

## 双圆极化对数周期阵列天线

耿京朝，刘国玺，牛传峰，毛贵海

(中国电子科技集团公司第五十四研究所，河北 石家庄 050081)

**摘要** 介绍了一种由双圆极化对数周期天线单元组成的高增益宽带高效天线阵，给出了双圆极化对数周期天线单元分析、设计方法及计算、测试结果。分析了拼阵方法。

**关键词** 双圆极化；宽频带；对数周期天线；高增益

### 0 引言

自从 1958 年提出对数周期天线以来，以其在宽带范围内良好的匹配、基本固定的增益特性在通信对抗、宽带通信等领域得到广泛的应用。但对数周期天线单元一般为中等增益，当在宽带范围内要实现该增益时，需用对数周期为单元进行拼阵。

对数周期天线常用的典型结构是偶极子构成对数周期振子天线称为 LPDA (Log Periodic Dipole Antennas) 如图 1 所示。LPDA 是由 N 个平行对称振子按一定比例关系排列而成，它连接在一对双线传输线上，称为集合线，并通过集合线馈电。馈源接在短振子的一端，相邻两振子交叉馈电，与长振子相接的集合线终端有时接一阻抗元件或支节，用以减小终端的反射，改善天线在低频端的驻波特性，其基本参数有：

结构周期常数  $\tau$  :

$$\tau = d_{n+1} / d_n = l_{n+1} / l_n = R_{n+1} / R_n \quad (1)$$

间隔因子：

$$\sigma = d_n / (2l_n) = (1 - \tau) \operatorname{ctg}(\alpha/2) / 4 \quad (2)$$

式中， $l_n$  为第  $n$  个振子的长度； $R_n$  为第  $n$  个振子到天线顶点的距离； $d_n$  为第  $n$  个振子与第  $n-1$  个振子的间距。

对数周期振子天线馈电后，电磁能量沿集合线仅对接近于谐振长度的部分振子激励，形成天线的辐射。这部分被激励的振子称为有效区，天线的特性主要取决于有效区，随着频率的变化，有效区随之移动。由于天线具有“相似”原理原理的结构，当天线按照一特定的比例因子  $\tau$  变换后，仍为原来的结构。这样，出现在频率  $f$  和  $\tau f$  间的天线性能，将在  $\tau f$  和  $\tau^2 f$  的频率范围内重复出现，依此类推，天线的电指标将在很宽的频率范围内作周期性的变化。天线也就具有宽带性能。

对数周期天线有多种型式，目前应用最广的是对数周期振子天线，该天线与其他天线比较，具有频带宽、结构简单、造价便宜、重量轻；容易控制极化、具有一定的波束宽度和增益等优点。由于这些优点使其在近年来的测向系统中得到了大量的应用。

### 1 理论分析

常规的对数周期振子天线的分析一般用矩量法，矩量法分析线天线的主要思路是首先建立线天线的积分方程，然后将积分方程中的未知电流以基函数展开，再将天线分为若干小段并取权函数对积分算子作内积，将积分方程化作线性方程组，解此线性方程组即可得到天线上的电流分布，由此电流分布就可很容易地计算天线的天线的输入阻抗、辐射场及其他辐射特性。该过程可分为 2 个部分：① 应用矩量法确定对数周期各振子单元上的电流分布和阻抗矩阵，从而求得天线输入阻抗，即“内部问题”；② 根据电流分布计算各单元辐射场叠加而形成的总辐射场，从而得天线增益，即“外部问题”。

利用矩量法，可首先求出阵单元电流矩阵  $[I_A]$ 、天线输入阻抗  $Z_{in}$ ，根据电流分布可求出天线辐射特性及天线增益<sup>[4]</sup>。

#### (1) 单元电流矩阵 $[I_A]$

在每个阵单元的  $N$  个点上令切向场为零而得到下列方程。

$$\sum_{p=1}^M \sum_{n=1}^N Z_{m,np} I_{np} = 0, m=1, 2, \dots, N \times (M-1). \quad (3)$$

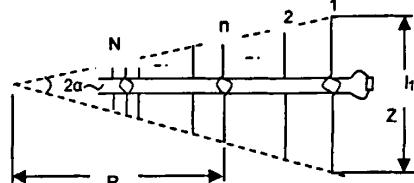


图 1 对数周期振子天线示意图

式中, M 为天线阵总单元数; N 为第 p 个单元的分段数。

在激励单元上, 虽然存在 N 个模, 但切向场为零的边界条件只在 N-1 个非激励点上才成立, 此时有 N-1 个方程满足下式:

$$\sum_{p=1}^M \sum_{n=1}^N Z_{m,np} I_{np} = 0, \quad m=N \times (M-1) + 1, \dots, N \times M - 1. \quad (4)$$

而在激励点上的第 n 个方程则是由对端口电流值的约分而得到的, 即

$$\sum_{n=1}^N I_{nm} = 1, \quad (5)$$

由此可得到电流展开系数  $I_{np}$ 。

由  $z=0$  可得各单元输入端的电流  $I_{pA}$ , 即电流矩阵  $[I_A]$  的矩阵元素。

$$I_{pA} = I_p(0) = \sum_{n=1}^N I_{np}, \quad p=1, 2, \dots, M. \quad (6)$$

### (2) 天线输入阻抗 $Z_{in}$ 的求解

令第 M 个单元 (即最短振子) 输入端电压  $V_{AM}$  为 1, 则天线输入阻抗为:

$$Z_{in} = V_{AM} / I_M = 1 / I_M. \quad (7)$$

式中,  $I_M$  为天线馈点的电流, 即端口总输入电流矩阵  $[I]$  中第 M 端口的总输入电流。

### (3) 天线辐射特性及天线增益

图 1 所示对数周期天线 M 个单元总辐射方向图因子  $f(\theta, \phi)$  为:

$$f(\theta, \phi) = \sin \theta \sum_{p=1}^M L_p \exp[jk(X_p \sin \theta \cos \phi + Y_p \sin \theta \sin \phi + Z_p \cos \theta)] \sum_{n=1}^N (-1)^n \times \frac{(2n-1) I_{np} \cos(\pi L_p \cos \theta)}{(2n-1)^2 - (2L_p \cos \theta)^2}. \quad (8)$$

最大辐射方向的天线增益 G 为最大辐射方向性系数乘以天线效率  $\eta_A$ , 即

$$G = \frac{4\pi \cdot \eta_A}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F^2(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi}. \quad (9)$$

式中,  $F(\theta, \phi)$  为  $f(\theta, \phi)$  的归一化方向函数。

## 2 双圆极化对数周期天线的实现

通常的对数周期天线是单线极化, 要实现双圆极化, 需在集合线的旁边再布一对集合线, 集合线上与原振子相隔  $90^\circ$  排列新的对数周期天线形成 2 种线极化, 如图 2 所示。2 种线极化再通过一宽带圆极化电桥实现双圆极化输出。

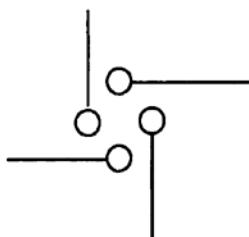


图 2 双极化对数周期天线

## 3 高增益双圆极化对数周期天线阵列

圆极化对数周期天线阵的指标要求如下: 频率: 250~500MHz; 增益: >15dBi; 副瓣电平: -15dB(平均)。

单个双圆极化对数周期天线无法实现上述指标, 需用多个单元组阵。经综合分析结构架设强度与天线阵的规模, 选用增益 9 个大于 7dBi 单元天线, 以  $3 \times 3$  形式组成高增益阵列。由于为宽频带范围内组阵, 组阵间距的选择显得尤为重要, 首先要使天线阵的增益达到要求, 同时天线阵的副瓣电平不能太高。经综合优化, 最终确定排阵间距为 600mm。实现了天线阵增益>15dBi, 副瓣小于-15dB (平均) 的要求。

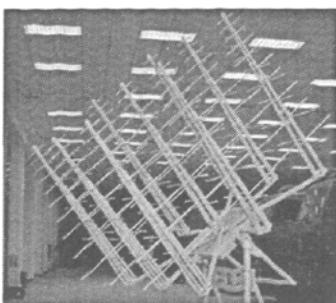


图 3 高增益双圆极化对数周期天线阵

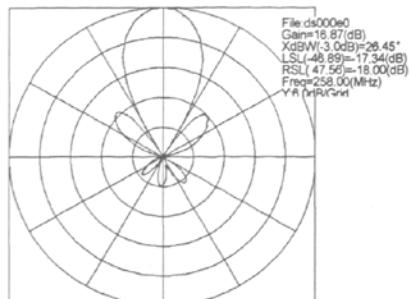


图 4 双圆极化对数周期天线阵实测方向图

这样排列的对数周期天线阵如图 3 所示。测试的天线方向图如图 4。

#### 4 结束语

测试结果验证了方法的正确性。宽频带范围内实现了双圆极化高增益，解决了一卫星通信系统的技术难题；也为宽带高效拼阵技术提供了借鉴；该天线阵也还以其优异的特性、美观的外形、简易灵活的使用方式得到通信对抗等宽频带应用领域的高度重视。

#### 参考文献

- [1] 林昌禄主编. 近代天线设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1987, 384-385.
- [2] 周朝栋. 线天线理论与工程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1988, 296-310.
- [3] C. pixeiro. Design of Log-Periodic Dipole Antennas[J]. IEE PROCEEDINGS, 1988, 135(2):98-102.

(上接第 403 页)

$n(t)$  分布的概率密度为：

$$P(n) = \frac{n}{\sigma^2} \exp \frac{-n^2}{2\sigma^2} \quad (9)$$

式 (9) 即没有信号的 ( $M-1$ ) 路 MF 的输出 pdf。有信号的那一路 MF 的输出为  $s+n=s_n$ ，在大信噪比条件下 pdf 为：

$$P(s_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \frac{-(s_n - \sqrt{p_e N T_c})^2}{2\sigma^2} \quad (10)$$

任一路无信号的 MF (序号  $x$ ) 输出超过了有信号的 MF (序号  $y$ ) 输出的概率为：

$$P_{yx} = \int_0^\infty \int_{s_x}^\infty P(n) P(s_n) dnds_n \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \frac{-(\sqrt{p_e N T_c})^2}{4\sigma^2}, \quad \sigma^2 = \frac{N_0 N}{2} \quad (11)$$

有信号的 MF<sub>y</sub> 与其余 ( $M-1$ ) 路无信号的 MF<sub>x</sub> 相比较都不错的概率为：

$$(1 - P_{yx})^{(M-1)}, \quad (12)$$

故最大似然判决总的错判概率为：

$$P_e = 1 - (1 - P_{yx})^{(M-1)} = 1 - (1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \frac{-(\sqrt{p_e N T_c})^2}{4\sigma^2})^{(M-1)} \quad (13)$$

式中,  $\sigma^2 = \frac{N_0 N}{2}$ ,  $N$  为 PN 码的长度。

最大似然判决错误, 导致  $1 \rightarrow m$  位数据错误。故数据码错误率为:

$$P_{e,data} = \frac{m}{2} \times P_e \quad (14)$$

#### 3 结束语

CSK 比传统的直接扩频具有更强的抗干扰能力，在码片速率不变的条件下，可实现可变速率或可变处理增益的扩频，具有广阔的发展前景。

#### 参考文献

- [1] 薛筱明, 李建东. 多进制正交码扩频系统的解扩和同步技术及其实现[J]. 电子学报 1998, 26(1):66-70.
- [2] YANG shi-zhong. A Study on the Large Step Delay Locked Loop, C. J. E., 1997, 6(4):50-55.

#### 作者简介

杨力生 男, (1972—), 重庆大学通信工程学院讲师, 博士。主要研究方向: 电路与系统设计、软件无线电、测控等。

杨士中 男, (1937—), 重庆大学通信工程学院教授, 博士生导师。主要研究方向: 扩频通信、飞行器测控及遥感信息等。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>