

高等院校

电子信息应用型

规划教材

电路仿真设计与制作

赵明富 石新峰 主 编

沈献博 张晓莉 副主编

清华大学出版社



高等院校

电子信息应用型

规划教材

电路仿真设计与制作

赵明富 石新峰 主 编

沈献博 张晓莉 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以帮助读者学习和掌握电子电路的仿真技术以及印制电路板设计制作为目的,详细介绍了基于 Multisim 2001 软件的电子线路仿真技术以及基于 Protel DXP 2004 软件的印制电路板设计和制作技术。

本书内容包括 EDA 技术概述、Multisim 的工作界面、Multisim 的基本操作、仿真分析方法、电路仿真实践、Protel DXP 2004 概述、Protel DXP 2004 电路原理图设计、印制电路板(PCB)设计基础和印制电路析(PCB)设计和 Protel DXP 2004 电路仿真。本书知识面广,实用性强,重点突出。

本书可作为应用型本科院校电子类、电气类、通信类专业的教材,亦可作为相关专业课程设计、毕业设计、科技创新实践的指导书,同时可供职业技术教育、技术培训及电子产品研发人员参考。

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

电路仿真设计与制作/赵明富,石新峰主编.--北京:清华大学出版社,2014

高等院校电子信息应用型规划教材

ISBN 978-7-302-35849-7

I. ①电… II. ①赵… ②石… III. ①电子电路—计算机仿真—应用软件—高等学校—教材
IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 060932 号



责任编辑:田在儒

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘 静

责任印制:沈 露

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

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25.25 字 数:578 千字

版 次:2014 年 7 月第 1 版 印 次:2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

产品编号:054382-01

EDA (Electronic Design Automation, 电子设计自动化) 技术是现代电子工程领域的一种重要技术。它利用性能强大的现代计算机平台来进行电路系统的仿真和设计。它可以大大提高设计成功率和设计效率。

在当前流行的电子线路仿真软件中, Multisim 系列软件应用最为广泛。Multisim 将计算机仿真技术和虚拟仪器技术相结合, 提供了数目庞大的元件库, 可以非常方便地进行各类电子线路的构建和仿真。Multisim 软件虽然也可以用于 PCB 设计, 但是这方面的功能目前还不是很强大, 不能算是一种主流 PCB 设计平台, 所以本书只对 Multisim 软件的仿真功能进行详细说明, 而对其 PCB 设计功能不做介绍。

Protel DXP 是 Altium 公司在原来 Protel 99 SE 的基础上推出的一款基于 Windows 2000 和 Windows XP 操作系统的 EDA 设计软件, 它在以前版本的基础上增加了许多新的功能。Protel DXP 是第一个将所有设计工具集于一身的板级设计系统, 具备当今所有先进的设计特点, 能够处理各种复杂的 PCB 设计过程。通过设计输入仿真、PCB 绘制编辑、拓扑自动布线、信号完整性分析和设计输出等技术融合, Protel DXP 提供了全面的设计解决方案。

Protel DXP 提供了电子线路仿真功能, 但由于缺乏虚拟仪器技术的支持, 其仿真功能有限, 且应用不是十分方便和快捷, 所以本书重点介绍其电子线路设计功能, 而对其仿真功能只做简要介绍。

本书共分 10 章。第 1 章至第 5 章介绍基于 Multisim 平台的电子电路仿真技术, 第 6 章至第 10 章介绍基于 Protel DXP 2004 的电子线路设计技术。在教学安排上, 本课程可集中到 1 个学期授课, 也可分成 2 个学期授课。本课程参考学时为 72 学时, 建议在机房集中授课和上机。

本书由赵明富、石新锋任主编并负责全书的统稿工作, 沈献博和张晓莉任副主编。河南科技学院田泽正教授主审, 参加本书编写的教师具有丰富的教学 and 实践经验。其中, 赵明富编写第 1 章, 张晓莉编写第 2 章和

第3章，沈献博编写第4章，杜留锋编写第5章，石新锋编写第6章和第7章，李立军编写第8章，李小进编写第9章，李金光编写第10章。

由于EDA技术发展很快，加之作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正，并提出修改意见。

编 者
2014年1月

目 录

CONTENTS

第 1 章 EDA 技术概述	1
1.1 EDA 技术的含义	1
1.2 EDA 技术的发展概况	2
1.3 EDA 技术的主要内容	3
1.4 EDA 技术的设计流程	4
1.5 EDA 技术的应用展望	6
1.6 数字系统的设计	8
1.6.1 数字系统的设计模型	8
1.6.2 数字系统的设计方法	8
1.6.3 数字系统的设计步骤	9
第 2 章 Multisim 的工作界面	11
2.1 界面菜单介绍	11
2.2 工具栏	13
2.3 元器件库	14
2.4 仪表仪器栏	20
2.4.1 数字万用表	21
2.4.2 瓦特表(功率计)	22
2.4.3 函数信号发生器	23
2.4.4 示波器	24
2.4.5 波特图仪	28
2.4.6 失真分析仪	29
2.4.7 字信号发生器	30
2.4.8 逻辑分析仪	32

2.4.9	逻辑转换仪	34
2.4.10	频谱分析仪	35
2.4.11	网络分析仪	36
	小结	37
	习题	38
第3章 Multisim 的基本操作		39
3.1	元器件操作	39
3.2	导线操作	46
3.2.1	连接导线	46
3.2.2	删除导线	48
3.2.3	调整导线	48
3.2.4	改变导线颜色	48
3.2.5	插入与删除元器件	48
3.2.6	连接点及节点编号	49
3.2.7	总线	50
3.2.8	子电路	50
3.3	块操作	52
3.4	转换网络表与印制电路板设计	52
	小结	54
	习题	54
第4章 仿真分析方法		55
4.1	基本分析方法	55
4.1.1	直流工作点分析	55
4.1.2	瞬态分析	60
4.1.3	交流分析	63
4.2	电路性能分析	66
4.2.1	传递函数分析	66
4.2.2	极点-零点分析	68
4.2.3	失真分析	70
4.2.4	噪声分析	71
4.3	扫描分析	73

4.3.1 直流扫描分析	73
4.3.2 参数扫描分析	75
4.3.3 温度扫描分析	78
4.4 统计分析	80
4.4.1 最坏情况分析	80
4.4.2 蒙特卡罗分析	84
4.5 其他分析方法	87
4.5.1 傅里叶分析	87
4.5.2 灵敏度分析	91
4.5.3 批处理分析	93
4.5.4 用户自定义分析	95
4.6 后处理器	96
4.6.1 Postprocessor 功能介绍	96
4.6.2 后处理器的使用	99
小结	101
习题	102
 第 5 章 电路仿真实践	 104
5.1 电路分析仿真实践	104
5.1.1 戴维南和诺顿定理的应用	104
5.1.2 电路暂态响应分析	106
5.1.3 测量交流电路参数	108
5.1.4 交流电路的频率特性	110
5.2 模拟电路仿真实践	114
5.2.1 三极管输出特性曲线测试	114
5.2.2 负反馈放大电路	116
5.2.3 功率放大电路	118
5.2.4 差动放大电路	120
5.2.5 有源滤波器	122
5.2.6 正弦波振荡电路	127
5.2.7 非正弦波产生电路	129
5.3 数字电路仿真实践	130
5.3.1 编码器及其应用	130

5.3.2	译码器及其应用	131
5.3.3	选择器及其应用	133
5.3.4	555 定时器及其应用	135
5.3.5	数模转换与模数转换	138
5.3.6	循环彩灯控制电路	141
5.3.7	电子琴电路	141
5.3.8	温度控制电路	142
5.3.9	数字钟电路	142
5.3.10	数字抢答器	143
5.3.11	路灯控制电路	144
5.3.12	心率测量电路	145
5.4	高频电路仿真实践	146
5.4.1	乘法器调幅	146
5.4.2	二极管平衡调幅	148
5.4.3	混频电路	149
5.4.4	包络检波电路	151
5.4.5	振幅鉴频器	152
	小结	154
	习题	154
第 6 章	Protel DXP 2004 概述	157
6.1	Protel DXP 2004 的功能与特点	157
6.1.1	Protel DXP 2004 的功能	157
6.1.2	Protel DXP 2004 的特点	158
6.2	Protel DXP 2004 集成开发环境介绍	159
6.2.1	启动 Protel DXP 2004	159
6.2.2	Protel DXP 2004 界面介绍	160
6.2.3	Protel DXP 2004 的元件库	164
6.2.4	设置系统参数	167
6.2.5	Protel DXP 2004 文档管理	172
	小结	176
	习题	176

第 7 章	Protel DXP 2004 电路原理图设计	177
7.1	Protel DXP 2004 电路设计步骤	177
7.1.1	电路原理图设计步骤	177
7.1.2	印制电路板设计步骤	178
7.2	不需自制原理图符号电路设计实例	179
7.2.1	创建设计工作区及 PCB 工程项目	179
7.2.2	绘制原理图	181
7.2.3	PCB 设计	183
7.3	自制原理图符号	187
7.3.1	自制双联同轴电位器	187
7.3.2	自制 AT89S52 单片机原理图符号	191
7.3.3	自制 TDA2030 集成功率放大器原理图符号	194
7.4	Protel DXP 2004 原理图设计实例	194
7.4.1	设置原理图图纸	195
7.4.2	加载元件库并放置元件	197
7.5	层次式原理图设计	201
7.5.1	层次式电路原理图概述	201
7.5.2	层次式原理图的设计方法	202
7.5.3	各层电路图间的切换	207
7.5.4	实例	207
7.6	电气规则检查与网络报表	211
7.6.1	电气规则检查	211
7.6.2	网络表	214
7.6.3	元件报表	217
7.6.4	元件交叉参考报表	217
7.6.5	层次报表	219
7.6.6	使用输出任务配置文件	220
小结		222
习题		222
第 8 章	印制电路板(PCB)设计基础	225
8.1	印制电路板概述	225

8.1.1	印制电路板的制作材料	225
8.1.2	印制电路板的分类	225
8.1.3	元件封装	226
8.1.4	常用元件的封装	227
8.1.5	铜膜导线	229
8.1.6	助焊膜和阻焊膜	229
8.1.7	焊盘	230
8.1.8	过孔	230
8.1.9	层	230
8.1.10	安全距离	231
8.1.11	敷铜	231
8.2	印制电路板设计流程	231
8.3	电路板设计的一般原则	232
8.3.1	电路板的选用	233
8.3.2	电路板的尺寸	233
8.3.3	布局	233
8.3.4	布线	234
8.3.5	焊盘	234
8.3.6	大面积填充	235
8.3.7	跨接线	235
8.3.8	抗干扰设计	235
8.3.9	去耦电容配置	236
8.3.10	元件之间的连线	236
8.4	Protel DXP 2004 的 PCB 编辑环境	237
8.4.1	启动 PCB 图编辑环境	237
8.4.2	常用菜单	238
8.4.3	常用工具	241
8.4.4	PCB 浏览器	244
8.4.5	工作平面的缩放	244
8.4.6	窗口管理	245
8.5	设置 PCB 图图纸和工作层	246
8.5.1	图纸的设定	246
8.5.2	板层的类型	248

8.5.3 板层的设置	250
8.6 设置 PCB 编辑环境参数	253
8.6.1 General 选项卡	254
8.6.2 Display 选项卡	257
8.6.3 Show/Hide 选项卡	259
8.6.4 Defaults 选项卡	259
小结	260
习题	260
第 9 章 印制电路板(PCB)设计	261
9.1 规划电路板	261
9.1.1 使用向导创建 PCB 文件	261
9.1.2 手动自定义规划电路板	267
9.2 加载元件封装库和网络表	269
9.2.1 认识元件库浏览器	270
9.2.2 加载元件封装库	271
9.2.3 加载网络表和元器件	274
9.3 放置 PCB 基本组件	275
9.3.1 放置元件封装	275
9.3.2 放置导线	278
9.4 元件自动布局	281
9.5 手工调整元件布局	283
9.5.1 选取元器件	283
9.5.2 解除元器件选取	284
9.5.3 移动元器件	285
9.5.4 旋转元器件	286
9.5.5 排列元器件	286
9.5.6 剪贴复制元器件	287
9.5.7 删除元器件	289
9.5.8 调整元件标识	289
9.6 自动布线	289
9.6.1 设置自动布线设计规则	290
9.6.2 自动布线	292

9.6.3	全局布线	292
9.6.4	对特定网络布线	292
9.7	手工调整印制电路板	293
9.7.1	手工调整布线	293
9.7.2	加宽电源和接地线	293
9.7.3	调整文字标注	294
9.8	更新设计项目	296
9.8.1	由 PCB 更新原理图	296
9.8.2	由原理图更新 PCB	296
9.9	PCB 的 3D 效果图	297
9.10	PCB 图打印输出	298
9.10.1	页面设置	298
9.10.2	打印层面设置	299
9.10.3	设置打印机	301
9.11	自制封装	301
9.11.1	自制双联同轴电位器封装	301
9.11.2	自制 TDA2030 封装	306
9.11.3	制作音频输入插座封装	306
9.11.4	自制极性电容封装	307
9.12	PCB 设计规则	307
9.12.1	启动 PCB 规则和约束编辑器	308
9.12.2	PCB 规则和约束编辑器结构	309
9.12.3	PCB 电气设计规则	310
9.12.4	PCB 布线设计规则	316
9.12.5	SMT(与 SMD 布线有关的)设计规则	325
9.12.6	焊盘扩展规则	328
9.12.7	内层设计规则	329
9.12.8	电路板制造方面的规则	332
9.13	PCB 信息报表	335
9.13.1	电路板信息报表	335
9.13.2	元器件清单报表	337
9.13.3	元器件交叉参考表	341
9.13.4	项目文件层次报表	342

9.13.5 网络状态表	342
9.13.6 网络表	342
9.13.7 元器件插置文件	343
9.13.8 测试点报表	344
9.13.9 底片文件	344
9.13.10 生成 NC 钻孔文件	345
小结	345
习题	345
第 10 章 Protel DXP 2004 电路仿真	346
10.1 Protel DXP 2004 电路仿真基础	346
10.2 仿真元器件及其参数设置	347
10.2.1 常用分立元器件参数设置	348
10.2.2 集成芯片的仿真参数设置	353
10.2.3 设置特殊元器件的参数	355
10.3 设置仿真激励源	355
10.3.1 仿真直流电源	355
10.3.2 仿真正弦信号激励源	356
10.4 初始状态的设置	358
10.4.1 定义仿真电路的节点	358
10.4.2 初始状态的设置	358
10.5 仿真器设置	359
10.5.1 启动分析设置	360
10.5.2 一般设置	360
10.5.3 瞬态特性分析	362
10.5.4 傅里叶分析	363
10.5.5 交流小信号分析	363
10.5.6 直流分析	364
10.5.7 蒙特卡罗分析	365
10.5.8 扫描参数分析	366
10.5.9 扫描温度分析	367
10.5.10 传递函数分析	367
10.5.11 噪声分析	368

10.5.12	极点—零点分析	369
10.6	设计仿真原理图	370
10.6.1	仿真原理图设计流程	370
10.6.2	调用元件库	371
10.6.3	选择仿真用原理图文件	371
10.6.3	仿真原理图	371
10.7	查看仿真结果	371
10.7.1	添加新的波形显示	371
10.7.2	添加波形的显示范围	372
10.8	各种仿真分析的实例	372
10.8.1	瞬态分析和傅里叶分析仿真实例	372
10.8.2	直流扫描仿真实例	373
10.8.3	交流小信号仿真实例	376
10.8.4	噪声分析仿真实例	378
10.8.5	温度扫描分析实例	380
10.8.6	参数扫描分析仿真实例	383
	小结	384
	习题	384

EDA 技术概述

教学提示：电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术是计算机软件技术在电子工程技术上的一项重要应用。

教学要求：本章主要让学生了解 EDA 技术的特点和功能,了解 EDA 技术的设计流程和发展状况。应重点掌握 EDA 技术的设计方法。

1.1 EDA 技术的含义

EDA 技术是一门迅速发展的新技术,其涉及面广,内容丰富。EDA 技术是在电子电路 CAD 技术的基础上发展起来的计算机软件系统,它是计算机技术、信息技术和计算机辅助制造(CAD)、计算机辅助测试(CAT)等技术发展的产物。那么究竟什么是 EDA 技术呢?其含义又是什么呢?

所谓 EDA 技术,就是指以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言为系统逻辑描述的主要表达方式,以计算机、大规模可编程逻辑器件的开发软件及实验开发系统为设计工具,通过有关的开发软件,自动完成用软件方式设计的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、逻辑综合及优化、逻辑布局布线、逻辑仿真,直至对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作,最终形成集成电子系统或专用集成芯片的一门新技术,此外,还包括计算机辅助分析 CAA 技术(如 Pspice、Multisim 等)、印制电路板计算机辅助设计 PCB-CAD 技术(如 Protel、Orcad 等)。

工程技术人员迅速掌握电子电路 EDA 应用技术,是提高我国电子产品及工程设计质量,使之具有国际先进水平的一项重要手段。利用 EDA 技术进行电子系统的设计,具有以下几个重要的特点:①用软件方式设计硬件;②用软件方式设计的系统到硬件系统的转换是由有关的开发软件自动完成的;③设计过程中可用有关软件进行各种仿真;④系统现场可编程,在线升级;⑤整个系统可集成在一块芯片上(SoC),具有体积小、功耗低、可靠性高等特点。因此,电子和微电子技术的发展,使电子产品的设计活动与计算机设计系统密不可分。这不仅仅是因为采用计算机设计系统能减轻劳动强度、降低成本,而且因为电子产品越来越小,功能越来越复杂,而产品的市场寿命越来越短,不采用计算机设计系统不仅不能满足对设计的精度和质量的要求,更不能适应不断变化的市场需求。所以,采用 EDA 技术是现代电子设计的发展趋势。

由于以微细加工技术为代表,包括元器件和集成电路的生产技术、印制电路制造技术

及其安装技术,以及计算机设计技术的发展,使得电子产品在增加功能、缩小体积、减轻重量、提高质量的同时,价格一直呈下降的趋势,市场更新越来越快。现代电子产品的功能设计、逻辑设计和电路设计以及在芯片或电路基板上实现复杂功能的物理结构设计均是高超、复杂的技术,正是由于有了现代 EDA 工具,使得电子工程师能从容地完成高难度的设计任务,不断推出优质、价廉的新产品。

1.2 EDA 技术的发展概况

20 世纪末,电子技术的发展突飞猛进,在其推动下,现代电子产品几乎渗透到了社会的各个领域,有力地推动了社会生产力的发展和社会信息化程度的提高;也使现代电子产品性能进一步提高,产品更新换代的节奏越来越快;使得 EDA 技术伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,经历了计算机辅助设计(Computer Assist Design,CAD)、计算机辅助工程设计(Computer Aided Engineering,CAE)和电子设计自动化(Electronic Design Automation,EDA)三个发展阶段。

早期的电子系统硬件设计采用的是分立元件。随着集成电路的出现和应用,硬件设计进入发展的初级阶段,即硬件设计大量选用中、小规模标准集成电路,而且电子系统硬件设计的自动化、智能化程度都很低,电子 CAD 系统功能比较简单。经过一段时间的发展,其功能大幅度上升,除了纯粹的图形绘制功能外,把电路的功能设计和结构设计通过电气连接网络表结合在一起,实现了工程设计,这就是 CAE 的概念。但是,大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能适应复杂电子系统的设计要求,而且具体化的元件图形制约着优化设计。

伴随着微电子技术的进步,大规模集成电路加工技术,即半导体工艺技术发展迅速。表征半导体工艺水平的线宽已经达到 $0.13\mu\text{m}$,并且在不断地缩小;在硅片单位面积上,能够集成更多的晶体管。集成电路设计在不断地向超大规模、极低功耗和超高速的方向发展。微电子技术的发展,特别是可编程逻辑器件的发展,使得微电子厂家可以为用户提供各种规模的可编程逻辑器件,使设计都能够通过设计芯片实现电子系统功能。由于专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)的设计成本不断降低,在功能上,现代集成电路已能实现单片电子系统 SoC(System on a Chip)的功能。

现代电子设计技术的核心是 EDA 技术。到了 20 世纪 90 年代后期,随着硬件描述标准化进一步确立,计算机辅助工程、辅助分析、辅助设计在电子技术领域获得更加广泛的应用,与此同时,电子技术在通信、计算机及家电产品的市场需求和技术需求极大地推动了全新的电子设计自动化技术的应用和发展。特别是集成电路设计工艺进入了超深亚微米阶段,百万门以上的大规模可编程逻辑器件陆续面世,基于计算机技术的面向用户的低成本大规模 ASIC 设计技术的应用,促进了 EDA 技术的形成。更为重要的是,各 EDA 公司致力于推出兼容各种硬件实现方案和支持标准硬件描述语言的 EDA 工具软件的研究,有效地将 EDA 技术推向成熟。EDA 工具能够完成设计描述、综合与优化和设计结果验证等工作。EDA 工具的发展,为设计师提供了全线 EDA 工具,目的是在设计前期,将设计师从事的许多高层次设计工作由工具来完成。例如,可以将用户要求转换为设计技