

文章编号:1672-6413(2009)06-0040-03

基于 HFSS 的微带天线设计与仿真

来雪梅, 王代华, 张 哲

(中北大学, 山西 太原 030051)

摘要: 针对专用冲击波测试系统中微带天线的特性要求, 利用仿真软件 HFSS 建立天线模型, 并对模型进行仿真优化, 得到了最佳的天线参数。同时为该系统设计了中心频率为 2.4 GHz 的微带天线, 采用矢量网络分析仪对天线的各参数进行了实测, 实测结果与仿真结果吻合, 验证了设计的有效性。

关键词: 微带天线; HFSS 软件; 仿真

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A

0 引言

爆炸冲击波场测试环境恶劣, 为了实现测试数据的无线传输, 需要设计一种在爆炸环境下可生存且满足无线通信系统要求的天线。微带天线结构简单, 体积小, 能与载体共形, 能和有源器件、电路等集成为统一的整体^[1], 已被大量应用于 100 MHz~100 GHz 宽频域上的无线电设备中, 特别是在飞行器和地面便携式设备中得到了广泛应用。微带天线的特征是: 比通常的微波天线有更多的物理参数, 可以有任意的几何形状和尺寸; 能够提供 50 Ω 输入阻抗, 不需要匹配电路或变换器; 比较容易精确制造, 可重复性较好; 可通过耦合馈电, 天线和 RF 电路不需要物理连接; 较易将发射和接收信号频段分开; 辐射方向图具有各向同性。基于微带天线的上述优点, 本文对微带天线进行了研究。

1 微带天线的设计原理

1.1 微带天线的基本原理及分析方法

微带天线的基本原理可考察矩形微带贴片来解释。微带贴片可看作是宽 W 、长 L 的一段微带传输线, 介质基片厚度 $h \ll \lambda_0$ (λ_0 为自由空间波长), 其终端 (W 边) 处因为呈现开路, 将形成电压波腹。一般取 $L \approx \lambda_g/2$, λ_g 为微带介质内波长, 于是另一端 (W 边) 处也呈电压波腹^[2]。此时贴片与接地板间的形成电场和两开路端的电场均可以分解为相对于接地板的垂直分量和水平分量, 两垂直分量方向相反, 水平分量方向相同。因而在相对于接地板的方向, 两水平分量电场所产生的远区场同相叠加, 而两垂直分量所产生的场互相抵消。因此, 两开路端的水平分量可以等效为无限

大平面上同相激励的两个缝隙, 缝的电场方向与长边垂直, 并沿 W 均匀分布, 微带天线的辐射可以等效为由两个缝隙所组成的二元阵列^[3]。

天线分析的基本问题是求解天线在周围空间建立的电磁场, 求得电磁场后, 进而得出其方向图、增益和输入阻抗等特性指标。分析微带天线的基本理论主要有传输线模型法、空腔模型法和积分方程法。传输线模型法只适用于矩形微带贴片天线, 它将矩形微带天线看成场沿纵向 (W 边) 没有变化的半波长传输线谐振器, 场沿纵向 (L 边) 呈驻波分布, 天线的辐射主要由两开路端 (W 边) 缝隙产生。

1.2 微带天线参数

(1) 介质基片材料的介电常数 ϵ_r 、损耗角正切 $\tan \delta$ 和厚度 h 将直接影响微带天线的性能。

(2) 贴片单元的宽度 W 对微带天线的方向图宽度、方向性系数、辐射电阻和输入阻抗都有影响, 进而也就影响频带宽度和辐射效率。宽度 W 的尺寸不得超过下式给出的值^[4]:

$$W \leq \frac{c}{2f_0} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

其中: c 为光速; f_0 为谐振频率。

(3) 贴片天线的长度 L 的计算公式为:

$$L = 0.5 \lambda_g - 2 \Delta L \quad \dots \dots \dots (2)$$

其中: λ_g 为介质内波长, $\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$, ϵ_r 为介质基片的有效介电常数, 由施奈德经验公式 $\epsilon_r = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}}$ 确定; ΔL 为偏移量, $\frac{\Delta L}{h} =$

收稿日期: 2009-02-25; 修回日期: 2009-06-23

作者简介: 来雪梅(1969-), 女, 山西五台人, 实验师, 硕士, 研究方向为测控技术。

$$0.412 \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)^2}$$

L 的尺寸在理论上近似为 $\lambda_0/2$, 但工程实际上由于边缘场的影响, 在确定 L 的尺寸时应从 $\lambda_0/2$ 中减去 $2\Delta L$ [5]。

(4) 从减小天线尺寸和重量及降低成本的角度出发, 基片尺寸的选取应尽可能小。因此对于背馈情况, 基片长度 L_G 和宽度 W_G 分别为:

$$L_G = L + 0.2\lambda_g \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W_G = W + 0.2\lambda_g \quad \dots\dots\dots (4)$$

对于侧馈情况, 基片宽度可按式 (4) 确定, 而长度则视馈线及阻抗变换器的配置而定。

2 利用 HFSS 对天线仿真

HFSS 仿真软件是美国 Ansoft 公司开发的计算电磁结构的高频电磁仿真软件包, 这个软件包的理论基础是计算电磁学中的有限元分析方法。基于有限元法的 HFSS 软件是由频域到时域的计算, 因此在设计各种辐射器以及求本征模问题方面有更好的优势, 同时这个高频电磁仿真软件包在高频电路板的结构仿真中的功能也十分强大。

2.1 微带天线模型的建立

微带天线设计的中心频率是 2.4 GHz, 在空气中的波长为 125 mm。综合考虑天线设计参数及环境适应性要求, 最终选定介质基板厚度 $h=0.8$ mm, $\epsilon_r=4.4$, 材料为 FR4。贴片和接地板材料为铜, 铜箔的厚度为 T , 其电导率为 $\sigma=1.57 \times 10^7$ s/m。由式 (1) 可得: $W \leq 38$ mm。该值是微带天线宽度的最大值, 经过仿真、优化、测量后得到的实际值要小于此值。将 $h=0.8$ mm, $W \leq 38$ mm, $\epsilon_r=4.4$ 代入 ϵ_r 的经验公式可以计算出 $\epsilon_r=4.245$ 。将 $\epsilon_r=4.245$ 和 $\lambda_0=125$ mm 代入 λ_g 的计算公式, 得到介质内波长 $\lambda_g=60.67$ mm。通过计算可知 $\Delta L=0.372$ mm。将 $\lambda_g=60.67$ mm 和 $\Delta L=0.372$ mm 代入式 (2), 可得 $L=29.591$ mm。由式 (3) 和式 (4) 可得基板的长度和宽度, 还应该考虑到边缘的辐射影响, 故得出基板的长度为 $L_G=41.725$ mm, 基板宽度为 $W_G=50.134$ mm。

在 HFSS 中建立的天线模型见图 1。图中最外面的矩形代表辐射边界, 材料为真空 (vacuum)。辐射场里面的矩形板就是设计的微带天线的基板, 基板上纵向的矩形线就是微带天线。微带天线的一端为激励端口, 该端口通过 SMA 接头与 50 Ω 的同轴馈线相连 (便于测试)。经过仿真、优化后, 最终确定的微带天线参数见表 1。

2.2 微带天线的仿真

根据建立的微带天线模型, 利用 HFSS 软件进行了性能仿真。图 2 为 S 参数 (功率反射系数) 仿真曲线。从图 2 中可以看出, 曲线在 2.4 GHz 附近出现波谷, 在 2.43 GHz 左右功率反射系数最大, 达到 -36.6 dB, 说

明在该频率匹配到最佳。从图 2 中还可以看出, S 曲线开口窄, 表现出了微带天线频带窄的特点。

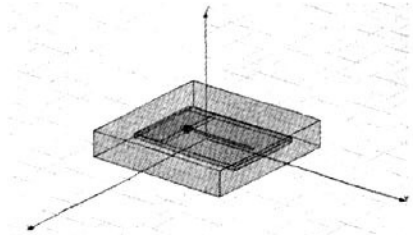


图 1 微带天线模型图

表 1 微带天线参数表

f_0 (GHz)	h (mm)	L_G (mm)	W_G (mm)	T (μ m)	ϵ_r	L (mm)
2.4	0.8	40	52	35	4.4	26

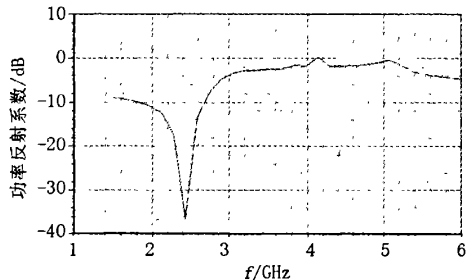


图 2 S 参数仿真曲线

图 3 是仿真得到的微带天线的驻波比 (VSWR) 特性曲线, 在 2.5 GHz 附近 VSWR 达到 1.43, 小于一般天线要求的 2, 说明天线的电抗分量较小, 天线的匹配效果好, 传输效率高。图 4 是仿真得到的史密斯圆图, 可以看出该天线完全满足设计要求。

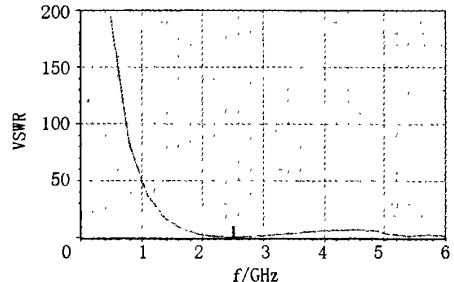


图 3 VSWR 参数仿真曲线

3 微带天线实测

根据计算得到的微带天线的设计参数以及仿真后对各参数的优化结果, 进行了微带天线的实物制作, 采用 HP8753E 矢量网络分析仪对天线的各参数进行测试。矢量网络分析仪设定的扫描频率范围 300 MHz ~ 6 GHz, 输出激励功率 +10 dBm, 校准完成后对天线进行测试, 结果分别见图 5 ~ 图 7。

图 5 的反射系数曲线表明, 该微带天线的中心频率在 2.49 GHz, 反射系数达到 -31 dB。图 6 的电压驻波比曲线表明, 在 2.49 GHz 处的 VSWR 值为 1.09, 该

比值很小,说明天线的匹配很好,效率高。从图7的史密斯圆图可以得出,微带天线在2.49 GHz处的输入阻抗为 $Z_{in}=47.293+6.07j$,接近馈线 $50\ \Omega$ 的特性阻抗,说明天线与馈线之间的匹配很好。通过天线理论可知,输入阻抗一般都具有电阻分量和电抗分量,电抗分量的存在会减少天线从馈线对信号功率的提取,较小的电抗分量意味着良好的匹配性能。

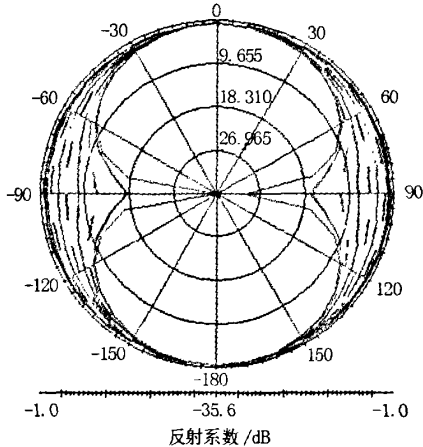


图4 仿真得到的史密斯圆图

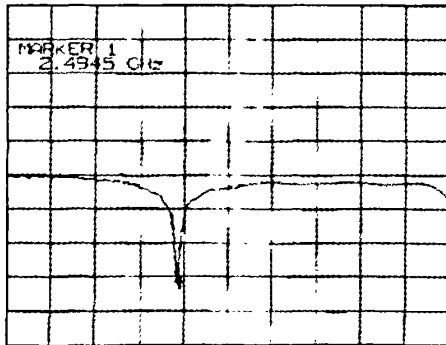


图5 实测的反射系数曲线图

4 结论

讨论了微带天线的设计原理,根据天线尺寸的计算公式,分析了不同尺寸参数对微带天线的性能影响。设计了中心频率为2.4 GHz的微带天线,利用HFSS软件建立天线模型,得出了天线特性的仿真曲线。采用矢量网络分析仪对设计的天线进行实测,实测曲线

与仿真曲线吻合较好。设计的天线在2.49 GHz处的反射系数达到 $-31\ \text{dB}$ 、VSWR值为1.09、输入阻抗为 $Z_{in}=47.293+6.07j$,说明了本设计的有效性。

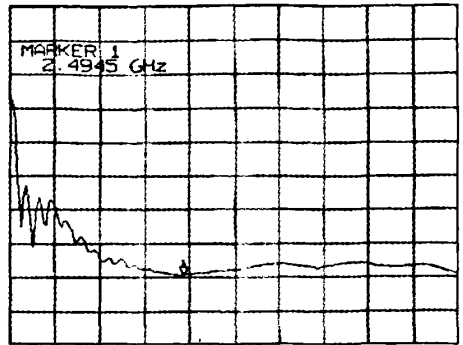


图6 实测的VSWR曲线图

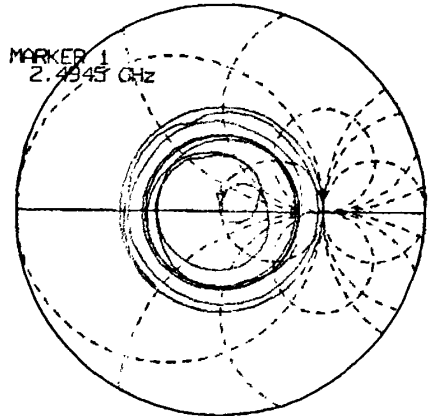


图7 实测的史密斯圆图

参考文献:

- [1] 王新稳,李萍.微波技术与天线[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 林昌录.近代天线设计[M].北京:人民邮电出版社,1993.
- [3] 宋旭亮,朱义胜.微带天线的设计和阻抗匹配[J].现代电子技术,2008,31(1):73-75.
- [4] 周朝栋,王元坤.天线与电波[M].西安:西安电子科技大学出版社,1994.
- [5] 李磊,谢拥军.ISM天线射频特性的Ansoft HFSS分析[M].西安:西安电子科技大学 Ansoft 培训中心,2005.

Design and Simulation of Microstrip Antenna Based on HFSS

LAI Xue-mei, WANG Dai-hua, ZHANG Zhe

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: According to the antenna characteristics requirements in special shock wave measurement system, the model of a microstrip antenna is set up and simulated by HFSS in the paper. The optimal antenna's parameters are obtained by changing model. This paper introduces the design of the microstrip antenna which center frequency is 2.4 GHz for wireless data transmission system. This designed antenna has been fabricated and measured by HP8753E vector network analyzer. The results show the validity of the design based on simulation.

Key words: microstrip antenna; HFSS; simulation

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>