

垂尾隐蔽式超短波全向天线的一体化设计

刘芸 孙红兵

(南京电子技术研究所 南京 210016)

摘要:以单极子天线为研究对象,首先对传统单极子天线的工作原理进行了分析,并研究了不同情况对天线性能的影响,然后在此基础上提出了一种新型结构的平面单极子天线,它选用三角形的结构,并采取了加载元件、提升馈电点等技术,有效地减小了平面单极子天线的结构和尺寸,与此同时,有效地实现了天线带宽的展宽,并且在设计中采用了加载技术,实现天线性能的进一步优化。在理论分析的基础上,使用电磁场仿真软件 HFSS 对天线进行了仿真分析,通过参数扫描得到了天线的最佳尺寸,并分析了天线的方向图和增益等特性。然后对 3 种不同情况下的天线进行仿真与分析,分别是无限大地平面、有限大地平面、加入钉子和灯泡的复杂结构后,并优化其参数使其获得最佳的特性。最后根据以上仿真结果,提出了复杂结构垂尾隐蔽式超短波天线的一体化设计的方法。并进行了综合仿真,实现了在 100~400 M 的频段内驻波比小于 2.75。

关键词:平面单极子天线;小型化;宽带化;加载技术;一体化

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 140-35

Yields concealed VHF omnidirectional antenna integrated design

Liu Yun¹ Sun Hongbing²

(Nanjing Institute of Electronic Technology, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper studies monopole antenna and analyzes the principle of traditional monopole antenna and the effects of different scenarios on antenna performance. Then on basis of that a monopole antenna with new structure is proposed, which adopts triangular structure and some methods such as thickened radiator and elevated feed point. The new antenna decreases its dimension and widens its working band. Then loaded antenna is used to improve the properties of the antenna further. Then several antennas are simulated and optimized by HFSS software. The best dimensions are achieved by parameter sweep and characteristics such as radiation pattern and gain are analyzed. Then the antenna three different case simulation and analysis, are infinite ground plane, finite ground plane, , adding nails and the lamp, and its parameters to optimize it for best feature. Finally, the simulation results based on the above, a method of complex integrated structure of the tail concealed ultrashort wave antenna design. And conducted a comprehensive simulation to achieve a standing wave in the 100~400 M band is less than 2.75.

Keywords: planar monopole antenna; miniaturization; broadband; loading technology; integration

1 引言

随着现代电子技术的日益发展,载机系统的功能向着综合化和多样化的方向不断发展和完善,越来越多的通信电子设备安装于机载平台,然而,天线作为机载系统中无线通信的一个重要组成部分,其特性的好坏将直接影响到整个机载通信系统的工作性能,设计出能够满足不同通信系统性能的要求的天线,是目前工程研究中急需解决的问题之一^[1]。本研究具有重要的应用价值和现实意义。

目前,国内在设计 U/V 频段垂尾内埋式天线时,通常采用马刀天线的设计思路,将天线作为独立的个体进行设

计,很少考虑垂尾复杂结构对天线性能的影响。导致天线安装前后性能产生很大的差别。由于国内的保密管理,很难获取型号上的天线具体形式。但是可以了解到,国内基本停留在对天线的独立设计阶段,没有形成一体化的设计思想。因此,进行一体化设计和优化具有研究价值。

为了满足超短波天线在复杂结构垂尾内仍能满足驻波比和不圆度的要求,在设计复杂结构上的天线时,采用一体化的设计理论,从两个方面来提高天线的性能。一个方面是,减少天线附近的金属部件,并将天线在真实垂尾环境下进行仿真设计,在天线在结构和形式上引入新的部件以适应真实的垂尾环境。另一个方面是,充分利用垂尾上的金

属部件,将这些金属部件作为天线辐射体的一部分,使得这些金属部件起到有利于辐射的作用^[2]。

2 3 种不同情况下的天线进行仿真与分析

2.1 无限大的地平面

在 HFSS 仿真中,需要用有限大的边界表面来模拟无限大的地平面,需要设置无限地平面的边界条件。设置无限大地平面边界条件将只影响后处理过程中近区、远区辐射场的计算结果^[2]。

仿真中设置无限大地平面边界条件时,需要满足如下要求:

- 1)无限大地平面需要在可视化设计;
- 2)无限大地平面需要定义在平面上;
- 3)无限大地平面和对称面的设计总数 ≤ 3 个;
- 4)无限大地平面和对称面需要满足垂直。

天线的设计模型如图 1 所示,采用变形的三角单极天线,宽度 300 mm、高度 475 mm、厚度 1.6 mm 的 FR4 基板。采用同轴馈电。

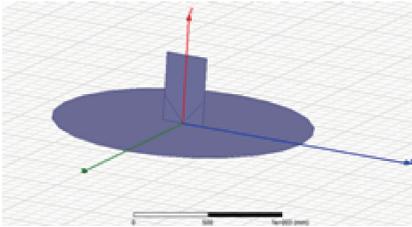


图 1 无限大地平面仿真模型

在天线底部并联一个 $0.15 \mu\text{H}$ 的电感,进行阻抗匹配。如图 2 所示,总体上驻波比小于 3.25,在 220~400 M 频段驻波比小于 2.5,在 100~200 M 的低频段,驻波比略高,在 2.75~3.25。

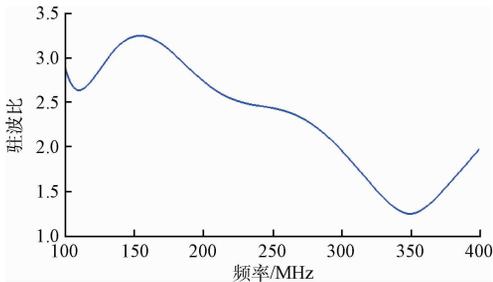


图 2 驻波比图

如图 3 所示,129、130、148、225、325、385 MHz 频点处水平面增益方向图接近于标准圆形,所以无限大地平面情况下,水平增益近似全向性。

2.2 有限的地平面

单极子天线的应用需要在无限大的地平面。单极子和其镜像电流组成对称振子。对称振子在水平面上为全向辐

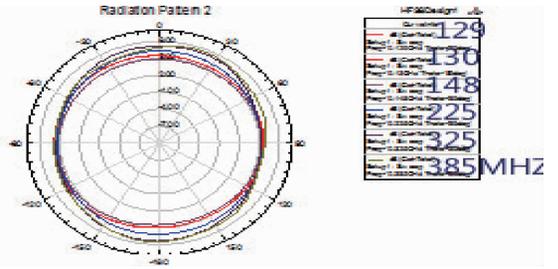


图 3 129、130、148、225、325、385 MHz 频点处水平面的增益方向图

射,在俯仰面上为八字形辐射,水平面的辐射最强。这种辐射特性正好能够满足机载天线的设计要求^[3]。超短波天线安装在飞机垂尾的顶部。碳纤维复合材料的飞机垂尾相当于单极子天线的地。有飞机垂尾所形成的天线地的尺寸小于天线最低工作频率下波长的一半。而单极子天线需要至少 3 个波长的地平面才能正常工作。当地平面较小的时候,电流在地平面的边缘处并没有衰减到 0,将会绕过边缘向地平面的下方流去,如图 4 所示。向下流动的电流自然会参与辐射,这样会使天线的辐射方向图发生畸变,偏离了最初的设计要求。同时也会使天线的输入阻抗发生变化,导致天线回波损耗增加^[4]。

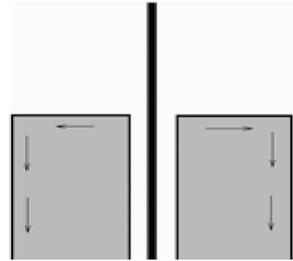


图 4 有限大地面电流分布

如图 5 所示,将无限大地面换成有限的机翼,机翼厚度为 60 mm,高度 2000 mm,上底宽 872 mm,下底宽 1 800 mm。天线材料及其他设置与前述模型相同。

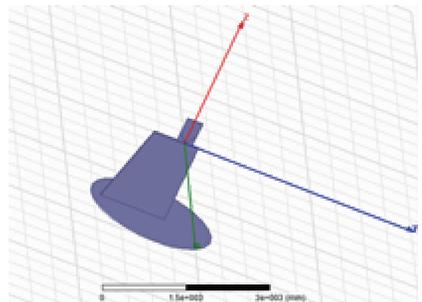


图 5 有限大地平面仿真模型

如图 6 所示,总体上驻波比均小于 3 : 1。其中在

160~260 MHz 频段,驻波比在 2.5~3.1。其他频段均小于 2.5。

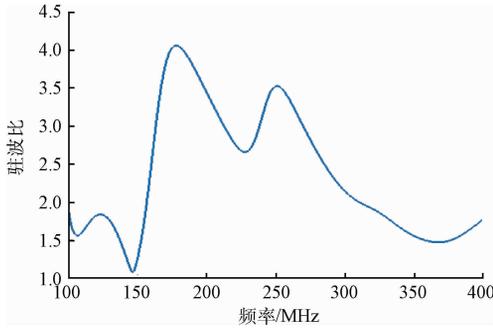


图 6 驻波比图

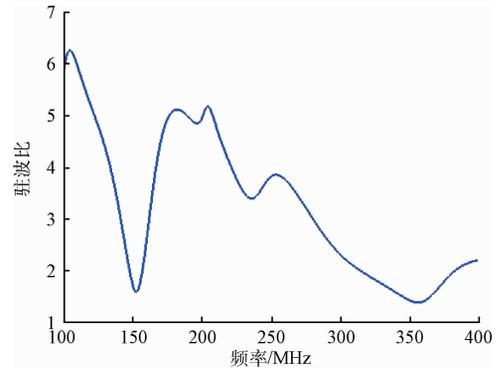


图 9 驻波比图

如图 7 所示,在 129 M 和 130 M 的低频点,水平增益图在上下位置向中间凹陷,近似于蝴蝶形。其他频点近似于圆形。

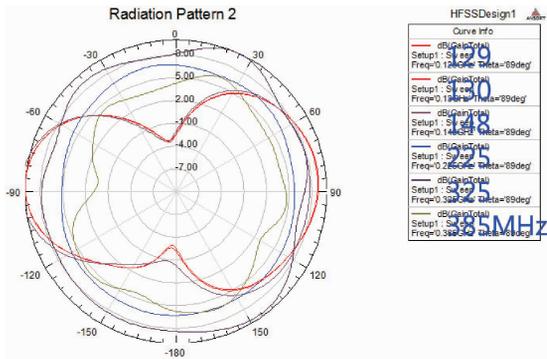


图 7 129、130、148、225、325、385 MHz
频点处水平面的增益方向图

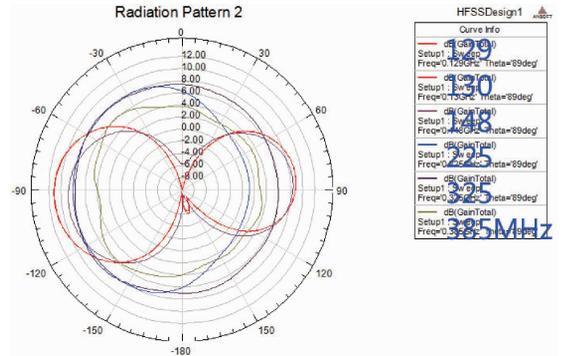


图 10 129、130、148、225、325、385 MHz
频点处水平面的增益方向

2.3 加入钉子灯泡的复杂结构

使用 5 mm 的小圆柱模拟钉子,20 mm 的小圆柱模拟灯泡,加入钉子灯泡复杂结构仿真模型如图 8 所示。

如图 9 所示,驻波比在 100~130 M 的低频段,160~290 M 的频段,在 6.25~2.5。其他频段在 2.5 以下。加入灯泡,驻波比增加,损耗增加。

如图 10 所示,在 129 M、130 M 和 148 M 的频点水平增益近似于横 8 字形,其他频点近似于圆形。在低频段,全向性差。

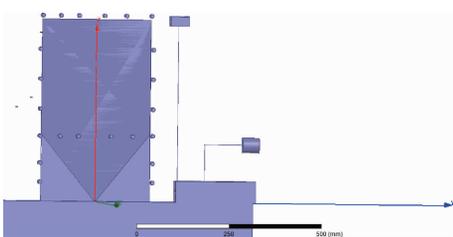


图 8 加入钉子灯泡复杂结构仿真模型

3 结果与讨论

理论上,理想单极子天线需要在无限大的地平面之上进行仿真设计。而对于实际的单极子天线,当地平面的尺寸大于 3 个波长的时候,可近似为无限大的地平面。小的地平面或无地平面可使天线的输入阻抗增加,会导致天线有较大的回波损耗。天线附近的金属会影响天线的场分布,等效为在天线的近区引入电抗元件,同样会改变天线的输入阻抗。在改变天线阻抗的基础上,小的金属相当于引向器,大的金属相当于反射器。这样会改变天线的辐射方向图,导致某些方向上的增益明显降低。

因此在设计复杂结构上的天线时,必须采用一体化的设计理论,从两个方面来提高天线的性能。一个方面是,减少天线附近的金属部件,并将天线在真实垂尾环境下进行仿真设计,在天线在结构和形式上引入新的部件以适应真实的垂尾环境。另一个方面是,充分利用垂尾上的金属部件,将这些金属部件作为天线辐射体的一部分,使得这些金属部件起到有利于辐射的作用。

4 一体化设计

在实际研究中,超短波天线在舰船飞机上的应用已经十分广泛,而本论文进行天线的小型化设计和设计,有利于

提升其隐蔽性、实用性、稳固性,为其在机载方面的应用提供保障,使其能够稳定地满足通信要求。因此天线的小型化设计和研究非常重要^[5]。

理论表明,插入某种元件或者网络在天线的适当位置,可以改变天线中的电流分布情况,从而能够改善天线的电特性,我们把这样的天线们称为加载天线^[5]。理论上,根据天线加载元件的方式不同,可以把天线分成无源加载天线和有源加载天线两大类。而无源加载天线设计的加载元件是电阻或者电抗。设计中接入电阻或电抗元件在天线的适当位置,是为了改善天线中的电流分布情况,使其尽量接近行波状态,最终可以实现工作频带的展宽,这种天线被称为加载行波天线^[6]。

电感在设计中是为了抵消天线输入阻抗中的容抗,它的加入能够使高端的驻波减小。如图 11 所示,图中单极子、短路线和地组成了一个小环。这个小环就起到了电感的作用。调整短路线的位置,就可以改变电感量的大小。该短路线可以和单极子一起采用印刷技术来加工,完全可以保证加工的精度^[7]。

导线位置: X 轴 30 mm, Y 轴 -400 mm 位置加入 120 Ω 电阻;

X 轴 -30 mm, Y 轴 -400 mm 位置加入 10 Ω 电阻;

X 轴 30 mm, Y 轴 150 mm 位置加入 120 Ω 电阻;

X 轴 -30 mm, Y 轴 150 mm 位置加入 120 Ω 电阻;

在 400 mm 处加入短路导线。

馈电方式:集总矩形端口馈电。

如图 12 所示,驻波比均在 2.75 以下。通过调整电阻值和导线位置,实现最佳阻抗匹配,降低驻波比。由于钉子和灯泡有一定的影响。使驻波比总体小于 2.75。

如图 13 所示,在 129 MHz 和 130 MHz 低频段,水平

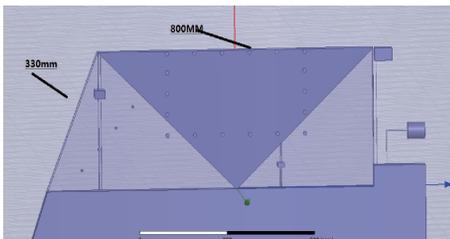


图 11 一体化仿真模型

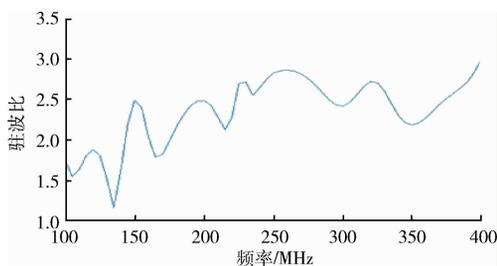


图 12 驻波比图

增益方向图向中心凹陷,在其他高频点方向图近似圆形。

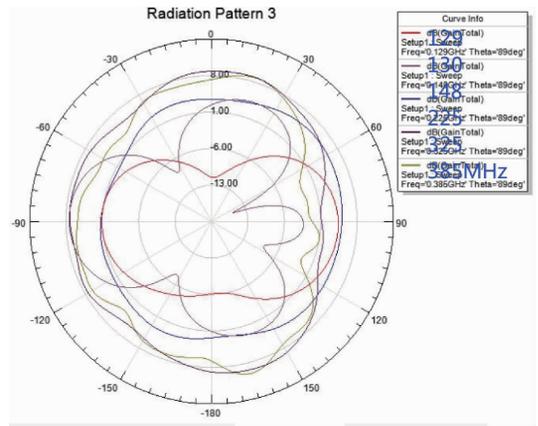


图 13 129、130、148、225、325、385 MHz 处水平面的增益方向

5 结 论

本文研究设计小型化隐蔽式天线驻波比均在 2.75 以下,实现了降低驻波比的目的,目前其他学者的研究中驻波比最优情况在 3 以下,本文的设计突破了现有的仿真研究成果,水平增益方向图近似圆形。方向性好,应用价值大,可以应用在飞机垂尾上,实现通信性能。尤其在军工领域,因为其隐蔽性,将更具有使用价值^[8]。

本文阐述了垂尾隐蔽式超短波全向天线的一体化设计的研究现状和仿真设计,对天线的基本理论知识以及天线宽带化和小型化的常用设计方法做了简单介绍,为天线的研究和设计提供基础理论知识框架。然后对单极子的工作原理进行了介绍和分析,并在此基础上提出了一种新型结构的三角形平面单极子天线,同时采用了加载技术对天线进行匹配^[9]。使用 HFSS 电磁场仿真软件对不同情况下的天线进行仿真与分析,优化其参数使其获得最佳的特性。最后根据仿真结果,综合设计了一款适用于 VHF 不同工作频段的一体化天线,达到了飞机对 VHF 频段天线的宽带化与小型化的要求^[10]。

参考文献

- [1] 张杰. 机载舰载 VHF 频段宽带小型化天线的研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [2] 徐兴福. HFSS 射频仿真设计实例大全[M]. 北京:电子工业出版社,2015.
- [3] 宋承天,王克勇,宋链. 迫弹引信涡轮电机模拟信号发生器设计[J]. 仪器仪表学报,2012,29(3):12-14.
- [4] 陈瑾. 超短波无人机天线研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
- [5] 李美艳,陈继勋. WiMAX 系统中的 MIMO 技术[J]. 西安文理学院学报,2008,11(1):21-25.

- [6] 裴远寅,夏靖. MIMO 的研究与仿真[J]. 广东电脑与电讯,2008(5):41-43.
- [7] 蒋学勤. MIMO 技术的演进[J]. 贵州科技工程职业学院学报,2007,2(2):39-41.
- [8] 付卫红,杨小牛,刘乃安,等. 宽带无线通信中的 MIMO 系统[J]. 电子科技大学学报:社会科学版,2007,36(2):176-178.
- [9] LEE B, CIOFFI J M, JAGANNATHAN S, et al. Binder MIMO channels [J]. IEEE Transactions on Communications,2007,55(8):1617-1628.
- [10] GESBERT D, KOUNTOURIS M, HEATH R W, et al. Shifting the MIMO paradigm[J]. Signal Processing Magazine, IEEE,2007,24(5):36-46.

作者简介

刘芸,1992 年出生,南京电子技术研究所硕士研究生,天线设计。

E-mail: 1125116057@qq.com

孙红兵,1978 年出生,工学博士,南京电子技术研究所高级工程师,相控阵天线设计、微波射频电路设计。

E-mail: hongbingsun@163.com

(上接第 58 页)

参考文献

- [1] NEWMAN S. 崔力强,张俊(译). 微服务设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2016:504-509.
- [2] 王磊. 微服务架构与实践[M]. 北京:电子工业出版社,2015:13-38.
- [3] 汪凯,张功萱,周秀敏. 基于容器虚拟化技术研究[J]. 计算机技术与发展,2015,25(8):138-141.
- [4] 刘德辉,尹刚,王怀明. 分布式环境下的 Gossip 算法综述[J]. 中国计算机科学,2010,37(11):24-31.
- [5] 李勇. 分布式 Web 服务发现机制研究[D]. 北京:北京邮电大学,2007:35-42.
- [6] 李忠民,齐占新. 业务架构的微应用化与技术架构的微服务化——兼谈微服务架构的实施实践[J]. 科技创新与应用,2016(35):95-96.
- [7] 李晓珍,刘迪,王孟强,等. 微应用架构下分布式事务的处理方法[C]. 2016 电力行业信息化年会论文集,2016:356-359.
- [8] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):100-105.
- [9] 李林锋. 分布式服务框架原理与实践[M]. 北京:电子工业出版社,2016:17-39.
- [10] X/Open company Limited. Distributed transaction processing: The XA specification [S/OL] (1991-12-29) [2016-06-24] <http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009680699/toc.Pdf>.

作者简介

冯扬,1980 年出生,工程师,硕士,研究方向为计算机、网络信息安全。

E-mail: fengyang@sgitg.sgcc.com.cn

董爱强,1979 年出生,工程师,本科,研究方向为电力企业信息化建设、信息集成。

E-mail: dongaiqiang@sgitg.sgcc.com.cn

夏元轶,1988 年出生,工程师,硕士,研究方向为信息安全。

E-mail: 15951892168@163.com