

基于 HFSS 新型宽频带微带天线仿真设计

王扬智, 张麟兮, 韦 高
(西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)



摘要: 采用 HFSS10 电磁场仿真软件设计一副新型宽频带微带天线。天线采用空气介质层, 通过在脊形接地板顶端用同轴探针针对单层方形贴片馈电, 减小了探针电感, 从而能获得很宽的工作带宽, 该天线的仿真和实测驻波比 $V_{SWR} < 2:1$ 的阻抗带宽达到 66%, 覆盖了 2GHz~4GHz 的频率范围, 且研究结果表明该天线还具备宽波束特性。给出了天线的 HFSS 仿真设计步骤以及相对应的设计原理, 并通过模型仿真结果和加工实物的实测结果进行对比, 得出仿真和实测结果具备很好的一致性, 结果说明了 HFSS 软件的可靠性和高效性。

关键词: 宽频带; 微带天线; 驻波比; 宽波束

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2007) 11-2603-04

Designing a Novel Broadband Microstrip Antenna by Using HFSS

WANG Yang-zhi, ZHANG Lin-xi, WEI Gao
(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A novel broadband microstrip antenna was designed by HFSS software in the study. The patch is on air substrate and excited by a coaxial probe which is stretched from the top of ridge-shaped ground plate, thus the probe inductance is reduced and the broadband operation is obtained. Its measured impedance bandwidth $V_{SWR} \leq 2:1$ reaches 66%, covering 2GHz~4GHz. Moreover, from this study it is indicated that the proposed antenna has wide beam characteristics. The process and theories of the design by using HFSS are shown in the study. By comparing the simulated and experimented results, a good identity is obtained which demonstrates the reliability and high efficiency of Ansoft HFSS software.

Key words: broadband; microstrip antenna; VSWR; wide beam

引言

由于微带天线具有重量轻、体积小、剖面薄、散射截面小等优点, 所以近些年众多科研人员对微带天线进行深入研究, 且微带天线在卫星通信、导弹遥测、多普勒及其它雷达等领域得到广泛应用。但频带窄一直是微带天线的主要缺点, 目前人们研究了多种扩展微带天线工作频带的方法, 其基本方法有以下几种: 1) 增大微带介质层厚度; 2) 降低微带介质的介电常数; 3) 采用有耗介质; 4) 附加阻抗匹配网络等。前三种方法的效果比较小, 且第三种方法以天线增益的降低为代价; 第四种方法需要设计宽带匹配电路, 电路结构复杂, 制作难度大。

近几年, 在以同轴线馈电的微带天线中, 人们研究了四种效果较好的宽带微带天线, 如 L 型同轴探针微带贴片天线^[1], E 形宽带微带贴片天线^[2], U 型开槽的平面倒置 F 型双频微带天线^[3], 基于 Vivaldi 天线的 V 型缝宽频带微带天线^[4]等。前三种天线的频带特性相对于最基本结构的微带天线有进一步的扩宽, 但是这三类微带天线的频带带宽最大不超过 50%; 虽然 V 型缝微带天线的频带特性达到很大的带宽, 但其传输线的匹配结构很复杂, 对设计和加工都造成很大的麻烦。所以, 本文从加工制作的角度考虑, 研究并设计一种新型宽频带微带贴片天线, 驻波比 $V_{SWR} \leq 2:1$ 的阻抗带宽达

到 66%, 且研究结果表明该天线具备宽波束特性。

1 新型微带天线的结构

为了使天线的频带展宽, 并考虑到天线重量的因素, 所以这里采用介电常数较低的空气作为介质层, 且介质层的厚度必须很大。但是天线厚度的增大也促使了馈电探针的加长, 从而导致探针对天线的输入阻抗引入大电感, 使得阻抗失配程度加大, 因此反过来限制了天线频带的展宽。针对这一缺点, 这里设计了一副新型的微带天线, 其结构如图 1 所示。

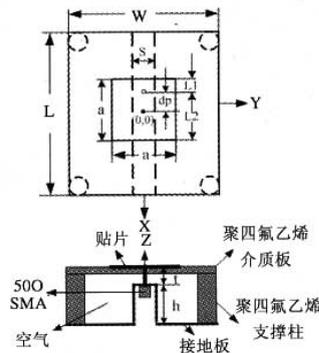


图 1 新型微带贴片天线结构

该天线采用脊形接地板结构, 使由接地板顶端伸至贴片的馈电探针长度短至 $t=4\text{mm}$, 大大减小探针电感。进一步考虑到天线的实际应用情况, 这里加一层聚四氟乙烯 ($\epsilon_r = 2.65$) 薄板来起到对贴片的承载作用, 在板的角边处再

收稿日期: 2006-05-06 修回日期: 2006-08-27
作者简介: 王扬智(1981-), 男, 海南省临高县人, 硕士生, 研究方向为微波通信。

加四个聚四氟乙烯柱子，通过上螺丝连接的方式，使聚四氟乙烯介质板和接地板连接加固。为了不影响天线的宽带特性，薄板的厚度和柱子的直径必须很小。

参考图1，接地板的总宽度为W，总长度L；接地板的脊高为h，脊宽S；贴片为正方形，边长为a；馈电探针的长度为t；天线采用纵向匹配馈电，馈电点距原点的距离为dp，馈电点距贴片纵向边沿的距离分别为L1和L2，即a=L1+L2；天线采用50Ω-SMA同轴转接头馈电。根据天线的图形结构，可知该天线不但具有较厚的空气厚度，而且大大缩短了馈电探针的长度。

2 天线的设计步骤

这种新型微带天线的结构是在基本矩形微带贴片天线的基础上，将平面接地板结构改为脊形接地板结构而得来的，故在设计脊形微带贴片天线时，必须先从基本的矩形微带贴片天线结构开始分析和设计。

2.1 简单矩形贴片天线设计

采用平面接地板时的天线，也就是使图1中的脊高h=0mm，使馈电探针高度t成为空气介质层的厚度，再去聚四氟乙烯介质板和支撑柱，其结构为一幅简单的矩形贴片天线。下面针对简单矩形贴片天线结构，根据传统的简单贴片的设计方法来确定天线的尺寸^[5]。

$$a_1 = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

$$a_2 = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (2)$$

根据文献[5]，由(1)和(2)式来分别确定矩形贴片的长度a₁和宽度a₂，其中c表示光速；Δl表示贴片的延伸长度(文献[5]已给出了此参数的具体表达式，考虑到文章的篇幅，这里就不重复说明)；因为采用空气作为介质层。所以空气的相对介电常数和等效介电常数分别为ε_r≈1，ε_e≈1；f_r为天线的谐振频率。由于设计采用正方形贴片结构，所以a₁≈a₂=a，又由于设计的频率范围是2~4GHz，故a₁、a₂也求得一个取值范围37.5~75mm。考虑到探针电感对阻抗匹配造成的影响，介质层高度，即馈电探针的高度t必须取很小，这里取t=3mm；当频率取f_r=2.5GHz，可得贴片边长a=60mm，所以这里取贴片的边长a=60mm。由于接地板起到反射作用，所以其尺寸应尽量取大，考虑到天线的尺寸，其长和宽可以估算取L=160mm，W=200mm。

上述确定了馈电探针的高度和贴片的边长，所以，在这些参数的基础上，这里通过矩形贴片天线的传输线理论来确定馈电点位置^[5]。

$$Y_{in} = Y_0 \left[\frac{Z_0 \cos \beta L_1 + jZ_w \sin \beta L_1}{Z_w \cos \beta L_1 + jZ_0 \sin \beta L_1} + \frac{Z_0 \cos \beta L_2 + jZ_w \sin \beta L_2}{Z_w \cos \beta L_2 + jZ_0 \sin \beta L_2} \right] \quad (3)$$

$$Y_w = G_w + jB_w \quad (4)$$

$$G_w = 0.00836a / \lambda_0 \quad (5)$$

$$B_w = 0.01668 \frac{a \Delta l}{\lambda_0 t} \epsilon_r \quad (6)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 - \frac{12t}{a} \right)^{-1/2} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta l}{t} = 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3)(a/t + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(a/t + 0.8)} \quad (8)$$

文献[5]已详细阐述了矩形贴片天线的传输线理论，并给出了求解天线输入导纳Y_{in}的公式，如(3)~(8)式所示。其中，Y_w为天线的壁导纳；Y₀为空气的特性导纳，即Y₀=1/Z₀；贴片边长a=60mm；馈电探针长度t=3mm；输入导纳Y_{in}=1/Z_{in}；λ₀为加入馈电探针后的谐振波长，即λ₀=c/f₀，设加馈电探针后的天线谐振频率f₀=2.2GHz；又因为a=L1+L2，所以，由(3)~(8)可以求出天线输入阻抗Z_{in}和L1的关系。通过matlab编程计算，求得结果如图2所示。

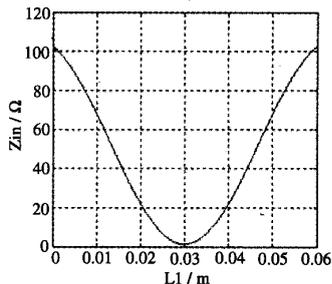


图2 馈电点位置L1与输入阻抗的关系

由于馈电采用50Ω SMA转接器，所以，其传输线的特性阻抗Z₀=50Ω。为了使天线达到良好的匹配，所以必须使天线的输入阻抗Z_{in}=Z₀=50Ω。参考图2可得，当L1≈0.012m=12mm时，天线在谐振频率f₀=2.2GHz时的输入阻抗Z_{in}≈50Ω。即馈电点距原点距离dp=a/2-L1=30-12=18mm。

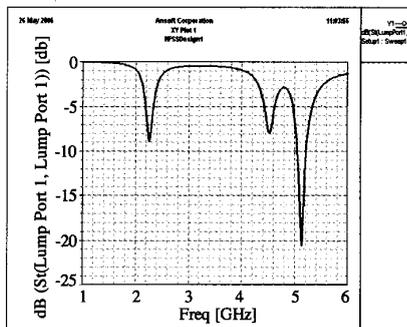


图3 简单贴片天线的反射系数S11

根据以上求出的简单贴片天线的尺寸参数，通过Ansoft公司的HFSS10高频结构仿真软件对其模型进行仿真分析，求出天线反射系数S11和频率f的关系，如图3所示。可知，当频率在2.2GHz附近出现第一个谐振频率点，刚好和上述的传输线法理论分析所设置的谐振频率f₀=2.2GHz完全吻合。但此时，天线在2GHz~4GHz时的反射系数较大，天线的性能不好，下面将针对此缺点进行，进行接地板加脊处理。

2.2 脊型接地板微带贴片天线设计

保持以上简单矩形贴片天线的尺寸参数不变，对接地板

加脊处理,即图1中的脊宽S设为10mm,脊高h逐渐加大,而保持探针长度t=3mm不变。这种结构不但保持了馈电探针的长度不变,而且使空气介质层进一步加厚,可以使频带进一步展宽。

当设h=0mm, 8mm, 12mm, 20mm时,再次通过HFSS10对其模型进行仿真(此时,模型依旧不加聚四氟乙烯介质板和支撑柱),得出反射系数S11和频率的关系,如图4所示。可知,随着脊高h的逐渐增大,天线开始出现双谐振点特性,然后高频谐振点频率逐渐下降,而低频谐振点频率基本保持不变,这也就是在上述理论分析时,为什么把谐振频率 f_0 设为2.2GHz的原因。进一步观察图4,可知当h=12mm时,天线反射系数S11在2GHz~4GHz的频带范围内小于-10dB,达到宽频带特性。

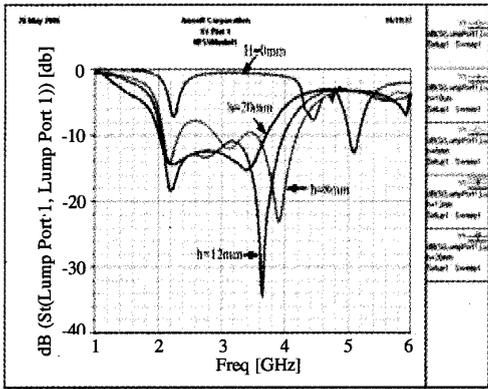


图4 脊型接地板微带贴片天线 S11

2.3 对脊型接地板微带贴片天线进行加固处理

由于这种脊型接地板微带天线的馈电探针比较细小,而贴片面积却很大,造成探针无法支撑贴片,所以得进行加固处理。这里采用聚四氟乙烯介质板和支撑柱对天线进行加固。贴片直接蚀刻在聚四氟乙烯介质板上,而介质板再通过四个聚四氟乙烯支撑柱和接地板相连,然后以上螺丝的方式对天线的整体进行加固。为了不影响天线的宽带特性,薄板的厚度和柱子的直径必须很小,这里取薄板的厚度为1mm,每个柱子的半径为5mm。加固后的天线结构就是图1中的完整结构,该天线基于HFSS10的仿真模型如图5所示。

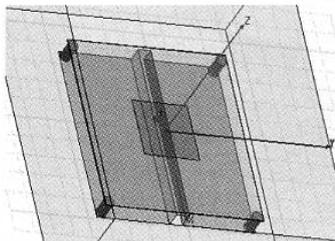


图5 加固后的脊型接地板微带贴片天线的仿真模型

虽然介质板的厚度和支撑柱的半径相对于天线尺寸都很小,但是它们对天线的性能还是产生了一定的负面影响。

所以,这里通过HFSS10优化模块,对整个天线结构进行总体优化处理,得出天线的反射系数S11和驻波比VSWR分别如图6和图7所示。可见,当在2GHz~4GHz频带范围内,天线的反射系数都小于-10dB,天线的驻波比也都小于2,达到66%的阻抗带宽。

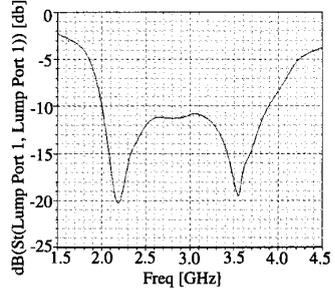


图6 加固后脊型接地板微带天线 S11

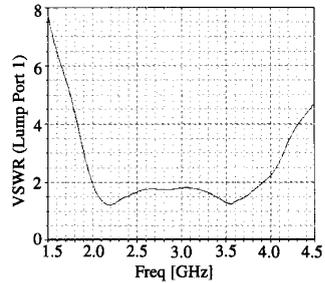


图7 加固后脊型接地板微带天线 VSWR

经优化后,天线的各尺寸参数值总结如下:接地板长度L=170mm,宽度W=160mm;贴片边长a=56mm;馈电点距原点距离dp=19.2mm;接地板脊高h=14mm,脊宽S=13mm;馈电探针高度t=4mm。

3 天线仿真数据和实测数据的比较

依据以上设计的天线尺寸参数值,该天线的实物已加工出来,其实物如图8所示。下面通过以下实测的数据图和仿真的数据图进行比较。

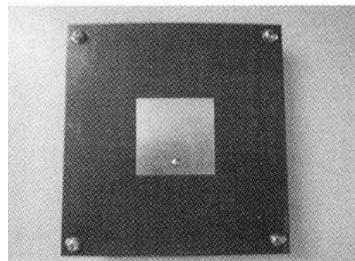


图8 加工出的天线实物

分别把图6和图9,图7和图10进行比较,可发现,实测的反射系数S11和驻波比VSWR和仿真的数据基本吻合,在2GHz~4GHz的频带范围内,都基本达到设计要求。但是由于加工的不准确性,造成图9中的高频谐振点的峰值

不是很小。

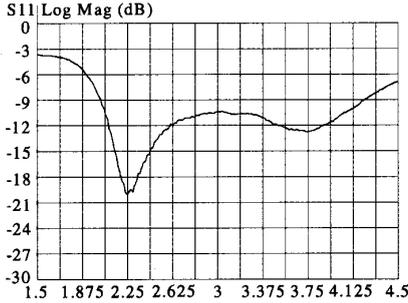


图9 天线的实测反射系数 S11

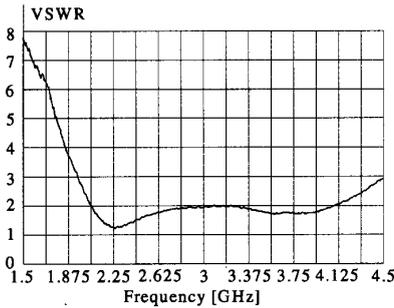


图10 天线的实测驻波比 VSWR

再来观察频率分别在 2.2GHz 和 3.5GHz 时的仿真 H 面方向图增益和实测 H 面方向图增益间的对比情况, 分别如图 11~12 所示。可见, 实测的 H 面方向图增益和仿真的 H 面方向图增益基本吻合, 而且天线的增益也非常高, 在 2.2GHz 时, 实测和仿真的增益都达到 8dB 的高增益; 在 3.5GHz 时, 实测和仿真的增益基本在 3dB 左右。天线的波瓣宽度也具备宽波束特性, 在 2.2GHz 时, 实测和仿真的 3dB 半功率波瓣宽度达到 100 度的宽波束特性; 在 3.5GHz 时, 也基本达到 100 度的宽波束特性。研究结果表明, 这种新型宽频带微带天线的设计是很成功的, 且加工出的天线实用性很强。

4 结论

本文在一定的理论设计的基础上, 通过 Ansoft 公司 HFSS10 软件的仿真、优化等步骤, 设计了一副新型宽频带微带天线, 并加工出实物。该天线驻波比 $VSWR \leq 2:1$ 的阻抗带宽达到 66%, 覆盖了 2GHz~4GHz 的频带范围, 且天线还具备宽波束特性, 天线的增益也很理想; 更重要的是, 天线的理论分析数据、仿真数据和实测数据都有很好的一致性。本文作者也通过此方法, 设计出了两副分别覆盖 0.5GHz~1GHz 和 1GHz~2GHz, 驻波比 $VSWR \leq 2:1$ 的微带天线, 但目前还没送出去加工。由于, 天线结构简单, 影响天线性能的尺寸参数较少, 容易调试, 更便于加工制作, 所以, 希望此天线结构能够给相关工程人员一定的参考价值!

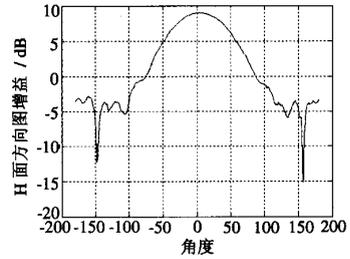
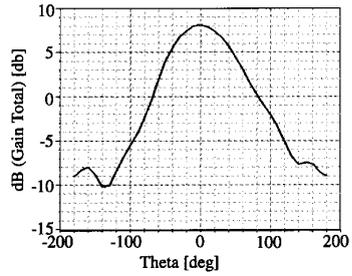


图11 仿真和实测 H 面方向图增益 (f=2.2GHz)

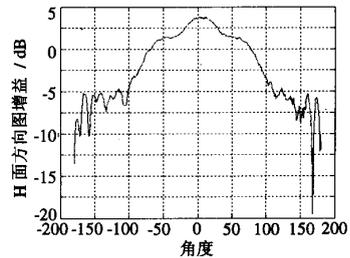
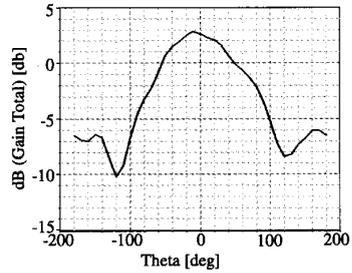


图12 仿真和实测 H 面方向图增益 (f=3.5GHz)

参考文献:

- [1] Mak C L, Lak K M, Lee K F, Chow Y L. Experimental study of a microstrip patch antenna with a L-probe [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat (S0018-926X), 2000, 48(5): 777-783.
- [2] 张文海, 钟顺时, 张需涛. E 形宽带微带天线的时域有限差分法分析[J]. 上海大学学报, 2003, 9(2): 105-108.
- [3] 刘培涛, 王坚, 李英, 李淑娟. 一种 U 型开槽的平面倒置 F 型双频微带天线[J]. 微波学报, 2005, 21(2): 45-48.
- [4] 徐勤. 一种宽频带微带天线的设计[J]. 雷达与对抗, 2004, (2): 38-41.
- [5] I J 鲍尔, P 布哈蒂亚 著. 微带天线[M]. 梁联俦 寇廷耀译. 1985.

HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件，易迪拓培训(www.edatop.com)是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用，易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验，曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程，专家讲解，直观易学，是您学习 HFSS 的最佳选择。



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

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，可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>



更多 HFSS 视频培训课程:

● 两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程

课程从零讲起，通过两周的课程学习，可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS，是 HFSS 初学者的最好课程，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

● HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程

HFSS 进阶培训课程，通过十个 HFSS 仿真设计实例，带您更深入学习 HFSS 的实际应用，掌握 HFSS 高级设置和应用技巧，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

● HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程

HFSS 是天线设计的王者，该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置，让 HFSS 天线设计不再难，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

● 更多 HFSS 培训课程，敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

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相关培训课程和 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讲授,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>