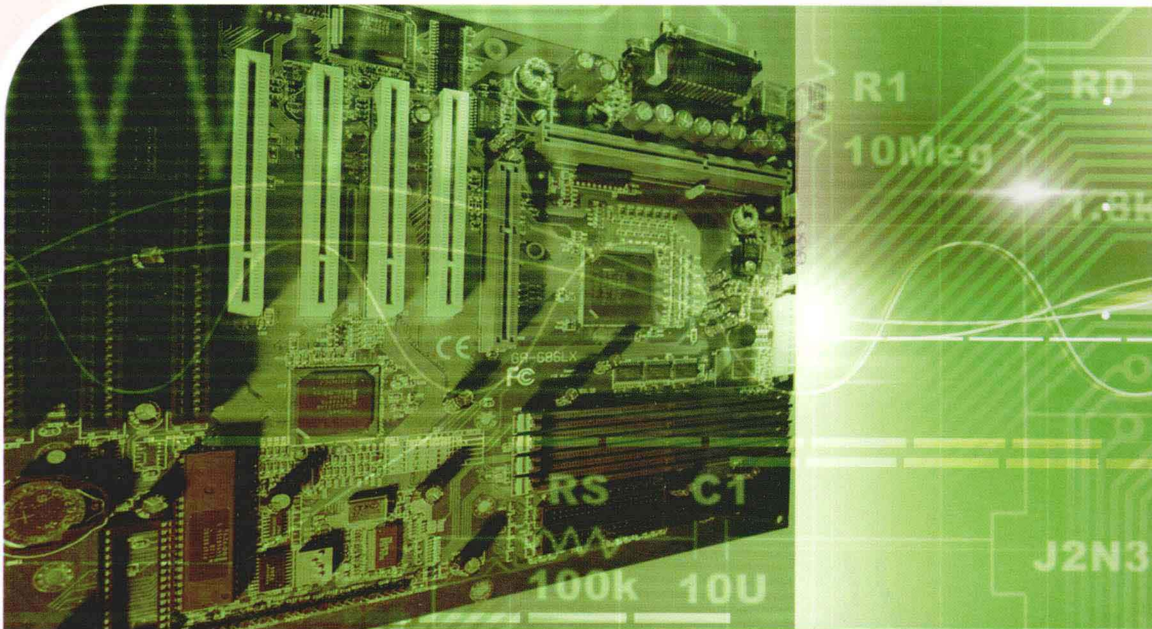
高职高专“十二五”规划教材




# 数字电子技术

王　慧　闫雪锋　主　编
邱静波　吴明明　副主编

经济科学出版社

高职高专“十二五”规划教材

# 数字电子技术

王　慧　闫雪锋　主　编
邱静波　吴明明　副主编

经济科学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

数字电子技术/王慧,闫雪锋主编. —北京:经济科学出版社,2010.7
高职高专"十二五"规划教材
ISBN 978-7-5058-9627-7

Ⅰ.①数… Ⅱ.①王… ②闫… Ⅲ.①数字电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 Ⅳ.①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 127331 号

责任编辑:王东萍
责任校对:徐领柱
技术编辑:李长建

**数字电子技术**
王　慧　闫雪锋　主　编
邱静波　吴明明　副主编
经济科学出版社出版、发行　新华书店经销
社址:北京市海淀区阜成路甲 28 号　邮编:100142
教材编辑中心电话:88191344　发行部电话:88191540
网址:www.esp.com.cn
电子邮件:espbj3@esp.com.cn
北京密兴印刷厂印装
787×1092　16 开　15.25 印张　290 千字
2010 年 9 月第 1 版　2010 年 9 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5058-9627-7　定价:27.90 元

# 前　　言

数字电子技术是三年制或两年制高职高专院校电子、计算机应用、自动化等专业以及相关专业的一门专业基础课程，也是一门发展迅速，理论性、实践性和应用性都很强的课程，学好了这门课程将为学习后续专业课及其在专业中的应用打下良好的基础。

为满足高职高专“实用型”和“技能型”人才培养目标的教学需求，本书以“实用、够用”为度，在保证基础知识和基本技能的基础上，贯彻“理论与实践相结合，以应用为目的”的原则安排内容。全书共分 7 章，主要内容包括数字逻辑基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形电路、数/模与模/数转换器、可编程逻辑器件。此外，书中另设有“本章小结”、“习题”、“技能训练”和“知识拓展”4 个模块，有利于学生巩固基础知识，培养动手能力，拓宽知识面。

为了配合教学，本书配备了丰富的教学资源，可从经济科学出版社网站（www.esp.com.cn）下载。

本书第 1、2、3、4、6 章、第 5 章的 5.4 节由王慧编写，第 5 章的 5.1 节、第 7 章的 7.2 节由闫雪锋编写，第 5 章的 5.2 节、第 7 章的 7.1.1 小节由邱静波编写，第 5 章的 5.3 节、第 7 章的 7.1.2 小节由吴明明编写。

本书可作为高职院校电子类、计算机应用类、自动化类专业以及相关专业课程的教材，也可作为职业技术培训教材或供有关技术人员参考。

在图书编写过程中，为了力求内容精辟，编者查阅和参考了许多相关的书籍和资料，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，时间也比较仓促，书中难免存在不足和考虑不周之处，望专家和读者批评指正。

编　者

# 目　录

**第 1 章　数字逻辑基础** …… 1
**本章导读** …… 1
1.1　数制与代码 …… 1
1.1.1　数制的基本概念 …… 1
1.1.2　常用计数制 …… 1
1.1.3　数制转换 …… 4
1.1.4　常用编码 …… 6
1.1.5　带符号二进制数的表示法 …… 8
1.2　逻辑代数基础 …… 11
1.2.1　逻辑代数的基本运算 …… 11
1.2.2　常用复合逻辑 …… 13
1.2.3　正负逻辑 …… 14
1.2.4　逻辑代数的基本公式与运算规则 …… 17
1.2.5　逻辑函数的描述方法 …… 19
1.2.6　逻辑函数的化简 …… 21
**本章小结** …… 28
**习题** …… 28
**知识拓展** …… 30
**第 2 章　组合逻辑电路** …… 35
**本章导读** …… 35
2.1　集成逻辑门电路 …… 35
2.1.1　TTL 逻辑门电路 …… 35
2.1.2　CMOS 集成逻辑门 …… 43
2.1.3　集成逻辑门电路的使用 …… 47
2.2　组合逻辑电路的分析与设计 …… 48
2.2.1　组合逻辑电路的分析 …… 48
2.2.2　组合逻辑电路的设计 …… 50
2.3　组合逻辑模块及其应用 …… 54
2.3.1　编码器 …… 54

2.3.2 译码器 …… 58
2.3.3 数据选择器 …… 61
2.3.4 数据分配器 …… 64
2.3.5 算术运算电路 …… 65
2.3.6 组合逻辑电路中的竞争与冒险 …… 68
**本章小结** …… 73
**习题** …… 73
**技能训练** …… 75
**知识拓展** …… 80
**第3章 触发器** …… 83
**本章导读** …… 83
3.1 基本触发器 …… 83
3.1.1 触发器的功能描述及分类 …… 83
3.1.2 基本 $RS$ 触发器 …… 83
3.2 常用触发器 …… 85
3.2.1 时钟同步触发器 …… 85
3.2.2 主从触发器 …… 87
3.2.3 边沿触发器 …… 90
3.2.4 $T$ 和 $T'$ 触发器 …… 92
3.2.5 CMOS 触发器 …… 93
3.2.6 不同类型触发器之间的转换 …… 94
**本章小结** …… 96
**习题** …… 96
**技能训练** …… 101
**知识拓展** …… 105
**第4章 时序逻辑电路** …… 108
**本章导读** …… 108
4.1 时序逻辑电路的分析方法 …… 108
4.1.1 同步时序逻辑电路的分析方法 …… 108
4.1.2 时序逻辑电路的状态转换表 …… 109
4.1.3 时序逻辑电路的状态转换图 …… 110
4.1.4 时序逻辑电路的状态机流程图和时序图 …… 112
4.1.5 异步时序逻辑电路的分析方法 …… 114
4.2 常用的时序逻辑电路 …… 117
4.2.1 同步计数器 …… 117
4.2.2 异步计数器 …… 123
4.2.3 数码寄存器和移位寄存器 …… 125
**本章小结** …… 130

习题……130
技能训练……134
知识拓展……136
第5章 脉冲信号的产生与整形电路……142
本章导读……142
5.1 施密特触发器……142
5.1.1 用门电路组成的施密特触发器……143
5.1.2 集成施密特触发器……144
5.1.3 施密特触发器的应用……145
5.2 单稳态触发器……147
5.2.1 用门电路组成的单稳态触发器……147
5.2.2 集成单稳态触发器……149
5.2.3 单稳态触发器的应用……151
5.3 多谐振荡器……153
5.3.1 用门电路组成的多谐振荡器……153
5.3.2 石英晶体多谐振荡器……154
5.4 集成555定时器……155
5.4.1 555定时器的电路结构和基本功能……155
5.4.2 555定时器的应用举例……157
本章小结……159
习题……159
技能训练……163
知识拓展……168
第6章 数/模与模/数转换器……170
本章导读……170
6.1 数/模转换器(DAC)……170
6.1.1 权电阻网络D/A转换器……170
6.1.2 倒T型电阻网络D/A转换器……171
6.1.3 权电流型D/A转换器……172
6.1.4 D/A转换器的主要技术指标……173
6.2 模/数转换器(ADC)……174
6.2.1 A/D转换的基本原理……174
6.2.2 并联比较型A/D转换器……176
6.2.3 逐次逼近型A/D转换器……177
6.2.4 双积分型A/D转换器……179
6.2.5 ADC的主要技术指标……181
本章小结……182
习题……182

**技能训练** …………………………………………………………………… 183
**知识拓展** …………………………………………………………………… 185
**第 7 章　可编程逻辑器件** ………………………………………………… 189
**本章导读** …………………………………………………………………… 189
7.1　半导体存储器件 …………………………………………………………… 189
7.1.1　只读存储器（ROM） ………………………………………………… 189
7.1.2　随机存取存储器（RAM） …………………………………………… 192
7.2　可编程逻辑器件概述 ……………………………………………………… 198
7.2.1　PLD 概述 ……………………………………………………………… 198
7.2.2　可编程逻辑阵列 PLA ………………………………………………… 200
7.2.3　通用阵列逻辑 GAL …………………………………………………… 203
**本章小结** …………………………………………………………………… 207
**习题** ………………………………………………………………………… 208
**知识拓展** …………………………………………………………………… 210
**附录** ………………………………………………………………………… 213
附录Ⅰ　EWB 简介 …………………………………………………………… 213
附录Ⅱ　常用集成电路 ………………………………………………………… 230
**参考文献** …………………………………………………………………… 236

# 第 1 章

# 数字逻辑基础

**本章导读**

伴随现代电子技术的发展，人们正处于一个信息时代，每天要从周围环境获取大量的信息，例如，电视、广播、印刷媒体等为人们报道世界范围内发生的各种事件。这些信息通常是通过我们的感觉器官（眼、耳等）进入大脑，并被存储下来，以作进一步的分析。

在电子技术领域里，为了便于存储、分析和传输，常将模拟信号进行编码，即把它转换为数字信号。利用数字逻辑这一强有力的工具来分析和设计复杂的数字电路或数字系统，为信号的存储、分析和传输创造硬件环境。

数字逻辑几乎应用于每一电子设备或电子系统中。计算器、计算机、电视机、音响系统、视频记录设备、光碟、长途电信及卫星系统等，无一不采用数字系统。

本章主要介绍数制与代码和逻辑代数的基本运算及逻辑函数的表示方法和化简。

## 1.1 数制与代码

### 1.1.1 数制的基本概念

人们在生产和生活中，创造了各种不同的计数方法。采用何种方法计数，是根据人们的需求和方便而定。由数字符号构成且表示物理量大小的数字和数字组合，称为数码。多位数码中的每一位的构成方法，以及由低位到高位的进制规则称为计数制，简称数制。

### 1.1.2 常用计数制

常用的计数制有二进制数制、八进制数制、十进制数制、十六进制数制等，简称二进制、八进制、十进制、十六进制等。下面分别介绍这几种数制。

1. 十进制

(1)定义

所谓十进制就是以 10 为基数的计数体制。任何一个数都可以用 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 十个数码按一定规律排列起来表示，其计数规律是“逢十进一”，即 $9+1=10$，这右边的“0”为个位数，左边的“1”为十位数，也就是 $10=1\times10^1+0\times10^0$。这样，每一数码处于不同的位置

(数位)时,它所代表的数值不同,这个数值称为位权。每个十进制数都可以用位权值表示,其中,个位的位权为 $10^0$,十位的位权为 $10^1$,百位的位权为 $10^2$,依此类推。

(2)表示法

任意十进制数可表示为:

$$(N)_D = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i$$

式中:$K_i$ 为基数“10”的第 $i$ 次幂的系数,D 表示十进制。

**【例 1—1】** 试用位权来表示十进制数 4567。

**解**:将数码与位权相乘,然后相加便得十进制数。

4　5　6　7

$7\times10^0 = 7\times1 = 7$

$6\times10^1 = 6\times10 = 60$

$5\times10^2 = 5\times100 = 500$

$4\times10^3 = 4\times1000 = 4000$

$+$ ────

$4567$

从数字电路的角度来看,采用十进制是不方便的,因为构成数字电路的基本思路是把电路的状态与数码对应起来,而十进制的十个数码,必须有十个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应起来,这样会在技术上带来许多困难,而且不经济,因此在数字电路中一般不采用十进制,而采用二进制。

2. 二进制

(1)定义

二进制就是以 2 为基数的计数体制。二进制与十进制的区别在于数码的个数和进位规律不同。二进制是用两个数码 0 和 1 表示,而且是“逢二进一”,即 1+1=10(读为“一零”)。

注意:这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的,它不代表“十”,右边的“0”表示 0 个 $2^0$,左边的“1”表示 1 个 $2^1$,也就是 $10=1\times2^1+0\times2^0$,当二进制数的数位较多时,可按 2 的乘幂依次表示,如图 1—1 所示。

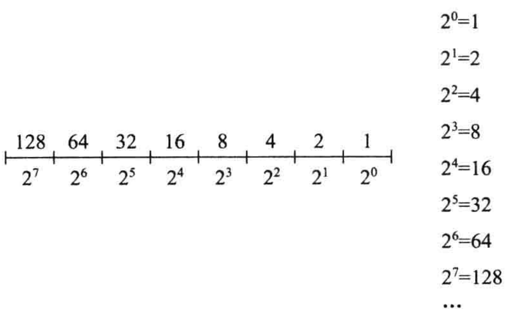



图 1—1　二进制数的位权图

(2)表示法

根据十进制的表达式的描述方法可写出二进制的表示方法：

$$(N)_B = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 2^i$$

式中：$K_i$ 为基数“2”的第 $i$ 次幂的系数，B 表示二进制。使用这种方法，可将任意一个二进制数转换为十进制数。

**【例 1—2】** 试将二进制数$(01010110)_B$转换为十进制数。

**解**：将每 1 位二进制数乘以位权，然后相加便得相应的十进制数。

128 64 32 16 8 4 2 1

$0\times2^0=0$
$1\times2^1=2$
$1\times2^2=4$
$0\times2^3=0$
$1\times2^4=16$
$0\times2^5=0$
$1\times2^6=64$
$0\times2^7=0$
$+$
$86$

从上例看，八位二进制数 $(01010110)_B$ 可以表示成十进制数 $(86)_D$。但由于数值越大，二进制位数就越多，读写都不方便，而且容易出错。所以在数字系统中还使用八进制和十六进制。

3. 八进制和十六进制

八进制和十六进制从表示方法上看与十进制、二进制是相同的。上述十进制和二进制数的表示法可以推广到十六进制和八进制。例如，十六进制数采用十六个数码，而且“逢十六进一”。这种数制中有十六个不同的数字，它们与二进制、十进制的对应关系如表 1－1 所示。它是以 16 为基数的计数体制。

表 1－1 三种数制的对照表

| 十进制 | 二进制 | 十六进制 | 十进制 | 二进制 | 十六进制 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 8 | 1000 | 8 |
| 1 | 1 | 1 | 9 | 1001 | 9 |
| 2 | 10 | 2 | 10 | 1010 | A |
| 3 | 11 | 3 | 11 | 1011 | B |
| 4 | 100 | 4 | 12 | 1100 | C |
| 5 | 101 | 5 | 13 | 1101 | D |
| 6 | 110 | 6 | 14 | 1110 | E |
| 7 | 111 | 7 | 15 | 1111 | F |

十六进制数可表达如下：

$$(N)_H = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 16^i$$

式中：$K_i$为基数16的第$i$次幂的系数，H表示十六进制，O表示八进制。

### 1.1.3 数制转换

1. 二进制、八进制和十六进制数转换为十进制数

**转换原则：**按权展开，相加求和。

**【例1—3】** 将二进制数10111转换成十进制数。

**解：**$(10111)_2 = 1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$

$= 16+4+2+1$

$= (23)_{10}$

**【例1—4】** 将八进制数136转换成十进制数。

**解：**$(136)_8 = 1\times8^2+3\times8^1+6\times8^0$

$= 64+24+6$

$= (94)_{10}$

**【例1—5】** 将十六进制数35A转换成十进制数。

**解：**$(35A)_{16} = 3\times16^2+5\times16^1+10\times16^0$

$= 768+80+10$

$= (858)_{10}$

2. 十进制数转换为二进制、八进制和十六进制数

**转换原则：**整数"除基取余"（基数分别为2,8,16）；

小数"乘基取整"。

**【例1—6】** 将十进制数45.25转换成二进制数。

**解：**$45\div2=22$……余1；

$22\div2=11$……余0；

$11\div2=5$……余1；

$5\div2=2$……余1；

$2\div2=1$……余0；

$1\div2=0$……余1；

$0.25\times2=0.5$……取整0；

$0.5\times2=1$……取整1；

$(45.25)_{10}=(101101.01)_2$

**【例1—7】** 将十进制数45.25转换成八进制数。

**解：**$45\div8=5$……余5；

$5\div8=0$……余5；

$0.25\times8=2$……取整2；

$(45.25)_{10}=(55.2)_8$

**【例1—8】** 将十进制数55.25转换成十六进制数。

**解**:55÷16=3……余7;　　　　0.25×16=4……取整4;

3÷16=0……余3;

$(55.25)_{10}=(37.4)_{16}$

3.二进制、八进制和十六进制数的相互转换

(1)二进制转换成八进制

**转换原则**:三位一组法。

**【例1—9】** 将二进制数10011010110转换成八进制数。

**解**:010　011　010　110

↓　↓　↓　↓

2　3　2　6

$(10011010110)_2=(2326)_8$

(2)二进制转换成十六进制

**转换原则**:四位一组法。

**【例1—10】** 将二进制数10011010110转换成十六进制数。

**解**:0100　1101　0110

↓　↓　↓

4　D　6

$(10011010110)_2=(4D6)_{16}$

(3) 八进制转换成二进制

**转换原则**:一分为三法。

**【例1—11】** 将八进制数6154转换成二进制数。

**解**:6　1　5　4

↓　↓　↓　↓

110　001　101　100

$(6154)_8=(110001101100)_2$

(4)十六进制转换成二进制

**转换原则**:一分为四法。

**【例1—12】** 将十六进制数9B28转换成二进制数。

**解**:9　B　2　8

↓　↓　↓　↓

1001　1011　0010　1000

$(9B28)_{16}=(1001101100101000)_2$

4. 八进制与十六进制数的相互转换

八进制与十六进制之间不能直接转换，它们之间是通过二进制来间接实现转换的。

### 1.1.4 常用编码

1. 格雷码(Gray Code)

二进制数表示法是按权计数体制下的一种用0、1表示数值的方法，$n$位二进制数可以表示$2^n$个十进制数，例如，4位二进制数0000～1111表示十进制数0～15，共16种取值。格雷码用0、1的另一种组合方式来表示数值，十进制数0～15也可以用4位格雷码来表示，表1－2给出了十进制数0～15分别用4位二进制数和4位格雷码表示的编码表。

表1－2　十进制数0～15的两种二进制编码表

| 十进制数 | 二进制编码 | | 十进制数 | 二进制编码 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 自然二进制码 | 格雷码 | | 自然二进制码 | 格雷码 |
| 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 |

格雷码又叫典型循环码(typical cyclic code)，不再具有按权计数的特性，即格雷码不像自然二进制码那样，每个位置具有固定的权值，格雷码是一种无权码。格雷码具有一般循环码的相邻性和循环性，相邻性是指任意两个相邻的码字之间仅有1位取值不同，循环性是指首尾两个码字也相邻。循环码的这种特性使之在提高计数器工作可靠性以及提高通信抗干扰能力方面都起着重要作用。

2. BCD码(Binary Coded Decimal)

十进制数除了可以采用等值二进制数加以表示，还有另一类简单的二进制编码表示法，即二－十进制码，简称BCD码。该表示法将一个具体的十进制数看做十进制字符的组合，而不是看做一个数值，对每个字符用编码表示。例如，十进制数$(259)_{10}$可以看做3个十进制字符2、5、9的组合，分别用二进制代码0010、0101、1001替换各个字符，就得到该十进制数的一种二进制编码表示，即$(259)_{10}$表示为$(0010\ 0101\ 1001)_2$。这种方法避免了十进制数转换为二进制数时比较烦琐的计算过程，具有简单、直观的优点。

十进制数中可能出现的字符是0～9，对这10个字符进行编码，至少需要4位二进制代码。4位二进制代码可以有0000～1111共16种不同的组合，原则上可以从中任取10种进行二－十进制编码，显然，有多种编码方案。数字系统中常用的BCD码如表1－3所示。

(1)8421BCD 码

8421BCD 码是最常用的 BCD 码，其编码方法与 10 个十进制字符等值的二进制数完全相同，是一种有权码，各位的权值由高到低依次为 8、4、2、1。有权码的各编码位都有固定的权值，从而可以通过按权展开的方法求得各码字对应的十进制字符，所以 8421BCD 码的编码表完全不用死记硬背。8421BCD 码和对应十进制数的相互转换十分方便，只要按照编码表逐字符转换即可，例如：

$$(179.8)_{10}=(000101111001.1000)_{8421BCD}$$

**表 1-3　　常用 BCD 码**

| 十进制数 | 8421 码 | 5421 码 | 2421 码 | 余 3 码 | 余 3 循环码 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 0000 | 0000 | 0011 | 0010 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0001 | 0100 | 0110 |
| 2 | 0010 | 0010 | 0010 | 0101 | 0111 |
| 3 | 0011 | 0011 | 0011 | 0110 | 0101 |
| 4 | 0100 | 0100 | 0100 | 0111 | 0100 |
| 5 | 0101 | 1000 | 1011 | 1000 | 1100 |
| 6 | 0110 | 1001 | 1100 | 1001 | 1101 |
| 7 | 0111 | 1010 | 1101 | 1010 | 1111 |
| 8 | 1000 | 1011 | 1110 | 1011 | 1110 |
| 9 | 1001 | 1100 | 1111 | 1100 | 1010 |

(2)5421BCD 码

5421BCD 码也是有权码，各位的权值依次为 5、4、2、1。5421BCD 码的特点是编码的最高位先为 5 个连续的 0，后为 5 个连续的 1，从而在十进制 0～9 的计数时，最高位对应的输出端可以产生对称方波信号。

(3)2421BCD 码

2421BCD 码的权值已由其名称说明。2421 码是一种自补码，所谓自补，在这里的含义是，若两个十进制字符之和为 9，则这两个字符关于“9”互补，而这两个字符对应的 2421 码互为反码，如 2421 码 0000 和 1111、0001 和 1110、0100 和 1011 都是互补的编码。

(4)余 3 码

余 3 码是一种无权 BCD 码，所谓无权码，就是找不到一组权值，满足所有码字。

例如，设余 3 码的 4 位是 $b_3b_2b_1b_0$，由 $(1)_{10}=(0100)_{余3码}$，按照权值的定义，$b_2$ 的权值是 1；由 $(5)_{10}=(1000)_{余3码}$，$b_3$ 的权值是 5；按有权码的规则，应有 $(1100)_{余3码}=(6)_{10}$，这与余 3 码定义不符(1100 是十进制符号 9 的编码)，所以余 3 码不是有权码。

余 3 码的码字比对应的 8421 码的码字大 3，这就是余 3 码名称的由来。余 3 码是一种自补码，它也可以由表 1-2 中的 4 位自然二进制码去掉头尾 3 组编码后得到，由表 1-3 容易看出余 3 码的自补特性。

(5)余 3 循环码

余 3 循环码也是一种无权码，由于它是由 4 位二进制循环码(即表 1－2 中的格雷码)去掉头尾 3 组编码后得到的，且保留了循环码的特性，因此得名。

表 1－3 列举的 BCD 码都是 4 位的，也有些 BCD 码是 5 位的，例如 5 位右移码、5 中取 2 码等，有兴趣的读者可以查阅相关文献。

3. ASCII 码(American Standard Codes for Information Interchange)

编码除了可以用来表示数值，还可以用来表示其他符号。ASCII 码是美国信息交换标准代码的简称，它采用 7 位二进制编码格式，共有 128 种不同的编码，用来表示十进制字符、英文字母、基本运算字符、控制符和其他符号。完整的 ASCII 码编码表如表 1－17 所示，其中控制字符的含义在表中有说明。表示十进制字符 0～9 的 7 位 ASCII 码是 0110000～0111001，为了便于记忆，也常用 2 位十六进制数表示，即字符 0～9 对应的 ASCII 码是 30 H～39 H(数字后缀 H 表示进制)；表示大写英文字母 A～Z 的 ASCII 码是 41 H～5A H，表示小写英文字母 a～z 的 ASCII 码是 61 H～7A H。编码表中 21 H～7E H 对应的所有字符都可以在键盘上找到。

通常计算机的键盘采用 ASCII 码，每按下一个键，键盘内部的控制电路就将该键对应的 ASCII 码作为键值发送给计算机，例如，按下 A 键，键盘就送出“1000001”。

### 1.1.5 带符号二进制数的表示法

前面已经讨论了无符号数的二进制至十六进制表示法。对于带符号数，普通代数中采用的表示法是用符号“＋”表示正数(通常省略)；“－”表示负数，而在数字系统中，带符号数的表示包括两部分内容，一是符号的表示法，二是数值的表示法。考虑到数字系统中的所有信息都必须用“0”、“1”来表示，符号也不例外，通常规定：在数字系统中，设置一个符号位(sign bit)，位于所有数值位的前面，符号位为“0”表示相应的二进制数是正数，符号位为“1”表示相应的二进制数是负数，该格式如图 1－2 所示。

| | |
|---|---|
| 符号 | 数值 |

图 1－2　带符号的格式

带符号二进制数的数值位在数字系统中有三种表示方法，即原码表示法(sign magnitude system)、反码表示法(one's complement system)和补码表示法(two's complement system)。

1. 原码表示法

原码表示法是一种简单的带符号数表示法，采用符号位加上原有的二进制数值位的格式。

**【例 1－13】** 分别计算$(+13)_{10}$和$(-13)_{10}$的 8 位二进制原码。

**解：**$(+13)_{10}=(+1101)_2=(+0001101)_2=(00001101)_{原码}$

$(-13)_{10}=(-1101)_2=(-0001101)_2=(10001101)_{原码}$

2. 反码表示法

带符号数的反码表示法的符号位表示与原码相同，数值位表示的规则如下：对于正数，其数值位与原码表示法中相同，就是该二进制数的绝对值；对于负数，将二进制绝对值的各位取反就得到了数值位。

**【例 1－14】** 分别计算$(+13)_{10}$和$(-13)_{10}$的 8 位二进制反码。

**解：**$(+13)_{10}=(+1101)_2=(+0001101)_2=(00001101)_{反码}$

$(-13)_{10}=(-1101)_2=(-0001101)_2=(11110010)_{反码}$

3. 补码表示法

带符号数的补码表示法的符号位表示与原码和反码相同，数值位表示的规则如下：对于正数，其数值位表示与原码和反码表示法中相同，就是该二进制数的绝对值；对于负数，将二进制绝对值的各位取反后加 1 就得到了数值位，也就是在反码的基础上加 1。

**【例 1－15】** 分别计算$(+13)_{10}$和$(-13)_{10}$的 8 位二进制补码。

**解：**$(+13)_{10}=(+1101)_2=(+0001101)_2=(00001101)_{补码}$

$(-13)_{10}=(-1101)_2=(-0001101)_2=(11110011)_{补码}$

对于带符号的二进制小数，其符号位仍用最高位表示，负数补码的数值位在反码基础上加 1 时注意是末位加 1。

**【例 1－16】** 分别计算$(0.01101)_2$和$(-0.01101)_2$的 8 位二进制原码、反码和补码。

**解：**$(0.01101)_2=(0.0110100)_{原码}=(0.0110100)_{反码}=(0.0110100)_{补码}$

$(-0.01101)_2=(1.0110100)_{原码}=(1.1001011)_{反码}=(1.1001100)_{补码}$

带符号二进制数的原码、反码和补码表示法可以归纳为：正数的原码、反码和补码相同，其符号位为 0，数值位就是该符号数的二进制绝对值；负数的原码、反码和补码的符号位都是 1，原码的数值位就是该符号数的二进制绝对值，反码的数值位是原码数值位的逐位取反，补码数值位是反码数值位的末位加 1。

表 1－4 给出了带符号十进制整数与相应的 8 位原码、反码和补码的取值对照表，由该表看出 $n$ 个二进制位可以表示的数值范围如下：

$n$ 位二进制原码的取值范围：$-(2^{n-1}-1)\sim+(2^{n-1}-1)$

$n$ 位二进制反码的取值范围：$-(2^{n-1}-1)\sim+(2^{n-1}-1)$

$n$ 位二进制补码的取值范围：$-2^{n-1}\sim+(2^{n-1}-1)$

表 1－4　　8 位原码、反码和补码的取值对照表

| 十进制数 | 原码 | 反码 | 补码 |
|---|---|---|---|
| +128 | — | — | — |
| +127 | 01111111 | 01111111 | 01111111 |
| +126 | 01111110 | 01111110 | 01111110 |