



全国高等专科教育自动化类专业规划教材

# 数字电子技术

高建新 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



中华人民共和国教育部备案 工业和信息化部

# 数字电子技术

第二版



全国高等专科学校教育自动化类专业规划教材

# 数 字 电 子 技 术

主 编 高建新  
副主编 李志平 侯 睿  
参 编 朴琴兰 郝 杰  
主 审 赵 军



机 械 工 业 出 版 社

本书是以教育部制定的“高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求”为基础,针对当前高职高专的生源特点、就业需求等编写而成的。本书突出集成器件的应用,尽量精简繁琐的理论分析,其主要内容包括:数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、数/模与模/数转换器、脉冲波形的产生与整形等。

为方便自学,本书在每章开篇与结尾处分别设有“引言”、“本章总结”、“实验实训建议”及“思考题与习题”等辅助环节,并在书的最后提供了部分习题答案。另外,为方便教学,本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课教材的学校,均可向本书责任编辑索取,咨询电话 010-88379758 或发送 E-mail 至 gaoqianspring@163.com。

本书可作为高职高专及应用型本科院校的电气、通信、计算机、电子、自动化和机电一体化等专业的数字电子技术课程的教材,也可供从事电子技术方面工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/高建新主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 6

全国高等专科教育自动化类专业规划教材  
ISBN 7-111-19124-2

I. 数... II. 高... III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 046579 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:于宁 高倩 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13 印张 · 317 千字

0001—4000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379758

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着高等教育的快速发展和社会对实用型人才要求的变化,编写新一轮的具有时代特色的“十一五”规划的教材,将在培养创新型人才中发挥积极作用。把当前教育教学改革的新思想、新观念、新方法创造性地运用到教材内容中去,以学生为本,贴近就业需求、贴近实践、体现时代特点、激发学生兴趣是我们编写这本书的目标。

数字电子技术和数字电子设备已广泛深入地应用在各个领域,数字电子技术知识越来越普及,越来越与我们的生活密切相关。因此,数字电子技术课程作为自动化类、电子信息类及计算机类专业的技术基础课也越来越突显出其重要地位。为适应新技术、新材料等环境下对该门课程的新要求,我们组织了全国实力较强的近十五所高等专科学校,进行广泛调研,并选拔出其中的几位教学、实践经验丰富的教师承担本书的编写任务。本书对以往教材进行了精简、更新,以适应当前电子技术发展的新形势和社会对培养高等专科学技术人才的迫切需要;减少了理论推导、介绍分立元件等内容;加重了对集成器件及其应用的介绍;加重了理论联系实际的应用环节。在文字上力求做到简捷明了,通俗易懂。

本书在内容编排上力求突出基本概念、基本原理和基本分析方法,使读者容易抓住重点、解决难点、掌握基本方法,并注意培养读者的分析和设计电路的能力。本书内容共分8章:数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、数/模与模/数转换器、脉冲波形的产生与整形。在每章均安排了“引言”、“本章要点”、“实验实训建议”及“思考题与习题”等环节,并在书后附有部分习题答案。使读者明确要求,抓住中心,便于学习。

本书第1章由西安航空技术高等专科学校郝杰编写,第2章和第3章中的部分章节由西安航空技术高等专科学校侯睿编写,第4章、第5章及第3章中的部分章节由辽宁科技学院高建新编写,第7章由辽宁科技学院朴琴兰编写,第6章和第8章由昆明冶金高等专科学校李志平编写。全书由高建新进行统稿。

本书由辽宁科技学院赵军副教授担任主审,并提出了许多建设性意见,对提高本书质量有很大帮助。在此表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

> III <

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 数字逻辑基础</b> .....	1
引言 .....	1
1.1 数制与码制 .....	2
1.1.1 数制 .....	2
1.1.2 数制转换 .....	3
1.1.3 码制 .....	5
1.2 逻辑代数基础 .....	6
1.2.1 基本逻辑运算 .....	6
1.2.2 逻辑代数的公式、定理和规则 .....	9
1.3 逻辑函数的建立及其表示方法 .....	10
1.3.1 建立逻辑函数的方法 .....	11
1.3.2 逻辑函数的表示方法 .....	11
1.4 逻辑函数化简方法 .....	13
1.4.1 逻辑函数的最简表达式 .....	14
1.4.2 逻辑函数的公式化简法 .....	14
1.4.3 卡诺图化简法 .....	15
1.4.4 具有无关项逻辑函数的化简 .....	18
1.4.5 逻辑函数几种表示形式之间的转换 .....	19
本章总结 .....	20
思考题与习题 .....	21
<b>第 2 章 逻辑门电路</b> .....	24
引言 .....	24
2.1 基本逻辑门电路 .....	24
2.1.1 二极管门电路 .....	24
2.1.2 三极管非门 .....	26
2.1.3 复合门电路 .....	27
2.2 TTL 集成逻辑门电路 .....	27
2.2.1 TTL 与非门 .....	27
2.2.2 其他形式 TTL 逻辑门 .....	28
2.2.3 TTL 集电极开路门(OC 门) .....	31

2.2.4	TTL 三态输出门 .....	31
2.2.5	74 系列 TTL 集成门电路 .....	32
2.3	CMOS 逻辑门电路 .....	36
2.3.1	概述 .....	36
2.3.2	CMOS 电路反相器 .....	37
2.3.3	其他类型的 CMOS 门电路 .....	37
2.3.4	4000 系列 CMOS 集成门电路 .....	40
2.3.5	74HC 系列 CMOS 集成门电路 .....	41
2.4	集成逻辑门电路的应用 .....	42
2.4.1	TTL 电路使用常识 .....	42
2.4.2	CMOS 电路使用常识 .....	43
2.4.3	TTL 与 CMOS 电路的接口 .....	43
2.4.4	TTL 和 CMOS 电路外接负载 .....	45
	实验实训建议 .....	46
	本章总结 .....	46
	思考题与习题 .....	47
<b>第 3 章</b>	<b>组合逻辑电路</b> .....	<b>52</b>
	引言 .....	52
3.1	组合逻辑电路的分析 .....	52
3.1.1	组合逻辑电路分析的一般方法 .....	52
3.1.2	组合逻辑电路分析举例 .....	53
3.2	几种常用集成组合逻辑器件 .....	54
3.2.1	编码器 .....	54
3.2.2	译码器 .....	57
3.2.3	数据选择器与数据分配器 .....	62
3.2.4	加法器 .....	64
3.2.5	数值比较器 .....	66
3.3	组合逻辑电路设计的一般方法 .....	68
3.3.1	组合逻辑电路的设计方法 .....	68
3.3.2	组合逻辑电路设计的类型 .....	68
3.4	组合逻辑电路的竞争与冒险现象 .....	73
3.4.1	竞争冒险的概念及产生的原因 .....	73
3.4.2	冒险的判断及消除 .....	74
	实验实训建议 .....	75
	本章总结 .....	76
	思考题与习题 .....	77
<b>第 4 章</b>	<b>集成触发器</b> .....	<b>81</b>

引言 .....	81
4.1 基本 RS 触发器 .....	81
4.1.1 基本 RS 触发器的电路结构 .....	82
4.1.2 基本 RS 触发器的逻辑功能 .....	82
4.1.3 基本 RS 触发器的特点 .....	82
4.1.4 触发器输出波形分析 .....	83
4.2 同步触发器 .....	83
4.2.1 同步 RS 触发器 .....	83
4.2.2 同步 JK 触发器 .....	85
4.2.3 同步 D 触发器 .....	87
4.2.4 T 触发器和 T' 触发器 .....	88
4.2.5 同步触发器的特点 .....	89
4.3 集成触发器 .....	89
4.3.1 边沿触发器 .....	90
4.3.2 主从触发器 .....	92
4.4 触发器功能的转换 .....	94
4.4.1 用 JK 触发器转换成其他功能的触发器 .....	94
4.4.2 用 D 触发器转换成其他功能的触发器 .....	94
实验实训建议 .....	95
本章总结 .....	95
思考题与习题 .....	96
<b>第 5 章 时序逻辑电路 .....</b>	<b>100</b>
引言 .....	100
5.1 时序逻辑电路的分析方法 .....	100
5.1.1 同步时序逻辑电路的分析 .....	101
5.1.2 异步时序逻辑电路的分析 .....	102
5.2 常用集成时序逻辑器件 .....	104
5.2.1 集成计数器分类 .....	104
5.2.2 二进制计数器 .....	105
5.2.3 十进制计数器 .....	108
5.2.4 任意进制计数器 .....	112
5.2.5 寄存器与移位寄存器 .....	117
5.3 同步时序逻辑电路设计 .....	122
5.3.1 同步时序逻辑电路的设计步骤 .....	122
5.3.2 同步时序逻辑电路设计举例 .....	122
实验实训建议 .....	125
本章总结 .....	126
思考题与习题 .....	126



<b>第 6 章 半导体存储器和可编程逻辑器件</b> .....	130
引言 .....	130
6.1 随机存取存储器 .....	131
6.1.1 RAM 的基本结构 .....	131
6.1.2 RAM 的存储单元 .....	132
6.1.3 RAM 的操作 .....	133
6.1.4 典型 RAM 的芯片简介 .....	134
6.2 只读存储器 .....	135
6.2.1 固定 ROM .....	135
6.2.2 可编程只读存储器(PROM) .....	135
6.2.3 可擦除可编程 ROM(EPROM) .....	137
6.2.4 电可擦除可编程 ROM(E <sup>2</sup> PROM) .....	137
6.2.5 快闪存储器(Flash Memory) .....	137
6.2.6 典型 EPROM 的芯片简介 .....	138
6.3 存储器容量的扩展 .....	138
6.3.1 位扩展 .....	139
6.3.2 字扩展 .....	139
6.4 可编程逻辑器件 .....	140
6.4.1 PLD 的基本结构 .....	140
6.4.2 PLD 的电路表示法 .....	141
6.4.3 可编程逻辑阵列 PLA .....	142
6.4.4 可编程阵列逻辑 PAL .....	142
6.4.5 通用阵列逻辑 GAL .....	142
6.4.6 复杂的可编程逻辑器件(CPLD) .....	145
6.4.7 现场可编程门阵列(FPGA) .....	145
6.4.8 在系统可编程逻辑器件(ISP-PLD) .....	145
实验实训建议 .....	146
本章总结 .....	146
思考题与习题 .....	147
<b>第 7 章 数/模与模/数转换器</b> .....	148
引言 .....	148
7.1 D/A 转换器 .....	148
7.1.1 权电阻型 D/A 转换器 .....	149
7.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 .....	150
7.1.3 D/A 转换器的主要参数 .....	151
7.1.4 集成 D/A 转换器 AD7520 及其应用 .....	152
7.2 A/D 转换器 .....	152

7.2.1 A/D 转换器的转换步骤 .....	153
7.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器 .....	153
7.2.3 双积分型 A/D 转换器 .....	155
7.2.4 A/D 转换器的主要参数 .....	157
7.2.5 集成 A/D 转换器 ADC0801 及其应用 .....	157
实验实训建议 .....	158
本章总结 .....	158
思考题与习题 .....	158
<b>第 8 章 脉冲波形的产生与整形</b> .....	<b>160</b>
引言 .....	160
8.1 集成 555 定时器 .....	160
8.2 555 定时器构成脉冲的产生与整形电路 .....	162
8.2.1 555 定时器构成的多谐振荡器 .....	162
8.2.2 555 定时器构成的单稳态触发器 .....	165
8.2.3 555 定时器构成的施密特触发器 .....	167
8.3 门电路组成的脉冲信号电路和集成脉冲发生器 .....	170
8.3.1 多谐振荡器 .....	170
8.3.2 单稳态触发器 .....	171
8.3.3 施密特触发器 .....	173
8.3.4 集成触发器 .....	174
实验实训建议 .....	178
本章总结 .....	178
思考题与习题 .....	178
<b>附录</b> .....	<b>181</b>
附录 A 数字电路读图 .....	181
附录 B 部分习题答案 .....	185
<b>参考文献</b> .....	<b>197</b>

# 第 1 章 数字逻辑基础

本章主要介绍数字电路的概念及相关内容，数字电路中常用的数制与码制，三种基本逻辑运算，逻辑代数的基本概念、公式和定理，逻辑函数及其表示方法，应用公式、定理及卡诺图化简逻辑函数。逻辑代数是分析和设计数字电路的重要工具。利用逻辑代数，可以把实际逻辑问题抽象为逻辑函数来描述，并且可以用逻辑运算的方法，解决逻辑电路的分析和设计问题。

## 引言

**1. 数字电路和模拟电路** 电子电路中的信号可分为两类：一类是模拟信号，随时间连续变化的信号，如模拟语音的音频信号和模拟图像的視頻信号等。能够用来产生、传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路，如放大器和信号发生器等。另一类是数字信号，在时间和数值上都是不连续变化的离散信号，如各种脉冲信号等。能够用来产生、传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

**2. 数字电路的特点** 数字电路的工作信号在时间和数值上是不连续变化的，反映在电路上只有高电位和低电位两种状态，在运算中则用“0”和“1”来表示，因此数字电路具有以下特点。

(1) 数字电路研究的主要问题是输入信号状态(0 或 1)与输出信号状态(0 或 1)之间的因果关系，也称为逻辑关系，即研究电路的逻辑功能。

(2) 在数字电路中只规定高电平的下限值和低电平的上限值，凡大于等于高电平下限值的都认为是高电平 1；凡小于等于低电平上限值的都认为是低电平 0，而不再着重研究它们的具体数值。

(3) 研究数字电路逻辑关系的主要数学工具是逻辑代数。在数字电路中输入信号称为输入变量，输出信号称为输出变量，也称逻辑函数，它们都是二值变量，取值非 0 即 1。因此逻辑函数又称为二值逻辑函数。

### 3. 数字电路的分类

(1) 按集成度分类：数字电路可分为小规模(SSI, 每块芯片包含数十个元件)、中规模(MSI, 每块芯片包含数百个元件)、大规模(LSI, 每块芯片包含数千个元件)和超大规模(VLSI, 每块芯片元件数目大于 10 万个)数字集成电路。集成电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类型。

(2) 按所用器件制作工艺的不同分类：数字电路可分为双极型(TTL 型)和单极型(MOS 型)两类。

(3) 按照电路的结构和工作原理的不同分类：数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路没有记忆功能，其输出信号只与当时的输入信号有关，而与电路以前的状态无关。时序逻辑电路具有记忆功能，其输出信号不仅和当时的输入信号有关，而

且与电路以前的状态有关。

## 1.1 数制与码制

### 1.1.1 数制

数制就是表示数值大小的各种计数体制。在日常生活中,人们习惯采用的计数体制是十进制,即规定的“逢十进一”。在数字电路中经常使用的计数体制除了十进制以外,还包括二进制、八进制和十六进制。

**1. 十进制** 在十进制中,每一位有0~9十个数字符号,或者说是十个数码,所以计数的基数为10。任何一个数可以用这10个数码按一定规律组合在一起来表示,其中低位和相邻高位之间的进位关系是“逢十进一”。用 $K_i$ 表示第 $i$ 位上的数字符号, $10^i$ 表示第 $i$ 位上数字的权,第 $i$ 位的十进制数值为 $K_i \times 10^i$ ,将不同位数的数值相加求和就得到所要表示的十进制数。例如,十进制的234.76可以表示为

$$(234.76)_{10} = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

式中,2、3、4、7、6分别为百位、十位、个位、十分位、百分位的数码, $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 分别为百位、十位、个位、十分位、百分位的权。

一般地,任何一个十进制数 $N$ 均可展开为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中, $n$ 和 $m$ 为整数, $n$ 表示整数部分的位数, $m$ 表示小数部分的位数。

**2. 二进制** 数字电路中应用最广泛的计数体制为二进制。在二进制中,每一位仅有0和1两个可能的数码,基数为2,低位和相邻高位之间的进位关系是“逢二进一”,故称为二进制。

任何一个二进制数 $N$ 均可展开为

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 2^i \quad (1-2)$$

式中,等号右边多项式的值就是二进制数 $(N)_2$ 转换为十进制数的值。

**例 1-1**  $(1101.10)_2 = (1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2})_{10} = (13.5)_{10}$

**3. 八进制** 八进制数每一位有0~7八个数码,基数为8,低位和相邻高位之间的进位规则为“逢八进一”。任何一个八进制数 $N$ 均可展开为

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 8^i \quad (1-3)$$

式中,等号右边多项式的值就是八进制数 $(N)_8$ 转换为十进制数的值。

**例 1-2**  $(1305.2)_8 = (1 \times 8^3 + 3 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1})_{10} = (709.25)_{10}$

**4. 十六进制** 十六进制数每一位有十六个不同的数码,分别用0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F来表示,其中A~F六个字母分别代表10、11、12、13、14、15,低位和相邻高位之间的进位规则为“逢十六进一”。任何一个十六进制数 $N$ 均可展开为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 16^i \quad (1-4)$$

式中, 等号右边多项式的值就是十六进制数  $(N)_{16}$  转为十进制数的值。

例 1-3  $(2AC.4)_{16} = (2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1})_{10} = (684.25)_{10}$

表 1-1 列出了十进制、二进制、八进制和十六进制几种不同数制间的对应关系。

表 1-1 几种数制间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

### 1.1.2 数制转换

1. 其他进制数转换为十进制数 其他进制数转换为十进制数, 只需将该数的每位数的数码和权相乘求和, 就能得到等值的十进制数。二进制数、十六进制数转换为十进制数的方法如前面所述, 这里不再重复。

2. 十进制数转换为二进制数和十六进制数 将十进制数转换为其他进制数时, 可以将整数部分和小数部分分别进行转换, 最后合并转换结果。

(1) 十进制数转换为二进制数

1) 整数部分的转换。十进制数整数部分转换成二进制数采用“除 2 取余法”, 它是用 2 除十进制整数, 得出的余数是二进制的最低位, 再用 2 去除, 得出的余数是二进制的次低位, 重复上述过程, 直到商为 0, 最后相除的余数即为二进制的最高位。

例 1-4 将十进制数  $(87)_{10}$  转换成二进制数。

解:

			余数	
2	87	...	1	低位
2	43	...	1	
2	21	...	1	
2	10	...	0	
2	5	...	1	
2	2	...	0	
2	1	...	1	高位
	0			

所以  $(87)_{10} = (1010111)_2$

2) 小数部分的转换。十进制数小数部分转换成二进制数采用“乘 2 取整法”, 它是将

小数部分乘 2，乘得结果的整数部分为二进制数的最高位，其小数部分再乘 2，所得结果的整数部分为二进制的次高位，以此类推，直至小数部分达到要求的精度为止。

**例 1-5** 将十进制数  $(0.8421)_{10}$  转换成二进制数(取到小数点后 4 位)。

解：

		整数	
0.8421			
× 2			
1.6842	...	1	高位
0.6842			
× 2			
1.3684	...	1	↑
0.3684			
× 2			
0.7368	...	0	↑
0.7368			
× 2			
1.4736	...	1	↑
			低位

所以  $(0.8421)_{10} = (0.1101)_2$

(2) 十进制数转换为十六进制数。十进制数转换为十六进制数的方法和前面介绍的十进制数转换为二进制数的方法基本相同，这里不再重复。

**例 1-6** 将十进制数  $(287.645)_{10}$  转换成十六进制数(取到小数点后 4 位)。

解：1) 整数部分的转换。十进制数的整数部分转换为十六进制数时，采用“除 16 求余法”。

		余数	
16   287	...	15	低位
16   17	...	1	↑
16   1	...	1	↑
0			高位

所以  $(287)_{10} = (11F)_{16}$

2) 小数部分的转换。十进制数的小数部分转换为十六进制数时，采用“乘十六取整法”。

		整数	
0.645 × 16 = 10.32	...	10	高位
0.32 × 16 = 5.12	...	5	↑
0.12 × 16 = 1.92	...	1	↑
0.92 × 16 = 14.72	...	14	↑
			低位

所以  $(0.645)_{10} = (0.A51F)_{16}$

由此可得  $(287.645)_{10} = (11F.A51F)_{16}$

**3. 二进制数与十六进制数之间的相互转换** 十六进制数的基数为  $16 = 2^4$ ，16 个数码正

好相当于4位二进制数的16种不同组合，所以十六进制数与二进制数之间的对应关系如表1-1所示。

根据这种对应关系，可以很方便地进行二进制数与十六进制数之间的转换。

二进制数转换为十六进制数的方法是：整数部分从低位开始，每4位二进制数为一组，最后不足4位的，在高位加0补足4位；小数部分从高位开始，每4位二进制数为一组，最后不足4位的，在低位加0补足4位，然后用对应的十六进制数来代替，再按顺序写出对应的十六进制数。例如，将二进制数 $(11101000.0101)_2$ 转换为十六进制数：

$$\begin{array}{ccc} \underline{1110} & \underline{1000} & . \quad \underline{0101} \\ E & 8 & . \quad 5 \end{array}$$

所以  $(11101000.0101)_2 = (E8.5)_{16}$

将十六进制数转换为二进制数时，只要将每位十六进制数用4位二进制数表示即可。例如，将十六进制数 $(5BF.7D)_{16}$ 转换成二进制数：

$$\begin{array}{cccc} \underline{5} & B & F & . \quad \underline{7} & D \\ 0101 & 1011 & 1111 & . \quad 0111 & 1101 \end{array}$$

所以  $(5BF.7D)_{16} = (010110111111.01111101)_2$

### 1.1.3 码制

数码不仅可以表示数量的大小，还可以表示不同的事物。但是在表示事物时它们没有数量大小的含义，只是表示不同事物的代号，这些表示不同事物代号的数码称为代码。

在数字系统中，为了便于记忆和处理，编制代码总要遵循一定的规则，这些规则就叫做码制。这里主要介绍二—十进制编码。

二—十进制编码又称为BCD(Binary Coded Decimal)码，它是用4位二进制代码来表示十进制数0~9的十个数码。当采用不同的编制规则时，能够得到不同形式的BCD码，常用的有8421码、5421码、余3码、格雷码等，如表1-2所示。

表1-2 常用的BCD码

十进制数	8421码	5421码	余3码	格雷码
0	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	1000	0111
6	0110	1001	1001	0101
7	0111	1010	1010	0100
8	1000	1011	1011	1100
9	1001	1100	1100	1101

**1. 8421 码** 8421 码是 BCD 码中使用最为广泛的一种代码。代码每位的权值是固定不变的，为恒权码，它是用自然二进制数 0000 ~ 1001 来分别表示十进制数的 0 ~ 9，从高位到低位的权值分别为 8、4、2、1，所以根据代码的组成便可知道代码所代表的十进制数的值。例如，8421 码 1001 按权展开式为

$$1 \times 8 + 0 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 9$$

所以，8421 码 1001 表示十进制数 9。

$$\begin{aligned} \text{例如 } (501.93)_{10} &= (0101\ 0000\ 0001.\ 1001\ 0011)_{8421\text{BCD}} \\ &(0110\ 0101\ 0000.\ 0010\ 0100)_{8421\text{BCD}} = (650.24)_{10} \end{aligned}$$

**2. 5421 码** 5421 码也是一种恒权码。从高位到低位的权值分别是 5、4、2、1，用 4 位二进制数表示一位十进制数，每组代码各位加权系数的和为其表示的十进制数的值。例如，5421 码 1000 按权展开式为

$$1 \times 5 + 0 \times 4 + 0 \times 2 + 0 \times 1 = 5$$

所以，5421 码 1000 表示十进制数 5。

**3. 余 3 码** 余 3 码的编码规则与 8421 码不同，它是由 8421 码加 3(0011)得来的，这种代码所组成的四位二进制数，正好比它代表的十进制数多 3，因此称为余 3 码。没有固定的权值，不是恒权代码。例如，8421 码 0101(5)加 0011(3)后，在余 3 码中为 1000，其表示十进制数 5。由表 1-2 可以看出，余 3 码中，0 和 9，1 和 8，2 和 7，3 和 6，4 和 5 这五对代码也是互补的。

**4. 格雷码** 格雷码是一种无权码，它的特点是任意两个相邻的代码之间只有一位数码不同，这是考虑到信息在传输过程中可能出现错误，为了减少错误而研究出的一种编码形式。例如，将代码 0010 误传为 0110 时，格雷码只不过是十进制数 3 和 4 的差别，如果是二进制数码则是十进制数 2 和 6 的差别。格雷码的缺点是与十进制数之间不存在规律性的对应关系，如表 1-2 所示。

## 1.2 逻辑代数基础

逻辑是指事物的前因与后果之间所遵循的规律。19 世纪英国数学家乔治·布尔(George Boole)首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法——布尔代数。早期应用于解决继电器开关电路的问题，因此也称作开关代数。

随着数字技术的发展，人们发现它完全可以作为研究逻辑电路的数学工具，成为分析和设计逻辑电路的理论基础，所以也把布尔代数称为逻辑代数。逻辑代数和普通代数都是用字母表示变量，这种变量称为逻辑变量，可以取不同值。和普通代数不同的是，逻辑变量的取值只有两个，“0”或“1”。这两个值不具有数量大小的意义，仅表示客观事物两种不同状态。如开关的闭合与断开，判断问题的是与非，电位的高与低等。

逻辑代数的基本运算有三种：与运算、或运算和非运算，其他任何复杂的逻辑运算都可以用这三种基本逻辑运算来表示，并且可以由与之对应的逻辑电路来实现。

### 1.2.1 基本逻辑运算

**1. 与运算** 只有决定事物结果的全部条件同时具备时，结果才能发生，这种因果关系



叫做与逻辑，或者叫做逻辑相乘。

如图1-1a所示的开关串联电路就是一个与逻辑的实例。开关A、B的状态(闭合和关断)与灯Y(亮与灭)之间存在着确定的因果关系，只有当开关A、B都闭合时，灯Y亮，否则，灯Y不亮，开关A、B与灯Y之间的这种因果关系就称为与逻辑。能够实现与逻辑关系的电路称为与门。

与门的逻辑符号的国际标准符号如图1-1b所示。

可以用二元常量0和1表示图1-1a所示电路的逻辑关系，把开关A、B和灯Y分别用A、B和Y表示，并用1表示开关闭合和灯亮，用0来表示开关断开和灯灭，则可以得到表1-3所示的表格，这种将逻辑变量的各种可能取值和相对应的逻辑函数值排列在一起组成的表称为真值表。表1-3为图1-1a与逻辑电路的真值表。

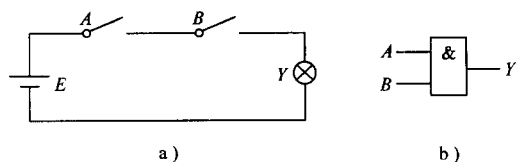


图1-1 与逻辑实例和逻辑符号

a) 电路图 b) 逻辑符号

表1-3 与逻辑的真值表

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

由真值表可以看出A、B都是1时，Y才为1；否则Y为0。简称为有0得0，全1得1。这一关系可用逻辑表达式表示为

$$Y = A \cdot B \quad (1-5)$$

式中，符号“ $\cdot$ ”表示与运算符，读作“与”或“乘”。通常与运算符可以省略，写成 $Y = AB$ ，读作“Y等于A与B”或者“Y等于A乘B”。

常量与运算的基本运算规则为

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

**2. 或运算** 在决定事物结果的所有条件中只要有任何一个满足，结果就会发生。这种因果关系叫做或逻辑，或者叫做逻辑相加。

如图1-2a所示的电路就是一个或逻辑的实例。只要开关A或B中有一个闭合或者二者都闭合时，灯亮，只有A和B全部断开时，灯才灭，灯Y与开关A、B的因果关系称为或逻辑关系。能够实现或逻辑关系的电路称为或门。

或门的逻辑符号采用国际标准符号如图1-2b所示。

如果用1表示灯亮和开关闭合，用0来表示灯灭和开关断开，则可得到如表1-4所示的或逻辑真值表。

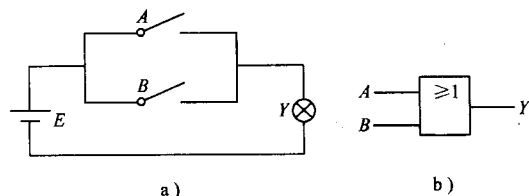


图1-2 或逻辑实例和逻辑符号

a) 电路图 b) 逻辑符号