

21 世纪应用型本科系列教材

数字电子技术

江小安 主编
杨颂华 审

9-43
10



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

21世纪应用型本科系列教材

数字电子技术

江小安 主编

梅仲云 高丽萍 邹娟 参编

杨颂华 审



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西安 ·

内容简介

本书内容包含数制与编码、基本逻辑运算及集成逻辑门、逻辑代数与逻辑函数化简、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模与模/数转换、半导体存储器及可编程逻辑器件。各章均有例题和练习题,并压缩门级电路触发器等小规模集成电路的应用,突出了中规模集成电路的应用。

编者积 40 多年的教学经验,综合相关专业的大纲要求,编写出适应面较宽的教材。本教材适用高等工科院校有关专业本科生、高职高专学生等,也可供从事电子技术方面的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/江小安主编. —西安:西安交通大学出版社,2010.3
ISBN 978-7-5605-3230-1

I. 数… II. 江… 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(2009)第 158899 号

书 名 数字电子技术
主 编 江小安
责任编辑 屈晓燕 贺峰涛 李慧娜

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西元盛印务有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 13.125 字数 312 千字
版次印次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3230-1/TN·117
定 价 20.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

21 世纪应用型本科系列教材

计算机类教材编委会

主 编：陆丽娜

副 主 编：李学干 张水平

编 委：（以姓氏笔画为序）

刘德安 江小安 张水平 张凤琴

李学干 杨颂华 陆丽娜 鱼 滨

高 涛 雷震甲

策划编辑：屈晓燕 贺峰涛

前 言

为适应高等教育发展的需要,培养应用型本科人才,编者组织编写了本教材。

编写本教材的指导思想是:适当压缩理论和相关内部电路的部分,突出基本要求、器件的外部特性及与技能培养和实践有关的部分,减少公式的推导,尽可能用物理概念定性地去描述问题的实质。在内容的选取上,压缩小规模集成电路内容,如用门电路设计组合电路,用触发器设计时序电路;增加、突出中规模集成电路的应用,如集成译码器、集成数据选择器、集成计数器、集成移位寄存器的应用,并适当增加了可编程逻辑器件原理及其应用。为了更好地与实践相结合,有利于应用型人才的培养,建议在开设此课时,同步开设电子设计自动化(EDA)课程,让读者掌握电子设计的新思想,新方法。

授课时数建议 72 学时,理论 52 学时,实验 20 学时。不同专业,可根据专业需要,进行相应的调整。

西安电子科技大学江小安教授(兼欧亚学院教授)担任本书的主编,负责全书的统筹工作,同时编写第 5 章、第 8 章;梅仲云副教授编写第 3 章、第 4 章;邹娟老师、高丽萍老师分别编写第 1 章和第 2 章;余军老师编写第 6 章、第 7 章。

西安电子科技大学杨颂华教授担任本书的主审,仔细阅读了全部书稿,并提出了许多宝贵的修改意见,在此致以衷心的感谢。同时也十分感谢西安交通大学出版社屈晓燕编辑为此书出版所作的大量工作。

由于时间、水平有限,本书难免会存在一些问题和错误。望使用本书的老师、同学和广大读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月

目 录

绪 言	(1)
第 1 章 数字电路基础	(3)
1.1 进位计数制	(3)
1.1.1 进位计数制的基本概念	(3)
1.1.2 常用进位计数制	(3)
1.2 数制转换	(4)
1.2.1 非十进制数转换为十进制数	(4)
1.2.2 十进制数转换为其他进制	(5)
1.2.3 其他进制之间的转换	(6)
1.3 常用代码	(6)
1.3.1 二-十进制码(BCD 码)	(7)
1.3.2 可靠性编码	(8)
1.4 三种基本逻辑运算和复合逻辑	(10)
1.4.1 与逻辑(与运算、逻辑乘)	(10)
1.4.2 或逻辑(或运算、逻辑加)	(11)
1.4.3 非逻辑(非运算、逻辑反)	(12)
1.4.4 常用复合逻辑	(12)
1.4.5 正负逻辑	(15)
* 1.5 集成逻辑门电路	(16)
1.5.1 数字集成电路的分类	(16)
1.5.2 TTL 与非门	(16)
1.5.3 MOS 集成逻辑门	(27)
练习题	(32)
第 2 章 布尔代数与逻辑函数化简	(33)
2.1 基本公式和规则	(33)
2.1.1 基本公式	(33)
2.1.2 基本法则	(34)
2.1.3 基本公式应用	(35)
2.2 逻辑函数的代数法化简	(36)
2.2.1 逻辑函数与逻辑图	(36)
2.2.2 逻辑函数化简的原则	(37)

2.2.3 与或逻辑函数的化简	(37)
2.3 逻辑函数的卡诺图化简	(38)
2.3.1 逻辑函数的最小项标准式	(38)
2.3.2 由一般式获得最小项标准式	(39)
2.3.3 最小项性质	(39)
2.3.4 卡诺图的结构	(39)
2.3.5 运用卡诺图化简逻辑函数	(40)
2.3.6 具有无关项的逻辑函数及化简	(44)
练习题	(45)
第3章 组合逻辑电路	(48)
3.1 组合逻辑电路的概念	(48)
3.1.1 组合逻辑电路表示方式	(48)
3.1.2 组合逻辑电路的特点	(48)
3.2 组合逻辑电路的分析	(49)
3.2.1 组合逻辑电路的分析步骤	(49)
3.2.2 组合逻辑电路的分析举例	(49)
3.3 组合逻辑电路的设计	(50)
3.4 中规模组合逻辑部件	(51)
3.4.1 半加器与全加器	(51)
3.4.2 编码器与译码器	(53)
3.4.3 数据选择器与数据分配器	(60)
3.4.4 数字比较器	(64)
3.5 组合逻辑电路中的竞争与冒险	(67)
3.5.1 竞争现象	(67)
3.5.2 冒险现象	(67)
3.5.3 冒险现象的判别	(68)
3.5.4 冒险现象的排除	(69)
练习题	(70)
第4章 触发器	(75)
4.1 基本触发器	(75)
4.1.1 基本RS触发器	(75)
4.1.2 时钟控制的RS触发器	(76)
4.1.3 D触发器	(78)
4.1.4 T触发器	(79)
4.1.5 JK触发器	(80)
4.1.6 基本触发器的空翻和振荡现象	(81)
4.2 集成触发器	(82)
4.2.1 维持阻塞触发器	(83)

4.2.2 边沿触发器	(83)
4.2.3 主从触发器	(84)
4.2.4 触发器的直接置位和直接复位	(84)
4.2.5 触发器的逻辑符号比较	(85)
练习题	(86)
第5章 时序逻辑电路	(89)
5.1 时序电路概述	(89)
5.1.1 时序电路特点	(89)
5.1.2 时序电路分类	(90)
5.1.3 状态表和状态图	(90)
5.2 时序电路的分析	(91)
5.2.1 同步时序电路分析举例	(91)
5.2.2 异步时序电路分析举例	(94)
5.3 同步时序电路的设计	(97)
5.3.1 已知状态迁移关系的同步时序电路的设计	(97)
*5.3.2 一般时序电路的设计过程介绍	(102)
5.4 计数器	(104)
5.4.1 计数器的分类	(105)
5.4.2 2^n 进制计数器组成规律	(105)
5.4.3 集成计数器功能分析及其应用	(107)
5.5 寄存器与移位寄存器	(116)
5.5.1 寄存器	(117)
5.5.2 移位寄存器	(118)
5.5.3 集成移位寄存器功能分析及其应用	(120)
*5.6 序列信号发生器	(127)
5.6.1 序列信号发生器的设计	(127)
5.6.2 m 序列码发生器	(131)
练习题	(132)
第6章 脉冲波形的产生与变换	(136)
6.1 概述	(136)
6.2 555 定时电路	(137)
6.2.1 基本组成	(137)
6.2.2 工作原理及特点	(138)
6.3 单稳态电路	(139)
6.3.1 电路组成	(139)
6.3.2 工作原理	(140)
6.4 多谐振荡器	(141)
6.4.1 电路组成	(142)

6.4.2 工作原理	(142)
6.5 施密特电路	(144)
6.5.1 电路组成	(144)
6.5.2 工作原理	(144)
6.5.3 主要应用	(145)
练习题	(146)
第7章 数/模与模/数转换	(148)
7.1 数/模转换 DAC	(148)
7.1.1 DAC 的基本概念	(148)
7.1.2 DAC 的电路形式及工作原理	(150)
7.1.3 D/A 转换器集成芯片	(153)
7.2 模/数转换 ADC	(156)
7.2.1 ADC 的组成	(156)
7.2.2 ADC 电路	(157)
7.2.3 ADC 的主要技术指标	(164)
7.2.4 A/D 转换器集成芯片	(164)
练习题	(167)
第8章 半导体存储器和可编程逻辑器件	(169)
8.1 半导体存储器	(169)
8.1.1 只读存储器 ROM	(170)
8.1.2 ROM 在组合逻辑设计中的应用	(171)
8.1.3 ROM 的编程及分类	(172)
8.1.4 随机存取存储器(RAM)	(175)
8.1.5 存储器容量的扩展	(178)
8.2 可编程逻辑器件 PLD	(179)
8.2.1 PLD 的电路简介	(181)
8.2.2 PLD 的开发	(191)
练习题	(194)
附 录	
附录一 常用逻辑符号对照表	(197)
附录二 数字集成电路的型号命名法	(199)
参考文献	

绪 言

一、数字信号和数字电路

自然界中有许多物理量,尽管各不相同,但就其变化规律的特点来看,可分为两大类:一类是在时间上和数值上是连续变化的,这类物理量叫做模拟量。把表示模拟量的信号叫做模拟信号,并把工作模拟信号下的电子电路称为模拟电路。例如语音信号,无论在时间上还是数值上都是连续变化的,如图 0-1(a)所示。另一类是在时间上和数值上都是断续变化的,这一类物理量叫做数字量。把表示数字量的信号叫做数字信号,并把工作数字信号下的电子电路称为数字电路。例如,用电子电路记录从自动生产线上输出的零件数目时,每送出一个零件便给电子电路一个信号,记为 1,而平时没有零件送出时加给电子电路的信号是 0,所以不计数。可见,零件数目这个信号无论在时间上还是数量上都是不连续的,因此它是一个数字信号,如图 0-1(b)所示。数字电路主要是研究输入与输出信号之间对应的逻辑关系,其分析的主要工具是逻辑代数,因此数字电路又称为逻辑电路。

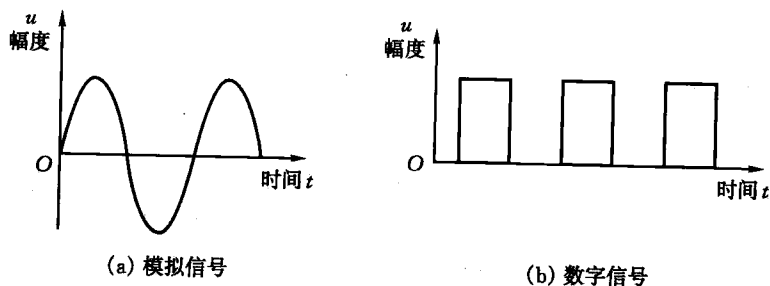


图 0-1 模拟信号与数字信号

二、数字电路的分类

根据电路结构的不同,数字电路可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件是由晶体管、电阻、电容等元器件用导线在线路板上连接起来的电路;而集成电路则是将上述元器件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上而成为一个不可分割的整体电路。

根据集成密度不同,数字电路的分类见表 0-1。

在集成电路中,根据半导体的导电类型不同,又可分为双极型电路和单极型电路。以双极型晶体管作为基本器件的数字集成电路称为双极型数字集成电路,如 TTL、ECL 集成电路等;以单极型 MOS 管作为基本器件的数字集成电路称为单极型数字集成电路,如 NMOS、PMOS、CMOS 集成电路等。

表 0-1 集成电路的分类

集成电路的分类	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 它包括: 逻辑门电路、集成触发器
中规模集成电路 MSI	10~100 门/片, 或 100~1 000 个元件/片	逻辑部件 它包括: 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	100~1 000 门/片, 或 1 000~10 000 个元件/片	数字逻辑系统 它包括: 中央控制器、存储器、各种接口电路等
超大规模集成电路 VLSI	大于 1 000 门/片, 或 大于 10 万个元件/片	高集成度的数字逻辑系统 它包括: 各种型号的单片机和控制器

三、数字电路的应用

数字电路是近代电子技术的一个重要组成部分。它包含的内容十分广泛, 主要有各种基本逻辑门、编码器、译码器、显示器、算术运算、数据选择、数据比较器及各种触发器、计数器、存储器、数模和模数转换器、可编程逻辑器件等典型的数字单元电路。因此数字电子技术在数字通讯、自动控制、数字电子计算机、数字测量仪表以及家用电器等各个技术领域中的应用日益广泛。

四、数字电路的优点

与模拟电路相比, 数字电路主要有如下优点:

(1) 便于高度集成化。由于数字电路采用二进制, 凡具有两个状态的电路都可以用二进制数码 0 和 1 表示, 因此基本单元电路的结构简单, 允许电路参数有较大的离散性, 有利于将众多的基本单元电路集成在同一块硅片上进行批量生产。

(2) 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字信号是用 1 和 0 表示信号的有和无, 数字电路辨别信号的有和无是很容易做到的, 从而大大提高了电路的工作可靠性。同时, 数字信号不易受到噪声干扰, 因此它的抗干扰能力很强。

(3) 数字信息便于长期保存。借助某种媒体如磁盘、光盘等可将数字信息长期保存下来。

(4) 数字集成电路的产品系列多、通用性强、成本低。

(5) 保密性好, 数字信息容易进行加密处理, 不易被窃取。

数字电子技术是一门实践性较强的课程, 需要在理论学习的基础上多参加实践, 通过实验和实训加深对理论知识的理解, 更好地掌握数字电子技术的基本技能, 达到学会查阅集成器件手册, 能根据手册提供的外引线排列、逻辑符号、功能表正确地使用集成器件。能够分析一些常用的基本数字电路, 设计一些简单的实际逻辑问题, 使所学的知识能应用到今后的实际生产和生活中去。

第 1 章 数字电路基础

各种数字设备,存在两种运算:数的运算和逻辑运算。由于数字设备只能对二进制数或二进制代码进行运算和处理,而人们熟悉的十进制数,数字设备很难实现,也不被数字设备直接接受,经数字设备运算处理的结果仍为二进制形式,不便于人们识别。因此我们应当熟悉各种数制、代码的特点及相互之间的转换规律。本章还将讨论逻辑运算的基本知识,即基本逻辑运算和实现这些基本逻辑运算的集成电路——集成逻辑门电路。

1.1 进位计数制

1.1.1 进位计数制的基本概念

进位计数制也叫位置计数制,其计数方法是把数划分为不同的数位,当某一数位累计到一定数量之后,该位又从零开始,同时向高位进位。在这种计数制中,同一个数码在不同的数位上所表示的数值是不同的。进位计数制可以用少量的数码表示较大的数,因而被广泛采用。下面先给出进位计数制的两个概念:进位基数和数位的权值。

进位基数:在一个数位上,规定使用的数码符号的个数叫该进位计数制的进位基数或进位模数,记作 R 。例如十进制,规定的数码符号为 $0, 1, 2, \dots, 9$, 共 10 个,故进位基数 $R=10$ 。

进位的权值:某个数位上数码为 1 时所表示的数值,称为该数位的权值,简称“权”。各个数位的权值均可表示成 R^i 的形式,其中 R 是进位基数, i 是各数位的序号。按如下方法确定:整数部分,以小数点为起点,自右向左依次为 $0, 1, 2, \dots, n-1$; 小数部分,以小数点为起点,自左向右依次为 $-1, -2, -3, \dots, -m$ 。 n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数。

1.1.2 常用进位计数制

1. 十进制(decimal)

在十进制中,每个数位规定使用的数码为 $0, 1, 2, \dots, 9$, 共 10 个,故其进位基数 R 为 10。其计数规则是“逢十进一”。各位的权值为 10^i , i 是各数位的序号。

十进制数用下标“D”表示,也可省略。例如:

$$\begin{aligned}(2198.5)_D &= 2 \times 10^3 + 1 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} \\ &= 2000 + 100 + 90 + 8 + 0.5\end{aligned}$$

十进制数大家最熟悉,但机器实现起来困难。

2. 二进制(binary)

在二进制中,每个数位规定使用的数码为 $0, 1$, 共两个数码,故其进位基数 R 为 2。其计数规则是“逢二进一”。各位的权值为 2^i , i 是各数位的序号。

二进制数用下标“B”表示。例如：

$$\begin{aligned}(11011.101)_B &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.125 \\ &= (27.625)_D\end{aligned}$$

二进制数由于只需两个态,机器实现容易,因而二进制是数字系统唯一认识的代码。但二进制数书写太长。

3. 八进制(octal)

在八进制中,每个数位上规定使用的数码为 0,1,2,3,4,5,6,7,共 8 个,故其进位基数 R 为 8。其计数规则为“逢八进一”。各位的权值为 8^i , i 是各数位的序号。

八进制数用下标“O”表示。例如：

$$\begin{aligned}(536.4)_O &= 5 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} \\ &= 320 + 24 + 6 + 0.5 \\ &= (350.5)_D\end{aligned}$$

因为 $2^3=8$,所以三位二进制可以用一位八进制表示。如

$$(1101011.1011)_B = (?)_D$$

整数部分从低位开始三位一组,最高位不足三位后面加 0 补足三位;小数部分从高位开始三位一组,低位不足三位后面加 0 补足三位。得

$$(001101011.101100)_B = (153.54)_D$$

4. 十六进制(hexadecimal)

在十六进制中,每个数位上规定使用的数码符号为 0,1,2,...,9,A,B,C,D,E,F,共 16 个,故其进位基数 R 为 16。其计数规则是“逢十六进一”。各位的权值为 16^i , i 是各个数位的序号。

十六进制数用下标“H”表示,例如：

$$\begin{aligned}(BD2.3C)_H &= B \times 16^2 + D \times 16^1 + 2 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + C \times 16^{-2} \\ &= 11 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 2 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2}\end{aligned}$$

因为 $2^4=16$,所以四位二进制数可用一位十六进制数表示。如

$$(1101011.1011)_B = (?)_H$$

整数部分从低位开始四位一组,高位不足四位前面加 0 补足四位;小数部分从高位开始四位一组,低位不足四位后面加 0 补足四位。得

$$(01101011.1011)_B = (6C.C)_H$$

在数字系统中,二进制主要用于机器内部的数据处理,八进制和十六进制主要用于编程,十进制主要用于数据的输入和运算最终结果的输出。因此,要熟悉各种数制间的转换。

1.2 数制转换

不同数制之间的转换,应采用不同的方法。

1.2.1 非十进制数转换为十进制数

非十进制数转换为十进制数采用按权展开相加法。具体步骤是,首先把非十进制写成按

权展开的多项式,然后按十进制数的计数规则求其和。

例 1-1 $(AB.8)_H = (?)_D$

$$\begin{aligned}\text{解 } (AB.8)_H &= 10 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} \\ &= 160 + 11 + 0.5 = (171.5)_D\end{aligned}$$

例 1-2 $(256.4)_O = (?)_D$

$$\begin{aligned}\text{解 } (256.4)_O &= 2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} \\ &= 128 + 40 + 6 + 0.5 \\ &= (174.5)_D\end{aligned}$$

例 1-3 $(1101011.1)_B = (?)_D$

$$\begin{aligned}\text{解 } (1101011.1)_B &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= 64 + 32 + 8 + 2 + 1 + 0.5 \\ &= (107.5)_D\end{aligned}$$

1.2.2 十进制数转换为其他进制

整数部分采用基数连除法;小数部分采用基数连乘法。既有整数又有小数的数,则首先将数分为整数和小数,按前述方法转换,最后将两者转换结果相加。具体方法如下。

1. 整数转换

- (1) 将十进制数 N 除以进位基数 R ,记下所得商和余数。
- (2) 将所得商再除以 R ,记下所得商和余数。
- (3) 重复第 2 步,直到不能再除为止。
- (4) 将各个余数转换 R 进制的数码,并按照与运算过程相反的顺序把各个余数排列起来,即为 R 进制的数。

例 1-4 $(193)_D = (?)_B = (?)_O = (?)_H$

解 首先转换二进制,将 193 除以进位基数 2。

余数		
2	193	1 最低位
2	96	0
2	48	0
2	24	0
2	12	0
2	6	0
2	3	1
1		最高位

故 $(193)_D = (11000001)_B$

转换为八进制数和十六进制数,分别除以进位基数 8 和 16 即可。由于二进制数与八进制、十六进制数的特殊关系,将二进制数三位一组和四位一组,即可得对应的八进制数和十六进制数

$$(193)_D = (11000001)_B = (301)_O = (C1)_H$$

2. 纯小数的转换

- (1) 将十进制的小数 M 乘进位基数 R ,记下整数部分。
- (2) 将上一步乘积中的小数部分再乘以 R ,记下整数部分。
- (3) 重复做第 2 步,直到小数部分为 0 或者满足精度要求为止。
- (4) 将求得的各个整数转换成 R 进制的数码,并按照与运算过程相同的顺序排列起来,即为所求的 R 进制数。

例 1-5 $(0.5625)_D = (?)_B = (?)_O = (?)_H$

解 $0.5625 \times 2 = 1.125 \quad \dots\dots 1 \quad \text{最高位}$

$$0.125 \times 2 = 0.25 \quad \dots\dots 0$$

$$0.25 \times 2 = 0.5 \quad \dots\dots 0$$

$$0.5 \times 2 = 1.0 \quad \dots\dots 1 \quad \text{最低位}$$

即 $(0.5625)_D = (0.1001)_B$

转换八进制、十六进制数则分别乘以 8 和 16 即可,也可直接从二进制数与八进制数、十六进制数的关系写出结果。

$$(0.5625)_D = (0.1001)_B = (0.41)_O = (0.9)_H$$

例 1-6 $(193.5625)_D = (?)_B = (?)_O = (?)_H$

解 该数既有整数又有小数,分别按整数和小数的转换方法进行转换,然后相加即可。

$$(193.5625)_D = (11000001.1001)_B$$

$$= (11,000,001.100,1) = (301.44)_O$$

$$= (1100,0001.1001) = (C1.9)_H$$

1.2.3 其他进制之间的转换

二进制与八进制、十六进制之间的转换,按 1.1.2 节所述方法进行。而八进制和十六进制之间的转换,通过二进制实现。

例 1-7 $(376.35)_O = (?)_H$

解 $(376.35)_O = (11111110.011101)_B$

$$= (1111,1110.0111,01) = (FE.74)_H$$

例 1-8 $(3AC.B5)_H = (?)_O$

解 $(3AC.B5)_H = (1110101100.10110101)_B$

$$= (1,110,101,100.101,101,01) = (1654.552)_O$$

1.3 常用代码

对若干个不同的数据或信息,按一定的规律分别给其指定一个代表符号的过程叫编码。这些给定数据和信息的符号叫代码。在数字系统中,所有的代码都是用若干位二进制码元“0”

和“1”的不同组合构成的。因此,这种代码习惯上称为二进制代码。

1.3.1 二-十进制码(BCD 码)

二-十进制码是用二进制码元来表示十进制数符“0~9”的代码,简称 BCD 码(binary coded decimal 的缩写)。

用二进制码元来表示“0~9”这 10 个数符,必须用四位二进制码元来表示,而四位二进制码元共有 16 种组合,从中取出 10 种组合来表示“0~9”的编码方案约有 2.9×10^{10} 种。几种常用的 BCD 码如表 1-1 所示。若某种代码的每一位都有固定的“权值”,则称这种代码为有权代码;否则,叫无权代码。

表 1-1 几种常用的 BCD 码

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

1. 有权码

其中 8421,5421,2421 码均为有权码,其数值就是各位对应的权值,为了确定某一个代码所对应的十进制数,只要按权展开相加即可

$$N = a_3 w_3 + a_2 w_2 + a_1 w_1 + a_0 w_0$$

式中 $a_0 \sim a_3$ 为各位的代码, $w_0 \sim w_3$ 为各位的权值。如代码 1001 对应的十进制数,不同的 BCD 码其值不同。8421BCD 码 $1001 = 8 + 1 = 9$; 5421BCD 码 $1001 = 5 + 1 = 6$; 2421BCD 码 $1001 = 2 + 1 = 3$ 。需要指出的是,四位二进制代码表示一位十进制数,而四位二进制代码有十六种状态,而十进制数只需十个状态,余下的六个状态就是禁止码或称非法码。如 8421BCD 码选中 0000~1001 这十个状态,因此 1010~1111 六个状态就是禁止码;5421BCD 的禁止码是 0101,0110,0111,1101,1110,1111;2421BCD 的禁止码是 0101~1010。

8421BCD 取四位自然二进制数的前十个代码,便于记忆,应用比较普遍;5421BCD 从高位输出其关系是对称的;2421BCD 码具有自补特性,即 0 与 9、1 与 8、2 与 7、3 与 6、4 与 5 代码之和均为 1111。

2. 无权码

这类代码,无固定的权值,不能采用按权展开相加的方式,求其相应代码所表示的十进制

数。余3BCD码即为无权码,它与8421BCD码有如下固定的关系: $8421BCD + 0011 = \text{余}3BCD$ 码。其禁止码是0000,0001,0010,1101,1110,1111。它也是自补码。

表示多位十进制数时,只要将每位十进制代码用相应的BCD码即可。

例1-9 $(805.3)_D$ 的各种BCD码。

$$\begin{aligned} \text{解 } (805.3)_D &= (100000000101.0011)_{8421BCD} \\ &= (101100001000.0011)_{5421BCD} \\ &= (111000001011.0011)_{2421BCD} \\ &= (101100111000.0110)_{\text{余}3BCD} \end{aligned}$$

1.3.2 可靠性编码

1. 格雷码(Gray)

具有如下特点的代码叫格雷码:任何相邻的两个码组(包括首、尾两个码组)中,只有一个码元不同。

在编码技术中,把两个码组中不同的码元的个数叫做这两个码组的距离,简称码距。由于格雷码的任意相邻的两个码组的距离均为1,故又称之为单位距离码。另外,由于首尾两个码组也具有单位距离特性,因而格雷码也叫循环码。格雷码属于无权码。

格雷码的编码方案很多,典型的格雷码如表1-2所示,表中同时给出了四位自然二进制码。

表1-2 格雷码

十进制数	二进制	格雷码
	$B_3 B_2 B_1 B_0$	$G_3 G_2 G_1 G_0$
0	0000	000 <u>0</u>
1	0001	00 <u>01</u>
2	0010	0011
3	0011	0 <u>010</u>
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	<u>0100</u>
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000