

大张角宽带对数周期天线的优化设计

Optimization of Large Angle and Broadband LPDA

东南大学电磁兼容研究室 王文进 蒋全兴 周香

摘要

文章运用矩量法对大张角对数周期天线的电性能进行了分析。经过优化设计制作的大张角宽带对数周期偶极子天线(LPDA, Log Periodic Dipole Antennas),经测试测量值与计算值吻合得较好,已用于混波室测试。

关键词

矩量法 对数周期天线 大张角 宽带

Abstract

The method of moments is used to analyze the electric characteristics of large angle LPDA. Based on analysis and calculation, a large angle and broadband LPDA, which is used in the Reverberation Chamber, is optimized. The antenna is produced and tested, and the measured results are in good agreement with the theoretical calculated results.

Keywords

the method of moments, LPDA, large angle, broadband

1. 引言

对数周期天线是超宽带定向天线,其结构有多种形式,常用的是由偶极子构成的对数周期天线。这种天线张角通常都设计得较小,可以在很宽的频带内获得几乎不变的阻抗、方向图和增益。但是小张角带来的问题是轴向尺寸非常大,在空间有限的情况下其应用会受到限制。

对数周期天线结构如图1,其结构参数有:周期率 τ ,张角 2α 及间隔因子 σ ,三个参数中只有两个是独立的。天线长度 L 由下列关系得到:

$$L = l_1 / 2 \times \cot \alpha \quad (1)$$

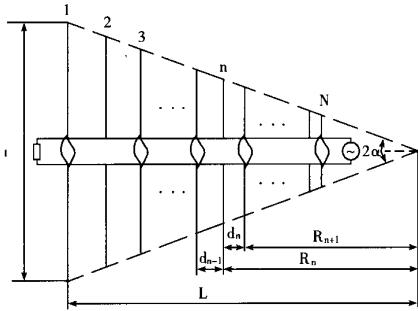


图1 LPDA示意图

式中, L 为虚顶点至最长振子之间的距离, l_1 为最长振子总长,一般由最低使用频率决定。由式(1)可得:天线张角 α 增大,轴向尺寸可以大大缩短。为预测大张角情况下LPDA的方向图、增益等电特性的变化,本文先用矩量法

分析大张角LPDA的电特性,然后优化设计频带为450MHz~2000MHz,总长不超过450mm的大张角LPDA,此天线已成功用于测试空间有限的中小型混波室的校准和测试。

2. LPDA 结构、原理

LPDA是由 N 个偶极子按一定比例关系排列而成,连接在一对集合线上,有如下关系:

$$\tau = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{a_{n+1}}{a_n} \quad (2)$$

式中, n ——振子的序号;

d ——两相邻振子的间距;

l ——振子的长度;

R ——天线的几何顶点到振子的垂直距离;

a ——振子的半径。

LPDA在短振子端馈电且振子间是交叉馈电的。另外,为改善低频性能,通常在终端接一负载 Z_t ,有些情况下可使 $Z_t = 0$ (短路)或 ∞ (开路)。

LPDA馈电后,电磁能量沿集合线仅对接近于谐振长度的部分振子激励,形成天线辐射,这部分振子称为激励区。随着频率变化,激励区随之移动。由于天线具有相似原理结构,因而天线的电特性在很宽的频带内呈周期性变化。

3. 算法验证

根据LPDA结构可将其等效为天线阵网络和集合传输线网络的并联,天线阵网络为:

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

集合传输线网络方程为:

$$[I_i] = [Y_i][U_i] \quad (4)$$

由于并联,因而有:

$$\begin{aligned} [U_A] &= [U_i], \\ [I] &= [I_i] + [I_A] = [Z_A]^{-1}[U_A] + [Y_i][U_i] \quad (5) \\ &= ([Z_A]^{-1} + [Y_i])[U_i] \\ \therefore [U_i] &= ([Z_A]^{-1} + [Y_i])^{-1}[I] \quad (6) \end{aligned}$$

$[Z_A]$ 由振子的自阻抗和互阻抗组成,可由感应电动势和矩量法求得。本文采用矩量法中的迦辽金-点选配法建立阻抗矩阵,振子电流基采用正弦分段函数。 $[Y_i]$ 为集合传输线导纳矩阵,可由传输线理论求得。

由于LPDA仅在端口N处提供激励源,并设该源为单位电流源,即:

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

由(6)式可求得 $[U_i]$,代入(3)、(4)式可求得各振子电流分布,从而求得LPDA的输入阻抗、方向图和增益等电特性。

先以一例验证算法的准确性,计算典型的LPDA特性。其参数为: $\tau = 0.917$, $\sigma = 0.169$, $2\alpha = 14^\circ$,振子数目 $N = 18$,频率范围 $200\text{MHz} \sim 600\text{MHz}$,集合线特性阻抗 $Z_c = 83\Omega$,终端阻抗 $Z_t = 83\Omega$,第一个振子长度 $l_1 = 0.75\text{m}$ 。阻抗和增益的计算结果和文献^[1]给出的值比较见表1。

表1 输入阻抗比较

频率(MHz)	文献值(Ω)	计算值(Ω)
150	$89+j20$	$86.4+j17.6$
200	$69-j7$	$73.4-j6.7$
300	$72-j4$	$75.5-j3.4$
450	$76-j6$	$75.7-j6.4$
600	$78-j11$	$77.4-j6.2$
650	$71-j27$	$73.7-j25.7$

表2 增益比较

频率(MHz)	文献值(dB)	计算值(dB)
150	5.54	5.31
200	8.75	8.47
300	9.43	9.28
450	9.51	9.34
600	9.37	9.13
650	8.98	8.78

由表1、表2可以看出,计算的输入阻抗和增益与文献值具有较高的一致性,编制的程序具有较高的计算精度。

度,可用于工程设计。

4. 大张角LPDA电特性的研究

4.1 张角变化对天线性能的影响

在频率范围 $200\text{MHz} \sim 1000\text{MHz}$, 2α 分别取 30° 和 50° 。对不同张角天线进行比较。LPDA结构参数如下: $\tau = 0.86$, $N = 13$,集合线特性阻抗 $Z_c = 55\Omega$,终端接负载 $Z_t = 55\Omega$ 。

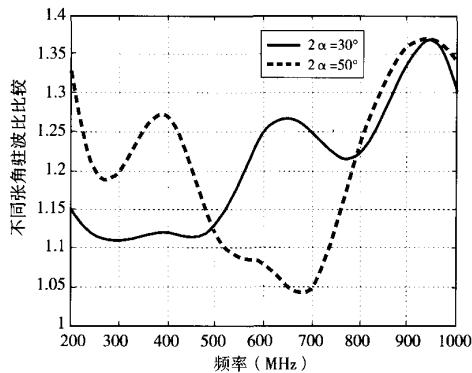


图2 不同张角的天线驻波比较

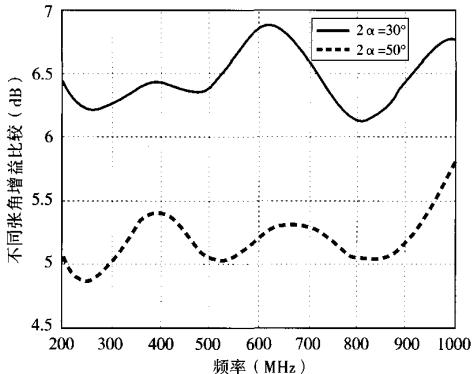


图3 不同张角的天线增益比较

从图2、图3中可以看出:

a) 张角较小时,驻波比变化较小;张角变大时,驻波比相对来说变化较大。

b) 张角由 30° 增加到 50° 时,天线轴向具有较高增益值;轴向增益减小值约为 $1.0\text{dB} \sim 1.5\text{dB}$ 。

c) 张角变大时,天线轴向尺寸减小,方向图主瓣明显分裂,导致轴向增益减小。

4.2 振子长度与直径之比对天线的影响

通过计算分析,比值变化对天线增益有所增加。比值减小一倍时,增益大约增加 0.2dB 。

理论上,振子长度与其直径之比应等于常数,以保证并联振子的平均特性阻抗相同,有利于展宽天线带宽。但实际加工时,振子直径通常只有有限的几种规格。



5. 天线优化设计、计算与实测值比较

本文设计的LPDA用于混波室的校准和测量,要求频率范围为450MHz~2000MHz。受混波室内部空间限制要求轴向尺寸不超过450mm,根据(1)式,只有大张角的LPDA才能满足要求。

由于张角大,天线轴向长度小,导致增益较小。为提高增益,选取的周期率 τ 值较大,为此必须适当调整张角,以使得各振子上的电流比是恰当的,从而保证在频带内的方向图主瓣不发生分裂。

通过计算,当 $2\alpha = 44^\circ$ 和 $2\alpha = 52^\circ$ 时,1800MHz以上时E面方向图主瓣有明显的分裂现象;而 $2\alpha = 48^\circ$ 时,无分裂现象。最终设计的天线参数确定为: $\tau = 0.89$, $N = 18$, $2\alpha = 48^\circ$,振子直径9mm~2.5mm,轴向总长度420mm。集合线特性阻抗 $Z_c = 80\Omega$,采用方形紫铜管,终端短路,与最长振子之间距离为60mm,集合线在短振子端间距4mm,长振子端间距12mm。天线驻波比计算值与实测值见图4。由于天线结构细微变化和测试环境都会对驻波比产生影响,两者存在差异。

增益计算值与实测值见图5。

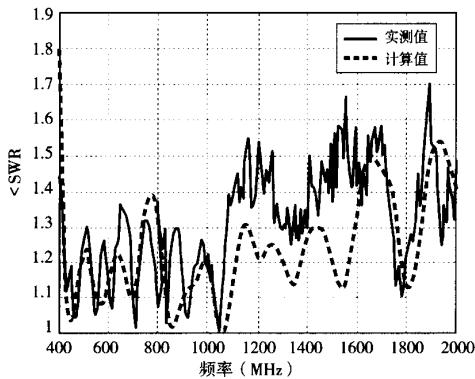


图4 天线驻波比实测值与计算值

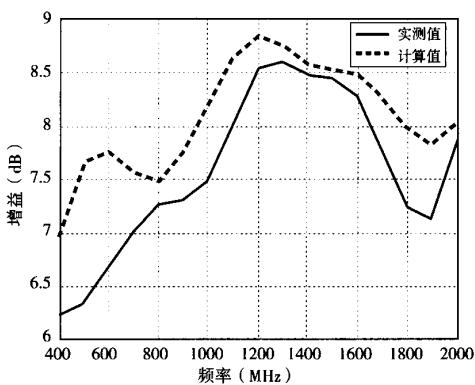


图5 天线增益实测值与计算值

图6、图7分别为1200MHz和1800MHz时E面方向图。

在高端由于方向图副瓣电平增加,导致轴向增益稍有下降。

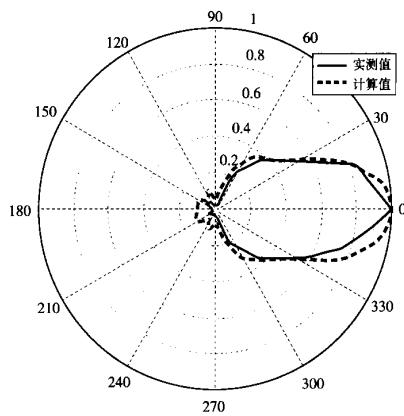


图6 频率为1200MHz时E面方向图

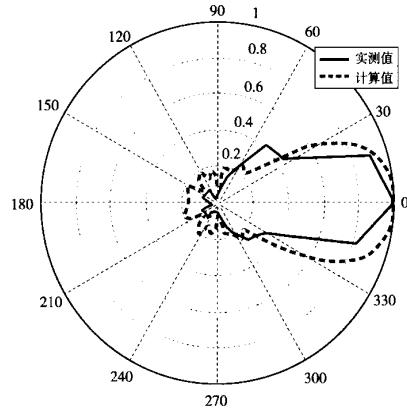


图7 频率为1800MHz时E面方向图

6. 结论

天线张角变大,轴向尺寸大大减小,是以牺牲增益和驻波比为代价的。天线尺寸减小,必然带来增益的减少,频带内起伏较大。当 τ 值较大时,需要调整张角以使频带内的方向图不发生分裂。

参考文献

- 周朝栋等著 天线与电波 135~143 西安电子科技大学出版社, 1994年
- 刘圣民著 电磁场的数值方法 155~188 华中理工大学出版社, 1991年
- 林昌禄著 天线测量技术 51~97 成都电讯工程学院出版社, 1987年
- 刘江宏等 大张角对数周期天线的宽带特性 电子学报, 2001年第3期

编辑:刘青 E-mail: liuqing@cesi.ac.cn

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>