

高等院校教材

# 数字电子技术

主 编 马俊兴

副主编 吕宽洲 王显军

张燕林 杜保强



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

高等院校教材

# 数字电子技术

主 编 马俊兴

副主编 吕宽洲 王显军  
张燕林 杜保强

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是按照教育部高等学校工科电子技术课程教学指导小组制定的“电子技术基础课程教学基本要求”，结合作者多年的教学实践编写的教学用书。全书共有9章。内容包括：数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路的分析与设计、组合逻辑电路模块及其应用、触发器及其应用、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形，以及数模与模数转换电路。为了方便使用者学习，本书给出了大量的由数字集成芯片构成的常用组合逻辑和时序逻辑电路，同时在每章都明确地给出了内容提要、基本要求，并在此基础上通过难点释疑、例题分析等内容对重点、难点进行了深入分析。各章的主要内容均在例题分析中有具体体现，每个重要知识点同时配有相当数量的习题。

本书适合高等院校电气、电子、通信和计算机等专业学生作为学习数字电子技术课程的教材，还可作为相关领域工程技术人员及研究人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/马俊兴主编. —北京:科学出版社,2005

(高等院校教材)

ISBN 7-03-015619-6

I. 数… I. 马… 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(2005)第055777号

责任编辑:巴建芬 潘继敏/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年8月第一版 开本:B5(720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张:18 1/2

印数:1—5 500 字数:357 000

定价:25.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

# 前 言

电路、模拟电子技术和数字电子技术课程是电气、电子、通信和计算机等专业的基础课。电路、模拟电子技术的学习一般偏重于电路的分析方法和应用的掌握,而数字电子技术的学习不仅要求学生掌握数字逻辑电路的分析方法,更重要的是要求学生掌握根据给定的芯片设计出符合要求的数字逻辑电路。因此,数字电子技术应该在内容编排上力求突出基本概念、基本原理和基本分析方法,引导读者抓住重点、突破难点、掌握解题方法,并注意培养读者的分析和设计能力。

本书内容按照本科生数字电子技术课程教学基本要求编写。在编写过程中,本书充分吸收数字逻辑电路的新概念、新理论和新技术,力求处理好先进性和适用性的关系、处理好教材内容变化和基础内容相对稳定的关系。教材内容力求重点突出,基本概念明确清晰,贯穿教材内容少而精和理论联系实际的精神。另外,本书的作者在总结多年来教学体会的基础上,为了适应数字电子技术发展的需要,增加了应用 VHDL 设计集成电路的现代设计方法和可编程逻辑器件(PLD)的内容,使读者与传统设计方法进行充分的比较。全书共有 9 章。数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路的分析与设计、组合逻辑电路模块及其应用、触发器及其应用、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形,以及数模与模数转换电路。

本书由马俊兴组织教材的编写体系,列出目录并担任全书的统稿工作。第 1 章、第 9 章由马俊兴编写,第 2 章和 5.1 节~5.3 节由张燕林编写,第 3 章由王显军编写,第 4 章由吕宽洲编写,第 6 章由张海泉编写,5.4 节、5.5 节及第 7 章由杜保强编写,第 8 章由黄留锁编写,全部思考题、习题及部分答案由刘晓艳负责整理和校对。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中欠妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 5 月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 数字电路基础</b> .....	1
1.1 数字电路的基本概念 .....	1
1.1.1 模拟信号和数字信号 .....	1
1.1.2 正逻辑与负逻辑 .....	2
1.1.3 数字电路的特点 .....	2
1.1.4 数字电路的发展与分类 .....	3
1.2 数制 .....	4
1.2.1 几种常用的计数体制 .....	4
1.2.2 不同数制之间的相互转换 .....	5
1.3 二-十进制码 .....	7
1.4 数字电路中的二极管与三极管 .....	10
1.4.1 二极管的开关特性 .....	10
1.4.2 三极管的开关特性 .....	10
1.5 基本逻辑运算 .....	14
1.5.1 基本逻辑运算 .....	14
1.5.2 其他常用逻辑运算 .....	18
1.6 逻辑函数及其表示方法 .....	20
1.6.1 真值表和逻辑函数表达式 .....	20
1.6.2 逻辑电路图 .....	22
本章小结 .....	23
思考练习题 .....	23
<b>第 2 章 集成逻辑门电路</b> .....	26
2.0 概述 .....	26
2.1 基本逻辑门电路 .....	27
2.1.1 二极管与门和或门电路 .....	27
2.1.2 三极管非门电路 .....	29
2.1.3 DTL 与非门电路 .....	29
2.2 TTL 逻辑门电路 .....	31

2.2.1	TTL 与非门的基本结构及工作原理 .....	31
2.2.2	TTL 与非门的开关速度 .....	33
2.2.3	TTL 与非门的电压传输特性及抗干扰能力 .....	35
2.2.4	TTL 与非门的带负载能力 .....	37
2.2.5	TTL 门电路的其他类型 .....	39
2.2.6	TTL 集成逻辑门电路系列简介 .....	44
2.3	MOS 逻辑门电路 .....	45
2.3.1	NMOS 门电路 .....	45
2.3.2	CMOS 非门 .....	46
2.3.3	其他的 CMOS 门电路 .....	48
2.3.4	CMOS 逻辑门电路系列及主要参数 .....	51
2.4	集成逻辑门电路的应用 .....	52
2.4.1	TTL 与 CMOS 器件之间的接口问题 .....	52
2.4.2	TTL 和 CMOS 电路带负载时的接口问题 .....	54
2.4.3	多余输入端的处理 .....	55
2.5	正负逻辑及逻辑符号的变换 .....	56
2.5.1	正负逻辑的逻辑符号 .....	56
2.5.2	混合逻辑中逻辑符号的变换 .....	57
	本章小结 .....	57
	思考练习题 .....	58
<b>第 3 章</b>	<b>组合逻辑电路的分析与设计 .....</b>	<b>62</b>
3.1	逻辑代数 .....	62
3.1.1	逻辑代数的基本公式 .....	62
3.1.2	逻辑代数的基本规则 .....	63
3.1.3	逻辑函数的代数化简法 .....	64
3.2	逻辑函数的卡诺图化简法 .....	67
3.2.1	最小项及其性质 .....	67
3.2.2	逻辑函数的最小项表达式 .....	69
3.2.3	卡诺图 .....	69
3.2.4	用卡诺图表示逻辑函数 .....	71
3.2.5	逻辑函数的卡诺图化简法 .....	72
3.2.6	具有无关项的逻辑函数的化简 .....	74
3.3	组合逻辑电路的分析方法 .....	76
3.3.1	组合逻辑电路的特点 .....	76

3.3.2	组合逻辑电路的分析方法	77
3.4	组合逻辑电路的设计方法	78
3.4.1	组合逻辑电路的设计方法	78
3.4.2	组合逻辑电路的设计举例	79
3.5	组合逻辑电路中的竞争冒险	85
3.5.1	产生竞争冒险的原因	85
3.5.2	冒险现象的消除方法	87
	本章小结	87
	思考练习题	88
<b>第4章</b>	<b>组合逻辑电路及其应用</b>	<b>90</b>
4.1	编码器	90
4.1.1	编码器的基本概念及工作原理	90
4.1.2	编码器的应用	94
4.2	译码器	96
4.2.1	译码器的基本概念及工作原理	96
4.2.2	集成二进制译码器	97
4.2.3	集成二十进制译码器	101
4.2.4	数字显示译码器	101
4.3	数据选择器	105
4.3.1	数据选择器的基本概念及工作原理	105
4.3.2	集成数据选择器	106
4.3.3	数据选择器的应用	107
4.4	数值比较器	109
4.4.1	数值比较器的基本概念及工作原理	109
4.4.2	集成数值比较器及其应用	111
4.5	加法器	113
4.5.1	加法器的基本概念及工作原理	113
4.5.2	多位数加法器	114
4.5.3	快速进位集成4位加法器74283	115
4.5.4	集成加法器的应用	116
	本章小结	118
	思考练习题	119
<b>第5章</b>	<b>触发器及其应用</b>	<b>122</b>
5.1	基本触发器	122

5.1.1	触发器的基本概念 .....	122
5.1.2	触发器的分类 .....	123
5.1.3	与非门组成的基本 <i>RS</i> 触发器 .....	123
5.1.4	同步基本 <i>RS</i> 触发器 .....	125
5.1.5	同步触发器存在的问题——空翻 .....	127
5.2	主从触发器 .....	127
5.2.1	主从 <i>RS</i> 触发器 .....	128
5.2.2	主从 <i>JK</i> 触发器 .....	128
5.2.3	主从 <i>T</i> 触发器和 <i>T'</i> 触发器 .....	131
5.3	边沿触发器 .....	132
5.3.1	维持-阻塞边沿 <i>D</i> 触发器的结构及工作原理 .....	132
5.3.2	维持-阻塞边沿 <i>D</i> 触发器的逻辑功能表达方式 .....	133
5.3.3	维持-阻塞边沿 <i>D</i> 触发器的直接置 0 和置 1 端 .....	134
5.3.4	CMOS 主从结构的边沿触发器 .....	135
5.4	集成触发器 .....	136
5.4.1	TTL 主从 <i>JK</i> 触发器 74LS72 .....	136
5.4.2	高速 CMOS 边沿 <i>D</i> 触发器 74HC74 .....	137
5.4.3	集成触发器的脉冲工作特性和主要指标 .....	138
5.5	集成触发器功能之间的转换 .....	139
5.5.1	用 <i>JK</i> 触发器转换成其他功能的触发器 .....	140
5.5.2	用 <i>D</i> 触发器转换成其他功能的触发器 .....	140
5.6	触发器应用简介 .....	141
本章小结	.....	143
思考练习题	.....	143
<b>第 6 章</b>	<b>时序逻辑电路</b> .....	<b>149</b>
6.1	时序逻辑电路的基本概念 .....	149
6.1.1	时序逻辑电路的结构及特点 .....	149
6.1.2	时序电路逻辑功能表示方法 .....	150
6.1.3	时序逻辑电路分类 .....	151
6.2	时序逻辑电路的一般分析方法 .....	152
6.2.1	时序逻辑电路分析的一般步骤 .....	152
6.2.2	同步时序逻辑电路的分析举例 .....	153
6.2.3	异步时序逻辑电路的分析举例 .....	155
6.3	同步时序逻辑电路的设计 .....	156



6.3.1	同步时序逻辑电路的设计方法 .....	156
6.3.2	异步时序逻辑电路的设计方法 .....	161
6.4	计数器 .....	164
6.4.1	计数器概述 .....	164
6.4.2	二进制计数器 .....	164
6.4.3	集成二进制计数器介绍 .....	169
6.4.4	非二进制计数器介绍 .....	172
6.4.5	集成计数器的应用 .....	178
6.5	基本寄存器与移位寄存器 .....	184
6.5.1	寄存器的定义 .....	184
6.5.2	数码寄存器分类 .....	185
6.5.3	移位寄存器 .....	185
6.5.4	集成移位寄存器 74194 的应用 .....	188
	本章小结 .....	190
	思考练习题 .....	191
<b>第 7 章</b>	<b>半导体存储器</b> .....	<b>200</b>
7.1	半导体存储器概述 .....	200
7.1.1	半导体存储器的定义及作用 .....	200
7.1.2	半导体存储器的结构 .....	201
7.2	随机存储器 .....	203
7.2.1	静态随机存储器 .....	203
7.2.2	动态随机存储器 .....	204
7.2.3	随机存储器的典型芯片 .....	205
7.2.4	随机存储器的扩展 .....	207
7.3	只读存储器 .....	208
7.3.1	固定 ROM .....	208
7.3.2	可编程只读存储器 .....	209
7.3.3	可擦除可编程只读存储器 .....	210
7.3.4	ROM 的应用 .....	211
7.3.5	程序逻辑电路应用介绍 .....	215
7.4	可编程逻辑器件概述 .....	216
7.4.1	可编程逻辑器件的分类 .....	217
7.4.2	阵列型可编程逻辑器件 .....	219
7.4.3	现场可编程门阵列 .....	223

7.5 可编程逻辑器件的设计 .....	228
7.5.1 概述 .....	228
7.5.2 可编程逻辑器件的设计流程 .....	231
7.5.3 在系统可编程技术 .....	234
7.5.4 边界扫描技术 .....	237
本章小结 .....	238
思考练习题 .....	239
<b>第8章 脉冲波形的产生与整形</b> .....	<b>240</b>
8.1 集成 555 定时器 .....	240
8.1.1 脉冲信号及其描述 .....	240
8.1.2 555 定时器及其特性分析 .....	241
8.2 施密特触发器 .....	243
8.2.1 用 555 定时器构成的施密特触发器 .....	243
8.2.2 集成施密特触发器 .....	245
8.2.3 施密特触发器的应用举例 .....	246
8.3 多谐振荡器 .....	247
8.3.1 555 定时器构成的多谐振荡器 .....	247
8.3.2 占空比可调的多谐振荡器电路 .....	249
8.3.3 石英晶体多谐振荡器 .....	249
8.3.4 多谐振荡器应用实例 .....	251
8.4 单稳态触发器 .....	253
8.4.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器 .....	253
8.4.2 集成单稳态触发器 .....	255
8.4.3 单稳态触发器的应用 .....	258
本章小结 .....	260
思考练习题 .....	260
<b>第9章 数模与模数转换电路</b> .....	<b>261</b>
9.0 概述 .....	261
9.1 D/A 转换器 .....	262
9.1.1 D/A 转换器的基本原理 .....	262
9.1.2 D/A 转换器的主要技术指标 .....	263
9.1.3 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 .....	264
9.1.4 权电流型 D/A 转换器 .....	265
9.1.5 权电流型 D/A 转换器应用举例 .....	266

9.2 A/D 转换器 .....	267
9.2.1 A/D 转换器的基本原理 .....	267
9.2.2 A/D 转换器的取样-保持电路 .....	270
9.2.3 并行比较型 A/D 转换器 .....	271
9.2.4 逐次逼近型 A/D 转换器 .....	273
9.2.5 双积分型 A/D 转换器 .....	274
9.2.6 A/D 转换器的主要技术指标 .....	278
9.2.7 集成 A/D 转换器及其应用 .....	279
本章小结 .....	281
思考练习题 .....	282
<b>参考文献</b> .....	<b>283</b>

# 第1章 数字电路基础

## 内容提要

数字电子技术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制,然后讨论数字电路中二极管、三极管的工作方式,最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。本章的教学需要6~8学时。

## 基本要求

(1) 掌握进位计数制的表示方法及常用数制(二、八、十、十六进制数)的相互转换方法。

(2) 掌握常用编码的表示方法。

## 1.1 数字电路的基本概念

### 1.1.1 模拟信号和数字信号

所谓信号,指实际问题中遇到的运动、变化的各种量(电压、电流、光强、噪声、力、湿度、温度、位移等),在电子系统中,可以通过合适的传感器将信号转变为随时间变化的电压或者电流,因此,电子电路中的信号分类方法很多,可以根据信号的周期性、确定性、频率特性、能量特性和时域特性等分类,根据信号的时域特性一般可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

#### 1. 模拟信号

模拟信号是指时间连续、数值也连续的电压或者电流信号(如音乐、图像、压力、温度等实际的物理信号经过相应的传感器转变为电信号)。模拟信号一般用 $u(t)$ 或者 $i(t)$ 表示,其特点是任意时刻信号都有定义,即定义域是 $(-\infty \sim +\infty)$ 。处理模拟信号的一类电路可以统称为模拟电路。

#### 2. 数字信号

数字信号是指时间上和数值上均是离散的信号(如电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等)。这些信号的变化发生在一系列离散的瞬间,其

值也是离散的,其特点是信号仅在一些特定的时刻有意义。数字信号只有两个离散值,常用数字 0 和 1 来表示,注意,这里的 0 和 1 没有大小之分,只代表两种对立的状态,称为逻辑 0 和逻辑 1,也称为二值数字逻辑信号。

对信号的描述可以采用数学函数式或图形表示。信号的图形也称为信号的波形,当以波形描述一个信号时,应注意在波形图上标出该信号的关键值,关键值包括有信号的不连续点、零点、最大值点和最小值点等。直观上看,连续即没有间断,也就是说信号的自变量可以在其定义域内取任意值,如 0.003 25、7 等;离散则是在自变量间有间断,自变量只能定义在一组离散的规定值上,如整数等,而不能在其定义域内取任意值,在规定值以外的数值上自变量是没有意义的。显然,由于自变量的连续性,连续信号的波形是连续的,其函数值可以是连续的任意值,也可以是不连续的规定值。同样,对数字信号而言,由于自变量的离散性,其信号波形是离散的,但信号的函数值可以是连续的任意值或不连续的规定值。数字信号在电路中往往表现为突变的电压或电流,如图 1-1-1 所示。该信号有两个特点:

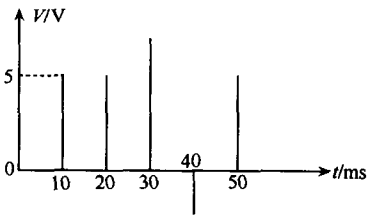


图 1-1-1 典型的数字信号

(1) 信号只有两个电压值,5V 以上和 0V 以下。在数字逻辑电路中,我们经常用逻辑 1 来表示 5V 以上的电压,0V 以下的电压用逻辑 0 表示,这两个电压值又常被称为逻辑电平。5V 以上为高电平,0V 以下为低电平。当然也可以用逻辑 1 来表示 0V 以下电压,用逻辑 0 来表示 5V 以上的电压。

(2) 信号从高电平变为低电平,或者从低电平变为高电平是一个突然变化的过程,其间无定义。

### 1.1.2 正逻辑与负逻辑

如上所述,数字信号是一种二值信号,用两个电平(高电平和低电平)分别来表示两个逻辑值(逻辑 1 和逻辑 0)。那么究竟是用哪个电平来表示哪个逻辑值呢?

两种逻辑体制:

(1) 正逻辑体制规定:高电平为逻辑 1,低电平为逻辑 0。

(2) 负逻辑体制规定:低电平为逻辑 1,高电平为逻辑 0。

### 1.1.3 数字电路的特点

数字电路(又称为数字电子技术)就是传递与处理(编码、译码、存储等)数字信号电子电路,模拟电子技术是分析和处理模拟信号的技术。为了分析问题方便起见,一般认为,数字信号的典型代表是矩形脉冲信号。同时,信号的傅里叶分析证明,任何复杂的信号都是由不同频率的正弦波叠加而成的,因此,正弦波是模拟信

号的典型代表。在数字电子技术中,使用的二极管、三极管等一般工作于开关状态,而模拟电子技术中,使用的二极管、三极管等一般工作于放大状态。数字电路与模拟电路相比主要有下列优点:

(1) 由于数字电路是以二值数字逻辑为基础的,只有 0 和 1 两个基本数字,易于用电路来实现,比如可用二极管、三极管的导通与截止这两个对立的状态来表示数字信号的逻辑 0 和逻辑 1。

(2) 由数字电路组成的数字系统工作可靠,精度较高,抗干扰能力强。它可以通过整形很方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰,还可利用差错控制技术对传输信号进行查错和纠错。

(3) 数字电路不仅能完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,这在控制系统中是不可缺少的。

(4) 数字信息便于长期保存,比如可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

(5) 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

由于具有一系列优点,数字电路在电子设备或电子系统中得到了越来越广泛的应用,计算机、计算器、电视机、音响系统、视频记录设备、光碟、长途电信及卫星系统等,无一不采用了数字系统。

#### 1.1.4 数字电路的发展与分类

数字电路的结构是以二值数字逻辑为基础的,其中的工作信号是离散的数字信号。电路中的电子器件,如二极管、三极管(BJT、FET)处于开关状态,时而导通,时而截止。

数字电路的发展历史与模拟电路一样,经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。但数字集成电路比模拟集成电路发展的更快。从 20 世纪 60 年代开始,数字集成器件以双极型工艺制成了小规模逻辑器件,随后发展到中规模;70 年代末,微处理器的出现,使数字集成电路的性能产生了质的飞跃。

数字集成器件所用的材料以硅为主,在高速电路中,也使用化合物半导体材料,如砷化镓等。

逻辑门是一种重要的逻辑单元电路。TTL 逻辑门电路问世较早,其工艺经过不断改进,至今仍为主要的逻辑器件之一。随着 MOS 工艺特别是 CMOS 工艺的发展,TTL 的主导地位有被 CMOS 器件所取代的趋势。

近年来,可编程逻辑器件(PLD)特别是现场可编程门阵列(FPGA)的飞速进步,使数字电子技术开创了新局面,不仅规模增大,而且将硬件与软件相结合,使器件的功能更加完善,使用也更加灵活。

从集成度来说,数字集成电路可分为小规模、中规模、大规模、超大规模和甚大

规模等五类。所谓集成度,是指每一芯片所包含的三极管(BJT 或 FET)的个数。表 1-1-1 列出了五类数字集成电路的分类依据。

表 1-1-1 数字集成电路的分类

分 类	三极管的个数	典型集成电路
小规模	最多 10 个	逻辑门电路
中规模	10~100	计数器、加法器
大规模	100~1000	小型存储器、门阵列
超大规模	1000~10 <sup>6</sup>	大型存储器、微处理器
甚大规模	10 <sup>6</sup> 以上	可编程逻辑器件、多功能集成电路

从表 1-1-1 可以看到,存储器是基本数字部件之一,集成度也很高。利用存储器可以记忆或存储二值数字 1 或 0。存储的数字信息可以取出来分析或直接利用,例如,打印机可从计算机的存储器里取出信息并打印在纸上。通常数字信息的存储视为将信息写入存储器,而信息恢复则理解为从存储器中读出信息。

## 1.2 数 制

在数字电路和计算机中,只用 0 和 1 两种符号来表示信息,参与运算的数也是由 0 和 1 构成的,称为二进制数。考虑到人类计数习惯,在计算机操作时,一般都要把输入的十进制数转换为二进制数后再让计算机处理;而计算机处理的二进制结果也需要转换为便于人类识别的十进制数后显示出来。因此,我们需要学习不同的数制及其转换方法。

### 1.2.1 几种常用的计数体制

用数字量表示物理量的大小时,仅用一位数码往往不够用,因此经常需要用进位计数的方法组成多位数码使用。把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制。

#### 1. 十进制(Decimal)

在十进制中,每个数位规定使用的数码为 0~9,共 10 个数,故其进位基数  $R$  为 10。其计数规则是“逢十进一”,即“1+9=10”。各位的权值为  $10^i$ , $i$  是各数位的序号。十进制数用下标“D”表示,也可省略。例如

$$(54321)_D = 5 \times 10^4 + 4 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0$$

#### 2. 二进制(Binary)

在二进制中,每个数位规定使用的数码为 0 和 1,共 2 个数码,故其进位基数  $R$

为  $2^i$ , 计数规则是“逢二进一”, 即“ $1+1=10$ ”。各位的权值为  $2^i$ 。二进制数用下标“B”表示。例如

$$(10111)_B = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

这里, 式子中的 1 可以省略。由于二进制数只需两个状态, 机器实现容易, 因而二进制数码是数字系统唯一认识的代码。但二进制书写太长。

### 3. 十六进制(Hexadecimal)与八进制(Octal)

在十六进制(或者八进制)中, 每个数位上规定使用的数码为 0~9 和 A, B, C, D, E, F, 共 16 个数(或者 0~7 共 8 个数), 故其进位基数  $R$  为 16。其计数规则为“逢十六进一”(或者“逢八进一”), 即“ $1+F=10$ ”(或者“ $1+7=10$ ”)。八进制数用下标“O”表示, 十六进制数用下标“H”表示。例如

$$(AB68)_H = 10 \times 16^3 + 11 \times 16^2 + 6 \times 16^1 + 8 \times 16^0$$

$$(7652)_O = 7 \times 8^3 + 6 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 2 \times 8^0$$

因为  $2^4=16$ , 所以 4 位二进制数可用 1 位十六进制数表示。在计算机应用系统中, 二进制主要用于机器内部的数据处理, 八进制和十六进制主要用于书写程序, 十进制主要用于最终运算结果的输出。

## 1.2.2 不同数制之间的相互转换

由于目前的计算机内部处理数据只认识二进制数, 因此我们应该知道不同数制之间的相互转换。

### 1. 二进制转换成十进制

把二进制数转换为等值的十进制数称为二-十转换。具体方法我们举例说明。

**例 1.2.1** 将二进制数 10011.101 转换成十进制数。

**解:** 将每一位二进制数乘以位权, 然后相加, 可得

$$\begin{aligned} (10011.101)_B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &\quad + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (19.625)_D \end{aligned}$$

### 2. 十进制转换成二进制

把十进制数转换为等值的二进制数称为十-二转换。具体方法我们举例说明。

**例 1.2.2** 将十进制数 23 转换成二进制数。

**解:** (1) 整数部分的转换: 可用“除 2 取余”法将十进制的整数部分转换成二进制。根据“除 2 取余”法的原理, 按如下步骤转换:



$2 \overline{) 23}$	.....余 1	$b_0$	↑ 读 取 次 序
$2 \overline{) 11}$	.....余 1	$b_1$	
$2 \overline{) 5}$	.....余 1	$b_2$	
$2 \overline{) 2}$	.....余 0	$b_3$	
$2 \overline{) 1}$ 0	.....余 1	$b_4$	

则

$$(23)_D = (10111)_B$$

(2) 纯小数部分转换:可用“乘 2 取整”的方法将任何十进制数的纯小数部分转换成二进制数。

**例 1.2.3** 将十进制数  $(0.562)_D$  转换成误差  $\epsilon$  不大于  $2^{-6}$  的二进制数。

**解:**用“乘 2 取整”法,按如下步骤转换:

取整

$$0.562 \times 2 = 1.124 \dots\dots 1 \dots\dots b_{-1}$$

$$0.124 \times 2 = 0.248 \dots\dots 0 \dots\dots b_{-2}$$

$$0.248 \times 2 = 0.496 \dots\dots 0 \dots\dots b_{-3}$$

$$0.496 \times 2 = 0.992 \dots\dots 0 \dots\dots b_{-4}$$

$$0.992 \times 2 = 1.984 \dots\dots 1 \dots\dots b_{-5}$$

由于最后的小数  $0.984 > 0.5$ ,根据“四舍五入”的原则, $b_{-6}$ 应为 1。因此

$$(0.562)_D = (0.100011)_B$$

其误差  $\epsilon < 2^{-6}$ 。

### 3. 二进制转换成十六进制

由于十六进制基数为 16,而  $16 = 2^4$ ,因此,4 位二进制数就相当于 1 位十六进制数,故可用“4 位分组”法将二进制数化为十六进制数。

**注意:**对于不足 4 位的二进制数,采用整数前面补零,小数后面补零来处理。

**例 1.2.4** 将二进制数 1001101.100111 转换成十六进制数。

**解:**  $(1001101.100111)_B = (01001101.10011100)_B = (4D.9C)_H$

同理,若将二进制数转换为八进制数,可将二进制数分为 3 位一组,不足 3 位的二进制数处理方法同 4 位二进制数。再将每组的 3 位二进制数转换成 1 位八进制即可。