

# 印刷对数周期天线的设计

陈红宇,柴舜连,王生水,毛钧杰

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

**摘要:**利用印刷天线制作精度高、一致性好的优点,结合对数周期天线具有超宽频带的特性,详细研究了单层印刷对数周期天线的分析与设计方法。在一般对数周期天线设计方法的基础上,考虑介质基板的影响,给出了印刷振子的长度、间距和宽度的修正设计方法,对单层印刷对数周期天线建模,并采用时域有限差分方法进行了分析,计算结果与实验结果吻合较好,验证了分析与设计方法的有效性。

**关键词:**对数周期天线;印刷对数周期天线;馈电结构;时域有限差分法

中图分类号:TN822

文献标识码:B

文章编号:1004-373X(2009)09-100-03

## Analysis and Design of Printed Log - periodic Antenna

CHEN Hongyu, CHAI Shunlian, WANG Shengshui, MAO Junjie

(Institute of Electronic Science and Engineering, National University of Defence Technology, Changsha, 410073, China)

**Abstract:** Using the advantages of the printed antennas, such as high precision and high consistency, combine the characteristics of ultra wide band of the log - periodic antenna, the analysis and design method of the monolayer log - periodic antenna are studied. On the basis of the design of log - periodic antenna, the analysis and design method of the printed log - periodic antenna are presented. The numerical results are compared with the experimental results, and the comparison shows excellent agreement over a wide angle range.

**Keywords:** log - periodic antenna; printed log - periodic antenna; feed structure; finite - difference of time domain

## 0 引言

对数周期天线(LPDA)是一种非频变超宽带天线,它具有自相似结构,其电性能可以在10:1甚至更宽的频带内基本上保持不变<sup>[1-4]</sup>。一般的对数周期天线用圆柱振子做成,其体积大,重量重,制作难度大,精度有限。将对数周期天线通过现代光刻工艺制作在微带基板上,构成所谓的印刷对数周期天线(PLPDA),它具有重量轻、体积小、易于加载、制作精度高、一致性好的优点。文献[5]介绍了双层印刷对数周期天线,它将印刷振子分别印刷在两块基板上,通过两板中间的微带线从天线底部馈电。文献[6,7]提出了单层印刷对数周期天线结构,并进行了实验研究。详细讨论了单层印刷对数周期天线的分析与设计方法,并用时域有限差分方法进行分析,理论结果与实验结果进行了比较,两者吻合较好,说明分析设计方法的有效性。

## 1 单层 PLPDA 结构

单层 PLPDA 是将辐射振子和集合线通过现代光刻腐蚀工艺分别印制在同一块微带基板的两面,集合线

是平行双线,如图1所示。通过同轴线从天线底部馈电,同轴线的外表皮直接焊在双线的一条导带上,而它的内导体延伸弯曲后焊在双线的另一条导带上,如图2所示。这种馈电方式能起到宽频带的不平衡到平衡转换,并且阻抗转换比为1:1。

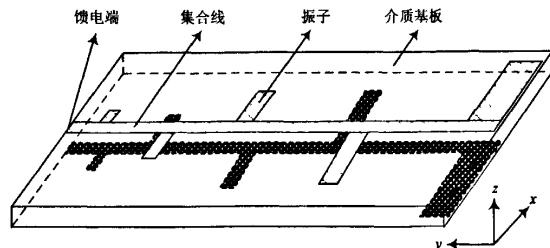


图1 单层印刷对数周期天线(PLPDA)示意图

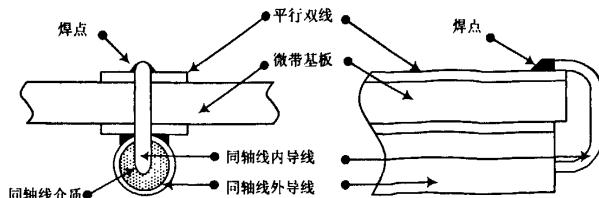


图2 印刷 LPDA 的同轴馈电结构

## 2 单层 PLPDA 设计方法

印刷对数周期天线的设计是在一般对数周期天线的基础上,考虑微带基板的影响,对天线的参数进行适当修正得来的。因此首先简要概述一般对数天线的设计。

### 2.1 一般对数天线的设计

一般对数周期天线通常由空气集合线和圆柱振子组成,其几何形状由比例因子  $\tau$  和距离因子  $\sigma$  确定<sup>[8-10]</sup>,即:

$$\tau = L_{n+1}/L_n = d_{n+1}/d_n \quad (1)$$

$$\sigma = d_n/(2L_n) \quad (2)$$

式中:  $L_n$  为第  $n$  根振子长度;  $d_n$  为第  $n$  根和第  $n+1$  根振子间的距离。

根据 LPDA 天线增益与  $\tau, \sigma$  关系曲线,选择合适的  $\tau$  和  $\sigma$ ;根据工作频段,确定阵子数目  $N$ ;由式(1)确定振子的长度  $L_n$ ,振子的间距  $d_n$ ,振子的半径  $\rho_n$  由式(3)确定:

$$\rho_n = L_n/(l/\rho) \quad (3)$$

式中:  $l/\rho$  为振子长度半径比,一般取为 125。这样就确定了一般 LPDA 天线的结构,本文选择的设计参数:工作频段为 0.4~3.2 GHz,  $\tau=0.88$ ,  $\sigma=0.14$ ,  $n=22$ 。

### 2.2 单层 PLPDA 的参数修正

微带基板对印刷振子和印刷集合线起到介质加载的作用,因此在一般 LPDA 的设计基础上,印刷 LPDA 的振子长度、间隔和振子宽度要视加载情况做相应的修正。

#### 2.2.1 印刷振子长度的修正

由于介质加载的作用,印刷振子的谐振频率发生偏移。为了保证印刷振子仍然谐振在设计频率上,印刷振子长度必须修正:

$$L_n = p_n L_n \quad (4)$$

式中:  $p_n$  表示单层 LPDA 第  $n$  个印刷振子的长度修正系数,一般情况下  $p_n < 1$ 。长度修正系数  $p_n$  采用时域有限差分法对单个振子的电磁仿真确定,它不仅与介质加载情况有关,还与频率(这里以  $n$  表示)有关。图 3 给出单层 PLPDA 振子长度修正系数随频率(振子编号)的变化趋势。由图 3 可见,随着频率的升高( $n$  越大),振子的缩短系数呈逐渐减小的趋势。

#### 2.2.2 印刷振子间隔的修正

由于介质加载的作用,电磁波在部分介质集合线中的传播常数  $k = k_0 \sqrt{\epsilon_{re}}$  ( $\epsilon_{re}$  为等效介电常数),它不同于一般空气集合线的传播常数  $k_0$ 。因此振子间隔必须修正:

$$d'_n = q_n d_n \quad (5)$$

式中:  $q_n$  表示单层 LPDA 第  $n$  个印刷振子的间隔修正系数,一般情况下,  $q_n < 1$ 。

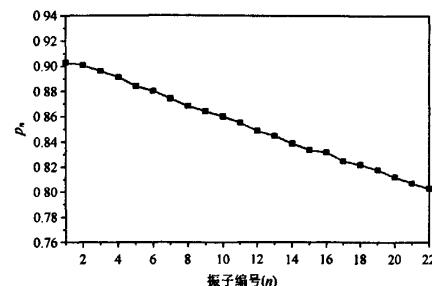


图 3 振子长度修正系数与频率(振子编号)的变化关系

假设 PLPDA 的印刷振子与相对应的 LPDA 圆柱振子具有相同的阻抗特性,则只有两印刷振子间的部分介质填充集合线相移  $kd'_n$  与相应圆柱振子间的空气集合线相移  $k_0 d_n$  相等时,即  $kd'_n = k_0 d_n$ ,一般圆柱对数周期天线的特性才与印刷对数周期天线的特性一致。故:

$$q_n \triangleq 1/\sqrt{\epsilon_{re}} \quad (6)$$

#### 2.2.3 印刷振子宽度的修正

印刷振子的宽度由式(7)确定:

$$W_n = \pi \rho_n \quad (7)$$

#### 2.2.4 集合线宽度的确定

为了与  $50 \Omega$  的同轴馈线匹配,集合线的实际阻抗应为  $50 \Omega$ ,考虑到高端非谐振振子的电容加载作用,集合线的阻抗比  $50 \Omega$  稍大,取为  $65 \Omega$ 。

## 3 实验结果

这里给出了一个 PLPDA 实例。天线的设计频段为 0.4~3.2 GHz,介质基片的相对介电常数为 2.5,厚度为 1.0 mm。理论分析与实际测量的驻波和方向图如图 4~图 6 所示。

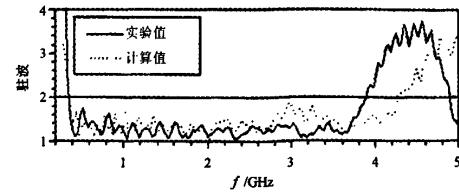


图 4 单层 PLPDA 驻波的仿真与实验结果

从图 4~图 6 中可见:对于单层 PLPDA,在 0.4~3.8 GHz 频段内,理论计算和实测驻波均小于 2,并且两者吻合较好;计算得到的方向图与实验测得方向图也吻合较好,这说明对印刷 LPDA 天线的分析与设计是合理的。

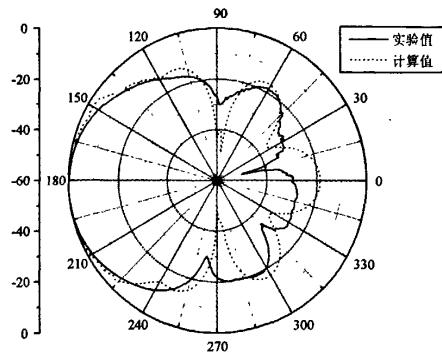


图 5 频率 1.0 GHz 时 H 面方向图

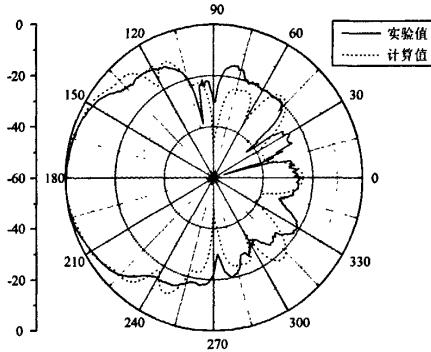


图 6 频率 2.0 GHz 时 H 面方向图

#### 4 结语

本文在一般 LPDA 设计方法的基础上,给出了印刷型对数周期天线的设计方法和分析方法,还给出了 PLPDA 的算例。理论与实验结果表明:基于该设计方

法设计的单层印刷对数周期天线具有良好的宽频带特性、驻波特性和方向图特性,此类天线还具有重量轻、制作精度高的特点,更重要的是由于介质板的加载作用,可使天线长度和宽度大大缩短,在天线尺寸受到限制的领域有应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 康行健. 天线原理与设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [2] 魏文元, 宫德明, 陈必森. 天线原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [3] 王长清, 祝西里. 电磁场中的时域有限差分法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- [4] 毛均杰. 微波技术与天线 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 熊皓. 无线电波传播 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [6] Jean - Pierre Berenger. Perfectly Matched Layer for the FDTD Solution of Wave - Structure Interaction Problems [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1996, 44 (1): 110 - 117.
- [7] Pantoja R R, Sapienza A R, Medeiros F C, Filho. A Microwave Printed Planar Log - Periodic Dipole Array Antenna [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1987, 35 (10): 1 176 - 1 178.
- [8] 阮成礼. 超宽带天线理论与技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.
- [9] John D Kraus, Ronald J Marhefka. 天线 [M]. 章文勋, 译. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] Campbell C, Traboulay I, Suthers M S, et al. Design of a Stripline Log - periodic Dipole Antenna [J]. IEEE Trans. on AP, 1977, 25(5): 718 - 721.

作者简介 陈红宇 男, 1976 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为微波电路设计, 微带天线。

(上接第 91 页)

- [4] 欧阳绩, 方惠均. 数值稳健的自适应二阶 Volterra 滤波器 [J]. 电子学报, 1995, 23(11): 84 - 86.
- [5] 胡钋, 韩进能. 湿尔特拉最佳滤波器及其应用于非线性系统辨识 [J]. 武汉大学学报, 2004, 37(1): 120 - 124.
- [6] 佟斌, 赵春晖. 一种非线性系统自适应辨识的新方法 [J]. 应用科技, 2004, 31(10): 4 - 6.
- [7] 刘岚, 胡钋, 韩进能. 一种改进的二阶沃尔特拉滤波器 LMS 算法 [J]. 通信学报, 2002, 23(6): 122 - 128.
- [8] Jae Ha Yoo, Sung Ho Cho, Dae Hee Youn. A Lattice/Transversal Joint(LTJ) Structure for an Acoustic Echo Canceller [J]. Circuits and Systems, 1995, 2: 1 090 - 1 093.
- [9] Peter M, Clarkson Miroslav V, Dokic. A Second Order Adaptive Volterra Filter Using a Two - stage Lattice Preprocessor [J]. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1993, 3: 420 - 423.
- [10] Fan Hong, Liu Xia qi. GAL and LSL Revisited; New Convergence Results [J]. Trans. on Processing, 1993, 41(1): 55 - 66.
- [11] Kenji Nakayama, Akihiro Hirano, Hiroaki Kashimoto. A Lattice Predictor Based Adaptive Volterra Filter and Its Convergence Property Analysis [J]. Circuits and Systems, 2004, 2: 25 - 28.

作者简介 张秀梅 女, 1984 年出生, 硕士。主要研究方向为自适应滤波。

## 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>