

# 飞机测高天线的设计

张峰 于海龙

(西安电子科技大学机电工程学院, 西安 710071)

**摘要** 文章研究了微带天线的设计, 论述了其结构及应用, 介绍了设计流程和要求, 并利用 HFSS 设计了一个用于飞机测高的天线, 中心频率在 444MHz。仿真结果表明, 所设计的微带天线有较好的辐射特性, 满足设计要求。

**关键词** 微带天线 HFSS10 天线分析 阻抗匹配

## 0 引言

近 20 年来, 随着微带理论的发展, 微带天线的应用日益广泛, 现在已广泛用于 100MHz ~ 50GHz 的无线电设备中。它体积小、质量轻、低剖面, 能与载体(如飞行器)共形, 并且除了在馈电点处要开出引线孔外, 不破坏载体的机械结构, 这对于高速飞行器特别有利。文章针对飞机测高天线的要求<sup>[1]</sup>, 设计了一个中心频率为 444MHz 的矩形微带天线, 利用 Ansoft HFSS10 进行天线的设计、仿真和优化, 使天线的驻波比、输入阻抗、增益及方向图等均满足系统工作要求。

## 1 微带贴片天线的分析

微带天线是由一层或多层厚度远小于波长的介

质层和粘贴在其上下两面的金属接地板和辐射元构成。辐射元的形状可以是方形、矩形、圆形等。矩形微带天线的形状如图 1(a)所示, 分析这种天线有各种方法, 包括较严格的解法和比较简单的方法<sup>[1]</sup>。Munson<sup>[2]</sup> 和 Demeryd<sup>[3]</sup> 的传输线模型可得出适合大多数工程应用的结果。传输线法的基本假设是: (1) 微带片和接地板构成一段微带传输线, 传输准 TEM 波, 波的传输方向决定于馈电点。线段长度  $L = \lambda_m/2$ ,  $\lambda_m$  为准 TEM 波的波长。场在传输方向是驻波分布, 而在其垂直方向是常数。(2) 传输线的两个开口端(始端和末端)等效为两个辐射缝, 长为  $W$ , 宽为  $h$ , 缝口径场即为传输线开口端场强。缝平面看作位于微带片两端的延伸面上, 即是将开口面向上折转 90°, 而开口场强随之折转。在此假设条件下, 矩形微带天线可看成是相距二分之一波长同相激励并向地板以上半空间辐射的二元缝隙阵列, 辐射场如图 1(b)所示。

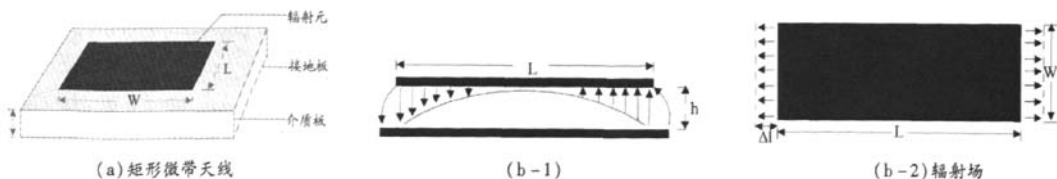


图 1 矩形微带天线结构及辐射场

收稿日期:2009-02-18; 修回日期:2009-05-04

## 2 贴片天线结构和设计要求

微带贴片天线如图1(a)所示,其与设计有关的参量包括:辐射元长度 $L$ ,辐射元宽度 $W$ ,介质板厚度 $h$ ,介质板的长度 $LG$ 和宽度 $WG$ 等<sup>[4]</sup>。对矩形贴片微带天线的设计要求,总的来说就是要满足使用部门提出的技术指标。宽度 $W$ 影响辐射电阻、输入阻抗以及方向函数,从而影响频带宽度和辐射效率。

频带宽度(MHz) =  $5.04f^2h$ ,  $f$ 以GHz为单位,  $h$ 以mm为单位。

$W$ 尺寸大于下式给出的值时将产生高次模,而引起场的畸变<sup>[5,6]</sup>:

$$W_c = \frac{c}{2f_r} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{-1/2} \quad W < W_c, W_c \text{ 指临界宽度} \quad (1)$$

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

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-1/2} \quad (3)$$

式中, $c$ 是光速; $f_r$ 是矩形微带天线的工作频率; $\epsilon_r$ 为相对介电常数; $\epsilon_e$ 为有效介电常数; $\lambda_g$ 为介质内波长; $\Delta l$ 是边缘效应产生的扩展长度<sup>[7]</sup>。

## 3 馈电方式的确定及阻抗匹配

矩形微带天线的馈电方式基本上分为侧馈和背馈两种。当工作在相同频率时侧馈所需的面积大于背馈。由于飞机测高天线的面积大小主要由辐射元面积决定,所以在设计中采用背馈。用实验的方法,通过调整馈电点的位置,使输入电阻与 $50 \Omega$ 馈电系统相匹配。对设计成形的天线也可以通过单独设计匹配网络实现匹配<sup>[8]</sup>。

## 4 HFSS 对天线的仿真与分析

用电磁仿真软件 Ansoft HFSS10 对天线进行仿真。HFSS 是一个用于任意三维无源器件的高性能全波电磁场仿真器,它基于有限元法,自适应网格划分和出色的图形界面,可方便地计算S参数、谐振频率和场。

这里设计的飞机测高微带天线采用介电常数 $\epsilon_r = 4.2$ 的树脂,其厚度 $h = 2.5 \text{ mm}$ , $f_r = 444 \text{ MHz}$ 。设计中所使用的计算公式都是经验公式,利用 HFSS 经过多次优化。当调整贴片宽度 $W = 208.4 \text{ mm}$ , $L = 159.2 \text{ mm}$ 时,性能最佳,符合设计要求。飞机测高天线的模型如图2所示。

从天线的仿真结果中可得,输入反射系数在 $444 \text{ MHz}$ 时为 $-15.85 \text{ dB}$ ,满足反射系数小于 $-17 \text{ dB}$ 的要求,如图3所示。输入阻抗实部为 $36.6$ ,虚部为 $2.18$ ,如图4所示,与 $50 \Omega$ 馈电系统并不严格匹配,但在实际应用中已经满足了要求。设计中要求VSWR小于 $2.5$ ,由图5可知,在谐振点处驻波比为 $1.38$ ,完全符合要求。从天线的三维辐射方向图中

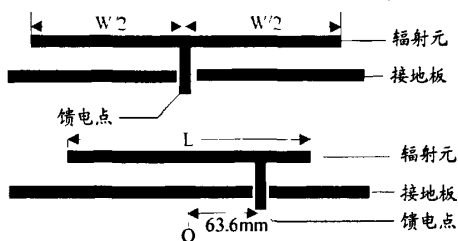


图2 测高矩形微带天线模型

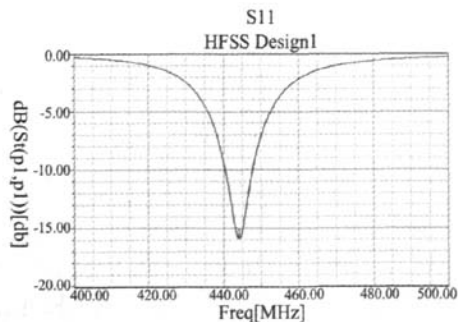


图3 输入反射系数

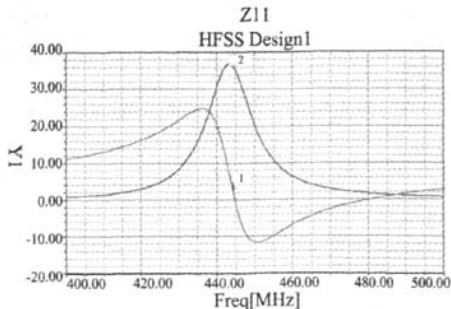


图4 输入阻抗

可以看出,在 $z$ 轴方向上,辐射性良好,如图6、图7所示。

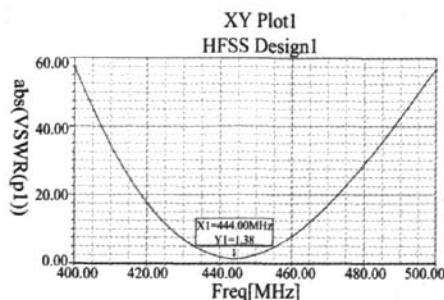


图5 电压驻波比 VSWR

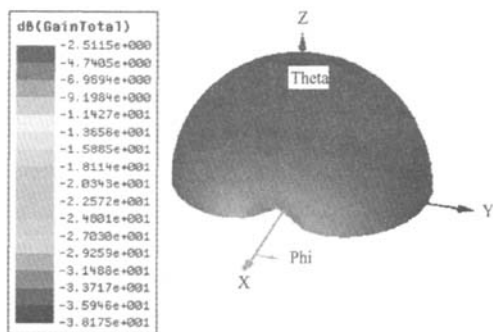


图6 辐射方向图

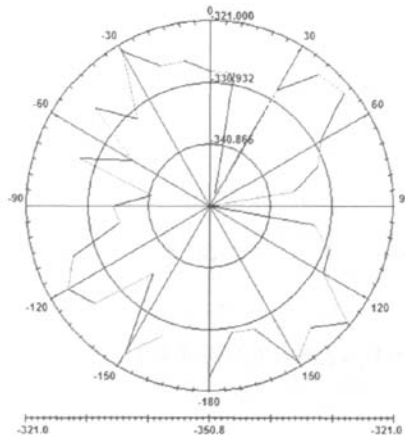
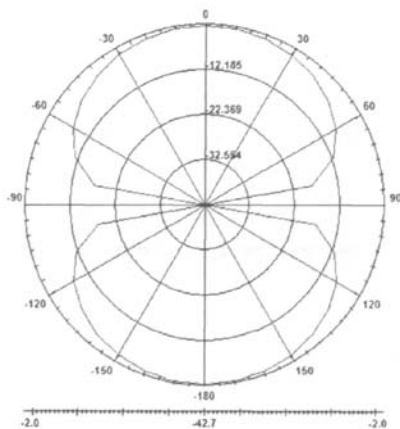


图7 E面和H面方向图

## 5 结语

就仿真计算来说,Ansoft公司的HFSS作为一款商业软件,是比较高效可靠的三维任意结构电磁场仿真软件。它的仿真结果表明文章所设计的飞机测高天线各方面指标基本符合设计要求。

### 参考文献

- [1] 鲍尔 I J, 布哈蒂亚 P, 著. 微带天线[M]. 梁联倬, 寇廷耀, 译. 北京: 电子工业出版社, 1985
- [2] Munson R E. Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-22, 1974
- [3] Demeryd A G. Microstrip array antenna[C]. Proc. 6th European Microwave Conference, 1976

- [4] 张钧, 刘克诚, 张贤峰. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [5] Bahl I J and Bhartia P. Microstrip antennas[M]. Artech House, 1980
- [6] Schroeder K G. Miniature slotted clinder antennas[J]. Microwaves, Vol.3. Dec. 1964
- [7] Chang Kai. RF and microwave wireless systems[M]. John Wiley & Sons, Inc., 2000
- [8] 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(1)

### 作者简介

张峰 1983年生, 硕士。主要从事射频识别系统的研究。

于海龙 1982年生, 硕士。主要从事检测技术及自动化研究。

## Design of Airplane Antenna for Measuring Height

Zhang Feng Yu Hailong

(Mechanical-Electronic Engineering Institute of Xi'dian university, Xi'an 710071, China)

**Abstract** The design of microstrip antenna is studied, and structures and applications of these Antennas is discussed. The designing procedure and requirement is introduced. An antenna used in measuring height in airplane is designed by using HFSS with the resonance frequency of 444MHz. The simulation shows that the designed antenna has better radiating characters and can satisfied for the requirements.

**Key words** Microstrip antenna Antenna analyse Impedance matching

(上接第 54 页)

- [5] Kawanishi T, Kuroiwa H, Kojima M, et al. TRMM precipitation radar[J]. In Adv. Space Res., 2000, Vol. 25:969~972
- [6] 杨维廉. 月球遥感卫星轨道初步分析[J]. 航天器工程. 2006, 15(1): 5~8
- [7] 刘林. 关于大行星(或月球)轨道器的冻结轨道[J]. 飞行器测控学报. 2003, 22(2): 19~24
- [8] Kobayashi S and Iguchi T. Variable pulse repetition frequency for the Global Precipitation Measurement Project (GPM)[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 41, No. 7: 1714~1718, July 2003

[9] 李济生. 航天器轨道确定[M]. 北京:国防工业出版社, 2003: 48~50

[10] Kozu T, Kawanishi T, Oshimura K. et al. TRMM precipitation radar: calibration and data collection Strategies[C]. Proc. IGARSS Symp., Vol. IV, 1994: 2215~2217

### 作者简介

明文华 1975 年生, 硕士。主要从事雷达系统工程研究。

## An Analysis on the PRF Design for Space-borne Precipitation Radar

Ming Wenhua

(No. 38 Research Institute, CETC, Hefei 230031, China)

**Abstract** In this paper, the requirements and restrictions of PRF design for SPR(Space-borne Precipitation Radar) are discussed. Several PRF design schemes on the GPM KuPR system parameters are researched on the basis of analysis for these restrictions. Finally, simulations have shown that a variable PRF design technology is proved to fully satisfy the system requirements and multiple pulse integrations are obtained.

**Key words** Space-borne Precipitation Radar PRF design

## 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](http://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](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>