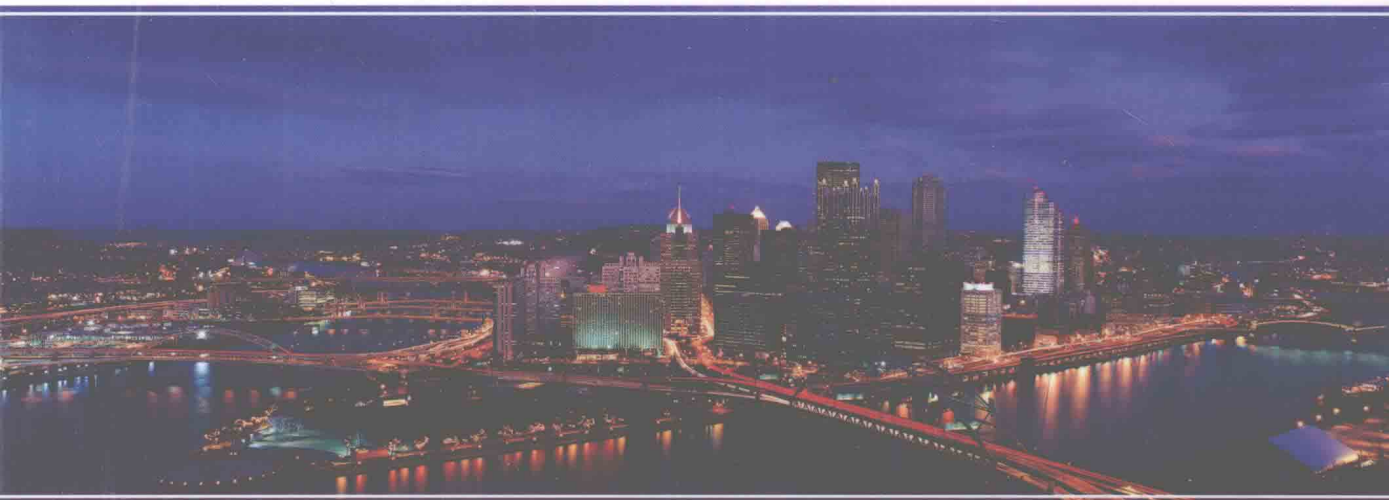


高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

数字电子技术

曾令琴 主编 吕乐 李林鹏 副主编



Digital Electronic Technology

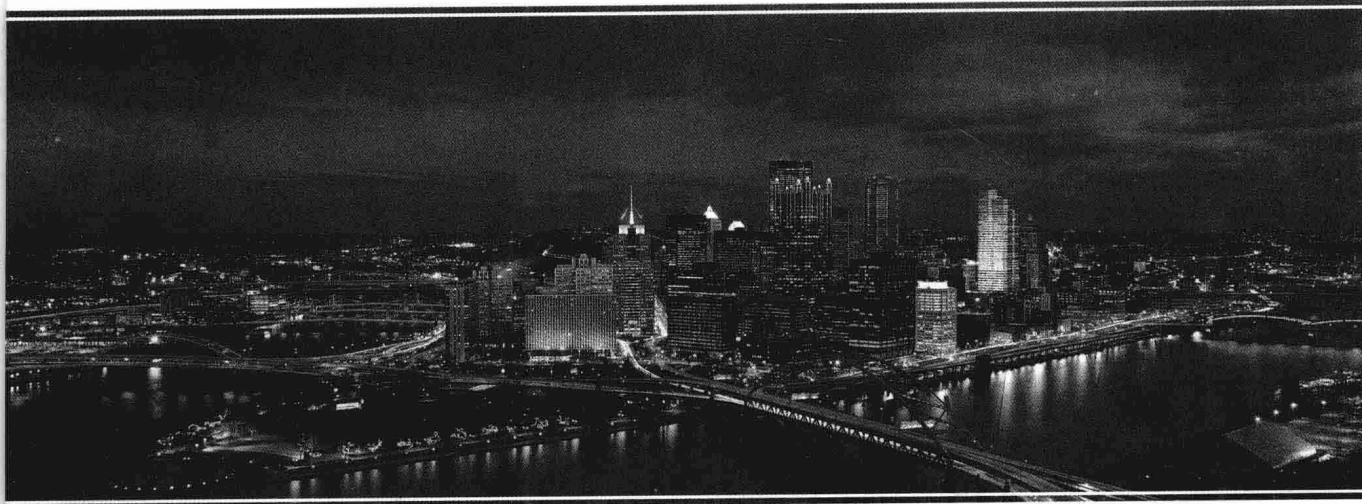
降低理论难度，内容通俗易懂
引入任务教学，激发学习兴趣
提供设计项目，培养工作技能

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gao Deng Zhi Ye Jiao Yu Dian Zi Ji Shu Ji Neng Pei Yang Gui Hua Jiao Cai

数字电子技术

曾令琴 主编 吕乐 李林鹏 副主编



Digital Electronic
Technology

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

数字电子技术 / 曾令琴主编. —北京: 人民邮电出版社,
2009. 4

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

ISBN 978-7-115-19199-1

I. 数… II. 曾… III. 数字电路—电子技术—高等学校:
技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第014806号

内 容 提 要

本书将传统的数字电子技术教材中的理论知识进行了重新整合与取舍, 结合高职高专教学改革的要求, 以及工程实际应用, 将全书分为 7 个单元, 内容包括数字逻辑基础、集成门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、存储器、可编程逻辑器件、数/模和模/数转换器。本书特别强调了实践环节, 并且引入了 Multisim 8.0 仿真软件, 配合对相关知识的讲解。本书配有教学课件、教学大纲、习题解析及试题库等教学辅助资料。

本书可作为高职高专院校电子、机电、自动化、通信等专业“数字电子技术”课程的教材, 也可供相关人员参考。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

数字电子技术

◆ 主 编 曾令琴

副 主 编 吕 乐 李林鹏

责任编辑 潘春燕

执行编辑 赵慧君

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 12.75

字数: 323 千字

印数: 1—3 000 册

2009 年 4 月第 1 版

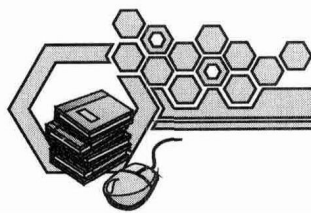
2009 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19199-1/TN

定价: 23.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



前言

“数字电子技术”是高职高专院校电子类专业的专业基础课，同时也是应用电子、通信、电气自动化等专业的重要专业技术课程。近些年来，随着科学技术的迅猛发展，集成数字逻辑电路在高速、低功耗、低电压、带电插拔等许多方面都取得了长足的进步，各种数字新技术、数字电子新器件层出不穷，这些不断涌现的新技术，无疑给该课程增添了很多新的内容。

为使该课程内容更加丰富、充实和不断更新，能够跟上日益发展的科学技术，我们根据教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”的主要精神，结合目前“数字电子技术”教学实际情况以及该课程在工程实际中的应用编写了本书，并力求体现如下特点。

1. 按照任务驱动方式组织全书内容。书中每个单元按照“任务导入——相关知识——相关技能”的顺序编排，以培养学生分析问题、解决问题的能力。

2. 将传统的数字电子技术教材中的理论知识进行了重新整合与取舍。本书在降低理论深度的同时，将相关知识与工程实际应用结合，以通俗易懂的语言让学生了解课程中的每一部分教学内容在实际应用中的“不可替代”性，从而提高学生学习数字电子技术的兴趣。

3. 配有丰富的教学辅助素材。本书配有教学课件、详细的习题解析、教学指导教案及试题库，可登录人民邮电出版社教学服务与资源网（www.ptpedu.com.cn）免费下载使用。

本书的参考学时如下。

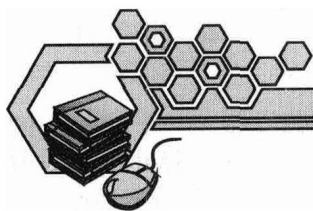
单 元	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲 授	实 训
第 1 单元	数字逻辑绪论	8	2
第 2 单元	门电路和集成逻辑门	4	4
第 3 单元	组合逻辑电路	8	4
第 4 单元	触发器	10	4
第 5 单元	时序逻辑电路	8	4
第 6 单元	存储器和可编程逻辑器件	10	4
第 7 单元	数/模和模/数转换器	8	2
课时总计		56	24

本书由曾令琴任主编，吕乐、李林鹏任副主编，刘玉宾、翟志华、刘全蒲和张凯参与了本书的编写工作。全书由曾令琴统稿。

由于编者时间有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月



目 录

第 1 单元 数字逻辑基础 1

第一部分 任务导入 1

第二部分 相关知识 2

1.1 数制与码制 2

1.1.1 数制 3

1.1.2 码制 6

1.2 逻辑代数的基本概念、

常用公式和定理 9

1.2.1 逻辑代数的基本概念 9

1.2.2 三种基本的逻辑关系 10

1.2.3 复合逻辑运算 12

1.2.4 逻辑代数中的常用公式和 定理 12

1.3 逻辑函数的化简 14

1.3.1 逻辑函数的代数化简法 14

1.3.2 最小项的概念 15

1.3.3 卡诺图表示法 16

1.3.4 逻辑函数的卡诺图化简法 17

第三部分 相关技能 19

1.4 Multisim 8.0 电路仿真软件

学习 19

习题 27

第 2 单元 门电路和集成逻辑门 30

第一部分 任务导入 30

第二部分 相关知识 31

2.1 半导体二极管和三极管的

开关特性 31

2.1.1 半导体二极管的开关特性 31

2.1.2 半导体三极管的开关特性 33

2.2 分立元件的基本逻辑门 34

2.2.1 “与”门 34

2.2.2 “或”门 35

2.2.3 “非”门 35

2.3 复合逻辑门 36

2.3.1 与非门 36

2.3.2 或非门 36

2.3.3 与或非门 37

2.3.4 异或门 37

2.3.5 同或门 37

2.4 TTL 集成逻辑门 38

2.4.1 典型 TTL 与非门 38

2.4.2 集电极开路的 TTL 与非门 40

2.4.3 三态门 41

2.4.4 TTL 集成电路的改进系列 43

2.4.5 TTL 集成逻辑门的使用注意 事项 44

2.5 MOS 集成逻辑门 45

2.5.1 CMOS 反相器 45

2.5.2 CMOS 传输门和模拟开关 46

2.5.3 CMOS 与非门 46

2.5.4 CMOS 或非门 47

2.5.5 其他 CMOS 集成逻辑门 48

2.5.6 CMOS 集成逻辑门的特点及 使用注意事项 48

2.6 集成逻辑门使用中的实际 问题 50

2.6.1 各种逻辑门之间的接口问题 50

2.6.2 门电路带负载时的接口电路 51

2.6.3 抗干扰措施 52

第三部分 相关技能 53

2.7 集成逻辑门电路的功能

测试 53

2.8 学习 Multisim 8.0 电路仿真 55

习题 60



第3单元 组合逻辑电路.....63

第一部分 任务导入.....63

第二部分 相关知识.....64

3.1 组合逻辑电路的分析.....64

3.1.1 组合逻辑电路的特点.....64

3.1.2 组合逻辑电路功能的描述.....64

3.1.3 组合逻辑电路的分析.....65

3.2 组合逻辑电路的设计.....68

3.2.1 组合逻辑电路的设计步骤.....68

3.2.2 组合逻辑电路的设计举例.....68

3.3 编码器.....70

3.3.1 编码、编码器.....70

3.3.2 普通编码器.....71

3.3.3 优先编码器.....72

3.4 译码器.....75

3.4.1 译码、译码器.....75

3.4.2 变量译码器.....75

3.4.3 显示译码器.....77

3.4.4 译码器应用举例.....80

3.5 数据选择器.....80

3.5.1 数据选择器.....80

3.5.2 集成数据选择器.....81

3.6 数值比较器.....82

3.6.1 一位数值比较器.....82

3.6.2 集成数值比较器.....82

第三部分 相关技能.....83

3.7 编码器、译码器及数码显示

电路实验.....83

3.8 学习 Multisim 8.0 电路仿真.....85

习题.....89

第4单元 触发器.....92

第一部分 任务导入.....92

第二部分 相关知识.....94

4.1 基本 RS 触发器.....94

4.1.1 基本 RS 触发器的结构组成.....94

4.1.2 基本 RS 触发器的工作原理.....94

4.1.3 基本 RS 触发器的动作特点.....95

4.1.4 基本 RS 触发器逻辑功能的

描述.....95

4.2 钟控 RS 触发器.....97

4.2.1 钟控 RS 触发器的结构组成.....97

4.2.2 钟控 RS 触发器的工作原理.....97

4.2.3 钟控 RS 触发器的功能描述.....98

4.3 主从型 JK 触发器.....99

4.3.1 JK 触发器的结构组成.....99

4.3.2 JK 触发器的工作原理.....100

4.3.3 JK 触发器的动作特点.....101

4.3.4 JK 触发器的功能描述.....101

4.3.5 集成 JK 触发器.....102

4.4 维持阻塞 D 触发器.....103

4.4.1 D 触发器的结构组成.....103

4.4.2 D 触发器的工作原理.....103

4.4.3 D 触发器的动作特点.....104

4.4.4 D 触发器的功能描述.....104

4.4.5 集成 D 触发器.....105

4.5 T 触发器和 T'触发器.....105

4.5.1 T 触发器.....105

4.5.2 T'触发器.....105

第三部分 相关技能.....106

4.6 集成触发器的功能测试.....106

4.7 学习 Multisim 8.0 电路仿真.....108

习题.....110

第5单元 时序逻辑电路.....113

第一部分 任务导入.....113

第二部分 相关知识.....114

5.1 时序逻辑电路的分析和

设计思路.....114

5.1.1 时序逻辑电路概述.....114

5.1.2 时序逻辑电路的功能描述.....115

5.1.3 时序逻辑电路的基本分析

方法.....115

5.1.4 时序逻辑电路的设计思路.....118

5.2 集成计数器.....119

5.2.1 二进制计数器.....120

5.2.2 十进制计数器.....122



5.2.3 集成计数器及其应用	124	6.4.3 可编程阵列逻辑	164
5.3 寄存器	128	6.4.4 通用阵列简介	165
5.3.1 数码寄存器	128	6.4.5 PLD 的编程	166
5.3.2 移位寄存器	128	第三部分 相关技能	167
5.3.3 集成双向移位寄存器	129	6.5 随机存取存储器 2114A 及其 应用	167
5.3.4 移位寄存器的应用	130	6.6 应用 Multisim 8.0 进行电路 仿真	174
5.4 555 定时电路	132	习题	174
5.4.1 555 定时器电路的组成	132	第 7 单元 数/模和模/数转换器	177
5.4.2 555 定时器的工作原理	134	第一部分 任务导入	177
5.4.3 555 定时器应用实例	134	第二部分 相关知识	178
第三部分 相关技能	136	7.1 数/模转换器	178
5.5 计数器及其应用	136	7.1.1 数/模转换器基本概念及 结构组成	178
5.6 移位寄存器及其应用	138	7.1.2 DAC 的功能	179
5.7 555 定时器及其应用	142	7.1.3 DAC 的转换特性	179
5.8 应用 Multisim 8.0 电路 仿真	143	7.1.4 DAC 的主要技术指标	179
习题	143	7.1.5 DAC 的转换原理	180
第 6 单元 存储器和可编程逻辑 器件	147	7.1.6 集成 DAC0832	182
第一部分 任务导入	147	7.2 模/数转换器 (ADC)	184
第二部分 相关知识	148	7.2.1 ADC 的基本概念和转换 原理	184
6.1 存储器概述	148	7.2.2 ADC 的主要技术指标	186
6.1.1 存储器定义	148	7.2.3 逐次比较型 ADC 的电路 组成及转换原理	187
6.1.2 存储器的分类	148	7.2.4 双积分型 ADC 的电路组成及 转换原理	188
6.1.3 存储器的主要性能指标	149	7.2.5 集成 ADC0809	189
6.2 只读存储器	150	第三部分 相关技能	190
6.2.1 ROM 的结构与功能	150	7.3 A/D 与 D/A 转换电路的 研究	190
6.2.2 ROM 的工作原理	151	7.4 应用 Multisim 8.0 电路 仿真	192
6.2.3 ROM 的分类	153	习题	192
6.2.4 ROM 的应用	155	参考文献	196
6.3 随机存取存储器	157		
6.3.1 RAM 的结构与功能	157		
6.3.2 RAM 的存储单元	159		
6.3.3 集成 RAM 芯片简介	160		
6.3.4 RAM 的容量扩展	160		
6.4 可编程逻辑器件	162		
6.4.1 可编程逻辑器件概述	162		
6.4.2 现场可编程逻辑阵列	163		

第1单元

数字逻辑基础

第一部分 任务导人

数字逻辑基础中的重点内容包括：数制和码制及他们之间的转换；逻辑代数的基本公式、常用公式及基本定理；逻辑函数的表示方法、代数化简法和卡诺图化简法；约束项和无关项的概念以及它们在逻辑函数化简中的作用等。

“数字逻辑基础”是数字电子技术的重点内容之一，也是分析和设计数字逻辑电路时使用的主要数学工具。例如，设计一个数字电路时，方案可能有多种，哪种方案最好？当然是在达到同样功能的基础上，选择电路结构最简单、元器件数最少的设计方案，因为它是最经济的。本单元中逻辑函数的化简，就是用以解决这类实用问题的基础知识。设计任何一个数字电路，根据要求的逻辑功能，总要先设计出相应的逻辑函数式，再去根据逻辑函数式构建相应的逻辑电路框图。如果设计的逻辑函数式复杂化，相应的电路结构随之复杂；如果设计的逻辑函数式在达到同样功能的基础上最简，则电路结构一定也是最简的。逻辑函数的化简直接关系到今后设计数字电路的复杂程度和性能指标。

例如，设计一个有 3 个裁判对某事件进行表决的数字电路，3 个裁判中只要有二个或两个以上同意，该事件就通过，否则禁止。按照电路功能，可列出相应的逻辑函数式，并且根据这个逻辑函数式画出如图 1-1 所示的多数表决器电路设计方案一。

显然这个多数表决器的电路设计方案一选用的逻辑门数较多，致使电路结构比较复杂。为了简化电路结构，对设计逻辑函数式进行化简，根据化简后的逻辑函数式得到如图 1-2 所示的多数表决器电路设计方案二。

不难看出，方案二比方案一在电路结构上简单多了，仅就逻辑门个数而言，就从 20 个减少到 6 个，相应的连线自然也会少得多。在完成相同电路功能的基础上，工程实际中首选设计方案二。

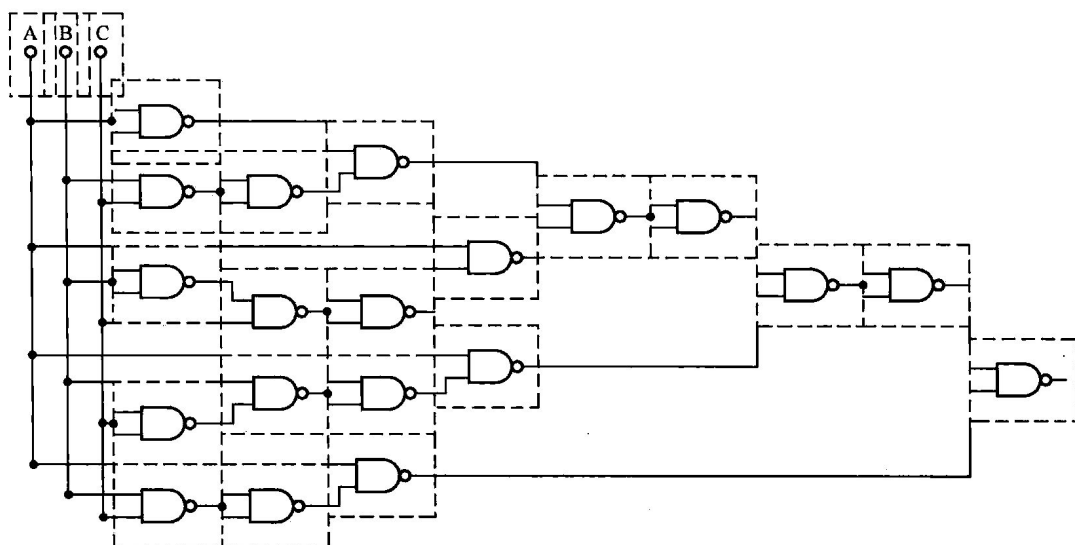


图 1-1 多数表决器电路设计方案一

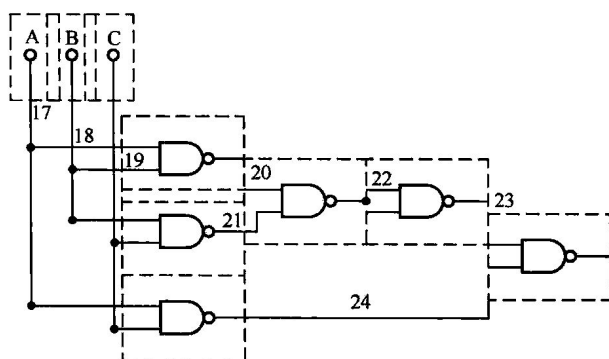


图 1-2 多数表决器设计电路方案二

本单元的学习任务如下。

- (1) 熟练掌握二进制、八进制、十进制和十六进制之间的转换。
- (2) 实现码制之间、数制和码制之间的转换。
- (3) 应用所学逻辑电路的基本定理和常用公式，对逻辑函数式进行化简。
- (4) 掌握逻辑代数化简法和卡诺图化简法的技能。
- (5) 学会电路设计工具 Multisim 8.0 的基本操作方法。

需要重视的是，本单元中“最小项”和“任意一个逻辑函数式都可以化简为最简与或式的形式”是两个非常重要的概念，在逻辑函数式的化简和变换中会经常用到。

第二部分 相关知识

1.1 数制与码制

数字电子技术中被传递、加工和处理的信号称为数字信号。例如，用电子电路记录从自动生



产线上输出的产品数量时,每输出一个产品便送给电子电路一个信号,记之为“1”信号;而没有产品输出时送给电子电路一个“0”信号,“0”信号不计数。显然,产品数量的“1”信号无论在时间上还是在数值上都是不连续的,我们把这种在时间上和数值上都不连续的信号称为数字信号。

图 1-3 所示为两种典型的数字脉冲信号。观察图示数字信号,其突出特点是,无论在时间上还是在幅值上,其变化总是发生在一系列离散的瞬间,且数值大小只有高电平“1”和低电平“0”两种取值。在数字信号中,信号电平的大小并不重要,只要大于某一阈值就是高电平,小于这一阈值就是低电平。从高电平变为低电平的跳变沿称为下降沿,从低电平变为高电平的跳变沿称为上升沿。

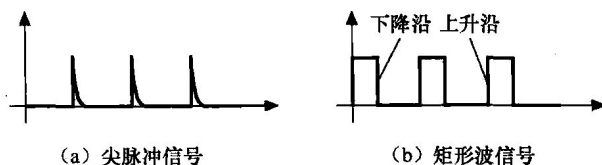


图 1-3 典型数字脉冲信号

在数字电路中,由于被传递和处理的信号只有“0”和“1”两种逻辑状态,因此数字电路所研究的输入和输出关系,实质上就是二值变量之间的逻辑关系,描述这种逻辑关系的表达式称为逻辑函数式,因此数字电路常常被人们称为逻辑电路。

由于数字信号采用的是二值信息,因此在电路工作时只要能可靠地区分“1”和“0”两种状态就可以了,和模拟电子技术相比,数字电路的单元结构比较简单。数字电路的独到之处,不仅使它应用于电子计算机对数字信号的处理,而且还应用于手机、DVD、摄像机数码相机等家用电器上,在机械加工、生产过程自动化、现代通信、军事科学、航天、遥测、遥控技术、数字测量仪表等诸多领域上得到了越来越广泛的应用。

1.1.1 数制

日常生活中人们最为熟悉的是十进制计数制,但除了十进制计数制外,还有许多非十进制的计数方法。例如,60 分钟为 1 小时,用的是 60 进制计数法;1 星期有 7 天,是 7 进制计数法;1 年有 12 个月,是 12 进制计数法。数字信息技术中则广泛采用了二进制,因为二进制的电路设计简单、运算可靠、逻辑性强,机器容易识别。除此之外,数字电路中还经常使用八进制和十六进制。

可见,在表示数时,仅用一位数码往往不够用,必须用进位计数的方法组成多位数码。多位数码每一位的构成以及从低位到高位进位的规则称为进位计数制,简称为数制。

1. 计数制中的两个重要概念

① 基数:各种进位计数制中,数码的集合称为基,计数制中用到的数码个数称为基数。

例如,二进制有 0 和 1 两个数码,因此二进制的基数是 2;八进制有 0~7 八个数码,基数是 8;十进制有 0~9 十个数码,基数是 10;十六进制有 0~15 十六个数码,基数是 16。

② 位权:任一进位计数制中,每一位数的大小都对应该位上的数码乘上一个固定的数,这个固定的数称作各位的权,简称位权。位权是各种计数制中基数的幂。

例如,十进制数 $(2368)_{10} = 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0$

其各位上的数码与 10 的幂相乘表示该位数的实际代表值,如 2×10^3 代表 2000, 3×10^2 代表 300,



6×10^1 代表 60, 8×10^0 代表 8。而各位上 10 的幂就是十进制数各位的权。

又如: 二进制数 $(11011)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

其各位 2 的幂代表该位上二进制数码的位权。如 2^4 代表十进制数 16, 2^3 代表十进制数 8, 2^2 代表十进制数 4, 2^1 代表十进制数 2, 2^0 代表十进制数 1。

显然, 各种计数制中的任意数, 只要按照上述按位权展开求和的方法, 即可得到它们所对应的、人们最熟悉的十进制数。

2. 常用计数制的特点

(1) 十进制

十进制是人们最熟悉的一种计数制。十进制计数的特点如下。

- ① 十进制计数的基数是 10。
- ② 十进制数的每一位必定是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码中的一个。
- ③ 低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢十进一”。
- ④ 同样的数字在不同的数位上代表的值各不相同, 各位的权是“10”的幂。

(2) 二进制

尽管计算机能够处理各类数据和信息, 包括常用的十进制数, 但计算机内部使用的数字符号只有“0”和“1”两个数字符号, 即计算机内部使用的是二进制。计算机内部之所以采用二进制, 是由于组成计算机的电子器件本身具有可靠稳定的“开”和“关”两种状态, 恰好对应二进制的“0”和“1”两个数码, 因此技术上容易实现信息量的存放、传递和处理, 同时为计算机进行逻辑运算提供了有利的条件。二进制计数的特点如下。

- ① 二进制计数的基数是 2。
- ② 二进制数的每一位必定是“0”或“1”两个数码中的一个。
- ③ 低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢二进一”。
- ④ 同一个数字符号在不同的数位上代表的位权各不相同, 位权是“2”的幂。

(3) 八进制和十六进制

二进制数的运算规则和电路的实现比较简单、方便, 但一个较大的十进制数用二进制数表示时因位数太多, 给数的读和写带来一定的麻烦, 容易出错。所以, 人们又常用八进制或十六进制数来读、写二进制数。八进制数的特点如下。

- ① 八进制计数的基数是 8。
- ② 八进制数的每一位必定是 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码中的一个。
- ③ 低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢八进一”。
- ④ 同一个数字符号在不同的数位上代表的位权各不相同, 位权是“8”的幂。

十六进制的特点如下。

- ① 十六进制计数的基数是 16。
- ② 十六进制数的每一位必定是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码中的一个。
- ③ 低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢十六进一”。
- ④ 同一个数字符号在不同的数位上代表的位权各不相同, 位权是“16”的幂。

3. 各种计数制之间的转换

当使用计算机解决实际问题时, 由键盘输入的通常是人们所熟悉的十进制数或某个特定信



息,但计算机识别的却是二进制数码,这就有一个十进制或特定信息向二进制转换的过程。

各种计数制转换为十进制相对比较简单,就是利用按位权展开求和的方法。而十进制数转换为二进制数或是其他进制的数则较为麻烦,其中十进制数转换为二进制数是各种数制之间转换的关键。

(1) 十进制数转换为二进制数

① 十进制数转换为二进制数时,整数部分的转换应用除2取余法。

【例 1.1】求十进制数 $[47]_{10}$ 转换的二进制数。

【解】

2	47	余 1..... k_0	最低位 k_0 ↑ ↓ 最高位 k_5
2	23	余 1..... k_1	
2	11	余 1..... k_2	
2	5	余 1..... k_3	
2	2	余 0..... k_4	
	1	 k_5	

即 $[47]_{10}=[k_5 k_4 k_3 k_2 k_1 k_0]_2=[101111]_2$

转换的过程首先是把待转换的十进制整数用2连除,直到无法再除为止,且每除一次记下余数1或0,其次把每次所得的余数从后向前排列,就可得到所对应的二进制整数。

② 十进制数转换为二进制数时,小数部分的转换应用乘2取整法。

【例 1.2】求十进制小数 $[0.125]_{10}$ 转换的二进制小数。

【解】利用乘2取整法:

$0.125 \times 2 = 0.25$	取整数部分 0	余数 0.25
$0.25 \times 2 = 0.5$	取整数部分 0	余数 0.5
$0.5 \times 2 = 1$	取整数部分 1	余数 0

可得 $[0.125]_{10}=[0.001]_2$

转换的过程就是首先让十进制数中的小数乘以2,所得积的整数为小数点后第1位,保留积的小数部分继续乘2,所得的积的整数为小数点后第2位,即取各次乘2之后的整数部分为二进制各位的小数,保留下来的小数部分再继续乘2,依次类推,直到小数部分等于0或达到所需精度为止。

对上述结果用按位权展开求和方法进行验证: $[0.001]_2=1 \times 2^{-3}=[0.125]_{10}$

(2) 二进制数转换为八进制数和十六进制数

只要将十进制数转换成相应的二进制数,再转换成八进制数和十六进制数就容易多了。

【例 1.3】把二进制数 $[101111]_2$ 转换成八进制数和十六进制数。

【解】二进制数转换成八进制数的方法是:整数部分从小数点向左数,每3位二进制数码为一组,最后不足3位补0,读出3位二进制数对应的十进制数值,就是整数部分转换的八进制数;小数部分从小数点向右数,也是每3位二进制数码为一组,最后不足3位补0,读出3位二进制数对应的十进制数值,就是小数部分转换的八进制数值。即

$$[101,111]_2=[57]_8$$

验证: $[57]_8=5 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = 40 + 7 = [47]_{10}$

二进制数转换成十六进制数的方法是:整数部分从小数点向左数,每4位二进制数码为一组,最后不足4位补0,读出4位二进制数对应的十进制数值,就是整数部分转换的十六进制数;小数部分从小数点向右数,也是每4位二进制数码为一组,最后不足4位补0,读出4位二进制数



对应的十进制数值,就是小数部分转换的十六进制数值。即

$$[0010,1111]_2 = [2F]_{16}$$

验证: $[2F]_{16} = 2 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 32 + 15 = [47]_{10}$

各种计数制之间的对比值如表 1-1 所示。

表 1-1 几种进位计数制对照表

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

1.1.2 码制

当使用计算机进行某事件的处理时,首先必须把输入的特定信息转换成计算机所能接受的二进制数码,由此出现了编码、代码、码制等一系列需要学习的知识。

不同数码不仅可以表示不同数量的大小,而且还能用来表示不同的事物。用数码表示不同事物时,数码本身没有数量大小的含义,只是表示不同事物的代号而已,把这些数码称为代码。例如,运动员在参加比赛时,身上往往带有一个表明身份的编码,这些编码显然没有数量的含义,仅仅表示不同的运动员。

数字信息技术中为了便于记忆和处理,在编制代码时总要遵循一定的规则,这些规则就叫做码制。数字电路是一种处理离散信息的系统,这些离散的信息可能是十进制数、字符或其他特定信息,如电压、压力、温度及其他物理量。但是,数字系统只能识别和处理二进制数码,因此,各种数据要转换为二进制代码才能进行处理。

1. BCD 码

在数字系统的输入/输出中普遍采用十进制数,这样就产生了用 4 位二进制数表示一位十进制数的方法,这种用于表示十进制数的二进制代码称为二-十进制代码(Binary Coded Decimal, BCD 码)。

BCD 码除了具有以二进制数的形式来满足数字信息处理技术的要求外,又具有十进制的特点,即只有十种有效状态。在某些情况下,计算机也可以对这种形式的数直接进行运算。用 4 位



二进制数表示一位十进制数时,所编成的代码有 $2^4=16$ 种组合状态,而一位十进制数只有 $0\sim 9$ 的 10 个数码,因此,从 16 个数码中任选出 10 个组成表示十进制的代码,方案显然有很多种。表 1-2 所示为常用的几种 BCD 代码。

表 1-2 常用的几种 BCD 码

代码种类 十进制数	8421BCD 码	2421BCD 码	5421BCD 码	余 3 码
0	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0111
5	0101	1011	1000	1000
6	0110	1100	1001	1001
7	0111	1101	1010	1010
8	1000	1110	1011	1011
9	1001	1111	1100	1100
10	1010 非法	冗 余 码	冗 余 码	冗 余 码
11	1011 非法			
12	1100 非法			
13	1101 非法			
14	1110 非法			
15	1111 非法			
权	$2^3 2^2 2^1 2^0$	$2^1 2^2 2^1 2^0$	$2^{5/2} 2^2 2^1 2^0$	无权

从表 1-2 中可看出,8421BCD 码的位权从高位到低位分别为 8、4、2、1,是固定不变的,故 8421BCD 码也称为恒权代码,是有权码中用得最多的一种。

2421BCD 码和 5421BCD 码也都是有权码中的两种恒权码。其中 2421 码的特点是,码中的 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的编码互为反码(各位取反所得为反码)。

余 3 码是一种无权码,或者说属于一种变权码,余 3 码的每一位所表示的二进制数正好比对应 8421BCD 码所表示的二进制数多余 3,故而称为余 3 码。

以上 4 种 BCD 码的代码只对应十进制的 $0\sim 9$ 的数值,剩余编码为无效码,无效码也叫做冗余码。

2. 格雷码

格雷码(Gray code)又叫做循环二进制码或反射二进制码,与余 3 码一样属于无权码。格雷码采用绝对编码方式,典型格雷码是一种具有反射和循环特性的单步自补码,它的循环、单步特性消除了随机取数时出现重大误差的可能;它的反射、自补特性使得求反非常方便。格雷码属于可靠性编码,是一种错误最小化的编码方式,因为,自然二进制码可以直接由数/模转换器转换成模拟信号,但某些情况下,如十进制数 3 转换成 4 时,二进制码的每一位都要变,使数字电路产



生很大的尖峰电流脉冲,而格雷码则没有这一缺点。它是一种数字排序系统,其中的所有相邻整数在它们的数字表示中只有一位数字不同,它在任意两个相邻的数之间转换时,只有一个数位发生变化,因此大大地减少了由一个状态到下一个状态的逻辑混淆。格雷码有多种代码形式,最常用的4位循环格雷码如表1-3所示。

表 1-3 典型格雷码与十进制、二进制数码的比较

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

由表1-3可知,无论二进制数码还是格雷码,其相邻两个代码之间仅有一位不同,其余各位均相同。当电路按格雷码计数时,每次状态更新仅有一位代码发生变化,从而减少了出错的可能性。格雷码不仅相邻两个代码之间仅有一位的取值不同,而且首、尾两个代码也仅有一位不同,构成一个“循环”,故而也称为循环码。此外,格雷码还具有“反射性”,如0和15、1和14、2和13……7和8都只有一位不同,故而格雷码又称为反射码。格雷码是由贝尔实验室的Frank Gray在20世纪40年代提出的,用来在使用PCM传送信号时避免出错,并于1953年3月17日取得美国专利。格雷码的编码方式不是唯一的,这里讨论的是其中最常用的一种。

注:PCM是数字通信的编码方式之一。主要过程是将话音、图像等模拟信号每隔一定时间进行取样,使其离散化,同时将抽样值按分层单位四舍五入取整量化,同时将抽样值按一组二进制码来表示抽样脉冲的幅值。

3. 奇偶校验码

奇偶校验码是奇校验码和偶校验码的统称,是一种最基本的检错码。二进制信息在传送时,由于干扰,可能会发生1错成0或0错成1的问题,这种情况称为出现了“误码”。通常把如何发现传输中的错误,叫做“检错”。发现错误后,如何消除错误,叫做“纠错”。最简单的检错方法是“奇偶校验”,即在传送字符的各位之外,再传送1位奇/偶校验位,可采用奇校验或偶校验。表1-4列出了可以检验出信息错误的奇偶校验码的代码。



表 1-4

奇偶校验码

十进制数码	奇校验 8421BCD 码		偶校验 8421BCD 码	
	信 息 位	校 验 位	信 息 位	校 验 位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

在奇偶校验码中,一个代码包含两部分,一部分是需要传送信息本身的信息位,由 n 位二进制代码组成,另一部分是在 n 位长的二进制代码上增加一个二进制位作校验位,放在 n 位二进制代码的最高位之前或最低位之后,组成 $n+1$ 位的代码。这个校验位取 0 还是取 1 的原则是,若设定为奇校验,应使代码里含 1 的个数连同校验位的取值共有奇数个 1;若设定为偶校验,则 n 位信息连同校验位的取值使 1 的个数为偶数。奇偶校验广泛应用于主存储器信息的校验及字节传输的出错校验。奇偶校验的缺点是只能发现有无差错,而不能确定发生差错的具体位置,且当有偶数个二进制位发生错误时,不能发现错误,失去校验能力。

思考与问题

(1) 为什么说十进制数和二进制数之间的转换是各种数制之间转换的关键?

(2) 什么是代码? 代码是用哪种数制表示的?

(3) 完成下列数制的转换

① $(256)_{10} = (\quad)_2 = (\quad)_{16}$

② $(B7)_{16} = (\quad)_2 = (\quad)_{10}$

③ $(10110001)_2 = (\quad)_{16} = (\quad)_8$

(4) 将下列十进制数转换为等值的 8421BCD 码。

① 256

② 4096

③ 100.25

④ 0.024

1.2

逻辑代数的基本概念、常用公式和定理

1.2.1 逻辑代数的基本概念

1. 关于“逻辑”

“逻辑”是一种重要的思维工具,逻辑推理中的已知条件和结论都是可以判断真假的命题。例如,日常生活中会遇到很多结果完全对立而又互相依存的事件,一件事的“是”与“非”,某传言的“真”与“假”,电压的“高”和“低”,信号的“有”和“无”,开关的“通”和“断”,“工作”和“休息”,“灯亮”和“灯灭”等,这些事件的发生与结果之间总是遵循着一定的规律。灯之所



以“亮”，是因为灯与电源“接通”了，灯之所以“灭”，因为灯与电源之间是“断开”的。电源的接通和断开是原因，电灯的亮与灭是结果，客观世界事物的发展和变化通常都具有一定的因果关系。如果把电源接通用逻辑“1”表示，则电源断开就是逻辑“0”；灯亮用逻辑“1”，灯灭就是逻辑“0”。这种由二值变量所构成的因果关系即“逻辑”关系。

2. 正逻辑和负逻辑

在二值变量的逻辑关系中，如果把“是”、“真”、“高”、“有”、“通”用逻辑“1”表示，把“非”、“假”、“低”、“无”、“断”用逻辑“0”表示，就是“正逻辑”表示方法，反之为“负逻辑”。

数字信息技术中遇到的大量电信号都如图 1-3 所示，在两个稳定状态之间作阶跃式变化的电平信号或脉冲信号，因此数字信号的输入和输出关系实质上就是二值变量之间的逻辑关系。当把高电平和脉冲到来用“1”表示，把低电平和无脉冲用“0”表示时，就是“正逻辑”表示方式。本书中如无特别说明，均采用正逻辑。

3. 逻辑代数、逻辑变量和逻辑函数

由二值变量所构成的因果关系即“逻辑”关系，能够反映和处理逻辑关系的数学工具称为逻辑代数。逻辑代数是英国数学家格雷·布尔在 19 世纪中叶创立的，因此又被人们称作布尔代数。20 世纪 30 年代，美国人 Claude E. Shannon 把布尔代数运用于开关电路中，使之很快成为分析和综合开关电路的重要数学工具，从此人们又把逻辑代数称为开关代数。

逻辑代数和普通代数一样，也是用英文字母表示变量，由于逻辑变量取值只有“0”和“1”，没有第 3 种可能，因此叫做二值逻辑变量，二值逻辑变量要比普通代数变量简单得多。需要注意的是，逻辑变量取值的“0”和“1”，没有数值上大、小的含意，它们并不表示数字，所表示的是事物相互对立而又联系着的两个方面，即表示的是“状态”。

逻辑代数中，逻辑变量是因，逻辑函数是果，这种因果关系式即逻辑代数表达式。逻辑代数表达式中若把 A 和 B 作为逻辑变量，例如 $Y=F(A, B)$ ，则 Y 就是 A 和 B 的逻辑函数。在逻辑代数中，当输入逻辑变量 A、B 的取值确定之后，输出逻辑函数 Y 的值也就唯一地确定了。

1.2.2 三种基本的逻辑关系

在逻辑关系中，最基本的逻辑关系有 3 种，即“与”逻辑关系，“或”逻辑关系和“非”逻辑关系。

1. “与”逻辑

当某一事件发生的所有条件都满足时，事件必然发生，至少有一个条件不满足时，事件决不会发生。这种逻辑关系称为“与”逻辑，也叫做逻辑乘。

在图 1-4 中，当以灯亮做为事件发生的结果，以开关是否闭合做为事件发生的条件时，可以得到下面的结论：当有一个或一个以上的开关处于“断开”状态时，灯 F 就不会亮；只有所有的开关都处于“闭合”状态时，灯 F 才会亮。如果定义开关“闭合”为逻辑“1”，开关“断开”为逻辑“0”，灯“亮”为逻辑“1”，灯“灭”为逻辑“0”时，可得到如表 1-5 所示的开关和灯之间的逻辑对应关系，并把这种用表格形式列出的逻辑关系叫做真值表。

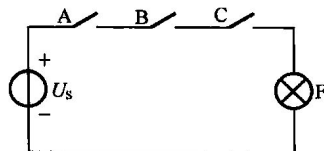


图 1-4 “与”逻辑关系