



第4章 非频变天线

4.1 非频变天线的基本概念

4.2 平面等角螺旋天线

4.3 阿基米德螺旋天线

4.4 对数周期天线





4.1 非频变天线的基本概念

研究天线除了要分析、研究天线的方向特征和阻抗特征外，还应考虑它的使用带宽问题。当代通信中，要求天线具有较宽的工作频带特征，以扩频通信为例，扩频信号带宽较之原始信号带宽远远超出10倍，再如通信侦察等领域均要求天线具有很宽的带宽。

习惯上，若天线的相对带宽达百分之几十以上，则把此类天线称为宽频带天线。若天线的阻抗特征和方向性能在一种更宽的频率范围内（例如频带宽度为10：1或更高）保持不变或稍有变化，则把这一类天线称为非频变天线(Frequency Independent Antenna)。

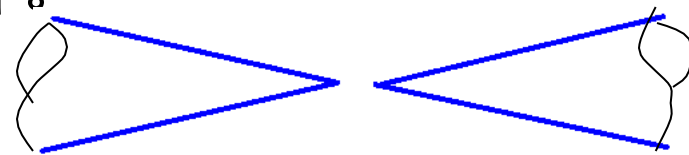




非频变天线概念是由拉姆西（V.H.Rumsey）于1957年提出的，使天线的发展产生了一种突破，可将带宽扩展到超出40：1，在此之前，具有宽频带方向性和阻抗特征的天线其带宽不超出2：1。我们已经懂得，天线的电性能取决于它的电尺寸 l/λ ，所以当几何尺寸一定时，频率的变化造成电尺寸的变化，因而天线的性能也将随之变化。非频变天线的导出基于相同原理。相同原理是说：若天线的全部尺寸和工作频率（或波长）按相同百分比变化 $1/\lambda$ ，则天线的特征保持不变。对于实用的天线，要实现非频变特征必须满足下列两个条件。

1. 角度条件

角度条件是指天线的几何形状仅仅由角度来拟定，而与其他尺寸无关。例如无限长双锥天线就是一种经典的例子，因为锥面上只有行波电流存在，故其阻抗特征和方向特征将与频率无关，仅仅决定于圆锥的张角。要满足“角度条件”，天线构造需从中心点开始一直扩展到无限远。



2. 终端效应弱

实际天线的尺寸总是有限的，与无限长天线的区别就在于它有一种终端的限制。若天线上电流衰减得快，则决定天线辐射特征的主要部分是载有较大电流的部分，而其延伸部分的作用很小，若将其截除，对天线的电性能不会造成明显的影响。在这种情况下，有限长天线就具有无限长天线的电性能，这种现象就是终端效应弱的体现，反之则为终端效应强。

因为实际构造不可能是无限长，使得实际有限长天线有一工作频率范围，工作频率的下限是截断点处的电流变得能够忽视的频率，而存在频率上限是因为馈电端不能再视为一点，一般约为 $1/8$ 高端截止波长。





非频变天线能够提成两类，一类天线的形状仅由角度来拟定，可在连续变化的频率上得到非频变特征，如无限长双锥天线、平面等角螺旋天线以及阿基米德螺旋天线等。

另一类天线的尺寸按某一特定的百分比因子 τ 变化，天线在 f 和 τf 两频率上的性能是相同的，当然，在从 f 到 τf 的中间频率上，天线性能是变化的，只要 f 与 τf 的频率间隔不大，在中间频率上，天线的性能变化也不会太大，用这种措施构造的天线是宽频带的。这种构造的一种经典例子是对数周期天线。非频变天线主要应用于10~10000MHz频段的诸如电视、定点通信、反射面和透镜天线的馈源等方面。





4.2 平面等角螺旋天线

4.2.1 平面等角螺旋天线的构造和工作原理

图4—2—1为平面等角螺旋天线(Planar Equiangular Spiral Antenna)示意图, 是V.H.Rumsey提出的一种角度天线, 双臂用金属片制成, 具有对称性, 每一臂都有两条边沿线, 均为等角螺旋线。等角螺旋线如图4—2—2所示, 其极坐标方程为

$$r = r_0 e^{\alpha\varphi} \quad (4-2-1)$$

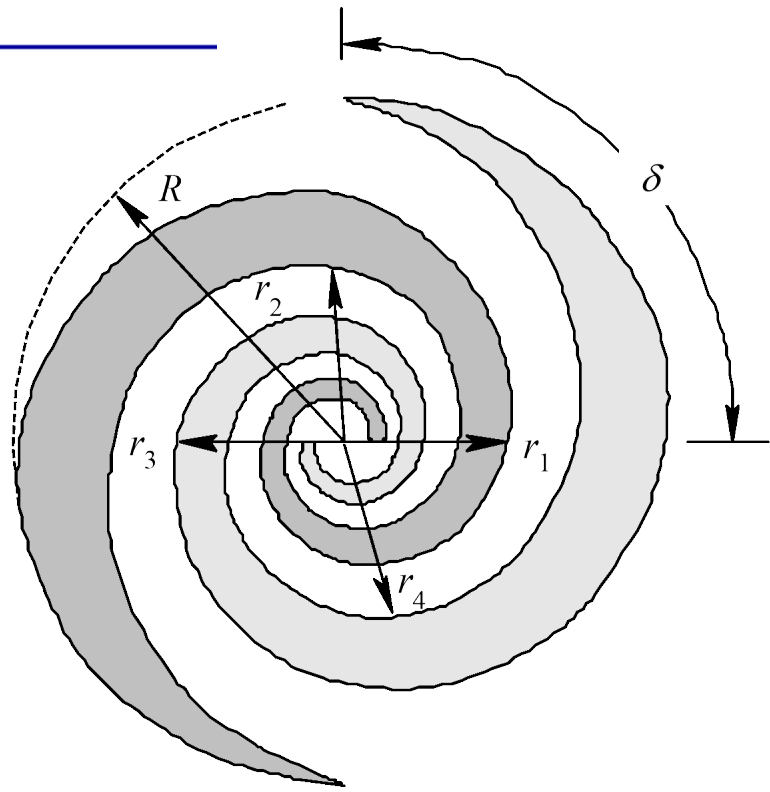


图4—2—1 平面等角螺旋天线

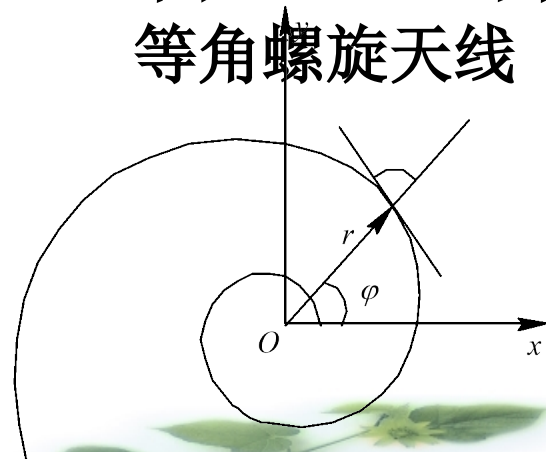


图4—2—2 等角螺旋线



式中， r 为螺旋线矢径； φ 为极坐标中的旋转角； r_0 为 $\varphi=0^\circ$ 时的起始半径； $1/a$ 为螺旋率，决定螺旋线张开的快慢。

因为螺旋线与矢径之间的夹角 ψ 到处相等，所以这种螺旋线称为等角螺旋线， ψ 称为螺旋角，它只与螺旋率有关，即

$$\psi = \arctan \frac{1}{a} \quad (4-2-2)$$

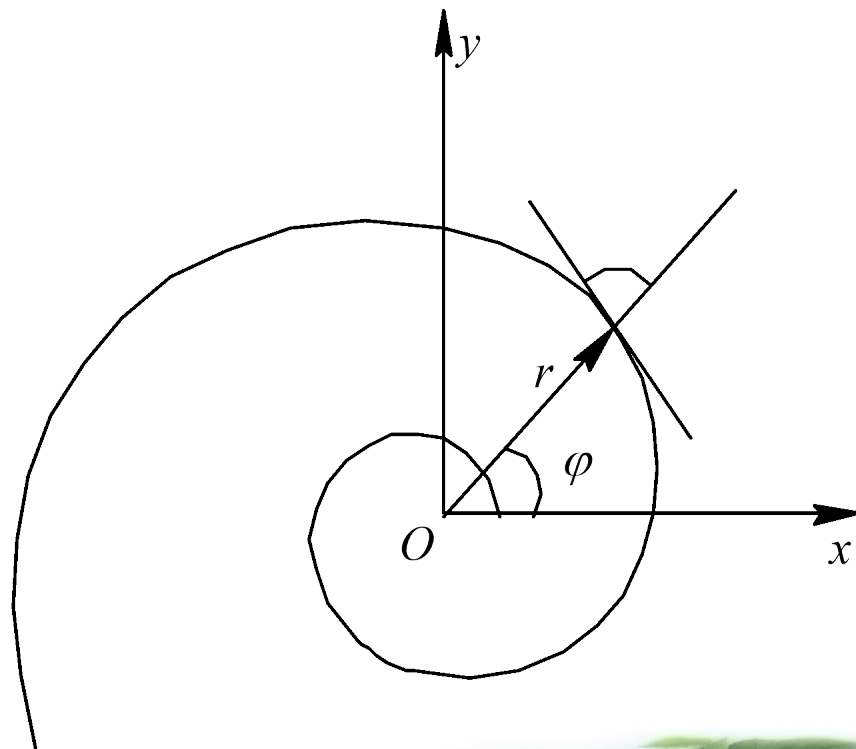


图4—2—2 等角螺旋线

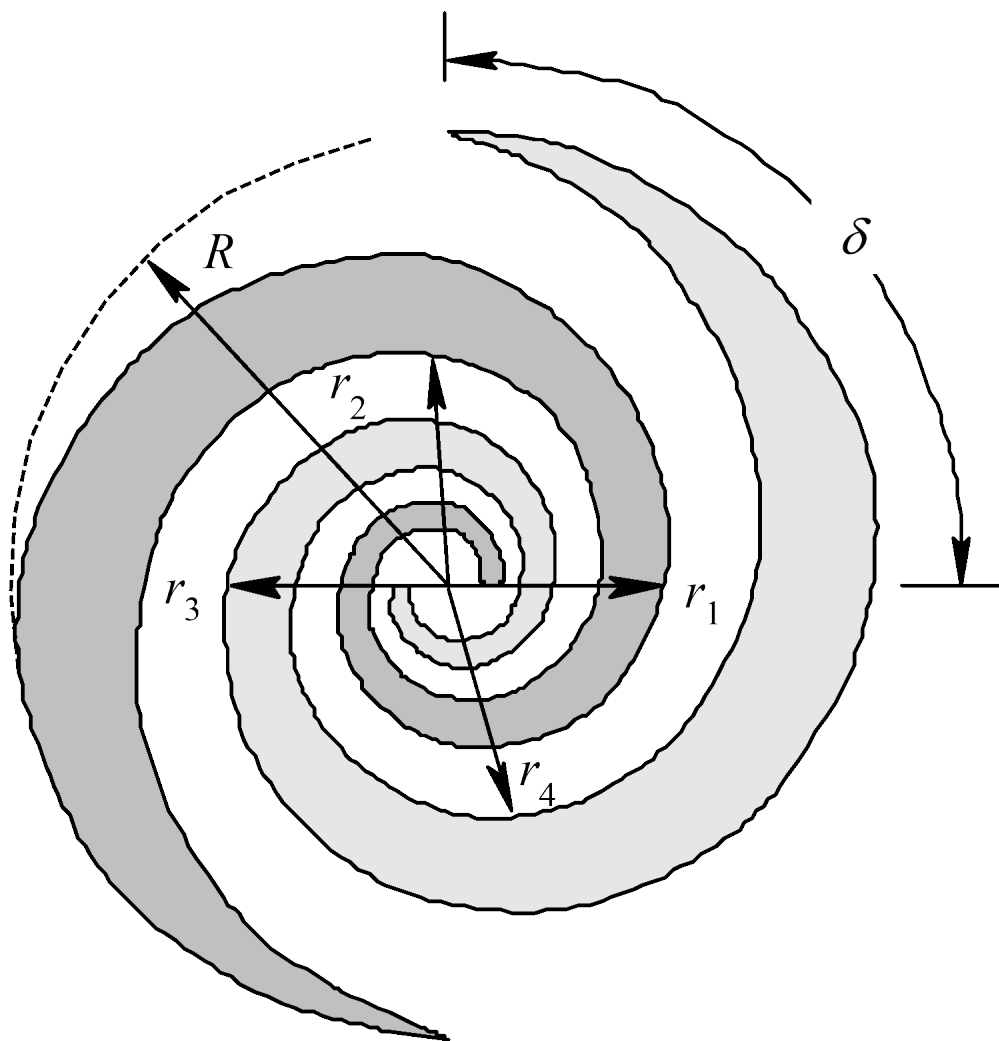


图4—2—1 平面等角螺旋天线



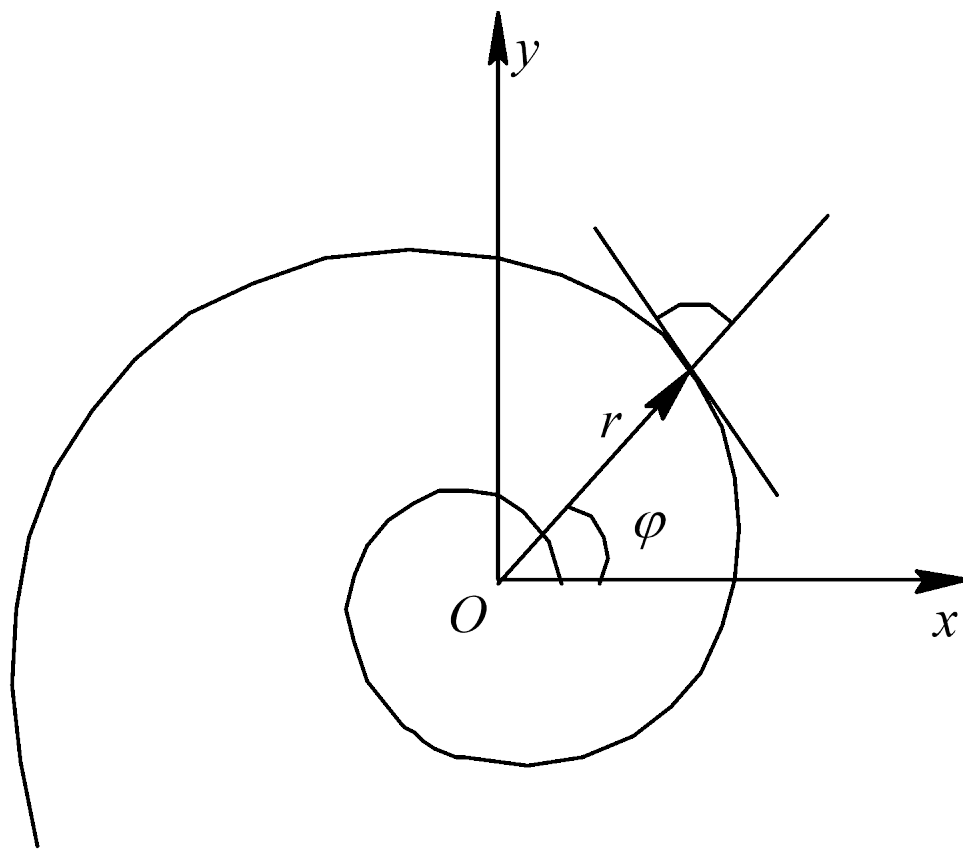


图4—2—2 等角螺旋线





在图4—2—1所示的等角螺旋天线中，两个臂的四条边沿具有相同的 a ，若一条边沿线为 $r_1=r_0e^{a\varphi}$ ，则只要将该边沿旋转 δ 角，就可得该臂的另一边沿线 $r_2=r_0e^{a(\varphi-\delta)}$ 。另一臂相当于该臂旋转 180° 而构成，即 $r_3=r_0e^{a(\varphi-\pi)}$ ， $r_4=r_0e^{a(\varphi-\pi-\delta)}$ 。因为平面等角螺旋天线臂的边沿仅由角度描述，因而满足非频变天线对形状的要求。假如取 $\delta=\pi/2$ ，天线的金属臂与两臂之间的空气缝隙是同一形状，称为自补构造。

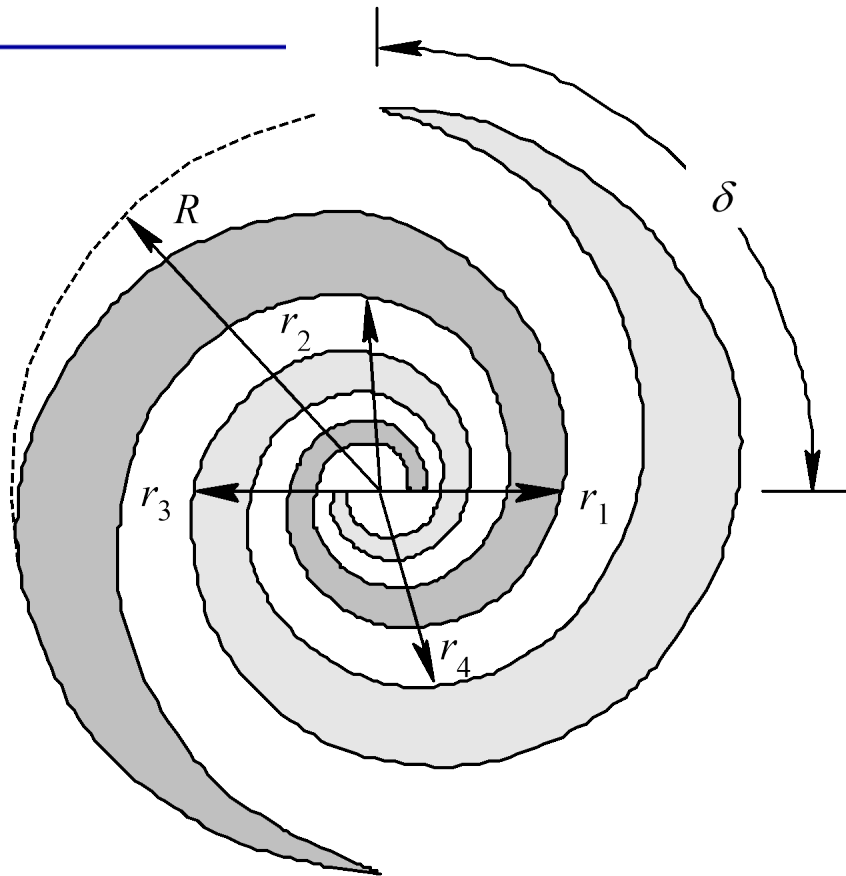
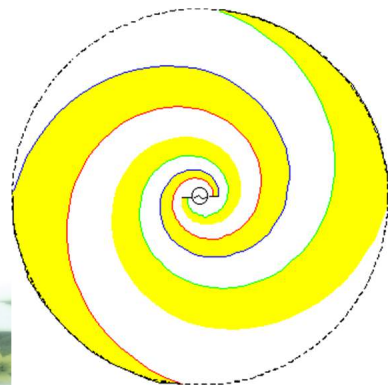


图4—2—1 平面等角螺旋天线





当两臂的始端馈电时，能够把两臂等角螺旋线看成是一对变形的传播线，臂上电流沿线边传播，边辐射，边衰减。螺旋线上的每一小段都是一基本辐射片，它们的取向沿螺旋线而变化，总的辐射场就是这些元辐射场的叠加。试验表明，臂上电流在流过约一种波长后就迅速衰减到20dB下列，终端效应很弱。所以，辐射场主要是由构造中周长约为一种波长以内的部分产生的，这个部分一般称为有效辐射区，传播行波电流。换句话说螺旋天线存在“电流截断效应”，超出截断点的螺旋线部分对辐射没有重大贡献，在几何上截去它们将不会对保存部分的电性能造成明显影响，因而，能够用有限尺寸的等角螺旋天线在相应的宽频带内实现近似的非频变特征。波长变化后，有效区的几何大小将随波长成百分比地变化，从而能够在一定的带宽内得到近似的与频率无关的特征。



4.2.2 平面等角螺旋天线的电性能

1. 方向性

自补平面等角螺旋天线的辐射是双向的，最大辐射方向在平面两侧的法线方向上。若设 θ 为天线平面的法线与射线之间的夹角，则方向图可近似表达为 $\cos\theta$ ，半功率波瓣宽度近似为 90° 。

因为平面等角螺旋天线是双向辐射的，为了得到单向辐射，可采用附加反射（或吸收）腔体，也能够做成圆锥形等角螺旋天线(Conical Equiangular Spiral Antenna)，如图4—2—3所示。

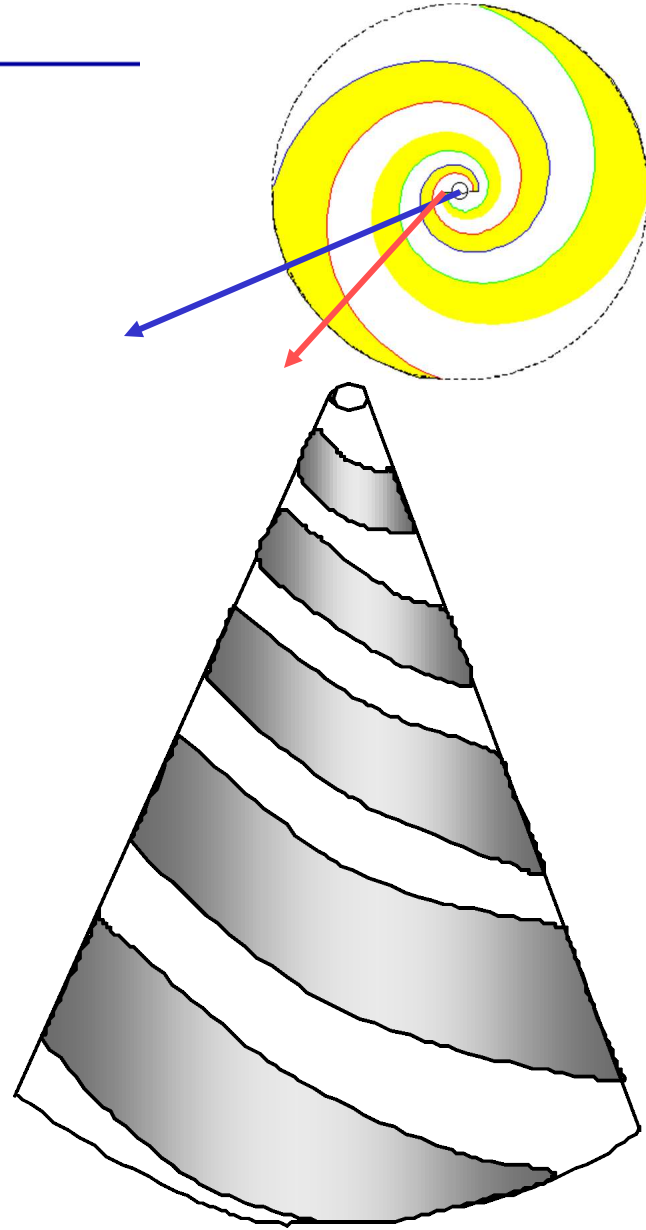


图4—2—3 圆锥等角螺旋天线



2. 阻抗特征

如前所述，当 $\delta = \pi/2$ 时天线为自补构造，自补是互补的特殊情况。互补天线类似于摄影中的像片和底片，互补天线的一种例子是金属带做成的对称振子和无限大金属平面上的缝隙，互补天线的阻抗具有下列性质：

$$Z_{\text{缝隙}} \cdot Z_{\text{金属}} = \left(\frac{\eta_0}{2}\right)^2 \quad (4-2-3)$$

对于自补构造，由上式可得

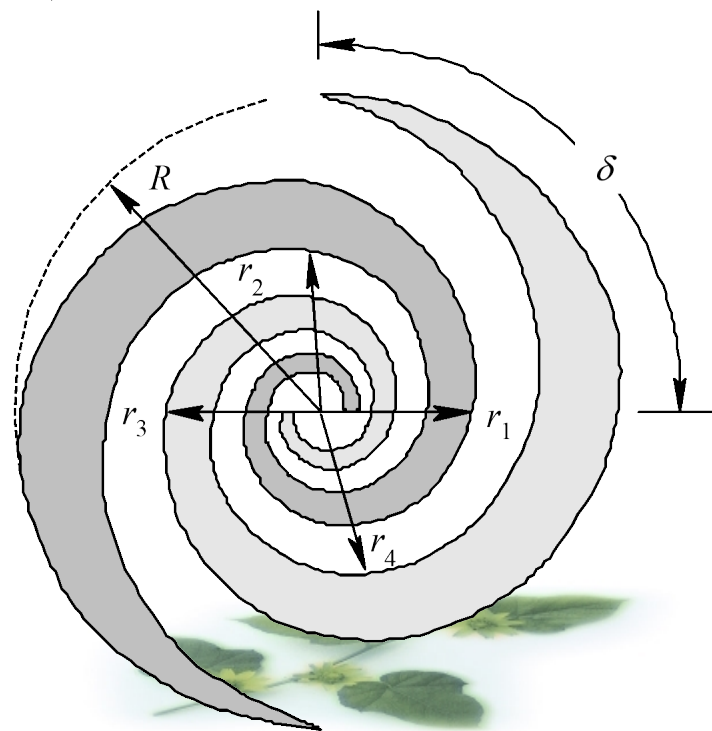
$$Z_{\text{金属}} = Z_{\text{缝隙}} = \frac{\eta_0}{2} = 188.5\Omega \quad (4-2-4)$$





3.极化特征

一般而言，平面等角螺旋天线在 $\theta \leq 70^\circ$ 锥形范围内接近圆极化。天线有效辐射区内的每一段螺旋线都是基本辐射单元，但它们的取向沿螺旋线变化，总的辐射场是这些单元辐射场的叠加，所以等角螺旋天线轴向辐射场的极化与臂长有关。当频率很低，全臂长比波长小得多时，为线极化；当频率增高时，最终会变成圆极化。在许多实用情况下，轴比不大于等于2的经典值发生在全臂长约为一种波长时，极化旋向与螺旋线绕向有关，例如，图4—2—1所示平面等角螺旋天线沿纸面对外的方向辐射右旋圆极化波，沿相反方向辐射左旋圆极化波。





4. 工作带宽

等角螺旋天线的工作带宽受其几何尺寸影响，由内径 r_0 和最外缘的半径 R 决定。实际的圆极化等角螺旋天线，外径 $R \approx \lambda_{\max}/4$ ，内径 $r_0 \approx (1/4 \sim 1/8)\lambda_{\min}$ 。根据臂长为1.5圈~3圈的试验成果看，当 $a=0.221$ 相应1.5圈螺旋时，其方向图最佳。此时外半径 $R=r_0 e^{0.221(3\pi)}=8.03r_0=\lambda_{\max}/4$ ，在馈电点 $r=r_0 e^0=r_0=\lambda_{\min}/4$ ，所以该天线可具有的相对带宽为

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = \frac{\lambda_{\max}/4}{\lambda_{\min}/4} = \frac{8.02r_0}{r_0} = 8.03 \quad (4-2-5)$$

即经典相对带宽为8:1。若要增长相对带宽，必须增长螺旋线的圈数或变化其参数，相对带宽有可能到达20:1。





4.3 阿基米德螺旋天线

阿基米德螺旋天线(Archimedean Spiral Antenna)如图4—3—1(a)所示,这种天线像许多螺旋天线一样,采用印刷电路技术很轻易制造。天线的两个螺旋臂方程分别是

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= r_0 + a\varphi & (\varphi \geq 0) \\ r_2 &= r_0 + a(\varphi - \pi) & (\varphi \geq \pi) \end{aligned} \right\} (4-3-1)$$

式中 r_0 为起始矢径,相应于 $\varphi=0$ 的矢径。 a 为增长率。这一天线的性能基本上与等角螺旋天线类似。

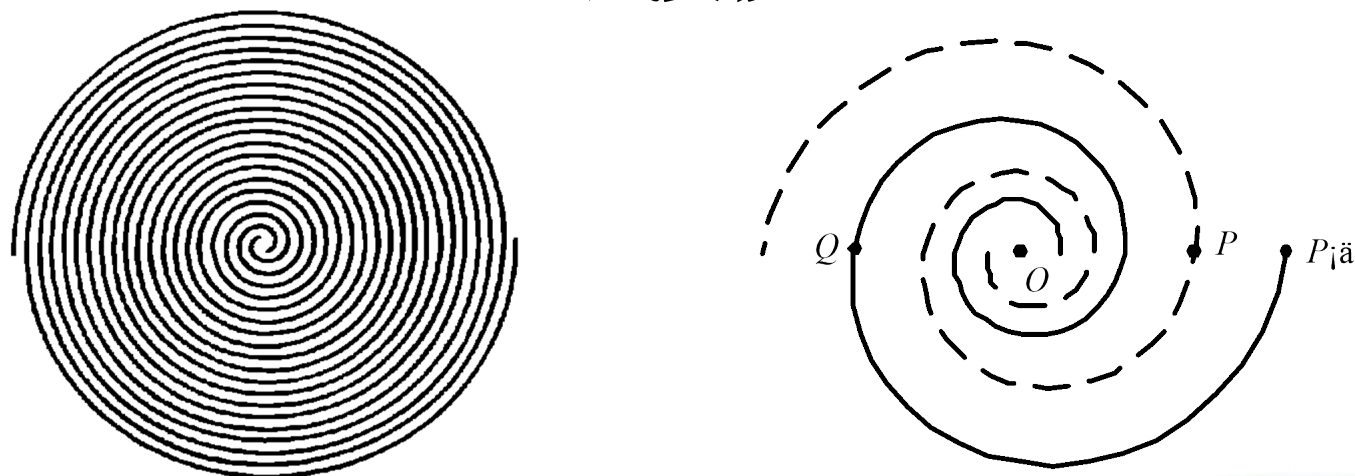


图4—3—1 阿基米德螺旋天线

我们能够近似地将螺旋线等效为双线传播线，根据传播线

理论，两根传播线上的电流反相，当两线之间的间距很小时，传播线不产生辐射。所以表面看，似乎螺旋线的辐射是彼此抵消的，事实并不尽然。为了明显地将两臂分开，在图

4—3—1(b)中分别用虚线和实线表达这两个臂。研究图中 P 、 P' 点处的两线段，

设 Q ，即 P 和 Q 为两臂上的相应点，

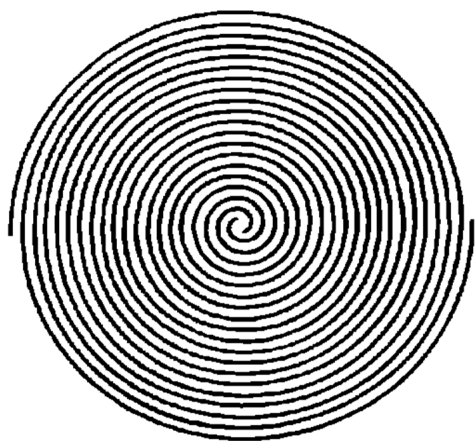
相应线段上的电流相位差为 π ，由 Q 点沿螺旋臂到 P' 点的弧长

近似等于 πr ，这里 r 为

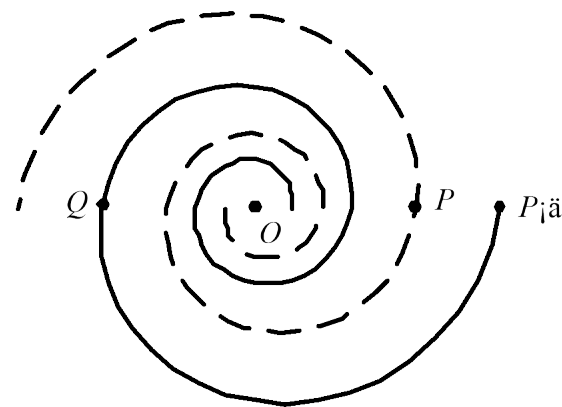
的长度，故 P 点和 P' 点电流的相位差

为 $\pi + (2\pi/\lambda)\pi r$ 。

若设 $r = \lambda/2\pi$ ，则 P 和 P' 点相位差为 2π 。所以，若满足上述条件，两线段的辐射是同相叠加而非相消的。

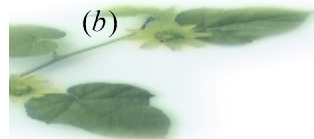


(a)



(b)

图4—3—1 阿基米德螺旋天线





换句话说，天线主要辐射是集中在周长约等于 λ 的螺旋环带上，称之为有效辐射带。伴随频率的变化，有效辐射带也随之变化，故阿基米德螺旋天线具有宽频带特征。虽然这一天线能够在很宽频带上工作，但它不是一种真正的非频变天线，因为电流在工作区后不明显减小，因而不能满足截断要求，必须在末端加载，以防止波的反射。

经过在螺旋平面一侧装置圆柱形反射腔构成背腔式阿基米德螺旋天线(*Cavity-Backed Archimedean Spiral Antenna*)，可得到单一主瓣，它能够嵌装在运载体的表面下。

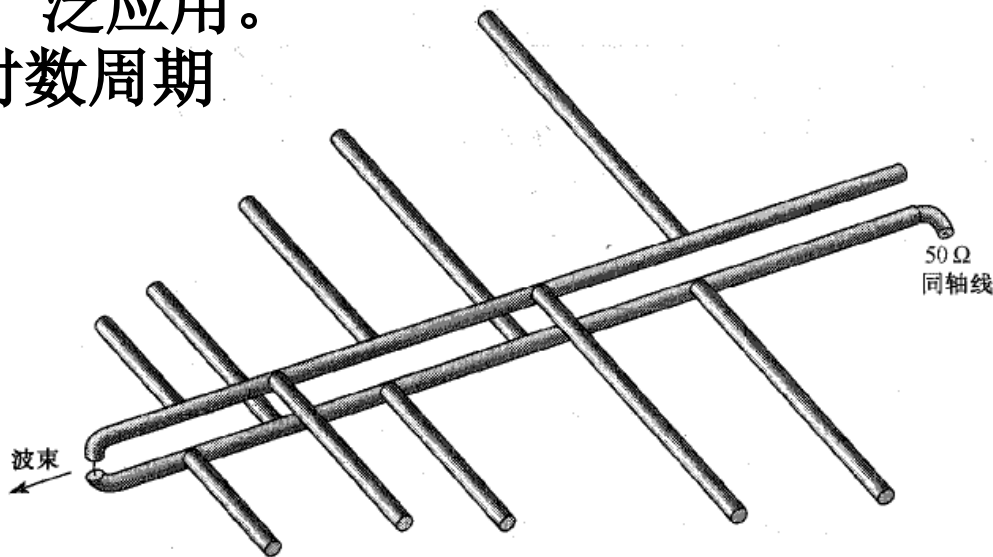
阿基米德螺旋天线具有宽频带、圆极化、尺寸小、效率高以及能够嵌装等优点，故目前其应用愈来愈广泛。





4.4 对数周期天线

对数周期天线(Log Periodic Antenna,LPA)于1957年提出,是非频变天线的另一类型,它基于下列相同概念:当日线按某一百分比因子 τ 变换后仍等于它原来的构造,则天线的频率为 f 和 τf 时性能相同。对数周期天线有多种型式,其中1960年提出的对数周期振子阵天线(Log Periodic Dipole Antenna,LPDA),因具有极宽的频带特征,而且构造比较简朴,在短波和微波波段得到了广泛应用。我们将以LPDA为例阐明对数周期天线的特征。



(a) 50 Ω 或70 Ω 同轴馈线的安装

4.4.1 对数周期振子阵天线的构造

对数周期振子阵天线的构造如图4—4—1所示。它由若干个对称振子构成，在构造上具有下列特点：

(1) 全部振子尺寸以及振子之间的距离等都有拟定的百分比关系。若用 τ 来表达该百分比系数并称为百分比因子，则要求：

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{a_{n+1}}{a_n} = \tau \quad (4-4-1)$$

$$\frac{R_{n+1}}{R_n} = \tau \quad (4-4-2)$$

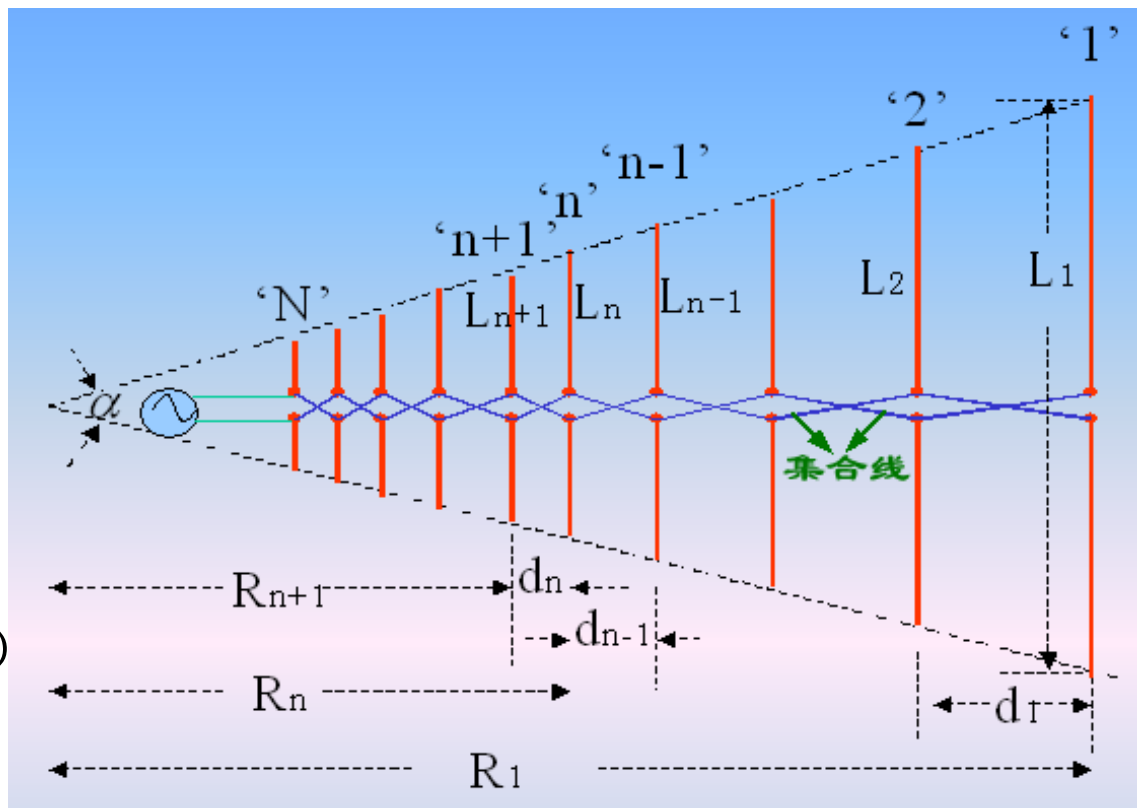


图4—4—1 对数周期振子阵天线

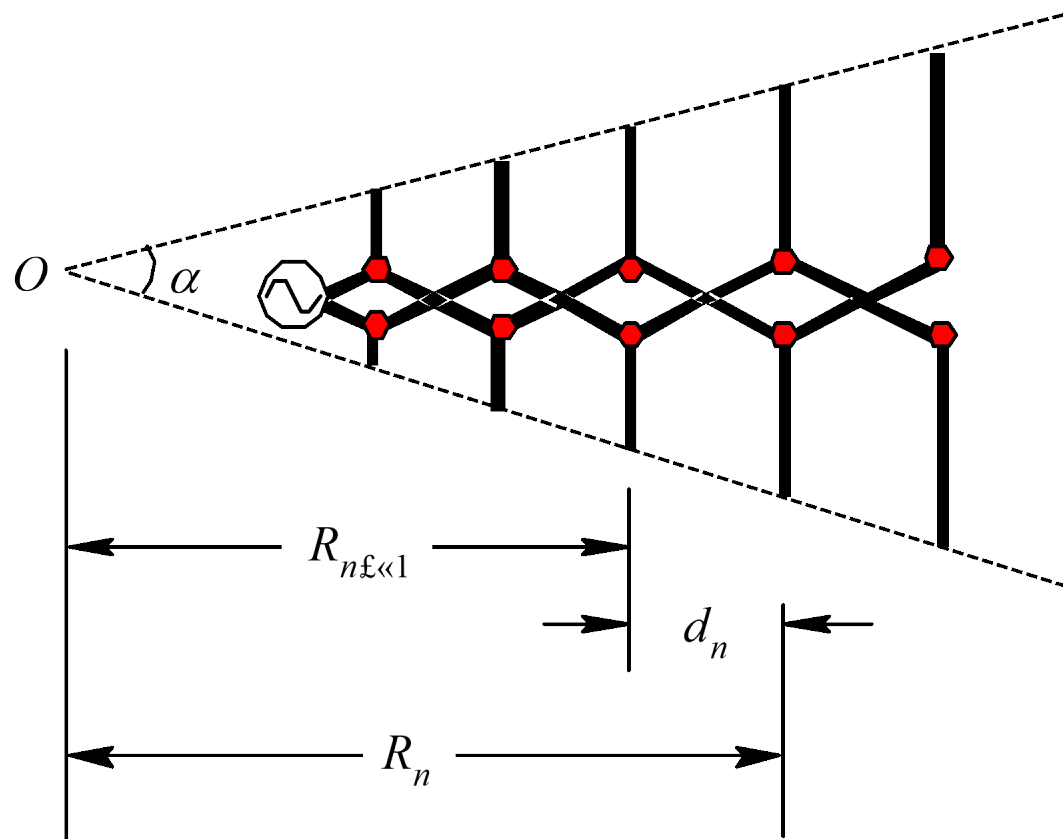


图4—4—1 对数周期振子阵天线





式中, L_n 和 a_n 是第 n 个对称振子的全长及半径; R_n 为第 n 个对称振子到天线“顶点”(图4—4—1中的“O”点) 的距离; n 为对称振子的序列编号, 从离开馈电点最远的振子, 即最长的振子算起。

由图4—4—1知, 相邻振子之间的距离为

$$\frac{d_n = R_n - R_{n+1}, \quad d_{n+1} = R_{n+1} - R_{n+2}, \quad \dots, \quad \text{其比值}}{\frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{R_{n+1} - R_{n+2}}{R_n - R_{n+1}} = \frac{R_{n+1}(1 - \tau)}{R_n(1 - \tau)} = \tau} \quad (4-4-3)$$

即间距也是成 τ 的百分比关系。综合以上几何关系可知, 不论振子长度、半径还是振子之间的距离等全部几何尺寸都按同一百分比系数 τ 变化:





$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \tau \quad (4-4-4)$$

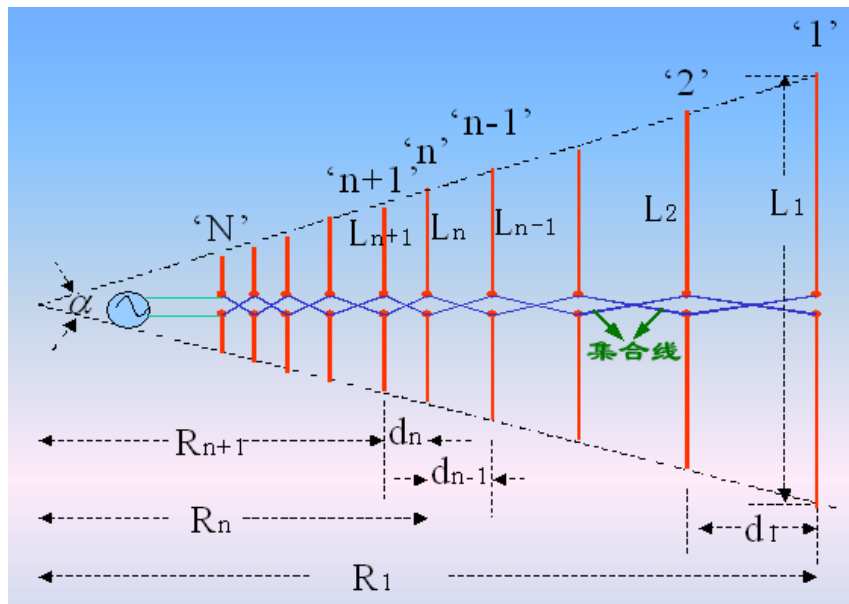
实用中经常用间隔因子 σ 来表达相邻振子间的距离，
它被定义为相邻两振子间的距离 d_n 与2倍较长振子的长度
 $2L_n$ 之比，即

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} \quad (4-4-5)$$

图4—4—1中的 α 称为对数
周期振子阵天线的顶角。

由

$$d_n = R_n - R_{n+1} = R_n(1 - \tau), \quad R_n = \frac{L_n/2}{\tan \frac{\alpha}{2}}$$





$$d_n = (1 - \tau) \frac{L_n}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$$

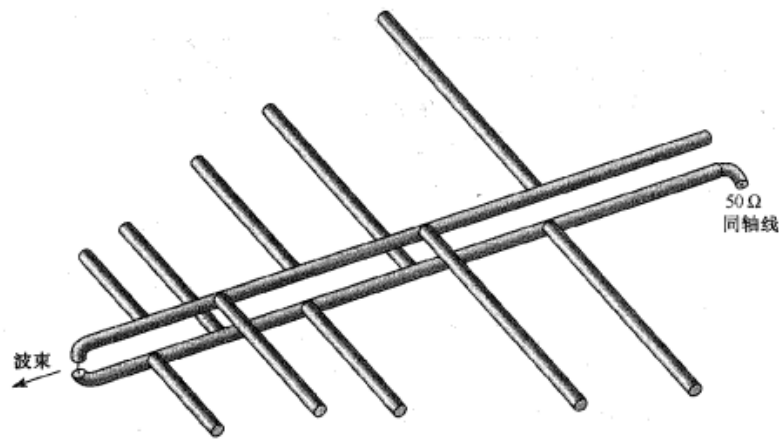
得出它与 τ 及 σ 之间具有如下关系:

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} = \frac{1 - \tau}{4 \tan \frac{\alpha}{2}} \quad (4-4-6a)$$

$$\alpha = 2 \arctan \frac{1 - \tau}{4\sigma} \quad (4-4-6b)$$

(2) 相邻振子交叉馈电(Cross Feed)。

一般把给各振子馈电的那一段平行线称为“集合线”，以区别于整个天线系统的馈线。

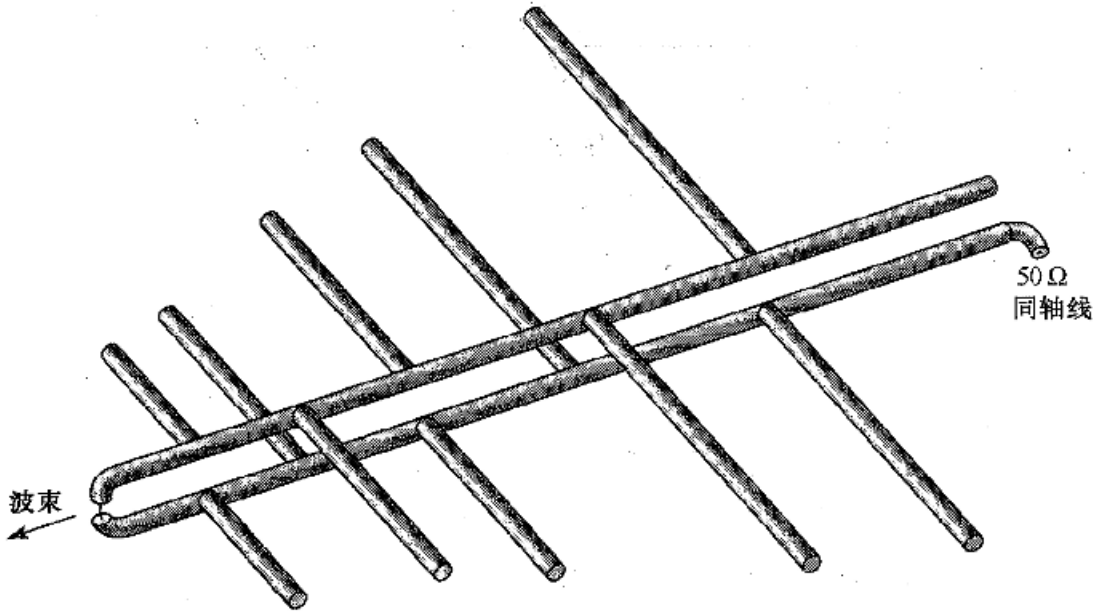


(a) 50 Ω或70 Ω同轴馈线的安装

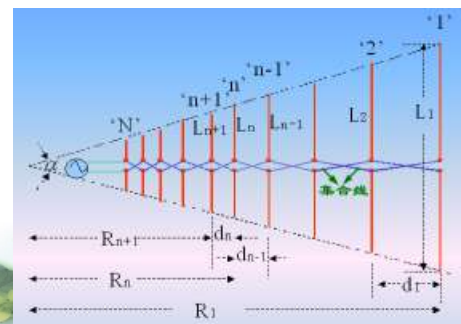


例如图4—4—6所示的对数周期振子阵天线是用同轴电缆作馈线的，但在给各振子馈电时转换成了平行双导线。作为整个天线系统的馈电线是同轴线，而直接与各振子连接的则是“集合线”

。在集合线的末端(最长振子处)能够端接与它的特征阻抗相等的负载阻抗，也能够端接一段短路支节。合适调整短路支节的长度，能够降低电磁波在集合线终端的反射。当然，在最长振子处也能够不端接任何负载，详细情况可由调试成果选定。

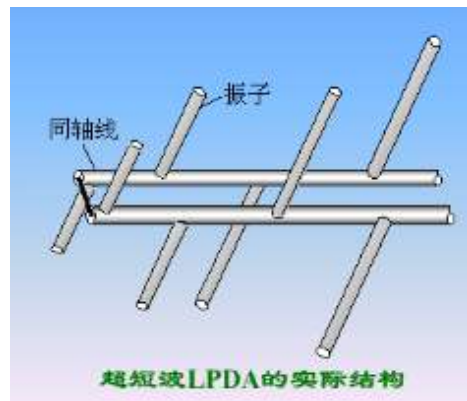


(a) 50 Ω或70 Ω同轴馈线的安装





对数周期振子阵天线的馈电点选在最短振子处。天线的最大辐射方向将由最长振子端朝向最短振子的这一边。天线的几何构造参数 σ 和 τ （当然也涉及 α ）对天线电性能有着主要的影响，是设计对数周期振子阵天线的主要参数。



4.4.2 对数周期振子阵天线的工作原理

对数周期振子阵天线具有极宽的工作带宽，到达10：1或更宽某些。能够从概念上这么来了解它的工作原理。

在前面的学习中我们已经看到天线的方向特征、阻抗特征等等都是天线电尺寸的函数。假如设想当工作频率按百分比 τ 变化时，依然保持天线的电尺寸不变，则在这些频率上天线就能保持相同的电特征。





就对数周期振子阵天线来说，假定工作频率为 f_1 (λ_1) 时，只有第“1”个振子工作，其电尺寸为 L_1/λ_1 ，其他振子均不工作；当工作频率升高到 f_2 (λ_2) 时，换成只有第“2”个振子工作，电尺寸为 L_2/λ_2 ，其他振子均不工作；当工作频率升高到 f_3 (λ_3) 时，只有第“3”个振子工作，电尺寸为 L_3/λ_3 ；依次类推。显然，假如这些频率能确保

$$\frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{L_2}{\lambda_2} = \frac{L_3}{\lambda_3}, L$$

则在这些频率上天线能够具有不变的电特征。因为对数周期振子阵天线各振子尺寸满足 $L_{n+1}/L_n = \tau$ ，就要求这些频率满足 $\lambda_{n+1}/\lambda_n = \tau$ 或 $f_{n+1}/f_n = 1/\tau$ 。假如我们把 τ 取得十分接近于1，则能满足以上要求的天线的工作频率就趋近连续变化。假如天线的几何构造为无限大，那么该天线的工作频带就能够到达无限宽。





因为能实现天线电性能不变的频率满足 $f_{n+1}/f_n=1/\tau$ ，对它

取对数得到

$$\ln f_{n+1} - \ln f_n = \ln \frac{1}{\tau} \quad (4-4-7)$$

该式表明，只有当工作频率的对数作周期性变化时(周期为 $\ln(1/\tau)$)，天线的电性能才保持不变，所以，把这种天线称为对数周期天线。

实际上并不是相应于每个工作频率只有一种振子在工作，而且天线的构造也是有限的。这么一来，以上的分析似乎完全不能成立。然而值得庆幸的是，试验证明了对数周期振子阵天线上确实存在着类似于一种振子工作的一种电尺寸一定的“辐射区”或“有效区”，这个区域内的振子长度在 $\lambda/2$ 附近，具有较强的鼓励，对辐射将作出主要贡献。当工作频率变化时，



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/807051010134006165>