



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

电
工
电
子
基
础

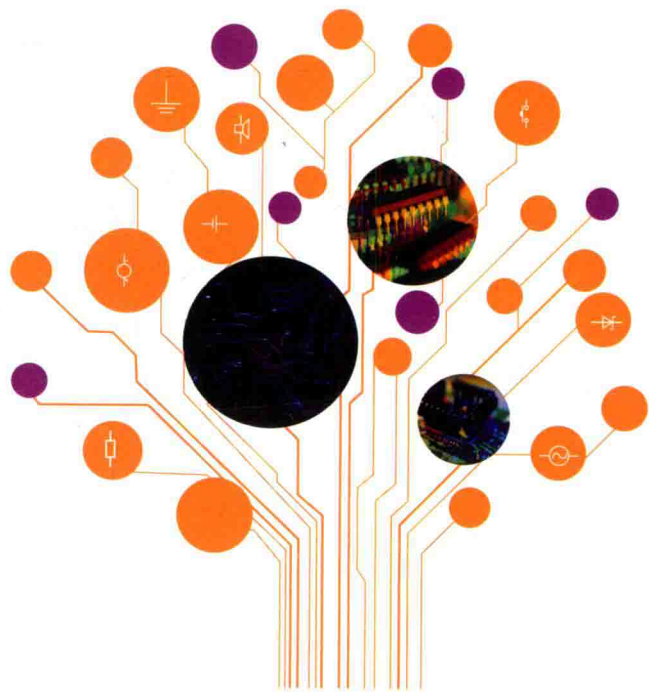
Design and Simulation of Electronic Circuit
Based on OrCAD 16.6

电子电路设计与仿真

基于OrCAD 16.6

刘明山 周原 主编

Liu Mingshan Zhou Yuan



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Design and Simulation of Electronic Circuit
Based on OrCAD 16.6

电子电路设计与仿真

基于OrCAD 16.6



刘明山 周原 主编

Liu Mingshan Zhou Yuan

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

OrCAD 是国际上著名的、使用最广的、被确定为工业标准工具的电子设计自动化(EDA)软件。

本书首先介绍电路 CAD 所必需的基础知识,其次以 OrCAD 16.6 版本为主,着重介绍 OrCAD 软件的使用方法,其中包括:仿真的图形输入模块 Capture 的使用;经典 PSpice 的使用;高级 PSpice-AA 的使用。本书以具体电路为前导,逐步介绍 OrCAD 的具体使用方法,便于读者学习、使用软件。

电类、非电类工科大专院校的学生和电子工程师,只要具备电工学的基本知识,通过本书的学习,都能掌握 OrCAD 的操作方法,使之成为读者从事教学、生产和科研的得力助手。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计与仿真:基于 OrCAD 16.6/刘明山,周原主编. —北京:清华大学出版社,2016
高等学校电子信息类专业系列教材
ISBN 978-7-302-41657-9

I. ①电… II. ①刘… ②周… III. ①电子电路—计算机辅助设计—应用软件—高等学校—教材
IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 224435 号

责任编辑:梁颖

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.75

字 数:417千字

版 次:2016年1月第1版

印 次:2016年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:065571-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主 任

吕志伟 哈尔滨工业大学

副主任

刘 旭 浙江大学
隆克平 北京科技大学
秦石乔 国防科学技术大学
刘向东 浙江大学

王志军 北京大学
葛宝臻 天津大学
何伟明 哈尔滨工业大学

委 员

王志华 清华大学
韩 焱 中北大学
殷福亮 大连理工大学
张朝柱 哈尔滨工程大学
洪 伟 东南大学
杨明武 合肥工业大学
王忠勇 郑州大学
曾 云 湖南大学
陈前斌 重庆邮电大学
谢 泉 贵州大学
吴 瑛 解放军信息工程大学
金伟其 北京理工大学
胡秀珍 内蒙古工业大学
贾宏志 上海理工大学
李振华 南京理工大学
李 晖 福建师范大学
何平安 武汉大学
郭永彩 重庆大学
刘缠牢 西安工业大学
赵尚弘 空军工程大学
蒋晓瑜 装甲兵工程学院
仲顺安 北京理工大学
黄翊东 清华大学
李勇朝 西安电子科技大学
章毓晋 清华大学
刘铁根 天津大学
王艳芬 中国矿业大学
苑立波 哈尔滨工程大学

宋 梅 北京邮电大学
张雪英 太原理工大学
赵晓晖 吉林大学
刘兴钊 上海交通大学
陈鹤鸣 南京邮电大学
袁东风 山东大学
程文青 华中科技大学
李思敏 桂林电子科技大学
张怀武 电子科技大学
卞树檀 第二炮兵工程大学
刘纯亮 西安交通大学
毕卫红 燕山大学
付跃刚 长春理工大学
顾济华 苏州大学
韩正甫 中国科学技术大学
何兴道 南昌航空大学
张新亮 华中科技大学
曹益平 四川大学
李儒新 中科院上海光学精密机械研究所
董友梅 京东方科技集团
蔡 毅 中国兵器科学研究院
冯其波 北京交通大学
张有光 北京航空航天大学
江 毅 北京理工大学
张伟刚 南开大学
宋 峰 南开大学
靳 伟 香港理工大学

丛书责任编辑

盛东亮 清华大学出版社

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

随着计算机技术的飞速发展和大规模集成电路的广泛应用,电子产品不断地更新换代,电子电路计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)技术,以及在其基础上发展起来的电子设计自动化(EDA, Electronic Design Automation)已成为电子领域的重要学科,并逐渐成为一个新兴的产业部门。电子设计自动化(EDA)软件版本更新速度加快,如 PSpice 于 1983 年 7 月推出 PSpice 1.01 版本,至 2004 年 11 月就推出了 PSpice 10.3 版本,平均每两年做一次较大的更新。其间原生产厂家 MicroSim 公司合并到 OrCAD 公司。随后,OrCAD 公司又被 Cadence 公司收购,并推出 Cadence 公司家族系列产品 OrCAD。

Cadence OrCAD 新版软件 16.6 依然分为三大部分:内置元器件信息系统的原理图输入器(Capture CIS);模拟和混合信号仿真(PSpice);印刷电路板设计(Layout Plus)。每一部分都有新特色及新加强的功能。其中 PSpice 中的高级分析工具 PSpice - Advanced Analysis(PSpice AA,简称 PSpice 高级分析)包含 5 个特色工具:灵敏度(Sensitivity)分析、参数优化(Optimizer)分析、蒙特卡洛(Monte Carlo)分析、热电应力(Smoke)分析、参数测绘仪(Parametric Plotter)分析。

OrCAD PSpice 和 PSpice AA 的分析技术提供一个完整的电路仿真和验证的解决方案。无论是设计简单的电路,还是设计复杂的系统,或验证器件的可靠性,在制版之前 OrCAD PSpice 软件提供最好的、高性能电路仿真以便分析和完善设计的电路、调整电路器件、优化参数。OrCAD 工具已经完全开放架构平台。这意味着用户可以在应用程序中添加独特的功能,也可以构建自己的设计流程。

这些特色工具原是针对模拟的工作平台 UNIX 环境,现在也可以用在 Windows 的工作平台,从而给用户一个非常好的分析与制作的接口设计条件。此外,还增加模拟组件 Model 到 PSpice 里来增强模拟分析。用户可在 PSpice A/D 分析(简称标准 PSpice 分析)的基础上,再用 PSpiceAA 的 5 个特色工具进行分析、设计,这样,可以最大限度地提高设计电路的性能、电路的可生产性以及产品的可靠性。

为满足读者使用新版本的需要,特编写本书。书中介绍 OrCAD 时侧重介绍 PSpice。本书以具体电路为前导,逐步介绍电路 CAD 的一些理论知识和 OrCAD 的具体使用方法。为便于读者学习,书中采用的符号与软件中的符号完全一致,即采用的是国际标准的电子器件符号,请读者注意其与国标符号的区别。OrCAD 16.6 精简版(演示版)软件可在 Cadence 官网免费下载,并可满足大学本科生的入门教学需要。

本书分为两大部分:

第一部分:OrCAD 简明教程,第 2~14 章。介绍 OrCAD 的原理图输入器(Capture CIS)、模数混合仿真(PSpice A/D)、PSpice 高级分析特色工具(PSpice AA)等部分的功能、

特点及菜单命令的操作使用；

第二部分：OrCAD 应用实例，第 15~18 章。对软件中的典型应用作了详尽的介绍，为从实例中学习 OrCAD 创造条件。

本书由刘明山、周原主编，刘明山、周原、吴薇完成本书的具体编写工作，由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。作者联系电子信箱：liiums@jlu.edu.cn。

编者

2015 年 9 月

目录

CONTENTS

第 1 章 概述	1
1.1 Cadence OrCAD 软件的发展	1
1.1.1 Spice 程序简介	1
1.1.2 OrCAD PSpice 软件概述	2
1.2 Cadence OrCAD 软件的功能	2
1.2.1 OrCAD Capture CIS 的功能	2
1.2.2 PSpice A/D 分析的功能	3
1.2.3 电路的高级分析功能	3
1.3 Cadence OrCAD Capture CIS	5
1.3.1 Cadence OrCAD Capture CIS 结构关系	5
1.3.2 元器件信息库(Parts Database)	6
1.4 Cadence OrCAD 16.6 版本的新增功能	8
1.4.1 OrCAD Capture 和 Capture CIS 的新增功能	8
1.4.2 PSpice A/D 和 Advanced Analysis 的新增功能	8
第 2 章 使用 OrCAD Capture CIS 绘制电路图	10
2.1 创建新电路图文件	10
2.2 绘制电路原理图	13
2.2.1 加载元器件库	13
2.2.2 取放元器件	15
2.2.3 放置偏置电源和接地符号	16
2.2.4 连接线路和放置节点	17
2.2.5 元器件属性编辑	18
2.2.6 设置网络连线节点名称	19
2.2.7 放置说明文字	20
第 3 章 直流分析(.DC)	21
3.1 运行 PSpice 的基本步骤	21
3.1.1 电路原理图输入方式	21
3.1.2 创建新仿真文件	23
3.1.3 执行 PSpice 程序	29
3.1.4 输出窗口的常用操作	29
3.2 直流分析	32
3.3 二次扫描(Second Sweep)	35
3.4 静态(直流)工作点分析	38

第 4 章 交流分析(. AC)	42
4.1 交流分析	42
4.2 交流的输出格式	47
4.3 游标的功能	47
4.4 噪声分析(. NOISE)	49
第 5 章 瞬态分析(. TRAN)	52
5.1 瞬态分析	52
5.2 瞬态源的类型	55
5.3 傅里叶分析(. FOUR)	59
第 6 章 温度分析与参数分析	64
6.1 温度分析(. TEMP)	64
6.1.1 电路图的绘制	64
6.1.2 分析参数的设定	64
6.1.3 执行 PSpice 程序	65
6.1.4 查看文字输出档	67
6.2 参数分析(. PARAMETERS)	67
6.2.1 电路图的绘制	67
6.2.2 分析参数的设定	68
6.2.3 执行 PSpice 程序	69
6.3 测量性能分析(Performance Analysis)	70
6.3.1 电路性能分析	70
6.3.2 创建测量函数	73
6.4 参数分析例题	75
第 7 章 蒙特卡洛分析和最坏情况分析	77
7.1 概述	77
7.2 蒙特卡洛分析(. MC)	79
7.3 最坏情况分析(. Wcase)	83
7.4 直方图的使用方法	85
第 8 章 仿真行为模型及模型的创建	90
8.1 受控源	90
8.2 仿真行为模型	94
8.3 编辑和创建模型	99
8.3.1 元器件模型的编辑	100
8.3.2 创建新元器件模型	101
第 9 章 数字电路分析	106
9.1 数字电路的基本分析方法	106
9.2 数字信号源	109
9.2.1 数字信号源类型	109
9.2.2 数字信号(激励)发生器描述格式	110
9.2.3 时钟型信号源(DigClock)	111
9.2.4 基本型信号源(STIMn)	112
9.2.5 文件型信号源(FileStimn)	114

9.2.6	图形编辑型(DIGSTIMn)信号源	117
9.3	数字电路最坏情况逻辑模拟分析	119
9.3.1	数字电路模型	119
9.3.2	最坏情况逻辑模拟分析	121
9.4	数字电路的自动查错功能	123
9.5	数字电路分析例题	125
9.6	Cadence OrCAD PSpice A/D 分析小结	129
第 10 章	PSpice-AA 模型参数库	134
10.1	查找 PSpice-AA 模型参数库	135
10.2	查找元器件	136
10.3	设置高级分析参数	138
10.3.1	高级分析的元器件参数	138
10.3.2	设计变量表	139
第 11 章	灵敏度分析(Sensitivity)工具的使用	141
11.1	电路原理图设计及电路模拟仿真	141
11.1.1	电路原理图设计	141
11.1.2	电路模拟仿真	141
11.2	确定电路特性参数	143
11.3	调入、运行 Sensitivity 工具	145
11.3.1	电路特性函数(Specifications)调整区	146
11.3.2	Parameters 元器件数据区	149
11.4	灵敏度结果的分析	151
第 12 章	优化(Optimizer)工具的使用	153
12.1	优化设计引擎	153
12.2	启动 Optimizer 工具	154
12.3	调整元器件参数	155
12.3.1	设计变量	155
12.3.2	调整设计变量——在 Parameters 表格区调整	156
12.3.3	调整目标函数——在 Specifications 表格区调整	158
12.3.4	误差图(Error Graph)	160
12.3.5	优化的最佳结果	162
12.3.6	运用离散引擎确定参数值	162
12.4	曲线拟合分析	164
12.4.1	电路原理图设计及电路模拟仿真	164
12.4.2	曲线拟合参考文件的设置	166
12.4.3	曲线拟合规范的曲线参数设置——在 Curve Fit 表格区调整	167
12.4.4	优化结果的分析	169
第 13 章	蒙特卡洛(Monte Carlo)工具的使用	172
13.1	Monte Carlo 分析参数设置	172
13.1.1	分布参数的设置	172
13.1.2	与 Monte Carlo 分析相关参数的设置	173
13.1.3	确定电路特性函数	174

13.2	运行 Monte Carlo 的结果分析	175
13.2.1	查看电路特性函数 Monte Carlo 分析统计数据	175
13.2.2	查看 PDF、CDF 图	177
13.2.3	Monte Carlo 统计结果的分析处理	179
第 14 章	电应力(Smoke)工具的使用	180
14.1	降额设计	180
14.2	Smoke 工具的工作流程	180
14.3	无源元器件的 Smoke 参数设置及电路模拟仿真	181
14.3.1	无源元器件的 Smoke 参数设置	181
14.3.2	电路模拟瞬态仿真	181
14.4	调用、运行 Smoke 分析工具	182
14.5	标准降额和自定义降额方法的使用	185
14.5.1	标准降额(Standard Derating)条件的应用方法	185
14.5.2	自定义降额(Derating Files)条件的使用方法	186
14.6	有源元器件的 Smoke 参数和设置方法	187
第 15 章	电路的计算机分析例题	189
15.1	直流分析例题	189
15.2	交流分析例题	193
15.3	瞬态分析例题	199
15.4	交流分析和瞬态分析的比较	205
第 16 章	拉普拉斯变换、傅里叶变换和非线性电路	213
16.1	拉普拉斯变换	213
16.2	傅里叶变换	215
16.3	非线性电路简介	217
第 17 章	模拟电路分析	221
17.1	常用半导体器件	221
17.1.1	二极管(D)	221
17.1.2	双极型晶体管(BJT)	223
17.1.3	场效应管(FET)	226
17.2	模拟电路分析例题	228
第 18 章	集成运算放大器和数字电路分析	234
18.1	运算放大器(Op-Amp)	234
18.2	逻辑电路分析	238
附录 A	Cadence OrCAD PSpice 提供的电路特性函数	242
附录 B	常用元器件及其参数	244
参考文献		254

Cadence OrCAD 软件是一款历史悠久、性能优越的电子设计 EDA 软件,本章从软件的发展、功能、特点等几个方面对软件加以介绍,使读者对该软件有一个全面、系统的了解,从而减少使用程序的盲目性并开阔视野。

1.1 Cadence OrCAD 软件的发展

1.1.1 Spice 程序简介

1. Spice 程序

在大规模电路计算机辅助设计(CAD)领域中,发展得最早、最成熟和使用得最广泛的是计算机辅助分析(CAA)。而在这方面最具代表性的电路分析程序是 Spice(Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis)。Spice 是一个多功能的电路模拟实验台,已在 1988 年被美国定为工业标准工具。

2. Spice 程序设计准则

作为一个良好的电子电路模拟程序,应该具有哪些条件?这可从 Spice 程序设计的准则中找到答案。Spice 程序设计的准则是:使程序易用、有效、简洁和通用。

3. 元器件的模型

Spice 程序通常包括 5 部分:电路输入、建立方程、电路分析、结果输出和控制程序。电路分析子程序是完成电路数学化后的数值解法,是模拟程序的重要组成部分。电路数学化(电路输入和建立方程)主要是元器件的模型化,即实际的元器件由反映元器件的本质特性的理想元器件组成的等效电路来表示,可以说没有模型化就没有电路分析。

简单的元器件,如电阻、电容和电感等,只需要一个或几个参数就可以描述其电学性能。而各种半导体器件的模型,则要求很多的参数值才能予以精确的描述。

4. 算法的选择

有了元器件模型参数和其相关联的拓扑约束关系,即输入文件给出的元器件连接节点,就可以列出方程、并进行求解。所以,分析子程序需要 4 个基本计算算法:列出方程(方法)、线性方程组解法、非线性方程组解法和数值积分法;这 4 种算法是整个程序的核心。经过多年的实践,这 4 种算法为:列写电路方程采用改进节点法、求解线性方程组采用 LU 分解法、非线性方程组的解法采用牛顿-拉夫逊算法、数值积分法采用步长可控的梯形法。

1.1.2 OrCAD PSpice 软件概述

Spice 是美国加利福尼亚州大学伯克利(Berkeley)分校研制的。从 1972 年第一版问世以来,由于它采取完全开放的政策,所以到如今已有多个版本在世界各地使用。Spice 本身也在广泛的应用中不断地修改、充实和完善。

随着 PC 的广泛应用,Spice 的微机版本 PSpice 发展很快。PSpice 是由美国 MicroSim 公司出版发行的软件。1983 年 7 月推出的 DOS 下的 PSpice 1.01 版本,1998 年 1 月 MicroSim 公司与 OrCAD 公司合并成为 OrCAD Enterprise,1999 年 9 月推出 OrCAD 9.0 版本,其中 PSpice A/D 9.0 中增加了优化设计。2000 年 3 月 OrCAD 公司又与 Cadence 公司合并,软件名称改为 Cadence OrCAD。OrCAD 软件成为很有实力的大型软件包之一。它是世界上使用最广的 EDA 软件,每天都有上百万的电子工程师在使用它。

Cadence OrCAD 采用新产品套装分割设计策略,实现了人工智能布线,加强了技术经济管理内容,画面上多了工作点的 V、I 和 W 图标,绘图准确、美观清晰、功能强、操作简便,给企业带来了巨大经济效益。因此,在国际上受到越来越多用户的欢迎。Cadence OrCAD 中包含 OrCAD Capture CIS(器件信息管理系统)、PSpice A/D(模/数分析)、PSpice Advanced Analysis(AA)(高级分析)、PCB(印刷电路板)设计等部分内容。本书基于最新的 OrCAD 16.6 版本,以前三部分为主介绍 OrCAD 软件的功能和使用该软件设计电子电路的技术。

1.2 Cadence OrCAD 软件的功能

1.2.1 OrCAD Capture CIS 的功能

由于 OrCAD Capture CIS(Component Information System)能够提供直观界面和具有丰富的特点,从而使其成为原理图设计输入的工业标准。OrCAD Capture CIS 是内置的元器件高级文档管理系统,不仅提供 Capture 的完整功能,更是提供了一个完美的元器件数据库管理接口,它可以通过 Microsoft Windows 的 ODBC 接口去连接不同数据库,整合元器件数据库的所有信息。使用这个功能可以全面地设计输入工具和管理环境,可以减少查找和手工输入元器件资料的时间及人为的错误。

(1) Capture CIS 为 Cadence Studio 系统的总体输入器。利用 Capture 来连接 OrCAD Layout、Allegro PCB Layout 或其他 Layout 的软件,来完成 PCB 设计;也整合了 PSpice 与 VHDL (NC Verilog)的环境,提供给用户做模拟与数字电路的前端设计平台。另外也可以配合 SpecctraQuest 来解决高频问题。

(2) 导出 30 种平板和分层格式(电路),可用于电路图、PSpice、PCB 和可编程器件设计,其中导出的 PCB Layout 软件的网络表格式包含 OrCAD Layout、Allegro、Pads P2K、Mentor Graphics 等。

(3) Capture CIS 可以在 ODBC 支持的环境中工作,如 MRP、ERP、PDM 等系统或是 Microsoft Access or SQL Server 等数据库。Capture CIS 支持小型的设计群组 and 更方便扩充的设置,例如 Microsoft 产品(Access),如果在同一个区域的团体需要更高级的客户端 Server 数据库管理系统技术,可以选择更复杂的数据库(SQL);通过 Capture CIS,可以从

本地元器件数据库或者远程元器件数据服务器中调用元器件。

(4) 支持远程的元器件搜索及下载功能。在 CIS Explorer 浏览器内置的 Internet Component Assistant (ICA)窗口的 ActiveParts 页面中,免费查找或下载 120 万个元器件到 Capture CIS 中,更弹性地结合所选择的数据库,搜索和选择元器件,直接拖拉元器件并放置到原理图页中,而不用退出 Capture CIS。ActiveParts.com 包含了“激活”元器件功能,和一百万个商用和军用标准元器件、制造商、PCB 图形封装、价格和供货日期等信息。

(5) 可以建立完整的组件数据,减少以后出错的风险,提供多重的 PLD 设计组件与方式,包含 Xilinx、Altera、Actel、Lattice、Lucent 与 Atmel 六种 Vendor 的组件。能更集中管理数据库的组件,避免多余的组件数据存在。

(6) 更自动地输入组件所需要的数据,让电路图产生更多有效的数据,更容易及快速地获得组件数据,生成具有报价水平的元器件清单 Netlist、接口等 40 多种文件,支持所有的公用程序,包括 VHDL、Spice、EPIF、PADS 和 PCAD/Protel/Tango 等。能自动打开或转换 SDT Release/V、PSpice 和 EDIF200、PDIF 的设计。

1.2.2 PSpice A/D 分析的功能

PSpice A/D(模/数)分析电路在当代产品开发中占有重要的地位。产品设计开始是根据设计要求画出合理的电路原理图,然后利用 PSpice 对电路进行仿真,检验电路是否达到设计要求,与此同时优化参数。待仿真成功后,才能设计印制板电路图(可利用 Cadence OrCAD 自动完成),宣告产品设计完成。

PSpice A/D 分析包括 4 项基本分析功能:静态工作点分析、直流分析、瞬态分析(时域分析)、交流分析(频域分析)。在这 4 项分析基础上又可进行温度分析、参数分析、蒙特卡洛分析和最坏情况分析等。

1.2.3 电路的高级分析功能

电路的高级分析包括灵敏度分析、电路的优化设计、蒙特卡洛分析、电应力分析等。其中的灵敏度分析、蒙特卡洛分析与 PSpice A/D 中的不同,具有更强大的分析功能。

1. 灵敏度分析

(1) 灵敏度分析的重要性

在电路设计中,灵敏度之所以成为一个重要因素,其原因有二:一是在大批生产电路时,元器件值对输出变量如 V_o 的灵敏度特性在确定产品的合格率方面起着关键性作用,所以先优化设计它,由此可见灵敏度分析是参数优化设计的前提和基础;二是对具有高灵敏度的电路,需要许多价格昂贵的高精度的元器件才能正常工作,而对许多低灵敏度的电路,采用元器件值相对于标称值有较大的偏差的元器件也能正常工作,当然采用价格低廉的元器件,所以说灵敏度分析又是容差分析的基础。

(2) 灵敏度的定义

电路网络函数(输出变量) T 相对于某一参数 X 的变化率定义为灵敏度,用符号 S_X^T 来表示灵敏度

$$S_X^T \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1-1)$$

式中, T 为电路网络函数, 如输出阻抗、传输函数和输出电压(或电流)等; X 为元器件值或影响元器件值的某些物理参数, 如温度等。这样定义的灵敏度也称绝对灵敏度。常用的是相对灵敏度又称归一化灵敏度:

$$S_X^T \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial T}{\partial X} \frac{X}{T} = \frac{\partial T}{T} / \frac{\partial X}{X} = \frac{\partial(\ln T)}{\partial(\ln X)} \quad (1-2)$$

由公式(1-2)定义的元器件参数单位(UNIT)增量灵敏度, 是在数值上等于变量每增加基本单位值对输出变量的影响。电阻基本单位为 1Ω 、电容基本单位为 $1F$ (实际上常用的是 $10^{-6}F$)、电感基本单位为 $1H$ (实际上常用的是 $10^{-3}H$)。想要都变化 1 基本单位值来比较, 就掩盖了电容、电感变化的影响。故常用公式(1-3)

$$S_X^T \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial T}{\partial X} \frac{X}{100} \quad (1-3)$$

定义的元器件参数百分之一(变化 1%)增量(PERCENT)灵敏度, PSpice_AA 程序多使用这种灵敏度。

(3) 最坏情况分析

最坏情况(Worst Case)是指电路中的元器件参数在其容差域边界点上取某种组合时所引起的电路性能的最大偏差。最坏情况分析(Worst Case Analysis, WCASE), 就是在给定电路元器件参数容差的情况下, 估算出电路性能相对标称值时的最大偏差。如存在最大偏差时都能满足设计要求, 那当然是最佳方案。

WCASE 分析是一种统计分析, 变量一个一个地变化, 即每进行一次电路分析, 只有一个元器件的一个参数发生变化。这样, 可以得出电路的灵敏度特性。

2. 电路的优化设计

电路仿真是非常重要的, 它辅助工程师设计了各种电路。但与期望的电子设计自动化(EDA)的优化设计目标还有很大距离。人们是从两方面解决这个问题, 一是基于数学的最优化算法; 二是基于知识信息系统。PSpice/Optimizer 是基于前者。

(1) 优化变量

优化问题离不开设计变量、目标函数和约束条件等三个方面的问题。首当其冲的就是如何选择设计变量。设计变量就是在优化设计中出现的各个可以选择取值的变动参数。

PSpice/Optimizer 设计变量包含:

- 元器件参数值。如电阻的阻值 R 、电容的参数值 C 、晶体管元器件模型参数(如放大倍数 β 等)。
- 元器件其他性质。比如, 滑动变阻器在电路中滑头位置。可用 Set 指令, 并设定一个在 $0 \sim 1$ 之间值来表示这个性质的设计变量。
- 用特殊表达式代表的器件的值或其他性质。比如, $\exp()$, $\log()$, $\sin()$, $\max()$, $\text{db}(v(\text{load})/v(\text{in}))$, $\text{bandwidth}(V(\text{load}), 3)$, 即电路特性函数。PSpice 提供有 53 个电路特性函数。

(2) 目标函数

目标函数是待优化的目标。目标函数是评价电路优化设计好坏的标准。它是 n 个设计变量的一个实函数, 也就是一个向量 X 的函数, 写成

$$F(\mathbf{X}) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \mathbf{X} \in \mathbf{D} \subset \mathbf{R}^n \quad (1-4)$$

最优化解法的数学表达式为

$$\begin{cases} \min F(\mathbf{X}) & \mathbf{X} \in \mathbf{D} \subset \mathbf{R}^n \\ g_i(\mathbf{X}) \geq 0 & i = 1, 2, \dots, l \\ h_j(\mathbf{X}) = 0 & j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \quad (1-5)$$

式中, $g_i(\mathbf{X}) \geq 0$ 和 $h_j(\mathbf{X}) = 0$ 称为约束条件。 $g_i(\mathbf{X}) \geq 0$ 是不等式约束; $h_j(\mathbf{X}) = 0$ 是等式约束。通过它们对目标函数进行某些限制。如集成电路内部对电阻元器件参数限制在 $10\Omega \sim 50\text{k}\Omega$ 之间等, 这些约束条件可以是显式的也可以是隐式的。

由此可见, 所谓电路的优化设计, 从数学角度上看, 就是在一定的约束条件下, 求目标函数的极值问题。

3. 蒙特卡洛分析

前面关于电路参数灵敏度的计算, 反映了电路参数的改变对电路特性影响的大小, 这对设计人员来说无疑是重要的。然而很多情况下, 并不能确切知道各个参数的实际改变量, 而只是知道各个参数的随机分布规律或者是变化范围。在这种情况下, 怎样来分析电路特性的随机分布规律或者它的相应变化范围, 这就是容差分析所要讨论的问题。由于这种不确定性, 容差分析一般用概率统计分析, 而且多用蒙特卡洛法。

在计算机上进行蒙特卡洛分析时关键在于用计算机产生随机数。然后用一组一组的随机数对各元器件取值。元器件的分布规律有: 均匀分布(FLAT)、正态分布或称高斯(GAUSS)分布、双峰分布(BSIMG)、斜峰分布(SKEW)、自定义分布等。

4. 电应力分析

电子电路在工作过程中, 常因某个(些)元器件承受的热电应力超出其安全工作条件, 因此降低了可靠性, 严重地导致冒烟烧毁。据此, “冒烟报警”提高电路工作的可靠性, 对一些安全性要求较高的电路(网络)采用降额设计已纳入电子工程师视野。Smoke 分析是用在瞬态分析下, 仿真、计算、检测各组件参数特性在其工作时所承受的功耗、结温的升高、二次击穿、电流或电压是否在安全的工作范围内, 并可清晰地对比出哪个参数特性违反限制, 并及时发出预警。

1.3 Cadence OrCAD Capture CIS

1.3.1 Cadence OrCAD Capture CIS 结构关系

OrCAD Capture CIS 为 OrCAD Capture 的附加模块, 这也是针对不同用户的需要, Cadence 公司提供 OrCAD Capture 和 OrCAD Capture CIS 两个层次的电路原理图绘制软件。两者的主要区别在于 OrCAD Capture 软件中不包括 CIS 模块。Cadence OrCAD Capture CIS 结构关系图如图 1-1 所示。与 CIS 模块相连接的属性对象主要有三大类:

(1) 本地元器件库(Local Preferred Parts Database)。其中包括了相关元器件的信息, 并通过链接方式与其他数据库相连。本地数据库一般为 Access 数据库文件或 SQL 数据库文件, 此数据库中只包括元器件的参数信息和路径指针, 并不包括元器件的符号图形信息, 这与软件自带的元器件符号库(*.olb)和 PSpice 模型库(*.lib)是完全不同的数据库类