

# 基于 HFSS 的 915 MHz 微带天线设计与仿真验证

吴志雄, 王 洪

(福建信息职业技术学院 科研处,福建 福州 350003)

**[摘要]** 以计算机电磁模拟仿真软件 HFSS 为平台,以 915MHz 矩形微带贴片天线为例,介绍天线工程设计与仿真验证的过程。文中采用经典的传输线理论估算设计参数,并在计算机上建模与验证,根据仿真结果优化调整设计参数,使所设计的天线在给定条件下达到可实现的最佳性能指标。

**[关键词]** HFSS 软件;微带天线;天线设计;电磁模拟仿真

**[中图分类号]** TN817 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1008-4657(2010)07-0005-04

印制天线是采用印刷电路制造工艺构建的,而微带贴片是印制天线最普遍的形式<sup>[1]</sup>。微带天线概念最早在 1953 年提出,但直到上世纪七十年代随着微波技术的进步才逐步发展起来<sup>[2]</sup>,之后由于其在结构和制造上的优势迅速成为天线领域的重要研究方向,并在实际系统中得到广泛的研究和应用。

计算电磁学(CEM)被广泛地定义为一门内在和常规地应用数字计算机来获得电磁问题的数值结果的学科<sup>[1]</sup>。得益于现代电子计算机的高速运算性能,在解决类似天线辐射等复杂电磁场问题时,可以利用计算机来快速计算和分析结果。计算电磁学有很多分类,本文所讨论的三维电磁场仿真软件 HFSS 是基于有限元分析方法(FEM),其基于数值分析方法中的频域微分方程技术,适合于研究天线等电磁波空间散射类问题<sup>[3]</sup>。该软件具有较高的仿真精度和可靠性,成为目前国际上解决天线应用分析与工程设计问题的主流。

本文以计算机电磁模拟仿真软件 HFSS 为平台,以 915 MHz 矩形微带贴片天线为例,介绍天线工程设计与仿真验证的过程。

## 1 理论计算

考虑到便于在实际应用系统中调整和实现,本例讨论结构最简单、最易实现且成本最低的矩形半波微带辐射贴片,设计谐振频率 915 MHz、线极化、微带侧边馈电方式。辐射元典型增益在 3 dB 左右,阻抗匹配良好,要求有尽量小的体积尺寸。主要设计性能指标包括:工作频率点辐射主瓣宽度  $\theta_{3\text{dB}} \approx 90^\circ$  (包括 E 面和 H 面);回波损耗  $S11 \leq -14 \text{ dB}$  ( $\text{VSWR} \leq 1.5$ );最大方向增益  $G \approx 3 \text{ dB}$  (辐射效率  $\eta \approx 0.5$ );系统带宽  $B_r \approx 1.5\%$  (以工程标准  $S11 \leq -14 \text{ dB}$  为参考);天线主平面尺寸  $\leq 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  等。

根据天线谐振中心频率,算得自由空间波长  $\lambda_0 = 327.87 \text{ mm}$ 。经综合考虑多方面因素,选择介电常数  $\epsilon_r = 4.4$ ,厚度  $h = 5 \text{ mm}$  的介质基板材料。根据经典传输线理论<sup>[4-5]</sup>,计算矩形辐射元宽度尺寸为

$$W = \frac{c}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} = 99.8 \text{ (mm)}$$

介质有效介电常数为

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} = 4.04$$

[收稿日期] 2010-05-08

[基金项目] 福建省教育厅科技基金资助项目(项目编号:JA09225)。

[作者简介] 吴志雄(1965-),男,福建福安人,福建信息职业技术学院副教授。研究方向:信号采集与处理、计算机仿真。

算得介质内波长 163.12 mm, 矩形辐射元长度边缘延伸量  $\Delta l$  为

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} = 2.3 \text{ (mm)}$$

辐射元长度为

$$L = \frac{\lambda_g}{2} - 2\Delta l = 77 \text{ (mm)}$$

介质基板宽度取

$$W_s = W + 0.2\lambda_g = 132.4 \text{ (mm)}$$

介质基板长度则根据匹配馈线长度来确定。

谐振矩形贴片边缘的典型输入阻抗范围为 100 ~ 400  $\Omega$ , 半波贴片谐振时电抗为零, 边馈输入阻抗可用如下公式来近似计算得

$$Z_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 = 287.6 \text{ (\Omega)}$$

本文采用微带传输线四分之一波长匹配的方式来实现微带侧边缘馈电, 该四分之一波长变换器的特性阻抗为  $Z_0' = \sqrt{Z_{in}Z_0} = 120 \text{ (\Omega)}$ 。一般而言, 微带传输线的特性阻抗随微带宽度的增加而降低, 其尺寸可通过专用的工程设计软件计算得到。

本文使用 ADS 软件的微带线计算工具 LineCal 计算微带馈线尺寸, 当特性阻抗  $Z_0 = 50 \text{ (\Omega)}$  时, 微带馈线宽  $W_f = 9.56 \text{ (mm)}$ , 长  $L_f = 44.5 \text{ (mm)}$ ; 当特性阻抗  $Z_0' = 120 \text{ (\Omega)}$  时, 作为阻抗匹配变换器的微带传输线宽  $W_p = 1.24 \text{ (mm)}$ , 长  $L_p = 47.5 \text{ (mm)}$ 。

## 2 仿真优化

利用 HFSS 软件提供的变量定义功能(如表 1), 可实现快速参数建模及优化调整。天线的基本参数均已在上述理论计算中得到。

表 1 天线变量定义说明表(主要部分)

参数名称	变量名称	定义值
介质基板厚度	Substrate_High	5 mm
贴片辐射元宽度	Patch_Width	99.8 mm
贴片辐射元长度	Patch_Length	77 mm
介质内波长	$\lambda_g$	163 mm
介质基板宽度	Substrate_Width	$Patch_Width + \lambda_g/5$
介质基板长度	Substrate_Length	$Line\_Length + RLine\_Length + Patch\_Length + \lambda_g/10$
吸收边界宽度	Air_Width	$Substrate\_Width + \lambda_{max}/5$
吸收边界长度	Air_Length	$Substrate\_Length + \lambda_{max}/5$
吸收边界高度	Air_High	$Substrate\_High + \lambda_{max}/10 + \lambda_{max}/4$

通过软件提供的基本结构模型与逻辑代数命令可以快速实现建模, 模型主体建立后, 还要分别对两种馈电结构进行建模, 并设置环境边界与激励源。完成建模的模型如图 1 所示。

HFSS 软件采用自适应迭代算法, 用最大求解迭代差  $\Delta S$  来控制求解精度。根据初步仿真结果, 天线的谐振频率存在偏移(见图 2), 阻抗匹配也不理想, 这是由于传输线理论本身的缺陷造成, 因此需要进一步优化设计参数。

由于微带边馈结构可以不用考虑馈电点位置对谐振频率的影响, 选择对贴片辐射元长度进行单一参数优化, 根据仿真结果直接找最佳值。则当贴片辐射元长度取值 74.1 mm 时, 天线谐振中心频率调整在 915 MHz 附近, 但  $S_{11}$  参数等性能指标还没有达到 -14 dB 的要求。

经过再次参数扫描优化, 当匹配变换段线宽为 3.7 mm 时, 实现良好阻抗匹配,  $S_{11}$  参数值满足设计

指标要求。若进一步考虑引入阻抗匹配馈线对天线谐振频率的影响<sup>[6]</sup>，根据之前已仿真的结果，将贴片辐射元长度调整为 74.2 mm 时，天线在 915 MHz 频段表现出最佳的性能，如图 3、图 4 所示。

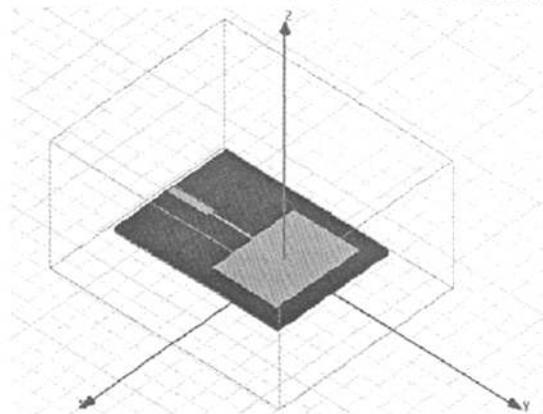


图 1 侧边馈电矩形微带贴片天线模型

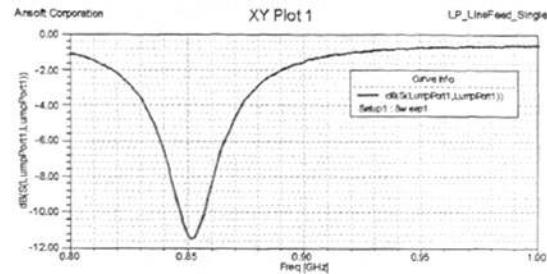


图 2 天线模型仿真结果 1( $S_{11}$ )

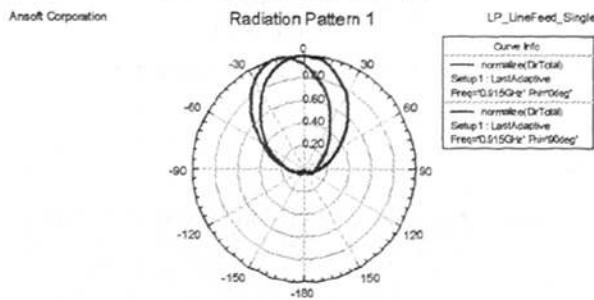


图 3 天线模型仿真结果(Directivity)

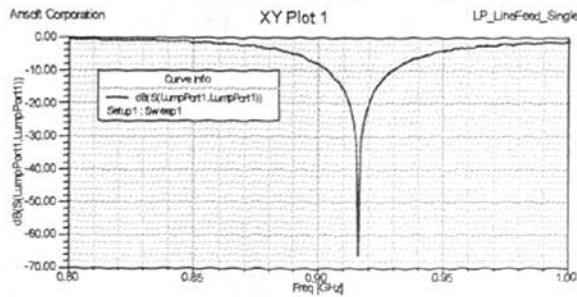


图 4 天线模型仿真结果 2( $S_{11}$ )

### 3 结论

从上述仿真结果可知,选择介电常数 4.4、厚度 5 mm 的介质基板材料,贴片辐射元尺寸为 99.8 mm  $\times$  74.2 mm,四分之一波长阻抗匹配变换器尺寸为 47.3 mm  $\times$  3.7 mm 时,天线中心谐振频率在 915 MHz 附近,工作频率点辐射主瓣 E 面波瓣宽度  $\theta_{3\text{dB}} = 84^\circ$ , H 面波瓣宽度  $\theta_{3\text{dB}} = 97^\circ$ ,天线增益 Gain = 3.25 (dB)(辐射效率  $\eta = 0.5$ ),回波损耗  $S_{11} = -31.77$  (dB) (VSWR = 1.05),阻抗匹配良好,系统带宽  $B_f = 1.5\%$  (以  $S_{11} \leq -14$  dB 标准为参考),天线主平面尺寸 18.2 cm  $\times$  13.2 cm,天线各项设计指标达到预定的工程设计要求。

本文所讨论的采用软件仿真验证与优化的方式相比传统实物制作并测试的方式,极大地缩减了现代天线从设计到调整实现所需的时间和成本,在工程设计上将有着广泛的应用。

#### 【参考文献】

- [1] Stutzman Warren L, Thiele Gary A. Antenna Theory and Design (Second Edition) [M]. Beijing: POST & TELECOM PRESS, 2006.
- [2] Bahl I J, Bhartia P. 微带天线 [M]. 北京: 电子出版社, 1984.
- [3] 谢拥军, 刘莹, 李磊. HFSS 原理与工程应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [4] 张均, 刘克诚, 张贤铎. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [5] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [6] 宋旭亮. 矩形微带天线设计与阻抗匹配网络 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008.

【责任编辑:刘长青】

#### Simulation and Verification of 915 MHz Microstrip Antenna Design Based on HFSS

WU Zhi-xiong, WANG Hong

(Fujian Polytechnic of Information Technology, Fuzhou, Fujian, 350003, China)

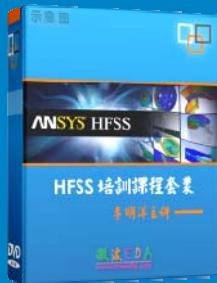
**Abstract:** This paper introduces the processes of engineering design and simulation verification of the rectangle microstrip patch antenna working in 915 MHz Frequency by using the computer electromagnetic simulation software HFSS. The authors first estimate the designing parameters through the classical transmission line theory, and then follow the steps of modeling and simulation on the software. Finally, get best results for the designing by optimal adjustment, while the antenna achieves its best performance indexes in the condition given out before.

**Key words:** HFSS; microstrip antenna; antenna design; electromagnetic 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](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](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>