



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科 **电子通信系列** 实用规划教材



电子线路 CAD

主 编 吕建平 梅军进
副主编 张俊涛 封岸松



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从电子线路的计算机辅助分析与设计的基本概念出发,系统地介绍了 PCB 工艺以及当今较为流行的几种电子线路 CAD 软件: Protel、OrCAD、Allegro。在介绍过程中,紧密联系具体实例,分别使用各种软件来开展设计工作,使读者不但能够深入地理解以往数字电路、模拟电路等课程中的内容,而且能正确地设计和开发 PCB 电路板,为更快地进入电子设计自动化领域而打下良好基础。

本书并不以单一 CAD 软件作为背景,写作目的是为了对这方面尚陌生者和初学者有一个整体的概念,能够进行基本的操作。由于 CAD 软件类型较多,在工作中学习人员自己会评估各种软件的优缺点。本书适合作为高等学校电子、通信、自动化类及其他相近专业三、四年级本、专科生的教材,或者作为电子线路 CAD 课程的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路 CAD/吕建平,梅军进主编. —北京:北京大学出版社,2006.8

(21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10915-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083615 号

书 名: 电子线路 CAD

著作责任者: 吕建平 梅军进 主编

策划编辑: 徐 凡

责任编辑: 翟 源

标准书号: ISBN 7-301-10915-6/TN·0039

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子信箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 涿州星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.25 印张 600 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 王宝兴 吴舒辞 阎 毅

杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英 张宗念

赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自上个世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

随着大规模集成电路和电子计算机的迅速发展,电子电路的分析与设计方法发生了重大变革。以电子计算机辅助分析与设计(computer aided analysis and design,简称 CAA 与 CAD)为基础的电子设计自动化技术已广泛应用于系统、集成电路、封装与电路板的设计之中。它改变了以手工操作和电路实验为基础的传统设计方法,成为现代电子系统设计的关键技术之一,是电子行业必不可少的工具与手段。

电路及电路板的分析、设计和制造需要有良好的软件和工艺手段。从早期的 Tango 到目前国内外流行的各种软件,已发展成为行业。在大型计算机、工作站及微机上均有可运行的 CAD 软件。它们具有功能强、速度快、精度高、容量大、使用方便、价格低廉等优点,受到人们的普遍欢迎。其中 Protel 是使用得比较广泛的一种软件,特别在个人领域内,有很多开发人员正在使用和开发。OrCAD 软件功能较强,很受人们青睐。Cadence 的 CAD 软件以往一般在工作站上使用,在其推出微型机下 Windows 版本后,由于其考虑了 IC、封装、PCB 之间的相互关系,考虑了高速信号设计,功能和性能很强,有很多电子企业正在使用,所以有很多开发人员对其具有很大兴趣,它的 Allegro 软件正在逐步占据越来越大的市场,具有广阔的应用前景。本书对 Protel、OrCAD(已并入 Cadence)、Allegro 重点加以介绍。

本书从内容上看,大体上可分为四部分。第一部分(第 1 章)系统介绍电子线路 CAD 软件的一般概念,介绍了 PCB 板的生产工艺。第二部分(第 2 章~第 5 章)介绍了 Protel 软件。第三部分(第 6 章~第 9 章)介绍了 OrCAD 电子线路 CAD 软件。第四部分(第 10 章~第 12 章)介绍了 Allegro 及高速 PCB 设计概念。由于 OrCAD 已是 Allegro 的一块,所以也可以将第 6 章~第 12 章看成是一个部分。在介绍中,各部分均通过电路举例与习题,系统、深入地讨论和分析各软件的特点和界面,以及具体操作。实例采用一些模拟电路、数字电路和单片机电路,从电子元件外形参数、电气参数开始,经过电路设计、电路输入、生成制板文件等步骤,最终达到完整了解 CAD 软件和 PCB 制板的目的。各有关章节中还介绍了约束规则设计,高速信号电路板设计的基本概念,对于现今各种高速、复杂电路板的生产和设计,必有很大学习价值。

绝大部分电子类、IT 类专业学生都要接触 PCB 板,但往往都是到应聘参加工作的时候,企业提出需求,才发现需要这方面的知识。以往教学中,均让学生在实习阶段要使用时自己学习这类知识。目前,在高等教育从精英教育转型为大众教育的形势下,由于学生水平不一,迫切需要这些应用类型教材。编写本书的目的就是使有志于电子信息类工作的学生通过学习和实践,从头至尾逐步掌握自电路图输入、PCB 设计、模拟仿真、PCB 工艺、高速电路设计基本原理等方面的技术和概念,正确设计和开发 PCB 电路板,从而具有使用电子系统计算机辅助分析与设计工具的能力,掌握现代电路设计技术与方法;此外还可以学习、回顾并理解电子线路课程中的内容,结合到具体工作,提高分析问题和解决问题的能力,扩展知识面,为今后从事电路设计和 PCB 设计,进入电子设计自动化领域打下良好基础。这也是本套教材的一个突出特点。

作为教材，主要介绍基本概念，起到入门引导、开拓知识面的作用，与具体软件文档资料存在区别。另外，由于篇幅所限，也不可能非常详细地描述所有细节，使用者请留意。

本书第 1 章、第 9 章~第 12 章由苏州大学吕建平编写，第 2 章和第 4 章由黄石理工学院的梅军进编写，第 3 章由黄石理工学院的黄磊编写，第 5 章由沈阳科学技术大学封岸松编写，第 6 章~第 8 章由陕西科技大学张俊涛编写。最后由苏州大学吕建平统稿。

在编写过程中，得到了北京大学出版社的大力帮助和指导，还得到了许多同志的热情支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 电路 CAD/EDA 技术基础 1	
1.1 电路 CAD/EDA 技术概述..... 1	
1.2 电路 CAD/EDA 技术发展..... 2	
1.3 常用各类软件及其特点比较..... 2	
1.4 PCB 制板的一般工艺及过程..... 5	
1.4.1 内层工艺流程..... 7	
1.4.2 外层工艺流程..... 8	
1.4.3 其他工艺上的概念..... 10	
1.5 小结..... 13	
1.6 习题..... 14	
第 2 章 Protel 概述 15	
2.1 软件功能模块和特点..... 15	
2.1.1 Protel DXP 的功能..... 15	
2.1.2 Protel DXP 的特点..... 16	
2.2 基本使用步骤及入门实例..... 16	
2.2.1 Protel DXP 系统要求和安装..... 16	
2.2.2 Protel DXP 的设计窗口..... 17	
2.2.3 Protel DXP 的文件组织结构..... 20	
2.2.4 Protel DXP 的文件管理..... 21	
2.2.5 设计文件的窗口管理..... 23	
2.2.6 工作窗口的拆分与合并..... 23	
2.2.7 PCB 板设计的工作流程..... 24	
2.3 小结..... 27	
2.4 习题..... 27	
第 3 章 Protel 原理图设计系统 28	
3.1 图纸参数设置..... 28	
3.1.1 设置图纸样式..... 28	
3.1.2 设置图纸显示和边框属性..... 29	
3.1.3 设置图纸标题栏..... 29	
3.2 元件装入及图纸绘制..... 30	
3.2.1 加载元件库和放置元件符号..... 30	
3.2.2 编辑元件属性..... 32	
3.2.3 绘制电路原理图..... 34	
3.2.4 修改和保存电路原理图..... 36	
3.3 层次原理图..... 37	
3.3.1 层次原理图的设计..... 37	
3.3.2 层次原理图的切换..... 41	
3.3.3 图纸符号和原理图中的 I/O 端口符号交互生成..... 43	
3.4 元件库编辑及其他常用画图功能..... 45	
3.4.1 原理图元件库编辑器..... 45	
3.4.2 元件编辑范例..... 47	
3.4.3 添加原理图库元件..... 57	
3.5 报表生成..... 59	
3.6 文件及结果打印输出..... 62	
3.7 电气法则测试..... 62	
3.7.1 自动标注..... 62	
3.7.2 编译项目及检查..... 64	
3.8 小结..... 66	
3.9 习题..... 66	
第 4 章 Protel 电路仿真 68	
4.1 仿真库和激励源..... 69	
4.1.1 Protel DXP 仿真库中的元器件..... 69	
4.1.2 Protel DXP 中的激励源描述..... 75	
4.2 初始状态的设置和仿真分析..... 86	
4.2.1 定义仿真电路的节点..... 86	
4.2.2 初始状态的设置..... 86	
4.2.3 仿真器的设置..... 87	
4.2.4 仿真分析..... 87	
4.3 设计仿真原理图..... 99	

4.3.1	加载元器件库.....	100	5.4	PCB 报表的输出.....	161
4.3.2	仿真原理图元器件的 选用.....	101	5.4.1	生成底片文件.....	161
4.3.3	仿真原理图.....	101	5.4.2	生成电路板信息报表.....	162
4.3.4	原理图仿真实例: 上电复位电路.....	102	5.4.3	生成元件清单.....	163
4.3.5	原理图仿真实例: 分压式偏置电路.....	109	5.4.4	生成网络状态表.....	163
4.3.6	原理图仿真实例: 半波整流电路.....	111	5.4.5	其他报表.....	163
4.3.7	原理图仿真实例: 低通滤波器电路.....	116	5.5	PCB 元件封装的创建及 元件封装库建立.....	164
4.3.8	电路仿真常见错误.....	124	5.5.1	元件封装编辑器的启动.....	164
4.4	小结.....	126	5.5.2	手工创建新的元件封装.....	166
4.5	习题.....	126	5.6	小结.....	173
第 5 章 Protel PCB 设计系统.....127			5.7	习题.....	174
5.1	启动及工作界面设置.....	127	第 6 章 OrCAD/Capture 电路 图绘制软件.....175		
5.1.1	PCB 编辑器.....	127	6.1	OrCAD 软件概述.....	175
5.1.2	印制电路板的设计 流程图.....	128	6.1.1	OrCAD 软件的构成及 功能特点.....	175
5.2	绘图工具.....	130	6.1.2	OrCAD 的运行环境.....	178
5.2.1	布局工具.....	130	6.2	Capture 软件简介.....	178
5.2.2	布线工具.....	131	6.2.1	Capture 软件的组成.....	178
5.2.3	放置元件.....	134	6.2.2	Capture 的窗口.....	179
5.2.4	放置焊盘.....	139	6.3	电路图编辑模块 Page Editor.....	180
5.2.5	放置过孔.....	141	6.3.1	Page Editor 的菜单系统.....	180
5.2.6	放置文字.....	142	6.3.2	Page Editor 中的工具图标.....	184
5.2.7	放置敷铜.....	143	6.3.3	Page Editor 中的状态栏.....	185
5.2.8	放置屏蔽导线.....	145	6.4	电路原理图的绘制.....	185
5.2.9	补泪滴.....	146	6.4.1	绘图环境参数设置.....	186
5.3	电路板设计.....	146	6.4.2	电路元素的基本操作.....	189
5.3.1	创建新的 PCB 文件.....	147	6.4.3	电路原理图的绘制.....	190
5.3.2	将 PCB 文件添加到项目.....	150	6.4.4	电路图的打印与输出.....	194
5.3.3	元件及网络表导入.....	151	6.4.5	分层式电路设计.....	195
5.3.4	设置 PCB 工作区.....	154	6.5	原理图的后处理.....	198
5.3.5	布线规则设定.....	155	6.5.1	元器件自动编号.....	198
5.3.6	布局布线.....	158	6.5.2	设计规则检查.....	199
5.3.7	PCB 设计验证.....	160	6.5.3	生成网络表(netlist).....	200
			6.5.4	报表的生成.....	201
			6.6	小结.....	203
			6.7	习题.....	203

第 7 章 OrCAD/Layout 电路板设计软件	205	8.1.3 PSpice 中的有关规定	240
7.1 印制电路板设计的基本过程	205	8.2 电路特性分析	242
7.1.1 印制电路板设计的基本步骤	205	8.2.1 电路特性分析简介	242
7.1.2 PCB 设计示例	207	8.2.2 电路特性分析的基本过程	243
7.1.3 元器件封装参数的设置	210	8.2.3 激励信号源的设置	246
7.2 高级自动布线工具 SmartRoute	211	8.2.4 初始偏置条件的设置	250
7.2.1 SmartRoute 的基本运行步骤	211	8.3 基本电路特性分析	252
7.2.2 SmartRoute 的状态栏	213	8.3.1 直流特性分析	252
7.2.3 SmartRoute 的菜单系统	213	8.3.2 交流特性分析	256
7.3 PCB 布局布线	218	8.3.3 瞬态特性分析	259
7.3.1 PCB 的设计要求	218	8.4 复杂电路特性分析	261
7.3.2 设计环境的设置	218	8.4.1 参数扫描分析	261
7.3.3 自动布局策略与参数设置	220	8.4.2 统计分析	264
7.3.4 布线策略与参数设置	222	8.5 波形显示和分析模块 Probe	267
7.3.5 PCB 的布局	225	8.5.1 Probe 的基本功能	267
7.3.6 PCB 的布线	228	8.5.2 Probe 调用和运行模式的设置	268
7.4 PCB 设计中的其他操作技术	229	8.5.3 Probe 的窗口界面	269
7.4.1 障碍物的设置和修改	230	8.5.4 Probe 运行过程中的任选项设置	269
7.4.2 敷铜	231	8.5.5 Probe 的命令系统	270
7.4.3 字符编辑	232	8.5.6 信号波形的显示	274
7.4.4 设计规则检查	233	8.5.7 显示波形的分析处理	277
7.5 PCB 设计的后处理	235	8.5.8 多窗口显示	280
7.5.1 测量距离	235	8.5.9 信号波形的打印	280
7.5.2 标注尺寸	235	8.6 逻辑分析和数模混合仿真分析	281
7.5.3 产生报表	235	8.6.1 数字电路分析中的激励信号源	281
7.5.4 生成光绘文件	236	8.6.2 数字电路的分析方法	283
7.6 小结	236	8.6.3 数模混合仿真分析	284
7.7 习题	237	8.7 电路优化设计	285
第 8 章 OrCAD/PSpice 电路仿真软件	238	8.7.1 电路优化设计的基本条件	285
8.1 PSpice 软件简介	238	8.7.2 电路优化设计的步骤	286
8.1.1 PSpice 的配套功能模块	238	8.7.3 电路优化设计实例	287
8.1.2 支持的元器件类型	239	8.8 小结	288
		8.9 习题	288

第 9 章 Allegro PCB 系统互联**设计平台**292

- 9.1 概述292
- 9.2 Allegro 环境下 PCB 板设计介绍293
 - 9.2.1 预备工作部分294
 - 9.2.2 PCB 设计部分295
 - 9.2.3 PCB 设计的后处理部分296
- 9.3 Allegro 使用的文件类型与项目目录297
- 9.4 使用项目管理器 Project Manager298
 - 9.4.1 项目管理器用户界面298
 - 9.4.2 项目管理器菜单和工具栏303
- 9.5 系统环境要求和安装305
 - 9.5.1 系统环境要求305
 - 9.5.2 安装305
- 9.6 小结306
- 9.7 习题306

第 10 章 使用 Design EntryHDL**输入电路图**307

- 10.1 DE HDL 参数设置307
 - 10.1.1 原理图元件库设置308
 - 10.1.2 其他设置308
- 10.2 DE HDL 电路原理图元件库的结构安排309
- 10.3 原理图库管理器 Library Explorer310
- 10.4 原理图库元件设计软件 Part Developer311
 - 10.4.1 Part Developer 设置315
 - 10.4.2 Part Developer 创建元件的方法316
- 10.5 DE HDL 原理图设计系统的使用322
 - 10.5.1 DE HDL 的用户界面和编辑环境322
 - 10.5.2 绘制电路原理图324

10.5.3 约束管理器 Constraint

Manager 336

- 10.6 电路板设计流程 339
- 10.7 小结 339
- 10.8 习题 340

第 11 章 Allegro PCB Editor**电路板设计** 341

- 11.1 Allegro PCB Editor 用户界面 341
- 11.2 设计前的准备 344
 - 11.2.1 焊盘 Pad 345
 - 11.2.2 创建元件的物理封装符号 348
 - 11.2.3 创建 Format 符号 353
 - 11.2.4 创建 PCB 板的外形框图符号 353
- 11.3 Board 主设计板面的生成 357
 - 11.3.1 初始主设计板面的生成过程 358
 - 11.3.2 导入 DE HDL 原理图设计的网表文件 359
 - 11.3.3 设置 PCB 板的设计参数 360
- 11.4 元器件的布局 362
- 11.5 拉线 365
 - 11.5.1 过孔焊盘的设置 365
 - 11.5.2 添加连接线 366
 - 11.5.3 调整和整修拉线 368
 - 11.5.4 删除拉线 369
 - 11.5.5 自动布线 370
- 11.6 敷铜层的设置 370
 - 11.6.1 正片敷铜 371
 - 11.6.2 负片敷铜 372
- 11.7 后处理 374
 - 11.7.1 板面丝印符号文字 374
 - 11.7.2 优化 375
 - 11.7.3 原理图和设计的 PCB 板之间信息的一致性 377
 - 11.7.4 设计检查 379
- 11.8 输出文件生成 381

11.8.1 生成钻孔文件.....	381	12.3.2 传输信号线设计.....	392
11.8.2 生成光绘(底片)文件.....	384	12.3.3 抑制电磁干扰.....	394
11.8.3 生成坐标文件.....	384	12.4 高速电路布局布线设计的	
11.8.4 打印所设计的		信号完整性分析介绍.....	399
电路板图形.....	385	12.4.1 实现 MCM 布局布线的	
11.9 小结.....	385	软件和信号分析.....	399
11.10 习题.....	385	12.4.2 信号完整性仿真工具	
第 12 章 高速 PCB 板设计技术介绍.....	386	SPECCTRAQuest	
12.1 高速电路的概念.....	386	设计流程.....	401
12.2 传输线效应.....	387	12.5 小结.....	402
12.3 高速板设计一般技术.....	388	12.6 习题.....	402
12.3.1 电源分配.....	388	参考文献.....	403

第 1 章 电路 CAD/EDA 技术基础

教学提示: 本章介绍电子线路的计算机辅助设计(CAD)和电子设计自动化(EDA)的基础概念。主要包括电子电路 CAD/EDA 技术的一般含义、用途和发展过程,主要的 CAD/EDA 公司,常用的各类 CAD/EDA 软件及其功能特点、所包含的部件和工具等。最后介绍了一般 PCB 板的制作工艺及过程。

教学要求: 通过本章学习,学生能了解 CAD/EDA 的基本特点,获得一个整体概念。作为入门知识,为后面各章节进一步地学习打下基础。

1.1 电路 CAD/EDA 技术概述

EDA(Electronic Design Automation)是电子设计自动化的英文简称,即电子系统设计自动化。CAD 是计算机辅助设计的简称。电子设计的任务包括专用集成电路 ASIC 设计、CPLD/FPGA 等可编程器件设计和电路板设计等。电子电路产业目前已演化为设计、制造、封装、测试四个产业环节,其中的设计工作已成为产业的龙头。随着 IC 设计流程日趋复杂,新品上市时间不断缩短,寻求完善的 EDA 解决方案来满足复杂的设计需求已是非常紧迫。

那么究竟什么是 EDA 呢?所谓 EDA 技术是以计算机为工作平台,融合了应用电子技术、计算机技术、智能化技术最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包,主要用来辅助进行 IC 设计、电子电路设计以及电路板设计,包含仿真、电路图设计自动布局布线、版图设计及验证等功能。

IC 设计又称为物理级设计,一般由 IC 厂家完成;大型复杂的电子产品设计称为系统级设计,主要由产品厂商完成;一般民用及教学所涉及的设计称为电路级设计。日常使用的 EDA 软件多属于电路级设计,主要实现三项任务:电子线路原理图(简称电路图)的创建、混合信号的仿真及 PCB 制板等。一般过程是先创建电路图,然后进行电路图的仿真,最后将绘制完成的电路图自动或手动转化为 PCB 设计文件,以供生产电路板使用。

在进行电路级设计工作时,当电子工程师接受系统设计任务后,首先需要确定设计方案并选择合适的元器件;然后根据具体的元器件设计电路原理图;接着进行第一次仿真,其中包括数字电路的逻辑模拟、故障分析、模拟电路的交直流分析、瞬态分析等,此次仿真主要是检验设计方案在功能方面的正确性;仿真通过后,根据电路原理图产生的电气连接信号网络表进行 PCB 板的手动或自动布局布线,生成 PCB 产品的版图文件,以供 PCB 生产厂家生产使用;有条件的还可以进行 PCB 后分析,其中包括热分析、噪声及串扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等,并可将分析后的结果参数反馈回电路原理图,进行第二次仿真。第二次仿真也称作后仿真,主要用来检验 PCB 板在实际工作环境中的可行性。

由此可见,EDA 软件是一种专门为 IC/电子设计企业提供设计和生产方案的专业辅助软件。根据不同设计模式,EDA 软件又可分为综合软件、模拟软件和验证软件,它是电子

IC 产业不可或缺的重要工具。没有 EDA 技术的支持,设计工作将会非常困难,特别是想要完成超大规模集成电路的设计制造是不可想象的。反过来,生产制造技术的不断进步又必将对 EDA 技术提出新的要求。由于现代电子设计技术的核心就是 EDA 技术,电子设计师可以利用 EDA 技术方便地实现 IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计等工作。

随着我国电子产业的急速发展,EDA 电子设计人才已成为该领域最紧缺的人才。本课程的最終目的正是为了推动电子设计自动化的发展,培养出具备相当设计经验和动手能力的工程技术人员。

作为通信电子类教材,本书主要介绍一些常用电路板 PCB 设计软件的使用。IC 设计的内容超出本书范围,有关专业人员可参考其他书籍资料。

1.2 电路 CAD/EDA 技术发展

现代电子工业的高速发展以及 IC 的开发使用,使电路板的走线越来越精密和复杂,利用手工来设计和制作 PCB 已不能适应当前的形势。EDA 技术发展是历史的必然,它的历程大致可分为三个阶段。20 世纪 70 年代为计算机辅助设计(CAD)阶段,人们开始用计算机进行 IC 版图编辑、PCB 布局布线。20 世纪 80 年代为计算机辅助工程(CAE)阶段,CAE 除了有纯粹的图形绘制功能外,又增加了电路功能分析和结构设计,并且通过电气连接信号网络表将两者结合在一起,实现了工程设计。20 世纪 90 年代为电子系统设计自动化(EDA)阶段,同时还有计算机辅助工艺(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)等技术。

1.3 常用各类软件及其特点比较

电路板设计(PCB design)或称电路板布局(PCB layout)的领域由传统的人工贴图方式进展到目前的计算机化作业已近几十年,在这个过程中,全世界至少有七十家以上的软件供货商在此领域中激烈竞争,而只有少数的软件供货商能够继续生存下去并脱颖而出。一般业界所熟悉的电路板设计软件可归为两大类,分列如下:

(1) 有些软件,如 PCAD 及 PADS,原本就是在 PC 机中发展,一直秉持着易学易用、售价合理的设计理念。

(2) 有些软件,如 Mentor 及 Cadence 等公司的软件,原本均只在运行 UNIX 系统的工作站等级的计算机上发展,例如:Sun、IBM 及 HP 等工作站(workstation),借助其强大的运算能力,得以实现复杂的功能,但售价相对高。由于这几年 PC 机在运算能力上的长足进步,已可与工作站的运算能力相抗衡(着眼于功能/价格比),再加上运行了广泛使用的 Windows 操作系统,这些 EDA 大公司软件供货商已于 1998 年开始将其产品线逐渐移植至 PC 机,其中又以 Cadence 的转移步伐较快且稳定、成熟,所以目前电子企业界比较倾向于使用 Cadence 的产品。

全球 EDA 软件供应商主要集中在美国,目前以 Cadence 所占市场份额最大,还有 Protel、Avant(先驱)、Synopsys(新思)及 Mentor(明导)等。

根据工作内容不同, 软件种类也很多。

1. 电子电路设计与仿真工具

电子电路设计与仿真工具包括 Allegro、Matlab、SystemView、PSpice、Multisim 等。下面简单介绍几种。

(1) Cadence 公司的 PSD(现在版本名称为 SPB)集合了所有现有的 Cadence 面向 IC 封装和 PCB 设计的技术, 其中包括 Allegro PCB SI, 其功能很强, 是一个集成的为工程师创造复杂数字 PCB 系统和 IC 封装设计的高速设计和分析环境。Allegro AMS Simulator, 就是 ORCAD 的 PSpice 数模混合模拟软件。

(2) Multisim 软件: Interactive Image Technologies Ltd 在 20 世纪 90 年代初推出的电路仿真软件, 主要用于模拟和数字电路的仿真。早期称为 EWB(Electronic Workbench)。它提供了万用表、示波器、信号发生器等虚拟仪器功能。界面直观, 易学易用, 分析功能也较强。

(3) PSpice: 1984 年, 美国 MicroSim 公司推出了 PSpice, 它是基于美国加州大学推出的电路分析仿真软件 Spice(Simulation program with integrated circuit emphasis)的 PC 版软件。PSpice 具有强大的模拟和数字电路混合信号仿真功能, 包括对中规模集成电路(MSI)和大规模集成电路(LSI)提供多种分析功能, 仿真精度高。

2. PCB 设计软件

PCB(Printed Circuit Board)设计软件种类很多, 如 Cadence Allegro PSD(SPB)、Mentor Graphics 的 Xtreme PCB、Protel、OrCAD、PowerPCB、PCB Studio 等。

在 20 世纪 80 年代, 美国 ACCEL Technologies Inc 推出了 TANGO 软件包, 可以帮助工程设计人员完成当时的一些设计工作。Protel Technology 公司(现更名为 Altium 公司)在 20 世纪 80 年代末推出 Protel for DOS、Protel for Windows、Protel 98, 其后续版本, 如 Protel 99SE 和 Protel 99 DXP 等, 现在仍在广泛使用。早期的 Protel 主要作为印制电路板自动布线工具使用, 现在使用的 Protel 是个完整的全方位电路设计系统, 包含了电路原理图绘制、模拟电路与数字电路混合信号仿真、多层印制电路板设计、可编程逻辑器件设计等功能, 同时还兼容一些其他设计软件的文件格式。Protel 软件功能强大、界面友好、使用方便。

Cadence 公司的 Allegro 平台包括: SPB 布局设计使用工具 Allegro(现名 Allegro PCB Editor), 它是非常高效方便的封装和 PCB 布线系统; Allegro PCB Librarian 是所使用的 PCB 库管理软件; 一个通用的约束管理系统, 贯穿于层次化原理图设计输入; 高速信号电路板的设计和分析等。它还包括电路图设计软件 Concept HDL(现名 Design Entry HDL)、OrCAD 的 CAPTURE(现名 Design Entry CIS)等。软件的使用真正考虑到了用户, 非常方便, 功能很强, 国外和中国港台地区企业界使用广泛。此外, 它还提供开发语言 skill(类 C 语言), 只要实现的功能, 都可以利用 skill 自己编写, 当然, 需要一定设计水平和语言熟悉程度。

3. IC 设计的 EDA 软件及其他

IC 设计工具很多, 都是一些大型的系统, 其中按市场所占份额排行为 Cadence、Mentor Graphics 和 Synopsys。这三家都是 ASIC 设计领域相当有名的软件供应商, 使用者均为 IC 的生产公司。

(1) Cadence 公司的 IC 设计 EDA 软件主要是 Virtuoso 客户定制设计平台和 Encounter 数字 IC 设计平台。由于一般 EDA 的解决方案较少支持 IC、封装和 PCB 设计团队之间协作的能力, Cadence 公司的平台致力于解决这些联合设计所面临的问题, 实现在 IC 设计领域、封装和 PCB 设计之间的设计迭代最小化功能。

(2) Synopsys 公司是全球半导体和电子行业先进的电子设计自动化 EDA 软件工具和专业化服务提供商, 为设计复杂集成电路(IC)、FPGA(现场可编程门阵列)和 SOC(System on Chip, 系统级芯片)产品的公司提供 CAD 工具。Synopsys 的产品覆盖了从设计规范到芯片生产的整个 IC 设计流程。公司主要开发和支持基于两个主要平台的产品——Galaxy 设计平台和 Discovery 验证平台。这些平台为客户实现先进的集成电路设计和验证提供了整套综合性工具。

Synopsys 的解决方案包括:

- System Creation(系统生成)
- System Verification and Analysis(系统验证与分析)
- Design Planning(设计规划)
- Physical Synthesis(物理综合)
- Design for Manufacturing(可制造设计)
- Design for Verification(可验证设计)
- Test Automation(自动化测试)
- Deep Submicron, Signal and Layout Integrity(深亚微米技术、信号与规划完整性技术)
- Intellectual Property and Design Reuse Technology(IP 核与设计重用技术)
- Standard and Custom Block Design(标准和定制式框图设计)
- Chip Assembly(芯片汇总)
- Final Verification(最终验证)
- Fabrication and Packaging(制造与封装设计工具)
- Technology CAD(计算机辅助设计技术)

(3) Mentor Graphics 包含的产品很广, 从高层的系统综合到 VHDL、FPGA、PCB、ASIC 设计等。按功能分, 主要软件有:

- 电路板与系统设计, 有 Board Station 系列、Expedition 系列等, 分别适用于企业环境或小型工程设计组环境。AutoActive RE 也是一个布线作业环境, 它可以与 Expedition 及 Board Station 整合在一起以提高效率。在 PCB 设计中, 公司提供 DMS 软件作为资料管理系统。
- 硬件描述与 FPGA 设计方面, 有 ModelSim 仿真综合软件, 提供模拟的功能; HDL Designer 系列, 作为设计的输入、分析与管理工具; 公司还提供 Precision Synthesis 软件, 它是 FPGA 合成解决方案工具。
- 关于 IC 实体设计与分析, Mentor 的 Calibre 是快速精确的深亚微米设计实体工具, 还提供有亚波长光学制程修正及相偏移光罩开发工具、混合类比信号设计解决方案、电晶体阶层的模拟工具、射频分析工具等。进行 VLSI 设计时, 还要用到 IC Station, 它是一个集成电路设计与察看的整合工具。
- 系统芯片验证方面, Mentor 的 Seamless 用于进行开发前期的硬件/软件一体验证;

还提供 XRAY 等芯片制造测试资料自动生成工具；另外提供的 VStation 和 Celaro，称为硬件模拟工具/虚拟原形建构系统。其中 Celaro 是一个非常高效的系统验证超级引擎，它不但能够以百万赫速率模拟数百万个逻辑门，还具备软件模拟工具的弹性除错能力。

(4) 硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)是一种用于设计硬件电子系统的计算机语言，是 ASIC 设计和 PLD 设计的一种主要输入工具。它用软件编程的方式来描述电子系统的逻辑功能、电路结构和连接形式，然后应用可编程器件进行实现。与传统的门级描述方式相比，它更适合大规模系统的设计。例如一个 32 位的加法器，利用图形输入软件需要输入 500 个至 1000 个门，而利用 HDL 语言只需要书写一行 $X=Y+Z$ 即可。

早期有多个厂商开发了多种硬件描述语言，它们互不兼容，也不支持多层次设计，工作很麻烦。为了克服这种早期硬件描述语言的不足，美国国防部在 1985 年正式推出了 VHDL(Very high speed IC Hardware Description Language)语言，1987 年 IEEE 采纳 VHDL 为硬件描述语言标准(IEEE STD-1076)。VHDL 语言可读性强，易于修改和发现错误。

关于 SPICE 模型，目前有两个主要的版本：HSpice 和 PSpice，HSpice 主要应用于集成电路设计，而 PSpice 主要应用于 PCB 板和系统级的设计。

有很多学者和企业 in 硬件描述语言这方面做了且还正在做大量的工作。例如，Verilog 公司推出自己的硬件描述语言称为 Verilog HDL。

除上面介绍的硬件描述语言外，IBIS 语言是另一种研发热点。所谓 IBIS，就是 I/O Buffer Information Specification 的缩写，Intel 公司最早提出了该语言的概念。随着数字系统性能的不不断提升，信号输出的转换速度也越来越快，在信号完整性分析中，不能简单地认为这些高速转换的信号是纯粹的数字信号，还必须考虑到它们的模拟行为。IBIS 语言可用于在生产 PCB 前进行精确的信号完整性仿真并解决设计中存在的问题，以建立描述器件 I/O 特性的模型。

可编程逻辑器件是现代高层次电子设计方法的实现载体。它经历了 PAL、GAL、CPLD、FPGA 等几个发展阶段，其中 CPLD/FPGA 属高集成度可编程逻辑器件，目前集成度已高达几百万门/片，它将掩模 ASIC 集成度高的优点和可编程逻辑器件设计生产方便的特点结合在一起，特别适合于样品研制或小批量产品开发，也称为 ASIC 芯片。该内容在本系列教材其他书目中另有介绍。

1.4 PCB 制板的一般工艺及过程

PCB 是印刷(制)电路板 Printed Circuit Board 的英文简写。狭义而言，未安装元器件，只是布有导电路径图形的半成品绝缘板称为印刷(制)电路板。从广义上说，是在印制电路板上搭载 LSI、IC、晶体管、电阻、电容、接插件等电子部件，并通过焊接达到电气连通，具备一定功能的成品。从层数来分，有单面板、双面板、多层板等，如图 1.1 所示。

PCB 的“层”是指印制电路板材料本身实实在在的各铜箔层。现今，由于电子线路的元件密集安装，防干扰和布线等特殊要求，一些较新的电子产品中所用的印制电路板不仅有上、下两面供信号线走线，在板的中间还设有能被特殊加工的夹层铜箔，例如，现在的计算机主板所用的印板材料多在 4 层以上。这些层因加工相对较难而大多用于设置走线较