

文章编号 1005-0388(2007)01-0104-04

双对数周期偶极天线扇形阵的研究

张福顺 王 君 焦永昌

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, fshzhang@mail. xidian. edu. cn, 陕西 西安 710071)

摘 要 论述了双对数周期偶极天线扇形阵的设计方法, 利用 IE3D 软件对单个对数周期偶极天线(LPDA)和双对数周期偶极天线扇形阵进行了优化仿真分析, 并研制了天线实物样机, 同时对该天线的电性能进行了测量。测量结果表明, 该双对数周期偶极天线扇形阵具有宽带、高增益、小型化等特点, 进而说明该设计方法是行之有效的。

关键词 对数周期偶极天线, 扇形阵, 高增益, 宽带, 小型化

中图分类号 TN821

文献标识码 A

On the fan-shaped array of dual LPDAs

ZHANG Fu-shun WANG Jun JIAO Yong-chang

(National Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Xidian University,
fshzhang@mail. xidian. edu. cn, Xi'an Shaanxi 710071, China)

Abstract The design method of fan-shaped array constructed by dual log-periodic dipole antennas is presented. A single log-periodic dipole antenna (LPDA) and the fan-shaped array are simulated and optimized by commercial EDA software IE3D. Then, a sample antenna is made and its electrical parameters are measured. The measured results show that the fan-shaped array is of wide band, high gain and compact dimension, and this means the design method is valid.

Key words log-periodic dipole antenna, fan-shaped array, high gain, wide band, compact dimension

1 引 言

随着技术的发展, 在 VHF 或 UHF 通信系统中, 电台往往处于跳频工作状态, 因此要求天线必须具有宽频带特性。而对数周期偶极天线(LPDA)作为一种性能优良的宽带天线经常被用于这类通信系统中, 其性能已有许多文献作过报导^[1, 2], 但是对于工作频率在 VHF 或 UHF 的某些通信系统, 它的增益还达不到要求, 为了增强天线的方向性, 以及获得更高的发射功率, 可以采用 LPDA 组阵的方法。

LPDA 可以组成直线阵^[3]或扇形阵^[4], 选择了附加地板的垂直极化双对数周期偶极天线扇形阵结构来实现天线所需要的宽带、高增益、小型化、高的

前后比等电性能指标。为了尽可能使天线小型化, 采取了措施以减小其结构尺寸。一方面, 根据传统的对数周期天线设计方法, 通过仿真优化设计, 减少组成扇形阵的单个 LPDA 的振子数目而降低天线的高度; 同时采取顶端加载的方法^[5], 减小单元振子的长度, 从而缩短天线横向尺寸。利用以矩量法为原理的 IE3D 软件对天线进行仿真优化设计^[6], 并设计加工了天线实物进行了实际测量。

2 设计方法

2.1 单个 LPDA 的参数选择

为了研制双对数周期偶极天线扇形阵, 首先要研究具有宽带和一定增益的天线单元。根据天线设

计理论^[7], 单元 LPDA 的结构示意图如图 1 所示, 天线的整体结构是由比例因子 τ 、间距因子 σ 以及结构角 α 决定的, α 、 τ 、 σ 中的两个是任意的, 它们的关系如下^[8]:

$$\tau = \frac{R_p}{R_{p+1}} = \frac{L_p}{L_{p+1}} = \frac{d_p}{d_{p+1}} \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{d_p}{2L_{p+1}}, \alpha = \arctan \frac{1-\tau}{4\sigma} \tag{2}$$

式中, p 表示振子的序号, $p=1, 2, \cdots, N$
 d_p 为第 p 根与第 $p+1$ 根振子间的距离, $p=1, 2, \cdots, N-1$
 L_p 为第 p 根振子的长度
 R_p 为天线的几何顶点 o 到第 p 根振子的垂直距离, 表示振子沿 x 轴的坐标位置

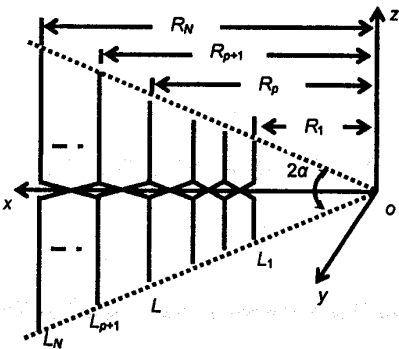


图 1 对数周期偶极天线结构示意图

根据增益选取合适的天线结构比例因子 $\tau=0.87$ 、间距因子 $\sigma=0.168$ 。根据传统的对数周期天线设计方法, 最长振子的长度为工作频率低端自由空间波长的一半, 振子单元数目为^[9]

$$N=1+\lg B_s/\lg(1/\tau) \tag{3}$$

式中, $B_s=[1.1+30.7\sigma(1-\tau)]B_0$ 为 LPDA 的结构带宽, 天线的工作带宽 B_0 为频带的高、低频率之比。可计算得振子单元数目 N 为 10。

LPDA 组阵后形成的扇形阵是用特性阻抗为 $50\ \Omega$ 同轴线对其并联馈电, 因此单个 LPDA 的阻抗应设计在 $100\ \Omega$ 。选取适当的集合线单管尺寸以及集合线单管间的距离, 使之在振子加载后的特性阻抗与 $100\ \Omega$ 相匹配。

天线的频带宽度取决于方向图、增益、和输入阻抗等参量的频带宽度, 其中输入阻抗带宽是最难满足要求的。当输入阻抗满足一带宽时, 方向图、增益也可以满足此频带。因此, 在设计单个 LPDA 时, 要求在工作带宽内驻波比小于 2, 按照该要求对天线进行仿真设计。

万方数据

2.2 单个 LPDA 的仿真设计

确定天线尺寸后, 用 IE3D 软件建模仿真。图 2 是 LPDA 振子数为 10 与去掉高频端的 3 个短的振子、使振子数减为 7 个时的电压驻波比。由图可见, 在所需要的 VHF 或 UHF 频带内, 振子数的减少并没有影响天线的电性能, 因此, 振子数 N 最终取为 7, 从而缩短了 LPDA 的纵向长度; 为了进一步减小 LPDA 的尺寸, 采用振子顶部加载的方式, 将所有的振子都折成 T 形, 这样大大地缩短了振子的纵向长度, 但是增加了振子的横向长度, 使得交叉极化比增大。图 3 中是振子数为 7 时, 分别是直线振子和 T 形振子的单个 LPDA 的电压驻波比, 可见, 在振子顶部加载前后的驻波曲线基本吻合; 从而实现了 LPDA 组阵后形成的扇形阵的小型化的特点。此时频率为 225 MHz、325 MHz 和 400 MHz 的 LPDA 增益仿真值如表 1 所示, 这还达不到需要的高增益, 因此采用双对数周期偶极天线扇形阵来获得。

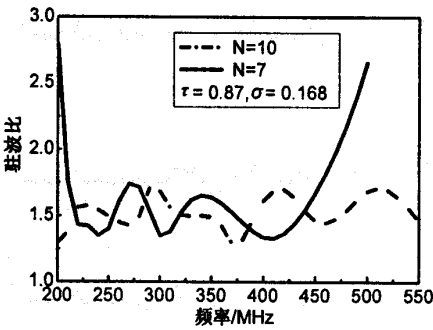


图 2 振子数不同的驻波曲线

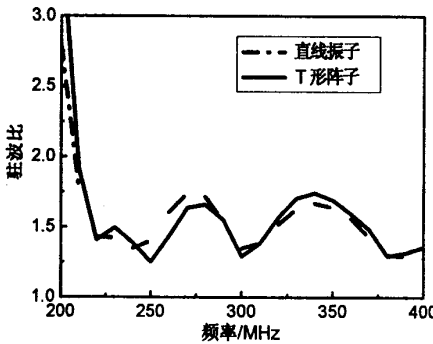


图 3 振子加载前后的驻波曲线

2.3 扇形阵建模分析

采用 LPDA 的阵列技术可以提高增益, 但是为了保证阵列天线的与频率无关的特性, 应使阵列中各单元以角度而不是以距离来确定, 即各阵元的虚顶点必须落在同一个公共点上或同一圆上。因此, LPDA 扇形阵的理论相对各向同性单元组成的直线

阵复杂的多,且不能直接应用方向图乘法,可以用矩
量法对其进行理论分析计算。所以用以矩量为基
础的天线仿真软件 IE3D 来分析计算扇形阵是有效
的。

图 4 为双对数周期偶极天线扇形阵的立体示意
图,天线的直线振子部分沿 z 轴放置。为了获得高
的前后比,将扇形阵天线架设在一块金属地板上。
整个天线以 x 轴为对称轴。

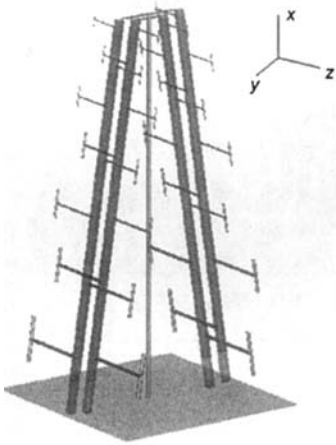


图 4 双对数周期偶极天线扇形立体示意图

2.4 扇形阵的仿真设计

基于上述,用 IE3D 软件对其优化设计。用
IE3D 软件建模仿真可知,当阵元间的夹角变化时,
天线的电性能也随之变化,LPDA 扇形阵的阵元夹
角存在一最优值,当阵元夹角不适当时,会严重影响
天线的电性能;此外,集合线间的馈电距离是影响天
线电性能的另一个因素,特别是对驻波的变化比较
敏感。最后仿真得到满足要求的阵元与 x 轴夹角
为 10° 、集合线间的馈电距离为 2 cm、天线高为 1 m
的小型化结构。为了便于比较,扇形阵辐射方向图
的仿真值在实验结果中与测量值一起给出。

3 扇形阵的研制

按照上述设计方法,研制了一个双对数周期偶极
天线扇形阵,并对其进行了实际测量,测试结果如下:

3.1 驻波曲线的测量

用 HP8753D 矢量网络分析仪对该扇形阵的驻
波进行了测量,其结果如图 5 所示。

3.2 增益的测量

用比较法^[10]在矢量网络分析仪上对天线的增
益进行了实际测量,用 200 MHz~400 MHz 的、增
万方数据

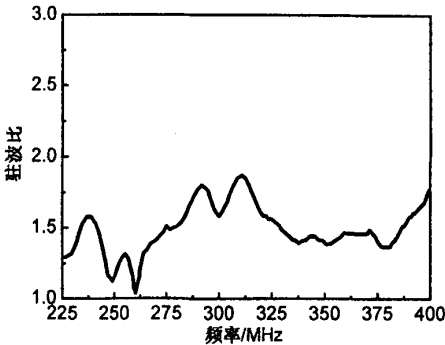


图 5 扇形阵 VSWR 的测量曲线

益为 5.5 dBi 的标准对数周期天线作为标准天线。
表 1 给出了测得的几个频点的增益值,尽管没有得
到单个 LPDA 的增益测量值,但仍然可以看出 LP-
DA 组阵后增益比单个 LPDA 有很大的提高,特别
是对于低频段,增益有显著的改善。

3.3 方向图的测量

在微波暗室、远区条件下,用自制的天线远场自
动测量系统对该天线的方向图进行了实测。图 6、
7、8 分别给出了天线在低频 225 MHz、中心频率
315 MHz 和高频 400 MHz 时 E 面和 H 面的辐射
方向图的仿真值与测量值。可见,天线的最大辐射
方向在 $+x$ 轴、指向馈电端,仿真值与测量值大致吻
合;并且在频带内,天线 E 面和 H 面的 -3 dB 的波
瓣宽度都在 60° 左右,由此可见,双对数周期偶极
天线扇形阵的 H 面的波瓣宽度比传统的单个 LPDA
要窄,使得单个 LPDA 组阵后的增益提高。

表 1 扇形阵的增益测量值和 LPDA 的仿真值

频率(MHz)	扇形阵	单个 LPDA
225	9.5dBi	5.5dBi
325	9.4dBi	6.7dBi
400	9.6dBi	6.9dBi

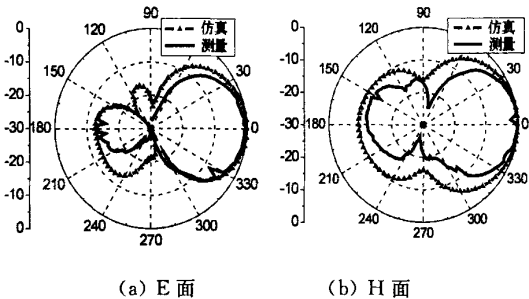
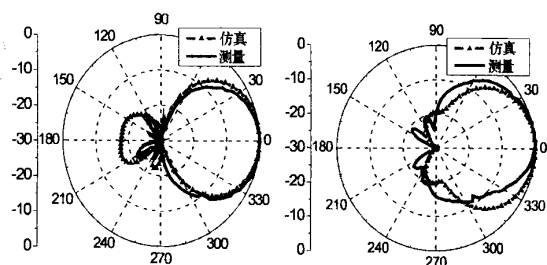
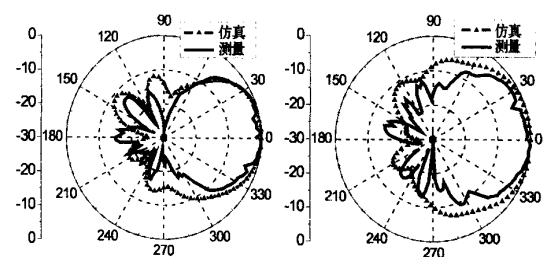


图 6 $f=225\text{MHz}$ 方向图



(a) E 面 (b) H 面

图 7 $f=315\text{MHz}$ 方向图

(a) E 面 (b) H 面

图 8 $f=400\text{MHz}$ 方向图

4 结论

论述了一种宽带、高增益双对数周期偶极天线扇形阵的设计方法, 测量结果表明, 该设计方法对 VHF、UHF 通信天线的研制具有很高的实用价值和推广价值。

参考文献

- [1] G D Vito, G B Stracca. Comments on the design of log-periodic dipole antenna [J]. IEEE Trans. AP, 1973, 21(3): 303-308.
- [2] C C Bantin, K G Balmain. Study of compressed log-periodic dipole antennas[J]. IEEE Trans. AP, 1970, 18(2): 195-203.
- [3] 吴世龙. 短波对数周期天线及其阵列的方向性[J]. 舰船电子工程, 2004, 24(4): 95-98.
- [4] 耿京朝, 牛传峰, 毛贵海. 双极化对数周期阵列天线[J]. 电波科学学报, 2003, 18(2): 228-231.
Geng J C, Niu C F, Mao G H. A dual-polarization log periodic antenna array[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2003, 18(2): 228-231.
- [5] S C Kuo. Size-reduced log-periodic dipole array[C]. IEEE Group on Antennas and Propagation Symp. Digest, 1970, 151-158.
- [6] 周建华, 殷建平, 张光生. 宽带对数周期天线的优化设计[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 157-161.
Zhou J H, Yin J P, Zhang G S. Optimization of wide band LPDA [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(2): 157-161.
- [7] 谢处方, 邱文杰. 天线原理与设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- [8] 周朝栋, 王元坤, 周良明. 线天线理论与工程[M]. 西安电子科技大学出版社出版, 1988, 294-301.
- [9] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社出版, 1995, 138.
- [10] 张福顺, 张进民. 天线测量[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社出版, 1995.



张福顺 (1960—), 男, 陕西人, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, 博士。主要研究方向为天线理论与工程及测量, 发表学术论文 50 余篇, 其中, 25 余篇被 SCI、EI 收录, 出版了专著《天线工程手册》和《天线测量》, 编写了《天线近场测量误差分析与系统》。

王 君 (1982—), 女, 安徽人, 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业硕士研究生, 主要研究方向为天线分析与设计。



焦永昌 (1964—), 男, 山西人, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, 博士, 陕西省人大常委。主要研究方向为天线 CAD 技术, 曾应邀出访日本和香港作访问学者。发表学术论文 60 余篇, 其中 20 余篇发表被 SCI、EI 收录。

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,一直致力和专注于微波、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>