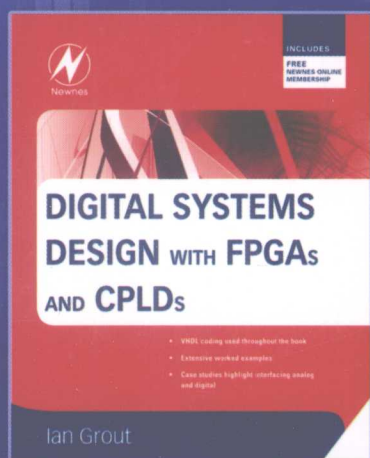




基于FPGA和CPLD的 数字系统设计

Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs



[爱] Ian Grout 著

黄以华 等译

- 全书使用VHDL编码
- 包含大量可运行的代码
- 突出模拟与数字接口的案例研究



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

基于 FPGA 和 CPLD 的数字系统设计

Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs

[爱] Ian Grout 著

黄以华 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了可编程逻辑器件类型、数字系统描述的硬件语言与设计方法,以及系统的测试和实现,从理论、方法、工具到实践进行了全面阐述。

全书共10章。第1章介绍了可编程逻辑器件的类型;第2、3章结合实例,介绍了电子系统设计背景及其PCB设计;第4章介绍了先进数字设计中使用的各种编程语言;第5、6章介绍了数字逻辑设计原理以及运用VHDL语言对一系列电路的实例化;第7、8章介绍了DSP的VHDL实现以及数模转换的接口;最后,第9、10章介绍了电子系统测试和抽象的高层次设计建模。此外,本书各章都有大量的实例供读者验证和测试,兼具知识性和实用性。

本书适用于使用PLD进行数字系统开发的电子与计算机工程专业学生,也可供工业界开发数字系统的技术人员参考。

Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs,

Ian Grout

ISBN: 0750683975 ISBN-13: 978-0750683975

Copyright © 2008 by Elsevier. All rights reserved

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 7-121-08313-6 ISBN-13: 978-7-121-08313-6

Copyright © 2009 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by Publishing House of Electronics Industry under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予电子工业出版社在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)发行与销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字 01-2008-4028

图书在版编目(CIP)数据

基于FPGA和CPLD的数字系统设计/(爱尔兰)格劳特(Grout, I.)著;黄以华等译.

北京:电子工业出版社,2009.2

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs

ISBN 978-7-121-08313-6

I. 基… II. ①格… ②黄… III. 可编程序逻辑器件-系统设计-教材 IV. TP332.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第022308号

策划编辑:谭海平

责任编辑:秦淑灵

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:30 字数:845千字

印 次:2009年2月第1次印刷

定 价:55.00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 zltts@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 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	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

当今数字系统日益复杂,所要求的速度也越来越快,设计者需要利用现有的高层次工具和设备设计系统才能满足市场要求。而利用CPLD和FPGA进行数字系统设计是一个重要的发展方向。

CPLD(复杂可编程逻辑器件,Complex Programmable Logic Device)是从PAL和GAL器件发展出来的器件,相对而言规模大,结构复杂,属于大规模集成电路范围。而FPGA(现场可编程门阵列,Field Programmable Gate Array)是在PAL、GAL、CPLD等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路(ASIC)领域中的一种半定制电路而出现的,既解决了定制电路的不足,又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。本书将围绕这两种可编程器件,进行一系列的数字系统设计方法分析,让读者有一个较为深刻的认识。

本书内容较为广泛,从可编程逻辑器件说起,介绍了数字系统设计以及PCB设计的原则和案例,进而详细叙述了用VHDL语言在系统设计上的运用,最后从一个较高的角度去看电子系统的测试和案例分析。全书每章节中都包含着大量的例子和源代码,便于读者去验证和测试。此外,本书还适于初学者使用,从最基本的门逻辑说起,用一章的内容讲述VHDL的描述方法,给读者一个由低到高的认知,帮助读者进行系统的构建。本书目的在于向广大电子设计人员介绍基于FPGA和CPLD的数字系统硬件电路设计方法,从而使设计者摆脱传统设计方法的约束,在一个全新的高度设计数字系统,以适应当今市场的要求、领域的发展。

本书由中山大学黄以华副教授主持翻译定稿。参加本书翻译的还有中山大学电子与通信工程系的凌国俊、朱文政、刘宗元、吕石磊、刘燕林、廖世文、邱志明等同志,在这里对他们的辛勤工作表示感谢。全书由黄以华副教授审校。

由于译者水平有限,译文中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

黄以华

前 言

从前的电路设计者的生活似乎比现在更加轻松。之前设计的电路比现在更加小型化,速度也更低,并且很容易装配到单独一块小印制电路板上。设计者一个人用纸和笔就可以解决问题并明确和实现设计,甚至,在信封的背面也可以迅速地画出电路原理图。

鉴于早期电路设计的成功,客户开始要求以更低的成本得到更快、更小和更复杂的电路。设计者也开始着手解决这些问题,并导致了今天迅速扩张的电子产业。由于客户需求的推动,加之新材料及装配工艺不断涌现,新的电路设计方法和设计架构已经取代了许多早期传统的设计方法,而且这些电路的新市场也已经发展起来。

那么,我们今天要应对的设计问题处于一种什么形式呢?这并不是一个易于解答的问题,而且对于一个既定问题,都存在不止一种方法实现的电子电路的解决方案。然而,设计活动已不是单个个体的活动,而是一个团队的工程师参与设计、装配(制造)及测试的关键工程活动。所有的活动包括:计算资源的广泛使用、需要高效利用的软件工具以辅助设计(电子设计自动化,EDA;计算机辅助设计,CDA)、装配(计算机辅助制造,CAM)、测试(计算机辅助测试,CAT)。电路不再是唯一的、孤立的实体,而是更大型的系统的一部分。现在,许多设计工作都在系统级进行——在一个合适的设计抽象的更高层次以减少设计时间并提升设计效率。然而,一旦涉及设计细节,一个正确的特定系统同样必须工作于基本的电压和电流级。从系统级设计规格到一个高效、正常工作的电路实现,具有良好的设计工具辅助的优秀设计者的技能是必需的。

对于早期的电子电路设计者,设计过程中需选择模拟电路或数字电路来实现既定电路功能。然而,有时这一选择往往是事先确定的,数字解决方案日益成为更佳的选择。数字信号处理的广泛应用使得复杂操作更加容易,而且较之与之等价的模拟电路,它可以提供更为优越的性能。传统上,DSP函数是利用运行于目标处理器的软件程序实现的。微处理器(μP)、微控制器(μC)和数字信号处理器提供必要的数字电路,并以集成电路的形式实现既定功能。实际上,这些处理器在我们日常生活的嵌入式电子产品中已司空见惯。若非借助结合了具有文件处理软件的操作系统微处理器的电子系统,本书也不可能写出来。

利用运行于基于处理器的DSP领域的数字系统上的软件传统地实现的功能,以及许多控制应用,都可以以软件实现的性能的形式进行评估。在许多情况下,软件解决方案要比理想的解决方案慢,软件编程系统这一基本性质表明这一速度限制是不可以克服的。克服这一速度限制的方法就是在为特殊应用而设计的硬件上执行必需的操作。然而,定制硬件解决方案是很昂贵的。

若存在一种方式,即具备可编程性,同时满足硬件速度要求,那将是一种极具意义的方式。

可编程逻辑通过提供内置可由用户为特殊应用进行配置的数字电子电路芯片,提供了可编程性,同时满足了硬件速度要求。对于不同的应用,器件可以进行重新配置。目前,通常使用两类可编程逻辑芯片:现场可编程门阵列(FPGA)和复杂可编程器件(CPLD)。

因此,实现一个可开发的复杂的数字系统,并且,通过利用运行软件程序的处理器或带专用硬件配置可编程逻辑,其功能是可变或增强的。对于最终用户,两类系统就功能而言是相同的——只要部件的功能是正确的,设计细节与最终用户是毫不相关的。在本书中,为了区别处理器和可编程逻辑并为它们提供一致性,使用以下术语:

- 处理器（微处理器， μP ；微控制器， μC ；数字信号处理器，DSP）采用软件编程语言（SPL）编程，并实现特定的应用。
- 可编程逻辑（现场可编程门阵列，FPGA；简单可编程逻辑器件，SPLD；或复杂可编程逻辑器件，CPLD）采用硬件描述语言（HDL）进行配置。

本书的目的是通过利用可编程逻辑进行电子电路设计领域中的样例为读者提供一个参照。特别地，我们将介绍现场可编程门阵列及复杂可编程器件并提供相应的例子。

采用软件（编程处理器）还是硬件（配置可编程逻辑器件）进行设计并不容易做出选择。在做最终决择之前，对一个特定实现的正反两面均需做相应评价，这是许多决策的一个重要方面。本书介绍了可编程逻辑的设计能力及设计决策相关的内容，有助于我们可以做出合理的决策。

本书的结构如下。

第1章：介绍当前可编程逻辑器件的类型，它们的不同结构及其在电子系统设计中的应用。此外，还将列出该领域的专业术语，以减少这些术语的神秘感。

第2章：介绍电子系统设计领域的背景，并讨论可能实现的解决方案的种类，以及为了对设计实现做出适当的选择而需要的决择。对于不同的技术，本章还介绍并讨论了其典型设计流程。

第3章：介绍印制电路板（PCB）设计。PCB为需要安装在PCB上的电子元件提供了基地。PCB的正确设计是保证电子电路实现按正确规格（电源电压、热耗散、数字时钟频率、模拟数字电路器件等）运行，并保证不同的电子电路元件正确地相互作用且不会产生不必要的效果的根本。一个正确的PCB设计将使电路达到满意的性能，而一个恶劣的PCB设计将使电路不能工作。

第4章：讨论在处理器（软件——编程微处理器、微控制器、数字信号处理器）或可编程逻辑（硬件——配置FPGA或CPLD）中实现的数字设计中使用的不同编程语言。我们将对主要的语言进行介绍并提供相关的例子。对于可编程逻辑，主要的硬件描述语言是Verilog-HDL和VHDL（VHSIC Hardware Description Language）。它们均是IEEE（电气电子工程师协会，Institute of Electrical and Electronics Engineers）标准，为教育界和工业界广泛采用。

第5章：介绍数字逻辑设计原理。涉及数字逻辑设计的基本概念，如布尔逻辑、卡诺图、计数器/状态机设计等。最后，在以原理图形式进行设计的同时，对这些基本设计原理进行回顾，使这些设计功能可以映射到第6章的VHDL描述。

第6章：介绍作为IEEE标准之一的VHDL，作为硬件描述语言的VHDL以基于ASCII码的文本格式对数字电路及系统设计进行描述。这样的描述是可以进行仿真和综合的（仿真可以验证设计操作，综合将文本描述转换成以逻辑门及基本的逻辑门互连的形式的电路设计。门与门的连接通常称为网表）。第5章中以原理图形式提供的电路设计例子将在本章中用VHDL重新建模。

第7章：介绍数字信号处理算法的VHDL实现及VHDL描述到目标可编程器件（FPGA及CPLD）的综合。这样的算法包括数字滤波器（低通、高通及带通）数字PID（比例+积分+微分）控制算法、FFT（快速傅里叶变换，离散傅里叶变换，DFT的一种高效算法）。

第8章：讨论可编程逻辑和外界（通常称为真实世界）的接口。这是我们生活的模拟世界，这样的接口需要模拟信号的采集及模拟信号的产生。为了满足这一要求，数字可编程逻辑器件需要一个接口连接到模拟世界。对于需要采集及数字分析的模拟信号，需要一个模数转换器（ADC），对于要由数字信号产生的模拟信号，需要一个数模转换器（DAC）。

本书中，除非特别说明，根据惯例，analogue一词以ue结尾，等同于analog一词。

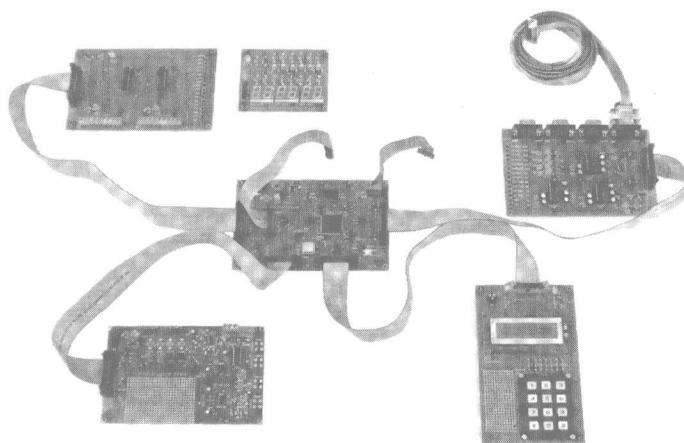
第9章：介绍电子系统测试。本章对硬件及软件的失效机理进行介绍，同时对通过大批量产品和在系统测试的设计样机中的有效且低成本效率的测试程序的必要性也进行了介绍。

第10章：对利用系统功能的行为描述在高层次设计抽象进行基于可编程逻辑开发日益增长的需求，以及使这些高层次设计能够综合到逻辑的日益需要进行了介绍。通过参考一套在 MATLAB 或 Simulink 中开发的数字系统，并通过与之等价的 VHDL 代码利用 FPGA 或 CPLD 技术实现的设计流程，利用 Simulink 建模和仿真的数字控制系统算法的综合可以被转换成 VHDL 并在可编程逻辑中实现。

本书提供的及用于评估的 HDL 例程均可在由本书的 PCB 例程及需由用户自己设计的基于可编程逻辑的电路实现。这些例子可作为本书配套的室内实验依据。本书的一个重要特色就是：题材和例程取材广泛，在学习和教学范围内的使用具有很大的潜力。例如，

1. 作为可编程逻辑电子电路及系统设计入门。涉及设计方法、可编程逻辑架构、仿真、综合及对 FPGA 或 CPLD 进行的最终配置。同时还将涉及最佳 HDL 编码风格及需要进行的器件实现约束的研究。
2. 作为硬件描述语言尤其是 VHDL 的入门，允许案例设计可以在可编程逻辑中开发和实现。这需要 VHDL 代码开发者能够看到代码在真实的器件中工作并能够利用示波器和频谱分析仪等设备对电子电路进行额外的测试。
3. 作为印制电路板的设计的入门，尤其对混合信号设计（混合了模拟和数字）。这使得与印制电路板相关的问题得到研究并使设计得到开发、装配和测试。
4. 作为数字信号处理算法开发的入门。将以 VHDL 代码的开发、仿真及综合作为中介，对 DSP 算法的基本原理及其在 FPGA 和 CPLD 硬件上的实现进行研究。

本书中的 VHDL 例子均可下载，并可以在由读者利用本书提供的设计构建硬件原型电路上运行。该硬件电路为 Xilinx Coolrunner-II CPLD 及一套输入输出（I/O）电路板，在 CPLD 上可以对数字逻辑思想进行建模。整套电路板如下图所示。



整套硬件电路有 5 块主要的系统板和一块可选的 7 段数码管显示板组成。其他相关资料及设计原理图可以在本书的网站上获取（具体参见网址 <http://books.elsevier.com/companions/9780750683975>）。

目 录

第 1 章 可编程逻辑介绍	1
1.1 本书引言	1
1.2 电子电路：模拟和数字	5
1.2.1 引言	5
1.2.2 连续时间与离散时间	5
1.2.3 模拟与数字	7
1.3 数字逻辑的历史	8
1.4 可编程逻辑与离散逻辑	10
1.5 可编程逻辑器件与处理器	12
1.6 可编程逻辑的类型	14
1.6.1 简单可编程逻辑器件 (SPLD)	14
1.6.2 复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	15
1.6.3 现场可编程门阵列 (FPGA)	16
1.7 PLD 配置技术	17
1.8 可编程逻辑供应商	19
1.9 可编程逻辑的设计方法和工具	19
1.9.1 引言	19
1.9.2 典型的 PLD 设计流程	20
1.10 技术趋势	21
参考文献	22
习题	23
第 2 章 电子系统设计	25
2.1 引言	25
2.2 串行产品开发过程与并行工程过程	30
2.2.1 引言	30
2.2.2 串行产品开发过程	30
2.2.3 并行工程过程	31
2.3 流程图	32
2.4 框图	34
2.5 Gajski-Kuhn 图	35
2.6 硬件 - 软件协同设计	36
2.7 正式验证	37
2.8 嵌入式系统和实时操作系统	38
2.9 电子系统级设计	39

2.10 创建设计规范	40
2.11 统一建模语言	40
2.12 阅读元件数据手册 (Data Sheet)	42
2.13 数字输入/输出	43
2.13.1 引言	43
2.13.2 逻辑值定义	45
2.13.3 噪声容限	47
2.13.4 逻辑电路连接	48
2.14 并行和串行接口	52
2.14.1 引言	52
2.14.2 并行 I/O	55
2.14.3 串行 I/O	57
2.15 系统复位	60
2.16 系统时钟	62
2.17 电源	62
2.18 功率管理	64
2.19 印制电路板和多芯片组件	64
2.20 片上系统和系统级封装	66
2.21 机电一体化系统	66
2.22 知识产权	67
2.23 CE 和 FCC 标志	68
参考文献	69
习题	70
第 3 章 PCB 设计	72
3.1 引言	72
3.2 什么是 PCB	73
3.2.1 定义	73
3.2.2 PCB 的结构	74
3.2.3 典型元件	81
3.3 设计、生产和测试	83
3.3.1 PCB 设计	83
3.3.2 PCB 生产	87
3.3.3 PCB 测试	87
3.4 环境因素	88
3.4.1 引言	88
3.4.2 WEEE 法令	88
3.4.3 RoHS 法令	89
3.4.4 无铅焊剂	89
3.4.5 电磁兼容性	89
3.5 PCB 设计案例研究	89

3.5.1	概述	89
3.5.2	系统概述	90
3.5.3	CPLD 开发板	91
3.5.4	LCD 和十六进制键盘	93
3.5.5	PC 接口板	95
3.5.6	数字 I/O 板	96
3.5.7	模拟 I/O 板	98
3.6	技术趋势	100
	参考文献	100
	习题	101
第 4 章	设计语言	103
4.1	引言	103
4.2	软件编程语言	104
4.2.1	引言	104
4.2.2	C 语言	104
4.2.3	C++	106
4.2.4	Java	107
4.2.5	Visual Basic	109
4.2.6	脚本语言	110
4.2.7	PHP	111
4.3	硬件描述语言	113
4.3.1	引言	113
4.3.2	VHDL	113
4.3.3	Verilog-HDL	116
4.3.4	Verilog-A	117
4.3.5	VHDL-AMS	119
4.3.6	Verilog-AMS	121
4.4	SPICE	121
4.5	SystemC	123
4.6	SystemVerilog	123
4.7	数学建模工具	123
	参考文献	125
	习题	127
第 5 章	数字逻辑设计概论	128
5.1	引言	128
5.2	数字系统	131
5.2.1	引言	131
5.2.2	十进制与无符号二进制之间的转换	132
5.2.3	有符号的二进制数	133
5.2.4	格雷码	137

5.2.5	BCD 码	137
5.2.6	八进制与二进制之间的转换	138
5.2.7	十六进制与二进制之间的转换	139
5.3	二进制数据处理	143
5.3.1	引言	143
5.3.2	逻辑运算	143
5.3.3	布尔代数	144
5.3.4	组合逻辑门	146
5.3.5	真值表	147
5.4	组合逻辑设计	152
5.4.1	引言	152
5.4.2	与非逻辑和或非逻辑	161
5.4.3	卡诺图	162
5.4.4	无关项	167
5.5	时序逻辑设计	167
5.5.1	引言	167
5.5.2	电平敏感锁存器和边沿触发的触发器	170
5.5.3	D 锁存器和 D 型触发器	170
5.5.4	计数器设计	174
5.5.5	状态机设计	186
5.5.6	摩尔机和米利机的比较	193
5.5.7	移位寄存器	195
5.5.8	数字扫描路径	195
5.6	存储器	197
5.6.1	引言	197
5.6.2	随机存取存储器 RAM	198
5.6.3	只读存储器 ROM	199
	参考文献	200
	习题	201
第 6 章	VHDL 数字逻辑设计介绍	204
6.1	引言	204
6.2	基于 HDL 的设计	204
6.3	设计输入方法	207
6.3.1	引言	207
6.3.2	原理图输入	207
6.3.3	HDL 设计输入	209
6.4	逻辑综合	209
6.5	实体、结构体、包以及配置	211
6.5.1	引言	211
6.5.2	与门 (AND Gate) 例子	211

6.5.3	代码注释	217
6.6	第一个设计	218
6.6.1	引言	218
6.6.2	数据流描述例子	219
6.6.3	行为描述例子	220
6.6.4	结构化描述例子	222
6.7	信号与变量	226
6.7.1	引言	226
6.7.2	例子: 带中间信号的结构体	228
6.7.3	例子: 带内部变量的结构体	230
6.8	类属	231
6.9	保留字	235
6.10	数据类型	236
6.11	并发语句与顺序语句	237
6.12	循环和程序控制	238
6.13	VHDL 的编码风格	239
6.14	组合逻辑设计	240
6.14.1	引言	240
6.14.2	复杂逻辑门	240
6.14.3	一位半加器	241
6.14.4	4 选 1 多路器	243
6.14.5	温度计 - 二进制编码器	248
6.14.6	7 段显示驱动	249
6.14.7	三态缓冲器	256
6.15	时序逻辑设计	260
6.15.1	引言	260
6.15.2	锁存器与触发器	261
6.15.3	计数器设计	265
6.15.4	状态机设计	269
6.16	存储器	278
6.16.1	介绍	278
6.16.2	随机存储器	278
6.16.3	只读存储器	280
6.17	无符号运算与有符号运算	282
6.17.1	引言	282
6.17.2	加法器示例	283
6.17.3	乘法器示例	285
6.18	设计验证: VHDL 测试平台	289
6.19	文件 I/O 式测试平台开发	291
	参考文献	300
	习题	301

第 7 章 数字信号处理导论	303
7.1 引言	303
7.2 Z 变换	317
7.3 数字控制	326
7.4 数字滤波	336
7.4.1 引言	336
7.4.2 无限冲激响应滤波器	341
7.4.3 有限冲激响应滤波器	342
参考文献	343
习题	343
第 8 章 数字逻辑与现实世界的接口: A/D 转换、D/A 转换和电力电子技术	345
8.1 引言	345
8.2 数模转换	349
8.2.1 概述	349
8.2.2 DAC 特性	351
8.2.3 DAC 类型	355
8.2.4 DAC 控制例子	358
8.3 模数转换	362
8.3.1 引言	362
8.3.2 ADC 特性	364
8.3.3 ADC 的类型	366
8.3.4 信号混叠	370
8.4 电力电子器件	371
8.4.1 概述	371
8.4.2 二极管	372
8.4.3 功率晶体管	374
8.4.4 晶闸管	380
8.4.5 栅极可关断晶闸管	387
8.4.6 非对称晶闸管	387
8.4.7 双向晶闸管	388
8.5 散热和散热器	389
8.6 运算放大器电路	391
参考文献	392
习题	393
第 9 章 电子系统测试	394
9.1 引言	394
9.2 集成电路测试	397
9.2.1 引言	397
9.2.2 数字集成电路测试	399
9.2.3 模拟集成电路测试	402

9.2.4 模数混合集成电路测试	404
9.3 印制电路板测试	405
9.4 边界扫描测试	406
9.5 软件测试	410
参考文献	411
习题	412
第 10 章 系统级设计	413
10.1 引言	413
10.2 电子系统级设计	417
10.3 案例分析 1: 直流电机控制	421
10.3.1 引言	421
10.3.2 电机控制系统概述	421
10.3.3 MATLAB/Simulink 模型创建和仿真	423
10.3.4 将设计转换为 VHDL	425
10.3.5 结语	438
10.4 案例分析 2: 数字滤波器设计	439
10.4.1 引言	439
10.4.2 滤波器概述	441
10.4.3 MATLAB/Simulink 模型创建和仿真	441
10.4.4 设计转化为 VHDL	442
10.4.5 结语	449
10.5 自动转换	449
10.6 未来发展方向	450
参考文献	450
习题	451
其他参考文献	452
书籍	452
期刊、会议、会议论文	454
互联网资源	455
器件手册	456
标准	456
其他	457
术语表	458