

基于 Ansoft HFSS 的电磁场与电磁波课程图示化教学

赖颖昕

(东莞理工学院 电子工程学院, 广东东莞 523808)

摘要: 为解决电磁场与电磁波课程理论性强、概念抽象的特点给课程教学带来的问题, 以课程中电磁辐射部分内容为实例, 展示了基于电磁仿真软件 Ansoft HFSS 的图示化教学模式。实践表明, 利用 Ansoft HFSS 对电磁问题进行模拟并实现结果的可视化, 能够帮助学生加深对相关理论及概念的理解, 达到提高教学效果的目的。

关键词: 电磁场与电磁波; 对称天线; 天线阵; Ansoft HFSS 软件

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1009-0312 (2012) 01-0104-05

电磁场与电磁波课程是电子信息类专业一门重要的专业基础课, 主要介绍电磁场与电磁波的基本特性、运动规律以及相关的工程应用, 是移动通信、射频电路设计、微波技术与天线等后续课程的重要基础^[1]。随着电磁理论及技术在信息科学等领域的应用日益深入, 电磁场与电磁波的基本性质、分析方法及其应用技术已成为从事射频电路设计、微波通信系统设计以及电磁兼容研究等工作的技术人员所必须了解和掌握的基本知识。因此, 该课程是工科电子通信类本科生必备的知识体系中重要的组成部分。

然而, 电磁场与电磁波课程是一门理论性很强的课程, 涉及到很多繁琐的公式推导和计算, 另外电磁场和电磁波本身又都是不可见和不可及的, 很多概念的理解都需要进行抽象的想象, 这就要求学生不但要具有扎实的数学功底, 而且还要具备较强的抽象思维能力和空间想象能力, 给该课程的教与学带来相当的难度。如何将电磁场与电磁波课程中理论问题实际化、抽象的概念和现象形象化, 增强学生对电磁场与电磁波问题的直观认识, 成为广大教师普遍关心的问题^[2-3]。

Ansoft HFSS 是一款基于有限元方法的三维结构电磁场仿真软件, 具备任意形状三维无源结构的全波电磁场分析求解能力以及功能强大的数据处理能力, 目前在微波器件、电真空器件以及天线的设计开发中得到了广泛的应用^[4]。在电磁场电磁波的教学环节中, 引入 Ansoft HFSS 对相关的电磁问题及现象进行模拟并实现结果的可视化, 能够形象地展示电磁场与电磁波的空间分布及其动态变化, 从而加强学生对理论问题的理解及对电磁现象的认知能力。本文介绍笔者在该课程的教学过程中, 采用的基于 Ansoft HFSS 的图示化教学模式。

1 电磁场与电磁波课程图示化教学实例

在电磁场与电磁波课程内容体系中, 电磁辐射部分的内容作为后续天线与电波传播课程的基础, 其重要性是不言而喻的。然而在目前电磁场与电磁波课程学时普遍减少到 56 学时, 甚至 48 学时的情况下, 安排在教材最后的电磁辐射内容所能分配到的教学时间非常的紧凑, 且该部分内容主要是在理论基础上引出的天线辐射特性, 学生在短时间的理论讲授下, 普遍感到没有实感, 难以建立起天线辐射弱弱的三维空间图像, 在很大程度上影响了该部分内容的教学效果。下面以该部分内容中一些典型问题为例, 讨论如何借助 Ansoft HFSS 来对天线的辐射场方向性进行仿真, 将仿真所得的图示结果与书中的理论相结合, 促进学生对该部分知识的理解。

1.1 对称天线辐射仿真

对称天线是一种应用广泛的基本线形天线, 它在通信、广播、雷达、导航等无线电设备中, 既可以

作为单元天线单独使用，也可以作为阵列天线的组成单元。由于对称天线结构简单，在电磁辐射部分的教学过程中常常以之为基础讨论天线的辐射特性。

利用 Ansoft HFSS 建立的对称天线模型如图 1，其中对称天线的单臂长度 $l = 150 \text{ mm}$ ，直径 $a = 4 \text{ mm}$ 。在设置辐射边界（radiating boundary）以及对称天线中间的集总端口（Lumped port）激励后，通过快速扫频（Fast sweep）求解器可以得到该对称天线的反射率系数与工作频率的变化关系如图 2。从图中可以看出对称天线的工作频率 $f = 458.4 \text{ MHz}$ ，在此频率处对称天线总长度与波长 λ 之间满足 $2l \approx \lambda/2$ ，因此该对称天线为半波天线。对于半波天线，教材中利用馈电电流沿天线呈正弦驻波分布的近似条件得到的真空中远区辐射电场分布为^[1]：

$$E = j \frac{60I_m}{r} f(\theta, \varphi), \tag{1}$$

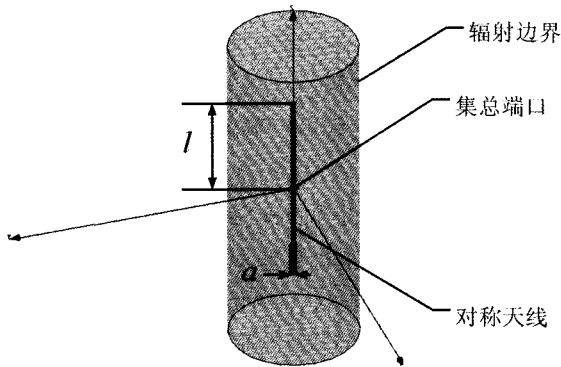


图 1 对称天线在 Ansoft HFSS 中的仿真模型

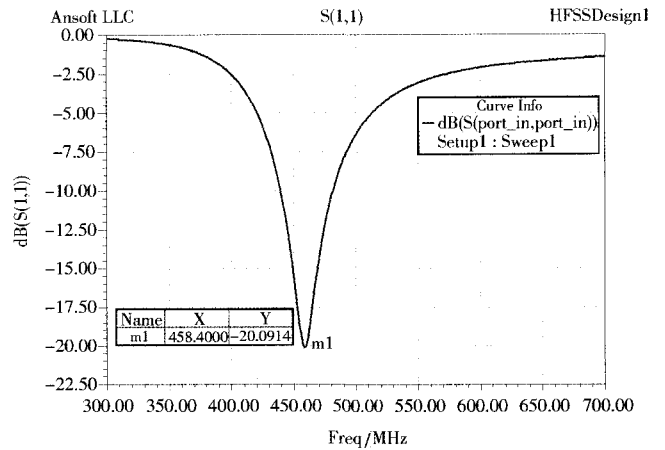


图 2 对称天线输入端口反射系数与工作频率的关系

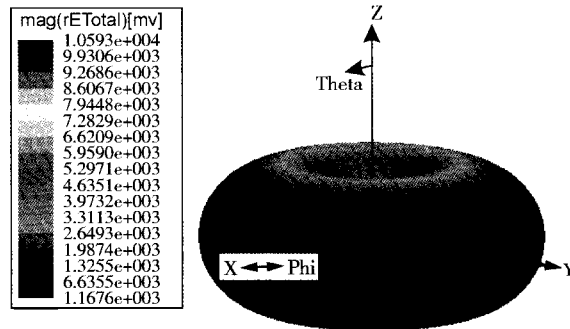


图 3 对称天线远区辐射电场 E 与 r 乘积 ($|rE|$) 的分布图

其中 $f(\theta, \varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}$ 为半波天线的归一化方向性因子， I_m 为电流驻波的最大值， r 为场点位置矢量的大小， θ 和 ϕ 为场点在球坐标系中方位角。图 3 给出了利用 Ansoft HFSS 仿真得到的天线远区辐射电场 E 与 r 的乘积 ($|rE|$) 的三维空间分布图，图 4 为半波天线的归一化方向性因子分别在 (a) 子午面 (E 面, $\varphi = 90^\circ$) 以及 (b) 赤道面 (H 面, $\theta = 90^\circ$) 上分布的方向图。通过比较可以发现，仿真结果与理论值吻合得很好，从而可以向学生说明，虽然半波天线中分布的电流实际是不均匀的，但是在 $l \geq a$ 的条件下，电流的正弦分布近似条件仍然能够满足工程的要求。更为关键的是，通过图 3 和图 4 的演示，学生能够迅速地建立起天线方向性的这一抽象概念，并且直观地得到半波天线在赤道面为

全向辐射，而在子午面 $\theta = 90^\circ$ 方向上有最大辐射，而在 $\theta = 0^\circ$ 辐射为零的性质。此外，需要指出的是，在 Ansoft HFSS 中如将对称天线的单臂长度以及外围的辐射边界尺寸设置为工程变量，能够很方便地得出对称天线长度变化时对应的辐射场方向图，从而帮助学生理解通过理论导出的对称天线方向特性的变化规律。

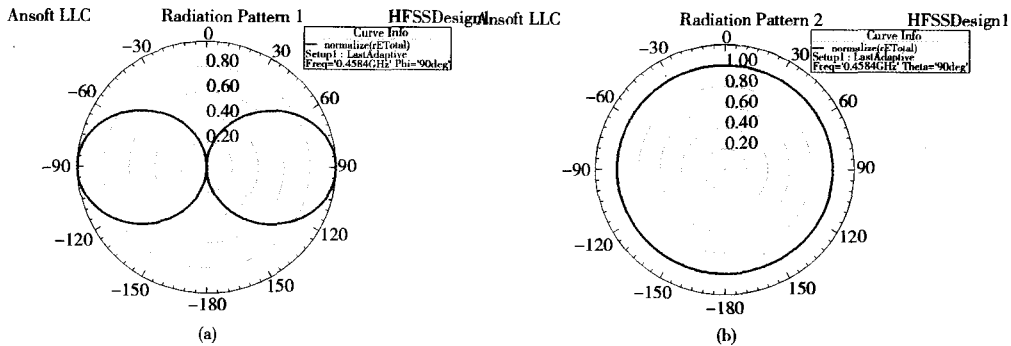


图4 半波天线的归一化方向性因子在 (a) E 面 ($\varphi = 90^\circ$) 以及 (b) H 面 ($\theta = 90^\circ$) 上的方向图

1.2 天线阵辐射仿真

在大多数应用中，单个天线元的方向性很弱，为了提高和控制天线的方向性，通常将若干单元天线按照一定的方式排列和激励形成天线阵系统。均匀直线式天线阵是天线阵的最基本的组成形式，它是以前相同类型和取向的单元天线以相等的间隔均匀地排列在一条直线上而形成的一种天线阵。为了分析的方便，下面以半波天线为作为单元天线，讨论由两个半波天线组成的二元直线阵的辐射场特性的图示化教学实例。

假定图 1 所示的两个半波天线沿 x 方向排列，两者间距为 d 且平行于 z 轴放置，激励电流幅度相等，最大值为 I_m ，根据天线阵理论，此时天线阵远区电场的振幅可以表示为^[5]

$$|E| = \frac{60I_m}{r} f(\theta, \varphi) f_1(\theta, \varphi), \tag{2}$$

式中

$$f_1(\theta, \varphi) = 2 \cos\left(\frac{\varphi + kd \cos \varphi}{2}\right) \tag{3}$$

为天线阵的阵因子， φ 为两个阵元激励电流之间的相位差， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 为辐射波的相位常数， $f(\theta, \varphi)$ 为单元天线的方向性因子。

利用 Ansoft HFSS 提供的阵列天线计算工具，我们可以在单个阵元辐射参数的基础上求解出二元阵的辐射特性。图 5-7 给出了不同的间距 d 以及电流相位差 ϕ 条件下二元阵远区电场幅度 E 与 r 乘积的三维分布图 (a) 以及归一化阵因子在赤道面 ($\theta = 90^\circ$) 上的方向图 (b) 的仿真结果，其中图 5 中 $d = \lambda/2, \phi = \pi$ ；图 6 中 $d = \lambda/2, \phi = 0$ ；图 7 中 $d = \lambda/4, \phi = \pi/2$ 。不难发现，仿真结果不仅直观地反映出式 (2)、(3) 中二元阵的辐射场和阵因子与阵元间距以及单元激励电流相对相位之间的关系，

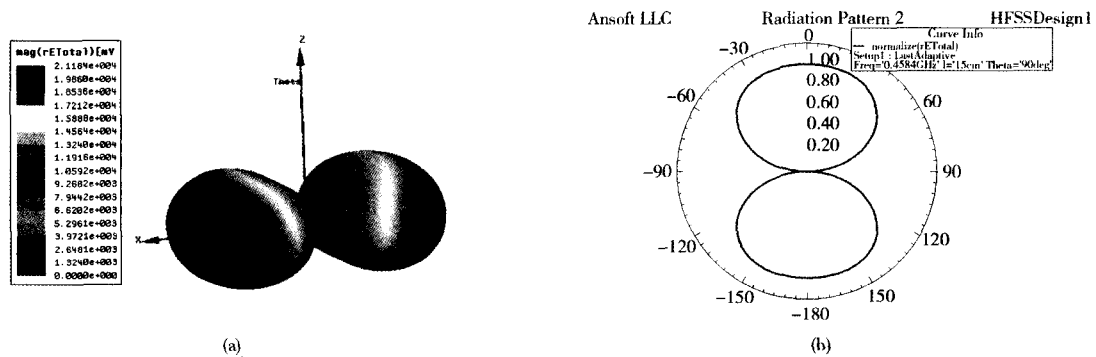


图5 当 $d = \lambda/2, \phi = \pi$ 时，二元阵远区电场幅度 E 与 r 乘积的三维分布图 (a) 以及归一化阵因子在 H 面 ($\theta = 90^\circ$) 上的方向图 (b) 的仿真结果。

而且通过与单元半波天线辐射场方向图做比较, 能够帮助学生理解天线阵的方向图等于单元方向图与阵方向图的乘积, 即天线阵理论中的方向图乘法这一重要的原理。

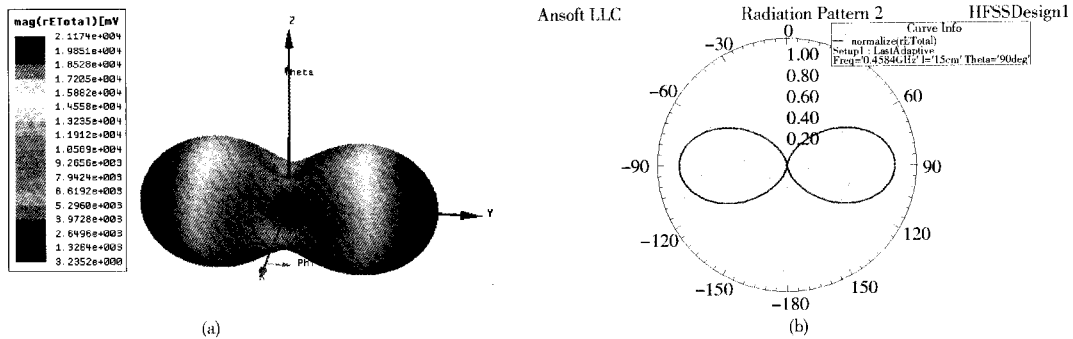


图 6 当 $d=\lambda/2, \phi=0$ 时, 二元阵远区电场幅度 E 与 r 乘积的三维分布图 (a) 以及归一化阵因子在 H 面 ($\theta=90^\circ$) 上的方向图 (b) 的仿真结果。

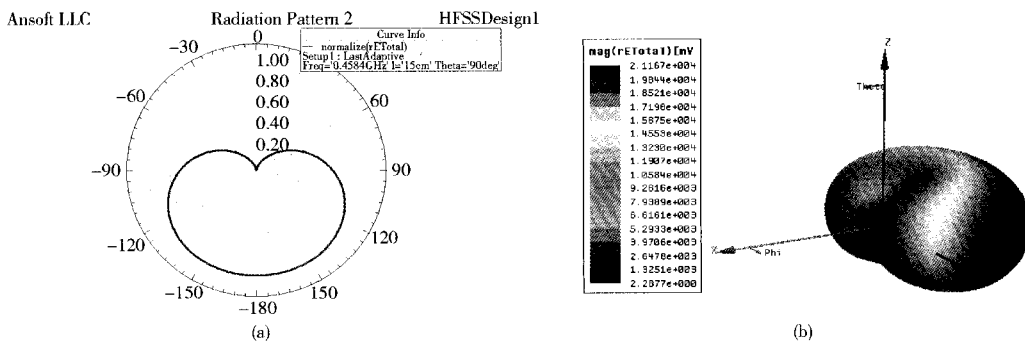


图 7 当 $d=\lambda/4, \phi=\pi/2$ 时, 二元阵远区电场幅度 E 与 r 乘积的三维分布图 (a) 以及归一化阵因子在 H 面 ($\theta=90^\circ$) 上的方向图 (b) 的仿真结果。

最后, 需要说明的是, Ansoft HFSS 提供了一个电磁问题建模、求解以及计算结果可视化的平台, 利用这一平台不仅可以克服电磁理论中三维图像学生不易想象的问题, 提高教师的理论教学效果, 而且利用该平台设置一些典型电磁问题的仿真实验, 供一部分学有余力的学生尝试, 能够进一步激发学生的学习兴趣, 锻炼学生分析问题、解决问题的能力, 增强学生的实践能力和创造能力, 从而适应以提高综合素质为目的的应用型人才培养的要求。

2 结论

电磁场与电磁波是一门重要的专业基础课程, 同时也是一门理论性很强、概念抽象的课程。针对该课程的特点, 本文讨论了课程的理论教学中引入电磁仿真软件 Ansoft HFSS 进行图示化教学的教学模式, 并以课程中电磁辐射的内容为基础, 给出了对称天线和天线阵辐射仿真的图示化教学实例。实践表明, 在教学环节中应用这一模式使有关概念更加清晰、直观, 加深了学生对电磁理论及概念的理解, 激发学生对课程学习的兴趣和积极性, 从而在提高课程的教学效果的同时让学生克服惧怕心理, 提高学生对课程的认同度。

参考文献

[1] 杨儒贵. 电磁场与电磁波[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
 [2] 邵小桃, 郭勇, 李一玫. “电磁场与电磁波”课程的 Matlab 辅助教学[J]. 电气电子教学学报, 2010, 32(5): 111 - 113.
 [3] 万海斌, 覃团发, 韦以明. 利用计算机技术提高电磁场与电磁波课程的教学效果[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2008, 33(sup): 316 - 318.

- [4] 谢拥军,刘莹,李磊,等. HFSS原理与工程应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 许学梅,杨延嵩. 天线技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [6] 刘亮元. 电磁场与电磁波仿真实验教学研究[J]. 信息系统工程,2009,9(8):124-127.

The Schematic Teaching Mode of Electromagnetic Fields and Waves Course by Using Ansoft HFSS

LAI Ying-xin

(College of Electronic Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

Abstract The teaching and learning of electromagnetic fields and waves have always been troubled with its theoretical equations and abstract concepts. In order to solve this problem, the schematic teaching mode realized by the software Ansoft HFSS is discussed, where the teaching examples for the content of electromagnetic radiation are illustrated. The teaching practice reveals that, simulating some electromagnetic problem by the software Ansoft HFSS with visualized results can enhance the students' comprehension on the correlative electromagnetic theory and phenomenon, which is helpful to obtain a better teaching effect.

Key words electromagnetic fields and waves; dipole antenna; antenna array; Ansoft HFSS software

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>