

问题：如何评价两幅天线的优劣？

当天线的形式及其上的电流分布确定之后，天线所产生的辐射场便唯一确定了。通常我们可以利用所学的电流元的辐射场叠加（积分）来求出特定天线的辐射场。不同天线具有不同形式或不同的源分布，因而具有不同的辐射场分布。在实际工程中，如果用不同的辐射场来比较不同天线在某一方面的特性孰优孰劣的话，既不直观又不方便，因而往往采用**天线电参数**来说明。天线的电参数就是**描述天线某一方面特性的参数**，它是定量衡量天线性能的尺度。

天线用于发射无线电波（电磁波）时，我们称之为发射天线，为考察其性能，提出电参数概念。大多数天线电参数都是针对发射状态定义的，以衡量天线把高频电流能量转换成空间电磁波能量以及定向辐射的能力。而输入阻抗和辐射阻抗是衡量天线电路方面的参数。

方向函数/方向图/方向参数/方向系数

天线效率/增益

天线的极化

有效长度

频带宽度

输入阻抗/辐射阻抗

1、天线效率

天线是把电磁振荡能量转换成电磁波能量的“换能器”。输入天线的功率并非全部能以电磁波形式辐射出去,有一部分能量在转换过程会产生损耗。所谓天线效率是指辐射功率 P_r 与天线输入功率 P_{in} 之比值,记为 η_A ,即

$$\eta_A = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{P_r}{P_r + P_L}$$

式中 P_L 为损耗功率。

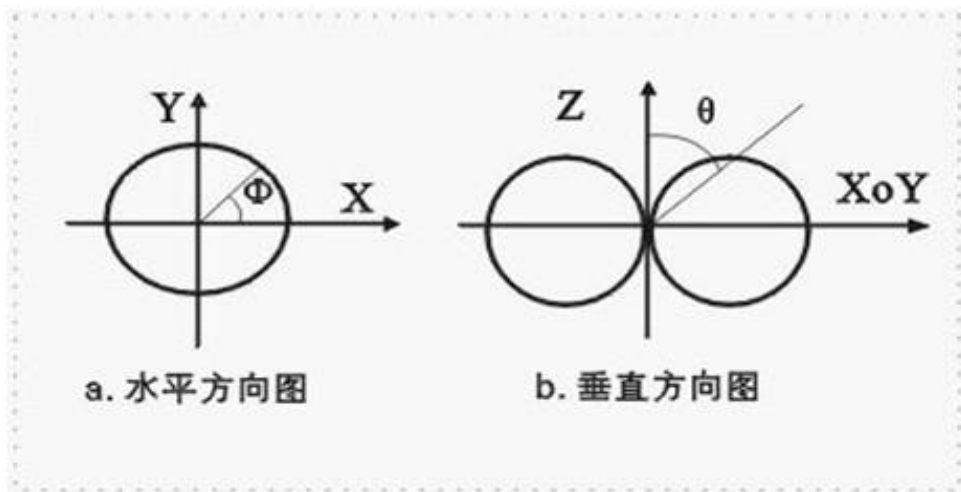
如果引入辐射电阻 R_r 和损耗电阻 R_L ,则上式可写为

$$\eta_A = \frac{R_r}{R_r + R_L} = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_r}}$$

电基本振子的辐射场

$$E_{\theta} = j \frac{60\pi I l}{\lambda r} \sin \theta e^{-jkr}$$

$$|E_{\theta}| = \frac{60I}{r} \frac{\pi l}{\lambda} \sin \theta$$

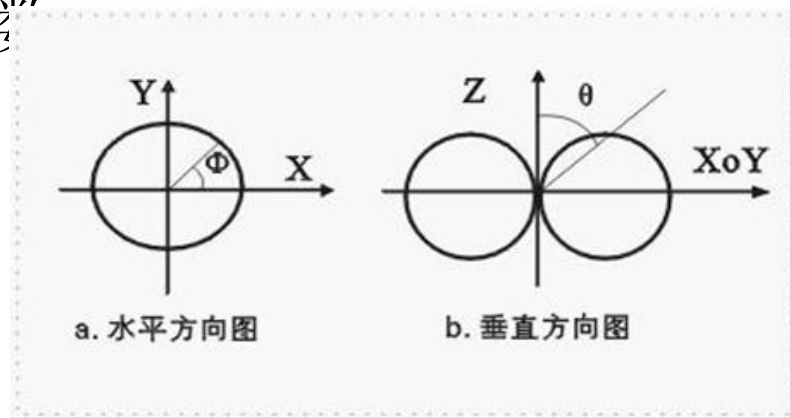


由上式可知，电基本振子的辐射场在不同的方向上，辐射场强不同，在天线的轴线上不发生辐射，而在垂直于天线轴线方向上辐射最强，其他方向上的电场强度在两者之间。但是电基本振子的电场强度与赤道角 ϕ 无关，具有轴对称性。但是，不管怎样，电基本振子的辐射场具有方向性，在相同距离条件下，不同方向上，辐射场不同。事实上，所有实际天线都具有方向性，为了描述天线的方向性，引入**方向函数**。

2、方向性函数和归一化方向性函数

对于线状天线,方向性函数为

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{60 \frac{I}{r}}$$



式中分母部分是线状导线天线随距离及天线体上某参考点电流强度变化的基本形式,它与方向性无关。用方向性函数来描绘方向性图,讨论方向性时,可以判定不同尺度的天线具有不同的辐射能力。

方向图有 φ 和 θ 两个参数,是立体方向图。当 θ 固定, φ 变化时,是水平方向图,即E面,当 φ 固定, θ 变化时,是铅垂方向图,即H面。

按照天线的方向性对天线的分类:

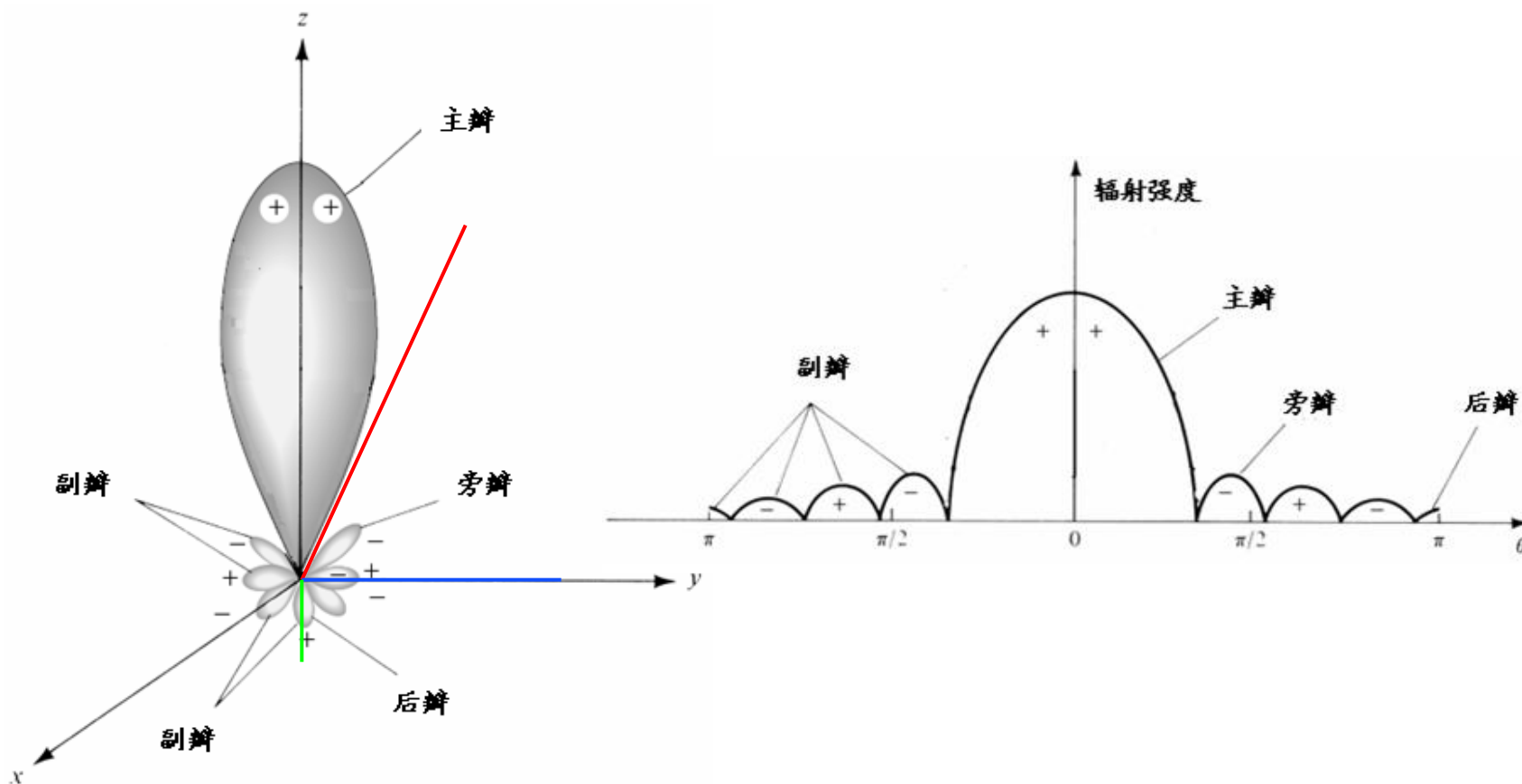
1、方向性天线

通常是指具有在某些方向上比其它方向更能有效的辐射或接收电磁波的天线。为了描述方向性，客观上需要一个在各个方向上都有相同辐射能力的天线作为参考（实际上，所有真实天线都是方向性天线）。

2、全向性天线

假想的在所有方向上具有相同辐射和接收能力的无损天线。显然，全向天线只能存在于假想中，这种天线又称为“理想点源天线”。因为即便是最简单的天线也是有某种程度的方向性的。虽然是假想的且物理不可实现的，但是，全向天线通常被选为参考，进而来表示实际天线的方向性。

三维立体方向图与二维平面方向图



方向图不容易看出随方向变化时,方向图的尖锐程度,常常引出归一化方向性函数,即将最大辐射方向场强规定为“1”,来比较其它方向场强相对值的方法,数学表示式为

$$f(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}$$

式中 $\theta_{\max}, \varphi_{\max}$ 代表最大辐射方向的坐标角。

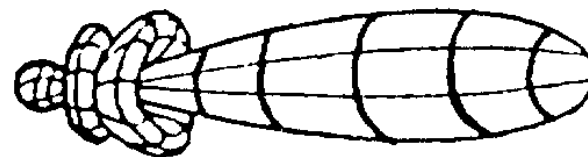
对称振子的方向函数为:

$$f(\theta, \varphi) = \left| \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{\sin \theta} \right|$$

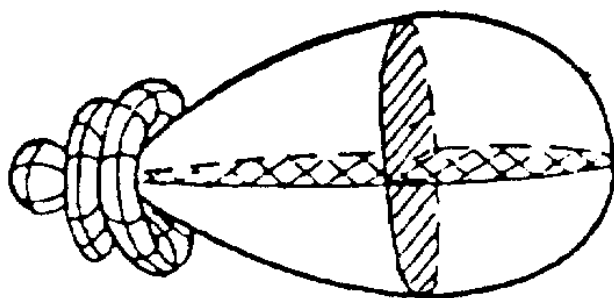
下图为某些类型的方向性图形。立体的方向性图形是比较复杂的,常取通过主向的剖面方向性图形来讨论天线方向性特性,如下图所示,并引用下述**波瓣**参量。



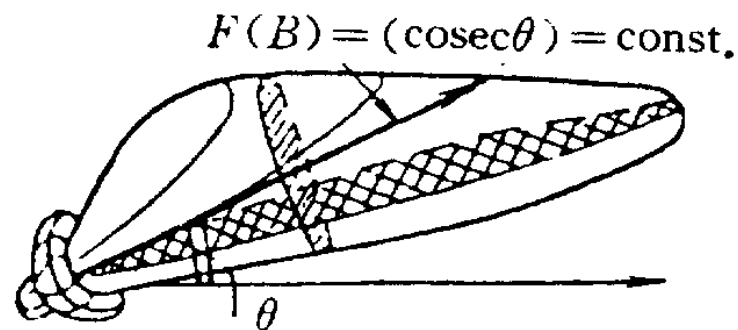
(a)



(b)



(c)



(d)

(a)电流元辐射方向图 (b)铅笔形方向图

(c)扇形方向图 (d)余割平方方向图

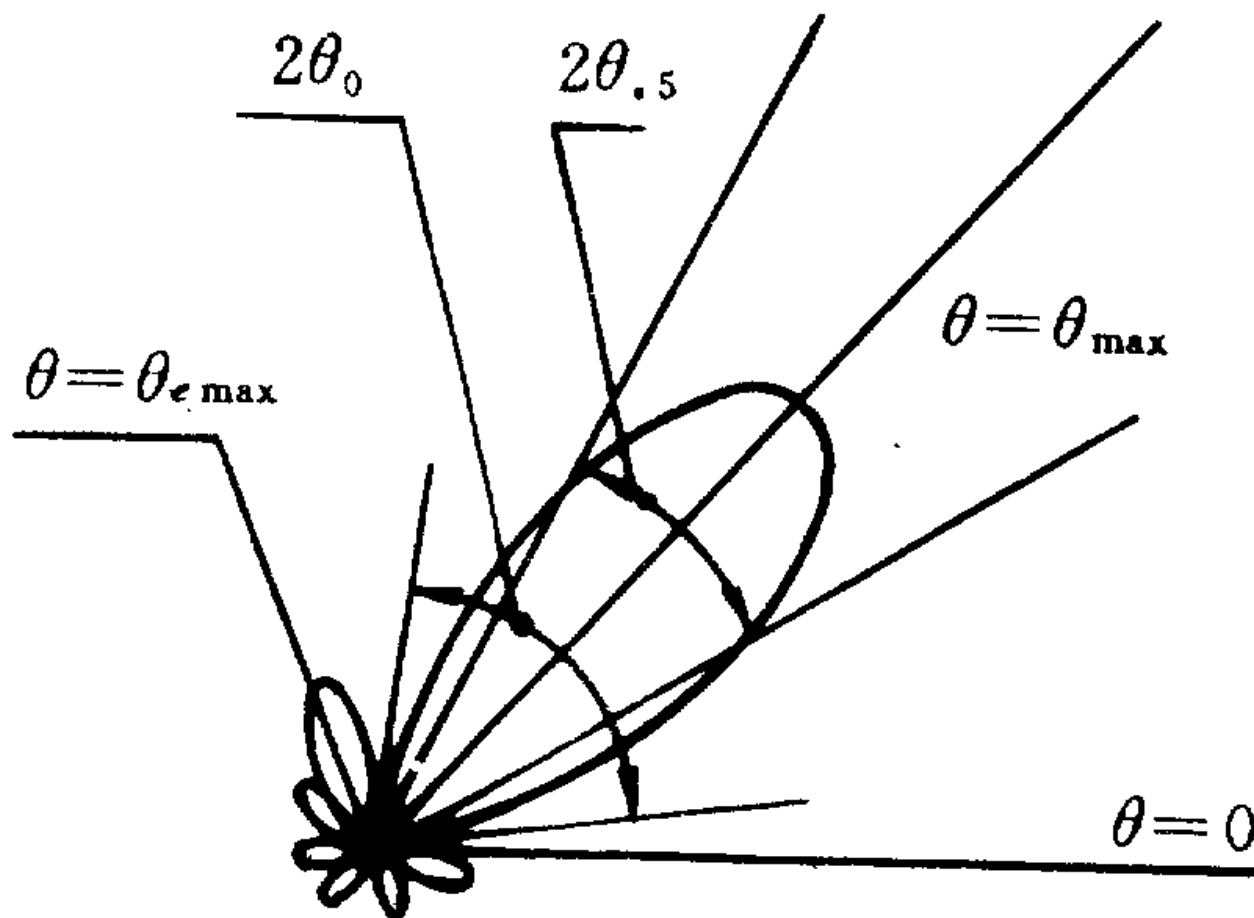
主向角 θ_{\max} ——最大辐射的方向角

主瓣宽度 $2\theta_{0.5}$ ——主向两侧平均功率流密度为主向一半,或辐射场强为主向0.707倍的方向所决定的夹角。

主瓣张角 $2\theta_0$ ——主向两侧主瓣零辐射方向间的夹角。

旁瓣电平 L_s ——主向辐射场强与旁瓣中最大辐射场强之比,通常用分贝数表示。

$$L_s = 20 \lg \frac{f(\theta_{\max})}{f(\theta_{e\max})} = -20 \lg f(\theta_{e\max})$$



3、方向性系数和增益

方向图可以形象的表示天线的方向性，但是不便于不同的天线之间的比较，有必要规定一个参数，该参数能定量的表示天线的方向性。这个参数是**方向系数**，用字母**D**表示。从另外一方面来说，雷达,通信等大部分天线设备,都是利用主向(或主平面)的辐射来完成任务的。远远偏离主向的辐射功率不仅被无谓浪费,而且还会干扰电波信号。因此,尽可能减少非主向的辐射和增加主向辐射。常采用方向性系数这个参量来说明天线在主向辐射功率的集中程度。

通常以**理想点源**天线作为比较标准，理想点源天线是无方向性的，在各个方向的辐射强度相同，方向图是一个**球体**。

定义：方向性系数**D**是指天线在主向的平均功率流密度 $P_{s\max}$ 和**全向天线在总辐射功率相同**时辐射出去的功率被均匀分配到空间各个方向上，在**同一距离处**的平均功率流密度 P_s 的比值,即

$$D = \frac{P_{s\max}}{P_{s\ominus}} \quad D = \frac{P_{s\max} | r}{\frac{P_r}{4\pi r^2}}$$

$$D = 10\log(D) \text{分贝}$$

上式中 P_r 为天线的**辐射功率** r 为观察点离天线的距离。

方向系数 **D** 暗含**最大辐射方向**的方向系数，如果不是研究最大辐射方向，同样也有给定方向的方向系数： $D(\theta, \varphi)$ 。

天线工程上还常常关心输入到天线的有功功率 P_{in} 被利用的程度。为此引出**增益系数**的概念,所谓增益系数 G ,就是天线在主向的平均功率流密度 $P_{s\max}$ 和**全向天线**相同的**输入功率**时辐射出去的功率被均匀分配到空间各个方向上,在**同一距离处**的平均功率流密度 $P'_{s\odot}$ 的比值,即

$$G = \frac{P_{s\max}}{P'_{s\odot}} \quad G = \frac{P_{s\max} | r}{\frac{P_{in}}{4\pi r^2}}$$

上式中 P_{in} 为天线的**输入功率** r 为观察点离天线的距离。

此值表明相对于空间各方向均匀分配的情况,主向的平均功率流密度得益了多少倍。也可以理解为在某点产生相同电场强度时,理想点源与有向天线相比,输入功率要大多少倍。

$$P_{in} = \frac{P_r}{\eta_A} \quad G = D\eta_A$$

即增益系数G是综合衡量天线能量转换和方向性的参数。方向性系数和增益常用分贝数表示,即

$$D(dB) = 10\lg D$$

$$G(dB) = 10\lg G$$

通过比较待测天线和一个已知增益的参考天线在相同输入功率下的最大功率密度,就能测出天线增益,即:

$$G = \frac{P_{\max}}{P_{\max}(\text{参考天线})} \times G(\text{参考天线})$$

通常以理想点源作为对比标准,这时得到的增益系数用dBi代替dB,以强调是以全向天线作对比。

4、天线的极化

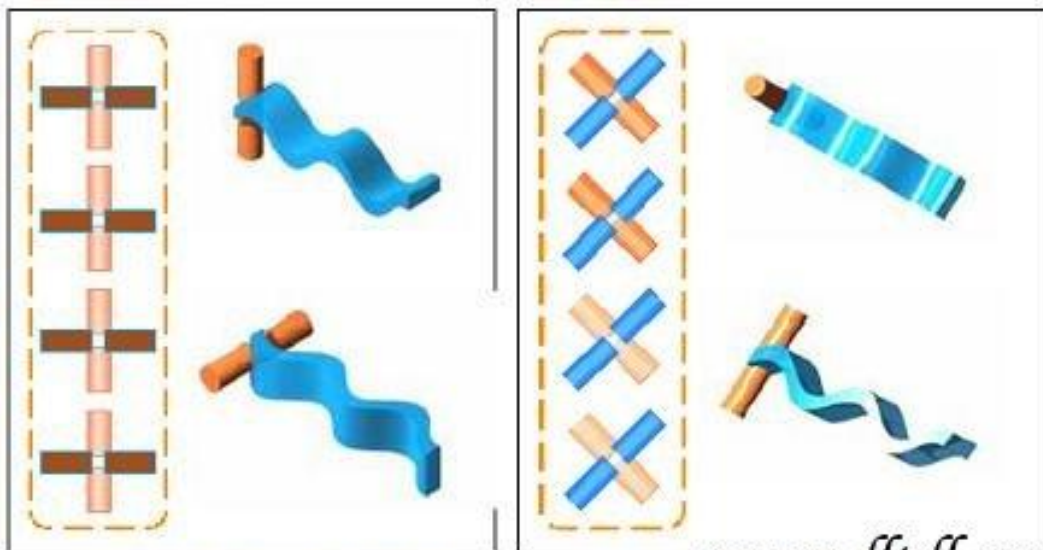
天线的**极化**：在最大辐射方向上电场矢量的空间取向随时间的变化方式。一般有线极化，圆极化和椭圆极化。

线极化一般分为**水平极化**和**垂直极化**。

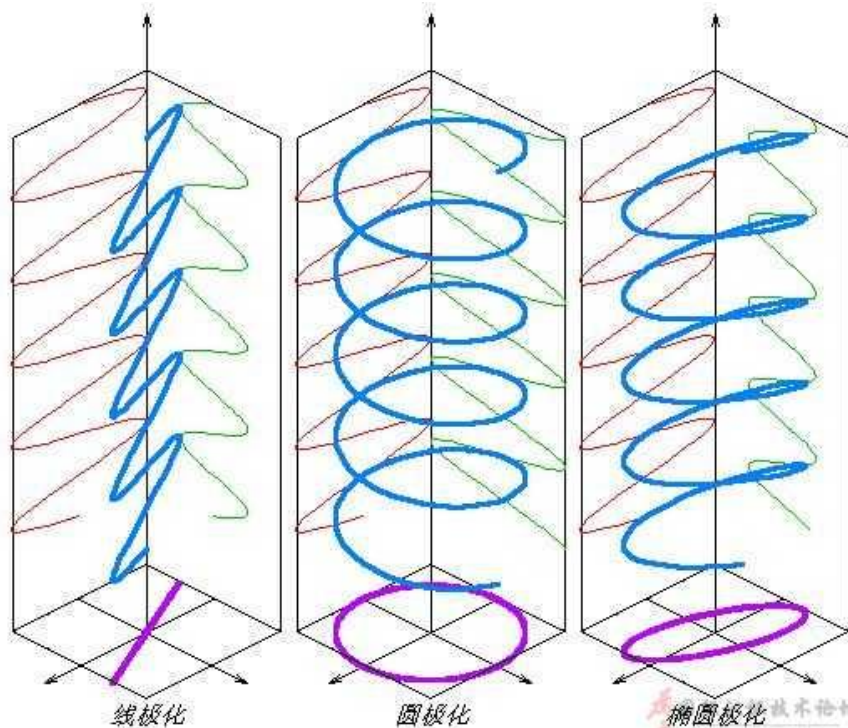
圆极化分为**左旋极化**和**右旋极化**。

一般而言，场为**椭圆极化**。

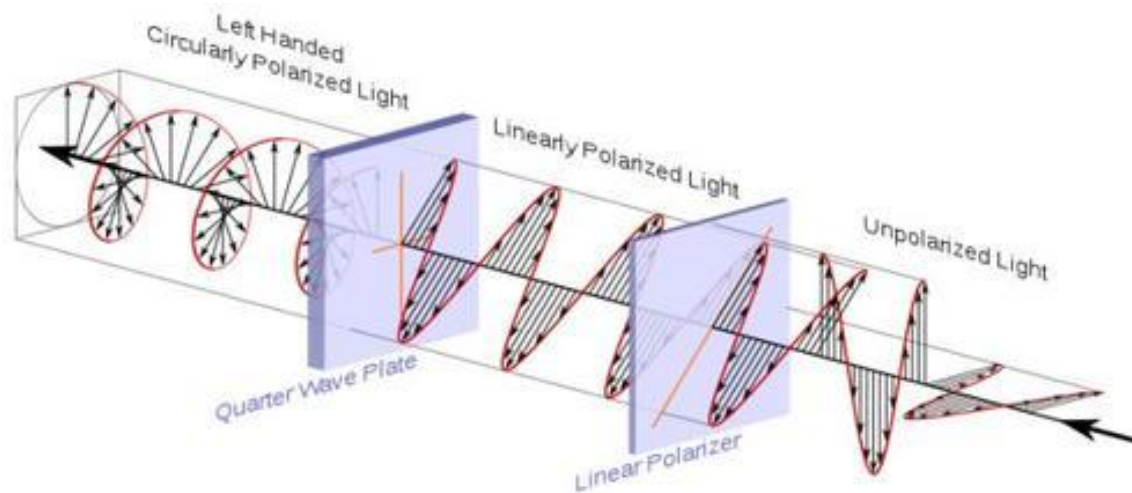
双极化。



VH (垂直/水平) 型 双极化
四女电丁 科议八子地信上狂子阮



椭圆极化 技术论坛
 lec.WayCircuit.com



5、天线的工作频带宽度

天线的方向特性，极化特性，阻抗特性及效率等参数都是和频率相关的。把天线的各种特性参数不超过规定变化范围的频率范围称为天线的频带宽度，简称**天线带宽**。

对于窄带天线，常用**相对带宽**来表示工作带宽。

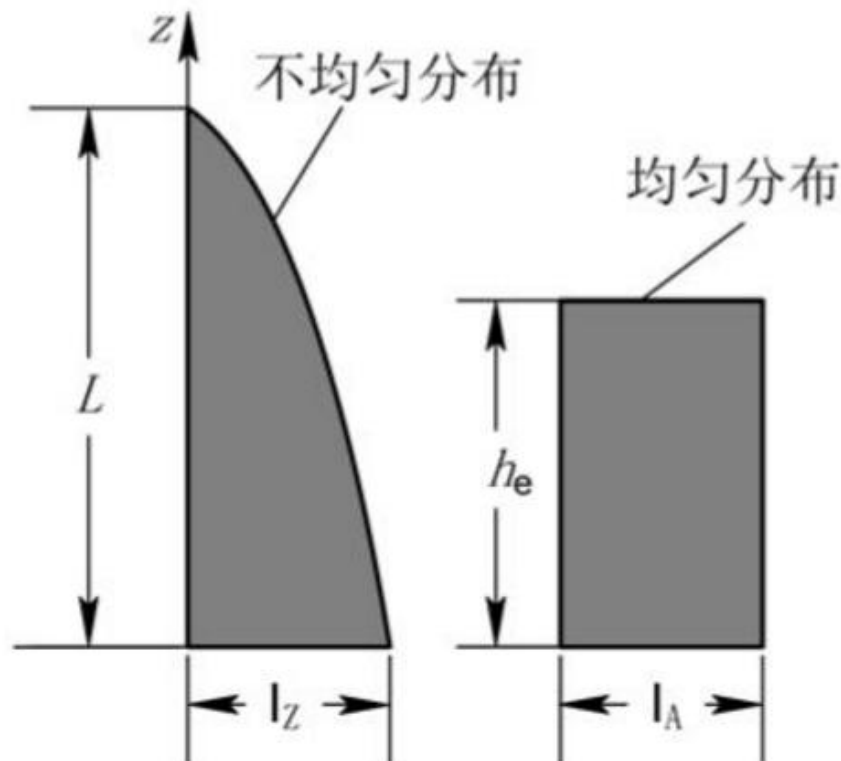
对于宽带天线，常用**倍频**表示频带宽度。

$$\frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \times 100\% \qquad f_{\max} / f_{\min}$$

6、接收天线特性参量：有效长度

一般而言，天线上的电流分布是不均匀的，也就是说天线上不同部位的辐射能力是不同的，为了衡量天线的辐射能力，把天线在最大辐射方向的场强和天线上电流联系起来，引入了**有效长度**的概念。

有效长度：在保持实际天线最大辐射方向上场强值不变的条件下，假设天线上的电流分布均匀且电流等于波腹电流时，天线的等效长度。



$$L_e = \frac{E(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}{\frac{60\pi I_0}{r\lambda}}$$

式中 $E(\theta_{\max}, \varphi_{\max})$ 表示在发射天线主向上 r 距离处电场强度, I_0 为天线输入端电流。

有效长度的物理意义,可由对照电元辐射体主向的电场强度看出。实际上是以**天线输入端电流不变为起始规定,把原来不均匀的电流分布,转化为均匀的电流分布。**用改变天线长度的办法,来补偿电流分布的变化,使天线在主向的电场强度值和元电辐射体公式算出的电场强度值相一致。

电流分布规律改为均匀分布规律后,把天线用作为接收天线时,天线输入端上的感应电动势 e_0 值,应为从主向到达的来波电场强度和天线有效长度的乘积,因此接收天线的有效长度为

$$L_e = \frac{e_0}{E(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}$$

这样可使天线用作发射时与用作接收时的有效长度是一致的。当来波不是从主向传来时,接收天线的感应电动势还要考虑接收天线方向性,可得

$$e_0(\theta, \varphi) = L_e E(\theta_{\max}, \varphi_{\max}) f(\theta, \varphi)$$

$f(\theta, \varphi)$ 为接收天线的归一化方向性函数,与天线作为发射状态时的 $f(\theta, \varphi)$ 是一致的。

对于面状天线将在后面仿效引出有效面积的概念,差别仅在于比对的天线将不再是电元辐射体而转为口径元辐射体。

注意：有效长度这一概念通常只应用与天线臂小于 $\lambda/4$ 的天线中。

7、方向性系数的计算公式

方向性系数D常转化成下述形式,进行具体的计算。

$$\begin{aligned} D &= \frac{P_s(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}{P_{s\odot}} = \frac{P_s(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} \\ &= \frac{E(\theta_{\max}, \varphi_{\max})^2 / \eta}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{[E(\theta_{\max}, \varphi_{\max}) f(\theta, \varphi)]^2}{\eta 4\pi r^2} r^2 \sin \theta d\theta d\varphi} \\ D &= \frac{4\pi}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} f^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} \end{aligned}$$

当归一化方向性函数不随 φ 方位角而变化时,则有

$$D = \frac{2}{\int_0^\pi f^2(\theta) \sin \theta d\theta}$$

由上式可知,方向图愈尖锐,则方向性系数值愈大。

对于线状天线,方向性系数公式还可写为

$$D = \frac{120F^2(\theta_{\max}, \varphi_{\max})}{R_r}$$

8、天线的输入阻抗

天线实际是馈线的终端负载。

天线阻抗是天线的重要指标。工程中常由实验测量来确定天线的输入阻抗。也可以采用工程近似方法测量天线的输入阻抗。

天线的输入阻抗取决于天线本身结构、工作频率以及周围的环境。

