

一种计算微机械小孔耦合微带天线阻抗的新方法

朱旗, 杨龙

(中国科学技术大学电子工程与信息系, 安徽合肥 230027)

摘要: 利用传输线模型结合微带线和波导缝隙间的耦合机制, 结合对有效介电常数的计算, 提出了一种适用于小孔耦合微带天线以及微机械微带天线工程设计使用的计算方法, 并利用该方法计算了小孔耦合微带天线的输入阻抗以及微机械结构微带天线的输入阻抗, 并将其反射损失和其它方法所得结果进行了比较, 比较结果证实了本文方法的有效性。

关键词: 小孔耦合微带天线; 微机械结构微带天线; 传输线模型

中图分类号: TN820.1⁺7; TN822⁺.4 文献标识码: A

0 引言

随着微波毫米波技术的发展, 将天线与微波毫米波电路集成化制作已成为一种趋势。为了提高系统设计的灵活性, 减小微波电路和微带天线间的相互影响, 集成化制作的天线大都采用包含多层结构的小孔耦合微带结构^[1]。然而, 介电常数较大的半导体材料(Si-11.2, GaAs-9.6)会使天线辐射效率降低。因此, 人们利用微机械技术(micromachining fabrication technique)在微带天线与其接地板之间加工形成空腔, 以降低天线衬底有效介电常数, 从而达到提高天线辐射效率的目的。一个典型的微机械微带结构如图1所示。

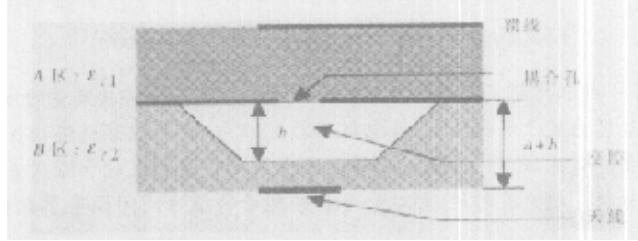


图1 微机械技术小孔耦合微带天线示意图

Fig.1 Illustration of micromachining AC-MSA

收稿日期: 2001-01-11

作者简介: 朱旗, 男, 1968年生, 副教授, 研究方向: 天线和微波毫米波电路的分析与设计。E-mail: zhuqi@ustc.edu.cn

由于小孔耦合微带天线含有多层次结构,传统的分析方法比较繁琐^[2],特别是分析微机械微带天线时,计算量更大,费时更长。因此很难将这种方法应用到小孔耦合微带天线、微机械微带天线的工程设计中。为此,论文基于微带天线传输线模型、微带线和波导缝隙间的相互耦合模型,利用微带线有效介电常数的准静态分析,提出一种小孔耦合微带天线和微机械微带天线的分析方法,并结合具体实例进行计算。最后,利用 HP 公司的 Momentum 软件进行验证。比较结果表明利用本文方法所得结果和 Momentum 的结果具有很好的一致性,但在计算时间上,利用本文方法所需时间远少于 Momentum 所需时间,从而验证了本文方法的高效性。

1 理论与计算

小孔耦合微带天线的结构如图 2 所示,其中 L_a 、 W_a 、 L_{stub} 、 W_{stub} 、 L 、 W 分别为耦合小孔、微带天线枝节、贴片天线的长度和宽度。为了简化小孔耦合微带天线的分析,Himdi 等提出了小孔耦合微带天线的空腔模型^[3]和传输线模型^[4]。其中,传输线模型在原理上简单明了、涉及参数较少。本文工作就是基于文献[4]的传输线模型而展开的。

小孔耦合微带天线的等效传输线模型如图 2(c)所示,依据下式可求出整个小孔耦合微带天线的输入阻抗

$$Z_{\text{in}} = N_{22}^2 / (N_{11}^2 \cdot Y_{\text{patch}}) - j Z_c \cot(k_1 L_{\text{stub}}) \quad (1)$$

式中 N_{11} 、 N_{22} 分别为微带天线到小孔、小孔到微带馈线的耦合, Y_{patch} 、 Y_{ap} 为微带天线和小孔的输入导纳, Z_c 为微带馈线的特性阻抗, k_1 为微带馈线上的波传播常数。下面分别讨论 N_{11} 、 N_{12} 、 Y_{patch} 、 Y_{ap} 等参数的计算。

1.1 微带天线的输入阻抗

七十年代,Bahl 等就对微带天线的传输线模型作了大量的研究^[5],但随着微带天线谐振频率的提高,该模型变得不太准确。Puse 在 Bahl 的基础上引入了微带天线等效缝隙间的互阻抗以表征这两个辐射缝隙间的相互耦合,使得微带天线的传输线模型在较高频段也能取得较好的结果。为此,论文将采用 Puse 的模型计算微带天线的输入阻抗。有关 Puse 的微带天线传输线模型

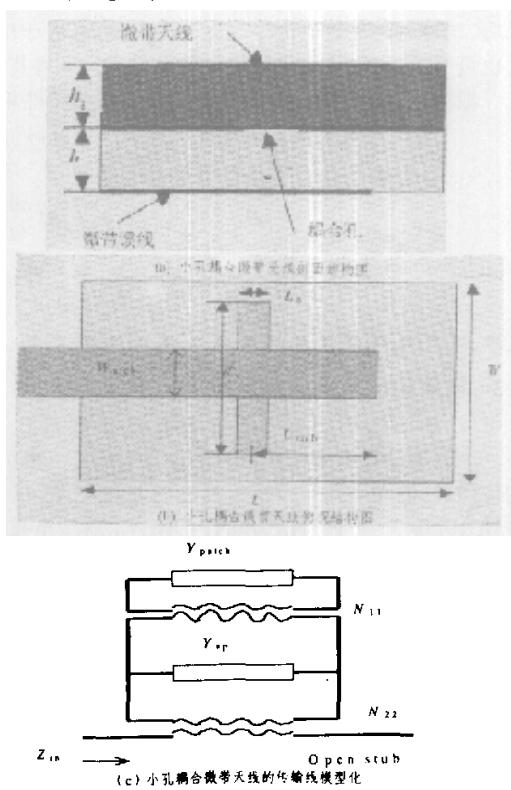


图 2 小孔耦合微带天线的结构示意图与传输线模型

Fig.2 Illustrations of AC-MSA and TML model

可参看文献[6],这里不再赘述.

1.2 小孔的输入阻抗

一般采用等效原理来分析小孔耦合微带天线中耦合孔的作用,即将耦合孔等效成两个位于小孔两侧方向相反的磁流,再做矩量法分析.这样做理论复杂,运算量大.本文将小孔等效为两端短路的缝隙传输线,并利用传输线阻抗分析方法计算小孔的输入阻抗,这样做简化了小孔输入阻抗的计算,使得计算时间得以缩减.

由传输线理论可以得出,一段终端短路的微波传输线的输入导纳可以表示为:

$$Y = -j/Z_{ac}\cot(K_a L_a/2) \quad (2)$$

其中, K_a 为微波传输线上的波数, Z_{ac} 为微波传输线的特性阻抗.在小孔的等效传输线中,可将小孔看作是两段短路的缝隙传输线的并联,因而小孔的导纳 Y_{ap} 可以表示为:

$$Y_{ap} = -2j/Z_{ap}\cot(K_a L_a/2) \quad (3)$$

采用二阶近似,在缝隙传输线上引入电壁^[7](由于电磁能量主要集中在缝隙传输线附近,因此也可引入磁壁,论文只讨论电壁的情况),可将其转化为矩形波导的求解问题.

根据 Cohn 的理论,耦合孔的输入阻抗的特性阻抗 Z_{ap} 的二阶近似解可表示为:

$$Z_{ap} = \frac{\eta_0 v \pi (\Delta p)}{(v_g p - \Delta \eta B_t)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \eta B_t &= \frac{a}{2b} \left[-v + u \tan\left(\frac{\pi d u}{a p}\right) - \tan^{-1} \frac{v}{u} \right] + \\ &\frac{1}{p} \left\{ \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} - p^2 \right) \ln \frac{2}{\pi \delta} + \frac{1}{2} \sum_{n=1,2,3,\dots} \left[v^2 \left(1 - \frac{1}{F_n} \right) + M_n \right] \frac{\sin^2(\pi n \delta)}{n (\pi n \delta)^2} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, B_t 为小孔面上总的电纳, p 是 $\eta B_t = 0$ 的解, $\frac{v}{v_g}$ 为群速度与相速度之比^[7].

1.3 耦合系数 N_{11}, N_{22} 的计算

(i) 小孔与微带天线的耦合系数 N_{11} 的计算

小孔耦合微带天线是通过耦合孔上的感应电流实现馈线与微带辐射元间能量的垂直方向传播的,因而小孔与微带天线的耦合系数 N_{11} 可表示为感应电流之比.由于电场主要集中在耦合孔附近,可近似认为耦合系数 N_{11} 就是小孔的宽度与天线的宽度之比,即

$$N_{11} = \frac{W_{slot}}{W_{antenna}} \quad (6)$$

(ii) 小孔与微带馈线的耦合系数 N_{22} 的计算根据小孔的传输线模型^[7],可将缝隙传输线作二阶近似等效为矩形波导,其馈线是微带线.因此,对 N_{22} 的求解就可以转化为矩形波导和微带传输线之间的耦合问题^[8],其定义为:

$$N_{22} = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (7)$$

其中 ΔV 是耦合通过小孔的电压, V 是馈线上的电压,有关 $\Delta V, V$ 的计算可参见文献[3].

在求解出以上参数后,就可以利用式(1)计算小孔耦合微带天线的输入阻抗.图 3 给出了利用以上方法计算的小孔耦合微带天线的反射损失,并将其与利用 HP 公司 Momentum 软件的计算结果进行了比较.可以看出,利用本文方法计算小孔耦合微带天线的反射损失取得了和 HP 公司 Momentum 软件模拟较为一致的结果.这就验证了本文方法的有效性.而在对

同一结构的分析计算时,利用 HP 公司 Momentum 软件所用时间为 4~5 h,本文方法耗时仅为 15 min,从而验证了本文方法的高效性.

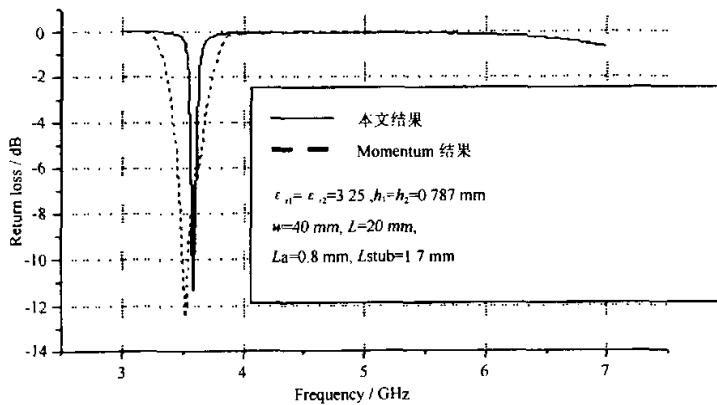


图 3 利用本文方法和利用 Momentum 软件计算小孔耦合微带天线的反射损失

Fig.3 Comparison of return loss of AC-MSA between HP-Momentum and present method

1.4 微机械微带天线分析

微机械微带天线通过微机械工艺在微带天线的接地板和辐射天线间的衬底中加工形成空腔,以降低辐射天线衬底材料的有效介电常数,从而提高天线的辐射效率.从其结构图 1 可以看出此种天线在结构上与小孔耦合微带天线类似.只要求解出包含空腔的介质层的有效介电常数,就可以利用以上方法求解出基于微机械技术制作的微带天线的输入阻抗.

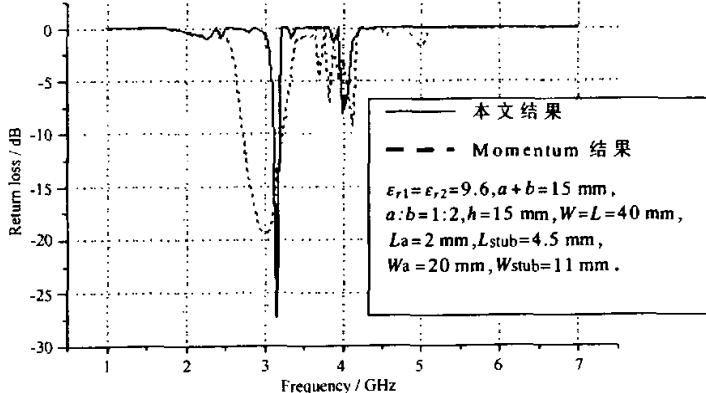


图 4 利用本文方法与利用 Momentum 软件计算图 1 所示微机械微带天线的反射损失

Fig.4 Comparison of return loss of MM-MSA between HP-Momentum and present method

(i) 基于微机械技术制作的微带天线有效介电常数的计算

图 1 表示微机械微带天线的 B 区在结构上类似于介质中含有空腔的悬置微带线,因而可以利用类似于计算含有空腔的悬置微带线有效介电常数的方法计算 B 区的有效介电常

数 ϵ_{r2} , 具体计算参见文献[9].

(ii) 微机械微带天线输入阻抗的计算

基于以上分析, 我们编制了相应的程序, 计算了图 1 所示结构的微机械技术微带天线输入端的反射损失, 并将其与利用 Momentum 软件计算的结果加以比较, 结果如图 4 所示. 从图 4 可以看出, 两者的结果基本是一致的. 利用 HP 公司 Momentum 软件所耗时间长达 6~7 h, 而利用本文方法仅耗时 15 min. 以上比较充分证明了本文方法分析小孔耦合微带天线、微机械微带天线的有效性.

2 结论

基于微带线传输线模型、波导缝隙间耦合模型以及对复杂结构有效介电常数的分析, 本文提出了一种分析小孔耦合微带天线、微机械结构微带天线的新方法, 并利用该方法计算了小孔耦合微带天线以及微机械结构微带天线的反射损失. 最后, 将本文结果和 HP 公司 Momentum 软件的模拟结果进行比较. 可以看到, Momentum 结果和本文结果计算得到的带宽不一致. 这个主要是由于在 Momentum 软件中采用积分方程的全波谱域计算方法, 而在微带天线的传输线模型中将微带天线用传输线模型近似, 只分析 TEM 模式, 由此造成了带宽变窄. 但是作为计算机辅助设计, 这种差异满足工程要求的. 比较结果证实了本文方法的高效性.

由于该方法思路明了简单, 计算快速(一般取 200 个点进行计算, 只需要 5~6 min), 节省大量时间, 从而可以为小孔耦合微带天线、微机械技术微带天线的设计提供很好的计算机辅助方法.

参 考 文 献

- [1] Pozar D M. Microstrip antenna aperture-coupled to a microstrip line[J]. Electron. Lett., 1985, 21(2):49-50.
- [2] Sullivan, Schaubert H. Analysis of an aperture-coupled microstrip antenna [J]. IEEE Trans., 1986, AP-34(8):977-984.
- [3] Hirndi M, Denial J P, Terret C. Analysis of Aperture-Coupled microstrip antenna using cavity method[J]. Electron. Lett, 1989, 25:391-392.
- [4] Hirndi M, Denial J P, Terret C. Transmission line analysis of aperture-coupled microstrip antenna [J]. Electron. Lett, 1989, 25:1229-1230.
- [5] Bahl I J, Bhartia P. Microstrip antennas [M]. MA, Norwood: Artech House, 1980.
- [6] Puse H, A. Van de Capelle. Accurate transmission-line model for the rectangular microstrip antenna[J]. IEEE Proc. H, 1984, 131(6): 334-340.
- [7] Cohn. Slot line on a dielectric substrate[J]. IEEE Trans. Microware Theory Tech., 1969, 17(10): 768-778.
- [8] Rao J S, Joshi K K, Das B N. Analysis of small aperture coupling between rectangular waveguide and microstrip line[J]. IEEE Trans. Microware Theory Tech., 1981, 29(2):150-154.
- [9] Tomar R S, PrakashBhartia. New Quasi-Static Models for the Computer-Aided Design of Suspended and Inverted Microstrip lines[J]. IEEE Trans. Microware Theory Tech., 1989, 35(4):453-457.

(下转第 578 页)

An Algorithm for Correcting Head Motion in Functional Magnetic Resonance Imaging

WANG He-sheng¹, WANG Tao¹, FENG Huan-qing¹, WU Duan²

(1. Department of Electronic Science and Technology, USTC, Hefei 230026, China)

(2. Anhui Phoenix Sci-tech Corporation Ltd., Hefei 230061, China)

Abstract: Even rather small head motion during brain functional magnetic resonance imaging (fMRI) may influence the results of experiment. Therefore, it is necessary to correct head motion before doing statistical analysis for image data. A method is presented in the paper that minimizes the mean square difference of intensities between a reference and the images being corrected using LMF algorithm for non-linear least-square optimization. And multiresolution pyramid implementation serving coarse-to-fine minimization enables a fast convergence and a good performance in case of large displacements.

Key words: fMRI; LMF non-linear least-square optimization; pyramidal structure

(上接第 520 页)

A New Method to Calculation of Micromachining Aperture Coupled Microstrip Antennas

ZHU Qi, YANG Long

(Dept. of EELS, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: Based on the transmission-line model, the coupling mechanism among the microstrip antennas and the calculation of effective dielectric constants, a new method, which is suitable for the calculation of input impedance of aperture-coupled microstrip antennas and micromachining microstrip antennas, is presented in this paper. Several examples have been calculated with the method. Comparison of return loss between the results of this study and others has proven the efficiency of the present method.

Key words: aperture-coupled microstrip antennas; micromachining microstrip antennas; transmission-line model

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>