普通高等教育"十一五"规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

数字电子技术基础

李月乔 主编

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

SHUZI DIANZI JISHU JICHU

数字电子技术基础

主　编　李月乔
编　写　刘向军　刘春颖　王　赟
　　　　文亚凤　陈晓梅　赵莲清
主　审　朱承高

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分十章，主要内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、半导体存储器、可编程逻辑器件与VHDL语言、数模与模数转换电路、数字系统设计。本书基本概念清晰，例题讲解步骤详细，习题丰富且综合性强；注重培养学生的综合能力，将理论知识与实际数字系统设计充分结合；配有电子教案，易于教学安排。

本书主要作为普通高等学校电气信息类专业的本科生教材，也可作为从事相关工作工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础/李月乔主编. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-6488-9

Ⅰ.数… Ⅱ.李… Ⅲ.数字电路—电子技术—高等学校—教材 Ⅳ.TN79

中国版本图书馆CIP数据核字（2007）第195993号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 http://jc.cepp.com.cn）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008年2月第一版 2008年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26.75印张 655千字

定价 **38.00** 元

前　言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

数字电子技术基础是电类各专业的重要技术基础课，处于各专业教学的中间环节，是学生基本素质形成的关键课程。本书是为电类各专业的本科生学习数字电路基础知识而写的，满足数字电路教学的基本要求。

本书的编写力求突出重点，基本概念明确清晰，例题讲解步骤详细。每章后都附有一定数量的习题，帮助学生加深对课程内容的理解，其中部分习题有一定的深度，可使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识；部分习题综合了多个章节的内容，以锻炼学生综合运用知识的能力。最后一章结合数据移位计算乘法器、彩灯控制器、抢答器等实际的数字系统设计来综合数字电路各部分的知识，并介绍数字系统设计流程，有利于培养学生的综合应用能力，这种讲解方法是本书的特色。

本书采用了国家标准逻辑符号，使读者对中规模集成电路的理解和灵活运用更加容易，弥补了框图符号的不足。本书对可编程逻辑器件和 VHDL 等内容加大了介绍篇幅，可以使学生很快掌握现代数字系统设计方法的精髓。

本书共分十章，第一章重点论述了数字逻辑的基础知识，概念解释详尽，对于学生学习过程中容易出现问题的地方进行了重点强调；第二章讲述了逻辑门电路的基础知识；第三章讲述了组合逻辑电路的分析和设计，中规模组合逻辑电路芯片的逻辑符号采用了国家标准符号，非常便于芯片的使用和逻辑功能的记忆；第四章内容是触发器的基本知识；第五章讲述了时序逻辑电路的分析和设计；第六章讲述了脉冲波形的产生和变换；第七章讲述了半导体存储器；第八章讲述了可编程逻辑器件和 VHDL 语言，对 VHDL 语言的使用进行了总结；第九章是数模与模数转换电路；第十章是数字系统设计，用四个具体设计实例详细解释了数字系统的设计方法。

本教材配备教师授课使用的电子教案，授课教师可以对授课内容任意组织，以适应学生对知识的理解。

编写本书的教师多年从事电子电路课程的教学和改革，书中汇集了教师多年的教学经验和体会。李月乔任本书主编，其中刘向军编写第四章、第九章；刘春颖编写第六章；王赟、赵莲清、陈晓梅、文亚凤、李月乔编写第一章、第二章、第三章、第五章；李月乔编写第七章、第八章、第十章，并对全书进行了整理和统稿。

上海交通大学朱承高教授审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中得到了张根保教授和谢志远教授的大力支持，在此表示诚挚的

谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，希望读者批评指正，并将意见和建议反馈给我们，邮箱地址为 lyqiao@ncepu. edu. cn。

编者

2008 年 1 月

目　录

前言

第一章　数字逻辑基础 …… 1
第一节　概述 …… 1
第二节　数制 …… 2
第三节　各种数制之间的转换 …… 5
第四节　码制 …… 9
第五节　逻辑问题的描述 …… 12
第六节　逻辑代数基础 …… 18
第七节　逻辑函数的五种描述方法 …… 21
第八节　逻辑函数的化简 …… 28
小结 …… 37
习题 …… 38
第二章　逻辑门电路基础 …… 42
第一节　二极管、三极管的开关特性 …… 42
第二节　二极管逻辑门电路 …… 49
第三节　TTL 逻辑门电路 …… 53
第四节　射极耦合逻辑门电路 …… 69
第五节　CMOS 门电路 …… 71
第六节　各种工艺的逻辑门之间的接口问题 …… 77
小结 …… 80
习题 …… 81
第三章　组合逻辑电路 …… 88
第一节　组合逻辑电路的分析 …… 88
第二节　用小规模集成电路（SSI）实现组合逻辑电路的设计 …… 89
第三节　组合逻辑电路中的竞争—冒险 …… 94
第四节　编码器 …… 99
第五节　译码器 …… 109
第六节　数据选择器 …… 124
第七节　算术运算电路 …… 130
第八节　数值比较器 …… 139
小结 …… 146
习题 …… 147

第四章　触发器…………………………………………………………… 152
第一节　触发器的电路结构及工作特点…………………………………… 152
第二节　触发器的逻辑功能及功能转换…………………………………… 170
第三节　集成触发器的主要参数…………………………………………… 174
小结……………………………………………………………………………… 175
习题……………………………………………………………………………… 175
第五章　时序逻辑电路……………………………………………………… 180
第一节　概述………………………………………………………………… 180
第二节　时序逻辑电路的分析……………………………………………… 183
第三节　同步时序逻辑电路的设计………………………………………… 190
第四节　计数器……………………………………………………………… 208
第五节　常用中规模计数器芯片及应用…………………………………… 219
第六节　数码寄存器与移位寄存器………………………………………… 251
小结……………………………………………………………………………… 260
习题……………………………………………………………………………… 261
第六章　脉冲波形的产生与整形…………………………………………… 269
第一节　概述………………………………………………………………… 269
第二节　555 定时器芯片 …………………………………………………… 269
第三节　脉冲波形产生电路………………………………………………… 272
第四节　脉冲波形整形电路………………………………………………… 280
小结……………………………………………………………………………… 288
习题……………………………………………………………………………… 288
第七章　半导体存储器……………………………………………………… 294
第一节　存储器的基本概念和分类………………………………………… 294
第二节　半导体存储器……………………………………………………… 294
第三节　只读存储器（ROM）　…………………………………………… 295
第四节　随机存取存储器（RAM）　……………………………………… 315
小结……………………………………………………………………………… 321
习题……………………………………………………………………………… 322
第八章　可编程逻辑器件与 VHDL 语言　………………………………… 327
第一节　可编程逻辑器件概述……………………………………………… 327
第二节　可编程逻辑器件…………………………………………………… 330
第三节　硬件描述语言 VHDL 的基本语法　……………………………… 338
第四节　基本的 VHDL 的并行语句和串行语句　………………………… 351
第五节　基本硬件电路模块的 VHDL 模型　……………………………… 356
小结……………………………………………………………………………… 359
习题……………………………………………………………………………… 359
第九章　数模与模数转换电路……………………………………………… 362
第一节　概述………………………………………………………………… 362

第二节　D/A 转换器 …… 363
第三节　A/D 转换器 …… 374
小结 …… 385
习题 …… 386
第十章　数字系统设计 …… 388
第一节　概述 …… 388
第二节　算法状态机 …… 389
第三节　数字系统设计举例之一 …… 390
第四节　数字系统设计举例之二 …… 394
第五节　数字系统设计举例之三 …… 398
第六节　数字系统设计举例之四 …… 411
小结 …… 416
习题 …… 416
参考文献 …… 419

第一章 数字逻辑基础

本 章 提 要

本章首先介绍模拟信号与数字信号、数字电路的一些基本概念，然后讨论数字电路中常用的数制与码制，接着介绍基本逻辑运算、逻辑函数及其表示方法，最后讨论逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法。

第一节 概 述

一、模拟信号与数字信号

在自然界中有许许多多的物理量，尽管它们的性质各不相同，但就其变化规律的特点而言，不外乎分两大类。一类物理量在时间上和数值上都是连续的，这一类物理量称为模拟量。表示模拟量的信号叫做模拟信号（Analog Signal）。例如，用热电偶测量温度，将被测温度以电信号形式输出，因为在任何情况下温度都不可能发生突变，所以该信号无论在时间上还是数值上都是连续的，属于模拟信号。而传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。另一类物理量在时间上和数值上都是离散的，也就是说，它们的变化在时间上是不连续的，总是发生在一系列离散的瞬间，在数值上也只能取某几个固定的值，这一类物理量叫数字量。我们把表示数字量的信号叫做数字信号（Digital Signal）。例如，生产中自动记录零件个数的计数信号，由计算机键盘输入计算机的信号等。

二、数字电路

传输、处理数字信号的电路被称为数字电路（Digital Circuit）。

与模拟电路不同，在数字电路中的信号是数字信号，其取值只有高电平和低电平两种。电路中的三极管工作在开关状态，即饱和状态和截止状态。数字电路研究的主要问题是电路的输入信号和输出信号之间的逻辑关系。分析数字电路的数学工具是逻辑代数，分析数字电路逻辑功能的主要方法是真值表、逻辑表达式、逻辑图和波形图等。

数字电路的特点主要表现在以下几个方面。

1. 逻辑运算能力

数字电路不仅能够完成算术运算，而且能够完成逻辑运算，且具有逻辑推理和逻辑判断的能力，因此被称为数字逻辑电路或逻辑电路。计算机也因为这种逻辑思维能力而被称为电脑。

2. 抗干扰能力强

模拟电路主要研究的是输出、输入之间的数量关系，而在数字电路中，是根据数字信号的脉冲宽度、脉冲频率、脉冲个数等条件研究输出、输入之间的逻辑关系。数字信号在传输和处理过程中，来自不同方面的干扰往往只会影响到脉冲的幅度，而对数字脉冲信号的个数、频率、脉宽等表征逻辑关系的参数没有影响，即使出现大的干扰导致脉冲信号发生改变，也能通过纠错的方法进行校正，所以数字电路的抗干扰能力较强，便于使用、维护和进

行故障诊断。

3. 功耗低

在模拟电路中，由于三极管等半导体元件基本工作在放大状态，整体上功耗较大。而在数字电路中，三极管等半导体元件一般工作在开关状态，即交替工作在饱和状态和截止状态，数字电路的功耗较低，所以目前数字电路的集成度可以做得很高。

4. 电路结构简单，通用性强

数字电路传输、处理的数字信号实质上就是二值数据，即高电平和低电平。具有稳定的高、低电平输出的电路都可作为数字电路的基本单元，数字电路的很多功能都能模块化、单元化，复杂的数字电路都可以由这些基本模块组成。因此，数字电路便于集成和系列化生产，通用性强，成本低，使用方便。除此之外，数字电路对元器件参数精度的要求不高，因为高、低电平的取值有一定的容限范围。

5. 保密性好

对数字信号可以采取很多方法进行加密处理，所以数字电路对数字化的信息有很强的保密性。

由于数字电路具有这些优点，所以其发展非常迅速。数字电路研究的对象是很广泛的，包括脉冲信号的产生、放大、整形、控制、记忆、计数、显示和电路输入、输出间的逻辑关系等问题。数字电路现已广泛应用于计算机、数字通信、数字仪表、自动控制、遥测技术等各个领域。

第二节 数　　制

人们在日常生活中经常遇到计数问题，并且习惯于用十进制数。而在数字系统中，通常采用二进制数，有时也采用八进制数或十六进制数。

计数的体制和方法就是数制。在某种数制中所使用的符号称为数码，数码的个数称为基(Base，Radix)。不同的数制有不同的计数规律。下面分别介绍十进制、二进制、八进制和十六进制这四种数制。

每种数制中的数有位置计数法和多项式计数法两种表示形式。

一、十进制

十进制是日常生活中最常使用的一种计数体制。十进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这 10 个数码，数码的个数称为基，所以十进制的基是 10，这个 10 本身是十进制数，用 $(10)_D$ 表示。因为在本书中要同时介绍四种数制，所以我们用下标来区分这些不同的数制。十进制的计数规律是“逢十进一”。

因为人类有 10 个手指和 10 个脚趾，在人类祖先认知的过程中，一开始用手指或脚趾来计数，所以产生了十进制的计数方法。假如我们人类有 11 个手指和 11 个脚趾，那么现在使用的可能就是十一进制了。

(1) 位置计数法

$$N_D = (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_D \tag{1-1}$$

式中：N_D 中的下标 D 表示十进制数（Decimal），十进制数的下标也可以用 10 来表示；小数点左边的部分是整数部分，有 n 个整数位；小数点右边的部分是小数部分，有 m 个小数

位；k_{n-1}是最高有效位；k_{-m}是最低有效位。

处于不同位置上的数码所代表的数值大小是不同的，即位权不同。十进制数中每个位置上的位权为10^i，i称做位号，表示第i位，以k_i表示第i位的数码，可以是0、1、2、3、4、5、6、7、8、9中的任意一个。

(2) 多项式计数法

$$N_D = k_{n-1}\times 10^{n-1} + k_{n-2}\times 10^{n-2} + \cdots + k_1\times 10^1 + k_0\times 10^0 + k_{-1}\times 10^{-1} + \cdots + k_{-m}\times 10^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 10^i \tag{1-2}$$

对式（1-2）进行十进制的四则运算，可以得到这个数的十进制形式的数。

【例1-1】 将位置计数法形式的十进制数$(5555)_D$转换成多项式计数法形式。

解 将每一位数码乘以该位的权值，然后相加，可得该十进制数的多项式计数法形式为

$$(5555)_D = 5\times 10^3 + 5\times 10^2 + 5\times 10^1 + 5\times 10^0$$

十进制虽然是人们习惯使用的计数体制，但是，要让一个器件或一个电路具有10个不同状态，与十进制的10个不同的数码一一对应起来，实现起来有一定的困难。因此在数字电路中一般不直接使用十进制的计数体制。

二、二进制

二进制是数字系统中最常使用的一种计数体制。二进制有0、1这两个数码，数码的个数称为基，所以二进制的基是2，这个2本身是十进制数。二进制的计数规律是“逢二进一”。

因为现在实际存在的器件都有两个稳定的状态，比如以前的电子管、半导体二极管、双极型三极管、场效应管等，所以有二进制计数的物理基础。因此在数字系统中使用二进制。

(1) 位置计数法

$$N_B = (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_B \tag{1-3}$$

式中：下标B表示二进制数（Binary），二进制数的下标也可以用2来表示；小数点左边的部分是整数部分，有n个整数位；小数点右边的部分是小数部分，有m个小数位；k_{n-1}是最高有效位；k_{-m}是最低有效位。

二进制数中每位上的位权为2^i，i称做位号，表示第i位，以k_i表示第i位的数码，可以是0、1中的任意一个。

(2) 多项式计数法

$$N_B = k_{n-1}\times 2^{n-1} + k_{n-2}\times 2^{n-2} + \cdots + k_1\times 2^1 + k_0\times 2^0 + k_{-1}\times 2^{-1} + \cdots + k_{-m}\times 2^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i \tag{1-4}$$

对式（1-4）进行十进制的四则运算，可以得到这个数的十进制形式的数。

【例1-2】 将位置计数法形式的二进制数$(11011.101)_B$转换成多项式计数法形式。

解 将每一位的二进制数码乘以该位的权值，然后相加，可得

$$(11011.101)_B = 1\times 2^4 + 1\times 2^3 + 0\times 2^2 + 1\times 2^1 + 1\times 2^0 + 1\times 2^{-1} + 0\times 2^{-2} + 1\times 2^{-3}$$

三、八进制

当一个数比较大时，采用二进制时，就会遇到二进制码的个数比较多的问题。这时可以

采用八进制来表示，这样数码的个数可以少一些，书写起来比较简便，不易出错。八进制只是二进制的一种简便表示方法而已。

八进制有 0、1、2、3、4、5、6、7 这 8 个数码，所以八进制的基是 8，这个 8 本身是十进制数。八进制的计数规律是“逢八进一”。

(1) 位置计数法

$$N_O=(k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_O \tag{1-5}$$

式中：下标 O 表示八进制数（Octal），八进制数的下标也可以用 8 来表示；小数点左边的部分是整数部分，有 n 个整数位；小数点右边的部分是小数部分，有 m 个小数位；k_{n-1}是最高有效位；k_{-m}是最低有效位。

八进制数中每位上的位权为 8^i，i 称做位号，表示第 i 位，以 k_i 表示第 i 位的数码，可以是 0、1、2、3、4、5、6、7 中的任意一个。

(2) 多项式计数法

$$\begin{aligned}N_O&=k_{n-1}\times 8^{n-1}+k_{n-2}\times 8^{n-2}+\cdots+k_1\times 8^1+k_0\times 8^0+k_{-1}\times 8^{-1}+\cdots+k_{-m}\times 8^{-m}\\&=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\times 8^i\end{aligned} \tag{1-6}$$

对式（1-6）进行十进制的四则运算，可以得到这个数的十进制形式的数。

【例 1-3】 将位置计数法形式的八进制数 $(207.04)_O$ 转换成多项式计数法形式。

解 将十六进制数按权展开，可到

$$(207.04)_O=2\times 8^2+0\times 8^1+7\times 8^0+0\times 8^{-1}+4\times 8^{-2}$$

四、十六进制

当一个数比较大时，为了避免数码个数太多，除了可以采用上面介绍的八进制来表示外，还可以用十六进制表示。十六进制码比八进制码的个数更少一些，书写起来更简便，不易出错。十六进制也是二进制的一种简便表示方法。

十六进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 这 16 个数码，所以十六进制的基是 16，这个 16 本身是十进制数。十六进制的计数规律是“逢十六进一”。

(1) 位置计数法

$$N_H=(k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_H \tag{1-7}$$

式中：下标 H 表示十六进制数（Hexadecimal），十六进制数的下标也可以用 16 来表示；小数点左边的部分是整数部分，有 n 个整数位；小数点右边的部分是小数部分，有 m 个小数位；k_{n-1}是最高有效位；k_{-m}是最低有效位。

十六进制数中每位上的位权为 16^i，i 称做位号，表示第 i 位，以 k_i 表示第 i 位的数码，可以是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 中的任意一个。

(2) 多项式计数法

$$\begin{aligned}N_H&=k_{n-1}\times 16^{n-1}+k_{n-2}\times 16^{n-2}+\cdots+k_1\times 16^1+k_0\times 16^0+k_{-1}\times 16^{-1}+\cdots+k_{-m}\times 16^{-m}\\&=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\times 16^i\end{aligned} \tag{1-8}$$

对式（1-8）进行十进制的四则运算，可以得到这个数的十进制形式的数。

【例 1-4】 将位置计数法形式的十六进制数 $(D8.A)_H$ 转换成其多项式计数法形式。

解 将十六进制数按权展开，得到

$$(D8.A)_H = 13\times16^1 + 8\times16^0 + 10\times16^{-1}$$

五、任意进制的一般规律

按照上面二进制、十进制、八进制和十六进制的表示方法类推，任意 N 进制数 Y 的位置计数法和多项式计数法分别如式（1-9a）、式（1-9b）所示。

$$Y_N = (k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_N \tag{1-9a}$$

$$Y_N = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times N^i \tag{1-9b}$$

式中：Y 是 N 进制数；K_i 为第 i 位的数码；N^i 为第 i 位的权；N 是任意进制数的基；n、m 为正整数，分别代表 N 进制数的整数部分的位数和小数部分的位数。

第三节 各种数制之间的转换

既然同一个数可以用十进制、二进制、八进制、十六进制等各种数制的计数方法表示，那么它们之间必然存在着一定的转换关系。下面分别介绍它们之间的转换方法。

一、十进制和二进制之间的相互转换

人们在日常生活中习惯使用十进制数，而计算机等数字系统中使用二进制数。因此，需要把一个十进制数转换成二进制数以后，再利用计算机进行各种计算，运算结束后，将计算机结果输出时，还需把二进制数再转换为十进制数。

（一）二进制数转换成十进制数

任意一个二进制数都可以表示成多项式计数法的形式，只要对多项式进行十进制的四则运算，就能把一个二进制数转换成对应的十进制数。

【例 1-5】 将二进制数（1011001.001）$_B$ 转换为对应的十进制数。

解 将每一位二进制数乘以该位的权值，然后相加，运算法则采用十进制的运算法则，可得

$$\begin{aligned}(1011001.001)_B &= 1\times2^6+0\times2^5+1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2\\ &\quad +0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}\\ &= 64+0+16+8+0+0+1+0+0+0.125\\ &= (89.125)_D\end{aligned}$$

（二）十进制数转换成二进制数

十进制数转换为二进制数的过程相对复杂一些，对整数部分与小数部分要分别采用不同的转换方法。

1. 整数部分

设十进制整数 $(A)_D$ 等于二进制整数 $(k_nk_{n-1}\cdots k_0)_B$，则有

$$\begin{aligned}(A)_D &= k_n\times2^n + k_{n-1}\times2^{n-1} + \cdots + k_1\times2^1 + k_0\times2^0\\ &= 2(k_n\times2^{n-1} + k_{n-1}\times2^{n-2} + \cdots + k_1) + k_0\end{aligned} \tag{1-10}$$

式（1-10）表明，若将十进制整数 $(A)_D$ 除以 2（2 是二进制数的基），并进行十进制的除法运算，则得到的余数为 k_0，余数只能是 1、0。依次类推，直到商为 0 为止，则可分别得

到 k_1、k_2、…、k_n。

由于这种把十进制整数转换成二进制整数的方法是通过除 2 取余数的方法来完成的，故简称为“除 2 取余”法。其中先得到的余数是等值二进制数的最低有效位（LSB，Least Significant Bit），最后得到的余数是等值二进制数的最高有效位（MSB，Most Significant Bit）。

2. 小数部分

设十进制小数 $(A)_D$ 等于二进制小数 $(0.k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_B$，则有

$$(A)_D = k_{-1}\times 2^{-1} + k_{-2}\times 2^{-2} + \cdots + k_{-n}\times 2^{-m} \tag{1-11}$$

式（1-11）两边同乘以 2，并进行十进制的四则运算，得到

$$2\times (A)_D = k_{-1} + (k_{-2}\times 2^{-1} + \cdots + k_{-n}\times 2^{-m+1}) \tag{1-12}$$

式（1-12）表明，若将十进制小数 $(A)_D$ 乘以 2（2 是二进制数的基），并进行十进制的乘法运算，则所得乘积的整数部分为 k_{-1}，把整数部分拿走，剩下小数部分。剩下的小数部分再乘以 2，进行十进制的乘法运算，直到小数部分为 0 为止。依次类推，则可分别得到 k_{-2}、k_{-3}、…、k_{-m}。

十进制的小数部分转换成二进制小数是通过乘 2 取整数的方法完成的，所以简称“乘 2 取整”法，用它先得到的整数是二进制小数的高位，后得到的整数是二进制小数的低位。

小数部分“乘 2 取整”的过程，最后不一定能使小数部分为 0，因此转换值存在误差。通常在二进制小数的精度已达到预定的要求时，运算便可结束。

【例 1-6】 将十进制小数 $(0.1875)_D$ 转换为二进制小数。

解 运算法则采用十进制的运算法则，用“乘 2 取整”法，按下列步骤转换。

$0.1875\times 2 = 0.375$ ………整数部分为 0

$0.3750\times 2 = 0.75$ ……… 整数部分为 0

$0.7500\times 2 = 1.5$ ……… 整数部分为 1

$0.5000\times 2 = 1.0$ ……… 整数部分为 1

小数部分已经是 0，运算结束。

因此，$(0.1875)_D = (0.0011)_B$。

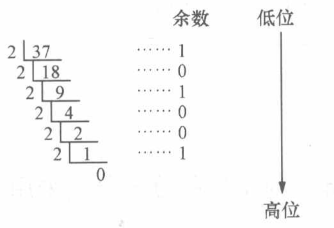

图 1-1 ［例 1-7］整数部分的“除 2 取余”运算过程

【例 1-7】 将 $(37.41)_D$ 转化为二进制数，要求其误差不大于 2^{-5}。

解 由于整数和小数的转换方法不同，分别对其整数部分和小数部分进行转换，然后再将两部分转换结果合并，可得对应的二进制数。运算法则采用十进制的运算法则。

（1）对整数部分处理，其运算过程如图 1-1 所示。因此，整数部分对应的二进制数为 $(100101)_B$。

（2）对小数部分处理。题目中要求误差不大于 2^{-5}，即小数部分保留到 −5 位号，运算过程为

$0.41\times 2 = 0.82$ ……… 整数部分为 0

$0.82\times 2 = 1.64$ ……… 整数部分为 1

$0.64\times 2 = 1.28$ ……… 整数部分为 1

$0.28\times2=0.56$ ········· 整数部分为 0

$0.56\times2=1.12$ ········· 整数部分为 1

所以，$(37.41)_D=(100101.01101)_B$。

同理，若将十进制数转换成任意 N 进制数，则整数部分转换采用“除 N 取余”法，小数部分转换采用“乘 N 取整”法。

二、十进制和八进制之间的相互转换

（一）八进制数转换成十进制数

同二进制数转换成十进制数的方法类似，任意 1 个八进制数都可以表示成多项式计数法的形式，只要对多项式进行十进制的四则运算，就能把 1 个八进制数转换成十进制数。

【例 1-8】 将 $(706.001)_O$转化为十进制数。

解 运算法则采用十进制的运算法则，得

$$\begin{aligned}(706.001)_O &=7\times8^2+0\times8^1+6\times8^0+0\times8^{-1}+0\times8^{-2}+1\times8^{-3}\\ &=448+0+6+0+0+\frac{1}{512}\\ &=\left(454\frac{1}{512}\right)_D\end{aligned}$$

（二）十进制数转换成八进制数

同十进制数转换成二进制数的方法类似，把“除 2 取余”法和“乘 2 取整”法中的 2（2 是二进制的基）换成 8（8 是八进制的基），其余步骤按照十进制数转换成二进制数的方法即可。

【例 1-9】 将 $(44.375)_D$转化为八进制数。

解 对整数部分采用“除 8 取余”法，运算法则采用十进制的运算法则。小数部分采用“乘 8 取整”法，运算法则采用十进制的运算法则。两部分结合在一起然后得到完整结果。

（1）对整数部分处理。整数部分“除 8 取余”的运算过程如图 1-2 所示。

（2）对小数部分处理

$0.375\times8=3.0$ ········· 整数部分为 3

小数部分已经是 0，运算结束。

所以，$(44.375)_D=(54.3)_O$。

图 1-2　[例 1-9] 整数部分“除 8 取余”运算过程

三、十进制和十六进制之间的相互转换

（一）十六进制数转换成十进制数

同二进制数转换成十进制数的方法类似，任意 1 个十六进制都可以表示成多项式计数法的形式，只要对多项式进行十进制的四则运算，就能把 1 个十六进制数转换成十进制数。

【例 1-10】 将 $(7BA.E01)_H$转化为十进制数。

解 采用十进制的运算法则，有

$$\begin{aligned}(7BA.E01)_H &=7\times16^2+11\times16^1+10\times16^0+14\times16^{-1}+0\times16^{-2}+1\times16^{-3}\\ &=1792+176+10+\frac{3584}{4096}+0+\frac{1}{4096}\\ &=\left(1978\frac{3585}{4096}\right)_D\end{aligned}$$

（二）十进制数转换成十六进制数

同十进制数转换成二进制数的方法类似，把“除 2 取余”法和“乘 2 取整”法中的 2（2 是二进制的基）换成 16（16 是十六进制的基），其余步骤按照十进制数转换成二进制数的方法即可。

【例 1-11】 将 $(154.375)_D$ 转化为十六进制数。

解 对整数部分采用“除 16 取余”法，运算法则采用十进制的运算法则。小数部分采用“乘 16 取整”法，运算法则采用十进制的运算法则。两部分结合在一起然后得到完整结果。

图 1-3 ［例 1-11］整数部分“除 16 取余”运算过程

（1）对整数部分处理。整数部分“除 16 取余”运算过程如图 1-3 所示。

（2）对小数部分处理

$0.375\times16=6.0$ ……… 整数部分为 6

因为小数部分已经是 0，运算结束。所以，$(154.375)_D=(9A.6)_H$。

四、二进制数和八进制数之间的相互转换

二进制数和八进制数之间有很简单的对应关系，即 3 位二进制数对应 1 位八进制数，对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 3 位二进制数与 1 位八进制数的对应关系

3 位二进制数	1 位八进制数	3 位二进制数	1 位八进制数
000	0	100	4
001	1	101	5
010	2	110	6
011	3	111	7

若将二进制数转换为八进制数，对二进制数的整数部分，从小数点左边的第一位起，往左数，每 3 位二进制数为一组变成对应的一个八进制数，若不够 3 位，在左边补 0；对二进制数的小数部分，从小数点右边的第一位起，往右数，每 3 位二进制数为一组变成对应的一个八进制数，若不够 3 位，在右边补 0。

若将八进制数转换为二进制数，只要将 1 位八进制数写成对应的 3 位二进制数即可。

【例 1-12】 将二进制数 $(01101111010.1011)_B$ 转换为对应的八进制数。

解 二进制数：001 101 111 010 . 101 100

八进制数： 1 5 7 2 . 5 4

所以，$(01101111010.1011)_B=(1572.54)_O$。

【例 1-13】 将 $(374.26)_O$ 转化为对应的二进制数。

解 八进制数： 3 7 4 . 2 6

二进制数：011 111 100 . 010 110

所以，$(374.26)_O=(011111100.010110)_B=(11111100.01011)_B$

五、二进制数和十六进制数之间的相互转换

二进制数和十六进制数之间有很简单的对应关系，即 4 位二进制数对应 1 位十六进制数，对应关系如表 1-2 所示。

表 1-2 4 位二进制数与 1 位十六进制数的对应关系

4 位二进制数	1 位十六进制数	4 位二进制数	1 位十六进制数
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	A
0011	3	1011	B
0100	4	1100	C
0101	5	1101	D
0110	6	1110	E
0111	7	1111	F

若将二进制数转换为十六进制数，对二进制数的整数部分，从小数点左边的第一位起，往左数，每 4 位二进制数为一组变成对应的 1 位十六进制数，若不够四位，在左边补 0；对二进制数的小数部分，从小数点右边的第一位起，往右数，每 4 位二进制数为一组变成对应的 1 位十六进制数，若不够四位，在右边补 0。

若将十六进制数转换为二进制数，只要将 1 位十六进制数写成对应的 4 位二进制数即可。

【例 1-14】 将 $(10101100)_B$和 $(0.10111101)_B$ 转化为对应的十六进制数。

解 由表1-2 可得

$$(10101100)_B=(AC)_H$$

$$(0.10111101)_B=(0.BD)_H$$

【例 1-15】 将 $(AF4.76)_H$ 转化为对应的二进制数。

解 由表 1-2 可得

$$(AF4.76)_H=(101011110100.01110110)_B$$

第四节 码　　制

计算机技术最初使用的目的纯粹是为了计算，后来 ASCII 码的引入使得文本成为计算机新的处理对象。所以，数字系统中的信息共有两类：一类是数值信息，是进行科学计算用的，这就是数制；另一类是文字符号信息，给文字符号信息编码的方法，这就是码制。

所谓码制就是编码的方法。编码，通俗地讲，就是起名字。在现实生活中，可以用汉字的组合给每人一个名字，还可以用十进制的数码组合给每个人赋予一组数字，也就是身份证代号。但是在数字系统中，我们只能用具有一定位数的二进制数码的组合来给各个信息起名字。

我们用 N 表示信息的个数，用 n 表示二进制码的位数，则它们之间的关系为

$$2^{n-1}<N\leqslant 2^n \tag{1-13}$$