

张角变化对对数周期天线及其阵列特性的影响

吴世龙, 尹成友, 许尤福

(电子工程学院 一系, 安徽 合肥 230037)

摘要: 针对对数周期天线作为阵元, 可以实现在空间上合成大功率的目的。利用微波网络理论与矩量法相结合, 系统地分析、计算了单个对数周期天线的输入阻抗、增益及方向特性与其张角的关系, 分析了扇形阵列的电特性与单元天线之间张角的关系; 所得结果在天线组阵中对单元天线的合理选择与布局有着重要的指导意义。

关键词: 对数周期天线; 张角; 网络理论; 矩量法

中图分类号: TN 213.7

文献标识码: A

文章编号: CN11-3987(2003)03-0061-04

对数周期天线是应用最广泛的宽频带天线之一。通常, 该天线都是设计成较小的张角^[1], 此时, 它可以在很宽的频带内获得几乎不变的阻抗、方向图和增益值, 具有十分优良的宽带特性; 但是, 小张角天线的纵向尺寸非常大, 这往往限制了它的实际应用, 而过分增大张角又会引起天线方向图的主瓣发生分裂, 因此, 如何合理地选择天线的张角以获得最佳的方向性, 是一个值得研究的重要问题。

文献[2]分析了单元天线的电特性, 文献[1]采用矩量法进行了相关的分析。本文主要利用微波网络理论, 结合矩量法^[3]对对数周期天线及其扇形阵列进行分析, 编写了相应算法的 Matlab 程序, 计算天线及其阵列的电特性与 2 种张角之间的关系, 所得结果在天线组阵中对单元天线的选择及合理布局有着重要的指导意义。

1 理论分析

对数周期天线的结构及参数如图 1 所示。天线的总长度 R 与张角 $2\gamma_1$ 之间满足如下关系

$$R = 0.5l_1/\tan \gamma_1 \quad (1)$$

式中: R 为天线顶点到最远振子之间的距离, 即天线的长度; l_1 为最长振子的长度, 一般选择为最低工作频率所对应的半波长, 即 $l_1 = 0.5\lambda_{\min}$ 。增大天线的张角 $2\gamma_1$ 时, 可使天线的长度减小, 但

尺寸变化后的天线是否能保持原先的电特性, 或者性能是否得到改善, 是需要关心的问题。

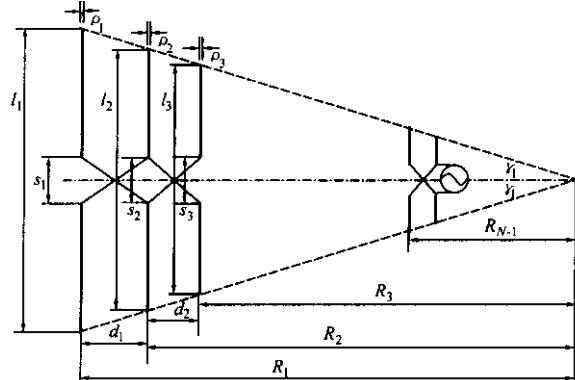


图 1 对数周期天线的结构及参数示意图

对数周期偶极天线(log-periodic dipole antenna, LPDA), 可以看作天线阵部分和馈电电路部分的并联, 且可分别看作 N 端口无源网络, 就可以对其用矩量法结合网络理论进行分析, 如图 2 所示。

采用矩量法求解天线阵网络, 根据电流分布计算各单元天线的辐射场, 并叠加形成总的辐射场。运用集合线网络、天线阵网络和矩量法分析电压电流的内在联系, 把天线阵网络和集合线网络有机结合起来, 不用再求解天线阵网络参数, 可以减少计算量。

对于单个对数周期天线, 由于天线被电流源激励, 天线的另一端连有终端导纳 Y_L , 为了求解

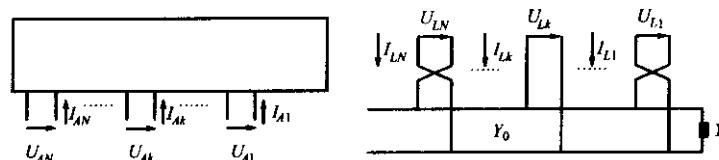


图2 对数周期偶极天线的2个等效网络

LPDA上的电流分布必须先求出激励每个振子的电压 U_A 。令 Y_A 和 Z_A 分别代表天线阵网络的导纳矩阵和阻抗矩阵, Z_{Aij} 表示当 j 振子有单位输入电流时在第 i 个振子上感应的电压

$$U_i = Z_{Aij} I_j \quad (I = 0, i \neq j) \quad (2)$$

令 Y_T 表示集合线终端负载的导纳矩阵, I_A 、 U_A 表示具有 N 端的网络每个输入端上的电流矢量和电压矢量。因此, 2个并联回路总的电流表示式为

$$I_s = (Y_A + Y_T) U_A \quad (3)$$

计算 Y_A 时, 由于网络被磁流圆环激励(等效电压源), 根据矩量法, 由式

$$Y_A U = I \quad (4)$$

得出 Y_A 后, 再代入(2)式, 即可算得 U_A , 进而求得每个振子上的电流表达式。在求解电流分布时, 先求第 i 个振子上的电流 I_i , 此时假定其它振子上的激励电压为 0, i 端口处短路, 然后进行叠加, 得到总的电流分布。由(2)式可知, 对振子加单位电流进行激励时, 得到的激励点电压就是输入阻抗 Z_{in} 。

如图3所示, 由 N 个振子组成的单元天线的 H 面辐射场表达式为

$$E_{\text{单}}(\theta = 90^\circ, \varphi) = \sum_{p=1}^N e^{-jkD_p \sin \varphi} E_z(\theta = 90^\circ) \quad (5)$$

式中: D_p 表示不同振子到场点的波程差。

对于由对数周期天线组成的天线阵而言, 忽略单元天线间的耦合作用, 其方向图应是每一副天线在远区所产生的场的矢量叠加。在进行分析时, 只需求出天线阵列中的第 n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) 个天线在 P 点所产生的场强 $E_n(\theta, \varphi)$, 其它天线的场便可通过将 $E_n(\theta, \varphi)$ 进行坐标旋转得到。

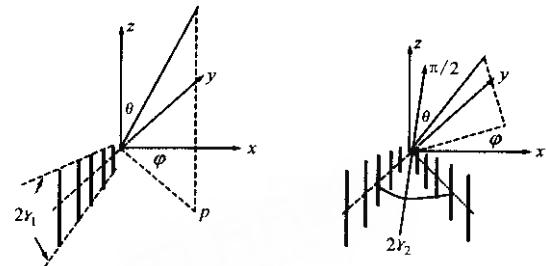


图3 单元对数周期天线及其扇形阵列结构示意图

通常, 阵列的夹角平分线方向为坐标图中的 $\pi/2$ 角, 即阵列的主波束方向, 假定主波束方向的场强为 $E_{\Sigma n}$ 。例如对于二元阵, 应有

$$E_{\Sigma^2}(\theta, \varphi) = E_1(\theta, \varphi + \beta) + E_2(\theta, \varphi - \beta) \quad (6)$$

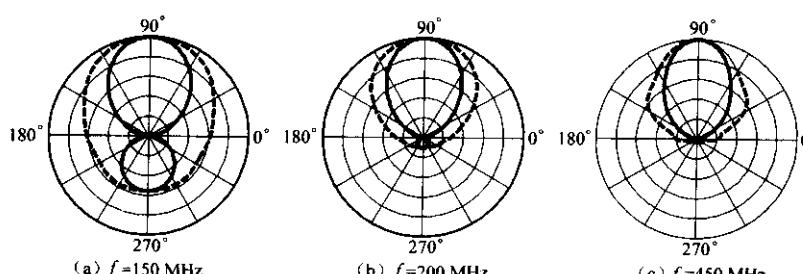
在计算天线阵列的总增益时, 考虑单元天线的效率为 1, 计算出任意一个单元天线的增益 G_1 , 即方向系数。阵列的增益 G_{Σ} 为相对于单元天线增益的比值。

$$G_1 = \frac{4\pi F^2(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} \quad (7)$$

2 算法验证

以振子数 $N = 18$ 的天线为例, 利用式(5)对单个对数周期天线的方向图进行计算, 参数选择如下: $\tau = d_{n+1}/d_n = L_{n+1}/L_n = 0.917$; $\sigma = d_n/2L_n = 0.169$; $\alpha = 14^\circ$; $\lambda_H = 0.5$ m; $\lambda_L = 1.5$ m。

图4、5中所示的方向图、输入阻抗($Z_{in} = R_{in} + X_{in}$)及增益(G)与文献[1]和文献[3]吻合得很好, 尤其是在低频端。这表明用于计算的 Matlab 程序是正确的, 因此可以将该程序用来计算对数周期天线的其它问题。

图4 $N = 18$, 不同频率时单个天线 E (实线), H (虚线)面方向图

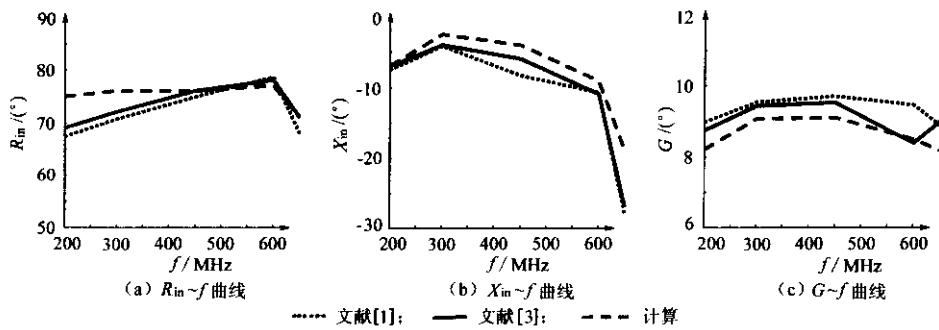


图 5 计算所得单元天线参数与文献结果的比较

3 单元天线电特性与张角 $2\gamma_1$ 关系

图 6 为单元对数周期天线的方向图、输入阻抗及增益随天线张角变化的曲线。其中,横坐标

表示将 360° 方位角分成 200 步长,每个步长代表 1.8° 。天线的参数选择为: $\lambda_{\max} = 3$ m, $\tau = d_{n+1}/d_n = L_{n+1}/L_n = 0.84$, $\sigma = d_n/2L_n = 0.169$ 。计算结果与文献[1]一致,通过表 1 的比较可

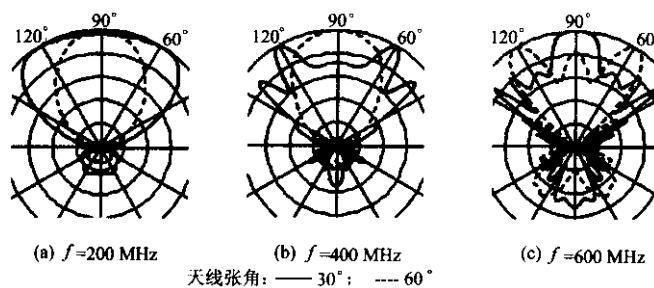
图 6 天线张角为 30° 、 60° 时的归一化方向图

表 1 不同张角时单元天线的输入阻抗及增益特性

频率 f (MHz)	$2\gamma_1 = 20^\circ$		$2\gamma_1 = 60^\circ$	
	输入阻抗	增 益	输入阻抗	增 益
200	$64.5631 - j 7.8435$	8.5531	$48.1489 + j 0.8183$	6.6744
300	$38.2527 - j 2.1137$	7.2624	$53.7256 - j 1.9255$	6.7528
400	$65.7124 + j 12.3697$	8.0023	$58.5183 - j 0.9541$	6.9242
500	$66.8891 + j 8.3649$	8.2998	$56.3126 - j 4.3680$	5.2188
600	$41.5470 + j 6.1783$	8.5573	$50.1980 - j 10.4914$	5.1937

以发现:

1) $2\gamma_1$ 较小时,增益值较大,而且在天线的工作频率范围内起伏不大;当 $2\gamma_1$ 增大时,增益值减小,而且起伏变化较大。

2) 当 $2\gamma_1$ 变大时,天线的方向图主瓣变窄,出现分裂,主方向增益明显下降。

3) $2\gamma_1$ 增大,即天线的尺寸减小是以降低天线的增益和带宽为代价的。

4 扇形阵列天线电特性分析

以二元阵为例,阵列中的单元天线其它参数取以下值时,可以得到表 2 所示的结果。

图 7 是在给出频率一定时阵列的几组方向图,可发现阵列方向特性与单元天线张角及其间夹角的关系。

表 2 阵列的增益特性与张角 $2\gamma_1$ 、 $2\gamma_2$ 的关系

单元天线张角	天线之间夹角	$f = 200$ MHz	$f = 300$ MHz	$f = 400$ MHz	$f = 500$ MHz	$f = 600$ MHz
$2\alpha = 15^\circ$	$2\gamma_2 = 10^\circ$	5.8854	6.1731	10.7459	14.4402	7.8946
	$2\gamma_2 = 20^\circ$	6.0534	10.9596	9.3130	11.5968	10.0190
$2\alpha = 20^\circ$	$2\gamma_2 = 10^\circ$	6.6431	8.5433	9.6342	12.0012	13.8754
	$2\gamma_2 = 20^\circ$	6.0527	10.5476	16.0225	15.0174	10.8542
$2\alpha = 30^\circ$	$2\beta_2 = 10^\circ$	6.4954	8.2210	9.4423	11.9810	13.9576
	$2\beta_2 = 20^\circ$	6.4759	10.1760	15.6292	14.6010	11.6817

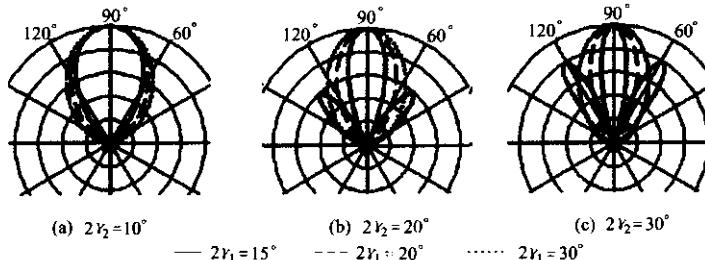


图 7 $f = 450$ MHz 时, 扇形阵列方向性与张角 $2\gamma_1$ 、 $2\gamma_2$ 的关系

通过比较, 可以发现:

1) 当组成阵列的单元天线之间的夹角一定时, 即张角 $2\gamma_2$ 固定, 在主波束分裂以前, 单元天线自身的张角 $2\gamma_1$ 越大, 天线的方向图越宽, 天线的方向性越弱, 主方向增益越小;

2) 当单元天线自身的张角一定时, 即张角 $2\gamma_1$ 固定, 在主波束分裂前, 阵列单元之间的夹角 $2\gamma_2$ 越大, 天线的方向性越好, 主瓣分裂后随着 $2\gamma_2$ 增大, 天线的方向性变差;

3) 天线阵列的增益在 $2\gamma_1$ 、 $2\gamma_2$ 的变化过程中能取到一个最大值, 此时阵列的方向性最强, 主波束方向的波瓣最窄, $2\gamma_1 \approx 20^\circ$, $2\gamma_2 \approx 20^\circ$ 。

5 结束语

本文利用微波网络理论与矩量法相结合的方法, 系统地分析、计算了单个对数周期天线的输入

阻抗、增益及方向特性与张角 $2\gamma_1$ 的关系, 分析了忽略单元天线之间的互耦作用时, 扇形阵列的电

特性与张角 $2\gamma_1$ 、 $2\gamma_2$ 的关系。在实际应用中, 应该合理地选择天线单元之间的夹角以及单元天线自身的张角, 以达到最佳的效果。文中所得结果在天线组阵中对单元天线的合理选择与布局有着重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 刘江宏, 周良明, 梁 建. 大张角对数周期天线的宽带特性[J]. 电子学报, 2001, (3): 337-340.
- [2] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法[M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.
- [3] 袁伟良, 梁昌洪, 史小卫. 矩量法结合网络理论分析对数偶极天线[J]. 微波学报, 2000, 16(2): 106-110.

Variable Angle's Influence on the Characteristics of LPDA and LPDA Arrays

WU Shi-long, YIN Cheng-you, XU You-fu

(First Department, Electronic Engineering Institute, Hefei Anhui 230037, China)

Abstract: Using LPDA as cells, we can get high power in extensity. The input impedance, gain and directivity of a log-periodic dipole antenna are analyzed and calculated systematically by the method of moment and network theory of microwave. Also, the relation between the electric character and the angles are analyzed. And the results obtained can be instructional on design of LPDA arrays.

Key words: log-periodic antenna; angle; network theory; moment method

(责任编辑:程万鑫)

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>