

Chapter 11

电波传播的基本原理

The fundamental principle of radio wave propagation.

一、自由空间中的电波传播

Radio propagation in free space.

1. 电波传播的参数:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$$

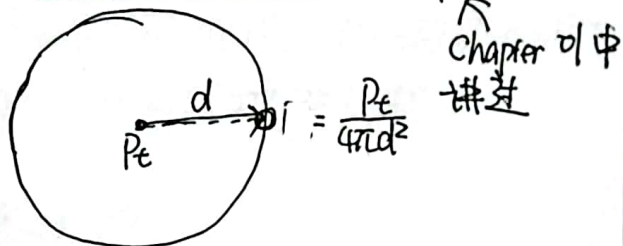
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$$

$$\sigma = 0 \text{ (S/m)}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \text{ 波阻抗} = 120\pi$$

2. 自由空间损耗 (Free-Space Loss)



Chapter 11 中讲过

假设各向同性天线 (isotropic) 在自由空间中向外发射 P_t 功率的辐射

$$P_0 = \frac{P_t}{4\pi d^2} = \frac{E_0^2}{2\eta}$$

G_t 为 TX 天线增益, 功率密度为

$$P = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}$$

接收天线的有效孔径面积为 A_e .

$$P_r = P A_e = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} A_e$$

$$A_e = G_r A_{er} = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

各向同性天线的有效面积

$$\text{故 } P_r = P A_e = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \times \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

假设 $G_t = G_r = 1$

$$FSL = 10 \lg \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \lg \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \right]$$

$$\Rightarrow FSL = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \lg \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)$$

$$FSL [dB] = 32.4 + 20 \lg f [MHz] + 20 \lg d [km]$$

[补充]: 天线增益知识

• 定义: 天线在某方向上的辐射功率通量密度与参考天线相同输入功率时最大辐射功率通量密度的比值

• [举例] (不是说 100mW 的输出信号通过增益 10dB 的天线可以到

1000mW,

而是) 1000mW 理想点源在某点的功率密度, 我们用 10dB 增益的天线只需 100mW.

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$

$$10 \lg \frac{1000}{100} = 10 \lg 10 = 10$$



13. In a radio link of 40km length and working at 7.5GHz, 60% of freespace loss is compensated by using high-gain TX and RX Antennas.

(1) How much is the received signal level (RSL) at the output of RX antenna with 1W TX output power and considering 15dB additional losses?

(2) Find fade margin of the link if RX threshold is to be $P_{th} = -78 \text{ dBm}$.

$$\begin{aligned} \text{(1) } FSL [dB] &= 32.4 + 20 \lg f [MHz] \\ &\quad + 20 \lg d [km] = 141.4 \text{ dB} \\ &= 32.4 + 20 \lg (7.5 \times 10^3) + 20 \lg (40) \\ &= 141.4 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$P_t = 1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$$

$$\begin{aligned} P_r = RSL &= P_t [dBm] - 0.4 FSL - L_a \\ &= 30 - 16.8 - 15 \\ &= -41.4 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) } FM &= P_r [dBm] - P_{th} [dBm] \\ &= -41.4 + 78 = 36.6 \text{ dB} \end{aligned}$$

这意味着损失在 36.6 dB 以下的通信系统都可以正常使用。



Chapter 12 地面波传播

Surface wave propagation.

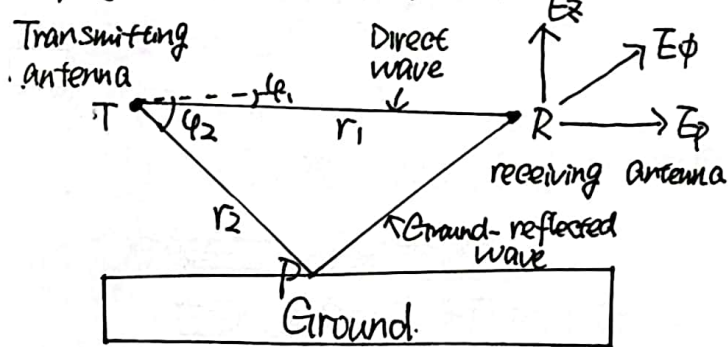
Sky wave	$3 < f < 30 \text{ MHz}$
Space wave	$f > 30 \text{ MHz}$
Surface wave	$f < 3 \text{ MHz}$

地表面波: 沿大气与空气的分界面传播的电波叫地表面波, 简称地波。其传播途径主要取决于地面的电特性。地波在传播的过程中, 能量逐渐被大地吸收, 很快减弱 (波长越短, 减弱越快), 因而传播距离不远。但地波不受气候影响, 可靠性高。超长波、长波、~~中波~~中波无线电通信, 都是利用地波传播的。短波近距离通信也利用地波传播。

地表面波

一、地表面波传播特性

地面波 (ground wave) ~~由地波和天波~~ 由地波和天波组成。



$$V = \Omega I \left\{ \Omega_1 \frac{e^{-jk r_1}}{r_1} + \Omega_2 R \frac{e^{-jk r_2}}{r_2} + S \cdot \frac{e^{-jk r_2}}{r_2} \right\}$$

S 是一个复杂的分量, 依赖于地面的电学性质, 传输极化 (transmitted polarisation), 频率和终端位置。

$$\text{ground wave} = \text{direct wave} + \text{reflected wave} + \text{surface wave}$$

Space wave

由公式, 当 T 和 R 都非常接近地面时, 直射波和地面反射波相互抵消, 使地表面波成为唯一的重要组成部分, 故仅剩 "S $\frac{e^{-jk r_2}}{r_2}$ ".

• 地表面波场强为:

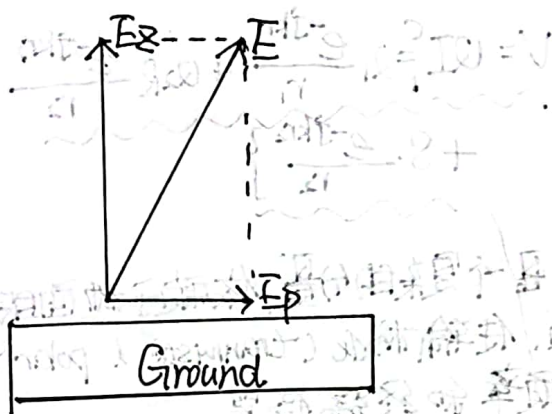
$$\begin{cases} E_z = j60kI dL \cdot (1 - u^2 + u^4) \cdot F \cdot \frac{e^{-jk r}}{r} \\ E_p = j30kI dL \left\{ u \cdot \sqrt{(1 - u^2)(2 - u^2 + u^4)} \right. \\ \left. F \cdot \frac{e^{-jk r}}{r} \right\} \end{cases}$$

→ 得出 $E_z > E_p$

• 对于地表天线的表面波, 电场的垂直分量和径向分量仍然存在。然而, 在物理术语中, 这意味着传播波前是倾斜的。

(the propagating wavefront is tilted.)





★ Summary:

1. 表面波应进行垂直极化

水平极化的表面波衰减很快，并没有实用价值。因此基于地面波的大部份应用都是基于地面波的垂直极化。

2. 向前传播

地面波可以分解为 E_h 和 E_v 两个极化上的波， $E_v > E_h$ ，两者的矢量和是向前的。

3. 地表面波在地面上的极化呈椭圆极化

地表面波由径向分量和垂直分量组成。径向分量相对较小。相位差近似为零，并形成椭圆极化。

地表面波在地面上的极化呈椭圆极化。这是因为地表面波是由水平极化波和垂直极化波组成的。水平极化波的衰减很快，而垂直极化波的衰减较慢。因此，在地面上，垂直极化波占主导地位。由于垂直极化波的极化方向与地面法线方向一致，因此地表面波在地面上的极化呈椭圆极化。

地表面波在地面上的极化呈椭圆极化。这是因为地表面波是由水平极化波和垂直极化波组成的。水平极化波的衰减很快，而垂直极化波的衰减较慢。因此，在地面上，垂直极化波占主导地位。由于垂直极化波的极化方向与地面法线方向一致，因此地表面波在地面上的极化呈椭圆极化。

