



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材

逻辑与数字系统设计

李晶皎 李景宏 曹 阳 编著

清华大学出版社





普通高等教育“十一—

TP331.2/24

2008



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材

逻辑与数字系统设计

李晶皎 李景宏 曹 阳 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书围绕数字系统设计,全面介绍了数字电路的基本概念和基本原理。在介绍传统分析、设计方法的同时,详细地介绍了在数字电路设计中普遍使用的硬件描述语言 VHDL,并给出大量典型或实用的例题。本书内容主要包括:数字逻辑基础、逻辑门电路、硬件描述语言 VHDL 基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、数字系统设计等。

本书可作为计算机类、电子类、自动化类等有关专业的本科生教材或教学参考书,也可供有关专业的工程技术人员参考。

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

逻辑与数字系统设计/李晶皎,李景宏,曹阳编著. —北京:清华大学出版社,2008.5
(电子信息学科基础课程系列教材)

ISBN 978-7-302-16852-2

I. 逻… II. ①李… ②李… ③曹… III. ①数字逻辑—高等学校—教材
②数字系统—系统设计—高等学校—教材 IV. TP302.2 TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006817 号

责任编辑:王敏稚

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

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 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:22.5 字 数:471 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版 印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:023848-01

《电子信息学科基础课程系列教材》

丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导

委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

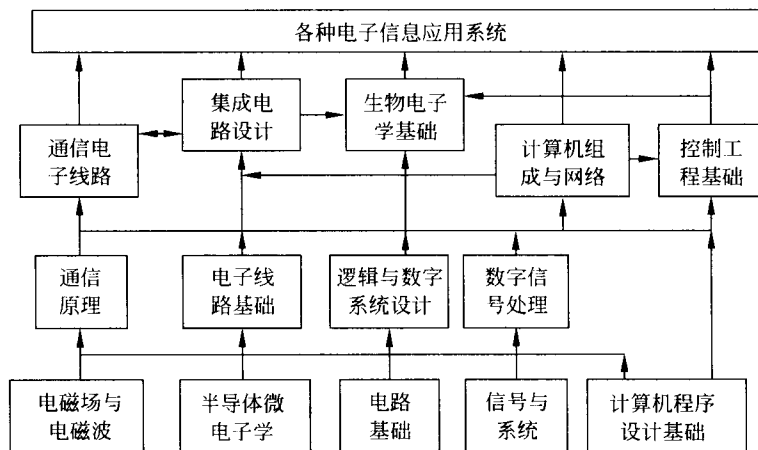
在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 信息工程
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材“电子信息学科基础课程系列教材”中的一本,该系列教材的目标是通过立体化的出版形式,最终形成电子信息基础课程教学的一个全面解决方案。

在“电子信息学科基础课程系列教材”中,首先讲授“电路基础”和“半导体微电子学”,然后开设“逻辑与数字系统设计”课程。因此,教材之间有很好的前后衔接,避免重复,系统性强,教材重点突出,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。

“逻辑与数字系统设计”是一门重要的专业基础课,并且具有很强的实践性。本教材包括《逻辑与数字系统设计》(主教材)、《逻辑与数字系统设计学习指导及题解》(辅助教材)和《逻辑与数字系统设计实验与课程设计》(辅助教材)。它们互相配合,协调完成“逻辑与数字系统设计”课程的教学任务。

《逻辑与数字系统设计》(主教材)力求在讲清基本概念、基本原理的基础上,突出分析方法和设计方法。《逻辑与数字系统设计学习指导及题解》(辅助教材)主要内容是主教材各章节的学习要点、典型例题和习题解答。《逻辑与数字系统设计实验与课程设计》(辅助教材)主要内容是基础性实验、综合性实验、课程设计以及实验系统的介绍。

考虑到电子技术的快速发展,将硬件描述语言 VHDL 贯穿在全教材的各个章节中,并给出了大量实例。

本书采用了国际上流行的图形逻辑符号和特定外形符号。采用国外教材、技术资料 and EDA 软件中普遍使用的符号,可方便后续课程的教学。

全书共分 9 章。第 1 章主要介绍了数制、常用编码、二进制运算和逻辑代数基础,其中增加了二进制补码运算。第 2 章主要介绍了 TTL 逻辑门电路和 CMOS 门电路,其中增加了低电压 CMOS 系列介绍。第 3 章硬件描述语言 VHDL 基础,介绍了 VHDL 语言,为后面章节学习奠定基础。第 4 章组合逻辑电路以小规模集成电路为主,介绍了常用的组合逻辑电路,并给出了 VHDL 实现的实例。第 5 章触发器。第 6 章时序逻辑电路,介绍了时序逻辑电路的分析与设计,以及常用的时序逻辑电路。第 7 章半导体存储器,主要介绍了只读存储器和随机存取存储器。第 8 章可编程逻辑器件基础,介绍了通用矩阵逻辑 GAL、复杂可编程逻辑器件 CPLD 和现场可编程门逻辑矩阵 FPGA。第 9 章数字系统设计基础,介绍了数字系统设计的一般方法,给出了两个实例。附录 A 是常用逻辑符号对照表,附录 B

是常用集成电路引脚图。

本课程授课约 60 学时,可参照下表完成教学计划任务,实践教学需要另外安排。

序 号	内 容	参考学时数
第 1 章	数字逻辑基础	6
第 2 章	逻辑门电路	4
第 3 章	硬件描述语言 VHDL 基础	6
第 4 章	组合逻辑电路	8
第 5 章	触发器	4
第 6 章	时序逻辑电路	12
第 7 章	半导体存储器	6
第 8 章	可编程逻辑器件基础	6
第 9 章	数字系统设计基础	8

参加本书编写的教师有东北大学的李晶皎、李景宏、赵丽红、王爱侠、闫爱云、杜玉远、马学文、康恩顺,沈阳航空工业学院的曹阳。本书由李晶皎任主编,李景宏、曹阳任副主编。在编写过程中,王永军教授和李景华教授从始自终给予了热情的支持和具体指导;东北大学信息学院电子科学与技术研究所的许多教师和硕士研究生给予了大力帮助;浙江大学的王小海教授审阅本书的内容结构并提出了极其宝贵的建议,在此一并表示衷心的感谢!

教材中一定还存在不少的缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月于沈阳

《电子信息学科基础课程系列教材》

编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)	邓建国(西安交通大学)
王小海(浙江大学)	王诗宓(清华大学)
王 萍(天津大学)	王福昌(华中科技大学)
刘宗行(重庆大学)	刘润华(中国石油大学)
刘新元(北京大学)	张 石(东北大学)
张晓林(北京航空航天大学)	沈连丰(东南大学)
陈后金(北京交通大学)	郑宝玉(南京邮电大学)
郭宝龙(西安电子科技大学)	柯亨玉(武汉大学)
高上凯(清华大学)	高小榕(清华大学)
徐淑华(青岛大学)	袁建生(清华大学)
崔翔(华北电力大学)	傅丰林(西安电子科技大学)
董在望(清华大学)	曾孝平(重庆大学)
蒋宗礼(北京工业大学)	

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数制	2
1.1.1 十进制数	2
1.1.2 二进制数	2
1.1.3 八进制数和十六进制数	3
1.1.4 数制间的转换	4
1.2 常用编码	7
1.2.1 十进制编码	7
1.2.2 循环码	8
1.2.3 ASCII 码	9
1.2.4 奇偶校验码	10
1.3 二进制数的运算	11
1.3.1 二进制数的表示方法	11
1.3.2 二进制数的加法及减法运算	14
1.4 逻辑代数基础	15
1.4.1 逻辑变量和逻辑函数	15
1.4.2 基本逻辑运算及基本逻辑门	16
1.4.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	20
1.4.4 逻辑函数的表示方法	23
1.4.5 逻辑函数的化简方法	32
本章小结	40
习题	41
 第 2 章 逻辑门电路	 45
2.1 基本逻辑门电路	46
2.1.1 二极管的开关特性	46
2.1.2 二极管与门	47
2.1.3 二极管或门	47
2.1.4 三极管的开关特性	48
2.1.5 三极管非门电路	49
2.2 TTL 逻辑门电路	50
2.2.1 TTL 与非门的基本结构和工作原理	50

目录

2.2.2	TTL 与非门的电压传输特性及抗干扰能力	51
2.2.3	TTL 与非门的输入特性、输出特性和带负载能力	52
2.2.4	TTL 与非门的动态特性	56
2.2.5	TTL 与非门的主要性能参数	57
2.2.6	其他类型的 TTL 门电路	59
2.2.7	TTL 集成逻辑门电路系列简介	63
2.3	CMOS 门电路	64
2.3.1	CMOS 反相器	65
2.3.2	CMOS 与非门	65
2.3.3	CMOS 或非门	66
2.3.4	CMOS 三态门	66
2.3.5	CMOS 传输门	67
2.3.6	CMOS 集成电路的各种系列	67
2.3.7	低电压 CMOS 系列	68
2.4	TTL 电路与 CMOS 电路的接口	69
2.4.1	TTL 电路驱动 CMOS 电路	69
2.4.2	CMOS 电路驱动 TTL 电路	70
2.4.3	逻辑门多余输入端的处理	71
2.5	ECL 电路	72
2.5.1	基本 ECL 门电路	74
2.5.2	ECL 电路与其他门电路的接口	75
	本章小结	76
	习题	76
第 3 章 硬件描述语言 VHDL 基础		78
3.1	硬件描述语言概述	79
3.2	VHDL 语言程序结构	79
3.2.1	实体说明	82
3.2.2	结构体	83
3.2.3	包集合、库及配置	90
3.3	VHDL 常用语句	92
3.3.1	并行语句	92

3.3.2 顺序语句	101
3.4 VHDL 语法基础	108
3.4.1 标识符和保留字	108
3.4.2 数据对象	109
3.4.3 数据类型	111
3.4.4 数据类型的转换	114
3.4.5 运算操作符	115
本章小结	117
习题	118
 第4章 组合逻辑电路	119
4.1 组合逻辑电路特点	120
4.2 小规模集成电路构成的组合电路的分析与设计	120
4.2.1 分析方法	120
4.2.2 设计方法	122
4.3 编码器	124
4.3.1 二进制编码器	124
4.3.2 二进制优先编码器	125
4.3.3 二十进制优先编码器	128
4.4 译码器	129
4.4.1 二进制译码器	129
4.4.2 二十进制译码器	132
4.4.3 半导体数码管和七段字形译码器	133
4.5 数据分配器与数据选择器	136
4.5.1 数据分配器	136
4.5.2 数据选择器	137
4.6 数值比较电路	141
4.7 算术运算电路	142
4.7.1 二进制加法运算	142
4.7.2 二进制减法运算	145
4.7.3 二进制乘法运算	146
4.7.4 算术逻辑单元	147

目录

4.8 奇偶校验电路	150
4.8.1 奇偶校验的基本原理	150
4.8.2 中规模集成奇偶发生器/校验器	152
4.9 中规模集成电路构成的组合电路的分析与设计	153
4.9.1 中规模集成电路构成的组合电路的分析	153
4.9.2 中规模集成电路构成的组合电路的设计	155
4.10 组合逻辑电路的竞争-冒险	158
4.10.1 竞争-冒险的产生	158
4.10.2 竞争-冒险的判断	159
4.10.3 竞争-冒险的消除	159
本章小结	160
习题	160
第5章 触发器	165
5.1 基本触发器	166
5.1.1 基本 RS 触发器	166
5.1.2 RS 触发器	168
5.1.3 D 触发器	173
5.1.4 JK 触发器	175
5.1.5 不同结构触发器性能比较	178
5.2 触发器逻辑功能描述及相互转换	182
5.2.1 触发器逻辑功能的描述方法	182
5.2.2 触发器逻辑功能相互转换	186
5.3 集成触发器	187
5.3.1 TTL 集成触发器	187
5.3.2 CMOS 集成触发器	189
本章小结	193
习题	194
第6章 时序逻辑电路	200
6.1 时序逻辑电路的特点和表示方法	201
6.1.1 时序逻辑电路的特点	201

6.1.2 时序逻辑电路的表示方法	202
6.2 基于触发器的时序逻辑电路的分析	202
6.3 基于触发器的时序逻辑电路的设计	206
6.4 寄存器	213
6.4.1 D 触发器构成的寄存器	213
6.4.2 D 锁存器构成的寄存器	214
6.4.3 移位寄存器	216
6.5 计数器	222
6.5.1 计数器分类	223
6.5.2 同步集成计数器	224
6.5.3 异步集成计数器	230
6.5.4 用中规模集成计数器构成任意进制计数器	231
6.5.5 移位寄存器型计数器	237
6.6 顺序脉冲发生器	239
6.7 基于 MSI 时序逻辑电路的分析与设计	241
6.7.1 时序逻辑电路的分析	241
6.7.2 时序逻辑电路的设计	243
本章小结	246
习题	246
 第 7 章 半导体存储器	251
7.1 概述	252
7.1.1 半导体存储器分类	252
7.1.2 半导体存储器技术指标	252
7.2 只读存储器	253
7.2.1 掩模只读存储器	253
7.2.2 可编程只读存储器(PROM)	255
7.2.3 可擦可编程只读存储器(EPROM)	256
7.2.4 快闪存储器	260
7.3 随机存取存储器	261
7.3.1 静态随机存储器(SRAM)	261
7.3.2 动态随机存储器(DRAM)	265

目录

7.4 存储器容量的扩展	267
7.4.1 位扩展	267
7.4.2 字扩展	267
本章小结	270
习题	271
第 8 章 可编程逻辑器件基础	274
8.1 可编程逻辑器件概述	275
8.1.1 PLD 的分类	275
8.1.2 PLD 的开发流程	276
8.1.3 PLD 的逻辑表示	277
8.2 通用矩阵逻辑 GAL	278
8.2.1 GAL 的结构及其工作原理	278
8.2.2 GAL 的编程	282
8.3 复杂可编程逻辑器件 CPLD	282
8.3.1 Altera MAX7000 系列 CPLD 简介	283
8.3.2 EPM7128S	284
8.4 现场可编程门矩阵 FPGA	289
8.4.1 Altera 公司的 FLEX10K 系列器件的技术性能简介	289
8.4.2 FLEX10K 系列器件的内部结构	290
8.4.3 FLEX10K 系列器件的配置模式	295
8.5 FPGA 和 CPLD 的开发应用选择	299
本章小结	299
习题	300
第 9 章 数字系统设计基础	301
9.1 数字系统概述	302
9.1.1 数字系统的基本概念	302
9.1.2 数字系统设计的一般过程	302
9.2 十字路口交通灯控制系统设计	304
9.2.1 系统功能与使用要求	304
9.2.2 总体方案设计	304

9.2.3 基于逻辑部件的系统设计与实现	305
9.2.4 基于 VHDL 的系统设计与实现	309
9.3 8 位模型计算机设计	314
9.3.1 模型计算机系统功能	314
9.3.2 基于逻辑部件的系统设计	315
9.3.3 基于逻辑部件的模型计算机实现	320
9.3.4 基于 VHDL 的系统设计与实现	321
本章小结	331
习题	331
附录 A 常用逻辑符号对照表	333
附录 B 常用集成电路引脚图	335
参考文献	338

第1章 数字逻辑基础