

对数周期偶极子天线辐射特性及其使用误区研究^{*}

王晓攀¹⁾ 谢 飞¹⁾ 杨志飞¹⁾ 魏 勋²⁾

(63888 部队¹⁾ 济源 454650)(63891 部队²⁾ 洛阳 471003)

摘要 文章针对目前测试中操作人员对 LPDA 的不当使用情况,通过建模仿真 LPDA,对某 LPDA 的辐射特性进行深入研究,同时针对测试中常见的几个使用 LPDA 误区进行分析,使用仿真软件分析残缺的 LPDA 的天线性能,对今后使用 LPDA 进行测试有一定的指导意义。

关键词 对数周期偶极子天线; 数值仿真; 驻波系数; 辐射特性

中图分类号 TN82

Research on Radiation and Use Errors of Log-Periodic Dipole Antenna

Wang Xiaopan¹⁾ Xie Fei¹⁾ Yang Zhifei¹⁾ Wei Xun²⁾

(No. 63888 Troops of PLA¹⁾, Jiyuan 454650)(No. 63891 Troops of PLA²⁾, Luoyang 471003)

Abstract In view of the improper use of LPDA at the current test, the paper does a lot of profound study about radiation by modeling and simulation. At the same time, the common use errors were analyzed by using the simulation software to simulate the incomplete LPDA's performance. The number on the future use of the test dipole has some significance. It has great significance for the testing of LPDA.

Key Words LPDA, numerical simulation, voltage standing wave ratio, radiation

Class Number TN82

1 引言

对数周期天线是根据“相似”概念构成的^[1]:当天线按照某一特定因子 r 变换后,仍为它原来的结构,这样,出现在频率 f 和 τf 的之间的天线性能,将会在 τf 和 $\tau^2 f$ 的频率范围内重复出现。依次类推,天线的电特性将在很宽的频率范围内作周期性变化,所以其具有很好的带宽和方向性特性,是一种频率无关的天线。LPDA(对数周期偶极子天线)是对数周期天线中最简单的一种,具有对数周期天线的性质^[2]。

LPDA 是常用的天线,广泛用在侦察、干扰设备中。在测试过程中,由于设备的长时间使用导致振子缺失或者接触不良、天线使用操作不规范等原因,会使天线特性发生变化,会影响测试结果的准确性。本文通过仿真分析 LPDA 在一些非正常情况下天线

辐射特性的变化,研究其对测试的影响,从而对测试时规范天线操作和测试后结果分析提供参考依据。

2 LPDA 工作原理与建模仿真

2.1 LPDA 工作原理简述

LPDA 的典型形式如图 1 所示,实质上是 N 副对称振子用双线进行馈电,这样的双线又称为集合线,天线在短振子一端进行馈电,通常采用交叉馈电的方式使天线激起向长振子端方向传输的行波,从而部分振子激励并产生有效辐射,主辐射方向指向短振子一端^[3~5]。交叉馈电的目的是使辐射区的振子得到适宜的相位关系,使长振子的相位超前于短振子,从而获得指向顶点方向的端射。

LPDA 的不同部分分别辐射不同频段的电磁波,频率高的由短振子辐射,频率低的由长振子辐射,所以其工作频带低端由长振子决定,频带高端

* 收稿日期:2010 年 4 月 2 日,修回日期:2010 年 4 月 30 日

作者简介:王晓攀,男,助理工程师,研究方向:电子信息。

由短振子决定。

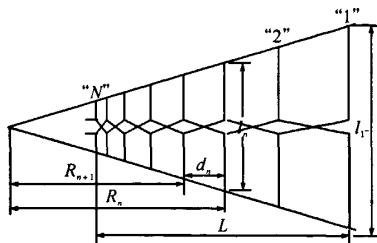
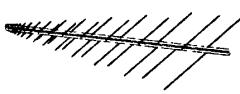


图 1 典型 LPDA 结构图

2.2 LPDA 的建模仿真

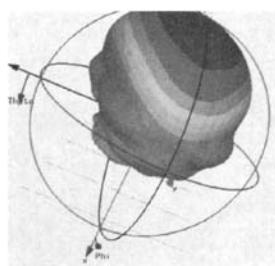
LPDA 的仿真采用数值方法进行^[6]。目前主流的天线仿真软件均基于数值计算,其中有限元法(FEM),有限积分法(FIT)和时域有限差分法



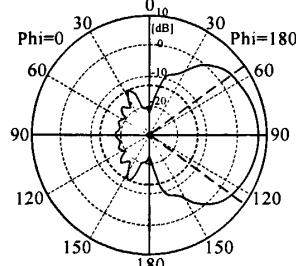
(FDTD)是常用的数值计算方法,本文使用基于 FIT 的软件仿真了通

图 2 LPDA 的仿真模型 信对抗测试中某对数周期天线的特性。根据对数周期天线的设置,最短的振子设为 l_0 ,长度因子设为 k_1 ,最近的距离设为 d_0 ,距离因子设为 k_2 ,模型建立如图 2 所示。

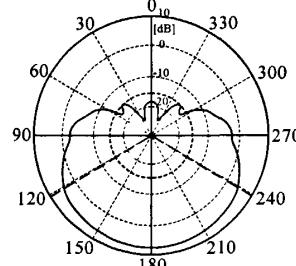
使用在平行双线上交叉馈电的方式来建立 LPDA 模型,在短振子端采用离散馈电,根据该 LPDA 天线的工作频段,设置馈电阻抗为 75Ω 。实



(a)3D 方向图



(b)E 面方向图
图 4 天线仿真方向图



(c)H 面方向图

图 4(a)给出了天线仿真得到的 3D 方向图,图中颜色越深,辐射越强,可以看出天线是朝向短振子方向辐射,图 4(b)给出天线的 E 面方向图,图 4(c)是天线的 H 面方向图,由图可知,该 LPDA 天线有较宽的 3dB 波瓣宽度,在 E 面约为 80° ,而 H 面为 120° 。天线在 0.5GHz 时的仿真增益为 7.3dB 。天线具有几个副瓣,副瓣电平为 -20.5dB ,前后比为 26dB 。

3 测试中非正常使用 LPDA 误区分析

在测试中,LPDA 是常用的天线之一,由于工

际使用中,使用同轴线馈电时,可以使用阻抗变换器进行阻抗匹配。

2.3 仿真结果及分析

天线的驻波系数表征的是天线与接收机之间的能量转换效率的高低,经过仿真计算得到天线的驻波系数曲线如图 3 所示。

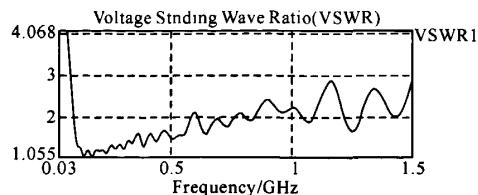


图 3 天线仿真 VSWR 曲线

从图 3 中的曲线可以看出,该天线在 $75\text{MHz} \sim 1.5\text{GHz}$ 内的全频段内驻波系数均小于 3, $84\text{MHz} \sim 1.12\text{GHz}$ 频段内的驻波系数小于 2.5 , $91 \sim 580\text{MHz}$, $612 \sim 760\text{MHz}$ 等频带内驻波系数均在 2 以下,该天线可以满足一些常用的 UHF 工作设备的要求。

天线的方向性系数是用来描述天线辐射方向的参数,仿真得到该 LPDA 在 0.5GHz 时的 3D 方向图、E 面方向图、H 面方向图分别如图 4(a)、(b)、(c)所示。

作在超短波频段,其体积较大,所以设计者通常使用一些可拆卸组合的方式制作 LPDA。这种方式保证了 LPDA 在载车行驶中不至于被损坏,增加了 LPDA 天线使用的便利性,延长了 LPDA 的使用寿命,但反复拆卸容易造成天线磨损。下面就测试中常见的对 LPDA 使用时的误区进行分析。

3.1 LPDA 的波瓣宽,对于方向的要求不高

由图 4 可知,LPDA 天线具有较宽的波瓣宽度,其 3dB 波瓣宽度可达到 120° ,一般的侦察、干扰应用中,如果只需要知道信号的有无,只要天线大体上方向对准辐射源或者目标即可。对于电波监

测来说,要求精确知道信号电平,此时,应该使天线对准来波方向,从而可以得到电平的最大值,结合天线自身增益,就可以得到接收地的真实电平。

另外,如果收发天线海拔高度差距很大,此时由于LPDA在E面的3dB波瓣宽度仅有60°,所以天线未对准时与实际结果差距较大,应该进行修正。

3.2 少一根振子不影响天线的使用

由于LPDA的不同振子辐射不同频带的信号,因此天线的每根振子都是必要的。由于每次测试结束后都要将振子拆卸,因此难免出现缺失振子的情形,在这种情况下,我们通常都是继续使用该天线。事实上,LPDA少了结构中的某个振子时,

其天线性能有较大的变化,图5(a)是图2所示天线去掉中间的某振子时与原始天线之间的VSWR(驻波系数)比较,图5中虚线是去掉某根振子LPDA曲线,实线是完整LPDA曲线。从图中可以看出,当去掉一个振子后,VSWR在240MHz到400MHz中迅速恶化,其余频段的工作状态保持不变。因此,在天线振子缺失或者某振子接触不良时,需要考虑所使用的频带,若是该振子是工作在所需的频带范围内,对测试结果影响较大。图5(b)和(c)是两天线的E面和H面方向图之间的比较,可以看出少一根振子对天线的方向图有一定的影响:减小了增益,增加了后瓣电平,并且使天线方向图偏移。

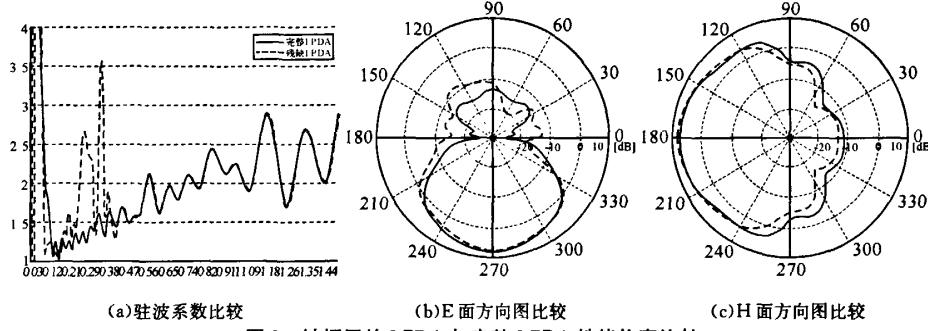


图5 缺振子的LPDA与完整LPDA性能仿真比较

图6是300MHz时天线表面电流的情况。此时表面电流集中的位置正是缺失振子区域,由于振子的缺失,导致天线在此处电流分布不连续,同时天线电流的对称性也已经破坏,从而使天线的反射损耗增加,并且改变了天线的辐射方向图。去掉与缺失振子对称的振子后,天线上的电流分布得到平衡,天线的辐射方向不再偏移,但是天线的驻波会明显变差。

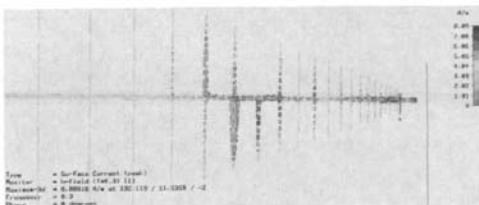


图6 300MHz时天线表面电流分布

3.3 随意更换天线馈线的接头

在某测试中,由于使用时间过长,LPDA的专用馈线N型接头老化,无法使用,使用替代馈线时,测量的数据比理论数据小10dB,经过分析得到,LPDA的馈电头更换可能会导致天线的反射损耗增加,从而导致接收信号变小,影响测试精度。

所以在更换天线接头时需要使用经过测试与LPDA相匹配的馈线及接头,尽量避免由于端口反射引起的测试误差。

天线馈线的接触不好可能会增加输入电阻和输入电抗,比较不同输入阻抗时天线的反射系数可以得到,当输入阻抗分别为150Ω、200Ω、300Ω时的天线反射损耗曲线如图7所示。

由图7可以看出,天线在不同输入阻抗时的反射损耗曲线有所区别,所以接头的不匹配会导致天线的反射信号增加,在实际使用时要注意天线馈电处的保护。

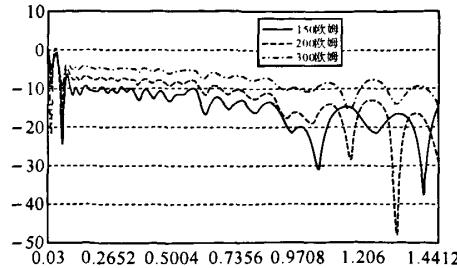


图7 不同输入阻抗情况下的反射损耗

(下转第130页)

利用上述描述,分别用线性规划和遗传算法两种算法求解,如表 2 所示。

假设有 3 种传感器:敌我识别器、合成孔径雷达、前视红外雷达。

表 3 在多目标情况下的两种算法仿真对比

算法	目标一	目标二	目标三	目标四	目标五	目标六	目标七	目标八	目标九	目标十	仿真时间
	位置误差										
线性规划	3.5334	3.6674	3.5863	3.7656	3.6453	3.6843	3.4631	3.6754	3.7635	3.6541	64.6
遗传算法	3.3453	3.4221	3.3641	3.4352	3.3452	3.4563	3.2541	3.4324	3.3452	3.4534	3.5

4 结语

本文分析了针对多传感器多目标分配的传感器管理算法的特点以及存在的问题,结合遗传算法的思想,给出了一种基于遗传算法的传感器管理算法,并进行了算法的仿真。仿真结果表明,在求解多传感器多目标分配问题的维数增加时,采用规划方法求解计算量急剧增加,难以满足实时性要求,而基于遗传算法的传感器管理算法计算量增加并不大,因此本文给出的算法更具有实用性。

参 考 文 献

- [1] 杨秀珍,何友,鞠传文.多传感器系统研究现状与发展趋势[J].传感器技术,2004
- [2] Samuel Blackman, Robert Popoli. Design and Analysis of Modern Tracking Systems[M]. Boston London: Artech House,1999:967~1065

(上接第 87 页)

4 结语

本文使用仿真软件建模仿真了某通信对抗设备的 LPDA,得到天线的 VSWR 等参数,并依据这些参数,针对通信测试中设备操作的一些问题进行分析,重点研究了缺失某根振子时的 LPDA 的辐射特性以及不同输入阻抗对天线反射系数的影响。结果表明,缺失振子严重影响天线的驻波系数和方向图,馈电阻抗的增加对反射的影响也是不可忽视的。因此,在实际使用 LPDA 时,要保证天线的完整,保持天线接头处的匹配良好,天线对准目标可以得到最好的效果。

参 考 文 献

- [1] 马汉炎.天线技术[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997:83~86

跟踪 10 个目标,其中本方飞机 2 架,敌方 8 架,6 架歼击机,2 架轰炸机。

利用上述描述,分别用线性规划和遗传算法两种算法求解,如表 3 所示。

- [3] Mahler R. Measurement models for ambiguous evident using conditional random sets[C]//SPIE proceedings, Orlando, FL, USA,1997,3068:40~51
- [4] Goodman I R, Mahler R T, Nguen H T. Mathematics of Data Fusion[M]. San Diego: Academic Publishers, 1997:102~156
- [5] Wang Guohong, He you, Yang Zhi, et al. Adaptive sensor management in multisensor data fusion systems [J]. Chiness Journal of Electronics, 1997,27(2):125~132
- [6] 张广远,王福军,魏震生.一种基于遗传算法的多传感器管理算法[J].现代防御技术,2008
- [7] 曲向平,张颖.改进的遗传算法对模糊控制的优化及应用[J].自动控制,2009
- [8] 王宏生.人工智能及其应用[M].北京:国防工业出版社,2006
- [9] 杨露青,余华.多源信息融合理论与应用[M].北京:北京邮电大学出版社,2006
- [2] 蒋晓虞.应用于 UWB 的对数周期天线分析与设计 [M].东南大学硕士学位论文,2005:8~11
- [3] Cam Nguyen. A Wide-Band Microstrip-Fed Log-Periodic Antenna[J]. Antennas and Propagation Society International Symposium,1996,1(6):33~36
- [4] 周朝栋,王元坤,周良明.线天线理论与工程[M].西安:西安电子科技大学出版社,1988
- [5] 刘熠志,高火涛,张小林.小型宽带短波对数周期天线的设计[J].武汉大学学报(理学版),2006,52(1):124~125
- [6] 尹家贤,刘克成,等.对数周期天线时域特性分析[J].电波科学学报,2002,17(4):378~380
- [7] 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
- [8] Jean-Pierre Berrenger. Three-dimensional perfectly matched layer for absorption of electromagnetic waves [J]. Journal of computational physics, 1996, 127 (2): 363~379

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>