

基于 GEMS 对 Ku 波段螺旋阵列天线的设计优化

彭 桦¹, 吴玉成¹, 于 壶², 杨建航³

(1. 重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044;
2. 中海油信息科技有限公司, 广东 深圳 518067;
3. 中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘要: 详细阐述平面螺旋天线阵列, 利用其具有效率高、旁瓣低和受环境等影响小等优点改善其整体性能。选择小螺旋作为 Ku 波段的螺旋阵列天线的辐射阵元, 利用基于 FDTD 算法的 GEMS 软件仿真, 调节螺旋参数满足天线设计指标, 借助仿真结果确定天线阵列的几何参数, 并对其进行测试。通过调试得到优化的结果, 基于仿真结果与实测结果进行分析加工和重设计, 以组成更大的天线阵列, 满足实际需要。

关键词: 螺旋阵列; Ku 波段; FDTD; GEMS

中图分类号: TN828.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-3114(2012)02-38-3

Optimized Design of Ku-band Helical Array Antenna Based on GEMS

PENG Hua¹, WU Yu-cheng¹, YU Xi², YANG Jian-hang³

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. CNOOC Information Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518067, China;
3. College of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: This article elaborates on the array of planar spiral antenna, which improves overall system performance due to its high efficiency, low sidelobe and capability of less susceptible to environmental impacts. Our approach uses the small spiral as the Ku-band helical array antenna radiation array element. GEMS simulation is based on FDTD algorithm. Spiral antenna parameters are adjusted to meet the design target. Simulation results can help to determine geometry parameters of the antenna array and test it. With debugged and optimized results, the paper analyzes and re-designs the simulation results and experimental results to form a larger antenna array and meet actual needs.

Key words: helical array antenna; FDTD; GEMS; Ku-band

0 引言

Ku 波段(12 GHz)卫星电视广播是 1977 年世界无线电行政会议(WARC)推荐优先使用的波段, 由于 Ku 波段的工作频率比 C 波段要高 3 倍, 全向等效辐射功率(EIRP)比 C 波段要大 20 dB 左右, 因而使得 Ku 波段卫星电视广播的优越性更加突出, 特别是近年来我国直播卫星的快速发展, 对于 Ku 波段卫星接收天线技术指标提出了一些新的要求。

用于衡量卫星电视直播接收的天线的性能指标主要是定向性、高效率及抗雨衰。该文利用平面结构天线的优点改善其整体性能。通过在基于 FDTD 算法的电磁仿真软件 GEMS 环境下的测试仿真, 借助仿真确定天线阵列的几何参数, 并根据仿真结果与实测结果进行分析加工和重设计, 优化天线阵

设计以组成更大的天线阵列。

1 天线的设计仿真及优化

在信息传播应用技术高速发展的今天, 使用传统的实物制作测试再校正的方式已渐渐无法适应现代天线工程设计的需求。借助计算机辅助设计软件, 利用数值计算分析方法进行天线的模拟仿真验证, 正逐步成为目前天线工程领域所广泛采用的方式, 极大地缩减了从设计到实现所需的时间和成本^[1]。当前电磁学领域使用较多的方法主要有基于频域的计算方法和基于时域的计算方法, 当前, 发展最快、关注最多的当数时域有限差分方法(FDTD), FDTD 算法及其主要公式见参考文献^[2]。

该文深入研究了螺旋天线阵列理论, 利用并行 FDTD 软件 GEMS 对工作于 Ku 波段的螺旋天线阵列进行设计优化并实物制作。利用 GEMS 进行仿真时, 采用完全匹配层作为吸收边界条件, 完全匹配的层数为 10, 网格化分 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.15$ mm, 比率设置

收稿日期: 2012-01-05

作者简介: 彭 桦(1987—), 女, 硕士研究生。主要研究方向: 现代通信技术与系统, 宽带无线接入。

为 1.05, 以满足计算精确度天线仿真均采用形式为: $E_i(t) = \exp\left(-\frac{(t-t_0)^2}{T^2}\right)$ 的高斯脉冲作为激励信号, 改变高斯脉冲的宽度可以得到所需的频谱分量, 仿真中设置脉冲为 13 GHz。

1.1 天线结构设计

通常, Ku 波段螺旋阵列天线的设计的总目标是在指定的工作频率上得到特定的工作特性。为使 Ku 波段螺旋阵列天线达到这个总目标, 首先是选择合适贴片的几何形状。在没有特殊要求的情况下, 首选矩形贴片, 这是因为 Ku 波段螺旋阵列天线的设计不仅设计简单, 制造工艺也不复杂, 并且还有一系列比较成熟的理论作为研究依据^[3]。采用的天线结构圈数 $N = 2$, 螺距角为 4° ^[4,5]。螺旋为右旋螺旋, 螺旋线周长 $C = 25 \text{ mm} = 1\lambda$; 螺旋线轴距 $S = 1.75 \text{ mm}$; 螺旋线导线的直径为 $d = 1 \text{ mm}$ 。螺旋开始处距离金属的距离为 h , 通过调节 h , 可以优化螺旋阵元的圆极化。在确定天线单元形状及尺寸以后, 主要的任务就是将天线组成相应的阵列。

在该设计中将逐渐增大天线阵的阵元数目, 通过阵元数目的增加来提高天线的增益特性^[3]。设计 2 圈螺旋天线阵的示意图如图 1 和图 2 所示。

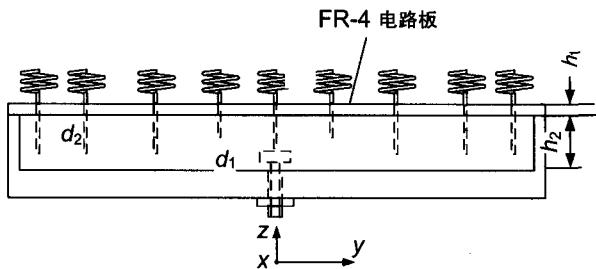


图 1 2 圈螺旋天线阵结构图(侧视)

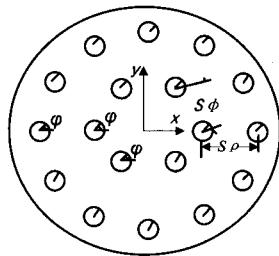


图 2 2 圈螺旋天线阵结构图(俯视)

1.2 天线单元的仿真

在实际仿真开始之前, 需为天线模型新建一个求解设置项目, 用于设定模型的仿真求解参数。由于 HFSS 软件采用自适应迭代算法, 因此有限元求解的精度与计算时间成反比。而所需的计算时间也

与运行软件的计算机的计算能力有很大关系。常规的 Ku 波段直播卫星 (DBS) 接收天线的频带为 11.7 ~ 12.2 GHz, 所以, 其中心频率为 11.95 GHz, 螺旋工作接近 12 GHz, 可以设 $\lambda \approx 25 \text{ mm}$, 螺旋直径 $D = 4 \text{ mm}$, $h = 1 \text{ mm}$ 进行仿真。直径 D 和参数 h 的最终数值, 是通过参考大量仿真得出的^[6], 下面给出几组典型的仿真曲线。

图 3 显示随着螺旋直径的减小, 螺旋轴比曲线最低点向高频率移动, 最小值基本保持不变, 在 1 dB 以下, 证明了螺旋天线能够辐射较好的圆极化波; $D = 7.6 \text{ mm}$ 时, 轴比在 12 GHz 附近取得最小值, 且在 11.7 ~ 12.2 GHz 频段内有获得较好的轴比。图 4 显示 $h > 0.8 \text{ mm}$, 随着 h 的变大, 轴比最小值向低频移动, 低于 12.7 GHz, 且最小值在不断变大, 即螺旋天线辐射电磁波的圆极化纯度在恶化。

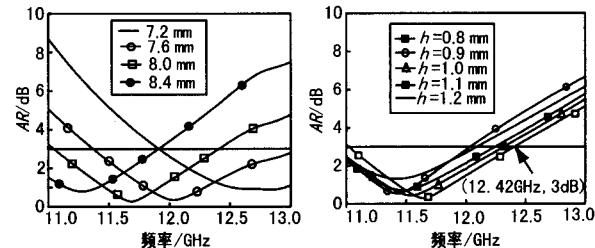


图 3 螺旋直径 D 改变对螺旋阵元轴比(AR)的影响

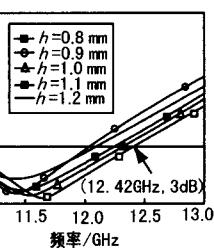


图 4 参数 h 对螺旋阵元轴比(AR)的影响

结合以上结果, 设定螺旋直径 $D = 7.6 \text{ mm}$, $h = 0.8 \text{ mm}$, 对螺旋单元进行仿真。图 5 进一步证明了螺旋直径 $D = 7.6 \text{ mm}$, $h = 0.8 \text{ mm}$ 时, 螺旋单元在最大辐射方向获得良好的圆极化。

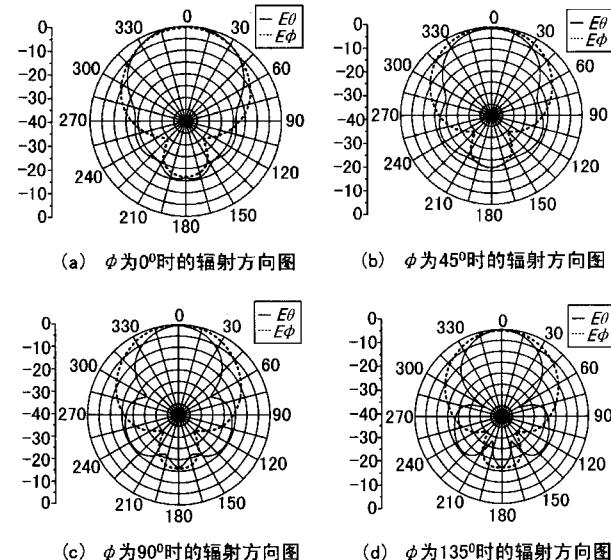


图 5 螺旋单元在 12 GHz 时仿真辐射方向图

图 6 的仿真结果可得到, $D = 7.6 \text{ mm}$, $h = 0.8 \text{ mm}$ 时, 轴比带宽 (AR 小于 3 dB) 为 11.5 ~ 13 GHz。天线单元增益大概在 10 dB 左右, 满足设计的要求。

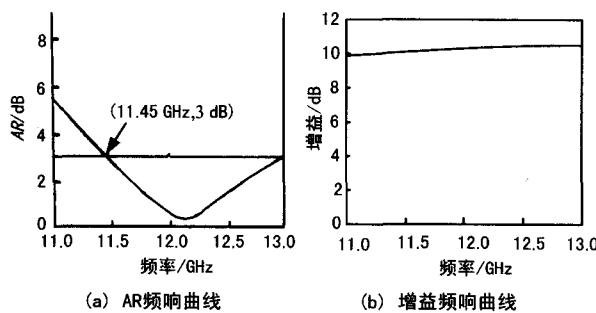


图 6 螺旋阵元轴比 (AR) 频响曲线和增益频响曲线

2 基于仿真的性能测试及结果

2.1 性能测试过程

基于螺旋单元尺寸 $D = 7.6 \text{ mm}$, $h = 0.8 \text{ mm}$, 按照仿真尺寸加工了 7 圈天线阵列, 利用安捷伦 E5071C 网络分析仪, 对实物进行测量。7 圈螺旋阵列天线 (168 个阵元) 的测试结果如图 7、图 8、图 9 和图 10 所示。

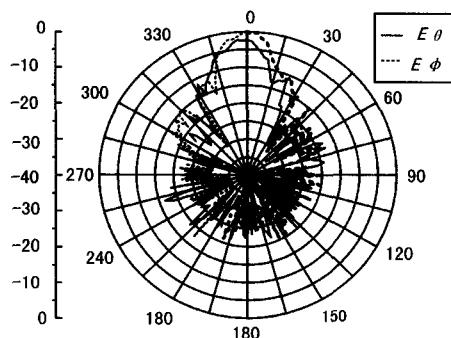


图 7 天线阵在 12 GHz 时 XZO 平面方向图

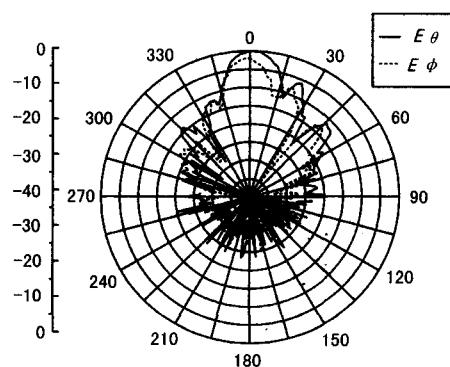


图 8 天线阵在 12 GHz 时 YOZ 平面方向图

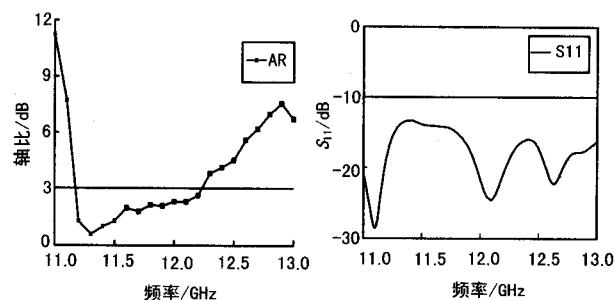


图 9 天线阵的轴比测量

图 10 螺旋阵列回波

损耗实测结果

2.2 实验结果分析

因 Ku 波段频率较高, 这个频段天线尺寸较小, 对加工精度要求较高。天线阵元的测量结果抖动较大, 由天线单元的仿真可知, 0.1 mm 的差距也会使天线的谐振频率造成一定偏移。因此天线工作频带的偏移一方面原因来自于加工精度, 多加注意。

3 结束语

使用 GEMS 对选用的天线单元进行设计、仿真和分析, 通过调试得到了优化的结果。最后由 168 个阵元组成 7 圈螺旋阵列天线, 经过测量后, 发现仿真结果与实测结果有偏差, 并对其做了误差分析, 以分析结果为基础重新设计了天线阵, 经过加工并测试, 结果基本符合设计要求。

参 考 文 献

- [1] 王洪. 电磁仿真软件 HFSS 在天线设计中的应用 [J]. 福建电脑, 2010 (9): 20 ~ 21.
- [2] 葛德彪, 闫玉波. 电磁波时域有限差分方法 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [3] 赵军仓. C 波段微带阵列天线的设计分析 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (6): 780 ~ 785.
- [4] LI Zeng-rui, YANG Jian-hang, GUO Qin-xin, et al. A Low-Profile Helix Array Antenna for DBS [C] // 2011 International Conference on Microwave Technology and Computational Electromagnetics, 2011: 25 ~ 28.
- [5] HONMA T. Extremely Low-Profile Helix Radiating a Circularly Polarized Wave [J]. IEEE Trans. Antenna Propagat., 1991, 39: 754 ~ 757.
- [6] NAKANO H, TAKEDA H, KITAMURA Y, et al. Low-profile Helical Array Antenna Fed from a Radial Waveguide [J]. IEEE Trans. Antenna Propagat., 1992, 40: 279 ~ 284.

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)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)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),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>