

基于 HFSS 线天线辐射特性的仿真研究

庄丽华¹, 宦娟¹, 刘 镇²

(1. 江苏工业学院 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164;

2. 江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要 介绍了线天线设计中所关心的参量, 使用 Ansoft HFSS, 以对称阵子为例对线天线进行了仿真, 得到了方向图等有效结果, 证实了基于矩量法编程仿真结果的正确性, 为下一步预测船舶通信系统(天线间)EMC 提供了思路。

关键词 HFSS; 对称阵子; 电磁兼容性; 方向图

中图分类号 TN820.1⁺7 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7820(2009)03-052-04

Analysis of HFSS-based Antenna Radiation by Simulation

Zhuang Lihua¹, Huan Juan¹, Liu Zhen²

(1. School of Information Science & Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. School of Electronics and Information Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract The parameters of thin-wire antennas are introduced. Dipole is simulated by Ansoft HFSS as an example. Some useful results such as the radiation pattern are obtained, which confirm the correctness of the simulation results obtained by programming based on Moment of Method (MoM). A method for further simulating and predicting the EMC status of the ship system is propounded.

Keywords HFSS; dipole; EMC; radiation pattern

随着电子集成技术和通信技术的快速发展以及通信方式的不断变化, 使得电子系统的体积越来越小、集成度越来越高, 同时也使得各种通信系统载体中的电子设备越来越多, 电子环境越来越恶劣, 各通信系统尤其是天线间的电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility, 以下简称 EMC)问题突出。例如在船舶上装载了各种各样的电子设备和各种发射和接收信号天线, 系统越来越复杂, 对船舶上各种天线的辐射方向图的优化和设计已经在受到高度的重视。

线天线在船舶系统中被广泛应用。传统的天线设计一般是先采用经验公式得到设计数据, 制

作试验样品, 通过试验反复调节天线达到指标要求。这种方法的设计周期长、成本高、而且移植到船舶环境中能否符合 EMC 要求仍不确定。近年来随着计算机技术的普遍应用, 计算机仿真越来越受到重视。在工业界, Ansoft HFSS 已成为选择高生产率研究、发展和模拟原始模型的工具。文中对线天线相关的电磁参量做了分析, 通过 HFSS 软件仿真了在船舶系统中广泛使用的对称阵子天线, 得到了方向图等结果。验证了本课题另一个子部分(基于矩量法编程实现对称阵子仿真)结果的正确性, 同时为下一步把天线移植到船舶环境中对预测各天线间 EMC 提供了方法。

1 电磁参量的介绍

电磁兼容设计中, 工程人员关心的参数很多, 如天线的方向图、输入阻抗、辐射近场、感应电

收稿日期: 2008-09-01

基金项目: 武器装备预研资助项目(514470701)

作者简介: 庄丽华(1980-), 女, 助教。研究方向: 计算机网络通信。

流分布、耦合度等。文中就长度为 L 的中心对称阵子的天线方向图、输入阻抗、辐射近场等这几个参量的计算给出了仿真实验结果。

1.1 天线方向图

天线方向图定义为“天线的辐射特性与空间坐标之间的函数图形”。在大多数情况下,辐射方向图在远场区确定,并表示为方向坐标的函数^[1]。辐射方向图一般采用球坐标,坐标原点选在天线的相位中心,观察点 $P(r, \theta, \varphi)$ 位于远区,辐射场仅有横向分量 E_θ 和 E_φ 。在距离 p 等于常数的球面上,场强随着方向坐标 θ 和 φ 的相对变化,称为场强方向图。将天线辐射场的表达式在距离等于常数的球面上归一,使其最大值等于 1

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E(\max)} \quad (1)$$

式中 $F(\theta, \varphi)$ 是归一化场方向图, $E(\max)$ 是半径为 r 的球面上的 $E(\theta, \varphi)$ 最大值。基本振子归一化场强方向图函数,即式(3)可以由式(2)导出

$$\begin{aligned} E_\theta &= jN \frac{kI\Delta l}{4\pi r} e^{-jkr} \sin\theta \\ H_\varphi &= j \frac{kI\Delta l}{4\pi r} e^{-jkr} \sin\theta \\ F(\theta) &= \frac{j\eta \frac{kI\Delta l}{4\pi r} e^{-jkr} \sin\theta}{j\eta \frac{kI\Delta l}{4\pi r} e^{-jkr}} = \sin\theta \end{aligned} \quad (2) \quad (3)$$

1.2 输入阻抗

天线的输入阻抗^[1-3]是天线输入端所呈现的阻抗。输入阻抗将受到其他天线和邻近物体的影响。假设天线是孤立的,即其他天线和物体远离。输入阻抗由实部和虚部组成

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (4)$$

天线的输入阻抗是一个以功率为基础的等效阻抗。输入电阻 R_{in} 表示功率损耗,输入电抗 X_{in} 表示天线在近场的储存功率。功率损耗有两种方式,天线结构及附件的热损耗和离开天线不再返回的功率。在许多天线中,热损耗与辐射损耗相比是很小的。天线的平均功率损耗是

$$P_{in} = P_r + P_L = \frac{1}{2} |I_{in}|^2 R_{in} + \frac{1}{2} |I_{in}|^2 R_L \quad (5)$$

式(5)中定义参考输入端电流 I_{in} 的辐射电阻

$$R_{in} = \frac{P_r}{\frac{1}{2} |I_{in}|^2} \quad (6)$$

损耗电阻为

$$R_L = \frac{P_L}{\frac{1}{2} |I_{in}|^2} \quad (7)$$

以基本振子为例,辐射功率为

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{1}{2} \oint \vec{E} \times \vec{H}^* \cdot d\vec{s} = \frac{\eta}{2} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{kI\Delta l}{4\pi r} \sin^2\theta \right) \\ &r^2 \sin\theta d\theta d\varphi = \frac{1}{2} I^2 80\pi^2 \left(\frac{\Delta l}{\lambda} \right)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

由于基本振子上的电流分布是均匀的,辐射电阻是

$$R_r = R_{in} = 80\pi^2 \left(\frac{\Delta l}{\lambda} \right)^2 \quad (9)$$

可见阻抗是天线长度,半径和工作波长的函数。又由于 $k = 2\pi/\lambda$, 所以研究输入阻抗与工作频率的关系非常重要。

1.3 辐射近场

天线周围的空间分为 3 个区域:感应近场区、辐射近场区、辐射远场区。远场区 $kr \ll 1$, 或者 $r \ll \lambda$ 为近场区^[1-3]

$$\begin{aligned} E_r &= -j \frac{\eta I_m}{4\pi r} \left[\left(z - \frac{L}{2} \right) \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \left(z + \frac{L}{2} \right) \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} - \right. \\ &\quad \left. 2Z \cos\left(\frac{kL}{2} \right) \frac{e^{-jkr}}{r} \right] \\ E_\theta &= -j \frac{\eta I_m}{4\pi} \left[\frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} - 2 \cos\left(\frac{kL}{2} \right) \frac{e^{-jkr}}{r} \right] \\ H_\varphi &= j \frac{I_m}{4\pi r} \left[e^{-jkR_1} + e^{-jkR_2} - 2 \cos\left(\frac{kL}{2} \right) e^{-jkr} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)中 r 和 R_1 、 R_2 分别是振子中心和两端到观察点的距离

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\rho^2 + z^2} \\ R_1 &= \sqrt{\rho^2 + \left(z - \frac{L}{2} \right)^2} \\ R_2 &= \sqrt{\rho^2 + \left(z + \frac{L}{2} \right)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

2 对阵阵子算例仿真和分析

线天线是指截面半径 a 远小于线的长度 L ,

并且 a 远小于波长的天线。而对称振子天线则是线天线的一种基本形式, 它有对称的两臂, 导体的直径远小于其长度, 长度与波长同量级。在工程上采用近似的方法, 把对称阵子看出终端开路的传输线两线张开的结果^[4-5]。并认为其上电流分布规律仍和张开前的终端开路线规律一样。本算例仿真的是半波阵子天线, 工作频率为 300 MHz, 中心馈电。使用 HFSS 仿真得到的结果, 如图 1 所示。

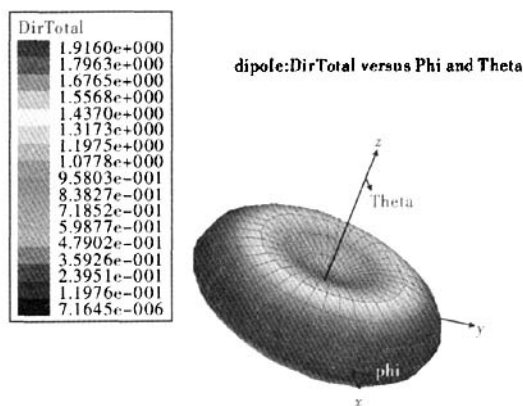


图 1 三维方向图

2.1 天线方向图

比较图 2 和图 3 图的差异, 可知基于矩量法编程仿真的结果(本课题的另外一个子部分实现)与基于有限元法的 HFSS 仿真的结果大体一致, 都与文献[5]给出的理论值吻合的比较好。

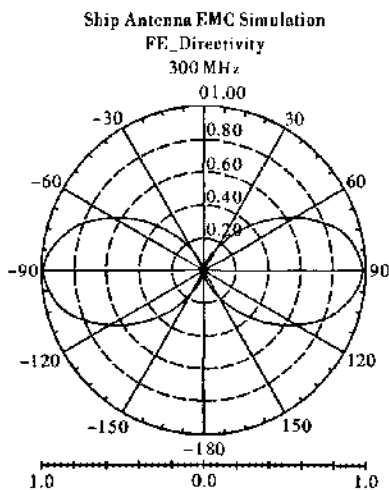


图 2 E 面归一化方向图

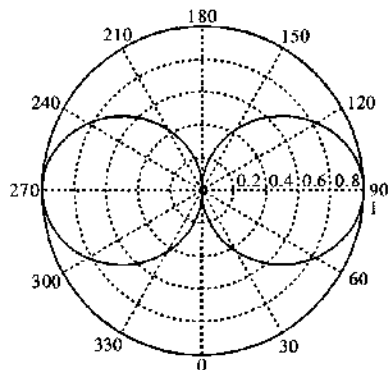


图 3 基于矩量法编程实现的 E 面归一化方向图

2.2 辐射近场 - $\lambda/5$, 大约 200 mm 处的电场

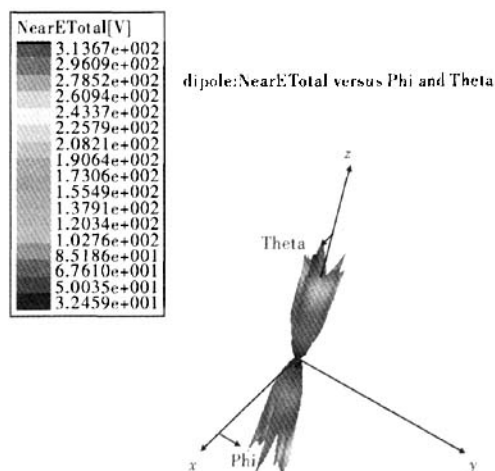


图 4 三维辐射的近场图

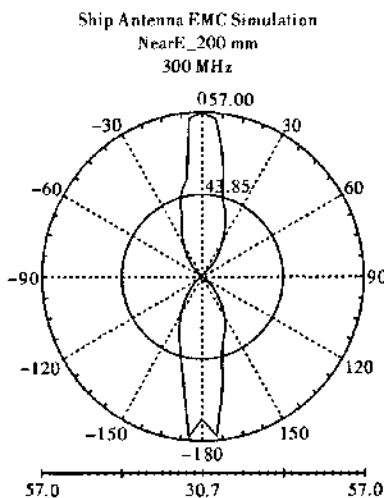


图 5 二维的辐射近场

2.3 回波损耗和电压驻波比

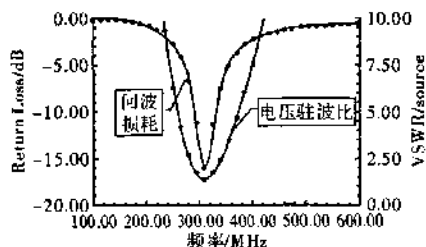


图6 回波损耗和电压驻波比曲线图

2.4 增益的辐射图

从图7中看出,最大增益出现在 xy 平面上,最大3 dB增益, z 轴方向增益非常小,几乎无任何辐射机会,符合实际天线的辐射特性。

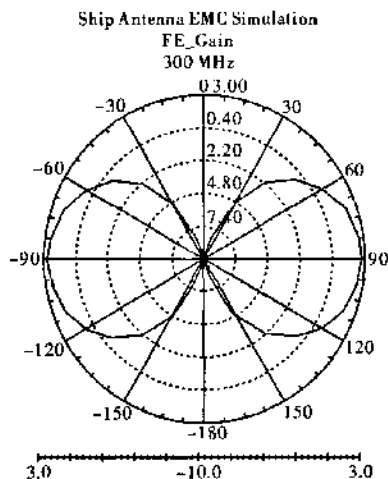


图7 增益的辐射图

3 结束语

文中使用 HFSS 仿真线天线,仿真结果与参考文献给出的理论值吻合较好,同时验证了本课题另一个子部分(使用矩量法计算机编程实现对线天线的仿真)结果的正确性。下一步所要进行的工作是对船舶系统上多根天线的特性分析建模,通过研究对比,对船舶真实环境的建模矩量法相当困难,而 HFSS 不仅有导入外部数据方面的优势,比如可将 AutoCAD 做的复杂三维船舶模型直接导入或者经过 ANSYS 软件分析归整过的有限元网格模型导入分析,还可进行优化设计,为下一步预测船舶通信系统(天线间)EMC 提供了思路,该方法对工程应用有实际的参考价值。

参考文献

- [1] 魏文元,宫德明,陈必森. 天线原理[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [2] 卢万铮. 天线理论与技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [3] 巴拉尼斯 C A. 天线原理——分析与设计[M]. 于志远,钟顺时,译. 电子工业出版社,1998.
- [4] 丁克乾. 相控阵天线低副瓣分析[D]. 成都:电子科技大学,2002.
- [5] 江贤祚. 天线原理[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1993.

(上接第47页)

参考文献

- [1] Fernando T, Marcelino I, Wimalaratne P. Constraint Based Immersive Virtual Environment for Supporting Assembly and Maintenance Task [C]. New Orleans: Proceedings of Human Computer Interaction International, 2001.
- [2] Pimnez J, Thomas F, Torras C. 3D Collision Detection: a Survey [J]. Computers and Graphics, 2001, 25(2): 269-85.
- [3] 顾文望,陈一民. 碰撞检测在虚拟仿真系统中的应用[J]. 计算机工程, 2005, 31(4): 186-188.
- [4] 张安真,孙长嵩,徐俊杰. 一种基于图像的凸多面体碰撞检测算法研究[C]. 西安:通信与信息技术会议, 2006.
- [5] 郭景峰,闫立华,王建朝. Java 3D 中运动物体间碰撞检测的研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(27): 23-25.
- [6] 朱连章,卮华. 基于图像空间的复杂模型碰撞检测算法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 2(15): 3675-3681.
- [7] Moore M, Wilhelms J. Collision Detection and Response for Computer Animation [C]. Computer Graphics (SIGGRAPH'88 Proceedings), 1988: 289-298.
- [8] Martinez Salvador B, Del Pobil A P, Perez Francisco M. Very Fast Collision Detection for Practical Motion Planning [C]. IEEE International Conference, 1998, 1(5): 624-629.

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),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>