



应用型高等学校“十三五”规划教材

SHUZI DIANZI JISHU

数字电子技术

侯传教 赵娟 陈淑静 姚巧鸽 刘颖 编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型高等学校“十三五”规划教材

数字电子技术

侯传教 赵 娟 陈淑静 姚巧鸽 刘 颖 编 著



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书讲述数字电子技术的基本概念和技术,内容包括数字逻辑基础、集成逻辑门、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换及模数与数模转换器等。

本书遵循“保证基础、突出实践、引导创新、工学结合”原则,以 CDIO 理念为指向,内容以适量、实用为度,简明扼要、深入浅出,注重理论知识的运用,着重培养学生应用理论知识分析和解决电路实际问题的能力。本书可作为高等院校工科相关专业的教材,也可供从事电子技术工程人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/侯传教等编著. —武汉:华中科技大学出版社,2018.12

ISBN 978-7-5680-4162-1

I. ①数… II. ①侯… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 286005 号

数字电子技术

Shuzi Dianzi Jishu

侯传教 赵 娟 陈淑静 姚巧鸽 刘 颖 编著

策划编辑:范 莹

责任编辑:余 涛

封面设计:原色设计

责任校对:李 弋

责任监印:赵 月

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19

字 数:482 千字

版 次:2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:46.80 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

致 学 生

感谢你选用本书作为学习“数字电子技术”的教材,相信你会发现“数字电子技术”是你继续学习后续课程和做好求职准备的有效工具之一,并发现本书对将来的深入学习非常有用。

“数字电子技术”是面向电子信息类各学科专业的重要专业基础课。本课程的任务是使学生获得数字电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生在数字电子技术方面的分析与动手能力。为深入学习后续课程和从事有关数字电子技术方面的实际工作打下牢固的基础,本书主要的内容包括:数字电路的数学工具——逻辑代数;组成数字电路的单元电路——门电路和触发器;两种逻辑的电路——组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析和设计方法,以及常用的中规模集成电路功能;大规模集成电路、数模和模数转换;时钟脉冲的产生和整形。

同学们学习时应注意以下几点。

(1) 应明确学习目的,知道要学什么。

(2) 把握数字电路的特点。

对于逻辑代数,应掌握逻辑代数中的基本定律和定理,以及逻辑关系的描述方法及其相互转换。对于门电路和触发器,要掌握它们的外部特性,包括逻辑功能和输入端、输出端的电气特性。为了更好地理解和运用电路器件的外部特性,需要熟悉它们的输入电路和输出电路的结构及其原理。至于内部的电路结构和详细工作过程都不是学习的重点,不需要去记忆。组合逻辑电路和时序逻辑电路是学习数字电路的重点内容:首先,要掌握电路分析和设计方法;其次,能分析确定组合电路逻辑功能并使用 EDA 工具仿真;再次,根据实际问题,完成数字逻辑电路的设计与制作;最后,能够判断、查找和排除实际电路中的故障,实现设计要求。

(3) 重视实验和课程设计。

实验在本课程中有着重要的作用,它可以帮助验证所学的理论,加深对理论知识的理解和掌握,培养理论联系实际的能力,培养实际动手能力及实验技能,培养分析问题与解决问题的能力。实验前要先预习并使用 EDA 工具仿真,通过预习明确实验目的、熟悉需要使用的主要仪器 and 仪表、掌握调试电路的方法和技巧。在做实验时,应操作规范。有条不紊地规范操作是实验获得准确结果的保证,所以实验切勿草率开始。

必须重视实验技能训练,不仅从理论上理解正确操作的理由,更要多实际练习,并做到手脑并用、科学分析。有些同学认为做实验只要在“做”字上下功夫就够了,这是不够的。不动脑就会出现照“单”拾“货”、照“方”取“药”,只知“做什么”“怎么做”,却不知为什么要这样做,这就难以达到做实验的目的。实验不单要会做,而且还要应用科学的态度加以思考、分析,进行必要的归纳和总结。

课程设计为综合应用所学的数字电路知识、模拟工程设计提供了极好的课堂,学生可以利用课程设计加强自我综合能力的训练。

(4) 学会查阅器件手册。

从相关的数字集成电路数据手册上查找所需要的器件型号,同时研究所选器件的功能真值表(对时序器件还要研究时序图),从功能真值表中获取以下信息:① 该器件本身的逻辑功能;② 该器件的正确使用方法;③ 使用器件中应注意事项等。

(5) 按时、独立地完成规定的作业。

做习题是一个非常重要的环节,它对于巩固概念、启发思考、熟悉分析运算过程、暴露学习中的问题和不足是不可缺少的。

(6) 利用网络学习、辅导答疑、习题测试等方法学习。

(7) 经常浏览相关期刊、网站,了解数字电子技术的最新发展动态和新近推出的电子器件及其大致功能特点等。

预祝同学们学习进步。

编 者

2018年8月

前 言

本书根据高等学校培养应用型人才的需要,遵循“保证基础、突出实践、引导创新、工学结合”的原则,以 CDIO 理念为指向,以数字电子技术的发展和应用为主线,把握教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会对本课程的要求,在保证知识技能全覆盖的前提下,采用以能力为导向,理论与实践相融合的编写模式,对教材内容进行了优化。本着循序渐进、理论联系实际的原则,内容以适量、实用为度,注重理论知识的运用,着重培养学生应用理论知识分析和解决电路实际问题的能力。本书力求叙述简练、概念清晰、通俗易懂、便于自学。

全书共 6 章,主要内容有:数字逻辑基础、集成逻辑门、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换、模数和数模转换器等。讲授本书内容需要 50~70 学时,书中标注“*”的内容可供教师根据需要取舍。

本书第 1 章由西安欧亚学院刘颖和黄淮学院姚巧鸽合编,第 2 章由黄淮学院姚巧鸽编写,第 3 章由黄淮学院陈淑静编写,第 4 章由西安欧亚学院侯传教编写,第 5 章、第 6 章由荆楚理工学院赵娟编写。全书由侯传教统稿。

本书由西安电子科技大学江小安,西安欧亚学院杨智敏、张秀芳,西京学院王宽仁等老师审阅,并提出了大量宝贵意见,在此表示衷心感谢。同时还得到西安欧亚学院信息工程学院、黄淮学院信息工程学院及荆楚理工学院的领导和同仁的大力支持和帮助,在此表示感谢。

本书在编写过程中,参考了大量图书和网站,在此对这些资料的提供者表示衷心的感谢。由于本书编写时对所有的数字集成器件的图形采用国际标准,但在仿真软件 Multisim、Quartus II 中数字集成器件是软件本身提供的符号,这会使本书数字集成器件在表述形式上不统一,敬请读者注意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018 年 8 月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字量	1
1.1.2 模拟量	1
1.1.3 数字电路的特点(与模拟电路相比)	2
1.2 数制与码制	2
1.2.1 数制	2
1.2.2 数制转换	4
1.2.3 常用的编码	6
1.3 逻辑代数基础	7
1.3.1 逻辑变量	7
1.3.2 逻辑代数的公式	11
1.3.3 逻辑代数常用法则	13
1.3.4 逻辑函数及其表示方法	14
1.3.5 逻辑函数标准形式	16
1.4 逻辑函数的化简	18
1.4.1 逻辑函数的公式化简法	18
1.4.2 逻辑函数的卡诺图化简法	19
本章小结	25
习题	26
第 2 章 集成逻辑门	29
2.1 晶体管的开关特性	29
2.1.1 二极管的开关特性	29
2.1.2 三极管的开关特性	29
2.1.3 场效应管开关特性	31
2.2 TTL 逻辑门电路	31
2.2.1 典型 TTL 与非门电路	32
2.2.2 TTL 与非门的主要外特性及参数	36
2.2.3 TTL 或非门、异或门、OC 门、三态输出与非门	38
2.2.4 其他系列 TTL 门	43
2.2.5 TTL 使用须知	43
2.3 CMOS 集成门电路	44

2.3.1	CMOS 反相器	44
2.3.2	CMOS 门电路	46
2.3.3	CMOS 使用须知	49
2.4	TTL 电路与 CMOS 电路的接口及门电路故障诊断	49
2.4.1	用 TTL 电路驱动 CMOS 电路	50
2.4.2	用 CMOS 电路驱动 TTL 电路	50
2.4.3	门电路故障分析与诊断	51
2.5	项目制作——裁判电路的组装与制作	52
2.5.1	裁判电路任务描述	52
2.5.2	裁判电路设计方案	52
2.5.3	裁判电路设计与仿真	53
2.5.4	裁判电路的组装与调试	54
2.5.5	裁判电路的测试与性能分析	55
	本章小结	55
	习题	56
第 3 章	组合逻辑电路	59
3.1	概述	59
3.1.1	组合逻辑电路	59
3.1.2	组合逻辑电路的分析	59
3.1.3	组合逻辑电路的设计	61
3.2	典型组合逻辑电路	62
3.2.1	加法器	62
3.2.2	编码器	69
3.2.3	译码器	75
3.2.4	数据选择器	89
3.2.5	数值比较器	96
3.2.6	只读存储器 ROM	100
3.3	组合逻辑电路的综合设计	103
3.3.1	用中规模器件实现组合逻辑电路	103
3.3.2	用 PROM 实现组合逻辑电路	105
3.4	组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	107
3.4.1	竞争-冒险现象	107
3.4.2	冒险现象产生的原因	107
3.4.3	竞争-冒险的识别与消除方法	108
3.5	组合逻辑电路故障诊断	110
3.5.1	概述	110
3.5.2	逻辑门常见故障分析及诊断	111
3.5.3	基于中规模译码器实现组合电路的常见故障分析及诊断	113
3.5.4	基于中规模数据选择器实现组合电路的常见故障分析及诊断	115

3.6	项目制作——简易病房呼叫系统的设计与制作	118
3.6.1	任务描述	118
3.6.2	构思——简易病房呼叫系统的设计方案	118
3.6.3	设计——简易病房呼叫系统设计与仿真	119
3.6.4	实现——五路病房呼叫系统的组装与调试	120
3.6.5	运行——测试与性能分析	121
	本章小结	122
	习题	122
第4章	时序逻辑电路	127
4.1	概述	127
4.2	触发器	127
4.2.1	基本 RS 触发器	128
4.2.2	钟控触发器	131
4.2.3	边沿触发器	135
4.2.4	触发器逻辑功能转换	140
4.2.5	典型触发器芯片	141
4.2.6	常见触发器功能测试	142
4.3	时序逻辑电路的分析与设计	143
4.3.1	时序逻辑电路的分析	143
4.3.2	时序逻辑电路的设计	152
4.4	计数器	160
4.4.1	计数器分类	160
4.4.2	二进制计数器	160
4.4.3	十进制计数器	164
4.4.4	集成计数器功能分析	166
4.4.5	基于集成计数器实现任意模值的计数器	175
4.4.6	计数器的应用	182
4.5	寄存器和随机存储器	186
4.5.1	寄存器	186
4.5.2	随机存储器	200
4.6	时序逻辑电路故障诊断	203
4.6.1	时序逻辑电路的故障诊断概述	203
4.6.2	触发器常见故障分析及诊断	204
4.6.3	计数器常见故障分析及诊断	207
4.6.4	移位寄存器常见故障分析及诊断	211
4.7	时序电路项目设计	215
4.7.1	时序电路项目设计概述	215
4.7.2	抢答器的设计	217
4.7.3	电子秒表的设计	220

本章小结	224
习题	226
第 5 章 脉冲信号的产生与变换	235
5.1 概述	235
5.1.1 脉冲信号及参数	235
5.1.2 555 定时器	236
5.2 施密特触发器	238
5.2.1 概述	238
5.2.2 用 555 定时器组成施密特触发器	239
5.2.3 施密特触发器的应用	241
5.3 单稳态电路	242
5.3.1 概述	242
5.3.2 用 555 定时器组成单稳态触发器	242
5.3.3 单稳态触发器的应用	244
5.4 多谐振荡器	245
5.4.1 概述	245
5.4.2 用 555 定时器组成多谐振荡器	245
5.4.3 石英晶体多谐振荡器和用施密特触发器构成的多谐振荡器	248
5.4.4 多谐振荡器的应用	249
5.5 双音电子门铃的设计与制作	250
5.5.1 任务描述	250
5.5.2 构思——“双音电子门铃”控制电路设计方案	251
5.5.3 设计——“双音电子门铃”设计与仿真	251
5.5.4 实现——双音电子门铃组装与调试	253
5.5.5 运行——双音电子门铃的测试与性能分析	254
本章小结	254
习题	255
第 6 章 模数和数模转换器	258
6.1 概述	258
6.2 数模转换器(DAC)	258
6.2.1 DAC 的基本原理	259
6.2.2 权电阻网络 DAC	259
6.2.3 倒 T 形电阻网络 DAC	260
6.2.4 双极性输出 D/A 转换器	262
6.2.5 DAC 的主要技术指标	263
6.2.6 集成 DAC 及应用	265
6.3 模数转换器(ADC)	267
6.3.1 A/D 转换器的基本原理	267
6.3.2 并联比较型 ADC	269

6.3.3	逐次逼近型 ADC	271
6.3.4	双积分型 ADC	272
6.3.5	ADC 的主要技术指标	274
6.3.6	集成 ADC 电路	275
6.4	数字电压表的设计与制作	280
6.4.1	任务描述	280
6.4.2	构思——数字电压表的设计方案	280
6.4.3	设计——数字电压表设计	281
6.4.4	实现——数字电压表的组装与调试	286
6.4.5	运行——数字电压表测试与性能分析	286
6.4.6	电路的特点和方案的优缺点及改进	286
	本章小结	286
	习题	287
	参考文献	291

第 1 章 数字逻辑基础

本章要点

- ◇ 知道模拟量和数字量之间的区别；
- ◇ 掌握二进制、八进制、十六进制数的表示及其与十进制数的相互转换；
- ◇ 掌握 8421BCD 码,了解其他常用编码；
- ◇ 理解常见基本逻辑运算及复合逻辑运算；
- ◇ 熟练掌握逻辑代数中的基本定律和定理；
- ◇ 掌握逻辑关系的描述方法及其相互转换方法；
- ◇ 会用公式法和卡诺图化简逻辑函数。

数字电子技术是一门重要且充满魅力的自然科学,已广泛地应用在电子信息、通信、自动控制、电子测量等领域,数字化已成为当今电子技术的发展潮流。逻辑代数是学习数字电子技术的基础。本章主要介绍数字电路概念、逻辑代数的运算及其化简方法。

1.1 概述

在电子应用中,可测量的量分为模拟量和数字量。

1.1.1 数字量

在时间上和数量上都是离散的物理量称为数字量。把表示数字量的信号称为数字信号。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,使之记为 1,而平时没有零件送出时,加给电子电路的信号是 0,此过程为计数。可见,零件数目这个信号无论在时间上还是在数量上都是不连续的,因此它是一个数字信号。最小的数量单位就是 1。通常用 0 和 1 表示两种对应的状态,其波形如图 1-1 所示。把工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。

1.1.2 模拟量

在时间上或数值上都是连续的物理量称为模拟量。把表示模拟量的信号称为模拟信号,其波形如图 1-2 所示。把工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路。

热电偶在工作时输出的电压信号就属于模拟信号,因为在任何情况下,被测温度都不可能发生突跳,所以测得的电压信号无论在时间上还是在数值上都是连续的。

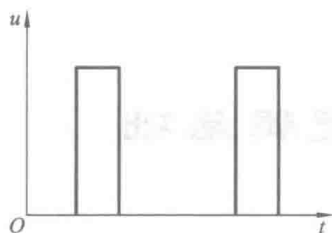


图 1-1 数字信号波形

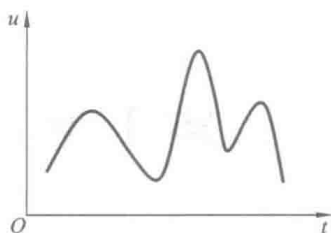


图 1-2 模拟信号波形

1.1.3 数字电路的特点(与模拟电路相比)

数字电路的特点如下:

(1) 数字电路的基本工作信号是用 1 和 0 表示的二进制的数字信号,反映在电路上就分别是高电平和低电平,因此,其具有电路结构简单、容易制造、便于集成和系列化生产、成本低廉、使用方便等特点。

(2) 数字电路能对输入的数字信号进行各种算术运算、逻辑运算和逻辑判断,故又称为数字逻辑电路。

(3) 数字电路工作准确可靠、精度高、抗干扰能力强。

(4) 数字信息保存方便、保存期长、保密性好。

(5) 数字电路产品系列多,品种齐全,通用性和兼容性都比较好,使用方便。

为了研究数字电路,必须先了解数字信号的描述方法,数字信号通常用数字量表示,数字量的计数方法与数制有关。

1.2 数制与码制

1.2.1 数制

数制即计数体制,是指用一组固定的符号和统一的规则来表示数值的方法。按进位的方法进行计数,称为进位计数制。常见的数制有:十进制、二进制、八进制和十六进制。数制有数码、基数和位权值三个基本元素。其中数码是一组用来表示某种数制的符号。例如,十进制的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。而基数是某数制可以使用的数码个数。例如,十进制的基数是 10。权是基数的幂,表示数码在不同位置上的数值。位权值是指数制中每个数位对应的位值。

1. 十进制

基数为 10 的进位计数制为十进制。十进制中有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共十个数码,进位规则为“逢十进一”。当用若干个数字符号表示一个数时,处在不同位置的数字,代表的含义不同。例如,986 可以表示为 $9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0$ 。

对于十进制来说,第 n 位十进制整数的位权值是 10^{n-1} 。十进制数的表示方法: $(986)_{10}$ 或 $(986)_D$ 。

任何一个十进制数都可以写成以 10 为基数按权展开的多项式,即

$$N_D = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i$$

式中： d_i 表示各位上的数字的数码。

在数字设备中，一般不采用十进制，因为要用十个不同的状态表示十进制码，比较困难。

2. 二进制

目前在数字设备中，计算机采用的均为二进制，其进位规则为“逢二进一”。二进制中只有 0 和 1 两个数码。使用电子器件表示两种物理状态容易实现，例如，用晶体管的导通和截止表示 1 和 0，或者用高、低电平表示 1 和 0。两种状态下的系统稳定性高，二进制具有运算简单、硬件容易实现、存储和传送可靠等特点。

一个二进制数可以表示为 $(1101.1)_2$ ，按权展开为 $(1101.1)_2 = (13.5)_D$ 。二进制的运算规则为

加法规则： $0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=0$ （进位为 1）

减法规则： $0-0=0, 1-0=1, 1-1=0, 0-1=1$ （借位为 1）

乘法规则： $0 \times 0=0, 1 \times 1=1$

二进制数的位数长且字符单调，使得书写和记忆不方便，因此在进行指令书写、程序输入时，通常采用八进制和十六进制作为二进制的缩写。

3. 八进制

基数为 8 的进位计数制为八进制。八进制中有 0、1、2、3、4、5、6、7 共八个数码，进位规则为“逢八进一”。一个八进制数可以表示为 $(26.8)_O$ ，按权展开为 $(26.8)_O = (22.5)_D$ 。

4. 十六进制

基数为 16 的进位计数制为十六进制。十六进制中有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共十六个数码，进位规则为“逢十六进一”。一个十六进制数可以表示为 $(6B.8)_H$ ，按权展开为 $(6B.8)_H = (107.5)_D$ 。

为便于比较，表 1-1 给出了十进制数 0~15 对应的二进制数、八进制数和十六进制数。

表 1-1 十进制数与二进制数、八进制数、十六进制数对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	00	0	8	1000	10	8
1	0001	01	1	9	1001	11	9
2	0010	02	2	10	1010	12	A
3	0011	03	3	11	1011	13	B
4	0100	04	4	12	1100	14	C
5	0101	05	5	13	1101	15	D
6	0110	06	6	14	1110	16	E
7	0111	07	7	15	1111	17	F

5. R 进制(任意进制)

基数为 R 的进位计数制为 R 进制。R 进制的表达式为

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

1.2.2 数制转换

数制转换是指将一个数从一种进位制转换成另一种进位制。常用的进制是二进制与十进制。十进制是人们生活中最常用到的一种数制,但机器实现起来困难。二进制是机器唯一识别的数制,但二进制书写太长,因此引入八进制和十六进制。各数制都有自己的应用场合,数制间经常需要相互转换。

1. 十进制数与其他进制数之间的转换

1) 其他进制数转换为十进制数

将其他进制数表示成按权展开式,然后各项相加,所得结果为对应的十进制数。

【例 1-1】 $(10111.001)_B = (?)_D$ 。

解 $(10111.001)_B = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$
 $= (23.125)_D$

2) 十进制数转换为其他进制数

十进制数转换为其他进制数采用基数乘法。转换时对整数和小数分别进行处理。整数转换采用“连除 R 取余,逆序排列”的方法;小数转换采用“连乘 R 取整,顺序排列”的方法。

(1) 整数转换。

整数转换采用基数除法,即将待转换的十进制数除以新进制的基数,取其余数。先将待转换的十进制数除以新进位制基数 R ,其余数作为新进位制数的最低位;再将所得商除以 R ,取余数记为次低位……以此类推,直至商为 0,其余数为最高位。

【例 1-2】 $(35)_D = (?)_B = (?)_O = (?)_H$ 。

解 按照“连除取余,逆序排列”的方法,转换过程如下:

2	35	1			
	17	1			
	8	0			
	4	0			
	2	0			
	1				
	1				

8	35	3	16	35	3
	4	4		2	2
	0			0	

因为十进制数 35 转换成二进制数时连除 2,结果为 100011;十进制数 35 转换成八进制数时连除 8,结果为 43;十进制数 35 转换成十六进制数时连除 16,结果为 23。所以

$$(35)_D = (100011)_B = (43)_O = (23)_H$$

(2) 小数转换。

小数转换采用“乘 R 取整”的方法,先将十进制数乘以 R 取乘积的整数部分,记为最高位;再将积的小数部分乘以 R ,取整数部分……以此类推,直至其小数部分为 0 或者达到规定精度要求,取其整数部分记作最低位。

【例 1-3】 $(43.25)_D = (\quad ? \quad)_B$ 。

解 整数部分为 43,按整数转换方法,采用基数除法转换;小数部分为 0.25,按照基数乘法转换。其转换过程如下:

2 43	1	
2 21	1	
2 10	0	
2 5	1	
2 2	0	
1		
整数部分		

0.....	0.25
	× 2
	0.50
	× 2
1.....	1.00
小数部分	

所以 $(43.25)_D = (101011.01)_B$

【例 1-4】 $(0.39)_D = (\quad ? \quad)_O$,精确到 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。即

$$\begin{aligned}
 0.39 \times 8 &= 3.12 \cdots \cdots \text{取出整数 } 3; 0.12 \times 8 = 0.96 \cdots \cdots \text{取出整数 } 0; \\
 0.96 \times 8 &= 7.68 \cdots \cdots \text{取出整数 } 7; 0.68 \times 8 = 5.44 \cdots \cdots \text{取出整数 } 5
 \end{aligned}$$

所以 $(0.39)_D = (0.3075)_O$

2. 二进制数与八进制数、十六进制数之间的相互转换

由于二进制数与八进制数和十六进制数之间满足 8 和 16 的关系,它们之间的转换十分方便。

1) 二进制数与八进制数之间的转换

将二进制数由低位向高位的每 3 位二进制数按权展开相加得到 1 位八进制数(注意事项: 3 位二进制数转成八进制数是从右到左开始转换,不足时补 0)。

【例 1-5】 $(11010101.01111)_B = (\quad ? \quad)_O$ 。

解 因为
$$\frac{011}{3} \frac{010}{2} \frac{101}{5} . \frac{011}{3} \frac{110}{6}$$

所以 $(11010101.01111)_B = (325.36)_O$

八进制数转换为二进制数,只需将每位八进制数用 3 位二进制数表示。

【例 1-6】 $(65.4)_O = (\quad ? \quad)_B$ 。

解 因为
$$\frac{6}{110} \frac{5}{101} . \frac{4}{100}$$

所以 $(65.4)_O = (110101.1)_B$

2) 二进制数与十六进制数之间的转换

将二进制数由低位向高位的每 4 位二进制数按权展开相加得到 1 位十六进制数(注意事项: 4 位二进制数转成十六进制数是从右到左开始转换,不足时补 0)。

【例 1-7】 $(11011011001.1011)_B = (\quad ? \quad)_H$ 。

解 因为
$$\frac{0110}{6} \frac{1101}{D} \frac{1001}{9} . \frac{1011}{B}$$

所以 $(11011011001.1011)_B = (6D9.B)_H$

十六进制数转换为二进制数,只需将每位十六进制数用 4 位二进制数表示。

1.2.3 常用的编码

编码(coding)是指用代码来表示各组数据。在二进制中只有两个符号,如果用 n 位二进制则有 2^n 种不同组合,来代表 2^n 种不同的信息。指定某一组合来代表给定信息,这一过程称为编码。将表示给定信息的符号称为代码或码。

计算机只能识别二进制数,但人们却熟悉十进制数,而不习惯用二进制数,因此,在计算机输入和输出数据时,经常采用十进制数。所不同的是,这里的十进制数是用二进制编码来表示的。十进制数有十个数码,需要用 4 位二进制数表示 1 位十进制数码,但它仍是“逢十进一”,所以称为二进制编码的十进制数,或称二-十进制数,简称 BCD(binary coded decimal)码。4 位二进制数有十六种组合。从十六种组合中,选择十种组合来表示十进制的十个数码,可以有多种方法。

常用的 BCD 码有 8421 码、5421 码、余 3 码和格雷码等,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	1000

其中,8421 码是常用的有权码,其 4 位二进制码从高位至低位的权依次为 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 ,即 8、4、2、1,故称为 8421 码。在该码中不允许出现 1010~1111 这 6 种组合。5421 码也是一种常用的有权码,其 4 位二进制码从高位至低位的权依次为 5、4、2、1,故称为 5421 码。

8421 码与十进制间的转换是按位进行的,即十进制数的每一位与 4 位二进制码对应。

余 3 码是一种由 8421 码加上 0011 形成的一种无权码,由于它的每一字符编码比相应的 8421 码多 3,故称为余 3 码。例如,十进制数 7 的余 3 码等于 7 的 8421 码 0111 加上 0011,即为 1010。余 3 码中 0000、0001、0010、1101、1110、1111 不允许出现。而格雷码的特点是任意两个相邻数,其格雷码仅有 1 位不同。在编码技术中,把两个码组中不同码元的个数称为这两个码组的距离,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,故又称为单位距离码。由于首、尾两个码组也具有单位距离特性,因此格雷码也称为循环码。