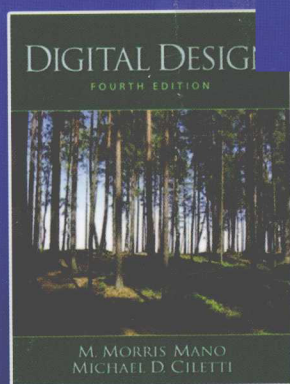


国外电子与通信教材系列



数字设计 (第四版)

Digital Design, Fourth Edition



[美] M. Morris Mano 著
Michael D. Ciletti

徐志军 尹廷辉 等译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



国外电子与通信教材系列

数 字 设 计

(第四版)

Digital Design, Fourth Edition

徐志军 尹廷辉 等译

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是一本系统介绍数字电路设计的权威教材,旨在教会读者关于数字设计的基本概念。全书共分12章,内容涉及数字系统和二进制数、布尔代数与逻辑门、门级最小化、组合逻辑、同步时序逻辑、寄存器和计数器、存储器和可编程逻辑设备、寄存器传输级设计、异步时序逻辑、数字集成电路、标准IC和FPGA实验、标准图形符号等。全书结构严谨,内容深入浅出,紧密联系实际,教辅资料齐全。

本书可作为电气工程、电子工程、通信工程和计算机工程或计算机科学等相关专业学生的教科书,也可作为电子设计工程师的参考书。

Original edition, entitled Digital Design, Fourth Edition, ISBN:0-13-198924-3 by M. Morris Mano, Michael D. Ciletti, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2007.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by Pearson Education Asia Ltd. and Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2010.

本书中文简体字版专有出版权由 Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2008-4401

图书在版编目(CIP)数据

数字设计:第4版/(美)马诺(Mano, M. M.), (美)西勒提(Ciletti, M. D.)著. 徐志军等译.

—北京:电子工业出版社,2010.2

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital Design, 4/e

ISBN 978-7-121-10260-8

I. 数… II. ①马…②西…③徐 III. 数字电路—电路设计—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第011875号

策划编辑:马 岚

责任编辑:史 平

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:28.25 字数:723千字

印 次:2010年2月第1次印刷

印 数:4000册 定价:59.00元(含光盘1张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老教师和专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译 者 序

人类已经进入到信息化时代,数字系统在我们日常的生活中起着越来越重要的作用,并广泛应用于通信、计算机、自动控制、GPS 导航、互联网和物联网等领域。从数字电话到数字电视,从数字通用光盘到数字计算机,从 MPEG (MP3/MP4) 播放器、数码相机到军用雷达、医用 CT 仪器设备,数字技术的应用比比皆是。由于数字技术在处理和传输信息方面的各种优点,数字电路得到非常广泛的应用。

“数字电路与逻辑设计”是电子工程、信息工程、计算机科学与技术等专业的一门非常重要的专业基础课。对于每一位工科电子信息类专业的学生 and 设计工程师,数字电路的基础知识是必备常识。我们翻译本书的目的正是要为电子工程、信息工程专业和其他相近专业的本科生提供一本合适的教科书。

数字设计经历了从单元电路到系统电路,从小规模集成电路到大规模集成电路的发展过程。随着微电子技术和信息处理技术的飞速发展,各种类型的数字集成电路不断推出并广泛应用于各种技术领域,数字电路与数字系统的设计方法与设计手段也发生了很大的变化。利用 EDA 设计工具和可编程逻辑器件,采用先进的硬件描述语言已经成为当今数字设计技术的主流。

M. Morris Mano 等著述的《数字设计》是一本系统介绍数字电路与系统设计理论和技术的巨著,自本书第一版出版以来已经被许多所著名大学选做教材。我们翻译的是这本书的第四版,该版保留了第三版中经检验的经典内容,主要包括二进制与布尔代数基础;数字逻辑门;组合逻辑电路的分析与设计;时序逻辑电路的分析与设计,寄存器与计数器;寄存器传输级设计;存储器与可编程逻辑器件;数字集成电路与 FPGA 实验;标准图形符号等。根据 IEEE 1364—2001 和 1364—2005 标准,更新和扩充了有关 Verilog HDL 的内容。全书中有大量的例题,以帮助读者对所学知识的理解。每章末尾都附有大量习题,这些习题中的一部分,是为巩固已学知识而设立的,另一部分则是为开拓学生视野、紧密联系工程实际而设立的。全书内容系统完整,结构新颖,理论严谨,深入浅出,是一本不可多得的好教材。

本书由徐志军负责翻译前言、第 1 章至第 4 章、第 10 章,尹廷辉负责翻译第 5 章至第 9 章,第 11 章和第 12 章由徐志军和尹廷辉共同翻译。全书由徐志军审校统稿。解放军理工大学通信工程学院硕士研究生李伦辉、谢波、杨承富、张春生、陈满协助完成了部分章节的翻译工作,在此特向他们致以深切的谢意。

数字设计是一门正在发展的技术,涉及面广,技术更新快,新器件不断涌现。由于译者学识所限,疏漏乃至错误在所难免,敬请读者指正。

前言

数字电路是手机、MPEG(MP3/MP4)播放器、数码相机、计算机、数据库服务器、个人数码设备、GPS 导航器和许多其他使用数字格式处理信息的消费产品的核心。本书提供了对数字电路的基本知识和在设计过程中需要运用的一些基本概念。此书适合在电气工程、计算机工程,以及计算机科学等学科开展介绍性的课程中使用。

工业实践的每一步重要发展,最终都被写入工科的教科书中。从 20 世纪 80 年代中叶起,基于计算机的设计工具的使用对全球的电子工业产生了巨大影响。使用硬件描述语言(HDL)如 Verilog 或 VHDL 的特定用途集成电路(ASIC)被设计作为电路功能的模板,接着综合这些模板使用一些特殊工艺如互补金属氧化物半导体(CMOS)集成电路和现场可编程门阵列(FPGA)来实现硬件应用。如今这些设计工具在大学里广泛使用。并且,它们的使用方法战略性地从研究生课程演变成普通大学生课程早已不足为奇。毋庸置疑 HDL 在培养工程师方面扮演了一个关键性的角色。学习一种硬件描述语言对于当今学生的作用,相当于示波器、电路实验板和逻辑分析仪对上一代人一样重要。(学会用硬件描述语言去设计电路对于当今学生的重要性,就跟示波器、电路实验板和逻辑分析仪对上一代人的作用一样。)所以这个版本的教材增加了更多关于如何让硬件描述语言应用于数字电路中的内容。

我们需要说明的是在第一次数字电路课程中介绍硬件描述语言时,对电路建模基本知识的介绍和关于如何手工设计电路的讨论仍然十分重要。对于学生来说了解“硬件是如何工作的”非常关键,因此,我们完全保留了关于组合逻辑器和时序逻辑器的内容。对于手工设计电路实验的结果用来与使用基于硬件描述语言设计得到的结果进行比较。我们想要带给学生的是由“硬件如何工作”向“硬件如何设计”的转换。这样能更好地帮助学生在如今基于硬件描述语言的设计非常流行的工作环境中取得先机。

适用性

书中内容的次序很好地适应了课程需求,是由基于传统手工工艺的数字电路设计、使用硬件描述语言的数字电路设计和在两者之间或两者混合的课程组成。因为当今综合性设计工具的高度自动化让逻辑分析最小化,卡诺图以及其他相关的主题可以被最优化地呈现在数字设计的开始或者在使用硬件描述语言测试、设计和模拟(仿真)电路之后。课文包含了手工设计电路和基于硬件描述语言设计电路的范例。每个章节后通过前后参照的问题让传统手工设计任务变成一个相对应的采用硬件描述语言的任务。另外,我们通过模拟结果、问题的解答和手工设计的解决方案中添加注释,把传统手工设计和基于硬件描述语言的电路设计有机结合起来。

内容更新

在上一版本中的内容已经验证了硬件描述语言在数字电路设计中的重要性,并且结合新素材和范例向学生介绍了 Verilog(遵循 IEEE 1364—1995 标准)语言。此次修订后的版本的扩展更新如下:

- 修改了基于硬件描述语言的设计范例,使 ANSI-C 的语法更加标准化,进一步适应 IEEE 1364—2001 和 IEEE 1364—2005 标准。
- 确保所有硬件描述语言范例符合数字电路设计工业生产标准。
- 对如何实际设计数据路径控制器的问题提供系统的方法论。
- 在每一章结束时提出可供选择的练习和解答(Verilog 1995 和 Verilog 2001/2005)。
- 介绍如何使用一种重要设计工具——ASMD 表格。
- 修订了课后问题并且通过加入超过 75 个新问题扩展了问题集。
- 向学生提供完全开发和研究过的解答,包含模拟结果。
- 向学生提供一张包含通过硬件描述语言模拟器得到的问题解决方案的 CD-ROM。
- 扩展了可编程逻辑设备的内容(包含了 FPGA)。
- 修订了手工设计解决方案和基于网络的素材,并且确保基于硬件描述语言练习的解决方案符合用硬件描述语言模拟的工业惯例。
- 论证检验硬件描述语言的测试计划的重要性。
- 向讲师提供被检验过和模拟过的源代码以及对于所有课后练习的实验题。
- 讲师能以 PDF 文档格式通过网络从发布人处下载所有的实验数据、表格和硬件描述语言示例资源。
- 书中附赠一张包含使用指南和模拟器(IEEE 1364—1995 和 IEEE 1364—2001 标准 Verilog 语言)的 CD-ROM。

除了上述增加的内容外,课文本身还结合了许多添加了注释的影像资料来帮助学生更好地理解数字电路以及促进课堂讨论的开展。

设计方法论

这个版本对于如何在一个数字系统中设计状态机来控制数据路径,通过提供一种比较系统的方法论,扩展了上一版本中有限的状态机。此外,这些材料的框架用来解决控制器如何使用数据路径发出的信号实际问题,也就是说系统反馈(响应)的问题。这种方法论在手工以及基于硬件描述语言的设计中都可以得到运用。

基于硬件描述语言的方法

仅仅局限于介绍硬件描述语言的语法是远远不够的,书中只在符合需要的地方提供了这些 Verilog 语法元素。并且正确的语法并不意味着这个电路模块就能够正常实现它的功能,或者顺利组合成一个物理硬件。我们向学生介绍遵守基于工业惯例的用法去写模型,确保行为描述能够有效地被综合成物理硬件,并且综合后电路的行为和描述的行为一致。如果不能做到这一点,会导致机器中硬件描述语言模型发生软件紊乱情况(竞态条件)。竞态条件在仿真中用于

修正这些模型,以及修正模拟行为模型和综合成物理硬件后的模型之间不相符的地方。同样,设计时不遵守工业惯例也许能够得到正确的模拟结果,但因为设计者的方法不同,在设计过程中会不经意地加入(造成)硬件锁。而工业实践会给我们带来无竞争和无锁的设计。所以对学生来说,在生产实践中学习和运用硬件描述语言模型,而非仅仅依赖于综合工具是十分重要的。

验证

在生产过程中的一个重要步骤是检验电路是否能够正常工作。现在的数字电路教学过程中没有足够地重视检验这个环节,而是仅仅关注设计本身,检验通常被视为第二位的。这种观点会带来一种“这个电路将会很好地工作”的不成熟想法。同样,生产业通过分析模型是否“可读、可携带、可回收”来对基于硬件描述语言的模型进行检验。通过对硬件描述语言模型检验的投资,获取了大量源源不断的收益。我们对命名惯例和参数的使用进行了示范。同时,我们提供测试题和所有练习的解决方案用来:(1)检验电路是否正常工作;(2)强调测试中的重点内容;(3)通过自测题向学生介绍重要的概念,例如仿真中的自检。我们提倡和阐述测试计划的发展去指导测试平台的发展,会在课文中图文并茂地向学生介绍和推荐一些自我测试的方法,并且在课文的结尾和习题答案中扩展它们。

硬件描述语言课程内容

此版更新和扩展了 Verilog 硬件描述语言的论述,并且做了新的调整使其符合 IEEE 1364—2001 和 IEEE 1364—2005 标准。我们确认课文中所有的范例和所有的解决方案符合设计数字化硬件的工业生产标准。与上一版一样,硬件描述语言素材被放置在一个单独的部分这样可以按照意愿进行删减,这个版本并没有减少关于手工设计的论述,也没有指定讲课的顺序。书中的论述适合同时学习数字电路和硬件描述语言的初学者。本书帮助学生自主设计一个项目,并且在以后的计算机体系结构课程中取得成功。

- 在第 1 章到第 3 章介绍数字电路,并且在 3.10 节中介绍硬件描述语言。
- 在 4.12 节深入讨论了使用硬件描述语言对组合电路进行建模。
- 时序电路以及其相应的硬件描述语言内容安排在 5.6 节和 6.6 节。
- 使用硬件描述语言描述存储器的内容安排在 7.2 节。
- 8.3 节介绍了在 Verilog 中使用寄存器传输级描述。
- 8.6 节和 8.9 节介绍了 Verilog 中的寄存器传输语言的示例和架构,并且第 8 章也提出了一种新的,全面的关于如何使用硬件描述语言设计数据路径控制器的论述。
- 关于 CMOS 电路开关级建模的内容安排在 10.10 节。
- 11.20 节补充了第 11 章关于硬件描述语言的硬件实验。这些在实验室设计出来的电路可以通过建模进行校验和模拟性能。接着它们可以被综合并实现在一个使用 FPGA 封装的原(母)板上。

硬件描述语言模拟器

本书附带了一个包含书中示例的 Verilog 硬件描述语言源代码文件,和两个由 SynaptiCAD 提供的模拟器。第一个是 VeriLogger Pro,这是一个传统的能模拟硬件描述语言示例和检验硬

件描述语言问题的模拟器。此模拟器符合 IEEE 1364—1995 标准,对旧的模型十分有用。另一个是一种交互的模拟器,Verilogger Extreme,符合 IEEE 1364—1995 和 IEEE 1364—2001 标准,这个模拟器允许设计者在完成对模型的模拟之前对自己的设计方案进行模拟和分析。这种技术对学生十分有用,因为它可以快速输入 Boolean 函数和 D 触发器或锁存器的输入方程组去校验等价性,或用 D 触发器和锁存器设计进行实验。

讲师可以使用的资源

讲师可以在 www.prehall.com/mano 处下载到课程资源,包括:

- 所有的硬件描述语言示例的源代码和测试题。
- 课文中所有的数据和表格。
- 所有在手工解决方案中的硬件描述语言模型源代码。

手工解决方案以带影像的硬拷贝格式提供,适合课堂教学。

各章摘要

下面是对于每一章主题的简介。

第1章:提出了不同的二进制系统在数字系统中怎样表示信息。结合图片解释二进制系统和二进制代码,额外举例增加了有符号的二进制数和二进制编码的十进制数的内容。

第2章:介绍了布尔代数的基本概念,并且提出布尔表达式和与其相关的逻辑图表的相关性。研究了两种变量的所有可能的逻辑操作,并且从中确定在数字电路设计中最有用的逻辑门。这一章提到了集成电路门的特性,但是更详细的分析被安排在第10章。

第3章:介绍了通过图像简化布尔表达式。这种图像法也用来简化由与门、非门、或门构成的数字电路。介绍了其他所有可以用两级门电路的简化方法,Verilog 硬件描述语言处理一级门电路也一并介绍。

第4章:列出了分析和设计组合电路的基本程序,一些数字系统设计中需要用到的基本成分,如地址和代码转换器,在设计示例中都有介绍。经常使用的数字逻辑函数,如并行加法器和减法器、编码器和解码器、多路器,以及它们在数字电路中的使用也列入其中。Verilog 硬件描述语言示例以门级别、数据流等形式来表现出可供选择的描述组合电路的方法,写一个简单的测试平台来提供硬件描述语言设计的因素。

第5章:略述了分析和设计一个时序电路的基本程序,以讨论级别和边缘触发的不同来呈现几种门结构。分析时序电路时举一些特殊的例子来推导时序电路状态表和状态图,许多时序电路设计示例都使用了 D 触发器。解释了在时序电路中使用 Verilog 语言测试性能。结合图片使用 Mealy 和 Moore 模型解释时序电路的硬件描述语言模型。

第6章:怎样处理时序电路中不同的成分,比如寄存器、shift 注册器和计数器。这些数字元素是构成其他复杂数字电路的基本元素。本章提供了对 shift 注册器和计数器的 HDL 描述。

第7章:给出处理随机存储器(RAM, Random Access Memory)和可编程逻辑元件的方法。并且讨论了存储器的解码和纠错。介绍 ROM, PLA, CPLD 和 FPGA 等组合和时序可编程元件。

第8章:处理了在数字电路中的寄存器传输级表达法。介绍了算法状态机(ASM, Algorithmic State Machine)表格,讨论了大量 ASM, ASMD 表格,寄存器传输级的表达和使用硬件

描述语言描述数字系统的示例。详细介绍了有限状态机如何控制数据路径,包含了状态机如何从数据路径中获取信号并控制它。这是本书最重要的一章,因为本章告诉学生处理更高级项目(project)的系统方法。

第9章:介绍了分析和设计异步时序电路的标准程序,以及异步时序电路是如何以带反馈的组合电路形式实现。介绍了在异步时序电路中使用SR锁存器作为存储元素的方法。

第10章:介绍了最常见的数字逻辑集成电路系列,使用电子电路理论对常见的门电路进行了分析。想要完全理解本章的内容必须具备电子电路的基本知识。Verilog开关级描述的示例讨论了如何使用MOS和CMOS晶体管模拟电路。

第11章:简述了一些可以在实验室里完成的硬件实验,这些硬件在市场上很容易买到。实验用集成电路的功能可以参见前几章中介绍的相似组件的原理图。这里非正式地给出了每项实验的内容,希望学生设计出电路图,并编制一个程序以检查实验电路的工作情况。最后一节给出了相应的HDL实验内容。在构造硬件之前,学生可以用本书配套的Verilog HDL软件来仿真和检查设计的正确性。

第12章:介绍了使用ANSI/IEEE标准化逻辑函数图形符号。这些图形符号是为了SSI和MSI的组件而开发的,因此,用户可以从特殊分配的图形符号中识别逻辑函数。本章介绍了实验室集成电路的标准图形符号。书中提到的许多数字组件都类似于商用集成电路。不过正文没有提到有关专用集成电路的内容。在学习理论知识的同时做一些第11章推荐的实验有助于提高数字设计的实际应用能力。

实验

本书可以用来开展一门独立的课程或小组实验。实验也可以当成一门独立的课程,通过介绍使用TTL电路母板的传统方法或使用FPGA的HDL/综合法来完成这些实验。

今天,综合HDL模型并且使用FPGA封装实现电路的软件可以免费使用。这些软件让学生能够在使用原型板和其他实验室资源之前进行大量的重要工作。使用FPGA的高速电路板原型机价格比较适中,而且其中包含了按钮、开关、七段LED显示、LCD显示屏、键盘和其他I/O元件。通过这些资源,学生可以有效地按照实验内容或自己的项目进行实验并很快得出结论。

在前面的各章中可以查到有关实验用集成电路的操作方法,不再赘述。每个实验都没有固定的套路,实验过程中,学生可以根据电路图和公式对电路的操作进行分析。书中最后一部分的内容补充了有关HDL的实验。学生可以使用CD-ROM提供的Verilog HDL软件对硬件结构设计进行模拟和检查。综合工具可以用于在FPGA原型机上实现电路。

感谢Prentice Hall的编辑小组负责这一修订版本的工作,同时,我们要感谢Sandra和Jeri-lynn对我们工作的支持。

M. Morries Mano

加利福尼亚州立大学名誉教授

Michael D. Ciletti

科罗拉多州立大学电子与计算机工程系主任

目 录

第 1 章 数字系统与二进制数	1
1.1 数字系统	1
1.2 二进制数	2
1.3 数制的转换	4
1.4 八进制和十六进制数	6
1.5 补码	7
1.6 带符号位的二进制数	10
1.7 二进制码	13
1.8 二进制数存储与寄存器	19
1.9 二进制逻辑	21
1.10 习题	23
参考文献	25
第 2 章 布尔代数和逻辑门	26
2.1 引言	26
2.2 基本定义	26
2.3 布尔代数的公理化定义	27
2.4 布尔代数的基本定理和性质	29
2.5 布尔函数	32
2.6 范式 and 标准式	35
2.7 其他逻辑运算	40
2.8 数字逻辑门	41
2.9 集成电路	45
2.10 习题	47
参考文献	50
第 3 章 门电路的化简	51
3.1 引言	51
3.2 图形法化简	51
3.3 四变量卡诺图	55
3.4 五变量卡诺图	58
3.5 和之积的化简	60
3.6 无关条件	62
3.7 电路的“与非”门和“或非”门实现	63
3.8 其他的两级电路实现	69
3.9 异或函数	73
3.10 硬件描述语言	77
3.11 习题	84
参考文献	88

第4章 组合逻辑	89
4.1 引言	89
4.2 组合电路	89
4.3 分析步骤	90
4.4 设计步骤	92
4.5 二进制加减器	94
4.6 十进制加法器	101
4.7 二进制乘法器	103
4.8 数值比较器	105
4.9 译码器	106
4.10 编码器	109
4.11 多路转换器	111
4.12 组合电路的硬件描述语言	116
4.13 习题	129
参考文献	134
第5章 同步时序逻辑	135
5.1 引言	135
5.2 时序电路	135
5.3 锁存器	136
5.4 触发器	139
5.5 同步时序电路分析	144
5.6 用 HDL 描述时序电路	152
5.7 状态化简和分配	162
5.8 设计过程	166
5.9 习题	172
参考文献	176
第6章 寄存器和计数器	177
6.1 寄存器	177
6.2 移位寄存器	178
6.3 行波计数器	184
6.4 同步计数器	187
6.5 其他计数器	192
6.6 用 HDL 描述寄存器和计数器	196
6.7 习题	201
参考文献	207
第7章 存储器和可编程逻辑器件	208
7.1 概述	208
7.2 随机存取存储器	208
7.3 存储器译码	213
7.4 检纠错	216

7.5	只读存储器	218
7.6	可编程逻辑阵列	223
7.7	可编程阵列逻辑	225
7.8	时序可编程器件	228
7.9	习题	241
	参考文献	243
第8章	寄存器传输级设计	244
8.1	引言	244
8.2	寄存器传输级定义	244
8.3	HDL 的寄存器传输级描述	245
8.4	算法状态机	252
8.5	设计举例	257
8.6	设计举例的 HDL 描述	264
8.7	时序二进制乘法器	272
8.8	控制逻辑	276
8.9	二进制乘法器的 HDL 描述	280
8.10	用数据选择器进行设计	287
8.11	无竞争设计	296
8.12	无锁存设计	297
8.13	语言的其他特性	298
8.14	习题	298
	参考文献	305
第9章	异步时序逻辑	307
9.1	概述	307
9.2	分析步骤	308
9.3	由锁存器构成的电路	313
9.4	设计步骤	318
9.5	状态和流程表的简化	323
9.6	无竞争的状态分配	327
9.7	冒险	331
9.8	设计举例	334
9.9	习题	338
	参考文献	342
第10章	数字集成电路	343
10.1	引言	343
10.2	专用特征	344
10.3	双极型晶体管特性	347
10.4	RTL 和 DTL 电路	350
10.5	晶体管-晶体管逻辑	351
10.6	发射极耦合逻辑	358

10.7	金属氧化物半导体	360
10.8	互补型 MOS	361
10.9	CMOS 传输门电路	364
10.10	HDL 的开关级建模	366
10.11	习题	368
	参考文献	370
第 11 章	实验	371
11.1	实验介绍	371
11.2	实验 1:二进制数和十进制数	374
11.3	实验 2:数字逻辑门	376
11.4	实验 3:布尔函数化简	377
11.5	实验 4:组合电路	379
11.6	实验 5:代码转换	380
11.7	实验 6:使用数据选择器进行设计	381
11.8	实验 7:加法器和减法器	382
11.9	实验 8:触发器	384
11.10	实验 9:时序电路	386
11.11	实验 10:计数器	387
11.12	实验 11:移位寄存器	388
11.13	实验 12:串行加法	390
11.14	实验 13:存储器单元	391
11.15	实验 14:灯式手球	392
11.16	实验 15:时钟脉冲发生器	395
11.17	实验 16:并行加法器和累加器	397
11.18	实验 17:二进制乘法器	398
11.19	实验 18:异步序列电路	401
11.20	Verilog HDL 模拟实验和使用 FPGA 的快速实现方法	401
第 12 章	标准图形符号	406
12.1	矩形符号	406
12.2	限定符号	407
12.3	相关符号	409
12.4	组合部件符号	410
12.5	触发器符号	412
12.6	寄存器符号	413
12.7	计数器符号	415
12.8	RAM 符号	416
12.9	习题	416
	参考文献	417
	部分习题解答	418

第1章 数字系统与二进制数

1.1 数字系统

人类已经进入到数字时代,数字系统在我们日常的生活中起着越来越重要的作用,并广泛应用于通信、商贸、交通控制、导航、医疗、天气监测、因特网等领域,以及其他许多商业、工业和科研部门。从数字电话到数字电视,从数字通用光盘到数字相机、数字计算机、手持(便携式)设备等,数字技术的应用比比皆是。由于有着很强的通用性,数字计算机可以执行一系列的指令和程序,并对给定的数据进行操作。用户可以用它来运行程序,也根据特定的要求对程序或数据进行修改。正因为有这种灵活性,通用的数字计算机才可以完成各种各样的信息处理任务,从而得到非常广泛的应用。

数字系统的一个显著特性就是它具有描述和处理离散信息的能力。我们知道,任何一个取值数目有限的元素集都包含着离散的信息,如十进制数的各个数、字母表中的26个字母、扑克牌中的52张牌以及国际象棋盘中的64个方格等。早期的数字计算机主要用于数值计算,所处理的离散信息就是各种各样的数字,因此就出现了“数字计算机”这个术语。数字系统中的离散信息元素可以用一类称之为“信号”的物理量来表示,而最常见的“信号”就是电压信号和电流信号,这种“信号”一般是由晶体管构成的电路所产生的。目前,在各种数字电子系统中的电信号只有两个离散值,因而称为二进制。一个二进制数又称为一个比特,它有两个基本的数值:“0”和“1”。离散信息单元可以用一个比特组(二进制码)来表示。例如,在一个数字系统中,十进制数0到9可以用一个4比特码组来表示(例如,0111就表示十进制数7)。通过使用多种技术,用比特组来表示各种离散符号,从而就可以用数字的方式来研究一个系统。因此,数字系统就是一个处理二进制离散信息单元的系统。

离散信息量可能在处理自然数时出现,或者来自于一个连续过程的量化。比如,工资表就是一个自然的离散信息处理过程,包含了雇员姓名、社会安全系数、周薪和所得税等。员工的工资单可以用字母(姓名)、数字(薪水)以及一些特殊符号(如\$)等离散数值来处理。再比如,一名进行研究的科学家在观察一个连续的过程时,一般都是以表格的形式来记录特定时刻的数值。科学家就是这样对连续的数据进行量化,并将表中的每一个数赋予一个离散量。在很多情况下,量化处理可以由一个模/数转换器来自动完成。

通用数字计算机就是一个最典型的数字系统,其主要组成部分是存储器、中央处理器以及输入/输出单元。存储器用于存储程序、输入/输出数据以及中间数据。中央处理单元依照特定的程序执行算术运算和其他数据处理的操作。用户要通过键盘这种输入设备将程序和数据输送到存储器中,打印机这种输出设备主要用于接收计算的结果并把结果打印出来提供给用户。一台数字计算机可以有多个输入/输出设备,而通信口就是一个非常有用的设备,可以通过因特网与其他用户实现互连。数字计算机是一个功能非常强大的仪器,不仅能够进行算术运算,也能够进行逻辑操作,还可以根据内部和外部条件做出决策。

商用产品用数字电路来实现有其根本的原因。与数字计算机一样,大多数数字设备都是可编程的。通过改变可编程设备的程序,相同条件下的硬件可以实现许多不同的用途。随着