



高等学校电子信息类“十二五”规划教材

数字电子技术

主编 马明涛 邬春明



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

数 字 电 子 技 术

主 编 马明涛 邬春明
副主编 赵 莹 李广羽 冯 刚
雷宇凌

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容有：数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形发生器与整形电路、数/模和模/数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件、硬件描述语言、数字电路读图练习等 10 章。

本书可作为高等学校电子类、仪器仪表类等专业的教材或教学参考书，也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/马明涛, 邬春明主编.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.9

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2656 - 7

I. ① 数… II. ① 马… ② 邬…

III. ① 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ① TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 162573 号

策 划 杨丕勇

责任编辑 杨宗周 杨丕勇

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)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.5

字 数 386 千字

印 数 1~3000 册

定 价 30.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2656 - 7/TN · 0622

XDUP 2948001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

随着电子技术的高速发展,电子技术领域里的新概念、新器件和新方法不断涌现,使电子技术基础课程的教学内容不断增加,教材篇幅越来越大。随着教学改革的不深入、教学计划的不断调整,各门课程的授课学时数反而在减少,这样加剧了电子技术基础课程学时数多而授课学时少的矛盾,编写一本实用性强、适用学时少的教材成为我们的责任。

本书的编写融入了编者多年的教学实践经验,为了有效地实现课程的整合,在内容的选取和衔接、习题的选定等方面,我们都做了大量的工作,最终形成了一定的编写原则:

(1) 从电子技术基础课程的定位出发,既要满足教学内容的需求,又要有一定的实用性。

(2) 教材内容以流行的集成电路为主,适当保留了门电路和触发器方面的主要内容。把分析和设计的重点从门电路和触发器转移到集成电路上。

(3) 重视集成电路的外特性,减少集成电路内部工作原理的介绍,强调通过外特性来学习集成电路。

(4) 适当引进了新概念、新器件、新技术,增加了一章读图练习,便于学生了解电子技术的最新发展和掌握一些分析设计数字电路的新方法。

本书建议授课 48~64 学时,配套的数字电子技术实验为 20 学时左右。

本书第 1、3 章由邬春明编写,第 2 章由李广羽编写,第 4、5 章由马明涛编写,第 6、8 章由赵莹编写,第 9、10 章由冯刚编写,第 7 章由雷宇凌编写。全书由马明涛统稿。另外,参加本书编写的还有杨峰、冯青、孟祥、郑亮、王丽芬、杨海斌、马明宇、马春芳、王秀萍,在此向所有支持和帮助本书编写的同仁表示感谢。

由于编者水平所限,本书内容若有疏漏和不足,欢迎专家、学者、使用本书的教师和学生不吝赐教,多提出批评意见和建议。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第 1 章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号和数字电路	1
1.1.2 数字电路的特点	1
1.1.3 数字电路的分类	2
1.1.4 数字电路的应用	2
1.2 几种常用的数制和码制	3
1.2.1 数制	3
1.2.2 码制	6
1.3 逻辑函数中三种最基本的逻辑运算	9
1.3.1 逻辑函数和逻辑变量	9
1.3.2 三种基本逻辑关系及其表示方法	10
1.4 复合逻辑运算	12
1.5 逻辑函数的几种表示方法及其相互转换	13
1.5.1 已知真值表求逻辑表达式和逻辑图	13
1.5.2 已知逻辑函数式求真值表和逻辑图	14
1.5.3 已知逻辑图求逻辑函数式和真值表	14
1.6 逻辑代数	15
1.6.1 基本公式、定律和常用规则	15
1.6.2 逻辑函数的代数化简法	17
1.7 逻辑函数的卡诺图化简法	20
1.7.1 逻辑函数的最小项及最小项表达式	20
1.7.2 逻辑函数的卡诺图表示法	21
1.7.3 用卡诺图化简逻辑函数	24
1.7.4 具有无关项的逻辑函数及其化简	26
1.8 关于正逻辑和负逻辑的规定及其转换	27
本章小结	28
习题	29
第 2 章 集成逻辑门电路	31
2.1 概述	31
2.2 分立元件逻辑门电路	32
2.2.1 二极管门电路	32

2.2.2 三极管门电路	35
2.3 TTL 集成逻辑门	38
2.3.1 TTL 与非门的工作原理	38
2.3.2 其他类型的 TTL 门电路	40
2.3.3 各种系列的 TTL 门电路及其性能比较	49
2.3.4 TTL 与非门的外特性及其主要参数	50
2.3.5 双极型集成逻辑门电路使用中的几个实际问题	55
2.4 CMOS 集成逻辑门	56
2.4.1 CMOS 反相器的工作原理	56
2.4.2 CMOS 反相器的电压、电流传输特性	57
2.4.3 其他类型的 CMOS 逻辑门	58
2.4.4 CMOS 电路的正确使用	63
本章小结	63
习题	63
第 3 章 组合逻辑电路	66
3.1 概述	66
3.2 组合逻辑电路的分析和设计	67
3.2.1 组合逻辑电路的分析方法	67
3.2.2 组合逻辑电路的设计方法	69
3.3 常用的组合逻辑电路	71
3.3.1 编码器	71
3.3.2 译码器	74
3.3.3 加法器	79
3.3.4 数值比较器	82
3.3.5 数据选择器	84
3.3.6 数据分配器	86
3.4 基于 MSI 组合逻辑电路的分析	87
3.4.1 分析步骤	87
3.4.2 分析举例	88
3.5 基于 MSI 组合逻辑电路的设计	89
3.6 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	91
3.6.1 什么是竞争-冒险现象	91
3.6.2 竞争-冒险的识别方法	92
3.6.3 消除竞争-冒险的方法	92
本章小结	94
习题	94
第 4 章 触发器	96
4.1 基本概念	96
4.2 触发器	96
4.2.1 基本 RS 触发器	96
4.2.2 时钟控制 RS 触发器	98

4.2.3	时钟控制 D 触发器	100
4.2.4	时钟控制触发器的触发方式及存在的问题	102
4.3	触发器的结构和工作原理	102
4.3.1	主从 JK 触发器	102
4.3.2	边沿触发器	106
4.4	触发器的脉冲工作特性	109
4.4.1	主从 JK 触发器的脉冲工作特性	109
4.4.2	维持阻塞 K 触发器的脉冲工作特性	110
4.5	触发器的逻辑功能及转换	110
4.5.1	触发器的逻辑功能	110
4.5.2	触发器之间的转换	113
	本章小结	115
	习题	115
第 5 章	时序逻辑电路	118
5.1	时序电路的基本概念	118
5.1.1	时序电路的特点	118
5.1.2	时序电路的分类	119
5.1.3	时序电路的状态转换表、状态转换图和时序图	119
5.2	基于触发器时序电路的分析	120
5.2.1	分析方法	120
5.2.2	同步时序电路的分析	121
5.2.3	异步时序电路的分析	123
5.3	基于触发器时序电路的设计	125
5.3.1	设计步骤	125
5.3.2	同步时序电路的设计	126
5.3.3	异步时序电路的设计	131
5.4	集成计数器	132
5.4.1	异步集成计数器	133
5.4.2	同步集成计数器	135
5.4.3	任意进制计数器的构成	138
5.5	寄存器	144
5.5.1	寄存器	144
5.5.2	移位寄存器	146
5.6	基于 MSI 时序逻辑电路的分析	149
5.6.1	分析步骤	149
5.6.2	分析举例	150
5.7	基于 MSI 时序逻辑电路的设计	153
5.7.1	时序脉冲顺序分配器	153
5.7.2	一般时序电路的设计	155
	本章小结	156
	习题	156

第 6 章 脉冲波形发生器与整形电路	160
6.1 555 定时器及其应用	160
6.1.1 555 定时器的结构及工作原理	160
6.1.2 用 555 定时器组成单稳态触发器电路	161
6.1.3 用 555 定时器组成施密特触发器	163
6.1.4 用 555 定时器组成多谐振荡器	164
6.2 集成和其他单稳态触发器	166
6.2.1 微分型单稳态触发器	166
6.2.2 集成单稳态触发器	168
6.3 集成施密特触发器	171
6.4 其他多谐振荡器电路	173
6.4.1 用 CMOS 反相器组成的多谐振荡器	173
6.4.2 石英晶体多谐振荡器	174
6.5 脉冲产生与整形电路的应用	176
本章小结	179
习题	179
第 7 章 数/模和模/数转换器	181
7.1 概述	181
7.2 D/A 转换器	181
7.2.1 R-2R 倒 T 型电阻网络 DAC 基本原理	181
7.2.2 集成 D/A 转换器 AD7520 的电路结构和应用	183
7.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	186
7.3 A/D 转换器	189
7.3.1 采样和保持、量化与编码	189
7.3.2 V-T 型双积分式 A/D 转换器	192
7.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	195
7.3.4 并行比较型 A/D 转换器	197
7.3.5 A/D 转换器的主要技术指标	199
7.4 D/A 和 A/D 转换器应用举例	200
7.4.1 数控电流源	200
7.4.2 数控波形发生器	200
7.4.3 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 ICL7106 集成数字电压表	201
本章小结	203
习题	203
第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	205
8.1 概述	205
8.2 只读存储器(ROM)	205
8.2.1 固定 ROM	206
8.2.2 可编程 ROM(PROM)	209
8.2.3 可擦除可编程 ROM(EPROM)	210

8.3 随机存取存储器(RAM)	211
8.3.1 静态随机存储器(SRAM)	211
8.3.2 动态随机存储器(DRAM)	213
8.3.3 存储容量的扩展方法	213
8.4 可编程逻辑器件(PLD)	215
8.4.1 PLD基本电路的结构、功能与习惯表示法	215
8.4.2 可编程逻辑阵列(PLA)	216
8.4.3 可编程阵列逻辑(PAL)	218
8.4.4 通用阵列逻辑(GAL)	222
8.4.5 在系统可编程逻辑器件(ISP-PLD)	224
8.4.6 复杂可编程逻辑器件(CPLD)	226
8.4.7 现场可编程门阵列(FPGA)	227
8.4.8 在系统可编程通用数字开关(ispGDS)	229
8.5 用存储器实现组合逻辑函数	230
本章小结	233
习题	234
第9章 硬件描述语言	236
9.1 概述	236
9.2 VHDL简介	237
9.2.1 基本程序简介	237
9.2.2 词法构成	238
9.2.3 用VHDL描述逻辑电路的实例	242
本章小结	242
习题	243
第10章 数字电路读图练习	244
10.1 读图的基本步骤	244
10.1.1 读图的思路	244
10.1.2 读图的基本步骤	244
10.2 $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表	245
10.2.1 用途和主要特点	245
10.2.2 找出通路	245
10.2.3 划分单元	246
10.2.4 分析功能	246
10.3 金属带材厚度自动控制器	249
本章小结	253
参考文献	254

第 1 章 数字电路基础

本章导读

- 常用数制、码制及数制之间的转换
- 常用的基本逻辑运算及其表示方法
- 逻辑函数表示方法及其转换
- 逻辑代数的基本公式、定律和常用规则
- 逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法
- 正、负逻辑的概念及其转换

1.1 概 述

1.1.1 数字信号和数字电路

电子系统中的信号可以分为两大类：模拟信号和数字信号(如图 1-1 所示)。模拟信号是时间连续、数值也连续的信号，如模拟广播电视传送的音频信号和视频信号等。数字信号是在时间上和数值上均离散的信号，如电子表给出的时间信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。具有对模拟信号进行放大、滤波、调制、解调、传输等处理能力的电路叫做模拟电路。而数字电路就是能对数字信号进行产生、存储、传输、变换、运算及处理的电路。数字电路主要是研究输出与输入信号之间的对应逻辑关系，其分析的主要工具是逻辑代数，因此数字电路又称为“逻辑电路”。

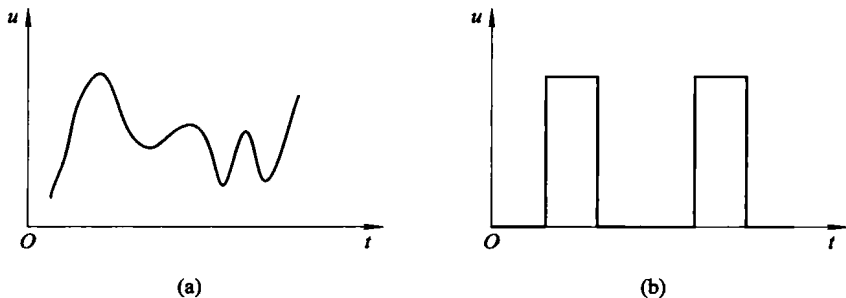


图 1-1 模拟信号和数字信号示意图

(a) 模拟信号；(b) 数字信号

1.1.2 数字电路的特点

数字电路具有以下一些特点：

- (1) 便于高度集成化。由于数字电路采用二进制数，凡具有两种状态的电路都可用来

表示 0 和 1 两个数。因此基本单元电路的结构简化对实现数字电路的集成化十分有利。

(2) 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字电路用 1 和 0 来表示信号的有和无, 数字电路辨别信号的有和无是很容易做到的, 从而大大提高了电路的工作可靠性。同时, 只要外界干扰在电路的噪声容限范围内, 电路都能正常工作, 因此抗干扰能力强。

(3) 便于长期保存。比如可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

(4) 产品系列多、通用性强且成本低。可采用标准的逻辑部件和可编程逻辑器件来实现各种各样的数字电路和系统, 使用灵活。

(5) 保密性好。可以采用多种编码技术加密数字信息, 使其不易被窃取。

(6) 具有“逻辑思维”能力。数字电路不仅具有算术运算能力, 而且还能按人们设计的规则进行逻辑推理和逻辑判断。

由于数字电路具有上述特点, 因而其发展十分迅速, 在电子计算机、数控技术、通信技术、数字仪表等领域都得到了越来越广泛的应用。

1.1.3 数字电路的分类

数字电路具有以下一些分类:

(1) 按结构不同, 数字电路分为分立元件电路和集成电路。分立元件电路是将晶体管、电阻和电容等元器件用导线在线路板上连接而成的电路。集成电路(如图 1-2 所示)则是将元器件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上而成为一个不可分割的整体电路。

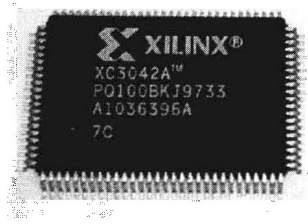


图 1-2 集成电路

根据集成度的不同把集成电路分为 4 类, 见表 1-1。这里的集成度是指组成集成电路的逻辑门或元器件个数。

表 1-1 集成电路分类

类 型	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路 SSI	1~10 个门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路、逻辑门电路及集成触发器等
中规模集成电路 MSI	10~100 个门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑部件、译码器、计数器及比较器等
大规模集成电路 LSI	100~1000 个门/片或 1000~10 000 个元件/片	数字逻辑系统、控制器、存储器及接口电路等
超大规模集成电路 VSI	大于 1000 个门/片或 大于 1 万个元件/片	高集成度数字逻辑系统及单片机等

(2) 按所集成的元件不同, 数字电路分为双极型(TTL 电路)和单极型(CMOS 电路)两种。

(3) 按电路工作原理不同, 数字电路分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两种。关于这两种电路的特点和具体电路将在后面的章节详细介绍。

1.1.4 数字电路的应用

如今, 数字电路已广泛应用于计算机、自动化装置、医疗仪器与设备、交通(如交通灯

等)、电信(如卫星通信等)、文娱活动等几乎所有的生产生活领域中,可以毫不夸张地说,几乎每人每天都在与数字电路打交道。

然而,数字电路的应用也具有其局限性。因为被控制和被测量的对象往往是一些模拟信号,而模拟信号不能直接为数字电路所接收,这就给数字电路的使用带来很大的不便。为了用数字电路处理这些模拟信号,必须通过专门的电路将它们转换为数字信号(模/数转换);而经数字电路分析、处理输出的数字量往往还要通过专门的电路转换成相应的模拟信号(数/模转换)才能为执行机构所接收。这样一来,不但导致了整个设备的复杂化,而且也使信号的精度受到影响,数字电路本身可以达到的高精度也失去了意义。因此,在使用数字电路时,应具体情况具体分析,以便于操作、提高生产效率为目的。

1.2 几种常用的数制和码制

1.2.1 数制

数制是数的表示方法,为了描述数的大小或多少,人们采用进位计数的方法,称为进位计数制,简称数制。组成数制的两个基本要素是进位基数与数位权值,简称基数与位权。

基数:一个数位上可能出现的基本数码的个数,记为 R 。例如二进制一个数位上包含0、1两个数码,基数 $R=2$ 。十进制有十个数码,则基数 $R=10$ 。

位权:位权是基数的幂,记为 R^i ,它与数码在数中的位置有关。例如,十进制数 $137=1\times 10^2+3\times 10^1+7\times 10^0$, 10^2 、 10^1 、 10^0 分别为最高位、中间位和最低位的位权。

同一串数字,数制不同,代表的数值大小也不同。

1. 各种数制及其表示方法

1) 十进制

十进制的基数 $R=10$,有0~9十个数码,进位规则是逢十进一,各位的权值为10的幂。任意一个十进制数 $(D)_{10}$,可以表示为

$$(D)_{10} = k_n 10^{n-1} + k_{n-1} 10^{n-2} + \cdots + k_1 10^0 + k_0 10^{-1} + \cdots + k_{-m} 10^{-m-1} \quad (1.1)$$

其中, k_i : 0~9十个数码中的任意一个; m 、 n : 正整数;10: 十进制的基数。

例如 $(2001.9)_{10} = 2\times 10^3 + 0\times 10^2 + 0\times 10^1 + 1\times 10^0 + 9\times 10^{-1}$ 。

十进制是人们最熟悉的数制,但不适合在数字系统中应用。

2) 二进制

二进制的基数 $R=2$,有0、1两个数码,进位规则是逢二进一,各位的权值是2的幂。任意一个二进制数 $(D)_2$,都可表示为

$$(D)_2 = k_n 2^{n-1} + k_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + k_1 2^0 + k_0 2^{-1} + \cdots + k_{-m} 2^{-m-1} \quad (1.2)$$

其中, k_i : 0或1; m 、 n : 正整数;2: 二进制的基数。

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

二进制计数规则简单,存储、传递方便,广泛应用于数字系统。但对于较大的数值,需要较多位表示,书写太长,不够方便。

3) 八进制

八进制的基数 $R=8$,有0~7八个数码,进位规则是逢八进一,各位的权值是8的幂。任意一个八进制数 $(D)_8$,都可表示为

$$(D)_8 = k_n 8^{n-1} + k_{n-1} 8^{n-2} + \dots + k_1 8^0 + k_0 8^{-1} + \dots + k_{-m} 8^{m-1} \quad (1.3)$$

其中, k_i : 0~7 八个数码中的任意一个; m, n : 正整数; 8: 八进制的基数。

例如 $(67.731)_8 = 6 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2} + 1 \times 8^{-3}$ 。

4) 十六进制

十六进制数的基数 $R=16$, 有 0~9、A~F 共十六个数码, 进位规则是逢十六进一, 各位的权值是 16 的幂。

任意一个十六进制数 $(D)_{16}$, 都可表示为

$$(D)_{16} = k_n 16^{n-1} + k_{n-1} 16^{n-2} + \dots + k_1 16^0 + k_0 16^{-1} + \dots + k_{-m} 16^{m-1} \quad (1.4)$$

其中, k_i : 0~9、A~F 十六个数码中的任意一个; m, n : 正整数; 16: 十六进制的基数。

例如 $(8AE6)_{16} = 8 \times 16^3 + A \times 16^2 + E \times 16^1 + 6 \times 16^0$ 。

5) 任意进制(R 进制)

R 进制的基数为 r , 有 $0 \sim (r-1)$ 个数码, 一般表示为

$$(D)_r = k_n r^{n-1} + k_{n-1} r^{n-2} + \dots + k_1 r^0 + k_0 r^{-1} + \dots + k_{-m} r^{m-1} \quad (1.5)$$

其中, k_i : $0 \sim (r-1)$ 个数码中的任意一个; m, n : 正整数; r : R 进制的基数。

在计算机系统中, 二进制主要用于机器内部的数据处理, 八进制和十六进制主要用于书写程序, 十进制主要用于运算最终结果的输出。

为了便于对照, 将常用的几种数制之间的关系列于表 1-2 中。

表 1-2 几种常用数制及其对应关系

类别	十进制	二进制	八进制	十六进制
表示数码	0, 1, ..., 9	0, 1	0, 1, ..., 7	0, 1, ..., 9, A~F
进位规则	逢 10 进 1	逢 2 进 1	逢 8 进 1	逢 16 进 1
第 i 位权值	10^i	2^i	8^i	16^i
对 应 关 系	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	10 000	20	10	

2. 数制间的转换

数字系统常用的数制为十进制和二进制。十进制是人们最熟悉的数制，但机器实现起来困难；二进制是机器唯一认识的数制，但二进制书写太长，因此引入八进制和十六进制。各数制都有自己的应用场合，因此涉及到各种数制间的转换。

1) R 进制数转换为十进制数

如果将 R 进制数转换为等值的十进制数，只需要将 R 进制数按位权展开，再按十进制运算规则运算即可得到十进制数。

【例 1.1】 将二进制数 $(1101.11)_2$ 转换成十进制数。

解 $(1101.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (13.75)_{10}$

【例 1.2】 将八进制数 $(73.51)_8$ 转换成十进制数。

解 $(73.51)_8 = 7 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2} = (59.64)_{10}$

【例 1.3】 将十六进制数 $(F3D.54)_{16}$ 转换成十进制数。

解 $(F3D.54)_{16} = 15 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = (3901.328125)_{10}$

2) 十进制数转换为 R 进制数

十进制数转换为 R 进制数时，需将十进制数的整数部分和小数部分分别转换，然后将转换结果合并起来。

(1) 十进制数转换成二进制数。

整数部分：用除 2 取余的方法进行转换，先余为低，后余为高。

小数部分：用乘 2 取整的方法进行转换，先整为高，后整为低。

【例 1.4】 将 $(27.625)_{10}$ 转换成二进制数。

解 整数部分：

2	27	余数	
2	13	1	↑ 第一个余数为二进制数的最低位
2	6	1	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	

小数部分：

$0.625 \times 2 = 1.250$	取出整数1	最高位
$0.250 \times 2 = 0.500$	取出整数0	
$0.500 \times 2 = 1.000$	取出整数1	最低位

所以，有 $(27.625)_{10} = (11011.101)_2$ 。

(2) 十进制数转换成八进制数。

整数部分：用除 8 取余的方法进行转换，先余为低，后余为高。

小数部分：用乘 8 取整的方法进行转换，先整为高，后整为低。

【例 1.5】 将 $(207.5)_{10}$ 转换成八进制数。

解 整数部分：

8	207	余数	
8	25	7	
8	3	1	
	0	3	

↑ 第一个余数为八进制数的最低位

↑ 最后一个余数为八进制数的最高位

小数部分： $0.500 \times 8 = 4.000$ 。

取出整数4，余数为0，转换结束。

综上可得 $(207.5)_{10} = (317.4)_8$ 。

(3) 十进制数转换成十六进制数。

整数部分：用除16取余的方法进行转换，先余为低，后余为高。

小数部分：用乘16取整的方法进行转换，先整为高，后整为低。

【例 1.6】 将 $(254.3584)_{10}$ 转换为十六进制数。

解 整数部分：

16	254	余数	
16	15	14	
	0	15	

↑ 第一个余数为十六进制数的最低位

↑ 最后一个余数为十六进制数的最高位

小数部分：

$0.3584 \times 16 = 5.7344$	取出整数5	最高位
$0.7344 \times 16 = 11.7504$	取出整数11	↓
$0.7504 \times 16 = 12.0064$	取出整数12	最低位

最终转换结果为 $(254.3584)_{10} = (\text{FE.5BC})_{16}$ 。

3) 二进制数与八进制数、十六进制数相互转换

二进制数转换成八进制数(或十六进制数)的规则如下：从小数点算起，向左或向右每3(或4)位分成一组，最后不足3(或4)位用0补齐，每组用1位等值的八进制数(或十六进制数)表示，即得到要转换的八进制数(或十六进制数)。

【例 1.7】 将 $(10111011.01111)_2$ 转换成八进制数和十六进制数。

解 二进制 010 111 011 . 011 110

八进制 2 7 3 . 3 6

所以 $(10111011.01111)_2 = (273.36)_8$ 。

二进制 1011 1011 . 0111 1000

十六进制 B B . 7 8

所以 $(10111011.01111)_2 = (\text{BB.78})_{16}$ 。

反之，八进制数(或十六进制数)转换成二进制数时，只要将每位八进制数(或十六进制数)分别写成相应的3(或4)位二进制数，按原来的顺序排列起来即可。

利用八进制数和十六进制数与二进制数之间的这种关系，可以进行八进制数与十六进制数之间的相互转换。

1.2.2 码制

用按一定规律排列的多位二进制数码表示某种信息，称为编码。形成代码的规律法

则，称为码制。

在数字系统中，二进制代码是由 0、1 构成的不同的组合，这里的“二进制”并无“进位”的含义，只是强调采用的是二进制数的数码符号而已。 n 位二进制数可有 2^n 种不同的组合，即可代表 2^n 种不同的信息。

1. 二-十进制码

用 4 位二进制数码表示 1 位十进制数的代码，称为二-十进制码，简称 BCD 码(Binary Coded Decimal)。4 位二进制数有 16 种组合，而 1 位十进制数只需要 10 种组合，因此，用 4 位二进制码表示 1 位十进制数的组合方案有许多种。几种常用的 BCD 码如表 1-3 所示。

表 1-3 几种常用的 BCD 代码

十进制数 \ 编码种类	8421 码	余 3 码	2421 码	5421 码
0	0 0 0 0	0 0 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 1 0 0	0 0 0 1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 1 0 1	0 0 1 0	0 0 1 0
3	0 0 1 1	0 1 1 0	0 0 1 1	0 0 1 1
4	0 1 0 0	0 1 1 1	0 1 0 0	0 1 0 0
5	0 1 0 1	1 0 0 0	1 0 1 1	1 0 0 0
6	0 1 1 0	1 0 0 1	1 1 0 0	1 0 0 1
7	0 1 1 1	1 0 1 0	1 1 0 1	1 0 1 0
8	1 0 0 0	1 0 1 1	1 1 1 0	1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 1 0 0	1 1 1 1	1 1 0 0
权	8 4 2 1		2 4 2 1	5 4 2 1

在表 1-3 中，8421 码、2421 码、5421 码都属于有权码，而余 3 码属于无权码。

1) 8421 码

8421 码是最常用的一种 BCD 码，它和自然二进制码的组成相似，4 位的权值从高到低依次是 8、4、2、1。但不同的是，它只选取了 4 位自然二进制码 16 个组合中的前 10 个组合，即 0000~1001，分别用来表示 0~9 十个数码，称为有效码；剩下的 6 个组合 1010~1111 没有采用，称为无效码。

8421 码是一种有权码，因而根据代码的组成便可知道它所代表的值。设 8421 码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ ，则它所代表的值为

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

8421 码编码简单直观，能很容易地实现 8421 码到十进制数的转换。8421 码与十进制数之间的转换只要直接按位转换即可，例如，

$$(509.37)_{10} = (0101\ 0000\ 1001.\ 0011\ 0111)_{8421}$$

2) 余 3 码

余 3 码由 8421 码加 3(0011)得到。或者说是选取了 4 位自然二进制码 16 个组合中的

中间 10 个，而舍弃头、尾 3 个组合而形成。因此余 3 码所代表的十进制数可由下式算得：

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0 - 3$$

式中， a_3 、 a_2 、 a_1 、 a_0 为余 3 码的各位数(0 或 1)。

余 3 码是一种无权代码，该代码中的各位“1”不表示一个固定值，因而不直观，且容易搞错。余 3 码也是一种自反代码。例如，4 的余 3 码为 0111，将它的各位取反得 1000，即 5 的余 3 码，而 4 与 5 对 9 互反。

余 3 码也常用于 BCD 码的运算电路中。若将两个余 3 码相加，其和将比所表示的十进制数及所对应的二进制数多 6。当和为 10 时，正好等于二进制数的 16，于是便从高位自动产生进位信号。一个十进制数用余 3 码表示时，只要按位表示成余 3 码即可，例如，

$$(85.93)_{10} = (1011\ 1000. 1100\ 0110)_{\text{余}3}$$

2. 可靠性编码

代码在产生和传输过程中，难免发生错误。为减少错误发生，或者在发生错误时能迅速地发现和纠正，在工程应用中普遍采用了可靠性编码。格雷码和奇偶校验码是最常用的两种。

1) 格雷码

格雷码有多种编码形式，但所有格雷码都有两个显著的特点：一是相邻性，二是循环性。相邻性是指任意两个相邻的代码间仅有 1 位状态不同；循环性是指首尾的两个代码也具有相邻性。因此，格雷码也称循环码。表 1-4 列出了典型的格雷码与十进制码及二进制码的对应关系。

表 1-4 典型格雷码与十进制码及二进制码的对应关系

十进制码	二进制码	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

在时序电路中采用格雷码编码时，能防止波形出现“毛刺”，并可提高工作速度。这是因为，其他编码方法表示的数码，在递增或递减过程中可能发生多位数码的变换。例如，