

小型化微带天线的 设计与数值分析

作者: 张需溥

专业: 电磁场与微波技术

导师: 钟顺时



上海大学出版社

· 上海 ·

2004 年上海大学博士学位论文

小型化微带天线的设计与数值分析

作 者： 张需溥

专 业： 电磁场与微波技术

导 师： 钟顺时

上海大学出版社

• 上海 •

Shanghai University Doctoral Dissertation (2004)

Design and Numerical Analysis of Miniaturized Microstrip Antennas

Candidate: Zhang Xu-pu

Major: Electromagnetic Fields and Microwave
Techniques

Supervisor: Professor Zhong Shun-shi

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

主任：	安同一	教授，华东师范大学电子系	200062
委员：	金荣洪	教授，上海交通大学电子工程系	200030
	徐得名	教授，上海大学通信工程系	200072
	王子华	教授，上海大学通信工程系	200072
	陆 彪	研究员，上海航天局 804 研究所	200082
导师：	钟顺时	教授，上海大学通信工程系	200072

评阅人名单:

安同一	教授, 华东师范大学电子系	200062
刘其中	教授, 西安电子科技大学天线所	710071
林昌禄	教授, 成都电子科技大学微波工程系	610054

评议人名单:

杨弃疾	教授, 清华大学电子工程系	100084
王朔中	教授, 上海大学电子信息工程系	200072
王子华	教授, 上海大学通信工程系	200072
林炽森	教授, 上海大学通信工程系	200072
金元松	研究员, 中国电波传播研究所	453003

答辩委员会对论文的评语

随着移动通信技术的迅速发展,小型化微带天线的设计已成为当前国际天线界研究的前沿课题之一。在国家自然科学基金和相关外协项目的资助下,该论文对小型化双频和圆极化微带天线的设计和数值分析作了一系列研究,具有理论意义和应用前景。

论文的主要创新点有:

(1) 用变分法和遗传算法相结合,得出了双频蝶形微带天线的谐振频率计算公式,可用于设计。

(2) 给出一种新型的双频天线-蝶形微带天线,使用脉冲基函数与混合基函数,并用渐近抽取技术处理阻抗矩阵的数值积分,使矩量法能计算非常规形状的微带天线,理论与实验结果吻合良好,优于已发表的多端网络法。

(3) 将遗传算法应用于双频蝶形微带天线的设计,优化了贴片参数和馈电位置,实现了双频工作,理论与实验结果较一致。

(4) 对一种有机磁性基片矩形微带天线完成了矩量法分析与设计,使用渐近抽取技术提高了计算精度,计算速度提高了15倍。

(5) 系统研究了高介电大接地板的GPS天线,并通过低噪声放大器提高增益和带宽,又用HFSS 8.0设计了一种尺寸更小的圆极化天线。

综观全文,表述清晰,学风严谨,说明作者具有扎实的数理基础,已具有独立从事科研工作的能力。该论文已达到博士学位论文的水平,是一篇理论结合实际的博士论文。答辩中回答问题正确。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决，全票同意通过张需溥同学的博士学位论文答辩，建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席：安周一

2004 年 3 月 8 日

摘 要

移动通信技术的迅速发展和应用,有力地推动着现代通信天线向小型化、多功能(多频段、多极化和多用途)的方向发展,设计出小型化多功能的微带天线已成为当前国际天线界研究的前沿课题之一,本论文对小型化双频微带天线和小型化圆极化微带天线的设计与数值分析作了一系列的理论与实验相结合的研究. 论文主要包含四方面内容:

首先,基于变分法推导出两种双频天线的谐振频率的计算公式,根据设计目标,可得到接近最优值的一组初始化设计参数;使用矩量法对蝶形微带天线进行了严格的数值分析,设计了两种基函数,使矩量法能够计算非常规形状的微带贴片天线;进而设计了不需要附加措施(开槽或短路)而实现双频工作的蝶形微带天线,计算与实验结果吻合良好.

其次,将遗传算法成功应用到双频蝶形微带天线的优化中,首先对谐振频率计算公式进行优化,确定计算公式的系数;然后优化了双频蝶形微带天线的馈电位置,从而在两个频段都实现阻抗匹配;最后对双频蝶形微带天线的贴片参数与馈电位置综合进行了优化,使之准确实现双频工作.

第三,使用渐近抽取方法对矩形微带贴片天线的矩量法计算进行了处理,普通矩量法与经过渐近抽取后的矩量法计算进行比较,发现渐近抽取不仅使计算的精度提高,而且使计算时间减小,计算效率提高了约 15 倍;以一种新型磁性材料—有机高分子磁性材料为微带天线的介质基片,设计了一副小型化宽频带微带天

线，与常规矩形微带贴片天线相比，尺寸减小了约 60%，带宽增加了两倍多。

第四，将接地板对高介电常数 GPS 天线性能产生的影响进行了研究，发现大接地板对天线的谐振频率和圆极化轴比都会产生较大的影响，增大接地板会使谐振频率升高，轴比方向图恶化。通过对天线加载低噪声放大器，提高了天线的增益和带宽，改善高介电常数所带来的不利影响；提出一种新型的小型化圆极化天线设计，使用 HFSS8.0，对这种形式的天线进行了较为详细的研究，比较了不同长度宽度的槽对天线谐振频率和馈电位置的影响。根据仿真结果，对天线进行了设计并完成了测试。

关键词 微带天线，小型化，双频工作，圆极化，矩量法，遗传算法，磁性材料，接地板，低噪声放大器

Abstract

With the rapidly development and the wide applications of the mobile communication technology, the modern communication antennas are required to be compact and multifunctional, such as multi-frequencies, multi-polarizations and multi-applications. Accordingly, the design of the compact and multifunctional microstrip antenna is becoming one of the most advanced subjects in the international antenna research field. In this dissertation, the design and numerical analysis of compact dual-frequency and compact circularly polarized microstrip antennas are detailedly studied in theory and experiments both. The dissertation is classified into four parts stated as follows.

Firstly, The calculation formulas of resonant frequencies for two kinds of dual-frequency microstrip antennas are derived, which is used to determine the design parameters of the dual-frequency microstrip antennas. Using the pulse basic function and mix basic function, the full wave analysis is established by the MoM (method of moment), which can be used to analyze the irregular microstrip antennas. Moreover, a design of dual-frequency bow-tie microstrip antenna is proposed, whose calculation results agree well with the experimental ones.

Secondly, The Genetic algorithm is applied successfully to optimize the design of dual-frequency bow-tie microstrip antenna, By optimizing the calculation formula of resonant frequency for bow-tie microstrip antenna, the coefficient can be found; By

optimizing the feed position , the impedance match can be achieved on dual frequency; By optimizing the parameters of the patch and the feed position, the bow-tie microstrip can operate well on dual frequencies.

Thirdly, The asymptotic extraction techniques is involved in the MOM for calculating a Sommerfeld type integral problem. Comparing with the general MoM, it is showing that a higher calculation precision and a larger reduction in computation time can be achieved; with a newly introduced organic magnetic materials, a compact and wideband microstrip is designed, Comparing with rectangular microstrip antennas on a normal dielectric substrate, the overall size of the antenna is reduced by 60 % and the bandwidth is expanded to 7 % , which is about 3times of the normal design.

Finally, an study on the compact microstrip antennas with high ϵ_r substrate and large ground plane is presented. It is shown that, for a large ground plane, the resonant frequency is increased and the antenna circular polarization axial ratio is deteriorated. By loading the active LNA on the antenna, the antenna performance is improved, The proposed antenna shows such advantages as broad impedance bandwidth, low input VSWR and high gain. A novel miniaturized circularly polarization microstrip using slots is given and experimentally validated. The influence of the slots on the resonant frequency and feed position is studied by using HFSS.

Key words microstrip antenna, miniaturization, dual-frequency antennas, circularly polarization, method of moment, genetic algorithm, magnetic material, large ground, LNA

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 小型化双频微带天线	2
1.2 小型化圆极化微带天线	10
1.3 本论文的研究内容和主要贡献	17
第二章 双频蝶形微带贴片天线设计与数值分析	19
2.1 双频微带贴片天线谐振频率的计算公式	19
2.2 蝶形微带天线的分析方法	26
2.3 积分数值处理	32
2.4 数值与实验	44
2.5 结 论	46
第三章 用遗传算法优化双频微带天线	48
3.1 引 言	48
3.2 用遗传算法确定蝶形天线谐振频率 计算公式的系数	50
3.3 用遗传算法优化双频蝶形微带天线的馈电位置	54
3.4 用遗传算法优化双频蝶形微带天线参数	61
3.5 结 论	63
第四章 磁性基片小型化微带天线的矩量法分析与设计	65
4.1 引 言	65
4.2 理论分析	66
4.3 常规矩形贴片天线的数值分析	76

4.4 有机磁性材料矩形贴片天线的 数值分析与实验结果.....	80
4.5 结 论.....	83
第五章 小型化圆极化航天器天线的设计.....	84
5.1 高介电常数大接地板的圆极化微带天线.....	84
5.2 带凹槽的高介电圆极化微带天线.....	92
5.3 结 论.....	97
第六章 结束语.....	99
参考文献.....	101
致 谢.....	110

第一章 绪 论

移动通信技术的迅速发展和应用,有力地推动着通信系统向小型化、集成化以及高性能化方向的发展.相对其他部件,手机天线目前仍存在着集成度办法是使用低SAR、较高平低、增益不高以及人体特定吸收比(SAR)偏高的缺点.克服这些缺点的一个有效方法是使用较高平均有效增益(MPEG)的内置微带天线.微带贴片天线以其馈电方式和极化制式的多样化以及馈电网络、有源电路集成一体化等特点而得到更广泛的使用,其固有的窄带由于叠层贴片、U型槽贴片等宽频带技术的出现而得到克服.另外,使用内置微带天线,还可使手机的外形设计多样化,因此内置微带天线将是未来手机天线技术的发展方向之一.

现代通信天线的一个重要方向是多功能性,即多频段、多极化和多用途.无线通信技术迅速发展,移动通信中 900 MHz 的模拟网与 1 800 MHz 数字网兼容的手机天线、卫星通信上行、下行频段共用的移动台天线以及合成孔径雷达(SAR),都要求天线能够实现双频工作,从而避免使用两个分离的天线,简化系统的结构.圆极化天线在无线领域中有重要的应用,卫星与通信基站之间的无线电通信特别需要圆极化天线,同时最近几年,全球定位系统(GPS)逐渐由军用转向民用,而 GPS 天线为了抗多经衰落,提高精度,也都使用圆极化天线.

因此设计出小型化双频微带天线与小型化圆极化微带天线不

但具有学术价值而且有实用意义, 这些也成为当前国际天线界研究前沿之一. 本论文将主要研究这两种天线的有效设计与数值分析. 下面先对已有的小型化双频微带天线和小型化圆极化天线作一综述.

1.1 小型化双频微带天线

图 1.1.1 和图 1.1.2 给出双频手机上使用的两种天线, 图 1.1.1 中的双频天线由工作在 $1/4$ 波长螺旋线和 DCS 频段 $1/4$ 波长鞭状天线构成, 两者组装在同一连接器上. 这种天线由于不能集成到印制电路板或设备外壳上, 增加总尺寸, 易于折断和弯曲; 由于螺旋线和鞭状天线的全向辐射特性, 因此比吸收率 (SAR 值) 高, 不易屏蔽, 人体对天线的性能影响较大, 此外螺旋天线加工不易达到精确控制和重复性, 需要匹配电路, 使成本和损耗都增加, 因此设计一个高效率、性能完善的双频天线不容易. 图 1.1.2 的内置双频手机天线由两个倒 F 型微带天线构成, 与外置天线相比, 内置微带天线可集成到印制电路板和外壳上, 不额外增加设备尺寸, 内置微带天线有机械刚性, 不易被损坏; 可使用屏蔽技术来屏蔽天线, 因此 SAR 值非常小, 天线受人体的影响相对较小; 设计参数通过最优化

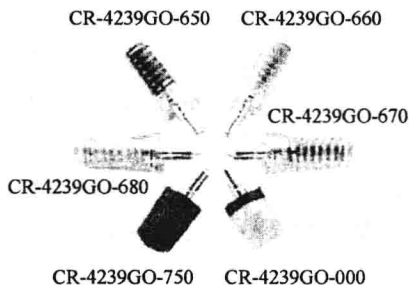


图 1.1.1 外置双频手机天线

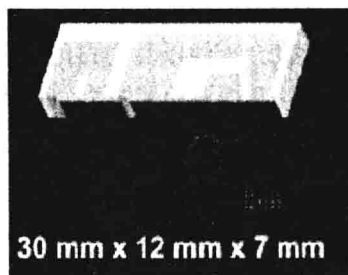


图 1.1.2 内置双频手机天线

手段可实现小型化和宽频带,并且微带天线的输入阻抗容易做到 $50\ \Omega$,不需要匹配电路或非平衡转换器,容易实现批量生产,微带天线是内置天线应用的最佳选择

双频微带贴片天线在结构上有多种形式,原理上可归纳为:多片谐振、电抗加载、多模谐振、开缝开槽.馈电方法有单馈和双馈两类,馈电结构也很灵活,有同轴探针馈电、微带线馈电、电磁耦合馈电等,同时为了实现小型化,因此实现天线小型化的一些技术,像使用高介电常数基片、短路加载、开缝开槽等,都可以在双频天线中得到应用.

1.1.1 多片谐振

微带天线的工作原理可以用空腔模型^[1]很好解释,它相当于一个上下为电壁,四周被磁壁包围的谐振腔.一个微带贴片天线只形成一个谐振腔,虽然它的工作模式包含主模和无数的高次模,但一般只利用主模.要使微带天线工作在双频,可以通过使用两个谐振贴片的方法来实现,每一个谐振贴片对应一个主模,从而对应一个频率.两个谐振贴片可以在多层和单层结构上实现.

(1) 多层结构

图1.1.3是移动通信终端使用的一种双频天线^[2],它由两个平面倒F型天线(PIFA)组成,底层贴片工作在1 800 MHz,通过同轴探针直接馈电;上层贴片工作在1 900 MHz,通过电磁耦合馈电,使用PIFA^[3-6]可以减小天线的尺寸.与同轴馈电方式相比,口径耦合馈电方式的馈电网络和辐射单元隔离,因此有更大的设计自由度.图1.1.4给出一种双频口径耦合圆极化微带天线^[7],下层贴片通过口径耦合获得激励,上层贴片则通过与下层贴片的电磁耦合来获得,由于两层贴片之间有很强的耦合,因此天线单元不能单独设计.上下

贴片都是方形,通过接地板上的“十”字缝产生两个相位正交 90° 的线极化,使天线实现圆极化,通过使用高介电常数的介质^[8],使天线实现小型化.

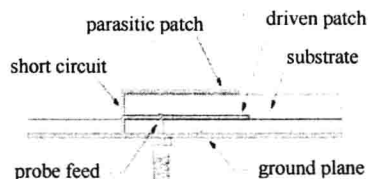


图1.1.3 双频层叠短路天线

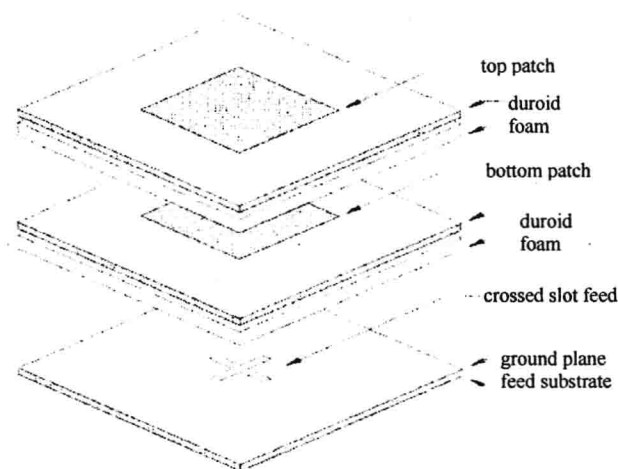


图 1.1.4 双频圆极化微带天线

(2) 单层结构

贴片单元除了可以垂直放置形成单层结构外,也可以位于同一介质基片上形成单层结构. 图1.1.5和图1.1.6给出两种GSM900MHz/