

圆极化对数周期偶极天线设计

刘新安, 彭 飞

(武汉船舶通信研究所, 湖北 武汉 430079)

摘要: 对圆极化对数周期偶极天线中垂直天线阵的移相问题作了详细讨论;对圆极化对数周期偶极天线的极化特性作了数值分析;提出了这种天线的阻抗匹配特性改进的措施和天线的设计方法,并作了简要的极化特性误差分析。

关键词: 圆极化; 对数周期偶极天线; 通信天线

中图分类号: TN820.1¹ **文献标识码:** A

文章编号: 1672-7649(2008)S-0135-04 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2008.S.034

The design consideration of circularly polarized LPD antennas

LIU Xin-an, PENG Fei

(Wuhan Maritime Communication Research Institute, Wuhan 430079, China)

Abstract: The phase shift problem of vertical dipoles array in the circularly polarized LPDA are discussed detailedly and the numerical analysis of polarizability is made further in this article. Improvement measure for the impedance matching characteristic of this antenna is proposed and the design method for this antenna is introduced. Error analysis of the polarizability is summarized.

Key words: circularly polarized; LPD antennas; communication antenna

0 引言

宽带PLPDA能够在不加接90°合路器(非变频混合电路网络)的条件下实现圆极化特性。因而,该天线可以方便工作于宽带水平、垂直线极化模式和左旋、右旋圆极化模式。这是其他宽带天线难以实现的。这种天线可以广泛应用于卫星通信、技术侦察、电子对抗、电磁兼容测量以及反射面馈源中。

早期提出正交对数偶极天线(PLPDA)设计思想的是Schiller M^[1]。但是,由于其移相理论有误^[2],导致设计制造的天线轴比较大,圆极化特性较差。笔者对这种天线的极化特性进行了数值计算,并提出了估算移相角和极化轴比的公式^[2],奠定了PLPDA的设计基础。但是,当时没有对这种天线进行全面研究。Wakabayashi R等人设计了这种天线^[3],公布了部分数值结果和测试结果,并将其应用于EMI测量中。但是,从参考文献[3]中可看出,其没有说明移相的

理论计算值。根据文中的表Ⅲ,移动的距离不够,不能达到四分之一波长;对垂直振子移动后加长,导致对应的谐振频率降低,移相的效应变差;且文中只给出了一个频率的极化特性测试数值,没有给出整个频域的极化特性理论值和测试数值。

本文根据参考文献[2]作了进一步研究,对垂直LPDA的移相问题作了详细讨论,并对PLPDA的极化特性作了进一步数值分析,提出了参考文献[2]中呈现的垂直LPDA阻抗匹配问题的解决办法。另外还提出了PLPDA的设计方法,并作了简要的极化特性的误差分析。

1 垂直LPDA相移公式的运用

在向水平LPDA和垂直LPDA等幅同相馈电时,只要垂直LPDA的各偶极子对应水平偶极子的跨距(由理论顶点度量)向后(主辐射的反向)移动 $K = \tau^{-p}$ 倍距离,形成PLPDA(如图1所示),就能在主向

收稿日期: 2008-08-20

作者简介: 刘新安(1957-),男,高级工程师,主要从事舰船通信天线研究工作。

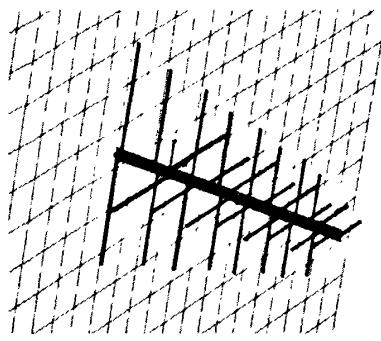
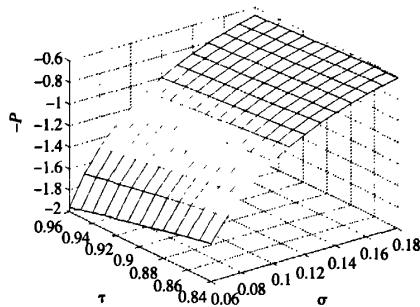


图 1 正交对数周期偶极天线(PLPDA)示意图

Fig. 1 Schematic of PLPDA

图 2 $\delta = -\pi/2$ 时, 随 τ 和 σ 变化的 p 值网格图Fig. 2 P grid diagram vs τ and σ ($\delta = -\pi/2$)

得到旋转极化辐射场(即形成椭圆极化波)。该旋转极化辐射场可分解成 2 个分量, 并用下式表达:

$$Ex = |Ex| \sin \omega t, \quad (1)$$

$$Ey = |Ey| \sin(\omega t + \delta). \quad (2)$$

式中: E_x 为水平 LPDA 主向辐射场; E_y 为垂直 LPDA 主向辐射场; δ 为垂直 LPDA 各偶极子后移 K 倍距离后产生的辐射场相移角。

这个旋转极化场的倾角和轴比可以推导如下:

$$\tan 2\tau = \frac{2|Ex| \cdot |Ey| \cos \delta}{|Ex|^2 - |Ey|^2}, \quad (3)$$

$$AR = \sqrt{\frac{|Ex|^2 \cos^2 \tau + |Ex| |Ey| \sin^2 \tau \cos \delta + |Ey|^2 \sin^2 \tau}{|Ex|^2 \sin^2 \tau - |Ex| |Ey| \sin^2 \tau \cos \delta + |Ey|^2 \cos^2 \tau}}. \quad (4)$$

假定 $|Ex| = |Ey|$, 则式(4)简化为:

$$AR = \sqrt{\frac{1 + \cos \delta}{1 - \cos \delta}}. \quad (5)$$

根据式(3), PLPDA 的 δ 可由下式求得:

$$\delta = -\frac{\pi}{\tan \alpha} (\tau^{-p} - 1) = -4\pi\sigma \frac{\tau^{-p} - 1}{1 - \tau}. \quad (6)$$

式中: τ 为 LPDA 的比例因子; σ 为 LPDA 的间隔因子; α 为 LPDA 偶极子张角的一半。

从式(6)中可以看出, δ 的变化与工作频率无关,

因而天线的极化特性是宽带的; 还可以看出, δ 不仅与因子 p 有关, 还与 τ, σ 有关。在满足移相的同时, 不使对应垂直偶极子后移量太大, 可以适当增加 σ 值或适当减小 τ 值。这当然应在满足天线增益值的条件下进行调整。

从式(1)、式(2)和式(5)中可看出, 要使 PLPDA 实现圆极化特性, 必须使 $\delta = -\pi/2$ 。在式(6)中, 令 $\delta = -\pi/2$, 对应的 p 值随 τ 和 σ 变化的公式可推导为:

$$-p = \frac{\ln\left(\frac{1 - \tau}{8\sigma} + 1\right)}{\ln \tau} = \frac{\ln\left(\frac{\tan \alpha}{2} + 1\right)}{\ln \tau} \quad (7)$$

从式(7)取 τ 为 0.84 ~ 0.96; 取 σ 为 0.06 ~ 0.18。进行计算, 得出一系列 p 值。绘出网格图, 见图 2 所示。从图 2 中可以看出, p 值的范围在 0.604 3 ~ 1.960 8 之间变化。 p 值接近 1 的范围在 $\sigma = 0.10$ ~ 0.12 的取值之间。

对于 Carrel R^[4] 计算的方向性系数随 τ 和 σ 值变化的系列曲线, 从 σ_{opt} 对应的值, 如 $\tau = 0.96$ 和 $\sigma = 0.18$; $\tau = 0.94$ 和 $\sigma = 0.177$; $\tau = 0.92$ 和 $\sigma = 0.17$; $\tau = 0.90$ 和 $\sigma = 0.167$; $\tau = 0.88$ 和 $\sigma = 0.16$; $\tau = 0.86$ 和 $\sigma = 0.157$; $\tau = 0.84$ 和 $\sigma = 0.15$; $\tau = 0.82$ 和 $\sigma = 0.147$; $\tau = 0.80$ 和 $\sigma = 0.14$ 等值中, 我们取 $\tau = 0.92$ 和 $\sigma = 0.17$ 设计 PLPDA, 设计频率为 200 ~ 400 MHz, 并对它们进行分段、线性伽略金矩量法计算, 得出的典型数值结果如图 3 所示。从这些图中可以看出, 按我们的设计方法得到的 PLPDA 基本可以使轴比控制到 1.14 以下(其他不同天线增益的结果也如此)。还可以看出, 选择 σ_{opt} 对应的设计值, 既可以容易地实现宽带阻抗匹配, 又可以容易地提高宽带圆极化特性。

2 阻抗匹配特性的改进

笔者在文献[2]的研究中曾指出, 在一些 τ 和 σ 取值范围, 垂直 LPDA 的相关偶极子往后移动的距离越大, 输入阻抗偏离设计值越大, 影响了阻抗匹配特性。这主要是由于集合线上传输区缺少了应有的电容加载(短偶极子), 使传输区不能等效于一对均匀加载的传输线。笔者目前的研究发现, 如果在垂直 LPDA 的馈电处加一对按 τ 比例缩短的偶极子(如图 4 所示), 使得整个垂直 LPDA 的偶极子排列相对连续, 则可以大大改善其阻抗的频率特性, 进而也可以消除阻抗不匹配导致的馈电相位和幅度误差, 改善整个 PLPDA 的极化特性, 如图 5 所示。

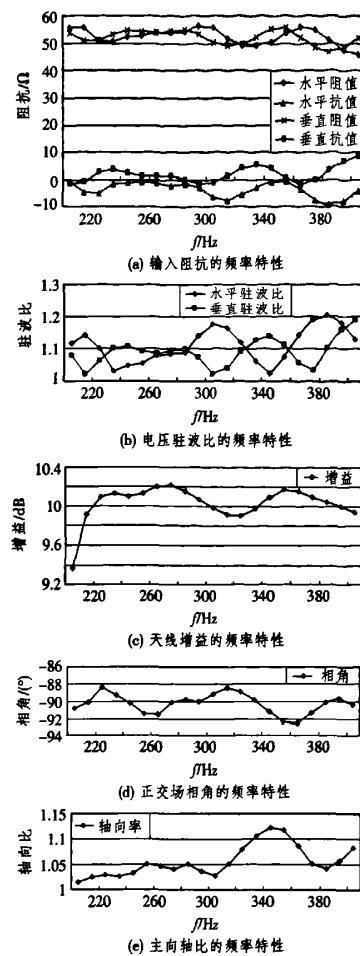
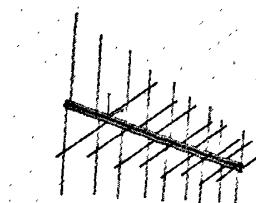
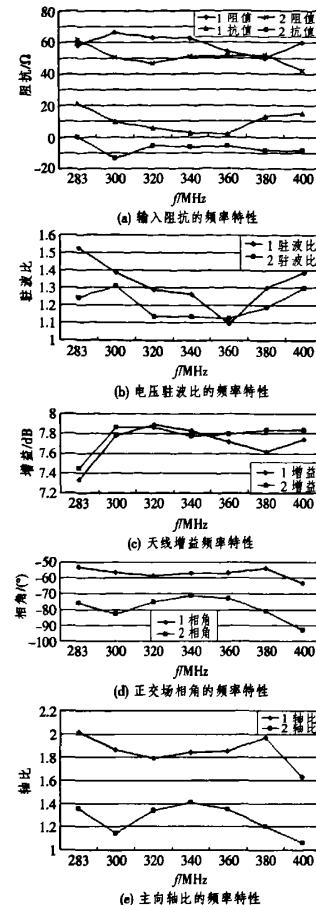
图 3 $\tau = 0.92$ 和 $\sigma = 0.17$ 的 PLPDA 数值计算结果Fig. 3 Computing results of PLPDA ($\tau = 0.92$ and $\sigma = 0.17$)

图 4 垂直 LPDA 馈电点加偶极子的 PLPDA 示意图

Fig. 4 PLPDA of vertical LPDA with dipole at feedpoint

从这些图中可以看出, 垂直 LPDA 馈电点未加偶极子时, 随 p 值增加, 极化特性虽得到改善, 但匹配特性变差。在垂直 LPDA 的馈电处加一对按 τ 比例缩短的偶极子后, 不仅改善了阻抗匹配特性, 而且改善了移相特性, 从而改善了极化特性。移相的增加是由

图 5 $\tau = 0.896$ 和 $\sigma = 0.08$ 的 PLPDA 数值计算结果对比

(图中曲线 1 表示垂直 LPDA 馈电点未加偶极子的状况;

曲线 2 表示加偶极子的状况)

Fig. 5 Comparison of computing results of PLPDA ($\tau = 0.896$ and $\sigma = 0.08$)

于降低了输入阻抗的感抗得到的。因此, 起到了一举两得的作用。

3 设计方法

PLPDA 的设计方法是在常规 LPDA 设计步骤的基础上, 加进垂直 LPDA 阵列的组合而成。具体设计步骤如下:

1) 根据天线的增益要求, 利用 Carrel R 计算的 $D \sim \tau, \sigma$ 关系曲线选择适当的 τ, σ 因子。除了考虑尺寸大小外, 尽量使 σ 选在 0.10~0.12 之间, 使 p 值接近 1, 容易实现圆极化特性。

2) 计算 α 和结构带宽 B_s 。其中, $\alpha = \arctan[(1 - \tau)/4\sigma]$; $B_s = B \cdot B_{ar}$, $B = f_{max}/f_{min}$ 为工作带宽; B_{ar} 为辐射区带宽, 可以根据 τ 和 α 查图或计算得到。

3) 计算水平 LPDA 轴向长度 L 和偶极子数 N 。根据几何关系可推导出 $L = \lambda_{\max}(1 - 1/B_0)\cot\alpha/4$, λ_{\max} 为最长工作波长; $N = 1 + \ln B_0/\ln(1/\tau)$, 若计算得出的 N 不是整数, 应将小数进行取整。以上 3 步骤反复计算几次, 确定最佳值。

4) 计算水平 LPDA 各偶极子长度 l_n 及间距 d_n 。设最长偶极子长度为 l_1 , 令 $l_1 = \lambda_{\max}/2$, 按下列公式计算 $l_n = \tau \cdot l_{n-1}$, $d_n = 2 \cdot \sigma \cdot l_n$, ($n = 2, 3, \dots, N$)。

5) 计算垂直 LPDA 各偶极子相对水平 LPDA 各偶极子的间距 d'_n 。先根据 τ, σ 值由式(6)计算 $\delta = -\pi/2$ 时的 p 值; 再根据几何关系得到 $d'_n = d_n \cdot [(\tau^{-p} - 1)/(1 - \tau)]$ 。

6) 根据集合线特性阻抗 Z_0 , 确定集合线的间距和线径。可以由公式 $Z_0 = 138\lg 2\sqrt{2D/d}$ ^[3] 估算得出设计值。初步设计后, 通过数值计算或商用软件仿真以及实验调整。在调整中, 试于垂直 LPDA 的馈电点处加一对偶极子以改善匹配。

4 极化特性误差分析

1) 由于 LPDA 辐射场的实部和虚部是周期性微小变化的, 垂直 LPDA 的偶极子的移动变化使辐射场的周期性变化不一定与水平的同步, 造成振幅和相位的误差, 引起极化特性的变化。

2) 由于垂直 LPDA 的相应偶极子移动而不改变

偶极子长度(为了增加相移), 使其 α' 减小, 使垂直增益略微变化, 因而垂直极化辐射场略微变化, 引起极化特性变化。

3) 由于垂直 LPDA 的输入阻抗与水平 LPDA 的不完全相同, 使得二者馈电的相位和振幅不完全相同, 引起极化特性变化。

以上误差分析都是为了使 PLPDA 实现宽带工作而造成的, 它们只能通过大量的数值分析和实验调整得到改善。这正是我们今后应做的工作。

参考文献:

- [1] Schiller M. Logarithmic-periodic antenna receive signals of any polarization[J]. New from Rohde & Schwarz, 1976, 16 (74): 15 - 17.
- [2] Liu X A. Computation of Polarizability for Perpendicular LPD Antennas[A]. Proceedings of the 1994 International conference on Computational Electromagnetics and Its Applications[C], 1994: 383 - 386.
- [3] Wakabayashi R, Shimada K, Kawakami H, et al. Circularly Polarized Log-Periodic Dipole Antenna for EMI Measurements[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, 1999, 41(2): 93 - 99.
- [4] Carrel R. The design of log-periodic dipole antennas[R]. Antenna Lab., Univ. Illinois, Urbana, IL, Tech. Rep. 52, Sept. 1961.

(上接第 134 页)

3.3 控制台的实现

控制台程序是通过调用服务的代理来实现, 所以首先要创建 `QueryParamData` 和 `SetParamData` 的本地代理。创建代理的函数原型如下:

```
ICE::ObjectPrx stringToProxy(string strParam);
```

参数 `strParam` 包含的是服务的标示、传输协议、服务所在主机的地址和端口号等信息, 代理创建成功后, 就可以在本地调用远程的各种服务了。

4 结语

分布式网络管理是目前网络管理研究的一个主要领域。本文深入研究了 ICE 对分布式网络管理的

支持特性, 阐述了一种基于 ICE 中间件的分布式网管系统模型。利用 ICE 的实现机制并结合实际需求, 介绍了如何构建和实现分布式的网络管理系统, 为其实现搭建了一个基本框架。

参考文献:

- [1] 唐亚哲, 李增智, 等. 基于元管理模型的分布式网络管理机制研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(2): 213 - 215.
- [2] 李战国, 唐亚哲, 李增智. 分布式网络管理技术及实现[J]. 数据通信, 2000, (3): 26 - 28.
- [3] Michi H, Mark S. Distributed Programming with ICE Revision3. 2. 0[EB/OL], <http://www.zeroc.com>, 2007 - 07.

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)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)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),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>