

渐变槽线天线相位中心的研究

刘震国

(东南大学毫米波国家重点实验室, 南京 210096)

摘要: 本文通过移动参考点法分析了直线型和指数型渐变槽线天线相位中心与天线的结构参数间的关系。分析表明渐变槽线天线的 E 面与 H 面的相位中心不重合, 指数型渐变槽线天线 E 面及 H 面相位中心的偏差要小于直线型渐变槽线天线的偏差, 并且得出一些对渐变槽线天线设计和工程应用具有一定价值的结论。
关键词: 渐变槽线天线, 相位中心, 视在相位中心, 移动参考点法

Research on Phase Center of Tapered Slot Antenna

LIU Zhen-guo

(State Key Lab. of Millimeter Waves, Southeast University of China, Nanjing 210096)

Abstract: The relationship between phase center of exponential and linear tapered slot antenna and its structure parameters is studied by the moving reference point method, respectively. It is shown that the phase center of E plane and H plane will not be coincident. And the difference between E plane and H plane phase center of exponential tapered slot antenna is less than that of linear tapered slot antenna. Some valuable results of engineering application is also obtained.

Keywords: Tapered slot antenna, Phase center, Moving reference point

1 引言

馈源是反射阵天线或透镜天线的一个重要组成部分^[1], 它的作用是将来自馈线的功率以电磁波的形式射向反射阵面或透镜, 使其在口径上产生合适的场分布, 以形成所需的锐波束实现尽量高的增益。馈源的性能往往决定着系统的性能, 而成为整个系统的核心之一。

所谓天线的相位中心^{[2][3]}是指在离天线某一距离的球面上, 在给定频率下天线辐射的电磁波的相位相同, 即相位 $\Psi(\theta, \phi) = \text{常数}$, 则此球面的球心即是此天线的相位中心。对绝大多数天线来说并没有这样一个相位中心, 因为实际上任何天线辐射的电磁波都不是一个理想的球面波。但是, 许多天线可以找到这样一个参考点使得在主瓣范围内场的相位保持相对恒定, 则这个参考点称之为“视在相位中心”。

TSA 作为一种行波天线, 它的相位中心是随频率而变化的, 但究竟是如何变化, 这一方面缺乏系统的研究。

2 理论分析

本文提出并采用移动参考点位置法来寻找天线的视在相位中心。如图 1 所示, 假设渐变槽线天线的口径面中心为 0 点, 以 0 点为圆心以 r 为半径 ($kr \gg 1$) 的弧线作为参考等相位线, 弧线的半张角为 θ 。由于 $kr \gg 1$ 也即弧线处于天线的远场区。考察弧线上各点场的相位变化情况, 如相位变化很小(或近似不变)那么根据相位中心的定义 0 点即为天线的视在相位中心; 若相位变化较大不能忽略, 那么 0 点就不是天线的视在相位中心。由于天线的对称性, 天线的视在相位中心只能沿着天线的轴线方向变化, 因此沿天线的轴线方向移动弧线, 使得弧线的圆心变为 $0'$ 点, 而天线的所在位置不变, $00'$ 间的距离为 δ , 再次考察弧线上各点场的相位变化情况,

基金项目: 毫米波国家重点实验室开放课题

若弧线沿轴线移动的范围足够大, 步长足够小, 理论上总可以找到天线的视在的相位中心。

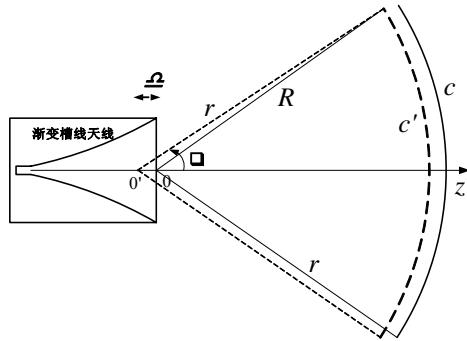


图 1 移动参考点法示意图

一般天线的远区辐射场是以口径面的中心点 O 为参考点得到的, 假设以此参考点得到的处于远场的参考等相位线(弧线 c)上的电场表达式为:

$$E_u = \hat{u} E(\theta, \varphi) e^{j\Psi(\theta, \varphi)} e^{-jkR} / r \quad (1)$$

式中, \hat{u} 为单位矢量, $E(\theta, \varphi)$ 为幅度方向图函数, (θ, φ) 为相位方向图函数, $k = 2\pi\lambda$ 。若式 (1.1) 中 (θ, φ) 不为常数, 则必须移动 0' 点即移动参考等相位线。则式 (2.1) 变为:

$$E_u = \hat{u} E(\theta, \varphi) e^{j\Psi(\theta, \varphi) + jk\delta \cos \theta} e^{-jkR} / R \quad (2)$$

若通过改变 δ 使得:

$$\Psi(\theta, \varphi) + k\delta \cos \theta = \text{constant} \quad (3)$$

即可找到天线的视在的相位中心。对于天线的两个主平面(E 面, H 面)内的相位中心可以分别计算。

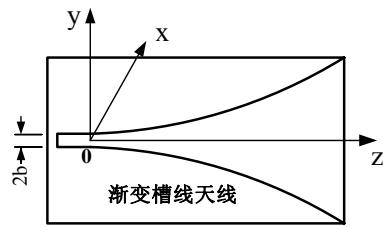


图 2 渐变槽线天线结构示意图

假设渐变槽线天线^[4,5]的结构如图 2 所示, 渐变槽线(TS)的槽宽 y 与槽长 z 满足参数关系

$$\begin{cases} x(t) = 0 \\ y(t) = (at + b)e^{ct} \\ z(t) = t \end{cases} \quad (4)$$

式中系数 a 、 b 、 c 决定了渐变槽线的形状。当 $c=0$, 其为直线式渐变槽线(L-TS); 当 $c \neq 0$, 其为指数式渐变槽线(E-TS), $x=0$ 为 TS 始端其宽度为 $2b$ 。本文对 a 、 b 、 c 及 t 等结构参数变化对天线的视在相位中心进行了研究。

3 仿真验证

3.1 直线式渐变槽线

例 1: 对于直线式渐变槽线, 当 $a=0.20$ $b=0.2$ $c=0$ 时其视在的相位中心随频率及槽线长度的变化示于表 1。表中的值表示相位中心离口径面中心的距离, “+” 表示在口径面外, “-” 表示口径面内。

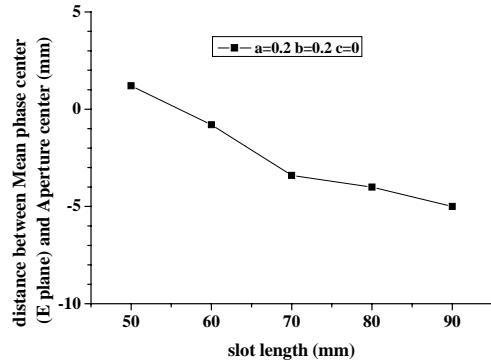
图 3 所示为上述直线式渐变槽线平均相位中心与槽线长度的变化曲线。

表 1 视在相位中心随频率及槽线长度的变化 ($a=0.20$ $b=0.2$ $c=0$)

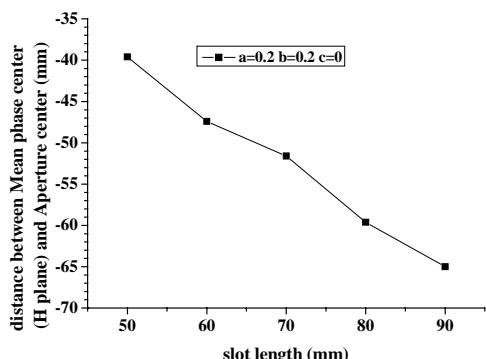
E/H 面		频率 (GHz)				
		$f=9$	$f=9.5$	$f=10$	$f=10.5$	$f=11$
槽线长度 (mm)	$t=50$	4/-42	2/-40	-4/-40	-2/-38	6/-38
	$t=60$	0/-50	2/-48	0/-48	-6/-46	0/-45
	$t=70$	0/-55	-12/-55	0/-50	-5/-50	0/-48
	$t=80$	-5/-62	-5/-62	-5/-58	0/-58	-5/-58
	$t=90$	-5/-68	0/-68	-5/-65	-10/-62	-5/-62

表 2 视在相位中心随频率及槽线长度的变化($a=0.001$ $b=0.2$ $c=0.045$)

E/H 面		频率 (GHz)				
		$f=9$	$f=9.5$	$f=10$	$f=10.5$	$f=11$
槽线长度 (mm)	$t=50$	1/-35	4/-42	-8/-42	-4/-35	6/-35
	$t=60$	-8/-42	0/-40	4/-45	-4/-42	-2/-40
	$t=70$	0/-52	-6/-50	0/-45	0/-47	-2/-47
	$t=80$	-2/-45	-2/-45	-4/-45	-4/-45	-4/-42
	$t=90$	-14/-40	-16/-40	-16/-40	-16/-40	-16/-40



(a) A E面平均相位中心与槽长



(b) B H面平均相位中心与槽长

图3 相位中心与频率及槽线长度的关系

本文对 $a=0.20 \sim 0.35$ 不同值分别进行了研究, 对于直线式渐变槽线天线可以看出:

- (1) E面与H面的视在相位中心并不重合;
- (2) 随着槽线长度的增加, E面及H面的平均视在相位中心向-Z方向(槽线的起始端)移动且离口径面中心0点的距离是逐步增加的;
- (3) H面的平均视在相位中心向-Z方向移动的幅度小于对应的E面的移动幅度;
- (4) 当槽线长度小于工作频率对应自由空间波长的2倍时, E面的平均视在相位中心在口径面中心0点附近;而对应的H面的平均视在相位中心则位于口径面内工作频率所对应的1个自由空间波长附近。
- (5) 随着槽线张角的增大, E面的平均视在相位中心向-Z方向移动的幅度是增加的, 而对应的H面的平均视在相位中心向-Z方向移动的幅度基本不变。

3.2 指数式渐变槽线

例2: 对于指数式渐变槽线, 当 $a=0.001$ $b=0.2$

$c=0.045$ 时其视在相位中心随频率及槽线长度的变化示于表2。图4所示为上述指数式渐变槽线平均相位中心与槽线长度的变化曲线。本文对 $a=0.001 \sim 0.003$, $c=0.030 \sim 0.045$ 不同值分别进行了研究, 对于指数式渐变槽线天线可以看出:

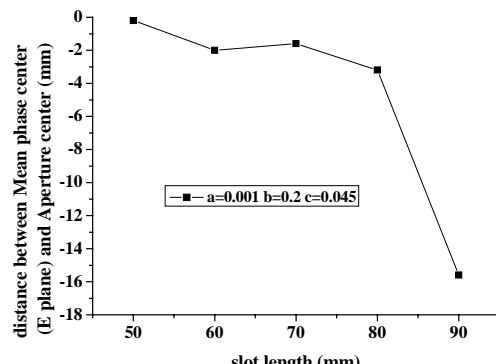
(1) E面与H面的视在相位中心并不重合;

随着槽线长度的增加, E面平均视在相位中心总体呈向-Z方向(槽线的起始端)移动的趋势且离口径面中心0点的距离是逐步增加的;

(2) H面的平均视在相位中心总体位于口径面内工作频率所对应的1~1.5个自由空间波长范围内变化。随着槽线长度的增加而H面的平均视在相位中心的变化非单调的而是呈现明显的“V”字形即当槽线长度等于工作频率所对应的自由空间波长2倍时, 其H面的平均视在相位中心离口径面中心0点距离最大, 其后若再增加槽线长度对应的H面的平均视在相位中心向+Z方向移动离口径面中心0点距离减小。

(3) 与直线式渐变槽线相比, 指数式渐变槽线天线E面的平均视在相位中心随槽线长度的变化的范围要远小于前者, 当口径面处槽线开口的最大距离小于工作频率所对应的1个自由空间波长时其E面的平均视在相位中心在口径面中心0点附近变化;

(4) 随着槽线张角的增大, E面的平均视在相位中心向-Z方向移动的幅度是增加的, 而对应的H面的平均视在相位中心向-Z方向移动的幅度基本不变。

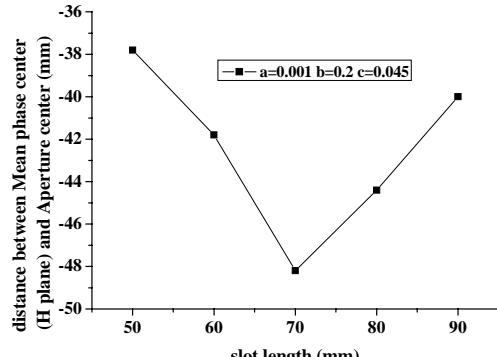


(a) E面平均相位中心与槽长

4 结论

通过比较直线式与指数式渐变槽线天线视在相位中心的变化规律，可以得到指数式渐变槽线天线其E面及H面的视在相位中心随频率及槽线长度的变化均较直线式渐变槽线天线平坦，即从相位中心这一指标考量指数式渐变槽线天线更加适合作为反射阵的馈源。

*本文获得基金项目(No. 6204029002)支持



(b) E面平均相位中心与槽长

图4 相位中心与频率及槽线长度的关系

参 考 文 献

- [1] 黄立伟, 金志天. “反射面天线”, 西北电讯工程学院出版社, 1986
- [2] (美) C. A. 巴拉尼斯. “天线理论—分析与设计(下册)”, 电子工业出版社, 1989
- [3] 林昌禄, 陈海, 吴为公. “近代天线设计”, 人民邮电出版社, 1990
- [4] P.J.Gibson , “The Vivaldi aerial ” in Proc. 9th European Microwave Conf. Brighton, U.K., 1979, pp. 101-105
- [5] D. H. Schaubert, T. H. Chio, H. Holter. “TSA element design for 500-1500 MHz array”, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Volume 1, 16-21 July 2000 pp.178 - 181
- [6] Z.G. Liu, W. X..Zhang , “Dual-Polarized Array Antenna Consisting of Traveling-Wave Radiators” PIERS2004, Nanjing.
- [7] 刘震国, 章文勋, “一种新型正交双极化渐变槽线天线”, 微波学报, 第24卷 第一期, Vol.24.No.1
- [8] 尚军平, 傅德民, 邓颖波 “天线相位中心的精确测量方法研究”, 西安电子科技大学学报(自然科学版), 第35卷, 第4期, 2008: 673-677

作者简介:

刘震国, 男, 讲师, 主要研究领域为印刷天线, 反射阵天线, Fabry-Perot 谐振天线, FSS 等;

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>