

高等学校教材·电子信息

数字电路与逻辑设计

林摇红摇周鑫霞摇编著

清华大学出版社
北摇京

内 容 简 介

本书以简洁、通俗、先进和实用的原则精心编写,重点是方法和能力的培养。本书主要内容有数字逻辑电路基础知识、逻辑门、逻辑代数与逻辑函数、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器 and 可编程逻辑器件、脉冲波形的产生与变换、数模和模数转换器。

本书每章有小结、习题(或思考题),并附有部分习题答案,便于教学和自学。

本书可作为高等学校和成人高等教育有关专业数字电路课程的教材。教学学时为 48~72 学时。本书也可供工程技术人员自学和参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62770175 转 801 或 010-62776969

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计 杨红,周鑫霞编著—北京:清华大学出版社,2008

高等学校教材 电子信息专业

ISBN 978-7-302-16182-2

Ⅰ. ①数... Ⅱ. ①杨... ②周... Ⅲ. ①数字电路—逻辑设计—高等学校—教材 Ⅳ. ①TP333.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 161822 号

出 版 者:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 政 编 码:100084

邮 编:100084

社总机:010-62770175

客户服务:010-62786544

责任编辑:魏江江

封面设计:杨 摇 兮

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 册 数:1 册 印 张:16.5 印 字 数:380 千字

版 次:2008 年 8 月 第 1 版 2008 年 8 月 第 1 次 印 刷

书 号:ISBN 978-7-302-16182-2

印 数:1~5000 册

定 价:39.00 元

摇摇本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175 或 (010)62786544

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。1995年12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。1998年12月和1999年12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《1998—2002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(1998—2002年)建设1000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以下三个系列:

(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。

(圆) 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。

(猿) 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。

清华大学出版社经过近二十年的努力,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。清华版教材经过二十多年的精雕细刻,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。

总策划 李家强

策划 卢先和 丁摇岭

清华大学出版社教材编审委员会

责任编辑 曹景忠 陈洪雁 梁爽 蔡静

封面设计 陈洪雁 梁爽 蔡静

高等学校教材·电子信息

编审委员会

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

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

前 摇 摇 言

《数字电路与逻辑设计》一书按照 1995 年教育部(原国家教委)颁发的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”进行编写。

随着现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,本课程已成为许多专业开设的一门技术基础课程。由于这门课程面向全国各类高校,学校各有特点,专业各有不同,为适应不同需要,在总结多年教学实践的基础上,编写了本教材。

本课程的主要任务是为学生学习专业课程和从事技术工作奠定数字电子技术的理论基础,并使他们受到这方面必要基本技能的训练。为此,对传统的内容作了精选和更新,避开了高深的理论,简明扼要地介绍学生最需要的基础知识和技术,通过通俗易懂的语言讲授相关专业技术知识,对集成电路的讨论强化“外部”,淡化“内部”,着眼于方法和能力的培养。此外,在内容上吸收了新技术和新的研究成果,使学生能了解目前应用较广或带有方向性的新技术。本书还通过实例、例题和习题说明理论的实际应用,以加深学生对本书内容的掌握和理解。

注意到各层次学生的需要,本书的实际内容超过教学学时数,以便教师在讲授时根据专业需要、学时多少和学生实际水平来决定取舍。本书可作为高等学校电信、计算机应用、自动化、电子、电力、机械、化工、建筑等专业的本科或专科电子技术基础课程的教材。

本书由林红、周鑫霞主编,参加编写的工作人员有杨凡、蒙丹阳、杨桦、程萍。

本书在编写过程中,得到有关专家和教师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免疏漏,恳请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数字逻辑电路基础知识	1
1.1 数字电路的特点	1
1.2 数制	1
1.2.1 十进制	1
1.2.2 二进制	2
1.2.3 十六进制	3
1.2.4 不同进制数的表示符号	3
1.3 不同进制数之间的转换	4
1.3.1 二、十六进制数转换成十进制数	4
1.3.2 二进制与十六进制数之间的转换	5
1.3.3 十进制数转换成二、十六进制数	6
1.4 二进制代码	7
1.4.1 自然二进制代码	7
1.4.2 二进制代码(BC 码)	7
1.4.3 二进制代码(BCD 码)	8
1.5 基本逻辑运算	9
1.5.1 与逻辑运算	9
1.5.2 或逻辑运算	10
1.5.3 非逻辑运算	10
1.6 小结	11
1.7 习题	11
第 2 章 逻辑门电路	12
2.1 基本逻辑门电路	12
2.1.1 与门电路	12
2.1.2 或门电路	13
2.1.3 非门电路	14
2.1.4 复合逻辑门	15
2.1.5 正逻辑和负逻辑	16
2.2 集成数字集成逻辑门电路	17
2.2.1 基本与非门工作原理	17
2.2.2 与非门的技术参数	18
2.2.3 与非集电极开路门	19
2.2.4 三态门	20

摇摇圆猿圆逻辑门电路	圆原
圆猿圆电路的基本结构	圆原
圆猿圆的工作特点	圆远
摇摇圆源圆其他双极型逻辑门	圆远
圆源圆高阈值逻辑电路	圆远
圆源圆集成注入逻辑电路	圆远
摇摇圆缘圆互补逻辑门电路	圆苑
圆缘圆互补场效应管及其开关特性	圆苑
圆缘圆互补逻辑电路	圆愿
圆缘圆互补逻辑电路	圆怨
摇摇圆远圆数字集成电路使用中应注意的问题	猿
圆远圆电源	猿
圆远圆输出端的连接	猿
圆远圆不用输入端的处理	猿
圆远圆负载使用	猿
圆远圆互补电路的储电防护	猿
圆远圆互补电路与互补电路的连接	猿
摇摇圆苑圆小结	猿
摇摇圆圆圆习题	猿
第猿章摇逻辑代数与逻辑函数	猿
摇摇猿圆圆基本逻辑运算	猿
猿圆圆基本运算公式	猿
猿圆圆基本运算定律	猿
猿圆圆基本运算规则	猿
摇摇猿猿圆逻辑函数的变换和化简	猿
猿猿圆逻辑函数变换和化简的意义	猿
猿猿圆逻辑函数代数法化简	猿
摇摇猿源圆逻辑函数的卡诺图化简法	源
猿源圆最小项	源
猿源圆逻辑函数的最小项表达式	源
猿源圆卡诺图	源
猿源圆逻辑函数的卡诺图表示	源
猿源圆逻辑函数的卡诺图化简	源
摇摇猿缘圆逻辑函数门电路的实现	源
摇摇猿远圆小结	源
摇摇猿圆圆习题	源

第 9 章 组合逻辑电路	缘
9.1 组合逻辑电路的分析与设计	缘
9.1.1 组合逻辑电路的分析	缘
9.1.2 组合逻辑电路的设计	缘
9.2 组合逻辑电路的竞争冒险	缘
9.2.1 产生竞争冒险的原因	缘
9.2.2 竞争冒险的消除	缘
9.3 编码器	缘
9.3.1 编码器的工作原理	缘
9.3.2 集成电路编码器	缘
9.4 译码器	缘
9.4.1 唯一地址译码器	缘
9.4.2 数字显示器	缘
9.5 数据分配器与数据选择器	缘
9.5.1 数据分配器	缘
9.5.2 数据选择器	缘
9.6 加法器与算术逻辑单元	缘
9.6.1 半加器	缘
9.6.2 全加器	缘
9.6.3 多位加法器	缘
9.6.4 算术逻辑单元	缘
9.7 数值比较器	缘
9.7.1 比较器的构成原理	缘
9.7.2 集成数值比较器	缘
9.8 小 结	缘
习 题	缘
第 10 章 触发器	愿
10.1 磁触发器	愿
10.1.1 基本磁触发器	愿
10.1.2 同步磁触发器	愿
10.1.3 主从磁触发器	愿
10.1.4 集成磁触发器	愿
10.2 磁触发器	愿
10.2.1 主从磁触发器	愿
10.2.2 边沿磁触发器	愿
10.2.3 集成磁触发器	愿
10.3 磁触发器与磁触发器	愿
10.3.1 磁触发器	愿

第 1 章 逻辑门电路	1
1.1 逻辑代数	1
1.1.1 逻辑代数的基本运算	1
1.1.2 逻辑代数的基本定律	3
1.1.3 逻辑代数的公式证明法	5
1.1.4 逻辑代数的卡诺图法	10
1.2 逻辑门电路	15
1.2.1 逻辑门电路的组成	15
1.2.2 逻辑门电路的符号表示法	16
1.2.3 逻辑门电路的集成	18
1.2.4 逻辑门电路的测试	20
1.3 组合逻辑电路	22
1.3.1 组合逻辑电路的组成	22
1.3.2 组合逻辑电路的分析和设计	24
1.3.3 组合逻辑电路的测试	28
1.4 锁存器和触发器	30
1.4.1 锁存器	30
1.4.2 触发器	32
1.5 小结	35
习题	36
第 2 章 脉冲波形的产生与变换	40
2.1 概述	40
2.1.1 脉冲波形产生与变换电路的组成	40
2.1.2 边缘定时器	42
2.2 多谐振荡器	44
2.2.1 由与非门组成的多谐振荡器	44
2.2.2 石英晶体时钟脉冲发生器	46
2.2.3 由边缘定时器组成的多谐振荡器	48
2.3 单稳态触发器	50
2.3.1 由与非门组成的单稳态触发器	50
2.3.2 由边缘定时器组成的单稳态触发器	52
2.4 施密特触发器	54
2.5 小结	56
习题	57
第 3 章 数模和模数转换器	60
3.1 数模转换器	60
3.1.1 权电阻型数模转换器	60
3.1.2 倒 T 形电阻网络数模转换器	62
3.1.3 数模转换器的主要技术参数	64
3.1.4 集成数模转换器	66
3.2 模数转换器	68
3.2.1 采样保持电路	68
3.2.2 并行模数转换器	70
3.2.3 逐次逼近式模数转换器	72
3.2.4 双积分式模数转换器	74
3.3 小结	76
习题	77
附录 A 国家标准 GB 4458.1~4458.4	78
附录 B 常用逻辑符号对照表	80

附录 1 74LS00和 74LS10逻辑门电路的技术参数	附录 1
附录 2 国家标准 GB 3430-83《国产半导体集成电路型号命名法》	附录 2
部分习题答案	附录 3
参考文献	附录 4

第 1 章 数字逻辑电路基础知识

随着数字信号与系统的开发和应用,现在,众多的电子系统,诸如,电子计算机、通信系统、自动控制系统、影视音响系统无一不使用数字电路。数字电路同模拟电路一样,也经历了由电子管和半导体分立元件组成的分立器件电路,发展成在微小的芯片上集成半导体器件及无源器件的集成电路。但是对数字电路而言,这种电路的集成度已达到超大规模集成电路的水平,因而提高了数字电路的可靠性,缩小了系统的体积,更有利于大批量生产,达到提高产品技术经济指标的目的。本章首先讨论数字电路的特点,然后讨论数制、码制及基本逻辑运算。

1.1 数字电路的特点

模拟电路处理的信号是模拟信号,其时间变量是连续的,因而也称它为连续时间信号。数字电路处理的信号是数字信号,而数字信号的时间变量是离散的,这种信号也常称为离散时间信号。与模拟电路相比,数字电路具有以下特点:

(1) 数字信号常用二进制数来表示。每位数有两个数码,即 0 和 1,将实际中彼此联系又相互对立的两种状态,例如电压的有和无、电平的高和低、开关的通和断、灯泡的灭和亮等状态抽象出来用 0 和 1 来表示,称为逻辑 0 和逻辑 1,而且在电路上,可用电子器件的开关特性来实现,由此形成数字信号,所以数字电路又可称为数字逻辑电路。

(2) 数字电路中,器件常工作在开关状态,即饱和或截止状态,而模拟电路器件经常工作在放大状态。

(3) 数字电路研究的对象是电路输入与输出的逻辑关系,即逻辑功能。而模拟电路研究的对象是电路对输入信号的放大和变换功能。

(4) 数字电路的基本单元电路是逻辑门和触发器,而模拟电路的基本单元是放大器。

(5) 数字电路的分析工具是逻辑代数,表达电路的功能主要用功能表、真值表、逻辑表达式和波形图,而模拟电路采用的分析方法是图解法和微变等效电路法。

(6) 数字信号常用矩形脉冲波表示。脉冲波形如图 1-1 所示,特征参数有:脉冲幅度 U_m ,表示脉冲幅值;脉冲宽度 τ ,表示脉冲持续作用的时间;周期 T ,表示周期性的脉冲信号前后两次出现的时间间隔;占空比 q ,表示脉冲宽度 τ 占整个周期 T 的百分数,即

择越 τ 伊 T 缘
栽

摇摇在实际的数字系统中,脉冲波形并不是立即上升(正跳)或下降(负跳)的,如图 1-2 所示,因此脉冲波形特征参数又有了上升时间 t_r 和下降时间 t_f 。 t_r 定义为从脉冲幅度的 10% 到 90% 所经历的时间。 t_f 定义为从脉冲幅度的 90% 到 10% 所经历的时间。脉冲宽度 τ 则表示为一个脉冲波形上脉冲幅度为 50% 的两个点所对应的两个时间点间隔的时间。

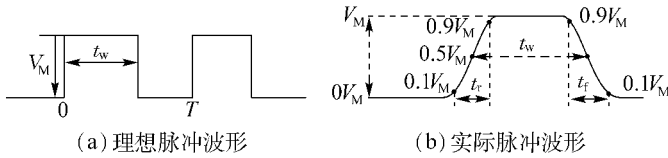


图 1.1 脉冲波形

1.1 数制

日常生活中,最常用的进位计数制(简称为进制)是十进制。而在数字系统中,多采用二进制数,有时也采用八进制数或十六进制数。为了总结归纳各种进制数的共同特点,首先总结归纳十进制数的特点。

1.1.1 十进制

十进制(Decimal)的特点:有十个数码,“逢十进一”。一个数的大小决定于数码的位置,即数位。数码相同,所在的位置不同,则数的大小也不同。例如,十进制数 1234 可写成展开式:

$$1234 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

其中,10 称为基数,10³,10²,10¹,10⁰ 称为各位数的“权”。十进制数的个位的权为 1,十位的权为 10,百位的权为 100,....任何一个十进制数 N₁₀ 可表示为:

$$N_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中, a_i 为各位数的数码, 10ⁱ 为各位数的权,所对应的数值为 a_i × 10ⁱ

1.1.2 二进制

二进制(Binary)的特点:只有两个数码,且“逢二进一”。任意一个二进制数 N₂ 的展开式为:

$$N_2 = \sum_{i=0}^{n-1} b_i \times 2^i$$

其中,2 称为基数,2ⁱ 为各位数的权, b_i 为各位数的数码。例如一个二进制数 101101 可展开为:

$$101101_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

从二进制的特点可以看到它具有的优点。第一,只有两个数码,只需反映两种状态的元件就可表示一位数。因此,构成二进制数电路的基本单元结构简单。第二,储存和传递可靠。第三,运算简便。所以在计算机中都使用二进制数。

在数字系统中,二进制数的加、减运算使用最多。十进制数的加、减运算规则是逢十进一,借一还十。同理,二进制数的加、减运算规则是逢二进一,借一还二。例如计算二进制数 101101101 和 101101101 , 计算过程如下:

被加数	101101101	被减数	101101101
加	101101101	减	101101101
和	101101101	差	101101101

十六进制

用二进制表示一个较大的数,位数太多,书写和阅读均不方便,因此在计算机中还常常使用十六进制(逢十六进一)。十六进制的特点:有 16 个数码(0~9, A~F)。“逢十六进一”。一个十六进制数 (N_{16}) 可展开为:

$$\begin{aligned}
 N_{16} &= a_n \cdot 16^n + a_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 16^1 + a_0 \cdot 16^0 \\
 &= \sum_{i=0}^n a_i \cdot 16^i
 \end{aligned}$$

其中 16 称为基数, 16^i 为各位数的权, a_i 为第 i 位数的数码。例如一个十六进制数 (N_{16}) 可展开为:

$$\begin{aligned}
 N_{16} &= a_n \cdot 16^n + a_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 16^1 + a_0 \cdot 16^0 \\
 &= \sum_{i=0}^n a_i \cdot 16^i
 \end{aligned}$$

上述表示方法可以推广到任意的 R 进制。在 R 进制中有 R 个数码,基数为 R ,其各位数码的权是 R 的幂。因而一个 R 进制数可表示为:

$$\begin{aligned}
 (N_R) &= a_n \cdot R^n + a_{n-1} \cdot R^{n-1} + \dots + a_1 \cdot R^1 + a_0 \cdot R^0 \\
 &= \sum_{i=0}^n a_i \cdot R^i
 \end{aligned}$$

不同进制数的表示符号

在不同应用场合用不同进制表示同一个数时,为了区别出不同进位制表示的数,常用下标或尾符予以区别。用 (N_{10}) 分别表示十、二、十六进制,例如:

$$\begin{aligned}
 & (N_{10}) \text{ 或 } (N_{10})_{10} \\
 & (N_2) \text{ 或 } (N_2)_2 \\
 & (N_{16}) \text{ 或 } (N_{16})_{16}
 \end{aligned}$$

对于十进制数可以不写下标或尾符。

