



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专计算机系列规划教材

# 实用数字 电子技术基础 (第3版)

毛炼成 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专计算机系列规划教材

# 实用数字电子技术基础

## (第3版)

毛炼成 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是高等职业技术电子信息类专业的“十五”、“十一五”国家级规划教材。通过本书的学习,学生能在规定的学时内掌握具有实用价值的数字电子技术的基本内容。

全书共分7章,按培养实用人才的要求,对内容进行了归类处理,具体章节为:第1章数字电子技术基础,介绍数制和编码、逻辑代数、逻辑门和触发器。第2章数字电路的物理器件,介绍数字集成电路构成形式、分类、参数指标查询和使用方法。第3章数字电路分析与设计,专门介绍数字电路、数字系统的分析、设计方法。第4章数字电路实用技巧与故障分析,介绍数字器件的查询方法、数字电路的读图技巧、故障的诊断分析方法。第5章大规模集成电路及其应用。第6章脉冲信号的产生与整形。第7章介绍最新的EDA仿真软件 Multisim 8.0。

本书适用于电子、电力、机电一体化等专业,也可以供其他专业高职高专学生和中高级工程技术维修人员参考。书中有\*的部分可以作为专题讲座或学生选修或自学的内容。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

实用数字电子技术基础/毛炼成主编.—3版.—北京:电子工业出版社,2007.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专计算机系列规划教材

ISBN 978-7-121-05407-5

I. 实… II. 毛… 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 179325 号

责任编辑:贺志洪 特约编辑:张晓雪

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:487 千字

印 次:2007 年 12 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

## 修订版前言

本教材是北京联合大学、深圳职业技术学院和上海第二工业大学三校高职教材编写会议确定的第一批7本教材之一。它是高等职业教育类型院校的教学用书，适用于电子、电力、机电一体化等专业，也可以供其他电类专科学生、中高级工程技术和维修人员参考。

本书先后出版过的两个版本，由范诤忠老师主编，是普通高等教育“十五”国家级规划教材，受到了广大读者的欢迎。受范诤忠老师委托，并根据读者对第2版的反映和要求，第3版对教材的内容进行了调整，将第7章（脉冲与数字电路的软件仿真）的内容做了全部更新，用新的仿真EDA软件Multisim 8.0替代了EDA5.0版本，对原第2、3、4章按照内容的特点做了调整，以利于教材的教学和自学；考虑到各学校的试验设备不统一，将原来每一个章节都有的实验实训去掉，精心设计了第5、7章的上机实验内容，它们是必须上机才能完成的实验实训。传承前两版特点，在叙述上尽可能注意知识点的连续性、完整性，注重前后内容的衔接。

在教学中，打\*部分章节部分可以作为选学或自学内容，如果学时足够，可列入正常的教学内容。本教材各章节知识点、重点以及教学建议和课件可到 <http://www.hxedu.com.cn> 下载。

本教材的主要内容安排如下：

第1章数字电路基础，按大纲规定基本要求将数字信号和数字电路中的数制和编码、逻辑代数、门电路和触发器集中进行介绍，使学生能够较快地接触和了解逻辑函数的描述和化简、基本的门电路和触发器。

第2章数字电路的物理器件，以门电路和触发器为主，介绍其实现方法，不同系列数字集成电路的主要技术参数、使用注意事项以及分类，为理解物理意义上的数字器件打下基础。

第3章数字电路分析与设计，是本书的重点和难点。原书将其主要内容分散在第3、4章中，目的是分散重点，降低难度；但在实际教学过程中，发现第4章的部分内容放在第3章前介绍更有利于提高教学效果，故此次修订的时候将内容做了调整，以先“组合电路”再“时序电路”，先讲电路分析再讲电路设计的原则，循序渐进、一气呵成地将实现数字电路的硬件——“物理器件”做了较为全面的介绍，让学生能够了解电路分析以及设计的基本方法和步骤，这是本书理论部分的重点章节。

第4章数字电路实用技巧与故障分析，主要介绍数字电路器件的使用知识以及查找和替换方法、读电路图的方法和技巧、电路故障的快速诊断与排除，让学生掌握一些工程实践必须具备的知识。

第5章大规模集成电路及其应用，第一部分介绍各种类型存储器，第二部分介绍可编程器件，重点介绍系统在线编程技术及其应用。去掉了不常用的可编程器件，重点介绍对MAX+plusII软件如何进行实验实训。

第6章脉冲信号的产生与整形，介绍多种产生数字脉冲波形的的方法和器件。

第7章脉冲与数字电路的软件仿真，重点介绍功能强大、器件丰富的新版EDA软件——Electronics workbench Multisim8.0在数字电路中的应用，同时有较详细的操作、应用示意图片，让学生很容易就可以掌握一种电路仿真软件。

本教材修订由上海第二工业大学毛炼成负责主编，参加编写的有上海第二工业大学顾永杰（第3章）、顾阳（第1、4章）、谈进（第5、6章）、毛炼成（第2、7章）。

本教材修订过程中得到了原主编范诤忠老师、上海第二工业大学电子与电气工程学院的领导和电子基础教研室教师的热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

对于教材中存在的错误和不妥之处，恳请使用本教材的师生和读者批评指正。

编者  
2007.11

# 目 录

<b>第 1 章 数字电子技术基础</b> .....	1
1.1 数字信号与数字电路的分类 .....	1
1.1.1 数字信号 .....	1
1.1.2 数字电路的分类 .....	1
1.2 数制和编码 .....	2
1.2.1 进位计数制 .....	2
1.2.2 码制 .....	5
1.3 逻辑门和逻辑 .....	8
1.3.1 基本逻辑门电路 .....	8
1.3.2 复合逻辑门电路 .....	11
1.3.3 逻辑函数及其表示方法 .....	14
1.3.4 逻辑代数的公式和运算规则 .....	18
1.4 逻辑函数化简 .....	21
1.4.1 逻辑函数公式法化简 .....	22
1.4.2 逻辑函数的卡诺图化简法 .....	22
1.5 其他门电路 .....	29
1.5.1 三态门 .....	29
1.5.2 集电极开路门 (OC 门) .....	29
1.5.3 CMOS 传输门和双向模拟开关 .....	30
1.6 触发器 .....	30
1.6.1 概述 .....	30
1.6.2 基本 RS 触发器 .....	31
1.6.3 时钟控制 RS 触发器 .....	33
1.6.4 JK 触发器 .....	35
1.6.5 D 触发器 .....	38
1.6.6 T 触发器 .....	39
本章小结 .....	40
思考与练习一 .....	41
<b>第 2 章 数字电路的物理器件</b> .....	45
2.1 半导体器件 .....	45
2.1.1 二极管的开关特性 .....	45
2.1.2 双极型三极管的 3 种工作状态 .....	47
2.1.3 MOS 管的开关特性 .....	49
2.2 集成门电路 .....	50
2.2.1 TTL*门电路和 CMOS 门电路 .....	51

2.2.2	74TTL 系列集成门电路 .....	57
2.2.3	4000 CMOS 系列集成门电路 .....	60
2.2.4	74HC CMOS 系列集成门电路 .....	61
2.3	集成触发器 .....	61
2.3.1	TTL 触发器和 CMOS 触发器 .....	62
2.3.2	各类集成触发器 .....	63
2.4	各类集成电路的使用注意事项 .....	63
2.4.1	有关主要参数的使用 .....	64
2.4.2	驱动与负载 .....	69
2.4.3	使用注意事项 .....	72
2.5	数字电路中物理器件的总体分类 .....	73
2.5.1	按规模、材料分类 .....	73
2.5.2	数字通用标准集成电路系列产品类别 .....	74
2.5.3	数字电路现代设计的集成电路类别 .....	74
2.5.4	数字专用集成电路类别 .....	75
2.5.5	其他器件类别 .....	76
2.6	常见集成元件封装术语及图片 .....	78
	本章小结 .....	90
	思考与练习二 .....	91
<b>第 3 章</b>	<b>数字电路分析与设计 .....</b>	<b>93</b>
3.1	概述 .....	93
3.1.1	数字系统与数字电路 .....	93
3.1.2	数字电路的特点 .....	93
3.1.3	数字电路的分类 .....	93
3.2	数字电路图的分析法和步骤 .....	94
3.2.1	分析电路图的基本要求 .....	94
3.2.2	分析的一般方法和步骤 .....	94
3.3	典型逻辑部件和单元电路的分析 .....	94
3.3.1	编码器 .....	95
3.3.2	译码器 .....	99
3.3.3	算术逻辑电路 .....	103
3.3.4	多路选择器和多路分配器 .....	111
3.3.5	计数器 .....	113
3.3.6	寄存器 .....	119
3.3.7	节拍脉冲发生器 .....	123
3.3.8	数/模、模/数转换电路 .....	123
3.4	数字电路的设计思路 .....	133
3.4.1	明确电路的总体方案 .....	133
3.4.2	分割总体方案成若干独立的子功能部件 .....	134

3.4.3	设计实现各子功能部件 .....	135
3.4.4	将功能部件组装数字电路 .....	136
3.5	组合逻辑电路设计 .....	136
3.5.1	组合逻辑电路的一般设计方法 .....	136
3.5.2	组合逻辑电路设计举例 .....	137
3.6	时序逻辑电路设计 .....	145
3.6.1	时序逻辑电路的一般设计方法 .....	145
3.6.2	同步时序逻辑电路设计举例 .....	148
3.7*	实用数字电子线路设计举例 .....	159
3.7.1	设计抢 15 电子玩具 .....	159
3.7.2	设计带有校时功能的数字闹钟 .....	162
	本章小结 .....	167
	思考与练习三 .....	167
<b>第 4 章</b>	<b>数字电路实用技巧与故障分析</b> .....	<b>171</b>
4.1	数字物理器件的查找方法 .....	171
4.1.1	器件的命名与说明书的使用 .....	171
4.1.2	D.A.T.A.BOOK 的使用 .....	172
4.1.3	查找电子器件的其他途径 .....	174
4.2	数字电路读图的要求、方法和步骤 .....	176
4.2.1	读图的基本要求 .....	176
4.2.2	读图的一般方法 .....	178
4.2.3	读图的具体步骤 .....	178
4.2.4	故障查询时的读图 .....	184
4.3	数字电路综合读图 .....	185
4.3.1	综合性数字电路读图的内容和步骤 .....	185
4.3.2	直流数字电压表的读图 .....	186
4.4	数字电路的物理设计 .....	192
4.4.1	数字电路的物理设计的概念 .....	192
4.4.2	物理设计应考虑的问题 .....	192
4.5	数字电路故障的诊断与排除 .....	193
4.5.1	数字电路故障诊断前的准备 .....	193
4.5.2	数字电路故障的分类 .....	194
4.5.3	常见的逻辑故障 .....	195
4.5.4	故障的检测与定位 .....	196
4.5.5	测试数字电路的方法 .....	197
4.6	数字物理器件的使用 .....	198
4.6.1	器件的可靠性 .....	198
4.6.2	器件的选择 .....	199
4.6.3	器件的非在线检测 .....	200



本章小结 .....	200
<b>第 5 章 大规模集成电路及其应用 .....</b>	<b>202</b>
5.1 只读存储器 ROM .....	202
5.1.1 ROM 的结构和工作原理 .....	202
5.1.2 可编程 ROM (PROM) 和可改写 ROM (EPROM) .....	203
5.1.3 EPROM 集成芯片简介 .....	204
5.2 随机存取存储器 RAM .....	205
5.2.1 RAM 的结构和工作原理 .....	206
5.2.2 RAM 的存储单元 .....	206
5.2.3 6264 型 RAM 简介 .....	207
5.3 可编程逻辑器件 .....	208
5.3.1 PLD 的基本结构和分类 .....	208
5.3.2 PAL 与 GAL 的原理及使用 .....	210
5.3.3 GAL 的原理与特点 .....	214
5.4 高密度在系统可编程逻辑器件 .....	216
5.4.1 PLSI/ISPLSI 1016 的结构与原理 .....	217
5.4.2 ALTERA 系列 CPLD 和 FPGA 简介 .....	221
5.4.3 MAX+plusII 的设计过程 .....	223
<b>第 6 章 脉冲信号的产生与整形 .....</b>	<b>241</b>
6.1 矩形脉冲波形的产生 .....	241
6.1.1 环形振荡器 .....	241
6.1.2 用施密特触发器构成的多谐振荡器 .....	243
6.1.3 石英晶体振荡器 .....	244
6.1.4 用 555 定时器构成的多谐振荡器 .....	244
6.2 矩形脉冲波形的整形 .....	247
6.2.1 应用施密特触发器整形 .....	247
6.2.2 应用 555 定时器整形 .....	248
6.2.3 应用单稳态电路整形 .....	248
本章小结 .....	249
思考与练习六 .....	250
<b>第 7 章 脉冲与数字电路的软件仿真——Electronics workbench 8<sup>11</sup>的应用 .....</b>	<b>252</b>
7.1 概述 .....	252
7.1.1 功能与特点 .....	252
7.1.2 运行环境要求 .....	253
7.2 基本操作方法 .....	253
7.2.1 工作界面构成 .....	253
7.2.2 实验电路生成方法 .....	255
7.2.3 仿真电路生成方法 .....	256
7.3 脉冲电路的仿真 .....	260

7.3.1 仪器仪表的使用 .....	260
7.3.2 分析功能及其设置方法 .....	266
7.3.3 脉冲数字电路的仿真实例 .....	272
7.3.4 模拟电路的仿真 .....	280
7.4 子电路的生成 .....	281
本章小结 .....	284
上机实验内容 .....	284
<b>附录 A 数字集成电路产品型号命名规则表</b> .....	287
<b>附录 B 常用 74 系列 TTL 数字集成电路资料</b> .....	288
<b>附录 C 常用 4000 系列 CMOS 数字集成电路资料</b> .....	291
<b>参考文献</b> .....	293

# 第 1 章 数字电子技术基础

本章介绍学习实用数字电子技术这门课的基础知识。

首先介绍数字电路的基本概念，然后扼要讲述数字电子技术中常用的数制和编码；再介绍构成数字电路最基本的逻辑单元门电路；最后将阐述逻辑代数的基本公式和常用公式、逻辑函数的表示方法及逻辑函数应用公式和图形的简化方法。

## 1.1 数字信号与数字电路的分类

### 1.1.1 数字信号

在电子电路中，信号的形式多种多样，通常信号被分成两类：模拟信号与数字信号。如锅炉的温度、电动机的转速、正弦波信号等随时间连续变化的信号，称为模拟信号，如图 1.1 所示。如每次取值都是某一最小单位的整数倍，如产品数量的统计、每次打靶命中的环数、数字表盘的读数等，将这些时间和幅度都离散的信号，称为数字信号，如图 1.2 所示。用于产生和处理数字信号的电路称为数字电路。数字电路的主要研究对象是电路输入与输出之间的逻辑关系。数字电路有两种典型信号：“0”和“1”，如图 1.3 所示，分别表示开关的闭合与断开、电平的高与低、灯的亮与暗等。

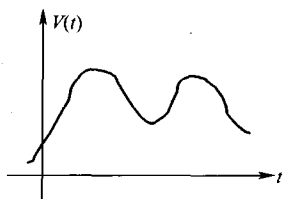


图 1.1 模拟信号

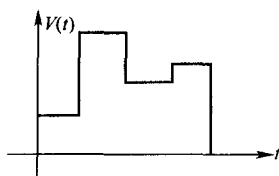


图 1.2 数字信号

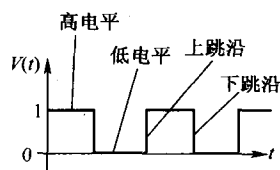


图 1.3 典型的数字信号

### 1.1.2 数字电路的分类

数字电路主要由工作在开关状态下晶体管等器件的饱和与截止条件来实现的，对元件的参数要求低，便于大规模集成与生产，即把大量的器件与连线制作在同一片半导体基片上，形成集成电路。

按数字集成电路中集成的“门”的多少，数字集成电路可分为：一块芯片集成 1~100 个门的小规模集成电路 SSI (Small Scale Integrating)；一块芯片集成 100~1000 个门的中规模集成电路 MSI (Medium Scale Integrating)；一块芯片集成 1000~10000 个门的大规模集成电路 LSI (Large Scale Integrating)；以及一块芯片集成  $10^4 \sim 10^6$  个门的超大规模集成电路 VLSI (Very Large Scale Integrating)。

按数字集成电路中使用的器件不同，数字集成电路可分为以双极型晶体管为基础的双极型与以场效应管组成的单极型两种。

## 1.2 数制和编码

对于任何一个数可以有两种表示方法：一个是按“值”表示，另一个是按“形”表示。按“值”表示，即在确定的进位制中表示一个数实际的数值大小，例如在十进制数中，“正十七点四”应表示为“+17.4”。而采用“形”表示，即采用特定的编码表示，例如采用ASCII码表示“正十七点四”应为：“2B 31 37 2E 34”。本节将介绍常用数制和编码。

### 1.2.1 进位计数制

用数字量来表征一个物理量的大小时，多位数字量按不同方式实现进位计数，这就是进位计数制，简称进位制。常用的有十进制数、二进制数和十六进制数。

#### 1. 十进制数

在日常生活中最广泛和常用的是十进制数。它共有 0, 1, 2, ..., 8, 9 共十个数码，运算中遵循“逢十进一”或“借一当十”的规则。

例如：一个十进制数 276.84 用多项式来表示时可写成：

$$276.84 = 2 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2} \quad (1-1)$$

任何一个十进制数都可表示成下面的多项式与和式：

$$\begin{aligned} D &= K_{n-1} \cdot N^{n-1} + K_{n-2} \cdot N^{n-2} + \cdots + K_0 \cdot N^0 + K_{-1} \cdot N^{-1} + \cdots + K_{-m} \cdot N^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} K_i N^i \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中， $K$  表示 0、1、2、...、8、9 中某一数码， $N$  表示十进制数的基数 10， $i$  表示数的某一位， $n$  表示小数点左面的位数， $m$  表示小数点右面的位数。

从多项式表达中不难看出，当 1 个数码所处的位置不同时，它所表示的实际数值是不一样的。而多项式式 (1-1) 中  $10^2$ 、 $10^1$ 、...、 $10^{-2}$  所表示的是十进制数该位的“权”，或称“位权”。

#### 2. 二进制数

因二进制数只有 2 个数码：0 和 1，易于采用逻辑代数工具运算，所以在计算机领域被广泛采用。二进制数运算中遵循“逢二进一”或“借一当二”的规则。十进制数与二进制数对应的值如表 1.1 所示。从表中可见十进制数 2 对应的二进制数是 10，读做“幺零”。

二进制数也可表示成多项式式 (1-1) 及式 (1-2) 的形式。但表达式中  $K$  只有 0 和 1，而  $N$  为 2。例如：一个二进制数  $(1101.011)_B$ ，可表示为：

$$(1101.011)_B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

表 1.1 十进制数与其他进位制数对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3

续表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
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	100	10

### 3. 十六进制数

在微型计算机中，普遍采用 8 位或 16 位二进制数并进行运算。为便于书写与记忆，常将二进制数用十六进制数表示，即每四位二进制数用一位十六进制数表示。十六进制数有 16 个数码，分别用 0、1、2、3、…、8、9、A、B、C、D、E、F 表示，运算规则为“逢十六进一”或“借一当十六”。如十六进制数 3B.5A 用多项式来表示可写成：

$$(3B.5A)_D = 3 \times (16)^1 + 11 \times (16)^0 + 5 \times (16)^{-1} + 10 \times (16)^{-2}$$

同理，十六进制数也可用式 (1-2) 表示，只是式中  $K$  有 0、1、2、…、8、9、A、B、C、…、F 十六种，而  $N$  为 16。

当在同一文件中同时出现不同进位制的数时，应在数的后面注以不同的下标，以示区别。十进制数注 D (Decimal)，二进制数注 B (Binary)，十六进制数注 H (Hexadecimal)。没有特别说明并不加标注的，默认为十进制。

### 4. 不同进制数的转换

正如前面提到，人们日常习惯采用十进制数，而微型计算机和数字电子设备中往往采用的是二进制数，为了书写的方便又采用十六进制数。因此就存在两种数制之间的转换问题。

(1) 二进制数和十进制数的转换。将二进制数转换成等值的十进制数，可将二进制数写成多项式的形式，按权展开相加即可。例如将二进制数  $(101.011)_B$  转换成等值的十进制数为：

$$\begin{aligned} (101.011)_B &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 4 + 0 + 1 + 0 + 0.25 + 0.125 \\ &= (5.375)_D \end{aligned}$$

将十进制数转换成等值的二进制数，其方法应将整数和小数分别进行转换。整数部分采用倒除法，连除 2 倒取余数。例如求十进制数 92 对应等值的二进制数，整个计算过程如下：

2 92	.....0	↑	b <sub>0</sub>	(低位)
2 46	.....0	↑	b <sub>1</sub>	
2 23	.....1	↑	b <sub>2</sub>	
2 11	.....1	↑	b <sub>3</sub>	
2 5	.....1	↑	b <sub>4</sub>	
2 2	.....0	↑	b <sub>5</sub>	
1	.....1	↑	b <sub>6</sub>	(高位)

转换结果为  $(92)_D = (1011100)_B$

对于小数部分则采取连乘 2 取整的方法。例如求十进制数 0.6875 转换成对应等值的二进制数，整个计算过程如下：

0.6875				
× 2				
1.3750	..... 1	b <sub>-1</sub>	↓	高位
× 2				
0.750	..... 0	b <sub>-2</sub>	↓	
× 2				
1.5	..... 1	b <sub>-3</sub>	↓	
× 2				
1.0	..... 1	b <sub>-4</sub>	↓	低位

转换结果为  $(0.6875)_D = (0.1011)_B$ 。值得注意的是，整数部分读数时是从下而上地读取，而小数部分读数时是从上而下地读取。

(2) 二进制数和十六进制数的互换。将二进制数转换成等值的十六进制数，其方法为从小数点开始，向左向右分别每 4 位 1 组，不足补零，将每组内 4 位二进制数转换成等值的十六进制数即可。4 位二进制数对应等值的十六进制数如表 1.2 所示，例如求二进制数 101101.011 对应等值的十六进制数，先从小数点开始向左向右每 4 位 1 组，特别注意不足 4 位一定要补零，然后按表 1.2 换成对应等值的十六进制数，转换过程如下：

$$\begin{array}{c}
 \boxed{0010,1101.0110} \\
 \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\
 2 \quad D \quad 6 \\
 (101101.011)_B = (2D.6)_H
 \end{array}$$

将十六进制数转换成等值的二进制数，其方法为一分为四，即将十六进制数的每一位用对应的 4 位二进制数代换即得。例如求 3A.F5 十六进制数的等值二进制数如下：

$$\begin{array}{c}
 3 \quad A \quad . \quad F \quad 5 \\
 \swarrow \downarrow \downarrow \downarrow \searrow \\
 0011 \ 1010 \ . \ 1111 \ 0101
 \end{array}$$

其转换结果为  $(3A.F5)_H = (00111010.11110101)_B$

(3) 十进制数和十六进制数的互换。十进制数和十六进制数简单的转换方法是先将被转换的数按前述方法换成二进制数，然后将二进制数再转换成要转换的数。

## 1.2.2 码制

在数字电子设备中，数值除采用上述按“值”的表示外，还采用按“形”的表示，即一切数、字母、符号等都要由特定的二进制数来表示。例如十进制数 8，在 8421BCD 码中用 1000 表示，在余 3 码中用 1011 表示，而在 ASCII 码中则用 00111000 表示。因此为了便于记忆和查找，这些用来表示数、字母和符号的二进制数也必须遵循一定的规则，这个规则就是码制。现在常用的编码如图 1.4 所示。

### 1. 十进制数的常用代码

(1) 8421 码。表 1.3 的第二列为 8421 码，它用 4 位二进制数来表示 1 位十进制数，由于 4 位二进制数各位的权从左到右分别为 8, 4, 2, 1，故称 8421 码，也称 BCD 码（二进制编码的十进制码）或 NBCD 码（自然二进制码），有时也称为二-十进制码。

表 1.2 4 位二进制数对应十六进制数

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

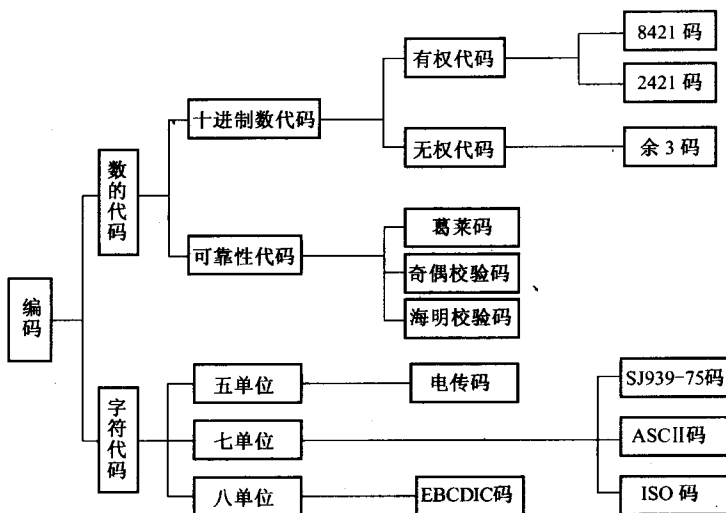


图 1.4 常用编码

表 1.3 十进制数的常用代码

十进制	8421 码	余 3 码	5421 码	2421 码
0	0000	0011	0000	0000
1	0001	0100	0001	0001
2	0010	0101	0010	0010
3	0011	0110	0011	0011

续表

十进制	8421 码	余 3 码	5421 码	2421 码
4	0100	0111	0100	0100
5	0101	1000	0101	1011
6	0110	1001	0110	1100
7	0111	1010	0111	1101
8	1000	1011	1011	1110
9	1001	1100	1100	1111

8421 码属有权码，当 8421 码的数： $(N)_D=W_3k_3+W_2k_2+W_1k_1+W_0k_0$  各位为  $k_3、k_2、k_1、k_0$  时，其系数分别为  $W_3=8、W_2=4、W_1=2、W_0=1$ 。它所代表的值为：

$$(N)_D=8\times k_3+4\times k_2+2\times k_1+1\times k_0$$

这种编码很容易实现与十进制数的转换，但在计数时用这种码构成电路工作时易产生“毛刺”信号和设备的利用率不高等缺点。

2421 码、5421 码与 8421 码一样属有权码，当 2421 码和 5421 码的各位为  $k_3、k_2、k_1、k_0$  时，就是指在数：

$$(N)_D=W_3k_3+W_2k_2+W_1k_1+W_0k_0$$

中，2421 码的  $W_3=2、W_2=4、W_1=2、W_0=1$ ，5421 码的  $W_3=5、W_2=4、W_1=2、W_0=1$ 。

(2) 余 3 码。表 1.3 的第三列给出的是余 3 码，它是由 8421 码加 3 得到的。显而易见，余 3 码所代表的十进制数可由下式算得：

$$(N)_D=8\times k_3+4\times k_2+2\times k_1+1\times k_0-3$$

式中， $k_3、k_2、k_1$  和  $k_0$  为余 3 码各位的数 (0 或 1)。

余 3 码是无权码。由于代码中各位“1”不表示一个固定值，因而不直观，且有容易出错的缺点。仔细观察余 3 码可以发现，它是一种自反代码，如余 3 码的 0 是 0011，各位取反得 1100，即余 3 码的 9；余 3 码的 3 是 0110，各位取反得 1001，即余 3 码的 6。可见 0 与 9，3 与 6 均对 9 互反。另一个特点是，2 个余 3 码相加，所产生的进位相当于十进制数的进位。如余 3 码 1000 (5) 与 1011 (8) 相加，其结果如下：

$$\begin{array}{r} 1000 \quad 5 \\ +1011 \quad +8 \\ \hline 10011 \quad 13 \end{array}$$

注意，运算后留下的和 (0011) 已不是余 3 码，而是 8421 码了。

其他的十进制代码，这里就不一一细说了。

## 2. 可靠性代码

实际上，代码在形成或传输过程中免不了要发生错误，为了在出错时易于发现和校正，就需采用可靠性编码。下面介绍奇偶校验码和葛莱码的特点及组成。

(1) 奇偶校验码。奇偶校验码是在计算机存储器中广泛采用的一种可靠性代码。它由若干个信息位加一个校验位构成。根据校验位和信息位中“1”的个数为奇数或为偶数，分奇校验和偶校验。若校验位和信息位中“1”的个数为奇数，则称奇校验，若校验位和信息位中“1”的个数为偶数，则称为偶校验。表 1.4 给出了以 8421 码为信息位构成的奇校验码和偶校验码。



表 1.4 8421 奇偶校验码

8421 码	8421 奇校验码		8421 偶校验码	
	8421	校验码	8421	校验码
0000	0000	1	0000	0
0001	0001	0	0001	1
0010	0010	0	0010	1
0011	0011	1	0011	0
0100	0100	0	0100	1
0101	0101		0101	0
0110	0110	1	0110	0
0111	0111	0	0111	1
1000	1000	0	1000	1
1001	1001	1	1001	0

奇偶校验码的一个主要特点是，它具有发现 1 位错误的能力。如果事前约定存入计算机中存储器的二进制数都以偶校验码存入，那么当从存储器中取出二进制数时，检测到的“1”的个数不是偶数，则说明该二进制数在存入或取出时发生了错误。显而易见，若代码在存入或取出过程中发生了 2 位错误，这种代码就查不出来了。另外，它虽然能查出错误，但哪一位出错，却不能判定，因此不具备自动校正的能力。

(2) 葛莱 (Gray) 码。葛莱码的最大特点是任意两个相邻数的代码只有 1 位二进制数不同。根据编码方式的不同，可实现多种葛莱码。表 1.5 给出了十进制数 0~9 的 2 种编码。由表可知，这种编排的头尾两个数 (0 与 9) 也是只有 1 位不同，构成 1 个“循环”，所以这种葛莱码也可称为“循环码”。进一步观察方案一，它除去上述特点之外，还具有从 4 与 5 之间分开，最高位相反而其余各位相同的“反射性”，所以也可将此种编码称为反射码。当采用这种编码构成计数电路工作时，不会出现如前所述 8421 码工作时的干扰“毛刺”信号。

表 1.5 十进制数的两种葛莱码

十进制数	葛莱码	
	方案一	方案二
0	0000 ←	0000 ←
1	0001	0001
2	0011	0011
3	0010 ←	0010
4	0110 ←	0110
5	1110 ←	0111
6	1010 ←	0101
7	1011	0100
8	1001	1100
9	1000 ←	1000 ←

### 3. 字符代码

在使用汇编语言或程序设计语言编制源程序时，需将数字、英文字母和各种专用符号输入计算机中，因此，必须对数字、英文字母和各种专用符号进行编码，将编好的二进制码送入计算机才能为计算机所识别。这些数字、字母和各种符号统称为“字符”。这些字符的编码统称为字符代码。