

基于 k 平面对圆极化微带天线馈源的确定

Determination of feeding source of the Circular Polarization microstrip antennas based on k plane

(1攀枝花学院;2华东师范大学)伍刚¹ 张小兵²
WU GANG ZHANG XIAOBING

摘要:微带天线馈点的位置决定天线辐射波的模式和天线与馈线的匹配情况。本文以矩形微带天线形成圆极化波为研究对象,利用 k 平面相位关系,从理论上推导其馈电点的轨迹方程,通过编程确定其具体的馈电点,利用 HFSS9.2 仿真观察其 S₁₁ 曲线。

关键词:微带天线;圆极化波;馈源

中图分类号:TN823 文献标识码:A

Abstract:The position of microstrip antennas feeding spot determines the wave pattern of antenna radiation and whether antenna can match feeding line. The paper takes the circular polarization formed from rectangular microstrip antennas as the research object, using plane phase relation, infers theoretically the track equation of its feeding spot, draws its track graph by programming, and the use observe its curve by the simulation of .

Key word: microstrip antennas,circular polarization,feeding source

1 引言

微带天线馈点的位置不仅决定所要模式的辐射波,而且也决定天线与馈线是否能够实现匹配,所以为了激励所需模式,矩形微带天线,不仅要求工作频率必须接近该模式的谐振频率,而且馈源位置选择要适当。例如:对于同轴馈源,当探针位于 E_x 最大点处,天线将能获得最强的耦合,但是,这并不意味着输入到天线的功率一定最大;只有当天线输入阻抗与馈线阻抗相匹配时,才有最大的功率输入,所以对于同轴馈线的微带天线来说,馈源的选择十分重要。

对于大多数微带天线来说,只在介质基片的一个面上有辐射单元,这样可实现微带线或同轴线馈电,对于同轴馈电激励的微带天线,同轴插座都安装在印制电路板的背面,而同轴线内导体接在天线的辐射贴片上,如图 1 所示。

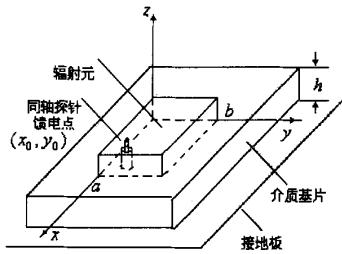


图 1

2 单馈矩形微带天线圆极化波的形成

如图 1 为单馈矩形微带天线,基于腔模理论,列出图 1 腔内的波动方程: $(\nabla^2 + k^2)E_z = j\omega\mu_0J_z$ 该方程利用模展开法求

伍刚:硕士 副教授

基金项目:国家自然科学基金(60571064)

得腔内场为: $E_z = \sum_{m,n} B_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}$; 由公式 $\vec{M}_s = -\vec{e}_n \times \vec{e}_z E_z$, 可求出腔体四周缝上的等效面磁流密度; 再利用公式 $\vec{F} = \frac{h}{2\pi R} e^{-jk_0 R} \int_s \vec{M}_s e^{jk_0(x \sin \theta \cos \varphi + y \sin \theta \sin \varphi)} dx dy$, 求出等效磁流 \vec{M}_s 在远区产生的电矢位 \vec{F} ; 最后由 $\vec{E} = -\nabla \times \vec{F}$ 公式, 求出 $a \times b$ 矩形微带天线 TM₀₁ 和 TM₁₀ 模在 z 轴方向, 当 $\theta = \varphi = 0$ 时, 辐射场二正交分量的表达式, 对于 TM₀₁ 模: $E_\theta = 0, E_\varphi = E_y = j \frac{4k_0 V_{01}}{\lambda_0 R} e^{-jk_0 R} \frac{1}{2k_0 a}$, 其 $V_{01} = jk_0 \eta_0 I_0 \frac{2h \cos(\frac{\pi y_0}{b})}{ab \frac{k^2}{a^2} - k_{01}^2}$; 对于 TM₁₀ 模: $E_\theta = 0, E_\varphi = E_x = j \frac{4k_0 V_{10}}{\lambda_0 R} e^{-jk_0 R} \frac{1}{2k_0 b}$, 其中, $V_{10} = jk_0 \eta_0 I_0 \frac{2h \cos(\frac{\pi x_0}{a})}{ab \frac{k^2}{b^2} - k_{01}^2}$, 在同时考虑辐射损耗、导体损耗、介质损耗、表面波损耗时, k 的表达式为 $k = k_0 \times \sqrt{\epsilon_r(1 - j \tan \delta_{eff})}$, $\tan \delta_{eff} = \frac{1}{Q}$ 为等效损耗角正切。由辐射场的二分量可以看出, TM₀₁ 模 TM₁₀ 和模在边射方向的电场矢量是相互正交的, 若同时激励这两个极化正交模, 且在满足 $\frac{E_y}{E_x} = \pm j$ 的条件下, 就可在边射方向实现圆极化波。

3 基于 k 平面相位关系对圆极化波馈源的确定

3.1 圆极化条件的变换

从前面讨论可以知道, 单馈矩形圆极化微带天线在 z 轴方向, 当满足 $\varphi = \theta = 0$ 时, 得到两种模式 E_y 和 E_x 的比值为:

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{b \cos(\frac{\pi y_0}{b})}{a \cos(\frac{\pi x_0}{a})} \frac{k^2 - k_{10}^2}{k^2 - k_{01}^2}$$
 为了讨论问题方便, 取贴片近似为方形

作为研究对象, 由 $k_{mn} = \sqrt{(\frac{m\pi}{a})^2 + (\frac{n\pi}{b})^2}$ 可知, 得到 $k_{01} = \frac{\pi}{b} \approx k_{10} = \frac{\pi}{a}$, 于是等式为: $\frac{E_y}{E_x} = A \frac{k - k_{10}}{k - k_{01}}$, 公式中 $A = \frac{\cos(\frac{\pi y_0}{b})}{\cos(\frac{\pi x_0}{a})}$ 则圆极化的条件变

换为 $\frac{E_y}{E_x} = A \frac{k - k_{10}}{k - k_{01}} = \pm j$ 由于 A 为常数, 从该天达式可知, 要形成圆极化必须要求 $k - k_{10}$ 比 $k - k_{01}$ 超前或滞后 $\frac{\pi}{2}$, 且有 $A = \frac{|k - k_{01}|}{|k - k_{10}|}$ 。

3.2 k 平面的相位关系

在讨论圆极化波的形成过程中, 引出了 k 的表达式为 $k = k_0 \sqrt{\epsilon_r (1 - j \tan \delta_{eff})}$, 将其展开取近似为: $k \approx k_0 \sqrt{\epsilon_r} (1 - j \frac{1}{2} \tan \delta_{eff})$, 该表达式可写成为: $k = k' + jk''$, 其中: $k' = k_0 \sqrt{\epsilon_r}$, $k'' = -k_0 \sqrt{\epsilon_r} \frac{1}{2} \tan \delta_{eff} = -\frac{k'}{2Q}$ 。在这里相位矢量 $k - k_{10}$ 比 $k - k_{01}$ 超前 $\frac{\pi}{2}$ 为左旋圆极化波, 显然在该平面 k 上点应位于直径为 $k_{01} - k_{10}$, 圆心位于 $(\frac{k_{10} + k_{01}}{2}, 0)$ 处的圆周上, 同时应有 $k'' = -\frac{k'}{2Q}$, 故 k 的解由圆和直线 $\frac{k''}{k'} = -\frac{1}{2Q}$ 来确定, 于是得到辐射圆极化波的平面 k 相位关系如图 2 所示。

3.3 利用 k 平面的相位关系图确定常数 A 的表达式

在图 2 中, 由三角形的相似性、A 的表达式、P 段和 q 段的表达式, 代换整理得到关于 A 的方程: $A^2 - 2(\frac{a}{b} - 1)QA + \frac{a}{b} = 0$, 则 $A_{1,2} = Q(\frac{a}{b} - 1) \pm [Q^2(\frac{a}{b} - 1)^2 - \frac{a}{b}]^{\frac{1}{2}}$, 从后面的编程中发现, 为使 A 的公式有意义, 要求在给定 Q 值的情况下, 矩形微带天线必须满足: $\frac{a}{b} > 1.01$ 条件。

3.4 由 A 的表达式可确定圆极化波的馈源位置(x_0, y_0)轨迹

由 $A = \frac{\cos(\frac{\pi x_0}{b})}{\cos(\frac{\pi x_0}{a})}$ 等式可知, 馈源位置(x_0, y_0)移动是一条轨迹, 其轨迹方程为: $y_0 = \frac{b}{\pi} \cos^{-1} \left\{ Q \left(\frac{a}{b} - 1 \right) \pm \left[Q^2 \left(\frac{a}{b} - 1 \right)^2 - \frac{a}{b} \right]^{\frac{1}{2}} \cos \left(\frac{\pi x_0}{b} \right) \right\}$, 对于贴片给定参数: $a \times b \times h = 15.94 \times 15.68 \times 0.32$ (长度单位为 cm), $Q = 85$, 用 C 语言编程如下:

```
#define A 15.94
#define B 15.68
#define H 0.32
#define Q 85
#define PI 3.1415
#include "graphics.h"
#include "math.h"
main()
{
    double x0,y0;
    double x1,y1,a,b,c,d;
    int gd,gn;
    gd=DETECT;
    gm=DETECT;
    initgraph(&gd,&gm," ");
    rectangle(50,50,200,200);
    for(x0=0; x0<=6; x0+=0.01)
    {
        y0=(B/PI)*acos( Q*(A/B-1)-sqrt(pow(Q,2)*pow(A/B-1,2)-A/B)
        *cos(PI*x0/B));
        putpixel(x0+100,y0+100,RED);
    }
    getch();
}
```

closegraph();

}

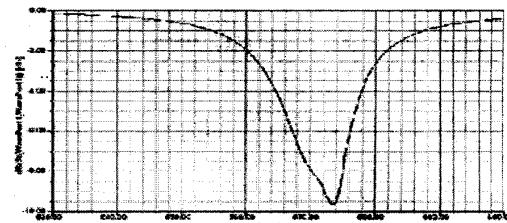


图 3

由程序可以画出的馈电轨迹图, 在该轨迹上取馈点(凭经验找), 点的位置要求与同轴馈线阻抗匹配, 便可形成左旋圆极化波。若要求辐射右旋圆极化, 按照上述同样的方式可求出。

4 单馈点圆极化微带天线的仿真

对于给定参数, $a = 15.94\text{cm}$, $b = 15.68\text{cm}$ 基片材料为 Rexlite2200, $\epsilon_r = 2.62$, $\tan \delta = 0.001$, 厚度为 0.31cm , 测得 $Q = 85$, 采用 50Ω 馈线, 馈点选在 $x_0 = 4.55\text{cm}$, $y_0 = 6.73\text{cm}$, 利用 HFSS9.2 软件仿真得到如图 3 的 S_{11} 曲线, 从 S_{11} 曲线可知: 其圆极化频率为 573.62MHz , 圆极化带宽为 7.74MHz , 相对带宽约为中心频率 1.35% 的, 由此可见圆极化天线为窄带天线。

5 结束语

以上是从导出矩形微带天线圆极化波产生的条件出发, 基于微带天线辐射圆极化波 k 时平面的相位关系, 确定了其圆极化波馈电位置的轨迹方程, 利用编程可以得到馈电点的点轨迹图, 通过 HFSS9.2 仿真得到了圆极化天线 S_{11} 曲线和相对带宽, 从 S_{11} 曲线可以看出矩形圆极化微带天线的相对带宽较窄, 这一特点极大限制了微带天线的发展。所以目前研究人员在研究微带天线激励模式的同时, 不仅要考虑其馈电位置、馈电匹配等情况, 而且还要采用有机磁性材料基片、附加阻抗匹配网络、应用分形理论等方式来设计天线, 目的是拓宽微带天线的带宽, 使其在通信、导航、雷达等领域得到广泛的应用。

文章创新点: 第一: 从理论上定量导出圆极化天线馈源的轨迹方程; 第二: 用编程确定具体的馈点, 并用仿真得出其曲线。

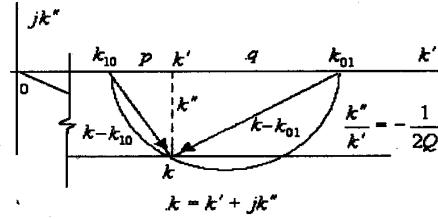


图 2

参考文献:

- [1] [加] J.J. 鲍尔, P. 布哈蒂亚著, 梁联伟, 寇廷辉译. 微带天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.
- [2] Richards, W.F. et al. "Theory and Applications for Microstrip Antennas", proc. workshop on Printed Circuit Antenna Technology, NEW Mexico State University, Las Cruses (New Mexico), 1979, pp. 8.1-8.23.
- [3] W.F. Richards, Y.T.LO and D.D.Harrison, An Improved Theory for Microstrip Antennas and Applications, ibid, Vol.AP-29, pp. 38-46, Jan. 1981. (下转第 98 页)



管理,完成各种任务,又能满足其体小量轻、功耗低等特点;

采用程控天线、地面统一监控等技术,完成了卫星的独立测控通信,提高了地面系统的机动性,而且实现了无人值守的地面系统。

3 实现

我国2000年发射上天的“清华一号”微型卫星和2004年发射上天的清华大学“纳星一号”纳型卫星均使用了这种测控通信统一系统。两星在轨运行期间,测控通信统一系统一直正常运行,顺利完成了预定的各项试验任务,成功向星上发送了各项指令并上载了更新程序,准确接收到各种载荷数据。实践证明,此系统为两星提供了可靠、高度自动化的测控通信、极大的简化了操作、降低了星、站的建设成本及测控保障费用,是一种能够很好地适应微纳卫星特点的测控通信系统。

4 结论

微纳卫星测控通信统一系统是我国研究并实现的第一个适用于微纳卫星的测控通信系统。它的成功应用及所涉及的大量前沿技术的演示和验证,为我国后续小卫星的研制和运行提供了重要的科学实验数据和必不可少的经验,将极大地促进我国小卫星及其测控通信技术的发展,进一步推动我国小卫星事业的前进步伐。

本文作者创新点:针对微纳卫星的特点,将其遥测、遥控与通信功能合一,提出了适用于微纳卫星的测控通信统一系统。

参考文献:

- [1]石书济,孙鉴,刘嘉兴.飞行器测控系统——看不见的领航员[M].北京:国防工业出版社,1999.
 - [2]晓胡.纳星一号在轨运行一个月[EB/OL]. http://www.china-spacenews.com/News/news_detail.asp?id=8674, 2004.
 - [3]CCSDS 701.0-B-3. ADVANCED ORBITING SYSTEMS, NETWORKS AND DATA LINKS: ARCHITECTURAL SPECIFICATION[S]. 2001.
 - [4]LI Bin, YOU Zheng, ZHANG Chenguang. Incorporate Design of On-board Network and Inter-satellite Network[A]. WANG Cheng, ZHONG Shan, HU Xiulin. International Conference on Space Information Technology[C]. Bellingham, Washington: The International Society for Optical Engineering, 2005.
 - [5]周治平,王永志,陈娅冰.基于因特网环境的远程测控系统应用研究[J].微计算机信息,2006,3(2).
 - [6]Wang Peiyang, CHEN Jinshu. Research and Implementation of Ground Station Software System with Highly Automation [A]. WANG Cheng, ZHONG Shan, HU Xiulin. International Conference on Space Information Technology[C]. Bellingham, Washington: The International Society for Optical Engineering, 2005.
- 作者简介:**徐璐(1980-),男,汉族,硕士研究生,研究方向:卫星地面站技术,CCSDS AOS建议研究。E-mail:xulu99@mails.tsinghua.edu.cn;陈金树(1968-),男,汉族,副教授,研究方向:通信与信息工程,卫星测控技术,卫星地面系统工程。
- Biography:**Xu Lu(1980-), man, han, studying for master, the technology of satellite ground stations and the research of CCS-DS AOS standards. Chen Jinshu(1968-), man, han, associate professor, professor of master, communication and information engineering, the technology of TT&C and satellite ground systems.
- (100084 北京 清华大学 电子工程系)徐璐 陈金树

通讯地址:(100084 北京 北京市清华大学东主楼9区312(电子系))徐璐

(收稿日期:2006.1.3)(修稿日期:2007.2.5)

(上接第127页)

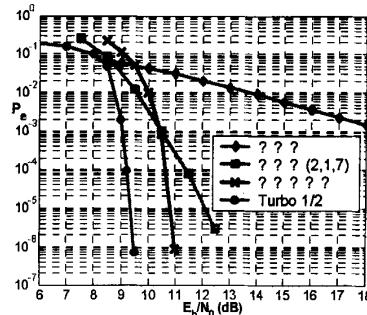


图3 雷雨天气情况下 Turbo 码、卷积码、卷积级联码性能比较
作者简介:王坤(1978--),男,硕士,讲师。主要研究兴趣为卫星通信、移动通信中的调制、编码等技术。

Biography:Wang Kun (1978--), male, Master, Main interests includes modulation and coding technique of satellite communication and mobile communication. 430033, Communication Eng. Dept, Naval Univ. of Eng.

(430033 武汉 武汉海军工程大学通信工程系)王坤 张青春

(572022 三亚 三亚 91458 部队)付玉南

通讯地址:(430033 武汉海军工程大学通信工程系)王坤

(收稿日期:2006.1.3)(修稿日期:2007.2.5)

(上接第129页)

[4]钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.

[5]林展如等.新型有机磁性材料及其在微带领域的应用[J].微波学报,1999,15(4):299~333.

[6]徐亚光,王永斌,吴锋涛,杨林辉.用于通信与环境监测的超低频系统[J].微计算机信息,2006,1:109~110.

作者简介:伍刚,(1963-)男,汉族,硕士,副教授,华东师范大学国内访问学者,主要从事电磁场与电磁波、微波与天线、电路设计与制作等方面的教学工作,主要研究方向是电磁场与电磁波的应用,E-mail:wugang_d@126.com;张小兵:(1982--)男,汉族,硕士在读,华东师范大学电子系无线电物理专业,主要研究方向是无线技术与无线通信。

Biography:Wu ,Gang (1963 -) male, Han nationality, master, assistant professor, visiting scholar of east china normal university, mainly teaching electromagnetic field and electromagnetic wave, microwave and antenna, circuit design and manufacture and so on, the direction of mainly studies is the electromagnetic field and the electromagnetic wave application;Zhang, Xiaobing (1982--)male,Han nationality,major in Radio Physics, mainly study in wireless technology and wireless communication.

(617000 四川 攀枝花学院电信学院)伍刚

(617000 四川 华东师范大学电子系)张小兵

通讯地址:(617000 四川 攀枝花学院电信学院)伍刚

(收稿日期:2006.1.3)(修稿日期:2007.2.5)

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>