



教育部高职高专规划教材

电子设计自动化(EDA)技术

● 唐亚平 主编
刘 涛 主审



化学工业出版社
教材出版中心

京登字020号

教育部高职高专规划教材

电子设计自动化 (EDA) 技术

唐亚平 主编

刘 涛 主审

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子设计自动化 (EDA) 技术/唐亚平主编. —北京:
化学工业出版社, 2002. 7
教育部高职高专规划教材
ISBN 7 - 5025 - 3935 - 2

I. 电… II. 唐… III. 电子电路 - 电路设计, 计算机辅助设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 045746 号

教育部高职高专规划教材
电子设计自动化 (EDA) 技术

唐亚平 主编
刘 涛 主审
责任编辑: 张建茹
责任校对: 顾淑云
封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15½ 字数 381 千字

2002 年 8 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-3935-2/G · 1086

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

为贯彻《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2000]2号)有关精神,积极支持教育部面向21世纪高职高专教材建设,在教育部领导直接关怀下,全国高等职业教育院校协作会专门课开发指导委员会确定了编写电子类专业的10门主干课程(《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术实训》、《高频电子线路》、《电子测量与仪器》、《电视接收技术》、《电子设计自动化(EDA)技术》、《单片机应用技术》和《C语言》)供电子技术应用、应用电子技术、电子工程、通信、电子设备制造与维修等相关专业使用。

本套教材紧密结合高职高专教育特点,主动适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点与能力点有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力;内容编排力求简洁明快、形式新颖、目标明确。利于促进学生的求知欲和学习主动性。

从20世纪中叶到21世纪初,电子系统的设计经历了手工设计、计算机辅助设计、计算机辅助工程设计及电子设计自动化四个阶段。而电子设计自动化(EDA)技术的发展更是给电子系统设计带来了革命性的变化。而将EDA技术引入高等职业技术教育的电子类教学中是编写此书的目的。

本书着重介绍运用EDA技术进行电子系统设计的有关知识和相关EDA工具的应用,即如何应用EDA工具完成电路设计、印制电路板设计、数字电路设计方法;用可编程逻辑器件进行数字系统设计、仿真和测试;以及在系统可编程模拟器件的应用,从而对EDA技术有一个较全面的了解。

本书第一、二、三章介绍如何应用EDA工具完成电路原理图设计、印制电路板设计。目前已有很多CAD软件可以辅助进行印制电路板的设计,如ORCAD等,在此选择目前广泛使用的Protel 99SE来进行学习。第四、五、六、七、八章介绍应用EDA工具对可编程逻辑器件进行设计,包括数字电路设计方法、可编程逻辑器件、VHDL语言、EDA开发工具使用、可编程模拟器件及应用,此部分内容在编写时分别介绍了Altera公司的MAX+plus II、Lattice公司的ispDesignExpert两种较新的开发系统软件,并介绍了新型的模拟可编程逻辑器件(PAC)及其开发工具,读者可以根据需要选择某一种或几种同时学习,编写时重点突出了开发工具的使用方法和应用实例,即突出了实用性和操作性。

本书由唐亚平主编,并编写第一、四章,副主编徐昌华编写第三章,第二章由严峥辉编写,第五章由首珩编写,第六、八章由王学梅编写,第七章由朱彤编写。

本书由刘涛主审,在此对他提出的许多中肯而宝贵的意见表示诚挚的谢意。

由于EDA技术发展快,更新快,加之作者水平有限,时间仓促,疏漏或错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2002年4月

目 录

第一章 EDA 技术概述 1	第五章 硬件描述语言 VHDL 109
第一节 EDA 技术的发展过程 1	第一节 概述 109
第二节 EDA 技术主要内容 2	第二节 VHDL 的程序基本结构 110
第三节 数字系统设计的基本流程 6	第三节 标识符、数据对象、数据类 型、属性及运算符 112
本章小结 7	第四节 VHDL 的主要描述语句 117
思考题与习题 7	第五节 程序包、库及其配置 130
第二章 Protel 99SE 电路原理图设计 8	第六节 VHDL 的结构描述方法 134
第一节 概述 8	第七节 常用单元的设计举例 136
第二节 元件及元件编辑器 13	本章小结 148
第三节 Protel 99SE 电路原理图设计基 本操作方法 17	思考题与习题 148
第四节 报表文件的生成 33	第六章 MAX + PLUS II 150
第五节 设计举例 38	第一节 概述 150
本章小结 40	第二节 MAX + PLUS II 基本操作 152
思考题与习题 41	第三节 MAX + PLUS II 应用举例 176
第三章 Protel 99SE 印制电路板图 设计 43	本章小结 183
第一节 Protel 99SE 印制电路板图设计 流程 43	思考题与习题 183
第二节 PCB 封装元件及 PCB 元件库 管理 44	第七章 ispDesignEXPERT 184
第三节 印制电路板图设计基本操作 52	第一节 概述 184
第四节 电路板图的后处理 73	第二节 ispDesignEXPERT 基本操作 186
本章小结 77	第三节 在系统编程方法 202
思考题与习题 78	第四节 应用实例 205
第四章 可编程逻辑器件 79	本章小结 210
第一节 概述 79	思考题与习题 210
第二节 复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 83	第八章 在系统可编程模拟器件及 应用 211
第三节 现场可编程逻辑门阵列 (FPGA) 95	第一节 概述 211
第四节 在系统可编程 (ISP) 逻辑 器件 97	第二节 在系统可编程模拟器件 211
第五节 可编程逻辑器件的设计流程 105	第三节 PAC-Designer 软件的使用 226
本章小结 107	本章小结 234
思考题与习题 108	思考题与习题 234
	附录一 Protel 99SE 中 Miscellaneous Device. ddb 元件库中部分 常用的元件符号 236
	附录二 Protel 99SE 中 ADVPCB. ddb 元件封装库常用元件封装 237
	参考文献 238

第一章 EDA 技术概述



目的与要求 本章主要介绍电子设计自动化技术的基本概念与发展过程, 电子设计自动化技术的主要内容, 数字系统的基本设计流程。通过本章的学习主要掌握相关的概念、EDA 技术的内容, 熟悉数字系统的一般设计流程。

第一节 EDA 技术的发展过程

电子设计自动化 (Electronics Design Automation, 简称 EDA) 技术是以计算机科学和微电子技术发展为先导, 汇集了计算机图形学、拓扑逻辑学、微电子工艺与结构学和计算数学等多种计算机应用学科最新成果的先进技术, 它是在先进的计算机工作平台上开发出来的一整套电子系统设计的软件工具。

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, 简称 CAD)、计算机辅助工程设计 (Computer Assist Engineering, 简称 CAE) 和电子设计自动化 (Electronic Design Automation, 简称 EDA) 三个发展阶段。

1. 20 世纪 70 年代的计算机辅助设计 (CAD) 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, 硬件设计进入到发展的初级阶段, 初级阶段的硬件设计大量选用中小规模集成电路, 人们将这些器件焊接在电路板上, 做成板级电子系统, 对电子系统的调试是在组装好的印制电路板 (Printed Circuit Board, 简称 PCB) 上进行的。与分立元件为基础的早期设计阶段不同, 初级阶段硬件设计的器件选择是各种逻辑门、触发器、寄存器和编码译码器等集成电路, 设计师只要熟悉各种集成电路制造厂商提供的标准电路产品说明书, 并掌握 PCB 布图工具和一些辅助性的设计分析工具, 就可从事设计活动。

传统的手工布线无法满足产品复杂性的要求, 更不能满足工作效率的要求。这时, 人们开始将产品设计过程中高重复性的繁杂劳动, 如布图布线工作用二维图形编辑与分析的 CAD 工具替代, 最具代表性的产品就是美国 ACCEL 公司开发的 Tango 布线软件。EDA 技术发展初期, PCB 布图布线工具受到计算机工作平台的制约 (计算机性能的限制), 能支持的设计工作有限且性能比较差, 效率较低。

2. 20 世纪 80 年代的计算机辅助工程设计 (CAE) 阶段

初级阶段的硬件设计是用大量不同型号的标准芯片实现电子系统设计, 随着微电子工艺的发展, 相继出现了集成上万只晶体管的微处理器、集成几十万直到上百万存储单元的随机存取存储器 (RAM) 和只读存储器 (ROM)。此外, 支持定制单元电路设计的硅编辑、掩膜编程的门阵列, 如标准单元的半定制设计方法以及可编程逻辑器件等一系列微结构和微电子学的研究成果都为电子系统的设计提供了新天地。

20 世纪 80 年代初的 EDA 工具主要以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线为核心,重点解决电路设计没有完成之前的功能检验等问题。到了后期,EDA 工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证。如果说 20 世纪 70 年代的自动布局布线的 CAD 工具代替了设计工作中绘图的重复劳动,那么 20 世纪 80 年代出现的具有自动综合能力的 CAE 工具则代替了设计师的部分设计工作,为成功开发电子产品创造了有利条件。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设计的要求,而且具体化的元件图形制约着优化设计。

3. 20 世纪 90 年代电子系统设计自动化(EDA)阶段

为了满足不同的系统用户提出的设计要求,最好的办法是由用户自己设计芯片,让他们把想设计的电路直接设计在自己的专用芯片上。微电子技术的发展,特别是可编程逻辑器件的发展,微电子厂家可以为用户提供各种规模的可编程逻辑器件,使设计者通过设计芯片实现电子系统功能。EDA 工具的发展,又为设计师提供了全线电子系统设计自动化工具。这个阶段发展起来的 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由工具来做,如可以将用户要求转换为设计技术规范,有效地处理可用的设计资源与理想的设计目标之间的矛盾,按具体的硬件、软件和算法分解设计等。由于微电子技术和 EDA 工具的发展,设计师可以在不太长的时间内使用 EDA 工具,通过一些简单标准化的设计过程,利用微电子厂家提供的设计库完成数万门专用集成电路(ASIC)系统的设计与验证。

20 世纪 90 年代,设计师逐步从使用硬件转向设计硬件,从电路级电子产品开发转向系统级电子产品开发(即片上系统集成——System on a chip),因此 EDA 工具是以系统级设计为核心,包括系统行为级描述与结构级综合,系统仿真与测试验证,系统划分与指标分配,系统决策与文件生成等一整套的电子系统设计自动化工具。EDA 工具不仅具有电子系统设计的能力,而且能提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力,具有高级抽象的设计构思手段。例如:提供方框图、状态图和流程图的编辑能力,具有适合层次描述和混合信号描述的硬件描述语言(如 VHDL、AHDL 或 Verilog-HDL),同时含有各种工艺标准元件库。只有具有上述功能的 EDA 工具,才有可能使电子系统工程在不熟悉各种半导体厂家和各种半导体工艺的情况下,完成电子系统的设计。

随着人们面对的电子系统的规模越来越大,EDA 技术中采用的自上而下(Top-Down)的设计方法给电子设计注入了新的活力。但是就 EDA 发展的现状来说,数字系统的设计基本实现了设计自动化的要求,模拟电路因其复杂性,全自动化设计还需从事 EDA 技术的研究人员和从事集成电路工艺制造设计师们继续不懈的努力。

第二节 EDA 技术主要内容

本书着重介绍运用 EDA 技术进行电子系统设计的有关知识和相关 EDA 工具的应用,了解如何应用 EDA 工具完成电路设计、印制电路板图设计、数字电路设计方法,了解应用 EDA 工具对可编程逻辑器件进行设计,完成数字系统的设计、电路仿真和测试,了解可编程模拟器件的应用,从而对 EDA 技术有一个较全面的了解。

一、本教材的内容安排

本教材的先修课程为电路基础、模拟电子技术基础、数字电子技术基础等。第一章介绍

EDA 技术概论和数字系统设计流程；第二、三章分别介绍电路原理图绘制、印制电路板图设计；第四章介绍可编程逻辑器件及设计方法；第五章介绍硬件描述语言 VHDL；第六、七章分别介绍 EDA 开发工具的应用；第八章介绍模拟可编程器件及其开发工具的应用。

二、数字系统的设计流程

此部分内容介绍小型数字系统设计的流程，即自上而下的设计方法。根据高职应用的特点和需要，该内容在此只作简单介绍，而不作过多的展开，只介绍小型数字系统的设计流程和基本思路。

三、印制电路板图设计

印制电路板（Printed Circuit Board，简称 PCB）图设计是电子系统设计的一个重要组成部分，也是电子设备中的重要组装部件。由于它在生产过程中采用了印刷业中的丝网漏印、照相制版和蚀刻等多种技术，有时也称为印刷电路板。

早期的印制电路板图设计均由人工完成，一般由电路设计人员提供草图，由专业绘图员绘制黑白照相图，再进行后期制作。人工设计是一件十分费事、费力且容易出错的工作。随着计算机技术的飞速发展，新型器件和集成电路的应用越来越广泛，电路越来越复杂，使得可用手工完成的操作越来越多地依赖于计算机去完成。因此，计算机辅助电路设计成为印制电路板图设计的必然趋势。

目前已有很多的 CAD 软件可以用于印制电路板图的辅助设计。市场上可见到的有 SMARTWORK、ORCAD、Viewlogic、Mentor、Synopsys、AutoBoad、EESystem、TANGO、Protel 等产品，这些软件的功能有强有弱，且各具特色。印制电路板图的计算机辅助设计大致可分为两个阶段进行，即电路原理图的绘制阶段和印制电路板图的设计阶段，因为印制电路板图的自动布线功能要以电路原理图作依据。

本教材将在第二章介绍用 Protel 99SE 的原理图（SCH）组件绘制电路原理图，该组件的绘图工具齐全，编辑功能强大，并且包含有丰富的世界各大公司各种类型的元器件电气符号，用户甚至可以通过该组件提供的元件编辑器进行编辑元器件的电气符号或新增元器件的电气符号。

本教材将在第三章介绍用 Protel 99SE 的印制电路板（PCB）组件设计印制电路板图，该组件也具有丰富的绘图工具和强大的编辑功能。对于较小型的电子系统，通过该组件可以进行人工布局布线；对于复杂的电子系统则需采用 PCB 组件来启动自动布线（Route）组件，可以实现优化布线进程、在线设计规则检查等功能。该组件同样具有丰富的封装元件符号库，供 PCB 设计时使用。

印制电路板图设计完成后，可以利用打印机或绘图仪输出印制电路板的布线图，也可以生成光绘文件交印制电路板厂家制造。

四、可编程逻辑器件及设计

可编程逻辑器件（Programmable Logic Devices，简称 PLD）是一种用户根据需要而自行构造逻辑功能的数字集成电路。它的基本设计方法是借助于 EDA 软件，用原理图、状态机、布尔表达式、硬件描述语言等方法，生成相应的目标文件，最后再由编程器或下载电缆，下载到目标器件中去。

这种利用 PLD 内建逻辑结构、由用户配置来实现任何组合逻辑和时序逻辑功能的器件，

最初被视为分立逻辑电路和中小规模集成电路的替代物,随着设计技术和制造工艺的完善,器件性能、集成度、工作频率等指标不断提高,PLD 的应用范围越来越广,目前它已成为 ASIC 设计的主流。

最早的可编程逻辑器件出现在 20 世纪 70 年代初,它的基本结构包含一个固定的“与”阵列和一个可编程的“或”阵列,称为可编程只读存储器 (Programmable Read Only Memory, 简称 PROM)。此后出现新的 PLD 器件——可编程只读阵列 (Programmable Logic Arrays, 简称 PLA),它的“与”阵列和“或”阵列都是可编程的,且全部输入、输出都是可以控制的。70 年代末出现可编程阵列逻辑 (Programmable Arrays Logic, 简称 PAL),它既有 PLA 的灵活性,又具有 PROM 的易编程特性。其基本特性包括一个可编程“与”阵列和一个固定“或”阵列,前者使输入项增多,而后者使器件简化。

80 年代初,美国 Lattice 公司推出通用阵列逻辑 (Generic Array Logic, 简称 GAL)。与 PAL 相比, GAL 具有输出逻辑宏单元 (Output Logic Macro Cell, 简称 OLMC),这样使 GAL 设计更灵活,能满足更多逻辑电路的要求。

80 年代中期,美国 Xilinx 公司率先推出了现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, 即 FPGA) 器件, FPGA 器件采用逻辑单元阵列结构,静态随机存取存储工艺,设计灵活,集成度高,可重复编程,并可现场模拟调试验证。

90 年代初, Lattice 公司又推出了在系统可编程大规模集成电路 (In System Programmable Large Scale Integration, 即 ispLSI), 该器件采用先进的 E^2 CMOS 工艺,综合了传统的 PLD 器件的易用性、高性能和 FPGA 的灵活性、高密度等特点。

PLD 之所以发展迅速并被广泛应用,不外乎两个原因:其一是不不断涌现出新的品种,以满足用户自己设计电路的要求;其二是开发应用环境良好。许多功能强、共用性好的 PLD 开发软件和硬件不断出现,它使得用户设计、开发极为方便。

PLD 开发工作中的硬件包括微型计算机 (或工作站)、编程器、下载电缆以及管座适配器等。

五、硬件描述语言 VHDL

一个数字系统,当借助于 EDA 工具进行设计时,都需要对所设计系统的功能结构进行描述,也就是需要为 EDA 工具按规定格式提供输入数据。这种对数字系统在系统级到电路级进行设计描述的语言称为硬件描述语言 (Hardware Description Language, 简称 HDL)。

常用的硬件描述语言有 VHDL、Verilog、ABEL 等。

VHDL: 作为 IEEE 的工业标准硬件描述语言,在电子工程领域,已成为事实上的通用硬件描述语言。

Verilog: 支持的 EDA 工具较多,适用于 RTL 级和门电路级的描述,其综合过程较 VHDL 稍简单,但其在高级描述方面不如 VHDL。

ABEL: 一种支持各种不同输入方式的 HDL,被广泛用于各种可编程逻辑器件的逻辑功能设计,由于其语言描述的独立性,因而适用于各种不同规模的可编程器件的设计。

六、EDA 开发工具

PLD 的开发软件种类很多,其基本功能大致包括:

(1) 输入方式 即所设计系统的输入描述方法,总的要求是简单、方便、直观、实用,并且希望尽可能多地满足不同层次的用户的要求。

(2) 编译功能 它的主要任务是将用户输入的设计描述转换成 PLD 所能接受的文件格式, 它既可以接受用户提出的约束条件, 又能自动完成编译功能, 并且对输入的设计具有逻辑优化、设计综合、检错和纠错或定位报告等能力。

(3) 模拟仿真 它可向设计者报告所设计系统的逻辑错误和电路性能。要保证设计的正确无误, 这对于一次可编程器件和大型复杂系统的设计来说是极为重要的。报告的形式要多, 如波形显示、定时分析、故障定位、文本说明等。

(4) 输出文件 开发系统的输出文件要求通用性强, 具有可移植性, 能满足多种应用环境的需要, 对设计的修改或更新要方便。

(5) 测试验证 对于设计文件已经“烧制”或配置到逻辑系统之后, 能对其功能或数据进行测试。

目前比较流行的、主流厂家的 EDA 的软件工具有 Altera 的 MAX+PLUS II、Lattice 的 ispExpert、Xilinx 的 Foundation Series 等。

PLD 开发软件的输入方法也在不断发展, 下面对其做一简要介绍。

1. 布尔表达式输入法

这是早期的输入方法之一, 目前仍被广泛采用, 用户可用任何一种文本编辑程序编写源文件, 写出对应每个输出端子的布尔表达式, 开发软件能将这些表达式自动转换成一个设计或设计中的一部分。

2. 真值表输入方法

与布尔表达式输入极为相似, 这种方法一般用于规模不大的数字系统设计。

3. 状态机描述法

采用这种方法可以不必关心 PLD 内部的结构及每个输出端子的布尔表达式, 主要考虑各状态的转移及相互关系。现有的从 PALASMI、BLE、CUPL 等通用软件到可以开发高密度器件的软件都支持状态机描述语言。最新的开发工具支持图形化的状态机描述。

4. 原理图输入法

这部分软件实际来自 VLSI 的 EDA 设计工具, 它的功能很强。设计者可以根据相应的元器件库提供的单元模块, 如各种门电路、寄存器、触发器、常用中小规模集成电路宏单元以及用户自定义的各种符号, 按需要逐个调用, 并用网络把各个“元器件”连接起来形成一张原理图。它既具有常规电子系统设计的特点, 也兼有硬件描述的各种功能。输入图形中所有信息可以为模拟、验证和测试提供信息。

5. 波形输入法

逻辑电路的运行总是以正确的输入波形来获得相应波形为依据的, 波形输入法是直接、简明、方便而有效的手段, 并且容易查错。但由于这种编译程序结构复杂, 当前只有少数 PLD 开发软件采用, 而且只能编译较规则、也较简单的波形。

6. VHDL 方法

VHDL 语言作为 EDA 的工具, 是专为描述硬件而设计的, 当然也可以用来设计 FPGA 和 CPLD 等大规模可编程集成电路。现在国际标准规定, 所有 PLD 开发工具都要能接受 VHDL 描述的设计。

七、模拟可编程器件及开发工具

1999 年年底, 随着 Lattice 公司所开发的在系统可编程模拟电路器件的推出, 结束了可

编程器件的应用领域只限于数字系统设计的时代，使模拟电路的自动化设计有了新的突破。模拟可编程器件可以实现三种功能：信号调理、信号处理、信号转换；提供三种编程性能：即可编程的功能、可编程的互联、可编程的特性（参数）。虽然目前其功能还很有限，但已经为模拟可编程器件的发展带来了新的希望。其开发工具为 Lattice 公司的 PAC-Designer。

第三节 数字系统设计的基本流程

一、自下而上和自上而下的设计概念

传统的设计方法是指自下而上（Bottom-Up）的设计方法。系统设计师们根据自己的实践经验，利用现有的通用元器件，先完成各个部件的设计、搭试、测量性能指标，再组成整个系统，而后经调试、测量看整个系统是否达到规定的性能指标。其设计中除人工进行以外，还可尽量借助于 CAD 软件进行模拟和分析。

在现代的数字系统设计中更多采用的是自上而下（Top-Down）的设计方法，这种设计方法首先从系统设计入手，先从顶层进行功能方框图划分和结构设计入手，实现从设计、仿真、测试一体化。其方案的验证与设计、电路与 PCB 设计、ASIC 设计都由电子系统设计师借助于 EDA 工具来完成。

二、数字系统设计的流程

数字系统的设计一般采用自顶向下、由粗到细、逐步求精的方法。设计的最顶层是指系统的整体要求，最下层是指具体逻辑电路的实现。自顶向下是指将数字系统的整体逐步分解为各个子系统和模块，若子系统规模较大，则还需要将子系统进一步分解为更小的子系统和模块，层层分解，直至整个系统中各子系统关系合理、并便于逻辑电路级的设计和实现为止。

数字系统的设计流程如图 1-1 所示，下面分别讲述流程中各阶段的设计任务。

1. 系统任务分析

数字系统设计中的第一步是明确系统的任务。设计任务书可用各种方式提出对整个数字系统的逻辑要求，常用的方式有自然语言、逻辑流程图、时序图或几种方法的结合。当系统较大或逻辑关系复杂时，系统任务（逻辑要求）逻辑的表述和理解都不是一件容易的工作。所以分析系统的任务必须细致、全面，不能有理解上的偏差和疏漏。

2. 确定逻辑算法

实现系统逻辑运算的方法称为逻辑算法，也简称为算法。一个数字系统的逻辑运算往往有多种算法，设计者的任务不但是找出各种算法，还必须比较优劣，取长补短，从中确定最合理的一种。数字系统的算法是逻辑设计的基础，算法不同，则系统的结构也不同，算法的合理与否直接影响系统结构的合理。确定算法是数字系统设计中最具创造性的一环，也是最难的一步。

3. 系统划分

当算法明确后，应根据算法构造系统的硬件框架（也称为系统框图），将系统划分为若干个部分，各部分分别承担算法中不同



图 1-1 数字系统设计流程

的逻辑操作功能。如果某一部分的规模仍嫌大,则需进一步划分。划分后的各个部分应逻辑功能清楚,规模大小合适,便于进行电路级的设计。

4. 系统(或模块)逻辑描述

当系统中各个子系统(指最低层子系统)和模块的逻辑功能和结构确定后,则需要采用比较规范的形式来描述系统的逻辑功能。对系统的逻辑描述可先采用较粗略的逻辑流程图,再将逻辑流程图逐步细化为详细逻辑流程图,最后将详细流程图表示成与硬件有对应关系的形式,为下一步的电路级设计提供依据。

5. 逻辑电路级设计

逻辑电路级设计是指选择合理的器件和连接关系以实现系统逻辑要求。电路级设计的结果常采用两种方式来表达:电路图方式和硬件描述语言方式。EDA 软件允许以这两种方式输入,以便作后续的处理。

6. 验证(仿真)

当电路设计完成后必须验证设计是否正确。在早期,只能通过搭试硬件电路才能得到设计的结果。目前,数字电路设计的 EDA 软件都具有验证(也称为仿真、电路模拟)的功能,先通过电路验证(仿真),当验证结果正确后再进行实际电路的测试。由于 EDA 软件的验证结果十分接近实际结果,因此,可极大地提高电路设计的效率。

7. 物理实现

物理实现是指用实际的器件实现数字系统的设计,用仪表测量设计的电路是否符合设计要求。现在的数字系统往往采用大规模和超大规模集成电路,由于器件集成度高、导线密集,故一般在电路设计完成后即可设计印制电路板图并制作出电路板,在印制电路板上组装电路进行测试。

本章小结

电子设计自动化(Electronics Design Automation)简称 EDA 技术。

EDA 技术,经历了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程设计(CAE)和电子设计自动化(EDA)三个发展阶段。

本书介绍的 EDA 技术主要包括数字系统的设计流程、印制电路板图设计、可编程逻辑器件及设计方法、硬件描述语言 VHDL、EDA 开发工具、模拟可编程器件及开发工具等内容。

数字系统设计的基本流程包括系统任务分析、确定逻辑算法、系统划分、系统(或模块)逻辑描述、逻辑电路级设计、验证(仿真)、物理实现几部分。



思考题与习题

1-1 EDA 技术的发展经过了哪几个阶段?

1-2 什么叫电子设计自动化?有什么特点?

1-3 简述数字系统设计的一般流程。

第二章 Protel 99SE 电路原理图设计



目的与要求 本章将介绍如何使用 Protel 99SE 软件的原理图设计系统来绘制电路原理图, 内容包括: Protel 99SE 的基础知识、元件及元件编辑器、电路原理图设计的基本操作方法、报表文件的生成等。首先从熟悉 Protel 99SE 的窗口界面开始, 了解 Protel 99SE 的文档管理与相应操作; 然后再学习如何制作自己所需的元件, 以及管理这些元件及元件库的方法; 通过学习原理图设计系统的基本操作方法, 应掌握进行一般电路原理图的设计; 最后再了解由原理图生成报表的方法和原理图的打印输出。

第一节 概 述

Protel 99 是由澳大利亚的 Protel Technology 公司于 1999 年推出的电子电路设计软件, 2000 年该公司又推出的其改进版 Protel 99SE。Protel 99SE 所具有的强大功能, 为设计人员进行电子电路原理图和印制电路板板图的设计提供了良好的操作环境, 使设计人员可以轻松地完成电子线路设计的全过程。

在介绍 Protel 99SE 的操作方法之前, 先进行概括性的介绍, 以便读者对 Protel 99SE 的性能特点有一个总体上的了解。

一、Protel 99SE 概述

(一) Protel 99SE 的发展与演变

美国的 ACCEL Technologies Inc 在 1987、1988 年推出的 TANGO 软件包可以说是 Protel 的前身。在随后的几年, 电子工业的飞速发展使 TANGO 软件包再难以胜任, Protel Technology 公司及时地推出了 Protel for DOS 软件作为 TANGO 的升级版本。

进入 20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术的迅猛发展, 硬件的整体性能和与其相应的软件领域也随之日新月异地进步。于是 Protel Technology 公司在 1991 年推出 Protel for Windows 1.0, 这是世界上第一个基于 Windows 操作系统的 PCB (印制电路板) 设计工具。随后, Protel Technology 公司又陆续推出了 Protel for Windows 2.0、Protel for Windows 3.0、Protel 98 等产品, 直到现在的最新版本 Protel 99 以及其改进版 Protel 99SE。

(二) Protel 99 的设计组件

Protel 99SE 是由众多的服务器程序组成, 常用的是以下为 5 个组件, 分别为原理图设计组件、印制电路板图设计组件、自动布线组件、可编程逻辑设计组件和仿真组件。下面简单介绍本书所涉及到的原理图设计组件、印制电路板图设计组件和自动布线组件。

1. 原理图设计组件

基于 Windows 平台的 Protel 99SE 中的原理图设计组件是一个功能完备的多图样、层次化的原理图编辑器。它包含了众多的高级设计工具,可高效地实现电子产品的原理图设计。

原理图设计组件的编辑器具有丰富而又强大的编辑功能。在编辑器中完全是交互式的全局编辑。电气栅格特性提供了所有电子器件的自动连接,这使得手工连线变得更为简捷。

原理图设计组件还具有强大的电气检查功能,能够快速地对大型的复杂电路进行检查,并可将检查结果直接标记在原理图中,方便了原理图的修正工作。原理图设计组件具备完善的库元件编辑和管理功能。其中原理图设计器提供超过六万个元件的元件库,如果用户从这些库中没有找到合乎自己要求的元件,还可以自行创建原理图元件。

2. 印制电路板图设计组件

Protel 99SE 中的印制电路板图设计组件为用户提供了一个交互友好和高效强大的设计环境。在印制电路板图设计组件中,其物理规则定义和工艺特性要求都由设计参数来全面控制。

与原理图编辑器一样,印制电路板图编辑器也具备了丰富而又灵活的编辑功能,提供交互式的全局编辑,对象属性的修改操作和原理图中完全一样。印制电路板图设计组件借助于自动布线组件,能够实现设计的自动化,同时具备在线式的设计规则检查,以修正违反设计规则的错误。印制电路板图设计组件提供了较为齐全的封装元件,具备了完善的封装元件库管理功能,用户可以方便快速地创建新的封装元件。

印制电路板图设计组件还具有良好的兼容性。其编辑器可以调入众多 EDA 设计系统的设计文件,例如 PADS、OrCAD、TANGO 以及 Protel for DOS 等版本的设计文件。

3. 自动布线组件

Protel 99SE 中的自动布线组件是一个完全集成的基于形状的无网格自动布线器,采用基于人工智能的布局布线方法。使用方便、布线效率高,可以对印制电路板板面进行优化,实现高难度、高精度的印制电路板图自动布线。布线质量能达到专业级水准。该组件主要是为印制电路板图设计组件而服务的,以实现电路设计自动化。在 Protel 99SE 中,该组件没有独立的用户接口界面,而纯粹作为一个内嵌的服务器程序,通过印制电路板图编辑器来实现与用户的交互。

(三) Protel 99SE 的运行环境

运行 Protel 99SE 的推荐配置为

CPU Pentium 166 以上。

内存 32MB 或更多。

硬盘 1GB 或更多。

显示适配器和显示器 显存在 1M 以上,显示分辨率在 800×600 以上,Protel 99SE 标准显示方式的显示分辨率为 1024×768 。

操作系统 Windows 95/98/NT。

这仅是保守的配置,为充分发挥 Protel 99SE 的强大功能,配置应尽可能高。

二、初识 Protel 99SE

(一) Protel 99SE 的窗口界面

1. 主窗口

Protel 99SE 的主窗口基本上由以下几个部分组成:标题栏、菜单栏、工具栏、设计器窗口、设计管理器、浏览管理器、状态栏以及命令指示栏等,如图 2-1 所示。

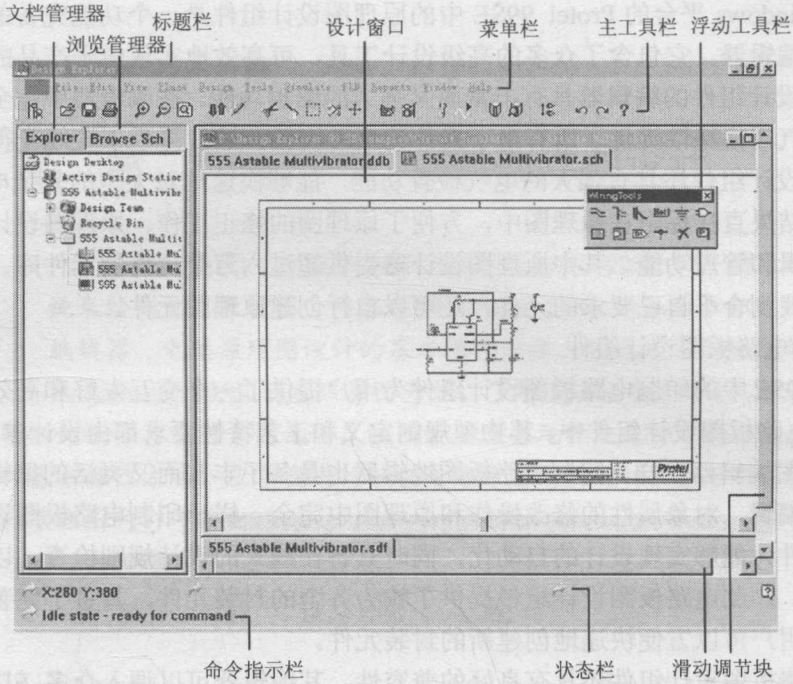


图 2-1 Protel 99SE 的主窗口

2. 菜单栏

Protel 99SE 菜单栏包括各种命令操作、参数设置、开关切换等功能。

3. 工具栏

Protel 99SE 的主窗口总是以一个固定的位置显示一个主工具栏，主要是为了方便用户的操作而设计的，一些菜单项的运行都可以通过工具栏的按钮来实现。

菜单栏和工具栏随打开的项目不同而有所区别。

4. 设计器窗口（工作窗口）

设计器窗口实际上就是各个编辑器的工作区域，属于主窗口的一个子窗口，窗口也可以最大化操作。设计器窗口上部有一个标签栏，当单击某个标签时，相应的文档就显示出来。

5. 文档管理器和浏览管理器

文档管理器与浏览管理器占据同一个窗口区域，文档管理器用于管理设计数据库文件，文档管理器和设计窗口的结合使用，可以方便地对设计数据库进行管理。在文档管理器中用户只要双击一个文档，在设计窗口中就会打开相应的编辑器对该文档进行编辑。如果某个文档已经处于打开状态，则只需在文档管理器中单击该文档，就可以直接弹出相应的编辑器。

浏览管理器用于浏览设计项目中的各种操作对象，随着编辑的项目不同，所要浏览的对象也有所区别。

6. 状态栏和命令指示栏

状态栏主要用于显示进程的执行进度、进程说明、当前命令的操作提示、有关快捷键的说明以及当前鼠标指针的位置等信息。

命令指示栏的作用和状态栏的作用类似，只是显示的是当前正在执行的命令操作。

7. 快捷菜单

为了方便用户操作, Protel 99SE 还设计了众多的快捷菜单。快捷菜单通过单击鼠标右键来弹出, 至于弹出的是哪一个栏区的快捷菜单, 由鼠标指针所在的位置决定。

(二) 创建、打开和关闭设计数据库

为了便于管理, Protel 99SE 将各种文档都存放在一个设计数据库文件中, 进行统一管理。要创建一个原理图或者印制电路板图文档, 必须先建立一个设计数据库文件, 然后再往数据库中添加各种文档。

1. 创建一个设计数据库

① 执行菜单命令 File\New Design。

② 在弹出的 New Design Database 新设计数据库对话框中取定一个文件名, 例如 MyDesign. ddb, 如图 2-2 所示。单击“Browse”按钮可以选择一个设计数据库文件存放的路径。取定文件名和选定存放路径后, 单击“OK”按钮即创建了一个新的设计数据库文件, 以后与设计相关的各种文件及信息都将包含在这个数据库中。

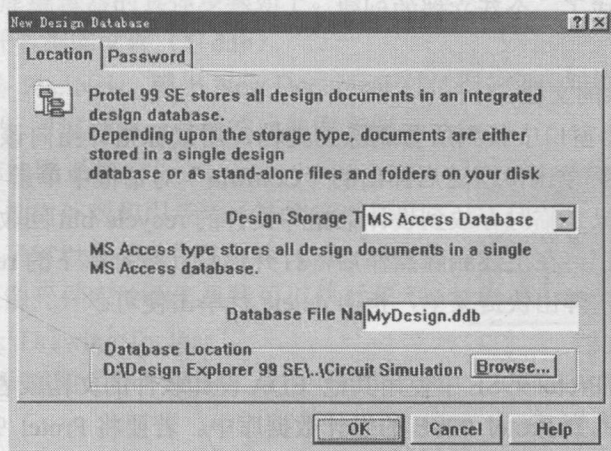


图 2-2 【New Design Database】对话框

2. 打开一个设计数据库

① 执行菜单命令 File\Open。

② 在弹出的 Open Database Design 打开设计数据库对话框中找到需要打开的设计数据库文件名, 然后双击该文件即可。

3. 关闭一个设计数据库

在文档管理器中单击需要关闭的设计数据库, 使之成为当前数据库 (若当前只打开一个设计数据库, 则该步可省略), 执行菜单命令 File\Close Design 即可。

(三) 文档文件的管理

在创建或打开一个设计数据库文件后, 用户就可以在该设计数据库中创建新文档或删除已经存在的文档, 并可实现各种不同的文档管理工作。

1. 创建新文档

① 在文档管理器中打开设计数据库文件。

② 执行菜单命令 File\New, 弹出 New Document 新文档对话框, 如图 2-3 所示。

③ 在 New Document 对话框中双击需要建立的文档类型图标。

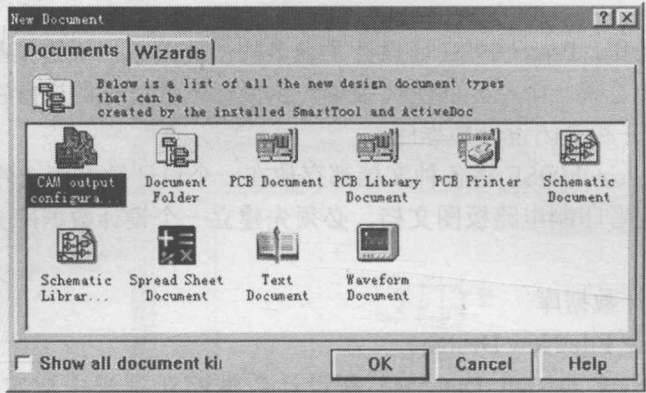


图 2-3 【New Document】对话框

此时，在设计窗口中增加了一个文件图标，并且允许用户取一个文件名称，输入文件名称后按回车键，就完成了一个新文档的创建。

2. 删除文档

① 关闭所要删除的文档。

② 在文档管理器窗口中找到所要删除的文档，用鼠标指针指向该文档后右击，弹出快捷菜单，指向 delete 行单击，在随后弹出的“Confirm”对话框中单击“Yes”按钮即可，所删除的文档，实际上只是临时存放到设计数据库文件的 recycle bin 回收站中，并没有真正删除掉。要彻底删除文档，在上述删除操作后，打开该设计数据库下的 recycle bin 回收站，再次指向该文档后右击，弹出快捷菜单，指向 delete 行单击便可。

3. 导入和导出文档

如果用户要想在 Protel 99SE 中使用其他 EDA 设计软件的文档或者 Protel 以前版本的文件，就需要将它们导入到 Protel 99SE 的设计数据库中。若要将 Protel 99SE 设计数据库中的文档单独拿到其他计算机上编辑，则需要将相应的文档导出。

① 导入一个文档：

- 打开或者创建一个用于存放导入文档的设计数据库文件。
- 在设计数据库中打开用于存放导入文档的文件夹。
- 选择“File”菜单，然后在出现的下拉菜单中选择“Import”菜单项。

② 导出一个文档：

- 打开需要导出文档所在的文件夹。
- 在需要导出的文档上单击鼠标右键，并在弹出的快捷菜单中选择“Export”菜单项。
- 在弹出的 Export File 导出文件对话框中指定一个目标路径，并在文件名编辑框中输入一个文件名，单击“保存”按钮之后在指定路径下就会增加一个新的导出文档。

4. 文档更名

① 打开需要更名的文档所在的文件夹。

② 在该文档上单击鼠标右键，并在弹出的快捷菜单中单击“Rename”菜单项。

③ 选择“Rename”菜单项后，需要更名的文档图标下方会出现一个编辑框，用户可以在框中取一个新名称。