



普通高等教育“十二五”规划教材

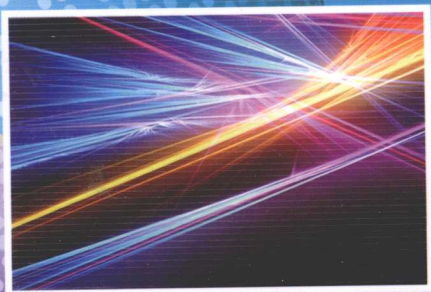
◎ 电子信息科学与工程类专业 规划教材

电子线路CAD 与优化设计

——基于Cadence / PSpice

◎ 贾新章 游海龙 高海霞 张岩龙 编著

◎ 黄胜利 审校



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

014035598

TN702
317

普通高等教育“十二五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

电子线路 CAD 与优化设计

——基于 Cadence/PSpice

贾新章 游海龙 高海霞 张岩龙 编著

黄胜利 审校



TN702
317

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



北航

C1723044

014032288

内 容 简 介

本书在阐述电子线路 CAD 和优化设计技术基本概念的基础上, 结合目前在电子设计领域广泛使用的 Cadence/PSpice 软件的最新版本 16.6, 介绍 CAD 和优化设计的基本原理及相关软件工具的使用方法, 包括电路图设计模块 Capture、电路基本特性模拟软件 PSpice AD、电路高级分析工具 PSpice AA, 以及与 MATLAB/Simulink 相结合进行行为级和电路级协同模拟仿真的模块 SLPS。

本书在介绍 Cadence/PSpice 16.6 软件的功能和使用方法时, 不但结合具体实例, 而且对于初学者难以理解的概念和容易发生的问题, 特别给予详细的说明。为了方便读者上机练习, 本书还提供下载 PSpice 16.6 的演示版软件及本书电路实例的网页地址。

本书可作为高等学校电子线路 CAD 和优化设计课程的教材, 对于使用 Cadence/PSpice 16.6 软件的电路和系统设计人员也是一本实用的参考书。

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

电子线路 CAD 与优化设计: 基于 Cadence/PSpice/贾新章等编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.4
电子信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-22620-5

I. ①电… II. ①贾… III. ①电子电路-计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 044342 号

策划编辑: 陈晓莉

责任编辑: 陈晓莉

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

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: 21.00 字数: 598 千字

印 次: 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 46.00 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

随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术已渗透到电子线路设计的方方面面。微型计算机的迅速普及,以及可用于微机系统的电子 CAD 软件的推出和不断完善,为 CAD 技术的推广应用创造了无比良好的条件。为保证电子线路和系统设计的速度和质量, CAD 软件已经成为不可缺少的重要工具。电路和系统的相当一部分设计任务是采用在微机系统上运行的 CAD 软件完成的。离开 CAD 技术,很难圆满完成一个电路和系统的设计任务。

针对这一情况,我们于 1992 年出版了《电子电路 CAD 技术》、1994 年出版了《电子线路 CAD 技术与应用软件》、1999 年出版了《PSpice 9 实用教程》。它们都是结合当时最新版本的 Cadence/PSpice 软件,来介绍 CAD 技术的。

在过去的十几年中,电子 CAD 技术又取得了很大的发展。Cadence/PSpice 软件除了在模型和模型库、算法和计算精度、收敛性等方面有所改善外,2003 年推出的 Cadence/PSpice 10 版本增加了高级分析(Advanced Analysis)模块,简称 PSpice AA,拓宽了电路的灵敏度分析、优化设计、可制造性设计、可靠性设计等方面的功能,使得 PSpice 软件真正具有一部分 EDA(Electronic Design Automation)的功能。Cadence/PSpice 10.5 版本中又增加了 SLPS(SL 代表 SimuLink、PS 代表 PSpice)模块,可以同时调用 MATLAB/Simulink 和 PSpice 对电路系统进行联合模拟仿真,使得模拟仿真精度接近单独调用 PSpice 进行电路级模拟的水平,而运行时间仅略大于单独调用 Simulink 进行行为级仿真所需要的时间。

针对上述情况,本书结合最新的 Cadence/PSpice 16.6 版本,详细介绍如何对电路进行模拟仿真验证,以及进一步进行优化设计。

本书共分 8 章。

第 1 章在简要介绍电子 CAD 技术的基本概念和 OrCAD 软件系统的结构组成与功能特点的基础上,对 Cadence/PSpice 软件的功能和发展情况做了比较全面的分析。

第 2 章以简单的单页式电路图为例,简要介绍如何调用 Capture 软件的主要命令生成电路图,为 PSpice 电路模拟做好准备。

第 3 章结合 Cadence/PSpice 软件的基本电路特性分析功能,介绍直流分析、交流小信号频率响应分析、瞬态特性分析、直流灵敏度分析、噪声计算、傅里叶分析、逻辑模拟和数/模混合模拟等技术的概念与模拟分析方法。

第 4 章介绍温度特性分析、参数扫描技术、蒙特卡罗分析(成品率计算)和最坏情况分析等统计模拟技术的原理与方法。

第 5 章介绍 Cadence/PSpice 软件中波形显示模块 Probe 的功能和使用方法,包括模拟结果波形的显示和分析处理、电路特性参数的提取、电路设计的性能分析与直方图绘制等。

第 6 章结合电路实例,介绍灵敏度分析、优化设计、可制造性设计、降额设计与热电应力分析的概念和基本原理,以及如何调用 Cadence/PSpice 软件的高级分析功能,完成这些分析和优化设计。

第 7 章涉及的是 Cadence/PSpice 软件的深入应用问题,包括相关中间文件和结果文件的格式与数据的调用、提取电路特性参数的 Measurement 函数编写、自定义降额因子文件的编写、改善收敛

性的策略、电路模拟仿真过程中常见问题的分析与解决方法等内容。

第8章结合实例,介绍应用SLPS模块对电路系统进行MATLAB/Simulink和PSpice协同仿真的策略与实现方法,以及MATLAB和PSpice的数据交互问题。

本书在内容的组织和编写风格上具有下述5个特点:

1. 本书在介绍电子线路CAD技术的基础上,进一步介绍了电路优化设计的概念、原理以及电路优化设计的实用技术,在国内同类教材和著作中这方面内容尚不多见。

2. 本书结合目前在电子设计领域广泛使用的Cadence/PSpice软件的最新版本16.6,介绍CAD和优化设计的基本原理与实现方法,具有很大的实用性。本书并不是软件电子文档的简单翻译,而是可以同时起到教材和用户指南的双重作用。

3. 本书在介绍Cadence/PSpice 16.6软件的使用方法时,从基本概念入手,根据电路设计任务分类介绍相关命令的使用,并结合具体实例说明主要命令的使用步骤和注意事项,而不像一般的用户手册那样只是孤立地介绍一条条命令。

4. 根据前三本书的经验,本书采用教材的编写风格,结合实例,深入浅出介绍基本概念和实用技术,还以“说明”、“提示”及“注意”的形式,强调说明容易出现的问题和解决方法。

5. 为了方便读者上机练习,使用本书的读者可从下述网址下载PSpice 16.6的演示版软件及本书采用的电路实例:

<http://www.bjdihao.com.cn/cn/download/orcad-166-lite-download.html>

本书由贾新章主编。编写得到Cadence/PSpice软件中国代理北京迪浩公司的大力支持,公司总经理黄胜利任审校,并参与编写了第2章。参加编写的还有游海龙(编写第3章、第4章)、高海霞(编写第8章)、张岩龙(参与编写了3.5节、4.3节、5.3.4节、第5章附录、6.6节,协助整理了前7章的图表以及前7章的实例运行验证)。贾新章编写其余章节并对全书进行统稿。

由于Cadence/PSpice 16.6版本推出的时间不长,扩展的功能多,涉及面广,实用性强,加之编者时间仓促,水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,欢迎读者提出宝贵意见。

编 者

于西安电子科技大学微电子学院

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 EDA 技术和 PSpice 软件	1
1.1.1 CAD 和 EDA	1
1.1.2 CAD/EDA 技术的优点	1
1.1.3 Cadence/PSpice 软件	2
1.2 PSpice 软件的功能特点	3
1.2.1 PSpice 软件的主要构成	3
1.2.2 调用 PSpice 进行电路设计的工作流程	4
1.2.3 PSpice 的配套功能软件模块	6
1.2.4 PSpice 支持的元器件类型	7
1.2.5 PSpice 支持的信号源类型	8
1.2.6 电路模拟的基本过程	8
1.3 运行 PSpice 的有关规定	9
1.3.1 PSpice 采用的数字	9
1.3.2 PSpice 采用的单位	10
1.3.3 PSpice 中的运算表达式和函数	10
1.3.4 电路图中的节点编号	11
1.3.5 输出变量的基本表示格式	12
1.3.6 输出变量的别名表示 (Alias)	13
第 2 章 电路图绘制软件 Capture	14
2.1 电路图绘制软件 Capture 介绍	14
2.1.1 OrCAD/Capture 软件的构成	14
2.1.2 OrCAD/Capture 软件的功能特点	15
2.1.3 基本名词术语	16
2.1.4 电路图生成的基本步骤	18
2.1.5 Page Editor 窗口结构和 13 条主命令	22
2.1.6 Page Editor 工具按钮	27
2.2 电路图的绘制	29
2.2.1 绘制电路图的基本步骤	29
2.2.2 元器件的绘制 (Place→Part)	30
2.2.3 电源与接地符号的绘制 (Place→Power 和 Place→Ground)	35
2.2.4 端口连接符号的绘制 (Place→Off-Page Connector)	36
2.2.5 互连线的绘制 (Place→Wire)	36
2.2.6 互连线的自动绘制 (Place→Auto Wire)	38
2.2.7 电连接结点的绘制 (Place→Junction)	38
2.2.8 节点名的设置 (Place→Net Alias)	39
2.2.9 引出端开路符号的绘制 (Place→No Connect)	40

2.3	电路图的编辑修改	40
2.3.1	电路图组成元素的选中	40
2.3.2	电路元素选中状态的去除	42
2.3.3	电路元素的移动 (Moving Objects)	42
2.3.4	电路元素的复制 (Copying Objects)	43
2.3.5	电路元素的删除	44
2.3.6	电路中元器件的替换和更新 (Replace Cache 和 Update Cache)	45
2.3.7	“操作”的撤销、恢复和重复执行 (Undo、Redo 和 Repeat)	46
2.4	电路元素属性参数的编辑修改	46
2.4.1	属性参数与属性参数编辑器	46
2.4.2	修改参数值的途径之一: 文本编辑方法	49
2.4.3	修改参数值的途径之二: 从下拉式列表选取	49
2.4.4	修改参数值的途径之三: 打开新的对话框	49
2.5	电路图在屏幕上的显示	50
2.5.1	电路图显示倍率的调整 (Zooming)	50
2.5.2	坐标网格点和图幅分区的控制	51
2.5.3	电路图特定位置的显示	52
2.6	Page Editor 运行环境配置	53
2.6.1	Capture 运行环境配置	53
2.6.2	新设计项目的 Design 环境设置	59
2.6.3	当前 Design 环境设置的修改	61
2.6.4	当前 Page Editor 环境设置的修改	62
2.6.5	自动备份参数设置	62
第 3 章	基本电路特性分析	64
3.1	模拟电路分析计算的基本过程	64
3.1.1	绘制电路图	64
3.1.2	特性分析类型确定和参数设置	65
3.1.3	模拟分析计算	68
3.1.4	电路模拟结果分析	68
3.2	Bias Point 分析	69
3.2.1	直流工作点分析	69
3.2.2	直流灵敏度 (Sensitivity) 分析	71
3.2.3	直流传输特性 (Transfer Function) 分析	71
3.3	DC Sweep 分析	72
3.3.1	功能	72
3.3.2	DC 分析的参数设置	72
3.3.3	分析结果的输出	74
3.3.4	实例	74
3.4	AC Sweep/Noise 分析	75
3.4.1	AC Sweep 分析	76
3.4.2	噪声分析	77
3.5	瞬态分析	79
3.5.1	瞬态分析的功能	79

3.5.2	瞬态分析参数设置	79
3.5.3	Check Points 工作模式与相关参数设置	81
3.5.4	用于瞬态分析的 5 种激励信号	83
3.5.5	瞬态分析实例	86
3.6	傅里叶分析 (Fourier Analysis)	88
3.6.1	傅里叶分析的功能	88
3.6.2	傅里叶分析的参数设置	88
3.6.3	傅里叶分析结果输出	89
3.7	输入激励信号波形的设置	89
3.7.1	模拟信号激励源图形符号	89
3.7.2	信号源波形的参数设置方法	90
3.8	数字电路的逻辑模拟	92
3.8.1	逻辑模拟的基本概念	92
3.8.2	逻辑模拟中的激励信号源	94
3.8.3	逻辑模拟的基本步骤	95
3.9	数/模混合模拟	98
3.9.1	数/模混合模拟中两类信号的处理方式	98
3.9.2	数/模混合模拟步骤	99
第 4 章	参数扫描分析和统计分析	101
4.1	温度分析 (Temperature Analysis)	101
4.1.1	功能	101
4.1.2	参数设置	101
4.2	参数扫描分析 (Parametric Analysis)	103
4.2.1	功能	103
4.2.2	参数扫描分析的步骤	103
4.3	蒙特卡罗 (Monte Carlo) 分析	106
4.3.1	概述	106
4.3.2	进行 MC 分析需要解决的问题	107
4.3.3	MC 分析步骤	112
4.4	最坏情况分析 (Worst-Case Analysis)	116
4.4.1	最坏情况分析的概念和功能	116
4.4.2	最坏情况分析参数设置	118
4.4.3	WC 分析实例 (差分对电路)	119
4.4.4	保证 WC 分析结果可信度的条件	121
第 5 章	波形显示和分析模块 (Probe)	122
5.1	Probe 的调用方式和运行参数设置	122
5.1.1	Probe 的功能	122
5.1.2	Probe 调用和运行模式	123
5.1.3	Probe 启动后窗口显示状态的设置	124
5.1.4	Probe 数据文件存放内容和格式的設置	125
5.1.5	Probe 运行过程中的任选项设置	126
5.1.6	Probe 模块的命令系统	126
5.1.7	Probe 窗口的工具按钮	128

5.1.8	Probe 中的数字和单位	129
5.2	信号波形的显示	129
5.2.1	Probe 窗口中显示信号波形的基本步骤	129
5.2.2	与波形显示有关的 Probe 选项设置	130
5.2.3	Probe 窗口中显示波形的增减	132
5.2.4	输出变量列表控制	133
5.2.5	模拟信号的运算处理	133
5.2.6	多批模拟分析结果波形的显示	134
5.2.7	波形显示标示符 (Marker) 与信号波形的自动显示	135
5.2.8	特大数据文件的显示处置	137
5.3	Probe 窗口波形显示界面设置	140
5.3.1	两根 Y 轴	140
5.3.2	坐标轴的设置	141
5.3.3	坐标网格的设置	143
5.3.4	标尺 (Cursor)	145
5.3.5	标注符 (Label)	150
5.3.6	波形的缩放	151
5.3.7	波形显示区的控制	151
5.3.8	波形显示窗口的控制	152
5.3.9	波形显示窗口内容的存储与调用	154
5.4	电路特性值的计算 (Measurement 函数)	156
5.4.1	Probe 提供的 Measurement 函数	156
5.4.2	电路特性值的计算方法一	156
5.4.3	电路特性值的计算方法二	158
5.5	电路性能分析 (Performance Analysis)	159
5.5.1	电路性能分析的基本过程	159
5.5.2	电路性能分析的基本步骤	160
5.5.3	继续进行电路性能分析的方法之一: 屏幕引导方式	161
5.5.4	继续进行电路性能分析的方法之二: 用户进行方式	164
5.5.5	关于 Performance Analysis 的其他操作	165
5.5.6	Performance Analysis 状态下的信号波形显示	166
5.5.7	Performance Analysis 应用实例	168
5.6	直方图绘制	171
5.6.1	绘制直方图的基本过程	171
5.6.2	直方图绘制实例: Chebyshev 滤波器分析	171
5.6.3	与直方图绘制有关的选项设置	175
5.7	傅里叶变换	175
5.7.1	Probe 中的傅里叶分析	175
5.7.2	与 PSpice 中傅里叶分析的比较	176
5.8	Probe 的监测运行模式	176
5.8.1	Probe 的监测运行模式 (Monitor Mode)	176
5.8.2	模拟过程中间结果的检查	177
5.8.3	电路特性分析监测符号 (WATCH1)	178

附录: PSpice 提供的 Measurement 函数	180
第 6 章 PSpice 高级分析	185
6.1 概述	185
6.1.1 PSpice 高级分析工具的功能	185
6.1.2 高级分析参数库	186
6.1.3 创建用于高级分析的电路设计	191
6.1.4 高级分析工具窗口	191
6.1.5 高级分析窗口命令菜单	193
6.2 Sensitivity 工具与灵敏度分析	195
6.2.1 灵敏度分析的相关概念	195
6.2.2 灵敏度分析的步骤	197
6.2.3 灵敏度分析过程控制	203
6.2.4 灵敏度分析结果的处理	204
6.3 Optimizer 工具与电路优化设计	205
6.3.1 概述	206
6.3.2 Optimizer 工具窗口和命令系统	208
6.3.3 设置待优化调整的元器件参数	209
6.3.4 设置优化指标	212
6.3.5 优化设计过程的启动和结果显示分析	214
6.3.6 采用离散引擎确定有效值	218
6.3.7 优化过程的控制	219
6.3.8 曲线拟合优化	220
6.3.9 “曲线拟合”应用实例	223
6.4 Monte Carlo 工具与“可制造性”分析	228
6.4.1 Monte Carlo 分析的步骤	228
6.4.2 显示有直方图的 Monte Carlo 分析结果	230
6.4.3 Monte Carlo 结果分析之一: 原始数据表	230
6.4.4 Monte Carlo 结果分析之二: 分析结果统计信息	233
6.4.5 Monte Carlo 结果分析之三: 概率密度函数 (PDF) 图	234
6.4.6 Monte Carlo 结果分析之四: 累计分布函数 (CDF) 曲线	236
6.4.7 Monte Carlo 分析过程控制	236
6.5 Smoke 工具与元器件热电应力分析	237
6.5.1 降额设计与 Smoke 工具	237
6.5.2 “No Derating”运行模式	239
6.5.3 Smoke 运行结果的分析	240
6.5.4 Standard Derating 运行模式	243
6.5.5 Custom Derating 运行模式	245
6.6 多层次参数扫描分析	248
6.6.1 Parametric Plotter 的功能特点	248
6.6.2 Parametric Plotter 的操作步骤	248
6.6.3 选择扫描参数和扫描类型	251
6.6.4 选择电路特性 Measurement	254
6.6.5 参数扫描结果分析一: 在 Results 子窗口查看参数扫描结果	255

6.6.6	参数扫描结果分析二：在 Plot Information 子窗口查看参数扫描结果	257
第 7 章	PSpice 的深层次应用	261
7.1	创建自定义 Measurement 函数	261
7.1.1	Measurement 函数的定义格式	261
7.1.2	Measurement 函数的重要构成元素：搜寻命令	263
7.1.3	Measurement 的基本构成元素之二：特征数据点表达式	266
7.1.4	典型 Measurement 函数剖析	266
7.1.5	用户自建 Measurement 函数	268
7.1.6	Measurement 函数的编辑处理	271
7.2	Smoke 参数与自定义降额文件	272
7.2.1	Smoke 参数的设置方法	272
7.2.2	用户自定义降额文件	276
7.3	PSpice 输出文件与数据转换	277
7.3.1	文本型输出文件(.OUT 文件)	277
7.3.2	DAT 文件数据格式的转换	280
7.3.3	电路图和模拟结果波形的引用	282
7.4	记录 PSpice AD 模拟过程中间结果的文件	284
7.4.1	OUT 文件中存放的模拟过程中间结果数据	284
7.4.2	直流工作点数据的存放与调用	289
7.4.3	MC 分析中随机数数据的存放与调用	291
7.4.4	记录运行命令的 CMD 文件	292
7.5	记录 PSpice AA 分析过程的 Log 文件	292
7.5.1	Log 文件中的元器件 Sensitivity 计算结果	293
7.5.2	Log 文件中存放的其他几种分析中间结果	294
7.6	收敛性问题	296
7.6.1	概述	296
7.6.2	关键节点初始偏置条件的设置	298
7.6.3	PSpice 中的任选项设置(OPTIONS)	299
第 8 章	PSpice-MATLAB 协同仿真与数据交互	304
8.1	概述	304
8.1.1	SLPS 简介	304
8.1.2	Simulink 简介	306
8.2	SLPS 协同仿真技术	310
8.2.1	SLPS 协同仿真的具体步骤	310
8.2.2	DC/DC 转换器应用实例	314
8.2.3	SLPS 优点和适用范围	318
8.3	复杂激励信号的 MATLAB 产生法	318
8.3.1	产生复杂激励信号源的基本思路	318
8.3.2	基于 MATLAB 生成 PSpice 复杂信号源的基本步骤	319
8.4	PSpice 仿真结果的 MATLAB 分析法	323
参考资料		326

第1章 概 论

本章在简要介绍计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 和电子设计自动化 (Electronic Design Automation, EDA) 基本概念的基础上, 介绍 Cadence/PSpice 软件的组成和功能特点, 并具体说明调用 PSpice 软件进行电路模拟和优化设计的流程、基本步骤以及需要注意的问题。

1.1 EDA 技术和 PSpice 软件

1.1.1 CAD 和 EDA

电子线路设计, 就是根据给定的功能和特性指标要求, 通过各种方法, 确定采用的线路拓扑结构以及各个元器件的参数值。有时还需进一步将设计好的线路转换为印制电路板版图设计。要完成上述设计任务, 一般需经过设计方案提出、验证、修改 (若需要的话) 三个阶段, 有时甚至要经历几个反复, 才能使设计的电路较好地满足设计要求。

按照上述三个阶段中完成任务的手段不同, 可将电子线路的设计方式分为人工设计、计算机辅助设计、电子设计自动化三种不同类型。

1. 人工设计

如果方案的提出、验证和修改都是人工完成的, 则称之为人工设计。这是一种传统的设计方法, 其中设计方案的验证一般都采用搭试验电路进行多参数测试的方式进行。

人工设计方法花费高、效率低。从 20 世纪 70 年代开始, 随着电子线路设计要求的提高以及计算机的广泛应用, 电子线路设计也发生了根本性的变革, 出现了 CAD 和 EDA。

2. 计算机辅助设计 (CAD)

顾名思义, 计算机辅助设计是在电子线路设计过程中, 借助于计算机帮助设计人员快速、高效地完成设计任务。具体地说, 就是由设计者根据要求进行总体设计并提出具体的电路设计方案, 包括电路的拓扑结构以及电路中每个元器件的取值, 然后利用计算机存储量大、运算速度快的特点, 对设计方案进行人工难以完成的模拟评价、设计检验和数据处理等工作。发现有错误或方案不理想时, 再重复上述过程。这就是说, CAD 这一工作模式的特点是由人和计算机共同完成电子线路的设计任务。

3. 电子设计自动化 (EDA)

CAD 技术本身是一种通用技术, 在机械、建筑甚至服装等各种行业中均已得到广泛应用。在电子行业中, CAD 技术不但应用面广, 而且发展很快, 在实现设计自动化 (Design Automation, DA) 方面取得了突破性的进展。目前在电子设计领域, 设计技术正处于从 CAD 向 DA 过渡的进程中, 一般统称为电子设计自动化 (EDA)。

1.1.2 CAD/EDA 技术的优点

采用 CAD/EDA 技术具有下述优点:

(1) 缩短设计周期。采用 CAD/EDA 技术, 用计算机模拟代替搭试验电路的方法, 可以减轻设计方案验证阶段的工作量。一些自动化设计软件的出现, 更极大地加速了设计进程。另外, 在设计印制电路板时, 目前也有不少具有自动布局布线和后处理功能的印制电路板设计软件可供采用, 将人们从烦琐的纯手工布线中解放出来, 进一步缩短了设计周期。

(2) 节省设计费用。搭试验电路费用高、效率低。采用计算机进行模拟验证就可以节省研制费用。特别要指出的是, 伴随着计算机的迅速发展和普及, 微机级 CAD/EDA 软件水平的不断提高, 这就可以在计算机硬件投资要求不大、CAD/EDA 软件费用也不太高的前提下, 促进 CAD/EDA 技术的推广使用。

(3) 提高设计质量。传统的手工设计方法只能采用简化的元器件模型进行电路特性的估算。通过搭试验电路板的方式进行验证, 很难进行多种方案的比较, 更难以进行灵敏度分析、容差分析、成品率模拟、最坏情况分析和优化设计等。采用 CAD/EDA 技术则可以采用较精确的模型来计算电路特性, 而且很容易实现上述各种分析。这就可以在节省设计费用的同时提高设计质量。

(4) 共享设计资源。在 CAD/EDA 系统中, 成熟的单元设计及各种模型和模型参数均存放在数据库文件中, 用户可直接分享这些设计资源。特别是对数据库内容进行修改或增添新内容后, 用户可及时利用这些最新的结果。

(5) 很强的数据处理能力。由于计算机具有存储量大、数据处理能力强的特点, 在完成电路设计任务后, 可以很方便地生成各种需要的数据文件和报表文件。

随着电子技术的发展, 需设计的电路越来越复杂, 规模也越来越大, 在这种情况下, 离开 CAD/EDA 技术几乎无法完成现代的电子线路设计任务。

1.1.3 Cadence/PSpice 软件

在微机级 CAD/EDA 软件系统中, PSpice 是对电路进行模拟仿真和优化设计的一款著名的软件系统。

迄今为止, 该软件的发展经历了下述几个主要阶段。

(1) SPICE 软件: PSpice 软件的前身是 SPICE, 其全称为 Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, 即重点用于集成电路的模拟程序。最早的 SPICE 软件的推出背景是在 20 世纪 70 年代初, 集成电路规模发展到以 1K 存储器为代表的大规模集成电路, 这时继续采用人工设计这种传统方法已经很难较好地完成设计任务。在这种情况下, 为适应集成电路 CAD 的需要, 美国加州大学伯克利分校于 1972 年推出了 SPICE 软件, 其基本功能是采用计算机仿真的方法模拟、验证由设计人员设计的电路, 看其是否满足对电路功能和特性参数等方面提出的设计要求。1975 年推出的 SPICE 2G 版达到实用化程度, 得到广泛推广。

(2) PSpice 1 软件: SPICE 软件的运行环境至少为小型计算机。1983 年, 随着微型的个人计算机 (PC) 的出现和发展, 美国的 Microsim 公司推出了可在 PC 上运行的 PSpice 1 软件, 其名称中的第一个字母 P 就代表这是在 PC 上运行的 SPICE 版本。

(3) OrCAD/PSpice: 1998 年 Microsim 公司并入 OrCAD 公司, 推出 OrCAD/PSpice 8。

(4) Cadence/OrCAD/PSpice: 2000 年 OrCAD 公司并入 Cadence 公司, 软件名称仍然称为 Cadence/OrCAD/PSpice, 版本号已发展到 PSpice 9.2, 其基本功能是对模拟电路 (Analog) 和数字电路 (Digital) 的功能特性进行模拟验证, 因此 PSpice 软件又称为 PSpice AD。本书第 3 章、第 4 章和第 5 章将详细介绍 PSpice AD 软件的功能和使用方法。

(5) PSpice AA: 2003 年推出的 Cadence/PSpice 10 版本增加了 Advanced Analysis (高级分析) 功能, 简称为 PSpice AA。本书第 6 章将详细介绍 PSpice AA 软件的功能和使用方法。

(6) SLPS: PSpice 软件的功能特点是在“电路级”进行电路的模拟仿真, 具有精度高的特点, 但是也存在仿真过程耗时长缺点。而 MATLAB/Simulink 软件的功能特点是在系统级层次进行“行为级”的模拟, 因此仿真速度很快, 但主要是功能验证, 电路层次的特性参数信息较少。基于上述特点, Cadence/PSpice 10.5 版本推出了 SLPS 模块, 其中 SL 代表 SimuLink, PS 代表 PSpice。SLPS 模块的功能特点是对电路系统同时调用 Simulink 和 PSpice 进行协同模拟仿真, 使得模拟仿真精度接近单独调用 PSpice 进行电路级仿真的水平, 而模拟仿真需要的时间仅略大于单独调用 Simulink 进行“行为级”仿真所需要的时间。本书第 8 章将详细介绍 SLPS 模块的功能和使用方法。

(7) PSpice 16.6: 目前 PSpice 软件的最新版本是 2012 年 10 月推出的版本 PSpice 16.6, 重点在模型、算法、收敛性方面做了很大改进。

经过近 30 年的发展和应用, Cadence/PSpice 实际上已成为微机级电路模拟的“标准软件”。

本书将结合最新的 Cadence/PSpice 16.6^{[1][2][3][4][6]}, 详细介绍该软件的各种主要功能和使用方法, 同时结合实例说明使用技巧以及在使用过程中需要注意的问题, 以保证软件的正确使用并发挥更大的作用。

提示: PSpice 软件是基于英文操作系统推出的电路模拟和优化设计软件。在中文 Windows 操作系统下运行时, 有时会出现对话框中部分项目参数的英文名称显示不完整现象, 但是对模拟仿真结果没有任何影响。

1.2 PSpice 软件的功能特点

本节从 PSpice 软件的组成、主要模块的功能、配套软件、支持的元器件种类和信号源类型等方面说明 Cadence/PSpice 软件的功能特点。

1.2.1 PSpice 软件的主要构成

PSpice 软件包括的主要模块如图 1-1 所示。

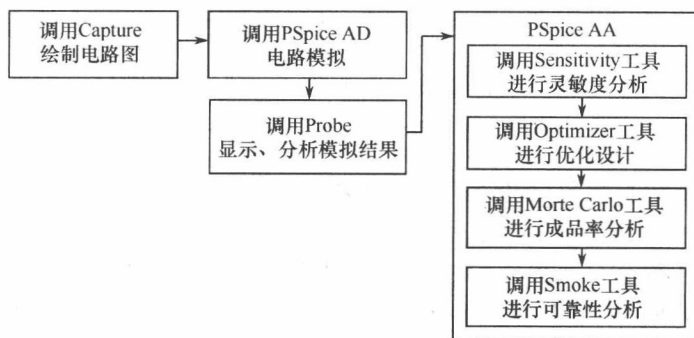


图 1-1 PSpice 软件组成和调用流程

由图可见, 调用 PSpice 软件完成电路模拟和优化设计要涉及 4 个软件模块:

- (1) Capture: 绘制电路图;
- (2) PSpice AD: 对电路进行模拟仿真;
- (3) Probe: 查看、分析模拟结果;
- (4) PSpice AA: 对通过了模拟验证的电路进一步进行灵敏度分析、优化设计, 以及可制造性和可靠性分析验证。

1.2.2 调用 PSpice 进行电路设计的工作流程

一般情况下，在设计电子线路过程中参照图 1-2 所示的工作流程，按照本节介绍的顺序，就可以比较好地完成电路设计任务。

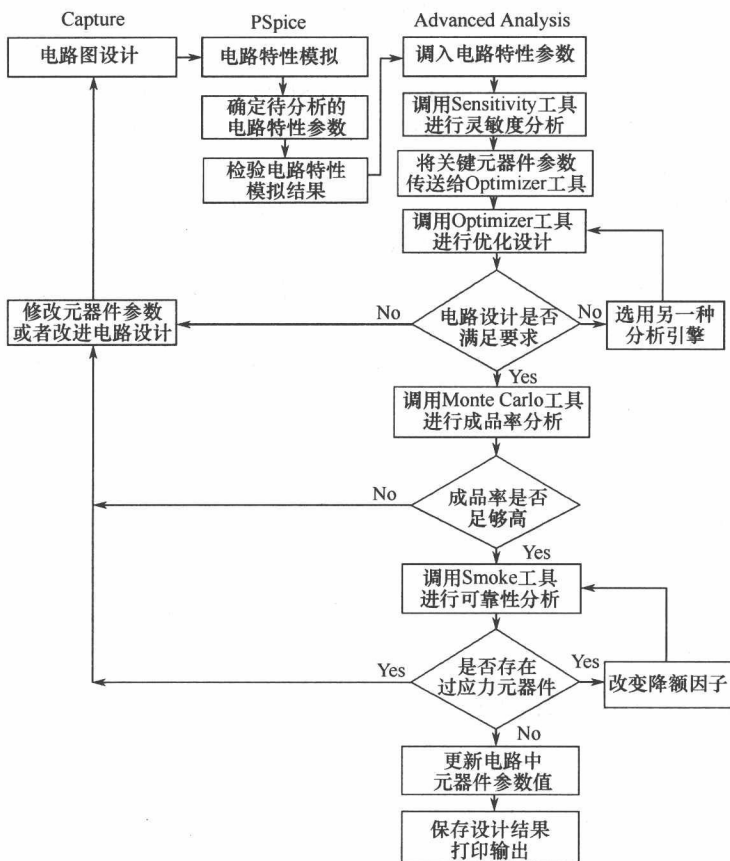


图 1-2 调用 PSpice 软件进行电路设计的流程

用户也可以根据需要，单独调用其中的单个工具完成相应的单项工作。

1. 调用 Capture 工具将用户设计的电路图送入计算机

为了调用 PSpice 软件对设计的电路进行模拟验证，进而改进设计，必须向 PSpice 提供待分析电路的全部信息，如拓扑结构、元器件参数值等，同时还要说明电路特性分析类型、设置分析参数并提出结果输出要求。早期的 SPICE 和 PSpice 软件要求用户按规定格式将上述内容编制成一份输入文件。这一工作不但繁杂，且极易出错，当电路规模较大时，这个问题更加严重。从 PSpice 5 开始，增添了电路图绘制软件 Capture。采用 Capture 后，用户就可以采用人机交互图形编辑方式，在屏幕上绘制好电路原理图，设置好分析参数，然后在 Capture 环境下调用 PSpice 继续完成电路模拟。

为了方便读者使用 PSpice 软件，本书第 2 章介绍调用 Capture 生成 PSpice 需要的电路图的方法。

2. 调用 PSpice AD 对设计的电路进行模拟验证

PSpice AD 中的 AD 代表 Analog and Digital，表示采用 PSpice AD 可以对模拟信号电路、数字电路，以及数模混合信号电路进行模拟分析。PSpice AD 可分析的电路特性有 6 类 14 种，如表 1-1 所

示。第3章和第4章将详细介绍 PSpice AD 的模拟分析功能。

表 1-1 PSpice AD 分析的电路特性

类 别	电 路 特 性	参考章节
直流特性	(1) 直流工作点 (Bias Point Detail)	3.2.1 节
	(2) 直流灵敏度 (DC Sensitivity)	3.2.2 节
	(3) 直流传输特性 (TF: Transfer Function)	3.2.3 节
	(4) 直流特性扫描 (DC Sweep)	3.3 节
交流特性	(1) 交流小信号频率特性 (AC Sweep)	3.4.1 节
	(2) 噪声特性 (Noise)	3.4.2 节
瞬态特性	(1) 瞬态响应 (Transient Analysis)	3.5 节
	(2) 傅里叶分析 (Fourier Analysis)	3.6 节
参数扫描	(1) 温度特性 (Temperature Analysis)	4.1 节
	(2) 参数扫描 (Parametric Analysis)	4.2 节
统计分析	(1) 蒙特卡罗分析 (MC: Monte Carlo)	4.3 节
	(2) 最坏情况分析 (WC: Worst Case)	4.4 节
逻辑模拟	(1) 逻辑模拟 (Digital Simulation)	3.8 节
	(2) 数/模混合模拟 (Mixed A/D Simulation)	3.9 节

3. 调用 Probe 模块分析电路模拟结果

PSpice 模拟分析的直接结果是节点电压和支路电流, 结合利用 Probe 模块可以从下述 4 个方面显示、分析模拟仿真的结果, 验证电路设计是否满足设计要求。

(1) 可以像示波器那样直接显示电压和电流波形, 以及对波形进行数学计算处理。具体使用方法将在 5.1~5.3 节详细介绍。

(2) 电路特性参数的提取: 调用 Probe 提供的多种 Measurement 函数, 可以从波形中提取出表征电路特性的参数, 例如增益、带宽、中心频率、上升时间等。用户还可以根据需要, 遵循规定的格式, 自行编写可以提取特定参数的 Measurement 函数, 添加到 Probe 模块中。5.4 节将详细介绍 Probe 提供的多种 Measurement 函数的功能特点, 以及用户自行编写 Measurement 函数的方法。

(3) 电路性能分析: Probe 模块具有 Performance Analysis 功能, 其作用是定量分析电路特性随元器件参数的变化关系, 有利于改进电路设计。这是一种面向设计的功能。5.5 节将详细介绍 Performance Analysis 的功能特点, 以及在使用中需要注意的问题。

(4) 电路特性参数分布的直方图统计: 根据设计好的电路进行实际生产时, 由于采用的元器件参数具有分散性, 必然引起产品电特性的分散。在 Probe 中可以用直方图显示产品性能的分布。这是一种面向生产的设计, 又称为成品率分析、可制造性设计。5.6 节将详细介绍如何生成直方图, 以及进行成品率分析过程中需要注意的问题。

4. 调用 PSpice AA/Sensitivity 模块进行灵敏度分析

在电路设计已满足基本要求的情况下, 为了进一步完善电路设计, 首先运行 PSpice AA 高级分析工具中的 Sensitivity 工具进行灵敏度分析 (参见 6.2 节), 鉴别出电路设计中哪些元器件的参数对电路电特性指标起关键作用。在电路设计和生产过程中, 以及采用其他几种高级分析工具时, 就可以重点对这些“灵敏”元器件, 有针对性地采取有效措施。

Sensitivity 工具还同时计算极端情况下的电路特性,包括最坏情况下的电路特性及最好情况下的电路特性。

5. 调用 PSpice AA/Optimizer 模块进行优化设计

完成灵敏度分析后,就可以针对灵敏度高的几个关键元器件参数,调用 Optimizer 工具(参见 6.3 节),对电路进行优化设计,优化确定电路中关键元器件的参数值,以满足对电路各种性能目标的要求。作为电路性能目标的要求,可以是增益、带宽、延迟时间等表征电路特性的参数值,还可以采用特性曲线(如频率响应曲线)作为优化目标。

6. 调用 PSpice AA/MC 模块进行可制造性设计

通过优化设计,可以改善电路的特性参数。在提交生产之前,还应该调用 Monte Carlo 工具预测生产成品率,进行可制造性设计(参见 6.4 节)。

说明:高级分析中的 Monte Carlo 分析工具的作用与 PSpice AD 中 MC 分析(参见 4.3 节)的功能相同,但是在结果数据分析和显示方面进行了明显的改进,而且解决了 PSpice AD 中 MC 分析过程中存在的元器件参数分布标准偏差与元器件容差之间不匹配的问题。

7. 调用 PSpice AA/Smoke 模块进行可靠性分析

通过 MC 分析,使得电路设计满足批量生产的要求后,还应该调用 Smoke 工具,分析电路中是否存在有可能受到过应力作用的元器件参数(参见 6.5 节)。电路工作时,如果有些元器件承受过大的热电应力作用,将影响元器件的可靠性,甚至会导致元器件烧毁“冒烟”(Smoke)。为了预防这种情况的发生,PSpice AA 工具中 Smoke 模块的作用就是对电路中的元器件进行热电应力分析,检验元器件是否由于功耗、结温的升高、二次击穿或者电压/电流超出最大允许范围而存在影响电路工作可靠性的应力问题,并及时发出警告。如果在电路设计中采用了“降额设计”技术,调用 Smoke 工具可以检验电路中的关键元器件是否满足规定的“降额”要求。

如果全部通过了上述 4 种高级工具的分析,则说明电路设计不但具有优越的电路特性,而且适合于批量生产,具有较高的生产成品率和使用可靠性。

1.2.3 PSpice 的配套功能软件模块

OrCAD 软件包中进行电路模拟分析的核心软件是 PSpice。为使模拟工作做得更快、更好,OrCAD 软件包中还提供了配套软件(模块)。它们之间的相互关系如图 1-3 所示。

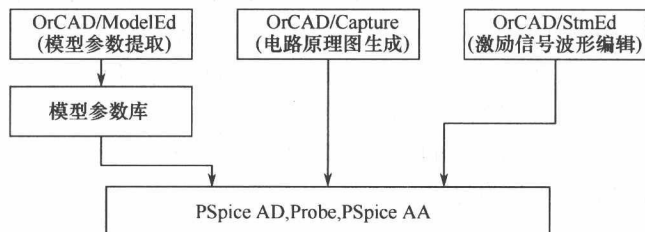


图 1-3 PSpice 与配套软件模块

1. 激励信号波形编辑软件模块(StmEd: Stimulus Editor)

在对电路特性进行分析时,瞬态分析和逻辑模拟分析需要的输入激励信号波形各不相同。StmEd 软件就是一个激励信号波形编辑器,可以交互方式生成电路模拟中需要的激励信号波形。包括:

(1) 瞬态分析中需要的脉冲、分段线性、调幅正弦、调频和指数信号等 5 种信号波形;