

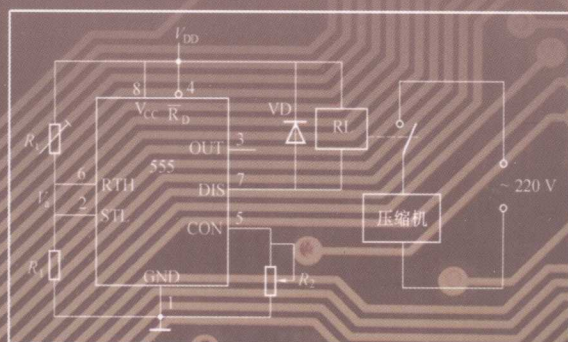
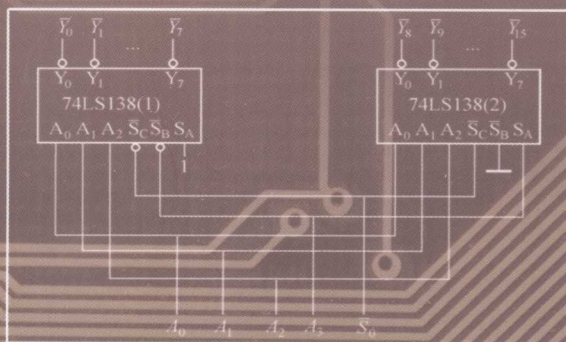


电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

数字电子技术

hu Zi
DianZi JiShu

主编 朱承高 崔葛瑾



哈尔滨工业大学出版社

电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

本书是“电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书”中的一本，主要介绍数字电子技术的基本概念、基本理论、基本电路、基本器件、基本应用等。本书可作为高等院校电气工程及其自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、自动化等专业及相关专业的教材，也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

数字电子技术

主编 朱承高 崔葛瑾

哈尔滨工业大学出版社

(哈尔滨市南岗区学府路50号 邮编150001)

内 容 简 介

本书重点介绍数字电子技术的主要知识及其应用技术。包括数制及数字逻辑基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、数字系统的设计、存储器及可编程逻辑器件、脉冲信号的产生和整形、数-模转换器和模-数转换器等7章,包含了数字电子技术的基本内容,在数字电子系统的构成与设计及集成器件的应用方面有所加强。

本书篇幅紧凑,内容丰富,文字简练,语言通顺,既可用于电类及非电类专业的工程实践教学,亦可供热爱电类专业的学生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/朱承高等主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.11

(电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书)

ISBN 978-7-5603-2505-7

I. 数… II. 朱… III. 数字电路-电子技术
IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 150932 号

责任编辑 王桂芝 贾学斌

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.25 字数 410 千字

版 次 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2505-7

定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

◎ 序

Foreword

随着经济全球化、产业国际竞争的加剧和电子信息科学技术的飞速发展,电气工程与电气信息科学技术领域的国际交流日益广泛,因此,对能够参与国际化工程项目的工程师的需求愈来愈迫切,这便对高等学校电气工程与电气信息科学技术领域专业人才的培养提出了更高的要求。

近些年,国家教育部对本科生教育提出了“厚基础、宽口径”的要求,使学生掌握了比较扎实的基础知识,拓宽了学生的就业方向 and 就业广度。但与此同时,也显露出刚毕业的大学生工程实践能力差、难以很快适应工作的问题,对于电类专业的学生来说,缺少工程教育的过程,很多工程实际操作、实用技术,因受学时限制,不能讲深、讲透,出现了“理论基础扎实、工程实践能力欠缺”的问题;而对于那些在校时只接触过类似“电工学”这样的电类基础课程,而工作后却从事电气领域相关工作的非电类专业人员来说,这种问题就显得更为突出。目前,教育部已经认识到并着手解决这方面的问题,开始在工科高等学校开展工程教育专业认证工作,积极推进工程教育改革,以提高学生的工程实践能力和创新能力,培养能够参与国际化工程项目的工程师,在实质等效性的要求下推进全球工程教育的交流。

为了更好地配合高等学校的工程教育改革,我们组织编写了《电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书》。该丛书侧重介绍当代电气工程与电气信息科学技术领域的主要知识和应用技术,重点讲述工程实践中的一些具体实例,以使这些学生能够尽快了解该领域内的新知识和新技术,领悟工程概念,提高工程实践能力,使其工作后能够尽快进入角色。该丛书的编写原则是理论上“以必须和够用为度”、“重点突出”;实例选择上“以工程实践为基础”、“实用性强”。

该丛书适合于电类专业的在校本科生,使其在拥有较扎实的理论基础上,加强工程实践教育,较快地了解和掌握工程实践中的一些实际应用技术;也适合于毕业后从事电气领域相关工作的非电类专业学生,使其能够通过该丛书系统地了解该领域的主要知识和实际应用技术,尽快进入工作角色。由于其简练的理论阐述和较强的实用特性,该丛书也可以作为高职高专类相关专业的教材。

该丛书作者队伍阵容强大,既有国内电工学教育界的知名学者,也有哈尔滨工业大学电气工程领域从事多年教学和科研工作的教授、博导。他们将近年来该领域的新成果和多年的教学、科研经验,融会于丛书中。相信该丛书必将对广大电气工程与电气信息科学技术人员和在校师生有较大的帮助。

中国高等学校电工学
研究会理事长

2008年6月

◎ 前言

Preface

本书是为电类及非电类专业的高年级学生提高工程实践创新能力编写的,也可供已经毕业参加工作的工程技术人员参考学习,可作为他们需要进一步学习数字电子技术的基础知识、了解现代数字电子技术的发展及从事一些相关的课题研究与设计时的参考。

考虑到本书的读者原来的电学基础是“电工学”,而且所学的数字电子技术部分的课时也不会很多,因而本书仍旧对一些经典的传统的基础知识做一些系统的介绍,并有所加深和扩展。另外把编写的注意力放在数字电子系统的构成和设计及新型数字电子器件的原理介绍,以拓宽知识面,使读者对数字电子技术具有更为完善、清晰的概念,并可在从事相关的研究设计工作时具有比较完整的扎实的基础。

由于篇幅有限,本书不可能像电类专业的数字电子技术教材那样对集成器件的原理、特性作详尽的分析,主要是从应用及功能的角度进行适当的加深,特别是在设计方面做了比较详细的介绍。另外,书中未介绍仿真软件的应用,因为仿真软件并不是本课程的主要内容,而且软件本身发展很快,版本不断更新,本书中亦不可能有更多的篇幅应用于此,权衡再三,还是把这些篇幅省下用以充实数字电子技术的主干内容,读者如需了解相关的仿真方法,可参阅有关的书籍及实验教材。

在本书的附录中编入了数字集成电路的产品系列及常用的数字集成电路的型号、名称、逻辑功能及外引线排列,一般情况下,所选列的这些器件已能满足教学及设计需要,如有不足则请读者查阅器件手册或上相关网站查找。

本书由朱承高、崔葛瑾两人共同编写,第1、2章及附录由朱承高负责,第3~7章由崔葛瑾负责,并请沈利芳协助录入及整理部分书稿,全书由朱承高负责统稿。本书的编写与出版得到了哈尔滨工业大学吴建强教授及哈尔滨工业大学出版社的支持与帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于我们是初次编写定位于工程教育需要的提高性教材,在选材、叙述及组稿方法上尚缺乏经验,另外,在编写中虽多次审校,但每次总能发现一些错误及不满意之处,尚请使用本书的读者不吝指正,使本书的质量进一步提高。

编 者

2008年10月

于上海交通大学

◎ 目录

Contents

第 1 章 数制及数字逻辑基础	1
1.1 数字的表示方法	1
1.1.1 常用的数制和数制转换	1
1.1.2 常用的编码	4
1.2 逻辑代数基础	8
1.2.1 基本逻辑运算	9
1.2.2 逻辑代数的基本公式和基本定理	12
1.2.3 逻辑函数的公式化简	14
1.2.4 逻辑函数的卡诺图化简	17
习 题	22
第 2 章 组合逻辑电路	25
2.1 TTL 逻辑门电路	25
2.1.1 TTL 与非门电路的工作原理	27
2.1.2 TTL 与非门电路的特性参数	28
2.1.3 其他类型的 TTL 门电路	31
2.1.4 各种 TTL 门电路系列	33
2.2 CMOS 逻辑门电路	36
2.2.1 MOS 管的开关特性	36
2.2.2 CMOS 反相器(非门)电路的工作原理	38
2.2.3 CMOS 反相器(非门)电路的特性参数	38
2.2.4 其他类型的 CMOS 门电路	40
2.2.5 各种 CMOS 电路系列	45
2.2.6 TTL 电路与 CMOS 电路的连接	46
2.3 组合逻辑电路的分析与设计	48
2.3.1 组合逻辑电路的分析	48
2.3.2 组合逻辑电路的设计	50
2.4 常用组合逻辑电路	52
2.4.1 加法器	52
2.4.2 编码器	54

2.4.3 译码器	57
2.4.4 数据选择器	62
2.4.5 数据分配器	66
2.4.6 数值比较器	67
2.5 组合逻辑电路中的竞争冒险	70
2.5.1 竞争冒险现象及其产生的原因	70
2.5.2 竞争冒险现象的判别	71
2.5.3 消除竞争冒险现象的方法	72
习 题	74
第3章 时序逻辑电路	80
3.1 双稳态触发器	80
3.1.1 基本触发器(直接触发方式)	81
3.1.2 同步触发器(电平触发方式)	83
3.1.3 脉冲触发器(边沿触发方式)	84
3.1.4 触发器激励功能转换	88
3.2 时序逻辑电路的分类和描述方法	90
3.2.1 时序逻辑电路的分类	90
3.2.2 时序逻辑电路的描述方法	91
3.3 时序逻辑电路的分析方法	92
3.3.1 同步时序电路分析举例	93
3.3.2 异步时序电路分析举例	95
3.4 常用集成时序逻辑器件	97
3.4.1 寄存器和锁存器	97
3.4.2 移位寄存器	98
3.4.3 计数器	99
习 题	105
第4章 数字系统设计	110
4.1 时序逻辑电路设计	110
4.1.1 同步时序逻辑电路基本设计方法	110
4.1.2 算法状态机 ASM 图设计	115
4.1.3 采用中规模集成功能部件设计时序逻辑电路	121
4.2 现代数字系统设计方法	125
4.2.1 交通信号灯控制系统设计	126
4.2.2 生理刺激反应时间简易测试仪设计	130
习 题	134

第 5 章 存储器及可编程逻辑器件	136
5.1 随机访问存储器(RAM)	136
5.1.1 随机访问存储器的基本结构	136
5.1.2 静态 RAM(SRAM)	138
5.1.3 动态 RAM(DRAM)	139
5.1.4 RAM 的扩展	140
5.2 可编程逻辑器件的基本概念	142
5.2.1 可编程逻辑器件简介	142
5.2.2 PLD 的逻辑符号	143
5.2.3 可编程逻辑器件的分类	145
5.3 只读存储器(ROM)	148
5.3.1 ROM 的基本结构	148
5.3.2 ROM 的应用举例	150
5.4 通用阵列逻辑(GAL)	152
5.4.1 GAL16V8 的电路结构	152
5.4.2 输出逻辑宏单元(OLMC)的结构与功能	154
5.4.3 GAL 的编程方法	156
5.4.4 GAL 的局限性	157
5.5 高密度可编程逻辑器件的原理和应用	157
5.5.1 复杂可编程逻辑器件(CPLD)的原理和特点	157
5.5.2 现场可编程门阵列(FPGA)的原理和特点	161
5.6 可编程逻辑器件的设计开发流程	170
习 题	173
第 6 章 脉冲信号的产生和整形	175
6.1 555 定时器	175
6.1.1 555 定时器的工作原理	175
6.1.2 555 定时器的应用举例	176
6.2 施密特触发器	177
6.2.1 用门电路构成的施密特触发器	177
6.2.2 用 555 定时器构成的施密特触发器	178
6.2.3 施密特触发器的应用	179
6.3 单稳态触发器	180
6.3.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器	180
6.3.2 用施密特触发器构成的单稳态触发器	182
6.3.3 集成可重复触发的单稳态触发器 4528	183

6.3.4 单稳态触发器的应用	184
6.4 多谐振荡器	185
6.4.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	186
6.4.2 用施密特触发器构成的多谐振荡器	187
6.4.3 用单稳态触发器构成的多谐振荡器	188
6.4.4 石英晶体振荡器	189
习 题	190
第 7 章 数 - 模转换器和模 - 数转换器	194
7.1 数 - 模转换器(DAC)	194
7.1.1 数 - 模转换的基本原理	194
7.1.2 常用数 - 模转换技术	195
7.1.3 数 - 模转换的主要技术参数	197
7.1.4 数 - 模转换器的典型应用	198
7.2 模 - 数转换器(ADC)	202
7.2.1 模 - 数转换的主要技术参数	202
7.2.2 常用模 - 数转换技术	203
7.2.3 8 位逐次比较模 - 数转换器 ADC0804 简介	215
7.2.4 A/D 转换的采样(SAMPLE)和保持(HOLD)	216
习 题	218
附录	222
附录 1 数字集成电路的产品系列	222
附录 2 常用数字集成电路的型号、逻辑功能及外引线排列	229
参考文献	248

第1章

数制及数字逻辑基础

数字电子技术是研究对数字信号进行信号转换及处理的课程。数字信号是一种以数码形式表示的电信号,它只有高电平和低电平两种状态,分别表示为“1”和“0”两个数字,代表事物的有、无,电路的通、断等不同的含义。当用数字信号来表示数量的大小时,显然仅靠1位是不够的,需要采用多位数字,并按照一定规则进行进位运算,这样就产生了数制。数制是进位计数制的简称,按进位规则的不同有不同种类的数制。

1.1 数字的表示方法

1.1.1 常用的数制和数制转换

1. 数制

在按不同的数制进行进位计数时,必须分清“基数”与“位权”两个概念。“基数”是指每种数制所用到的数码的个数,如十进制具有“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”等十个数码,基数是10,其进位的规则是“逢十进一”,故称为十进制。在数字电路中还常采用二进制、八进制和十六进制进行计数,它们的进位规则分别是“逢二进一”、“逢八进一”和“逢十六进一”,所包含的数码分别是“0、1”二个数码、“0、1、2、3、4、5、6、7”八个数码和“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F”十六个数码,也就是说它们的基数分别为2个、8个和16个。通常若某数制的基数为 R ,则其进位规则为“逢 R 进一”,并有 R 个数码。

“位权”是指一个数字在不同数位所代表的固定数值,不同数制的位权值是不同的,通常位权值是数制进位值的 n 次幂,即 R^n 。例如,十进制个位的位权值是 10^0 ,十位的位权值是 10^1 ,百位的位权值是 10^2 ;二进制最低位的位权值是 2^0 ,第4位的位权值是 2^3 ,第8位的位权值是 2^7 等。

根据上述数制的规则,任意一个数字 N 均可按其数制 R 展开为下列的多项式,即

$$(N)_R = (K_{n-1}R^{n-1} + K_{n-2}R^{n-2} + \cdots + K_1R^1 + K_0R^0 + K_{-1}R^{-1} + K_{-2}R^{-2} + \cdots + K_{-m}R^{-m})_R = \left(\sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \right)_R \quad (1.1)$$

式中 n 表示整数位的位数; m 表示小数位的位数; R 为数制的基数; K_i 表示某一位上的数码值,是一个整数,其数值范围为 $0 \leq K_i \leq R-1$ 。

例如,十进制数524.216可展开为

$$(524.216)_{10} = 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3}$$

又如,二进制数 1101.101 可展开为

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

再如,八进制数 123.4 可展开为

$$(123.4)_8 = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1}$$

同理,十六进制数 2A.8C 可展开为

$$(2A.8C)_{16} = 2 \times 16^1 + A \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + C \times 16^{-2}$$

在有些场合,数制的进位值 R (基数)不用数字表示,而用字符表示,“十”进制为 D(Decimal),“二”进制为 B(Binary),“八”进制为 O(Octal),“十六”进制为 H(Hexadecimal)。

十进制数与二进制、八进制、十六进制数的对照见表 1.1。

表 1.1 不同进制数的对照

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
00	00000	00	00	16	10000	20	10
01	00001	01	01	17	10001	21	11
02	00010	02	02	18	10010	22	12
03	00011	03	03	19	10011	23	13
04	00100	04	04	20	10100	24	14
05	00101	05	05	21	10101	25	15
06	00110	06	06	22	10110	26	16
07	00111	07	07	23	10111	27	17
08	01000	10	08	24	11000	30	18
09	01001	11	09	25	11001	31	19
10	01010	12	0A	26	11010	32	1A
11	01011	13	0B	27	11011	33	1B
12	01100	14	0C	28	11100	34	1C
13	01101	15	0D	29	11101	35	1D
14	01110	16	0E	30	11110	36	1E
15	01111	17	0F	31	11111	37	1F

2. 数制的转换

(1) 任意进制数转换为十进制数

按式(1.1)的展开式进行计算,可以很方便地把任意进制数转换成十进制数。例如,前述的二进制数 1101.101 展开后可得 $8 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0 + 0.125 = 13.625$,八进制数 123.4 展开后可得 $64 + 16 + 3 + 0.5 = 83.5$,十六进制数 2A.8C 展开后可得 $32 + 10 + 8/16 + 12/256 = 42.546875$ 。

(2) 十进制数转换为任意进制数

若需将十进制数转换为 R 进制数,则应先将其整数部分与小数部分分开,然后分别运算。

其整数部分采用除 R 取余法,小数部分采用乘 R 取整法。

【例 1.1】 将 $(27.6875)_{10}$ 转换为二进制数。

【解】 整数的转换

小数的转换

$\begin{array}{r} 2 \overline{) 27} \\ 2 \overline{) 13} \\ 2 \overline{) 6} \\ 2 \overline{) 3} \\ 2 \overline{) 1} \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{l} \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots K_0 \text{ 最低位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots K_1 \text{ 第 } 2 \text{ 位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 0 \cdots K_2 \text{ 第 } 3 \text{ 位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots K_3 \text{ 第 } 4 \text{ 位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots K_4 \text{ 最高位} \end{array}$	$\begin{array}{l} 0.6875 \times 2 = 1.375 \cdots \text{取 } 1 \cdots K_{-1} \text{ 最高位} \\ 0.375 \times 2 = 0.75 \cdots \text{取 } 0 \cdots K_{-2} \text{ 第 } 2 \text{ 位} \\ 0.75 \times 2 = 1.5 \cdots \text{取 } 1 \cdots K_{-3} \text{ 第 } 3 \text{ 位} \\ 0.5 \times 2 = 1.0 \cdots \text{取 } 1 \cdots K_{-4} \text{ 最低位} \end{array}$
--	--	--

所以 $(27.6875)_{10} = (K_4 K_3 K_2 K_1 K_0 . K_{-1} K_{-2} K_{-3} K_{-4})_2 = (11011.1011)_2$

【例 1.2】 将 $(127.8125)_{10}$ 转换为八进制数。

【解】 整数的转换

小数的转换

$\begin{array}{r} 8 \overline{) 127} \\ 8 \overline{) 15} \\ 8 \overline{) 1} \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{l} \cdots \cdots \text{余 } 7 \cdots K_0 \text{ 最低位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 7 \cdots K_1 \text{ 第 } 2 \text{ 位} \\ \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots K_2 \text{ 最高位} \end{array}$	$\begin{array}{l} 0.8125 \times 8 = 6.5 \cdots \text{取 } 6 \cdots K_{-1} \text{ 最高位} \\ 0.5 \times 8 = 4.0 \cdots \text{取 } 4 \cdots K_{-2} \text{ 最低位} \end{array}$
---	--	--

所以 $(127.8125)_{10} = (177.64)_8$

有时在小数转换时会出现位数过多,甚至有无限小数出现的情况,此时就需要给定小数位数或误差上限,超出位数的小数一概舍去。

【例 1.3】 将 $(0.905)_{10}$ 转换为二进制数,小数取 6 位。

【解】 $0.905 \times 2 = 1.81 \cdots$ 取 1 $\cdots K_{-1}$ 最高位

$0.81 \times 2 = 1.62 \cdots$ 取 1 $\cdots K_{-2}$ 第 2 位

$0.62 \times 2 = 1.24 \cdots$ 取 1 $\cdots K_{-3}$ 第 3 位

$0.24 \times 2 = 0.48 \cdots$ 取 0 $\cdots K_{-4}$ 第 4 位

$0.48 \times 2 = 0.96 \cdots$ 取 0 $\cdots K_{-5}$ 第 5 位

$0.96 \times 2 = 1.92 \cdots$ 取 1 $\cdots K_{-6}$ 第 6 位

转换后为 $(0.111001)_2 = (0.890625)_{10}$

其转换误差为 $0.890625 - 0.905 = -0.014375$,其绝对值小于 $2^{-6} = 0.015625$ 。

若要求其转换误差小于 1%,则还需增加一位。

(3) 二进制数与八进制、十六进制互换

二进制数转换为八进制或十六进制数时,可将二进制数序列中的整数部分从低位到高位按 3 位数(八进制)或 4 位数(十六进制)分组,小数部分则从高位到低位按 3 位数(八进制)或 4 位数(十六进制)分组,然后将每组二进制数用等值的八进制或十六进制数代入即可。

【例 1.4】 将 $(101011110.10110010)_2$ 转换为等值的八进制、十六进制数。

【解】 按 3 位分组转换为八进制数,即

101	011	110	101	100	100	← 不足 3 位时,增加低位位数补足 3 位
↓	↓	↓	↓	↓	↓	
5	3	6	5	4	4	

所以 $(101011110.10110010)_2 = (536.544)_8$

按 4 位分组转换为十六进制数,即

不足 4 位时,增加高位位数补足 4 位 $\rightarrow 0001, 0101, 1110. 1011, 0010$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 1 5 E B 2

所以 $(101011110.10110010)_2 = (15E.B2)_{16}$

八进制或十六进制数转换为二进制数时,只要将每一位八进制或十六进制数用等值的二进制数代入即可。

【例 1.5】 将 $(57.43)_8$ 转换为二进制数。

【解】 $5 \quad 7. \quad 4 \quad 3$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 101 111. 100 011

所以 $(57.43)_8 = (101 \ 111.100 \ 011)_2$

【例 1.6】 将 $(18F.C28)_{16}$ 转换为二进制数。

【解】 $1 \quad 8 \quad F. \quad C \quad 2 \quad 8$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$

高位的 0 可以舍去 $\rightarrow 0001 \ 1000 \ 1111. \ 1100 \ 0010 \ 1000 \leftarrow$ 低位的 0 可以舍去

所以 $(18F.C28)_{16} = (110001111. \ 110000101)_2$

1.1.2 常用的编码

1. 码制

(1) 原码

二进制数中为了区别数字的正值与负值,通常在二进制数的前面加上一位符号位,符号位为“0”表示后面的数是正数,符号位为“1”表示后面的数字是负数,这种形式的二进制数为原码。例如 +1011 的原码为 01011, -1011 的原码为 11011,其中最高位为符号位,后面 4 位为数字位。

(2) 反码

二进制数的正数反码与原码相同,负数反码则是将原码的数值按位求反,而符号位的表示方法与原码相同,例如 +1011 的反码亦为 01011,而 -1011 的反码为 10100,其中“0100”为对“1011”求反而得到的,若一个二进制数的原码用 $(N)_{\text{原}}$ 表示,则反码用 $(N)_{\text{反}}$ 表示。

(3) 补码

二进制数的正数补码与原码相同,负数补码为其反码加 1,而符号位的表示方法与原码相同,例如 +1011 的补码亦为 01011,而 -1011 的补码为 $10100 + 1 = 10101$,式中前面的 10100 为 -1011 的反码。

引入补码的目的是为了实现将二进制数的减法运算转化为加法运算。当两数相减时,首先把两个二进制数转化为补码,其中减数为负值。然后将两数的补码相加,并将相加后最高位产生的进位“1”舍去,就得到相减的结果。

【例 1.7】 求 $(1101)_2 - (0101)_2$ 的数值。

【解】 将两数用补码表示: $1101 \rightarrow 01101$ (加符号位)

$-0101 \rightarrow 11010 + 1 = 11011$ (加符号位,反码加1)

补码相加,即

$$\begin{array}{r} 01101 \\ + 11011 \quad (\text{按位相加,逢2进1}) \\ \hline \end{array}$$

“1”01000 $\leftarrow$ 舍去最高位进位“1”得“01000”

即 $(1101)_2 - (0101)_2 = (+1000)_2$

2. 十进制编码

一般常用十进制计数,而数字设备及计算机均采用二进制数,在对十进制数进行处理时必须用二进制数构成的代码来表示十进制数码。由于十进制数共有10个数码,就必须用4位二进制数构成的数组来表示,4位二进制数共有16种组合,其中仅有10种组合被认为是有效的,其余6种组合则是无效的,或赋予了其他的含义。

4位二进制数的编码方法有多种,一般分为有权码和无权码两种:有权码是指每一位二进制数都有固定位权,4位二进制数可直接转换成十进制数;无权码则是每一位二进制数无固定位权,按其他规则来表示十进制数。

(1) 8421 码

8421 码又称 BCD 码(Binary Coded Decimal),是十进制编码中最常见的,它是利用二进制数码来代表十进制数的编码方式,也称为二-十进制码。8421 码是一种有权码,从高位到低位的位权为 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 ,即 8、4、2、1,其位权是固定不变的。

(2) 5421 码

5421 码是一种有权码,从高位到低位的位权为 5、4、2、1。

(3) 2421 码

2421 码是一种有权码,从高位到低位的位权为 2、4、2、1。其特点是 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码,这样在求取补码时比较方便;另外,在编码计数过程中不会出现数值超过 9 的无效编码。

(4) 余 3 码

余 3 码是一种无权码,它是把每一个十进制的 8421 码加上固定的数值 3(0011)构成的,例如十进制数 6 的 8421 码为 0110,其余 3 码为 $0110 + 0011 = 1001$ 。

在表 1.2 中列出了几种十进制数的编码,从表 1.2 中可以看出,余 3 码中 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 也互为反码,这一特点和 2421 码相似。

表 1.2 常见的十进制数的编码

十进制数	8421 码	5421 码	2421 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

续表 1.2

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余 3 码
5	0101	1000	1011	1000
6	0110	1001	1100	1001
7	0111	1010	1101	1010
8	1000	1011	1110	1011
9	1001	1100	1111	1100

3. 格雷码

格雷码又称循环码,是一种无权码,其特点是任意两个相邻数的代码之间仅有一位不同,即在相邻数值变换时,仅有一位代码发生变化,这就最大程度地减小了有多位代码发生变化时,因各位变化时间上的差异所造成的误动作。例如,当十进制数 3 增加为 4 时,若采用 8421 码,则其代码将由 0011 转换为 0100,三位应同时发生变化,如果最右面一位变化较慢,则会出现 0101 的情况,虽然时间极短,也足以造成系统的误动作或产生过渡噪声,所以格雷码是一种高可靠的编码方式,主要用在检测旋转角度的码盘及测量直线移动距离的传感器中,当码盘转过最小转角或标尺移过最小距离时,所发出的代码仅有一位发生变化,图 1.1 所示为 4 位格雷码接触式码盘及接线示意图,由于接触式码盘的可靠性低,目前大都已采用光电式码盘。

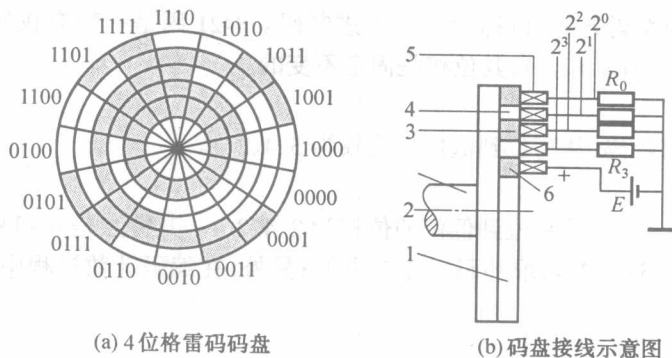


图 1.1 4 位格雷码接触式码盘

1—码盘;2—转轴;3—导体;4—绝缘体;5—电刷;6—公共轨

格雷码的另外一个特点是它的循环性,即在确定的位数范围内,每一位的状态变化均按一定顺序循环,这在格雷码码盘中可以看到。格雷码与十进制数、二进制码的对照见表 1.3,从表中可以看出每一组编码有一条中线,十进制格雷码的中值线位于 4、5 之间,二进制格雷码的中值线位于 0100(7)与 1100(8)之间,中值线上部的最高位为 0,下部的最高位为 1,其余数值的代码则是对中值线对称。

表 1.3 格雷码与十进制数、二进制码的对照

十进制数	十进制格雷码	二进制码	二进制格雷码
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0011	0010	0011

续表 1.3

十进制数	十进制格雷码	二进制码	二进制格雷码
3	0010	0011	0010
4	0110	0100	0110
5	1110	0101	0111
6	1010	0110	0101
7	1011	0111	0100
8	1001	1000	1100
9	1000	1001	1101
10		1010	1111
11		1011	1110
12		1100	1010
13		1101	1011
14		1110	1001
15		1111	1000

(1)字符编码

在数字系统中,还需要把符号、文字等用二进制数码表示,这样的二进制数码称为字符代码。目前国际上通用的字符标准代码是由美国国家标准化协会制定的 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange),它已被国际标准化组织(ISO)认定为国际通用的标准代码。

ASCII 码是一组 7 位二进制代码($b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$),共 128 个,其中包括十进制数 10 个,大写和小写英文字母各 26 个,各种符号 32 个,控制操作码 34 个。ASCII 码的编码表见表 1.4,控制操作码的含义见表 1.5。

表 1.4 ASCII 码编码表

$b_6b_5b_4$ $b_3b_2b_1b_0$	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
0001	SOM	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w

续表 1.4

b_5b_4 $b_3b_2b_1b_0$	000	001	010	011	100	101	110	111
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VF	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	!
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
1111	SI	US	/	?	O	↓	o	DEL

表 1.5 控制操作码的含义

字 符	含 义	字 符	含 义
NUL	空,无效	DLE	数据键换码
SOH	标题开始	DC1	设备控制 1
STX	正文开始	DC2	设备控制 2
ETX	文本结束	DC3	设备控制 3
EOT	传输结束	DC4	设备控制 4
ENQ	询 问	NAK	否 定
ACK	承 认	SYN	空转同步
BEL	报警符(可听见的信号)	ETB	信息组传输结束
BS	退一格	CAN	作 废
HT	横向制表	EM	媒体结束
LF	换 行	SUB	代替、置换
VT	垂直制表	ESC	换 码
FF	换 页	FS	文字分隔符
CR	回 车	GS	组分分隔符
SO	移 出	RS	记录分隔符
SI	移 入	US	单元分隔符
SP	空间(空格)	DEL	删 除

1.2 逻辑代数基础

“逻辑”是指事物发展的因果关系,推断只有两种对立状态的逻辑关系称为二值逻辑,例如电路的通断与电灯的亮暗之间所存在的因果关系。可以用数学方法根据现实的条件来推断实际的因果关系,这种推断过程称为逻辑运算,进行逻辑运算时所使用的数学工具就是逻辑代数,又称为布尔代数。