



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”立项项目

杨旭 刘盾 等编著

EDA技术基础 与实验教程

计算机科学与技术专业实践系列教材

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机科学与技术专业实践系列教材

EDA技术基础 与实验教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

EDA 技术是当今电子信息领域最先进的技术之一,已广泛应用于电子、通信、工业自动化、智能仪表、图像处理以及计算机等领域。因此,EDA 技术是电子工程师必须掌握的一门技术。

本书根据电子信息类课程课堂教学和实验要求,以提高学生的实践动手能力和工程设计能力为目的,从应用的角度出发,共分 11 章,包括 EDA 技术理论基础与实验两部分。EDA 技术理论基础部分主要内容有 EDA 技术的开发方法、Quartus II 软件开发工具、原理图设计方法、VHDL 设计方法、VHDL 语言基础、数字逻辑电路设计方法、VHDL 与原理图混合设计技术、CPLD/FPGA 器件基础、较复杂的数字系统开发设计技术和 EDA 技术中的硬件电路设计技术;实验部分主要根据现代实验教学三个层次:以验证型实验、设计型实验和综合设计型实验为主线,精心设计了 15 个典型的、不同层次的实验项目,可供不同课时和不同程度的学生学习。

本书是 EDA 技术和实验的基础教材,可供高等院校的电类、信息类和机电工程各专业的本科生使用。鉴于本书的实用性和应用性突出,可以作为高职高专院校和初学者的 EDA 技术教材,也可作为广大工程技术人员参考书。

本书配有多媒体教学课件,供教师选用。

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

EDA 技术基础与实验教程 / 杨旭,刘盾等编著. —北京:清华大学出版社,2010.7

(计算机科学与技术专业实践系列教材)

ISBN 978-7-302-22097-8

I. ①E… II. ①杨… ②刘… 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(2010)第 029074 号

责任编辑:汪汉友

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:21.75

字 数:525 千字

版 次:2010 年 7 月第 1 版

印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00 元

产品编号:035194-01

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
计算机科学与技术专业实践系列教材

编 委 会

主 任：王志英

副 主 任：汤志忠

编 委 委 员：陈向群 樊晓桢 邝 坚

孙吉贵 吴 跃 张 莉

前 言

随着电子信息技术的不断发展,在通信、国防、航天、医学、工业自动化、计算机应用、仪器仪表等领域的电子系统设计工作中,EDA(Electronic Design Automation,电子设计自动化)技术正以惊人的速度上升;电子类的高新技术项目的开发也越来越依赖于 EDA 技术的应用。即使是普通的电子产品的开发,EDA 技术常常使一些原来的技术瓶颈得以轻松突破,从而使产品的开发周期大为缩短、性能价格比大幅提高。因此,EDA 技术将迅速成为电子设计领域中的极其重要的组成部分。

EDA 技术是一门应用性较强的课程,教学过程中,主要通过理论教学、实验教学、实训和课程设计 4 个教学环节来提高学生的技能水平,若将这 4 个教学环节融为一体,我们称之为“四位一体”教学法。这样的教学方法也是我校长期为社会培养高技能应用型人才过程中总结出来的一种行之有效的教学方法。编写本书也是基于“四位一体”的教学理念,目的是为了提高学生 EDA 技术的应用和设计能力。

本书涉及的内容有 EDA 技术理论基础和实验两部分,在此基础上,还另编写了该书的配套教学辅助教材,教学辅助教材主要内容有课程设计和实训两部分内容,整套教材包含了 EDA 技术的理论基础、硬件电路设计部分、教学方法、课程设计方法、实训方法等内容,同时还配备了整套教材的多媒体教学课件。所有内容安排由浅入深,由简到繁,能有效地提高学习 EDA 技术的效率,使读者更快更好地掌握 EDA 技术的理论知识和应用技能,也希望此书能对读者有所帮助。

本书共分 11 章,主要内容如下。

第 1 章介绍了 EDA 技术的含义、EDA 技术的发展、常用的集成开发工具、软件开发基础、硬件基础、设计流程、传统设计方法与 EDA 设计方法的区别和 EDA 技术的发展趋势。

第 2 章介绍了原理图输入设计方法、Quartus II 软件介绍及使用初步、用原理图方法设计 2-4 译码器的全过程和较复杂的原理图设计方法。

第 3 章介绍了 VHDL 体系结构、VHDL 设计快速入门、其中运用简单的数据选择器和触发器的 VHDL 设计进一步介绍了 VHDL 的基本结构和语法基础。

第 4 章介绍了 VHDL 的顺序语句、VHDL 的并行语句、VHDL 的语言要素、VHDL 子程序、VHDL 库的种类和使用方法。

第 5 章介绍了基本门电路、编码器、译码器和加法器等组合逻辑电路设计方法;触发器、移位寄存器和计数器等时序逻辑电路设计方法;状态机基本概念、一般有限状态机的 VHDL 设计、Moore 型有限状态机设计、Mealy 型有限状态机和有限状态机的编码。

第 6 章介绍了 VHDL 与原理图混合设计和层次设计方法,其中包括自底向上混合设计和自顶向下混合设计,并用 1 位二进制全加器设计、简易时钟电路设计和十六进制计数译码显示器设计进一步详细介绍了设计方法与步骤。

第 7 章介绍了宏功能模块基础知识,并利用宏功能模块对 ROM、RAM、FIFO、乘法器和锁相环等的设计方法进行了介绍;还介绍了 IP 核及其分类等。

第8章介绍了可编程逻辑器件基础、可编程逻辑器件的分类、简单的PLD原理、CPLD结构与原理、FPGA结构与原理、CPLD与FPGA的比较、CPLD/FPGA的编程与配置技术、FPGA的电源设计以及Altera公司主流新器件简介。

第9章介绍了组合逻辑电路设计技巧、同步逻辑电路设计技巧和设计基本原则、VHDL的编码风格、提高设计速度的方法、资源优化设计和EDA工具的优化设置。

第10章介绍了交通灯控制器、多功能信号发生器和4位十进制频率计3个综合的数字系统实例的设计与实现,详细介绍了设计要求、系统组成、模块电路设计和硬件电路设计的方法与步骤。

第11章是EDA技术实验部分,本章设计了验证型实验、设计型实验和综合设计型实验共15个实验课题,每个实验详细介绍了实验目的、实验任务、实验原理和实验步骤等。

全书由杨旭统稿。杨旭、刘盾、曲芳、刘新钰、常国权、涂善军、鲍波、邹岩峰、顾卫军和刘曼丽参加了本书的编写、图形绘制、硬件调试和软件调试。本书的编写过程中,参阅和引用了许多专家和学者的文献和资料,在此向他们表示敬意和衷心的感谢。

由于作者水平和能力有限,编写时间仓促,新技术、新器件的发展和更新较快,书中的不妥和错误之处恳请读者批评指正。作者邮箱:postyangxu@126.com。

本书配有多媒体教学课件供教师选用。

作 者

2010年2月于天津

目 录

第一部分 EDA 技术理论基础

第 1 章 EDA 技术概述	3
1.1 EDA 技术的含义	3
1.2 EDA 技术的发展	4
1.2.1 计算机辅助设计阶段	4
1.2.2 计算机辅助工程阶段	4
1.2.3 电子系统设计自动化阶段	4
1.3 常用的 EDA 技术开发工具	4
1.3.1 Altera 公司集成 EDA 集成开发工具	5
1.3.2 Xilinx 公司的 EDA 集成开发工具	5
1.3.3 Lattice 公司的 EDA 集成开发工具	8
1.4 EDA 技术的软件开发	9
1.4.1 原理图设计简介	9
1.4.2 硬件描述语言设计简介	10
1.4.3 VHDL 语言概述	12
1.5 EDA 技术的硬件概述	14
1.5.1 可编程逻辑器件简介	14
1.5.2 CPLD/FPGA 基础	15
1.6 EDA 技术的设计流程	15
1.6.1 设计输入	16
1.6.2 设计综合与适配	17
1.6.3 仿真	17
1.6.4 编程、配置	18
1.6.5 硬件验证	18
1.7 传统设计方法和 EDA 设计方法的比较	18
1.7.1 传统设计方法	18
1.7.2 EDA 设计方法	19
1.8 EDA 技术的发展趋势	19
思考题与习题	21
第 2 章 原理图输入设计	22
2.1 Quartus II 软件介绍	22
2.1.1 Quartus II 软件开发流程	22
2.1.2 Quartus II 软件的特点	23

2.1.3	Quartus II 软件的图形用户界面	24
2.2	用原理图编辑方法设计 2-4 译码器	25
2.2.1	2-4 译码器电路输入与编辑	25
2.2.2	2-4 译码器的综合	31
2.2.3	2-4 译码器的仿真	31
2.2.4	2-4 译码器的编程下载	37
2.3	较复杂的原理图设计	38
2.3.1	30 秒倒计时电路设计	39
2.3.2	电子钟计数电路设计	40
	思考题与习题	46
第 3 章	VHDL 快速入门	47
3.1	VHDL 体系结构	47
3.1.1	VHDL 体系结构	47
3.1.2	库、程序包	49
3.1.3	实体部分	49
3.1.4	结构体部分	51
3.1.5	配置部分	52
3.2	数据选择器的 VHDL 描述	52
3.2.1	2 选 1 数据选择器的 VHDL 描述	52
3.2.2	2 选 1 数据选择器的 VHDL 相关语法分析	53
3.3	触发器的 VHDL 描述	56
3.3.1	D 触发器的 VHDL 描述	56
3.3.2	D 触发器的 VHDL 相关语法分析	60
	思考题与习题	64
第 4 章	VHDL 基本语句与要素	65
4.1	VHDL 的顺序语句	65
4.1.1	赋值语句	65
4.1.2	IF 语句	67
4.1.3	CASE 语句	70
4.1.4	LOOP 语句	72
4.1.5	NEXT 语句	74
4.1.6	EXIT 语句	74
4.1.7	WAIT 语句	75
4.1.8	ASSERT 语句	77
4.1.9	REPORT 语句	79
4.1.10	子程序调用语句	80
4.1.11	RETURN 语句和 NULL 语句	82
4.2	VHDL 的并行语句	83

4.2.1	进程语句	83
4.2.2	并行信号赋值语句	85
4.2.3	并行过程调用语句	87
4.2.4	元件例化语句	88
4.2.5	块语句	89
4.2.6	生成语句	91
4.3	VHDL 语言要素	94
4.3.1	VHDL 文字规则	94
4.3.2	数据对象	97
4.3.3	VHDL 数据类型	99
4.3.4	VHDL 操作符	104
4.4	VHDL 子程序	107
4.4.1	函数	107
4.4.2	过程	112
4.5	VHDL 库	114
4.5.1	VHDL 库的种类	115
4.5.2	VHDL 库的用法	115
	思考题与习题	116
第 5 章	基本逻辑电路的 VHDL 设计	117
5.1	组合逻辑电路设计	117
5.1.1	基本门电路设计	117
5.1.2	编码器设计	120
5.1.3	译码器设计	122
5.1.4	加法器设计	125
5.1.5	三态门与双向缓冲电路设计	126
5.2	时序逻辑电路设计	129
5.2.1	触发器设计	129
5.2.2	移位寄存器设计	131
5.2.3	计数器设计	133
5.3	状态机的设计	137
5.3.1	状态机概述	137
5.3.2	一般有限状态机的 VHDL 设计	139
5.3.3	摩尔型状态机设计	141
5.3.4	米勒型状态机设计	143
5.3.5	状态机的编码	145
	思考题与习题	148
第 6 章	VHDL 与原理图层次型混合设计	149
6.1	自底向上混合设计	149

6.1.1	自底向上混合设计流程	149
6.1.2	1 位二进制全加器设计	150
6.1.3	简易时钟计数电路设计	155
6.2	自顶向下混合设计	158
6.2.1	自顶向下设计流程	158
6.2.2	十六进制计数译码显示电路设计	159
	思考题与习题	166
第 7 章	宏功能模块的应用	168
7.1	宏功能模块概述	168
7.2	存储器设计	169
7.2.1	ROM 设计	169
7.2.2	RAM 设计	176
7.2.3	FIFO 设计	177
7.3	乘法器设计	179
7.4	锁相环设计	181
7.5	正弦波信号发生器	185
7.6	IP 核简介	186
	思考题与习题	187
第 8 章	可编程逻辑器件基础及应用	188
8.1	可编程逻辑器件概述	188
8.1.1	逻辑电路符号的表示	188
8.1.2	可编程逻辑器件的分类	189
8.1.3	简单的 PLD 原理	190
8.2	CPLD 的结构与原理	193
8.2.1	CPLD 的结构	193
8.2.2	CPLD 的原理	194
8.3	FPGA 结构与原理	196
8.3.1	FPGA 的结构	196
8.3.2	FPGA 的原理	198
8.4	CPLD 与 FPGA 的比较	201
8.4.1	CPLD 与 FPGA 的区别	201
8.4.2	器件应用选择	202
8.5	CPLD 与 FPGA 的编程与配置技术	204
8.5.1	Altera 公司的下载电缆	204
8.5.2	Altera 器件的编程/配置模式	208
8.5.3	Altera 的配置器件	208
8.5.4	Altera 器件的编程/配置过程	215
8.6	FPGA 的电源	219

8.6.1	FPGA 的供电要求	219
8.6.2	FPGA 的电源设计	219
8.7	Altera 公司主流新器件简介	221
8.7.1	低成本低功耗 CPLD	221
8.7.2	低成本 FPGA——Cyclone II	222
8.7.3	高性能 FPGA——Stratix II	223
	思考题与习题	226
第 9 章	设计技巧与优化	227
9.1	组合逻辑电路设计技巧	227
9.1.1	组合逻辑电路的分析	227
9.1.2	组合逻辑电路的设计	228
9.2	同步时序逻辑电路设计技巧	230
9.2.1	同步时序逻辑电路特点及设计中的常见问题	230
9.2.2	同步逻辑电路设计基本原则	233
9.3	VHDL 的编码风格	233
9.3.1	VHDL 的编码风格	233
9.3.2	VHDL 编码中常用的基本规则	237
9.4	提高速度的方法	243
9.4.1	设置速度的约束	243
9.4.2	使用专用资源	244
9.4.3	关键路径分配	244
9.4.4	减少逻辑级数	245
9.4.5	分割组合逻辑	246
9.4.6	转移组合逻辑	246
9.5	资源优化设计	247
9.5.1	资源共享设计	247
9.5.2	逻辑优化设计	249
9.6	Quartus II 中的优化设置	250
9.6.1	Analysis & Synthesis 的优化设置	250
9.6.2	Fitter 优化设置	251
9.6.3	检查设计可靠性	251
	思考题与习题	252
第 10 章	数字电子系统综合设计实例	253
10.1	交通灯设计与实现	253
10.1.1	设计要求	253
10.1.2	交通灯系统组成	254
10.1.3	交通灯模块电路设计与仿真	255
10.1.4	交通灯控制器硬件电路	262

10.2	多功能信号发生器的设计与实现	264
10.2.1	信号产生原理分析	264
10.2.2	设计要求	264
10.2.3	系统组成	264
10.2.4	模块电路设计与仿真	265
10.2.5	硬件电路设计与实现	272
10.3	4 位十进制频率计设计与实现	272
10.3.1	设计任务及要求	272
10.3.2	频率计设计原理	273
10.3.3	频率计系统组成	273
10.3.4	频率计模块电路设计	274
10.3.5	频率计硬件电路设计与实现	281
	思考题与习题	282

第二部分 实 验

第 11 章	EDA 技术实验	286
11.1	验证型实验	286
	实验 1 简单逻辑电路的原理图设计	286
	实验 2 计数器的原理图设计	289
	实验 3 多路选择器与编码器的 VHDL 设计	291
	实验 4 计数器的 VHDL 设计	293
	实验 5 寄存器的 VHDL 设计	298
11.2	设计型实验	300
	实验 6 二进制全加器设计	300
	实验 7 十六进制计数器设计	301
	实验 8 计数译码显示电路设计	302
	实验 9 8 位数码动态扫描显示电路设计	304
	实验 10 简单状态机设计	305
11.3	综合设计型实验	306
	实验 11 4×4 键盘扫描电路设计	306
	实验 12 8×8 点阵显示电路设计	307
	实验 13 4 位十进制频率计设计	310
	实验 14 简易波形信号发生器设计	312
	实验 15 交通灯控制电路设计	313
附录 A	部分实验参考程序	315
A.1	实验 6 参考程序	315
A.2	实验 7 参考程序	317
A.3	实验 8 参考程序	319
A.4	实验 9 参考程序	320

A. 5	实验 10 参考程序	321
A. 6	实验 11 参考程序	323
A. 7	实验 12 参考程序	325
A. 8	实验 13 参考程序	327
A. 9	实验 14 参考程序	329
A. 10	实验 15 参考程序	329

第一部分

EDA 技术理论基础

第 1 章 EDA 技术概述

【学习目标】

通过本章的学习,了解 EDA 技术的发展过程及发展趋势、常用的 EDA 技术开发工具、EDA 技术的硬件基础;掌握 EDA 技术含义、EDA 技术的开发流程和传统设计方法与 EDA 设计方法的区别。

【教学建议】

教学学时: 理论教学 2 学时,最好使用多媒体课件教学,重点讲述 EDA 技术含义、EDA 技术的开发流程和传统设计方法与 EDA 设计方法的区别。

1.1 EDA 技术的含义

人类社会已进入到高度发达的信息化社会,信息社会的发展离不开电子产品的进步。现代电子产品在性能提高、复杂度增大的同时,价格却一直呈下降趋势,而且产品更新换代的速度也越来越快,实现这种进步的主要因素是生产制造技术和电子设计技术的发展,前者以微细加工技术为代表,目前已进展到深亚微米阶段,可以在几平方厘米的芯片上集成数千万个晶体管,后者的核心就是 EDA 技术。

1. 什么是 EDA 技术

EDA(Electronic Design Automation, 电子设计自动化)是指以计算机为工作平台,融合应用电子技术、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,主要能辅助进行以下几方面的工作: 电子电路设计、电子电路仿真、PCB 设计, CPLD/FPGA 设计, IC 设计等,根据 EDA 技术的范围,可将 EDA 技术分为广义的 EDA 技术和狭义的 EDA 技术。

2. EDA 技术的广义理解

EDA 技术广义理解实际上是 EDA 工程所涉及的范围,主要包括半导体工艺设计自动化、可编程器件设计自动化、电子系统设计自动化、印刷电路板设计自动化、电子电路仿真与测试、电子产品故障诊断自动化、形式验证自动化等方面的内容,也就是说,凡是利用计算机来辅助人们完成与电子技术相关的自动化设计技术都可以理解为 EDA 技术。

3. EDA 技术的狭义理解

EDA 技术是利用计算机来完成电子系统的设计,是指以计算机为工作平台,以 EDA 软件工具为开发环境,以硬件描述语言为设计语言,以可编程逻辑器件为载体,以 ASIC 和 SoC 为设计目标,自动完成用软件方式描述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、布局布线、逻辑仿真,直至完成对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作,以电子系统设计为应用方向的电子产品自动化设计过程。

1.2 EDA 技术的发展

回顾近 30 年电子设计技术的发展历程,可将 EDA 技术分为 3 个阶段。

1.2.1 计算机辅助设计阶段

20 世纪 70 年代为计算机辅助设计(CAD)阶段,人们开始用计算机辅助进行电路图设计、IC 版图编辑、PCB 布局布线等,取代了手工操作,产生了计算机辅助设计的概念。

1.2.2 计算机辅助工程阶段

20 世纪 80 年代为计算机辅助工程(CAE)阶段,与 CAD 相比,除了纯粹的图形绘制功能外,又增加了电路功能设计和结构设计,并且通过电气连接网络表将两者结合在一起,实现了工程设计,这就是计算机辅助工程的概念。CAE 的主要功能是:原理图输入,逻辑仿真,电路分析,自动布局布线,PCB 后分析。

1.2.3 电子系统设计自动化阶段

20 世纪 90 年代为电子系统设计自动化(ESDA)阶段,尽管 CAD/CAE 技术取得了巨大的成功,但并没有把人从繁重的设计工作中彻底解放出来。在整个设计过程中,自动化和智能化程度还不高,各种 EDA 软件界面千差万别,学习使用困难,并且互不兼容,直接影响到设计环节间的衔接。基于以上不足,人们开始追求:贯彻整个设计过程的自动化,这就是 ESDA 即电子系统设计自动化。

1.3 常用的 EDA 技术开发工具

随着 EDA 技术的不断发展,开发工具也层出不穷,目前进入我国并具有广泛影响的 EDA 开发工具有: Multisim、Pspice、OrCAD、PCAD、Protel、Viewlogic、Mentor、Graphics、Synopsys、LSIlogic、Cadence、MicroSim 等。这些工具都有较强的功能,一般可用于几个方面,例如很多软件都可以进行电路设计与仿真,同时也可以进行 PCB 自动布局布线,可输出多种网表文件与第三方软件接口。下面以 PLD 设计工具及其他 EDA 软件,进行简单介绍。

PLD(Programmable Logic Device)是一种由用户根据需要而自行构造逻辑功能的数字集成电路。目前主要有两大类型: CPLD(Complex PLD)和 FPGA(Field Programmable Gate Array)。它们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,最后用编程器或下载电缆,由目标器件实现。生产 PLD 的厂家很多,但最有代表性的 PLD 厂家为 Altera、Xilinx 和 Lattice 公司。

PLD 的开发工具一般由器件生产厂家提供,但随着器件规模的不断增加,软件的复杂性也随之提高,目前由专门的软件公司与器件生产厂家合作,推出功能强大的设计软件。下面介绍主要器件生产厂家和开发工具。