



普通高等教育**计算机类**特色专业系列规划教材
北京市精品课程主讲教材与教学设备

数字逻辑

(第五版·立体化教材)

白中英 主 编
方 维 张天乐 白 媛 杨 秦 编 著
陈国良 主 审

第二版 2001年北京市教育教学成果二等奖
第三版 2005年北京市高等教育精品教材奖
第四版 2008年北京市教育教学成果二等奖
2008年国家级高等教育精品教材奖



科学出版社

内 容 简 介

本书为普通高等教育计算机类特色专业系列规划教材·北京市精品课程主讲教材。全书内容共分8章:第1章开关理论基础,第2章组合逻辑,第3章时序逻辑,第4章存储逻辑,第5章可编程逻辑,第6章数字系统,第7章教学实验设计,第8章课程综合设计。教学内容具有基础性和时代性,从理论与实践两方面解决了与后续课程的衔接。

本书是作者对“数字逻辑”课程体系、教学内容、教学方法和教学手段进行综合改革的具体成果。本书内容全面,取材新颖,概念清楚,系统性强,注重实践教学和能力培养,形成了文字教材、多媒体CAI课件、试题库、实验仪器、教学实验、课程设计等综合配套的立体化教学体系。

全书文字流畅,通俗易懂,有广泛的适应面,可作为大中专院校计算机、电子、通信、自动控制等信息类学科的技术基础课教材,也可作为成人自学考试用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑:立体化教材/白中英主编;方维等编著. —5版. —北京:科学出版社,2011

普通高等教育计算机类特色专业系列规划教材·北京市精品课程主讲教材与教学设备

ISBN 978-7-03-029794-5

I. ①数… II. ①白…②方… III. ①数字逻辑-高等学校-教材 IV. ①TP302.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第249286号

责任编辑:巴建芬/责任校对:宋玲玲

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第 五 版 开本:787×1092 1/16

2011年1月第十五次印刷 印张:14 插页:1

印数:162 001—170 000 字数:314 000

定价:33.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

现代科学技术的发展速度真可谓一日千里。电子技术每隔两年翻一番,逼人更新知识而不息;新理论、新发现从提出到实际应用的周期大大缩短,催人策马紧追而不及。就数字逻辑器件的功能和使用方法来说,20世纪60年代末期出现标准通用片,70年代中后期出现现场片(PROM, PLA, PAL),80年代初期出现半用户片(门阵列片),80年代中期出现通用阵列逻辑(GAL),80年代后期出现现场可更改的门阵列片(FPGA),90年代又出现在系统编程(ISP)的用户片。在这样的发展历程中,用户逐步由被动地对厂商提供的标准片进行选择,发展到半主动乃至全主动地投入对芯片的设计和选择。数字器件这种更新换代的迅速发展,一方面使数字系统的设计方法发生了革命性变化,另一方面也为传统的“数字电路”课程的教学体系、教学内容、人才培养模式和任课教师提出了挑战。

“数字逻辑与数字系统”原是美国权威教育机构 ACM/IEEE-CS 联合为计算机学科提出的课程。经教育部历届计算机学科教学指导委员会推荐和规范,这门课程现定名为“数字逻辑”,并将其作为我国计算机学科的专业基础课程。作者认为,一本好的《数字逻辑》教材应具备以下特点:

- (1) 基础性强,为学生学习后续课程和建立终生知识体系打下良好基础;
- (2) 系统性强,知识模块彼此交互,使学生能清晰地建立数字系统总体概念;
- (3) 时代性强,及时反映前沿方向,以适应数字技术快速发展的需要;
- (4) 实践性强,理论教学与实践教学结合,注重学生的智力开发和能力的培养;
- (5) 应用性强,有较广的适应面,以适应学生从事开发应用各类数字系统的需要;
- (6) 启发性强,结合数字技术的重大进展,培养学生的创新思维和创新意识。

根据作者多年来从事理论教学与实践教学的经验,从传授知识和培养能力的目标出发,结合本课程教学的特点和难点,本书采用文字教材、CAI 多媒体课件、试题库、教学仪器、教学实验、课程设计等综合配套,形成了理论、实验、设计三个过程相统一的立体化教学体系。理论教学 48 学时,实验教学 16 学时。另外小学期集中安排 2 周时的课程综合设计实践。

理论教学学时建议:第 1 章 6 学时,第 2 章 6 学时,第 3 章 13 学时,第 4 章 5 学时,第 5 章 12 学时,第 6 章 6 学时。带 * 的内容可根据各校实际情况处理。

考虑到与软件设计工具保持一致,本书中的逻辑图符采用国际通用符号。

覃健诚、朱怀宏、杨春武、冯一兵、余文、吴琨、刘俊荣、张振华、于艳丽、刘静晗、祁之力、张杰、靳秀国、郝静、宗华丽、李娇娇、王晓梅、胡文发、王坤山、肖炜、崔洪浚、杨光辉、杨孟柯、吴璇、曲永正等参与了第五版教材配套教学仪器和教学软件的研制,限于幅面,封面上未能一一署名。

中国科学院院士、中国科学技术大学陈国良教授主审了本书。美国 Lattice 半导体有限公司和 Xilinx 公司提供了可编程器件的资料和设计工具。在此,作者向他们表示衷心感谢。

本书适用于计算机、电子、通信、自动控制等信息大类专业的本科和专科教学。尤其对计算机类专业,本书与后续课程的衔接非常到位,保证了后续课程的顺利进行和教学质量。**做好课程衔接,是我们课程建设的一条重要经验。**

国家强盛靠人才,人才培养靠教育!教育是科技之母,教育是富国之本!为此,中国人要奋发图强,自强不息,与时俱进!

最后,我们引用一位哲人的名言与读者共勉:

如果今天你不想生活在未来,那么明天你将生活在过去!

作 者

北京邮电大学计算机学院

2010年11月

目 录

前言

第 1 章 开关理论基础	1
1.1 二进制系统	1
1.1.1 连续量和离散量	1
1.1.2 开关量	2
1.1.3 数字波形	3
1.2 数制与码制	4
1.2.1 进位计数制	4
1.2.2 进位计数制的相互转换	5
1.2.3 二进制编码	7
1.3 逻辑函数及其描述工具	9
1.3.1 逻辑函数的基本概念	9
1.3.2 逻辑函数的描述工具	9
1.3.3 基本逻辑运算	10
1.3.4 正逻辑、负逻辑、三态门	15
1.4 布尔代数	15
1.4.1 布尔代数的基本定律	15
1.4.2 布尔代数运算的基本规则	16
1.4.3 用布尔代数简化逻辑函数	17
1.5 卡诺图	19
1.5.1 卡诺图的结构与特点	20
1.5.2 用卡诺图简化逻辑函数	23
1.6 数字集成电路	26
1.6.1 集成电路的制造技术类型	26
1.6.2 集成电路的封装类型	27
1.6.3 集成电路的规模类型	28
1.6.4 集成电路的使用特性	28
小结	30
习题	30
第 2 章 组合逻辑	32
2.1 组合逻辑分析	32
2.1.1 逐级电平推导法	32
2.1.2 列写布尔表达式法	33
2.1.3 数字波形图分析法	33
2.1.4 列写逻辑电路真值表法	34
2.1.5 组合逻辑中的竞争冒险	35

2.2	组合逻辑设计	37
2.2.1	组合逻辑设计步骤	37
2.2.2	逻辑问题的描述	37
2.2.3	利用任意项的逻辑设计	39
2.3	组合逻辑电路的等价变换	40
2.3.1	狄摩根定理的应用	40
2.3.2	与非门、或非门作为通用元件	41
2.3.3	利用与非门/或非门进行等价变换	42
2.3.4	逻辑函数的“与或非”门实现	42
2.4	数据选择器与分配器	43
2.4.1	数据选择器	43
2.4.2	数据分配器	44
2.5	译码器和编码器	45
2.5.1	译码器	45
2.5.2	编码器	47
2.6	数据比较器和加法器	50
2.6.1	数据比较器	50
2.6.2	加法器	52
2.7	奇偶校验器	53
2.7.1	奇偶校验的基本原理	53
2.7.2	具有奇偶校验的数据传输	54
	小结	55
	习题	55
第3章	时序逻辑	58
3.1	锁存器	58
3.1.1	锁存器的基本特性	58
3.1.2	基本 SR 锁存器	59
3.1.3	门控 SR 锁存器	60
3.1.4	门控 D 锁存器	61
3.2	触发器	61
3.2.1	SR 触发器	62
3.2.2	D 触发器	64
3.2.3	JK 触发器	65
3.2.4	触发器的应用和时间参数	67
3.3	寄存器和移位寄存器	68
3.3.1	寄存器	68
3.3.2	移位寄存器	69
3.4	计数器	71
3.4.1	同步计数器	71
3.4.2	异步计数器	74
3.4.3	中规模集成计数器及应用	76

3.5	定时脉冲产生器	80
3.5.1	时钟脉冲源电路	80
3.5.2	节拍脉冲产生器	82
3.5.3	数字钟	84
3.6	同步时序逻辑分析	85
3.6.1	同步时序逻辑电路的描述工具	85
3.6.2	同步时序逻辑电路分析的一般方法	86
3.7	同步时序逻辑设计	90
3.7.1	同步时序逻辑设计方法和步骤	90
3.7.2	建立原始状态表的方法	94
3.7.3	状态编码	95
	小结	98
	习题	98
第4章	存储逻辑	102
4.1	特殊存储部件	102
4.1.1	寄存器堆	102
4.1.2	寄存器队列	103
4.1.3	寄存器堆栈	104
4.2	随机读写存储器 RAM	105
4.2.1	RAM的逻辑结构	105
4.2.2	地址译码方法	106
4.2.3	SRAM存储器	108
4.2.4	DRAM存储器	108
4.3	只读存储器 ROM	111
4.3.1	掩模 ROM	111
4.3.2	可编程 ROM	114
4.4	FLASH存储器	116
4.4.1	FLASH存储元	116
4.4.2	FLASH存储器的基本操作	116
4.4.3	FLASH存储器的阵列结构	117
* 4.5	存储器容量的扩充	118
4.5.1	字长位数扩展	118
4.5.2	字存储容量扩展	119
4.5.3	存储器模块条	120
	小结	121
	习题	121
第5章	可编程逻辑	122
5.1	PLD的基本概念	122
5.1.1	可编程阵列	122
5.1.2	PLD的类型	125
5.2	现场可编程门阵列 FPGA	127

5.2.1	FPGA 的基本结构	127
5.2.2	可组态逻辑块 CLB	127
5.2.3	SRAM 为基础的 FPGA	129
5.3	在系统可编程 ISP	130
5.3.1	ispLSI 器件的体系结构	131
5.3.2	在系统编程原理	137
5.4	可编程逻辑的原理图方式设计	139
5.4.1	编程环境和设计流程图	139
5.4.2	设计输入	141
5.4.3	功能模拟	143
5.4.4	综合和实现(软件)	144
5.4.5	时序模拟	145
5.4.6	器件下载	146
5.5	可编程逻辑的 VHDL 文本方式设计	146
5.5.1	VHDL 的基本概念	146
5.5.2	VHDL 的组合逻辑设计	148
5.5.3	VHDL 的时序逻辑设计	152
小结	155
习题	155
第 6 章	数字系统	157
6.1	数字系统的基本概念	157
6.1.1	一个数字系统实例	157
6.1.2	数字系统的基本模型	158
6.1.3	数字系统与逻辑功能部件的区别	159
6.2	数据通路	160
6.2.1	总线结构	160
6.2.2	数据通路实例	162
6.3	由顶向下的设计方法	163
6.3.1	数字系统的设计任务	163
6.3.2	算法状态机和算法流程图	164
6.4	小型控制器的设计	167
6.4.1	控制器的基本概念	167
6.4.2	计数器型控制器	168
6.4.3	多路选择器型控制器	171
6.4.4	定序型控制器	173
* 6.5	微程序控制器的设计	175
6.5.1	微程序控制的基本原理	175
6.5.2	微程序控制器的一般结构	176
6.5.3	微程序控制器的设计	177
6.6	数字系统设计实例	179
6.6.1	由顶向下——子系统的划分	179
6.6.2	小型控制器的实现方案	180

6.6.3 微程序控制器的实现方案	182
小结	184
习题	184
第7章 教学实验设计	187
7.1 教学实验仪器与测试工具	187
7.1.1 TEC-5A/5B 数字逻辑与计算机组成实验系统	187
7.1.2 示波器	188
7.1.3 数字万用表	191
7.1.4 逻辑测试笔	192
7.2 基本逻辑门和三态门实验	193
7.3 数据选择器、译码器、全加器实验	195
7.4 触发器、移位寄存器实验	197
7.5 计数器实验	199
7.6 四相时钟分配器实验	199
7.7 E ² PROM 实验	201
7.8 可编程器件的原理图方式设计实验	202
7.9 可编程器件的 VHDL 文本方式设计实验	203
第8章 课程综合设计	207
8.1 简易频率计设计	207
8.2 交通灯控制器设计	208
8.3 电子钟设计	209
8.4 药片装瓶系统设计	209
参考文献	211
附录 A 《数字逻辑》(第五版)配套教材与教学设备	212
附录 B 教学心得交流	213

第 1 章 开关理论基础

开关理论是以二进制数为基础的理论,包括二进制数为基础的数制和码制,描述逻辑电路的数学工具、图形和符号语言。开关理论奠基了计算机等现代数字系统的硬件构造基础。本章先讨论二进制系统、数制与码制,然后讨论逻辑函数及其描述工具、布尔代数和卡诺图,最后介绍数字集成电路。

1.1 二进制系统

1.1.1 连续量和离散量

电子电路分为模拟电子电路和数字电子电路两大类。

模拟电子电路中,数值的度量采用直流电压或电流的连续值,通常称为**模拟量**。模拟量的特点是数值由**连续量**来表示,其运算过程也是连续的。例如我们熟悉的温度计是用水银长度来表示温度高低;钟表是用指针在表盘上的转动位置来表示时间;老式电表是用角度来反映电量大小。

自然界中的大多数事物本质上都可以用模拟形式作为量的衡量,如时间、温度、压力、距离、声音,等等。比如空气温度是一个模拟量,它在一个连续的范围内变化。对于某地某一天,温度不是瞬间从 20°C 变化到 30°C ,而是经历了其间无数的值。图 1.1 是北京 7 月某天 24 小时的温度变化图,它是一条平滑连续的曲线。

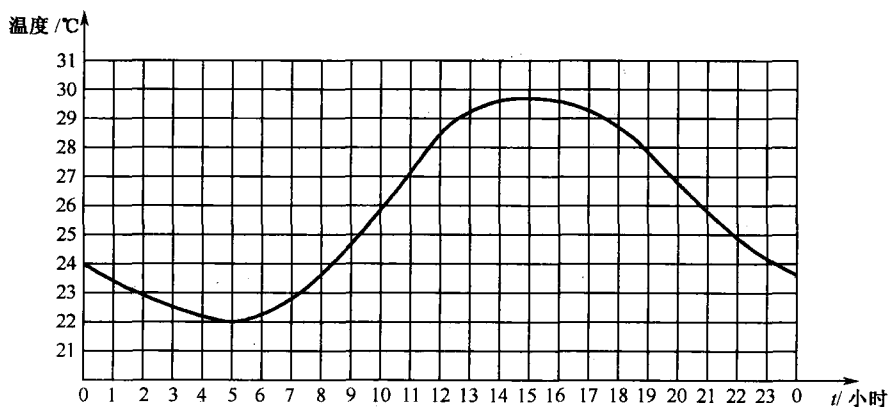


图 1.1 温度变化的连续量曲线图

数字电子电路中,数值的度量采用数字量,它通常由 0 或 1 组成的一串二进制数组成。数字量的特点是数值为**离散量**,运算结果也是离散量。

图 1.1 中假设我们不是在时间连续的基础上测量气温变化的曲线图,而改为每小时测量一次,那么我们就可以采样到 24 小时内离散的时间点上的温度值,如图 1.2 所示。从图中看出,可以把连续量曲线转化为一种用离散量曲线表示的每个采样值的形式。此

时时间和温度两个参数都用数字量表示,它们由一串二进制数码组成。

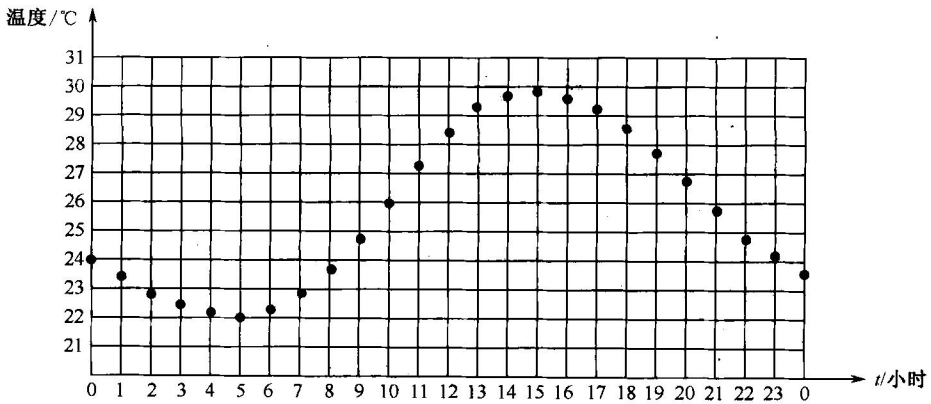


图 1.2 温度变化的离散量曲线图

数字量在数据精度、传输效率、可靠性指标等方面均比模拟量高得多,而且在数据存储方面比模拟量具有更大的优势,因此现代电子技术中数字式系统得到了最广泛的应用。本书研究的内容是数字式系统,它们是在二进制系统的基础上构建的。

1.1.2 开关量

自然界中存在有二状态的物理元件,例如晶体管的导通或截止,机械开关的开启或闭合,磁性材料的两种不同剩磁状态。这两种不同状态可用两种不同的电平即高电平(H)或低电平(L)来表示。这种二状态系统称为二进制系统,通常高电平 H 代表“1”,低电平 L 代表“0”。二进制系统的两个数字 1 和 0 是一个开关量,常称为比特。在数字系统中,这两种状态的组合称之为码,可用来表示数字、字母、符号以及其他类型的信息。

用来表示数字 1 和 0 的电平称为逻辑电平,用来描述开关量。理想情况下,一个电压表示高(H),另一个电压表示低(L)。但是在实际的数字电路中,可指定最小值和最大值之间的任何一个电压值来表示 H(逻辑 1)。同样,可指定最小值和最大值之间的任何一个电压值来表示 L(逻辑 0)。

图 1.3 说明了数字电路中开关量通常的范围。 $V_{H(max)}$ 表示 H 的最大电压值, $V_{H(min)}$ 表示 H 的最小电压值; $V_{L(max)}$ 表示 L 的最大电压值, $V_{L(min)}$ 表示 L 的最小电压值。例如 TTL 型数字电路,H 值范围 2~5V 代表逻辑 1,L 值范围 0~0.8V 代表逻辑 0。0.8V 到 2V 之间是不被使用的。CMOS 型数字电路的 H 值范围为 2~3.3V。

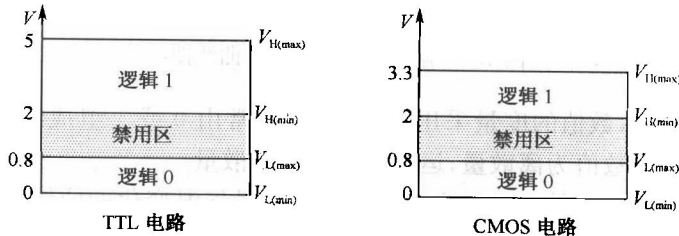


图 1.3 数字电路的逻辑电平范围

1.1.3 数字波形

数字系统所处理的二进制信息可用波形的形式表示,波形代表了比特序列。当波形处于高电平时代表比特 1,而波形处于低电平时则代表比特 0,因此,数字波形由逻辑高电平(H)或低电平(L)及其维持时间形成的脉冲序列所组成,它反映了数字电路工作中开关量的动态变化。图 1.4(a)表示理想的正脉冲,前沿为上升沿;图 1.4(b)表示理想的负脉冲,前沿为下降沿。

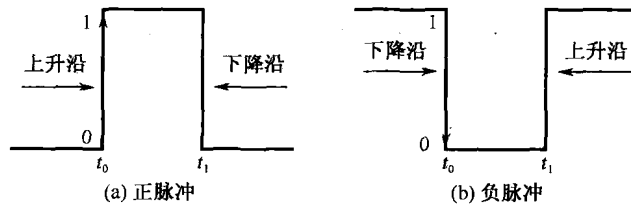


图 1.4 理想的脉冲波形

图 1.5 表示了非理想状态下的实际脉冲波形,上升沿和下降沿并不是直上直下。由于信号在电路中的延迟,从低电平变到高电平需要一个过程,从高电平变到低电平也需要一个过程。我们定义从基准线到高电平的电压值为脉冲幅度;从脉冲幅度的 10%到 90%的时间 t_r 为上升时间,从脉冲幅度的 90%到 10%的时间 t_f 为下降时间;上升沿 50%到下降沿 50%的时间 t_w 为脉冲宽度,它是脉冲持续时间的度量。 t_r, t_f, t_w 是脉冲波形的三个重要参数,它反映了数字电路的工作速度。

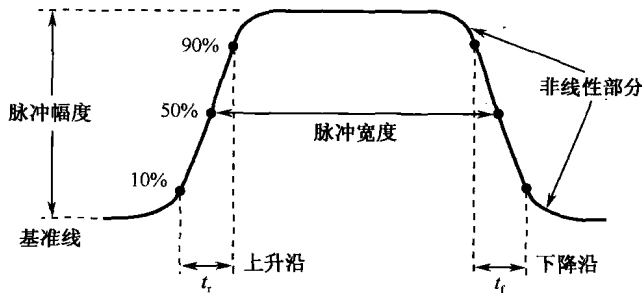


图 1.5 非理想状态下脉冲参数

数字系统中的大多数波形是由脉冲组成的,有时被称为脉冲链,可分为周期性波形和非周期性波形两类,如图 1.6 所示。

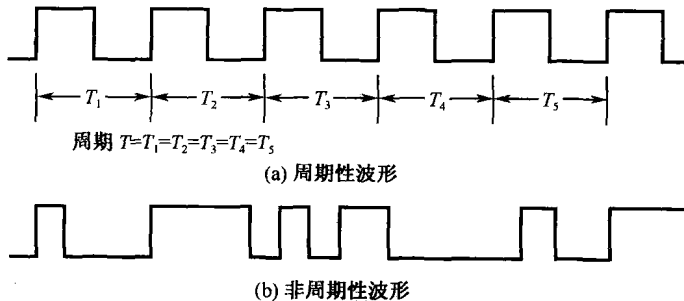


图 1.6 数字波形举例

在周期性脉冲中,有两个重要的参数 T 和 f 。脉冲周期 T 定义为两个相邻的脉冲前沿之间的时间间隔,它是一个常数。脉冲频率 f 定义为脉冲周期 T 的倒数,它表示脉冲重复的速度,用赫兹(Hz)度量。频率 f 和周期 T 之间关系如下:

$$f = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{f} \quad (1.1)$$

周期性波形中另一个重要参数是频宽比 D ,也称为占空系数。它定义为脉冲宽度 t_w 和脉冲周期 T 之比的百分数,即

$$D = \left(\frac{t_w}{T}\right)100\% \quad (1.2)$$

在非周期性脉冲中,波形不在固定的时间间隔内重复,它由随机的不同脉冲宽度和不同时间间隔的脉冲组成。

【例 1】 一个周期数字波形的区段如图 1.7 所示,测量值用 μs 表示。求此波形的周期 T ,频率 f ,频宽比 D 。

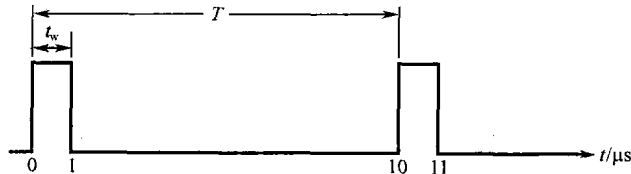


图 1.7 例 1 数字波形

解 周期 T 是用第 1 个脉冲的前沿和下一个脉冲的前沿之间的时间来表示,所以

$$T = 10\mu\text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10\mu\text{s}} = 100000\text{Hz}$$

$$D = \left(\frac{t_w}{T}\right) \times 100\% = \left(\frac{1\mu\text{s}}{10\mu\text{s}}\right) \times 100\% = 10\%$$

1.2 数制与码制

1.2.1 进位计数制

1. 十进制计数制

人类的祖先在长期的生产劳动实践中学会了用十个指头计数,因而产生了我们最熟悉的十进制数。任意一个十进制数 $(S)_{10}$ 可以表示为

$$\begin{aligned} (S)_{10} &= k_n 10^{n-1} + k_{n-1} 10^{n-2} + \cdots + k_1 10^0 + k_0 10^{-1} + k_{-1} 10^{-2} + \cdots + k_{-m} 10^{-m-1} \\ &= \sum_{i=n}^{-m} k_i 10^{i-1} \end{aligned} \quad (1.3)$$

其中, k_i 可以是 $0 \sim 9$ 十个数码中的任意一个, m 和 n 是正整数,表示权; k_i, m, n 均由 $(S)_{10}$ 决定, (S) 的下标与式中的 10 是十进制的基数。由于基数为 10, 每个数位计满 10 就向高位进位,即逢十进一,所以称它为十进制计数制。

【例 2】 将十进制数 2007.9 写成权表示的形式。

解 $(2007.9)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1}$

2. 二进制计数制

在数字系统中,为了便于工程实现,广泛采用二进制计数制。这是因为,二进制表示的数的每一位只取数码 0 或 1,因而可以用具有两个不同稳定状态的电子元件来表示,并且数据的存储和传送也可用简单而可靠的方式进行。二进制的基数是 2,其计数规律是逢二进一。

任意一个二进制数可以表示成

$$\begin{aligned}(S)_2 &= k_n 2^{n-1} + k_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + k_1 2^0 + k_0 2^{-1} + k_{-1} 2^{-2} + \cdots + k_{-m} 2^{-m-1} \\ &= \sum_{i=n}^{-m} k_i 2^{i-1}\end{aligned}\quad (1.4)$$

其中, k_i 只能取 0 或 1,它由 $(S)_2$ 决定; m, n 为正整数,表示权。

【例 3】 将二进制数 1101.101 写成权表示的形式。

解 $(1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

3. 八进制计数制和十六进制计数制

采用二进制计数制,对计算机等数字系统来说,运算、存储和传输极为方便,然而,二进制数书写起来很不方便。为此人们经常采用八进制计数制和十六进制计数制来进行书写或打印。

任意一个八进制数可以表示成

$$(S)_8 = \sum_{i=n}^{-m} k_i 8^{i-1}\quad (1.5)$$

其中, k_i 可取 0, 1, 2, ..., 7 八个数之一,它由 $(S)_8$ 决定; m 和 n 为正整数,表示权。八进制数的计数规律为逢八进一。

【例 4】 将八进制数 $(67.731)_8$ 写成权表示的形式。

解 $(67.731)_8 = 6 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2} + 1 \times 8^{-3}$

任意一个十六进制数可以表示成

$$(S)_{16} = \sum_{i=n}^{-m} k_i 16^{i-1}\quad (1.6)$$

其中, k_i 可取 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F 等十六个数码、字母之一,它由 $(S)_{16}$ 决定; m 和 n 为正整数,表示权。十六进制数的计数规律为逢十六进一。

【例 5】 将十六进制数 $(8AE6)_{16}$ 写成权表示的形式。

解 $(8AE6)_{16} = 8 \times 16^3 + A \times 16^2 + E \times 16^1 + 6 \times 16^0$

1.2.2 进位计数制的相互转换

人们习惯的是十进制数,计算机采用的是二进制数,人们书写时又多采用八进制数或十六进制数,因此,必然产生各种进位计数制间的相互转换问题。

1. 八进制、十六进制与十进制数的转换

一个十进制整数转换成八进制表示的数时,可按除 8 取余的方法进行。

【例 6】 $(725)_{10} = (?)_8$

解	8	7	2	5	余数 5	↑ 低位
		8	9	0	余数 2	
		8	1	1	余数 3	
			8	1	余数 1	
			0			

转换结果,得到 $(725)_{10} = (1325)_8$ 。

类似地,一个十进制整数转换成十六进制数时,可按除 16 取余的方法进行。

【例 7】 $(725)_{10} = (?)_{16}$

解	16	7	2	5	余数 5	↑ 低位
		16	4	5	余数 13	
			16	2	余数 2	
				0		

转换结果,得到 $(725)_{10} = (2D5)_{16}$ 。

一个十进制小数转换成等值的八进制数时,可按乘 8 取整的方法进行。

【例 8】 $(0.7875)_{10} = (?)_8$

解		0.7875	
	×	8	整数 6
		6.3000	↑ 高位
		0.3000	
	×	8	整数 2
		2.4000	↓ 低位
		0.4000	
	×	8	整数 3
		3.2000	
		

注意,小数转换不一定能算尽,只能算到一定精度的位数为止,故要产生一些误差。不过当位数较多时,这个误差就很小了。因此转换结果,可得 $(0.7875)_{10} \approx (0.623)_8$ 。

一个十进制小数转换成等值的十六进制小数时,可按乘 16 取整的方法进行,其步骤与转换成八进制小数的过程相类似,不再赘述。

如果一个十进制数既有整数部分又有小数部分,可将整数部分和小数部分分别进行八进制或十六进制数的等值转换,然后合并就可得到结果。

八进制数或十六进制数转换成等值的十进制数时,可按权相加的方法进行。

【例 9】 $(167)_8 = 1 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = 64 + 48 + 7 = (119)_{10}$

$(0.42)_8 = 4 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} = 0.5 + 0.03125 = (0.53125)_{10}$

$$(1C4)_{16} = 1 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 4 \times 16^0 = 256 + 192 + 4 = (452)_{10}$$

$$(0.68)_{16} = 6 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} = 0.375 + 0.03125 = (0.40625)_{10}$$

2. 八进制、十六进制与二进制数的转换

由于数 $2^3=8, 2^4=16$, 所以 1 位八进制数所能表示的数值恰好相当于 3 位二进制数能表示的数值, 而 1 位十六进制数与 4 位二进制数能表示的数值正好相当, 因此八进制、十六进制与二进制数之间的转换极为方便。例如:

【例 10】 $(67.731)_8 = (110111.111011001)_2$
 $(3AB4)_{16} = (0011101010110100)_2$

反之, 从二进制数转换成八进制数时, 只要从小数点开始, 分别向左右两边把 3 位二进制数码划为一组, 最左和最右一组不足 3 位用 0 补充, 然后每组用一个八进制数码代替即成。例如:

【例 11】 $(11111101.01001111)_2 = (375.236)_8$

二进制数转换成十六进制数与此类似, 只不过是 4 位二进制数码分为一组。例如:

【例 12】 $(1111101.01001111)_2 = (7D.4F)_{16}$

由上可见, 用八进制或十六进制书写要比用二进制书写简短, 而且八进制或十六进制表示的数据信息很容易转换成二进制表示。这就是普遍使用八进制或十六进制的原因。鉴于如此, 当十进制数转换成二进制数时, 可采用八进制数或十六进制数作为中间过渡。

1.2.3 二进制编码

数字系统中的信息有两类: 一类是数码信息, 另一类是代码信息。数码信息的表示方法如前所述, 以便在数字系统中进行运算、存储和传输。为了表示字符等一类被处理的信息, 也需要用一定位数的二进制数码表示, 这个特定的二进制码称为**代码**。注意, “代码”和“数码”的含义不尽相同, 代码是不同信息的代号, 不一定有数的含义。一般地一个码字是由若干信息位组成的, 每位有 0 和 1 两种代码。n 位代码可以组合成 2^n 个不同的码字, 即它们可以代表 2^n 种不同信息。

给 2^n 种信息中的每个信息指定一个具体的码字去代表它, 这一指定过程称为**编码**。由于指定的方法不是唯一的, 故对一组信息存在着多种编码方案。

数字系统中常用的编码有两类: 一类是二进制编码, 另一类是二十进制编码。

1. 二进制码

在二进制编码中, **自然二进制码**是最简单的一种。它的结构形式与二进制数完全相同。表 1.1 列出了 4 位自然二进制码, 其中每位代码都有固定权值。这种代码称为**有权码**。自然二进制码是一种有权码, 各信息位的权值为 2^i (i 是码元位序, $i=0, 1, \dots, n-1$)。

另一种二进制编码是**循环二进制码**, 简称**循环码**, 其特性是任何相邻的两个码字中, 仅有一位代码不同, 其他位代码则相同。如表 1.1 所示, 7 和 8 是相邻的两个代码, 7 的代码是 0100, 8 的代码是 1100, 仅有最高位代码不同。这种单位距离特性在某些设备中很有用, 因此循环码又称**单位距离码**。循环码的编码方法不是唯一的, 4 位循环码就有许多种, 表 1.1 中所示的是最基本的一种。

表 1.1 两种 4 位二进制编码

十进制数	自然二进制码	循环二进制码	十进制数	自然二进制码	循环二进制码
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

循环码是无权码, 每一位都没有固定的权值。

2. 二-十进制码(BCD 码)

数字系统处理的是二进制数码, 人机界面中常用十进制数进行输入和输出。为使数字系统能够传递、处理十进制数, 必须把十进制数的各个数码用二进制代码的形式表示出来, 这便是用二进制代码对十进制数进行编码, 简称 **BCD 码**。BCD 码具有二进制码的形式(4 位二进制码), 又有十进制数的特点(每 4 位二进制码是 1 位十进制数)。

十进制数共有 10 个数码, 需要用 4 位二进制代码来表示。4 位二进制码可以有 16 种组合, 而表示十进制数只需要 10 种组合, 因此用 4 位二进制码来表示十进制数有多种选取方式。表 1.2 列出了三种常用的 BCD 码与其相应的十进制数, 它分为有权码和无权码两大类。

表 1.2 常用 BCD 码

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

在采用有权码的一些方案中, 用得最普遍的是 8421 码, 即 4 个二进制位的位权从高向低分别为 8, 4, 2, 1。其具体编码值分配如表 1.2 所示。

8421 码的编码值与字符 0 到 9 的 ASCII 码的低 4 位码相同, 有利于简化输入输出过程中从字符到 BCD 或从 BCD 到字符的转换操作, 是实现人机联系时比较好的中间表示。需要译码时, 译码电路也比较简单。

把一个十进制数变成它的 8421 码数串, 仅对十进制数的每一位单独进行。例如 1592 变为相应的 8421 码表示, 结果为 0001 0101 1001 0010。相反转换过程也类似。例如 0110 1000 0100 0000 变为十进制数, 结果应为 6840。

8421 码的主要缺点是实现加法运算的规则比较复杂, 当二数相加的和大于 9 时需要