



普通高等教育“十二五”规划教材

数字逻辑与数字系统

(第二版)

沙丽杰 主编

王玲玲 沈春华 李超 万珊珊 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

数字逻辑与数字系统

(第二版)

主 编 沙丽杰
副主编 王玲玲 沈春华 李 超 万珊珊
编 写 徐洪霞 刘兆伟
主 审 张粉玉



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书共分9章, 主要内容包括数字电路基础、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、可编程逻辑器件、数字系统分析与设计、硬件描述语言 VHDL 等。全书系统地介绍了数字逻辑电路的基本概念、基本分析与设计方法, 侧重基本概念、基本方法与实际应用的讲述, 本着“厚基础、宽专业、重能力”的编写方针, 注重理论教学与实践教学相结合, 力图反映数字逻辑电路中的新技术、新理念, 以适应数字电路技术快速发展的需要。

本书可作为高等院校计算机、自动化和电气信息类相关专业教学用书, 还可作为从事电子技术工作的在职工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字逻辑与数字系统/沙丽杰主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2013. 12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4857 - 8

I. ①数… II. ①沙… III. ①数字逻辑—高等学校—教材
②数字系统—高等学校—教材 IV. ①TP302. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 203458 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 6 月第一版

2013 年 12 月第二版 2013 年 12 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 285 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

数字逻辑与数字系统是电子信息类专业必修的基础课，主要介绍数字逻辑的基础知识及数字系统分析和设计的基本理论和方法。

随着信息技术的快速发展，电子技术面临着严峻的挑战。其设计方法从经典的手工设计到电子设计自动化（EDA），使得硬件电路的设计可以通过计算机来完成，大大缩短了产品的研发周期，提高竞争力。因此，电子信息类专业的学生掌握这门新技术是十分必要的。

本书第二版中对第一版的部分内容作了修改和优化。参加本书编写的都是多年从事该课程教学的教师，有着丰富的教学经验及科研体会。通过对原书的增删、取舍，力求新版本更适合人才培养目标的要求。

本书的参考学时为 60 学时，使用本书的院校可根据自己的教学要求灵活安排教学内容。为方便读者学习，每章还附有小结与练习题。考虑到各校配合教学使用的实验系统会不断的更新，故将原 10 章内容删除。各校可根据实际使用的实验系统编辑小册子来满足实验教学的需要。

本书后面所附的常用逻辑符号对照表，有关触发器部分列出了国外流行符号、国标符号和本书使用符号。本书使用符号这部分是作者参考国外符号和国标符号，本着简捷、合理的原则综合以上两种符号而产生的，希望能更清楚、准确地表达触发器这种元件的输入/输出关系。

本书由烟台大学老师编写，沙丽杰担任主编，王玲玲、沈春华、李超、万珊珊担任副主编，徐洪霞、刘兆伟参与了编写。

本书由烟台大学张粉玉教授担任主审。同时，在本书编写过程中，参考了相关专家、学者的文献资料。在此一并致谢。

本书如有错误及不足之处希望读者给予批评指正。

编 者

2013 年 9 月

第一版前言

近年来，随着电子技术的快速发展，出现了很多新的分析、设计方法和大量新的器件，这对数字逻辑电路课程的教学提出了新的要求。本书的编写原则是在保证理论完整的基础上，注重基础性、实用性和新颖性，重点讲述数字逻辑电路基本的分析方法和设计方法，侧重数字集成电路的逻辑功能和应用，简化对数字集成门电路内部结构的分析，简化各种可编程器件的内部结构。在编写过程中，力求做到深入浅出、思路清晰、重点突出，反映数字电路技术的新技术、新理念。

教材编写的出发点是面向应用型本科学生，着力培养学生的学习能力、实践能力、创新能力，增强学生在未来人才市场上的竞争力。强调基本知识的覆盖面，降低知识点的深度和广度，便于学生课后复习或自学。本教材包含了与课程相结合的实验及课程设计的内容，在实践环节上，采用最新技术的可编程器件，用 VHDL 硬件描述语言进行数字电路设计，使学生在掌握新技术巩固理论知识的同时，动手能力、综合能力也得到相应的提高。

本书共分 10 章，总授课大约为 60 学时。

第 1 章介绍数字电路的基础知识，数字系统所使用的数制，数制之间的转换方法，常见的可靠性编码等。

第 2 章讨论逻辑代数的基本概念、公式和定理、逻辑函数的描述方法和化简方法等。

第 3 章从使用分立元件门电路的角度出发，介绍了 TTL 和 CMOS 集成电路的内部结构、工作原理和特性参数。

第 4 章的主要内容是组合逻辑电路的分析与设计方法、MSI 组合电路模块的功能及应用，包括加法器、编码器、译码器、比较器和数据分配器等。

第 5 章介绍时序电路的基本组成部件——触发器，基本 SR 触发器电路结构、原理，同步触发器、主从触发器、边沿触发器的电路结构、原理和特性。

第 6 章介绍时序逻辑电路的分析与设计方法，寄存器、移位寄存器、计数器等常用时序电路的工作原理、电路结构及应用。

第 7 章主要讲述可编程逻辑器件 PROM、PLA、PAL、GAL、FPGA 和 CPLD 的基本结构及应用。

第 8 章介绍数字系统的分析和设计方法，给出 ASM 图描述数字系统的方法以及数字系统设计实例。

第 9 章介绍硬件描述语言 VHDL 的基本结构、基本语句和常用逻辑电路设计实例。

第 10 章介绍 MAX plus II 软件开发环境下设计逻辑电路的方法与步骤，并列出了参考实验题目和课程设计题目。

参加本书各章编写的人员有沙丽杰（第1、6、7章）、万珊珊（第3、4章）、王玲玲（第2、8章）、沈春华（第9、10章）、李超（第5章）。

本教材由烟台大学张粉玉教授主审。张粉玉教授多年来从事本门课程教学及相关课程教学，有着丰富的教学和实践经验，对此书提出许多宝贵意见，在此致以衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免存在不妥和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年5月

目 录

前言	
第一版前言	
第 1 章 数字电路基础	1
1.1 数字电路概述	1
1.2 数制	1
1.2.1 进位计数制	1
1.2.2 十进制	2
1.2.3 二进制	2
1.2.4 十六进制	2
1.2.5 任意进制数转换为十进制数	3
1.2.6 十进制转换为其他进制数	3
1.3 数和字符的编码	4
1.3.1 二进制编码	4
1.3.2 二—十进制编码	5
1.3.3 字符编码	6
小结	7
习题	7
第 2 章 逻辑代数基础	9
2.1 逻辑代数的基本知识	9
2.1.1 逻辑代数的基本运算	9
2.1.2 逻辑代数的基本定律	11
2.1.3 逻辑代数的基本规则	12
2.2 逻辑函数及其描述方法	13
2.2.1 逻辑函数	13
2.2.2 逻辑函数的表示方法	14
2.2.3 逻辑函数的标准形式	15
2.3 逻辑函数的化简	17
2.3.1 公式化简法	17
2.3.2 卡诺图化简法	18
2.4 具有无关项的逻辑函数及其化简	23
2.4.1 逻辑函数中的无关项	23
2.4.2 无关项在逻辑函数化简中的应用	24
小结	25
习题	25

第3章 逻辑门电路	28
3.1 概述	28
3.2 分立元件逻辑门电路	28
3.2.1 二极管与门电路	28
3.2.2 二极管或门电路	29
3.2.3 非门	30
3.3 TTL集成门电路	31
3.3.1 TTL与非门	32
3.3.2 TTL门的外部特性和主要参数	33
3.3.3 集电极开路门	34
3.3.4 三态门	35
3.4 CMOS门电路	37
3.4.1 CMOS反相器	37
3.4.2 传输门	37
3.5 集成门电路使用中应注意的问题	38
3.5.1 TTL逻辑电路的使用	38
3.5.2 CMOS电路的操作保护措施	39
3.5.3 CMOS与TTL电路接口	40
小结	41
习题	41
第4章 组合逻辑电路	44
4.1 概述	44
4.2 组合逻辑电路分析	44
4.3 组合逻辑电路设计	46
4.3.1 设计步骤	46
4.3.2 逻辑问题的描述	46
4.3.3 逻辑函数的变换	48
4.3.4 多输出函数的逻辑设计	50
4.3.5 利用任意项的逻辑设计	52
4.4 组合逻辑中的竞争冒险	54
4.4.1 竞争冒险的产生	54
4.4.2 竞争冒险的消除	55
4.5 加法器	57
4.5.1 1位加法器	57
4.5.2 多位加法器	58
4.5.3 加法器应用	59
4.6 数值比较器	60
4.6.1 1位数值比较器	60
4.6.2 4位数值比较器	61

4.6.3	集成比较器的应用	62
4.7	编码器和译码器	63
4.7.1	编码器	63
4.7.2	译码器	66
4.8	数据选择器与数据分配器	71
4.8.1	数据选择器	71
4.8.2	数据分配器	73
4.9	奇偶校验器	74
	小结	76
	习题	77
第5章	触发器	80
5.1	概述	80
5.2	基本SR触发器	81
5.2.1	用与非门构成的基本SR触发器	81
5.2.2	用或非门构成的基本SR触发器	83
5.3	钟控触发器	84
5.3.1	钟控SR触发器	84
5.3.2	钟控D触发器	85
5.4	主从触发器	87
5.4.1	主从D触发器	87
5.4.2	主从JK触发器	88
5.5	边沿触发器	90
5.5.1	负边沿JK触发器	90
5.5.2	维持—阻塞D触发器	91
5.5.3	T触发器	94
5.6	集成触发器的参数	95
	小结	95
	习题	96
第6章	时序逻辑电路	99
6.1	概述	99
6.1.1	时序逻辑电路的描述	99
6.1.2	时序逻辑电路功能的表示方法	99
6.2	时序逻辑电路分析	100
6.3	寄存器、锁存器和移位寄存器	104
6.3.1	寄存器	104
6.3.2	锁存器	104
6.3.3	移位寄存器	105
6.4	计数器	107
6.4.1	计数器的分类	107

6.4.2	同步计数器	107
6.4.3	异步计数器	110
6.4.4	中规模集成计数器	112
6.5	计数器的应用	117
6.6	同步时序电路设计	119
	小结	124
	习题	124
第7章	可编程逻辑器件	128
7.1	存储逻辑	128
7.1.1	随机存储器	128
7.1.2	只读存储器	129
7.2	可编程逻辑器件	130
7.3	PLD的基本概念	133
7.3.1	PLD的表示方法	133
7.3.2	PLD的基本结构	134
7.4	PLD应用	138
7.4.1	PROM应用	138
7.4.2	PLA应用	139
	小结	141
	习题	142
第8章	数字系统分析与设计	143
8.1	数字系统的基本概念	143
8.2	数字系统的设计方法	144
8.3	数字系统设计的一般过程	144
8.4	数字系统的算法描述	145
8.4.1	ASM图符号	145
8.4.2	ASM图含义	146
8.4.3	ASM图的建立	147
8.5	数字系统设计实例	148
8.5.1	设计步骤	148
8.5.2	数字系统设计举例	148
	小结	153
	习题	154
第9章	硬件描述语言 VHDL	155
9.1	VHDL设计描述的基本结构	155
9.2	VHDL的语言元素	157
9.2.1	标识符	157
9.2.2	VHDL数据对象	158
9.2.3	VHDL的数据类型	159

9.2.4 运算符与操作符	160
9.3 VHDL 的基本描述语句	161
9.3.1 顺序描述语句	161
9.3.2 并发描述语句	168
9.4 VHDL 结构体的三种描述方式	171
9.4.1 数据流描述方式	171
9.4.2 结构描述方式	171
9.4.3 行为描述方式	172
9.5 有限状态机设计	173
9.5.1 有限状态机概述	173
9.5.2 有限状态机设计	174
小结	178
习题	178
附录 常用逻辑符号对照表	179
参考文献	180

第1章 数字电路基础

数字电子技术在现代电子设备，如计算机、通信、控制系统以及家用电器中得到广泛应用。本章简单介绍数字电路的基本概念，重点讨论数字系统中所使用的数制、不同数制之间的转换方法以及数字系统中常用的编码及其特点。

1.1 数字电路概述

自然界中，在时间和数值上连续变化的物理量称为模拟量，例如温度、压力、速度等物理量，具有连续变化的特点，在一定范围内可以取任意实数值，如图 1.1 所示。把表示模拟量的信号称为模拟信号，处理模拟信号的电路称为模拟电路。而在时间和数值上离散变化的物理量称为数字量，它们的大小以及每次增减变化都是某个最小单位的整倍数。例如以 t （吨）为最小单位的产量，显然只能以 t 为单位增加或减少；班级的人数，只能取某一区间特定的整数值。把表示数字量的信号称为数字信号，对数字信号进行传输、处理的电路称为数字电路。

在数字电路中，一般只采用 0 和 1 两种数值所组成的数字信号，这类信号中的数值 1 或 0 可以用电平的高或低来表示，如图 1.2 所示。图 1.2 中，每个 1 和 0 的持续时间都是 Δt ，称为 1 位或者 1 拍。

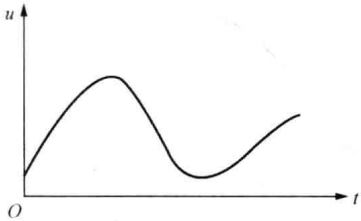


图 1.1 模拟信号

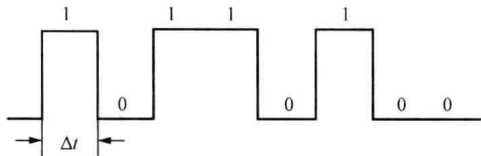


图 1.2 数字信号

1.2 数制

数制即计数体制，它是按照一定规律表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数制是十进制，数字电路中最常用的计数制是二进制。

1.2.1 进位计数制

用数字量表示物理量的大小时，仅用一位数码往往不够，因此经常需要用多位数码按先后次序把它们排成数位，由低到高进行计数，计满后进位，这就产生了进位计数制。进位计数制是人们对数量计数规律的总结。任何一种进位计数制都包含着基数和位权两个特征。

1. 基数

基数是指数制中所采用的数字符号的个数，基数为 R 的数制称为 R 进制。 R 进制使用

0~R-1 共 R 个数字符号来表示数的大小。

2. 位权

位权是指进位计数制中不同数位上的数值,如十进制的个位、十位、百位或十分位、百分位等。一个数码在某进制数中处于不同数位时,它所代表的数值不同。例如十进制数 345, 3 在百位上, 4 在十位上, 5 在个位上, 所以 100、10、1 称为十进制数的位权值。

进位计数规律是“逢 R 进一”。一个 R 进制数 N 可表示为位置计数法

$$(N)_R = (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_R \quad (1.1)$$

或位权展开法

$$\begin{aligned} (N)_R &= (K_{n-1}R^{n-1} + K_{n-2}R^{n-2} \cdots + K_1R^1 + K_0R^0 + K_{-1}R^{-1} \cdots + K_{-m}R^{-m})_R \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \end{aligned} \quad (1.2)$$

式中 R——基数;

K_i ——0~R-1 中 R 个数中的任何一个数字符号;

m、n——正整数, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数;

R^i ——该位的权值, 逢 R 进一。当 R 为 2、10、16 时, 便得到相应的二进制、十进制、十六进制进位计数制。

1.2.2 十进制

十进制的基数为 10, 使用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数字符号, 逢十进一。一个十进制数可以表示成

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i \quad (1.3)$$

【例 1.1】 将十进制数 309.51 写成位权展开式。

解 $(309.51)_{10} = 3 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$

1.2.3 二进制

在数字系统中, 为了便于工程实现, 广泛采用二进制。这是因为二进制表示数的每一位只取 0 或 1 两种数码, 因而可以用具有两个不同稳定状态的电子元件来表示。它的运算规则简单, 且 0、1 与逻辑命题中的真假相对应, 为计算机中实现逻辑运算和逻辑判断提供了有利条件。

二进制的基数为 2, 逢二进一。一个二进制数可以表示成

$$(N)_2 = (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_2 \quad (1.4)$$

或

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 2^i \quad (1.5)$$

【例 1.2】 将二进制数 1001.11 写成位权表示的形式。

解 $(1001.11)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

1.2.4 十六进制

二进制计数制, 对数字的运算、存储和传输极为方便, 但是书写很不方便。因此人们经常用十六进制数来进行书写或打印。

十六进制数的基数是 16, 它有 16 个符号, 除了 0~9 之外, 还需补充 6 个符号。它们是

A (代表 10), B (代表 11), C (代表 12), D (代表 13), E (代表 14), F (代表 15)。

由于 $2^4=16$, 所以 1 位十六进制数所能表示的数值, 正好和 4 位二进制数对应。

根据上述特点, 二进制-十六进制之间可以很方便地相互转换。二进制转换为十六进制数时是以小数点为界, 分别往左、右每 4 位为一组, 最后不足 4 位时用 0 补充 (整数部分左侧补 0, 小数部分右侧补 0), 然后写出每组对应的十六进制数码, 即为对应的十六进制数。

【例 1.3】 将 $(10\ 101.101\ 111\ 0)_2$ 转换为十六进制数。

解 $(10\ 101.101\ 111\ 0)_2 = \underline{0001}\ \underline{0101}.\ \underline{1011}\ \underline{1100} = (15.\ BC)_{16}$

而十六进制转换为二进制, 只要将各位十六进制数变成对应的二进制表示即可。

【例 1.4】 将 $(FA5.47)_{16}$ 转换为二进制数。

解 $(FA5.47)_{16} = (\underline{1111}\ \underline{1010}\ \underline{0101}.\ \underline{0100}\ \underline{0111})_2$

表 1.1 给出了十进制、二进制与十六进制数的对应关系。

表 1.1 十进制、二进制与十六进制数对应关系表

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

1.2.5 任意进制数转换为十进制数

将一个任意进制数转换为十进制数时可采用位权展开法。即将 R 进制数按位权展开, 求出各位数值之和, 即可得到相应的十进制数。

【例 1.5】 将 $(10\ 101.101)_2$ 、 $(307.2)_8$ 、 $(1A5.4)_{16}$ 转换为十进制数。

解 $(10\ 101.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3}$

$$= 16 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125 = 21.625$$

$$(307.2)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1}$$

$$= 192 + 7 + 0.25 = 199.25$$

$$(1A5.4)_{16} = 1 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 5 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1}$$

$$= 256 + 160 + 5 + 0.25 = 421.25$$

1.2.6 十进制转换为其他进制数

十进制数转换为其他进制数时, 整数部分和小数部分要分别转换。整数部分采用除基取余法, 小数部分采用乘基取整法。这里只介绍十进制数转换为二进制数的方法。因为二进制的基数是 2, 因此整数部分采用除 2 取余法, 小数部分采用乘 2 取整法。十进制转换为其他

进制时,可参照此法类推。

除 2 取余法是将十进制整数 N 除以 2, 取余数为 k_0 , 再将所得商除以 2, 取得余数为 k_1 , \dots , 依次类推, 反复将每次得到的商除以 2, 直至商为 0, 取余数 k_{n-1} 为止, 即得与 N 对应的二进制数 $(k_{n-1}\dots k_2 k_1 k_0)_2$ 。

【例 1.6】 将 41 转换为二进制数。

解	2	41	
	2	20	……余 1 (k_0)
	2	10	……余 0 (k_1)
	2	5	……余 0 (k_2)
	2	2	……余 1 (k_3)
	2	1	……余 0 (k_4)
	0	0	……余 1 (k_5)

↑ 低位

↓ 高位

求得 $(41)_{10} = (101001)_2$

乘 2 取整法是将十进制小数 M 乘以基数 2, 取整数为 k_{-1} , 再将其所得乘积的小数部分乘以 2, 取得整数为 k_{-2} , \dots , 依次类推, 直至乘积的小数部分为 0, 或达到要求的精度为止, 即得与 M 对应的二进制小数 $(k_{-1}k_{-2}\dots k_{-m})_2$ 。

【例 1.7】 将 0.89、0.625 转换为二进制数。

解	0.89	0.625	
	× 2	× 2	
	(1).78	(1).250	……取整 1 (k_{-1})
	× 2	× 2	↓ 高位
	(1).56	(0).50	……取整 0 (k_{-2})
	× 2	× 2	↓ 低位
	(1).12	(1).0	……取整 1 (k_{-3})
	× 2		
	(0).24		

求得 $(0.89)_{10} = (0.1110)_2$, $(0.625)_{10} = (0.101)_2$

1.3 数和字符的编码

数字系统中的数码有两种, 一种是表示数量大小的数字符号, 如十进制数 0~9, 这类数码用来表示数值; 还有一种表示不同事物或代号的数码, 这种数码称为代码。例如电话号码、字符编码等。在数字系统或计算机中是用多位二进制码按一定规律来表示某种信息的。因为二进制码只有 0 和 1 两个数字, 电路实现起来容易。

1.3.1 二进制编码

用二进制对信息编码, 称为二进制编码。一般来说, 若所需编码的信息有 N 项, 则需要使用的二进制代码的位数 n 应满足如下关系:

$$2^{n-1} < N \leq 2^n$$

每一个具有 n 位的二进制码称为一个码字, 给 N 项信息中的每个信息指定一个具体的码字, 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。自然二进制码是一种有权码，其中每一位代码都有固定的权值，各信息位的权值为 2^i (i 是码元位序， $i=0, 1, \dots, n-1$)。例如 4 位二进制数，它各位的权值依次为：8、4、2、1。

2. 循环码

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，仅有一位不同，其它位则相同。因此循环码又叫单位距离码。循环码的编码方法不是唯一的，4 位循环码就有许多种，表 1.2 中所示的是最基本的一种。

表 1.2 4 位二进制码与循环码编码表

十进制数	二进制码	循环码	十进制数	二进制码	循环码
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。

1.3.2 二—十进制编码

在数字系统内部，大多数使用二进制数，但在某些需要显示数字的地方，如数字显示式钟表、仪器等，需要使用十进制数。为使数字系统能处理十进制数，必须把十进制的各个数码用二进制代码的形式表示出来，即用二进制代码对十进制数进行编码，简称 BCD (Binary Coded Decimal) 码。这种编码既具有二进制数的形式，又具有十进制数的特点。

十进制数有 0~9 共 10 个数码，表示 1 位十进制数，需用 4 位二进制代码来表示。但 4 位二进制数可以产生 $2^4=16$ 种组合，用 4 位二进制数表示 1 位十进制数，有 6 种组合是多余的。

二—十进制编码有多种不同的方案，表 1.3 列出了目前常用的几种 BCD 码。有 8421BCD 码、余 3 码、格雷码等，后两种没有固定的权，属于无权码。

表 1.3 常用 BCD 码编码表

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

1. 8421BCD 码

8421BCD 码 (简称 BCD 码) 是应用十分广泛的一种编码方案。这种编码方法是: 将每个十进制数用 4 位二进制数表示, 按自然十进制数的规律排列, 且指定前面 10 种代码依次表示 0~9 的 10 个数码。BCD 码是一种有权码, 每位都有固定的权, 各位的权值从高位到低位分别为 $8 (2^3)$ 、 $4 (2^2)$ 、 $2 (2^1)$ 、 $1 (2^0)$ 。

由于 4 位二进制码表示数的范围为 0000~1111, 8421BCD 码使用其中的 0000~1001 表示十进制的 0~9, 因此 1010~1111 这 6 个代码在 BCD 码中不使用。

2. 余 3 码

余 3 码是在 8421BCD 码的基础上, 把每个代码都加 0011 (3) 而形成的。它的主要优点是执行十进制相加时, 能正确产生进位信号, 而且还给减法运算带来了方便。

3. 格雷码

格雷 (Gray) 码是一种循环码, 它有多种编码形式, 但它们有一个共同的特点, 就是任意两个相邻的代码之间仅有 1 位不同, 表 1.3 列出的是最基本的一种格雷码。

在数字系统中, 经常要求代码按一定的顺序变化, 例如按自然规律计数。7 和 8 是相邻的两个代码, 当用二进制加法计数时, 从 7 变到 8, 其相应的二进制码从 0111 变到 1000, 二进制码 0111 的 4 位都要发生改变。但是由于电路的延时特性, 两位或多位代码同时变化时不可能绝对一致, 造成出现短暂的其他代码错误, 而这种错误在有些情况下是不允许的。采用格雷码, 就从编码上避免了出现这种错误的可能性。因为转变前后的两个代码只有 1 位不同, 出错的几率极小, 因此格雷码是一种可靠性代码。

1.3.3 字符编码

计算机处理的数据不仅有数字, 还有符号、运算符号和其他特殊符号。这些数字、字母和专用符号统称为字符。通常, 字符都用二进制码来表示, 把用于表示各种字符的二进制代码称为字符编码。

常用的字符编码是 ASCII 码 (American Standard Code for Information Interchange, 美国标准信息交换码), 每个字符用 7 位二进制码表示。它是由 128 个字符组成的字符集。其中有 32 个控制字符, 其余为空格、数字、大写字母、小写字母。数字字符 0~9 的高 3 位是 011, 低 4 位是 0000~1001, 所以与二进制转换很容易。ASCII 码表见表 1.4。大小写字母之间只是 a_5 位不同, 所以进行转换也很容易。例如, 字符 B 的编码为 1000010, 而字符 b 的编码为 1100010。

表 1.4

7 位 ASCII 码表

低 4 位 $a_3 a_2 a_1 a_0$	高 3 位 $a_6 a_5 a_4$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P		p
0001	SOH	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