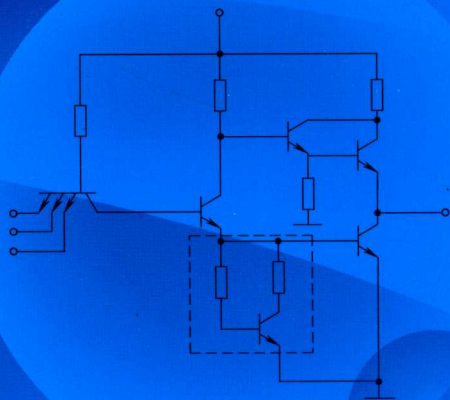


普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

● 吴明友 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术

SHUZI DIANZI JISHU

- 吴明友 主 编
- 卢桂萍 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书根据教育部高等学校教学指导委员会 2009 年颁布的电工学课程基本要求以及数字电子技术课程的教学大纲要求,结合编者多年的教学经验,以实用、够用为目的,注重综合应用能力的培养而编写。编写中,围绕培养目的,系统地介绍了数字逻辑电路的分析和设计方法。

全书内容包括:数字逻辑电路概论、数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换、D/A 和 A/D 转换、半导体存储器和可编程逻辑器件,每章提供了大量不同难度的例题和习题,每章的最后给出本章小结,便于自学。

本书可作为机械电子工程专业的电工和电子技术课程以及机械工程、车辆工程、能源与动力工程专业的电工学课程的教材,也可以作为电子、电气、通信、计算机、交通等专业的数字电子技术课程的教材,还可作为相关专业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/吴明友主编. —北京:化学工业出版社, 2015.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-24106-1

I. ①数… II. ①吴… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 112782 号

责任编辑:高 钰

文字编辑:陈 喆

责任校对:宋 玮

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{2}$ 字数 371 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00 元

版权所有 违者必究

前言

数字电子技术是机械电子工程专业的电工和电子技术课程以及机械工程、车辆工程、能源与动力工程专业的电工学课程的重要组成部分，也是电子、电气、通信、计算机、交通等专业的一门重要专业基础课程。为适应现代电子技术发展需要，笔者根据多年的教学经验和实践积累，本着应用和够用为目的的思想编写了此书。

全书共9章，第1章为数字逻辑电路概论，重点介绍了数制和码制；第2章为数字逻辑基础，重点介绍了逻辑运算关系逻辑函数及其化简方法；第3章为逻辑门电路，重点介绍了半导体的开关特性、CMOS和TTL集成门电路的内部结构及使用特点；第4章为组合逻辑电路，重点介绍了组合逻辑电路的一般分析方法和设计方法及几种典型的组合逻辑器件的应用；第5章为触发器，介绍了常用触发器的类型及功能；第6章为时序逻辑电路，介绍了时序逻辑电路的一般分析方法和设计方法，并重点介绍了寄存器和计数器集成电路的应用；第7章为脉冲信号的产生与变换，主要包括施密特触发器、单稳态触发器、多谐振荡器，并重点介绍了555定时器的功能和应用；第8章为D/A和A/D转换，介绍了ADC和DAC的基本原理及典型集成电路；第9章为半导体存储器和可编程逻辑器件，介绍了RAM、ROM、PAL、GAL、FPGA等器件的结构和应用。本书可以根据不同专业的具体情况进行内容节选。

本书在编写过程中注意循序渐进、难易合理、重点突出、实用性强、侧重能力培养，具体有以下特色：

① 课程体系体现了一定的基础性和先进性，使学生通过本课程的学习，能够具有较为丰富的基础理论和基础知识，具有可持续发展和创新的能力。

② 课程内容注重培养学生分析问题和解决问题的能力、综合运用所学知识的能力以及工程实践的能力。

③ 在选材和文字叙述上符合学生的认知规律，由浅入深、由简单到复杂、由基础知识到应用举例，并配有丰富的例题和习题。

本书由吴明友、卢桂萍、邹浙湘、刘娜4位老师编写，其中吴明友任主编，卢桂萍任副主编。第1、2、4章由吴明友编写，第3、7、8章由邹浙湘编写，第5、9章由卢桂萍编写，第6章由刘娜编写。吴明友负责全书的组织和统稿。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2015年3月

目录

第1章 数字逻辑电路概论	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 数字电子技术的发展与应用	1
1.1.2 数字信号与数字电路	2
1.1.3 数字电路的分类及特点	2
1.2 数制	4
1.2.1 数的表示方法	4
1.2.2 数制转换	6
1.3 二进制代码	9
1.3.1 二-十进制代码	9
1.3.2 可靠性代码	11
本章小结	12
习题	12
第2章 数字逻辑基础	14
2.1 逻辑运算关系	14
2.1.1 基本逻辑运算	14
2.1.2 复合逻辑运算	16
2.2 逻辑函数及其表示方法	18
2.2.1 逻辑函数	18
2.2.2 逻辑函数的表示方法	19
2.2.3 逻辑函数表示方法之间的相互转换	20
2.3 逻辑代数的运算法则	22
2.3.1 逻辑代数的基本定律	22
2.3.2 逻辑代数常用公式	23
2.3.3 逻辑代数基本规则	24
2.4 逻辑函数的标准形式	26
2.4.1 最小项和标准与或式	26
2.4.2 最大项和标准或与式	28
2.4.3 最大项与最小项的关系	29
2.5 逻辑函数的公式化简法	30

2.5.1 常见的逻辑函数表达式·····	30
2.5.2 逻辑函数公式化简的方法·····	30
2.5.3 逻辑函数公式化简法综合举例·····	32
2.6 逻辑函数的卡诺图化简法·····	33
2.6.1 逻辑函数的卡诺图表示法·····	33
2.6.2 逻辑函数的卡诺图化简法·····	37
2.6.3 具有无关项的逻辑函数的卡诺图化简·····	40
本章小结·····	41
习题·····	42
第3章 逻辑门电路 ·····	46
3.1 概述·····	46
3.1.1 常用逻辑门电路介绍·····	46
3.1.2 正负逻辑及逻辑符号的变换·····	46
3.2 分立元件门电路·····	48
3.2.1 二极管与门电路·····	48
3.2.2 二极管或门电路·····	49
3.2.3 三极管非门电路·····	50
3.2.4 DTL 与非门电路·····	51
3.3 TTL 逻辑门电路·····	52
3.3.1 TTL 与非门·····	52
3.3.2 TTL 与非门改进电路·····	56
3.3.3 集电极开路逻辑门·····	57
3.3.4 三态输出门·····	59
3.3.5 TTL 集成电路产品简介·····	61
3.3.6 TTL 集成门电路使用注意事项·····	62
3.4 CMOS 集成门电路·····	63
3.4.1 CMOS 非门·····	63
3.4.2 CMOS 与非门和或非门电路·····	64
3.4.3 其他功能的 CMOS 门电路·····	65
3.4.4 CMOS 集成电路产品简介·····	66
3.4.5 CMOS 集成门电路使用注意事项·····	67
3.5 集成逻辑门接口技术·····	67
3.5.1 用 TTL 电路驱动 CMOS 电路·····	68
3.5.2 用 CMOS 电路驱动 TTL 电路·····	68
3.5.3 TTL (CMOS) 电路驱动大电流负载·····	69
本章小结·····	70
习题·····	70

第4章 组合逻辑电路	72
4.1 组合逻辑电路概述	72
4.1.1 组合逻辑电路的特点	72
4.1.2 组合逻辑电路的逻辑功能概述	72
4.1.3 组合逻辑电路的类型、研究方法和任务	73
4.2 组合逻辑电路的分析	73
4.2.1 组合逻辑电路的分析步骤	73
4.2.2 组合逻辑电路的分析举例	74
4.3 组合逻辑电路的设计	75
4.3.1 组合逻辑电路的设计步骤	75
4.3.2 组合逻辑电路的设计举例	76
4.4 编码器和译码器	82
4.4.1 编码器	82
4.4.2 译码器	91
4.5 数据选择器和数据分配器	98
4.5.1 数据选择器	98
4.5.2 数据分配器	101
4.6 加法器	103
4.6.1 半加法器	103
4.6.2 全加法器	103
4.6.3 多位加法器	104
4.6.4 全加器的应用	106
4.7 数值比较器	106
4.7.1 1位数值比较器	106
4.7.2 4位数值比较器	107
4.8 组合逻辑电路中的竞争与冒险	108
4.8.1 竞争冒险产生的原因	109
4.8.2 竞争冒险的判断与识别	110
4.8.3 竞争冒险的消除	111
本章小结	112
习题	112
第5章 触发器	117
5.1 触发器概述	117
5.1.1 触发器的特点	117
5.1.2 触发器的分类	118
5.2 基本RS触发器	118

5.2.1 由与非门组成的基本 RS 触发器	118
5.2.2 由或非门组成的基本 RS 触发器	121
5.2.3 基本 RS 触发器的驱动表和状态转换图	122
5.3 同步触发器	123
5.3.1 同步 RS 触发器	123
5.3.2 同步 D 触发器	125
5.3.3 同步 JK 触发器	126
5.3.4 同步触发器的工作特点	128
5.4 主从触发器	129
5.4.1 主从 RS 触发器	129
5.4.2 主从 JK 触发器	130
5.5 边沿触发器	132
5.5.1 边沿 JK 触发器	132
5.5.2 边沿 D 触发器	135
5.5.3 T 触发器和 T' 触发器	138
5.6 不同类型触发器之间的转换	139
本章小结	143
习题	143

第 6 章 时序逻辑电路 147

6.1 时序逻辑电路概述	147
6.1.1 时序逻辑电路概念和特点	147
6.1.2 时序逻辑电路的分类	148
6.1.3 时序逻辑电路的功能描述	148
6.2 同步时序逻辑电路的分析	149
6.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法	149
6.2.2 同步时序逻辑电路的举例	149
6.3 异步时序逻辑电路的分析	154
6.3.1 异步时序逻辑电路的分析方法	155
6.3.2 异步时序逻辑电路的举例	155
6.4 同步时序逻辑电路的设计	156
6.4.1 同步时序逻辑电路的设计方法	156
6.4.2 同步时序逻辑电路的设计举例	157
6.5 计数器	159
6.5.1 异步计数器	160
6.5.2 同步计数器	162
6.5.3 任意进制计数器的构成	162
6.5.4 计数器的应用	165

6.6 寄存器	165
6.6.1 数据寄存器	165
6.6.2 移位寄存器	166
6.6.3 移位寄存器的应用	167
本章小结	167
习题	167
 第7章 脉冲信号的产生与变换	169
7.1 概述	169
7.1.1 脉冲信号的特点及主要参数	169
7.1.2 脉冲产生与整形电路的特点	170
7.2 单稳态触发器	171
7.2.1 用门电路组成的单稳态触发器	172
7.2.2 集成单稳态触发器	174
7.2.3 单稳态触发器的应用	176
7.3 施密特触发器	177
7.3.1 用门电路组成的施密特触发器	177
7.3.2 集成施密特触发器	179
7.3.3 施密特触发器的应用	180
7.4 多谐振荡器	181
7.4.1 用门电路组成的多谐振荡器	181
7.4.2 用施密特触发器构成多谐振荡器	184
7.4.3 石英晶体多谐振荡器	184
7.5 555 定时器及其应用	185
7.5.1 555 定时器的电路结构及功能	186
7.5.2 用 555 定时器组成施密特触发器	187
7.5.3 用 555 定时器组成单稳态触发器	188
7.5.4 用 555 定时器组成多谐振荡器	189
本章小结	191
习题	192
 第8章 D/A 和 A/D 转换	194
8.1 概述	194
8.2 D/A 转换器	195
8.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	195
8.2.2 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	196
8.2.3 权电流型 D/A 转换器	198
8.2.4 D/A 转换器的主要参数	198

8.2.5 常用集成 D/A 转换器简介	199
8.3 A/D 转换器	201
8.3.1 A/D 转换的一般步骤	201
8.3.2 并行比较型 A/D 转换器	203
8.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	205
8.3.4 双积分型 A/D 转换器	207
8.3.5 A/D 转换器的主要参数	208
8.3.6 常用集成 A/D 转换器简介	209
本章小结	211
习题	211
第 9 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	212
9.1 半导体存储器概述	212
9.2 只读存储器 (ROM)	213
9.2.1 固定 ROM	214
9.2.2 可编程只读存储器 (PROM)	217
9.2.3 可擦除可编程只读存储器 (EPROM)	218
9.2.4 电擦除可编程只读存储器 (E ² PROM)	218
9.2.5 快闪存储器 (Flash Memory)	219
9.3 随机存储器 (RAM)	219
9.3.1 RAM 的基本结构	220
9.3.2 RAM 的存储单元	223
9.4 存储容量的扩展	225
9.4.1 位数的扩展	225
9.4.2 字数的扩展	226
9.4.3 RAM 的字数、位数同时扩展	226
9.5 存储器的应用	227
9.6 可编程逻辑器件	233
9.6.1 PLD 的基本结构及其表示方法	233
9.6.2 可编程阵列逻辑器件 (PAL)	235
9.6.3 通用阵列逻辑 (GAL)	237
9.6.4 复杂的可编程逻辑器件 (CPLD)	244
9.6.5 现场可编程门阵列 (FPGA)	245
9.6.6 可编程逻辑器件的编程技术	246
本章小结	248
习题	249
参考文献	251

第 1 章

数字逻辑电路概论

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字电子技术的发展与应用

电子技术是一门研究电子器件及其应用的科学技术。自 20 世纪初第一只实用的电子器件——真空二极管问世以来，电子技术获得了巨大的发展。电子技术的广泛应用不仅有力地促进了生产力的发展，也使人们的生活变得更加丰富多彩。

现在，电子技术应用极为广泛，几乎渗透到社会生产和生活的一切领域。例如，在通信方面，利用电子技术生产的现代化通信设备（如各种广播、电视的发送接收设备、录像机、传真机、无线电话、卫星通信设备等）琳琅满目。在工业控制方面，采用电子技术制作的传感器、测量仪表、控制器和驱动装置使系统更加灵敏、精确，从而有效地提高了自动控制系统的质量。采用大规模和超大规模集成电路工艺生产的微型计算机和单片机，在工农业生产、科学研究、经济管理、办公自动化以及日常生活的各个领域中得到了广泛的应用。可以这样说，没有先进的电子技术就没有社会生产和生活的现代化。

电子技术是 20 世纪发展最迅速、应用最广泛的技术，其发展大致分为电子管（真空管）、晶体管、微电子集成电路三个阶段。随着电子技术的发展，现在人们正处于一个信息时代，每天都要通过电视、广播、通信、互联网等多种媒体获取大量的信息，而现代信息的存储、处理和传输越来越趋于数字化；如人们生活中常用的计算机、通信产品、视频设备、自动控制等电子系统，均采用数字电路或数字系统。数字电子技术正在改变人类的生产方式、生活方式和思维方式，朝着自动化、智能化方向发展。

数字电子技术是在布尔代数和开关理论的基础上发展起来的，其应用的典型代表是电子计算机，计算机技术的产生掀起了一场数字革命。例如照相机，传统的模拟相机用卤化银感光胶片记录影像，胶片的成像过程需要严格的加工技术，且胶片不便于传输和长期保存，数字相机将影像的光信号转换为数字信号，以像素阵列的形式进行存储，数据量压缩处理后可进行网络的远距离传输。因此，数字电子技术广泛应用于国防、工业、农业、交通、科教、医疗、娱乐、金融、财务等领域，使人们的生产生活

发生了质的飞跃。

1.1.2 数字信号与数字电路

自然界中存在许多的物理量,就其变化规律的特点来说,可分为两大类。

一类是在时间和幅值上均是连续变化的信号,称为模拟信号,如图 1-1 (a) 所示,例如模拟语音的音频信号、模拟温度变化的电压信号和热电偶在工作时所输出的电压信号等。将传输和处理模拟信号电子电路称为模拟电路,如模拟电子技术中的放大电路、整流电路等。

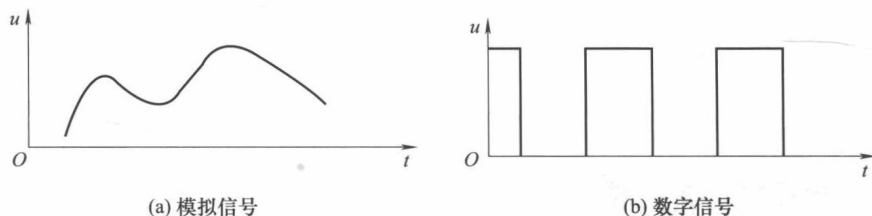


图 1-1 模拟信号与数字信号

另一类是时间和幅值上均是离散的,就是说它的变化在时间和幅值上是不连续的,称为数字信号,如图 1-1 (b) 所示,例如灯的工作状态、自动生产线上产品件数的统计。数字信号常用二值量的信息表示,可以用 0、1 分别表示事物的两种对立状态,如用数字电路来记录自动生产线上通过的产品件数时,当有产品通过时记为 1,没有产品通过时电路产生的信号为 0;又如用数字电路表示灯的工作状态时,灯亮用 1 表示,熄灭用 0 表示;当表示电压的高低时,用 1 表示高电平,用 0 表示低电平等。将传输和处理数字信号电子电路称为数字电路,如门电路、触发器、计数器、编码器和译码器等;因为任何一个数字电路的输出信号与输入信号之间都存在一定的逻辑关系,所以数字电路又称为数字逻辑电路或逻辑电路。

在数字电路中,数字信号用二进制表示,采用串行和并行传输两种传输方法。与模拟信号相比,数字信号具有传输可靠、易于存储、抗干扰能力强、稳定性好等优点。为便于存储、分析和传输,常将模拟信号转化为数字信号,这也是数字电路应用愈来愈广泛的重要原因。

1.1.3 数字电路的分类及特点

(1) 数字电路的分类

① 按集成度分。从电路结构上讲,数字电路有分立和集成之分。分立电路用单个元器件和导线连接而成,目前已很少使用。集成电路的所有元器件及其连线,均按照一定的功能要求,制作在同一块半导体基片上,集成电路种类很多,应用广泛。

所谓集成度,是指每一芯片所包含的门或元器件的个数。按集成度分,数字集成电路可分为小规模 (SSI)、中规模 (MSI)、大规模 (LSI)、超大规模 (VLSI) 和甚大规模 (ULSI) 数字集成电路。数字集成电路的分类如表 1-1 所示。另外,集成电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类型。

表 1-1 数字集成电路的分类

分 类	门或元器件的个数	典型集成电路
小规模 (SSI)	1~10 门或 10~100 元件	逻辑门、触发器等
中规模 (MSI)	10~100 门或 100~1000 元件	译码器、数据选择器、加法器、移位寄存器、计数器、编码器、A/D 转换器等
大规模 (LSI)	100~10000 门或 1000~10000 元件	小型存储器、门阵列等
超大规模 (VLSI)	$10^4\sim10^6$ 门或 $10^5\sim10^7$ 元件	大型存储器、微处理器等
甚大规模 (ULSI)	10^6 门或 10^7 元件	可编程逻辑器件 (PLD)、多功能专用集成电路 (ASIC) 等

② 按所用器件制作工艺的不同分。数字电路可分为双极型和 MOS 电路两类。双极型晶体管集成电路主要有晶体管-晶体管逻辑 (Transistor Transistor Logic, TTL)、射极耦合逻辑 (Emitter Coupled Logic, ECL) 和集成注入逻辑 (Integrated Injection Logic, I²L) 等几种类型。MOS (Metal Oxide Semiconductor) 集成电路, 其有源器件采用金属-氧化物-半导体场效应管, 又可分为 PMOS、NMOS 和 CMOS 等几种类型。

目前数字系统中普遍使用 TTL 和 CMOS 集成电路。TTL 集成电路工作速度快、驱动能力强, 但功耗大、集成度低; MOS 集成电路具有集成度高、功耗低的优点, 超大规模集成电路基本上都是 MOS 集成电路, 其缺点是工作速度略低。目前已生产了 BiCMOS 器件; 它由双极型晶体管电路和 MOS 型集成电路构成, 能够充分发挥两种电路的优势, 缺点是制造工艺复杂。

③ 按照电路的结构和工作原理不同分。数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路没有记忆功能, 其输出信号只与当时的输入信号有关, 而与电路原来的状态无关。时序逻辑电路具有记忆功能, 其输出信号不仅与当时的输入信号有关, 而且与电路原来的状态有关。

(2) 数字电路的特点

与模拟电路相比, 数字电路主要有以下特点。

① 结构简单, 便于集成, 成本低。数字电路结构简单, 体积小, 通用性强, 集成化高, 容易制造, 可大批量生产, 因而成本低廉。

② 工作可靠, 稳定性好, 抗干扰能力强。数字电路中的电子器件工作在开关状态, 对于一个给定的输入信号, 输出总是相同的。而模拟电路的输出会很容易受外界温度及器件老化等因素的影响。

③ 速度快, 功耗低。随着集成电路工艺的发展, 集成电路中单管的速度可以做到小于 10^{-11} s, 超大规模集成芯片的功耗可低至几毫瓦。

④ 加密性好, 可长期保存。数字电路的信息采用二进制代码进行存储、处理和传输, 具有很好的保密性和存储性。

⑤ 易于设计, 具有可编程性。数字电路只要能可靠地区分 0 和 1 两种状态就可正常工作, 故分析和设计相对较容易。同时, 用户可根据需要用硬件描述语言 (如 VHDL 等) 完成设计和仿真后写入芯片, 具有极强的灵活性。

1.2 数制

数制就是计数规则，即进位的制度。在表示数的大小时，仅仅用一位数码往往不够，必须用进位计数的方法组成多位数码；多位数码的每一位构成以及从低位到高位进位的规则称为进位计数制，简称数制。一个数制所包含的数字符号的个数称为该数制的基数(Radix)。人们在日常生活中使用的是十进制数，而在数字系统中进行数字的运算和处理采用的是二进制数，有时也采用八进制数和十六进制数。

1.2.1 数的表示方法

举例说明数的表示方法：

$$937.68 = 9 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

其中，9、3、7、6、8为基本符号，10为基数， 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 为位权。将一种进制所包含的全部数码称为基本符号，进制计数中按照“逢N进一”的规律，将N称为基数。在某一进制的数中，每一位的大小都对应该位数码乘以一个固定的数，这个固定的数就是这一位的权；权是一个幂，等于基数的位次方，它表示每一数码在不同位置时，所代表的数值是不同的。N进制数的第i位的权，整数部分由低位到高位分别为 N^0 、 N^1 、 N^2 、…、 N^{x-1} ；小数部分由高位到低位分别为 N^{-1} 、 N^{-2} 、…、 N^{-y} 。

将基本符号、基数、位权统称为数制的三要素：任意一个进制数都可以表示为基本符号与其对应权的乘积之和，称三要素展开式。如果用 K_i 表示第i位的基本符号，对于一个具有x位整数和y位小数的N进制数M的三要素展开式为：

$$(M)_N = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i N^i \quad (1-1)$$

(1) 十进制

十进制的基数为10，常用下标10或符号D来表示。有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9共10个不同的数码，其计数规律是“逢10进1”，即 $9+1=10$ 。

任何一个十进制数的三要素展开式都可写成：

$$(M)_{10} = (M)_D = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 10^i \quad (1-2)$$

例如：

$$(2957.38)_D = 2 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

(2) 二进制

二进制是以2为基数的计数体制，常用下标2或符号B来表示。只有0和1两个数码，它的每一位都可以用电子元件来实现，且运算规则简单，相应的运算电路也容易实现。其计数规律是“逢2进1”，即： $1+1=10$ 。

任何一个二进制数的三要素展开式都可写成：

$$(M)_2 = (M)_B = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 2^i$$

(1-3)

例如：

$$(1011.011)_B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

(3) 八进制

八进制是以 8 为基数的计数体制，常用下标 8 或符号 O 来表示，有 0、1、2、3、4、5、6、7 共 8 个不同的数码，其计数规律是“逢 8 进 1”，即 7+1=10。

任何一个八进制数的三要素展开式都可写成：

$$(M)_8 = (M)_O = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 8^i$$

(1-4)

例如：

$$(7532.641)_O = 7 \times 8^3 + 5 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} + 1 \times 8^{-3}$$

(4) 十六进制

十六进制是以 16 为基数的计数体制，常用下标 16 或符号 H 来表示，有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个不同的数码，其中 A、B、C、D、E、F 依次相当于十进制数中的 10、11、12、13、14、15。十六进制的计数规律是“逢 16 进 1”，即 F+1=10。

任何一个十六进制数的三要素开式都可写成

$$(M)_{16} = (M)_H = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 16^i$$

(1-5)

例如：

$$(7B89.53A)_H = 7 \times 16^3 + 11 \times 16^2 + 8 \times 16^1 + 9 \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + 3 \times 16^{-2} + 10 \times 16^{-3}$$

十进制、二进制、八进制和十六进制等不同数制的对照关系如表 1-2 所示。

表 1-2 十进制、二进制、八进制和十六进制对照

十 进 制	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	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

1.2.2 数制转换

既然同一个数可采用不同的计数体制来表示,那么各种数制表示的数之间就可以进行相互转换。数制转换指将一个数从一种数制的表示形式转换成等值的另一种数制的表示形式,其实质为权值转换。数制相互转换的原则为转换前后两个数的整数部分和小数部分必定分别相等。

(1) 非十进制数转换为十进制数

非十进制数转换为十进制数的转换方法为:写出需要转换的非十进制数的三要素展开式,计算出相应的结果即为对应的十进制数。

【例 1-1】 将 $(1101.011)_B$ 、 $(512.04)_O$ 、 $(B9.D)_H$ 分别转换为对应的十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (1101.011)_B &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (13.375)_D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(512.04)_O &= 5 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} \\ &= (330.0625)_D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(B9.D)_H &= 11 \times 16^1 + 9 \times 16^0 + 13 \times 16^{-1} \\ &= (185.8125)_D\end{aligned}$$

(2) 十进制数转换为非十进制数

将十进制数转换为非十进制数时,其整数部分和小数部分的转换方法不同,必须分别进行转换,然后将两部分转换结果合并得完整的目标数制形式。

① 整数部分的转换。转换方法:“除基取余”,即将十进制的整数部分逐次除以转换目标数制的基数,保留余数,将所得商数部分再除以基数,依次类推,直到商为 0 为止。每次所得的余数便为要转换的数码,第一个余数为最低位,最后一个余数为最高位。

【例 1-2】 将 $(71)_D$ 分别转换为对应的二进制、八进制、十六进制。

$$\text{① } (71)_D = (1000111)_B$$

	余数	
$2 \overline{) 71}$	$\cdots \cdots 1 = K_0$	低位
$2 \overline{) 35}$	$\cdots \cdots 1 = K_1$	
$2 \overline{) 17}$	$\cdots \cdots 1 = K_2$	
$2 \overline{) 8}$	$\cdots \cdots 0 = K_3$	
$2 \overline{) 4}$	$\cdots \cdots 0 = K_4$	
$2 \overline{) 2}$	$\cdots \cdots 0 = K_5$	
$2 \overline{) 1}$	$\cdots \cdots 1 = K_6$	
0		高位

$$\text{② } (71)_D = (107)_O$$

	余数	
8 71	 7 = K ₀	低位
8 8	 0 = K ₁	↑
8 1	 1 = K ₂	高位
0		

③ (71)_D = (47)_H

	余数	
16 71	 7 = K ₀	低位
16 4	 4 = K ₁	高位
0		

② 小数部分的转换。转换方法：“乘基取整”，即将十进制的小数部分逐次乘以转换目标数的基数，保留整数，将剩下的小数部分再乘以基数，以此类推。每次所得的整数便为要转换的小数部分，第一个整数为最高位，最后一个整数为最低位。

【例 1-3】 将 (0.837)_D 转换为对应的二进制，要求其误差小于 2⁻⁵。

解：根据小数部分的“乘基取整”法，可得：

	整数	
0.837 × 2 = 1.674	 1 = K ₋₁	高位
0.674 × 2 = 1.348	 1 = K ₋₂	↓
0.348 × 2 = 0.696	 0 = K ₋₃	↓
0.696 × 2 = 1.392	 1 = K ₋₄	低位

因最后得到的小数 0.392 小于 0.5，根据“四舍五入”的原则，K₋₅ 应为 0，所以 (0.837)_D = (0.1101)_B，其误差小于 2⁻⁵。

【例 1-4】 将 (213.375)_D 转换成对应的二进制数、十六进制数。

解：① 将 (213.375)_D 转换成对应的二进制数。

整数部分：

	余数	
2 213	 1 = K ₀	低位
2 106	 0 = K ₁	↑
2 53	 1 = K ₂	↑
2 26	 0 = K ₃	↑
2 13	 1 = K ₄	↑
2 6	 0 = K ₅	↑
2 3	 1 = K ₆	↑
2 1	 1 = K ₇	高位
0		