



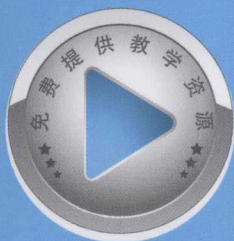
普通高等教育“十二五”规划教材

Fundamentals of Digital Electronics

潘松 陈龙 黄继业 编著

数字电子技术基础

(第二版)



- 讲技术，授技能，求职就业的帮手
- 布情境，述过程，教学改革的高手
- 举示例，重实践，能力培养的强手



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术基础

(第二版)

潘 松 陈 龙 黄继业 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作为本科数字电子技术的教科书,本教材借鉴了目前国外知名高校同类教材的选材和教学理念,将传统的手工数字技术作为通向现代数字技术的桥梁,在总体上不减少传统和现代数字技术基本内容,且保证教学成效的前提下,最大限度地降低对前期基础知识的依赖,循序渐进地推出该课程所有必须讲授的内容,从而打破教学模式的局限。将目标定位于使学生在数字电子技术的基础理论、实践能力和创新精神三方面有明显的进步。教材将引导学习者基于现代数字技术理论,在全新的软硬件平台上实践已学到的数字技术基础知识,有效提高面向现代数字技术的工程能力,以高起点适应相关后续课程的要求。教材还给出了大量自主设计型实验项目。

相比于同类型的传统教材,本教材的特色突出表现在以下三方面:将传统和现代的教学内容和教学方法有机融为一体;能毫无障碍地在低年级进行教学(如在本科第一学期);强调并着力培养学生的自主创新能力。

为了方便授课和实践指导,将同时推出与本书各章节内容完全对应的CAI教学课件。

本书可作为本科或高职院校电子工程、通信、工业自动化、计算机应用技术、仪器仪表等专业的专业基础教材,或作为相关专业技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/潘松,陈龙,黄继业编著.—2版.—北京:科学出版社,2014

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-041639-1

I. ①数… II. ①潘…②陈…③黄… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第187067号

责任编辑:赵卫江/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:曹来

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

2008年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年8月第 二 版 印张:20 3/4

2014年8月第一次印刷 字数:471 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138017 (HI01)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前言

近半个世纪以来,电子技术的发展速度是遵循着指数规律的,这对摩尔定律做了最好的诠释。这里的电子技术应该是指半导体集成电路技术,而最能印证摩尔定律的则应属数字电子技术。《实用数字电子技术》的作者 N. P. Cook 认为,第二次世界大战以来,电子学对现代世界的发展所做的贡献超过了所有其他学科。电子工业已超过了汽车和石油工业成为世界上最大的工业,而且此巨型工业的一个重要趋势是从模拟技术向数字技术的转化。数字技术将曾经毫不相干的领域融为一体,导致 90% 以上电子产品采用了数字技术,数字电子技术还将继续整合整个工业体系,促进人类在各个不同领域的进步。

显然数字电子技术的发展最能体现现代科技的进步,展示人类不可限量的创造力和无穷尽的创新追求!

随着数字电子技术的高速发展,40 年前未曾有过的大量学科纷纷出现在高等学校的课堂中,如 DSP 技术、SOC 设计、EDA 技术、数字通信、嵌入式系统、硬件描述语言、面向用户的微电子技术、软件无线电等。这其中许多被列为当今的核心科技学科,自主型科学技术的重心,引领着未来电子技术的发展方向,也预示着前景良好的就业取向。在这些领域的发展中,曾经的 TTL 器件的 5V 工作电压迈向了 0.6V 的芯核电压;曾经风靡全球的仅几兆赫(MHz)主频的 8088 CPU 已变身为跨入 10GHz 门槛的各类高速处理器;过去仅包含数个逻辑门的器件变成了现在特征尺寸达 45nm 的 SOC 系统;一度靠手工设计技术将 74 系列器件组合成“板上系统”的时代也早已脱胎为基于 EDA 技术实现的“片上系统”时代。所有这一切,把作为这一领域的专业基础课——“数字电子技术”的地位和重要性推到了前所未有的高度,同时也对这一课程的教学内容提出了极大的挑战!

然而,难以乐观的是目前国内多数高校该课程所对应的教材的基本内容和实验模式几乎仍停留在 40 年前,并仍以那个年代的手工数字设计技术为核心教学内容与考核内容。其不变的理由正如一位作者所说:虽然新器件、新方法不断涌现,但许多基本理论、基本器件和典型应用是永恒的;另一位作者甚至认为,只要没有走出硅片的范畴,电路的复杂程度和集成规模变化再大,其课程所讲的基本知识、基本理论和基本方法都不会变。

显然,这种认识是严重违背马克思自然辩证法思想基本原则的。

与经典物理学或数学根本不同,现代电子学教学内容的发展变化既是该学科的特点,也是适应技术进步和市场走向的自然选择,特别是数字电子技术更具强烈的时间性。谁又能说远古的钻木取火技术在当时相当长的一段时间内不是最“基本的”?美国 Stanford 大学的 J. F. Wakerly 在其《数字设计原理与实践》一书中说:“如何帮助学生去适应不可避免地要面临的变化,这才是最困难的。因为在这个领域的一般教科书都因摩尔定律而缩短了它的适用期。”

其实,在当今电子技术飞速发展的时代,即使经典原理也未必能幸免被抛弃的命运。美国 Star Bridge Systems 公司曾经采用 FPGA 及 Viva 语言开发出所谓 Hypercomputer 超

级电脑后，对此测试的美国国家航空航天局（NASA）的专家表示：“其运行速度无与伦比，这一产品的性能令人过目难忘。”美国 Xilinx 公司的 CEO Willem Roelandts 即认为：“由冯·诺依曼提出的电脑架构已经走到了尽头。”我们知道，当今计算机仍在沿用的经典构架之一是 50 多年前由匈牙利数学家冯·诺依曼（John von Neumann）提出的。

再看一个相隔 10 年（远非 40 年）的变化实例：1995 年第二届全国大学生电子设计竞赛和 2005 年的同一赛事中，出现了几乎相同的偏数字技术的赛题，即设计一个输出信号频率能等步长数控的正弦信号发生器。主要不同点为，前者指标是，输出信号上限频率是 20kHz；后者是 10MHz！显然，面对 2005 年的赛题，1995 年曾经成功的设计工具、设计技术、设计方案、系统结构、硬件实现、乃至部分设计理论都用不上了。这意味着 10 年前曾经是优秀的电子设计工程师，如果不随时代更新其知识，10 年后只能面临被淘汰的命运！

显然，脱离了科技进步和时代背景的“数字电子技术”是没有任何实际意义的！

然而遗憾的是，目前国内高校的数字电子技术基础课的绝大部分教材内容和教学模式仍然停留在 20 世纪 70 年代末。这一现状严重影响了应有的教学质量和就业竞争力。

一、目前教学内容、教学模式和教学目标存在的基本问题

1. 过于偏重理论教学而忽视实践能力的培养

暂且不提其“理论基础”是否存在许多值得商榷的内容，仅其学习模式和学时安排就有悖于此课程的基本性质——“技术基础”。调查表明大多数学校对此课程的学时安排是 64 学时授课、16 学时实验，而且以验证性实验为主。显然，实践要求被严重弱化，而且现有趋势表明，此课程已基本退化为依赖题海战术的普通基础课，诸如搞试题库、习题集、标准答案、联校统考等。殊不知这一切恰恰埋没了这门作为当今电子科技领域最富变化、最具活力、最贴近实践、最需创新能力的学科的鲜明特质，从而偏离了此课程真正的教学目标和教学要求。其结果是造就了大批只擅长纸面答题而畏惧动手实践的学习者，严重影响了后续课程的学习和求实创新精神的培养。事实上，作为一门面向技术的主干必修课，它既是许多重要后续课程的基础课，同时又理应成为培养学生尊重实践、勇于探索、积极创新等优良素质的启蒙学科。现代电子与计算机领域中拥有重大经济价值的自主创新项目多产生于数字电子技术领域。显然，数字电子技术的教学应该是呵护和激发创新精神的源头，这个领域不需要什么习题集，也永远没有标准答案，它提倡个性、鼓励想象、适应变革、崇尚实践！

2. 陈旧的教学内容

那些无法与现代数字技术接轨的陈旧教学内容，主要包括对传统组合电路和时序电路的分析与设计的纯手工技术，及数十年不变地围绕这一课程的核心教学内容，就如同一包

内容不变而生产日期不断被更新的过时食品。这种“食品”对应的现象是，所有这些似乎与教材的不断再版和更新无关，教材从不直白其内容实为仅适合于低速小规模数字电路设计的“手工数字技术”，也没有任何文字坦承将要传授给学生的不过是诞生于 20 世纪 60 年代、成熟于 70 年代、完全淘汰于 80 年代初的陈旧的内容。

这无疑会在读者中产生许多误导，例如会误将过时的手工技术、分析方法和设计流程当成现代数字技术基础知识去应用；如将逻辑化简误当作系统优化的目标去追求；或将逻辑功能手工分析方法误认为这就是现代数字系统的时序分析；甚至会将这些教材中仅适合于低速小规模条件下的数字知识当成一般数字技术误用到高速大规模逻辑设计中。

至于将 IEEE/ANSI 曾于 1984 年制定的，并很快在国际上不再使用的逻辑图形符号标准一直在我国教科书中作为“国家标准”推广至今，则是另一明证。其实这种早已过时的所谓国标符号，于 20 世纪 80 年代后期就被数字技术业界升级至 ANSI/IEEE 1991 标准 (Distinctive Shape Symbols)。其结果是，迫使已完成现在的数字电路课程学习的学生，不得不重新学习和熟悉 ANSI/IEEE 1991 标准的逻辑符号，才能面对实用的电子工程技术。

3. 脱离工程实际

目前多数数字电子技术教学脱离工程实际，甚至充斥着偏离工程实际的伪命题和伪技术。例如，当今的 TTL 74LS 系列器件原本可毫无问题地与 CMOS 器件相互接口，甚至 3.3V I/O 电平的器件也能可靠地接口 TTL 和 CMOS 器件，然而现有教材中无不推荐使用诸如要加上拉电阻、三极管电路或是插入专用驱动器件（如 40109）等多种所谓“接口技术”，来解决这些无中生有脱离实际的“电平不匹配”命题；或者介绍要用三个 CMOS 驱动一个 TTL 器件之类的夸张“技术”；再如对于毛刺脉冲的解决方案，工程上原本应该选择时序电路，然而有的教材却罗列了许多脱离实际甚至错误的方法，如改变逻辑结构的“冗余技术”、端口接电容的滤波技术等；更有甚者，有的教材单纯地介绍只要获得对应的反馈逻辑函数，就能通过控制通用逻辑器件的清零或置数端，构建成指定进制的计数器，却从不提及或讨论，以此类方法设计的逻辑系统在外部温度或电磁环境等因素发生变化时，控制逻辑信号是否会出现毛刺脉冲，从而提前启动清零或置数，例如，74LS161 理论上的十二进制计数设计很可能由于外部因素而变成八进制计数器！

4. 知识体系的结构性缺陷

传统教材知识体系的结构性缺陷主要表现在以下三个方面：

(1) 其知识体系不具备以此及彼的可推广性和一般性。例如无法将逻辑电路的分析方法应用到实际工程上；又如设计时序电路的经典五步骤其实只适用于简单电路（如模 7 计数器等）的设计，根本无法推广到更实用的诸如模 70、模 700 乃至模 7000 等多变量的同类计数器的设计，从而约束了学生的创造力。

(2) 仅罗列枝节性知识，没有将这些知识上升为一般性理论和实践依据。例如，罗列

了各种时序电路应用模块（如各类计数器），给出了诸如状态变量、状态图、状态表等重要概念，却始终没有迈上“一切同步时序电路都是状态机的特殊形式”的关键台阶。所导致的后果是，多数学习者除了仅能完成基于笔头的“书面实践”外，无法再向前多跨一步。

其实这种教学安排本身就违背了人类的基本认识规律。人类对自然的认识规律是从特殊到一般，再从一般回到特殊的过程；而人对自然的能动作用则体现在后一阶段。如果教学中只罗列各类计数器的类型和设计，却没有将其升华为更具一般意义的理论层次，即状态机及其应用方法（国外许多同类教材都介绍状态机的设计），无疑是舍本求末之举。

（3）缺乏前后呼应的一致性。尽管多数教材都安排了存储器、模/数、数/模等实用器件的介绍，但都仅仅限于对它们的结构和原理的介绍，却不介绍它们的实用方法，更没有相关的实验安排，导致与主干内容亦呈游离状态，使得本来以推介“技术”为目标的教科书沦为器件说明书。其原因只有一个，即疏漏了对状态机设计和应用等核心知识的介绍！

5. 技术理念落后

现有教材的核心内容始终是围绕着低速小规模电路的技术理念展开的。例如，甚至在最新版的权威教材中仍有这样的文字：“在数字系统中，常常需要用到一些脉冲信号的产生和变换电路”，“单稳态电路也是数字系统中常用的一种脉冲整形电路”。事实上，即使现代最小规模的数字系统设计中也不会包含任何脉冲信号变换或诸如单稳态类涉及阻容元件的电路，这是因为现代数字系统的普通工作频率都高达数十至数百兆赫，而涉及阻容元件模拟电路的脉冲变换或单稳态电路的频率通常无法超过 10^2 kHz 量级。一个如此低频率的电路怎么可能出现在现代数字系统中呢？殊不知现代数字系统与模拟电路已是两个分离的世界，它们被独立研究，单独设计，它们之间的联系只能是 A/D 和 D/A。

6. 教学目标定位过低

在长期延续下来的低速小规模理念的引导下，数字电路教学过低的教学目标定位是必然的。大多数教学情况除了满足于纯笔头的书面考核外，其动手能力的训练基本仍停留在几十年一贯制的基于 74 系列器件的译码器、计数器、抢答器或诸如交通灯控制、电子钟这类低层次简单设计上。这势必使学生以极低的起点和过窄的视野去面对大量与之联系紧密的重要的后续课程的学习。

相比于此领域的教学改革先行者的成就，其间的差距是巨大的。例如国内已有不少院校（包括我校多数院系）将数字电路课程放在本科第一或第二学期，实践训练的内容包括超过数万至数十万逻辑门规模的数字系统自主设计训练，不少受益的学生在各类电子设计竞赛中获得了好成绩；又如美国 Stanford 大学将数字电路课 Digital System (1) 也放在本科第二学期；清华大学电子系本科生从一入学就人手获得一块 Altera FPGA 实验开发板，该校计算机专业本科二年级学生就能自主设计出各种极具创新特色的数字系统；美国 Michigan 大学本科一年级学生就能设计数字电子琴，其中 FPGA 控制 VGA 显示五线谱，

PS/2 键盘作为琴键；东南大学在一次省级数字电路课程电子设计竞赛中，有一组同学完成了指纹识别数字锁的设计而获一等奖。

7. 课程安排的时间太晚

目前数字电路课程绝大多数情况下仍被放在本科的第四甚至第五学期。这在 40 年前没有什么不妥，因为那时数字技术起步不久，还没有什么上规模的数字产品，与数字技术相关的课程也非常少，因此那时的数字电路课对后续课程或就业的影响甚微。此外，那时的数字技术尚处于低速小规模手工技术阶段，这使得数字电路与模拟电路常同时出现于同一电路结构中，从而要求学习者较多地关注脉冲及数字信号的产生与处理上（而非现代数字技术所追求的功能实现和系统优化上），这就难免要求学习者具备更多的数学知识、半导体器件知识和模拟电子线路的基础知识，于是使得此课程根本无法提前安排。

但在今天，随着基于数字技术基础的大量专业技术类课程的爆炸式涌现，该课程已成为许多重要后续课程必不可少的基础课。然而第四、五学期过晚的课程安排导致余下过短的时间（通常不到一年）使学生难以应付大量的后续课程的加入，更不可能有足够的时间通过有效的实践来消化它们，学习效果自然大打折扣。而这些课程又多数与未来的就业或可能的深造关系密切。实际上，改变这种状态的关键是应认识到，当今是数字技术和系统集成时代，对于数字技术的学习，完全可以暂时把模拟电子技术及其理论暂时先放在一边，从而有条件将此课程的教学提前几个学期进行。

二、本教材的特点

鉴于以上讨论，并针对数字电路传统教材和教学中存在的问题，本书在内容编排与选材、实验内容与模式、课程设置和学习目标定位上，突出了以下特点。

1. 将传统数字技术与现代数字技术有机融合

事实上，为了改善教材内容过于陈旧的现状，不少新版教材也增加了诸如硬件描述语言、FPGA 应用、EDA 软件应用等内容。但问题在于，除了生硬地增加几个章节外，并没能将传统与现代的内容之间进行“无缝接轨”，即在传统教学内容中看不到迈向现代技术的任何脉络痕迹和铺垫，而在加入的现代数字技术章节中也体现不出对前期教学内容的传承性、延续性和奠基性，其结果除了增加更多的学时外恐怕就是学习者的迷茫了。

有鉴于此，本教材的做法是，在介绍组合电路（第 4 章）的大部分内容前仍旧按照传统的方法，介绍了组合电路的性质、分析方法和设计技术等，再给出一系列逻辑器件的功能用法的说明。但在最后，将前文所列的诸如编译器、编码器、加法器等器件做一归纳和升华，提出任何组合电路的本质是相同的，只要用一张能表达它们输入输出关系的真值表即可描述，于是便引入了广义译码器概念，使读者对组合电路的认识和处理方法上升到一个一般化的层面，从而能在第 6 章的 Quartus II 软件应用介绍中，顺理成章地将之前所学

的知识融入到现代数字技术的组合电路设计与分析中。同理,在第7章的时序电路基本内容部分,特别是在对各类计数器及相关集成器件功能的分析设计的介绍后,将它们抽象为传统教材中不曾有的万变不离其中的同步时序逻辑电路的一般模型,其实它是由一个广义译码器和一个简单的寄存器构成的,从而将基于传统方式繁复而不具一般意义的时序电路设计回归为一个普通译码器的设计。

再前进一步,第8章展示了对传统数字技术和理念的升华,即最后证明了一切同步时序电路,包括计数器都不过是状态机的特殊形式;进而证明,构成状态机中的广义译码器本质上就是一个状态译码器,而这部分电路模块是现代自动设计技术中最容易解决的部分!由此便水到渠成地引导读者学会了利用传统知识来设计各类有限状态机,乃至任何形式的组合与时序电路功能模块。例如,学会利用状态机控制各类熟悉的对象,如步进电机、电饭煲或A/D采样等,这些内容成为传统教材中不可能出现的实验项目,达到了将传统手工数字技术与现代自动化数字技术的基础理论和工程实践有机融合的目的,实现了从传统数字技术向现代数字技术的平滑过渡!

为了能在第8章中,根据前文的铺垫给出基于现代数字电路自动设计技术的软硬件设计与分析方法,及时推出相关的硬件实验项目,同时节省了学时数,在第4章和第6章(本章也介绍了触发器)中根据前文的知识铺垫及时穿插着给出了PLD结构的内容。

2. 优化教材结构,使课程能大幅提前

根据以上的讨论,本科数字电子技术课程的大幅提前具有极端重要性。从我校已经历的至少五个成功的该课程的教学试点周期(提前至本科第二甚至第一学期)以及参与该教学试点的学生后期学业与能力培养来看,也具有良好的可行性。据此,在总体上不减少传统和现代数字技术必备的基本内容,且保证教学成效的前提下,本教材在前期知识中大幅减少和推迟逻辑门底层电路结构和脉冲电路(放在第11章)的介绍,最大限度地降低对前期基础知识的依赖(如高等数学、模拟电子线路等)。在学习和实践过程中允许保留无关大局的疑问和不解,因为这可留待在后续相关课程中带着问题来学习和解惑,同时也鼓励并安排学生从课本以外的资料中寻求答案,解决问题,开拓视野。事实上,现在多数国外同类教材都不对门电路的结构做过多的深入说明(至多介绍器件的电气特性)。因为在现代电子系统设计中,对于深入底层结构的理解与否并不会影响系统集成的设计水平,更何况后续的电路分析和模拟电子线路课程能做很好的补充。这一安排的另一好处是,大幅减少了教学课时数,有利于将更多的课时数让位于实验与工程设计训练。

3. 信息透明,保持知识结构的合理性和新颖性

鉴于电子技术类知识的强烈时效性,凡有必要处,都将毫不掩饰地指明教材中相关内容的历史背景和适用范围,随时说明这些内容属于阶段过渡性质的还是既定的学习目标,哪些理论和技术适应于低速小规模条件,哪些方法或器件仅在历史上是常用的;清晰说明手工技术与现代自动技术间、数字系统的传统分析方法与现代分析方法间的区别等,使读

者能及时调整自己的关注重心。尽管本教材中也大量介绍了传统（手工）数字技术的内容，但这只是为最终目标服务的，即引导读者基于新的数字技术理念，在全新的软硬件平台上强化数字技术基础知识的学习效果。此外在存储器（第9章）和A/D、D/A（第10章）章节中安排了许多针对性强的应用实例和相关的自主创新型综合实践项目，这种安排在传统教材中是不存在的，但却是必不可少的。

加拿大多伦多大学数字电路教材《数字逻辑基础》的作者 Stephen Brown 说：“虽然现代设计人员已经不再使用手工设计技术了，但手工设计可以让学生直观地了解数字电路是如何工作的。可以让学生深入了解自动化设计技术的优点。”但他同时指出其教材的重点是介绍自动设计技术，这与本教材的结构安排是吻合的。

4. 有利于与其他重要后续课程构成创新能力教学课程体系

基础理论和技能的教学固然重要，但培养学生的自主学习能力，激发学生的创新思维，鼓励学生的创造性实践则更重要，这是授人以渔的久之计！因此，作者并没有将本教材作为一本孤立的数字电子技术基础课程的课本来构建，而是兼顾其后续课程的衔接，包括基础知识的衔接、实验内容的过渡、设计项目的可延伸性，以及对创新能力培养的铺垫等，尽可能为后续课程营建良好的接口。由此便可将数字电路、单片机技术、EDA 技术、SOC、嵌入式系统等具有较大相关性的课程构建为一个课程系列有机体。这个体系最早可以从本科第一学期开始，在完成数字电路课程后，相关课程紧随其后。无疑，这样的课程设置将比传统情况整整提前约三个学期，其意义显然是重大的。这可以优化相关专业的课程设置，让学生提前进入理论与工程实际相结合的高效学习和训练阶段，提前激发创造欲望，提前具备进入自主设计性空间的能力，提前为未来的学习和实践打开充裕的时间空间、自主学习空间和就业准备空间。我校在这方面的教学试点和现在的大规模推广已经给出了有说服力的证明，例如相比于其他同类情况，那些曾经参加这一教学体系的学生在大学生电子设计竞赛、飞思卡尔车模大赛，以及一些企业赞助的自主设计赛事中都获得了更多的奖项和更好的成绩。

5. 注重自主创新能力培养

本教材的目标定位有两个：①现代数字电子技术基础知识的传授和对应的实践能力的培养；②通过教学的启迪和教材中大量的有创意的实验项目训练，能动地激发创新意识，培养自主创新能力。从而使学生在数字电子技术的基础理论、实践能力和创新精神三方面能得到同步收获，有能力提早进入大学生课外科技活动。

本书以数字电路手工设计技术的介绍作为跨上进一步学习的台阶，以自动设计技术的学习为能力培养的手段，注重现代数字技术基本知识、理论和方法的介绍，注重工程能力、分析能力和实践能力的培养，全书构建了一个从介绍基础知识向创新能力培养逐级递进的学习和实践的阶梯；特别是介绍了状态机构建和数字系统自动设计软硬件后，为读者在这一领域自主设计能力的发挥和创新思路的验证提供了武器和实现平台。

6. 以表格形式应用 HDL, 优化学时安排

本教材在推出广义译码器和计数器一般模型的基础上证明, 一般数字电路的最核心的功能模块是广义译码器, 其实就是组合电路模块; 而组合电路模块的表述和构建的关键就是一张真值表, 即只要获得了表述组合电路功能的真值表, 就能通过数字系统自动设计软件完成对应的组合电路的设计与测试。由此不难发现仅使用 HDL 的 case 语句来表述这个真值表, 就能顺利解决 HDL 教学费时的问题。于是在教材中, 对于 HDL 仅以“表格”方式利用极少数语句实现关键部件的设计, 而完全不必费时费力地去专门学习 HDL 知识, 从而聚焦重点知识, 注重系统设计, 着眼能力培养, 极大缩短了授课的学时数。

本教材推荐的授课课时数仅约 40 学时, 实验课时数则不少于 32 学时, 其中验证性实验约 15%, 其余为自主设计与创新型实验, 且建议另外再增加配套的实践环节和实验课时数。读者在完成本书的学习及推荐的实验, 特别是完成了最后一章, 即第 12 章的数字系统综合设计项目, 以及相关关联的课程群体系 (除了本教程推荐的内容外, 紧接此后的这个课程群体系的其他内容大致包括单片机技术、SOPC 技术、DSP 技术、EDA 技术、计算机组成与设计、计算机接口技术、嵌入式系统等) 后, 有理由相信已具备了参加全国大学生电子设计竞赛等课外科技活动的知识和实践能力, 而这时最多刚完成二年级的学习! 事实证明, 参与了这一课程体系教学试点的多数学生, 本科四年后的就业或升学竞争力一点也不亚于传统情况下的硕士生。

与本书配套的 PPT 教学课件、实验指导课件、实验源程序, 以及 Mif Maker 应用软件等资料可以免费索取, 可浏览科学出版社网址 www.abook.cn, 或康芯电子有限公司网址 www.kx-soc.com, 欢迎就数字技术教学改革进行交流探讨, 作者 E-mail: chenlong@hdu.edu.cn, hjynet@163.com, pmr123@sina.cn。

作 者

2014 年 6 月

于杭州电子科技大学

目 录

第 1 章 数制与编码	1
1.1 模拟信号与数字信号	1
1.1.1 模拟信号与数字信号的概念	1
1.1.2 数字电路与模拟电路的区别	2
1.1.3 数字电路的特点	2
1.2 数字系统中的数制	3
1.2.1 十进制数表述方法	4
1.2.2 二进制数表述方法	5
1.2.3 十六进制数表述方法	6
1.2.4 八进制数表述方法	6
1.3 不同数制间的转换	6
1.3.1 十六进制、二进制数与十进制数间的转换	7
1.3.2 十进制数转换为二进制、十六进制数	7
1.3.3 二进制数与十六进制、八进制数间的转换	8
1.4 数字系统中数的表示方法和格式	8
1.4.1 十进制编码	9
1.4.2 格雷码	10
1.4.3 十进制数的 BCD 码表示方法	11
1.4.4 字母数字码	11
1.4.5 码制	12
1.4.6 用补码进行二进制数运算	15
习题	16
第 2 章 逻辑门功能及其电路特性	18
2.1 基本逻辑门	18
2.1.1 逻辑代数的 3 种基本运算模型	18
2.1.2 基本逻辑符号	19
2.2 复合逻辑门	21
2.2.1 与非门	22
2.2.2 或非门	22
2.2.3 异或门	23
2.2.4 同或门	24
2.3 其他辅助门电路	25

x 目 录

2.3.1 三态门	25
2.3.2 集电极开路门	26
2.4 集成电路逻辑门	28
2.4.1 逻辑门及其基本结构与工作原理	28
2.4.2 CMOS 传输门及其构建的逻辑电路	32
2.4.3 TTL 集成电路逻辑门及同类 CMOS 器件系列	33
2.4.4 集成电路门的性能参数	34
2.4.5 TTL 与 CMOS 集成电路的传统接口技术	38
2.4.6 CMOS 与 TTL 逻辑器件的封装	39
习题	40
实验	42
2-1 集成电路 TTL 和 CMOS 器件的逻辑功能和性能参数测试	42
第 3 章 逻辑函数运算规则及化简	44
3.1 概述	44
3.2 逻辑代数的运算规则	45
3.2.1 逻辑代数的基本公理	45
3.2.2 逻辑代数的基本定律	45
3.2.3 摩根定理	46
3.2.4 逻辑代数的基本规则	47
3.3 逻辑函数表述方法	48
3.3.1 逻辑代数表达式	48
3.3.2 逻辑图表述	48
3.3.3 真值表表述	49
3.3.4 卡诺图表述方式	49
3.4 逻辑函数的标准形式	50
3.4.1 最小项表述方式	50
3.4.2 最大项表述方式	51
3.4.3 标准与或表达式	52
3.4.4 标准或与表达式	52
3.4.5 两种标准形式的相互转换	52
3.4.6 逻辑函数表达式与真值表的相互转换	53
3.5 逻辑代数化简法	53
3.5.1 并项化简法	54
3.5.2 吸收化简法	54
3.5.3 配项化简法	54
3.5.4 消去冗余项化简法	55
3.6 卡诺图化简法	56

3.6.1 与或表达式的卡诺图表示	56
3.6.2 与或表达式的卡诺图化简	57
3.6.3 或与表达式的卡诺图化简	58
3.6.4 含无关项逻辑函数的化简	59
3.6.5 多输出逻辑函数的化简	60
习题	60
第4章 组合逻辑电路的分析与设计	63
4.1 组合逻辑电路手工分析	63
4.1.1 组合逻辑电路的定义	63
4.1.2 组合逻辑电路的手工分析步骤	64
4.1.3 组合逻辑电路分析实例	64
4.2 组合逻辑电路手工设计方法	65
4.2.1 组合逻辑电路的一般设计步骤	65
4.2.2 组合逻辑电路的设计示例	66
4.3 编码器	66
4.3.1 编码器的基本概念	67
4.3.2 二进制编码器	67
4.3.3 二-十进制编码器	69
4.4 译码器	70
4.4.1 译码器的概念	70
4.4.2 二进制译码器	70
4.4.3 二-十进制译码器	71
4.4.4 用集成译码器实现逻辑函数	72
4.4.5 显示控制译码器	73
4.5 数据选择器与数据分配器	76
4.5.1 数据选择器	76
4.5.2 用数据选择器实现逻辑函数	78
4.5.3 数据分配器	80
4.6 加法器	80
4.6.1 半加法器	80
4.6.2 全加法器	81
4.6.3 多位加法器	81
4.7 比较器	82
4.7.1 1位数值比较器	82
4.7.2 集成数字比较器	83
4.7.3 集成数值比较器应用举例	83
4.8 广义译码器概念	84

4.9 可编程逻辑器件的结构与原理	85
4.9.1 PLD 概述	86
4.9.2 简单 PLD 的结构与工作原理	87
4.10 组合电路的竞争与冒险	91
4.10.1 逻辑冒险现象的判断	92
4.10.2 冒险现象解决方法	93
习题	93
实验	96
4-1 楼道路灯控制电路的设计	96
4-2 用与非门设计一个开关控制的报警电路	96
第 5 章 触发器及含触发器的 PLD	97
5.1 概述	97
5.2 RS 触发器	98
5.2.1 基本 RS 触发器	98
5.2.2 具备时钟控制的 RS 触发器	99
5.2.3 主从 RS 触发器	101
5.2.4 RS 触发器的应用	102
5.3 D 触发器	102
5.3.1 最简结构电平触发型 D 触发器	103
5.3.2 经典结构电平触发型 D 触发器	103
5.3.3 维持-阻塞边沿触发型 D 触发器	104
5.3.4 由 CMOS 传输门构成的各类 D 触发器	106
5.4 JK 触发器	109
5.4.1 主从 JK 触发器	109
5.4.2 边沿触发型 JK 触发器	110
5.5 触发器间的转换	111
5.5.1 D 触发器转换为 JK、T 和 T' 触发器	111
5.5.2 JK 触发器转换为 D 触发器	113
5.6 含触发器的 PLD 的结构与原理	113
5.6.1 通用可编程逻辑器件 GAL	113
5.6.2 复杂可编程逻辑器件 CPLD	115
5.6.3 现场可编程门阵列 FPGA	117
习题	120
实验	121
5-1 验证集成触发器的逻辑功能及相互转换的方法	121
5-2 由 RS 触发器构成的多路抢答器设计	121

第 6 章 组合电路时序分析与自动化设计	123
6.1 传统数字技术存在的问题	123
6.2 数字系统自动设计流程	124
6.2.1 设计输入	125
6.2.2 硬件描述语言	126
6.2.3 综合	126
6.2.4 适配	126
6.2.5 仿真	126
6.2.6 硬件测试	127
6.3 原理图输入法逻辑电路设计	127
6.3.1 原理图编辑输入方法	127
6.3.2 创建工程	128
6.3.3 功能分析	130
6.3.4 编译前设置	130
6.3.5 全程编译	132
6.3.6 逻辑功能测试	133
6.4 硬件测试	135
6.4.1 引脚锁定	135
6.4.2 对 FPGA 编程配置	136
6.4.3 对 FPGA 配置器件编程	138
6.5 用 HDL 来表述广义译码器	140
6.5.1 用 HDL 表述真值表与电路设计	140
6.5.2 3 人表决电路的 HDL 表述方式	143
6.5.3 用 HDL 对真值表的其他表述方式	144
6.6 数字方法去抖动和延时电路设计	146
6.6.1 数字去抖动电路设计	147
6.6.2 数字延时电路的设计与测试	150
实验	153
6-1 用 Quartus II 库中的宏功能模块 74138 和与非门实现指定逻辑函数	153
6-2 用两片 7485 设计一个 8 位比较器	153
6-3 设计 8 位串行进位加法器	153
6-4 设计 8 位十进制数动态扫描显示控制电路	153
6-5 设计一个十六进制 7 段显示译码器	153
6-6 设计一个 5 人表决电路	154
第 7 章 时序逻辑电路的分析与设计	155
7.1 时序逻辑电路的特点与功能	155

7.1.1 时序电路的结构	155
7.1.2 时序电路的分类	156
7.2 时序电路的手工分析方法	156
7.2.1 同步时序电路分析	156
7.2.2 异步时序电路的分析举例	158
7.3 时序电路的手工设计方法	161
7.3.1 时序电路的手工设计步骤	161
7.3.2 设计举例	162
7.4 寄存器	165
7.4.1 并行寄存器	165
7.4.2 移位寄存器	166
7.5 计数器及其手工设计技术	170
7.5.1 异步计数器设计	170
7.5.2 同步计数器设计	171
7.6 专用集成计数器应用示例	175
7.6.1 用 74LS161 构成十二进制加法计数器	175
7.6.2 用 74LS160 构成 67 进制的 10 位加法计数器	178
7.6.3 用 74LS161 设计一个 8 位二进制可预置计数器	178
习题	179
实验	182
7-1 用 74 系列的专用集成器件设计不同类型的数字电路	182
7-2 基于 D 触发器的机械键去抖动电路设计	182
7-3 设计一个能将信号延时 800ns 的延时电路	183
第 8 章 时序电路的自动化设计与分析	184
8.1 用 74 系列宏模块设计数字电路	184
8.1.1 用 74390 宏模块设计一个 2 位十进制计数器	184
8.1.2 可预置型任意模计数器设计	185
8.2 计数器通用设计模型	188
8.2.1 时序逻辑设计方案考察	188
8.2.2 计数器的一般结构模型	189
8.2.3 普通二进制计数器设计讨论	189
8.2.4 BCD 码计数器设计讨论	190
8.2.5 模可控计数器设计讨论	191
8.2.6 反馈清 0 法构成模 12 计数器设计讨论	192
8.2.7 同步加载型计数器设计讨论	193
8.2.8 异步加载型计数器设计讨论	193
8.2.9 可逆计数器设计讨论	194