



天线与电波传播

郭璐

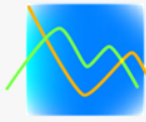
南京理工大学，电光学院通信工程系

2023年春季学期

办公室: 电光院A342

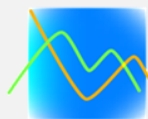
Email: lu.guo@njust.edu.cn





第1章 天线基础知识

- 1.1 基本振子的辐射
- 1.2 发射天线的电参数
- 1.3 互易定理与接收天线的电参数
- 1.4 对称振子
- 1.5 天线阵的方向性
- 1.6 对称振子阵的阻抗特性
- 1.7 无限大理想导电反射面对天线电性能的影响

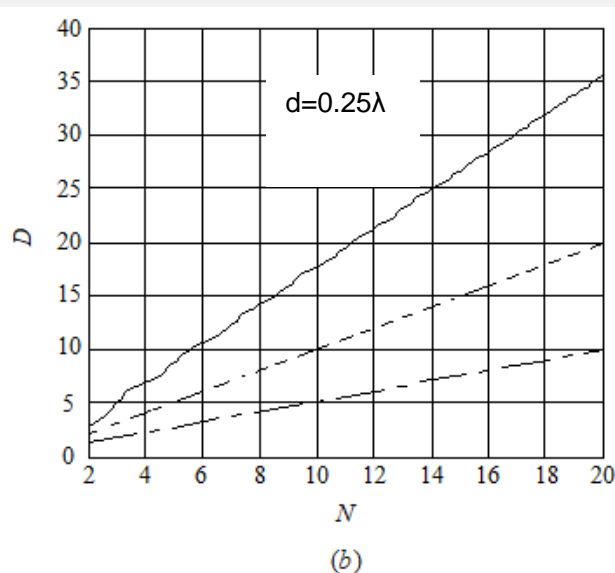
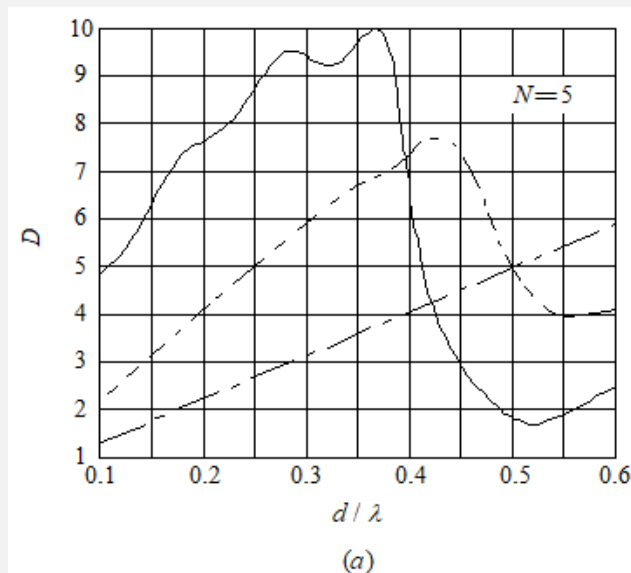


3. 均匀直线阵的方向系数



□ 间距 d 的加大，使得方向系数增大，但是过大的间距会导致栅瓣出现，此时方向系数反而下降。

□ 当 N 很大时，方向系数与 N 的关系基本上成线性增长关系。



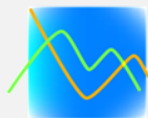
- 强方向性端射阵
- 普通端射阵
- · - · - 边射阵

图1—5—20 均匀直线阵方向系数变化曲线(a) $D \sim d$; (b) $D \sim N$



表1—5—1 当N很大时均匀直线阵方向图参数

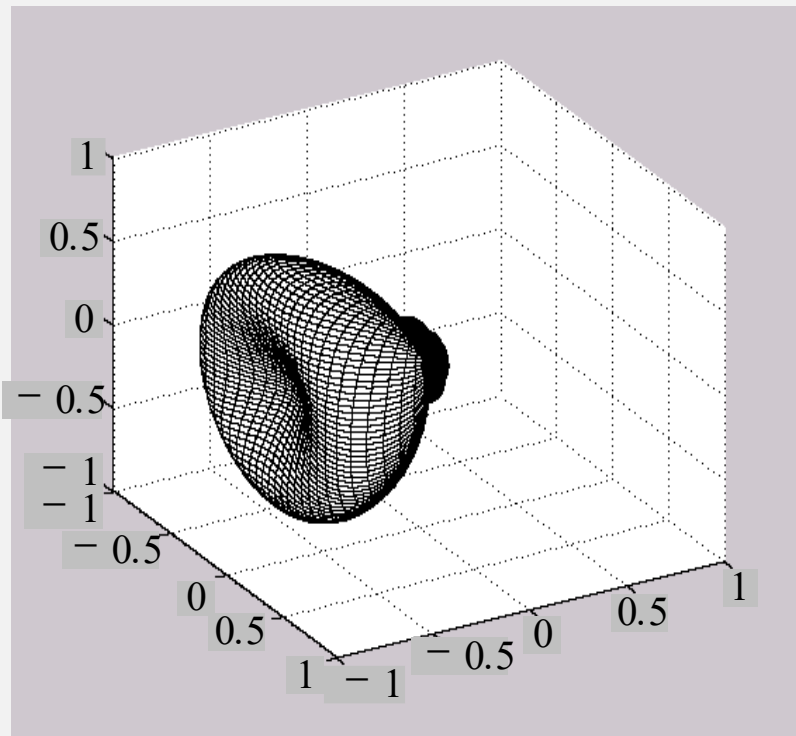
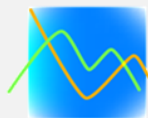
公式 类型	参数	零功率波瓣 宽度 $2\theta_0/\text{rad}$	半功率波瓣 宽度 $2\theta_{0.5}/\text{rad}$	第一副瓣电平 SLL/dB	方向系数 D
边射阵		$\frac{2\lambda}{Nd}$	$0.886 \frac{\lambda}{Nd}$	-13.5	$\frac{2Nd}{\lambda}$
普通端射阵		$2\sqrt{\frac{2\lambda}{Nd}}$	$2\sqrt{\frac{0.88\lambda}{Nd}}$	-13.5	$4Nd/\lambda$ $\frac{4\lambda}{Nd}$
强方向性端射阵		$2\sqrt{\frac{\lambda}{Nd}}$	$2\sqrt{\frac{0.28\lambda}{Nd}}$	-9.5	$7Nd/\lambda$ $\frac{4\lambda}{Nd}$



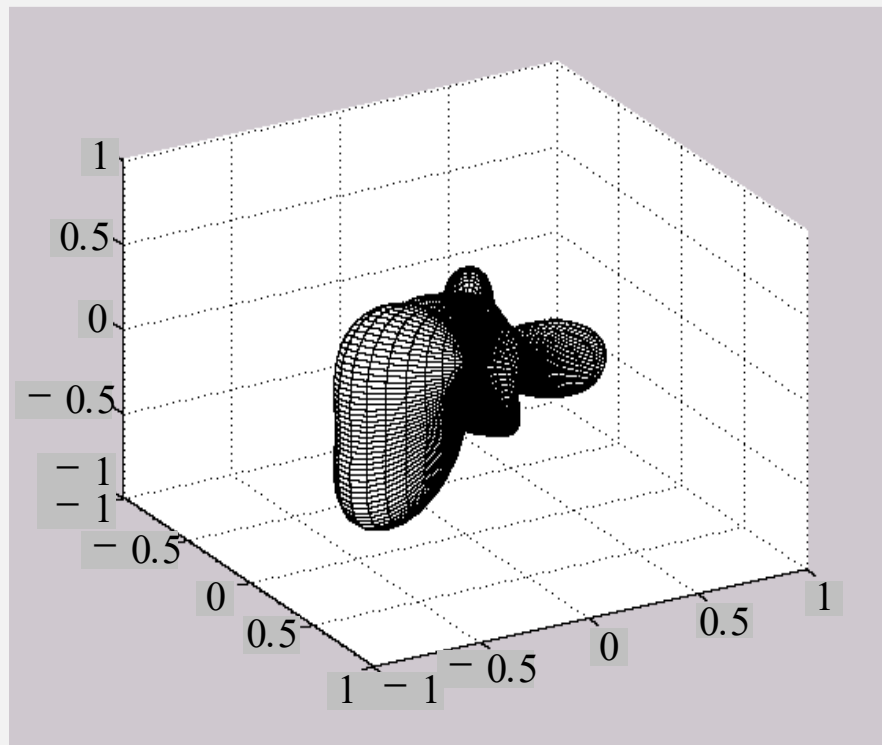
均匀直线阵是一种最简单的排阵方式，在要求最大辐射方向为任意值时，它并不是最好的选择。

图 1—5—21 给出了当要求最大辐射方向为 $\theta_{\max}=45^\circ$, $\varphi_{\max}=90^\circ$ 时，排列在y轴上、间隔为 0.25λ 的八元**均匀直线阵**所能达到的最好效果，此时方向系数为**5.5**。

而以同样的阵元数目和阵轮廓尺寸排列的xOy平面上的**八元圆环阵**（即半径为 $7 \times 0.25\lambda/2$ ），却能达到**8.1**的方向系数。实际上，尽管规则布阵对场地或载体有更苛刻要求，但是**任意布阵却更具优越性**，这对实际的阵列构造是很有价值的，此时，计算机的辅助设计在任意阵列结构优化时就显得十分重要。



(a)

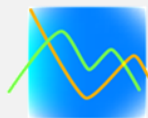


(b)

图1—5—21 八元均匀直线阵和圆环阵的阵因子方向图

(a) 八元均匀直线阵阵因子方向图；

(b) 八元均匀圆环阵阵因子方向图

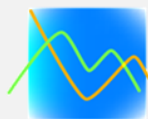


1.7 无限大理想导电反射面对天线电性能的影响

1.7.1 天线的镜像

根据**镜像原理**，当**电流元**在**无限大理想导电平面**上时，可通过在导电平面的另一侧设置一**镜像电流元**，来代替导电平面上的感应电流，使得真实电流元和镜像电流元的合成场在理想导电平面上的切向值处处为零。

因此，电流元在无限大理想导电平面上的辐射场就可以由真实电流元与镜像电流元的**合成场**而得到。



- 水平电流元的镜像为理想导电平面另一侧对称位置处的等幅反向电流元，称为负镜像；
- 垂直电流元的镜像为理想导电平面另一侧对称位置处的等幅同相电流元，称为正镜像；
- 倾斜电流元的镜像与水平电流元的镜像相同，也为对称位置处的负镜像。
- 值得强调，镜像法只在真实电流元所处的半空间内有效。

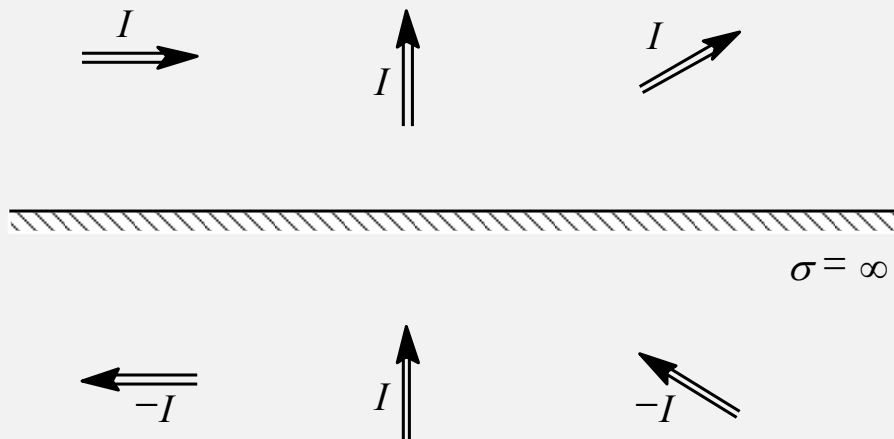
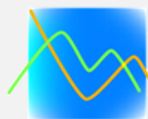


图1—7—1 电流元的镜像



- 电流分布不均匀的实际天线可分解成许多电流元，所有电流元的镜像集合起来即为整个天线的镜像。
- 水平线天线的镜像一定为负镜像；垂直对称线天线的镜像为正镜像。至于垂直架设的驻波单导线，其镜像的正负视单导线的长度而定。例如，对于 $l=\lambda/2$ 的驻波单导线，其镜像为正，而对于 $l=\lambda$ 的驻波单导线，其镜像为负。

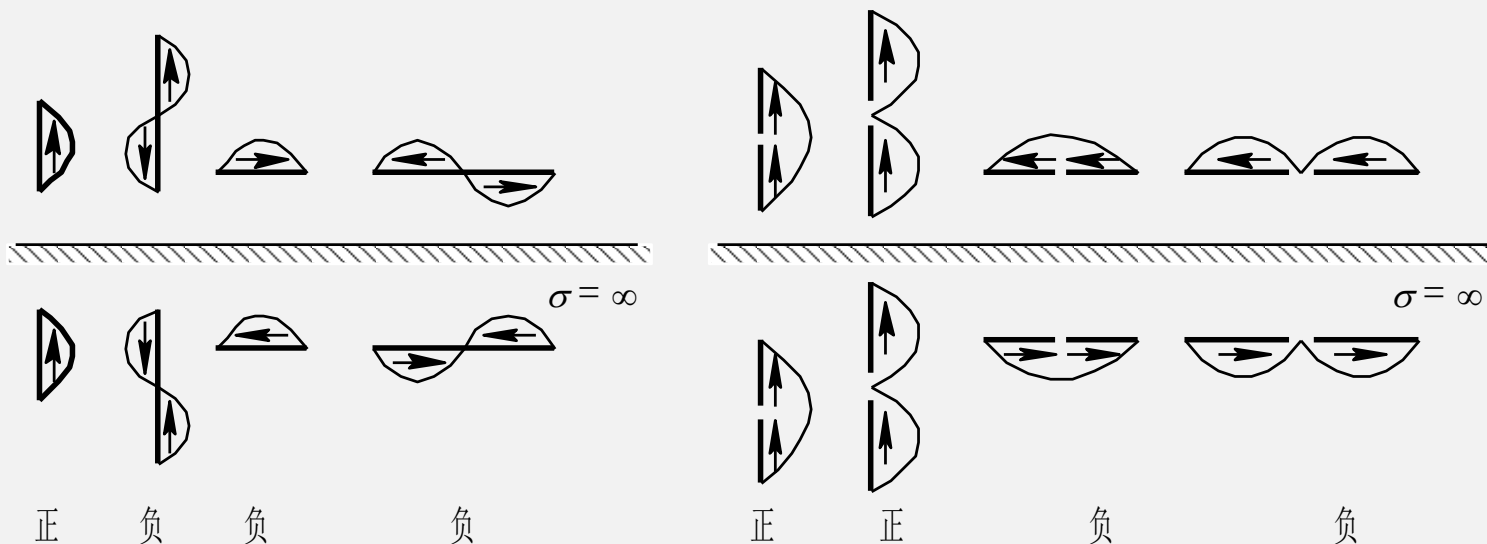


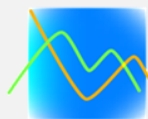
图1—7—2 线天线的镜像(a)驻波单导线；(b)对称振子



1.7.2 无限大理想导电反射面对天线电性能的影响

分析无限大理想导电反射面对天线电性能的影响主要有两个方面，一是对方向性影响，二是对阻抗特性影响。这些都可以用等幅同相或等幅反向二元阵来处理。

如图1—7—3所示，以实际天线的电流 I 为参考电流，当天线的架高为 H 时，镜像天线相对于实际天线之间的波程差为 $-2kH\sin\Delta$ ，于是由实际天线与镜像天线构成的二元阵的阵因子为



$$\left. \begin{array}{l} \text{正镜像时: } F_a(\Delta) = \cos(kH \sin \Delta) \\ \text{负镜像时: } F_a(\Delta) = \sin(kH \sin \Delta) \end{array} \right\} \quad (1-7-1)$$

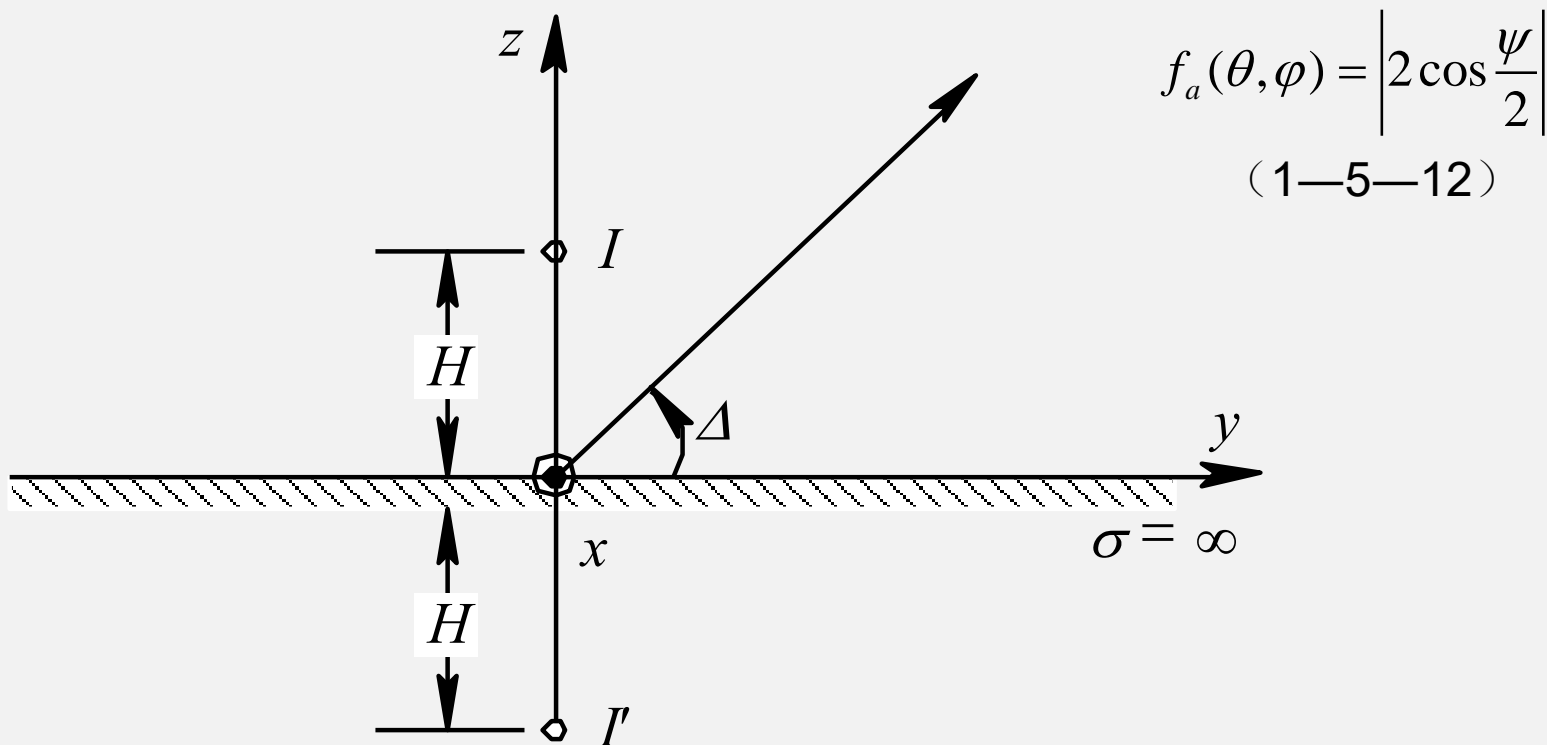
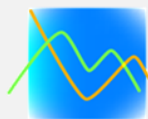


图1—7—3 理想导电平面上天线的坐标图



正、负镜像时的阵因子随天线架高变化如图1—7—4所示。

- 天线架得越高，阵因子的波瓣个数越多。
- 沿导平面方向，正镜像始终是最大辐射，负镜像是零辐射；
- 负镜像阵因子的零辐射方向和正镜像阵因子的最大辐射方向互换位置，反之亦然。

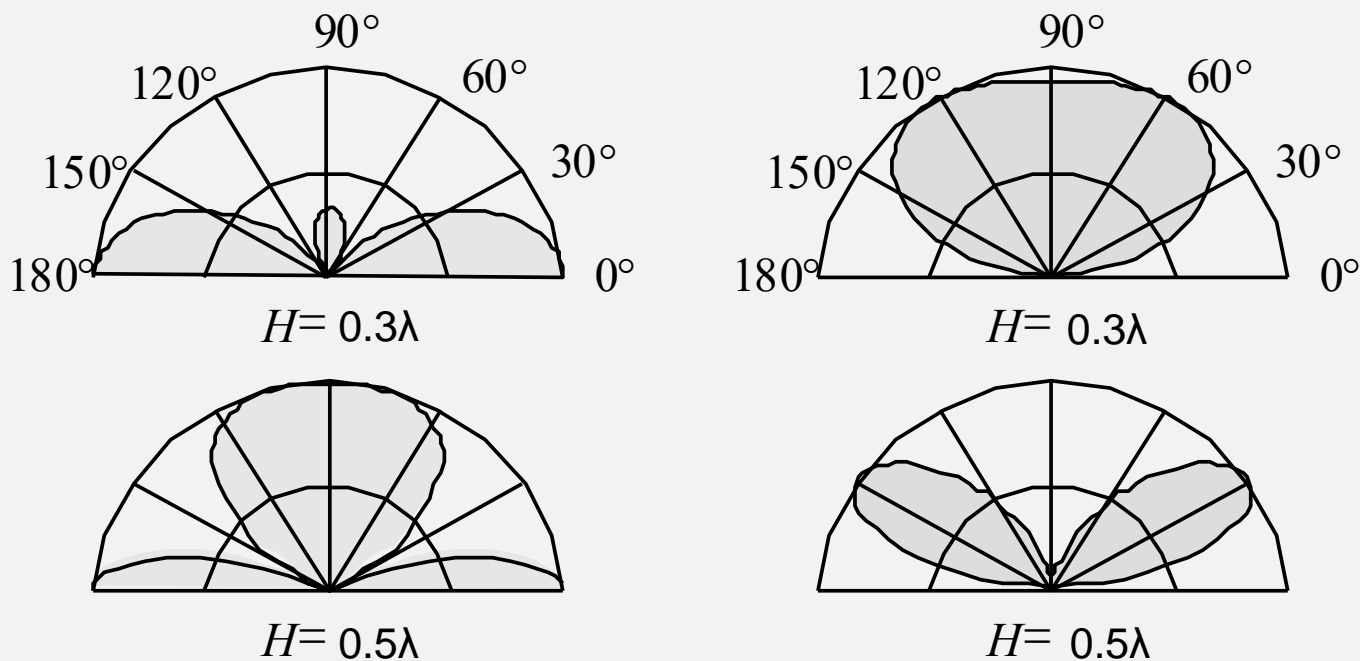
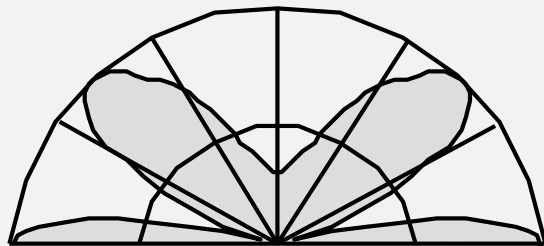
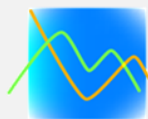
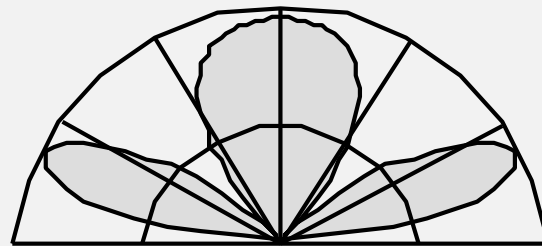


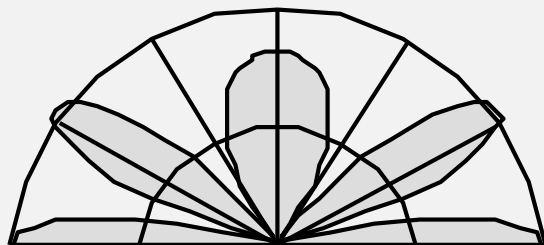
图1—7—4 镜像时的阵因子随天线架高的变化(a)正镜像；(b)负镜像



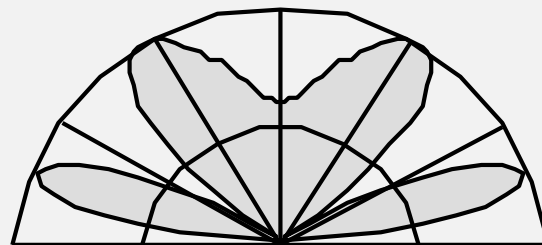
$$H = 0.7\lambda$$



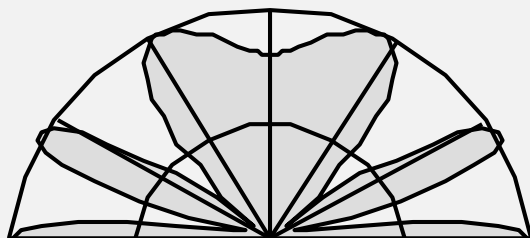
$$H = 0.7\lambda$$



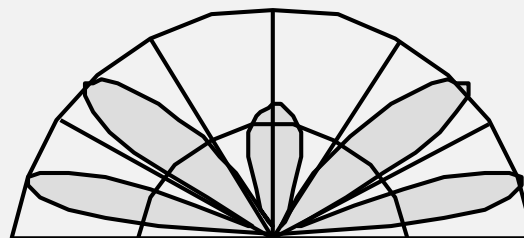
$$H = 0.9\lambda$$



$$H = 0.9\lambda$$



$$H = 1.1\lambda$$

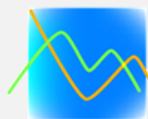


$$H = 1.1\lambda$$

(a)

(b)

图1—7—4 镜像时的阵因子随天线架高的变化(a)正镜像；(b)负镜像



【例1—7—1】 计算架设在理想导电平面上的水平二元半波振子阵的H平面方向图、辐射阻抗以及方向系数。 $I_{m2}=I_{m1}e^{-j\pi/2}$ ，二元阵的间隔距离 $d=\lambda/4$ ，天线阵的架高 $H=\lambda/2$ 。

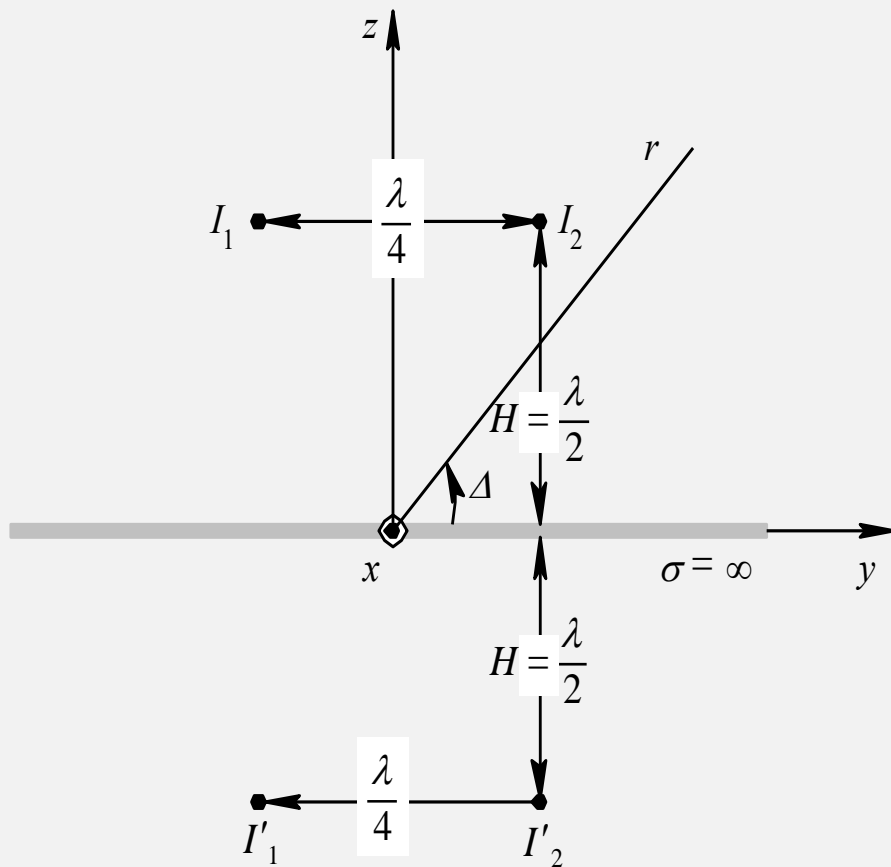
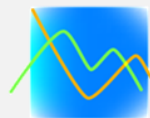


图1—7—5 例1—7—1的H平面坐标图



【例1—7—1】 计算架设在理想导电平面上的水平二元半波振子阵的H平面方向图、辐射阻抗以及方向系数。 $I_{m2}=I_{m1}e^{-j\pi/2}$ ，二元阵的间隔距离 $d=\lambda/4$ ，天线阵的架高 $H=\lambda/2$ 。

解： 此题可用镜像法分析，如图1—7—5所示，该二元阵的镜像为负镜像。取 H 平面为纸面，以 I_{m1} 为参考电流，则 H 平面的方向函数为

$$\begin{aligned} f(\Delta) &= f_1(\Delta) \times f_{a1}(\Delta) \times f_{a2}(\Delta) \\ &= 1 \times |1 + e^{j(-0.5\pi + 0.5\pi \cos \Delta)}| \times |1 - e^{-j(2\pi \sin \Delta)}| \end{aligned}$$

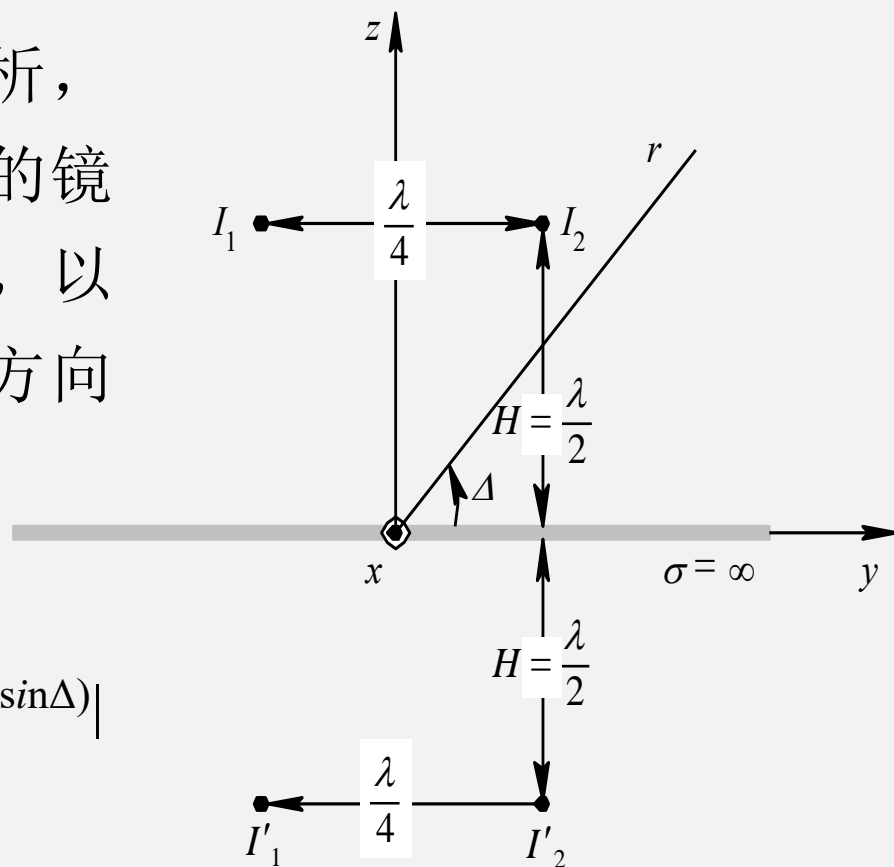


图1—7—5 例1—7—1的H平面坐标图 15

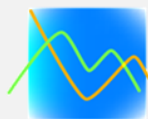


图1—7—6绘出了对应的H平面方向图，图1—7—7绘出了该天线阵的立体方向图。

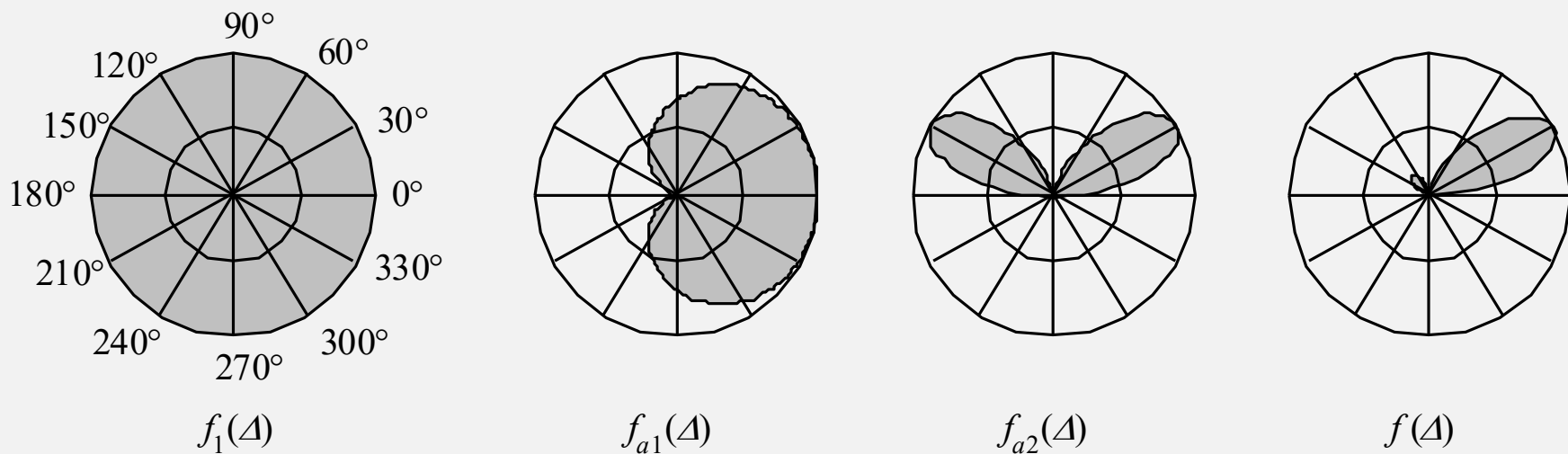


图1—7—6 例1—7—1的H平面方向图

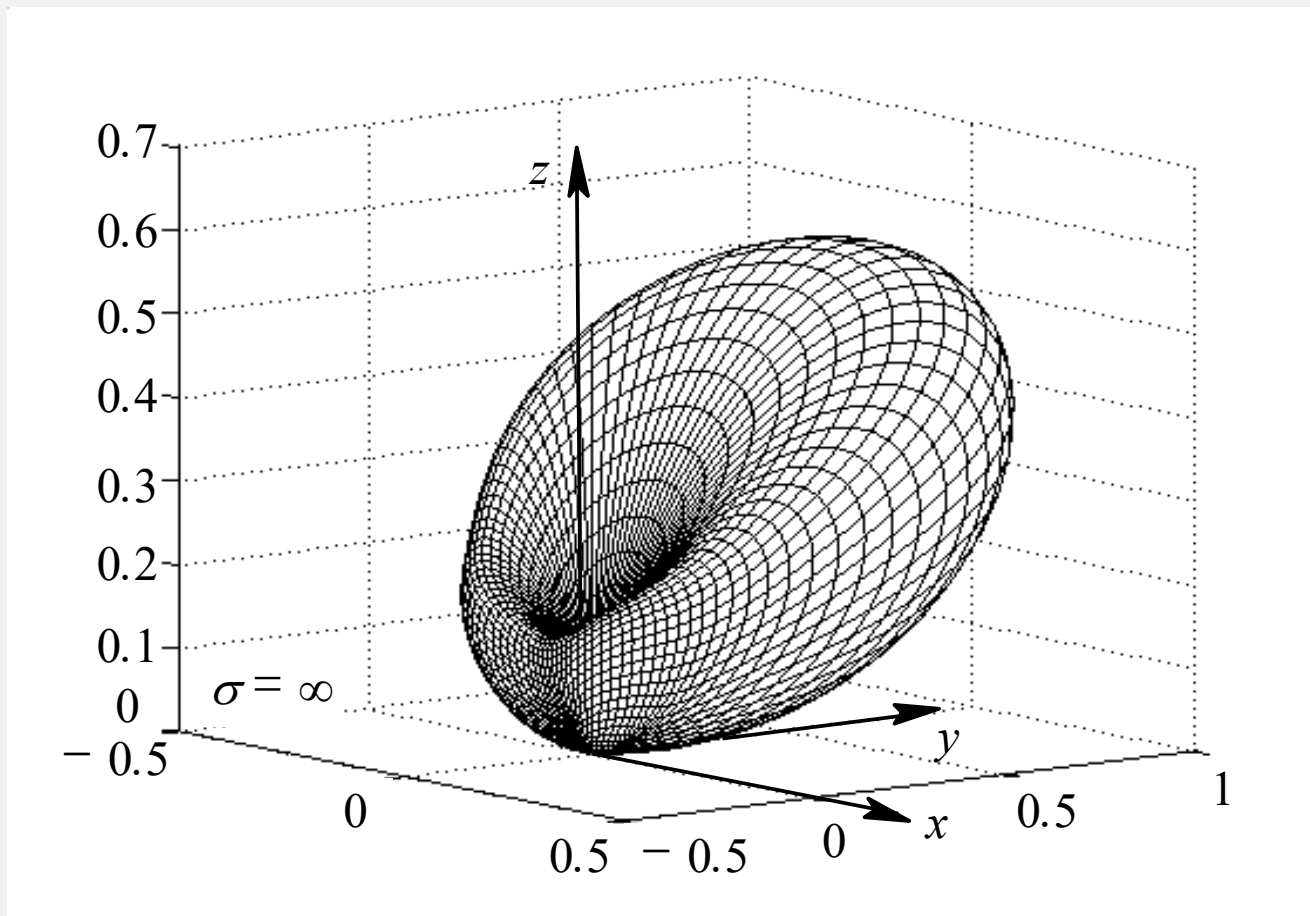
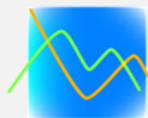
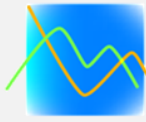


图1—7—7 例1—7—1的立体方向图



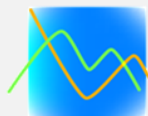
第2章 简单线天线

2.1 水平对称天线

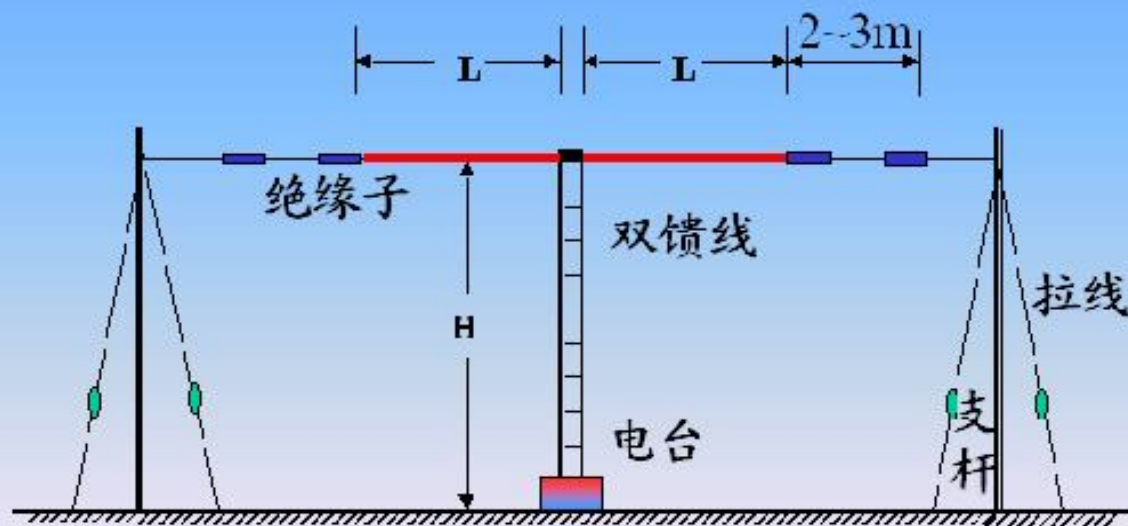
2.2 直立天线

2.3 环形天线

2.4 引向天线与背射天线



2.1.1 双极天线



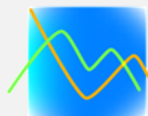
L: 臂长 H: 架高

双极天线

水平天线放置的理由：

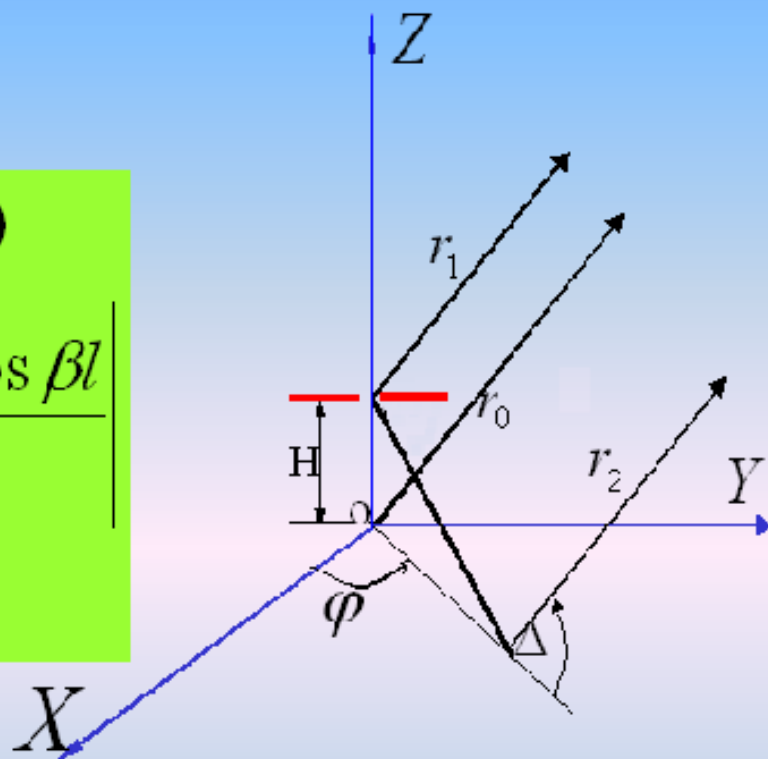
- (1) 架设和馈电方便；
- (2) 地面电导率变化对水平天线的影响较垂直天线小；
- (3) 考虑到工业干扰大多为垂直极化波，可减小干扰对接收的影响。

300km范围内短波移动通信常用 $L=12\text{m}$ 或 22m ， $H=10\text{m}$ 的双极天线，架设高度 $<0.3\lambda$ ，高空方向辐射最强。



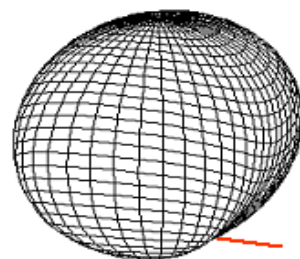
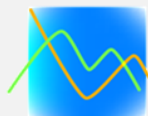
方向函数：

$$\begin{aligned} f(\varphi, \Delta) &= f_0(\varphi, \Delta) \cdot f_g(\Delta) \\ &= \left| \frac{\cos(\beta l \cos \Delta \sin \varphi) - \cos \beta l}{\sqrt{1 - \cos^2 \Delta \sin^2 \varphi}} \right| \\ &\quad \cdot 2|\sin(\beta h \sin \Delta)| \end{aligned}$$

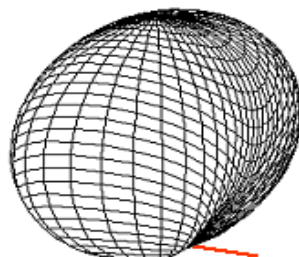


水平对称振子的坐标系（XOY面为地面）

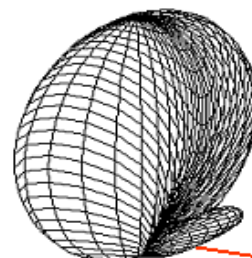
Δ 、 φ 表示射线仰角及方位角



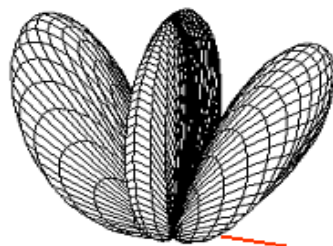
$$l = 0.25 \lambda$$



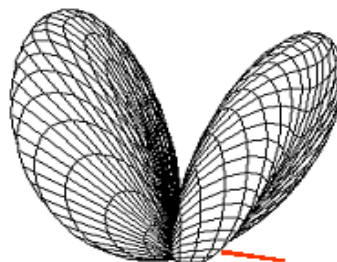
$$l = 0.5 \lambda$$



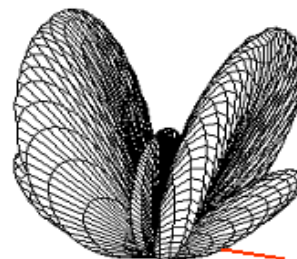
$$l = 0.65 \lambda$$



$$l = 0.75 \lambda$$

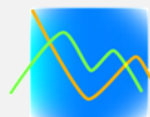


$$l = 1.0 \lambda$$

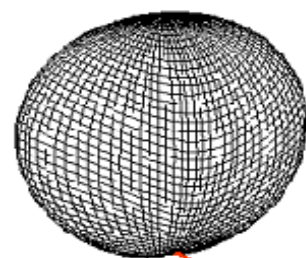


$$l = 1.2 \lambda$$

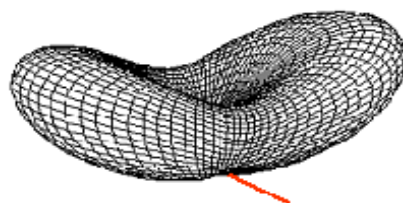
双极天线方向图随臂长的变化 ($H = \lambda / 4$)



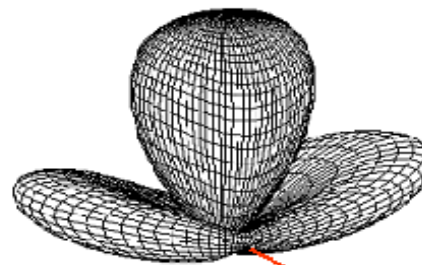
2.1.1 双极天线



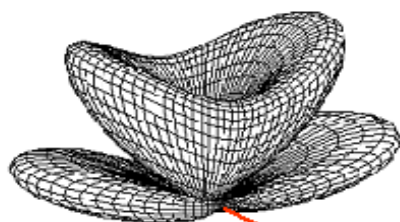
$H = 0.25 \lambda$



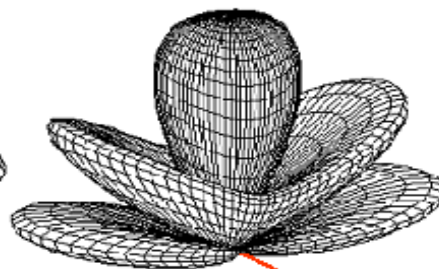
$H = 0.5 \lambda$



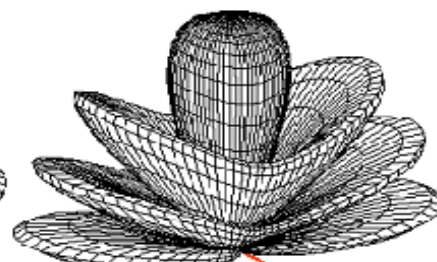
$H = 0.75 \lambda$



$H = \lambda$

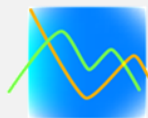


$H = 1.25 \lambda$



$H = 1.75 \lambda$

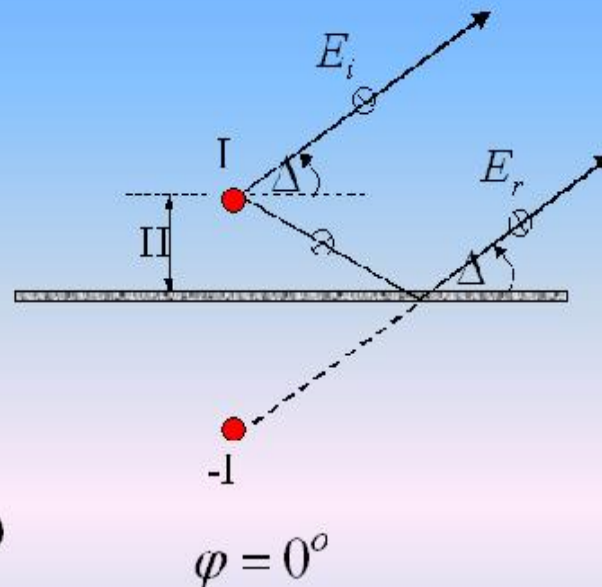
双极天线方向图随架高的变化 ($l = \lambda / 4$)

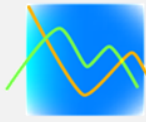


垂直平面 (XOZ) 平面

方向函数为:

$$f_g(\Delta) = 2 \sin(\beta H \sin \Delta)$$

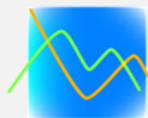




垂直平面方向性特点：

- 垂直平面方向性只与架高有关；
- 架高越高，波瓣越多，但沿地面方向总是零辐射方向； 地面上与镜像的天线行程差为零，反相。故为零
- 贴近地面的第一波瓣的最大辐射仰角与架高的关系：

$$\Delta_{m1} = \arcsin \frac{\lambda}{4h}$$



作业：

◆ P47 习题一

第11、12、14、27、28、30、34题

谢谢！

