

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

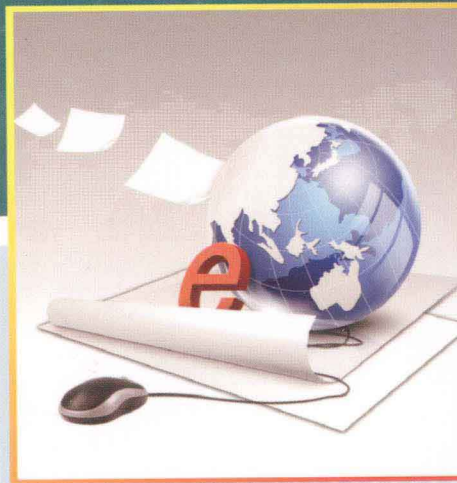
数字逻辑

(第二版)

DIGITAL LOGIC (2ND EDITION)

何火娇 主编

华晶 殷华 肖志勇 副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

数字逻辑

(第二版)

何火娇 主 编
华 晶 殷 华 肖志勇 副主编

内 容 简 介

本书是计算机科学与技术、软件工程等电气信息类专业“数字逻辑”课程的教材。全书内容分为9章：数字电路基础，逻辑运算门电路，逻辑代数和逻辑函数化简，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，数/模和模/数转换电路、EDA设计与数字系统综合实例。

“数字逻辑”课程是计算机科学与技术、软件工程等电气信息类专业的专业基础课程。根据这类专业的特点，本书精选教学内容，突出数字逻辑的分析方法和数字集成器件逻辑功能分析，具有重点突出、叙述通俗和实用的特点；并从培养学生学习能力出发，把每节的重点教学内容精心设计成思考题，以便帮助学生掌握本节的教学内容，书中还配有适量的例题和习题供学生学习与训练。

本书适合作为高等学校计算机科学与技术、软件工程等电气信息类专业“数字逻辑”课程的教材，也可作为相关读者学习“数字逻辑”课程的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑/何火娇主编. —2版. —北京:中国铁道出版社,2013.8

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材
ISBN 978-7-113-17197-1

I. ①数… II. ①何… III. ①数字逻辑—高等学校—教材 IV. ①TP331.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第201545号

书 名：数字逻辑(第二版)

作 者：何火娇 主编

策划编辑：孟 欣

读者热线电话：400-668-0820

责任编辑：孟 欣 鲍 闻

封面设计：付 巍

封面制作：白 雪

责任印制：李 佳

出版发行：中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址：<http://www.51eds.com>

印 刷：北京市昌平开拓印刷厂

版 次：2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：14.5 字数：339千

书 号：ISBN 978-7-113-17197-1

定 价：29.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书，如有印制质量问题，请与本社教材图书营销部联系调换。电话：(010)63550836
打击盗版举报电话：(010)63549504

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材

编
审
委
员
会

主 任：蒋宗礼(北京工业大学)

副主任：王志英(国防科技大学)
杨 波(济南大学)

委 员：(按姓氏音序排列)

常会友(中山大学)

刘腾红(中南财经政法大学)

罗军舟(东南大学)

王国仁(东北大学)

王命延(南昌大学)

吴 跃(电子科技大学)

袁晓洁(南开大学)

岳丽华(中国科技大学)

张 莉(北京航空航天大学)

陈俊杰(太原理工大学)

陈 明(中国石油大学)

陈芙蓉(贵州大学)

陈志国(河南大学)

顾乃杰(中国科技大学)

胡 亮(吉林大学)

黄国兴(华东师范大学)

姜守旭(哈尔滨工业大学)

计算机学科虽然是一门年轻的学科,但它已经成为一门基础技术学科,在各个学科发展中扮演着重要的角色。因此,社会产生了对计算机科学与技术专业人才的巨大需求。目前,计算机科学与技术专业已成为我国理工专业中规模最大的专业,为高等教育发展做出了巨大贡献。近些年来,随着国家信息化建设的推进,作为核心技术的计算机技术,更是占有重要的地位。信息化建设不仅需要更先进、更便于使用的先进计算技术,同时也需要大批的建设人才。瞄准社会需求准确定位,培养计算机人才,是计算机科学与技术专业及其相关专业的历史使命,也是实现专业教育从劳动就业供给导向型向劳动就业需求导向型转变的关键,从而也就成为提高高等教育质量的关键。

教材在人才培养中占有重要地位,承担着“重要的责任”,这就确定了“教材必须高质量”这一基本要求。社会对计算机专业人才需求的多样性和特色,决定了教材建设的针对性,从而也就造就了百花齐放、百家争鸣的局面。

关于高质量教材建设,教育部在提高本科教育质量的文件中都提出了明确要求。教高〔2005〕1号(2005年1月7日)文件指出:“加强教材建设,确保高质量教材进课堂。要大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标。”“要健全、完善教材评审、评价和选用机制,严把教材质量关。”为了更好地落实教育部的这些要求,我们按照教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会发布的《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》所构建的计算机科学与技术专业本科教育的要求,组织了这套教材。

作为优秀教材的基础,我们首先坚持高标准,以对教育负责的精神去鼓励、发现、动员、选拔优秀作者,并且有意识地培育优秀作者。优秀作者保证了“理论准确到位,既有然,更有所以然;实践要求到位、指导到位”等要求的实现。

其次是按照人才培养的需要适当强调学科形态内容。粗略地讲:计算机科学的根本问题是“什么能被有效地自动计算”,科学型人才强调学科抽象和理论形态的内容;计算机系统工程的根本问题应该是“如何低成本、高效地实现自动计算”,工程型人才强调学科抽象和设计形态的内容;计算机应用的根本问题是“如何方便、有效地利用计算机系统进行计算”,应用型人才的培养偏重于技术层面的内容,强调学科设计形态的内容,在进一步开发基本计算机系统应用的层面上体现学科技术为主的特征。教材针对不同类型人才的培养,在满足基本知识要求的前提下,强调不同形态的内容。

再次是重视知识的载体作用,促进能力培养。在教材内容的组织上,体现大学教育的学科性和专业性特征,参考《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》示范性课程大纲,覆盖其要求的基本知识单元。叙述上力争引导读者进行深入分析,努力使读者在知其然的基础上,探究其所以然。通过加强对练习和实践的引导,进一步培养学生的能力,促使相应课程在专业教育总目标的实现中发挥作用。

第四是瞄准教学需要,提供更多支持。近些年来,随着计算机技术、网络技术等在教学上的应用,教学手段、教学方式不断丰富,教材的立体化建设对丰富教学资源发挥了重要作用。通常,除主教材外,还要配套教学参考书、实验指导书、电子讲稿,有的还提供网络教学服务,等等。

第五是面向主要读者,强调教材的写作特征,努力做到叙述清晰易懂,语言流畅,深入浅出,有吸引力而不晦涩;追求描述的准确性,强调用词和描述的一致性,语言表达的清晰性和叙述的完整性;分散难点,循序渐进,防止多难点、多新概念的局部堆积。

我们相信,这套教材一定能够在培养社会需要的计算机专业人才上发挥重要作用,希望大家广为选用,并在使用中提出宝贵建议,使其内容不断丰富。

普通高等学校计算机科学与技术专业规划教材编审委员会

2008年1月

本书是江西省高等学校数字逻辑精品课程教材,并于2013年获江西省普通高校第五届优秀教材二等奖。

“数字逻辑”课程是计算机科学与技术、软件工程等电气信息类专业必修的专业基础课程,在专业课程体系中,它是硬件系列课程的先修课。本书是根据计算机科学与技术、软件工程等专业人才培养目标,围绕着培养学生的学习能力、分析问题和解决问题的能力来编写的。本书在第一版的基础上,经过几个教学循环使用后,进行了勘误和对部分章节的内容修改而成,基本保留了第一版教材的内容。

本次改版进行修改的内容如下:

(1)第6章“时序逻辑电路”,增加了集成时序逻辑部件的应用举例。

(2)第7章“半导体存储器和可编程逻辑器件”,增加了“RAM存储器的组成及其工作原理”的介绍;强化了存储器扩展的内容,增加了全译码编址的内容;对存储器ROM的等效电路简化的画法做了修改。这一章的编写内容和修改的内容,主要是考虑到计算机类专业和软件类专业学生的需求而编写的,为学生学习后续课程和将来从事计算机应用与软件开发打下基础。

(3)对第一版中的错误进行了勘误和修正。

本书学时数仍然为54~60学时。

本书由江西农业大学何火娇任主编,华晶、殷华、肖志勇任副主编。全书共分为9章,其中,第1、2、3、5、6章由何火娇编写,第4章由华晶编写,第7、9章由殷华编写,第8章由肖志勇编写。

本书再版得到了江西农业大学软件学院、教务处和中国铁道出版社的大力支持,黄双根老师认真、负责地提出了修改意见。

“数字逻辑”精品课程网址为 <http://jwc.jxau.edu.cn>。

对于书中存在的疏漏和不足,敬请读者批评指正。

编者
2013年7月

第一版前言

FOREWORD

本书是江西省高等学校数字逻辑精品课程教材,学时数为 54 ~ 60。

数字逻辑课程是计算机科学与技术、软件工程等电气信息类专业必修的专业基础课程,在专业课程体系中,它是硬件系列课程的先修课。本书是根据计算机科学与技术、软件工程等专业人才培养目标,围绕着培养学生的学习能力、分析问题和解决问题的能力来编写的。因此,本教材具有以下特点:

(1)精选教学内容。在选取教学内容时,注重教学内容的基础性、实用性和先进性,使学生在学完本书后对数字系统有全面的了解。

(2)突出重点。对于本书的重点章节作了深入浅出地阐述,如在第 3 章逻辑代数与逻辑函数化简中,通过列举大量的例题详细地介绍逻辑代数化简逻辑函数的方法;在介绍卡诺图化简逻辑函数时,循序渐进、图文并茂地介绍卡诺图化简逻辑函数的方法,帮助学生较好地掌握逻辑函数化简的方法。在第 4 章组合逻辑一章中重点介绍了组合逻辑电路的分析;由于触发器是时序逻辑电路的基础,所以在第 5 章中,重点介绍了各触发器的状态表及使用状态表分析触发器的工作过程,对状态表、状态图的转换和波形图作了较详尽的叙述。

(3)强调实用性。突出逻辑电路的分析方法和集成逻辑器件的使用方法,还突出了数字电路的分析方法、数字集成电路组件逻辑功能分析和集成逻辑器件的使用。

(4)突出对学习能力的培养。从学生的角度出发,把每节的重点教学内容精心设计成思考题,学生通过思考题的训练,能够掌握本节的知识,达到教学要求;书中还配有大量的例题和习题供学生学习与训练。

本书由江西农业大学何火娇担任主编,并完成统稿工作,河北农业大学任力生和河南农业大学姚传安等担任副主编。其中,第 1 章 ~ 第 3 章、第 5、6 章由何火娇、任力生、姚传安等编写,第 4 章、第 7 章、第 8、9 章分别由江西农业大学华晶、殷华和肖志勇等编写。

本书中有“*”号的章节是可选的教学内容。

“数字逻辑”精品课程网址为 <http://jwc.jxau.edu.cn/>

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编者
2010 年 6 月

关于天勤

天勤教学网(www.51eds.com)是中国铁道出版社旗下全资子公司——北京国铁天勤文化发展有限公司创办的教学资源服务平台,网站以满足广大师生需求为基本出发点,以服务用户为宗旨,为用户提供优质教学资源,本着创新、发展的经营理念,时刻把师生的满意度放在第一位,面向实际,面向用户,开拓进取,追求卓越,全力打造国内专业教学资源品牌,努力创建领先教学资源服务基地,力争为教育事业做出巨大贡献!

目前有 1800 所高等院校

1400 所中学校

12000 位老师选择中国铁道出版社作为合作伙伴

品牌

- 60余年的中央级出版社
- 首批教育部教材出版基地
- 拥有“双一”出版市场占有率

质量

- 百余种“十一五”国家级规划教材
- 专家阵容庞大,多家教指委悉心指导
- 立足一线教学需求
- 重金打造质量工程

服务

- 提供针对性、多层次的产品
- 可使备课轻松,教学方便
- 多途径、多角度提升教师个人价值
- “一站式出版”,轻松享受出版成果
- “课程出版”使教师教学效率高,学生学习效果好



4000-668-0820

中国铁道出版社·教材研究开发中心

地址:北京市西城区右安门西街8号-2号楼 邮编:100054

网址:www.51eds.com E-mail:tqbook@tqbooks.net

传真:010-63560058 教材服务QQ群:16425657

第 1 章 数字电路基础	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 数字逻辑电路的发展史	1
1.1.2 数字信号与数字电路	3
1.1.3 逻辑变量、常量和逻辑函数	4
1.2 基本逻辑和复合逻辑	5
1.2.1 基本逻辑	5
1.2.2 复合逻辑	7
1.3 数字电路的分析方法与测试技术	10
1.4 数字电路中的常用编码	10
1.4.1 二-十进制码(BCD 码)	11
1.4.2 可靠性代码	11
小结	12
习题	13
第 2 章 逻辑运算门电路	14
2.1 二极管门电路	14
2.1.1 二极管与门电路	14
2.1.2 二极管或门电路	15
2.2 晶体管门电路	16
2.2.1 晶体管的开关特性	17
2.2.2 晶体管非门电路	17
2.2.3 TTL 与非门电路	18
2.2.4 TTL 门电路的参数	20
2.3 三态门	22
2.3.1 三态门的电路结构	22
2.3.2 三态门工作原理	22
2.4 集成逻辑门电路的使用和注意事项	24
2.4.1 集成逻辑门电路的外形	24
2.4.2 注意事项	24
小结	25
习题	26

第3章 逻辑代数和逻辑函数化简	27
3.1 逻辑代数的基本定律	27
3.1.1 逻辑代数运算法则	27
3.1.2 三个基本法则	29
3.2 逻辑函数的最小项标准表达式	30
3.2.1 逻辑函数不同表示形式	30
3.2.2 最小项的定义及其性质	31
3.2.3 最小项标准式	33
3.3 逻辑函数的化简	34
3.3.1 最简逻辑函数	34
3.3.2 逻辑代数化简法	35
3.3.3 卡诺图的结构	36
3.3.4 逻辑函数的卡诺图表示	37
3.3.5 与或逻辑函数化简	38
3.3.6 无关项的化简	41
小结	42
习题	43
第4章 组合逻辑电路	45
4.1 组合逻辑电路的结构与特点	45
4.2 组合逻辑电路的分析	46
4.2.1 组合逻辑电路的分析方法	46
4.2.2 组合逻辑电路的分析举例	46
4.3 组合逻辑电路的设计	49
4.3.1 组合逻辑电路的设计方法	49
4.3.2 组合逻辑电路的设计举例	50
4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	53
4.4.1 产生竞争冒险现象的原因	53
4.4.2 冒险的分类	54
4.4.3 冒险现象的判别	55
4.4.4 冒险现象的消除	55
4.5 常用中规模组合逻辑器件	57
4.5.1 编码器	57
4.5.2 译码器	62
4.5.3 数据选择器和数据分配器	68
4.5.4 加法器	73
4.5.5 数值比较器	78
4.6 应用举例	81
4.6.1 编码器的应用	81
4.6.2 译码器的应用	82

4.6.3	数据选择器的应用	84
4.6.4	全加器的应用	87
4.6.5	数值比较器的应用	90
小结	90
习题	91
第5章	触发器	94
5.1	基本 RS 触发器	94
5.1.1	基本 RS 触发器的结构	94
5.1.2	触发器逻辑功能分析	95
5.2	可控 RS 触发器	98
5.2.1	可控 RS 触发器的结构	98
5.2.2	逻辑功能分析	98
5.2.3	带直接置位、复位的可控 RS 触发器	99
5.2.4	触发器的空翻问题	100
5.3	集成触发器	101
5.3.1	维持阻塞 D 触发器	101
5.3.2	JK 触发器	103
5.3.3	触发器之间的转换	105
5.3.4	触发器分析举例	107
5.3.5	触发器的选用和使用注意事项	111
小结	112
习题	112
第6章	时序逻辑电路	115
6.1	概述	115
6.1.1	时序逻辑电路的组成	115
6.1.2	时序逻辑电路的分类	116
6.2	时序逻辑电路分析	117
6.2.1	分析步骤	117
6.2.2	同步时序逻辑分析举例	118
6.2.3	异步时序电路分析	121
6.3	寄存器	123
6.3.1	数码寄存器	123
6.3.2	集成移位寄存器	124
6.4	计数器	126
6.4.1	同步二进制计数器	126
6.4.2	异步计数器	128
6.5	中规模集成计数器	130
6.5.1	同步 4 位二进制计数器 74LS161	130
6.5.2	二进制可逆计数器 74LS169	133

6.5.3 异步集成计数器 74LS90	135
6.5.4 十进制可逆集成计数器 74LS192	137
小结	139
习题	139
第7章 半导体存储器和可编程逻辑器件	142
7.1 概述	142
7.2 半导体存储器	143
7.2.1 只读存储器	143
7.2.2 随机存储器	144
7.2.3 存储器的内部结构	145
7.3 存储器容量扩展	150
7.3.1 存储器与 CPU 的连接	150
7.3.2 存储容量的扩展	151
7.3.3 存储空间地址范围的计算	154
7.4 可编程逻辑器件	156
7.4.1 可编程逻辑器件的发展	156
7.4.2 VHDL 语言简介	157
7.4.3 可编程逻辑器件的开发流程	158
小结	159
习题	159
第8章 数/模和模/数转换电路	160
8.1 概述	160
8.2 数/模转换电路	161
8.2.1 数/模转换器的原理与结构	161
8.2.2 数/模转换器的性能指标	162
8.2.3 典型数/模转换器的应用	163
8.3 模/数转换电路	165
8.3.1 模/数转换器的原理与结构	165
8.3.2 模/数转换器的性能指标	166
8.3.3 模/数转换器的应用	166
小结	168
习题	168
第9章 EDA 设计与数字系统综合实例	169
9.1 EDA 概述	169
9.1.1 EDA 技术的发展概况	169
9.1.2 EDA 常用软件	170
9.2 Protel 辅助电路板设计软件简介	171
9.3 Protel 软件设计举例	171

9.3.1 原理图设计	171
9.3.2 PCB 设计	173
9.4 数字系统综合设计实例:八路数字抢答器	177
9.4.1 数字抢答器的功能需求与工作过程	177
9.4.2 数字抢答器的设计	178
9.4.3 原理分析	179
小结	179
习题	180
附录 A 部分思考题及习题参考答案	181
附录 B 数字集成电路的型号命名法	216

第 1 章

数字电路基础

学习目标:

- 要求掌握正逻辑、负逻辑、逻辑变量、逻辑常量、逻辑函数和真值表等概念。
- 具备进行三种基本逻辑运算和复合逻辑运算的能力,会建立真值表。

本章介绍数字电路的入门知识。读者通过对本章的学习,能够了解数字电路的发展史,理解正逻辑、负逻辑、逻辑变量、逻辑常量和逻辑函数等基本的概念,从而使读者具备基本的逻辑运算能力。

1.1 数字电路概述

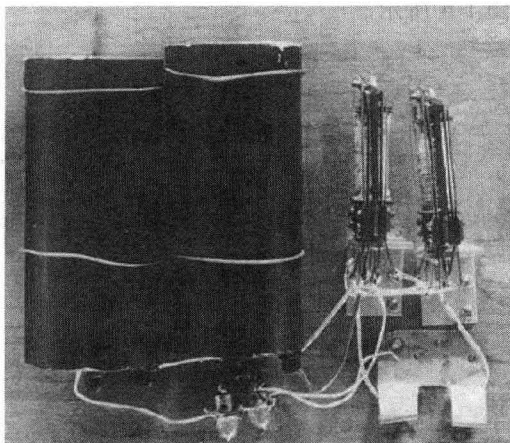
数字电路是用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路,或称为数字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能,所以又称数字逻辑电路或数字逻辑。

1.1.1 数字逻辑电路的发展史

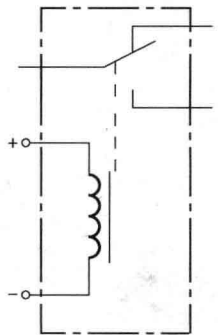
数字逻辑电路伴随着计算机一起共同经历了几个时代:

1. 早期的继电器逻辑运算电路

贝尔实验室第一部二进制加法器(1937年)和后来的复数运算器(1940年),都是采用继电器逻辑(Relay Logic)来实现的,如图1-1所示。图1-1(a)是早期继电器逻辑运算电路的实物外形图,图1-1(b)是图1-1(a)所示外形图的继电器触点开关电路。



(a) 早期继电器逻辑运算电路的实物外形图



(b) 继电器触点开关电路

图 1-1 早期的继电器逻辑

2. 由真空电子管构成的逻辑运算电路

20 世纪 40 年代出现了真空电子管,因此就有真空电子管构成的逻辑运算电路。真空电子管及其构成的计算机如图 1-2 所示。该计算机使用了 18 800 个真空管,占地 457 m^2 ,重约 30 t,功率约为 160 kW,每秒可以完成 5 000 次加法运算,或 385 次乘法运算,或 40 次除法运算,或 3 次开方运算。该计算机开始用来计算导弹的弹道,后来也用于天气预测、原子能计算等。

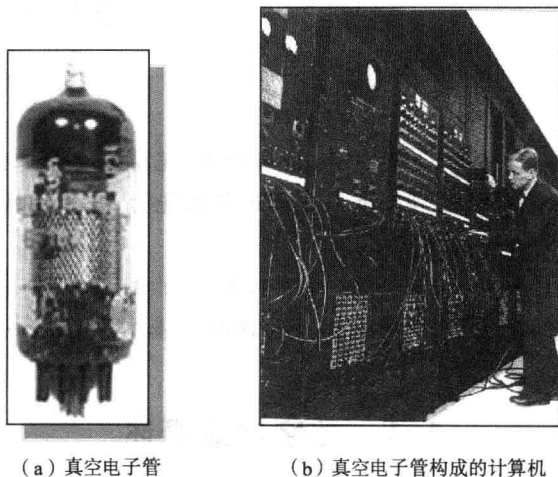


图 1-2 电子管构成的逻辑运算电路

3. 晶体管和场效应管构成的逻辑运算电路

20 世纪 50 年代出现了晶体管,如图 1-3 所示。20 世纪 60 年代 TTL(Transistor-Transistor Logic)逻辑出现。随后,集成电路(Integrated Circuit, IC)出现,包括小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)等。

20 世纪 60 年代, MOS 场效应管(Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET)出现。从 20 世纪 80 年代开始, MOS 电路开始逐步取代由 BJT 构成的 TTL 电路,现在, CMOS(Complementary MOS, CMOS)占据了世界 IC 市场的绝大部分。2000 年, Pentium 4 计算机的 CPU 约有 4 200 万个晶体管,如图 1-4 所示。

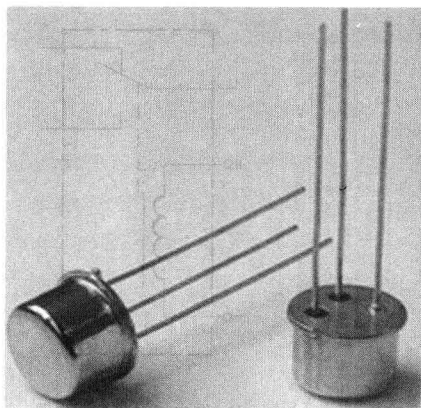


图 1-3 双极型晶体管

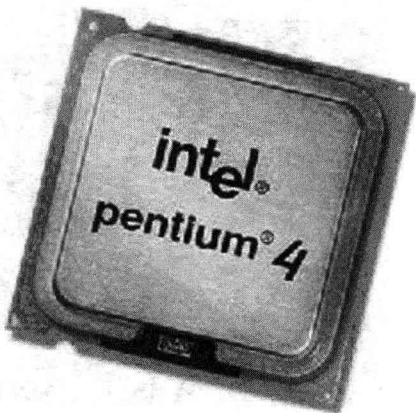


图 1-4 Pentium 4 CPU

由此可见,数字逻辑电路的发展依赖于电子元器件的发展,而电子计算机的发展又依赖于数字逻辑电路的发展,所以电子计算机的发展史也就是数字逻辑电路的发展史,二者密不可分。

1.1.2 数字信号与数字电路

1. 数字信号

数字信号在时间和数值上都是离散的和量化的,它们的值是阶跃变化并发生在某一瞬间,图 1-5(a)的矩形波是数字信号的典型代表。图 1-5(a)所示的数字信号与图 1-6 所示的模拟信号是不同的,因为模拟信号在时间和数值上都随时间连续变化,即它是连续函数。由图 1-5 所示的数字信号波形可见它是跃变信号,并且持续时间短暂,可短至几微秒(μs)甚至几纳秒(ns , $1\text{ns} = 10^{-3}\mu\text{s}$),也可把矩形波称为脉冲波形。

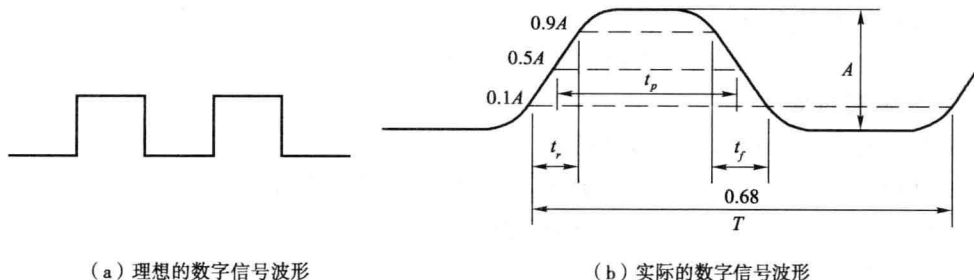


图 1-5 数字信号波形图

图 1-5(a)所示的波形是理想的数字信号,图 1-5(b)所示的是图 1-5(a)的实际波形,下面以图 1-5(b)说明数字信号波形的一些参数。

- (1) 波形的幅度 A ——脉冲信号变化的最大值。
- (2) 脉冲上升沿 t_r ——从脉冲幅度的 10% 上升到 90% 所需的时间。
- (3) 脉冲下降沿 t_f ——从脉冲幅度的 90% 下降到 10% 所需的时间。
- (4) 脉冲宽度 t_p ——从上升沿的脉冲幅度的 50% 到下降沿的脉冲幅度的 50% 所需的时间,这段时间也称为脉冲持续时间。
- (5) 脉冲周期 T ——周期性脉冲信号相邻两个上升沿(或下降沿)的脉冲幅度的 10% 两点之间的时间间隔。
- (6) 脉冲频率 f ——单位时间的脉冲数, $f = 1/T$ 。

此外,数字信号有正负之分,图 1-7(a)为正脉冲,图 1-7(b)为负脉冲。

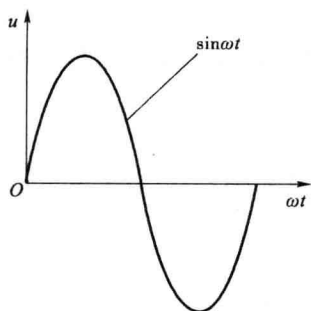


图 1-6 模拟信号波形

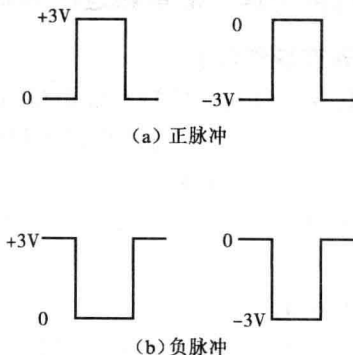


图 1-7 正脉冲和负脉冲