

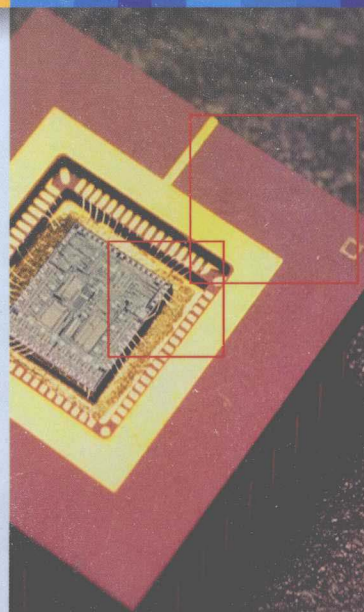


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

CPLD/FPGA与ASIC 设计实践教程 (第二版)

陈 赧 主 编

邹道胜 朱如琪 编 著



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

CPLD/FPGA 与 ASIC

设计实践教程

(第二版)

陈 贇 主编

邹道胜 朱如琪 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以大规模可编程逻辑器件为基础,详细介绍了 PLD、CPLD/FPGA 器件的原理和开发技术。第 1~3 章介绍 EDA 技术和可编程逻辑器件的原理, CPLD/FPGA 器件的性能指标与选型、编程方法和下载电路,以及常用 EDA 设计软件的使用。第 4~6 章先详细介绍 Verilog HDL 语言,然后按照数字电路与逻辑设计课程的顺序,通过实例说明常用数字逻辑电路的实现方法,并讨论利用 Verilog HDL 设计可综合的数字电路的方法与技巧。第 7、8 章是设计实验部分,包括经典数字电路设计练习和综合性设计项目。第 9 章介绍嵌入式系统的发展趋势、SoPC 设计技术及其应用等。

本书可作为高等院校电子电气类、机电类专业数字系统设计课程的教材,也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CPLD/FPGA 与 ASIC 设计实践教程 / 陈曠主编; 邹道胜, 朱如琪编著.
—2 版. —北京: 科学出版社, 2010.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-03-028830-1

I. ①C… II. ①陈…②邹…③朱… III. ①可编程序逻辑器件-控制系统-系统设计-高等学校-教材②集成电路-电路设计-高等学校-教材
IV. ①TP332.1②TN402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 169662 号

责任编辑: 张 濮 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 9 月第 二 版 印张: 18 1/2

2010 年 9 月第六次印刷 字数: 430 000

印数: 1—3 500

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材》

编 委 会

顾 问：姚建铨 中国科学院院士 天津大学
 蔡惟铮 国家级教学名师 哈尔滨工业大学

主 任：吕志伟 教授 哈尔滨工业大学

副主任：金亚秋 教授 复旦大学
 郝 跃 教授 西安电子科技大学
 严晓浪 教授 浙江大学
 胡华强 编审 科学出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

王卫东	教授	中国科学技术大学	张 兴	教授	北京大学
王志华	教授	清华大学	张怀武	教授	电子科技大学
毛军发	教授	上海交通大学	张贵忠	教授	天津大学
文玉梅	教授	重庆大学	张雪英	教授	太原理工大学
匡 敏	副编审	科学出版社	陈弟虎	教授	中山大学
仲顺安	教授	北京理工大学	陈徐宗	教授	北京大学
任晓敏	教授	北京邮电大学	陈鹤鸣	教授	南京邮电大学
刘纯亮	教授	西安交通大学	欧阳征标	教授	深圳大学
杨冬晓	教授	浙江大学	都思丹	教授	南京大学
杨瑞霞	教授	河北工业大学	高 勇	教授	西安理工大学
时龙兴	教授	东南大学	郭树旭	教授	吉林大学
何伟明	教授	哈尔滨工业大学	黄卡玛	教授	四川大学
余 江	教授	云南大学	崔一平	教授	东南大学
邸 旭	教授	长春理工大学	逯贵祯	教授	中国传媒大学
邹雪城	教授	华中科技大学	曾 云	教授	湖南大学
应质峰	教授	复旦大学	谢 泉	教授	贵州大学
宋 梅	教授	北京邮电大学	蔡 敏	教授	华南理工大学

材料、能源和信息是 21 世纪的三大支柱产业，电子科学与技术是电子工程和电子信息发展的基础学科。目前，许多发达国家，如美国、德国、日本、英国、法国等，都竞相将电子科学与技术相关领域纳入了国家发展计划。我国对微电子技术和光电子技术等方向的研究也给予了高度重视，在多项国家级战略性科技计划中，如“863 计划”、“973 计划”、国家科技攻关计划、国家重大科技专项等，都有大量立项。在近几年发布的国务院《2006—2020 年国家信息化发展战略》、《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中，对我国的集成电路（特别是中央处理器芯片）、新一代信息功能材料及器件、高清晰度大屏幕平板显示、激光技术等关键领域都提出了明确目标。

电子科学与技术主要研究制造电子、光电子的各种材料及元器件，以及集成电路、集成电子系统和光电子系统，并研究开发相应的设计和制造技术。它涵盖的学科范围很广，是多学科交叉的综合性学科。现在，教育部本科专业目录中，电子科学与技术专业涵盖了微电子技术、光电子技术、物理电子技术、电子材料与元器件及电磁场与微波等专业方向。随着学科的交叉发展和产业的整合，各专业方向已彼此渗透交融。如何拓宽专业方向？如何体现专业特色？是当前我国高校电子科学与技术专业在办学方面所迫切需要探讨的问题。教育部电子科学与技术专业教学指导分委员会起草的《普通高等学校电子科学与技术本科指导性专业规范》，对本专业的核心知识领域和知识单元的覆盖范围作了规定，旨在引导高等学校电子科学与技术专业在办学方向与人才培养方面探索新的模式，不断提高教学质量，增强高校教学的创新能力，更好地培养知识、能力、素质全面协调发展的，适合我国电子科学与技术各领域不同层次发展需求的有用人才。

教育部为了推进“质量工程”，自 2007 年 10 月开始，先后第三批遴选了国家级特色专业建设点。目前，有三十余个院系被批准为电子科学与技术国家级特色专业建设点。在教材建设方面，2008 年 10 月，教育部高教司在《关于加强“质量工程”本科特色专业建设的指导性意见》中指示：“教材建设要反映教学内容改革的成果，积极推进教材、教学参考资料和教学课件三位一体的立体化教材建设，选用高质量教材，编写新教材。”为了适应新形势下对电子科学与技术领域人才培养的需求，本届电子科学与技术教学指导分委员会经过广泛深入调研，依托电子科学与技术专业国家级、省级特色专业建设点，与科学出版社共同组织出版本套《普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材》，旨在贯彻专业规范和教学基本要求，总结和推广各特色专业建设点的教学经验和教学成果，以提高我国电子科学与技术专业本科教学的整体水平。

本套丛书在组织编写中，重点考虑了以下几方面的特色：

1. 体现专业特色，贯彻专业规范和教学基本要求。依托“国家级、省级特色专业建设点”，汇总优秀教学成果，将特色专业建设的内容、国内外科研教学的成果、电子科学与技术方向的专业规范与教学基本要求结合起来，教材内容安排围绕专业规范，体现核心知识单元与知识点。

2. 按照分类指导原则，满足多层面的需求。针对同一类课程，根据不同的教学层次（普

通院校、重点院校或研究型大学、应用型大学)和学时要求(多学时、少学时),涵盖不同范围的拓展知识单元,编写适合不同层次需求的教材。注重与先修课程、后续课程的有机衔接,每本教材在重视系统性和完整性的基础上,尽量减少内容重复。

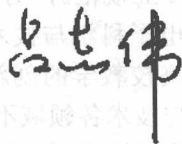
3. 传承精品,吐故纳新。本套丛书吸纳了科学出版社 2004 年出版的《高等院校电子科学与技术专业系列教材》中受到高校师生欢迎的精品教材。在保证前一版教材准确诠释基本概念、基本理论的基础上,新版教材更新内容,注重反映本学科领域的最新成果和发展方向,真正使教材能够达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”人才的目的。

4. 拓宽专业基础,面向工程应用,加强实践环节。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向工程应用,突出工科特色,反映新技术、新工艺;注重实践环节的设置,以促进学生的实际动手能力和创新能力的培养。

5. 注重立体化建设。本套丛书除了主教材外,还将逐步配套学习辅导书、教师参考书和多媒体课件等,为任课教师提供丰富的配套教学资源,方便教师教学,同时帮助学生复习与自学,使教材更加易教易学。

本套丛书的编写汇聚了全国高校的优势资源,突出了多层次与适应性、综合性与多样性、前沿性与先进性、理论与实践的结合。在教材的组织和出版过程中得到了相关高校教务处及学院的帮助,在此表示衷心的感谢。

根据电子科学与技术专业发展战略的要求,我们将对本套丛书不断更新,以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子科学与技术领域教育及发展前景的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议!



教育部高等学校电子科学与技术专业
教学指导分委员会主任
哈尔滨工业大学教授

第二版前言

随着大规模集成电路的发展,现代电子设计的方法与技术也在不断发生变化。目前,比较有效的电子设计方法是板卡设计、可编程逻辑设计和软件开发融合在一起。在未来,利用 FPGA 将处理器、存储器融合于一体,在板卡设计中融合可编程逻辑的设计将成为趋势。这样,电子产品设计将演变为可编程逻辑设计和嵌入式软件设计,电子设计将更体现为一种“软”设计,一种通过开发语言和开发工具实现的设计,从而实现硬件设计软件化的设计思想。

以 VHDL 或者 Verilog 语言来表达设计意图,以 FPGA 为硬件载体,以计算机为设计开发工具,以 EDA 软件为开发环境,以 SoC、IP 等为综合设计的方法,已经成为硬件设计工程的主要特征。因此,在修订本书时,结合在使用第一版过程中积累的经验,在设计方法上更注重思考,将上述硬件设计软件化的设计思想尽量贯穿在本书的编写之中。

随着现代 EDA 技术的发展和新技术的不断应用,与原来的大规模可编程逻辑器件的应用相比,CPLD/FPGA 的应用范围已远超出了数字逻辑器件的应用范围。因此,它的教学也应该分为几个层次:第一层次是基础,就是根据目前高等院校电子信息与电气学科各专业的数字电路基础课程(如“脉冲与数字电路”、“数字电子技术基础”等)的教学要求,利用 CPLD/FPGA 器件完成数字逻辑电路的设计;第二层次是利用 CPLD/FPGA 器件设计小型数字系统;第三层次是利用 VHDL 或 Verilog 语言设计常用的嵌入式系统的接口电路及专用模块电路;第四层次是基于 FPGA 的 SoPC 嵌入式系统设计。

基于 FPGA 的 SoPC(片上可编程系统)设计是 FPGA 应用的最高层次,也是未来应用的发展方向。SoC(片上系统)是当前 IC 设计发展的主流,它将信息处理的算法、逻辑电路的结构、各个层次的电路以器件的方式集成在一块芯片上,从而具备整机的功能。

本书对应课程的先修课程是“脉冲与数字电路”等基础课,后续课程是“数字信号处理”、“集成电路设计”等专业课。在“数字信号处理”应用方面,由 FPGA 代替 DSP 来实现算法,提高系统的速度;在嵌入式系统设计方面,基于 FPGA 的 SoPC 嵌入式系统设计可以开拓视野,为今后从事嵌入式系统的设计打下基础。本书面向实际工程应用,紧跟技术发展,力求帮助学生掌握数字系统设计的新方法,用现代 EDA 技术解决传统的数字系统设计问题,起到承上启下的作用。

自科学出版社于 2005 年 8 月出版《CPLD/FPGA 与 ASIC 设计实践教程》以来,该书已被许多兄弟院校选为教材,并且第二版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在近五年的使用过程中,教师和读者给我们提出了许多宝贵意见。感谢武汉理工大学王虹老师及其他所有使用过作者第一版教材的教师和读者,是你们的支持与关爱让本书不断完善,也激励作者努力前行。

本书第二版经华中科技大学教材编审委员会审定,作为 2007 年度学校立项出版教材,并获学校“教学改革工程”教材建设基金资助,在此对学校给予的支持表示衷心的感谢!在本书出版之际,感谢华中科技大学国家电工电子教学基地与工程实训中心老师们的支持和帮助,尤其要感谢工程实训中心汪春华主任,是他给予了作者无微不至的关怀!

本书由华中科技大学工程实训中心陈曠主编, 参加编写的还有华中科技大学电子与信息工程系朱如琪、南昌大学邹道胜等。吴旭辉、宋珂、刘云、钟小磊、邹建红、石英杰、杨文、曹才、倪振、张建强等同学为本书的出版做了许多工作, 在此对他们的辛勤工作表示感谢! 本书还参考了许多同行专家的专著和文章, 在此也表示深深的谢意!

由于作者水平有限, 本书难免存在疏漏之处, 恳请广大读者谅解和指正!

作者

2010年5月于华工园

本书配有相关教辅资料, 任课教师可联系 gk@mail.sciencep.com 索取。

如需要相关实验资料可联系作者, 联系方式为 clshust@163.com。

第一版前言



2001年5月,科学出版社出版了作者的第一本关于CPLD/FPGA的教材《在系统可编程技术实践教程》,在近五年的使用过程中,兄弟院校的老师给我们提了许多宝贵意见,我们在使用该教材的过程中也积累了许多经验,尤其是现代EDA技术的发展,新的技术和知识发展迅速。为了保持教材的先进性,把这几年教学中反映现代EDA技术的最新成果融到教材中去,2003年春季,作者将该教材的第二版申报了华中科技大学“新世纪教学改革工程”第三批立项教材,并获批准。原选题书稿《在系统可编程技术实践教程》现改为《CPLD/FPGA与ASIC设计实践教程》,主要原因基于以下两点:①近几年大规模可编程逻辑器件和设计技术发展较快,书稿中充实了许多新的内容,改名是为了使书稿的名字尽量反映书稿内容;②现在许多学校开设了大规模可编程逻辑器件的设计课程,为了尽量与学校设置的该方面的课程名字一致。

现代EDA技术,与原来的大规模可编程逻辑器件的应用相比较,它的应用范围已远远超出了数字逻辑器件的应用范围。但是,目前高校工科各电类专业的电工电子类学生的数字电路的基础课程是“脉冲与数字电路”或“数字电子技术基础”,主要还是以此为基础,学习数字电路的基本设计方法。

《CPLD/FPGA与ASIC设计实践教程》的对应课程面向实际工程应用,紧跟技术发展,要求学生掌握数字系统新的设计方法。所以,它是“脉冲与数字电路”的后续课,用现代EDA技术解决传统的数字问题。该课程的后续课程是“数字信号处理”与“IC设计”等相关课程。在“数字信号处理”应用方面,由FPGA代替DSP来实现算法,能够提高系统的速度。

该课程的开设也为IC设计打下基础。中国IC设计业目前还十分弱小,但有巨大发展潜力。信息产业部制定的“十五”产业规划中,提出IC产业要以芯片设计为突破口。

SOC是当前IC设计发展的主流,开发和应用SOC也是当前IT产业发展的需要。国家重点支持的产品包括:①CPU产品——微处理器、微控制器、DSP;②移动芯片——基站芯片、射频芯片、军用电路及其支持产品;③数字音视频电路——数字VCD、DVD、DTV、HDTV、数码相机、PDA等支持产品;④IC卡芯片——电话卡、身份卡、金融卡等;⑤量大、面广的适销对路产品——CMOS运放、存储卡等。IT行业的核心是IC,IC知识产权的核心是设计,因此,加强IC设计业的技术创新已成为头等重要的任务。

本书由华中科技大学电子与信息工程系陈贻主编。参加编写的还有华中科技大学电子与信息工程系朱如琪、罗杰、鲁放和湖南商学院王建明等老师。本书经华中科技大学教材编审委员会审定,作为2003年度学校立项出版教材,并获学校“教学改革工程”教材建设基金资助,在此表示衷心感谢!

在本书出版之际,感谢华中科技大学国家电工电子教学基地老师们的支持和帮助;感谢南昌大学邹道胜老师、武汉理工大学王洪老师及其他所有使用过作者第一版教材的老师和读者;吴旭辉、宋珂、刘云等同学为本书的出版做了许多工作,在此表示感谢;本书还参考了许多同行专家的专著和文章,在此也表示深深的谢意!

本书难免有不成熟乃至错误的地方,恳请读者谅解和指正!

作者

2005年8月于武汉华工园

目 录

丛书序

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 电子器件的发展	1
1.1.2 电子设计技术的发展	2
1.2 EDA 技术的发展史	2
1.2.1 EDA 概念	2
1.2.2 EDA 技术的发展	3
1.3 CPLD/FPGA 的发展史	4
1.3.1 数字集成电路的分类	4
1.3.2 可编程逻辑器件的发展史	5
1.4 常用 EDA 设计工具介绍	6
1.4.1 电子电路设计与仿真工具	6
1.4.2 PCB 设计软件	7
1.4.3 IC 设计软件	7
1.4.4 CPLD/FPGA 应用设计工具	8
1.5 数字系统的设计方法	13
1.5.1 数字电路设计的基本方法	13
1.5.2 现代数字系统的设计方法	14
1.5.3 CPLD/FPGA 应用设计流程	15
1.5.4 基于 Quartus II 的设计流程	17
1.5.5 基于 ISE 的设计流程	18
思考与练习题	20
第 2 章 可编程逻辑器件基础	22
2.1 引言	22
2.2 PLD 器件及其分类	23
2.2.1 PLD 器件	23
2.2.2 PLD 的分类	24
2.3 可编程逻辑器件结构简介	24
2.3.1 标准门单元、电路示意和 PAL 等效图	24
2.3.2 PLD 的逻辑表示方法	24
2.3.3 PLD 的基本结构	25
2.4 CPLD/FPGA 的结构和原理	30
2.4.1 EPLD 和 CPLD 的基本结构	30

2.4.2	FPGA 的基本结构	36
2.5	CPLD/FPGA 器件的编程	41
2.5.1	Altera 公司的 EPLD/CPLD 器件及其配置与编程	41
2.5.2	Lattice 公司的 ISP-CPLD 器件及其编程	47
2.5.3	Xilinx 公司的 CPLD/FPGA 器件及其编程	48
2.5.4	CPLD/FPGA 通用下载电路设计	50
2.6	边界扫描测试技术	53
	思考与练习题	55
第 3 章	EDA 工具应用设计实践	56
3.1	Quartus II 简介	56
3.2	Quartus II 的使用方法	57
3.2.1	原理图输入法	57
3.2.2	HDL 输入法	70
	思考与练习题	73
第 4 章	数字系统与 Verilog HDL 描述	74
4.1	Verilog HDL 的一般结构	74
4.1.1	电子系统、电路和模块	74
4.1.2	Verilog HDL 模块的结构	75
4.1.3	Verilog HDL 模块的描述方式	77
4.2	数字电路的 Verilog HDL 模型与设计	85
4.2.1	交通灯监视电路设计	85
4.2.2	四位二进制数/8421BCD 码	86
4.2.3	函数发生器设计	87
4.2.4	四选一数据选择器	90
4.2.5	三进制计数器设计	92
4.2.6	移位寄存器设计	94
4.2.7	伪随机序列信号发生器设计	95
	思考与练习题	97
第 5 章	Verilog HDL 语言基础	99
5.1	为什么要用 Verilog HDL	99
5.1.1	概述	99
5.1.2	Verilog HDL 和 VHDL 比较	99
5.1.3	Verilog HDL 语言的主要功能	102
5.1.4	传统数字电路设计方法的回顾	102
5.2	Verilog HDL 基础语法	104
5.2.1	Verilog HDL 的词法	104
5.2.2	Verilog HDL 的数据类型	106
5.2.3	Verilog HDL 运算符及表达式	110
5.2.4	系统任务与系统函数	116

5.2.5	Verilog HDL 的仿真	120
5.3	Verilog HDL 行为描述	124
5.3.1	行为描述的结构	124
5.3.2	语句块	127
5.3.3	控制语句	129
5.3.4	赋值语句	135
5.3.5	任务与函数结构	140
5.3.6	时序控制	143
5.3.7	用户定义的原语	144
	思考与练习题	147
第 6 章	Verilog HDL 设计进阶	149
6.1	Verilog HDL 编程风格	149
6.2	组合逻辑电路设计	151
6.2.1	基本的门电路	151
6.2.2	数据比较器	153
6.2.3	数据选择器	153
6.2.4	编码器和译码器设计	154
6.3	时序逻辑电路设计	155
6.3.1	触发器设计	156
6.3.2	数据锁存器设计	157
6.3.3	数据寄存器设计	157
6.3.4	移位寄存器设计	158
6.3.5	计数器设计	158
6.4	状态机设计	160
6.4.1	状态机的结构	160
6.4.2	利用 Verilog HDL 设计状态机	160
6.5	设计方法与技巧	164
6.5.1	逻辑综合	164
6.5.2	综合工具的性能	165
6.5.3	综合的一般原则	165
6.5.4	HDL 编码指导	167
6.5.5	如何消除毛刺	168
6.5.6	阻塞赋值与非阻塞赋值的区别	169
6.5.7	代码对综合的影响	172
6.5.8	用 always 块实现较复杂的组合逻辑电路	175
6.5.9	Verilog HDL 中函数的使用	176
6.5.10	Verilog HDL 中任务的使用	176
	思考与练习题	177
第 7 章	综合设计实例	180
7.1	篮球 30 秒可控计时器	180

7.2	汽车尾灯控制电路	183
7.3	交通控制灯逻辑电路	186
7.4	简易电子钟	189
7.5	环行计数器与扭环行计数器	192
7.6	洗衣机控制电路	194
7.7	八位可逆计数器和三角波发生器	200
7.8	简易数字频率计	202
	思考与练习题	208
第 8 章	设计实验项目	212
8.1	可逆四位码变换器	212
8.2	可逆计数器	213
8.3	步进电机脉冲分配器电路	213
8.4	伪随机信号产生器	214
8.5	舞台彩灯控制电路	215
8.6	数字跑表电路	216
8.7	电子密码锁	219
8.8	数字式竞赛抢答器	224
8.9	脉冲按键电话显示器	227
8.10	出租车自动计费器设计	231
8.11	电话计费器	235
8.12	多功能数字钟设计	240
第 9 章	SoPC 设计	244
9.1	SoPC 概述	244
9.2	SoPC 设计	245
9.2.1	FPGA 的主要应用	245
9.2.2	SoPC 设计技术	246
9.2.3	SoPC 应用设计	249
9.3	SoPC 设计实例	253
9.3.1	设计项目	253
9.3.2	设计任务	253
9.3.3	总体设计	253
9.3.4	概要设计	254
9.3.5	详细设计	256
9.3.6	下载测试	263
9.3.7	设计实现	263
9.3.8	部分程序源代码	267
附录 A	Verilog HDL 关键字	275
附录 B	MY-FPGA-EP1C3 开发板介绍	276
	参考文献	280

第 1 章 绪 论

主要内容

本章概要介绍电子技术的发展史、EDA 技术和可编程逻辑器件的一些基本概念及其发展史、常用 EDA 设计工具、数字电路的传统设计方法、现代数字系统的设计方法及基于 CPLD/FPGA 器件应用的设计流程。

教学目标

本课程是“数字电路与逻辑设计”的后续课程。它分理论教学和上机实验两部分,总学时数为 40~50 学时,理论教学为 28~32 学时,目的是让学生了解当前数字集成电路及其设计方法的发展现状,熟悉大规模可编程专用集成电路 CPLD/FPGA 的内部结构,掌握一种硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL),并具备使用 HDL 进行数字电路或数字系统设计的能力。上机实验学时为 18~22 学时,目的是让学生熟悉可编程专用集成电路的设计、开发流程,熟练掌握一种 EDA 设计工具,提高学生应用计算机技术进行数字电路与数字系统设计与辅助分析的能力。通过理论和实验教学,学生能够在经典的数字逻辑设计方法的基础上,了解和初步掌握利用大规模可编程逻辑器件设计数字逻辑电路或小型数字系统的方法及其相应的开发手段,为进一步的学习和研究打下基础。

教学建议

本章教学总学时数建议为 2~3 学时:

- 电子器件与电子技术的发展史为 0.5 学时;
- EDA 技术的发展史和 CPLD/FPGA 的发展史为 1 学时;
- 数字系统的设计方法和 CPLD/FPGA 设计工具为 1~1.5 学时。

要求了解电子器件与电子技术的发展史、EDA 技术的发展史和可编程逻辑器件的发展史,掌握数字集成电路的分类和 EDA 技术的相关概念,了解数字电路的传统设计方法、现代数字系统的设计方法及两种设计方法的区别,了解一些常用的 EDA 设计工具及其用途,熟悉基于 CPLD/FPGA 器件应用的设计流程。

1.1 概 述

1.1.1 电子器件的发展

电子技术是 20 世纪发展最迅速、应用最广泛的新兴技术之一,它已经成为近代科学技术发展的一个重要标志。现代电子技术在国防、科学、工业、医学、通信及文化生活等各个领域中都起着巨大作用,所以现代电子设计技术是一个未来电子设计工程师必须掌握的技术。

从 19 世纪末电子技术诞生开始,随着电子器件、设计技术及制造工艺的不断发展,电子产品及电子系统的开发流程和设计方法也在不断发生变化。

从电子管诞生之日起,电子器件经历了电子管时代(1905~1948 年)、晶体管时代(1948~

1959 年)、中小规模集成电路和超大规模集成电路时代(1958 年至今)。电子管时代是现代电子技术发展的基石,电子管是第一代电子产品的核心;晶体管时代半导体三极管以小巧、轻便、省电、寿命长等特点,很快得到了广泛应用,在很大范围内取代了电子管。自 1958 年第一块集成元件问世以来,集成电路已经跨越了小、中、大、特大、超特大规模等几个台阶,集成度平均每 2 年提高近 3 倍。随着集成度的提高,器件尺寸不断减小,从而使电子产品向着高效能、低消耗、高精度、高稳定度、智能化的方向发展。

1.1.2 电子设计技术的发展

在电子器件的不同阶段,设计技术也在不断发生变化。在电子管、晶体管、中小规模集成电路这三个阶段,设计技术方面变化较少,人们利用这些器件在设计产品时,尽管使用的工具与方法有些不同,但其思路基本一样:首先根据功能电路设计原理图,然后再设计印刷电路板,最后安装元器件并进行调试实现所需要的功能。

电子管时代,设计工程师要掌握电子管的性能和设计要点;晶体管时代,设计工程师要熟悉电路的作用、搭建及调试方法;集成电路诞生以后,设计工程师要熟悉 IC 引脚的作用和功能。在设计工具方面,从最早的草稿图逐步发展到软件辅助设计。但是随着大规模可编程逻辑器件 CPLD/FPGA 等的诞生,尤其是基于 FPGA 的超大规模器件的迅速发展,传统的一些设计方法已很难适应现代复杂的电路设计,因此电子设计思路也正在发生变化,很多原先由分立器件完成的功能现在都可移到可编程领域,而且各种不同的设计流程交汇到一起,未来的设计工程师不但要设计硬件电路,更要熟悉硬件描述语言等 IC 设计语言。此外,还要熟悉接口、数字信号处理、算法、EDA 设计方法学等,电子工程师要学习的知识日益增多。

目前,电子设计比较有效的方法是:将板卡设计、可编程逻辑设计和软件开发融合在一起。在未来,随着 EDA 技术的发展,尤其是 FPGA 的广泛应用,利用 FPGA 将处理器、存储器融于一体,在板卡设计中融合可编程逻辑的设计将成为趋势。电子产品设计将演变为可编程逻辑设计和嵌入式软件设计,电子设计将更体现一种“软”设计,一种通过开发语言和开发工具实现的设计,实现硬件设计软件化的设计思想。这种设计方法使设计者有可能将所有系统核心功能都转移到“软”设计中,并利用这种设计的优势。一个好的工具所设计的“软”设计不依赖于事先指定的硬件平台,而且设计可以在最终硬件平台内继续进行,即使产品已经移交客户也仍然可以进行,这种“软”设计将成为电子设计的发展方向,而大规模可编程逻辑器件 FPGA 则是实现“软”设计的保障和载体。

以 VHDL 或者 Verilog 语言来表达设计意图、以 FPGA 作为硬件载体、以计算机为设计开发工具,以 EDA 软件为开发环境、以 SoC、IP 等为综合设计的方法,已经成为硬件设计工程的主要特征。

1.2 EDA 技术的发展史

1.2.1 EDA 概念

EDA 是电子设计自动化(Electronic Design Automation)的缩写,是在 20 世纪 90 年代初,从 CAD(计算机辅助设计)、CAM(计算机辅助制造)、CAT(计算机辅助测试)和 CAE(计算机辅助工程)的概念发展起来的。

EDA 技术就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,在先进的计算机上开发出来的一整套电子系统设计的软件工具。

EDA 技术包括电子电路设计的各个领域,即从低频电路到高频电路、从线性电路到非线性电路、从模拟电路到数字电路、从分立电路到集成电路的全部设计过程,涉及电子工程师进行产品开发的全过程,以及电子产品生产的全过程中期望由计算机提供的各种辅助工作。

在利用大规模可编程逻辑设计数字系统的应用过程中,具体地讲 EDA 技术就是以计算机为工具,在 EDA 软件平台上,利用硬件描述语言描述设计系统,然后由 EDA 工具完成逻辑编译、逻辑分割、逻辑综合及优化、逻辑布线、逻辑仿真、适配编译、逻辑映射和下载等一系列工作。目前,EDA 主要辅助进行三方面的设计工作,即 IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计。

1.2.2 EDA技术的发展

EDA 技术已有 30 年的发展历程,大致可分为三个阶段。

20 世纪 70 年代,出现 CAD (计算机辅助设计) 工具。人们开始用计算机辅助进行 PCB 布线设计、电路模拟、逻辑模拟及 IC 版图的绘制等,主要解决绘图和计算问题,但不能提供系统级的仿真与综合。例如,用于 PCB 布线的 TANGO、用于电路仿真的 PSPICE 软件。

20 世纪 80 年代,由于集成电路与电子系统设计方法学及设计工具集成化方面取得了许多成果,出现了 CAE 系统。与 CAD 相比,CAE 除了有纯粹的图形绘制功能外,还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。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 后期分析。CAE 系统可以实现由 RT 级开始,从设计输入到版图输出的全程设计自动化,主要采用基于单元库的半定制设计方法。采用门阵列和标准单元法设计的各种专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 得到了极大发展,将集成电路工业推入了 ASIC 时代。

20 世纪 90 年代以来,由于微电子技术的迅猛发展,出现了以高级语言描述、系统仿真和综合技术为特征的第三代 EDA 技术。EDA 代表了当今电子设计技术的最新发展方向,设计人员按照“自顶向下”(top-down)的设计方法,对整个系统进行方案设计和功能划分,系统的关键电路用一片或几片专用集成电路 (ASIC) 实现,然后采用硬件描述语言 (HDL) 完成系统行为级设计,最后通过综合器和适配器生成最终的目标器件,这样的设计方法被称为高层次的电子设计方法。这个阶段 EDA 技术的主要特征有:

- (1) 高层综合的理论与方法取得进展,将 RT 级提高到了系统级 (又称行为级);
- (2) 采用硬件描述语言描述电子系统的设计,如 ABEL-HDL、VHDL 和 Verilog HDL;
- (3) 用平面规划 (floorplanning) 技术对逻辑综合和物理版图进行联合管理;
- (4) 可测试性综合设计;
- (5) 为带有嵌入 μP 核的 ASIC 设计提供软、硬协同设计工具;
- (6) 建立并行工程 (Concurrent Engineering, CE) 框架结构的集成化设计环境,以适应当今 ASIC 的设计。

并行工程是一种系统化、集成化、并行化的产品及相关过程的开发模式 (相关过程主要指制造和维护)。这一模式使开发者从一开始就要考虑到产品生存周期的质量、成本、开发时间及用户的需求等诸多方面的因素。

在 Internet 迅速普及的今天, 电子设计工程师可以利用 Internet, 在网上下载 EDA 设计工具和 IP 核, 使 ASIC 的设计变得迅速、经济和高效。因此, 随着 EDA 技术的日益普及, 它必将成为每一个电子工程师的主要设计工具。

1.3 CPLD/FPGA 的发展史

1.3.1 数字集成电路的分类

逻辑器件是用来实现某种特定逻辑功能的电子器件, 最简单的逻辑器件是与、或、非门, 在此基础上可实现复杂的时序和组合逻辑功能。随着电子技术的发展, 电路集成度不断提高, 数字集成电路也从 SSI、MSI、LSI 向 VLSI 方向发展。数字集成电路的分类如图 1.3.1 所示。

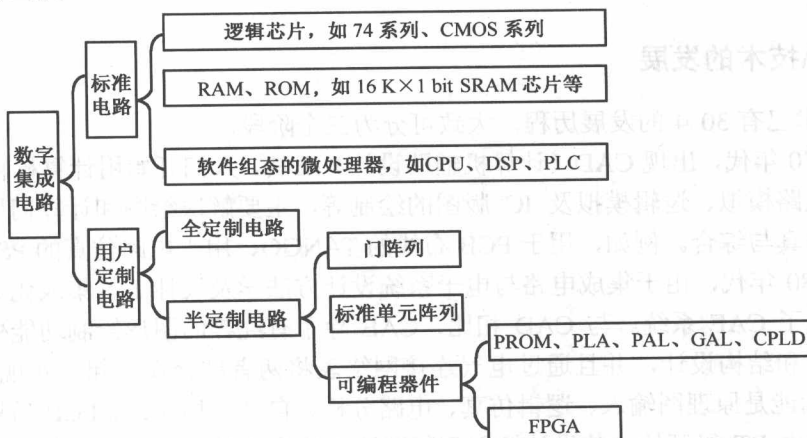


图 1.3.1 数字集成电路的分类

专用集成电路 (ASIC) 是指专门为某一应用领域或专门用户需要而设计、制造的集成电路。它可以将某些专业电路或电子系统设计在一个芯片上, 构成单片集成系统, 即片上系统 (System on Chip, SoC)。

片上系统就是将整个系统集成到单一半导体芯片上。更确切地说, 片上系统是指综合数字和模拟技术, 并将 I/O、各种转换器件、存储器和 MPU 集成在同一封装内, 能够高效实现特定功能的 IC。片上系统将具备微处理器、存储器和一整套专用功能, 甚至电源和电源驱动电路也将集成在同一模块中。专家认为, IC 发展的大趋势是高速、高集成度和低功耗的系统。集成片上系统的优点有: 实现高速运作, 缩短产品的上市时间, 降低功耗和减少所占的 PCB 空间, 提高系统的可靠性, 使电子系统的尺寸更小、性能更高和成本更低, 同时整个系统的抗干扰特性与可靠度将提高。

进入 20 世纪 80 年代后, 半导体集成电路的工艺技术、支持技术、设计技术及测试评价技术的规范化水平和集成度不断提高, 电子整机、电子系统高速更新换代的竞争态势不断加强, 为开发周期短、成本低、功能强、可靠性高及专利性与保密性好的专用集成电路创造了必要而充分的发展条件, 并很快形成了用专用集成电路取代中小规模集成电路组成电子整机或系统的技术进步热潮。

ASIC 作为集成电路 (IC) 技术与特定用户的整机或系统紧密结合的产物, 与通用集成电路相比, 在构成电子系统时具有以下几方面的优越性: