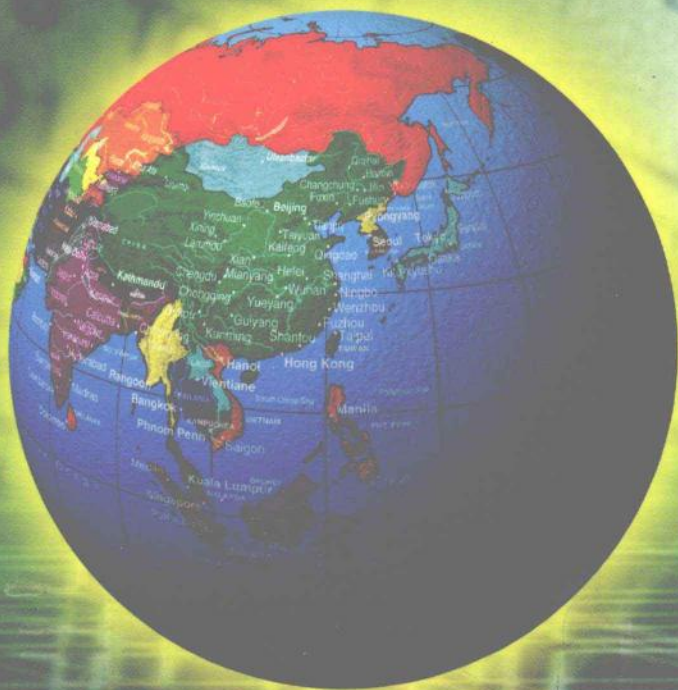


实用数字电子技术

主 编 包长春



中国农业科技出版社

全国高等职业技术教育类专业教材
高等职业教育教材建设指导委员会审定

实用数字电子技术

主 编：包长春 金长星

副主编：张广斌 马 慧 臧怀沛

参 编：刘金华 伦翠芬 卞英哲

葛文谦 张立山 董艳英

中国农业科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用数字电子技术/包长春主编. —北京:中国农业科技出版社, 2000.12
ISBN 7-80167-047-7

I. 实... II. 包... III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 56281 号

责任编辑
出版发行

左月秋
中国农业科技出版社 邮编: 100081
电话: (010) 68919711; 62173607; 传真: 62189014
新华书店北京发行所
河北省昌黎县万利印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张: 18.25
1~2000 册 字数: 460 千字
2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷
25.00 元

经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

前 言

本书是高等职业教育类型院校的教学用书，适用于电子、电力、机电一体化等专业，也可供其它电类专业大专学生和中高级工程技术和维修人员参考。

根据高等职业教育的特点，在教材内容的选择上除满足大专的基本要求外，剔除陈腐过时的内容，有选择地充实现代科学技术发展的新东西和实用的内容。在内容的安排上，力图分散难点，相对集中。在叙述上尽可能注意深入浅出、循序渐进、通俗易懂，使学生能在规定的学时内掌握具有实用价值的数字电子技术的基本内容。

参加本书编写工作的有河北职业技术师范学院包长春、伦翠芬、葛文谦、张立山（第三章、第五章），张广斌、刘金华、董艳英（第一章、第二章、第四章），承德石油高等专科学校金长星、卞英哲（第七章），燕山大学马慧、臧怀沛（第六章）。包长春同志负责全书的组织与定稿。

由于编者水平有限，书中难免有不妥甚至错误之处，敬请读者提出意见，以便今后修订提高。

编 者
2001年6月

目 录

第一章 数字逻辑基础	1
引言	1
1.1 数字电路及其特点	1
1.1.1 数字电路的概念	1
1.1.2 数字电路的特点	2
1.1.3 数字电路的学习方法	2
1.2 二进制数与8421BCD码	3
1.2.1 二进制数	3
1.2.2 十进制数与二进制数	4
1.2.3 码制	5
1.2.4 8421BCD	8
1.3 晶体管的开关特性	10
1.3.1 二极管的开关特性	10
1.3.2 三极管的开关特性	13
1.3.3 MOS管的开关特性	16
1.4 基本逻辑	17
1.4.1 与逻辑	17
1.4.2 或逻辑	18
1.4.3 非逻辑	19
1.4.4 复合逻辑	20
1.5 逻辑函数	22
1.5.1 逻辑关系的表示方法	22
1.5.2 逻辑函数代数化简的基本定律	23
1.5.3 逻辑函数代数化简的基本规则	25
1.5.4 逻辑函数代数化简的基本方法和要求	26
1.6 逻辑函数的卡诺图化简法	29
1.6.1 逻辑函数的最小项及其表达形式	29
1.6.2 逻辑函数的卡诺图表示法	30
1.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法	33
小结	37
习题	38
第二章 逻辑门电路	42
引言	42
2.1 基本逻辑门电路	42
2.1.1 二极管与门、或门电路	42
2.1.2 三极管反相器	46
2.1.3 二极管、三极管复合门电路	48
2.2 TTL门电路	50
2.2.1 TTL与非门的工作原理	51
2.2.2 TTL与非门的带负载能力	55
2.2.3 TTL与非门的电压传输特性及主要参数	57
2.2.4 集电极开路与非门	63
2.2.5 三态与非门	65
2.3 MOS逻辑门电路	67
2.3.1 NMOS逻辑门电路	68
2.3.2 CMOS逻辑门电路	73
2.3.3 CMOS三态门和传输门	76
2.4 逻辑门电路使用中的几个实际问题	80
2.4.1 门电路多余输入端的处理	82

2.4.2 CMOS门电路在使用中应注意的问题	83
2.4.3 CMOS和TTL逻辑门电路之间的接口	83
小结	85
习题	86
第三章 组合逻辑电路	89
引言	89
3.1 组合逻辑电路的分析、设计方法	89
3.1.1 组合逻辑电路的特点	89
3.1.2 组合逻辑电路的分析方法	89
3.1.3 组合逻辑电路的设计方法	91
3.2 编码器	93
3.2.1 4线—2线编码器	93
3.2.2 键控8421BCD码编码器	94
3.2.3 优先编码器	95
3.3 译码器	100
3.3.1 二进制译码器	100
3.3.2 集成电路译码器	101
3.3.3 数据分配器	107
3.4 数据选择器	108
3.4.1 数据选择器的工作原理	108
3.4.2 集成电路数据选择器	110
3.5 数值比较器	115
3.5.1 数值比较器的定义与功能	115
3.5.2 集成数值比较器	117
3.6 算术运算电路	121
3.6.1 半加器和全加器	121
3.6.2 多位数加法器	123
3.6.3 集成算术/逻辑单元举例	126
小结	127
习题	128
第四章 触发器	133
引言	133
4.1 基本RS触发器	133
4.1.1 触发器的特点和分类	133
4.1.2 基本RS触发器	133
4.1.3 基本RS触发器的应用举例	137
4.2 时钟控制RS触发器	139
4.2.1 同步RS触发器	139
4.2.2 主从触发器	141
4.2.3 边沿触发器	143
4.3 触发器的功能	145
4.3.1 RS触发器	145
4.3.2 JK触发器	146
4.3.3 T触发器	149
4.3.4 D触发器	150
4.4 触发器的脉冲工作特性及主要参数	151
4.4.1 集成触发器的脉冲工作特性	151
4.4.2 集成触发器的主要参数	152
小结	154
习题	154

第五章 时序逻辑电路	160
引言	160
5.1 时序逻辑电路的基本概念	160
5.1.1 时序逻辑电路的基本结构及特点	160
5.1.2 时序逻辑电路的分类及特点	161
5.1.3 时序逻辑电路功能的描述方法	161
5.2 时序逻辑电路的分析方法	163
5.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	163
5.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	163
5.2.3 异步时序逻辑电路的分析举例	169
5.3 同步时序逻辑电路的设计方法	171
5.3.1 同步时序逻辑电路设计的一般步骤	171
5.3.2 同步时序逻辑电路设计举例	173
5.4 数码寄存器和移位寄存器	176
5.4.1 数码寄存器	176
5.4.2 移位寄存器	178
5.4.3 双向移位寄存器	179
5.4.4 集成移位寄存器	180
5.5 二进制计数器	184
5.5.1 异步二进制递增、递减计数器	184
5.5.2 同步二进制递增、递减计数器	187
5.5.3 集成二进制计数器	190
5.6 BCD码十进制计数器	195
5.6.1 BCD码异步十进制递增计数器	195
5.6.2 BCD码同步十进制递减计数器	196
5.6.3 集成十进制计数器	197
小结	202
习题	203
第六章 脉冲信号的产生与变换	210
引言	210
6.1 多谐振荡电路	210
6.1.1 由门电路组成的多谐振荡器	210
6.1.2 石英晶体振荡器	213
6.2 单稳态触发器	214
6.2.1 门电路组成微分型单稳态触发器	214
6.2.2 集成单稳态触发器	218
6.2.3 单稳态触发器的应用	223
6.3 施密特触发器	225
6.3.1 门电路组成的施密特触发器	226
6.3.2 集成施密特触发器	228
6.3.3 施密特触发器的应用	229
6.4 555定时器及其应用	232
6.4.1 555定时器	232
6.4.2 定时器应用举例	233
小结	237
习题	238
第七章 数模(D/A)和模数(A/D)转换	243
引言	243
7.1 D/A转换器	243
7.1.1 权电阻D/A转换器(DAC)	243

7.1.2	T型电阻D/A转换器	245
7.1.3	D/A转换器的主要技术指标	249
7.1.4	集成单元D/A转换器及应用	251
7.2	A/D转换器	258
7.2.1	A/D转换的一般步骤及采样定理	258
7.2.2	逐次渐近型A/D转换器	262
7.2.3	双斜积分式ADC	264
7.2.4	A/D转换器的主要技术指标	265
7.2.5	集成ADC及其应用	266
7.2.6	转换器的外围电路	274
7.3	A/D、D/A转换器应用举例——数据采集系统	277
7.3.1	数据采集系统的主要技术性能	277
7.3.2	数据采集系统的电路结构及工作原理	277
	小结	282
	习题	283

第一章 数字逻辑基础

引言 前面我们学习了模拟电子技术的基本理论和基本应用,现代电子包括模拟电子技术和数字电子技术两大部分。模拟电子技术是现代电子技术发展的重要基础,而数字电子技术的广发应用和高速发展又是现代电子技术发展的重要标志。随着现代电子技术的发展,人们正处于一个高速发达的信息时代,这些信息的采集、处理、传输、应用等,几乎无一例外地都以数字化为总趋势,并以不可替代的作用推动着现代科学技术的发展和社会的进步。

数字电子技术是以数字逻辑运算和基本逻辑门电路为基础,本章我们着重介绍模拟信号与数字信号,介绍数制与码制的基本形式,在讨论晶体管的开关作用的基础上,介绍基本逻辑门的结构和形式,进而阐述数字逻辑的基本概念、表达形式和基本逻辑的运算方法,为后续的学习打下基础。

1.1 数字电路及其特点

1.1.1 数字电路的概念

数字电路是处理数字信号并能完成数字运算的电路。

在人们的生产和生活实践中,遇到许多物理量,如温度、湿度、时间、压力等,它们随时间的变化是连续而不间断、渐进而非跳跃的,这些变化的量或信号我们称之为模拟信号。而在我们的现实生活及实践中还遇到另一类物理量,如电机的停、转,电闸的通、断,产品的累计等,它们随时间的变化是不连续的、跳跃性的,对于这一类在时间和数量上都不连续的、离散的信号,我们称之为数字信号或脉冲信号。

所以数字信号的特点包括:①指不随时间连续变化、离散的信号;②数值上接近阶跃变化的形式。常用的数字信号波形有矩形波、脉冲波、阶梯波等,波形如图 1.1.1 所示。

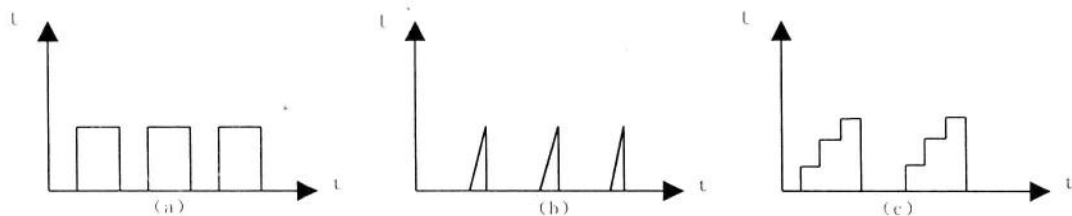


图 1.1.1 (a) 矩形波 (b) 脉冲 (c) 阶梯波

目前,电子技术的发展日新月异,新型的电子器件和组件层出不穷。因此,电子电路的品种也与日俱增。但不论它千变万化,电子电路仍不外乎两大类,一类是处理模拟信号的电路,称为模拟电路;另一类是处理数字信号的电路,称为数字电路。

数字电路处理的信号包括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。数字量的大小可以采用不同的计数制表示,在数字电路中则是以二进制数为基础,因为二进制数列中每一位只有 0 和 1 两种可能的状态,便于用电路实现。逻辑量也只可能有“真”和“假”两种逻辑取值,为了便于进行逻辑运算,两种逻辑值也可用 0 和 1 来代表。因此,作为数字信号,无论是数字量还是逻辑量,都用二值信号来表示。在数字电路中,通常用高电平、低电平表示二值信号,在运算中则以 0 和 1 来代表二值信号。

1.1.2 数字电路的特点

数字电路和模拟电路一样，是一门实践性很强的课程，它们有许多相同之处，也有着明显的区别。为了学好数字电子技术，就必须了解数字电路的特点，而不能生搬硬套模拟电子电路的分析方法。数字电路和模拟电路的主要区别和特点如下：

(1)处理信号不同 在模拟电路中，工作信号是模拟信号，这种信号在时间上和数值上都是连续变化的。而在数字电路中，工作信号是数字信号（脉冲信号），这种信号在时间上和数值上都是离散的，反映到电路上则是高电平和低电平之分。所以，它适用于二进制计数体制。

(2)元件状态不同 在模拟电路中，三极管通常都是工作在放大区，即放大状态。而在数字电路中，三极管一般都工作在截止区和饱和区，即工作在开关状态，放大区只是一种过渡状态。

(3)研究的主要问题不同 在模拟电路中，研究的主要问题是怎样不失真地放大模拟信号，是输出和输入之间一对一的关系；而在数字电路中，研究的主要问题则是电路的输入和输出状态之间的逻辑关系，是输出和输入之间一对一个或一个以上的关系，即电路的逻辑功能。

(4)研究的手段不同 在模拟电路中，经常利用图解法和微变等效电路法等对电路进行静态和动态的定量分析。而在数字电路中，分析、反应逻辑关系的主要工具是逻辑代数，分析电路逻辑功能的主要方法是真值表、逻辑函数表达式、卡诺图、逻辑图、波形图等。经常遇到的问题是怎样利用它们对已知电路进行逻辑分析，根据实际要求进行逻辑设计。

(5)主要单元电路不同 在模拟电路中，主要单元电路是放大器。而在数字电路中，主要单元电路则是逻辑门和触发器。

1.1.3 数字电路的学习方法

在学习数字电路时，希望注意以下几点：

(1)注意基本概念 基本概念是课程重要物理现象本质的集中反映和高度概括，掌握基本概念是进行分析计算和实验调整的前提，是学好本课程的关键之一。例如开、关、与、或、非、异或、带负载能力、抗干扰能力、高电平、低电平、阈值电压、组合电路、时序电路等等。

(2)注意基本单元电路 数字电路是由几种比较简单的基本单元电路——门电路和触发器组成的，只有熟悉它们的性能，才能运用自如。

(3)注意基本方法 例如门电路的静态分析估算方法，逻辑函数的表示方法和化简方法，组合电路和时序电路的分析设计方法等。

(4)注意思路联系 对每个章节，都应注意问题是怎样提出的，有什么矛盾，如何解决，及时进行归纳总结，把基本内容融汇贯通起来。

(5)注意习题和实验 数字电路课程实践性很强，要注意通过实验研究把理论和实践结合起来，培养分析问题和解决问题的能力。

复习思考题

- 1.1.1 什么是数字信号？数字信号的特点有哪些？
- 1.1.2 什么是数字电路？数字电路与模拟信号相比有哪些特点？
- 1.1.3 学习数字电路在学习方法上应注意哪些方面？

1.2 二进制数与 8421BCD 码

1.2.1 二进制数

1. 二进制数的基本概念

要了解二进制数，我们需要首先了解一下十进制数。所谓十进制数它有两个主要特点：

- 它有 10 个数码，即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;
- 是逢十进一，借一当十。

根据十进制数的特点，我们可以分析出同一数字符号在相对于小数点的位置不同，则代表不同的数值，每一数位的值都可以表示为 10 的方幂的形式。例如 518.45，小数点左边的 5 处于百位上，它代表 $5 \times 10^2=500$ ，而小数点右边的 5 处于百分位上，它代表 $5 \times 10^{-2}=0.05$ 。我们可以把 518.45 写成如下形式：

$$518.45=5 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

对于任意一个 n 位整数 m 位小数的十进制数 D，可表示为：

$$D=D_{n-1} \cdot 10^{n-1} + D_{n-2} \cdot 10^{n-2} + \cdots + D_0 \cdot 10^0 + D_{-1} \cdot 10^{-1} + \cdots + D_{-m} \cdot 10^{-m}$$

上式称为十进制数的“按权展开式”，其中 10 为十进制数的基数，表示十进制数有 10 个数码，而且相应于 D_k 位数字的 10^k 则为该位数字的“权”。数据末尾加 D (Decimal) 表示十进制数。

以上所述就是十进制计数法。由于二进制、十进制同属进位计数制，所以相应的二进制数也有两个特点：

- 它有 2 个数码，即 0, 1;
- 逢二进一，借一当二；

对于任意一个 n 位整数 m 位小数的二进制数 B，可表示为：

$$B=B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + B_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + B_0 \cdot 2^0 + B_{-1} \cdot 2^{-1} + \cdots + B_{-m} \cdot 2^{-m}$$

上式称为二进制的“按权展开式”。不难看出，它与十进制的差别仅仅在于进位基数发生了变化，即基数为 2，每个数位的“权”表现为 2 的方幂的形式 (B_k 位的“权”为 2^k)，也就是说相邻两位相同数码代表的值互为 2 倍的关系。数据末尾加 B (Binary) 表示二进制数。

$$\text{例如 } (1101.01)_2=1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (13.25)_{10}$$

即二进制的 1101.01 与十进制的 13.25 等值。

n 位二进制数可以表示 2^n 个数，例如 4 位二进制数可以表示十进制的 0~15 共 16 个数，如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 十进制数与二进制数对照表

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

需要说明的是进位计数制包含多种计数方法，如常用的还有八进制、十六进制等。十进制数是我们非常熟悉的计数制，而在数字电路中却要采用二进制，这是因为二进制数只有 0 和 1 这 2 个数码，因此很容易用电路来实现。例如高电平用 1 表示，低电平用 0 表示。而十进制数有 10 个数码，用电路状态表示这十个数是困难的。再者，由于二进制只有 2 个数码，其算术运算法则便十分简单明了。

2. 二进制数的算术运算规则

加法规则

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{ (逢二进一)}$$

乘法规则

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

1.2.2 十进制数与二进制数

十进制数是人们平时习惯采用的，而二进制数是微型计算机和数字电路经常采用的，所以读者必须熟练掌握十进制数与二进制数以及它们之间的相互转换。

1. 二进制数转为十进制数

二进制数转为十进制数采用按权展开相加法。

[例 1] 将二进制数 11001 转换为十进制数

$$(11001)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 = 16 + 8 + 1 = (25)_{10}$$

[例 2] 将二进制数 1101.11 转换为十进制数

$$\begin{aligned} (1101.11)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (13.75)_{10} \end{aligned}$$

2. 十进制数转为二进制数

整数部分转换采用除 2 取余法，即将要转换的十进制数的整数部分不断地除以 2 并记下每一个余数，直到商为 0 止，然后把每次相除前得到的余数，从最后一次的余数读起，就是整数部分的二进制数。

小数部分转换采用乘 2 取整法，即将要转换的十进制数的小数部分不断地乘以 2 并记下每次的整数部分，直到结果的小数部分为 0 止，然后从第一次所取得的整数读起，就是小数部分的二进制数。

[例 3] 将十进制数 25 转换为二进制数

			余数	
2	25	.....	1	↑
2	12	.....	0	|
2	6	.....	0	|
2	3	.....	1	|
2	1	.....	1	|
	0			

$$\therefore (25)_{10} = (11001)_2$$

[例 4] 将十进制数 25.8125 转换为二进制数

由上题可知：整数部分 $(25)_{10} = (11001)_2$

小数部分：	0.8125 × 2 = 1.625	取整为 1	|
	0.625 × 2 = 1.250	取整为 1	|

$$\begin{aligned}
 0.250 \times 2 &= 0.500 && \text{取整为 } 0 && | \\
 0.500 \times 2 &= 1.000 && \text{取整为 } 1 && \downarrow \\
 (0.8125)_{10} &= (0.1101)_2
 \end{aligned}$$

$$\therefore (25.8125)_{10} = (11001.1101)_2$$

注：不是所有的十进制数都能转换成等值的二进制小数，所以应根据精度取近似值。

1.2.3 码制

在数字电子设备中，数值信息按“值”表示，而非数值信息如数字、字母、符号等则按“形”表示。例如十进制数4，在8421BCD码中用0100表示，在余3码中用0111表示，在格雷码中用0110表示，而在ASCII码中则用00110100表示。因此，为了便于记忆和查找，这些用来表示数、字母和符号的二进制数也必须遵循一定的规则，这个规则称为码制。常用的编码如图1.2.1所示。

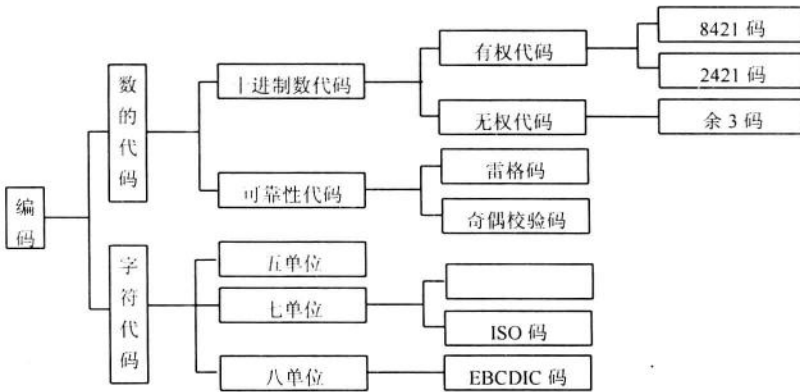


图 1.2.1 常用的编码

1. 十进制数的编码

在数字装置中，十进制数除了转换成二进制数外，还可以将每个十进制数字符号用二进制代码表示，称为二—十进制编码（BCD码）。这种表示方法具有二进制的形式，又具有十进制的特点。在二—十进制编码中，至少需要四位二进制数来表示，四位二进制数共可组成16种代码，可任选其中的10种代码来表示十进制的0-9这十个数码，这样便会有多种不同的取法，因而就有多种二—十进制编码方式，表1.2.2列出了常用的编码。

表 1.2.2 十进制编码的常用编码

十进制数	8421码	2421码	余3码
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0
2	0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 1
3	0 0 1 1	0 0 1 1	0 1 1 0
4	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1
5	0 1 0 1	1 0 1 1	1 0 0 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0	1 0 0 1
7	0 1 1 1	1 1 0 1	1 0 1 0
8	1 0 0 0	1 1 1 0	1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 1 1 1	1 1 0 0

(1) 8421 码

表 1-2 的第二列为 8421 码,它是用四位二进制数来表示一位十进制数。在这种代码中,每一位的 1 都代表一个固定的数值,如果把代码中的 1 所代表的数加起来,则得到的数值就是它所代表的十进制数。因为自左而右每一位的 1 分别表示 8、4、2、1,所以把这种编码称之为 8421 码,也称为 BCD 码(二进制编码的十进制码),有时也称为二—十进制码。每一位的 1 所代表的数值称为这一位的权(分别为 8421)。在 8421 码中,每一位的权都是固定的,所以它是一种恒权代码,亦称有权代码。当 8421 码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ 时,它所代表的值为:

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

这种编码很容易实现同十进制数的转换,但在计数时用这种码构成的电路工作时易产生“毛刺”信号和设备的利用率不高等缺点。再一个就是恒权代码所共有的,在某些相邻代码之间,会出现多个变量同时发生变化的情况。如 8421 码中的 7 和 8 之间代码由 0111 变为 1000,四个变量同时发生了变化,这种情况在实际的应用中将会造成系统的可靠性降低,会出现竞争冒险问题。

(2) 2421 码

表 1-2 的第三列为 2421 码,2421 码与 8421 码类似,也是用四位二进制数来表示一位十进制数,也是一种恒权代码,只不过四位二进制数各位的权自左而右分别为 2、4、2、1,故称 2421 码。

在 2421 码中,0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码。

(3) 余 3 码

表 1-2 的第四列为余 3 码,它是由 8421 码加 3 得到的。因为每一个余 3 码所表示的二进制数比它所对应的十进制数多 3,故称这种编码为余 3 码。当余 3 码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ 时,显而易见余 3 码所代表的十进制数的值为

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0 - 3$$

余 3 码是无权代码。由于代码中的各位“1”不表示一个固定的值,因而不直观,且容易出错的缺点。仔细观察编码表可以发现,0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码。另一个特点是,两个余 3 码相加所产生的进位相当于十进制数的进位。如余 3 码 1001

(6) 和 1010 (7) 相加,其结果如下

$$\begin{array}{r} 1001 \\ + 1010 \\ \hline 10011 \end{array} \quad \begin{array}{r} 6 \\ + 7 \\ \hline 13 \end{array}$$

注意:运算后留下的和已不是余 3 码,而是 8421 码了。

2. 可靠性代码

我们知道,在一般情况下,二进制码的数字信息在传输过程中,其抗干扰能力较模拟信号强。但是,由于传输过程中干扰不可避免,总会发生差错。为了发现并纠正可能发生的错误,提高抗干扰能力,通常将已编码的二进制码再行编码,以求具有发现或纠正可能出现的错误,这就需要采用可靠性代码。下面介绍奇偶校验码和格雷码。

(1) 奇偶校验码

奇偶校验码是在计算机存储器中广泛采用的一种可靠性代码。这种编码方法是在原若干个信息位后添加一位校验位构成,使得添加校验位后形成的码中“1”的个数为奇数或偶数。若为奇数,则称为奇校验;若为偶数,则称为偶校验。假设原信息码为四位二进制码,表 1.2.3 给出了以 8421 码为信息位构成的奇校验码和偶校验码。

奇偶校验码的特点是,它只能发现一位错,而不能确定出错的位置,因而没有自动纠正错误的功能。

采用奇偶校验码,电路的硬件上需增加形成校验位的电路和检测校验码的电路。

表 1.2.3 8421 奇偶校验码

8421 码 (信息码)	8421 奇校验码		8421 偶校验码	
	8421	校验位	8421	校验位
0000	0000	1	0000	0
0001	0001	0	0001	1
0010	0010	0	0010	1
0011	0011	1	0011	0
0100	0100	0	0100	1
0101	0101	1	0101	0
0110	0110	1	0110	0
0111	0111	0	0111	1
1000	1000	0	1000	1
1001	1001	1	1001	0

(2) 格雷码 (Gray Code)

格雷码又称循环码，如表 1.2.4 所示。由表可见，循环码中每一位从上到下的排列顺序都是以固定的周期进行循环的。其中右起第一位的循环周期是“0110”，第二位的循环周期是“00111100”，第三位的循环周期是“0000111111110000”等。这种编码是变权代码。它的最大特点是任意两个相邻数所对应的代码之间仅有一位不同。这个特点使它具有下列优点：

1) 在组成数码、信息码的传输及解码时产生误差小。例如在格雷码中，当将码“0100”误取为“1100”时，格雷码只不过是 7 和 8 之差，而在二进制码中则为 4 与 12 之差，相差很大。

2) 在作计数器时，由于每个计数脉冲作用后都只有一位数码发生，因此与其它码制同时改变二位或多位的情况相比，出错机会减少，更为可靠且工作速度快，不会出现如前所述 8421 码工作时的干扰“毛刺”信号，译码时没有竞争冒险现象。

格雷码的缺点是不够直观，而且循环计数器的电路也显得复杂一些。

表 1.2.4 十进制数的格雷码码表

十进制数	格雷码	十进制数	格雷码
	$K_3 K_2 K_1 K_0$		$K_3 K_2 K_1 K_0$
0	0 0 0 0	8	1 1 0 0
1	0 0 0 1	9	1 1 0 1
2	0 0 1 1	10	1 1 1 1
3	0 0 1 0	11	1 1 1 0
4	0 1 1 0	12	1 0 1 0
5	0 1 1 1	13	1 0 1 1
6	0 1 0 1	14	1 0 0 1
7	0 1 0 0	15	1 0 0 0

3. 字符代码

在使用编程语言编制源程序时，需将数字、字母和各种符号输入计算机中，因此必须对数字、字母和各种符号进行编码。这些数字、字母和各种符号统称“字符”，这些字符的编码统称字符代码。

字符代码有五单位、七单位和八单位几种。五单位字符代码是国际电传码稍作修改而来。常用七单位字符代码有 ASCII 码和 ISO(国际标准化组织)码。常用八单位字符代码有 EBCDIC 码,也称扩充的 BCD 交换码。

目前广泛采用的字符编码是 ASCII 码。ASCII 码是英文 American Standard Code for Information Interchange 的缩写,意为“美国标准信息交换代码”。该编码后被国际标准化组织 ISO 采纳,作为国际通用的信息交换标准代码。

ASCII 码是用七位二进制 ($b_6 \sim b_0$) 表示一个字符,空闲最高位 b_7 常用作奇偶校验位,如图 1.2.2 所示。

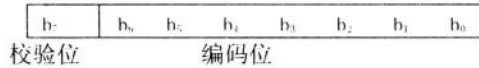


图 1.2.2 一个字节中 ASCII 码编码位的使用

由于 $2^7=128$, 所以共有 128 种不同的组合表示 128 个不同的字符,其中包括:数字 0-9、26 个大写英文字母、26 个小写英文字母以及各种运算符号、标点符号及控制命令等,详见表 1.2.5 所示。

表 1.2.5 七位 ASCII 码表

字符 b_7, b_6, b_5	b_4, b_3, b_2							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0 0 0 0	NUL	DLE	SP	0	@	P	.	p
0 0 0 1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0 0 1 0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0 0 1 1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0 1 0 0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0 1 0 1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0 1 1 0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0 1 1 1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1 0 0 0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1 0 0 1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1 0 1 0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1 0 1 1	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1 1 0 0	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1 1 0 1	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1 1 1 0	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1 1 1 1	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

1.2.4 8421BCD 码

由于人们习惯运用十进制进行运算,而电子计算机及数字电路采用二进制数进行运算及操作,为了使计算机及数字电路能识别十进制数,就需要用 0、1 对十进制数进行编码,即用 0 和 1 二进制的不同组合形式表示十进制数。

凡采用若干位二进制数码表示一位十进制数的编码方案,统称为二进制编码的十进制数,即 BCD 码,来自于英文 Binary Coded Decimal 缩写,简称二—十进制编码。

因为十进制有 0-9 十个数字,必须用四位二进制进行编码,而 $2^4=16$,可编出 16 种不同组合状态,可任选取其中 10 种表示 0-9 这十个数字,另外 6 种不用,其中最自然的方法就是取前 10 种。

二—十进制编码方法很多，是最常用的一种，如表 1.2.6 所示。它采用四位二进制数表示一位十进制数，而四位二进制各位的权由高到低分别是 23、22、21、20，即 8、4、2、1，故而得名。例如十进制数 5986 的 8421BCD 码为 0101100110000110，如图 1.2.3 所示。

十进制数	5	9	8	6
	0 1 0 1	1 0 0 1	1 0 0 0	0 1 1 0
位 权	8 4 2 1	8 4 2 1	8 4 2 1	8 4 2 1

图 1.2.3 8421BCD 码 编码举例

表 1.2.6 8421BCD 码 编码表

十进制数	8421BCD 码	十进制数	8421BCD 码
0	0 0 0 0	8	1 0 0 0
1	0 0 0 1	9	1 0 0 1
2	0 0 1 0	10	1 0 1 0
3	0 0 1 1	11	1 0 1 1
4	0 1 0 0	12	1 1 0 0
5	0 1 0 1	13	1 1 0 1
6	0 1 1 0	14	1 1 1 0
7	0 1 1 1	15	1 1 1 1

BCD 码是比较直观的，例如：

(0100 1001 0111 1000.0001 0100 1001)_(BCD)

可以很方便地认出

4978.149

即只要熟悉 BCD 的十位编码，立即可以很容易地实现十进制与 BCD 码之间的转换。但是 BCD 码与二进制之间的转换是不直接的，要先经过十进制。即：BCD 码先转换为十进制码，然后再转换为二进制码；反之亦然。

要注意：

(1)BCD 码仅在形式上变成了 0 和 1 组成的二进制形式，而实质上它表示的是十进制数，不过每位十进制数用四位二进制编码罢了，运算规则和数值都是十进制的。

(2)一个二进制序列，既可把它理解为二进制数，又可把它理解为 BCD 码，但其对应的十进制数值是不同的。例如，设有一个二进制序列 00100101，当把它理解为二进制数时，其对应的十进制数为 37，而把它理解为 BCD 码时，其对应的十进制数为 25。

复习思考题

- 1.2.1 为什么在计算机或数字系统通常采用二进制数？
- 1.2.2 在二进制数中，其位权的规律如何？
- 1.2.3 八进制和十六进制各用于何种场合？
- 1.2.4 8421BCD 码为什么用得较普遍？
- 1.2.5 试检验 2421 码的编码表。
- 1.2.6 格雷码有什么特点，用于什么场合？