



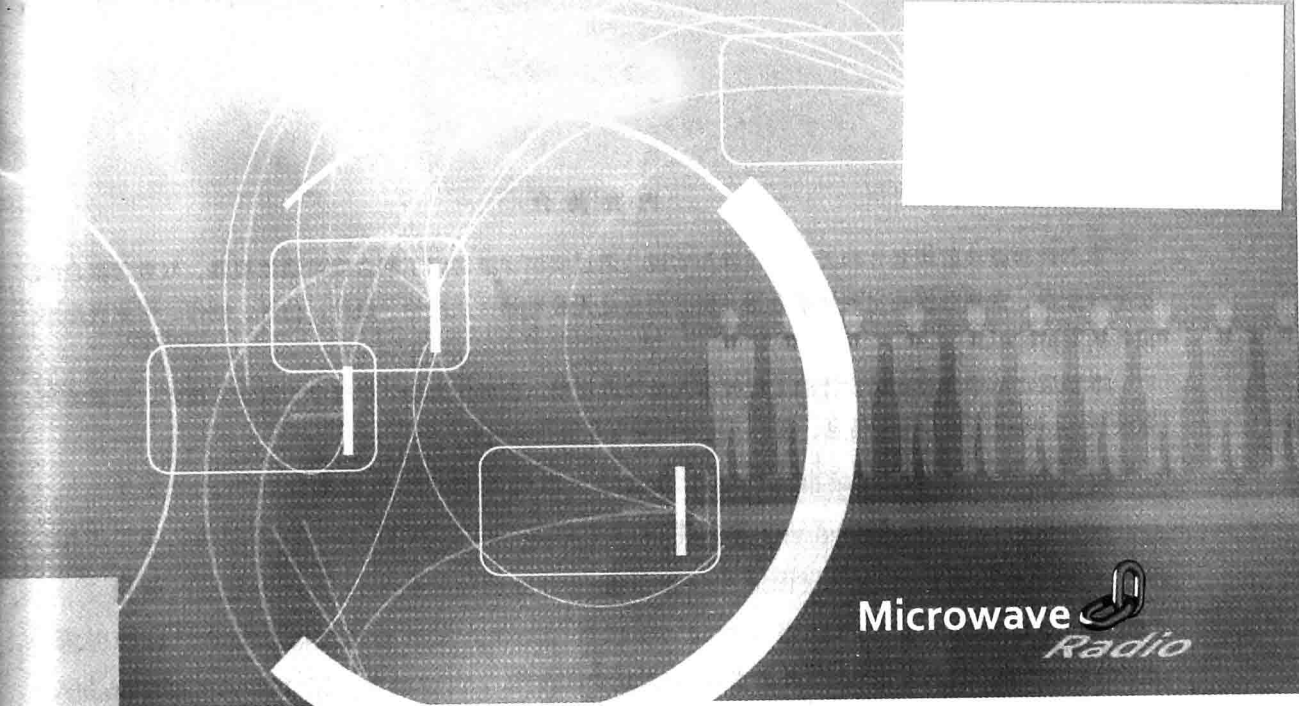
Microwave   
Radio

# 微波射频器件 和天线的 精细设计与实现

◎吴永乐 刘元安 张伟伟 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>



# 微波射频器件 和天线的 精细设计与实现

◎吴永乐 刘元安 张伟伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书针对微波射频器件和天线的设计与实现，通过实例详细讲解了耦合线带通滤波器、双频带耦合线功率分配器、强耦合度高定向性耦合器、宽带圆极化天线等器件从理论、设计、仿真、制作、实测到形成报告的完整过程。

本书适合从事微波电路设计的工程技术人员阅读使用，也可作为高等学校电子科学与技术、电磁场与微波技术、电子工程、电子信息、雷达工程等相关专业的教学用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

微波射频器件和天线的精细设计与实现 / 吴永乐, 刘元安, 张伟伟编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.1  
ISBN 978-7-121-24399-8

I. ①微… II. ①吴… ②刘… ③张… ④微波天线②射频一天线 IV. ①TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第221189号



策划编辑: 张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑: 徐 萍

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16.25 字数: 416 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

电磁场与微波技术是电子科学与技术一级学科下的一门重要的专业基础学科，覆盖了电子工程、通信工程、电子信息工程、雷达工程和物联网工程等领域。

目前，已经有众多的优秀理论教材能够满足本科生和研究生对电磁场与电磁波基本概念的理解、专业习题的解答和重大考试的复习等。同时，也有不少专业的 ADS、HFSS、Altium Designer 等专用仿真或制作工具的独立教程供大家参考。但是，作者在协助指导本科生和研究生设计和实现具体电路与系统的过程中发现，不少学生或者工程师都专注于自己在某一个知识面的理解或者某单一专业软件的熟悉使用上，很难做到从理论、设计、仿真、制作、实测到形成报告的完整过程，从而无法独立完成科研项目的立项、执行、验收和文档总结的完整工作。而最致命的是，这些学生或者工程师不敢或不愿意去突破自己的技术能力来完善自己。作者经过多年的学习和工作积累发现，导致这些问题的主要原因之一是缺乏一本完整且通俗易懂的专业书籍来引导。另外，对于初学者，基本工具的使用和基本电路的尝试是必须经历的过程，而大学老师很难有精力一次又一次地重复相同的科研过程来指导学生。本书就是在该客观需求下产生的，期待本书不仅可以积极引导初学者完成完整的设计流程，而且能够解决高等院校指导微波方向研究生的困扰。

本书的特点是避免烦琐的理论推导，注重微波理论与工程实现的无缝连接，确保包含 ADS、HFSS 和 Altium Designer 在内的一体化设计流程的流畅性，提供“手把手”模式下设计与实现的细节步骤，力争从微波理论、电路仿真、电磁全波仿真到实物制作形成一个完整的体系，为撰写项目总结和学术论文提供强有力的支撑。本书的案例来自作者在国际 SCI 检索学术期刊的论文和所申请的发明专利的具体实例，详细的理论设计思路和参数性能分析等细节内容可以参考原始学术论文和发明专利文件。

本书共分 5 章，全书由吴永乐副教授和刘元安教授提出框架结构、提供新颖的器件案例、负责全书内容的安排调整及主要编写工作，张伟伟负责全书的统稿。参加本书编写的还有廖梦笔、宁子璇、张小亮、周思玥、申晓川、焦凌霄和王卫民等。

本书得到了国家重点基础研究计划（973 计划）（No. 2014CB339900）、国家自然科学基金（No. 61201027）和毫米波国家重点实验室开放课题（No. K201316）的部分资助。在完稿的那一刻，全体参与者特别感谢北京邮电大学电子工程学院给我们提供了良好的工作平台。吴永乐副教授还特别感谢香港城市大学电子工程学系的培育和 IEEE Fellow 薛泉教授对

自己多年学术工作细致而富有建设性的指导。毫不夸张地讲，没有之前多年的学术积累，就无法提供原始的想法和素材来完成本书，也没有机会和勇气通过公开技术细节来期待未来射频微波全行业共赢的局面。

在本书的撰写过程中，作者参考或引用了包含 ADS、HFSS、Altium Designer 和 Origin 在内的多家商业软件的相关原始技术资料，借此机会向这些技术资料的原著者及相应的软件公司表示由衷的感谢。

由于作者编写水平的限制和完稿时间的紧迫，书中难免有疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正，并殷切希望提出宝贵的意见和建议（读者建议反馈邮箱：[wuyongle138@gmail.com](mailto:wuyongle138@gmail.com)）。

编著者

2014 年 7 月

于北京邮电大学电子工程学院

# 目 录

绪论	1
第 1 章 耦合线带通滤波器设计与实现	4
1.1 耦合线带通滤波器介绍	4
1.2 耦合线带通滤波器的 ADS 仿真	5
1.2.1 新建 ADS 设计工程	5
1.2.2 查看并处理仿真结果	15
1.2.3 微带线电路模型仿真	18
1.3 耦合线带通滤波器的 HFSS 仿真	23
1.3.1 新建设计工程	23
1.3.2 添加参数变量	26
1.3.3 滤波器建模	27
1.3.4 设置激励端口	38
1.3.5 创建辐射边界条件	44
1.3.6 求解设置	47
1.3.7 设计检查和运行仿真	48
1.3.8 查看 S 参数	49
1.3.9 查看群时延曲线	51
1.3.10 参数优化	53
1.4 PCB 制板	60
1.5 滤波器实物图及测试	68
第 2 章 双频带耦合线功率分配器设计与实现	69
2.1 双频带功分器介绍	69
2.2 双频带功分器的 ADS 仿真	70
2.2.1 新建 ADS 设计工程	70
2.2.2 查看并处理仿真结果	76
2.2.3 微带线电路模型仿真	80
2.3 双频带功分器的 HFSS 仿真	85
2.3.1 新建设计工程	85
2.3.2 添加参数变量	85
2.3.3 功分器建模	87
2.3.4 设置激励端口	97

2.3.5	创建辐射边界条件	100
2.3.6	求解设置	101
2.3.7	设计检查和运行仿真	102
2.3.8	查看 S 参数	103
2.3.9	参数优化	107
2.4	PCB 制板	109
2.5	功分器实物图及测试	112
<b>第 3 章</b>	<b>强耦合度高定向性耦合器设计与实现</b>	<b>114</b>
3.1	强耦合度高定向性耦合器介绍	114
3.2	强耦合度高定向性耦合器的 ADS 仿真	115
3.2.1	新建 ADS 设计工程	115
3.2.2	查看并处理仿真结果	122
3.3	强耦合度高定向性耦合器的 HFSS 仿真	126
3.3.1	新建设计工程	127
3.3.2	添加参数变量	128
3.3.3	耦合器建模	128
3.3.4	设置激励端口	142
3.3.5	创建辐射边界条件	146
3.3.6	求解设置	148
3.3.7	设计检查和运行仿真	149
3.3.8	查看 S 参数和相位信息	150
3.3.9	参数优化	153
3.4	耦合器实物图及测试	160
<b>第 4 章</b>	<b>宽带圆极化天线设计与实现</b>	<b>162</b>
4.1	圆极化天线介绍	162
4.2	圆极化天线的 HFSS 仿真	165
4.2.1	新建设计工程	165
4.2.2	添加设计变量	166
4.2.3	圆极化天线建模	166
4.2.4	设置激励端口	195
4.2.5	创建辐射边界条件	199
4.2.6	求解设置	200
4.2.7	设计检查和运行仿真	201
4.2.8	查看 S 参数	202
4.2.9	参数优化	203
4.2.10	查看最终结果	209

4.3 天线实物图及测试 .....	213
<b>第 5 章 Origin 和典型数据图片处理</b> .....	<b>216</b>
5.1 双频功分器 S 参数和相位差绘制 .....	216
5.1.1 创建项目并生成初步结果图 .....	216
5.1.2 美化曲线 .....	220
5.1.3 美化显示窗口 .....	224
5.2 圆极化天线 S 参数绘制 .....	231
5.2.1 创建项目并生成初步结果图 .....	231
5.2.2 美化曲线 .....	233
5.2.3 美化显示窗口 .....	234
5.3 圆极化天线轴比绘制 .....	236
5.3.1 创建项目并生成初步结果图 .....	236
5.3.2 美化曲线 .....	238
5.3.3 美化显示窗口 .....	239
5.4 圆极化天线方向图绘制 .....	241
5.4.1 创建项目并生成初步结果图 .....	241
5.4.2 美化曲线 .....	244
5.4.3 美化显示窗口 .....	248
<b>参考文献</b> .....	<b>250</b>



# 绪 论

## 1. 微波射频器件及天线概述

微波射频无源和有源器件是微波电路与无线电收发前端系统的关键组件或核心单元，也是电子科学与技术、电子通信工程、电子信息工程、电磁场与微波技术等学科的重要研究方向。其中，微波无源器件作为微波射频器件中主要的分支之一，在整个微波工程技术中占据了非常核心的地位，在微波电路与射频前端中得到了广泛应用。在众多的微波电路与系统设计中可以发现，改善无源器件的性能指标是提高收发前端系统整机性能的重要策略；另外，最近的研究表明，在有源电路中有效融合或集成无源电路或器件的内在功能不但可以减少器件的数量和能量传输路径，而且能提高有源器件的整体电气性能。因此，深刻理解关键无源器件的工作原理，熟悉掌握其工程设计方法尤为重要。简单而言，常用的微波无源器件按照功能可分为阻抗匹配器、滤波器、功分器、耦合器、双（多）工器、移相器、巴伦、过桥等。

通俗地讲，微波无源器件的本质可简单认为是将一路或多路输入射频微波信号转化为所需要的一路或多路输出射频微波信号的电路网络，其所需信号的频率、幅度和相位同时得到单一指标或多指标需求的有效转化[1-3]。例如，两端口（输入端和输出端）滤波器的转化功能是将输入射频微波信号中不需要的特定频率信号阻挡掉（最大端口反射或额外完整吸收），而将所需要的频率信号无损耗地传输到输出端，即完成频率筛选的转换功能；三端口功分器的转化功能是将一路输入射频微波信号分成两路输出射频微波信号（幅度变而频率不变），也可将功分器反过来当合路器使用，即将两路频率相同的射频微波信号合成一路输出射频微波信号（相位差和幅度比影响两路信号合成的效率），即完成幅度调整的转化功能；四端口耦合器的转化功能是将一路输入射频微波信号的一部分能量传输到输出端口，将另一部分能量在某种相位差和幅度比的约束下耦合到耦合端口，而隔离端口确保没有能量输出，即同时完成幅度和相位调整的转化功能。

与微波无源器件具有同等重要地位的天线既可认为是无源器件中的一类（除了有源一体化天线，其为有源电路和无源天线结合的统一体），也可认为是独立的一个部件。通俗地讲，天线可看作是一种能量变换器，它将有限空间传输线中传输的导行波能量变换成在无界媒质（如空气）中辐射的电磁波能量或者相反对调的能量变换。可以毫不夸张地讲，任何无线电通信或雷达导航系统都离不开天线。有趣的是，天线自身的辐射单元与馈电网络设计和微波无源器件理论与实现之间的关系十分紧密，例如，众多天线与天线阵中馈电网络的实现都离不开功分器、耦合器等无源器件的强力支撑。从一定角度讲，不懂无源器件设计和优化方法的工程师或研究人员也就很难设计出性能优良的天线，更无法轻易触及创新的根源。

本书重点以滤波器、功分器、耦合器和天线为例，阐述这些器件从理论、设计、仿真、制作到实测的全过程。本书用到的仿真软件有 ADS（Advanced Design System）和 HFSS（High Frequency Structure Simulator），详细介绍了如何使用仿真软件 ADS、HFSS 来

设计、仿真和优化代表性的微波无源器件和天线，并达到预定的功能目标，并且演示了如何使用 Altium Designer 将 HFSS 建立的器件模型转化为可直接加工的电路板板图，最后给出了相应的实测结果，从而达到验证仿真结果的目的。本书的最后一部分展示了 Origin 的使用方法，有利于读者方便、美观、高效地做出仿真或测试参数曲线图，既可解决撰写优秀期刊 SCI 论文的困扰，又能有效提高科研项目文档或专家汇报材料的技术水平，从而为提高工程师的职业水平和科学家的专业水准起到一定的支撑作用。

## 2. 常用仿真软件简介

**【ADS 简介】** ADS (Advanced Design System) 软件由美国安捷伦公司 (于 2014 年拆分为安捷伦科技 Agilent Technologies 和是德科技 Keysight Technologies 两个公司，其中是德科技有限公司主要负责电子测量行业的业务) 研究开发，其基于矩量法原理设计，包含模拟/射频、数字信号处理、Momentum 电磁和 EMDS 电磁四大仿真平台[4-8]。该软件的八大仿真控制器为直流仿真、交流仿真、S 参数仿真、谐波平衡仿真、大信号 S 参数仿真、增益压缩仿真、包络仿真和瞬态仿真[4-8]。利用该八大仿真控制器，微波射频工程师和科研人员可在 ADS 软件环境下进行时域和频域仿真、模拟和数字单独及混合仿真、线性和非线性仿真等。本书详细介绍了如何使用 ADS 软件仿真代表性的微波无源器件，包括滤波器、功分器和耦合器等，展示如何查看这些器件的 S 参数幅度和相位等信息，并介绍了如何使用 ADS 的 LineCalc 工具计算微波无源器件中分布电路的实际尺寸。本书使用的 ADS 软件版本为 ADS 2011.01。若需了解更多关于 ADS 软件的详细信息，请参考网站 <http://www.keysight.com/zh-CN/pc-1297113/advanced-design-system-ads?nid=-34346.0.00&cc=CN & lc=chi> 和参考文献[4-8]。

**【HFSS 简介】** HFSS (High Frequency Structure Simulator) 软件由美国 Ansoft 公司研究开发，其基于有限元法原理设计，是一款三维电磁仿真软件。该软件能提供有效快捷的三维电磁场仿真求解方案，从而被广大的电子工程师和科研人员采用，特别是用来设计微波无源器件和各种三维结构的的天线。需要特别指出的是，HFSS 能对微波无源器件及天线的物理结构参数进行全参数化建模和参数自动化扫描下的全波三维电磁场仿真，并能利用参数自动化扫描达到所需结构设计的性能最优化，精确给出所设计器件和天线的 S 参数、相位参数及辐射特性等量化值。例如，在天线仿真方面，HFSS 能精确计算出天线的各种指标性能，如 S 参数、天线增益、轴比、天线输入阻抗、半功率波瓣宽度等[9,10]。HFSS 是对实际物理尺寸结构进行基于麦克斯韦方程组的三维全波电磁仿真，因此，相对于 ADS 理想电路仿真结果，由 HFSS 得到的全波电磁仿真结果更接近于微波无源器件与天线加工实物的测试结果。

本书主要介绍如何利用 HFSS 软件建立微波无源器件与天线模型、指定材料属性、分配边界条件和激励、设置求解方案、查看仿真结果和优化尺寸等。本书使用的 HFSS 软件的版本为 HFSS 13.0。若需了解更多关于 HFSS 的详细信息，请参考网站 <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electronics/Signal+Integrity/ANSYS+HFSS>，国内也有众多介绍 HFSS 软件的中文版书籍，如参考文献[9-11]。

**【Altium Designer 简介】** Altium Designer 软件由澳大利亚 Altium 公司研究开发，它能用来实现设计原理图、绘制原理图、设计器件封装、设计 PCB、拓扑逻辑自动布线、进行信号完整性分析、整理设计输出文档等功能[12-16]，电子工程师与科研人员常用该软件来进行低频的硬件电路与系统设计。同时，该软件也可用来进行高频甚至毫米波电路板的板图绘制。

本书简单介绍了从 HFSS 导出 DXF 文件到 Auto CAD 的 DXF 文件转换,再到导入 Altium Designer 的过程,解释了如何进行简单的 PCB 原理图绘制和后处理过程,省略了原理图的绘制与 PCB 的生成。本书使用的 Altium Designer 软件的版本为 Altium Designer Summer 09。若需了解更多关于 Altium Designer 的详细信息,请参考网站 <http://www.altium.com/en/products/altium-designer>。国内也有不少介绍 Altium Designer 的工具书籍,读者若想学习更多关于原理图、双层或多层 PCB 图的绘制和 FPGA 的设计知识,请参阅参考文献[12-16]。

**【Origin 简介】**Origin 软件由美国 OriginLab 公司研究开发,是目前在工业界和学术界用得较多的专业函数绘图软件,它能方便地导入其他应用程序和科学仪器自动记录生成的不同类型或格式的数据,其支持的数据类型有 ASCII、Excel、pClamp 等。基于这些原始数据,工程师与科研人员可利用其内置的二维和三维图形模板进行可视化操作和界面美化,生成的图形或图片可输出为 JPEG、GIF、EPS、TIFF 等不同格式的文件,以此可以满足各种不同的个性化需求[17]。本书在第 5 章以微波无源器件与天线的测试结果为例,介绍了 Origin 软件从数据导入到数据处理、绘图及图形美化的过程,所使用的 Origin 软件版本为 Origin 8.5。关于 Origin 更多详细的信息请参考网站 <http://www.originlab.com/>,也可参阅中文参考文献[17]。

### 3. 本书安排

本书的特色是实现了微波无源器件从理论分析到采用软件 ADS、HFSS 对器件进行设计、仿真直至使用 Altium Designer 制作 PCB 的全过程,并以第 1 章耦合线带通滤波器、第 2 章双频带耦合线功率分配器、第 3 章强耦合度高定向性耦合器为例,重点介绍了仿真软件的联合一体化使用,这些都是射频领域中无源器件设计的基础和重点;在第 4 章中以宽带圆极化天线为例,重点介绍了如何使用 HFSS 设计天线,并在本书的最后一章即第 5 章中,详细介绍了如何使用 Origin 软件将测试得到的数据以更加清晰、规范、漂亮的界面显示出来。本书介绍的案例均来源于作者的论文和发明专利,所有案例的其他细节可参考相应的论文与发明专利全文。

本书作为一本具有理论紧密联系实际特点的参考书,不仅有其他众多优秀工具书具备的实践指导意义,而且具备学术专著具有的高水平创新理论价值的特点。作者希望读者通过对本书的细心学习和模仿,有效掌握射频微波无源器件和天线从设计到仿真,最后做出实物测试的整套流程;也十分期待读者通过学习本书可以加深对滤波器、功分器、耦合器和天线等微波器件与部件的基本原理概念、性能指标和工程实现方法的理解,为以后科研或工程项目的完成奠定扎实的基础;最终也盼望读者能够通过本书不再对射频与微波领域产生畏惧,不再对电磁场与电磁波、天线辐射等理论感到害怕,从而通过实践对该领域产生兴趣,让更多有志青年在本书的引导下成为射频与微波领域在工业界或学术界的佼佼者。

# 第 1 章 耦合线带通滤波器设计与实现

随着现代无线系统的快速发展，滤波器在微波及毫米波无线通信系统中的应用越来越广泛[1-4]。在本章，我们展示了一种微带耦合线结构的无源带通滤波器，此滤波器电路结构简单，只包含两对耦合线和一个公共连接点。同时，本章将介绍如何在 ADS 平台下建立该带通滤波器的理想参数仿真模型，以及如何在 HFSS 平台下建立相应的全波电磁仿真模型，最后讲解如何使用 Altium Designer 进行 PCB 制板。实验结果表明，该带通滤波器具有尖锐的边缘选择特性。

## 1.1 耦合线带通滤波器介绍

### 1. 滤波器概述

微波滤波器属于二端口器件，其主要功能是使所需信号通过电路而衰减至最低，同时使无用信号的能量尽可能反射回输入端（或吸收消耗），即实现通带范围内信号的无损耗传输和阻带范围内信号的最大衰减（反射抑制或吸收损耗），其本质依然是一个选频器件。微波滤波器已经广泛应用在微波通信、雷达或射频参数测量系统中，其中带通滤波器的应用更为广泛[1-4]。

目前，带通滤波器的评价指标包括通带工作频带（含双频带等）、插入损耗、回波损耗和群时延等。假定端口 1 为带通滤波器的输入端口，端口 2 为带通滤波器的输出端口，则其指标参数表达如下[1-4]：

- ⊙ 插入损耗 (dB)  $= -20 \log_{10} |S_{21}|$ ，它表示带通滤波器能量减少的比例值 (dB)；
- ⊙ 回波损耗 (dB)  $= -20 \log_{10} |S_{11}|$ ，它表示带通滤波器输入能量与反射能量的大小比例值 (dB)。

本章从耦合线带通滤波器出发，分别介绍其理论分析、电路仿真、实物制作及测试结果。其中，使用的射频板材信息为 F4B 板，介电常数为 2.65，板厚为 1mm，其他参数可以忽略。

### 2. 滤波器原理简介

图 1.1 为基于耦合线结构的带通滤波器理想电路图，具体信息见参考文献[18]。该滤波器电路结构包含两对耦合线，中间为公共连接点。其中两对耦合线的偶奇模特性阻抗分别为  $Z_{ie}$  和  $Z_{io}$  ( $i=1, 2$ )，其电长度分别为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，端口阻抗设为  $Z_0$ 。

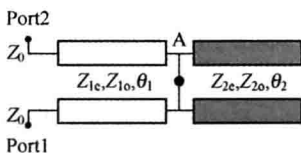


图 1.1 耦合线带通滤波器理想电路图

一般情况下，如果要构建一个工作频率点为  $f_0$  的理想耦合线带通滤波器，达到理想性能，则其 S 参数应该满

足以下条件： $S_{11}=0$ （通带内）， $S_{21}=0$ （通带外）。设计参数满足的公式如下[18]：

$$Z_{1e}Z_{1e}Z_{1o} \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 + (Z_0^2 Z_{2e} - Z_{1e}Z_{1o}Z_{2e}) \sin \theta_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + Z_0^2 Z_{1e} \cos^2 \theta_1 \sin \theta_2 = 0 \quad (1-1)$$

$$Z_{1e}Z_{1e} \sin \theta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2 + Z_{1e}Z_{2e} \cos^2 \theta_1 \cos \theta_2 - Z_{1o}Z_{1e} \sin \theta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2 + Z_{1o}Z_{2e} \sin^2 \theta_1 \cos \theta_2 = 0 \quad (1-2)$$

这里假定耦合线带通滤波器的工作中心频率点为 2GHz，该频率点对应的电长度分别为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，此处设  $\theta_1=\theta_2=\pi$ 。第一个反射零点  $f_p$  和第三个传输零点  $f_z$  可以这样表达[18]：

$$f_p = 1 - \left( \operatorname{atan} \sqrt{\frac{Z_{1e}Z_{1o}Z_{2e} - Z_0^2(Z_{2e} + Z_{1e})}{Z_{1e}Z_{1o}Z_{2o}}} \right) / \pi \quad (1-3)$$

$$f_z = 1 - \left( \operatorname{atan} \sqrt{\frac{Z_{1e}Z_{2e}}{Z_{1e}Z_{1e} - Z_{1o}Z_{1e} - Z_{1o}Z_{2e}}} \right) / \pi \quad (1-4)$$

显然，指定  $Z_{ie}$  和  $Z_{io}$  ( $i=1, 2$ ) 的值就可以确定对应的  $f_p$  和  $f_z$ 。




## 1.2 耦合线带通滤波器的 ADS 仿真

ADS 平台可以实现参数化的模型仿真，假设该带通滤波器的工作频点  $f_0$  为 2GHz，耦合线偶奇模特性阻抗为  $Z_{ie}$  和  $Z_{io}$  ( $i=1, 2$ )，电长度为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，端口阻抗为  $Z_0$ ，这些参数都可以在 ADS 电路中给出参数化定义，然后代入具体的值进行仿真，以便于观察带通滤波器的各种性能。

### 1.2.1 新建 ADS 设计工程

#### 1. 运行 ADS 并新建工程

双击桌面上的 ADS 快捷方式图标，启动 ADS 软件。ADS 运行后会自动弹出窗口【Getting Started with ADS】，简单介绍一些 ADS 的基本功能。单击【Close】按钮，进入主界面【Advanced Design System 2011.01(Main)】，如图 1.2 所示（注：此处的工作路径为安装软件时提前设置的路径，也可以更改）。

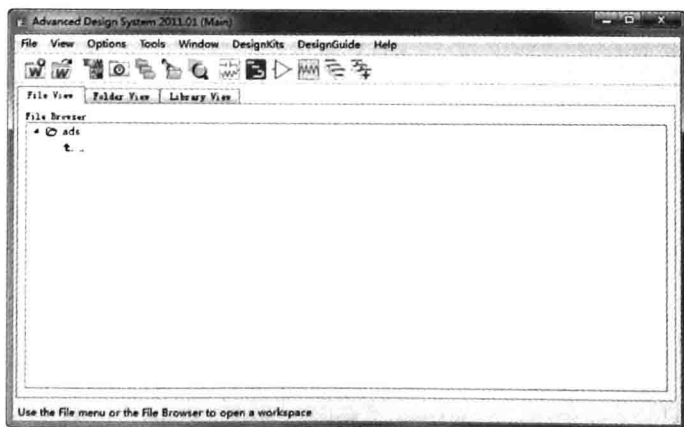


图 1.2 ADS 主界面窗口

执行菜单命令【File】→【New】→【Workspace】，打开如图 1.3 所示对话框，单击【Next】按钮。

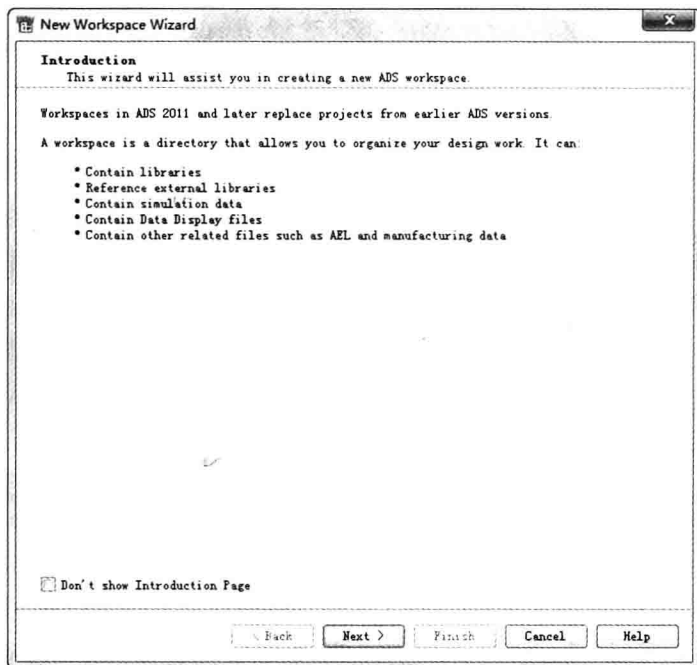


图 1.3 Workspace 向导对话框

如图 1.4 所示，对【Workspace name】和【Create in】对应的文本框进行设置，前者为工作空间（Workspace）的名字，后者为创建的工作空间所保存的路径，这里保留默认设置，单击【Next】按钮，保留图 1.5 中的默认设置，单击【Next】按钮。

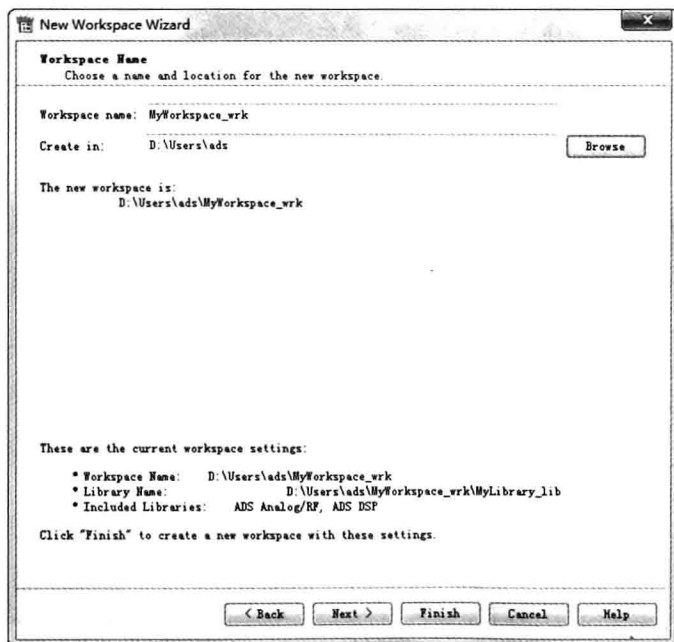


图 1.4 Workspace 设置对话框

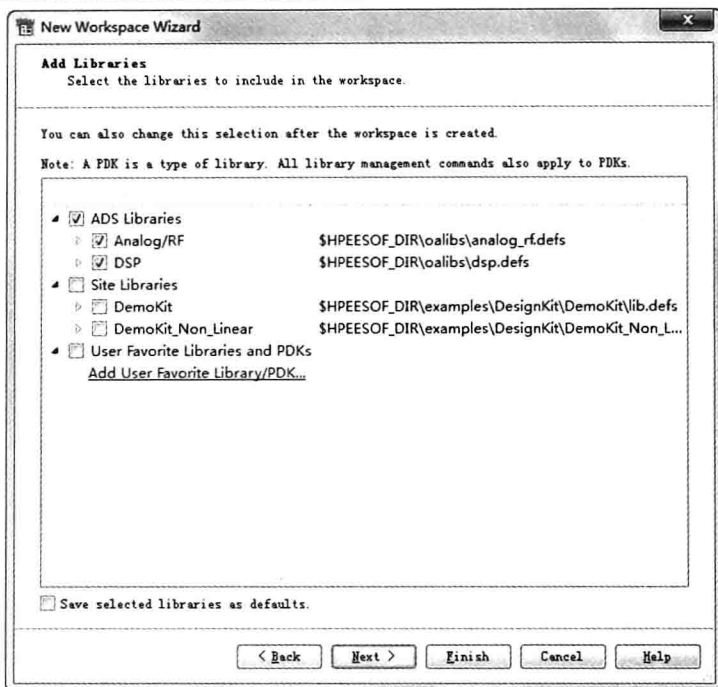


图 1.5 Libraries 设置对话框

一直单击【Next】按钮，直到界面如图 1.6 所示，单击【Finish】按钮。此时，ADS 主界面中的【Folder View】会显示所建立的工作组名称和相应路径（见图 1.7），工作空间的名称为“MyWorkspace\_wrk”，路径为“D:\Users\ads\MyWorkspace\_wrk”。

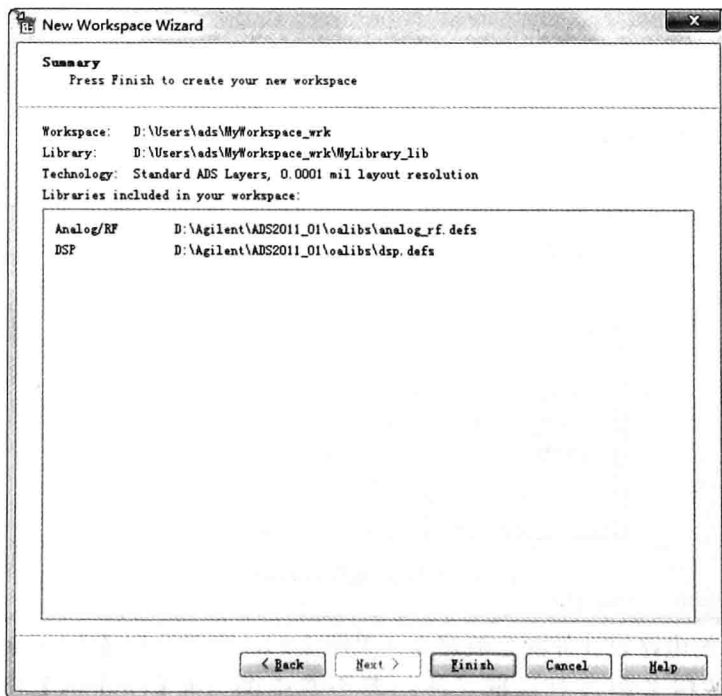


图 1.6 Workspace 属性显示框

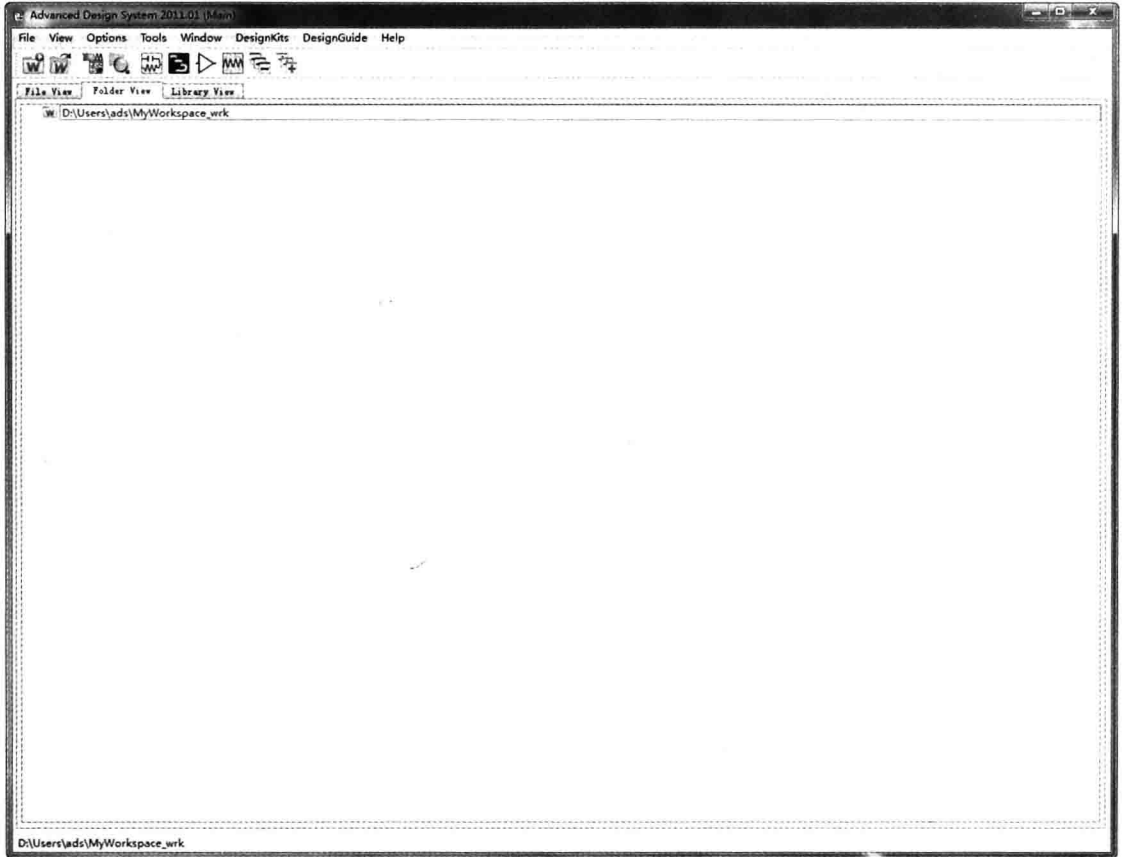


图 1.7 新建 Workspace 目录

执行菜单命令【File】→【New】→【Schematic...】，打开如图 1.8 所示对话框，修改单元（Cell）的名称为“Bandpass\_filter”，单击【OK】按钮保存设置（注：【Options】中的【Enable the Schematic Wizard】即原理图向导为可选项）。

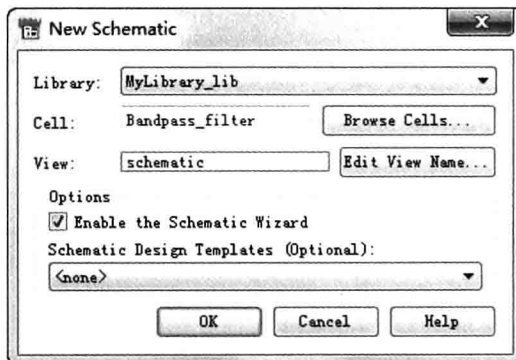


图 1.8 电路原理图设置对话框

完成后 ADS 的电路设计界面会被建立（见图 1.9），在对话框【Schematic Wizard:1】中单击【Cancel】按钮关闭该对话框（注：若不选中图 1.8【Options】中的【Enable the Schematic Wizard】即原理图向导，则对话框【Schematic Wizard:1】不会出现）。至此，一个文件名为 Bandpass\_filter 的单元创建完成，可以在自己创建的工作组路径下找到它。



## 2. 建立滤波器仿真模型

在元件面板列表中选择【TLines-Ideal】(见图 1.10), 然后单击按钮。

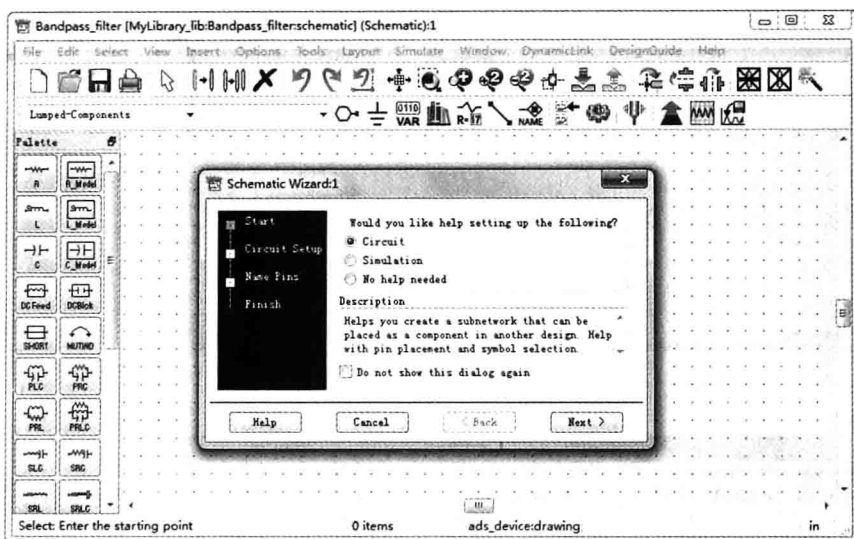


图 1.9 电路原理图向导

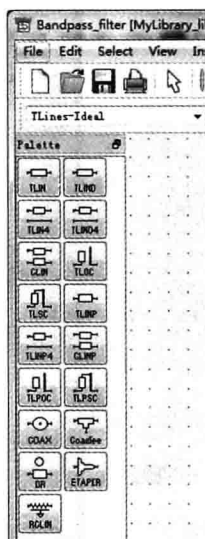


图 1.10 【TLines-Ideal】元件列表

在右侧的画图区单击鼠标左键, 可以添加一对耦合线模型(见图 1.11), 按“Esc”键可以退出绘制模式; 鼠标右键单击新建的耦合线模型, 选择【Rotate】可以将该耦合线沿顺时针旋转  $90^\circ$  (或者直接选中耦合线, 按快捷键“Ctrl + R”旋转), 如图 1.12 所示。

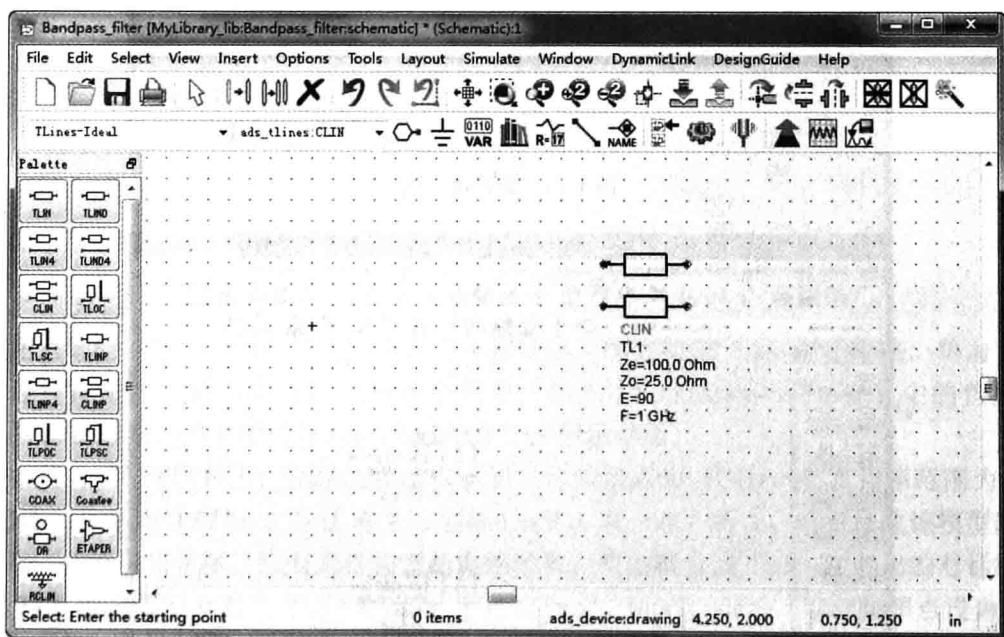


图 1.11 添加耦合线

这样添加的耦合线就会变为图 1.13 的形式, 仿照上述添加耦合线模型的步骤, 再添加一对耦合线(见图 1.14)。