



普通高校“十一五”规划教材

张虹 主编

# 数字电路与数字逻辑

北京航空航天大学出版社



普通高校“十一五”规划教材

# 数字电路与数字逻辑

张 虹 主编

北京航空航天大学出版社

## 内容简介

为适应电子信息时代的新形式和应用型本科院校培养应用型人才的迫切需要,通过教学改革与实践,作者编写了这本《数字电路与数字逻辑》。

本教材知识全面,深入浅出,通俗易懂;在保证理论知识够用的同时,注重理论联系实际,培养学生各方面的能力。

全书共分 10 章:逻辑代数基础,逻辑门电路,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,数/模、模/数转换电路,存储器和可编程逻辑器件,数字电路应用举例,EDA 技术与 VHDL。各章均配有经典例题和习题,书后附有习题答案。

本教材适于作为高等院校计算机、电子、通信、机电一体化等专业本科和专科的教科书,也可作为自学考试和电子技术工程人员的自学用书。本教材总学时为 54~72 学时(不含实验),专科可在此基础上适当增加学时。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电路与数字逻辑/张虹主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2007. 7

ISBN 978-7-81124-014-6

I. 数… II. 张… III. ①数字电路②数字逻辑 IV. TN79  
TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 028316 号

### 数字电路与数字逻辑

张 虹 主编

责任编辑 刘晓明

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpess@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:19.5 字数:437 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-014-6 定价:28.00 元

## 前 言

在我国高等教育由精英阶段向大众化阶段的历史性转变过程中,高等教育系统也在重新构建,各高校都在重新审视和调整自己的办学定位,确定新的发展目标和战略。在新的历史条件下,新建本科院校的出路不能是“再版”传统本科模式,而是要在能够满足社会发展需求的“大众化”、“应用型”领域寻求发展空间。近年来成立的新建本科院校大都以应用型为办学定位,形成了一批占全国本科高校总数近30%的与传统本科院校不同的应用型本科院校。

应用型本科院校就是培养本科层次应用型人才的高等学校,之所以称为应用型本科院校,最终还是要落脚到它的人才培养上,即主要是对这类学校的人才培养目标、规格以及人才类型、层次作出规定。它把人才培养目标定位在一线或实际岗位群,使学生具有适应高新技术发展及自我学习、提高的能力。所以,应用型本科教育既非宽泛的工程科学教育,亦非狭窄的职业技能培训,而是培养适应工业、工程生产第一线现实和发展需要的工程应用型、技术应用型人才,是既保证本科人才的基本素质,又具有现代职业技术教育特征的高等教育。

为此,应用型本科教材的编写就要体现和满足它的人才培养模式和培养目标,要充分体现“应用、实用、适用”的特色,适应高等院校培养高层次应用人才的实际需要,注重培养应用型人才的创新精神和实践能力。

本教材即是围绕以上宗旨进行编写的。参编人员大都是有着丰富工程实践经验的教师,能够从实用角度出发对问题进行论证和阐述;本教材中的例题、习题的选取也具有这个特点。总之,本教材注重了以下几方面的问题:① 保证基础,加强概念,培养思路;② 精选内容,主次分明,详略得当;③ 面向更新,联系实际,理论与实践并重,知识与技能

并重;④ 问题分析深入浅出,文字叙述通俗易懂,图文并茂,精选例题,便于自学;⑤ 理论知识以够用为目的,重点加强实际应用。考虑到当前电子技术飞速发展、日益更新的趋势,本书加强了新技术的内容,尤其突出了集成电路芯片引脚及应用方面的介绍。此外,本书第10章重点介绍了当前电子技术领域中比较流行的EDA技术、VHDL(硬件描述语言)及其应用。

参加本书编写的有:张虹(前言及第1,2,3章),于钦庆(第5,6章),高寒(第9,10章),王维兰(第4,7章),张淑玲(第8章)。本书由张虹担任主编,并统编全稿。此外,参加本书编写的还有:杨洁、王立梅、刘晓亮、陈光军、刘贞德、李厚荣、张元国、杜德、孙俊香。

为了保证内容的系统性和连续性,我们还编写了另外两本系列教材——《模拟电子技术》和《电路分析》,连同本教材《数字电路与数字逻辑》一起,将成为应用型本科院校计算机、电子、通信等专业的非常实用的教学与学习用书。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,若书中有错误和不妥之处,敬请广大读者予以批评指正。

编 者

2006年12月

# 目 录

## 第 1 章 逻辑代数基础

1.1 概 述 .....	1
1.1.1 信号与电路 .....	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 数 制 .....	3
1.2.1 各种数制 .....	3
1.2.2 数制转换 .....	5
1.2.3 二进制正、负数的表示法 .....	8
1.3 码制和常用编码 .....	9
1.3.1 二-十进制编码 .....	9
1.3.2 可靠性编码 .....	11
1.3.3 字符码 .....	12
1.4 逻辑代数 .....	13
1.4.1 逻辑变量与逻辑函数 .....	13
1.4.2 基本逻辑运算 .....	14
1.4.3 复合逻辑运算 .....	16
1.4.4 几个概念 .....	17
1.5 逻辑函数的表示方法及其相互转换 .....	18
1.5.1 真值表 .....	18
1.5.2 逻辑表达式 .....	19
1.5.3 逻辑图 .....	21
1.5.4 波形图 .....	21
1.5.5 卡诺图 .....	22
1.6 逻辑代数的基本公式、定律和规则 .....	23
1.6.1 基本公式 .....	23
1.6.2 基本定律 .....	23
1.6.3 基本规则 .....	25
1.7 逻辑函数的化简 .....	26

1.7.1	最简的概念及最简表达式的几种形式	26
1.7.2	逻辑函数的公式化简法	27
1.7.3	逻辑函数的卡诺图化简法	28
1.7.4	具有无关项的逻辑函数的化简	30
	本章小结	33
	习题 1	34
<b>第 2 章 逻辑门电路</b>		
2.1	半导体器件的开关特性	38
2.1.1	半导体二极管的开关特性	38
2.1.2	半导体三极管的开关特性	40
2.1.3	MOS 管的开关特性	42
2.2	分立元件门电路	43
2.2.1	二极管与门	43
2.2.2	二极管或门	44
2.2.3	三极管非门(反相器)	44
2.3	集成 TTL 门电路	45
2.3.1	集成 TTL 与非门	45
2.3.2	集成 TTL 非门、或非门、集电极开路门和三态门	50
2.3.3	改进型集成 TTL 门电路——抗饱和 TTL 门电路	56
2.3.4	集成 TTL 门电路的使用规则	58
2.4	集成 MOS 门电路	59
2.4.1	集成 CMOS 门电路	59
2.4.2	集成 CMOS 门电路及其使用规则	61
2.4.3	集成 TTL 与集成 MOS 门电路之间的接口技术	64
	本章小结	65
	习题 2	65
<b>第 3 章 组合逻辑电路</b>		
3.1	组合逻辑电路概述	70
3.1.1	组合逻辑电路的特点	70
3.1.2	组合逻辑电路的一般分析方法	71
3.1.3	组合逻辑电路的一般设计方法	72
3.2	常用中规模集成组合逻辑电路	74
3.2.1	编码器	74
3.2.2	译码器	81
3.2.3	加法器	86

3.2.4	数值比较器	90
3.2.5	数据选择器	93
3.2.6	数据分配器	98
3.3	组合电路中的竞争冒险	100
3.3.1	竞争冒险的概念及产生原因	100
3.3.2	竞争冒险的消除方法	101
	本章小结	102
	习题 3	103
<b>第 4 章 触发器</b>		
4.1	触发器概述	107
4.1.1	触发器的功能特点	107
4.1.2	触发器的分类及逻辑功能描述方法	107
4.2	基本触发器	108
4.2.1	电路组成及图形符号	108
4.2.2	逻辑功能分析及描述	108
4.2.3	应用举例	110
4.2.4	集成基本触发器	111
4.2.5	基本特点	112
4.3	同步触发器	112
4.3.1	同步 RS 触发器	113
4.3.2	同步 D 触发器	115
4.4	主从触发器	117
4.4.1	主从 RS 触发器	117
4.4.2	主从 JK 触发器	119
4.4.3	主从 T 触发器和主从 T' 触发器	122
4.5	边沿触发器	123
4.5.1	维持阻塞 D 触发器	123
4.5.2	边沿 JK 触发器	125
4.6	不同类型时钟触发器间的转换	127
4.6.1	转换原理	127
4.6.2	JK→D, T, T' 和 RS	128
4.6.3	D→JK, T, T' 和 RS	129
4.7	集成触发器简介	131
	本章小节	132
	习题 4	132



## 第5章 时序逻辑电路

5.1 时序逻辑电路概述 .....	137
5.1.1 时序电路的特点 .....	137
5.1.2 时序电路逻辑功能的描述方法 .....	138
5.1.3 时序电路的一般分析方法 .....	138
5.1.4 常用时序电路 .....	139
5.2 计数器 .....	139
5.2.1 计数器的分类 .....	139
5.2.2 同步计数器 .....	140
5.2.3 异步计数器 .....	152
5.2.4 集成计数器构成 $N$ 进制计数器的方法 .....	155
5.3 寄存器 .....	159
5.3.1 数码寄存器 .....	160
5.3.2 移位寄存器 .....	161
5.3.3 寄存器的应用 .....	164
5.4 顺序脉冲发生器 .....	168
5.5 时序逻辑电路的设计 .....	169
5.5.1 设计方法及步骤 .....	170
5.5.2 设计举例 .....	170
本章小节 .....	174
习题 5 .....	175

## 第6章 脉冲波形的产生与整形

6.1 概述 .....	178
6.1.1 脉冲信号 .....	178
6.1.2 脉冲信号参数 .....	178
6.2 555 定时器 .....	179
6.2.1 电路结构 .....	179
6.2.2 基本功能 .....	181
6.3 单稳态触发器 .....	181
6.3.1 555 定时器构成的单稳态触发器 .....	181
6.3.2 集成单稳态触发器 .....	182
6.3.3 应用举例 .....	185
6.4 多谐振荡器 .....	185
6.4.1 555 定时器构成的多谐振荡器 .....	186
6.4.2 应用举例 .....	187

6.5 施密特触发器 .....	188
6.5.1 555 定时器构成的施密特触发器 .....	189
6.5.2 集成施密特触发器 .....	190
6.5.3 应用举例 .....	191
本章小结 .....	193
习题 6 .....	193
<b>第 7 章 数/模、模/数转换电路</b>	
7.1 D/A 转换器 .....	196
7.1.1 D/A 转换原理 .....	196
7.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 .....	197
7.1.3 D/A 转换器的主要技术指标 .....	199
7.1.4 集成 DAC .....	201
7.2 A/D 转换器 .....	204
7.2.1 A/D 转换的一般步骤 .....	204
7.2.2 取样保持电路 .....	206
7.2.3 逐次渐近型 A/D 转换器 .....	207
7.2.4 双积分型 A/D 转换器 .....	209
7.2.5 A/D 转换器的主要技术指标 .....	210
7.2.6 集成 ADC .....	211
本章小结 .....	213
习题 7 .....	214
<b>第 8 章 存储器和可编程逻辑器件</b>	
8.1 概 述 .....	216
8.1.1 存储器 .....	216
8.1.2 可编程逻辑器件 .....	217
8.2 存储器及其应用 .....	217
8.2.1 随机存取存储器 RAM .....	217
8.2.2 只读存储器 ROM .....	222
8.3 可编程逻辑器件 PLD .....	226
8.3.1 PLD 的基本结构 .....	226
8.3.2 PLD 的分类 .....	227
8.3.3 PLD 的应用 .....	228
本章小结 .....	231
习题 8 .....	232

**第9章 数字电路应用举例**

9.1 微控制器报警编码电路 .....	235
9.2 串行数值比较器 .....	235
9.3 串行加法器 .....	237
9.4 波形发生和变换电路 .....	238
9.5 定时预警电路 .....	242
9.6 数字抢答器 .....	243
9.7 数字频率计 .....	247
9.8 交通信号灯 .....	250
9.9 霓虹灯显示控制电路 .....	253
本章小结 .....	257
习题9 .....	257

**第10章 EDA技术与VHDL**

10.1 VHDL编程思想 .....	259
10.2 VHDL语言程序的基本结构 .....	260
10.2.1 实体说明 .....	260
10.2.2 结构体说明 .....	261
10.3 VHDL语言中的数据 .....	262
10.3.1 标识符 .....	262
10.3.2 数据对象 .....	263
10.3.3 数据类型 .....	265
10.3.4 VHDL的运算操作符 .....	266
10.4 VHDL语句 .....	267
10.4.1 顺序描述语句 .....	268
10.4.2 并行描述语句 .....	271
10.5 VHDL编程举例 .....	274
10.5.1 用VHDL描述基本门电路 .....	274
10.5.2 用VHDL描述组合逻辑电路 .....	276
10.5.3 用VHDL描述时序逻辑电路 .....	279
本章小结 .....	282
习题10 .....	282

**习题参考答案****参考文献**

# 第 1 章 逻辑代数基础

## 1.1 概 述

### 1.1.1 信号与电路

电子线路中的工作信号基本上可以分为两大类：模拟信号和数字信号。模拟信号是指时间和数值上都是连续变化的信号，具有无穷多的数值，其数学表达式也较复杂，例如正弦函数、指数函数等。人们从自然界感知的许多物理量均属于模拟性质的，如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上，为了便于分析，常用传感器将模拟量转换为电流、电压或电阻等电量，以便用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路，简称模拟电路。在模拟电路中主要关心输入/输出信号间的大小、相位、失真等方面的问题。

数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的信号，即数字信号具有离散性。交通信号灯控制电路、智力竞赛抢答电路以及计算机键盘输入电路中的信号，都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电子线路，简称数字电路。在数字电路中主要关心输入/输出信号之间的逻辑关系。

### 1.1.2 数字电路的特点

① 数字电路中的工作信号是不连续的数字信号，反映在电路上只有高电平和低电平两种状态，因此在分析数字电路时采用二进制数码 **0** 和 **1** 来表示电路中的高、低两种电平状态。

② 与模拟电路相同，数字电路也是由半导体器件如二极管、三极管、场效应管等组成的，但不同电路中器件的工作状态不同。数字电路在稳态情况下，半导体器件工作于开、关状态，这种开、关状态是利用器件的导通和截止来实现的，器件的导通和截止反映在电路上就是电流的有无、电压的高低，这种有和无、高和低相对立的两种状态，正好可用二进制数码 **0** 和 **1** 来表示。因此，数字电路中的信号采用的是二进制表示，二进制数码 **0** 和 **1** 在此只代表两种不同的状态，没有数量的大小。例如，用 **0** 和 **1** 分别表示一件事的是与非、真与假，一盏灯的亮与灭，一个开关的开通与断开等。

③ 数字电路对元器件的精度要求不高，允许有较大的误差，只要在工作时能够可靠地区分 **0** 和 **1** 两种状态就可以了。因此，数字电路便于集成化、系列化生产。它具有使用方便、可靠性高和价格低廉等特点。

④ 与模拟电路不同,数字电路讨论的是输入/输出信号之间抽象的逻辑关系,使用的主要方法是逻辑分析和逻辑设计,主要工具是逻辑代数,所以数字电路又称逻辑电路。

⑤ 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算,因此广泛应用于数控装置、智能仪表以及计算机中。

### 1.1.3 数字电路的分类

数字电路按其组成的结构不同可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是最基本的电路,由二极管、三极管、电阻、电容等元器件组成,并且所有元器件都裸露在外,没有封装。随着集成电路的飞速发展,分立元件电路已逐步被取代,集成电路按集成度的大小分为小规模集成电路(SSI,集成度为1~10门/片),中规模集成电路(MSI,集成度为10~100门/片),大规模集成电路(LSI,集成度为100~1 000门/片),超大规模集成电路(VLSI,集成度大于1 000门/片)。集成电路从应用的角度可分为通用型和专用型两大类:通用型是已被定型的产品,适用于不同的数字设备;专用型是指为某种特殊用途专门设计,具有特定的复杂而完整功能的功能块型产品,只适用于专用的数字设备。

数字电路按所用元器件的不同,可分为双极型和单极型电路。其中双极型电路又有TTL,DTL,ECL,IIL,HTL等多种,单极型电路有JFET,NMOS,PMOS,CMOS四种。

按数字电路逻辑功能的不同特点,又分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

### 1.1.4 数字电路的应用

数字电路较模拟电路具有更多的优点,如有较强的稳定性、可靠性和抗干扰能力,精确度较高,具有算术运算和逻辑运算能力,可进行逻辑推理和逻辑判断,电路结构简单,便于制造和集成等。因此,数字电路的应用领域越来越广泛。

在数字通信系统中,可以用若干个0和1编成各种代码,分别代表不同的含义,用以实现信息的传送。

利用数字电路的逻辑推理和判断功能,可以设计出各式各样的数控装置,用来实现对生产和过程的自动控制。其工作过程是:首先用传感器在现场采集受控对象的数据,求出它们与设定数据的偏差;接着由数字电路进行计算、判断;然后产生相应的控制信号,驱动伺服装置对受控对象进行控制或调整。这样不仅能通过连续监控提高生产的安全性和自动化水平,同时也提高了产品的质量,降低了成本,减轻了劳动强度。

在数字电子技术基础上发展起来的数字电子计算机,是当代科学技术最杰出的成就之一。今天,计算机不仅成了近代自动控制系统中不可缺少的一个重要组成部分,而且已经渗透到了国民经济和人民生活的各个领域,成为人们工作、生活、学习不可或缺的重要组成部分,并在许多方面产生了根本性的变革。尤其是计算机网络技术的飞速发展,使人们获取信息、享受网络服务更为便捷。

然而,数字电路的应用也具有它的局限性。前面已提到,在自动控制和测量系统中,被控制和被测量的对象往往是一些连续变化的物理量,即模拟信号;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,必须用专门的电路将它们转换为数字信号(称为模/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(称为数/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因此失去了意义。因此,在使用数字电路时,应具体情况具体分析,以便于操作和提高生产效率。

## 1.2 数制

数制即计数体制,它是按照一定规则表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数体制是十进制,数字电路中常用的是二进制,有时也采用八进制和十六进制。对于任何一个数,可以用不同的进制来表示。

### 1.2.1 各种数制

#### 1. 十进制

十进制(Decimal)是最常使用的数制。在十进制中,有0~9共10个数码,所以它的运算规则是“逢十进一,借一当十”,故为十进制;同一数字符号在不同的数位代表的数值不同。设某十进制数 $N_{10}$ 有 $n$ 位整数, $m$ 位小数,则可表示为

$$N_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 10^i \quad (1.1)$$

式中 $k_i$ 为第 $i$ 位的系数,可取0,1,2,3,⋯,9; $10^i$ 为第 $i$ 位的权; $10$ 为进位基数。基数和权是进位制的两个要素,利用基数和权,可以将任何一个数表示成多项式的形式。例如,十进制数505.6可表示为

$$(505.6)_{10} = 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$$

这种表示方法称为多项式表示法或按权展开式。

#### 2. 二进制

在数字电路中,应用最广的是二进制(Binary)。二进制数中只有0,1两个数字符号,所以运算规则是“逢二进一,借一当二”,各位的权为 $2^i$ , $k_i$ 为第 $i$ 位的系数。设某二进制数 $N_2$ 有 $n$ 位整数, $m$ 位小数,则可表示为

$$N_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 2^i \quad (1.2)$$

利用式(1.2)可以将任何一个二进制数转换为十进制数。

**例 1.1** 将二进制数 101.11 转换为十进制数。

解:  $(101.11)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.75)_{10}$

计算机内采用的是二进制表示。采用二进制具有以下优点:

① 二进制只有 0 和 1 两个数码,因此,在数字系统中,可用电子器件的两种不同状态来表示这两个数码,实现起来非常方便。例如,用三极管的导通和截止来表示 0 和 1,或用低电平和高电平来表示 0 和 1 等。所以,二进制数的物理实现简单、易行、可靠,并且存储和传送也方便。

② 二进制运算规则简单,有利于简化计算机的内部结构,提高运算速度。

二进制数的缺点是书写位数太多,不便记忆。为此数字系统通常用八进制和十六进制。

### 3. 八进制

八进制(Octal)有 0,1,2,3,4,5,6,7 共 8 个数码,基数为 8。它的运算规则是“逢八进一,借一当八”。任意一个八进制数  $N_8$  可表示为

$$N_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 8^i \quad (1.3)$$

利用式(1.3)可将任意一个八进制数转换为十进制数。

**例 1.2** 将八进制数 372.5 转换为十进制数。

解:  $(372.5)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = (250.625)_{10}$

### 4. 十六进制

十六进制(Hexadecimal)数采用 16 个数码,而且“逢十六进一,借一当十六”。这 16 个数码是 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A(对应于十进制数中的 10),B(11),C(12),D(13),E(14),F(15)。十六进制数的基数是 16,

仿照式(1.1),任一十六进制数  $N_{16}$  可表示为

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 16^i \quad (1.4)$$

利用式(1.4)可将任意一个十六进制数转换为十进制数。

**例 1.3** 将十六进制数 4E6 转换为十进制数。

解:  $(4E6)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = (1\ 254)_{10}$

今后,十进制(Decimal)数、二进制(Binary)数、八进制(Octal)数、十六进制(Hexadecimal)数也常采用第一个字母 D,B,O,H 作为其标识,加在数的后面。

例如,  $(F58.B2)_{16}$  可写成 F58.B2H,还可写成  $(F58.B2)_H$ 。

二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系如表 1.1 所列。

表 1.1 二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

### 1.2.2 数制转换

人们习惯用十进制,但送入机器时,必须将十进制数转换成数字系统能识别的二进制数。用二进制表示一个比较大的数时,位数较长,不容易读写和记忆,这时常采用八进制和十六进制作为二进制的缩写。因此,务必要熟练掌握不同数制之间的转换。

#### 1. 十进制数转换成非十进制数

##### (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,转换结果为“先余为低,后余为高”;

小数部分:用乘2取整的方法进行转换,转换结果为“先整为高,后整为低”。

**例 1.4** 将 $(21.125)_{10}$ 转换成二进制数。

**解:** 整数部分

$$\begin{array}{r|l}
 2 & 21 \\
 \hline
 2 & 10 \\
 & 5 \\
 2 & 2 \\
 & 1 \\
 2 & 0 \\
 & 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{余数} \\
 1 \\
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 1 \\
 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \uparrow \\
 \text{第一个余数为二进制数的最低位} \\
 \\
 \\
 \\
 \downarrow \\
 \text{最后一个余数为二进制数的最高位}
 \end{array}$$

小数部分

$$\begin{array}{l}
 0.125 \times 2 = 0.250 \quad \text{取出整数 } 0 \quad \uparrow \quad \text{第一个整数为二进制数的最高位} \\
 0.250 \times 2 = 0.50 \quad \text{取出整数 } 0 \quad \downarrow \\
 0.50 \times 2 = 1.00 \quad \text{取出整数 } 1 \quad \downarrow \quad \text{最后一个整数为二进制数的最低位}
 \end{array}$$

所以有

$$(21.125)_{10} = (10101.001)_2$$

##### (2) 十进制数转换成八进制数

十进制数转换为八进制数与十进制数转换为二进制数的方法类似。



整数部分：用除 8 取余的方法进行转换，转换结果为“先余为低，后余为高”；

小数部分：用乘 8 取整的方法进行转换，转换结果为“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

$8 \overline{) 207}$	余数	
$8 \overline{) 25}$	7	↑ 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
$8 \overline{) 3}$	1	
0	3	

小数部分

$$0.5 \times 8 = 4.0$$

取出整数 4，余数为 0，转换结束。

综上所述可得

$$(207.5)_{10} = (317.4)_8$$

(3) 十进制数转换成十六进制数

十进制数转换为十六进制数与十进制数转换为二进制数的方法类似。

整数部分：用除 16 取余的方法进行转换，转换结果为“先余为低，后余为高”；

小数部分：用乘 16 取整的方法进行转换，转换结果为“先整为高，后整为低”。

例 1.6 将  $(1\ 023)_{10}$  转换成十六进制数。

解：

$16 \overline{) 1\ 023}$	余数	
$16 \overline{) 63}$	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
$16 \overline{) 3}$	15	
0	3	

得到

$$(1\ 023)_{10} = (3FF)_{16}$$

值得注意的是：从二进制数、八进制数、十六进制数转换为十进制数，或十进制数转换为二进制整数，都能做到完全准确。但把十进制小数转换为其他进制小数时，除少数可以完全准确外，大多数存在误差，这时就要根据精度的要求进行“四舍五入”。

例 1.7 将  $(0.706)_{10}$  转换成二进制数，要求其误差不大于 0.1%。

解：要使精度达到 0.1%，必须使 LSB(最低有效位)的值小于等于 0.1%。由于  $2^{-10} =$

$$\frac{1}{1\ 024} < \frac{1}{1\ 000} = 0.1\%，所以小数点后取 10 位即可满足精度要求。$$

$0.706 \times 2 = 1.412$	1	$a_{-1}$
$0.412 \times 2 = 0.824$	0	$a_{-2}$
$0.824 \times 2 = 1.648$	1	$a_{-3}$
$0.648 \times 2 = 1.296$	1	$a_{-4}$
$0.296 \times 2 = 0.592$	0	$a_{-5}$