

一样的软件，不一样的学习方法

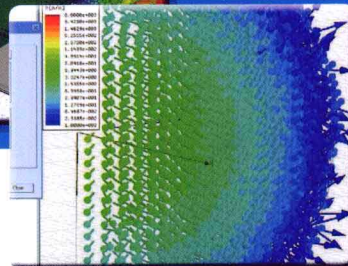
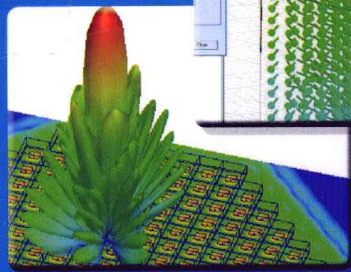
HFSS

电磁仿真设计

从入门到精通

■ 易迪拓培训 李明洋 刘敏 编著

- 全面介绍了 HFSS 的设计流程、各种设计功能和具体操作步骤
- 多个工程设计应用实例，包括：微波器件设计、天线设计、天线阵仿真分析、高速数字信号完整性分析、谐振腔体仿真分析、SAR 计算、雷达散射截面分析、时域瞬态求解器应用实例和 HFSS-IE 应用实例

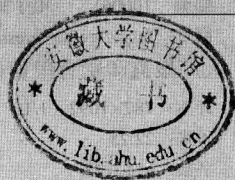


HFSS

电磁仿真设计

从入门到精通

■ 易迪拓培训 李明洋 刘敏 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

HFSS电磁仿真设计从入门到精通 / 李明洋, 刘敏编
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-115-29472-2

I. ①H… II. ①李… ②刘… III. ①电磁场—计算机
仿真—应用软件 IV. ①0441.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第220873号

内 容 提 要

本书是一本注重工程实践的 HFSS 电磁仿真设计教程, 全书共 17 章, 分上下两篇, 上篇全面介绍了 HFSS 的设计流程、各种设计功能和具体操作方法。下篇主要通过实际工程设计实例, 讲解 HFSS 在微波器件设计、天线设计、天线阵分析设计、高速数字信号完整性分析、谐振腔分析设计和 SAR 计算、雷达散射截面分析、时域瞬态求解器和 HFSS-IE 求解器的工程应用等方面的具体应用。

本书体系完整、可读性和工程应用性强, 适合 Ansoft HFSS 初学者学习参考和具有一定 HFSS 使用基础的读者学习提高, 也可供高等院校、科研院所、公司企业等从事微波射频与电子通信领域的工程技术人员参阅。

HFSS 电磁仿真设计从入门到精通

-
- ◆ 编 著 易迪拓培训 李明洋 刘 敏
责任编辑 张 涛
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.25
字数: 614 千字 2013 年 1 月第 1 版
印数: 1-3 500 册 2013 年 1 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-29472-2

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

目 录

上篇 基础篇

第 1 章 HFSS 概述	2	3.1.8 状态栏	41
1.1 HFSS 简介	2	3.2 栅格显示和栅格平面	41
1.2 启动 HFSS	4	3.3 显示坐标系	41
1.3 HFSS 工程的通用设置	5	3.4 本章小结	42
1.3.1 设置工程文件的默认路径	5	第 4 章 HFSS 中的建模操作	43
1.3.2 新建设计文件设置	5	4.1 创建长方体模型	43
1.4 HFSS 设计流程	6	4.1.1 创建长方体模型的操作步骤	44
第 2 章 入门实例——T 形波导的内场分析和优化设计	7	4.1.2 物体属性对话框的详细解释	46
2.1 设计概述	7	4.2 HFSS 中的基本模型及其创建	47
2.2 T 形波导内场分析	8	4.2.1 鼠标光标的移动模式	47
2.2.1 新建工程设置	8	4.2.2 捕捉模式 (Snap Mode)	47
2.2.2 创建 T 形波导模型	8	4.2.3 物体的基本模型	48
2.2.3 分析求解设置	16	4.3 物体的材料属性	51
2.2.4 运行仿真分析	18	4.3.1 编辑物体材料库	52
2.2.5 查看分析计算结果	19	4.3.2 设置物体模型的材料	53
2.2.6 保存设计并退出 HFSS	21	4.4 改变视图	54
2.3 T 形波导的优化分析	21	4.4.1 改变视图的操作命令	54
2.3.1 新建一个优化设计工程	21	4.4.2 显示和隐藏物体模型	56
2.3.2 参数扫描分析设置和仿真分析	21	4.5 选择模式与操作	56
2.3.3 查看参数扫描分析结果	24	4.5.1 选择模式	56
2.3.4 优化设计	25	4.5.2 选择操作	57
2.3.5 查看优化结果	27	4.5.3 多重选择	58
2.3.6 保存并退出 HFSS	28	4.6 物体模型的几何变换	58
第 3 章 HFSS 工作界面	29	4.7 物体模型的布尔运算操作	61
3.1 HFSS 工作界面	29	4.8 HFSS 中的坐标系	64
3.1.1 主菜单栏	30	4.8.1 相对坐标系	65
3.1.2 工具栏	38	4.8.2 面坐标系	66
3.1.3 工程管理窗口	39	4.9 建模相关选项的设置	67
3.1.4 属性窗口	39	4.10 本章小结	68
3.1.5 三维模型窗口	39	第 5 章 边界条件和激励	69
3.1.6 信息管理窗口	40	5.1 概述	69
3.1.7 进程窗口	40	5.2 边界条件的类型和设置	70

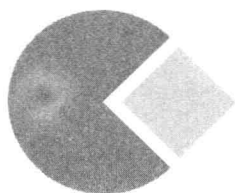
5.2.1	理想导体边界条件	70	第 7 章	HFSS 中的变量和	
5.2.2	理想磁边界条件	71		Optimetrics	112
5.2.3	有限导体边界条件	72	7.1	变量	112
5.2.4	辐射边界条件	73		7.1.1 变量类型	112
5.2.5	对称边界条件	75		7.1.2 变量定义	113
5.2.6	阻抗边界条件	77		7.1.3 添加、删除和使用变量	114
5.2.7	集总 RLC 边界条件	78	7.2	Optimetrics 模块	117
5.2.8	分层阻抗边界条件	79	7.3	参数扫描分析	117
5.2.9	无限地平面边界条件	80	7.4	优化设计	119
5.2.10	主从边界条件	80		7.4.1 初始设计	119
5.2.11	理想匹配层	83		7.4.2 定义优化变量	119
5.3	激励的类型和设置	83		7.4.3 构造目标函数	120
	5.3.1 波端口激励	83		7.4.4 优化算法	121
	5.3.2 波端口激励的设置步骤	86	7.5	调谐分析	124
	5.3.3 集总端口激励	90	7.6	灵敏度分析	124
	5.3.4 Floquet 端口激励	93	7.7	统计分析	124
	5.3.5 入射波激励	94	7.8	Optimetrics 应用实例	125
	5.3.6 电压源激励	94		7.8.1 定义变量	126
	5.3.7 电流源激励	95		7.8.2 参数扫描分析举例	128
	5.3.8 磁偏置激励	95		7.8.3 优化设计举例	131
5.4	本章小结	95		7.8.4 调谐分析举例	135
				7.8.5 灵敏度分析举例	136
				7.8.6 统计分析举例	139
第 6 章	HFSS 求解器和求解分析设置	96	7.9	本章小结	142
6.1	求解器和求解类型	96	第 8 章	HFSS 的数据后处理	143
	6.1.1 HFSS 求解器	97	8.1	求解信息数据	143
	6.1.2 HFSS-IE 求解器	98	8.2	数值结果	145
6.2	自适应网格剖分	99		8.2.1 数值结果的显示方式	145
	6.2.1 收敛标准	99		8.2.2 数值结果的类型	146
	6.2.2 收敛精度	100		8.2.3 输出变量	147
	6.2.3 自适应网格剖分频率的 选择	100		8.2.4 查看数值结果的 操作步骤	148
6.3	求解设置	101		8.2.5 编辑图形显示结果报告	150
	6.3.1 添加和定义求解设置	101	8.3	场分布图	151
	6.3.2 修改和删除已添加的 求解设置	105		8.3.1 绘制场分布图的 操作步骤	153
6.4	扫频分析	105		8.3.2 场分布的动态显示	154
	6.4.1 扫频类型	106	8.4	天线辐射问题的后处理	155
	6.4.2 添加和定义扫频设置	107		8.4.1 定义远区场辐射表面	156
	6.4.3 修改和删除已添加的 扫频项	110		8.4.2 天线方向图	157
6.5	设计检查和运行仿真分析	110		8.4.3 天线参数	159
	6.5.1 设计检查	110		8.4.4 HFSS 中天线阵的处理	162
	6.5.2 运行仿真分析	111	8.5	本章小结	166
6.6	本章小结	111			

下篇 实践篇

第9章 HFSS 环形定向耦合器	
设计实例	168
9.1 环形定向耦合器简介	168
9.2 使用 HFSS 设计环形定向耦合器概述	169
9.2.1 耦合器的理论计算	169
9.2.2 HFSS 设计简介	170
9.2.3 HFSS 设计环境概述	170
9.3 新建 HFSS 工程	170
9.4 创建环形定向耦合器模型	171
9.4.1 设置默认的长度单位	171
9.4.2 建模相关选项设置	171
9.4.3 定义变量 length	172
9.4.4 添加新材料	173
9.4.5 创建带状线介质层模型	174
9.4.6 创建带状线金属层模型	176
9.5 分配边界条件和激励	180
9.6 求解设置	183
9.6.1 求解设置	183
9.6.2 扫频设置	183
9.7 设计检查和运行仿真分析	184
9.7.1 设计检查	184
9.7.2 运行仿真分析	184
9.8 查看仿真分析结果	185
9.8.1 查看 S 参数扫频结果	185
9.8.2 查看 4GHz 频点的 S 矩阵	186
9.9 结果讨论	187
9.9.1 重新仿真验证 S 矩阵结果	187
9.9.2 使用端口平移功能验证 S 矩阵结果	188
9.10 本章小结	190
第10章 HFSS 微带天线设计实例	191
10.1 微带天线简介	191
10.1.1 微带天线结构	192
10.1.2 微带天线的辐射机理	192
10.1.3 微带天线的馈电	192
10.1.4 矩形微带天线的特性参数	193
10.2 设计指标和天线几何结构参数计算	195
10.3 HFSS 设计和建模概述	195
10.3.1 微带天线建模概述	196
10.3.2 HFSS 设计环境概述	197
10.4 新建 HFSS 工程	197
10.5 创建微带天线模型	198
10.5.1 设置默认的长度单位	198
10.5.2 建模相关选项设置	198
10.5.3 添加和定义设计变量	198
10.5.4 创建介质基片	199
10.5.5 创建辐射贴片	201
10.5.6 创建参考地	202
10.5.7 创建同轴馈线的内芯	203
10.5.8 创建信号传输端口面	203
10.6 设置边界条件和激励	205
10.6.1 设置边界条件	205
10.6.2 设置端口激励	207
10.7 求解设置	208
10.7.1 求解频率和网格剖分设置	208
10.7.2 扫频设置	208
10.8 设计检查和运行仿真分析	209
10.8.1 设计检查	209
10.8.2 运行仿真分析	209
10.9 查看天线回波损耗	210
10.10 参数扫描分析	211
10.10.1 分析谐振频率随辐射贴片长度 L0 的变化关系	211
10.10.2 分析谐振频率随辐射贴片宽度 W0 的变化关系	212
10.10.3 输入阻抗和同轴线馈电点位置的变化关系	214
10.11 优化设计	216
10.11.1 设置优化变量	217
10.11.2 添加优化设计	217
10.11.3 运行优化设计查看优化结果	219
10.12 查看优化后的天线性能	219
10.12.1 重新运行仿真分析	220
10.12.2 查看天线性能	220
10.13 本章小结	225

第 11 章 HFSS 阵列天线分析	226	12.3.5 添加和使用变量	255
11.1 HFSS 设计概述	226	12.4 分配端口激励	256
11.1.1 阵元模型	227	12.4.1 创建波端口激励表面	256
11.1.2 HFSS 设计环境概述	228	12.4.2 分配波端口激励和 差分信号对	258
11.2 新建工程	228	12.4.3 设置差分信号线	258
11.3 创建阵元模型	228	12.4.4 端口平移	259
11.3.1 设置默认的长度单位	228	12.5 求解设置	260
11.3.2 建模相关选项设置	229	12.5.1 求解频率设置	260
11.3.3 创建波导阵元	229	12.5.2 扫频设置	260
11.3.4 创建阵元外的自由 空间模型	231	12.6 设计检查和运行仿真分析	261
11.4 分配边界条件和激励	232	12.6.1 设计检查	261
11.4.1 设置 CellBox 左右 两侧表面为一对主 从边界条件	232	12.6.2 运行仿真分析	262
11.4.2 设置 CellBox 前后 表面为一对主从边界 条件	235	12.7 数据后处理	262
11.4.3 为阵元波导底面分配 波端口激励	236	12.7.1 差模信号的 S 参数 扫频分析结果	262
11.4.4 为 CellBox 上表面分配 Floquet 端口激励	236	12.7.2 共模信号的 S 参数 扫频分析结果	263
11.5 求解设置	239	12.7.3 端口的差模阻抗和 共模阻抗	264
11.6 设计检查和运行仿真分析	239	12.7.4 端口处差模信号和 共模信号的电场分布	264
11.6.1 设计检查	239	12.8 本章小结	266
11.6.2 运行仿真分析	240	第 13 章 HFSS 谐振腔体分析实例	267
11.7 查看仿真分析结果	240	13.1 圆柱形腔体谐振器简介	267
11.7.1 定义辐射表面	241	13.2 HFSS 设计概述	269
11.7.2 查看天线阵元场强 方向图	242	13.2.1 HFSS 建模和求解简介	269
11.7.3 查看天线阵列的场强 方向图	244	13.2.2 HFSS 设计环境概述	270
11.8 本章小结	246	13.3 新建工程	270
第 12 章 HFSS 差分信号分析实例	247	13.4 创建圆形谐振腔模型	271
12.1 HFSS 设计概述	247	13.4.1 设置默认的长度单位	271
12.1.1 HFSS 求解类型和 建模简述	248	13.4.2 建模相关选项设置	271
12.1.2 求解频率和扫频设置	249	13.4.3 创建圆形谐振腔体模型	271
12.1.3 HFSS 设计环境概述	249	13.5 边界条件和激励	273
12.2 新建工程	249	13.6 求解设置	274
12.3 创建带状线差分对模型	250	13.7 设计检查和运行仿真分析	274
12.3.1 设置默认的长度单位	250	13.7.1 设计检查	274
12.3.2 建模相关选项设置	250	13.7.2 运行仿真分析	275
12.3.3 创建差分信号线模型	250	13.8 结果分析	275
12.3.4 创建 FR4 介质层	253	13.8.1 谐振频率和品质因数 Q	275
		13.8.2 腔体内部电磁场的分布	276
		13.9 参数扫描分析	279
		13.9.1 定义设计变量	279
		13.9.2 创建介质圆柱体	280
		13.9.3 添加参数扫描分析设置	282

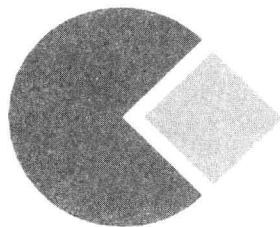
13.9.4	运行参数扫描分析	283	15.4.2	设置 PML 边界条件	312
13.9.5	参数扫描分析结果	283	15.5	求解设置	314
13.10	本章小结	284	15.6	双站 RCS 分析	314
第 14 章	HFSS 计算 SAR 工程实例	285	15.6.1	定义入射波激励	314
14.1	设计背景	285	15.6.2	设计检查并运行 仿真分析	315
14.2	HFSS 设计概述	286	15.6.3	查看双站 RCS 分析结果	316
14.2.1	建模概述	286	15.7	单站 RCS 分析	318
14.2.2	HFSS 设计环境概述	287	15.7.1	定义入射波激励	318
14.3	新建工程	287	15.7.2	运行仿真分析	319
14.3.1	运行 HFSS 并新建工程	287	15.7.3	查看单站 RCS 分析结果	319
14.3.2	设置求解类型	287	15.8	本章小结	320
14.3.3	设置默认长度单位	288	第 16 章	HFSS 时域求解器应用实例	321
14.3.4	建模相关选项设置	288	16.1	HFSS 时域求解器和 TDR 分析	321
14.4	创建偶极子天线模型	288	16.1.1	HFSS 时域求解器简介	321
14.4.1	创建相对坐标系	288	16.1.2	TDR 分析介绍	321
14.4.2	创建偶极子天线模型	289	16.2	HFSS 设计概述	322
14.4.3	给偶极子天线分配 集总端口激励	292	16.3	新建 HFSS 工程	323
14.5	创建外壳和脑组织液模型	294	16.4	设计建模	325
14.5.1	创建第一个球体	294	16.4.1	创建同轴线结构模型	325
14.5.2	创建第二个球体	297	16.4.2	设置端口激励	331
14.5.3	生成外壳和脑组织 液模型	299	16.5	求解设置	333
14.6	创建 SAR 的计算线	300	16.6	设计检查和运行仿真分析	334
14.7	分配辐射边界条件	301	16.7	查看 TDR 分析结果	335
14.8	求解设置	302	16.8	本章小结	337
14.9	设计检查和运行仿真分析	303	第 17 章	HFSS-IE 求解器应用实例	338
14.9.1	设计检查	303	17.1	HFSS-IE 求解器介绍	338
14.9.2	运行仿真分析	303	17.2	HFSS 设计及其设计环境概述	339
14.10	查看分析结果	304	17.3	新建 HFSS 工程	340
14.10.1	SAR 计算结果	304	17.4	设计建模	341
14.10.2	BrainFluid 模型内部的 电场分布	305	17.4.1	创建曲线	341
14.11	本章小结	306	17.4.2	创建纺锤形金属体	342
第 15 章	HFSS 雷达散射截面分析 实例	307	17.5	设置平面波激励	343
15.1	雷达散射截面介绍	307	17.6	求解设置	344
15.2	HFSS 设计及其设计环境概述	309	17.7	设计检查和运行仿真分析	344
15.3	新建 HFSS 工程	309	17.7.1	设计检查	344
15.4	设计建模	311	17.7.2	运行仿真分析	345
15.4.1	创建长方体模型	311	17.8	查看分析结果	345
			17.9	本章小结	347



上篇

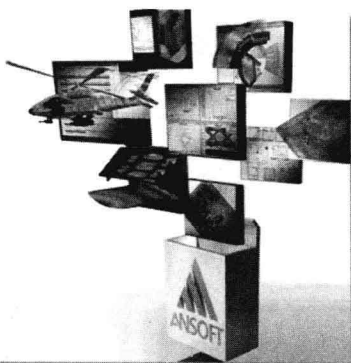
基础篇

本书分上、下两篇，上篇从第1章到第8章，主要介绍 HFSS 软件的工作界面、基本功能、设计流程、边界条件和激励方式等 HFSS 基本知识和基础概念，讲述的重点是要让读者能够迅速熟悉并掌握 HFSS 设计的各个环节，包括理论基础和使用操作两部分；学习的主要方法是在阅读、记忆的基础上，理解每个设计环节的内涵，并配合实际的操作、练习，达到熟练掌握 HFSS 的学习目标。用户只有熟练掌握了 HFSS 设计中的各个环节，才能把 HFSS 正确地应用到实际的工程设计中。



第1章 HFSS 概述

HFSS™ 13.0



HFSS (High Frequency Simulator Structure) 是原美国 Ansoft 公司开发的全波三维电磁仿真软件, 其功能强大、界面友好、计算结果准确, 是业界公认的三维电磁场设计和分析的工业标准。2008 年 7 月, Ansoft 公司被 Ansys 公司收购, 现在 HFSS 归属于 Ansys 旗下的电磁自动化设计产品, 其当前最新版本为 13.0。本章将向读者介绍 HFSS 的主要功能和 HFSS 的设计流程。

1.1 HFSS 简介

HFSS 是美国 Ansoft 公司开发的全波三维电磁仿真软件, 该软件采用有限元法, 计算结果准确可靠, 是业界公认的三维电磁场设计和分析的工业标准。

HFSS 采用标准的 Windows 图形用户界面, 简洁直观; 自动化的设计流程, 易学易用; 稳定成熟的自适应网格剖分技术, 结果准确。使用 HFSS, 用户只需要创建或导入设计模型, 指定模型材料属性, 正确分配模型的边界条件和激励, 准确定义求解设置, 软件便可以计算输出用户需要的设计结果。

HFSS 具有精确的场仿真器, 强大的电性能分析能力和后处理功能可以用于分析、计算并显示下列参数。

- S 、 Y 、 Z 等参数矩阵。
- 电压驻波比 (VSWR)。
- 端口阻抗和传播常数。
- 电磁场分布和电流分布。
- 谐振频率、品质因数 Q 。
- 天线辐射方向图和各种天线参数, 如增益、方向性、波束宽度等。
- 比吸收率 (SAR)。

- 雷达反射截面 (RCS)。

经过 20 多年的发展, 现今 HFSS 以其无与伦比的仿真精度和可靠性、快捷的仿真速度、方便易用的操作界面、稳定成熟的自适应网格剖分技术, 已经成为三维电磁仿真设计的首选工具和行业标准, 被广泛地应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域, 帮助工程师高效地设计各种微波、高频无源器件。借助于 HFSS, 能够有效地降低设计成本, 缩短设计周期, 增强企业的竞争力。HFSS 的具体应用包括以下 8 方面。

1. 射频和微波无源器件设计

HFSS 能够快速精确地计算各种射频、微波无源器件的电磁特性, 得到 S 参数、传播常数、电磁特性, 优化器件的性能指标, 并进行容差分析, 帮助工程师们快速完成设计并得到各类器件的准确电磁特性, 包括波导器件、滤波器、耦合器、功率分配/合成器、隔离器、腔体和铁氧体器件等。

2. 天线、天线阵列设计

HFSS 可为天线和天线阵列提供全面的仿真分析和优化设计, 精确仿真计算天线的各种性能, 包括二维、三维远场和近场辐射方向图, 天线的方向性、增益、轴比、半功率波瓣宽度、内部电磁场分布、天线阻抗、电压驻波比、 S 参数等。

3. 高速数字信号完整性分析

随着信号工作频率和信息传输速度的不断提高, 互联结构的寄生效应对整个系统的性能影响已经成为制约设计成功的关键因素。MMIC、RFIC 或高速数字系统需要精确的互联结构特性分析参数抽取, HFSS 能够自动和精确地提取高速互联结构和版图寄生效应, 导出 SPICE 参数模型和 Touchstone 文件 (即 .snp 格式文件), 结合 Ansoft Designer 或其他电路仿真分析工具去仿真瞬态现象。

4. EMC/EMI 问题分析

电磁兼容和电磁干扰 (EMC/EMI) 问题具有随机性和多变性的特点, 因此, 完整的“复现”一个实际工程中的 EMC/EMI 问题是很难做到的。Ansoft 提供的“自顶向下”的 EMC 解决方案可以轻松地解决这个问题。HFSS 强大的场后处理功能为设计人员提供丰富的场结果。整个空间的场分布情况可以以色标图的方式直观地显示出来, 让设计人员对系统的场分布全貌有所认识; 进一步通过场计算器 (Field Calculator), 可以给出电场/磁场强度的最优点, 并能输出详细的场强值和坐标值。

5. 电真空器件设计

在电真空器件如行波管、速调管、回旋管设计中, HFSS 本征模求解器结合周期性边界条件, 能够准确地仿真分析器件的色散特性, 得到归一化相速与频率的关系以及结构中的电磁场分布, 为这类器件的分析和设计提供了强有力的手段。

6. 目标特性研究和 RCS 仿真

雷达散射截面 (RCS) 的分析预估一直是电磁理论研究的重要课题, 当前人们对电大尺寸复杂目标的 RCS 分析尤为关注。HFSS 中定义了平面波入射激励, 结合辐射边界条件或 PML 边界条件, 可以准确地分析器件的 RCS。

7. 计算 SAR

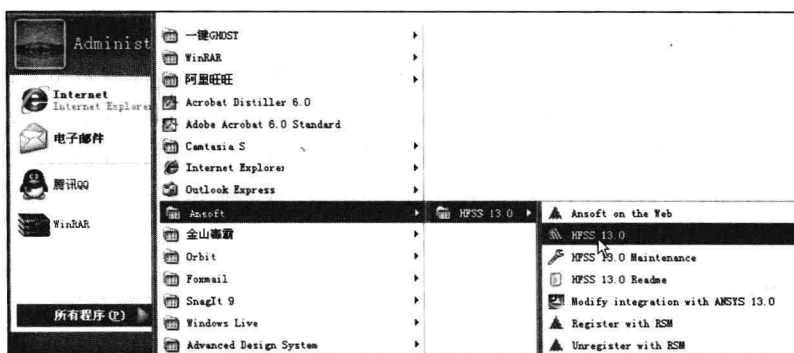
比吸收率 (SAR) 是单位质量的人体组织所吸收的电磁辐射能量, SAR 的大小表明了电磁辐射对人体健康的影响程度。随着信息技术的发展, 大众在享受无线通信设备带来的各种便利之时, 也日益关注无线通信终端对人体健康的影响。使用 HFSS 可以准确地计算出指定位置的局部 SAR 和平均 SAR。

8. 光电器件仿真设计

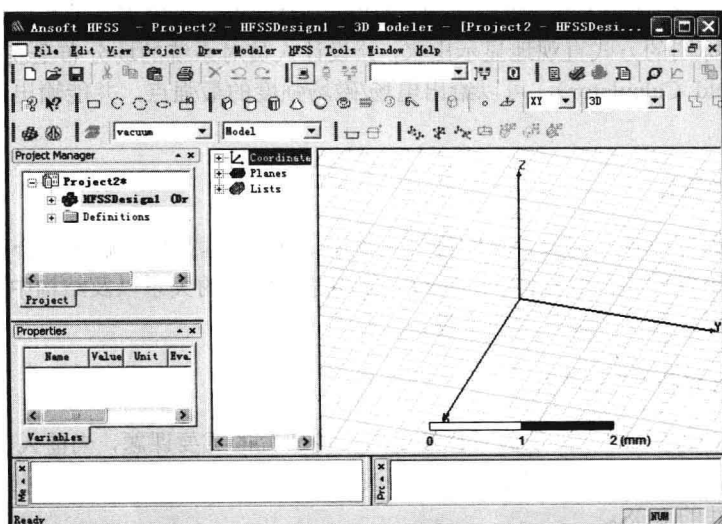
HFSS 的应用频率能够达到光波段, 精确仿真光电器件的特性。

12 启动 HFSS

HFSS 软件安装完成后, 在桌面和程序菜单中都会建有快捷方式。可以通过两种方法来启动 HFSS 软件: 一是双击桌面快捷方式, 启动 HFSS; 二是在 Windows 开始程序菜单中, 单击【所有程序】→【Ansoft】→【HFSS 13.0】→【HFSS 13.0】命令, 启动 HFSS13.0, 如图 1.1 所示。HFSS 启动后的用户界面如图 1.2 所示。



▲图 1.1 启动 HFSS 操作



▲图 1.2 HFSS 用户界面

1.3 HFSS 工程的通用设置

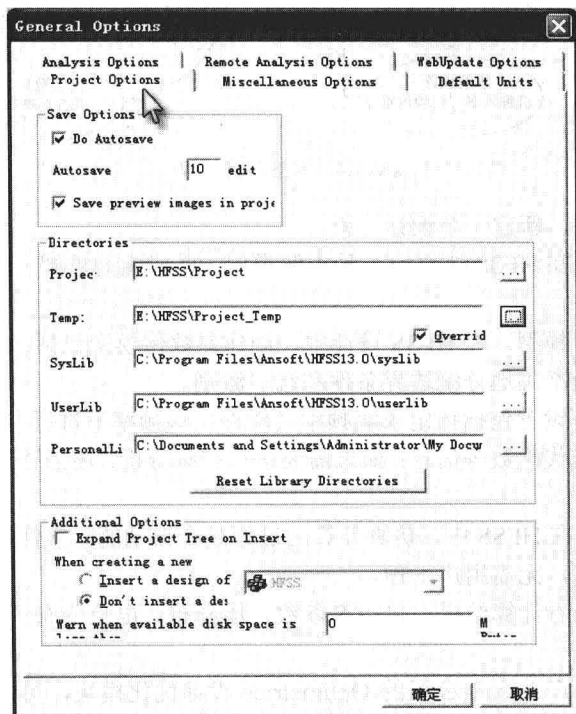
HFSS 软件启动后,单击 HFSS 工作界面主菜单栏的【Tools】→【Options】→【General Options】命令,可以打开图 1.3 所示的 General Options 对话框。在该对话框中,用户可以根据需要设置 HFSS 设计工程的通用工作环境,以便符合自己的使用习惯。

1.3.1 设置工程文件的默认路径

在图 1.3 所示 General Options 对话框的 Project Options 选项卡界面,可以设置 HFSS 工程文件、临时工程文件和材料库文件的存放路径。

在图示对话框中,Directories 栏下 Project 和 Temp 项右侧的文本框分别显示 HFSS 工程文件和临时工程文件默认存放路径,用户可以自行设置。图示中, HFSS 工程文件和和临时工程文件默认存放路径分别为 E:\HFSS\Project 文件夹和 E:\HFSS\Project_temp 文件夹。Directories 栏下 SysLib、UserLib 和 PersonalLib 项右侧文本框是显示材料库文件的存放路径,一般材料库文件保留默认路径不变。

这里需要**重点强调**的是, HFSS 工程文件、临时工程文件和材料库文件的存放路径**不能**包含中文字符,否则软件在运行仿真计算时会出现错误信息。



▲图 1.3 General Options 对话框

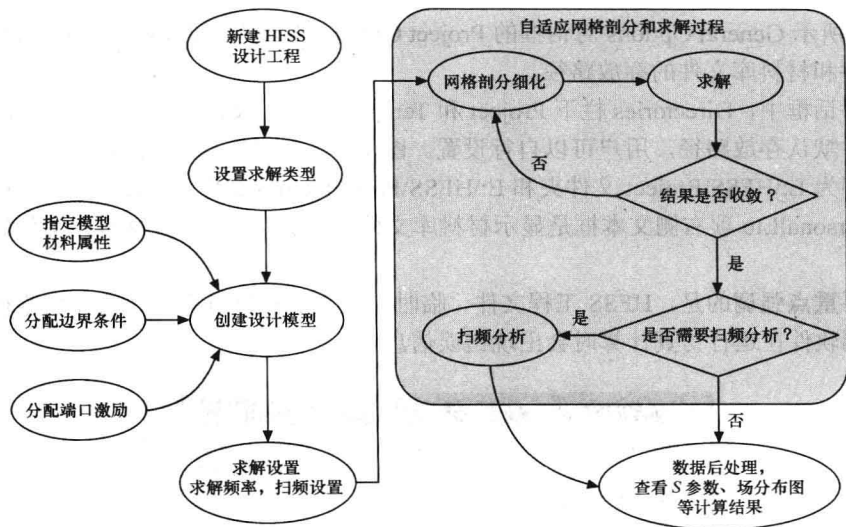
1.3.2 新建设计文件设置

在图 1.3 所示对话框的下侧有一对“Insert a design of”和“Don't insert a design”单选按钮,用于设置在新建 HFSS 工程时是否自动新建一个设计文件。其中,选中“Don't insert a design”单选

按钮，表示在新建 HFSS 工程时不需要自动新建设计文件；而选中“Insert a design of”单选按钮，则表示在新建 HFSS 工程时，自动在新建的 HFSS 工程下新建一个设计文件。同时，在该单选按钮右侧的下拉列表中指定新建设计文件的默认类型，有 HFSS 和 HFSS-IE 两种设计类型。

14 HFSS 设计流程

使用 HFSS 进行电磁分析和高频器件设计的简要流程如图 1.4 所示。各个步骤简述如下。



▲图 1.4 HFSS 设计流程

(1) 启动 HFSS 软件，新建一个设计工程。

(2) 选择求解类型。在 HFSS13 中有 4 种求解类型：模式驱动求解、终端驱动求解、本征模式求解和时域瞬态求解。

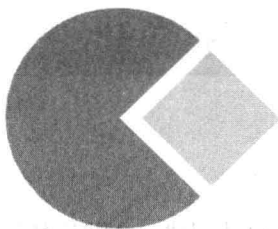
(3) 创建参数化设计模型。在 HFSS 设计中，创建参数化模型包括：构造出准确的几何模型，指定模型的材料属性以及准确地分配边界条件和端口激励。

(4) 求解设置。求解设置包括指定求解频率（软件在该频率下进行自适应网格剖分计算）、收敛误差和网格剖分最大迭代次数等信息；如果需要进行扫频分析，还需要选择扫频类型并指定扫频范围。

(5) 运行仿真计算。在 HFSS 中，仿真计算的过程是全自动的。软件根据用户指定的求解设置信息，自动完成仿真计算，无需用户干预。

(6) 数据后处理，查看计算结果，包括 S 参数、场分布、电流分布、谐振频率、品质因数 Q 、天线辐射方向图等。

另外，HFSS 还集成了 Ansoft 公司的 Optimetrics 设计优化模块，可以对设计模型进行参数扫描分析、优化设计、调谐分析、灵敏度分析和统计分析。



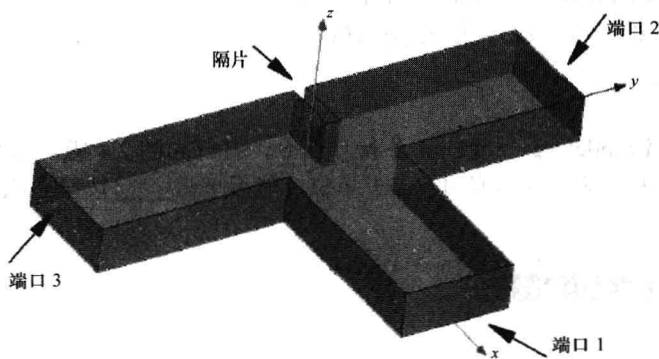
第2章 入门实例——T形波导的内场分析和优化设计

通过第1章的简单介绍,大家对HFSS是什么、HFSS能做什么已经有了一个最基本的认识。那么,本章就通过一个简单的HFSS工程设计分析实例,让初学者对HFSS的工作界面、操作步骤以及工作流程有一个整体的、直观的认知。

本章的目的在于向读者展示一下HFSS的完整设计流程,让初学者对HFSS仿真设计有个整体概念和直观的印象,所以读者在学习本章时,可以抱着“不求甚解”的态度,按照书本上的操作步骤,一步一步按部就班地完成整个工程设计,而不需要理解和深究每一步骤背后所表示的含义。

2.1 设计概述

本章所要分析的器件是图2.1所示的一个带有隔片的T形波导。其中,波导的端口1是信号输入端口,端口2和端口3是信号输出端口。正对着端口1一侧的波导壁上凹进去一块,相当于在此处放置了一个金属隔片。通过调节隔片的位置可以调节从端口1传输到端口2,从端口1传输到端口3的信号能量大小,以及反射回端口1的信号能量大小。




▲图2.1 T形波导模型

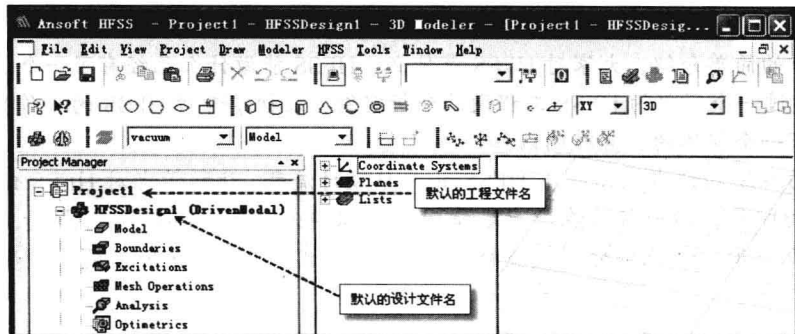
本章共分3节。第1节对设计实例做一个简要的介绍。第2节主要分析当隔片位于T形波导的正中央时,在8~10GHz的工作频段内,波导3个端口的S参数随频率变化的关系曲线,同时分析查看在10GHz时波导表面的电场分布。第3节主要介绍HFSS的参数扫描分析功能和优化设计功能的具体应用。首先,我们利用HFSS的参数扫描分析功能分析在10GHz处,波导3个端口的S参数随着隔片位置变量Offset变化的关系曲线;然后,使用HFSS的优化设计功能,分析找出当端口3的输出功率是端口2的输出功率的两倍时隔片所在的位置。

2.2 T形波导内场分析

2.2.1 新建工程设置

1. 运行 HFSS 并新建工程

双击桌面上的 HFSS 快捷方式 ，启动 HFSS 软件。HFSS 启动后，会自动创建一个默认名称为 **Project1** 的新工程和名称为 **HFSSDesign1** 的新设计，如图 2.2 所示。



▲图 2.2 HFSS 默认启动界面

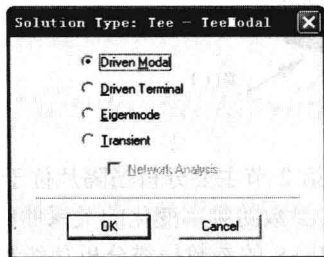
从主菜单栏选择【File】→【Save As】操作命令，把工程文件另存为 Tee.hfss。然后右键单击 **HFSSDesign1**，从弹出的菜单中选择【Rename】命令项，把设计文件 **HFSSDesign1** 重新命名为 **TeeModal**。

2. 选择求解类型

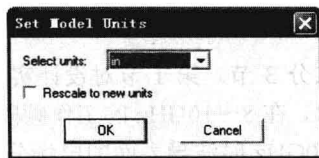
从主菜单栏选择【HFSS】→【Solution Type】操作命令，打开如图 2.3 所示的 Solution Type 对话框，选中 Driven Modal 单选按钮，单击 **OK** 按钮。

3. 设置长度单位

从主菜单栏选择【Modeler】→【Units】操作命令，打开如图 2.4 所示的 Set Model Units 对话框。在 Select units 下拉列表中选择英寸 (in) 单位，然后单击 **OK** 按钮。此时，设置了建模时的默认长度单位为英寸。



▲图 2.3 Solution Type 对话框



▲图 2.4 Set Model Units 对话框

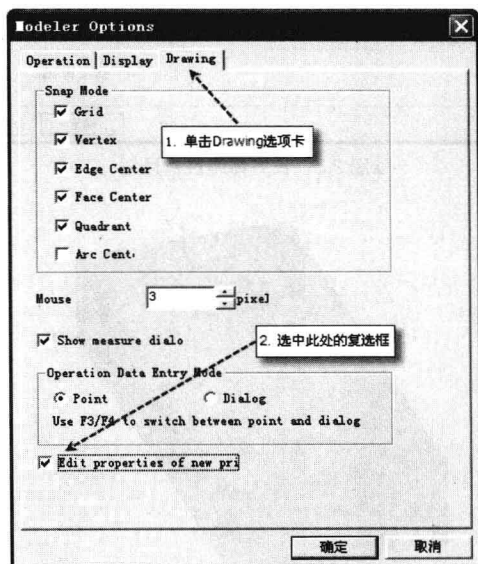
2.2.2 创建 T 形波导模型

图 2.1 所示的 T 形波导模型可以分解开来，看做由 3 个相同大小的长方体叠加而成。这里首先


创建第一个长方体，并设置其材料属性和端口激励，然后通过复制操作命令创建第二和第三个长方体，最后通过合并操作命令创建完整的T形波导模型。

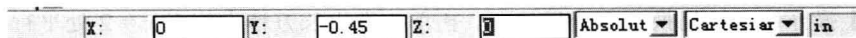
1. 创建长方体模型

(1) 从主菜单栏选择【Tools】→【Options】→【Modeler Options】，打开3D Modeler Options对话框，选择Drawing选项卡，确认选中Edit properties of new primitives复选框，如图2.5所示，然后单击【确定】按钮。



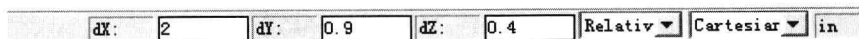
▲图 2.5 3D Modeler Options 对话框

(2) 从主菜单栏选择【Draw】→【Box】，或者单击工具栏的按钮，进入创建长方体模型的工作状态，移动鼠标光标到HFSS工作界面的右下角状态栏，在状态栏输入长方体的起始点坐标为(0, -0.45, 0)，如图2.6所示。



▲图 2.6 设置长方体起始点坐标

按下回车键确认后，在状态栏输入长方体的长(dX)、宽(dY)、高(dZ)分别为2、0.9、0.4，如图2.7所示。



▲图 2.7 设置长方体的长宽高

再次按下回车键确认后，会弹出新建长方体的属性对话框，如图2.8所示；通过属性对话框可以设置和修改物体的位置、尺寸、名称、材料和透明度等属性。这里选择Attribute选项卡，将长方体名称项(Name)改为Tee，长方体材料属性(Material)保持为真空(vacuum)不变；单击Transparent项的数值条，在弹出窗口中移动滑动条设置其值为0.4，以提高长方体的透明度。

设置完成后，单击对话框下方的【确定】按钮，退出属性对话框。此时，即创建好了一个顶点位于(0, -0.45, 0)，长×宽×高为2×0.9×0.4立方英寸的长方体模型。按下快捷键Ctrl+D，软件会适