

# 构造矩形微带贴片天线的展开基函数

张需溥<sup>1</sup>, 周峰鹿<sup>2</sup>, 钟顺时<sup>1</sup>

(1. 上海大学通信与信息工程学院, 上海 200071 2. 兰州铁路第二工程公司, 兰州 750000)

**【摘要】**本文介绍了如何构造矩量法展开基函数的一种方法—空腔模型法。文中首先根据空腔模型所得到的内部场结构推导出贴片表面电流的表达式, 然后与文献中已有的计算结果和实验结果相比较。计算结果与实验结果相当吻合, 并且比文献[7]的计算结果更具有精确性, 从而验证了本文所述方法的正确性。

**关键词:** 微带天线; 矩量法; 基函数; 空腔模型

**中图分类号:** TN820 **文献标识码:** A

## 一、引言

随着移动通信系统、全球定位系统和卫星通信系统的发展, 微带贴片天线的研究已成为非常热门的课题。在实际应用中, 最为常见的一种贴片形式为矩形贴片, 可以在矩形贴片上进行短路加载、开槽开缝从而实现微带天线的小型化<sup>[1]</sup>、圆极化<sup>[2]</sup>或双频工作<sup>[3]</sup>。因此寻找一种有效的方法从而实现矩形微带天线的数值分析是非常有必要的。

矩量法<sup>[4]</sup>是一种非常成熟且有效的数值计算方法, 它已经广泛应用到电磁场与电磁波的数值计算中, 在微带天线中也得到一些使用<sup>[5]</sup>。对于矩量法而言, 恰当地选择基函数是计算中非常重要的一个环节, 好的基函数不但能够加速解的收敛性, 节约计算时间, 而且能够提高计算精度。但是遗憾的是, 关于如何构造微带贴片天线的基函数这方面的文章是少之又少, 本文以空腔模型<sup>[6]</sup>为基础, 推导出矩形贴片表面电流的完整表达式。以此结果进行编程计算, 计算结果与实验结果相当吻合, 从而验证了本文方法的正确性。对于其他常规形状贴片天线, 如三角形、圆形, 同样适合。下面给出其理论分析和计算结果。

## 二、理论分析与计算结果

矩形微带贴片天线的形状和参数如图1所示。根据反应的概念和互易性定理有:

$$\begin{aligned} & \int_S J_s(x, y) \cdot E_T(x, y, h) dS \\ & = - \int_V J_i(x, y, z) \cdot E_T(x, y, z) dV \end{aligned}$$

式中  $J_s$  为贴片表面电流,  $J_i$  为激励源(微带线馈电或同轴探针馈电),  $S$  为贴片表面,  $V$  为激励源体积,  $E_T$  为试验源产生的场。此式为微带天线贴片表面电流的积分方程, 可以用矩量法求解。

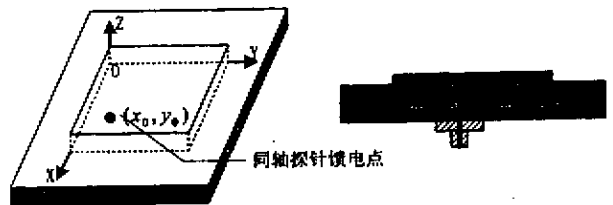


图1 矩形微带贴片天线

矩量法<sup>[4]</sup>是一种将连续方程离散化为代数方程组的方法。对于所求函数  $J_{sx}(x, y)$  和  $J_{sy}(x, y)$  在定义域内可以被展开为  $J_{sxn}(x, y)$  和  $J_{syn}(x, y)$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  的基函数,

$$J_{sa} = \sum_n \alpha_n J_{san} \quad (1)$$

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60071020)

作者简介: 张需溥, 上海大学通信与信息工程学院, 博士研究生。

$a$  代表  $x$  或者  $y$ ,  $\alpha_n$  是展开系数,  $J_{san}$  为展开函数或基函数, 对于精确解, 公式 (1) 通常为无限和, 而  $J_{san}$  形成一个基函数的完备集, 对于近似解 (1) 式为有限和。

用计算机进行数值处理, 包括数值积分和矩阵反演, 其中数值积分是最耗时的过程, 为了加速其解的收敛性, 选择合适的基函数是非常有必要的。在文献 [7] 中已经提到矩形贴片的基函数,

$$J(x, y) = \hat{x} I_1 \sin(\pi x / W_x) + \hat{y} I_2 \sin(\pi y / W_y) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \vec{H} = \frac{1}{-j\omega\mu_0} \nabla \times \vec{E} = \hat{x} H_x + \hat{y} H_y \\ H_x = \frac{j}{\omega\mu_0} \frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{-j}{\omega\mu_0} \sum_{mn} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) = \sum_{mn} B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) \\ H_y = \frac{-j}{\omega\mu_0} \frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{j}{\omega\mu_0} \sum_{mn} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) = \sum_{mn} C_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) \end{cases} \quad (4)$$

根据边界条件, 微带天线表面电流可写为:

$$\begin{cases} J_s(x, y) = \hat{z} \times H = \hat{x} J_{sx}(x, y) + \hat{y} J_{sy}(x, y) \\ J_{sx}(x, y) = \sum_{mn} D_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) \\ J_{sy}(x, y) = \sum_{mn} E_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) \end{cases} \quad (5)$$

由公式 (2) 和公式 (5) 的比较可以看出, 文献 [7] 的基函数表达式为公式 (5) 取 (1, 0) 模和取 (0, 1) 模的简化形式。矩形微带天线一般工作在基模状态 ((1, 0) 模或 (0, 1) 模), 这样采用公式 (2) 来计算微带

$W_x$  和  $W_y$  分别对应矩形贴片沿  $x$  方向和  $y$  方向的宽度。对于基函数的完整表达形式, 如何选择恰当的基函数, 这方面的论述尚少。

根据空腔模型 [6], 当介质片的厚度  $h \ll \lambda_0$  时, 电场只有  $E_z$  分量,  $E_z$  可表示为本征函数的线性组合:

$$E_z = \sum_{mn} A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{W_x}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{W_y}\right) \quad (3)$$

展开系数  $A_{mn}$  根据激励条件来获得。根据麦克斯韦方程可求出  $H_x$  和  $H_y$ :

天线的特性是完全可以的。但对于工作在其他低阶模 ((1, 1) 模, (0, 2) 模, (2, 0) 模) 状态下的微带天线, 再采用公式 (2), 无疑会带来很大的偏差。因此建议选用完整表达式 (5)。

采用公式 (5) 所示的基函数表达形式, 对文献 [8] 所使用的非中心边馈矩形微带天线进行了计算。微带天线的参数及所采用的坐标系如图 1 所示,  $W_x = 11.4\text{cm}$ ,  $W_y = 7.6\text{cm}$ ,  $h = 0.16\text{cm}$ ,  $\tan\delta = 0.001$ ,  $\epsilon_r = 2.62$ , 馈电的宽度  $d = 4.7\text{cm}$ , 馈电点距中心点的距离为  $2.68\text{cm}$ 。采用不同项数的基函数进行计算, 计算结果和实验结果如图 2 所示。

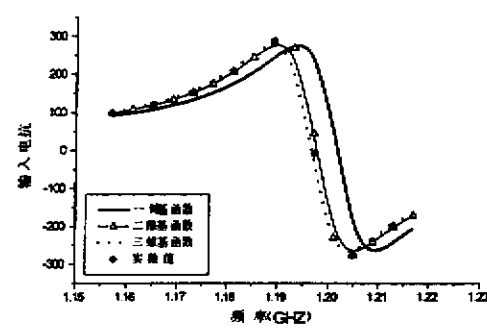
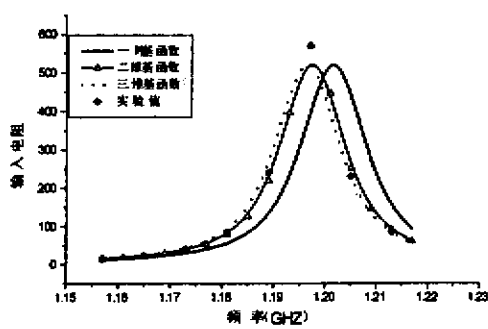


图 2 输入阻抗随频率的变化

从图中可以看出, 对文献 [8] 用公式 (2) 进行计算得到的计算值和试验值之间有一定的偏差, 采用此结果进行天线设计会导致谐振频率的偏移。采用公式 (5) 会提高解的精确性, 当基函数取 2 项时计算

结果已经非常逼近试验结果。同时要着重说明的一点是, 尽管以上的基函数表达式是基于“薄”微带天线提出的, 但对于较厚的微带天线, 公式 (5) 仍然有效, 其准确性仍可以由实验结果得到验证。

同样采用公式(5)所示的基函数表达形式,对文献[7]所使用的中心边馈矩形微带天线进行了计算。微带天线的参数及所采用的坐标系如图1所示, $W_x = 4.02\text{cm}$ ,  $W_y = 4.02\text{cm}$ ,  $h = 0.159\text{cm}$ ,  $\tan\delta$

$= 0.002$ ,  $\epsilon_r = 2.55$ , 馈线宽度  $d = 4.7\text{cm}$ 。采用不同项数的基函数进行计算,计算结果和实验结果如图3所示,当取二或三项基函数,计算结果与实验结果比较吻合。

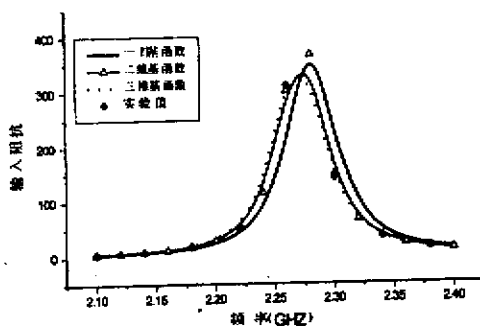
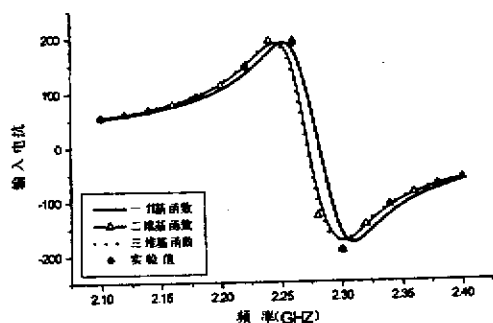


图3 输入阻抗随频率的变化

关于其他常规形状的微带贴片天线内部场结构的本征函数,在文献[6]中有详细的介绍,根据本文所采用的方法,同样可以得到其表面电流的完全表达式。由于本文篇幅有限,就不给出其具体的表达式了。

### 三、结 论

本文提出了构造微带贴片天线展开基函数的一种方法,这种方法是基于空腔模型法提出来的,通过本方法所得到的计算结果与试验结果相当吻合,这说明作为二维方法的空腔模型法和作为三维方法的矩量法并不是截然对立的,而是有其有机联系的一面。可以认为,空腔模型法是基础,而矩量法是在此基础上的进一步发展。

虽然这种构造基函数的方法是基于“薄”微带贴片天线提出来的,但是对于“厚”的基片,仍然适合,从而使矩量法不受基片厚度的限制,具有更广泛的适用性。

### 参考文献

[1] Kin-Lu Wong and Yi-Fang Lin. Small broadband

rectangular microstrip antenna with chip-resistor loading[J]. Electron. Lett., 1997, 33(19):1593-1594.

[2] Chih-Yu Huang and Jian-Yi Wu. High-gain compact circularly polarized microstrip antenna[J]. Electron. Lett., 1998, 34(8):712-713.

[3] Wen-Shyang Chen. Single-feed dual-frequency rectangular microstrip antenna with square slot[J]. Electron. Lett., 1998, 34(3):231-232.

[4] R.F. 哈林登. 计算电磁场的矩量法[M]. 长沙:国防工业出版社, 1981.

[5] 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.

[6] William F. Richards and Yuan T. Lo. An improved theory for microstrip antennas and applications[J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 1981, 29(1):38-46.

[7] Deshpande M.D. Input impedance of microstrip antennas[J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 30(4), 1982: 645-650.

[8] Vandenboach G. Optimal choice of basis functions to analyse microstrip antennas with the method of moment[J]. IEEE symp. antennas Propag., 1989: 374-379.

(收稿日期 2001-12-20)

## 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](http://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](http://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](http://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>