

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

数字电子技术基础

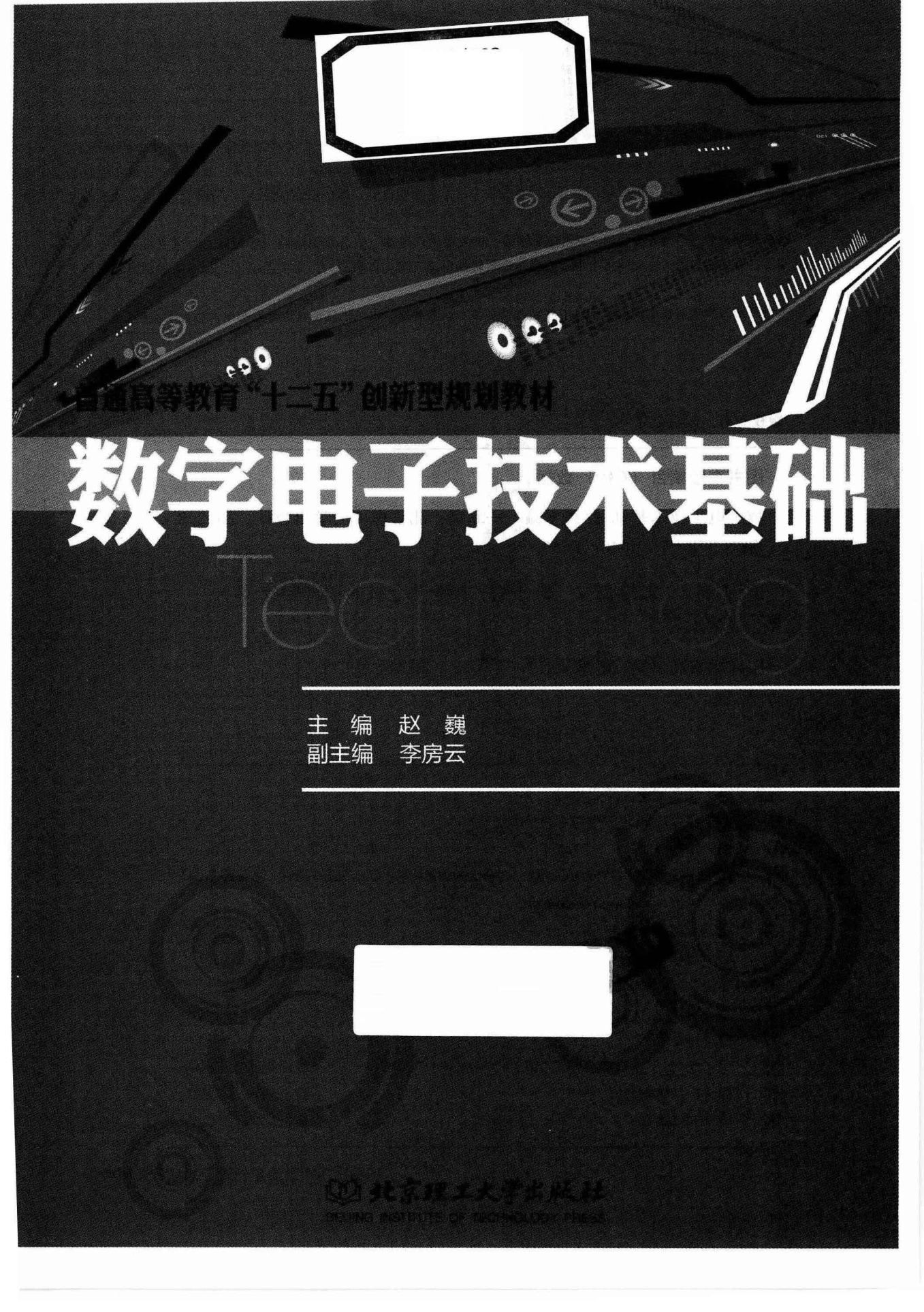
Technology

赵 巍 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

数字电子技术基础

主 编 赵 巍
副主编 李房云

 北京理工大学出版社
BEIHANG INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

“数字电子技术基础”是电子信息、通信、计算机、电气自动化等专业的一门专业基础课。本书在内容的编排上，以理论够用、实用为主、注重实践的教学思想而编写，着重介绍数字电路的新理论、新技术、新器件。对数字电路的常用集成电路作了比较详细的介绍。本书在编写过程中，力求简明扼要、通俗易懂，并结合了现代数字电子技术的发展趋势。

本书共分9章，内容主要包括：逻辑代数基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形电路、数模与模数转换电路、综合课程设计。书中给出了大量的例题和习题，便于学生自学。

本书可作为高等院校通信、电子、电气和计算机等专业的教材，也可供其他非电专业和成人教育等选用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/赵巍主编. —北京:北京理工大学出版社, 2012.8
ISBN 978-7-5640-6550-8

I. ①数… II. ①赵… 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(2012)第186749号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京兆成印刷有限责任公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 338千字

版 次 / 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

责任编辑 / 陈莉华

印 数 / 1~3000册

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 34.00元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本书是根据教育部“数字电子技术”课程教学的基本要求和应用型本科人才培养的规格和特点,并结合现代数字电子技术的发展趋势而编写的。

近些年来,数字化的浪潮席卷了电子技术应用的一切领域,由于电子产品的更新开发速度日益加快,因而对数字电子设计自动化提出了更高的要求,也有力促进了数字电子技术的发展和普及。

本书的主要内容有:逻辑代数基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形电路、数模与模数转换电路、综合课程设计等。本书各章配有本章小结与习题等内容。

在编写时,力求突出重点,使基本概念明确清晰,努力贯彻教材要少而精和理论联系实际的精神。在第1章~第8章末都附有一定数量的习题,帮助读者加深对课程内容的理解。在习题选择上充分考虑其针对性、启发性和实用性,充分体现教学要求。使读者能够学、练结合,以帮助读者进一步正确消化、理解和巩固本书所学理论知识,增强应用能力。部分习题有一定的深度,使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。综合课程设计中的读图练习和综合训练等内容,使读者能够分层次逐步把理论与实际应用紧密结合起来,既能帮助提高读者的理解能力,又能培养读者的学习兴趣。

本书在内容及章节编排上,充分考虑通信、电子、电气和计算机等专业的需要,以够用和实用为教学改革方向,删去了烦琐的理论推导过程,侧重基本分析方法、设计方法和集成电路芯片的应用。在注重基本概念和基础理论的同时,更加强调应用和实践能力的培养。实用相关资料的提供使读者身边多了一本简易手册,可随时随地对数字芯片进行速查。全书知识衔接紧凑、系统,叙述通俗易懂。适合作为高校电子、通信、电气及计算机等各专业的教材,也适用于成人自学和职业技术培训。

本书的特色是“定位准确、强调基础、注重实用、精讲多练、易教易学”。

本书由华东交通大学理工学院赵巍担任主编,并对全书内容进行了组织、统稿和审定。本书第1、4、5、6、7、8、9章由赵巍编写,第2、3章由李房云编写,吴剑峰和陈鼎完成了本书部分内容的编写,在此一并表示感谢。

本书在编写过程中还得到了华东交通大学理工学院电信分院有关领导和老师的大力支持和帮助,华东交通大学理工学院电子教研室的各位老师对于本书的编写也给予了大力的支持和帮助。谨在此向他们表示衷心的感谢。因编写参考了大量的书籍和网上资料,不能将所有出处一一列出,在此,向所有被引用到本书的书籍和资料的作者表示最真诚的感谢!

由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

第1章 逻辑代数基础	1
1.1 数字电路与数字信号	1
1.2 数制	2
1.2.1 进位计数制	2
1.2.2 十进制数的表示	2
1.2.3 二进制数的表示	2
1.2.4 其他进制数的表示	3
1.3 数制转换	5
1.3.1 其他进制数转换为十进制数	5
1.3.2 十进制数转换为二进制数	5
1.3.3 二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换	6
1.4 编码	6
1.4.1 二-十进制(BCD)码	6
1.4.2 奇偶校验码	8
1.4.3 字符代码	8
1.5 逻辑代数基础	9
1.5.1 逻辑变量	10
1.5.2 基本逻辑运算	10
1.5.3 其他常用逻辑运算	11
1.6 逻辑函数及其表示方法	12
1.6.1 逻辑函数的建立	12
1.6.2 逻辑函数的表示方法	12
1.7 逻辑代数的定律及规则	13
1.7.1 逻辑代数的基本定律	13
1.7.2 逻辑代数的基本规则	15
1.7.3 逻辑函数的代数化简法	16
1.7.4 逻辑函数的卡诺图表示法	17
1.7.5 逻辑函数的卡诺图化简法	21
1.7.6 具有无关项的逻辑函数的化简	24
本章小结	26

习题一	26
第2章 集成逻辑门电路	30
2.1 概述	30
2.2 分立元件门电路	31
2.2.1 二极管的静态特性	32
2.2.2 三极管的开关特性	32
2.2.3 二极管门电路	33
2.2.4 三极管非门	34
2.3 集成逻辑门电路	35
2.3.1 TTL 与非门	35
2.3.2 其他功能的 TTL 门电路	36
2.3.3 TTL 数字集成电路及主要参数	38
2.4 CMOS 集成逻辑门电路	39
2.4.1 CMOS 反相器	39
2.4.2 其他功能的 CMOS 电路	41
2.4.3 CMOS 数字集成电路的特点与系列	42
本章小结	43
习题二	44
第3章 组合逻辑电路	47
3.1 概述	47
3.1.1 组合逻辑电路的特点	47
3.1.2 组合逻辑电路的方框图及特点	47
3.1.3 3种基本逻辑门及其表示	48
3.1.4 由3种基本逻辑门导出的其他逻辑门及其表示	50
3.2 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	53
3.2.1 组合逻辑电路的分析方法	53
3.2.2 组合逻辑电路的设计方法	53
3.2.3 组合逻辑电路分析举例	54
3.3 常用中规模标准组合逻辑电路	57
3.3.1 加法器	57
3.3.2 编码器	62
3.3.3 译码器	66
3.3.4 数据选择器	72
3.4 组合电路中的竞争冒险	77
3.4.1 组合电路中的竞争冒险现象	77
3.4.2 组合电路中的竞争冒险判别方法	77
3.4.3 组合电路中的竞争冒险消除方法	78
本章小结	80

习题三	80
第4章 触发器	84
4.1 触发器概述	84
4.2 基本 RS 触发器	84
4.2.1 基本 RS 触发器电路组成及逻辑符号	84
4.2.2 基本 RS 触发器逻辑功能	85
4.3 同步触发器	85
4.3.1 同步 RS 触发器电路结构	85
4.3.2 同步 D 触发器	87
4.3.3 同步触发器存在的问题——空翻	88
4.4 主从触发器	89
4.4.1 主从 RS 触发器	89
4.4.2 主从 JK 触发器	90
4.4.3 T 触发器	93
4.5 边沿触发器	94
4.5.1 维持—阻塞边沿 D 触发器	94
4.5.2 CMOS 主从结构的边沿触发器	96
4.5.3 利用传输延迟时间的边沿 JK 触发器	97
4.6 集成触发器	98
4.6.1 几种常见的集成触发器	98
4.6.2 触发器的主要应用	99
本章小结	100
习题四	101
第5章 时序逻辑电路	108
5.1 时序逻辑电路的基本概念	108
5.2 时序逻辑电路的一般分析方法	109
5.2.1 同步时序逻辑电路	109
5.2.2 异步时序逻辑电路	111
5.3 计数器	113
5.3.1 二进制计数器	113
5.3.2 非二进制计数器	120
5.3.3 集成计数器的应用	125
5.4 数码寄存器与移位寄存器	130
5.4.1 数码寄存器	130
5.4.2 移位寄存器	131
5.4.3 集成移位寄存器 74LS194	133
5.5 时序逻辑电路的设计方法	135
5.5.1 同步时序逻辑电路的设计方法	135

5.5.2 异步时序逻辑电路的设计方法	138
本章小结	141
习题五	141
第6章 半导体存储器	146
6.1 随机存取存储器(RAM)	146
6.1.1 RAM 的基本结构	146
6.1.2 RAM 的存储单元	150
6.1.3 RAM 的容量扩展	152
6.1.4 RAM 的芯片简介	153
6.2 只读存储器(ROM)	154
6.2.1 ROM 的分类	154
6.2.2 ROM 的结构及工作原理	155
6.2.3 ROM 的应用	157
本章小结	160
习题六	160
第7章 脉冲波形的产生与整形电路	162
7.1 脉冲信号	162
7.2 施密特触发器	163
7.2.1 门电路组成的施密特触发器	163
7.2.2 集成施密特触发器	164
7.2.3 施密特触发器的应用	166
7.3 单稳态触发器	167
7.3.1 门电路组成的微分型单稳态触发器	167
7.3.2 集成单稳态触发器	168
7.3.3 单稳态触发器的应用	171
7.4 多谐振荡器	171
7.5 集成555定时器	173
7.5.1 555 定时器的电路结构与工作原理	174
7.5.2 用555 定时器构成的施密特触发器	175
7.5.3 用555 定时器构成的多谐振荡器	176
7.5.4 用555 定时器单稳态触发器	180
本章小结	183
习题七	184
第8章 数模与模数转换电路	187
8.1 D/A 转换器	187
8.1.1 D/A 转换器的基本原理	187
8.1.2 倒T形电阻网络 D/A 转换器	187
8.1.3 权电流型 D/A 转换器	189

8.1.4 权电流型 D/A 转换器应用举例	191
8.1.5 D/A 转换器的主要技术指标	191
8.2 A/D 转换器	192
8.2.1 A/D 转换的一般步骤和取样定理	192
8.2.2 取样-保持电路	194
8.2.3 并行比较型 A/D 转换器	195
8.2.4 逐次比较型 A/D 转换器	197
8.2.5 双积分型 A/D 转换器	198
8.2.6 A/D 转换器的主要技术指标	200
8.2.7 集成 A/D 转换器及其应用	201
本章小结	204
习题八	204
第 9 章 综合课程设计	207
9.1 概述	207
9.2 智力竞赛抢答器电路设计	207
9.2.1 设计任务及要求	207
9.2.2 设计方案提示	208
9.2.3 主要元器件选择	208
9.2.4 设计原理及参考电路	208
9.3 数字电子钟逻辑电路设计	210
9.3.1 简述	210
9.3.2 设计任务及要求	211
9.3.3 设计方案提示	211
9.3.4 主要元器件选择	212
9.3.5 设计原理及参考电路	213
9.4 交通灯控制逻辑电路设计	215
9.4.1 简述	215
9.4.2 设计任务及要求	215
9.4.3 设计方案提示	216
9.4.4 主要元器件选择	218
9.4.5 设计原理及参考电路	218
9.5 数字温度计逻辑电路设计	219
9.5.1 设计任务及要求	219
9.5.2 设计方案提示	219
9.5.3 主要元器件选择	221
参考文献	222

第 1 章

逻辑代数基础

随着信息时代的到来,“数字”这两个字正以越来越高的频率出现在各个领域,数字手表、数字电视、数字通信、数字控制等,数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字电路是数字电子技术的核心,是计算机和数字通信的硬件基础。本章首先介绍数字电路的一些基本概念及数字电路中常用的数制与码;然后介绍数字逻辑中的基本逻辑运算、逻辑函数及其表示方法,最后介绍逻辑函数的化简。从现在开始,你将跨入数字电子技术这一神奇的世界,去探索它的奥秘,认识它的精彩。

1.1 数字电路与数字信号

1. 数字电路的特点

(1) 工作信号是二进制的数字信号,在时间上和数值上是离散的(不连续),反映在电路上就是低电平和高电平两种状态(即0和1两个逻辑值)。

(2) 在数字电路中,研究的主要问题是电路的逻辑功能,即输入信号的状态和输出信号的状态之间的逻辑关系。

(3) 对组成数字电路的元器件的精度要求不高,只要在工作时能够可靠地区分0和1两种状态即可。

2. 数字电路的分类

(1) 按集成度分类:数字电路可分为小规模(SSI,每片数十器件)、中规模(MSI,每片数百器件)、大规模(LSI,每片数千器件)和超大规模(VLSI,每片器件数目大于1万)数字集成电路。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。

(2) 按所用器件制作工艺的不同:数字电路可分为双极型(TTL型)和单极型(MOS型)两类。

(3) 按照电路的结构和工作原理的不同: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,而与电路以前的状态无关。时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅和当时的输入信号有关,而且与电路以前的状态有关。

1.2 数制

1.2.1 进位计数制

用一组统一的符号和规则表示数的方法，称为进位计数制。

它的概念描述为：把数分为不同的位数，逐位累加，加到一定数量后，再从零开始，同时向高位进位。

进位计数制有三个要素：数码符号，进位规则和进位基数。数码符号指进位计数制用来表示数的符号，进位规则是指进位计数制在由低位向高位进位时遵循什么法则，进位基数表示进位计数制所具有的数字符号的个数。

1.2.2 十进制数的表示

在日常生活中，人们一般都采用十进制数来计数，十进制数一共有 10 个数码符号，即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。十进制的进位基数为 10，表示十进制数一共有 10 个数码符号。十进制的计数规则是由低位向高位进位时“逢十进一”，也就是说，每位累计不能超过 9，计满 10 就应该向高位进 1。

进位计数制中，当某一位的数码为“1”时，他所表征的数值称为该位的“权”。当人们看到一个十进制数，如 375.38 时，会立刻想到这个数左边第一位为百位，代表 300，左边第二位为十位，代表 70，左边第三位为个位，代表 5，小数点右边第一位代表十分位，即 $3/10$ ，小数点右边第二位代表百分位，即 $8/100$ 。从左至右每一位的权分为是： 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 。这样 375.38 按权展开式如下

$$375.38 = 3 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

对于十进制数的表示，可以在数字的右下角标注 10 或 D，对于任意一个十进制数 N ，其按权展开式如下

$$\begin{aligned}(N)_D &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}$$

其中， a_i 表示各个数字符号，为 0~9 这 10 个数码中的一个； n 为整数部分的位数； m 为小数部分的位数。

1.2.3 二进制数的表示

数字系统中常用的进位计数制是二进制数，二进制数一共有 2 个数码符号，即 0 和 1。二进制的进位基数为 2，表示十进制数一共有 2 个数码符号。二进制的计算规则是由低位向高位进位时“逢二进一”。

对于二进制数的表示，可以在数字的右下角标注 2 或 B。例如 $(10010)_B$ 就是一个二进制数。不同数位表示的值不同，各位的权是以 2 为底的连续整数幂，从右向左递增。

对于任意一个二进制数 N ，其按权展开式如下

$$\begin{aligned}(N)_B &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i\end{aligned}$$

其中, a_i 表示各个数字符号, 为 0 或 1; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。在数字系统中, 常用二进制来表示数字和进行运算, 因为它具有如下优点:

(1) 二进制数只有 0 和 1 两个数码, 任何具有两个不同稳定状态的元件都可以用来表示一位二进制数。例如晶体管的导通与截止, 脉冲信号的“有”与“无”。

(2) 二进制运算规则简单, 其运算规则如下:

加法: $0 + 0 = 0$	$0 + 1 = 1$
$1 + 0 = 1$	$1 + 1 = 0$ (进位)
减法: $0 - 0 = 0$	$0 - 1 = 1$ (借位)
$1 - 0 = 1$	$1 - 1 = 0$
乘法: $0 \times 0 = 0$	$0 \times 1 = 0$
$1 \times 0 = 0$	$1 \times 1 = 1$
除法: $0 \div 1 = 0$	$1 \div 1 = 1$

例 1.1 求 $(1011101)_B$ 与 $(0010011)_B$ 的和。

$$\begin{array}{r}
 1011101 \\
 + \quad 0010011 \\
 \hline
 1110000
 \end{array}$$

例 1.2 求 $(1101)_B$ 与 $(0101)_B$ 的乘积。

$$\begin{array}{r}
 1101 \\
 \times \quad 0101 \\
 \hline
 1101 \\
 0000 \\
 1101 \\
 0000 \\
 \hline
 01000001
 \end{array}$$

(3) 二进制数只有两个状态, 数字的传输和处理不容易出错, 可靠性高。

(4) 二进制数码的 0 和 1, 可与逻辑代数中逻辑变量的值“假”和“真”对应起来。也就是可以用一个逻辑变量代表一个二进制码, 这样逻辑运算中就可以使用逻辑代数这个数学工具了。

1.2.4 其他进制数的表示

二进制数运算规则简单, 便于电路实现, 是数字系统中广泛采用的一种数值。但是二进制表示一个数时, 数位过长, 不便于读写和记忆, 容易出错。因为, 常常采用的还有八进制和十六进制, 这两种进制便于读写和阅读, 而且具有二进制的优点, 十分容易将他们转为二进制数。

八进制的基数是 8, 采用的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7。计数规则是低位向高位

“逢八进一”。权是以 8 为底的连续整数幂，从右向左递增。由于八进制数码和十进制前 8 个数码相同，为便于区分，通常在八进制数的右下角标记 8 或者字母 O。例如 $(53.7)_8$ 就是一个八进制数。

十六进制数基数为 16，采用的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中 A、B、C、D、E、F 分别表示十进制数字 10、11、12、13、14、15。十六进制的计数规则是低位向高位“逢十六进一”。权是以 16 为底的连续整数幂，从右向左递增。为便于区分，通常在十六进制数右下角标注 16 或数字后面接 H。例如 36FA.4BH 就是十六进制数。

一般来说，对于任意的 r 进制数。都有 r 个数码，计数规则为“逢 r 进一”。权是以 r 为底的连续整数幂，从右向左递增。其按权展开式普遍形式如下

$$(N)_r = a_{n-1} \times r^{n-1} + a_{n-2} \times r^{n-2} + \cdots + a_1 \times r^1 + a_0 \times r^0 + a_{-1} \times r^{-1} + a_{-2} \times r^{-2} + \cdots + a_{-m} \times r^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times r^i$$

其中， a_i 表示各个数字符号，为 0、1 或 0, 1, ..., $r-1$ ； n 为整数部分的位数； m 为小数部分的位数。

表 1.1 所示为各种常用不同进制数的区别，表 1.2 所示常用进制数前 16 个数。

表 1.1 常用的进制数

常用进制	英文表示符号	数码符号	进位规则	进位基数
二进制	B	0、1	逢二进一	2
八进制	O	0、1、2、3、4、5、6、7	逢八进一	8
十进制	D	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9	逢十进一	10
十六进制	H	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F	逢十六进一	16

表 1.2 不同进制计数制的各种数码

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
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

1.3 数制转换

1.3.1 其他进制数转换为十进制数

在计算机和其他数字系统中,普遍采用的是二进制数,而人们习惯使用十进制数,所以在信息处理中,必须先把十进制数转换成二进制数,然后再将二进制数的计算结果转换为人们所熟悉的十进制数。

其他进制数转换成十进制数是很方便的,只要将其他进制数写成按权展开式,并将式中的各项计算出来,即可得到相对应的十进制数。

$$\begin{aligned}\text{例 1.3} \quad (110110.101)_B &= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + \\ &\quad 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 32 + 16 + 4 + 2 + 0.5 + 0.125 \\ &= (54.625)_D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{例 1.4} \quad (5AF.8C)_H &= 5 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2} \\ &= 1280 + 160 + 15 + 0.5 + 0.046875 \\ &= (1455.546875)_D\end{aligned}$$

1.3.2 十进制数转换为二进制数

十进制数转换成二进制数时,需将待转的十进制数分成整数部分和小数部分,整数部分和小数部分分别转换。

整数部分采用“除二取整法”,即用十进制数整数部分除以2,取余数“1”或“0”作为相应二进制数的最低位,把得到的商再除以2,取余数作为二进制数的次低位,依次类推,直到商为0,所得余数为最高位。

例 1.5 将十进制整数 29 转换为二进制数。

2 29	余数
2 14	1 最低位
2 7	0
2 3	1
2 1	1
0	1 最高位

结果为: $(29)_D = (11101)_B$ 。

小数部分采用“乘二取整法”,即用十进制数小数部分乘以2,取其整数“1”或“0”作为二进制小数的最高位,然后将乘积的小数部分再乘以2,并再次取整作为二进制数的次高位,依次类推,知道小数部分变为0或达到所要求的精度。

例 1.6 将十进制小数 0.3125 转换为二进制数。

	余数
$0.3125 \times 2 = \boxed{0}.625$	0 最高位
$0.625 \times 2 = \boxed{1}.25$	1

$$0.25 \times 2 = \boxed{0}.5 \quad \cdots \cdots 0$$

$$0.5 \times 2 = \boxed{1}.0 \quad \cdots \cdots 1 \quad \text{最低位}$$

注意：运算时，式中的整数部分不参与连乘。

结果为： $(0.3125)_D = (0.0101)_B$ 。

例 1.7 将十进制数 29.3125 转换为二进制数。

$$\begin{aligned} (29.3125)_D &= (29)_D + (0.3125)_D \\ &= (11101)_B + (0.0101)_B \\ &= (11101.0101)_B \end{aligned}$$

1.3.3 二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换

八进制数的基数是 8，十六进制数的基数是 16，他们与二进制数的基数之间满足 2^3 和 2^4 的关系，因此可以直接进行转换。

将二进制转换为八进制或十六进制数的方法为：将待转换的二进制数从小数点开始，分别向左、右按 3 位（转换为八进制数）或 4 位（转换为十六进制数）分段，高位不足时在有效位前加 0，低位不足时在有效位后加 0，然后把每段二进制数转换成八进制或十六进制即可。

例 1.8 将二进制数 1101111.00011 分别转换为八进制数和十六进制数。

转换为八进制数 $(1101111.00011)_B = (001/101/111.000/110)_B = (157.06)_O$ 。

转换为十六进制数 $(1101111.00011)_B = (0110/1111.0001/1000)_B = (6F.18)_H$ 。

将八进制数转换成二进制数时，可按上述方法的逆过程进行。

1.4 编码

不同的数码不仅可以表示数量的大小，还可以表示不同的事物。用来表示不同事物的数码称为代码。在数字系统或计算机中，数据和信息都是用二进制数字符号 0 和 1 来表示的，指定某一组二进制数去代表某一指定的信息，就称为编码。

用以表示十进制数码、字母、符号等信息的一定位数的二进制数称为代码。

1.4.1 二—十进制 (BCD) 码

用二进制码表示的十进制数，简称为二—十进制码，也称为 BCD 码，这种编码具有二进制的性质，还同时具有十进制的特点。BCD 码又分为有权码和无权码。有权 BCD 码指每一位十进制数均用一组四位二进制码来表示，而且二进制码的每一位都有固定权值。无权 BCD 码指用来表示十进制的四位二进制码中，每一位都没有固定的权值。下面介绍几种常见的 BCD 码。

表 1.3 十进制常用的 BCD 码

十进制数码	8421 BCD 码	2421 BCD 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	0111
6	0110	1100	1001	0101
7	0111	1101	1010	0100
8	1000	1110	1011	1100
9	1001	1111	1100	1101

一、8421 BCD 码

8421 BCD 码是最基本、最简单的一种编码，应用十分广泛。这种编码是将每个十进制数码用 4 位二进制数表示，按自然二进制数的规律排列，并且规定前面 10 个代码依次表示数码 0 ~ 9。8421 BCD 码是一种有权码，其中“8421”是指在这种编码中，代码从高位到低位的位权值分别为 8、4、2、1。将其代码为 1 的数的权值相加即可得代码所代表的十进制数。

8421 BCD 码对于十进制的 10 个数码的表示与普通二进制中的表示完全相同，很容易实现彼此之间的转换。这种码具有奇偶特性，当十进制数码为奇数值时，其所对应的二进制码最低位为 1；当十进制数码为偶数时，其所对应的二进制代码的最低位为 0。

必须指出，在 8421 BCD 码中不允许出现 1010 ~ 1111 这几个代码，因为在十进制中没有数码与他们对应。

二、2421 BCD 码

2421 码和 8421 码相似，也是一种有权码，用 4 位二进制数代表以为十进制数，2421 码的权从高位到低位，每位的位权值分别为 2、4、2、1。

2421 码是一种“对 9 的自补”代码。在这种编码中，十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的对应码位，当其中一个为 0 时，另一个就为 1，互为反码。也就是说，2421 码自身按位求反，就能很方便地得到其“对 9 的补数”的 2421 码。

在计算机中对十进制进行运算时，2421 码的这一特性很有用。需要指出的是，2421 码的编码方案不止一种，表 1.3 给出的只是其中的一种。

三、余 3 码

余 3 码是一种特殊的 8421 码，他是由 8421 BCD 码加 3 后形成的，所以称为余 3 码。例如，十进制数 4 在 8421 BCD 码中是 0100，在余 3 码中就成为 0111。余 3 码的各位无固定的权。

余 3 码也是一种“对 9 的自补”编码。利用余 3 码能很方便的求得某数“对 9 的补