

国外电子与通信教材系列

英文版

Mc
Graw
Hill

数字逻辑 与VHDL设计

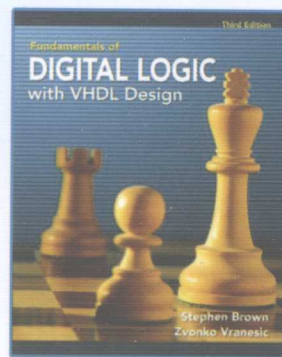
(第三版)

Fundamentals of Digital Logic
with VHDL Design, Third Edition

[美]

Stephen Brown
Zvonko Vranesic

著



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

TN79/Y9=3

c2009.

数字逻辑与 VHDL 设计

(第三版)

(英文版)

Fundamentals of Digital Logic
with VHDL Design

Third Edition

[美] Stephen Brown 著
 Zvonko Vranesic

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书适用于数字逻辑设计的简介课程,主要目标如下:(1)教授学生关于手工进行数字设计的基本概念;(2)给出使用CAD工具手工设计数字电路的详细方法。内容涉及设计数字系统的过程、逻辑电路的基本概念、数字电路、组合电路的综合、执行算术运算的电路、用做构件块的组合电路、存储器、同步顺序电路、异步顺序电路、真实系统设计中出现的实际问题、电路测试,以及CAD流程等。

本书可作为计算机和电子工程等专业本科生及研究生的教材,也可作为集成电路设计人员的参考书。

Stephen Brown, Zvonko Vranesic

Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design, Third Edition,

ISBN: 0-07-722143-5, Copyright © 2009 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. 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.

Authorized English-Chinese Bilingual edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2009. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中英双语版专有出版权由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。此版本仅限在中国大陆销售。未经许可的出口,视为违反著作权法,将受法律制裁。

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。

本书封底贴有 McGraw-Hill 公司的激光防伪标贴,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字 01-2009-1742

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑与VHDL设计:第3版:英文/(美)布朗(Brown, S.), (美)弗兰尼斯克(Vranesic, Z.)著.

北京:电子工业出版社,2009.4

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design, Third Edition

ISBN 978-7-121-08422-5

I. 数… II. ①布… ②弗… III. ①数字电路-逻辑设计-英文 ②硬件描述语言, VHDL-程序设计-英文 IV. TN79 TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第028543号

策划编辑:谭海平

责任编辑:余义

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:787×980 1/16 印张:50.75 字数:1462千字

印次:2009年4月第1次印刷

定价:85.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,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,除了依靠高校的老师 and 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 and 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”。

为作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 杨千里	北京邮电大学校长、教授、博士生导师 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 清华大学深圳研究生院副院长
	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 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	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
	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

序 言

本书适用于数字逻辑设计的简介课程。数字逻辑设计是多数电气与计算机工程学科的基础课程。成功的数字逻辑电路设计人员需要较好地理解基本概念并牢固地掌握计算机辅助设计 (CAD) 工具。本书很好地折中了基本概念与 CAD 工具的实际应用。

本书的主要目标如下: (1) 教授学生关于手工进行数字设计的基本概念; (2) 给出使用 CAD 工具手工设计数字电路的详细方法。现在设计人员不再使用手工方式, 这里给出手工方式的目的在于为学生提供数字电路运行的直观感受。此外, 手工方式提供了 CAD 工具所执行操作类型的示例, 因此与自动设计相比也有其优点。全书借助于简单电路设计的示例引入基本概念, 电路设计时既采用手工方式, 也采用基于 CAD 工具的现代方法。在学生建立基本概念之后, 书中会使用 CAD 工具提供更复杂的示例。因此, 本书的重点在于现代设计方法, 以演示数字设计是如何进行的。

技术与 CAD 支持

本书探讨现代数字电路的实现技术。重点在于可编程逻辑器件 (PLD), PLD 是课程教学中最合适的技术。首先, PLD 广泛用于实践中, 且几乎适合所有类型的数字电路设计。事实上, 学生工作后更可能会进行基于 PLD 的设计。其次, PLD 中的电路由终端用户编程实现。因此, 学生会在实验室条件下得到许多机会来采用实际的芯片实现书中的设计示例。学生也可在自己的计算机中仿真所设计电路的行为。我们在设计中使用两种最为流行的 PLD: 复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 和现场可编程门阵列 (FPGA)。

CAD 支持基于软件 Altera Quartus II。Quartus II 在 Altera CPLD 和 FPGA 中提供自动的设计成图, 而 Altera CPLD 和 FPGA 则是业界最广泛使用的 PLD。Quartus II 吸引我们的特性主要如下:

- 它是一种商业产品。学生可很容易地将设计输入到 CAD 系统中, 将设计编译到一个选取的器件 (器件的选择可随时更改, 且设计可针对不同的器件), 仿真结果电路的功能, 且如果实验室条件允许, 学生可用实际的器件实现该设计。
- 它使用硬件描述语言 (HDL) 和方案捕获来提供输入。在本书中, 我们强调基于 HDL 的设计, 因为基于 HDL 的设计是实践中使用最有效率的设计方法。我们会详细描述 IEEE 标准 VHDL 语言并在示例中广泛使用。
- 它可自动地将设计针对不同类型的器件。该特性允许我们演示目标器件架构影响设计人员的电路的方法。
- 它可用在多数类型的计算机上。Quartus II 可运行在使用 Microsoft Windows 的计算机上, 但 Altera 的大学计划软件也可在其他机器上使用, 如 SUN 或 HP 工作站。

本书的范围

第1章简介设计数字系统的过程,探讨设计过程的关键步骤并解释如何使用CAD工具来自动完成任务。此外,还会介绍二进制数。

第2章介绍逻辑电路的基本概念,给出使用逻辑代数来表示电路的方法。此外,还会简介VHDL。

第3章介绍数字电路。首先介绍如何使用晶体管来建立基本的逻辑门,随后介绍影响电路性能的各种因素。重点在于最新技术,特别是CMOS技术和可编程逻辑器件。

第4章介绍组合电路的综合。内容涉及综合过程的各个方面,包括初始设计、优化步骤,并介绍用于该目的的CAD工具。

第5章介绍执行算术运算的电路。首先探讨数字系统中的数字表示,然后介绍如何使用逻辑电路来操纵这些数字。此外,本章还演示了如何使用VHDL来指定期望的功能,以及CAD工具如何用来开发所需电路的机制。

第6章介绍用做构件块的组合电路。包括编码器、解码器和乘法器电路。这些电路非常便于演示许多VHDL构造的应用,为读者提供机会来发现VHDL的高级特性。

第7章介绍存储器。内容涉及实现常规结构的移位寄存器和计数器,包含这些结构的VHDL设计。此外,本章还介绍了较大系统的设计方法。

第8章介绍同步顺序电路(有限状态机),解释这些电路的行为并手工或自动开发实际设计技术。

第9章探讨异步顺序电路。尽管有点重复,但可给出这种电路的主要特性。尽管实际中很少使用异步电路,但应引起我们的重视,因为异步电路可为我们提供相当低的功耗。

第10章探讨真实系统设计中出现的实际问题,给出实际中经常碰到的问题及克服方法。大电路示例演示了设计数字系统的层次方法。提供了这些电路的完整VHDL代码。

第11章介绍测试。逻辑电路的设计人员必须了解测试电路的需要,并应能掌握测试的基本方法。

第12章介绍一个完整的CAD流程,以指导设计人员进行数字电路的设计、实现及测试。

课程覆盖范围

本书涉及两个学期课程的所有材料。一个学期学完本书也是可能的,前提是老师不过多地着墨于VHDL和CAD工具。为使学生在一个学期内学完本书,我们以模块的方式组织了VHDL内容。我们在多伦多大学教学的经验表明,教师只需花3~4学时来讲授VHDL,而将主要精力集中在顺序电路上。书中给出的VHDL示例大多是自我解释型的,学生很容易看懂。此外,教师需要讲解如何使用CAD工具。

在不讲授VHDL的前提下,本书还可用做逻辑设计课程的教材。但即使是VHDL的初步知识,对学生也是有益的,对设计人员更是如此。

一学期课程

第1章中的多数内容属于简介内容,目的在于激发学生的学习兴趣。学生可很容易地学习这些内容。讲义中应包含如下内容:

- 第1章的1.6节。
- 第2章的所有内容。

- 第3章的3.1~3.7节。此外，如果学生具备一些电路的基本知识，可包含3.8节和3.9节的内容。
- 第4章的4.1~4.7节，以及4.12节。
- 第5章的5.1~5.5节。
- 第6章的所有章节。
- 第7章的所有章节。
- 第8章的8.1~8.9节。

如果时间允许，可包含第9章中的9.1~9.3节，以及第10章中的一个或两个示例。

一季度课程

一季度课程可包含如下内容：

- 第1章的1.6节。
- 第2章的所有内容。
- 第3章的3.1~3.3节。
- 第4章的4.1~4.5节，以及4.12节。
- 第5章的5.1~5.3节，以及5.5节。
- 第6章的所有内容。
- 第7章的7.1~7.10节，以及7.13节。
- 第8章的8.1~8.5节。

更传统的方法

第2章和第4章中的内容介绍布尔代数、组合逻辑电路及基本的化简技术。第2章仅使用AND、OR、NOT、NAND和NOR门来介绍这些主题。第3章探讨实现技术的细节，第4章介绍综合技术及其他类型的逻辑门。第4章中的内容需要学生先掌握NAND、NOR和XOR逻辑门以及各种可编程逻辑器件的内容。

需要包含更多内容的教师可考虑包含第2章及第4章的内容。为理解NAND、NOR和XOR逻辑门的用途，只需要教师提供这些逻辑门的基本定义。

VHDL

VHDL是一种复杂的语言，一些教师认为对初学者来说较难掌握。我们考虑到了该问题并试图解决它。不需要介绍整个VHDL语言。在书中，我们给出了用于设计和综合逻辑电路的重要VHDL构造。其他许多构造，如仅在仿真时使用该语言有意义的构造，则省略了。VHDL的内容介绍是逐步深入的，只是在需要高级特性时才在文中给出。

本书包含有150个VHDL代码示例。这些示例演示了VHDL用于描述大量逻辑电路的方式。

例题

书中每章均包含了一些例题，这些例题可指导学生解答习题。

习题

本书中提供有超过400道习题。书末给出了部分习题的答案。所有习题的答案提供在本书的解答手册中。

实验

本书可作为不包含实验的课程使用。若不包含实验课,则学生通过使用CAD工具来仿真所设计电路的运行,可获得有用的实践经验。如果有附加实验,那么本书中的许多设计示例也适用。教师可通过访问网页 www.mhhe.com/brownvranesic 获得本书的解答手册及PPT。

致谢

感谢对本书提供过帮助的所有人员。Kelly Chan对手稿进行了技术性审定。Dan Vranesic绘制了一些图形,并与Dashanand Singh一起准备了解答手册。Tom Czajkowski检查了部分习题的答案。Jonathan Rose提供了一些有益的建议。新泽西理工学院的William Barnes、北卡罗莱纳州立大学的Thomas Bradicich, McGill大学的James Clark, 乔治亚理工学院的Stephen Deweerth, 北卡罗莱纳州立大学的小Clay Gloster, 皇后大学的Carl Hamacher, 克罗拉多大学的Vincent Heuring, 威斯康星大学的Yu Hen Hu, 得克萨斯大学的Wei-Ming Lin, 滑铁卢大学的Wayne Loucks, Ryerson大学的Nagi Mekhiel, 堪萨斯州立大学的Maritza Muguira, 犹他大学的Chris Myers, McMaster大学的Nicola Nicolici, 加利福尼亚大学的Vojin Oklobdzija, 罗切斯特理工大学的James Paler, 阿尔伯特大学的Witold Pedrycz, 南加利福尼亚大学的Gandhi Puvvada, 密尔沃基工程学校的Teodoro Robles, 波士顿大学的Tatyana Roziner, 卡内基·梅隆大学的Rob Rutenbar, 佛罗里达大学的Eric Schwartz, 俄勒冈州立大学的Wen-Tsong Shiue, 马里兰大学的小Charles Silio, 密苏里大学的Scott Smith, 爱荷华州立大学的Arun Somani, 得克萨斯大学的Bernard Svihel, 英国哥伦比亚大学的Steve Wilton, 北达科他州立大学的Chao You, 以及McGill大学的Zeljko Zilic, 审读了本书并提供了许多建设性意见。

感谢Altera公司提供Quartus II系统,尤其要感谢Chris Balough、Misha Burich和Udi Landen。还要感谢McGraw-Hill公司员工的支持。感谢来自Raghothaman Srinivasan, Darlene Schueller, April Southwood, Curt Reynolds, Laurie Janssen, Kara Kudronowica, Stacy Patch, Linda Avenarius, Lori Hancock和Kris Tibbetts的帮助。

Stephen Brown 和 Zvonko Vranesic

目 录

第1章 设计概念	1	2.9 CAD 工具基础	56
1.1 数字硬件	2	2.9.1 设计输入	56
1.1.1 标准芯片	4	2.9.2 综合	58
1.1.2 可编程逻辑器件	4	2.9.3 功能仿真	59
1.1.3 定制芯片	5	2.9.4 物理设计	59
1.2 设计过程	6	2.9.5 时序仿真	59
1.3 数字硬件设计	8	2.9.6 芯片配置	60
1.3.1 基本设计环	8	2.10 VHDL 基础	60
1.3.2 计算机结构	9	2.10.1 VHDL 中数字信号的表示	62
1.3.3 数字硬件单元设计	12	2.10.2 编写简单的 VHDL 代码	62
1.4 本书中的逻辑电路设计	16	2.10.3 如何才能不编写 VHDL 代码	64
1.5 理论与实践	16	2.11 结论	65
1.6 二进制数	17	2.12 例题	66
1.6.1 十进制数和二进制数间的转换	18	习题	69
参考文献	20	参考文献	74
第2章 逻辑电路基础	21	第3章 实现技术	77
2.1 变量与函数	22	3.1 晶体管开关	79
2.2 求逆	25	3.2 NMOS 逻辑门	82
2.3 直值表	26	3.3 CMOS 逻辑门	85
2.4 逻辑门与网络	27	3.3.1 逻辑门电路的速度	91
2.4.1 逻辑网络分析	29	3.4 负逻辑系统	91
2.5 布尔代数	31	3.5 标准芯片	95
2.5.1 维恩图	35	3.5.1 7400 系列标准芯片	95
2.5.2 符号与术语	37	3.6 可编程逻辑器件	98
2.5.3 运算顺序	39	3.6.1 可编程逻辑阵列(PLA)	98
2.6 使用 AND、OR 和 NOT 逻辑门的综合	39	3.6.2 可编程阵列逻辑(PAL)	101
2.6.1 积和与和积	41	3.6.3 PLA 和 PAL 的编程	103
2.7 NAND 和 NOR 逻辑网络	47	3.6.4 复杂可编程逻辑器件(CPLD)	105
2.8 设计示例	52	3.6.5 现场可编程门阵列	109
2.8.1 三路灯控制	52	3.6.6 使用 CAD 工具实现 CPLD 和 FPGA 中的电路	114
2.8.2 乘法器电路	53		

3.6.7 CPLD 和 FPGA 的应用	114	4.9 化简的表格方法	211
3.7 自定义芯片、标准单元和门	114	4.9.1 素数生成	212
3.8 实际考虑	118	4.9.2 化简推导 33	213
3.8.1 MOSFET 制造与行为	118	4.9.3 表格方法小结	219
3.8.2 MOSFET 导通阻抗	121	4.10 化简的立方技术	220
3.8.3 逻辑门中的电压电平	122	4.10.1 基本的素数项确定	222
3.8.4 噪声容限	123	4.10.2 查找最小公倍数的完整过程	224
3.8.5 逻辑门的动态操作	125	4.11 实际考虑	227
3.8.6 逻辑门的功率耗散	128	4.12 VHDL 代码电路综合示例	228
3.8.7 通过晶体管开关传递 1 和 0	130	4.13 结论	232
3.8.8 逻辑门的扇入和扇出	132	4.14 例题	233
3.9 传输门	138	习题	241
3.9.1 异或门	139	参考文献	246
3.9.2 乘法器电路	140		
3.10 SPLD、CPLD 和 FPGA 的实现细节	140	第 5 章 数字表示和算术电路	249
3.10.1 FPGA 中的实现	146	5.1 数字系统中的数字表示	250
3.11 结论	149	5.1.1 无符号整数	250
3.12 例题	149	5.1.2 八进制和十六进制表示	250
习题	157	5.2 无符号数的加法	252
参考文献	166	5.2.1 分解的全加器	256
		5.2.2 行波进位加法器	256
第 4 章 逻辑函数的优化实现	167	5.2.3 设计示例	258
4.1 卡诺图	168	5.3 有符号数	258
4.2 化简策略	176	5.3.1 负数	258
4.2.1 术语	177	5.3.2 加法和减法	262
4.2.2 化简过程	179	5.3.3 加法器和减法器单元	266
4.3 和积形式的化简	182	5.3.4 R 补方案? ? ?	267
4.4 不完全定义函数	184	5.3.5 算术溢出	271
4.5 多输出电路	186	5.3.6 性能问题	272
4.6 多级综合	189	5.4 快速加法器	273
4.6.1 因式分解	190	5.4.1 前进位加法器	273
4.6.2 功能分解	194	5.5 使用 CAD 工具设计算术电路	280
4.6.3 多级 NAND 和 NOR 电路	199	5.5.1 使用方案捕获设计算术电路	280
4.7 多级电路分析	200	5.5.2 使用 VHDL 设计算术电路	283
4.8 立方表示	207	5.5.3 VHDL 代码中的数字表示	286
4.8.1 立方和超立方	207	5.5.4 算术赋值语句	287

5.6 乘法	291	第 7 章 触发器、寄存器、计数器和一个简单的处理器	381
5.6.1 无符号数的进位乘法器	293	7.1 基本锁存器	383
5.6.2 有符号数的乘法	293	7.2 门控 SR 锁存器	385
5.7 其他数字表示	295	7.2.1 门控 SR 锁存器与 NAND 逻辑门	387
5.7.1 定点数	295	7.3 门控 D 锁存器	388
5.7.2 浮点数	297	7.3.1 传播延迟的效果	390
5.7.3 二进制编码十进制表示	299	7.4 主从和边缘触发 D 锁存器	391
5.8 ASCII 字符码	302	7.4.1 主从 D 锁存器	391
5.9 例题	305	7.4.2 边缘触发 D 锁存器	391
习题	312	7.4.3 D 锁存器的清零与预置	395
参考文献	316	7.4.4 锁存器时序参数	396
第 6 章 组合电路构件块	317	7.5 T 锁存器	398
6.1 乘法器	318	7.5.1 配置锁存器	399
6.1.1 使用乘法器的逻辑函数的综合 ...	323	7.6 JK 锁存器	400
6.1.2 使用香农扩展的乘法器综合	326	7.7 术语小结	401
6.2 解码器	331	7.8 寄存器	401
6.2.1 多路输出器	335	7.8.1 移位寄存器	401
6.3 编码器	337	7.8.2 并行访问移位寄存器	402
6.3.1 二进制编码器	337	7.9 计数器	404
6.3.2 优先编码器	338	7.9.1 异步计数器	404
6.4 编码转换器	339	7.9.2 同步计数器	406
6.5 算术比较电路	340	7.9.3 计数器与并联负载	411
6.6 组合电路中的 VHDL	341	7.10 重设同步	411
6.6.1 赋值语句	341	7.11 其他类型的计数器	415
6.6.2 选取信号的赋值	342	7.11.1 BCD 计数器	415
6.6.3 条件信号赋值	346	7.11.2 环形计数器	416
6.6.4 生成语句	350	7.11.3 约翰逊计数器	417
6.6.5 并发与顺序赋值语句	352	7.11.4 计数器设计小结	418
6.6.6 过程语句	352	7.12 使用存储元素与 CAD 工具	418
6.6.7 条件语句	358	7.12.1 在方案中包含存储元素	418
6.6.8 VHDL 运算符	361	7.12.2 为存储元素使用 VHDL 构件	421
6.7 结论	365	7.13 使用寄存器与计数器及 CAD 工具	426
6.8 例题	365	7.13.1 在方案中包含寄存器和计数 器	426
习题	374		
参考文献	379		

7.13.2	VHDL 代码中的寄存器和计数器	428	8.5.1	用于串加器的米利型 FSM	520
7.13.3	为寄存器和计数器使用 VHDL 顺序语句	430	8.5.2	用于串加器的摩尔型 FSM	522
7.14	设计示例	438	8.5.3	用于串加器的 VHDL 代码	524
7.14.1	总线结构	438	8.6	状态化简	528
7.14.2	简单处理器	450	8.6.1	分部化简过程	530
7.14.3	反应定时器	463	8.6.2	不完全定义的 FSM	537
7.14.4	寄存器传输级别(RTL)码	468	8.7	使用顺序电路方法设计计数器	539
7.15	触发器电路的时序分析	469	8.7.1	模 8 计数器的状态图和状态表	539
7.16	结论	471	8.7.2	状态赋值	539
7.17	例题	472	8.7.3	使用 D 型触发器的实现	541
	习题	476	8.7.4	使用 JK 型触发器的实现	542
	参考文献	483	8.7.5	一个不同的计数器示例	547
第 8 章	同步顺序电路	485	8.8	FSM 作为一个判决器电路	549
8.1	基本设计步骤	487	8.8.1	判决器电路的实现	553
8.1.1	状态图	487	8.8.2	为 FSM 最小化输出延时	556
8.1.2	状态表	489	8.8.3	小结	557
8.1.3	状态赋值	489	8.9	同步顺序电路分析	557
8.1.4	触发器的选择 / 下一状态的推导与输出表示	491	8.10	算术状态机(ASM)图	561
8.1.5	时序图	492	8.11	顺序电路的形式化模型	565
8.1.6	设计步骤小结	494	8.12	结论	566
8.2	状态赋值问题	497	8.13	例题	567
8.2.1	单跳编码	500		习题	576
8.3	米利状态模型	502		参考文献	581
8.4	使用 CAD 工具设计有限状态机	507	第 9 章	异步顺序电路	583
8.4.1	摩尔型 FSM 的 VHDL 代码	508	9.1	异步方式	584
8.4.2	VHDL 代码的综合	510	9.2	异步电路分析	588
8.4.3	电路仿真与测试	512	9.3	异步电路的综合	596
8.4.4	VHDL 代码的一种替代样式	513	9.4	状态化简	609
8.4.5	使用 CAD 工具时的设计步骤小结	513	9.5	状态赋值	624
8.4.6	在 VHDL 中指定状态赋值	515	9.5.1	瞬态图	627
8.4.7	使用 VHDL 定义米利 FSM	517	9.5.2	推理未指定的下一状态输入	630
8.5	串加器示例	519	9.5.3	使用其他状态变量的状态赋值	634
			9.5.4	单跳状态赋值	639
			9.6	危害	640
			9.6.1	静态危害	641
			9.6.2	动态危害	645

9.6.3 危害的意义	646	11.1.1 Stuck-at 模型	732
9.7 一个完整的设计示例	648	11.1.2 一个和多个错误	733
9.7.1 自动售货机控制器	648	11.1.3 CMOS 电路	733
9.8 结论	653	11.2 一个测试集的复杂度	733
9.9 例题	655	11.3 路径敏感	735
习题	663	11.3.1 指定错误的检测	737
参考文献	667	11.4 树形结构电路	739
第 10 章 数字系统设计	669	11.5 随机测试	740
10.1 构件块电路	670	11.6 顺序电路测试	743
10.1.1 带使能输入的触发器和寄 存器	670	11.6.1 可测试性设计	743
10.1.2 带使能输入的移位寄存器	672	11.7 内置自测	747
10.1.3 静态随机访问存储器 (SRAM)	674	11.7.1 内置逻辑块观测器	751
10.1.4 PLD 中的 SRAM 块	679	11.7.2 签名分析	753
10.2 设计示例	679	11.7.3 边界扫描	754
10.2.1 位计数电路	679	11.8 印制电路板	754
10.2.2 ASM 图隐时序信息	681	11.8.1 PCB 测试	756
10.2.3 移加乘法器	683	11.8.2 仪器	757
10.2.4 除法器	692	11.9 结论	758
10.2.5 算术平均	702	习题	758
10.2.6 排序运算	708	参考文献	761
10.3 时钟同步	719	第 12 章 计算机辅助设计工具	763
10.3.1 相偏	719	12.1 综合	764
10.3.2 触发器时序参数	720	12.1.1 网表生成	764
10.3.3 触发器的异步输入	723	12.1.2 逻辑门优化	764
10.3.4 开关去抖	724	12.1.3 技术线路图	766
10.4 结论	724	12.2 物理设计	770
习题	726	12.2.1 布局	773
参考文献	730	12.2.2 布线	774
第 11 章 逻辑电路测试	731	12.2.3 静态时序分析	775
11.1 错误模型	732	12.3 结论	777
		参考文献	777
		部分参考答案	779

chapter

1

DESIGN CONCEPTS

设计概念

本章目标

本章涉及内容如下：

- 数字硬件组件
- 集成电路技术概论
- 数字硬件设计过程

本书讲述逻辑电路，即构成计算机的电路。正确理解逻辑电路对今天的电气与计算机工程人员而言是至关重要的。这些电路是计算机的关键组成部分，并且用于许多其他的应用中。在日用产品中，可找到这样的电路，如在数字手表、各种家用电器、CD播放器、电子游戏和一些大系统（如电话与电视网络中使用的设备）中。

本书将向读者介绍设计逻辑所涉及的许多问题。本书用简单的示例解释了一些关键思想，并给出了从基本电路构成复杂电路的方法。书中深入介绍了逻辑电路设计中使用的经典理论，以让读者完全理解这些电路的基本属性。但书中也给出了设计逻辑电路的现代方法，如使用复杂的计算机辅助设计（CAD）软件工具。本书中采用的CAD方法基于工业标准设计语言，即VHDL。第2章首先引入VHDL，其他每一章中均会使用到VHDL和CAD工具。

逻辑电路通过在集成电路芯片上使用晶体管来以电子方式实现。使用现代技术的芯片可包含上亿个晶体管，例如在计算机处理器中。这种电路的基本构件块很容易理解，但包含有上亿个晶体管的电路并不简单。逻辑电路增多所带来的复杂性，仅能使用高度组织的设计技术来处理。本章中会介绍一些这样的技术，但首先会简要介绍构建逻辑电路的硬件技术。

1.1 DIGITAL HARDWARE（数字硬件）

Logic circuits are used to build computer hardware, as well as many other types of products. All such products are broadly classified as *digital hardware*. The reason that the name *digital* is used will become clear later in the book—it derives from the way in which information is represented in computers, as electronic signals that correspond to digits of information.

The technology used to build digital hardware has evolved dramatically over the past four decades. Until the 1960s logic circuits were constructed with bulky components, such as transistors and resistors that came as individual parts. The advent of integrated circuits made it possible to place a number of transistors, and thus an entire circuit, on a single chip. In the beginning these circuits had only a few transistors, but as the technology improved they became larger. Integrated circuit chips are manufactured on a silicon wafer, such as the one shown in Figure 1.1. The wafer is cut to produce the individual chips, which are then placed inside a special type of chip package. By 1970 it was possible to implement all circuitry needed to realize a microprocessor on a single chip. Although early microprocessors had modest computing capability by today's standards, they opened the door for the information processing revolution by providing the means for implementation of affordable personal computers. About 30 years ago Gordon Moore, chairman of Intel Corporation, observed that integrated circuit technology was progressing at an astounding rate, doubling the number of transistors that could be placed on a chip every 1.5 to 2 years. This phenomenon, informally known as *Moore's law*, continues to the present day. Thus in the early 1990s microprocessors could be manufactured with a few million transistors, and