

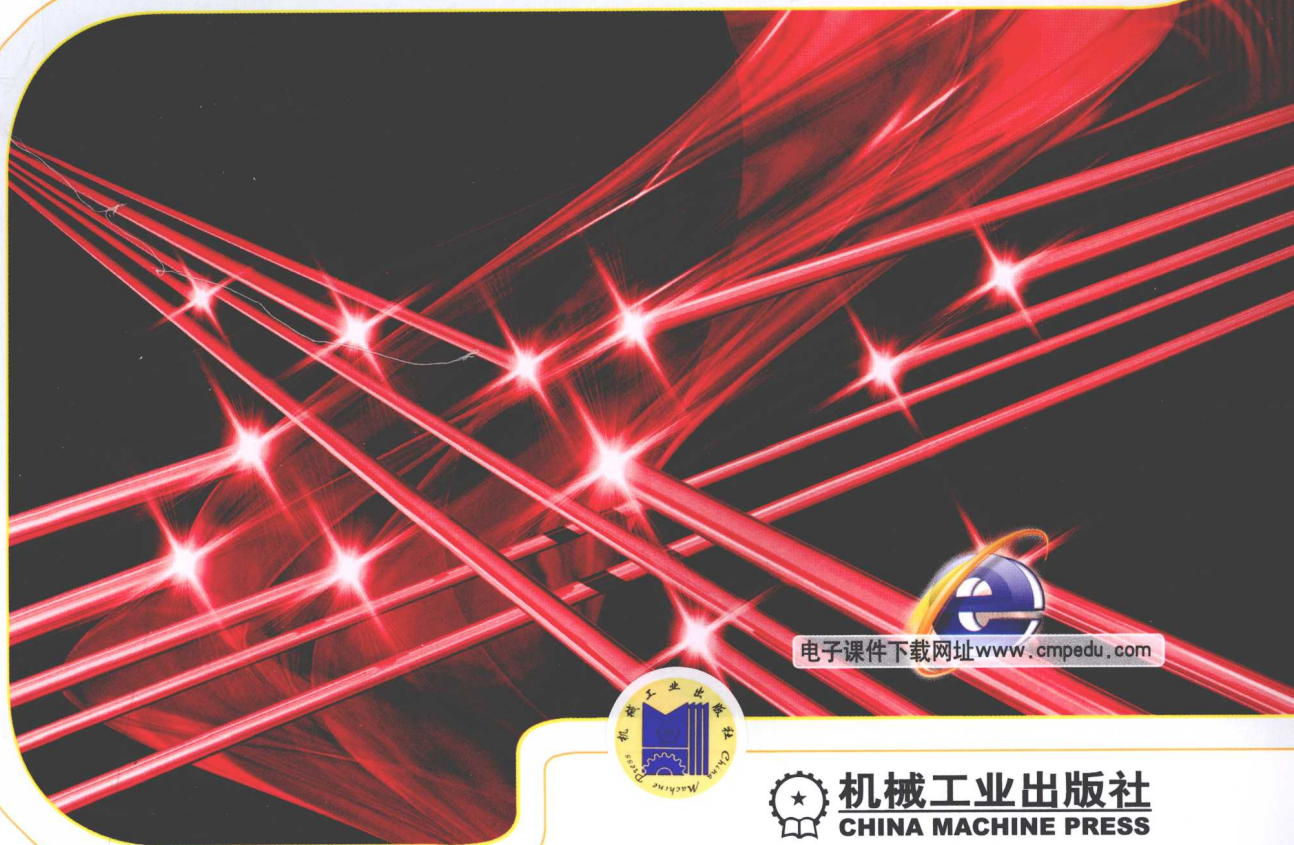


北京市高等教育精品教材立项项目

全国高等职业教育规划教材

数字电子技术 基础及应用

毛瑞丽 主编



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书从实用数字电子技术的基础理论知识出发,介绍了数字电子技术的基本概念、各种常用集成电路芯片的特性及其应用电路,同时给出了典型实验和项目设计。全书主要包括数字逻辑基础、逻辑电路基本单元、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、模/数和数/模转换电路、CPLD/FPGA 系统设计初步、项目设计等内容,并配有较多的例题和习题。本书保持了电子技术专业知识的系统性和实用性,内容精练、重点突出。

本书适合作为高等职业院校中计算机、电子、通信、机电等工科专业的教材,也可作为大中专院校师生的专业参考书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 81922385, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础及应用/毛瑞丽主编. —北京:机械工业出版社, 2010.7

北京市高等教育精品教材立项项目. 全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-30902-4

I. ①数… II. ①毛… III. ①数字电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103369 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王颖 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·320 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-30902-4

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着电子技术的飞速发展,近年来出现了许多新的数字器件,尤其是大中规模集成电路的发展更为迅速,已在各个领域得到广泛的应用。电子技术的发展,不仅要求学生要切实掌握实际电路的分析和设计方法,还要掌握大规模逻辑器件(如可编程逻辑器件等)的应用,这就给数字电子技术课程的教学提出了更高的要求,需要有新的教学内容、教学方法和教学手段与之相适应。鉴于此,本书在保证基本理论、基本概念和基本方法完整的前提下,注意内容的新颖和实用,使之能满足培养创新型、实用型人才的需求,为提高学生的专业知识水平、职业技能和全面素质,也为增强适应职业变化的能力和继续深入学习其他专业课程的能力,打下一定的基础。本书在编写时,力求深入浅出,突出重点,便于教和学。在内容安排上,既注重讲述数字逻辑电路的分析方法和设计方法,又注重介绍逻辑器件及其应用,同时还注重电子技术基础实验,特别是结合教学改革的实际需要,采用电子技术的应用实例作为项目设计内容,给出了具体任务和技术指导,便于采用“项目教学法”,适合在数字电子技术课程建设与改革实践中使用,采用“教学做一体化”的教学模式。

本书从实用数字电子技术的基础理论知识出发,介绍了数字电子技术的基本概念、各种常用集成电路芯片的特性及其应用电路,同时给出了典型实验和项目设计。全书共分8章,主要包括数字逻辑基础、逻辑电路基本单元、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、模/数和数/模转换电路、CPLD/FPGA系统设计初步、项目设计等内容。

本书适合作为高职院校电子、通信、计算机、机电等各类工科专业的“数字电子技术”课程的教学使用,另外书中配有较多的例题和习题,便于读者自学,也可作为大中专院校师生的参考书。

本书建议教学时数为90学时,也可根据教学需要选择教学内容。其中第8章共有4个项目设计,可根据具体的教学情况选择,本章实际操作部分可利用课外时间完成。

本书由北京信息职业技术学院副教授毛瑞丽任主编,副教授熊伟林任副主编,讲师张建新、张智慧、林海峰参编。其中第1章、第3章由毛瑞丽编写,第2章、第4章由张建新编写,第5章、第7章由张智慧编写,第6章由林海峰编写,第8章由毛瑞丽、林海峰、张智慧、熊伟林共同编写,全书由毛瑞丽和熊伟林统稿。

由于编者水平有限,书中错漏和不妥之处难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 数字逻辑基础	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 数字信号与数字电路	1
1.1.2 数字电路的特点与分类	1
1.1.3 脉冲波形的主要参数	2
1.2 数制与编码	2
1.2.1 数制	2
1.2.2 数制转换	4
1.2.3 编码	6
1.3 逻辑代数基础	7
1.3.1 三种基本逻辑关系及运算	7
1.3.2 几种常见的复合逻辑关系	9
1.3.3 逻辑函数及其表示法	10
1.3.4 逻辑代数的基本定律和规则	12
1.3.5 逻辑函数的公式化简法	14
1.3.6 逻辑函数的卡诺图化简法	15
1.4 习题	20
第2章 逻辑电路基本单元	23
2.1 门电路的功能及应用	23
2.1.1 半导体器件的开关特性	23
2.1.2 分立元件门电路	25
2.1.3 TTL集成门电路	27
2.1.4 CMOS集成门电路	32
2.2 实验一 门电路的认识与测试	33
2.3 触发器功能及应用	34
2.3.1 基本RS触发器	35
2.3.2 同步触发器	36
2.3.3 边沿触发器	38
2.3.4 触发器的转换	39
2.4 实验二 触发器功能测试	40

2.5 习题	42
--------	----

第3章 组合逻辑电路	46
3.1 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	46
3.1.1 组合逻辑电路的分析方法	46
3.1.2 组合逻辑电路的设计方法	47
3.1.3 组合逻辑电路的竞争与冒险	49
3.2 加法器的功能及应用	51
3.2.1 半加器和全加器	51
3.2.2 加法器	53
3.2.3 加法器的应用	54
3.3 实验三 加法器功能测试和级联	56
3.4 数值比较器的功能及应用	57
3.4.1 一位数值比较器	57
3.4.2 四位数值比较器	57
3.4.3 数值比较器的扩展	58
3.5 编码器功能及应用	58
3.5.1 二进制编码器	59
3.5.2 二-十进制编码器	60
3.5.3 优先编码器	60
3.6 译码器功能及应用	62
3.6.1 二进制译码器	62
3.6.2 二-十进制译码器	64
3.6.3 显示译码器	65
3.6.4 用译码器实现组合逻辑函数	67
3.7 实验四 编码、译码及显示电路的构成	68
3.8 数据选择器和数据分配器的功能及应用	70
3.8.1 数据选择器	71
3.8.2 数据分配器	73
3.8.3 数据选择器的应用	74

3.9 只读存储器	75	5.2.3 由 555 定时器构成的多谐振荡器	114
3.9.1 ROM 的结构及工作原理	75	5.2.4 多谐振荡器的应用	116
3.9.2 ROM 的应用	77	5.3 实验七 用 555 定时器构成多谐振荡器	117
3.10 可编程逻辑器件	79	5.4 单稳态触发器	118
3.10.1 PLD 的基本结构	80	5.4.1 由门电路构成的单稳态触发器	118
3.10.2 PLD 的分类	81	5.4.2 由 555 定时器构成的单稳态触发器	120
3.10.3 PLD 器件应用	82	5.4.3 单稳态触发器的应用	121
3.11 习题	83	5.5 施密特触发器	122
第 4 章 时序逻辑电路	85	5.5.1 由门电路构成的施密特触发器	122
4.1 时序逻辑电路的分析和设计方法	85	5.5.2 由 555 定时器构成的施密特触发器	124
4.1.1 时序逻辑电路概述	85	5.5.3 施密特触发器的应用	125
4.1.2 同步时序逻辑电路分析方法	85	5.6 习题	125
4.1.3 异步时序逻辑电路分析方法	88	第 6 章 模/数和数/模转换电路	128
4.1.4 同步时序逻辑电路设计方法	89	6.1 概述	128
4.2 计数器的功能及应用	92	6.2 模/数转换器	128
4.2.1 二进制计数器	92	6.2.1 A/D 转换器的基本原理	128
4.2.2 十进制计数器	95	6.2.2 常用 A/D 转换电路	131
4.2.3 N 进制计数器	97	6.2.3 A/D 转换器的主要参数	134
4.3 实验五 计数、显示电路的构成	99	6.2.4 集成 A/D 转换器及应用	134
4.4 寄存器的功能及应用	100	6.3 数/模转换器	135
4.4.1 基本寄存器	100	6.3.1 D/A 转换器的基本原理	135
4.4.2 移位寄存器	100	6.3.2 常用 D/A 转换器	136
4.4.3 寄存器的应用	102	6.3.3 D/A 转换器的主要参数	139
4.5 实验六 寄存器构成彩灯控制器	103	6.3.4 集成 D/A 转换器及应用	139
4.6 随机存取存储器	104	6.4 实验八 A/D-D/A 转换实验	142
4.6.1 RAM 的结构	104	6.5 习题	143
4.6.2 RAM 的扩展	106	第 7 章 CPLD/FPGA 系统设计初步	145
4.7 习题	107	7.1 CPLD/FPGA 系统设计概述	145
第 5 章 脉冲信号的产生与整形	110	7.1.1 CPLD/FPGA 的基本结构和	
5.1 概述	110		
5.2 多谐振荡器	110		
5.2.1 由门电路构成的多谐振荡器	110		
5.2.2 555 定时器的结构和工作原理	112		

特点	145
7.1.2 CPLD/FPGA 的设计方法	148
7.1.3 CPLD/FPGA 的编程语言和 开发工具	148
7.2 Quartus II 软件平台简介	149
7.2.1 Quartus II 软件简介	149
7.2.2 Quartus II 软件设计流程	150
7.3 VHDL 语言编程基础	151
7.3.1 VHDL 程序设计基本结构	151
7.3.2 VHDL 语言要素	156
7.3.3 VHDL 基本描述语句	162
7.4 基本逻辑电路的 VHDL 设计	172
7.4.1 组合逻辑电路设计举例	172
7.4.2 时序逻辑电路设计举例	174
7.5 实验九 基本逻辑电路的 VHDL 设计	177
7.6 习题	178

第 8 章 项目设计	180
8.1 数字电子钟的设计与制作	180
8.1.1 项目任务书	180
8.1.2 项目指导书	181
8.2 智力竞赛抢答器的设计与 制作	185
8.2.1 项目任务书	185
8.2.2 项目指导书	186
8.3 数字温度计的设计与制作	190
8.3.1 项目任务书	190
8.3.2 项目指导书	191
8.4 基于 FPGA 的简易信号发生器 的设计与实现	193
8.4.1 项目任务书	193
8.4.2 项目指导书	195
参考文献	199

第 1 章 数字逻辑基础

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字信号与数字电路

电子电路中的信号可分为两类。一类是在时间上、数值上均连续的信号，如温度、速度、压力、磁场、电场等物理量通过传感器变成的电信号，以及广播电视中传送的各种语言信号和图像信号等，称为模拟信号，用于传递、处理模拟信号的电子线路称为模拟电路。另一类是在时间上和数值上均离散的信号，称为数字信号，对数字信号进行传递、处理的电子线路称为数字电路。图 1-1 是模拟信号和数字信号的波形图。

数字电路被广泛应用于数字电子计算机、数字通信系统、数字式仪表、数字控制装置及工业逻辑系统等领域，能够实现对数字信号的传输、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示及脉冲信号的产生和转换等功能。

与模拟电路相比，数字电路具有以下显著优点：

- 1) 便于集成化、系列化生产，通用性强，使用方便，成本低廉。
- 2) 工作可靠性高，抗干扰能力强。
- 3) 数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

1.1.2 数字电路的特点与分类

根据电路结构不同，数字电路可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是由二极管、晶体管、电阻、电容等元件组成的电路；集成电路是将上述元件通过半导体制造工艺做在一块芯片上而成为一个不可分割的整体电路。

根据集成度不同，数字集成电路的分类如表 1-1 所示。

表 1-1 数字集成电路分类

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路 SSI	1 ~ 10 门/片，或 10 ~ 100 个元件/片	逻辑单元电路 包括：逻辑门电路、集成触发器

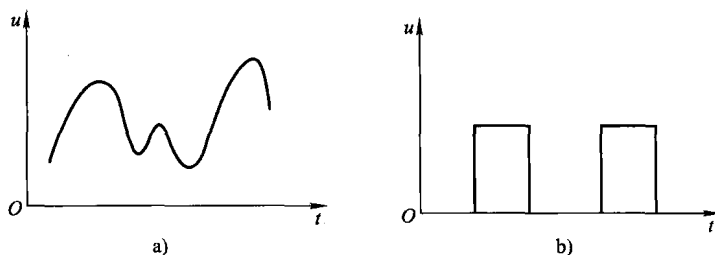


图 1-1 模拟信号和数字信号

a) 模拟信号 b) 数字信号

(续)

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
中规模集成电路 MSI	10 ~ 100 门/片, 或 100 ~ 1000 个元件/片	逻辑部件 包括: 计数器、译码器、编码器、数据选择器、寄存器、算术运算器、比较器、转换电路等
大规模集成电路 LSI	100 ~ 1000 门/片, 或 1000 ~ 10000 个元件/片	数字逻辑系统 包括: 中央控制器、存储器、各种接口电路等
超大规模集成电路 CLSI	大于 1000 门/片 大于 100000 个元件/门	高集成度的数字逻辑系统 如: 各种类型的单片机等

根据所用器件制作工艺不同, 数字电路可分为双极型 (TTL 型) 和单极型 (MOS 型) 两类。

根据电路的结构和工作原理不同, 数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。

1.1.3 脉冲波形的主要参数

在数字电路中, 处理的是脉冲波形, 而应用最多的是矩形脉冲。下面以图 1-2 所示的实际矩形脉冲为例来说明描述脉冲波形的主要参数。

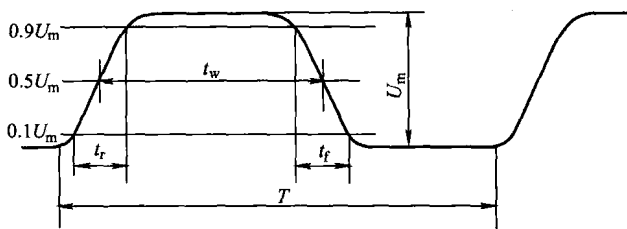


图 1-2 脉冲波形的主要参数

1) 脉冲幅度 U_m : 脉冲电压波形变化的最大值。单位为伏 (V)。

2) 脉冲上升时间 t_r : 脉冲波形从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需的时间。

3) 脉冲下降时间 t_f : 脉冲波形从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需的时间。

脉冲上升时间 t_r 和脉冲下降时间 t_f 越短, 越接近于理想的矩形脉冲。单位为秒 (s)、毫秒 (ms)、微秒 (μs)、纳秒 (ns)。

4) 脉冲宽度 t_w : 脉冲上升沿 $0.5U_m$ 到下降沿 $0.5U_m$ 所需时间。单位与 t_r 、 t_f 相同。

5) 脉冲周期 T : 在周期性脉冲中, 相邻两个脉冲波形重复出现所需的时间。单位与 t_r 、 t_f 相同。

6) 脉冲频率 f : 单位时间内脉冲出现的次数。单位为赫 [兹] (Hz)、千赫 [兹] (kHz)、兆赫 [兹] (MHz), $f = 1/T$ 。

7) 占空比 q : 脉冲宽度 t_w 与脉冲重复周期 T 的比值, $q = t_w/T$ 。它是描述脉冲波形疏密程度的参数。

占空比 $q = 50\%$ (即脉宽 $t_w = \frac{T}{2}$) 的矩形波叫做方波。

1.2 数制与编码

1.2.1 数制

数制是指记数的方法, 即记数进位的规则。日常生活中采用的是十进制记数方法, 用

0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共十个字符表示十进制数，其记数规则是“逢十进一、借一当十”。数学上把一种数制中所允许的记数字符个数叫做基数，也简称为基。十进制的基数为十—— $(10)_{10}$ ，下角标数字表示进制。任意一个十进制数可以写为按位权 (10^n) 展开的形式，例如

$$(2863.25)_{10} = 2 \times 10^3 + 8 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

其中 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 分别叫做十进制数的千位、百位、十位、个位、十分位、百分位的位权。

数字电路中经常采用二进制、八进制和十六进制等数制，表 1-2 列出了十进制、二进制、八进制、十六进制的对照关系。

1. 二进制

只用 0 和 1 两个字符表示数，基数为二。其计数规则是“逢二进一、借一当二”。常用的二进制基本运算式有：

加法： $0+0=0$ ， $1+0=1$ ， $0+1=1$ ， $1+1=10$ ；

减法： $0-0=0$ ， $1-0=1$ ， $1-1=0$ ， $10-1=1$ ；

乘法： $0 \times 0=0$ ， $0 \times 1=0$ ， $1 \times 0=0$ ， $1 \times 1=1$ 。

把二进制数转换成十进制数时，只需要将其按位权 (2^n) 展开即可求得相应的十进制数。例如

$$(1011.101)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 8 + 0 + 2 + 1 + \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{8} = (11.625)_{10}$$

2. 八进制

用 0、1、2、3、4、5、6、7 共八个字符表示数，基数为八。计数规则是“逢八进一、借一当八”。

把八进制数转换成十进制数时，只需要将其按位权 (8^n) 展开即可求得相应的十进制数。例如

$$(172.01)_8 = 1 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2} = 64 + 56 + 2 + 0.015625 = (122.015625)_{10}$$

表 1-2 十进制、二进制、八进制、十六进制对照表

十 进 制	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7

(续)

十 进 制	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

3. 十六进制

用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个字符表示数，基数为 16，记数规则是“逢十六进一、借一当十六”。

把十六进制数转换成十进制数时，只需要将其按位权 (16^n) 展开即可求得相应的十进制数。例如

$$(4C2)_{16} = 4 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 2 \times 16^0 = 1024 + 192 + 2 = (1218)_{10}$$

1.2.2 数制转换

1. 十进制转换二进制

把十进制数转换为二进制数时，应采用“整数除 2 取余、小数乘 2 取整”法。例如，把十进制数 $(234.6875)_{10}$ 转换为二进制数的过程如下：

1) 首先把整数部分用“除 2 取余法”转换成二进制整数：

	余数	
2 2 3 4		
2 1 1 7	0	低位 (LSB)
2 5 8	1	
2 2 9	0	
2 1 4	1	
2 7	0	
2 3	1	
2 1	1	
0	1	高位 (MSB)

此即 $(234)_{10} = (11101010)_2$ 。

2) 其次把小数部分用“乘2取整法”转换成二进制整数:

$0.6875 \times 2 = 1.3750$	整数 1	↓	高位 (MSB)
$0.3750 \times 2 = 0.7500$	整数 0		
$0.7500 \times 2 = 1.5000$	整数 1		
$0.5000 \times 2 = 1.0000$	整数 1		低位 (LSB)

此即 $(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$

3) 最后将整数部分与小数部分结合起来, 得到结果 $(234.6875)_{10} = (11101010.1011)_2$ 。

2. 二进制与八进制之间的转换

由于八进制的基数 $8 = 2^3$, 所以每位八进制数由三位二进制数构成。把二进制数转换成八进制时, 将整数部分从低位到高位方向每三位二进制数为一组, 最后不足三位的, 可在高位加0补足三位; 把小数部分从高位到低位方向每三位二进制数为一组, 最后不足三位的, 可在低位加0补足三位; 然后把每组三位二进制数用相应的八进制数替代即可。三位二进制数的位权从高位到低位依次是 2^2 、 2^1 、 2^0 (即 4、2、1)。例如, 把二进制数 $(1110011.1011)_2$ 转换成八进制数的方法如下:

$$(1110011.1011)_2 = (\underline{001} \ \underline{110} \ \underline{011}. \ \underline{101} \ \underline{100})_2$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$= (1 \ 6 \ 3 . 5 \ 4)_8$$

反之, 把八进制数转换成二进制数时, 可将每位八进制数用相应的三位二进制数替代即可。例如, 把八进制数 $(735.26)_8$ 转换成二进制数的方法如下:

$$(735.26)_8 = (\ 7 \ 3 \ 5 . \ 2 \ 6)_8$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$= (\underline{111} \ \underline{011} \ \underline{101} . \ \underline{010} \ \underline{110})_2$$

即 $(735.26)_8 = (111 \ 011 \ 101.010 \ 11)_2$

3. 二进制与十六进制之间的转换

由于十六进制的基数 $16 = 2^4$, 所以每位十六进制数由四位二进制数构成。把二进制数转换成十六进制时, 将整数部分从低位到高位方向每四位二进制数为一组, 最后不足四位的, 可在高位加0补足四位; 把小数部分从高位到低位方向每四位二进制数为一组, 最后不足四位的, 可在低位加0补足四位; 然后把每组四位二进制数用相应的十六进制数替代即可。四位二进制数的位权从高位到低位依次是 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 (即 8、4、2、1)。例如, 把二进制数 $(1101110011.101101)_2$ 转换成十六进制数的方法如下:

$$(1101110011.101101)_2 = (\underline{0011} \ \underline{0111} \ \underline{0011}. \ \underline{1011} \ \underline{0100})_2$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$= (3 \ 7 \ 3 . B \ 4)_{16}$$

反之, 把十六进制数转换成二进制数时, 可将每位十六进制数用相应的四位二进制数替代即可。例如, 把十六进制数 $(3E5.97)_{16}$ 转换成二进制数的方法如下:

$$(3E5.97)_{16} = (\begin{array}{ccccc} 3 & E & 5 & . & 9 & 7 \end{array})_{16}$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$= (\underline{0011} \ \underline{1110} \ \underline{0101} . \ \underline{1001} \ \underline{0111})_2$$

即 $(3E5.97)_{16} = (11 \ 1110 \ 0101 . 1001 \ 0111)_2$

如果要把十进制转换成八进制或十六进制，可以先把十进制转换成二进制，然后再把二进制转换成八进制或十六进制。

1.2.3 编码

码制是指编码的规则。在数字电路中，二进制数码不仅可以用来表示数值，而且还常用来表示特定的信息，如文字、数字、符号等。例如可以将十进制的 0~9 十个数字用二进制数代码表示，称之为二-十进制码（BCD 码）。由于十进制数有十个不同的数码，所以需要 4 位二进制数来表示。而 4 位二进制代码可以有 $2^4 = 16$ 种不同的组合，从中取出 10 种组合可有许多方案。表 1-3 列出了几种常用代码。

1) 8421BCD 码是一种有权码（恒权码），从高位到低位的权分别是 8、4、2、1，例如 1001 按位权展开即得到相应的十进制数 9。

2) 5421BCD 码也是一种有权码，从高位到低位的权分别是 5、4、2、1，例如 1011 按位权展开即得到相应的十进制数 8。

3) 2421BCD 码也是一种有权码，从高位到低位的权分别是 2、4、2、1，例如 2421A 码中的 1110 按位权展开即得到相应的十进制数 8。2421B 码中的 1101 按位权展开即得到相应的十进制数 7。2421A 码与 2421B 码的区别是后者具有互补性，即 2421B 码中的 0000 (0) 与 1111 (9)、0001 (1) 与 1110 (8)、0010 (2) 与 1101 (7)、0011 (3) 与 1100 (6)、0100 (4) 与 1011 (5) 互为反码，例如 $1011 = \overline{0} \ \overline{1} \ \overline{0} \ \overline{0}$ 。

4) 余 3 码是一种无权码，其特点是比 8421 码多余 3（即二进制数 0011）。

5) 格雷码也是一种无权码，其特点是任意两个相邻码之间只有一位不同。

表 1-3 几种常用代码

十进制	有 权 码				无 权 码	
	8421 码	5421 码	2421A 码	2421B 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	0101	1011	1000	0111
6	0110	1001	0110	1100	1001	0101
7	0111	1010	0111	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1111	1100	1101

值得注意的是，码制与数制为两个不同的概念，例如十进制数 25 转换成二进制数时为 $(11001)_2$ ，而用 8421BCD 码表示时，则为 $(0010\ 0101)_{8421BCD}$ 。

除了上面介绍的几种编码外，还有许多种编码，如 5211 码、4211 码、奇偶校验码等。

1.3 逻辑代数基础

逻辑代数也叫布尔代数，是分析和研究数字逻辑电路的基本工具。逻辑代数中的变量和普通代数中的变量一样，也用字母表示。与普通代数不同的是，逻辑代数的变量只有 0 和 1 两个取值，而且这里的 0 和 1 不表示数值的大小，只表示两种相互对立的逻辑状态。如开关的断开与闭合，灯的亮与灭，电平的高与低，晶体管的饱和导通与截止等。这种两值变量称为逻辑变量。

本节主要介绍逻辑代数的基本运算和基本定律，并在此基础上学习逻辑函数的表示法及化简法。

1.3.1 三种基本逻辑关系及运算

基本逻辑关系有与逻辑、或逻辑、非逻辑三种。

1. 与逻辑

如图 1-3 所示的电路，开关 A、B 的状态（闭合或断开）与灯 Y 的状态（亮或灭）之间存在着确定的因果关系，这种因果关系称为逻辑关系。由电路可知，只有当开关 A、B 都闭合时，灯 Y 才亮，只要开关 A、B 有一个断开，灯 Y 就不亮。

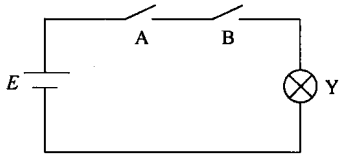


图 1-3 串联开关电路

如果把开关闭合作为条件，灯亮作为结果，则上述电路表示了这样一种因果关系：只有当决定一件事情的所有条件都具备（如 A、B 都闭合）时，这件事情（如灯亮）才能发生。这种因果关系称为与逻辑。

在数字逻辑电路中，研究的主要对象是输入变量与输出变量之间的逻辑关系，把输入变量可能的取值组合状态及其对应的输出状态列成表格，经逻辑赋值称为真值表，用它可直观地表示出电路的输出状态与输入状态之间的逻辑关系。若用逻辑 1 表示开关闭合、灯亮，用逻辑 0 表示开关断开、灯灭，则与逻辑的真值表如表 1-4 所示。

表 1-4 与逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

由真值表可知，与逻辑可表述为：有 0 出 0，全 1 出 1。

为便于分析和运算，也可用代数式表示逻辑关系，称为逻辑表达式。

与逻辑表达式为：

$$Y = A \cdot B \quad \text{或} \quad Y = AB$$

与逻辑又称逻辑乘，式中“ $\cdot$ ”读“与”，由真值表可知：

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 \cdot 1 = 0 \quad 1 \cdot 0 = 0 \quad 1 \cdot 1 = 1$$

与逻辑的逻辑符号如图 1-4 所示。实现与逻辑运算的电路称为与门。

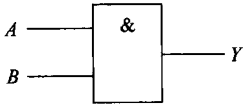


图 1-4 与逻辑符号

2. 或逻辑

在图 1-5 所示的电路中，开关 A、B 只要有一个闭合或都闭合，灯就会亮。它表示了这样一种因果关系：当决定一件事情（灯亮）的所有条件中有一个或一个以上具备（开关 A、B 有一个闭合或 A、B 都闭合）时，这件事情（灯亮）就会发生。这种因果关系称为或逻辑关系。

或逻辑的真值表如表 1-5 所示；其逻辑符号如图 1-6 所示。

表 1-5 或逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

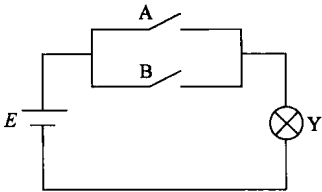


图 1-5 并联开关电路

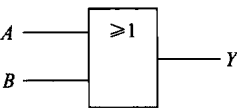


图 1-6 或逻辑符号

或逻辑表达式为：

$$Y = A + B$$

或逻辑又称逻辑加，式中“+”读“或”，由真值表可知：

$$0 + 0 = 0 \quad 0 + 1 = 1 \quad 1 + 0 = 1 \quad 1 + 1 = 1$$

或逻辑可表述为：全 0 出 0，有 1 出 1。实现或逻辑运算的电路称为或门。

3. 非逻辑

如图 1-7 所示电路中，开关 A 闭合时，灯 Y 不亮，而当开关 A 断开时，灯 Y 才亮。若仍把开关闭合作为条件，灯亮作为结果，则上述电路表示了这样一种因果关系：当决定一件事情（灯亮）的条件具备（开关闭合）时，事情不发生（灯不亮）；而当条件不具备时（开关断开），事情（灯亮）反而发生了。这种因果关系称为非逻辑关系。

非逻辑的表达式为：

$$Y = \bar{A}$$

式中“ $\bar{A}$ ”读作“A 非”或“A 反”。非逻辑的真值表如表 1-6 所示，由真值表可知：

$$\bar{0} = 1 \quad \bar{1} = 0$$

非逻辑表述为：有 0 出 1，有 1 出 0。其逻辑符号如图 1-8 所示，图中的“.”表示“非”

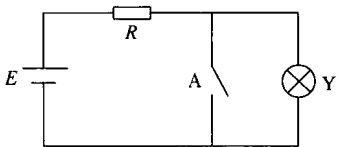


图 1-7 开关与灯并联电路

表 1-6 非逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

或“反”的意思。实现非逻辑运算的电路称为非门。

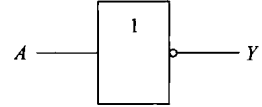


图 1-8 非逻辑符号

1.3.2 几种常见的复合逻辑关系

复合逻辑由上述三种基本逻辑组合而成。常见的复合逻辑有：与非逻辑、或非逻辑、与或非逻辑、异或逻辑、同或逻辑等。

1. 与非逻辑、或非逻辑、与或非逻辑

“与非”逻辑运算是先进行“与”运算，再进行“非”运算；“或非”逻辑运算是先进行“或”运算，再进行“非”运算；“与或非”逻辑运算是先进行“与”运算后进行“或”运算，再进行“非”运算。若输入逻辑变量为 A 、 B 、 C 、 D ，输出逻辑函数为 Y ，则相应的逻辑表达式为：

$$\text{与非逻辑: } Y = \overline{A \cdot B}$$

$$\text{或非逻辑: } Y = \overline{A + B}$$

$$\text{与或非逻辑: } Y = \overline{AB + CD}$$

实现这些逻辑运算的电路分别称为与非门、或非门和与或非门。它们的逻辑符号如图 1-9 所示。其真值表读者可根据其运算规则自行填写。

与、或、与非、或非、与或非逻辑可以是多输入变量逻辑运算。

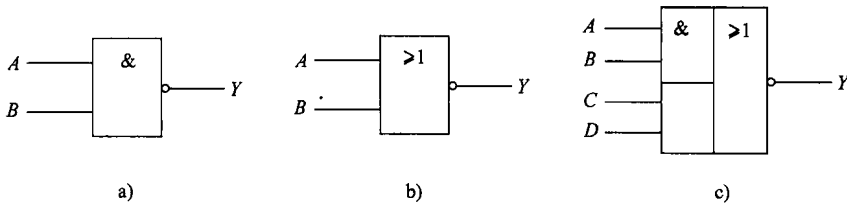


图 1-9 与非、或非、与或非逻辑符号

a) 与非逻辑符号 b) 或非逻辑符号 c) 与或非逻辑符号

2. 异或逻辑和同或逻辑

异或逻辑和同或逻辑都是两变量的逻辑运算。

异或逻辑关系为：当两个输入变量 A 、 B 不同时，输出 Y 为 1；输入 A 、 B 相同时，输出 Y 为 0。简单表述为：相同出 0，相反出 1。

异或逻辑表达式为：

$$Y = A \oplus B \quad \text{或} \quad Y = \overline{A}B + A\overline{B}$$

式中“ $\oplus$ ”号表示异或运算。表 1-7 和图 1-10 分别为异或逻辑的真值表和逻辑符号。

表 1-7 异或逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

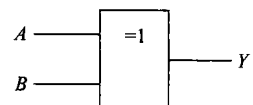


图 1-10 异或逻辑符号