

21世纪国家电工电子教学基地教材

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

数字电路与逻辑设计

(第二版)

林 红 主编
张士军 周鑫霞 编著



清华大学出版社

高等学校教材
电子信息

数字电路与逻辑设计

(第二版)

林红 主编
张士军 周鑫霞 编著

清华大学出版社
北京

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。本书主要内容包括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、半导体存储器和可编程逻辑器件、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)及自测试卷,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40~60学时。本书也可供工程技术人员自学和参考。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计/林红主编;张士军,周鑫霞编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2009.4
(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-19384-5

I. 数… II. ①林… ②张… ③周… III. 数字电路—逻辑设计—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第012469号

责任编辑:魏江江

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.75 字 数:499千字

版 次:2004年7月第1版 2009年4月第2版

印 次:2009年4月第7次印刷

印 数:21001~25000

定 价:29.00元

本书如存在文字不清、漏印、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)62770177 转 3103 产品编号:028851-01

编审委员会成员

高等学校教材·电子信息

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学
西南交通大学

重庆工学院

王志功 教授
王新龙 教授
王成华 教授
邓元庆 教授
刘景夏 副教授
方 勇 教授
朱 杰 教授
何 晨 教授
严国萍 教授
朱定华 教授
吴彦文 教授
刘复华 教授
李中年 教授
蒋刚毅 教授
王成山 教授
郭维廉 教授
王煦法 教授
郭从良 教授
徐佩霞 教授
赵鹤鸣 教授
刘志军 教授
郑永果 教授
朱守正 教授
张秉权 教授
张丽英 教授
林 君 教授
何怡刚 教授
曾喆昭 教授
冯久超 教授
冯全源 教授
金炜东 教授
余成波 教授

重庆通信学院	曾凡鑫	教授
重庆大学	曾孝平	教授
重庆邮电学院	谢显中	教授
	张德民	教授
西安电子科技大学	彭启琮	教授
	樊昌信	教授
西北工业大学	何明一	教授
集美大学	迟岩	教授
云南大学	刘惟一	教授
东华大学	方建安	教授

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”是教育部正在制定的《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21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。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过二十多年的努力,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:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

第二版前言

高等学校教材·电子信息

《数字电路与逻辑设计》一书自 2004 年出版以来,被许多院校和培训部门选为教材,得到了广大读者的关心。随着电子技术、计算机技术的迅猛发展及教改的进一步深入,原书中的一些内容需要进一步完善,同时,在课程体系和讲授方面也需要做必要的调整和改进。因此,本书在初版的基础上进行了修改,以便更好地适应当前数字电子技术课程教学的需要。

在本书的第二版修订工作中,仍依据教育部(原国家教委)1995 年颁发的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”,同时,继续遵循本书第一版的编写原则:“保证基础,精选内容,加强方法,突出应用,由浅入深,利于自学”。在内容和体系上做了如下修订。

首先,为了适应现代电子技术迅速发展的需要,能够较好地面向 21 世纪,面向数字化和专用集成电路的新时代,在保证基本概念、基本原理和基本方法的前提下,突出综合能力的培养和训练以及集成电路逻辑特性的介绍。

其次,在本书中,为了更好地理解集成门电路的工作原理,增加了半导体二极管、晶体管和 MOS 管的开关特性。为了突出应用,增加了方法应用的实例,加强了逻辑电路的设计部分。

最后,在修订时,注意保持和发扬原书的风格和特点,力求简明扼要,深入浅出,便于自学。在内容的安排和介绍中不仅思路清晰,而且注意归纳提出的问题和解决问题的步骤,注重教学效果,为此,增加了重要内容的例题、习题、习题答案和自测试卷。

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。

本书的修订工作由林红担任主编,张士军、周鑫霞担任编著,参加编写的人员还有李群、蒙向阳、杨凡、张艳艳、徐海林、杨桦、郭典、程萍、张德芳。

本书在修订过程,得到有关专家和教师的指导和帮助,在此表示衷心地感谢。

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

2009 年 3 月

《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,避免了高深的理论,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计算机专业技术知识,对集成电路的讨论强化“外部”、淡化“内部”,并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

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	2
1.2.1 十进制.....	2
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.....	4
1.3.3 十进制数转换成二、十六进制数	5
1.4 二进制代码	6
1.4.1 自然二进制代码.....	6
1.4.2 二—十进制代码(BCD 码)	7
1.4.3 ASCII 码.....	7
1.5 基本逻辑运算	8
1.5.1 与逻辑运算.....	8
1.5.2 或逻辑运算.....	9
1.5.3 非逻辑运算	10
1.6 小结.....	10
习题	11
第 2 章 逻辑门电路	12
2.1 开关元件的开关特性	12
2.1.1 二极管的开关特性	12
2.1.2 晶体管的开关特性	13
2.2 基本逻辑门电路	14
2.2.1 与门电路	14

2.2.2	或门电路	15
2.2.3	非门电路	16
2.2.4	复合逻辑门	17
2.2.5	正逻辑和负逻辑	18
2.3	TTL 数字集成逻辑门电路	19
2.3.1	基本 TTL 与非门工作原理	19
2.3.2	TTL 与非门的技术参数	21
2.3.3	TTL 集电极开路门	24
2.3.4	三态门	26
2.3.5	TTL 常用集成电路芯片	29
2.4	ECL 逻辑门电路	30
2.4.1	电路的基本结构	31
2.4.2	ECL 门的工作特点	32
2.5	其他双极型逻辑门	32
2.5.1	高阈值逻辑电路	32
2.5.2	集成注入逻辑电路	33
2.6	MOS 逻辑门电路	33
2.6.1	MOS 场效应管及其开关特性	33
2.6.2	NMOS 逻辑电路	34
2.6.3	CMOS 逻辑电路	35
2.7	数字集成电路使用中应注意的问题	37
2.7.1	电源	37
2.7.2	输出端的连接	37
2.7.3	不用输入端的处理	37
2.7.4	负载使用	37
2.7.5	CMOS 电路的储电防护	37
2.7.6	CMOS 电路与 TTL 电路的连接	38
2.8	小结	38
	习题	39
第 3 章	逻辑代数与逻辑函数	45
3.1	逻辑代数的基本运算	45
3.1.1	基本运算公式	45
3.1.2	基本运算定律	45
3.1.3	基本运算规则	46
3.2	逻辑函数的变换和化简	47
3.2.1	逻辑函数变换和化简的意义	47
3.2.2	逻辑函数的代数法变换	48
3.2.3	逻辑函数的代数法化简	48

3.3	逻辑函数的卡诺图法化简法与变换	50
3.3.1	最小项	50
3.3.2	逻辑函数的最小项表达式	51
3.3.3	卡诺图	52
3.3.4	逻辑函数的卡诺图表示	53
3.3.5	逻辑函数的卡诺图化简	54
3.3.6	逻辑函数的卡诺图变换	57
3.4	逻辑函数门电路的实现	58
3.5	小结	60
	习题	60
第4章	组合逻辑电路	64
4.1	组合逻辑电路的分析与设计	64
4.1.1	组合逻辑电路的分析	64
4.1.2	组合逻辑电路的设计	66
4.2	组合逻辑电路的竞争冒险	69
4.2.1	产生竞争冒险的原因	69
4.2.2	竞争冒险的检查方法	70
4.2.3	竞争冒险的消除	72
4.3	编码器	72
4.3.1	编码器的工作原理	72
4.3.2	集成电路编码器	74
4.4	译码器	78
4.4.1	唯一地址译码器	79
4.4.2	数字显示器	83
4.5	数据分配器与数据选择器	85
4.5.1	数据分配器	85
4.5.2	数据选择器	86
4.6	加法器与算术逻辑单元	89
4.6.1	半加器	89
4.6.2	全加器	90
4.6.3	多位加法器	91
4.7	数值比较器	95
4.7.1	比较器的构成原理	95
4.7.2	集成数值比较器	95
4.8	小结	99
	习题	100

第 5 章 触发器	105
5.1 RS 触发器	105
5.1.1 基本 RS 触发器	105
5.1.2 同步 RS 触发器	109
5.1.3 主从 RS 触发器	111
5.1.4 集成 RS 触发器	113
5.2 JK 触发器	114
5.2.1 主从 JK 触发器	114
5.2.2 边沿 JK 触发器	117
5.2.3 集成 JK 触发器	119
5.3 D 触发器与 T 触发器	120
5.3.1 D 触发器	120
5.3.2 T 触发器	123
5.4 触发器的建立时间和保持时间	123
5.5 触发器的功能转换	124
5.6 小结	125
习题	126
第 6 章 时序逻辑电路	133
6.1 时序逻辑电路的基本概念	133
6.1.1 时序逻辑电路的基本结构及特点	133
6.1.2 时序逻辑电路的分类	134
6.1.3 时序逻辑电路功能的描述方法	134
6.2 时序逻辑电路的分析	135
6.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	136
6.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	136
6.2.3 异步时序逻辑电路的分析举例	142
6.3 同步时序电路的设计方法	144
6.3.1 同步时序逻辑电路设计的一般步骤	144
6.3.2 同步时序逻辑电路设计举例	146
6.4 计数器	153
6.4.1 二进制计数器	153
6.4.2 集成计数器	160
6.5 寄存器	168
6.5.1 数据寄存器	169
6.5.2 移位寄存器	170
6.5.3 移位寄存器型计数器	170
6.5.4 多功能寄存器	176

6.6	算法状态机	179
6.6.1	ASM 图	179
6.6.2	设计举例	182
6.7	小结	188
	习题	188
第 7 章	半导体存储器和可编程逻辑器件	199
7.1	半导体存储器概述	199
7.1.1	半导体存储器的分类	199
7.1.2	半导体存储器的基本结构	199
7.1.3	半导体存储器的技术指标	201
7.2	随机存取存储器(RAM)	201
7.2.1	RAM 存储单元	201
7.2.2	集成 RAM 简介	204
7.2.3	RAM 存储容量的扩展	206
7.3	只读存储器(ROM)	210
7.3.1	存储数据的基本原理	210
7.3.2	读数原理	212
7.4	可编程逻辑器件(PLD)	214
7.4.1	PLD 电路表示法	214
7.4.2	可编程阵列逻辑器件(PAL)	218
7.4.3	可编程通用阵列逻辑器件(GAL)	219
7.4.4	可编程阵列逻辑(PLA)	227
7.5	小结	229
	习题	230
第 8 章	脉冲波形的产生与变换	234
8.1	概述	234
8.1.1	脉冲波形产生与变换电路的组成	234
8.1.2	555 定时器	234
8.2	多谐振荡器	236
8.2.1	由与非门组成的多谐振荡器	236
8.2.2	石英晶体时钟脉冲发生器	238
8.2.3	由 555 定时器组成的多谐振荡器	240
8.3	单稳态触发器	243
8.3.1	由与非门组成的单稳态触发器	243
8.3.2	由 555 定时器组成的单稳态触发器	245
8.4	施密特触发器	248
8.5	小结	251

习题	252
第 9 章 数模和模数转换器	254
9.1 D/A 转换器	254
9.1.1 权电阻型 D/A 转换器	254
9.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	256
9.1.3 D/A 转换器的主要技术参数	258
9.1.4 集成 D/A 转换器	259
9.2 A/D 转换器	260
9.2.1 采样-保持电路	261
9.2.2 并行 A/D 转换器	261
9.2.3 逐次逼近式 A/D 转换器	263
9.2.4 双积分式 A/D 转换器	266
9.3 小结	269
习题	269
附录 A 国家标准 GB4728.12—85	271
附录 B 常用逻辑符号对照表	278
附录 C TTL 和 CMOS 逻辑门电路的技术参数	280
附录 D 国家标准 GB3430—82《国产半导体集成电路型号命名法》	281
部分习题答案	283
自测试卷	296
自测试卷答案	308
参考文献	313

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,然后讨论数字电路常用的数制、码制,最后介绍基本的逻辑运算。

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,以及开关的通和断、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、波形图和卡诺图等,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表示。其波形如图 1.1.1(a) 所示,特征参数有:脉冲幅度 U_M ,表示脉冲幅值;脉冲宽度 t_w ,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 t_w 占整个周期 T 的百分数,即

$$q = \frac{t_w}{T} \times 100\%$$

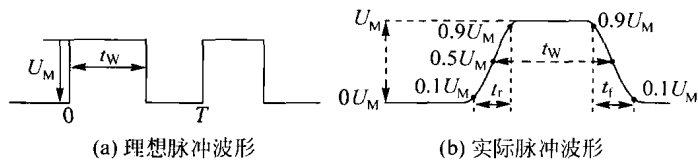


图 1.1.1 矩形脉冲

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 1.1.1(b)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%~90% 所经历的时间。 t_f 定义为从脉冲幅度的 90%~10% 所经历的时间。脉冲宽度 t_w 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。

1.2 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。

1.2.1 十进制

十进制(Decimal)数的特点:有 0,1,⋯,9,十个数码;“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 1995 可写成展开式:

$$1995 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

式中:10 称为基数, $10^0, 10^1, 10^2, 10^3$ 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 N_D 可表示为:

$$\begin{aligned} N_D &= d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中: d_i 为各位数的数码, 10^i 为各位数的权,各位数所对应的数值为 $d_i \times 10^i$ 。

1.2.2 二进制

二进制(Binary)数的特点:只有 0,1 两个数码,且“逢二进一”。任意一个二进制数 N_B 的展开式为:

$$\begin{aligned} N_B &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \end{aligned}$$

式中:2 称为基数, 2^i 为各位数的权, b_i 为各位数的数码。例如一个二进制数 1101.101 可展开为: