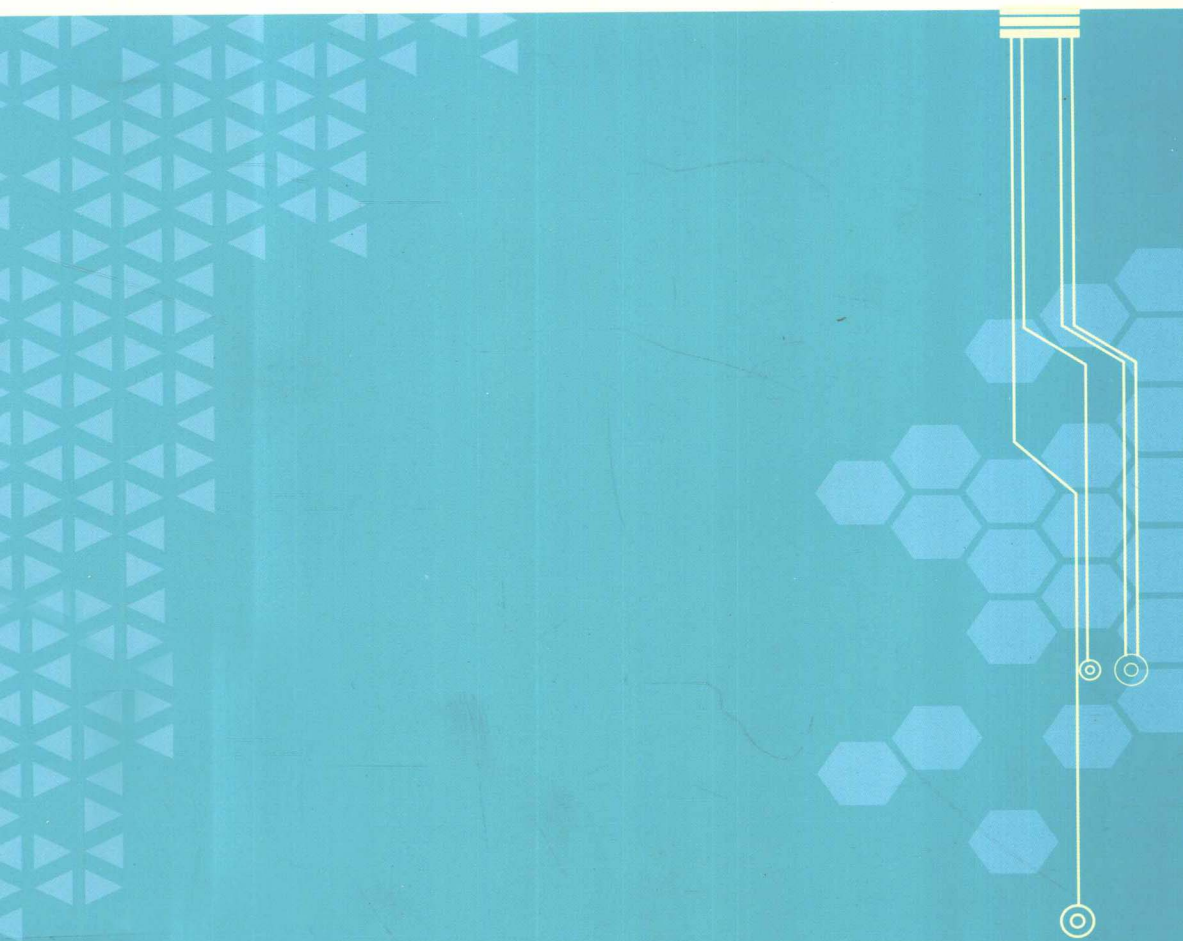




数字电子技术基础

主 编 贾学堂
副主编 徐 意 周燕军



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

数字电子技术基础

主 编 贾学堂

副主编 徐 意 周燕军

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书包括数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、D/A 转换器和 A/D 转换器、存储器和可编程逻辑器件简介等八章及附录。

本书可以作为高职高专电子信息工程技术、计算机应用技术、应用电子技术、生产过程自动化、机电一体化、模具和船舶等专业及电类专升本教材;也可以作为一般本科电类和机械类相关专业的教材;还可以供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/贾学堂主编. —上海:上海交通大学出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 313 - 06612 - 1

I. ①数… II. ①贾… 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(2010)第 125912 号

数字电子技术基础

贾学堂 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 21.5 字数: 401 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~3030

ISBN 978 - 7 - 313 - 06612 - 1/TN 定价: 32.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本着突出基本概念、理论够用,兼顾高职高专培养应用性人才的教学需求,结合教改研究的任务和成果编写本书。

本书具有以下特点:体系结构较合理,内容力求深入浅出、循序渐近、层次分明、重点突出和易教易学;较好地处理了“理论的严谨性”和“理论够用的实用性”(另有实验实训配套教材)的关系,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力;突出了中规模数字集成电路的应用,比较贴近实际;具有模块化结构,只要合理取舍、提高和拓宽(多数打*)基本要求内容(包括附录),可适用于不同层次、不同学时、只学数字不学模拟和数字模拟不同教学顺序安排的需要;精选习题覆盖面较广,对深入理解正文内容有很好的辅助作用。书后所附的大部分习题答案,有利于读者自学,是培养分析问题和解决问题能力的抓手之一。

本书适用于讲课和试验实训 36 学时左右的专业。

本书由贾学堂教授担任主编,负责全书的定稿工作,徐意、周燕军担任副主编,参加编写工作的有徐意、周燕军、王晓林、冯丽伟、谢志超、蒋洪明、汤峰平、贾瑞等,其中徐意负责全书的组织和统稿工作,王晓林编写第 1 章和附录,冯丽伟编写第 2 章,谢志超编写第 3 章,蒋洪明编写第 4 章和 5.1~5.3.3,汤峰平编写 5.3.4~5.5.3,贾瑞编写第 6 章和全部习题答案,周燕军编写第 7、8 两章。

朱慧红副教授审阅了全书。

本书编写过程中得到许多同行、专家及领导的关心和支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,恳请广大读者不吝批评指正。

编 者

2010.5

目 录

第 1 章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.2 数制与码制	1
1.2.1 数制	1
1.2.2 数制转换	3
1.2.3 原码、反码、补码	6
1.2.4 常用编码	8
1.3 逻辑代数及其化简	9
1.3.1 逻辑变量及基本运算	10
1.3.2 逻辑函数及其表示法	15
1.3.3 逻辑代数的基本定律和规则	19
1.3.4 逻辑函数的公式化简法	21
1.3.5 逻辑函数的卡诺图化简法	23
* 1.3.6 含无关项的逻辑函数及其化简法	27
本章小结	29
习题	29
第 2 章 逻辑门电路	33
2.1 半导体器件的开关特性	33
2.1.1 半导体二极管的开关特性	33
2.1.2 半导体三极管的开关特性	35
2.1.3 MOS 管的开关特性	37
2.2 基本逻辑门电路	39
2.2.1 二极管与门电路	39
2.2.2 二极管或门电路	41

2.2.3	非门电路——三极管反相器	43
2.2.4	非门电路——MOS管反相器	44
2.3	TTL 集成门电路	45
2.3.1	TTL 反相器电路	45
2.3.2	TTL 与非门电路的结构及工作原理	48
* 2.3.3	TTL 与非门电路的其他特性	50
2.3.4	集电极开路门(OC 门)	56
2.3.5	三态门(TS 门)	60
* 2.3.6	其他 TTL 门电路介绍	62
2.4	CMOS 集成门电路	63
2.4.1	CMOS 反相器	63
2.4.2	CMOS 与非门和或非门	66
2.4.3	CMOS 传输门(TG 门)	68
* 2.4.4	其他 CMOS 门及 CMOS 数字集成电路系列	69
2.5	集成门电路的参数及使用	73
2.5.1	TTL 门电路的参数及使用	73
2.5.2	CMOS 集成电路的参数及使用	74
2.5.3	各种门电路的逻辑符号与功能	74
2.5.4	集成逻辑门电路常见封装及引脚排列	76
本章小结		77
习题		77
 第 3 章 组合逻辑电路		 82
3.1	概述	82
3.2	组合逻辑电路的分析	83
3.3	组合逻辑电路的设计	85
* 3.4	组合逻辑电路的竞争与冒险现象	89
3.4.1	竞争-冒险的概念与成因	89
3.4.2	竞争-冒险的判断方法	90
3.4.3	消除竞争-冒险的方法	91
3.5	常用的组合逻辑器件	92
3.5.1	编码器	92
3.5.2	译码器	100

3.5.3	数据选择器	107
3.5.4	数据分配器	111
3.5.5	加法器	113
* 3.5.6	奇偶校验电路	116
3.5.7	数值比较器	117
3.6	用中小规模集成电路实现组合电路	119
3.6.1	用数据选择器实现组合逻辑函数	119
3.6.2	用译码器实现组合逻辑函数	120
3.6.3	用全加器实现组合逻辑函数	121
本章小结	.....	122
习题	.....	123
第4章	触发器	126
4.1	概述	126
4.2	基本 RS 触发器	127
4.2.1	与非门组成的基本 RS 触发器(又称锁存器)	127
4.2.2	或非门组成的基本 RS 触发器(又称锁存器)	129
4.3	同步触发器	131
4.3.1	同步 RS 触发器	131
4.3.2	同步 D 触发器(D 锁存器)	134
4.4	主从触发器	135
4.4.1	主从 RS 触发器	135
4.4.2	主从 JK 触发器	137
4.5	边沿触发器	139
4.5.1	维持阻塞上升沿 D 触发器	140
4.5.2	利用门传输延迟时间构成的负边沿 JK 触发器	142
4.6	T 触发器和 T' 触发器	143
* 4.7	触发器的相互转换	145
4.7.1	JK 触发器转换成其他触发器	145
4.7.2	D 触发器转换成其他触发器	146
4.8	集成触发器	146
4.8.1	主从 RS 触发器 CT74LS71	146
4.8.2	集成边沿 JK 触发器 CT74LS112	147

4.8.3 集成维持阻塞 D 触发器 CT74LS74	148
本章小结	150
习题	151
第 5 章 时序逻辑电路	155
5.1 概述	155
5.2 时序逻辑电路的分析	156
5.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	156
5.2.2 同步时序逻辑电路的分析	157
5.2.3 异步时序逻辑电路的分析	159
5.2.4 状态真值表的另一种形式	161
* 5.3 简单时序逻辑电路的设计	162
5.3.1 同步时序逻辑电路的一般设计方法	162
5.3.2 同步时序逻辑电路设计举例	163
5.3.3 自启动设计	170
5.3.4 异步时序逻辑电路的一般设计方法	171
5.4 计数器	174
5.4.1 二进制计数器	174
5.4.2 十进制计数器	176
5.4.3 集成计数器	177
5.4.4 用中规模 N 进制集成计数器设计任意 (M) 进制计数器	183
5.5 寄存器和移位寄存器	192
5.5.1 数码寄存器	192
5.5.2 移位寄存器	193
* 5.5.3 移位寄存器的应用	197
本章小结	205
习题	206
第 6 章 脉冲波形的产生与变换	211
6.1 常用脉冲波形及参数	211
6.2 555 定时器	212
6.3 多谐振荡器	214
6.3.1 555 定时器构成的多谐振荡器	214

* 6.3.2 其他多谐振荡器	216
6.3.3 多谐振荡器的应用	219
6.4 施密特触发器	220
6.4.1 555 定时器构成的施密特触发器	220
* 6.4.2 集成施密特触发器	221
6.4.3 施密特触发器的应用	222
6.5 单稳态触发器	223
6.5.1 555 定时器构成的单稳态触发器	223
* 6.5.2 集成单稳态触发器	224
6.5.3 单稳态触发器的应用	225
本章小结	226
习题	226
 第 7 章 D/A 转换器和 A/D 转换器	230
7.1 D/A 转换器	230
7.1.1 D/A 转换器的基本原理	231
7.1.2 D/A 转换器的主要性能指标	235
7.1.3 DAC0832	235
7.2 A/D 转换器	237
7.2.1 A/D 转换器的基本原理	237
7.2.2 逐次比较型 A/D 转换器工作原理	241
7.2.3 ADC0809	243
本章小结	244
习题	244
 * 第 8 章 存储器和可编程逻辑器件简介	245
8.1 存储器的概述	245
8.1.1 存储器的定义	245
8.1.2 存储器的分类	246
8.1.3 存储器的主要性能指标	247
8.2 只读存储器	248
8.2.1 ROM 的工作原理	248
8.2.2 ROM 的分类	249

8.2.3 集成 E ² PROM28C16 芯片简介	252
8.3 随机存取存储器	253
8.3.1 RAM 的工作原理	253
8.3.2 RAM 的分类	254
8.3.3 集成 RAM 芯片简介	256
8.4 PLD 的电路表示法	257
8.5 早期可编程逻辑器件	258
8.5.1 PROM	258
8.5.2 PAL 器件	259
8.5.3 GAL 器件	260
8.6 复杂可编程逻辑器件 CPLD	262
8.7 现场可编程门阵列 FPGA	263
8.8 CPLD/FPGA 的设计流程	265
本章小结	267
习题	268

附录 电子器件	271
9.1 半导体基本知识	271
9.1.1 半导体及其特点	271
9.1.2 本征半导体	271
9.1.3 杂质半导体	273
9.1.4 PN 结及其单向导电性	274
9.1.5 PN 结的伏安特性及其他特性	276
9.2 半导体二极管	277
9.2.1 半导体二极管结构和伏安特性	277
9.2.2 二极管的主要参数	279
9.2.3 二极管的等效电路及简单应用	280
9.2.4 稳压二极管	284
9.3 双极型晶体管	285
9.3.1 晶体管的结构及分类	285
9.3.2 晶体管的电流放大原理	286
9.3.3 晶体管的共射特性曲线	289
9.3.4 晶体管的主要参数	291

9.3.5 温度对晶体管参数的影响	292
9.4 单极型晶体管——场效应管	294
9.4.1 结型场效应管	294
9.4.2 绝缘栅场效应管	298
9.4.3 场效应管的主要参数	302
9.4.4 场效应管与晶体管特点比较及使用注意事项	304
部分习题参考答案	306
参考文献	329

第1章

数字电路基础

1.1 概述

电子技术中的信号可分为模拟信号和数字信号两大类。

模拟信号是指在时间、数值上都是连续变化的信号,如温度、速度、压力等信号;数字信号是指在时间和数值上都是不连续的(离散的)信号,如电子表的秒信号等。

由于这两类信号的处理方法各不相同,电子电路也因此相应地分为两类:一是传输和处理模拟信号的电路,亦即模拟电路;二是传输和处理数字信号的电路,亦即数字电路。

数字电路包括信号的传送、控制、记忆、计数、产生、整形等内容。数字电路的基本单元是逻辑门电路,分析工具是逻辑代数,研究的主要对象是电路的逻辑功能,即输入信号和输出信号之间的逻辑关系。

数字电路具有抗干扰性强、对元器件的精度要求不高、功耗低、便于集成和系列化生产等特点,在无线电通信、自动控制系统、测量设备、电子计算机以及模拟信号的“数字化”等领域获得了日益广泛的应用。

1.2 数制与码制

在数字电路中,数字信号常用数字0和1来表示,称为逻辑0和逻辑1,也称为二值逻辑。因此,在学习数字电路之初,必须首先学习数字电路常用的数制及其运算规律。

1.2.1 数制

数制是人们对数量进行计数的一种统计规则,是进位计数制的简称。

数制规定了数字每一位的组成方法及从低位到高位进位的方法,任意 N 进制的数字均可表示为:

$$(D)_N = \sum K_i N^i \quad (1-1)$$

式中, N 称为基数,即进制,亦即每种进位计数制中允许使用的数码总数,不同进制的 N 的取值也不同; K_i 称为第 i 位的系数,不同进制的 K_i 的取值不同。 N^i 称为第 i 位的位权,即某一个位数的数值是由这一位数码的值乘上处在这位上的固定常数。不同数位上的固定常数称为位权值,简称位权。系数与权的乘积称为加权系数。

应当注意,若式(1-1)中 D 的整数部分的位数为 n ,小数部分的位数为 m ,则 i 包含从第 $(n-1)$ 位到第 0 位的所有正整数和从第 -1 位到 $-m$ 的所有负整数。

1. 十进制

十进制是以 10 为基数的计数制,即“逢十进一”。在十进制中,采用 0~9 这 10 个不同的数码来表示任何一位上的数。各位数的权是 10 的幂数。同一数码处在不同数位上时,表示的数值是不同的。例如:

$$(99.99)_D = 9 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2}$$

其中, 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 等分别为十位、个位、十分位、百分位的权,10 为基数。9 为各位的数码。

上式等号左边表示一个十进制数,括号的右下角标 D(Decimal)代表十进制数,也可用下脚标 10 表示,也可以省略。

在日常生活中计数时,我们常习惯采用十进制;但在数字电路及计算机系统中,则采用二进制,为书写方便,常借助八进制或十六进制来表示。

2. 二进制

二进制是以 2 为基数的计数制,即“逢二进一”。在二进制中,采用 0 和 1 两个数码来表示任何一位上的数。各位数的权是 2 的幂数。例如:

$$(1011.11)_B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

其中, 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 等分别为各位的权,2 为基数。0, 1 为各位的数码。

上式等号左边表示一个二进制数,括号的右下角 B(Binary)代表二进制数,也可用下标 2 表示。二进制数只有 0 和 1 两个数码,与数字电路的输出状态能够相匹配,且运算规则简单,相应的运算电路也容易实现。

3. 八进制

八进制是以8为基数的进制,即“逢八进一”。在八进制中,采用0~7这8个数码来表示任何一位上的数。各位数的权是8的幂数。例如:

$$(205.03)_O = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2}$$

其中, 8^2 、 8^1 、 8^0 、 8^{-1} 、 8^{-2} 等分别为各位的权,8为基数。2、0、5、3为各位的数码。

上式等号左边表示一个八进制数,括号的右下角O(Octal)代表八进制数,也可用下标8表示。

4. 十六进制数

十六进制是以16为基数的进制,即“逢十六进一”。在十六进制中,采用0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A(10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15)这16个数码来表示任一位上的数。各位数的权是16的幂数。例如:

$$(3A.7F)_H = 3 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 7 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2}$$

其中, 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 等分别为各位的权,16为基数。3、A、7、F为各位的数码。

上式等号左边表示一个十六进制数,括号的右下角H(Hexadecimal)代表十六进制数,也可用下标16表示。

八进制与十六进制较之二进制表示简单,且容易与二进制进行转换。

1.2.2 数制转换

计算机中存储数据和对数据进行运算采用的是二进制数,但二进制数位数较多时,书写和辨认其值很不方便,容易出错,故常采用十六进制数表示,而生活中,人们又习惯于十进制数,为了使用方便,常会进行不同数制之间的相互转换。

1. 十进制数与非十进制数的相互转换

1) 十进制数转换成非十进制数

十进制转换成非十进制数时,整数部分采取“除基取余法”,直到商为0结束,先得到的余数为低位,后得到的余数为高位;小数部分采取“乘基取整法”,直到满足精度要求结束(不一定到小数点后全为0),转换后再合并,先得到的整数为高位,后得到的整数为低位。

采用这种方法可以将十进制数转换为任意的N进制数。

例1.1 把 $(42.375)_D$ 转换成二进制数。

【解】 整数部分是：

2	42	余数	↑	低位
2	21	.....	0 = K ₀	
2	10	.....	1 = K ₁	
2	5	.....	0 = K ₂	
2	2	.....	1 = K ₃	
2	1	.....	0 = K ₄	
	0	.....	1 = K ₅	↑ 高位

小数部分变换如下：

0.375				
×	2		整数	↑ 高位
0.750		.....	0 = K ₋₁	
0.750				
×	2			
1.500		.....	1 = K ₋₂	
0.500				
×	2			
1.000		.....	1 = K ₋₃	↓ 低位

所以得到的结果是 $(42.375)_D = (101010.011)_B$ 。

例 1.2 把 $(35.625)_D$ 转换成八进制数。

【解】

8	35	余数	↑	低位
8	4	.....	3 = K ₀	
	0	.....	4 = K ₁	↑ 高位

0.625	取整	↓	高位
×	8		
5.000	.....	5	↓ 低位

所以结果为： $(35.625)_D = (43.5)_O$ 。

同理可以把十进制转换成十六进制：即把需转换的十进制数的整数部分除以 16，先得出的余数在低位，后得出的余数在高位；小数部分乘以 16，先得出的整数在高位，后得出的整数在低位即可。

2) 非十进制数转换成十进制数

非十进制数转换成十进制数时，把非十进制的数按式 $(1-1)$ 展成多项式，再按十进制求和即可。

例 1.3 把二进制数 $(1011010)_B$ 转换成十进制数。

【解】 $(1011010)_B = 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$

$$= 64 + 16 + 8 + 2$$

$$= (90)_D$$

例 1.4 把十六进制数 $(F8C.B)_H$ 转换成十进制数。

【解】 $(F8C.B)_H = F \times 16^2 + 8 \times 16^1 + C \times 16^0 + B \times 16^{-1}$

$$= 3\,840 + 128 + 12 + 0.6875$$

$$= (3980.6875)_D$$

例 1.5 把八进制数 $(367.53)_O$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{【解】 } (367.53)_O &= 3 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2} \\ &= 192 + 48 + 7 + 0.625 + 0.375 \\ &= (248)_D \end{aligned}$$

2. 二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换

1) 二进制数与八进制数之间的转换

八进制数中的 8 个数码为 0~7, 其中的每一个数码分别与 3 位二进制数相对应, 即 $(7)_O = (111)_B$, $(6)_O = (110)_B$, $(5)_O = (101)_B$, $(4)_O = (100)_B$, $(3)_O = (011)_B$, $(2)_O = (010)_B$, $(1)_O = (001)_B$, $(0)_O = (000)_B$ 。二进制在转换成八进制时, 每三位二进制数码转换成一八进制数。转换时, 具体运算步骤为:

整数部分: 从小数点左第一位开始, 每三位一组, 不足三位时将高位补零, 每组用一位等价八进制数替换;

小数部分: 从小数点右第一位开始, 每三位一组, 不足三位时将低位补零, 每组用一位等价八进制数替换。

例 1.6 把二进制数 11010110.1100111 转换成八进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{【解】} & & 0 & \underline{11} & \underline{010} & \underline{110} & \underline{011} & \underline{100} \\ & & & 3 & 2 & 6 & 3 & 4 \end{array}$$

$$\text{即 } (11010110.11001110)_B = (326.634)_O$$

八进制数转换成二进制数时, 按照此过程的逆过程进行转换即可。转换时, 把每位八进制数码对应地用三位二进制数表示即可。

2) 二进制数与十六进制数之间的转换

十六进制数中的 16 个数码为 0~F, 其中的每一个数码分别与 4 位二进制数相对应, 即 $(F)_H = (1111)_B$, $(E)_H = (1110)_B$, $(D)_H = (1101)_B$, $(C)_H = (1100)_B$, $(B)_H = (1011)_B$, $(A)_H = (1010)_B$, $(9)_H = (1001)_B$, $(8)_H = (1000)_B$, $(7)_H = (0111)_B$, $(6)_H = (0110)_B$, $(5)_H = (0101)_B$, $(4)_H = (0100)_B$, $(3)_H = (0011)_B$, $(2)_H = (0010)_B$, $(1)_H = (0001)_B$, $(0)_H = (0000)_B$, 二进制在转换成十六进制时, 每四位二进制数码转换成一十六进制数。转换时, 具体运算步骤为:

整数部分: 从小数点左第一位开始, 每四位一组, 不足四位时将高位补零, 每组用一位等价十六进制数替换;

小数部分: 从小数点右第一位开始, 每四位一组, 不足四位时将低位补零, 每组用一位等价十六进制数替换。

例 1.7 把二进制数 111010110.1100111 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{【解】} & & 000 & \underline{11101} & \underline{0110.} & \underline{1100} & \underline{1110} \\ & & 1 & D & 6. & C & E \end{array}$$

即 $(111010110.1100111)_B = (1D6.CE)_H$

十六进制数转换成二进制数时,按照此过程的逆过程进行转换即可。转换时,把每位十六进制数码对应的用四位二进制数表示即可。

3. 二进制数的算术运算

当两个二进制数进行算术运算时,只需注意逢二进一、借一作二的原则即可。

例如:

加法:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ +) 1011 \\ \hline 11000 \end{array}$$

乘法:

$$\begin{array}{r} 101101 \\ \times) 011001 \\ \hline 101101 \\ 000000 \\ 000000 \\ 101101 \\ 101101 \\ +) 000000 \\ \hline 10001100101 \end{array}$$

减法:

$$\begin{array}{r} 1110 \\ -) 0101 \\ \hline 1001 \end{array}$$

除法:

$$\begin{array}{r} 1.11 \dots \\ 0101 \overline{) 1001} \\ \underline{\rightarrow 0101} \\ 1000 \\ \underline{\rightarrow 0101} \\ 0110 \\ \underline{\rightarrow 0101} \\ 0010 \end{array}$$

由上述运算不难发现,乘法是通过若干次被乘数(或零)左移1位,然后将两种操作得到的结果相加;而除法是通过若干次除数右移1位和从被除数或余数减去除数两种操作得到结果。

如果能设法将减法运算转化为加法运算,则加、减、乘、除运算就可全部通过“移位”和“相加”两种操作实现。利用上述特点,可使运算电路的结构大为简化。

1.2.3 原码、反码、补码

人们通常在数值的前面加“+”表示正数(“+”通常也可以省略),加“-”表示负数。这种表示称为符号数的真值。

但是,在计算机系统和数字设备中,数字是存放在寄存器中的。它由若干位二进制数组成,对于正号“+”或负号“-”,无法在寄存器中表示。对于有符号的整数,在计算机内存中,曾出现过原码、反码和补码表示的编码方案,这几种方案均是将最