

计 算 机 系 列 教 材

数字电子技术基础

主 编 王春波



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图例索引 (CIP) 数据

计算机系列教材

数字电子技术基础

主 编 王春波
副主编 毛炳文 李 欣 张志雄
余 静 梁 芳



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/王春波主编. —武汉:武汉大学出版社,2008. 11

计算机系列教材

ISBN 978-7-307-06607-6

I. 数… II. 王… 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(2008)第 164327 号

王春波 主编
李爱文 副主编
张志明 副主编
张志明 副主编

责任编辑:黄金文 乞慧希

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:341千字

版次:2008年11月第1版 2008年11月第1次印刷

ISBN 978-7-307-06607-6/TN·31 定价:25.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

计算机系列教材编委会

主任：王化文，武汉科技大学中南分校信息工程学院院长，教授
编委：（以姓氏笔画为序）

万世明，武汉工交职业学院计算机系主任，副教授

王代萍，湖北大学知行学院计算机系主任，副教授

龙翔，湖北生物科技职业学院计算机系主任

张传学，湖北开放职业学院理工系主任

陈晴，武汉职业技术学院计算机技术与软件工程学院院长，副教授

何友鸣，中南财经政法大学武汉学院信息管理系教授

杨宏亮，武汉工程职业技术学院计算中心

李守明，中国地质大学（武汉）江城学院电信学院院长，教授

李晓燕，武汉生物工程学院计算机系主任，教授

吴保荣，湖北经济学院管理技术学院信息技术系主任

明志新，湖北水利水电职业学院计算机系主任

郝梅，武汉商业服务学院信息工程系主任，副教授

黄水松，武汉大学东湖分校计算机学院，教授

曹加恒，武汉大学珞珈学院计算机科学系，教授

章启俊，武汉商贸学院信息工程学院院长，教授

郭盛刚，湖北工业大学工程技术学院，主任助理

谭琼香，武汉信息传播职业技术学院网络系

戴远泉，湖北轻工职业技术学院信息工程系副主任，副教授

执行编委：黄金文，武汉大学出版社计算机图书事业部主任，副编审



内 容 提 要

为了适应电子技术飞速发展的新形势和独立院校本科学生学习数字电路的需要,本书注重突出独立学院的特色,在传授基础知识的同时,加强了能力的培养。本书注重基础理论,着重概念叙述,突出应用知识,略去了集成电路内部电路及工作原理的分析,突出了典型器件逻辑功能的分析和应用,并注重加强中、大规模集成电路基础知识的介绍,各章均有习题。

本书内容包括:逻辑代数基础,逻辑门电路,组合逻辑门电路,触发器,时序逻辑电路,可编程器件,数/模和模/数转换等。

本书可作为电子与信息类专业独立学院教材,也可作为高职高专教材以及大专、成人教育以及自学教材相关专业使用。

序

近五年来,我国的教育事业快速发展,特别是民办高校、二级分校和高职高专发展之快、规模之大是前所未有的。在这种形势下,针对这类学校的专业培养目标和特点,探索新的教学方法,编写合适的教材成了当前刻不容缓的任务。

民办高校、二级分校和高职高专的目标是面向企业和社会培养多层次的应用型、实用型和技能型的人才,对于计算机专业来说,就要使培养的学生掌握实用技能,具有很强的动手能力以及从事开发和应用的能力。

为了满足这种需要,我们组织多所高校有丰富教学经验的教师联合编写了面向民办高校、二级分校和高职高专学生的计算机系列教材,分本科和专科两个层次。本系列教材的特点是:

1. 兼顾了系统性和先进性。教材既注重了知识的系统性,以便学生能够较系统地掌握一门课程,同时对于专业课,瞄准当前技术发展的动向,力求介绍当前最新的技术,以提高学生所学知识的可用性,在毕业后能够适应最新的开发环境。

2. 理论与实践结合。在阐明基本理论的基础上,注重了训练和实践,使学生学而能用。大部分教材编写了配套的上机和实训教程,阐述了实训方法、步骤,给出了大量的实例和习题,以保证实训和教学的效果,提高学生综合利用所学知识解决实际问题的能力和开发应用的能力。

3. 大部分教材制作了配套的多媒体课件,为教师教学提供了方便。

4. 教材结构合理,内容翔实,力求通俗易懂,重点突出,便于讲解和学习。

诚恳希望读者对本系列教材缺点和不足提出宝贵的意见。

编委会

2005年8月8日



前

言

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。现在电子技术的影响面广、渗透力强、发展速度快和富有生命力,使它的应用日益广泛。电子技术基础通常分为模拟电子技术和数字电子技术两大部分。

本书在编写过程中,充分考虑了独立学院教学的特点,在内容处理上,注重以应用为目的,以“必需”、“够用”为度,力求做到由浅入深、循序渐进。在保证学生牢固掌握基本内容的同时,特别注重了学生处理实际问题能力的培养。

本书共分为七章:

第一、二章由湖北大学知行学院余静编写,介绍了逻辑代数基础和逻辑门电路的内容。第三、四章由湖北大学知行学院李欣编写,介绍了组合逻辑门电路、触发器的内容。第五章由武汉市仪表电子学校张志雄、梁芳编写,介绍了时序逻辑电路的内容。第六章由解放军通信指挥学院毛炳文编写,介绍了可编程器件的内容。第七章由湖北大学知行学院王春波编写,介绍了数/模和模/数转换的内容。

全书由王春波主编定稿。本书在编写过程中得到了武汉大学出版社的大力支持和帮助,我们在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请各位读者提出宝贵意见和建议。

作 者

2008年8月



目 录



第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字电路的基本概念 (定义、优点)	1
1.1.2 数制与码制	2
1.1.3 算术运算与逻辑运算	6
1.2 逻辑代数中的基本运算	7
1.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	10
1.3.1 基本公式	10
1.3.2 若干常用公式	11
1.4 逻辑代数的基本定理	11
1.4.1 代入定理	11
1.4.2 反演定理	12
1.4.3 对偶定理	12
1.5 逻辑函数及其表示方法	12
1.5.1 逻辑函数	12
1.5.2 逻辑函数的表示方法	13
1.5.3 逻辑函数的两种标准形式	14
1.6 逻辑函数的化简	15
1.6.1 公式化简法 (逻辑函数的最简形式、常用的化简方法)	15
1.6.2 卡诺图化简法	16
习题一	20
第 2 章 逻辑门电路	25
2.1 概述	25
2.2 最简单的逻辑门电路	25
2.2.1 二极管与门	25
2.2.2 二极管或门	26
2.2.3 三极管非门	27
2.3 TTL 逻辑门电路	27
2.3.1 TTL 与非门	28
2.3.2 集电极开路门和三态门	36
2.4 CMOS 逻辑门电路	39
2.4.1 CMOS 反相器	39

2.4.2	CMOS 与非门和或非门	44
2.4.3	CMOS 逻辑门的主要参数	44
2.5	集成逻辑门电路的使用	45
2.5.1	几种集成逻辑门系列简介	45
2.5.2	各类集成逻辑门性能比较	47
2.5.3	集成逻辑门电路的使用应注意的问题	48
习题二		50
第 3 章	组合逻辑电路	57
3.1	概述	57
3.2	组合逻辑电路的分析方法和设计方法	57
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法	57
3.2.2	组合逻辑电路的设计方法	58
3.3	几种常用的组合逻辑电路	61
3.3.1	加法器	61
3.3.2	数值比较器	66
3.3.3	编码器	68
3.3.4	译码器	73
3.3.5	数据选择器	78
3.4	组合逻辑电路中竞争——冒险现象	82
3.4.1	竞争——冒险现象及其成因	82
3.4.2	检查竞争——冒险现象的方法	83
3.4.3	消除竞争——冒险现象的方法	84
习题三		85
第 4 章	触发器	92
4.1	概述	92
4.2	触发器的电路结构与动作特点	92
4.2.1	基本 RS 触发器	92
4.2.2	同步 RS 触发器	94
4.2.3	主从 RS 触发器	96
4.2.4	JK 触发器	97
4.2.5	T 触发器	99
4.2.6	D 边沿触发器	100
习题四		101
第 5 章	时序逻辑电路	107
5.1	概述	107
5.2	时序逻辑电路的分析方法和设计方法	107
5.2.1	时序逻辑电路的状态表、状态图和时序图	107



5.2.2	同步时序逻辑电路的分析和设计方法	111
5.2.3	异步时序逻辑电路的分析和设计方法	120
5.3	几种常用的时序逻辑电路	129
5.3.1	寄存器	129
5.3.2	计数器	132
5.4	随机存取存储器 (RAM)	137
5.4.1	RAM 的存储原理	137
5.4.2	典型 RAM 模块及其使用方法	140
	小结	144
	习题五	145
第 6 章 可编程逻辑器件		150
6.1	概述	150
6.2	可编程阵列逻辑(PAL)	151
6.2.1	PAL 的基本电路结构	151
6.2.2	PAL 的几种输出电路结构和反馈形式	153
6.2.3	PAL 的应用举例	156
6.3	通用阵列逻辑(GAL)	161
6.3.1	GAL 的电路结构	162
6.3.2	输出逻辑宏单元(OLMC)	162
6.3.3	GAL 的输入特性和输出特性	166
6.4	可擦除的可编程逻辑器件(EPLD)	169
6.4.1	EPLD 的基本结构和特点	169
6.4.2	EPLD 的与—或逻辑阵列	171
6.4.3	EPLD 的输出逻辑宏单元(OLMC)	171
6.5	现场可编程门阵列(FPGA)	173
6.5.1	FPGA 的基本结构	173
6.5.2	FPGA 的输入输出模块(IOB)和可编程逻辑模块(CLB)	174
6.5.3	FPGA 的互连资源	178
6.5.4	编程数据的装载	179
6.6	PLD 的编程	183
	习题六	184
第 7 章 数/模和模/转换		188
7.1	概述	188
7.2	数/模(D/A)转换器	188
7.2.1	常用数/模转换技术	188
7.2.2	集成 DAC 的主要参数	193
7.2.3	集成 DAC 芯片的选择与使用	194
7.3	模/数(A/D)转换	197

111	7.3.1 常用模/数转换技术	197
150	7.3.2 集成 ADC 的主要参数	200
151	7.3.3 集成 ADC 芯片选择与使用	201
152	7.4 数/模和模/数转换器的应用	206
153	7.4.1 数据采集与控制系统的功能	207
153	7.4.2 实际数据采集系统举例	209
153	小结	212
140	习题七	213
141	参考文献	216

120	第 6 章 可编程逻辑器件	216
120	6.1 概述	216
121	6.2 可编程逻辑器件 (PLD)	216
121	6.2.1 PLD 的基本结构	216
122	6.2.2 PLD 的几种输出结构	216
126	6.2.3 PLD 的应用	216
161	6.3 通用阵列结构 (GAL)	216
163	6.3.1 GAL 的结构	216
163	6.3.2 输出逻辑宏单元 (OLMC)	216
166	6.3.3 GAL 的输入输出特性	216
169	6.4 可编程逻辑器件 (PLD)	216
169	6.4.1 PLD 的基本结构	216
171	6.4.2 PLD 的器件类型	216
171	6.4.3 PLD 的输出逻辑宏单元 (OLMC)	216
173	6.5 现场可编程门阵列 (FPGA)	216
173	6.5.1 FPGA 的基本结构	216
174	6.5.2 FPGA 的输入输出模块 (IOB) 和可编程逻辑模块 (CLB)	216
178	6.5.3 FPGA 的资源	216
179	6.5.4 可编程逻辑器件的选型	216
183	6.6 PLD 的发展	216
184	习题六	216

188	第 7 章 数/模和模/数转换	216
188	7.1 概述	216
188	7.2 数/模 (D/A) 转换器	216
188	7.2.1 常用数/模转换技术	216
193	7.2.2 集成 DAC 的主要参数	216
194	7.2.3 集成 DAC 芯片的选择与使用	216
197	7.3 模/数 (A/D) 转换器	216



第1章 逻辑代数基础



我们在这一章里首先介绍数字电路中常见的数制和码制，然后重点讲述逻辑代数基础。

逻辑代数是分析和设计数字电路的基础和数学工具，本章在介绍逻辑代数的基本概念、基本公式和基本定理的基础上，着重讨论逻辑函数的三种表示方法（真值表、代数式、卡诺图）及其相互转换，以及逻辑函数的两种化简法（公式化简法和卡诺图化简法）。

1.1 概述

1.1.1 数字电路的基本概念（定义、优点）

1. 数字电路简介

电子电路中的信号分为两大类：一类是模拟信号，指在时间和数值上都是连续变化的信号，如音频电压信号等；另一类是数字信号，指在时间和数值上都是离散的信号，如各种脉冲信号等。工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路，工作在数字信号下的电子电路称为数字电路，我们所要讨论的正是后者。

2. 数字电路的优点

数字电路处理的信号主要有两种：反映数值大小的数字量信号和反映事物因果关系的逻辑量信号，它们是在时间和数值上都不连续变化的离散信号，在数字电路中用高、低电平表示，在运算中则用“0”和“1”来表示，因此，与模拟电路相比数字电路具有以下优点：

(1) 数字电路所研究的问题是输入的高、低电平与输出的高、低电平之间的因果关系，称为逻辑关系。它只规定高电平的下限值 $U_{H(min)}$ 和低电平的上限值 $U_{L(max)}$ ，凡大于 $U_{H(min)}$ 都认为是高电平，凡小于 $U_{L(max)}$ 都认为是低电平，而不着重研究它们具体的数值。

研究数字电路逻辑关系的主要工具是逻辑代数。在数字电路中，输入信号也称为输入变量，输出信号称为输出变量，也称逻辑函数，它们均为二值量，非“0”即“1”。逻辑函数为二值函数，逻辑代数概括了二值函数的表示方式、运算规律及变换规律。

(2) 由于数字电路的输入和输出变量都只有两种状态，因此组成数字电路的半导体器件绝大多数工作在开关状态。当它们导通时相当于开关闭合，当它们截止时相当于开关断开。数字电路结构简单，容易制造，便于集成和系列化生产，且成本低廉，使用方便。由数字电路组成的数字系统，工作准确可靠，精度高。

(3) 数字电路不仅可以完成对信号的数值运算，而且还能够进行逻辑运算与判断，也就是具有一定的逻辑运算能力。正因为数字电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系，所以，数字电路又称为数字逻辑电路。它的一套分析方法也与模拟电路不同，采用的是逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程、状态转换图和时序波形图等。

数字电路相对于模拟电路的这一系列优点,使得它在计算机、通信、自动控制、测量仪器、数据采集和处理等各个科学领域内得到广泛的应用。

随着电子工业的飞速发展,数字电路的集成度越来越高,正以功能齐全、价格低廉、可靠性高而被广泛地应用于国民经济的各个领域。

1.1.2 数制与码制

数字电路中经常要遇到计数问题。计数制有许多种,如二进制、八进制、十进制、十六进制、六十进制等,数字电路中经常使用的数是二进制数,常见的编码是8421BCD码。

1. 进位计数制

(1) 十进制 (Decimal Number System)

十进制数是最经常、最广泛使用的一种计数制,它有如下的特点:

①有十个有效的数码:0~9,基数为10。

②计数规律是“逢十进一”,或“借一当十”。

③数码在不同的位置(数位)时代表的数值不同,即位权不同。比如,十进制数888三个数码都是8,但是最右边的数码8是个位数,表示8;中间的数码8是十位数,表示80;最左边的数码8是百位数,表示800。

因此,十进制数234我们可写成:

$$(234)_{10} = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

这里用括号和下标“10”表示十进制数。十进制数的排序规律是最高位在左、最低位在右。各个数位依次用 $10^n, \dots, 10^2, 10^1, 10^0, \dots, 10^{-m}$ 标明各位所代表的数值,称之为“权”。相邻两位的权值正好相差10倍,即逢十进一。按此规律,任意一个十进制数 $(N)_{10}$ 都可以写成按权展开式:

$$(N)_{10} = k_n \times 10^n + k_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + k_1 \times 10^1 + k_0 \times 10^0 + k_{-1} \times 10^{-1} + \dots + k_{-m} \times 10^{-m} \\ = \sum_{i=-m}^n k_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中 n 和 m 均为正整数, k_i 可为10个数中的任意一个。

(2) 二进制 (Binary Number System)

数字设备(例如计算机)中经常使用的是二进制数。二进制数与十进制数的排序规律相同,区别在于它们的基数不同。二进制数的基本特点如下。

①用0和1两个数表示,基数为2。

②计数规律是“逢二进一”,或“借一当二”。

任意一个二进制数 $(N)_2$ 。可写成按权展开式:

$$(N)_2 = k_n \times 2^n + k_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + k_1 \times 2^1 + k_0 \times 2^0 + k_{-1} \times 2^{-1} + \dots + k_{-m} \times 2^{-m} \\ = \sum_{i=-m}^n k_i \times 2^i \quad (1-2)$$

例 1-1 求二进制数 $(10110110)_2$ 所对应的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (N)_2 &= (10110110)_2 = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 \\ &= 128 + 32 + 16 + 4 + 2 = (182)_{10} \end{aligned}$$

(3) 八进制 (Octal Number System)



八进制数用 0~7 八个数字表示，基数为 8，位权是 8 的幂，计数时为“逢八进一”或“借一当八”。

任意一个八进制数 $(N)_8$ 的按权展开式：

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

(4) 十六进制 (Hexadecimal Number System)

十六进制数的基数为 16，用 0~9, A (10), B (11), C (12), D (13), E (14), F (15) 16 个数字符号表示，它的运算规律是“逢十六进一”或“借一当十六”。

任意一个十六进制数 $(N)_{16}$ 的按权展开式：

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

八进制数和十六进制数所对应的十进制数，同样可按权展开再相加求得。

例 1-2 求 $(375)_8$ 和 $(9FD)_{16}$ 对应的十进制数值。

解： $(375)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = 192 + 56 + 5 = (253)_{10}$

$(9FD)_{16} = 9 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 13 \times 16^0 = 2304 + 240 + 13 = (2557)_{10}$

表 1.1 为十进制、二进制、八进制和十六进制的关系表。

表 1.1 十进制、二进制、八进制和十六进制的换算关系表

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
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
...	...	...	...

2. 不同数值之间的转换

在数字电路和计算机中，各种数据处理以及运算均采用二进制（八进制和十六进制仍属

于二进制系列, 主要用来压缩二进制的书写长度), 而人们熟悉的是十进制, 所以我们接下来介绍不同数制之间的转换方法。

(1) 将一个二进制数、八进制数或十六进制数转换成十进制数的方法很简单, 只要写出该进制的按权展开式, 然后相加, 就可以得到等值的十进制数。

(2) 十进制数转换为二进制数时, 可以按整数部分和小数部分分别进行转换, 最后将结果合并为目的数。

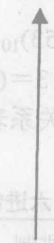
① 整数部分的转换。十进制整数转换成二进制整数采用“除 2 取余”法。步骤是用 2 去除十进制整数, 得出的余数是二进制数的最低位 (LSB), 再用 2 去除, 得出的余数是二进制数的次低位, 重复进行上述过程, 直到商是 0 为止, 最后相除的余数即为二进制数的最高位 (MSB)。

例 1-3 将 $(41)_{10}$ 转换成二进制数。

解:

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 41} \\
 \underline{20} \\
 2 \overline{) 20} \dots\dots 1 \\
 \underline{10} \\
 2 \overline{) 10} \dots\dots 0 \\
 \underline{5} \\
 2 \overline{) 5} \dots\dots 0 \\
 \underline{2} \\
 2 \overline{) 2} \dots\dots 1 \\
 \underline{0} \\
 2 \overline{) 0} \dots\dots 0 \\
 \underline{0} \\
 0 \dots\dots 1
 \end{array}$$

低位



高位

$$(41)_{10} = (101001)_2$$

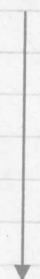
② 小数部分的转换。小数部分的转换采用“乘 2 取整”法。步骤是用该小数乘 2, 第一次乘得的结果的整数部分为二进制数的最高位, 其小数部分再乘 2, 所得结果的整数部分为二进制数的次高位, 依此类推, 直至小数部分达到要求的精度为止。

例 1-4 将 $(0.625)_{10}$ 转换成二进制数。

解:

$$\begin{array}{r}
 0.625 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.25 \dots\dots 1 \\
 0.25 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.5 \dots\dots 0 \\
 0.5 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.0 \dots\dots 1
 \end{array}$$

高位



低位

$$(0.625)_{10} = (0.101)_2$$

(3) 八进制数、十六进制数与二进制数的互相转换。

① 因为 $2^3=8$, 所以对 3 位二进制数来讲, 从 000~111 共有 8 种组合状态, 可以分别将这 8 种状态用来表示八进制数 0~7。这样, 八进制数与二进制数之间的相互转换就简单了, 每一位八进制数正好相当于 3 位二进制数。

例 1-5 将八进制 $(376)_8$ 数转换为二进制数。

解: $(376)_8 = (011\ 111\ 110)_2$

例 1-6 将二进制数 $(1011010)_2$ 转换为八进制数。

解: $(1011010)_2 = (001\ 011\ 010)_2 = (132)_8$

②同理, $2^4=16$, 4 位二进制共有 16 种组合状态, 可以分别用来表示十六进制的 16 个数。这样, 每一位十六进制数对应于四位二进制数。

例 1-7 将十六进制数 $(F3B)_{16}$ 转换为二进制数。

解: $(F3B)_{16} = (1111\ 0011\ 1011)_2$

例 1-8 将二进制数 $(111000101010)_2$ 转换为十六进制数。

解: $(111000101010)_2 = (1110\ 0010\ 1010)_2 = (E2A)_{16}$

3. 编码

在二进制数字系统中, 每一位数只能用 0 或 1 表示两个不同的信号。为了能用二进制数表示更多的信号, 把若干个 0 和 1 按一定的规律编成“代码”, 并赋予每个代码以固定的含义, 这就叫做“编码”。

二进制编码

1 位二进制代码可以表示两个信号。两位二进制代码可以表示 4 个信号。依此类推, n 位二进制代码可以表示 2^n 个不同的信号。将一般的信号编成二进制代码称为二进制编码。若要求编码的信息有 N 项, 则所需的二进制代码的位数 n 应满足 $2^n \geq N$ 。

二—十进制编码

在数字电路中, 各种数据要转换为二进制代码才能进行处理, 而人们习惯于使用十进制数, 输入、输出仍然采用十进制数, 这样就产生了用 4 位二进制数表示 1 位十进制数的计数方法, 这种用于表示十进制数的二进制代码称为二—十进制代码 (Binary Coded Decimal), 简称为 BCD 码。它具有二进制数的形式以满足数字系统的要求, 又具有十进制数的特点 (只有十种数码状态有效)。在某种情况下, 计算机也可以对这种形式的数直接进行运算。常见的 BCD 码有以下几种:

(1) 8421 码

8421 码是 BCD 码中使用最多的一种编码, 是一种有权码, 其各位的权分别是 (从最高有效位开始至最低有效位) 8、4、2、1。如果把每一个代码看成一个 4 位的二进制数, 这个代码的数值恰好等于它所代表的十进制数的大小。

例 1-9 $(483.96)_{10} = (0100\ 1000\ 0011.1001\ 0100)_{8421}$

$(0111\ 1001.0110\ 0101)_{8421} = (79.65)_{10}$

注意: 8421 码中没有 1010~1111 六种编码。

(2) 2421 码

2421 码也是一种有权码, 该码自高位至低位的权分别是 2、4、2、1, 也是用 4 位二进制代码表示 1 位十进制数。2421 码的位权展开式为:

$$a_4 a_3 a_2 a_1 = 2 \times a_4 + 4 \times a_3 + 2 \times a_2 + 1 \times a_1$$

从表 1.2 中不难看出, 在 2421 码中, 十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 对应位码的一个为 0 时, 另一个就为 1, 即互为反码。

(3) 余 3 码

余 3 码也用 4 位二进制数代表 1 位十进制数, 由于它是在 8421 码上加 0011 得到的, 所

以这种编码叫做余 3 码。它是一种无权码（每一位无固定权值）。这种码对应的十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 也是互补的。

表 1.2

几种常见的 BCD 码

十进制数	8421 码	2421 码	余 3 码
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0010	0101
3	0011	0011	0110
4	0100	0100	0111
5	0101	1011	1000
6	0110	1100	1001
7	0111	1101	1010
8	1000	1110	1011
9	1001	1111	1100

(4) 格雷码

格雷码是一种无权码，特点是任意两个相邻的码之间只有一位数不同。表 1.3 给出了 4 位格雷码的编码情况，从表中可以看出最小数 0 与最大数 15 之间也有一位数不同，可将这两个数也看做是相邻的，因此它是一种循环码，故格雷码通常又称为循环码。

表 1.3

格雷码

十进制数	二进制数	格雷码	十进制数	二进制数	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

1.1.3 算术运算与逻辑运算

1. 二进制的算术运算

加法运算规则： $0+0=0$ ， $0+1=1$ ， $1+0=1$ ， $1+1=10$

减法运算规则： $0-0=0$ ， $0-1=1$ （向高位借 1）， $1-0=1$ ， $1-1=0$

乘法运算规则： $0 \times 0=0$ ， $0 \times 1=0$ ， $1 \times 0=0$ ， $1 \times 1=1$