

对数周期偶极子天线相位中心的分析和计算

丁晓磊¹, 王 建², 林昌禄²

(1. 中国航天科技集团公司 704 所, 北京 100076 2. 电子科技大学微波工程系, 四川成都 610054)

摘 要: 本文通过对对数周期偶极子天线(LPDA)相位中心的分析和计算, 得出了该天线不存在完整的相位中心, 但却存在视在相位中心, 该相位中心均位于有效区内, 并随着频率的变化而沿集合线移动. 文中计算了 LPDA 不同频率处的 E 面和 H 面视在相位中心的位置.

关键词: 对数周期偶极子天线; 视在相位中心

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2003)09-1375-03

Analysis and Calculation for the Phase Center of the LPDA

DING Xiao-lei¹, WANG Jian², LIN Chang-lu²

(1. Institute of No.704, China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100076, China;

2. Dept. of Microwave Eng., UEST of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: The conclusion is derived that the LPDA has no strictest phase center but has an approximate phase center. Approximate phase centers can be defined by computing the local curvature of a far-field constant-phase surface on the antenna's principal lobe. The phase centers computed from each pattern are situated in the radiation section of LPDA and, moreover, track differently with frequency.

Key words: log periodic dipole arrays; approximate phase center

1 引言

LPDA 的相位中心问题无论对于相位测向应用、形成波束侦收应用、作为干涉仪阵单元使用还是作为抛物面天线馈源使用都很重要. 目前国内外对该方面的研究尚不充分, 多从物理概念上予以阐述, 未能得到理论上的有力支持. 本文结合自由空间 LPDA 的辐射场表达式, 分析并计算了其相位中心的存在情况, 该过程也可以推广到对数周期天线阵的情况.

2 自由空间 LPDA 的方向图函数

图 1 为对数周期偶极子天线的结构示意图. 它由 N 根平行排列的直线振子构成, 其结构特点是各振子的长度、间距是按比例因子构成的, 其定义为

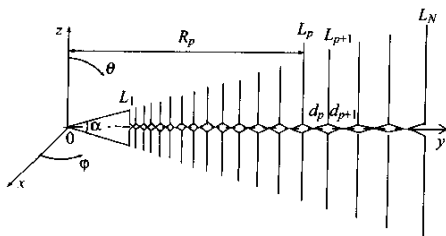


图 1 LPDA 的结构示意图

$$\tau = \frac{d_p}{d_{p+1}} = \frac{L_p}{L_{p+1}} = \frac{R_p}{R_{p+1}}, \quad p = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中, d_p 为第 p 个单元振子与第 $p+1$ 个单元振子间的距离, L_p 为第 p 个单元振子的长度, R_p 为第 p 个单元振子到天线虚顶点的距离.

LPDA 的整体结构^[1]决定于比例因子 τ 和结构角 α (见图 1), 当 τ 和 α 选定以后, LPDA 的几何结构也就确定了. 有时为了设计上的方便也引用间隔因子 σ , 其定义为 $\sigma = d_p/2L_{p+1}$, α 、 τ 和 σ 的关系为 $\alpha = 2\arctg[(1-\tau)/4\sigma]$. 因此, 在确定天线参数时, 只要知道 α 、 τ 和 σ 三个参数中任意两个, 天线的几何结构就确定了. 当天线馈电后, 信号源供给的电磁能量沿集合线传输, 依次激励各振子, 只有长度接近谐振长度的那部分振子才能激起较大的电流, 并向空间形成有效的辐射, 通常称这部分振子为有效区, 而远离谐振长度的那些或短或长的振子上的电流都很小, 对远场贡献很小, 分别称为传输区和未激励区^[2]. 这说明, 对某一工作频率而言, 各振子由于电尺寸不同而起不同的作用.

要研究 LPDA 的相位中心, 首先必须导出 LPDA 的方向图函数. LPDA 的理论分析方法有多种, 早期采用等效电路理论^[3,4]、线性天线阵理论^[5]、三项理论^[6]和求解麦克斯韦方程的边值问题^[7]等方法. 在这些方法中要么没有考虑 LPDA 各

单元间的互耦或无法考虑阵列中两个 LPDA 单元天线间的互耦. 为克服以前方法的缺点, 可以采用将矩量法和等效电路理论相结合的方法^[8,9]或将矩量法和 LPDA 的等效传输矩阵网络相结合的叠代方法^[10]. 以上两种方法均既可考虑 LPDA 各单元间的互耦也可考虑阵列中两个 LPDA 单元天线间的互耦. 当采用矩量法分析 LPDA 的电流分布时, 天线在远区产生的场可以看作是很多个分段电流在远区产生的场的叠加. 在图 1 所示的坐标系下, 用矩量法求得 LPDA 的电流分布后, LPDA 的方向图函数为

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{p=1}^N \frac{\cos(kh_p \cos \theta) - \cos(kh_p)}{\sin \theta \sin(kh_p)} \cdot e^{-jk y_p \sin \theta \sin \varphi} \sum_{n=1}^{M_p} e^{-jk z_n \cos \theta} I_{pn} \quad (2)$$

则 E 面方向图函数为 $f_E(\theta, \varphi = \pi/2)$, 而 H 面的方向图函数为 $f_H(\theta = \pi/2, \varphi)$. 式中, $z_n = -L_p/2 + nh_p$ 为分段节点, h_p 和 M_p 分别为第 p 根对称振子的分段长度和分段数, y_p 是第 p 根振子到坐标原点的距离.

3 LPDA 的相位中心

天线的相位中心可以从其方向图函数中求出. 所谓的相位中心, 是指以该点为球心的等半径球面上的辐射场相位均相等. 由式(2)可知, 在 LPDA 的方向图函数中, 含有随方向变化的相位因子, 这说明 LPDA 的远区场并不是球面波. 因为球面波的相位函数应该是 $e^{-jkR} + C$ (C 为常数), 且与方向无关. 所以 LPDA 的远区场不能看成是由一个“点”所辐射的, 也就是说 LPDA 没有完整的相位中心. 但是, 在 LPDA 的天线主瓣宽度内, 总可以找到一个点, 使得主瓣宽度内的远区场可以看作是由这一个点所辐射出来的球面波, 即有视在相位中心. 为了确定这一视在相位中心的位置, 可以引入一个关系式 $y_p = d + R_p$, 这里的 R_p 是第 p 根振子距离天线虚顶点的长度, d 则是假定的视在相位中心距离天线虚顶点的长度, y_p 是把视在相位中心作为坐标原点时, 第 p 根振子到坐标原点的距离. 当 LPDA 工作在一定的频率下时, 只是有效区的几根振子辐射较强, 其他振子辐射很弱, 因此, 视在相位中心的数值方法搜索也就确定在有效区里, 为使得到的视在相位中心更为精确, 采用了如下的算法:

- (1) 先假定视在相位中心位于谐振振子(L_p 约为 0.43 个工作波长) 前的第三个振子($L_p - 3$) 处(即有效区最短振子处);
- (2) 对于 E 面($0 \leq \theta \leq \pi$) 或对于 H 面($0 \leq \phi \leq 2\pi$) , 计算某些角度上的方向图函数, 得到该角度远区场的幅度和相位. 将这些角度上的相位与主瓣最大方向上相位相比较, 并记最大的相位差为 $\Delta\psi$;
- (3) 将相位中心向有效区最长振子方向移动, 可以每次移动 0.01m(该步长的搜索精度相对于几百兆的工作频率已经较高, 进一步提高精度可以取更小的步长), 重复第 2 步的计算, 得到一组 d 和 $\Delta\psi$ 的值. 比较本次计算得到的 $\Delta\psi$ 与先前保存的 $\Delta\psi$, 记录下最小的 $\Delta\psi$ 值及与这个 $\Delta\psi$ 对应的视在相位中心位置 d ;
- (4) 重复第 3 步, 直到视在相位中心的位置 d 移出有效

区.

通过这种算法求得的视在相位中心就能满足在角度搜索范围内远区场的相位差最小, 即可找到更准确的视在相位中心位置.

4 计算结果

为研究 LPDA 的相位中心随工作频率的变化, 下面分别对工作频带内的不同频率点计算其 E 面和 H 面视在相位中心的位置. 若参数为: 对称振子个数 $N = 18$ 、比例因子 $\tau = 0.917$ 、间隔因子参数 $\sigma = 0.169$ 、集合线特性阻抗和终端负载分别为 $Z_c = Z_T = 83\Omega$ 、工作频率范围为 200MHz ~ 600MHz. 假定主瓣最大值位于零度时, 扫描范围为 -30 到 $+30$ 度, 并且从这个视在相位中心来看, 主瓣宽度位于球面波阵面上. 在角度扫描范围内, 方向图主瓣的最大相差小于 1 度. 表 1 列出了 LPDA 的各振子距离天线虚顶点的距离. 图 2 为 LPDA 各振子输入端电流相对幅度分布图. 表 2 为不同频率时 LPDA 的相位中心距离虚顶点的距离. 表中 d_E 表示 E 面相位中心距离虚顶点的距离, d_H 表示 H 面相位中心距离虚顶点的距离.

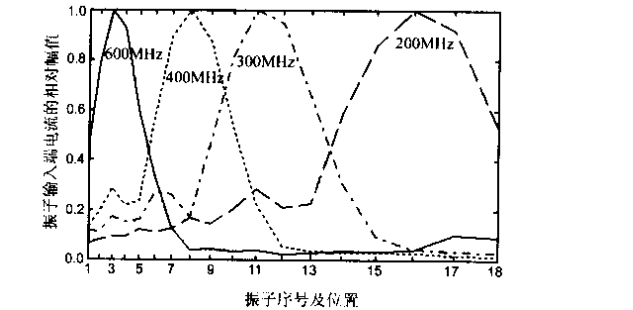


图 2 LPDA 各振子输入端电流的相对幅度分布图

表 1 LPDA 各振子距离天线虚顶点的距离										单位: cm
R1 ~ R9 *		69.96	76.30	83.20	90.73	98.95	107.9	117.7	128.3	139.9
R10 ~ R18		152.6	166.4	181.5	197.9	215.8	235.3	256.6	279.9	305.2

表 2 LPDA 的相位中心距离虚顶点的距离					单位: m
频率(MHz)	200	300	400	600	
d_E	2.6	1.69	1.28	0.94	
d_H	2.62	1.70	1.31	0.97	

由表 1、表 2 和图 2 可知, 对于同一频率, LPDA 的 H 面与 E 面的视在相位中心略有差异, 都处在谐振振子附近, 即电流幅值最大的振子附近. 必须指出, 当加大扫描角度至全空间时, 根本找不到视在相位中心的位置. 反之, 如果缩小扫描角度的范围为 -25 到 $+25$ 度(即等于或小于主瓣宽度) 时, 视在相位中心可以使等相位面上最大的相差小于 0.5 度. 在 300MHz 工作时, 这个相差为 0.22 度左右.

5 结论

LPDA 天线不存在完整的相位中心 ,但却存在着视在相位中心 ,且该相位中心均位于有效区内 ,并随着频率的变化而沿集合线移动 .

参考文献 :

[1] 林昌禄 陈海 吴为公 .近代天线设计[M].北京 :人民邮电出版社 ,1990 .371 - 372 .

[2] 王元坤 李玉权 .线天线的宽频带技术[M].陕西西安 :西安电子科技大学出版社 ,1995 .132 - 140 .

[3] R L Carrel .The design of log periodic dipole antennas[A]. IRE Int [C]. CONV .REC ,1961 .I .61 .

[4] K E Jones ,R Mittra .Non-uniform transmission lines with applications to the LPDA[J]. Nat ,Electron Conf ,1967 ,20 :23 .

[5] S P Kosta . A theory of the LPD antenna[J]. Int J Electroics ,1967 ,23 :437 .

[6] W M Cheong ,W P King . Log-peridic dipole antennas[J]. Rad Sci . 1967 ,2 :1315 .

[7] J Wolter . Solution of Maxwell 's equation for LPDA[J]. IEEE Trans , 1970 ,AP - 8 :734 .

[8] C Peixeiro . Design of log-periodic dipole antennas[J]. IEE Proc ,1988 , Pt H - 135(2) :98 - 102 .

[9] 袁伟良 梁昌洪 史小卫 . 矩量法结合网络理论分析对数周期偶极天线[J]. 微波学报 ,2000 ,16(2) :106 - 110 .

[10] 丁晓磊 王建 林昌禄 .对数周期偶极天线的一种新的分析方法[J]. 系统工程与电子技术 ,2002 ,24(5) :16 - 20 .

作者简介 :



丁晓磊 女 ,1971 年生于河南 ,2002 年于电子科技大学获博士学位 ,目前主要从事天线理论和技术方面的研究工作 .



王 建 男 ,1956 年生于四川 ,教授 ,从事天线理论与工程、电磁场数值算法、电磁兼容、电磁散射与逆散射等方面的教学和科研工作 ,2002 年作为访问学者在香港城市大学工作一年 ,从事微带电路的矩量法数值分析等研究工作 .



林昌禄 男 ,1937 年生于四川 ,教授 ,博士导师 ,1960 年毕业于成都电讯工程学院雷达专业 (现电子科技大学电子工程学院) 留校任教至今 ,已出版《近代天线设计》、《圆极化天线》、《天线工程手册》等专著八部 ,发表论文近百篇 ,现从事天线理论与工程、电磁散射与逆散射、电磁兼容等方面的教学和科研工作 .

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>