

文章编号 :1671-8836(2003)01-0141-04

对数周期偶极天线研究*

杨 俊 , 吴世才[†] , 高火涛

(武汉大学 电子信息学院 , 湖北 武汉 430072)

摘 要 : 针对对数周期偶极天线(LPDA)设计过程中存在的两个问题 : 阻抗矩阵计算方法的选择和高频段方向图的优化问题 , 通过分析比较各种阻抗矩阵计算方法的优劣 , 确定用 Galerkin 法求解 Pocklington 方程是最佳方法 ; 在设计过程中提出一种新的设计思想——改变天线的结构参数 , 改善天线高频段方向图的性能 , 并以 Galerkin 法为基础进行计算机模拟 , 结果显示效果良好 , 而且在整个频段上提高了天线增益 .

关 键 词 : 对数周期偶极天线 ; 阻抗矩阵 ; 矩量法

中图分类号 : O 441.4 文献标识码 : A

0 引 言

对数周期偶极天线是由基本单元为偶极子构成的对数周期天线称为 LPDA(Log Periodic Dipole Antennas) (如图 1 所示). 自从 1958 年提出 LPDA^[1] 以来 , 人们不断地寻求精确的计算和设计方法^[2~6] . 但改善 LPDA 在高频段方向性恶化问题的优化设计研究迄今未见报道 , 而且在该研究中 , 必须选择一种最佳的阻抗矩阵的计算方法 , 对优化设计的效果进行验证 . 本文通过改变天线的结构参数 , 提出了一种新的设计方案 , 并在分析比较各种阻抗矩阵计算方法的基础上选择了用 Galerkin 法求解 Pocklington 方程的方法 , 对本设计方案进行了验证 . 计算机模拟结果表明该方案改善了 LPDA 在高频段的方向图性能 , 同时在整个频带上提高了天线增益 , 对 LPDA 的小型化也具有一定的指导意义 .

1 天线结构及分析原理

如图 1 所示 , LPDA 是由 N 个平行偶极子按一定的比例关系排列而成 , 由一对双线传输线馈电 , 为使方向图指向短振子一端 , 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 , 以减小终端反射 . 天线结构参数如下定义 :

周期率或比例因子

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

张角或结构角

$$\alpha = \tan^{-1}((l_n/2)/R_n) = \tan^{-1}(h_n/R_n) \quad (2)$$

式中 l_n 是第 n 个振子的长度 , R_n 是第 n 个振子到天线顶点 O 的距离 . 当天线馈电后 , 由信号源供给的电磁能量沿集合线传输 , 依次对各振子激励 . 只有长度接近谐振长度的这部分振子才能激励起较大的电流 , 向空间形成有效辐射 . 通常称这部分振子为有效区或辐射区 , 从馈电点到辐射区之间的这一段短振子区域称为传输区 , 而长度稍大于或很大于谐振

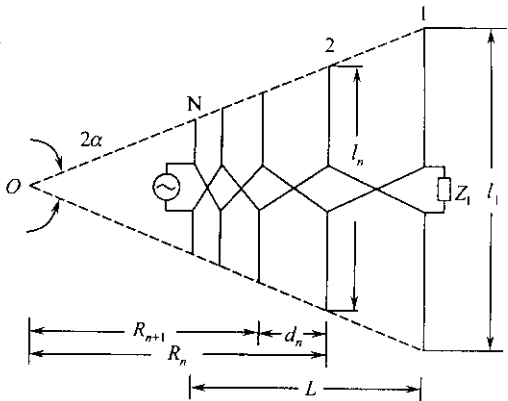


图 1 对数周期偶极天线结构示意图

长度的那部分长振子及其集合线部分则称为未激励区^[7] .

* 收稿日期 : 2002-08-09 [†] 通讯联系人 E-mail : gwr@whu.edu.cn
基金项目 : 国家自然科学基金 863 计划资助项目 (863-818-09-11)
作者简介 : 杨 俊 (1977-) 男 , 博士生 , 现从事电磁场工程应用研究 .

根据 LPDA 的结构,它可以等效为两个网络,其电流、电压和阻抗之间的关系分别由两个矩阵方程表示^[2]. 耦合振子网络方程为

$$[I_A] = [Z_A][U_A] = [Y_A][U_A] \quad (3)$$

集合线网络方程为

$$[I_1] = [Y_1][U_A] \quad (4)$$

式中 $[U_A]$ 为各振子端口的电压矩阵 $[I_A]$ 为流经振子的各端口电流 $[I_1]$ 为流经集合线的各端口电流,则各端口的电流矩阵

$$[I_s] = [I_A] + [I_1] = ([Y_A] + [Y_1])[U_A] \quad (5)$$

$$[U_A] = ([Y_A] + [Y_1])^{-1}[I_s] = ([Z_A]^{-1} + [Y_1])^{-1}[I_s] \quad (6)$$

由于 LPDA 仅在第 N 个偶极子的端口处提供激励源,并设该源为单位电流,则有

$$[I_s] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$[Y_1]$ 为集合线导纳矩阵,可由传输线理论求得; $[Z_A]$ 由振子的自阻抗和互阻抗构成.

2 阻抗矩阵计算方法总结及其评价

$[Z_A]$ 的常见计算方法有两种:感应电动势法和用 King 的电流三项式求解 Hallen 方程,但都有其缺陷.感应电动势法是以正弦电流分布的假设为基础,而正弦电流分布假设无疑过于简单,这就影响了计算精度和限制了其使用范围,如在计算低 Q 值、传输线阻抗较高的大功率 LPDA 时,效果就尤为差^[8]. 由于 King 的电流三项式在当天线振子等于或接近半波长的奇数倍时前两项相同或接近相同,从而导致广义阻抗矩阵产生奇异性,使得求解结果产生错误.所以使用这种方法计算互阻抗时,应特别注意振子的长度.而用伽辽金(Galerkin)法求解波克林顿(Poclington)方程则不具备这两种缺陷.

由于波克林顿方程多用电流源做激励源,所以求解天线阻抗并不方便.但如果用伽辽金(Galerkin)法,方程左边用权函数积分,也可用电压源作为激励^[9]. 考虑一个由 N 个偶极子,每个偶极子分为 M 段的对数周期天线,根据矩量法,有

$$[I_{mn}] = [Z_{mm'n'}][V_{m'n'}] = [Y_{mm'n'}][V_{m'n'}], \quad m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$[I_{mn}]$ 中各元素的意义为第 m 根振子上第 n 段的电

流系数 $[Z_{mm'n'}]$ 为广义阻抗矩阵 $[V_{m'n'}]$ 为电压矩阵. 如果依次从 $[I_{mm'n'}]$ 中将对应于馈源端的元素取出,即得到 $[Y_A]$ ^[9]. 由于采用分段基函数,这种方法的精度更高,并且适用于各种不同振子长度的情况.这种方法从理论上讲也更完备,由于它是从整个天线阵的广义阻抗矩阵中获得的天线的自阻抗和互阻抗,所以并不需要振子的自阻抗及任意两振子的互阻抗不受其它振子的影响的假设,而用感应电动势法和 King 的三项式都需要这一假设.

3 LPDA 高频段方向性改善方法

LPDA 的基本设计思想是天线的特性随频率的对数作周期性变化,即在频率 f 时具有的特性在频率为 $\tau^n f$ 时重复出现.如果天线无限长,这一点是可以做到的,但事实上天线总要在高频端和低频端被截断.这种截断对低频方向图基本没有影响,而高频方向图则变差,轴向增益下降.在高频端工作时,LPDA 的传输区内振子数很少,甚至几乎没有,而未激励区内的振子数则很多;在低频则相反.可以推论天线在高频段方向性变差与此有关.为解决这一问题,可以改变天线结构,从低频端到高频端,逐步增加振子数,形成一种更加前疏后密的结构,从而弥补天线高频端被截断的影响.

为实现上述目的,可以从低频到高频端,逐渐增大 τ . (1) 式可写为 $l_n = l_1 \tau^{n-1}$, 如果将其改为

$$l_n = l_1 \tau^{(k-1)^k} \quad (k < 1) \quad (9)$$

就可以形成这样一种结构.为了验证这种方法,选取一个常见的 LPDA 作为例子,以下分析均以 Galerkin 法为基础.

图 2 给出了一个按 (1) 式设计的 LPDA 的方向图, $\tau = 0.917$, $\alpha = 7^\circ$, $N = 18$, 频带 200 ~ 600 MHz, 由图可知,从 $f = 450$ MHz 时, H 面的方向图开始向两边发散,轴向增益下降.

图 3 和图 4 分别给出了保持张角 α 、最长和最短振子长度不变,取 $k = 0.95$, $N = 20$ 和 $k = 0.90$, $N = 24$ 按 (9) 式设计的天线的方向图.

表 1 给出了它们的增益,由这些数据和方向图可以得出.

(1) 使用这种方法设计能明显改善 LPDA 在高频端的方向图和增益,在低、中频段增益也有所增加.

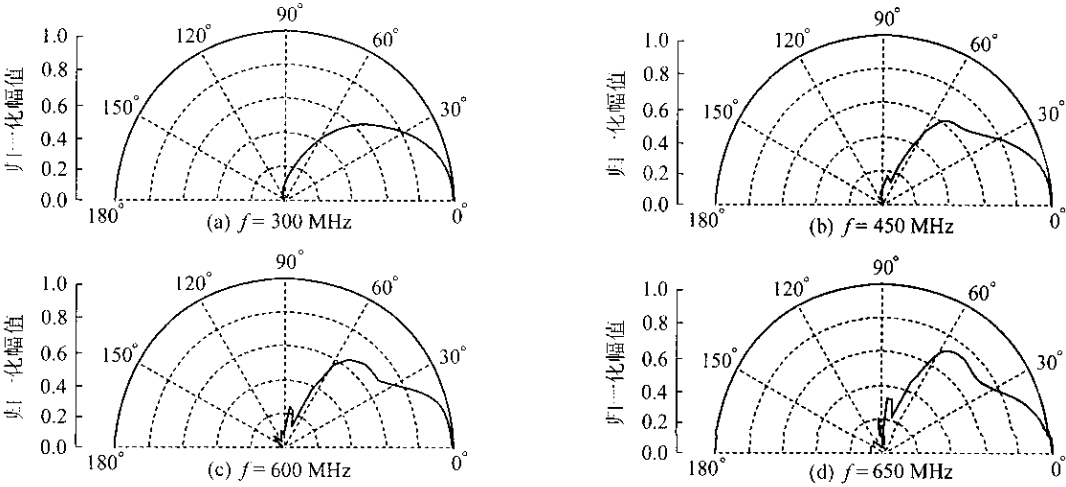


图 2 $k=1.00$, $N=18$ 时 H 面的方向图

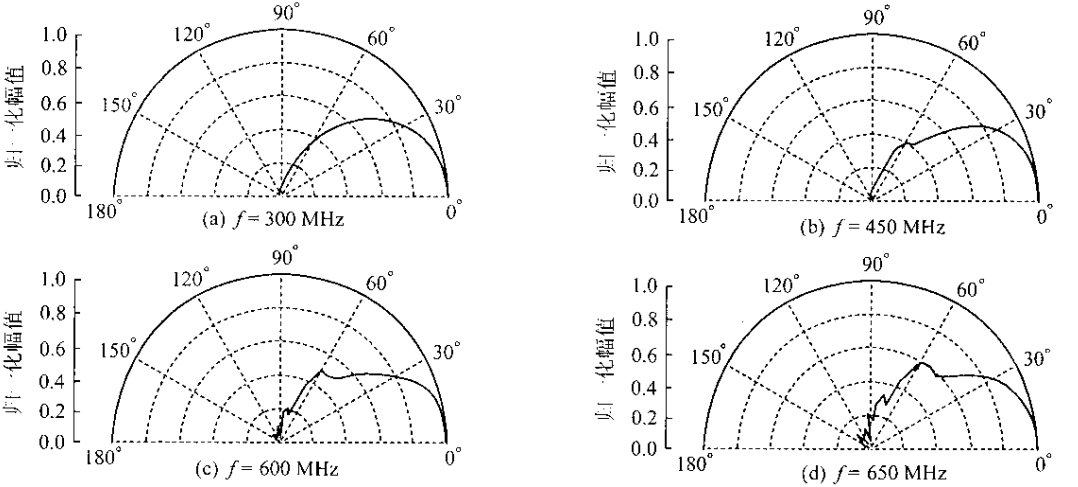


图 3 $k=0.95$, $N=20$ 时 H 面的方向图

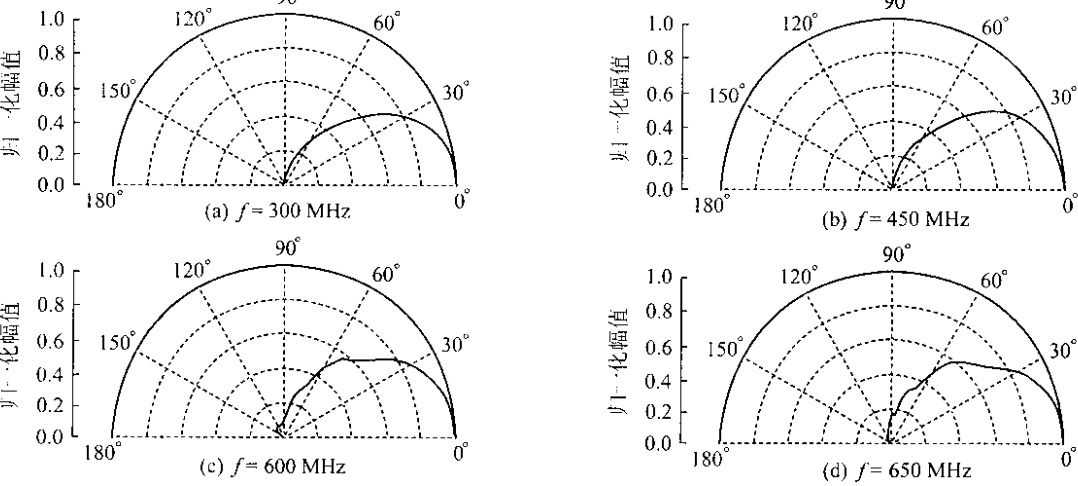


图 4 $k=0.90$, $N=24$ 时 H 面的方向图

表 1 不同 k 值不同频率时天线的增益表 dB

k	频率/MHz			
	300	450	600	650
1.00	9.643	9.636	9.362	8.742
0.95	9.734	9.717	9.724	8.936
0.90	10.361	9.889	9.265	9.292

万方数据

(2) 同频带范围内 , k 值越小 ,增益越大 ,振子数也越多 .

(3) 由于保持角度 α 不变和最长、最短振子长度不变 ,采用这种方法设计 ,天线面积并未增大 ,甚至可以适当减少 ,天线在整个频带范围内的增益都有所提高 ,而如果使用传统的 LPDA 设计方法 ,要提

高增益,必然增大天线面积.

4 结 论

感应电动势法和用 King 的电流三项式作电流基解 Hallen 方程是计算 LPDA 的阻抗矩阵常见方法,而用 Galerkin 法解 Poclinton 方程的方法并未受到足够的重视. 本文分析了前两种方法的缺陷,并与用 Galerkin 法解 Poclinton 方程的方法对比,说明后者不仅从理论上讲更完备,而且准确性也是最好的,并且适用于各种不同振子长度的情况,所以在分析和设计 LPDA 时,这种方法是应该优先采用的. LPDA 在高频段方向图的恶化是很常见的,为了改善高频端的方向图,对传统 LPDA 的结构进行了改进,结果不但对高频端方向图有所改善,也在整个工作频带上提高了天线的增益,而天线面积并未增大,这对 LPDA 的小型化具有一定的指导作用. LPDA 具有十分优越的宽带特性,但其纵向尺寸非常大,往往限制了它的实际应用. 在相同增益的前提下采用这种方法设计的 LPDA 比传统方法设计的纵向尺寸小,所以在 LPDA 的纵向尺寸受到限制,而又要保证增益和方向图的情况下,采用这种方法就可以满足要求.

参考文献:

- [1] Isbell D E. Log Periodic Dipole Arrays[J]. *IRE Trans*, 1960, AP-8(5): 260-267.
- [2] Carrel R L. The Design of Log-periodic Antennas[J]. *IRE Int Conv Rec*, 1961, AP-1: 61-75.
- [3] Mittra R. Theoretical Brillouin($k-\beta$) Diagrams for Monopole and Dipole Arrays and Their Application to Log-periodic Antennas[J]. *IEEE Trans*, 1964, AP-12(9): 533-540.
- [4] Robert H Kyle. Mutual Coupling Between Log-periodic Antennas[J]. *IEEE Trans*, 1970, AP-18(1): 15-22.
- [5] Wolter J. Solution of Maxwell's Equations for Log-periodic Dipole Antennas[J]. *IEEE Trans*, 1970, AP-18(11): 734-740.
- [6] Sinnott D H. Multiple-frequency Computer Analysis of the Log-periodic Dipole Antenna[J]. *IEEE Trans*, 1974, AP-22(7): 592-594.
- [7] Zhou Chao-dong. *Linear Antenna Theory and Engineering* [M]. Xi'an: Xi'an Electric Science University Press, 1988 (Ch).
- [8] Giuseppe De Vito, Stracca G B. Comments on the Design of Log-periodic Dipole Antennas[J]. *IEEE Trans*, 1973, AP-21(5): 303-308.
- [9] Stutzman W L, Thiele G A. *Antenna Theory and Design* [M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1981.

Study of Log Periodic Dipole Antennas

YANG Jun, WU Shi-cai, GAO Huo-tao

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

Abstract: Aiming at solving the two problems in the design of LPDA(log periodic dipole antennas), which are how to choose a good calculation method of mutual impedance matrix and improve the radiation pattern at high frequencies, the thesis analyses and compares the calculation methods. A conclusion is drawn that solving Poclinton equation by Galerkin method is the best. A new method through changing LPDA's structure is presented to improve LPDA's radiation pattern at high frequencies and results of computer imitation show it works well. Meanwhile it can enhance the gain at the whole frequencies.

Key words: LPDA(log periodic dipole antennas); impedance matrix; moment method

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>