

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

数字设计

——原理与实践

(第四版 影印版)

DIGITAL DESIGN
Principles and Practices

(Fourth Edition)

■ John F. Wakerly



高等教育出版社
Higher Education Press

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

数字设计

——原理与实践

(第四版 影印版)

DIGITAL DESIGN

Principles and Practices

(Fourth Edition)

■ John F. Wakerly



高等教育出版社
Higher Education Press

图字: 01-2007-0898 号

Digital Design: Principles and Practices, Fourth Edition

John F. Wakerly

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

Original edition, entitled DIGITAL DESIGN: PRINCIPLES AND PRACTICES, 4th Edition, 0131863894 by WAKERLY, JOHN F., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2006

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

China edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and HIGHER EDUCATION PRESS Copyright © 2007

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Regions of Hong Kong and Macau).

原版 ISBN: 0-13-186389-4

For sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

仅限于中华人民共和国境内(但不允许在中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售发行。

图书在版编目(CIP)数据

数字设计: 原理与实践 = Digital Design: Principles and Practices: 第4版: 英文/(美)韦克利(Wakerly, J. F.)著.
—影印本.—北京: 高等教育出版社, 2007.4
ISBN 978-7-04-021379-9

I. 数... II. 韦... III. 数字电路—电路设计—英文 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 036155 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 58.75
字 数 1 200 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 4 月第 1 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷
定 价 68.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21379-00

序

20 世纪末, 以计算机和通信技术为代表的信息科学和技术对世界经济、科技、军事、教育和文化等产生了深刻影响。信息科学技术的迅速普及和应用, 带动了世界范围信息产业的蓬勃发展, 为许多国家带来了丰厚的回报。

进入 21 世纪, 尤其随着我国加入 WTO, 信息产业的国际竞争将更加激烈。我国信息产业虽然在 20 世纪末取得了迅猛发展, 但与发达国家相比, 甚至与印度、爱尔兰等国家相比, 还有很大差距。国家信息化的发展速度和信息产业的国际竞争能力, 最终都将取决于信息科学技术人才的质量和数量。引进国外信息科学和技术优秀教材, 在有条件的学校推动开展英语授课或双语教学, 是教育部为加快培养大批高质量的信息技术人才采取的一项重要举措。

为此, 教育部要求由高等教育出版社首先开展信息科学和技术教材的引进试点工作。同时提出了两点要求, 一是要高水平, 二是要低价格。在高等教育出版社和信息科学技术引进教材专家组的努力下, 经过比较短的时间, 第一批引进的 20 多种教材已经陆续出版。这套教材出版后受到了广泛的好评, 其中有不少是世界信息科学技术领域著名专家、教授的经典之作和反映信息科学技术最新进展的优秀作品, 代表了目前世界信息科学技术教育的一流水平, 而且价格也是最优惠的, 与国内同类自编教材相当。

这项教材引进工作是在教育部高等教育司和高等教育出版社的共同组织下, 由国内信息科学技术领域的专家、教授广泛参与, 在对大量国外教材进行多次遴选的基础上, 参考了国内和国外著名大学相关专业的课程设置进行系统引进的。其中, John Wiley 公司出版的贝尔实验室信息科学研究中心副总裁 Silberschatz 教授的经典著作《操作系统概念》, 是我们经过反复谈判, 做了很多努力才得以引进的。William Stallings 先生曾编写了在美国深受欢迎的信息科学技术系列教材, 其中有多种教材获得过美国教材和学术著作者协会颁发的计算机科学与工程教材奖, 这批引进教材中就有他的两本著作。留美中国学者 Jiawei Han 先生的《数据挖掘》是该领域中具有里程碑意义的著作。由达特茅斯学院 Thomas Cormen 和麻省理工学院、哥伦比亚大学的几位学者共同编著的经典著作《算法导论》, 在经历了 11 年的锤炼之后于 2001 年出版了第二版。目前任教于美国 Massachusetts 大学的 James Kurose 教授, 曾在美国三所高校先后 10 次获得杰出教师或杰出教学奖, 由他主编的《计算机网络》出版后, 以其体系新颖、内容先进而备受欢迎。在努力降低引进教材售价方面, 高等教育出版社做了大量和细致的工作。这套引进的教材体现了权威性、系统性、先进性和经济性等特点。

教育部也希望国内和国外的出版商积极参与此项工作, 共同促进中国信息技术教育和信息产业的发展。我们在与外商的谈判工作中, 不仅要坚定不移地引进国外最优秀的教材, 而且还要千方百计地将版权转让费降下来, 要让引进教材的价格与国内自编教材相当, 让广大教师和学生负担得起。中国的教育市场巨大, 外国出版公司和国内出版社要通过扩大发行数量取得效益。

在引进教材的同时,我们还应做好消化吸收,注意学习国外先进的教学思想和教学方法,提高自编教材的水平,使我们的教学和教材在内容体系上,在理论与实践的结合上,在培养学生的动手能力上能有较大的突破和创新。

目前,教育部正在全国 35 所高校推动示范性软件学院的建设和实施,这也是加快培养信息科学技术人才的重要举措之一。示范性软件学院要立足于培养具有国际竞争力的实用性软件人才,与国外知名高校或著名企业合作办学,以国内外著名 IT 企业为实践教学基地,聘请国内外知名教授和软件专家授课,还要率先使用引进教材开展教学。

我们希望通过这些举措,能在较短的时间,为我国培养一大批高质量的信息技术人才,提高我国软件人才的国际竞争力,促进我国信息产业的快速发展,加快推动国家信息化进程,进而带动整个国民经济的跨越式发展。

教育部高等教育司

二〇〇二年三月

To Joanne

前 言

这本书适用于所有那些想设计和实现真实数字电路的人。这本书的基本理念就是必须掌握基本原理。当然为了实现这一点，同时还需要了解事物在真实世界中是如何工作的。因此，本书的主题就是“原理与实践”。

在过去 30 年中，集成电路在速度和集成度方面取得了令人惊喜的发展，这直接导致数字设计实践也经历了巨大的转变。在过去，当数字设计者只需要用几千个或至多几万个门和触发器来构建系统时，当时的学术课程主要是强调芯片和板级资源的最小化和充分利用。

今天，单个芯片就可以集成几千万个晶体管，同时可以被编程实现一个单片上的系统。如果利用过去的技术，则需要数百个集成百万个独立门和触发器的分立芯片。如今，成功的产品开发更多地受限于设计团队正确、详细地说明产品的具体功能的能力，而不再是那种把所有需要的电路堆积于单个板或单个芯片上的能力。因此，一个现代的学术项目必须侧重于设计方法和包括硬件描述语言 HDL 在内的软件工具，从而使设计者们能够实现大规模、层次化的设计。

一方面，利用硬件描述语言，可以看到典型设计的抽象层次越来越高，已经远远超越独立门和触发器的层次。但另一方面，数字电路在芯片和板级的速度和集成度方面的增加，迫使很多数字设计者也必须能够胜任在一个较低的电路层次进行设计。

一个最称职的并不断取得成功的数字设计者必然精通或至少熟悉这两个层次的抽象。本书就使读者能够有机会同时学习高层设计（HDL）和低层设计（电子电路）的基本知识，并通晓大量的中间设计，如门、触发器和其他一些层次较高的数字设计模块。

目标读者

入门课程

本书中的内容特别适合作为电子或计算机工程或计算机科学等专业的入门课程。

电子学概念

那些不熟悉基本的电子概念或对数字器件的电气特性不感兴趣的计算机科学专业的学生可以直接跳过第 3 章。本书的其余部分与第 3 章已经尽可能地做到没有多少关联。另一方面，任何一个已经具有了一定的电子学基础的人想在数字电子学上有所作为，是可以通过学习第 3 章内容实现的。此外，即使那些没有电子学背景知识的学生，如果了解这些基础知识，也可以通过阅读 [DDPPonline](#) 上的 20 页 [Section Elec](#) 电子资料获得。

DDPPonline

(DDPPonline 是本书的网络补充资料的简写，后面将对此有更详细的介绍。)

尽管本书中的内容主要是介绍性的，但它包含了远远超过一门普通入门课的材料。自笔者开始撰写这本书，就觉得有太多重要的东西要讲出来，这可能不适合斯坦福大学的一季度课程或者被一本 400 页的书所容纳。因此，遵循我的一贯做法，就是把觉得相对比较重要的内容都写出来，然后由教师或读者来决定在某种特殊环境中哪些才是最重要的。

可选部分

当然，为了有助于教师或读者做出这些决定，我已经用星号 (*) 标注出了可选章节。通常，跳过这些章节并不会影响随后的必选章节的连贯性。在 DDPPonline 上可以找到更多的可选资料。

高级课程、实验课程、感兴趣的内容

毫无疑问，一些人将把这本书用到一些高级课程和实验课程中。一些高水平的学生可以跳过基本部分，直接学习那些他们感兴趣的内容。一旦你已经了解本书的基础知识，那么本书中的最重要和最有趣的部分就在于介绍 ABEL、VHDL 和 Verilog 等硬件描述语言的章节。在那里，你会发现那些程序设计课程确实会帮助你进行硬件设计。

在职的数字设计者

本书的另一个用处是作为在职的数字设计者的自学参考书。他们可能是以下两类人之一。

初学者 如果你刚刚开始成为一名在职的数字设计师，并且在学校时只学过一门非常“理论”的逻辑设计课程，你应该主要学习第 3 章、第 5 章中的一种硬件描述语言、7.11 节到 7.13 节等部分以及第 6 章、第 8 章、第 9 章等为真实世界准备的章节。

有经验的设计者 如果你已经很有经验，那么可能不需要本书中所有“实践”部分的材料，但是第 2 章、第 4 章和第 7 章的原理有助于理清思路，讨论哪些是重要的，哪些是不重要的。这样即使你在过去 10 年中没有用过卡诺图，也不会感到内疚。第 6 章和第 8 章中的实例可以使你对各种设计方法有更多的了解。最后，从第 5 章到第 8 章中的有关 ABEL、VHDL 和 Verilog 语言的描述和例子都会成为你采用硬件描述语言进行设计时的第一手有条理的入门资料。

记在页边的注释和双关语

所有的读者都应该充分利用详尽的索引和贯穿全书的页边注释。它们会提醒你关注一些定义和重要主题。可能在这一部分中突出的主题只是记在页边的说明，不是很重要，但是我想给出的是本书中的文字风格。

对评论家和其他人讲几句话

在过去这些年中，曾有计算机科学专业的学生和某些人写评论抱怨本书以前的版本中覆盖的一些内容及其表达方式。对于这一版本，只能抱歉我已经无法做到更好。但是对于主题的选择以及我强调的重要部分，确实都是我希望所有想成为数字设计工作者的人需要了解的内容。因为我雇用过很多数字设计者，所以你不应该抱怨，除非你阅读本书的目的不是为了拥有和保持一份工作。

我不是轻视计算机科学专业的学生或者计算机科学。我喜欢计算机科学，我自己也有很多计算机科学的教育背景和经验。我可以分析算法、理解编译器和操作系统的内部工作原理，以及用 LISP 和多种优秀的语言编写代码。但是现在，我从数字设计经理处听到的最多的抱怨就是新毕业的学生知道如何用 Verilog 或者 VHDL 编写代码，但是却对如何实现好的硬件结构，或者甚至什么才是“好的”的标准一无所知。

数字设计不仅仅是编写 HDL 代码，至少不完全是。一个芯片设计经理告诉我，他在面试一个自称知道如何基于硬件描述语言进行硬件设计的求职者时，提问的第一个问题是“16 位计数器包含多少个触发器？”。这个问题甚至不需要技巧，但是令人惊异的是有很多求职者回答不出来！

所以，如果你使用本书的目的仅仅是为了满足一个 CS 或者其他学位的要求，那么我首先抱歉的是你可能会觉得本书很复杂、眼花缭乱、太正规、太枯燥或者充满太多的技术性语言，或者你认为那些被包含的软件都需要很高的技巧。所有这些都是 CS 或者其他非 EE/CE 专业的评论者对以前版本的真实解释！

另一方面，如果你想有一天成为一个数字设计师，可以工作在从电路级到系统级的各个层次上，那么就请你尽最大的努力学习本书中所有非可选的内容，包括 Verilog 或 VHDL。它不应该很难，这是因为很多喜欢以前版本的评论者对这些内容的评价都是：精确、合理、清晰、易于理解、深入浅出、实用、完整、很好、很精彩、富有幽默感和有点傻（我赞同）或者过时（也许就像现在）。顺便说一句，甚至有一个 CS 评论者说：“我喜欢这本书”。

并没有它看起来那么长

有些评论者抱怨本书以前的版本篇幅太长。目前的这个版本短一些，但是如果再加入 DDPPonline 上的内容，实际上还是有点长。（以前版本的页码数可以用 19 bit 表示，目前的这个版本加上 DDPPonline 的内容则大概需要 11 bit 位数表示。）但是，请记住：

- 你不必阅读所有的内容。对于很多读者来说，可选章节的标题都已经用星号标出了。
- 你不必学习所有的硬件描述语言。硬件描述语言部分所包含的内容是彼此独立的，其他部分和硬件描述语言部分也是彼此独立的。因此，你完全可以忽略一种或者全部的硬件描述语言。但是，我建议读者还是要学习 Verilog 或者 VHDL。

- 我要求出版商采用较大的 11 点字号来印刷这本书，而不是采用传统的 10 点字体。这样对你们和我的视力有益。这样也可以使我加入更多的图形和表格，并使图表保持与参考文献一致的大小。（我自己完成了页面版式设计，并特别注意了图表的插入。）
- 这种写在方框中的内容（也称作工具条）通常也是可选择的。

章节介绍

接下来对本书的 9 章作一个简单的介绍。这样可能会使你想起典型的软件指南中的部分内容，“为那些讨厌读手册的人”。如果你读了这些介绍，就可能不再需要阅读书中的其他部分。

第 1 章给出了本书中的一些基本定义和基础规则，无论它们是否重要。

第 2 章介绍了二进制数制系统和编码。即使一些读者已经通过某软件课程了解了有关二进制数制系统的内容，他们也应该继续学习 2.10 至 2.13 等节中的内容，进而了解硬件是如何应用二进制编码。高水平学生还可以通过学习 2.14 节和 2.15 节中的内容，掌握有关检错码的知识。此外，所有人都应该学习 2.16.1 节中的内容，其中介绍的知识在很多现代系统中都会用到。

第 3 章描述了数字电路的操作，重点描述了逻辑器件的外部电气特性。首先介绍最基本的电子知识，包括电压、电流和欧姆定律等；对这些内容不是很熟悉的那些读者可以参考 [DDPPonline](#) 中的 [Section Elec](#) 部分。而那些对如何设计实际电路不感兴趣、或者不需要做这些工作的读者完全可以忽略本章的内容。

第 4 章讲解了组合逻辑的设计原理，包括开关代数与组合电路分析、综合和最小化。

第 5 章给出了基于硬件描述语言的设计的基本介绍，接下来提供了三种基本硬件描述语言 ABEL、VHDL 和 Verilog 的学习指导。读者只需要根据你工作所在的数字设计实验室的实际需求选择学习一种硬件描述语言即可。

第 6 章首先讨论了数字系统的文档标准，这通常是开始真正的电路设计时最重要的部分。随后本章介绍了可编程逻辑器件（PLD），主要是介绍利用 PLD 实现组合逻辑功能的能力。本章的其余部分则介绍了一些常用的组合逻辑功能和应用。对于每一种逻辑功能、本章都介绍了标准的 MSI 功能模块，PLD 实现的 ABEL 程序，以及基于 VHDL 或者 Verilog 的设计实现。

第 7 章讲述的是时序逻辑设计原理，从介绍锁存器和触发器开始。本章的重点在于介绍钟控同步状态机的分析和设计。然而，对于那些想多了解时序电路的读者，本章还包括了基本模式电路的介绍和反馈时序电路的分析与设计。本章最后部分介绍的是时序电路设计中的 ABEL、VHDL 或者 Verilog 的实现特征和编码风格。

第 8 章的内容是介绍同步时序电路的设计实践。本章重点讲述一些常用的功能，给出了采用 MSI 模块、ABEL 和 PLD、VHDL 以及 Verilog 实现的设计实例。8.8 节和 8.9 节讨论了在完全同步电路设计中会出现的一些不可避免的障碍，并讨论了在一个非同步世界中如何实现同步设计。

第9章介绍了存储器件、CPLD和FPGA的有关知识。在存储器部分，本章从内部电路结构和功能行为两方面介绍了只读存储器ROM、静态读写存储器和动态读写存储器。本章的最后用两节分别介绍了CPLD和FPGA的体系结构。

本书的大部分章节都包括了参考文献、练习题和习题。练习题通常是简答题或者判断题，可以根据章节中的文字内容直接解答，而习题则需要更多的思考和判断。第3章精心设计的练习题内容非常广泛，即使非EE专业的学生也能容易解答出来。

本书涉及的很多资料，包括从第三版中删除的部分，都可以在 DDPPonline 中得到。后面我们将会对此有简短的介绍。

数字设计软件工具

在本书的国内版本和部分国际版本中，有两家先进的数字设计软件工具供应商允许我们把他们的数字设计软件工具打包到CD-ROM中。

一家是Xilinx公司 (www.xilinx.com)。它提供了该公司的ISE（集成软件环境）的学生版本（版本6.3或更新）。这个工具包包括了ABEL编译器、VHDL和Verilog语言处理器、电路图绘制包，以及一个用于实现基于HDL设计的Xilinx CPLD和FPGA的适配器。但是，这个工具包中不包括仿真器。

另一家工具供应商是Aldec (www.aldec.com)。它提供的是通用Active-HDL™工具集的学生版（6.3版或更高）。这个工具包包括VHDL和Verilog语言处理器、仿真器和波形浏览器，使设计者可以验证他们的基于HDL的设计。

作为作者，这些工具对我来说是非常有用的。利用这些工具，我能够写出并验证本书中提出的各种实例程序。我认为，这些工具对于学习本书的学生而言会更加有用。这些工具可以使设计者写出并验证自己的硬件设计，并可以在数字实验室环境中把这些设计下载到Xilinx公司的CPLD和FPGA中。

尽管没有被包含在本书中，但是Lattice半导体公司的ispLEVER工具包也是一些大学经常采用的一套很好的工具。这套工具包括基于ABEL、VHDL和Verilog实现简单PLD设计的基本工具，以及支持Xilinx和Aldec组合中的仿真器。

即使你不准备开始自己的设计，也可以用所包含的Xilinx和Aldec工具验证和修改本书提到的所有例子。所有实例的源代码都可以在本书的网站上获得，我们将在下面讨论。

www.ddpp.com、OneKey与 DDPPonline

有关本书中的大量支持性材料都可以在网上获得。这包括部分习题答案、最新的勘误表等免

费资料，以及补遗部分、附加习题和答案等受保护资料。任何人都可以在本书的相关网站 www.ddpp.com 上得到那些免费资料。

对于受保护资料，注册用户可以通过 Prentice Hall 提供给教师和学生的新的独享网上资源 www.prenhall.com/OneKey 得到。每一新版本的《数字设计——原理与实践》都包含一个唯一的 OneKey 访问码。对于购买旧书的学生需要单独购买访问码。为了获得和利用你的选取码，请严格遵循书中用收缩性薄膜保存的或者在 OneKey 购买时得到的使用说明。

纵观本书，我们用 DDPPonline 作为出版商的 OneKey 网站的别名。你必须用你的访问码在这个网站注册，并每次都用访问码登录网站。如果你觉得 URL www.prenhall.com/OneKey 很难记住，也可以通过 www.ddpp.com 上的链接或者直接在 www.DDPPonline.com 上访问 OneKey。

至于其他资料，DDPPonline 向学生提供以下资源：

- 超过 300 页的附加资料和设计实例，分成大约 24 个部分，每部分约 30 页。其中的一些部分还包括了附加习题。
- 如果你的指导教师也订阅了 OneKey，就可以得到附加习题答案。教师会选择提供给你哪些附加的答案。请理解我并没有提供所有习题的答案，所以如果你的指导教师也无法提供某些答案，请不要责怪他们。
- 本书和附加资料中提到的所有 C、ABEL、VHDL 和 Verilog 程序的源代码文件。

在 2005 年秋季本书出版时，DDPPonline 网站包括以下补充部分（名称和主题）：

ABEL	各种各样的 ABEL 主题
BiPLD	双极型 PLD
BJT	双极晶体管
CAD	计算机辅助设计工具
Cntr	计数器设计主题
Dec	译码器设计主题
DFT	可测性设计
Diode	二极管和二极管逻辑
ECL	发射极耦合逻辑
Elec	电子电路回顾（Bruce M. Fleischer 提供）
Enc	解码器设计主题
IEEE	IEEE 标准符号
JKSM	用 $J-K$ 触发器实现的状态机的分析与综合
Min	组合最小化中的其他主题
Mux	乘法器设计主题
Pin	SSI、MSI、PLD 和 ROM/RAM 的引脚
Pmin	编程实现的组合最小化主题
Rel	可靠性估计

Sreg	移位寄存器设计主题
TTL	有关 TTL 逻辑的其他主题
XCabl	用 ABEL 实现组合逻辑设计实例
XCbb	用 MSI 模块实现组合逻辑设计实例
XCver	用 Verilog 实现组合逻辑设计实例
XCvhd	用 VHDL 实现组合逻辑设计实例
XPLD	X 系列 PLD
XSabl	用 ABEL 实现时序逻辑设计实例
XSbb	用 MSI 模块实现时序逻辑设计实例
XSabl	用 Verilog 实现时序逻辑设计实例
XSabl	用 VHDL 实现时序逻辑设计实例
Zo	传输线和反射

纵观全书，我们用下划线、彩色标题或者增加子标题（如 Dec.1）来表示上述材料。

致指导教师

在 DDPPonline 上有仅针对指导教师的附加材料。注册教师可以通过 OneKey 系统得到这些材料。如果想要在 OneKey 注册或者了解有关 OneKey 的更多信息，请访问网址 www.prenhall.com/OneKey 或者联系 Prentice Hall 业务代表。

针对指导教师的网址中包括本书中所有的图形和表格文件。可以利用这些文件直接制作演示文稿，或者把这些文件直接加入你熟悉的演示文稿中。

这个网站中还包括了本书几乎一半以上习题的答案，如果打印出来，估计会超过 200 页。利用 OneKey 课程管理系统，可以选择这些答案中的一部分做成子集，开放给在 OneKey 系统注册的学生。注意：在 www.ddpp.com 上，学生不利用 OneKey 也可以得到部分习题答案（主要是第三版的学生答案）。这个网站可以告诉你哪些习题答案已经公开，并且还包括第三版到第四版习题的对照。

向指导教师提供的其他资料还包括 Xilinx 大学计划 (www.xilinx.com/univ) 和 Aldec 教育计划 (www.aldec.com/education/university)。Xilinx 公司网站提供了很多产品资料、课程资料和数字设计实验课程所需要的相关芯片和板卡的折扣。Aldec 网站可以提供 Aldec 的软件包和第三方兼容工具和模型系统。

在 www.prenhall.com/wakerlyinfo 中，可以得到出版商提供的有关本书的市场信息、相关资源以及最近的订购信息。

错误

警告：本书可能包含一些错误。作者和出版商假定不承担由于错误所引起的任何偶然的、智力的或者其他伤害。

上述声明可能会使律师高兴。现在，我们向读者保证，在本书的准备过程中，我们万分小心，尽可能避免出错。我希望能够找出书中可能存在的剩余的错误，从而在未来的印刷版本或者其他书中得到修正。因此，无论是技术上、印刷上或者其他方面的，对于第一个发现错误的人都可以通过 PayPal 得到 5 美元。同时我也希望能够找出网上提供的资料中存在的错误，但是我不会对此付费。如有任何意见或者建议请通过 www.ddpp.com 上的链接发送电子邮件。

在 www.ddpp.com 上同样给出了错误最新列表的链接。

致谢

在很多人的帮助下我才完成这本书。其中的很多人在前面三版中就已经提供了很多帮助，我也已经表示了感谢。第四版的准备工作是一项寂寞的任务，但是在我的朋友、Cisco 公司的 Prem Jain 和 Mike Volpi 的帮助下，这项任务变得容易了许多。他们和 Cisco 公司把我在 Cisco 公司的工作削减了一半以上，使我有可能在十个月内完成此修订版。

对于本书“原理”方面的一些概念，要十分感谢我的老师、研究顾问和朋友 Ed McCluskey。而在“实践”方面，“Digital Designers Hall of Fame”的主要成员之一 Dave Raaum 检查了新的 Verilog 资料，提出了很多建议。

自从本书的第三版出版后，我收到了很多读者提出的有益的意见。除了建议和其他有促进意义的改进外，读者还指出了很多印刷或者技术上的错误，这些都在第四版中得到了改正。

感谢 Prentice Hall 的责任编辑 Tom Robbins 在过去几年中对本项目的支持。他是第三个或者第四个在完成了我的某一个书籍项目后更换工作的编辑，使我常常怀疑和我工作是否不可避免地会导致精疲力竭或者成功，或者二者兼具。特别感谢 Tom 的老板 Marcia Horton，在 Tom 离开后是她接手了这项工作，她做了很多惊人的工作，才使本书最终成功！

文字编辑和校对 Jennie Kaufman 在保持全书一致性和查找印刷错误方面做了很好的工作，其中很多错误在第二版或者第三版中都被我忽略了。制作编辑 Scott Disanno 在书籍生产过程和激励我在最后阶段快速做出反应之间提供了顺畅的平台。

感谢艺术家 Ken Bakeman，在很多年前我用 Google 搜索“wakerly”时就发现了他的作品。他独创的全电子的“画”出现在原著封底，原著封面是根据封底做出的修改。原著封面和封底以及每章开始都出现的圆形基于一个麦田里的怪圈，据说是 2001 年 6 月在英格兰北安普敦郡的

Barrowden 附近的 Wakerly Woods 附近发现的。现在“Wakerly Woods”被误写为“Wakerley Woods”。我过去住在 Waverley 街，人们也经常有拼写的错误。无论如何，Ken 同意提供他的作品作为本书原版的封面，我对此非常感谢。

在前言的最后，我照例要感谢我的妻子 Kate。在本书编写或者修改的艰难过程中，她一直支持我。令人遗憾的是，在经过 7 本书的写作过程以及 34 年的婚姻后，Kate 在与乳腺癌进行长期斗争后于 2004 年初去世了。因此，在开始时我说本版书的准备工作是一个寂寞的任务并没有夸大其词。尽管如此，对于我和我们的孩子，以及我们全家、所有的朋友和团体来说，Kate 永远在我们心中。

叹息。如他人所说，生命还在继续。最后的感谢送给我所有的新老朋友、合作作者，以及我的未婚妻 Joanne Jacobs。在此次出版过程中，她给予了很多的支持和鼓励。

John F. Wakerly
Oakbrook Terrace, Illinois

PREFACE

This book is for everyone who wants to design and build real digital circuits. It is based on the idea that, in order to do this, you have to grasp the fundamentals, but at the same time you need to understand how things work in the real world. Hence, the “principles and practices” theme.

The practice of digital design has undergone a major transformation during the past 30 years, a direct result of the stunning increases in integrated-circuit speed and density over the same time period. In the past, when digital designers were building systems with thousands or at most tens of thousands of gates and flip-flops, academic courses emphasized minimization and efficient use of chip and board-level resources.

Today, a single chip can contain tens of millions of transistors and can be programmed to create a system-on-a-chip that, using the technology of the past, would have required hundreds of discrete chips containing millions of individual gates and flip-flops. Successful product development nowadays is limited more by the design team’s ability to correctly and completely specify the product’s detailed functions, than by the team’s ability to cram all the needed circuits into a single board or chip. Thus, a modern academic program must necessarily emphasize design methodologies and software tools, including hardware description languages (HDLs), that allow very large, hierarchical designs to be accomplished by teams of designers.

On one hand, with HDLs, we see the level of abstraction for typical designs moving higher, above the level of individual gates and flip-flops. But at the same time, the increased speed and density of digital circuits at both the chip and board level is forcing many digital designers to be more competent at a lower, electrical circuit level.

The most employable and ultimately successful digital designers are skilled, or at least conversant, at both levels of abstraction. This book gives you

the opportunity to learn the basics at the high level (HDLs), at the low level (electrical circuits), and throughout the “vast middle” (gates, flip-flops, and somewhat higher-level digital-design building blocks).

Target Audience

introductory courses

electronics concepts

DDPPonline

The material in this book is appropriate for introductory courses on digital logic design in electrical or computer engineering or computer science curricula. Computer science students who are unfamiliar with basic electronics concepts or who just aren't interested in the electrical behavior of digital devices may wish to skip Chapter 3; the rest of the book is written to be independent of this material as much as possible. On the other hand, *anyone* with a basic electronics background who wants to get up to speed on digital electronics can do so by reading Chapter 3. In addition, students with *no* electronics background can get the basics by reading a 20-page electronics tutorial, [Section Elec](#) at [DDPPonline](#) ([DDPPonline](#) is my shorthand for this book's web-based supplemental material; more about this later).

optional sections

*advanced courses
laboratory courses
fun stuff*

*working digital
designers*

Although this book's level is introductory, it contains much more material than can be taught in a typical introductory course. Once I started writing, I found that I had many important things to say that wouldn't fit into a one-quarter course at Stanford or in a 400-page book. Therefore, I have followed my usual practice of including *everything* that I think is at least moderately important, and leaving it up to the instructor or reader to decide what is most important in a particular environment. To help these decisions along, though, I've marked the headings of *optional sections* with an asterisk. In general, these sections can be skipped without any loss of continuity in the non-optional sections that follow. Even more optional material can be found at [DDPPonline](#).

Undoubtedly, some people will use this book in advanced courses and in laboratory courses. Advanced students will want to skip the basics and get right into the fun stuff. Once you know the basics, the most important and fun stuff in this book is in the sections on hardware description languages ABEL, VHDL, and Verilog, where you'll discover that your programming courses actually helped prepare you to design hardware.

Another use of this book is as a self-study reference for a working digital designer, who may be one of either of two kinds:

Novice If you're just getting started as a working digital designer, and you took a very “theoretical” logic design course in school, you should concentrate on Chapter 3, one of the HDLs in Chapter 5 and Sections 7.11–7.13, and Chapters 6, 8, and 9 to get prepared for the real world.

Old pro If you're experienced, you may not need all of the “practices” material in this book, but the principles in Chapters 2, 4, and 7 can help you organize your thinking, and the discussions there of what's important