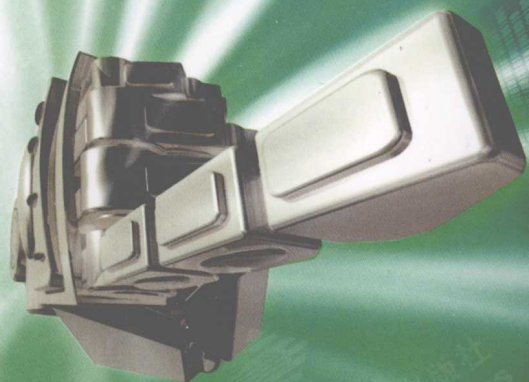




面向

21世纪

高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

数字电子技术及应用

主 编 张双琦 王朱劳
副主编 张生杰
主 审 周永金

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

数字电子技术及应用

主 编 张双琦 王朱劳

副主编 张生杰

主 审 周永金

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书分为上、下两篇。上篇由逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路的分析及应用、触发器、时序逻辑电路、模/数与数/模转换电路、存储器与可编程逻辑器件、脉冲波形的产生与整形等八章内容组成；下篇由数字电子技术实验基础知识、数字电子技术基础实验、数字电子技术综合实验等三章内容组成。本书内容上难度适中、通俗易懂，并配有较多的集成芯片介绍。

本书是为高职高专学校编写的教材，但也可作为中专、技校教材，同时还可供有关技术人员参考。

★本书配有电子教案，需要者可与出版社联系，免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及应用/张双琦，王朱劳主编. —西安：西安电子科技大学出版社，2007.8
(高职高专系列规划教材)

中国高等职业技术教育研究会推荐

ISBN 978-7-5606-1883-8

I. 数… II. ①张… ②王… 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(2007)第 102460 号

策 划 薛 媛

责任编辑 张 梁 薛 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西宏业印务有限责任公司

版 次 2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16

字 数 370

印 数 1~4000册

定 价 21.00元

ISBN 978-7-5606-1883-8/TN·0384

XDUP 2175001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,必须重视内涵建设,不断深化教育教学改革。根据市场和社会的需要,不断更新教学内容,编写具有鲜明特色的教材是其必要任务之一。

为配合教育部实施紧缺人才工程,解决当前机电类精品高职高专教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种的基础上,又联合策划、组织编写了“数控、模具及汽车类专业”系列高职高专教材共 60 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业(数控、模具和汽车)的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职高专教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,且大都已重印,有的教材出版一年多的时间里已重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。本轮教材预计 2006 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校基本建设的一项重要工作,多年来,各高职高专院校都十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高职高专教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,为不断推出有特色、高质量的高职高专教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

IT类专业高职高专规划教材编审专家委员会

主任：高林（北京联合大学副校长，教授）

副主任：温希东（深圳职业技术学院电子与信息工程学院院长，教授）

李卓玲（沈阳工程学院信息工程系主任，教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

计算机组：组长：李卓玲（兼）（成员按姓氏笔画排列）

丁桂芝（天津职业大学计算机工程系主任，教授）

王海春（成都航空职业技术学院电子工程系副教授）

文益民（湖南工业职业技术学院信息工程系主任，副教授）

朱乃立（洛阳大学电子信息工程学院院长，教授）

李虹（南京工业职业技术学院电气工程系副教授）

陈晴（武汉职业技术学院计算机科学系主任，副教授）

范剑波（宁波工程学院电子与信息工程学院副院长，副教授）

陶霖（上海第二工业大学计算机学院教授）

徐人凤（深圳职业技术学院电子与信息工程学院副院长，高工）

章海鸥（金陵科技学院计算机系副教授）

鲍有文（北京联合大学信息学院副院长，副教授）

电子通信组：组长：温希东（兼）（成员按姓氏笔画排列）

马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任，教授）

于冰（宁波工程学院电子与信息工程学院副教授）

孙建京（北京联合大学教务长，教授）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院副院长，高工）

狄建雄（南京工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

陈方（湖南工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

李建月（洛阳大学电子信息工程学院副院长，副教授）

李川（沈阳工程学院自动控制系副教授）

林训超（成都航空职业技术学院电子工程系主任，副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电子信息系主任，副教授）

韩伟忠（金陵科技学院龙蟠学院院长，高工）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书是为培养高等职业技术人才而编写的工科 IT 类专业系列教材之一。

作者在编写本书时,充分研究了五年制(初中毕业生)和三年制(高中毕业生)高职学生的特点、知识结构、教学规律和培养目标等,本着理论知识够用为度、加强实践环节、注重职业技能培养的精神,认真组织书中内容,仔细研究编写方法,力图使该书符合理论教学和实践教学的实际需要。

本书具有以下特点:

(1) 理论分析难易程度适中,注重结果的应用,对分析方法仅作定性阐述,不作理论证明。

(2) 章后给出了较多的练习题,以利于学生的复习。

(3) 注意了该课程与模拟电子技术课程的衔接,为学习后续课程打好基础。

(4) 注意了电类专业趋向于强弱电不分的特点,使该教材既适用于强电专业,又适用于弱电专业。

(5) 编入了较多的国产数字电路芯片介绍,使理论与工程实际结合得更为紧密。

(6) 书中给出了较多的实用电路,注重理论与实践的结合。

本书共有 11 章内容,参加编写的有任红星(第一章)、王月爱(第二章)、吴玮玮(第三章)、张双琦(第四、五章)、张玲娜(第六章)、王海梅(第七章)、王朱劳(第八、九章)、张生杰(第十、十一章)。张双琦、王朱劳任主编;张生杰任副主编;周永金任主审,对全书进行了认真审阅、修改和统稿。

本书在教学过程中可以根据各个专业的不同需要,适当删减有关章节。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者
2007 年 5 月

目 录

上篇 数字电子技术

第一章 逻辑代数基础	3
1.1 数制与码制	3
1.1.1 数字量与模拟量	3
1.1.2 数制	3
1.1.3 十进制与二进制的转换	5
1.1.4 码制	5
1.2 逻辑代数的基本运算	7
1.2.1 三种基本逻辑运算	7
1.2.2 复合逻辑运算	9
1.3 逻辑运算的基本定律和公式	10
1.3.1 逻辑运算的基本定律	10
1.3.2 逻辑运算的常用公式	10
1.3.3 逻辑运算的基本规则	11
1.4 逻辑函数的表示及化简	12
1.4.1 逻辑函数的表示方法	12
1.4.2 逻辑函数式的八种类型	13
1.4.3 逻辑函数的公式化简法	14
1.4.4 逻辑函数的卡诺图化简法	16
1.4.5 具有无关项的逻辑函数及其化简	19
练习一	21
第二章 门电路	24
2.1 晶体管的开关特性	24
2.1.1 二极管的开关特性	24
2.1.2 三极管的开关特性	25
2.1.3 场效应管的开关特性	27
2.2 分立元件门电路	28
2.2.1 基本门电路	28
2.2.2 与非门和或非门电路	29
2.3 TTL 门电路	30
2.3.1 TTL 与非门	30
2.3.2 TTL 或非门和与或非门	32
2.4 其它类型的 TTL 门电路	33

2.4.1 集电极开路的门电路(OC 门)	33
2.4.2 三态门(TSL 门)	35
2.5 CMOS 门电路	36
2.5.1 CMOS 非门和与非门电路	37
2.5.2 其它类型的 COMS 门电路	37
2.6 门电路集成芯片简介	39
2.6.1 TTL 门电路集成芯片简介	39
2.6.2 CMOS 门电路集成芯片简介	40
2.7 使用门电路的几个实际问题	40
2.7.1 集成逻辑门多余输入端的处理	40
2.7.2 TTL 门驱动 CMOS 门	41
2.7.3 CMOS 门驱动 TTL 门	41
练习二	42
第三章 组合逻辑电路的分析及应用	45
3.1 组合逻辑电路的分析	45
3.2 组合逻辑电路的设计	47
3.3 组合逻辑电路的应用	49
3.3.1 半加器和全加器	49
3.3.2 数值比较器	53
3.3.3 编码器和译码器	55
3.3.4 数据选择器和数据分配器	64
3.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	68
3.4.1 竞争与冒险的概念	68
3.4.2 冒险现象的判断	69
3.4.3 冒险现象的消除	71
练习三	71
第四章 触发器	74
4.1 RS 触发器	74
4.1.1 基本 RS 触发器	74
4.1.2 钟控 RS 触发器	77
4.2 其它功能的触发器	79
4.2.1 D 触发器	79
4.2.2 T 触发器和 T' 触发器	80
4.2.3 JK 触发器	81
4.3 集成触发器	82
4.3.1 集成触发器的触发方式	82
4.3.2 主从型触发器	84
4.3.3 维持阻塞型触发器	86
4.3.4 边沿型触发器	86
练习四	87
第五章 时序逻辑电路	89
5.1 时序逻辑电路概述	89

5.1.1 时序逻辑电路的特点	89
5.1.2 时序逻辑电路功能表示方法	89
5.1.3 时序逻辑电路的一般分类	90
5.2 时序逻辑电路的分析	90
5.2.1 同步时序逻辑电路的分析	90
5.2.2 异步时序逻辑电路的分析	93
5.3 同步时序逻辑电路的设计	95
5.3.1 同步时序逻辑电路设计步骤	95
5.3.2 同步时序逻辑电路设计举例	96
5.4 寄存器	100
5.4.1 数码寄存器	101
5.4.2 移位寄存器	102
5.4.3 集成移位寄存器	104
5.5 计数器	107
5.5.1 二进制加法计数器	107
5.5.2 十进制计数器	110
5.5.3 集成计数器	112
练习五	120
第六章 模/数与数/模转换电路	123
6.1 模/数转换电路	124
6.1.1 ADC 的基本工作原理	124
6.1.2 逐次逼近型 ADC	125
6.1.3 双积分型 ADC	127
6.1.4 ADC 转换器的主要技术指标	129
6.2 数/模转换电路	129
6.2.1 DAC 的基本工作原理	129
6.2.2 倒 T 型电阻网络 DAC	130
6.2.3 DAC 的主要技术指标	131
6.3 集成 ADC 与 DAC 及其应用	132
6.3.1 八位集成 ADC0809	132
6.3.2 集成 DAC0832	134
练习六	136
第七章 存储器与可编程逻辑器件	137
7.1 只读存储器(ROM)	137
7.1.1 ROM 的结构	137
7.1.2 ROM 的编程及分类	138
7.1.3 用 ROM 实现组合逻辑函数	141
7.1.4 EPROM 集成片简介	144
7.2 随机存取存储器(RAM)	145
7.2.1 RAM 的结构	145
7.2.2 RAM 存储单元	145
7.2.3 RAM 集成片 HM6264 简介	146
7.2.4 RAM 存储器容量的扩展	146

7.3 可编程逻辑器件(PLD)	148
7.3.1 PLD 简介	148
7.3.2 PLD 的电路结构	149
7.3.3 常见电路的 PLD 表示法	150
7.3.4 PLD 的开发	159
练习七	160
第八章 脉冲波形的产生与整形	162
8.1 脉冲信号	162
8.1.1 脉冲信号的概念	162
8.1.2 脉冲信号的参数	162
8.1.3 脉冲信号的产生方法	163
8.2 门电路构成的脉冲信号发生器及整形电路	163
8.2.1 多谐振荡器	163
8.2.2 单稳态触发器	166
8.2.3 施密特触发器	169
8.3 集成 555 定时器及其应用	171
8.3.1 5G555 的电路组成及工作原理	171
8.3.2 5G555 的应用	173
练习八	175

下篇 数字电子技术应用

第九章 数字电子技术实验基础知识	179
9.1 数字电子技术实验基本方法	179
9.1.1 实验教学的目的	179
9.1.2 实验的基本过程	179
9.1.3 实验中操作规范和常见故障检查方法	181
9.1.4 数字集成电路概述、特点及使用须知	182
9.1.5 数字逻辑电路的测试方法	185
9.2 数字电路实验仪简介	185
9.2.1 数字电路实验仪的组成	185
9.2.2 数字电路实验板	186
9.3 部分集成电路型号及外引线排列图	189
第十章 数字电子技术基础实验	192
实验一 集成门电路逻辑功能测试	192
实验二 门电路参数测试	193
实验三 组合逻辑电路的分析与设计	196
实验四 译码器及其应用	198
实验五 数据选择器及其应用	203
实验六 触发器逻辑功能的测试及转换	204
实验七 计数器及其应用	207
实验八 移位寄存器	209

实验九	555 时基电路及其应用	212
实验十	D/A、A/D 转换器	215
第十一章	数字电子技术综合实验	221
实验一	智力竞赛抢答器	221
实验二	电子秒表	222
实验三	拔河游戏机	226
实验四	$3\frac{1}{2}$ 位直流数字电压表	230
实验五	简易数字控制电路	236
实验六	简易数字计时电路	237
实验七	电梯楼层显示电路	238
实验八	循环灯电路	239
部分习题参考答案		241

上 篇

数字电子技术

第一章 逻辑代数基础

数字电子技术是现代电子技术发展的趋势,由于数字设备有其独特的优点,随着科学技术的发展,数字设备正在逐渐取代模拟设备。因此,研究数字电子技术、设计新的数字设备就显得尤为重要。

本章介绍逻辑代数基础,其主要内容有数制与码制、逻辑代数的基本运算、逻辑运算的基本定律和公式、逻辑函数的表示及化简。

本章的重点是逻辑代数,难点是逻辑函数的化简。

1.1 数制与码制

1.1.1 数字量与模拟量

在自然界中,所有物理量的性质不同,变化规律各异,且特点不尽相同,但总体上可以划分为两大类。

一类是连续变化的物理量,如温度、时间和模拟电子线路中信号强弱的变化等。这类物理量可以用连续的时间函数表示,其特点是取值既有整数又有小数,称其为模拟量。模拟电子技术研究的对象就是这类物理量,模拟电子线路工作在这类物理量的作用下。

另一类是离散变化的物理量,如工厂出厂的产品数量、事情的正确与错误、事物的有与无、电路的通与断等。这类物理量只能用离散的时间函数表示,其特点是取值只有整数而没有小数,称其为数字量。表示数字量的信号称为数字信号。在电子技术中,研究数字信号的技术称为数字电子技术,工作在数字信号作用下的电子线路称为数字电子线路。

1.1.2 数制

在模拟电子技术中采用的是算术运算,用0~9共10个数码表示物理量的大小,称为十进制。在数字电子技术中采用的是逻辑运算,用0和1表示物理量的大小,称为二进制。

1. 十进制

十进制的计数基数是10,超过9的数必须用两位数表示,超过99的数必须用三位数表示,以此类推。其低位数与相邻高位之间的关系是逢10进1,故称为十进制。例如

$$156.47 = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

所以,对于任意一个 n 位的十进制数 N_{10} ,均可表示为

$$N_{10} = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$$

将其展开后为

$$\begin{aligned}
 N_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\
 &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i
 \end{aligned} \tag{1-1-1}$$

其中, a_i 为第 i 位的系数; 10 称为计数基数; 10^i 称为第 i 位的权。

2. 二进制

二进制的计数基数是 2, 超过 1 的数必须用两位数表示, 超过 3 的数必须用三位数表示, 以此类推。其低位数与相邻高位之间的关系是逢 2 进 1, 故称为二进制。例如

$$(110.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (6.25)_{10}$$

所以, 对于任意一个 n 位的二进制数 N_2 , 均可表示为

$$N_2 = a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2} \cdots a_{-m}$$

将其展开后为

$$\begin{aligned}
 N_2 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \\
 &\quad + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned} \tag{1-1-2}$$

其中, a_i 为第 i 位的系数; 2 称为计数基数; 2^i 称为第 i 位的权。在数字电路中, 除了二进制和十进制外, 常用的数制还有八进制和十六进制, 它们之间的关系如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 常用数制间的关系

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	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
16	10000	20	10

1.1.3 十进制与二进制的转换

1. 二进制转换为十进制

将二进制转换为十进制可以采用公式(1-1-2)。

例 1-1-1 将二进制数 $(10110.01)_2$ 换算为十进制。

$$\begin{aligned}\text{解 } (101101.01)_2 &= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} \\ &= 32 + 8 + 4 + 1 + 0.25 \\ &= (45.25)_{10}\end{aligned}$$

2. 十进制转换为二进制

将十进制转换为二进制时，整数和小数要分别进行换算，整数常用的方法是除 2 取余法。

例 1-1-2 将十进制数 $(53)_{10}$ 换算为二进制。

$$\begin{array}{rcccccc} & \div 2 & \div 2 & \div 2 & \div 2 & \div 2 & \div 2 \\ \text{解 十进制数} & 0 & \leftarrow 1 & \leftarrow 3 & \leftarrow 6 & \leftarrow 13 & \leftarrow 26 \leftarrow 53 \\ \text{二进制数(余数)} & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1\end{array}$$

即 $(53)_{10} = (110101)_2$

将十进制小数换算为二进制时的方法是乘 2 取整法，即将十进制小数乘 2，结果中的整数为二进制小数点后的第一位；再将结果中的小数乘 2，整数为二进制小数点后的第二位；以此类推，重复上述过程，直到达到所要求的精度为止。

例 1-1-3 将十进制数 $(0.5715)_{10}$ 换算成二进制数。

$$\begin{aligned}\text{解 } 0.5715 \times 2 &= 1.1430 & \text{取整数 } 1 & \text{对应 } 2^{-1} \\ 0.1430 \times 2 &= 0.2860 & \text{取整数 } 0 & \text{对应 } 2^{-2} \\ 0.2860 \times 2 &= 0.5720 & \text{取整数 } 0 & \text{对应 } 2^{-3} \\ 0.5720 \times 2 &= 1.1440 & \text{取整数 } 1 & \text{对应 } 2^{-4} \\ 0.1440 \times 2 &= 0.2880 & \text{取整数 } 0 & \text{对应 } 2^{-5} \\ & \dots & & \\ & (0.5715)_{10} \approx (0.10010)_2\end{aligned}$$

可以看出，很多情况下将十进制小数换算成二进制小数后两数不会绝对相等，只能取近似值。

1.1.4 码制

用二进制码表示十进制码称为二—十进制码，常用的有 BCD(Binary Coded Decimals)码和格雷码。

1. BCD 码

表 1-1-2 给出了几种常见的 BCD 码。

8421 码是最常用的一种代码。其特点是每一位二进制数 1 都代表十进制的一个固定数值，从左到右依次为 8、4、2、1，所以称为 8421 码。每一位 1 代表的十进制数称为这一位的权，8421 码中每一位的权是固定不变的，它属于恒权代码。

表 1-1-2 几种常见的 BCD 码

编码种类 十进制数	8421 码	余 3 码	2421 码	5211 码	余 3 循环码
0	0000	0011	0000	0000	0010
1	0001	0100	0001	0001	0110
2	0010	0101	0010	0100	0111
3	0011	0110	0011	0101	0101
4	0100	0111	0100	0111	0100
5	0101	1000	1011	1000	1100
6	0110	1001	1100	1001	1101
7	0111	1010	1101	1100	1111
8	1000	1011	1110	1101	1110
9	1001	1100	1111	1111	1010
权	8421		2421	5211	

余 3 码的特点是将二进制数转换成十进制后，比对应的十进制数大 3，故称为余 3 码。另外，从表中不难发现，余 3 码的 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码（反码的概念将在后面介绍）。余 3 码不是恒权码。

2421 码和 5211 码都是恒权码。2421 码的 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 也互为反码。

余 3 循环码中二进制的每一位 1 不代表十进制的固定数值，其特点是相邻的两个代码之间仅有一位的状态不同。因此，余 3 循环码是一种变权码。

2. 格雷码

格雷码是一种无权码，其特点是相邻两个代码只有一位不同，其余各位相同，故又称为反射循环码。四位二进制数的格雷码如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 四位二进制数的格雷码

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

3. 原码、反码和补码

与十进制数相同，二进制数也存在正数和负数。由于机器计算的需要，故需将二进制数的“+”号和“-”号分别用 0 和 1 表示，即将二进制数的最高位作为符号位。用 0 和 1 表示正、负的二进制数称为该二进制数的原码。例如：+1011001 的原码为 0,1011001；-1011001 的原码为 1,1011001。

对于正数，其反码与原码相同；对于负数，其反码的符号位与原码相同，其余位与原码相反。例如：0,1011001 的反码为 0,1011001；1,1011001 的反码为 1,0100110。

对于正数，其补码与原码、反码相同；对于负数，其补码等于在反码的最低位加 1。例