

一种新型套筒天线宽频特性的 HFSS 仿真分析

李艳茹,王刚

(江苏大学通信工程系,江苏 镇江,212013)

摘要:针对传统套筒简单极子天线结构变量复杂、要做到3:1的频带宽度难的问题,利用电抗补偿方法设计了一款位于特殊接地铜管上的双层套筒偶极子天线,并利用HFSS软件对结构进行仿真分析,找到影响频带及反射特性的结构参数,通过软件自带的优化功能,对各个参数进行仿真优化,得到工作在800~960MHz,1710~1920MHz,2400~2483MHz频带范围内驻波系数低于1.5的实用套筒天线结构,包含目前移动通信所用频带:2G、3G和WLAN。天线在同一个结构上实现多频工作,且在各个频段内反射很小,节省了天线资源,利于系统集成。

关键词:电抗补偿;套筒天线;偶极子

中图分类号:TN823+.18 文献标识码:A

A Study of Broadband Characteristics of a Novel Sleeve Dipole Antenna

LI Yan - ru, WANG Gang

(Department of Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

ABSTRACT: In view of the complicated structure variables and the difficulty of implementing 3:1 frequency band of traditional sleeve pole antenna, a reactance compensation method is used to design a double deck antenna located on a special copper tube grounding. The structure parameters about broadband characteristics and reflections are found out by using HFSS simulation software and are optimized with the optimizing function, so a practical sleeve antenna is designed, whose frequency bands are 800MHz to 960MHz, 1710MHz to 1920MHz, 2400MHz to 2483MHz and the VSWR is lower than 2. The frequency range includes all the mobile communication ranges now, such as 2G, 3G, and WLAN. The characteristics of multiple frequencies and low return loss are realized on a single structure, which is good for system integration and saving the antenna resources.

KEYWORDS: Reactance compensation; Sleeve antenna; Dipole

1 引言

通常套筒天线的结构如图1所示,在普通单极子天线的外面罩上一个接地的金属圆筒,能极大地改善单极子的工作特性,拓宽工作频带,因此它以其优良的特性广泛用于机载和地面通信系统中,许多学者对这种特殊的单极子天线作了大量的研究,King^[1]首先对其进行理论分析,之后Taylor^[2]使用一种复杂的变量技术对King的模型进行验证,并取得一致的效果。由于他们对于套筒和单极子上的电流分布应用了镜像以及叠加理论,并没有考虑振子和套筒半径的不连续性,因此,有一定的误差。之后Rispin和Chang^[3]在考虑天线上驻波电流的前提下,应用线天线理论对套筒天线进行了研究。Wunsch^[4]利用傅立叶级数来表示天线表面电流,研究了套筒天线的阻抗和方向图特性。这些理论致力于找到影响套筒天线工作特性的参变量,并试图最大程度的拓宽频带范

围,然而由于影响此单极子天线的结构参数相对较多,如:套筒高度、半径、振子高度、半径以及馈电点的位置等^[5-8],因此,要达到理论和实际的统一尚有一定的难度,而实际制作的天线的工作带宽还要受到结构本身的制约。

本文在套筒简单极天线的基础上,对其结构进行变化,得到位于特殊接地面上的套筒偶极子天线,采用电抗补偿措施调节天线特性阻抗,利用电磁仿真软件HFSS对其进行仿真分析和参数优化,给出了影响天线工作特性的结构参数,并最终设计了工作特性优良,具有多频带特点的套筒天线。

2 理论分析

2.1 分析模型

如图1所示套筒简单极天线的结构和理论分析模型,它是在直径为2a的单极子天线外面罩上直径为2b的套筒,天线垂直放在导体圆盘中心,圆盘作为天线内导体的镜像面。由于天线的轴对称性,所以内导体和套筒表面电流沿圆周方向均匀分布,普通的单极子天线的工作带宽窄,而加了接地

的外层套筒后能明显提高天线的带宽,如果仔细调节内导体直径和高度,外套筒的直径和高度以及馈电间隔,在一定频率范围能得到较好的工作特性,但由于结构本身的原因,要做到3:1的宽带特性几乎不能实现。

本文在套筒简单极子天线的基础上,把导电圆盘用实际的套筒代替,形成套筒偶极子天

线,如图2所示,能进一步改善天线的辐射特性和扩充工作带宽。其中直径20mm的中空的钢管既作为同轴线外导体的接地结构,同时又起到支撑天线外层阵子的作用,钢管外面采用两层套筒形成多频工作的主辐射单元,其中最外层套筒长度和直径针对低频段设计,中空钢管与外层套筒之间的套筒的长度和直径针对天线高频段设计,而下面的套筒作为振子的负极,组成了一种偶极子天线单元,天线长度近似工作于1/2波长。双层套筒在上端面都接于中空的钢管之上,起到双层厄流套的作用,弥补了由于振子过长上端电流弱的缺点,形成电流回路,从而使天线上的电流为行波分布,减小了电流的反射,这是电抗措施之一。在下端口两层振子短接在一起,共同由同轴线馈电。下振子在上端面接于中心钢管之上,作为偶极子的负极同时固定与钢管之上。为了使结构更加紧凑,同轴线走线可以在中空钢管内部沿管壁向上在钢管中间穿出,焊接于中空的钢管壁之上,内导体探出接于上面两层振子的公共接触点,由于同轴线在高频时可以实现能量的辐射,等效于辐射天线,采用此种布线方案,中空的钢管可以屏蔽掉同轴线向外辐射电磁能量,而直接对偶极子馈电,起到了balun的作用。在内层套筒和中空钢管之间添加两层介质环可以对天线特性阻抗进行进一步调配,其中介质块的位置可以上下滑动实现阻抗调配,尽量使天线的输入阻抗接近50欧姆,与同轴线特性阻抗匹配,介质材料可以选择聚四氟乙烯,这是电抗补偿措施之二。另外,如果这两种补偿方法还不能使天线性能满足要求,可以采用在套筒外面开缝的办法,进一步改善天线性能,这也是一种补偿方法,可以根据实际测试情况采用以上几种补偿办法对天线进行调试。

2.2 软件建模

图3为电磁仿真软件HFSS建模图形。在套筒简单极子天线的基础上进行变形,得到长度近似1/2波长的套筒偶极子天线,其各部分的初始尺寸如下:

上下套筒长度 $L_2 = L_3 = 50\text{mm}$, 外层套筒直径 $2a = 60\text{mm}$, 上下振子的馈电间隔 $\Delta = 10\text{mm}$, 内层套筒直径 $2b = 40\text{mm}$, 高度 $L_1 = 50\text{mm}$, 介质滑块厚度 10mm , 上下两层介质间隔 5mm 。中空钢管直径 $2a = 20\text{mm}$ 。

3 软件仿真

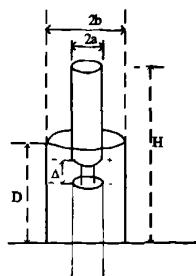


图1 套筒天线结构

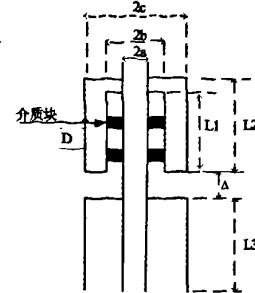


图2 天线剖面图

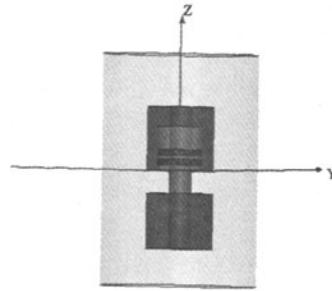


图3 HFSS软件中建模

图4和图5是对上面给出的结构尺寸做初步仿真得到的反射特性曲线和三维电场分布图。由图可见,天线在低频824~960MHz工作在所需的频段,且具有全向辐射特性,但-10dB对应的频带范围不够宽,而2400~2483MHz频段的反射相对较大,还不能做到反射系数低于-10dB,因此需要对此天线进行优化。

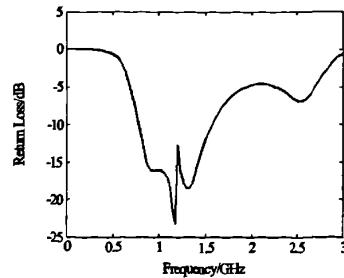


图4 反射特性曲线

因此下面把此天线的外层套筒高度和直径、内层套筒高度和直径、下套筒高度、馈电间隙、介质块的厚度和相对位置所对应的尺寸在软件中设为变量,利用软件的参数化分析功能对其进行仿真分析,找到影响天线性能的各个结构变化规律。

4 参数优化

利用电磁仿真软件HFSS的参数化分析功能,对影响天

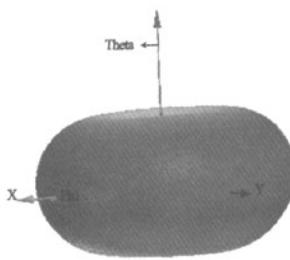


图 5 三维电场图

线性能的主要结构参数进行变量设置从而实现性能参数化分析,得到各参量变化对天线性能影响的规律如下:

1) 外层套筒的变化会对低频产生影响,并且随着高度 L_2 的增加,频段向低频偏移,这也符合半波阵子天线的设计理论。因此,低频特性可以通过改变外层套筒的高度来实现。

2) 内层套筒的变化会对高频产生影响,并且随着高度 L_1 的减小,频段向高频偏移。因此,高频特性可以通过改变内层套筒的高度以来实现。

3) 外层套筒和内层套筒的直径主要影响天线的工作带宽,直径越粗对于拓宽频带范围越有利,可以根据具体设计指标要求以及实际安装环境的尺寸要求进行调试,

4) 下层套筒作为振子的负极,在满足前两步调试的前提下,可以适当调整下套筒的高度 L_3 ,整体改变天线的性能。

5) 馈电间隙 Δ 是影响天线性能的关键因素,在天线其他部分结构确定后可以将馈电间隙逐步细化,找到最优结果。

6) 作为最后微调的参数,就是两层介质环的厚度,以及相对位置 d ,可以先确定厚度,然后滑动介质块微调天线,如果对性能改变不明显可以继续增大介质块的厚度。

由于影响天线辐射特性的参数相对较多,因此采用下面的分析策略,即当优化好一个结构参数之后,保持此参数不变,再优化第二个参数,得到较好的特性之后,再保持前两个尺寸不变继续优化其他参数,这样可以减少由于各个参数同时变化的复杂度,能快速找到参数变化对频率特性影响的规律。

经过以上几步仿真优化之后,最终得到天线性能最好时对应的尺寸为: $2a = 20\text{mm}$, $2b = 50\text{mm}$, $2c = 60\text{mm}$, $L_1 = 38\text{mm}$, $L_2 = 55\text{mm}$, $L_3 = 48\text{mm}$, $d = 3\text{mm}$, $\Delta = 20\text{mm}$, 天线反射特性曲线和电场分布如图 6~9。

由图 6 的反射特性曲线可知,在 $800\text{--}960\text{MHz}$, $1710\text{--}1920\text{MHz}$, $2400\text{--}2483\text{MHz}$ 的频带范围内,反射系数在 -15dB 以下完全符合现在移动通信的要求,图 7 为天线的三维电场分布图,在各个方向上均匀分布,也即天线呈现全向辐射特性,能很好的实现移动通信信号的覆盖,图 8 和图 9 给出了天线在不同频点的 E 面和 H 面方向图,天线的 E 面方向图在前两个频点为八字形状, H 面方向图在前两个频点为圆形分布,与普通偶极子天线的方向图类似,而在

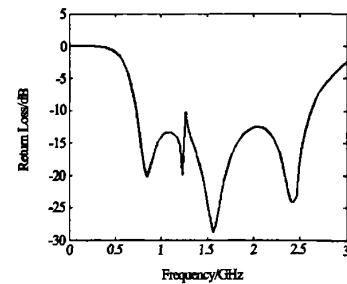


图 6 反射特性曲线

2400MHz 时,天线 E 面和 H 面方向图有些变形,这是由于随着频率的升高,天线的长度超过了 $1/2$ 波长的范围,使天线的辐射电阻呈现部分电抗特性,因此辐射特性也变得复杂,但仍能够满足现有移动通信信号覆盖的要求。另外,这种振子的优点是结构紧凑、易于安

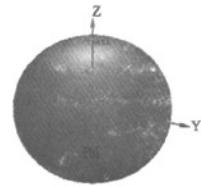


图 7 三维电场图

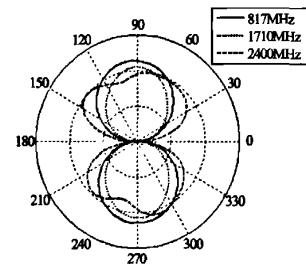


图 8 E 面方向图

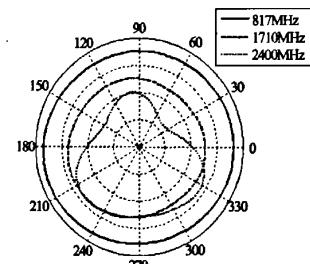


图 9 H 面方向图

装和固定,在同一个结构上实现多频工作,便于系统集成。

5 结束语

利用电磁仿真软件 HFSS 对双层套筒结构天线进行了仿真分析和参数优化,得出影响天线工作特性的结构参数变化规律,其中套筒的高度决定了天线的谐振频率,直径尺寸决定了天线的工作带宽,介质块能影响天线的输入阻抗,仔细

调试这些参数,最终设计出满足指标要求的全向天线结构,改善了普通单极子套筒带宽窄的不足,在同一结构上实现多频工作,节省天线资源,利于系统集成。

参考文献:

- [1] R W P King. The Theory of linear Antennas [M]. Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 1956.
- [2] J Taylor. The sleeve antenna [M]. Apl. 1951.
- [3] L W Sparis, D C Chang, Y T Lo and S W Lee. Wire and loop antenna [M]. Antenna Handbook, 1988.
- [4] A D Wunsch. Fourier series treatment of the sleeve monopole antenna [C]. IEEE Proc., Aug. 1988, 135 (4):217 - 225.
- [5] Z X Shen. Rigorous Evaluation of the input impedance of a Sleeve Monopole by Modal - Expansion Method [C]. IEEE Proc., Dec. 1996, 44 (12):1584 - 1591.
- [6] Z N Chen, Kazuhiro Hirasawa and Ke Wu. A Novel Top - Sleeve Monopole in Two Parallel Plates [C]. IEEE proc., May 2001, 49 (3):438 - 442.
- [7] C A Hhrrision and C M Butler. An Experimental Study of a Cylindrical Antenna in Two Half - Spaces [C]. IEEE proc., Apl. 1984, 32 (4):387 - 390.
- [8] J I Moon, S O Park and K Y Park. Broadband sleeve monopole type antenna for dual - band PCS/IMT - 2000 [C]. Electronics Letters, Oct. 2000, 36 (22):1829 - 1830.



作者简介

李艳茹(1981 -),女(满族),内蒙古赤峰市人,通信工程专业在读研究生,主要研究方向:超宽带微波探测成像;

王刚(1967 -),男(汉族),新疆人,博士,现任江南大学特聘教授,社会兼职:IEEE Member,主要研究方向:目前主要从事超宽带通信、射频识别技术、高分辨率检测与成像技术以及超宽带电磁脉冲技术等方面的研究。

(上接第 28 页)

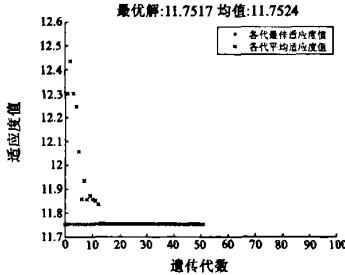


图 3 各代的适应度值

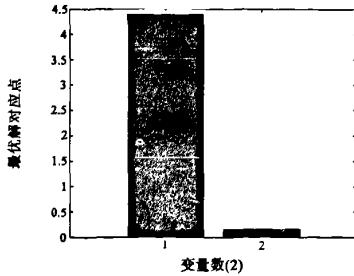


图 4 全局最优解对应的变量值

5 结论

本文对混合遗传算法在水雷武器安全脱离发射管的最小出管速度优化中的应用作了初步探讨,并以气动不平衡式水雷发射装置为例进行了仿真计算。研究结果表明:混合遗

传算法对解决此类不含有约束的非线性二变量优化问题是有效的,对于含有约束的非线性多变量优化问题的适用性还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王燕飞,张振山,张萌. 遗传算法在自航式鱼雷发射管长度优化中的应用 [J]. 鱼雷技术, 2005 - 9, 13 (3):23 - 24.
- [2] John H Mathews. Numerical Methods Using MATLAB Fourth Edition [M]. 2005 - 12.
- [3] 雷英杰. MATLAB 遗传算法工具箱及应用 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2005 - 4.
- [4] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用 [M]. 北京:国防工业出版社, 1999.
- [5] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程优化 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [6] 徐虎,冯金富. 基于遗传算法的零维内弹道模型最大膛压的计算 [J]. 航空计算技术, 2006, 36 (2):133 - 134.



作者简介

曹峰(1983 -),男(汉族),江苏启东人,硕士研究生,主要研究领域为潜用武器装备应用与效能研究;

逢洪照(1954 -),男(汉族),山东省青岛市人,教授,硕士研究生导师,主要研究领域为潜用武器装备应用与效能研究;

张永(1978 -),男(汉族),山东省青岛市人,讲师,主要研究领域为潜用武器装备应用与效能研究。

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)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)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>