

基于 HFSS 的缝隙耦合贴片天线仿真*

石卫卫¹, 周志平¹, 吴智恒¹, 李氏英², 曹梦乐²

(1. 广东省机械研究所, 广东广州 510635; 2. 广东省志成冠军集团有限公司, 广东东莞 523718)

摘要:以缝隙耦合贴片天线为研究对象, 利用 HFSS 软件建立了天线的物理模型, 求解得到了回波损耗、驻波比等结果。优化缝隙的几何尺寸后, 天线的性能得到较大提高。具体表现在: 增加了中心工作频率处的回波损耗和驻波比; 增加了频带宽度; 提高了增益水平。

关键词:贴片天线; 缝隙耦合; 尺寸优化

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1009-9492 (2011) 08-0038-02

1 引言

缝隙微带天线具有低成本、低功耗、体积小、易于集成等优点, 广泛地应用于微波集成电路和毫米波领域。缝隙的形状是多种多样的, 有矩形槽、U形槽、H形槽、X形槽等^[1-3]。形状的多样化也带来了天线性能的提高及功能的多样化。缝隙耦合天线由缝隙微带天线发展而来, 它的馈线和辐射单元分别装两个介质板上, 中间由接地板隔开, 因此馈电和辐射两部分可分别进行设计, 且馈线的寄生辐射弱, 交叉极化水平低, 有着很好的应用背景^[4]。本文采用 HFSS 软件仿真分析了一种缝隙耦合的线极化贴片天线, 并优化了缝隙的几何尺寸。

2 有限元仿真

2.1 仿真软件 HFSS 简介

HFSS 是美国 Ansoft 公司开发的高频电磁结构仿真软件包。该软件包基于电磁场分析的有限元理论, 能够计算任意形状的三维无源结构 S 参数和全波场。求解问题涵盖外场辐射及内场分析, 可直接得到特性阻抗、传播系数、S 参数、辐射场、天线方向图等结果。该软件操作界面方便易用, 建模工具丰富, 自适应网格剖分技术稳定成熟, 仿真速度快且仿真精度高, 总体来说可靠性很强。其附带的参数分析、优化设计、灵敏度分析等功能为用户进行结构优化设计提供了强大的工具, 可帮助工程师有效地设计各种高频结构。

2.2 缝隙耦合贴片天线模型

本文研究的贴片天线采用微带线通过缝隙耦合对辐射贴片进行馈电。天线结构如图 1 所示。介质 1 厚度为 h_1 , 上端为贴片, 下端为带缝隙的接地板。地板下方为厚度 h_2

的介质 2, 介质 2 下方为馈线。本文所建立的计算模型如图 2 所示。其中, 介质 1 和介质 2 的介电常数分别为 2.2 和 3.5, 厚度分别为 $h_1=5\text{mm}$, $h_2=3\text{mm}$, 长和宽均为 140mm 和 100mm。贴片为 $40\text{mm}\times 30\text{mm}$ 的矩形。矩形地板长宽均与介质长宽相等。缝隙为窄长条形, 位于贴片正下方, 长和宽分别为 2mm 和 14mm。馈线为 $70\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的矩形长条。其中, 长度和宽度分别对应模型中 x 方向和 y 方向的尺寸。

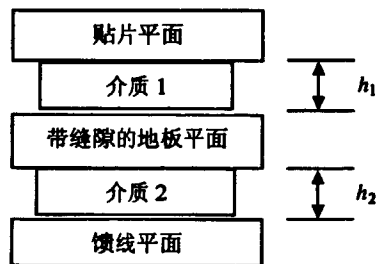


图 1 天线结构示意图

2.3 仿真结果

采用 HFSS 软件, 对以上的模型建立了相应的边界条件和激励, 求解频率设置为 6.45GHz, 扫频范围为 6~7GHz, 求解得到了 S 参数图、驻波比图等结果。

图 3 给出了回波损耗 S11 随频率的变化关系。S 参数表示在波端口处电磁波的反射功率和入射功率的比值。由图可见, 曲线在频率为 6.45GHz 附近出现波谷, 回波损耗在 6.45GHz 处达到最大, 约 -11.8dB。说明在该频率天线和馈线匹配最佳, 但 -11.8dB 的回波损耗偏小。计算可得绝

* 广东省电力电子交流技术企业重点实验室项目 (编号: 2009A060800035); 广东省科技计划项目 (编号: 2009A011604006)

收稿日期: 2011-07-11

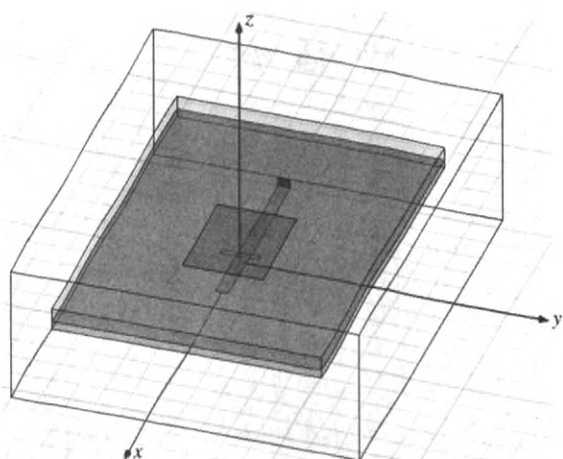


图2 HFSS 中建立的天线模型

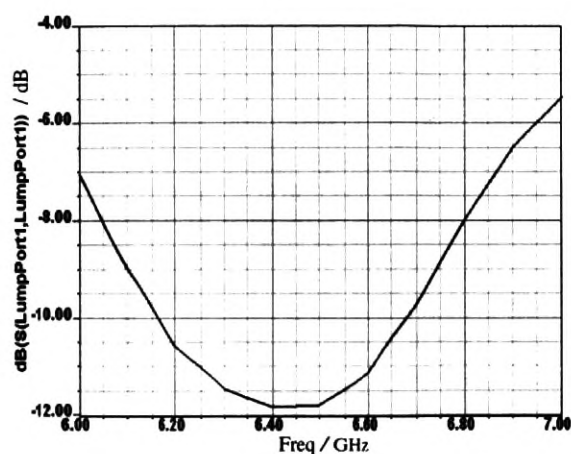


图3 回波损耗随频率变化图

对频带宽度 (S 参数小于 -10 dB) 约 0.52 GHz, 相对频带宽度为 8.06%。

图 4 为驻波比与频率的相对变化关系图。驻波比是衡量天线性能的重要参数。从图中可以看出驻波比在频率为

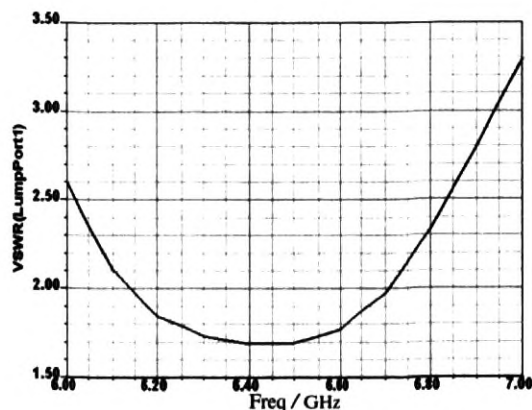


图4 驻波比随频率变化图

6.45GHz 的波谷处的极值约为 1.7。频带范围与 S 参数基本一致。该天线最大增益为 7.1dB, 整体来看天线的性能较好, 但仍有待加强。

3 尺寸优化

3.1 优化约束及目标

缝隙耦合贴片天线的主体结构为两层介质, 天线的性能和结构的一些关键尺寸是密切相关的。例如, 上层介质板的媒介参数影响天线的阻抗带宽, 频带愈宽则要求介电常数愈低而厚度愈厚, 但厚度的增加会减弱贴片和缝隙之间的耦合作用, 因此结构的尺寸需综合考虑。

在结构外形基本确定的前提下, 缝隙的尺寸是缝隙耦合天线的重要的尺寸, 直接影响着谐振频率和谐振电阻。本文以缝隙的长和宽为设计变量, 以提高天线的带宽为优化目标, 运用 HFSS 软件的参数分析和优化功能对天线开展了尺寸优化工作。缝隙仍位于贴片的正下方, x 方向和 y 方向尺寸的变化范围分别为 $1.7\text{mm} \leq W \leq 2.3\text{mm}$ 和 $11\text{mm} \leq L \leq 20\text{mm}$ 。

3.2 优化结果

图 5 给出了工作频率为 6.45GHz 时驻波比随缝隙尺寸的变化。由图可见, W 对驻波比影响很小, 这是由于 W 的尺寸变化范围较小, 驻波比相对 W 小范围内的变化不敏感。随着 L 的值增大, 驻波比的值变化较明显。当 L 小于 17mm 时, 随着 L 增大驻波比迅速由 3 减小到 1.3 左右。当 L 大于 17mm 时, 驻波比的值变化很小。当 $W=1.9\text{mm}$ 且 $L=19\text{mm}$ 时驻波比达到最小值 1.265。表明在相应的尺寸修改范围内, 这一组尺寸达到最优解。

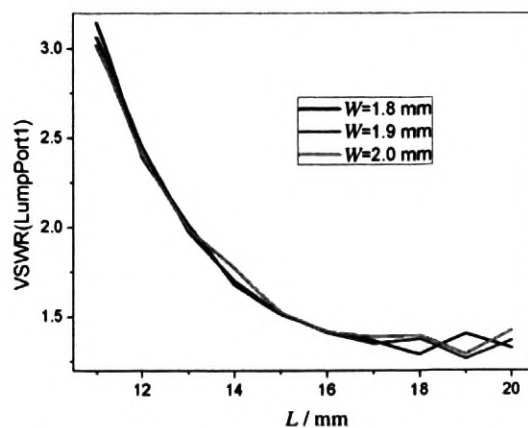


图5 6.45GHz 时驻波比随缝隙尺寸的变化图

图 6 和图 7 分别为优化后 S11 和驻波比随频率的变化关系。可见优化后中心频率为 6.4GHz, 相对优化前变化很小, 表现较稳定。回波损耗的极小值约为 -19dB, 较优化前有较大提升。绝对带宽和相对带宽分别为 0.85GHz 和 13.3%, 较优化前亦有较大提升。同样, 驻波比的带宽得到了一致的提升, 且最小值降至 1.25dB。同时, 天线的最

(下转第 190 页)

时，关闭锅炉的排污阀、排空阀及所有可以关闭的阀门，让锅炉自然冷却，直到下次开炉为止。

5 结束语

锅炉的停炉保养，主要是为了防止腐蚀，延长锅炉的使用寿命。而锅炉水侧的腐蚀，一般是发生电化腐蚀。产生电化腐蚀的原因，主要是因为锅炉内存在有水蒸汽和氧气。当锅炉内的水蒸汽和氧气的含量较少（低于 0.03mg/L）时，电化腐蚀就会自然停止。笔者根据以上的方法，该医院两台锅炉换管后进行保养，经过了一年多的时间，在近期对锅炉进行内外部检验时，发现保养的效果十分理想，同时，司炉工操作也十分方便、简单。但是，如果锅炉内有水垢（如老水垢或者硅酸盐等难溶解水垢）的情况下，在第一次采用这种保养方法时，在锅炉经保养后开炉

前，一定要打开锅炉的人孔和手孔等，彻底清除锅炉内脱落的水垢，以防止堵塞锅炉排污管。

参考文献：

[1] 质技监局锅发〔1999〕202号. 锅炉定期检验规则 [S].
[2] 天华化工机械及自动化研究设计院. 腐蚀与防护手册 [M]. 北京：化学工业出版社，2009.
[3] GB1576-85. 低压锅炉水质标准 [S].
[4] 马昌华. 锅炉事故防范与安全运行 [M]. 北京：地震出版社，2000.

作者简介：刘明锋，男，1982 年生，广东江门人，大学本科，助理工程师。研究领域：锅炉和压力容器等承压类特种设备检验。

(编辑：王智圣)

~~~~~  
(上接第 39 页)

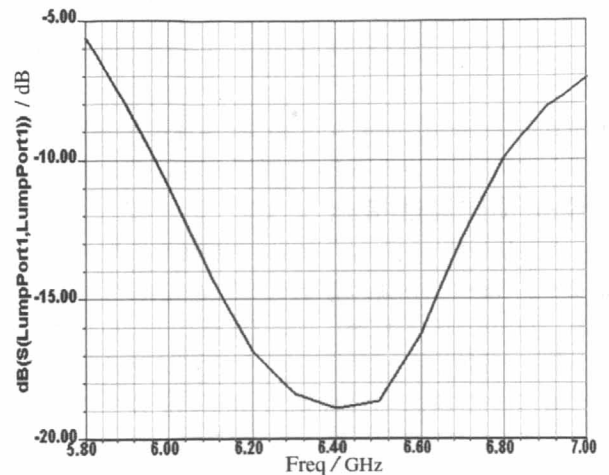


图 6 优化后回波损耗随频率变化图

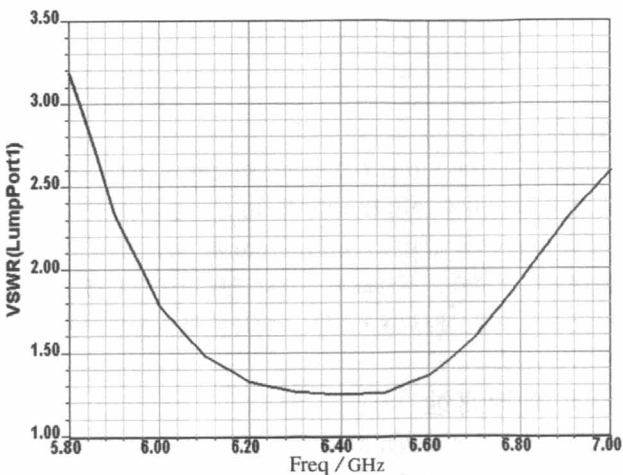


图 7 优化后驻波比随频率变化图

大增益上升到 7.65dB。如表 1 所示。上述结果表明优化后天线的性能提高较大，且缝隙的尺寸对缝隙耦合天线的性能影响明显。

表 1 优化前后天线参数对比

|     | 中心频率<br>/ GHz | 回波损耗<br>最小值 /dB | 驻波比<br>最小值 /dB | 频带宽度<br>/ GHz | 最大增益<br>/ dB |
|-----|---------------|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| 优化前 | 6.45          | -11.8           | 1.7            | 0.52          | 7.1          |
| 优化后 | 6.4           | -19             | 1.25           | 0.85          | 7.65         |

4 结语

利用 HFSS 建立了天线的物理模型，求解得到了回波损耗曲线、电压驻波比曲线等结果。将缝隙的长和宽尺寸作为设计变量，利用 HFSS 软件的分析参数和优化分析功能调整了缝隙的尺寸，使得天线的性能有所提高。HFSS

软件的优化功能可缩短工程师设计天线的周期，对天线的细化设计起指导作用，该方法的运用具有一定的工程实际价值。

参考文献：

[1] 柴雯雯，张晓娟. 新型宽带 U 形缝隙贴片天线阵 [J]. 电子与信息学报，2008，30 (3)：756-758.  
[2] 张辉. 基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线 [J]. 电子与信息学报，2007，29 (4)：991-993.  
[3] 汪伟，钟顺时，梁仙灵. X 形微带缝隙天线 [J]. 上海大学学报，2005，11 (1)：1-3.  
[4] 张均，刘克诚. 微带天线理论与工程 [M]. 北京：国防工业出版社，1988.

第一作者简介：石卫卫，男，1978 年生，山西曲沃人，硕士，工程师。研究领域：机械制造及自动化。已发表论文 2 篇。

(编辑：吴智恒)

## 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](http://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](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>