exp(-2\gamma_0 h)],$$

$$\text{với } \gamma^2 = \beta^2 - k^2 \quad (7)$$

- Ngoài ra còn điều kiện biên tại $z = h$

$$(\partial \psi / \partial z)|_{h^+} = -\mu_0 / 4\pi^2 \quad (8)$$

$$\text{- Từ (5) và (8) } \rightarrow A \text{ và } \Gamma_v \quad (9)$$

Với $z > h$

ψ có dạng phổ của các sóng phẳng bức xạ trực tiếp từ nguồn cộng với các sóng phẳng phản xạ từ bề mặt (coi như xuất phát từ ảnh $-h$), Γ_v được gọi là hệ số phản xạ Fresnel.

- Với $\Gamma_v = 0$

$$\psi_1 = (\mu_0 / 4\pi) \exp\{-jk_0[(\rho^2 + (z-h)^2)^{1/2}]\}$$

- Với độ dẫn điện rất lớn $\rightarrow \kappa \rightarrow \infty$

$$\psi_1 = (\mu_0 / 4\pi) [\exp(-jk_0 R_1) / R_1 + \exp(-jk_0 R_2) / R_2]$$

trong đó $R_1 = [(\rho^2 + (z-h)^2)^{1/2}]$, $R_2 = [(\rho^2 + (z+h)^2)^{1/2}]$

- Có thể viết lại ψ_1 dùng hàm Hankel

$$\psi_1 = (\mu_0 / 4\pi) [\exp(-jk_0 R_1) / R_1 + \exp(-jk_0 R_2) / R_2 + 2\kappa I]$$

trong đó $I = \int_{-\infty}^{+\infty} [w H_0^2(w\rho) \exp(-\gamma_0(z+h)) / 2(\gamma + \kappa\gamma_0)] dw$

với H_0 là hàm Henkel loại 2, và $w^2 = \beta_x^2 + \beta_y^2$

- Khi $\gamma + \kappa\gamma_0 = 0$ thì sóng có dạng sóng mặt Zenneck

- Với khoảng chân trời ρ rất lớn và $z = 0$ thì:

$$\psi_s = C \exp(-jk\rho(\kappa + 1)) / \rho^{1/2}, \text{ với } C = \text{const.}$$

- Trên bề mặt $z = 0 \rightarrow R_1 = R_2 \rightarrow$ sóng không gian biến mất và thành phần E_z có dạng:

$$E_z = j\omega A_z = (jk_0 Z_0 / 4\pi R) [\exp(-jk_0 R)] [2(\kappa-1) / \kappa] A_s \quad (17)$$

với $R_1 = R_2 = R$, $A_s = 1 - j(\pi\Omega)^{1/2} \exp(-\Omega) \text{erfc}(j\Omega^{1/2})$

$$\Omega = -jk_0 R(\kappa-1) / 2\kappa^2$$

và hàm $\text{erfc}(j\Omega^{1/2})$ là phần bù của hàm lỗi

$$\text{erfc}(j\Omega^{1/2}) = (2/\Omega^{1/2}) \int_{j\Omega^{1/2}}^{\infty} \exp(-u^2) du$$

Vậy cường độ trường khác với trong không gian tự do ở hệ số

$$2A_s(\kappa-1) / \kappa \approx 2A_s \text{ vì } \kappa \text{ thường } > 10$$

- Nói chung, A_s giảm nhanh khi tăng Ω ở trên một giá trị xác định.

- Khi $R \rightarrow 0$ thì $A_s \rightarrow 1$ và giữ ở giá trị 1 cho đến khi R lớn hơn vài bước sóng.

Thường biểu diễn:

$$\Omega = -jk_0d(\kappa-1)/2\kappa^2 = p \exp(-jb)$$

với $p = |\Omega|$ gọi là khoảng cách số, d : khoảng cách ngang

- Vì $\kappa \gg 1$ nên, gần đúng:

$$p \approx k_0d/2|\kappa| = k_0d/2[(\kappa'^2 + (\sigma\omega\epsilon_0)^2)^{1/2}]$$

và $b \approx \text{tg}^{-1}(\kappa'\omega\epsilon_0/\sigma)$

với $\sigma/\omega\epsilon_0 = 1,8 \times 10^4 \sigma / f(\text{MHz})$

- Các giá trị tiêu biểu của mặt đất: $\sigma = 10^{-3} - 10^{-2} (\text{S/m})$

$$\kappa' = 10 - 15 \quad (\text{dẫn điện})$$

+ p tăng nhanh theo tần số \rightarrow với d cho trước, suy hao tăng nhanh theo tần số do khoảng cách số p tăng nhanh.

- Khi $p = 500 \rightarrow$ suy hao là 60 dB

$p = 50 \rightarrow$ suy hao là 40 dB

- Với $b < 90^\circ$, hệ số suy giảm $|A_s|$ có thể coi xấp xỉ:

$$|A_s| = (2 + 0,3p)/(2 + p + 0,6p^2) - (p/2)^{1/2} \exp(-0,6p) \sin b$$

* Sóng mặt suy giảm theo (17) chỉ khi mặt đất phẳng.

- Với khoảng cách $\leq 50 \text{ mi}/f_{\text{MHz}}^{1/3}$ công thức (17) còn dùng được cho mặt cầu.

- Ngoài khoảng cách này sóng mặt suy giảm nhanh hơn nhiều trên mặt cầu so với mặt đất phẳng.

- Khoảng cách trên sẽ giảm xuống giá trị 10 mi ở tần số 100MHz

* Ở vùng đô thị do nhiễu mạnh nên cường độ ở anten thu phải cỡ từ 1 \rightarrow 10 mV /m để bảo đảm tỷ số (S/N) .

* Với anten định xứ rất gần mặt đất, trường sóng mặt sẽ bằng $2A_s$ x trường tự do.

§3.3 HỆ THỐNG PHÁT THANH AM

- Xét hệ thống phát thanh AM ở tần số 1MHz. Anten thu có dạng vòng nhỏ ở mạch vào ở máy thu:

- Diện tích hiệu dụng của anten khi phối hợp trở kháng và phối hợp phân cực là:

$$A_e = (\lambda_0^2/4\pi)G \quad \text{với } G \text{ là độ lợi}$$

- Nếu trở thuần của cuộn dây là r , điện trở bức xạ là R_a thì hiệu suất của anten là:

$$\eta = R_a / (R_a + r)$$

- Điện trở bức xạ cho bởi:

$$R_a = k_0^4 Z_0 N^2 A^2 / 6\pi \quad \text{với } A \text{ là diện tích vòng dây, } N: \text{ số vòng dây.}$$

- Độ lợi $G = 1,5 \eta \rightarrow$ Công suất thu:

$$P_r = A_e P_{inc} = [k_0^2 Z_0 N^2 A^2 / 4(r + R_a)] P_{inc}$$

với P_{inc} là mật độ công suất sóng đến trên đơn vị diện tích

*Giả sử: r ở nhiệt độ môi trường $T_0 = 300^\circ\text{K}$

R_a ở nhiệt độ nhiễu của anten T_A

Công suất nhiễu: $P_n = 4kTR\Delta f$

- Nếu máy thu có đặc trưng nhiễu là F thì nhiễu vào phụ thêm tương đương nhận được bởi việc tăng nhiệt độ của $r + R_a$ một lượng $(F-1)T_0$.

- Khi tải phối hợp trở kháng: $R_L = R_a + r$

thì \rightarrow vẽ được sơ đồ tương đương thevenin của anten.

\Rightarrow Công suất nhiễu tổng cộng đặt trên tải R_L

\Rightarrow Tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở máy thu

- **Ví dụ:** Với $N = 200$; $A = 50 \text{ cm}^2$; $L = 200 \mu\text{H}$; hệ số phẩm chất $Q = 100$;

$\Delta f = 10 \text{ kHz}$, tính công suất sóng tới cần thiết để có tỷ số $(S/N) = 100$. Tính công suất phát cần thiết nếu giả thiết anten phát có độ lợi $= 1$, tần số làm việc 1 MHz , đất dẫn điện tốt và cho đồ thị của $|A_s|$ theo khoảng cách số p .

§3.4 KÊNH THÔNG TIN TRONG DẢI DÂN DỤNG

+ Đánh giá hệ thống hoạt động ở tần số 27 MHz trong môi trường thôn quê .

+ Giả thiết cả anten phát và thu đều ở trên các xe car và phương thức truyền sóng giữa hai anten là sóng mặt với các thông số như sau

-Công suất phát =5W

-Độ lợi anten =1

-Đặc trưng nhiễu thu $F=4$

-Độ rộng băng thu =5kHz

-Hằng số điện môi của đất $\kappa'=12$

-Độ dẫn điện của đất $\delta =5 \times 10^{-3} \frac{S}{m}$

-Nhiệt độ nhiễu trung bình của anten là 10^4 °K

- Từ giả thiết \rightarrow Khoảng cách số:

$$p = 0,25d/\lambda_0$$

*Khoảng cách cực đại có thể dùng công thức cho mặt đất phẳng là

$$50/f^{1/3}_{(MHz)} = 16,7 \text{ mi}$$

khi đó $p = 601 \text{ m}$

- Do $p \gg 1$ nên:

$$|A_s| \approx 8.83 \times 10^{-4}$$

- Công suất thu là:

$$P_{\text{rec}} = 1,5 \times 10^{-14} \text{ W}$$

*Công suất nhiễu tại đầu vào anten thu là:

$$P_n = 7,52 \times 10^{-16} \text{ W}$$

\rightarrow công suất nhiễu rất nhỏ hơn công suất thu $(S/N) = 20,2$

\rightarrow khoảng cách thông tin 16,7 miles là hoàn toàn khả thi.

*Ngoài khoảng cách 16,7mi, ảnh hưởng của mặt đất cầu sẽ làm công suất thu giảm rất nhanh \rightarrow cần dùng các anten cao hơn.

*Sự suy giảm của sóng mặt phân cực ngang:

- Hệ số suy hao sóng mặt phân cực ngang là:

$$|[1/(\kappa' - j\sigma/\omega\epsilon_0)]^2 A_{s(p)}|$$

với khoảng cách số cho bởi:

$$p = (\pi d/\lambda_0) 1,8 \times 10^4 \sigma/f_{\text{MHz}} \cos b$$

$$\text{tg} b = (\kappa' - 1) / (\sigma/\omega\epsilon_0)$$

=> khoảng cách số với sóng phân cực ngang lớn hơn nhiều so với sóng phân cực đứng ở tần số thấp, do đó sóng phân cực ngang không sử dụng cho sóng mặt.

$$\text{(với sóng phân cực đứng } p = \frac{k_0 d}{2} \frac{\omega \epsilon_0}{\delta} \text{)}$$

CHƯƠNG IV TRUYỀN SÓNG NHỜ TẦNG ĐIỆN LY

§ 4.1 GIỚI THIỆU

* Tầng điện ly là phần khí quyển bị ion hoá (chủ yếu do bức xạ mặt trời). Ban ngày tầng điện ly tồn tại ở khoảng từ 90 → 1000km trên mặt đất. Mật độ điện tích từ 10^{10} 10^{12} e^-/m^3 chia chủ yếu thành 3 lớp với mật độ e^- cực trị : D, E, F.

- Vào ban ngày, lớp F chia thành 2 lớp F_1, F_2

* Tầng điện ly phản xạ sóng vô tuyến có tần số $3 \rightarrow \leq 40$ MHz cho phép thiết lập kênh thông tin vô tuyến qua khoảng cách hàng ngàn miles

* Hằng số điện môi hiệu dụng phụ thuộc vào tần số và nồng độ phân tử → không ổn định → Fading → khắc phục nhờ phân tập không gian hoặc phân tập tần số

§ 4.2 HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA KHÍ ION HOÁ

- Trong khí ion hoá, chỉ có chuyển động của các điện tử là quan trọng dưới tác động của điện trường cao tần (vì khối lượng ion lớn hơn 1800 lần so với điện tử)

- Phương trình chuyển động của điện tử có khối lượng m , điện tích $-e$ với vận tốc \vec{v} dưới tác dụng của cường độ điện trường \vec{E} là

$$m d\vec{v}/dt = -e\mathbf{E} \quad (4.1)$$

- Với sóng sin → $j\omega m \vec{v} = -e\mathbf{E}$

- Mật độ dòng điện:

$$\mathbf{J} = -eN\vec{v} = (Ne^2/j\omega m)\mathbf{E} \quad (4.2)$$

- Thay vào phương trình Maxwell =>

$$\text{rot } \mathbf{H} = j\omega\epsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{J} = j\omega\epsilon_0(1 - Ne^2/m\omega^2\epsilon_0)\mathbf{E} \quad (4.3)$$

=> hằng số điện môi hiệu dụng của khí ion hóa là:

$$\kappa = 1 - Ne^2/m\omega^2\epsilon_0 = 1 - \omega_p^2/\omega^2$$

với $\omega_p = (Ne^2/m\epsilon_0)^{1/2}$ là tần số plasma

* Ở độ cao thấp hơn, khi tính đến va chạm với các phân tử trung hoà và các ion, phương trình (4.1) cần thêm số hạng lực hãm do va chạm : $-vm\vec{v}$ vào vế phải, với v là tần số va chạm.

- Khi đó hằng số điện môi có hiệu dụng κ có dạng phức:

$$\kappa = 1 - \omega_p^2 / \omega (\omega - j\nu) \quad (4.5)$$

=> sự va chạm gây hấp thụ mạnh ở tần số thấp hoặc $\approx \nu$

- Từ (4.4) =>

$$+ \text{ Khi } \omega > \omega_p \quad \rightarrow \kappa < 1$$

$$+ \text{ Khi } \omega = \omega_p \quad \rightarrow \kappa = 0$$

$$+ \text{ Khi } \omega < \omega_p \quad \rightarrow \kappa < 0$$

* Các sóng phẳng lan truyền trong khí ion hoá sẽ có hằng số truyền sóng:

$$k = \omega(\mu_0\kappa\epsilon_0)^{1/2} = \kappa^{1/2}k_0$$

=> khi $\omega < \omega_p$, $k \rightarrow$ thuần ảo khi $\nu=0 \rightarrow$ sóng phẳng sẽ suy hao theo hàm mũ với khoảng cách.

* Xét sóng phẳng đến vuông góc với tầng điện ly, do nồng độ điện tử N tăng theo chiều cao nên đến một độ cao nhất định $\kappa = 0$, sự truyền sóng sẽ dừng và sóng phản xạ trở lại mặt đất (chú ý $\omega_p = \sqrt{Ne^2 / m\epsilon_0}$ và lúc đầu $\omega_p < \omega$)

* Khi sóng đến nghiêng một góc ψ_i , N tăng theo chiều cao và κ giảm \rightarrow tia tới bị bẻ cong và quay trở về mặt đất khi chiều cao thoả mãn điều kiện

$$\kappa = \sin^2 \psi_i$$

- Có thể giải thích hiện tượng theo mô hình phân lớp và định luật khúc xạ Snell

=> - Khi cho trước góc tới ψ_i điểm phản xạ sẽ cao hơn khi tần số tăng.

- Khi cho trước giá trị cực đại của nồng độ điện tử thì giá trị cực đại của ψ_i có thể gây ra sự quay ngược của sóng sẽ giảm khi tăng tần số ω , do đó tồn tại giới hạn trên của tần số để sóng có thể quay về.

$$N_{\text{tới hạn}} = f^2 \cos^2 \psi_i / 81$$

- Ví dụ: nếu $\psi_i = \pi/4$, $N = 2 \times 10^{10}/\text{m}^3$, $\Rightarrow f_{\text{max}} = 1,8 \text{ MHz}$

- Nếu N cho trước thì:

$$\kappa = 1 - 81N/f^2$$

=> Nếu sóng tới vuông góc thì sẽ quay ngược nếu N đạt tới giá trị sao cho $\kappa = 0$.

- Khi đó tần số giới hạn cho bởi:

$$f_c = 9N_{\max}^{1/2}$$

- Khi đó có thể viết lại:

$$f = f_c \sec \psi_i = 9N_{\max}^{1/2} \sec \psi_i \quad (4.8)$$

- Giá trị f xác định theo (4.8) được gọi là tần số khả dụng cực đại MUF (Maximum Usable Frequency) khi $\sec \psi_i$ có giá trị cực đại (thường ≤ 40 MHz). Khi hoạt năng của mặt trời thấp thì giới hạn trên của tần số là từ 25 -30 MHz

* **Virtual height:** độ cao của điểm giao ngoại suy của tia tới và tia quay về của 1 lớp trong tầng điện ly.

- Lớp F₂: từ 250-400 km

- Lớp F₁: từ 200-250 km

- Lớp F ban đêm ≈ 300 km

- Lớp E ≈ 110 km

* Skip distance:

$$d = 2(2a_e h')^{1/2}$$

với h' là chiều cao ảo.

- Góc tới cực đại tương ứng ψ_i được cho bởi:

$$\cotg \psi_i = h'/(d/2) = 2h'/d$$

- Nếu nồng độ e⁻ là 10¹²/m³ → f_c = 9 MHz và f_{max} = 32,4 MHz

→ nếu dùng h' = 300 km (phản xạ từ lớp F₂) => d_{max} = 2500 mi, và d_{max} = 2500 mi nếu phản xạ từ lớp E.

- Để có d < d_{max} → giảm ψ_i → f giảm.

§ 4.3 CÁC THÔNG SỐ ĐƯỜNG TRUYỀN

* Để xác định các thông số của đường truyền sóng nhờ tầng điện ly cần biết quan hệ khoảng cách bước d , chiều cao ảo h' và góc tới ψ_i .

Góc tính từ tâm quả đất qua điểm phát và điểm quay về:

$$\theta = d/2a_e \quad (4.10)$$

với $a_e = 5280$ mi hay 8497 km

Theo luật sin trong tam giác =>

$$(1 + h'/a_e - \cos\theta)\operatorname{cosec}\theta = \cotg\psi_i \quad (4.11)$$

$$\text{Góc ngẩng} = \pi/2 - \theta - \psi_i \quad (4.12)$$

* Ví dụ: Xác định góc bức xạ và tần số cho trạm vô tuyến sóng ngắn.

- Giả sử trạm sóng ngắn được thiết lập để phủ sóng ở khoảng cách 4200 mi (6760 km).

- Chiều cao phản xạ h' cho bước đơn là:

$$h'_{(ft)} = d^2/8 = 670 \text{ km}$$

- Vì $h' >$ chiều cao của tầng ion, do đó cần truyền qua 2 bước, mỗi bước 2100 mi \rightarrow $h' = 167,5$ km \rightarrow dùng phản xạ từ lớp F_1 và F_2 và tia bức xạ có góc ngẩng khác 0.

- Giả thiết chiều cao ảo là 300 km

- Từ hệ (4.10) và (4.11) $\Rightarrow \psi_i = 74,44^\circ$

$$\text{góc ngẩng} = 4,16^\circ$$

\rightarrow anten phát cần có hướng bức xạ cực đại làm 1 góc 4.16° so với mặt đất

- Lớp F với điều kiện ban ngày có $N = 5 \times 10^{11}/\text{m}^3 \rightarrow$ tần số giới hạn $f_c = 6,36$ MHz

\rightarrow tần số khả dụng cực đại:

$$f_{\max} = 11,06 \text{ MHz}$$

\rightarrow hoạt động trong dải SW – 31m ($9,2 - 9,7$ MHz) có thể chấp nhận được.

* Trong thực tế cần chú ý sự khác biệt về thời gian (giờ địa phương) giữa 2 điểm phản xạ và thời gian trong năm. Nói chung, căn cứ vào số liệu thống kê để thay đổi

tần số hoạt động theo thời gian trong ngày. Tần số khả dĩ cao nhất cần làm tối thiểu hoá suy hao và cần chọn $< 15\%$ dưới mức tần số khả dụng cực đại.

§ 4.4 ẢNH HƯỞNG CỦA TỪ TRƯỜNG TRÁI ĐẤT

- Ảnh hưởng của từ trường có thể bỏ qua ở tần số trên 10 MHz, nhưng cần được tính đến khi tần số nhỏ hơn 5 MHz.

- Từ trường làm cho tầng ion trở nên bất đẳng hướng và hằng số điện môi phải được biểu diễn dưới dạng ma trận.

- Có 2 mode truyền sóng khác nhau: thường và dị thường. Sóng phẳng đến tầng ion sẽ tách thành 2 mode truyền và khi ra khỏi tầng ion chúng sẽ tái hợp trở lại thành 1 mode đơn. Tuy nhiên mặt phân cực thường bị thay đổi, gọi là hiện tượng quay Faraday.

- hiện tượng quay Faraday gây tổn hao công suất tín hiệu tại anten thu do mất phối hợp phân cực.

- Một điện tử tự do chuyển động với vận tốc \mathbf{v} sẽ quay hay chuyển động trên 1 quỹ đạo tròn dưới tác dụng của từ trường tĩnh \mathbf{B}_0 với tần số góc:

$$\omega_c = eB_0/m \quad (1)$$

Từ trường trái đất $\approx 5 \times 10^{-5} \text{ Wb/m}^2 \rightarrow \omega_c \approx 8,83 \times 10^6$ và $f_c \approx 1,4 \text{ MHz}$

- Từ lực Lorentz và quan hệ $\mathbf{H} \sim Y_0 \mathbf{E} \rightarrow$ bỏ qua lực tác dụng của \mathbf{H} so với \mathbf{E} .

Nếu tính tới cả lực hãm do va chạm thì mật độ dòng điện tử là:

$$(j\omega + \nu)\mathbf{J} + \omega_c \mathbf{J} \times \mathbf{a}_z = \omega_p^2 \epsilon_0 \mathbf{E}$$

=> Sự có mặt của từ trường làm cho độ dẫn điện trở thành một tensor $\hat{\sigma}$. Dùng biểu diễn cặp vector đơn vị, có thể viết lại:

$$\mathbf{J} = \hat{\sigma} \mathbf{E}$$

Thay vào phương trình Maxwell II => hằng số điện môi cho plasma tầng ion hóa có dạng tensor:

$$\hat{\kappa} = \hat{\Gamma} + \hat{\sigma} / j\omega\epsilon_0 \quad (10)$$

với $\hat{\Gamma}$ là tổ hợp các cặp vector đơn vị

- Lời giải cho sóng phẳng lan truyền trong một tầng điện môi đồng nhất có thể được tìm khi dùng phương trình Maxwell và tensor hằng số điện môi.

* Quay Faraday: Xét một lớp trong tầng điện ly có chiều dày l (m), dọc theo trục z . Phân tích sóng phẳng tới thành 2 sóng phân cực tròn, quay phải và quay trái.

- Sóng đến đi vào tầng điện ly tại $z = 0$ và lan truyền như 2 sóng phân cực tròn với hằng số lan truyền khác nhau.

- Khi sóng thoát ra khỏi lớp l , nếu bỏ qua phản xạ tại biên của lớp thì sóng ra lại có dạng phân cực thẳng nhưng hướng phân cực quay 1 góc Φ so với trục x :

$$\text{tg}\Phi = \text{tg}[(k_2 - k_1)l/2]$$

- Hiện tượng quay Faraday xảy ra mạnh khi ω gần ω_c vì lúc đó k_1 và k_2 rất khác nhau.

- Ở tần số cao k_1 và k_2 có giá trị gần nhau nên Φ nhỏ.

CHƯƠNG V

TRUYỀN SÓNG DẢI MICROWAVE VÀ MILLIMETER-WAVE

§5.1 SUY HAO DO MƯA

1/Gới thiệu

-Dải tần số microwave và millimeter:

-Sóng xuyên qua tầng điện ly vì $\omega \gg$ tần số plasma ω_p .

→ có hiện tượng giao thoa do phản xạ từ mặt đất, nhưng ảnh hưởng không lớn như ở tần số thấp vì độ gồ ghề của mặt đất lớn hơn nhiều so với bước sóng.

→ Nếu tại điểm phản xạ mặt đất là phẳng hoặc là mặt nước thì hiện tượng giao thoa có thể mạnh và tạo ra kiểu bức xạ búp với các búp sóng gần nhau (các búp sóng trời)

* Suy hao đáng kể là suy hao do mưa (với các sóng có λ cỡ vài cm hoặc nhỏ hơn) và do tuyết.

* Với các sóng có λ cỡ mm, suy hao chủ yếu do sương mù, hơi nước và các khí khác trong khí quyển.

2/ Suy hao do mưa:

- Do sự hấp thụ công suất trong môi trường tổn hao điện môi

- Do sự tán xạ năng lượng ra khỏi chùm tia, thường nhỏ hơn tổn hao do hấp thụ .

* Xét hạt mưa hình cầu bán kính $a \ll \lambda_0$ của sóng mặt:

Hằng số điện môi phức:

$$\kappa = \kappa' - j\kappa''$$

Điện trường sóng tới lan truyền theo trục x:

$$\mathbf{E}_i = \mathbf{E}_0 \mathbf{a}_z \exp(-jk_0 x)$$

Vector phân cực điện môi trong giọt mưa hình cầu:

$$\mathbf{P} = 3(\kappa - 1)/(\kappa + 2)\epsilon_0 \mathbf{E}_0 \mathbf{a}_z$$

=> Moment lưỡng cực của giọt mưa:

$$\mathbf{P}_0 = (4/3)\pi a^3 3(\kappa - 1)/(\kappa + 2)\epsilon_0 \mathbf{E}_0 \mathbf{a}_z$$

- Trường tán xạ vùng xa của giọt mưa (tương đương phân tử dòng $\mathbf{Idl} = j\omega \mathbf{P}_0$): \mathbf{E}_s

=> Công suất tán xạ toàn phần:

$$P_s = (\omega^2 k_0^2 Z_0 / 12\pi) |\mathbf{P}_0|^2$$

hay: $P_s = (4/3)\pi a^2 (k_0 a)^4 Y_0 |\mathbf{E}_0|^2 |(\kappa - 1)/(\kappa + 2)|^2$

còn gọi là công suất tán xạ tần số thấp, hay tán xạ Rayleigh

* Tiết diện tán xạ σ_s được định nghĩa = công suất tán xạ toàn phần / mật độ công suất sóng đến trên đơn vị diện tích

* Tiết diện tán xạ ngược radar σ_{BS} được định nghĩa sao cho nếu tán xạ là đẳng hướng thì công suất tán xạ ngược /đơn vị diện tích = công suất tới. Có thể chứng minh được:

$$\sigma_{BS} = (3/2)\sigma_s$$

- Tiết diện hấp thụ σ_a : được tính từ tích phân qua thể tích hình cầu bán kính a của công suất gây bởi dòng phân cực $\mathbf{J}_p = j\omega\mathbf{P}$ do tương tác với điện trường \mathbf{E} : P_a

=> tiết diện hấp thụ:

$$= P_a / (P_{inc} / \text{đơn vị diện tích})$$

$$= 12 \pi a^2 (k_0 a) |(\kappa - 1)/(\kappa + 2)|^2 \{ \kappa'' / [(\kappa' - 1)^2 + \kappa''^2] \}$$

- Tiết diện huỷ (extinction):

$$\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a$$

- Công suất mất mát toàn bộ của sóng đến:

$$P_{loss} = \sigma_e \times (P_{inc} / \text{đơn vị diện tích})$$

- Khi sóng điện từ truyền qua đám mưa, cần tính tới phân bố kích thước hạt mưa vì σ_e phụ thuộc mạnh vào bán kính hạt mưa.

→ Suy hao do mưa phụ thuộc:

+ tiết diện huỷ của mỗi giọt mưa

+ phân bố kích thước giọt mưa

+ tốc độ mưa R

- Quy định tốc độ mưa: + Mưa phùn nhẹ R=0,25 mm/h

+ Mưa nhẹ R=1 mm/h

+ Mưa vừa R=4 mm/h

+ Mưa nặng R=16 mm/h

- Phân bố kích thước hạt mưa phụ thuộc tốc độ mưa:

+ Mưa nặng hạt → công thức marshal_palmer

+ Trong viễn thông thường sử dụng công thức đơn giản hơn:

$$A = aR^b \quad (\text{dB/km})$$

+ Công thức Olsen – Rodgers - Hodge:

*Nhận xét:

+ Ở tần số < 10 GHz suy hao do mưa tương đối thấp

+ Suy hao do mưa tăng nhanh theo tần số

* Ví dụ khoảng cách thông tin point_to_point tiêu biểu là 20_30km nên tốc độ suy hao $\geq 1\text{dB/km}$ có thể dẫn đến suy giảm mạnh cường độ tín hiệu → phải khắc phục nhờ tăng độ lợi hoặc công suất phát của anten → khá tốn kém khi cần tăng 1000 lần

§5.2 SUY HAO DO SƯƠNG MÙ

- Tuân theo các phương trình tương tự như suy hao do mưa

- Khác biệt chính do kích thước hạt rất nhỏ, bán kính cỡ từ 0,01→0,05mm

- Với tần số < 300 GHz suy hao do sương mù tỷ lệ với mật độ nước /đơn vị thể tích

- Giới hạn trên của mật độ nước là 1g/m^3

- Mật độ $0,032\text{ g/m}^3$ ứng với tầm nhìn xa khoảng 2000ft

- Mật độ $0,32\text{ g/m}^3$ ứng với tầm nhìn xa khoảng 400ft

* Ở tần số 300GHz suy hao trong sương mù có mật độ cao xấp xỉ 1dB/km

=====

§5.3 SUY HAO DO TUYẾT VÀ ĐÁ

- Khi nước chuyển sang dạng tuyết và đá, có sự thay đổi đáng kể trong hằng số điện môi phức $\kappa = \kappa' - j\kappa''$

- Với đá κ' gần như không đổi $\approx 3,17$ với nhiệt độ từ $0^\circ\text{C} \rightarrow 37^\circ\text{C}$, với bước sóng trong dải microwave và millimeterwave .

- Phần ảo κ'' rất nhỏ và gần như không phụ thuộc tần số trong dải vi sóng và millimeterwave, thay đổi từ $3,7 \times 10^{-3} \rightarrow 5,2 \times 10^{-4}$, khi nhiệt độ từ $0^\circ\text{C} \rightarrow -30^\circ\text{C}$.

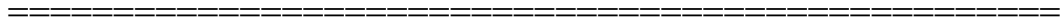
- Giá trị rất nhỏ của phần ảo κ'' chứng tỏ suy hao tương đối thấp.

- Do tuyết và mưa đá chứa hỗn hợp của tinh thể đá và nước, nên suy hao phụ thuộc điều kiện thời tiết.

- Suy hao của dải vi sóng trong tuyết khô nhỏ hơn 1 bậc so với suy hao trong mưa với cùng tốc độ .

- Suy hao trong tuyết ướt có thể xấp xỉ trong mưa và thậm chí có thể cao hơn dải sóng mm .

Ví dụ: suy hao $\approx 2\text{dB/km}$ ở tần số 35GHz cho tuyết ướt với tốc độ 5mm/h.



§5.4 SUY HAO DO CÁC KHÍ TRONG KHÍ QUYỀN

- Đồ thị suy hao (dB/km) theo tần số có các cực đại và cực tiểu \rightarrow khái niệm “cửa sổ” là những dải tần số trung gian giữa các cực đại có suy hao thấp .

- Ở tần số $> 300\text{GHz}$ suy hao do oxygen có thể bỏ qua so với suy hao hơi nước.

- Hấp thụ hơi nước xảy ra mạnh tại $\lambda_0 = 1,35\text{cm}$ và $1,67\text{mm}$

- Hấp thụ do O_2 xảy ra mạnh tại $\lambda = 0,5$ và $0,25\text{cm}$.

- Ở bước sóng $\lambda = 0,5\text{cm}$ riêng suy hao do O_2 đã vượt quá 10dB/km \rightarrow khoảng cách thông tin rất hạn chế.

- Nếu chọn bước sóng làm việc thích hợp có thể hạn chế suy hao đáng kể, chẳng hạn tại $\lambda_0 = 1,33\text{mm}$ suy hao sẽ $< 0,1\text{dB/km}$

- Tuy nhiên có thể dùng dải sóng cực ngắn cho các ứng dụng đặc biệt ở khoảng cách ngắn hoặc giữa vệ tinh với vệ tinh do có thể tạo ra các anten có độ lợi cao, bù lại suy hao.

§5.5 TÁN XẠ DO MƯA

- Đóng vai trò quan trọng trong dẫn đường và dự báo thời tiết .

- Xét giọt nước định xứ tại điểm (r, θ, φ) trong hệ tọa độ cầu đặt tại anten radar, θ là góc cực, φ là góc phương vị so với hướng nhìn của radar .

- Công suất đến/đơn vị diện tích tại vị trí giọt nước là :

$$P_{inc} = P_t G(\theta, \varphi) / 4\pi r^2$$

- Công suất tán xạ ngược tại vị trí radar là :

$$dP_{BS} = P_{inc} \sigma_{BS} / 4\pi r^2$$

- Công suất thu bởi anten radar là:

$$dP_r = (\lambda_0 / 4\pi) G(\theta, \varphi) dP_{BS}$$

+ Với giả thiết bỏ qua đa tán xạ (mutitiple scattering) và trễ pha $2k_0 (r_i - r_j)$ phân bố ngẫu nhiên từ $0 \rightarrow 2\pi$ thì công suất tổng cộng thu được bởi radar là tích phân của

$$G^2 \langle \sigma_{BS} \rangle / r^2$$

trong thể tích đám mưa V , với $\langle \sigma_{BS} \rangle$ là tiết diện tán xạ ngược trung bình trên đơn vị thể tích.

- Giả sử sườn trước của xung radar phát ra tại $t=0$, tín hiệu về đến radar tại $t = \frac{2r}{c}$, cùng thời điểm với tín hiệu phát ở thời điểm t_1 nhưng phản xạ bởi giọt mưa ở vị trí:

$$r - \Delta r = r - ct_1 / 2$$

* Vậy sườn sau của xung sẽ trả về 1 tín hiệu từ giọt mưa tại vị trí $r - \frac{c\tau}{2}$ tại cùng thời điểm với sườn trước từ giọt mưa ở vị trí r .

* Chú ý: khoảng cách $\frac{c\tau}{2}$ thường rất ngắn, chẳng hạn, với $\tau = 1 \mu s \rightarrow \frac{c\tau}{2} = 150 \text{ m}$.

Do đó có thể bỏ qua suy hao của sóng đến và sóng về.

Ví dụ: Cho hệ radar có các thông số:

$$P_t = 100\text{kW (peak)}$$

$$\text{Pulse length: } \tau = 1 \mu\text{s}$$

$$\text{Antenna Gain: } G = 30 \text{ dB}$$

$$\text{tần số } f = 100\text{MHz}$$

$$\text{Độ rộng tia nửa công suất } 0,063 \text{ rad}$$

Xác định công suất thu từ đám mưa cách 10km với tốc độ mưa 10 mm/h
