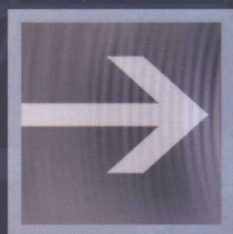


高等学校教材·电子信息

可赠送课件

jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

数字设计基础与应用



邓元庆 关 宇 贾 鹏 编著



清华大学出版社

高等学校教材·电子信息

数字设计基础与应用

邓元庆 关 宇 贾 鹏 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍数字设计的基础理论及其应用方法,虽然为保证完整性也兼顾到数字分析,但以数字设计为重点。

与传统的数字电路教材相比,本书不仅介绍了数字电路的基本理论和经典内容,强化了中大规模数字集成电路应用、数字系统设计以及电子设计自动化等内容,而且进行了两个较大胆的尝试:将可编程逻辑器件的内容分散在组合逻辑电路和时序逻辑电路中介绍;将 VHDL 语言及其应用贯穿全书。不仅内容新颖,结构和意识上有所创新,而且分散了教学难点,更加方便教学。尤其是数字系统设计的内容,既有基于 MSI 器件的设计方法,又有基于 PLD 的设计方法,令人耳目一新。

全书分为 7 章,包括数字逻辑基础,组合逻辑电路分析与设计,时序逻辑基础,同步时序电路分析与设计,数字系统设计,电子设计自动化,数/模、模/数转换与脉冲产生电路。各章配有大量例题、习题和自测题,书末附有自测题的参考答案。教材中的所有 VHDL 源程序都通过了 MAX+plus II 或 Quartus II 的调试。

本书可作为电子、信息、雷达、通信、测控、计算机、电力系统及自动化等电类专业和机电一体化等非电类的专业基础课教材,也可作为相关专业工程技术人员的学习与参考用书。

本书建议学时为 80 学时。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数字设计基础与应用 / 邓元庆, 关宇, 贾鹏编著. —北京: 清华大学出版社, 2005.5

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-10440-9

I. 数… II. ①邓… ②关… ③贾… III. 数字电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 009217 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 魏江江

封面设计: 杨 兮

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 22.75 字数: 557 千字

版 次: 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10440-9/TN·232

印 数: 1~4000

定 价: 29.00 元

高等学校教材·电子信息

编审委员会

- | | |
|-----|-----------------------|
| 王志功 | (东南大学 教授) |
| 王成山 | (天津大学电气与自动化工程学院 教授) |
| 王煦法 | (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授) |
| 王新龙 | (南京大学 教授) |
| 王成华 | (南京航空航天大学 教授) |
| 方 勇 | (上海大学 教授) |
| 方建安 | (东华大学信息科学与技术学院 教授) |
| 邓元庆 | (解放军理工大学理学院基础部 教授) |
| 冯久超 | (华南理工大学 教授) |
| 冯全源 | (西南交通大学 教授) |
| 刘惟一 | (云南大学信息学院 教授) |
| 刘复华 | (武汉理工大学 教授) |
| 朱 杰 | (上海交通大学 教授) |
| 朱守正 | (东北师范大学 教授) |
| 张秉权 | (沈阳工业学院 教授) |
| 张丽英 | (长春大学电子信息工程学院 教授) |
| 张德民 | (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授) |
| 迟 岩 | (集美大学信息工程学院 教授) |
| 严国萍 | (华中科技大学 教授) |
| 何明一 | (西北工业大学 教授) |
| 何怡刚 | (湖南大学电气与信息工程学院 教授) |
| 何 晨 | (上海交通大学 教授) |
| 余成波 | (重庆工学院 教授) |
| 林 君 | (吉林大学 教授) |
| 金炜东 | (西南交通大学 教授) |
| 郑永果 | (山东科技大学信息学院 教授) |
| 赵鹤鸣 | (苏州大学电子信息学院 教授) |
| 徐佩霞 | (中国科学技术大学 教授) |
| 郭从良 | (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授) |
| 郭维廉 | (天津大学电子信息工程学院 教授) |

曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

出版说明

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制订的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业，特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统

清华大学出版社经过近 20 年的努力，在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌，为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过 20 多年的精雕细刻，形成了技术准确、内容严谨的独特风格，这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

“数字电路与逻辑设计”是电子、信息、雷达、通信、测控、计算机、电力系统及自动化等电类专业和机电一体化等非电类专业的一门重要的专业基础课，在上述专业学生的学习链中起着举足轻重的承前启后作用。为了使课程内容紧跟电子技术和信息处理技术迅猛发展的步伐，我们编写了《数字设计基础与应用》一书，希望她能够成为我国高校数字电路课程教学改革大潮中的一朵浪花。

《数字设计基础与应用》教材主要介绍数字设计的基础理论及其应用方法，包括 7 章内容，分别为数字逻辑基础，组合逻辑电路分析与设计，时序逻辑基础，同步时序电路分析与设计，数字系统设计，电子设计自动化，数/模、模/数转换与脉冲产生电路。虽然为保证完整性也兼顾到数字分析，但以数字设计为重点。教材内容符合教育部于 2004 年 8 月组织修订的“数字电路与逻辑设计”课程教学基本要求。

与传统的数字电路教材相比，本书不仅介绍了数字电路的基本理论和经典内容，进一步削弱了小规模数字集成电路的内容，强化了中大规模数字集成电路应用、数字系统设计以及电子设计自动化等内容，而且还进行了两个较大胆的尝试：将可编程逻辑器件的内容分散在组合逻辑电路和时序逻辑电路中介绍，将 VHDL 语言及其应用贯穿全书。这样做的目的主要有以下几点：

(1) 打牢基础，培养能力。数字电路的经典内容在短时间内不会有大的变化，基本理论更是数字设计的基础，适当介绍这些内容，有助于打牢学生的专业理论基础，培养学生迎接千变万化挑战的能力。

(2) 内容新颖，与时俱进。数字技术日新月异，作为教材，必须紧跟时代的前进步伐，使其尽可能快地反映数字技术和设计方法的最新成果。可编程逻辑器件作为数字设计的主流器件，已经大量应用于数字电路和数字系统中；VHDL 语言作为可编程逻辑器件的设计语言，已经被所有 PLD 开发软件接受；数字设计的规模越来越大，系统设计和电子设计自动化已成为普遍采用的方法。所有这些新的技术、新的方法，都在本书中作为重点进行介绍。教材中的所有 VHDL 源程序都在 MAX+plus II 或 Quartus II 中通过了调试，便于读者使用或模仿。

(3) 分散难点，方便教学。无论是可编程逻辑器件和 VHDL 语言，还是数字系统设计与电子设计自动化，其内容都非常广泛，且有一定的深度和难度。本书将 PLD 的内容分散到组合电路和时序电路中进行介绍，将 VHDL 语言及其应用贯穿全书，将数字系统设计和电子设计自动化分两章进行介绍，有助于循序渐进、分散难点，非常方便教学。

本书由解放军理工大学邓元庆教授主编，关宇、贾鹏参编。邓元庆编写第 3 章、第 4 章、第 5 章，并负责编写大纲的制定和全书的统稿、定稿及其他相关事宜；关宇编写第 1

章和第 2 章, 贾鹏编写第 6 章和第 7 章, 杨云和尹廷辉参与了本书中大量 VHDL 源程序的调试工作。解放军理工大学理学院的各级领导及编者的家人为本书的编写提供了大量的支持, 谨在此表示由衷的感谢。

由于时间仓促和编者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字设计引论	1
1.1.1 数字电路与数字系统	1
1.1.2 数字分析与数字设计	3
1.2 数制与编码	4
1.2.1 数制	4
1.2.2 带符号数的表示法	8
1.2.3 符号的编码表示法	10
1.3 逻辑代数基础	15
1.3.1 逻辑变量与基本的逻辑运算	15
1.3.2 复合逻辑运算与常用逻辑门	17
1.3.3 逻辑代数的基本定律与运算规则	19
1.4 逻辑函数的描述方式	21
1.4.1 逻辑表达式与真值表	21
1.4.2 逻辑图	22
1.4.3 积之和式与最小项表达式	22
1.4.4 和之积式与最大项表达式	24
1.5 逻辑函数的化简	25
1.5.1 逻辑函数最简的标准和代数化简法	25
1.5.2 卡诺图法化简逻辑函数	26
1.5.3 非完全描述逻辑函数的化简	31
习题 1	32
自测题 1	35
第 2 章 组合逻辑电路分析与设计	37
2.1 集成逻辑门	37
2.1.1 集成逻辑门系列	38
2.1.2 集成逻辑门的主要电气指标	41
2.1.3 逻辑电路的其他输入、输出结构	45
2.2 常用 MSI 组合逻辑模块	48
2.2.1 加法器	48
2.2.2 比较器	51
2.2.3 编码器	52

2.2.4	译码器	55
2.2.5	数据选择器和数据分配器	61
2.3	组合型可编程逻辑器件	63
2.3.1	PLD 的一般结构与电路画法	63
2.3.2	组合型 PLD	65
2.4	组合逻辑电路分析	68
2.4.1	基本分析方法	68
2.4.2	分析实例	69
2.5	组合逻辑电路设计	70
2.5.1	基本设计方法	70
2.5.2	设计实例	72
2.6	组合逻辑电路的 VHDL 描述	76
2.6.1	VHDL 源程序的基本结构	77
2.6.2	VHDL 的基本语法	81
2.6.3	用 VHDL 描述组合逻辑电路	91
2.7	组合逻辑电路中的险象	94
2.7.1	险象的来源、种类与识别方法	95
2.7.2	险象的消除方法	96
	习题 2	96
	自测题 2	103
第 3 章	时序逻辑基础	106
3.1	时序逻辑概述	106
3.1.1	时序逻辑电路的一般结构	106
3.1.2	时序逻辑电路的描述方法	107
3.1.3	时序逻辑电路的一般分类	108
3.2	触发器	110
3.2.1	SR 触发器	110
3.2.2	集成触发器	112
3.3	计数器	115
3.3.1	异步计数器	116
3.3.2	同步计数器	121
3.3.3	计数器的应用	127
3.4	移位寄存器	129
3.4.1	移位寄存器的一般结构	129
3.4.2	MSI 移位寄存器	130
3.4.3	移位寄存器的应用	132
3.5	半导体存储器	135
3.5.1	半导体存储器的分类	135

3.5.2 随机存取存储器 RAM	137
3.5.3 存储器的容量扩展	139
3.6 时序型可编程逻辑器件	141
3.6.1 通用阵列逻辑器件 GAL	142
3.6.2 复杂可编程逻辑器件 CPLD	146
3.6.3 PLD 的开发与使用	161
习题 3	162
自测题 3	168
第 4 章 同步时序电路分析与设计	171
4.1 同步时序电路分析	171
4.1.1 基本分析方法	171
4.1.2 分析实例	171
4.2 基于触发器的同步时序电路设计	175
4.2.1 设计步骤	175
4.2.2 导出原始状态图或状态表	176
4.2.3 状态化简	180
4.2.4 状态分配	183
4.2.5 设计举例	184
4.3 基于 MSI 模块的同步时序电路设计	188
4.3.1 设计方法	188
4.3.2 设计举例	188
4.4 时序逻辑电路的 VHDL 描述	192
4.4.1 VHDL 语法进阶	192
4.4.2 用 VHDL 描述时序电路	198
习题 4	205
自测题 4	212
第 5 章 数字系统设计	214
5.1 数字系统设计的一般过程	214
5.1.1 方案设计	214
5.1.2 逻辑划分	215
5.1.3 算法设计	217
5.1.4 物理实现	219
5.2 节日彩灯控制系统设计	224
5.2.1 系统功能与使用要求	225
5.2.2 系统方案设计与逻辑划分	225
5.2.3 控制算法设计	226
5.2.4 系统的物理实现	228

5.3	15 位二进制数密码锁系统设计	235
5.3.1	系统功能与使用要求	235
5.3.2	系统方案设计与逻辑划分	235
5.3.3	控制算法设计	237
5.3.4	系统的物理实现	238
习题 5		245
自测题 5		247
第 6 章	电子设计自动化	249
6.1	概述	249
6.1.1	EDA 的发展历程	249
6.1.2	EDA 中的一些常用术语	250
6.1.3	硬件描述语言	252
6.1.4	EDA 开发工具	253
6.1.5	基于 ASIC 的现代数字系统设计方法	254
6.2	可编程逻辑器件开发软件 Quartus II	257
6.2.1	Quartus II 软件简介	257
6.2.2	Quartus II 软件的使用	260
6.3	数字系统 EDA 实例	277
6.3.1	十字路口交通灯控制器	278
6.3.2	1/100 秒计时控制器	282
习题 6		292
自测题 6		292
第 7 章	数/模、模/数转换与脉冲产生电路	294
7.1	集成数/模转换器	294
7.1.1	数/模转换的基本概念	294
7.1.2	常用的数/模转换技术	296
7.1.3	集成 DAC 的主要性能指标	298
7.1.4	8 位 D/A 转换器 DAC0832 及其应用	300
7.2	集成模/数转换器	304
7.2.1	模/数转换的一般过程	304
7.2.2	常用的模/数转换技术	306
7.2.3	集成 ADC 的主要性能指标	312
7.2.4	8 位 A/D 转换器 ADC0809 及其应用	313
7.3	脉冲产生电路	316
7.3.1	多谐振荡器	316
7.3.2	单稳态触发器	320
7.3.3	施密特触发器	328

7.4 555 定时器及其应用	331
7.4.1 555 定时器的功能与电路结构	331
7.4.2 用 555 定时器构成多谐振荡器	333
7.4.3 用 555 定时器构成单稳态触发器	334
7.4.4 用 555 定时器构成施密特触发器	335
习题 7	335
自测题 7	337
附录 A 自测题参考答案	339
参考书目	348

第 1 章 数字逻辑基础

1958 年，美国德克萨斯州仪器（TI）公司年轻的工程师基尔比（Jack Kilby）将 5 个元件（1 个晶体管、1 个电容和 3 个电阻）制作在一个 1.2 cm 长的锗晶片上，实现了人类历史上的第一块集成电路（integrated circuits）。今天，集成电路已经渗透到生产和生活的各个角落，计算机、移动电话、电视机、汽车、飞机……，几乎所有电器和包含电子部件的装备中都包含集成电路。集成电路可以分为处理模拟信号的模拟集成电路和处理数字信号的数字集成电路，其中，数字集成电路伴随着计算机和数字通信等技术的发展和广泛应用，正在被越来越多的人了解和掌握。

1.1 数字设计引论

数字设计又称为逻辑设计，其目的是构建符合设计要求的数字电路与数字系统。数字系统是处理离散信息（又称为数字信号）的电子设备，数字计算机就是复杂数字系统的典型代表。

1.1.1 数字电路与数字系统

自然界中存在的物理量可以分为模拟量（analog quantity）和数字量（digital quantity）。模拟量是指取值连续的物理量，如自然界中变化的温度，马路上汽车行驶的速度等。数字量是指取值不连续的物理量，如教室中的人数、一本书的页数等。用电子电路处理物理量时，必须首先将物理量变换为电路易于处理的信号形式，一般用变化的电压（或电流）表示。与物理量的分类方法类似，电信号（electronic signal）也可以分为模拟信号（analog signal）和数字信号（digital signal）。

1. 模拟信号和数字信号

在连续的观测时间上，模拟信号（如电压）在一定的取值范围内的取值是连续变化的。模拟信号的典型例子是正弦电压信号，如图 1-1 所示。

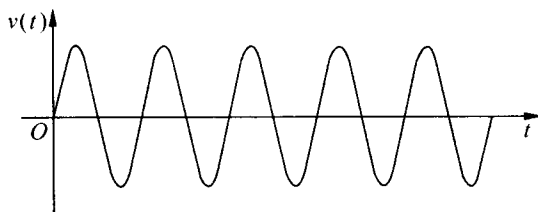


图 1-1 正弦电压信号的波形图

数字信号的变化在时间上是不连续的，总是发生在一系列离散的瞬间；同时，数字信号的取值也是不连续的，只能取有限个值。最广泛应用的数字信号是二值信号，图 1-2 (a) 所示是一个二值电压信号的波形，该信号只有 0V 和 +5V 两种电压取值。图 1-2 (b) 是多进制电压信号的一个例子。由于数字系统中很少使用多进制电压信号，通常所说的数字信号都是指二值信号。

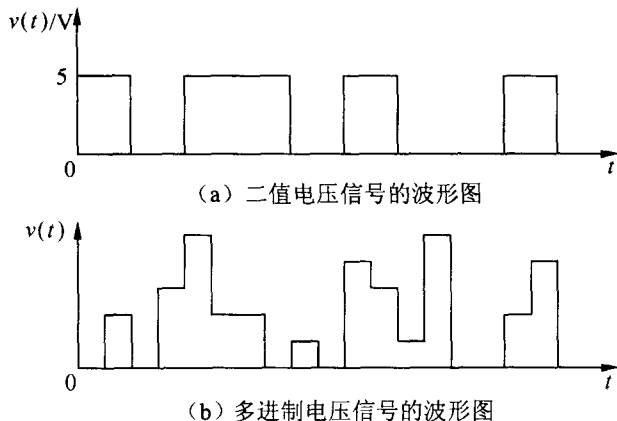


图 1-2 数字电压信号的波形图

二值电压信号的波形只有低电平和高电平两种有效电平，如图 1-2 (a) 中的 0V 和 +5V。在逻辑分析和设计中，通常用两个抽象的符号“0”和“1”加以表示。当用“0”表示低电平，用“1”表示高电平时，称为正逻辑表示法 (positive logic convention)；若用“0”表示高电平，用“1”表示低电平，则称为负逻辑表示法 (negative logic convention)。本书采用正逻辑表示法。

2. 模拟电路、数字电路和数字系统

处理模拟信号的电路是模拟电路 (analog circuit)，运算放大器是典型的模拟电路。处理数字信号的电路是数字电路 (digital circuit)，编码器、计数器等都是典型的数字电路。数字系统 (digital system) 是相对于功能部件级的数字电路而言的，一般认为，一个数字系统必须包含有控制器，按一定的时序完成逻辑操作，数字系统的准确含义将在第 5 章加以说明。

相对于模拟电路，数字电路与系统具有以下特点：

- 集成度高。各种不同逻辑功能的数字电路都是由最基本的逻辑运算元件——逻辑门构成的，该特征使数字电路便于实现大规模集成，从而可以有效地减小体积，降低功耗，提高可靠性。Intel 公司 2000 年生产的 Pentium IV 处理器芯片的集成度已经达到了 1000 万门 (4200 万晶体管) 的水平。
- 实现信息的存储和检索。数字系统天生具有对数字信息的存储能力和快速、灵活的检索机制，计算机的信息存储和多样化的寻址方式充分体现了这种能力。
- 易于实现检错、纠错机制。信息在传输、变换和处理时，不可避免地受到噪声的干扰和存在传输损耗。模拟信号由于其取值的连续性难以根除这种影响，而数字

信号的离散取值特性有利于克服这种影响, 便于实现信号的再生。数字通信系统中更可以采用各种检错和纠错编码, 确保信号的可靠传输。

- 灵活的可编程特性。数字系统的可编程能力包含两层含义, 一是传统的软件可编程能力, 即通过计算机的程序设计, 使系统完成特定的任务; 另一层含义是指通过对数字系统中的可编程逻辑器件 PLD (programmable logic device) 的编程来改变数字系统的硬件结构, 实现完成特定任务的“专用”硬件结构。用可编程逻辑器件构建数字系统是当前数字系统研究与应用最活跃的领域之一。
- 更强的处理能力。数字系统的处理能力集中体现在计算机处理能力的不断提高上。1971 年 1 月, 世界上第一只微处理器 Intel 4004 问世, 4004 是 4 位 CPU, 工作频率为 108kHz, 一次只能对 4 位二进制数进行运算。随后, CPU 的字长沿着 8 位、16 位、32 位和 64 位一路走来, 集成度登上了千万门的台阶, 工作频率也已经超过了 3GHz。大量应用软件和网络技术更使计算机无所不能。

1.1.2 数字分析与数字设计

数字分析 (digital analysis) 就是针对一个已知的数字系统, 分析其工作原理、确定输入/输出信号之间的关系、明确整个系统及其各组成部件的逻辑功能。而数字设计 (digital synthesis) 则是和数字分析相反的过程, 它是针对特定的设计任务, 采用一定的设计手段, 构造一个符合设计要求的数字系统。本书重点介绍数字设计问题。

数字设计可以在不同层次上进行。通常, 逻辑设计的层次由高到低可以分为系统级 (system level)、模块级 (module level)、门级 (gate level)、晶体管级 (transistor level) 和物理级 (physical level)。

系统级设计是数字系统设计的最高层次, 在该层次的设计中, 注重对数字系统整体功能的描述, 又称为行为级描述, 通常不关心具体的实现方式。通过系统级设计, 将整个数字系统分解为若干个相互联系的功能模块, 并描述各模块的外部属性。系统级设计通常采用各种硬件描述语言 HDL (hardware description language), 以程序设计的方式描述系统各模块的行为。

模块级设计是在系统级设计基础上, 进一步对各功能模块进行分解, 描述其行为和功能。模块级设计既可以用 HDL 编程实现, 也可以用标准逻辑组件实现。

数字系统的逻辑功能最终可以表示为一组逻辑函数表达式, 从而可以用逻辑门实现。逻辑门是用于实现基本逻辑运算的最小数字硬件单元, 用逻辑门实现逻辑函数是数字电路设计的基本内容之一。图 1-3 是一个可以实现 2 个 1 位二进制数加法运算的电路, 称为 1 位全加器 (全加器的完整设计过程将在第 2 章讨论)。数字电路的门级分析与设计是本书的重要内容之一。

构成数字系统的逻辑门是由更加基本的晶体管电路构成的, 通过集成工艺在硅片上生成的晶体三极管或场效应管是构成集成电路的最基本元件, 它们不仅用于构成逻辑门这样的数字集成电路, 也用于构成运算放大器这样的模拟集成电路。图 1-4 是一个 CMOS 反相器的场效应管电路图, 它可以实现“逻辑非”运算, 该电路又叫“非门”。