

高等学校电子信息类专业
“十二五”规划教材

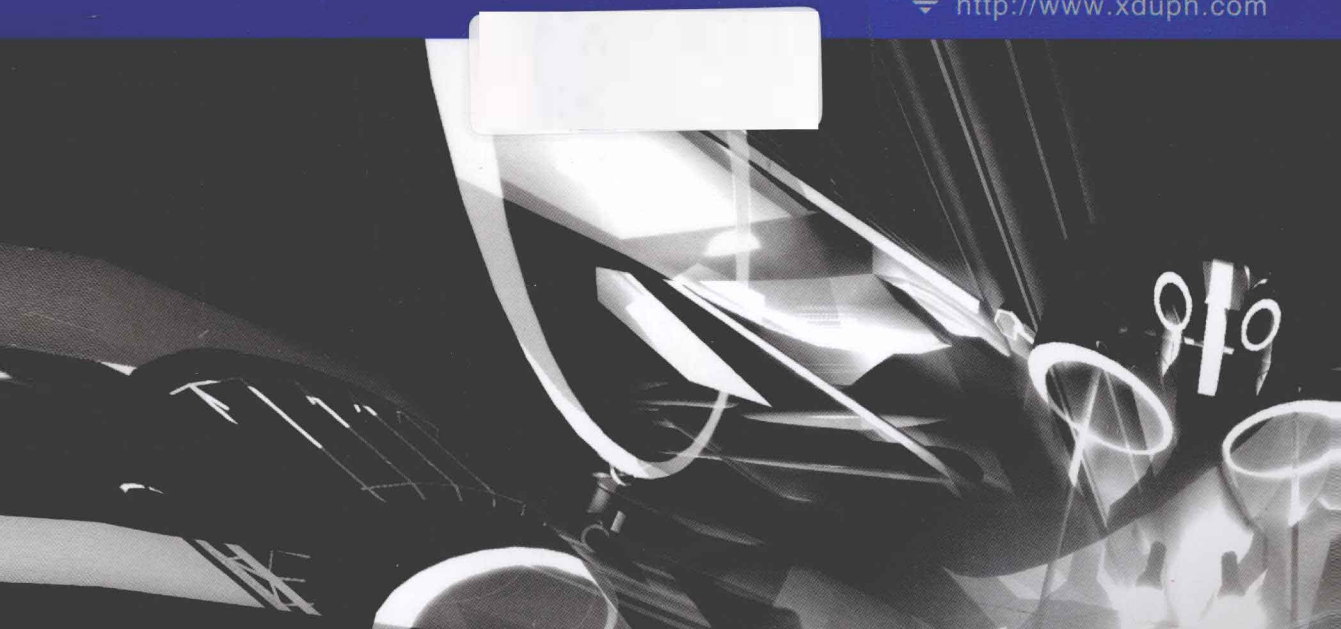
ELECTRONIC
INFORMATION SPECIALTY

数字系统与逻辑设计

师亚莉 张新 薛延侠 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

数字系统与逻辑设计

师亚莉 张新 薛延侠 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书围绕数字系统这一主线展开,注重基础知识的同时,加强逻辑设计和数字系统基础知识介绍。全书共11章,主要包括逻辑代数的基本概念、逻辑函数的描述和化简方法、集成门电路、组合逻辑电路的分析和设计、触发器、时序逻辑电路的分析和设计、半导体存储器和可编程逻辑器件、脉冲波形的产生与整形电路、数/模与模/数转换电路、VHDL描述的逻辑电路及数字系统基本设计方法等内容。

本书内容精练、实例丰富、通俗易懂、应用性强,各章后均附有小结和习题,便于教学和自学。本书可作为高等院校通信工程、信息工程、电子工程、计算机、自动化、集成电路等相关专业的本科教材,也可供相关专业的研究生和工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字系统与逻辑设计/师亚莉,张新,薛延侠编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2013.1
高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2927 - 8

I. ① 数… II. ① 师… ② 张… ③ 薛… III. ① 数字系统—逻辑设计—高等学校—教材
IV. ① TP331.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 254652 号

策 划 云立实

责任编辑 雷鸿俊 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 22.5

字 数 532千字

印 数 1~3000册

定 价 39.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2927 - 8/TP

XDUP 3219001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字信号	1
1.2 计数进位制	2
1.3 不同进制数的转换	3
1.4 二—十进制常用代码	6
1.5 算术运算与逻辑运算	8
1.6 数字电路及其发展	9
本章小结	10
习题	10
第 2 章 逻辑函数及其化简	11
2.1 逻辑代数	11
2.1.1 三种基本逻辑	11
2.1.2 基本逻辑运算	13
2.2 逻辑代数的常用公式和规则	17
2.2.1 逻辑代数的基本公式	17
2.2.2 逻辑代数的三个规则	19
2.2.3 逻辑代数的常用公式	20
2.3 逻辑函数及其表示方法	21
2.3.1 逻辑函数的概念	21
2.3.2 逻辑函数的表示方法	21
2.3.3 逻辑函数相等	24
2.3.4 逻辑函数的标准形式	24
2.4 逻辑函数的化简	27
2.4.1 公式化简法	28
2.4.2 逻辑函数的卡诺图化简法	30
本章小结	38
习题	39
第 3 章 集成逻辑门	41
3.1 晶体管的开关特性	41
3.1.1 晶体二极管的开关特性	41
3.1.2 晶体三极管的开关特性	44
3.1.3 关于高低电平的概念及状态赋值	46
3.2 TTL 集成逻辑门	47
3.2.1 TTL 与非门电路	47
3.2.2 TTL 与非门的主要外部特性	49
3.2.3 TTL 其他逻辑门电路	54

3.2.4 TTL 门电路的改进	58
3.3 MOS 逻辑门电路	60
3.3.1 MOS 晶体管	60
3.3.2 MOS 反相器	63
3.4 CMOS 电路	64
3.4.1 CMOS 反相器	64
3.4.2 CMOS 反相器的主要特性	64
3.4.3 CMOS 传输门	67
3.4.4 CMOS 其他逻辑门电路	68
3.4.5 集成门电路使用中的实际问题	70
本章小结	72
习题	73
第 4 章 组合逻辑电路	77
4.1 组合逻辑电路的分析	77
4.2 组合逻辑电路的设计	79
4.3 常用中规模集成组合逻辑电路	84
4.3.1 加法器	84
4.3.2 数值比较器	88
4.3.3 编码器	92
4.3.4 译码器	95
4.3.5 数据选择器	104
4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	112
4.4.1 竞争与冒险的基本概念	112
4.4.2 逻辑险象的识别	113
4.4.3 逻辑冒险现象的消除	115
本章小结	117
习题	117
第 5 章 触发器	121
5.1 概述	121
5.2 基本触发器	121
5.2.1 与非门组成的基本 RS 触发器	122
5.2.2 基本 RS 触发器功能的描述方法	122
5.2.3 或非门组成的基本 RS 触发器	124
5.3 钟控触发器	127
5.3.1 钟控 RS 触发器	127
5.3.2 钟控 D 触发器	129
5.3.3 钟控 JK 触发器	130
5.3.4 钟控 T 触发器和 T' 触发器	131
5.3.5 电位触发方式的工作特点	132
5.4 主从触发器	132
5.4.1 主从 RS 触发器	132
5.4.2 主从 JK 触发器	134
5.5 边沿触发器	137

5.5.1 维持-阻塞 D 触发器	137
5.5.2 下降沿触发的边沿触发器——负边沿 JK 触发器	139
本章小结	141
习题	142
第 6 章 时序逻辑电路	144
6.1 时序逻辑电路概述	144
6.1.1 时序逻辑电路的特点	144
6.1.2 时序逻辑电路的分类	145
6.2 时序逻辑电路的分析和设计	145
6.2.1 时序逻辑电路的一般分析方法	145
6.2.2 同步时序逻辑电路的分析	146
6.2.3 异步时序逻辑电路的分析	149
6.2.4 同步时序逻辑电路的设计	151
6.3 计数器	157
6.3.1 同步计数器	157
6.3.2 异步计数器	162
6.3.3 集成计数器举例	163
6.3.4 集成计数器的应用	169
6.4 寄存器	177
6.4.1 数码寄存器	177
6.4.2 移位寄存器	178
6.4.3 寄存器的应用	181
6.5 序列信号发生器	187
6.5.1 反馈移存型序列信号发生器的设计	187
6.5.2 计数型序列信号发生器的设计	189
本章小结	190
习题	190
第 7 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	193
7.1 半导体存储器概述	193
7.1.1 存储器的分类	193
7.1.2 半导体存储器的分类	194
7.1.3 半导体存储器的主要技术指标	195
7.1.4 半导体存储器芯片的基本结构	195
7.2 随机存取存储器(RAM)	198
7.2.1 RAM 的电路结构与工作原理	198
7.2.2 RAM 存储单元	199
7.2.3 RAM 的操作与定时	202
7.2.4 RAM 的容量扩展	203
7.2.5 RAM 举例	205
7.3 只读存储器(ROM)	207
7.3.1 ROM 的分类	207
7.3.2 ROM 的结构及工作原理	208
7.3.3 ROM 的应用	212

7.3.4 ROM 容量的扩展	216
7.4 闪速存储器(Flash Memory)	217
7.5 高速缓冲存储器	218
7.5.1 多层存储结构	218
7.5.2 Cache 控制器	219
7.5.3 Cache 的基本操作	220
7.5.4 地址映像及其方式	220
7.6 可编程逻辑器件概述	223
7.6.1 PLD 器件的分类	223
7.6.2 PLD 的电路表示法	225
7.6.3 可编程阵列逻辑器件(PAL)	226
7.6.4 可编程通用阵列逻辑器件(GAL)	227
7.7 高密度可编程器件概述	231
7.7.1 FPGA 芯片结构简介	231
7.7.2 CPLD 芯片结构简介	235
7.7.3 高密度 PLD 的逻辑实现	237
7.7.4 CPLD 和 FPGA 的特点比较	238
本章小结	238
习题	239
第 8 章 脉冲波形的产生与整形电路	243
8.1 概述	243
8.2 施密特触发器	244
8.2.1 CMOS 门电路构成的施密特触发器	244
8.2.2 集成施密特触发器	247
8.3 单稳态触发器	248
8.3.1 CMOS 门电路构成的微分型单稳态触发器	248
8.3.2 CMOS 门电路构成的积分型单稳态触发器	251
8.3.3 集成单稳态触发器	252
8.3.4 单稳态触发器的应用	256
8.4 自激多谐振荡器	257
8.4.1 用门电路组成的多谐振荡器	257
8.4.2 石英晶体多谐振荡器	261
8.5 555 集成定时器及其应用	262
8.5.1 CC7555 定时器的电路结构	262
8.5.2 集成定时器应用举例	264
本章小结	267
习题	267
第 9 章 数/模与模/数转换电路	270
9.1 数/模转换和模/数转换概述	270
9.1.1 数字系统框图	270
9.1.2 模/数转换器(ADC)的主要性能参数	271
9.1.3 数/模转换器(DAC)的主要性能参数	272
9.1.4 DAC 与 ADC 的分类	273

9.2 D/A 转换器	273
9.2.1 D/A 转换器的基本原理	273
9.2.2 权电阻网络 D/A 转换器	274
9.2.3 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	275
9.2.4 权电流型 D/A 转换器	276
9.2.5 常用集成 D/A 转换器简介	279
9.3 A/D 转换器	281
9.3.1 A/D 转换的基本原理	281
9.3.2 取样-保持电路	283
9.3.3 并行比较型 A/D 转换器	284
9.3.4 逐次比较型 A/D 转换器	285
9.3.5 常用集成 A/D 转换器简介	286
本章小结	288
习题	289
第 10 章 VHDL 语言简介	291
10.1 VHDL 语言概述	291
10.1.1 VHDL 语言的历史	291
10.1.2 VHDL 系统设计的特点及优势	292
10.2 VHDL 语言程序的基本结构	292
10.2.1 VHDL 语言设计的基本单元及其构成	292
10.2.2 实体	294
10.2.3 结构体	297
10.2.4 寄存器的 VHDL 描述	298
10.3 VHDL 语言的数据类型及运算操作符	302
10.3.1 VHDL 的数据类型	302
10.3.2 VHDL 语言的运算操作符	303
10.4 VHDL 语言的主要描述语句	305
10.4.1 顺序描述语句	305
10.4.2 并行描述语句	311
10.5 基本逻辑电路设计	313
10.5.1 组合逻辑电路设计	313
10.5.2 时序电路设计	318
10.5.3 存储器	323
本章小结	324
习题	324
第 11 章 数字系统设计基础	328
11.1 数字系统的概念	328
11.1.1 数字系统的基本模型	328
11.1.2 数字系统与逻辑功能部件的区别	329
11.1.3 数字系统的设计方法及设计流程	329
11.2 系统控制器的设计	331
11.2.1 控制器的描述	331
11.2.2 控制器的设计	333

11.3 数字系统设计实例——交通灯控制系统	336
11.3.1 交通灯控制系统的功能概述	336
11.3.2 交通灯控制系统的设计	336
11.3.3 交通灯控制器的 VHDL 实现	338
本章小结	342
习题	342
附录	343
附录一 集成器件的命名及封装形式	343
附录二 常用 74 系列数字集成电路型号功能表	344
参考文献	350

第1章 绪 论

现代生活中,数字技术无处不在,它已广泛应用于通信、电视、医疗设备、自动控制、新型武器、交通、电力、航空等各个领域。例如,在通信系统中,数字通信系统不仅比模拟通信系统抗干扰能力强,保密性好,而且还能应用计算机进行信息处理和控制,形成以计算机为中心的自动交换通信网。科学研究中先进的仪器设备、日常生活中的家用电器、电子计算机及信息技术都离不开数字技术。21 世纪是信息数字化的时代,数字化是人类进入信息时代的必要条件。

1.1 数 字 信 号

自然界中存在着两类物理量。一类称为模拟量(Analog Quantity),它具有时间上连续变化、值域内任意取值的特点。例如,电压、温度、声音等就是典型的模拟量。另一类称为数字量(Digital Quantity),它具有时间上离散变化(也就是不连续)、值域内只能取某些特定值的特点。例如,开关的通断、电压的高低、电流的有无等就是典型的数字量。在电子设备中,无论是数字量还是模拟量都是以电信号形式出现的。通常将表示模拟量的电信号叫做模拟信号(Analog Signal),将表示数字量的电信号叫做数字信号(Digital Signal)。正弦波信号、话音信号就是典型的模拟信号,矩形波、方波信号就是典型的数字信号。将产生、传送、处理模拟信号的电子电路叫做模拟电路(Analog Circuit),将产生、存储、传送、处理数字信号的电子电路叫做数字电路(Digital Circuit)。

数字电路的基本工作信号是由 0、1 两种数值组成的数字信号,一个 0 或一个 1 通常称为 1 比特,有时也称为一个节拍。数字信号有两种传输波形,一种称为电位型,另一种称为脉冲型。电位型数字信号是以一个时间节拍内信号是高电平还是低电平来表示 1 或 0 的,而脉冲型数字信号是以一个时间节拍内有无脉冲来表示 1 或 0 的。如图 1-1-1 所示的数字信号为 010011010,图(a)中所示是以高电平表示 1、低电平表示 0 的电位型数字信号波形,或称为不归 0 型数字信号,图(b)中所示是以有脉冲表示 1、无脉冲表示 0 的脉冲型数字信号波形,或称为归 0 型数字信号,即在相邻 1 信号间,先回到 0 再变为 1。

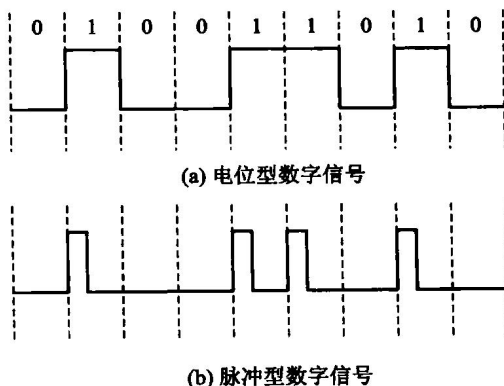


图 1-1-1 数字信号的表示



1.2 计数进位制

计数进位制简称数制。生活中人们最熟悉的是十进制数，即 0~9 组成的数字。生活中也有大量的非十进制计数，例如七天为一周，一年有 12 个月等。而在数字系统电路中，主要使用二进制数，有时也采用八进制或十六进制数。

1. 十进制

日常生活中最常用的是十进制。十进制数中，采用了 0、1、2、…、9 共 10 个不同的数字，计数规则是“逢十进一”及“借一当十”。各个数码处于十进制数的不同数位时，所代表的数值是不同的。例如：

$$358 = 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

其中最高位数码 3 代表数值 300，次高位数码 5 代表数值 50，最低位数码 8 代表数值 8。把 100、10、1 这些 10 的幂次方称为十进制数数位的位权值。“10”称为十进制数的基数。因此，任意一个十进制数均可以按位权展开为

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0 \cdot a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}$$

式中： a_i 为第 i 位的系数，为 0~9 中任意一个数字； n 表示整数部分的位数， m 表示小数部分的位数。

十进制数按位权展开的表示方法，可以推广到任意进制的计数制。一个基数为 R 的 R 进制计数制，共有 0、1、…、 $R-1$ 个不同的数码，则按位权展开可表示为

$$\begin{aligned}(N)_R &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0 \cdot a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_1 \times R^1 + a_0 \times R^0 \\ &\quad + a_{-1} \times R^{-1} + a_{-2} \times R^{-2} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i\end{aligned}$$

这种计数法叫做 R 进制计数法， R 称为计数制的基数或称为计数的模(mod)。

2. 二进制

目前在数字电路中应用最广的是二进制。二进制只有 0 和 1 两个数码，计数规则是“逢二进一”及“借一当二”。二进制的基数是 2，每个数位的位权值为 2 的幂次方（见表 1-1-1）。

表 1-1-1 二进制各位的权值

权	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}
十进制	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125

二进制数按位权展开形式为

$$\begin{aligned}
 (N)_2 &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\
 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \\
 &\quad + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned}$$

式中： a_i 为0或1； n 表示整数部分的位数， m 表示小数部分的位数。 2^i 为第 i 位的位权值。

例如，二进制数1101.01可展开为

$$(1101.01)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

3. 八进制

八进制对应的八个数码符号为0~7，基数为8，每个数位的位权值为8的幂，计数规则为“逢八进一”。八进制数可表示为

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

例如，八进制数 $(128)_8$ 按位权展开为

$$(128)_8 = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 8 \times 8^0$$

4. 十六进制

十六进制数有0~9、A、B、C、D、E、F共16个数码符号，其中A、B、C、D、E、F六个数码符号依次表示10~15。十六进制数的基数为16，每个数位的位权值为16的幂次方，计数规则为“逢十六进一”。十六进制数可表示为

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

例如， $(5D)_{16} = 5 \times 16^1 + 13 \times 16^0$ 。

1.3 不同进制数的转换

由于二进制电路容易实现，而十进制为人们所熟悉，因而在实际工作中，需要在不同进制数之间进行转换，如十进制数转换为二进制数，二进制数转换为十六进制数等。本节介绍不同进制数之间的转换方法。

1. 将R进制数转换成十进制数

将R进制数转换成等值的十进制数，只要将R进制数按位权展开，再按十进制运算规则运算，即可得到十进制数。



【例 1-3-1】 将下列各进制数转换成十进制数。

$$(D8.A)_{16} = 13 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} = (216.625)_{10}$$

$$(207.04)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = (135.0625)_{10}$$

$$(101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.25)_{10}$$

2. 将十进制数转换成 R 进制数

将十进制数转换成 R 进制数, 需将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换, 然后将它们合并起来。整数部分的转换用除以 R 取余数法, 小数部分的转换用乘以 R 取整数法。

整数部分的转换步骤如下:

- ① 将给定的十进制整数除以 R , 余数作为 R 进制数的最低位(LSB)。
- ② 用前一步的商再除以 R , 余数作为次低位。
- ③ 重复步骤②, 记下余数, 直至最后商为 0。最后的余数即为 R 进制数的最高位(MSB)。

【例 1-3-2】 将 $(217)_{10}$ 转换成二进制数。

解 因为

2	217		
2	108	余 1	LSB b_0
2	54	余 0	b_1
2	27	余 0	b_2
2	13	余 1	b_3
2	6	余 1	b_4
2	3	余 0	b_5
2	1	余 1	b_6
0		余 1	MSB b_7

所以 $(217)_{10} = (11011001)_2$

【例 1-3-3】 将十进制数 $(53)_{10}$ 转换成八进制数。

解 由于基数为 8, 逐次除以 8 取余数:

8	53	
8	6	余 5 $b_0 = 5$
0		余 6 $b_1 = 6$

所以 $(53)_{10} = (65)_8$

十进制纯小数转换成 R 进制数的方法是, 将小数部分逐次乘以 R , 取乘积的整数部分作为 R 进制的各有关数位, 乘积的小数部分继续乘以 R , 直至最后乘积为 0 或达到一定的精度为止。

【例 1-3-4】 求 $(0.3125)_{10} = (\quad)_2$ 。

解

$$\begin{array}{llll}
 0.3125 \times 2 = 0.625 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-1} \\
 0.625 \times 2 = 1.25 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-2} \\
 0.25 \times 2 = 0.5 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-3} \\
 0.5 \times 2 = 1.0 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-4}
 \end{array}$$

所以 $(0.3125)_{10} = (0.0101)_2$

【例 1-3-5】 将十进制小数 $(0.39)_{10}$ 转换成二进制数, 要求精度达到 0.1%。

解 要求精度达到 0.1%, 因为 $1/2^9 < 1/1000 < 1/2^{10}$, 所以需要精确到二进制小数 10 位。

$$\begin{array}{llll}
 0.39 \times 2 = 0.78 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-1} = 0 & 0.48 \times 2 = 0.96 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-6} = 0 \\
 0.78 \times 2 = 1.56 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-2} = 1 & 0.96 \times 2 = 1.92 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-7} = 1 \\
 0.56 \times 2 = 1.12 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-3} = 1 & 0.92 \times 2 = 1.84 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-8} = 1 \\
 0.12 \times 2 = 0.24 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-4} = 0 & 0.84 \times 2 = 1.68 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-9} = 1 \\
 0.24 \times 2 = 0.48 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-5} = 0 & 0.68 \times 2 = 1.36 & \cdots\cdots\text{整数为 } 1 & b_{-10} = 1
 \end{array}$$

所以 $(0.39)_{10} = (0.0110001111)_2$

【例 1-3-6】 将十进制小数 $(0.39)_{10}$ 转换成八进制数, 要求精度达到 0.1%。

解 要求精度达到 0.1%, 因为 $1/8^3 < 1/1000 < 1/8^4$, 所以需要精确到八进制小数 4 位。

$$\begin{array}{llll}
 0.39 \times 8 = 3.12 & \cdots\cdots\text{整数为 } 3 & b_{-1} = 3 \\
 0.12 \times 8 = 0.96 & \cdots\cdots\text{整数为 } 0 & b_{-2} = 0 \\
 0.96 \times 8 = 7.68 & \cdots\cdots\text{整数为 } 7 & b_{-3} = 7 \\
 0.68 \times 8 = 5.44 & \cdots\cdots\text{整数为 } 5 & b_{-4} = 5
 \end{array}$$

所以 $(0.39)_{10} = (0.3075)_8$

把一个带有整数和小数的十进制数转换为 R 进制数时, 是将整数部分和小数部分分别进行转换, 然后将结果合并起来。例如将十进制数 $(217.3125)_{10}$ 转换成二进制数, 可按例 1-3-2 和例 1-3-4 分别进行转换, 并将结果合并, 得到

$$(217.3125)_{10} = (11011001.0101)_2$$

3. 二进制与八进制、十六进制之间的转换

(1) 二进制与八进制之间的转换。由于 3 位二进制数构成 1 位八进制数, 所以它们之间的关系如下所示。例如:

$$\begin{array}{l}
 (101\ 011\ 100\ 101)_2 = (5345)_8 \\
 (6574)_8 = (110\ 101\ 111\ 100)_2
 \end{array}$$

(2) 二进制与十六进制之间的转换。4 位二进制数构成 1 位十六进制数, 它们之间的关系如下所示。例如:

$$\begin{array}{l}
 (9A7E)_{16} = (1001\ 1010\ 0111\ 1110)_2 \\
 (0101\ 1101\ 0110)_2 = (5D6)_{16}
 \end{array}$$

【例 1-3-7】 将 $(BE2.9D)_{16}$ 转换成八进制数。

解 $(BE2.9D)_{16} = (1011\ 1110\ 0010.1001\ 1101)_2 = (5742.472)_8$



十进制、二进制、八进制、十六进制等几种计数进制的对照表如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 几种计数进制的对照表

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

1.4 二—十进制常用代码

数字系统中的信息可以分为两类：一类是数值，表示数量的大小，对应的体制为计数体制，如十、二、八、十六进制；另一类是文字符号，作为事物的代码，对应的体制是码制，指用数码对不同事物、字符、状态等进行编码的原则或规律，如 85 中学、120 教室等。在数字电路系统中，常用与二进制数码对应的 0、1 作为代码的符号，叫做二进制码，它的含义由人们预先约定而赋予，可以在不同场合有不同的含义，所以二进制码不仅仅只表示二进制数。

用二进制码表示 1 位十进制数的代码，称为二—十进制代码，即 BCD(Binary Coded Decimal)代码。由于十进制数 0~9 共有 10 个数码，因此，至少需要 4 位二进制代码来表示 1 位十进制数。而 4 位二进制码共有 16 种码组，在这 16 种码组中，可以任选 10 种来表示 10 个十进制数，这样不同的选法产生了不同的 BCD 码。常用的 BCD 码见表 1-4-1，它们的编码规则各不相同。

表 1-4-1 几种常用的 BCD 码

十进制数码	8421 码	余 3 码	5421 码	2421 码	631-1 码	BCD Gray 码	移存码
0	0000	0011	0000	0000	0011	0000	0001
1	0001	0100	0001	0001	0010	0001	0010
2	0010	0101	0010	0010	0101	0011	0100
3	0011	0110	0011	0011	0111	0010	1001
4	0100	0111	0100	0100	0110	0110	0011
5	0101	1000	1000	1011	1001	0111	0111
6	0110	1001	1001	1100	1000	0101	1111
7	0111	1010	1010	1101	1010	0100	1110
8	1000	1011	1011	1110	1101	1100	1100
9	1001	1100	1100	1111	1100	1000	1000

BCD 码分有权码和无权码两大类。

1. 有权 BCD 码

在表示 0~9 十进制数的 4 位二进制代码中, 每位二进制数都有确定的位权值, 称为有权 BCD 码, 如表 1-4-1 中的 8421 码、2421 码、5421 码。对于有权 BCD 码, 可以根据位权展开式求得所代表的十进制数。例如:

$$[0111]_{8421\text{BCD}} = 0 \times 8 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = (7)_{10}$$

$$[1101]_{2421\text{BCD}} = 1 \times 2 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = (7)_{10}$$

最常用的有权码是 8421BCD 码, 8421BCD 码选取 0000~1001 表示十进制数 0~9。在这种编码方式中, 其位权值是按基数 2 的幂增加的, 从左到右依次为 8、4、2、1, 且代码中每一位的权值是固定不变的。这样, 它和二进制数的位权值一致, 有时也称为自然权码, 代码 1010~1111 的六种状态称为禁用码或伪码。5421BCD 码选取 0000~0100 和 1000~1100 共 10 种状态, 来对应十进制数 0~9, 代码 0101~0111、1101~1111 的六种状态为禁用码。

表 1-3 中的 2421 码、631-1 码的 10 个数字代码中, 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 恰好互为反码。这种特性称为具有自补性, 这对于求取 10 的补码是很方便的, 在数字系统中很有用。

2. 无权 BCD 码

无权 BCD 代码没有确定的位权值, 不能按位权展开来求它们所代表的十进制数。但这些代码都有其特点, 在不同场合可根据需要选用。例如, 余 3 BCD 码是在每个 8421BCD 码上加 $(3)_{10} = (0011)_2$ 得到的, 故称之为余 3 BCD 码。用余 3 BCD 码进行加减运算比 8421BCD 码方便。从表 1-4-1 中可看出, 余 3 BCD 码具有自补性。如 BCD Gray 循环码, 它的两个相邻的数码之间仅有一位不同, 其余位都相同。循环码的这个特点, 使它在代码的形成与传输时引起的误差比较小。因此, 按这种码型接成计数器时, 每次状态转换过程中只有一个触发器翻转, 译码时不会发生竞争-冒险现象。

3. 用 BCD 代码表示十进制数

BCD 代码中, 4 位二进制代码仅表示 1 位十进制数, 对一个多位的十进制数进行编码, 需要有与十进制位数相同的几组 BCD 代码来表示, 每组代码之间按十进制进位。例如, 用



BCD 码来表示十进制数 683, 如下:

$$[683]_{10} = [0110\ 1000\ 0011]_{8421\text{BCD}}$$

$$[683]_{10} = [1100\ 1110\ 0011]_{2421\text{BCD}}$$

4. 其他常用代码

1) 奇偶校验码

奇偶校验码是一种具有检错能力、可以检测一位错误的代码。它由信息位和校验位两部分组成。校验位数码的编码方式是:“奇校验”时,使校验位和信息位所组成的每组代码中含有奇数个 1;“偶校验”时,使校验位和信息位所组成的每组代码中含有偶数个 1。通常采用奇校验,因为它排除了全 0 的情况。

2) 字符码

字符码是专门用来处理数字、字母及各种符号的二进制代码。字符代码的种类繁多,目前在计算机和数字通信系统中被广泛采用的是 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange, 美国信息交换标准代码),常用的是 ASCII-7 编码,用 7 位二进制编码表示一个字符,共可表示 128 个不同的字符。通常使用时在最高位添 0 凑成 8 位二进制编码,或根据实际情况将最高位用做校验位。

1.5 算术运算与逻辑运算

当二进制数码中的 0 和 1 表示的是数量大小时,两数之间进行的数值运算称为算术运算。二进制算术运算和十进制算术运算的法则基本相同,唯一区别在于相邻两位之间的关系是“逢二进一”及“借一当二”。例如:

加法运算

$$\begin{array}{r} 0\ 1\ 0\ 0 \\ +\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 1 \end{array}$$

减法运算

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 0\ 1 \\ -\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 1 \end{array}$$

乘法运算

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 0\ 1 \\ \times 0\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0 \end{array}$$