

基于传输线法对矩形微带天线场的研究

Research about Rectangular Microstrip Antennas Field Based on Transmission Line Method

(攀枝花学院电信学院)伍刚

WU GANG

摘要:矩形微带天线是由导体薄片粘贴在背面有导体接地的介质基片上形成的天线,它利用微带线或同轴线馈电,在导体贴片与接地板之间激励起辐射电磁场,并通过贴片四周与接地板之间的缝隙向外辐射,因此微带线天线可以看作作为一种缝隙天线,利用传输线模型求它的远区场时,首先对微带天线进行假设,求出边缝上的等效磁流,由等效磁流求出矢量电位,从而求出远区的辐射场和方向图。

关键词:微带天线;等效磁流;矢量电位;辐射场

中图分类号:TN820

文献标识码:A

Abstract:The rectangular microstrip antenna is one glued by the thin slice of conductor to the medium substrate forms with the conductor to earth on the back, It feed by the Microstrip or the coaxial cable, the radiation field is drove between the piece and the ground plate in the conductor, through the piece all side with the ground plate between slit to the external radiation, therefore the Microstrip antenna may regard as one kind of slot antenna, when looking for its far field using the transmission line model, we can first carry on the supposition to the microstrip antennas side, extract equivalent magnetic current on the side of it, find the vector electric potential by the equivalent magnetic current, and get the far the radiation field and the directional diagram.

Keywords:microstrip antennas,equivalent magnetic current,vector electric potential,radiation field

1 前言

微带天线是在带有导体接地板的介质片上贴加导体薄片而形成的天线,它利用微带线或同轴线馈电,在导体贴片与接地板之间激励起辐射电磁场,并通过贴片四周与接地板之间的缝隙向外辐射,因此微带线天线可以看作作为一种缝隙天线。它的主要特点是:剖面低,即微带天线可以做得很薄($h=0.5\sim 1.2\text{mm}$);尺寸小,重量轻;天线性能多元化;易于安装和批量生产,结构牢固;工作带宽窄($0.7\%\sim 7\%$),增益低(由于介质损耗,单个微带辐射元的增益通常在 $4\sim 8\text{dB}$),只能向半空间辐射或接收(组成共形阵后可弥补此缺陷),辐射性能差,功率容量较低。微带天线按结构分为两大类:一类为微带贴片天线,另一类为微带缝隙天线,它们常用于卫星通信、多普勒雷达、射频测量计、指挥和控制系统、导弹遥测、武器引信、环境检测等,而在现代通信系统中,微带天线广泛的应用于 $100\text{MHz}\sim 50\text{GHz}$ 的频率范围。

对于微带天线来说,求解远区辐射场的方法有:传输线法、腔模理论法、积分方程法、矢量法、以及其它的线栅法和有限元法,在这里仅以传输线理论模型法为研究对象,对矩形微带天线进行讨论。

2 传输线法求矩形微带天线远区场

2.1 传输线法的基本假设

为了建立传输线法求解矩形微带天线的物理模型,在这里对其作必要的假设:(1)、微带线和接地板构成一段微带传输线,

传输准 TEM 波,波的传输方向取决于馈电点,线段长度 $b = \frac{\lambda_g}{2}$,其中 λ_g 为准 TEM 波的波长,场在传输方向上是驻波分布,而在其垂直方向(图中宽度方向)是常数;(2)、传输线的两个开口端(始端和终端)等效为两个辐射缝,长为 a ,宽为 h ,缝口径场即为传输线开口端场强。

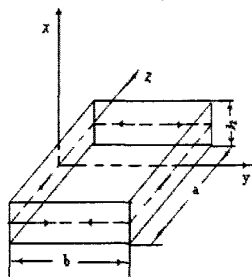


图 1

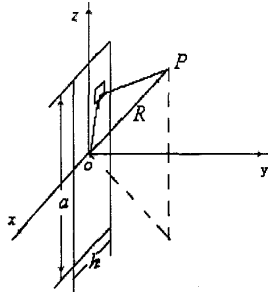


图 2

2.2 利用等效原理求缝隙上等效磁流

把某一闭合表面上的切向场看作是辐射源(电流、磁流),从而计算空间某区域场的方法称为等效原理,因此由上假设可知,当微带天线 $b = \frac{\lambda_g}{2}$ 时,二缝的切向电场方向均为 \vec{e}_y 方向,且等幅同相如图 1 所示,由 $\vec{J}_m = \vec{e}_n \times \vec{e}_x E_0 = \vec{e}_z \times \vec{e}_x E_0$ 可知;则 $\vec{J}_m = -\vec{e}_z E_0 = -\vec{e}_z \frac{V_0}{h}$,其中 V_0 为微带天线开口端电压,利用该公式辐射缝上的等效磁流即可求出来。

2.3 已知磁流分布求矢量电位

由磁流所产生的电矢量位公式: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi} \int_V \vec{J}_m \frac{e^{-jk_0 r}}{r} dV$ 可知,将图 1 的辐射缝隙改画成图 2,对于图 2 观察点 $P(R, \theta, \varphi)$ 的

伍刚:硕士 副教授

基金项目:国家自然科学基金(基金编号:60571064)

电矢量位是: $\vec{F} = -\vec{e}_z \frac{1}{4\pi R} e^{-jk_0 R} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \frac{V_0}{h} e^{jk_0(x\sin\theta\cos\varphi+z\cos\theta)} dx dz$ (其中 R 是以 O 为原点的矢径, θ 从 z 轴算起, φ 是从 x 轴算起), 积分

得到: $\vec{F} = -\vec{e}_z \frac{V_0}{\pi R} e^{-jk_0 R} \frac{\sin(k_0 h \sin\theta \cos\varphi)}{k_0 h \sin\theta \cos\varphi} \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{k_0 \cos\theta}$, 利用矩阵

公式: $\begin{bmatrix} F_r \\ F_\theta \\ F_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta \cos\varphi & \sin\theta \sin\varphi & \cos\theta \\ \cos\theta \cos\varphi & \cos\theta \sin\varphi & -\sin\theta \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$ 将直角坐标系

转换成球坐标系得到:

$$F_\theta = -F_z \sin\theta = \frac{V_0}{\pi R} e^{-jk_0 R} \frac{\sin(k_0 h \sin\theta \cos\varphi)}{k_0 h \sin\theta \cos\varphi} \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{k_0 \cos\theta},$$

于是在 $y=0$ 处的开路缝隙辐射场便在球坐标系下用电矢量位表达出来了。

2.4 由电矢量位求出远区的辐射场

由电场强度计算公式: $\vec{E} = -\nabla \times \vec{F} = -jk_0 (\vec{e}_\varphi F_\theta - \vec{e}_\theta F_\varphi)$ 求出微带天线在处的开路缝隙的辐射场为:

$$\vec{E}_1 = \vec{e}_\varphi j k_0 F_\theta = \vec{e}_\varphi j \frac{V_0}{\pi R} e^{-jk_0 R} \frac{\sin(k_0 h \sin\theta \cos\varphi)}{k_0 h \sin\theta \cos\varphi} \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{\cos\theta} \sin\theta,$$

前面分析可知, 矩形微带天线的辐射场可以等效为相距为 b 的两条平行缝隙辐射出来场的迭加, 由传输线的基本假设可知, 在 $y=b$ 处缝隙的等效磁流仍然为: $\vec{J}_m = -\vec{e}_z \frac{V_0}{h}$, 于是矩形微带天线的辐射便等效为二元缝阵的辐射, 而由二元缝阵的辐射场公式 $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_1 (1 + e^{j\psi})$ 可知 (ψ 表示为 $y=b$ 处缝隙的场超前 $y=0$ 处缝隙场的相位), 矩形微带天线总的辐射场为:

$\vec{E} = \vec{E}_1 (1 + e^{j\psi}) = \vec{E}_1 e^{j\frac{1}{2}\psi} 2 \cos(\frac{1}{2}\psi)$, 将 \vec{E}_1 代入得到矩形微带天线远区辐射场的合场强表达式为:

$$\vec{E} = \vec{e}_\varphi j \frac{2V_0}{\pi R} e^{-jk_0(R - \frac{1}{2}b \sin\theta \sin\varphi)} \frac{\sin(k_0 h \sin\theta \cos\varphi)}{k_0 h \sin\theta \cos\varphi} \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{\cos\theta} \sin\theta \cos(\frac{1}{2} k_0 b \sin\theta \sin\varphi),$$

于是矩形微带天线的电场强度便求出来了。

2.5 由远区的辐射场求矩形微带线的方向函数

电场强度 \vec{E}_φ 表达式中与方向有关的因子称为矩形微带天线的方向函数, 由定义并且考虑 $k_0 b \ll 1$ 条件可知:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E_\varphi}{|E_{\varphi}|_{\max}} = \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{\cos\theta} \sin\theta \cos(\frac{1}{2} k_0 b \sin\theta \sin\varphi)$$

(该表达式未归一化), 当 $\varphi=0^\circ$ 时, H 面的方向函数:

$$F_H(\theta) = \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 a \cos\theta)}{\cos\theta} \sin\theta, \text{ 当 } \varphi = \frac{\pi}{2} \text{ 时, E 面的方向函数:}$$

$$F_E(\theta) = \cos(\frac{1}{2} k_0 b \sin\varphi), \text{ 对给定参数 } a=1\text{cm}, b=3.05\text{cm}, f=3.1\text{GHz},$$

通过计算机编程如图 3 得到的方向图和利用 HFSS 软件仿真得到的方向图与实测得到的方向图吻合得较好。

3 结束语

从以上分析可以看出, 传输线法是利用端缝辐射的概念, 清楚的说明了矩形微带天线的辐射机理, 但是由于传输线模式

的限制, 本方法只能用于矩形微带线和微带振子, 在谐振频率上, 计算的场分布与实际很接近, 参量计算符合工程精度, 但失谐大时, 场分布与实际相差较大, 所以需要对其修改或改用其它的方法进行计算。

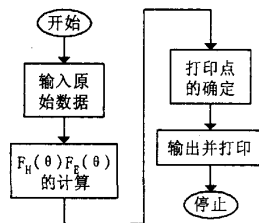


图 3

文章的创新点: 1. 矩形微带天线等效为两个辐射缝隙; 2. 利用等效原理求出缝上等效磁流, 用矢量电位求出远区场, 用计算机编程的思想确定方向图。

参考文献:

- [1] Y.T. Lo, S.M. wright and M. Darvidovitz, Microstrip. Antennas, in K.chang ed, Handbook of microware and optical components, Vol.1, J.wileys.1989.
- [2] 林昌禄, 陈海, 吴为公编著. 近代天线的设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1990.
- [3] 刘学观, 郭辉萍编著. 微波技术与天线[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [4] 张均, 刘克诚, 张贤铎, 赫崇骏编著. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [5] 尹应强, 张卫东, 郑会利, 付光. 正多边形圆极化微带天线[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2000, 27(2): 259-261.
- [6] 楼仁海, 符果行, 袁敬闻. 电磁理论[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1996.
- [7] 谢处方, 邱文杰编. 天线原理与设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- [8] 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.
- [9] 王家礼, 朱满座, 路宏敏编著. 电磁场与电磁波[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [10] 宋铮, 张建华, 黄冶编著. 天线与电波传播[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [11] 何鹏, 李春林. 热成像森林火灾报警系统设计及其图像处理研究[J]. 微计算机信息, 2006, 1: 98-99.

作者简介: 伍刚, (1963-) 男, 汉族, 硕士, 副教授, 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。

Biography: Wu, Gang (1963-) male, Han nationality, master, sub-professor, 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.

(617000 四川攀枝花市攀枝花学院电信学院) 伍刚

(College of Telegraphy, Panzhihua university, Panzhihua 617000, China) Wu, Gang

通讯地址: (617000 四川攀枝花学院电信学院) 伍刚

(收稿日期: 2006.5.28) (修稿日期: 2006.6.26)

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>