

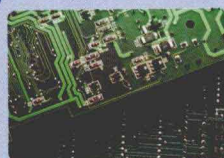
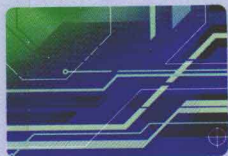


普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

Digital Circuit

数字电路

◆ 主编 何其贵



普通高等教育“十二五”创新型规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

数 字 电 路

主 编	何其贵		
副主编	黄鹏飞	程 越	宗接华
参 编	程光璇	余丽萍	余春平
	刘 广	范恩昊	

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书系统地介绍了数字逻辑电路的基本概念、数字逻辑电路分析及设计的基本理论和方法。全书共 10 章。主要内容包括数字电路的基本理论、数字逻辑电路的分析与设计、脉冲波形的产生与变换、D/A、A/D 转换器及采用大规模集成电路进行数字设计的特点和一般方法及技能训练等。本书大部分章节最后都有本章小结和思考练习,便于读者巩固所学理论知识,有利于实践操作能力和创新能力的提高。

本书可作为高等院校电子、电气、自动化、计算机等有关专业的教材或参考书,也可作为自学者、科技人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路/何其贵主编. —北京:北京理工大学出版社, 2011. 8
ISBN 978 - 7 - 5640 - 4968 - 3

I. ①数… II. ①何… III. ①数字电路 - 高等学校 - 教材
IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 162892 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 12.75

字 数 / 235 千字

版 次 / 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 32.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface <<< <<<

本教材是作者结合多年的教学改革和实践经验，以培养高素质、具备综合工作能力的人才为出发点编写而成的。

本书从工程应用的实际出发，突出实用性及基本能力的培养，重点讲述数字电路的基本理论和电路分析及设计的基本方法。

作为教材或教学参考书，既要符合科学技术发展的需要，又应能培养学生分析问题和解决问题的能力。为满足上述要求，本书主要有如下创新。

(1) 内容组织：重点讲述“方法”，而不是各种各样的逻辑线路，更没有烦琐的数学推导，力求为学生提供独立分析和设计逻辑线路的“工具”。

(2) 讲述方法：对问题的解答，重在思路的分析，使学生明白其来龙去脉，培养学生独立解决问题的能力。

(3) 文字叙述：力求做到言简意赅，便于读者自学。

当然，上述这些考虑是否能够真正实现，还有待于教学实践的检验。

本教材建议学时为 100~120，其中理论教学为 60~70 学时，实践教学为 40~50 学时。

本教材由何其贵老师担任主编，黄鹄飞老师、程越老师、宗接华老师担任副主编，程光璇、余丽萍、余春平、刘广、范恩昊等老师参与了编写。其中第 2、4 章由何其贵老师编写；第 1 章由程越老师编写；第 5 章由黄鹄飞老师编写；第 6 章由宗接华老师编写；第 7 章由程光璇老师编写；第 8 章由余丽萍老师编写；第 3 章由余春平老师编写；第 9 章由刘广老师编写；第 10 章由范恩昊老师编写。

在本书编写与整理的过程中，兄弟院校的许多教授、专家及同事给予了大力支持和帮助，并提出了一些宝贵意见。在此，向他们表示衷心的感谢。

由于笔者水平所限，书中难免会有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

Contents <<< >>>

第1章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.2 晶体管的开关特性	2
1.2.1 晶体二极管的开关特性	2
1.2.2 晶体三极管的开关特性	3
1.3 数制和码	4
1.3.1 数制表示	4
1.3.2 数制转换	7
1.3.3 二-十进制码	10
1.4 逻辑函数	11
1.4.1 逻辑函数的基本概念与基本运算	11
1.4.2 常用逻辑门	14
1.4.3 逻辑代数的公理、定理及规则	18
1.5 逻辑函数的标准形式	21
1.5.1 最小项及逻辑函数的最小项之和的标准形式	21
1.5.2 最大项及逻辑函数的最大项之积的标准形式	22
1.5.3 将逻辑函数展开为两种标准形式的方法	23
1.6 逻辑函数的化简	25
1.6.1 逻辑函数的代数化简法	25
1.6.2 逻辑函数的卡诺图化简法	26
本章小结	30
思考练习	30
第2章 组合逻辑电路	33
2.1 概述	33
2.2 组合逻辑电路的分析	33
2.3 组合逻辑电路的设计	35
2.3.1 单输出组合逻辑电路的设计	35
2.3.2 多输出组合逻辑电路的设计	36
2.4 二进制运算电路	37
2.4.1 半加器	38



2.4.2 全加器	38
2.5 编码与编码器	40
2.5.1 二进制编码器	40
2.5.2 二-十进制编码器	42
2.5.3 优先编码器	43
2.6 译码与译码器	46
2.6.1 二进制译码器	46
2.6.2 二-十进制译码器	47
2.7 组合逻辑电路的竞争与险象	49
2.7.1 竞争险象的概念及产生的原因	49
2.7.2 险象的判断及消除	50
本章小结	51
思考练习	53
第3章 触发器	56
3.1 概述	56
3.2 基本 R-S 触发器	56
3.2.1 用“与非”门构成的基本 R-S 触发器	56
3.2.2 用“或非”门构成的基本 R-S 触发器	58
3.3 时钟 R-S 触发器和 D 触发器	60
3.3.1 时钟 R-S 触发器	60
3.3.2 时钟 D 触发器	62
3.4 主从触发器	63
3.4.1 主从 R-S 触发器	63
3.4.2 主从 J-K 触发器	64
3.4.3 其他逻辑功能的主从触发器	67
3.5 边沿触发器	69
3.5.1 边沿 J-K 触发器	70
3.5.2 边沿 D 触发器	71
3.6 触发器之间的相互转换及应用	73
3.6.1 触发器之间的相互转换	73
3.6.2 触发器的应用举例	75
本章小结	75
思考练习	76

第4章 时序逻辑电路	80
4.1 概述	80
4.2 时序逻辑电路的结构及类型	80
4.2.1 时序逻辑电路的结构	80
4.2.2 时序逻辑电路的类型	81
4.3 状态表和状态图	81
4.3.1 米里型状态表和状态图	82
4.3.2 摩尔型状态表和状态图	83
4.4 时序逻辑电路的分析与设计	84
4.4.1 同步时序逻辑电路的分析	85
4.4.2 同步时序逻辑电路的设计	88
4.4.3 异步时序逻辑电路的分析	90
4.5 常用的时序逻辑电路	91
4.5.1 寄存器	91
4.5.2 计数器	94
本章小结	98
思考练习	99
第5章 脉冲波形的产生与变换	103
5.1 概述	103
5.2 集成555定时器	106
5.3 单稳态触发器	107
5.3.1 TTL微分型单稳态触发器	107
5.3.2 TTL积分型单稳态触发器	108
5.3.3 555定时器构成的单稳态触发器	109
5.4 多谐振荡器	111
5.4.1 TTL与非门组成的多谐振荡器	111
5.4.2 555定时器构成的多谐振荡器	112
5.5 施密特触发器	113
5.5.1 TTL与非门组成的施密特触发器	113
5.5.2 555定时器构成的施密特触发器	115
本章小结	115
思考练习	116

第6章 数/模及模/数转换 117

6.1 概述	117
6.2 数/模转换器	117
6.2.1 数/模转换的基本原理	117
6.2.2 常用的数/模转换	118
6.3 模/数转换器	121
6.3.1 模/数转换的基本原理	121
6.3.2 常用的模/数转换	122
6.4 集成 D/A 和 A/D 转换器	125
6.4.1 集成 D/A 转换器	125
6.4.2 集成 A/D 转换器	126
本章小结	127
思考练习	128

第7章 大规模专用集成电路 129

7.1 概述	129
7.2 常用大规模专用集成电路	129
7.2.1 PLD 简介	129
7.2.2 只读存储器	131
7.2.3 可编程逻辑阵列	135
7.2.4 可编程阵列逻辑	137
7.2.5 通用阵列逻辑	138
本章小结	138
思考练习	139

第8章 基础技能训练 141

技能训练1 门电路功能的测试与转换	141
一、实训目的	141
二、实训仪器与器材	141
三、实训基本知识	141
四、实训内容	141
五、实训报告要求	143
技能训练2 组合逻辑电路的设计与测试	143
一、实训目的	143
二、实训仪器与器材	143

三、实训基本知识	143
四、实训内容	144
五、实训报告要求	147
技能训练3 译码器逻辑功能的测试及应用	147
一、实训目的	147
二、实训仪器与器材	147
三、实训基本知识	147
四、实训内容	148
五、实训报告要求	149
技能训练4 触发器逻辑功能的测试及转换	149
一、实训目的	149
二、实训仪器与器材	150
三、实训基本知识	150
四、实训内容	150
五、实训报告要求	151
技能训练5 移位寄存器逻辑功能的测试及应用	152
一、实训目的	152
二、实训仪器与器材	152
三、实训基本知识	152
四、实训内容	153
五、实训报告要求	153
技能训练6 计数器逻辑功能的测试及应用	153
一、实训目的	154
二、实训仪器与器材	154
三、实训基本知识	154
四、实训内容	154
五、实训报告要求	155
技能训练7 脉冲波形的产生与整形电路	155
一、实训目的	155
二、实训仪器与器材	155
三、实训基本知识	156
四、实训内容	156
五、实训报告要求	157
技能训练8 D/A 和 A/D 转换器	157
一、实训目的	158
二、实训仪器与器材	158



三、实训基本知识	158
四、实训内容	158
五、实训报告要求	159
技能训练9 编程器的应用	159
一、实训目的	159
二、实训设备与器件	159
三、实训电路与说明	160
四、实训内容与步骤	161
五、实训报告要求	162
技能训练10 GAL 编程入门	162
一、实训目的	162
二、实训设备与器件	162
三、实训电路与说明	162
四、实训内容与步骤	164
五、实训报告要求	165
技能训练11 GAL 的应用	165
一、实训目的	165
二、实训设备与器件	165
三、实训电路与说明	165
四、实训内容与步骤	167
五、实训报告要求	168
第9章 创新技能实训	169
创新技能实训1 数字电子钟的安装、调试与制作	169
一、学习目标	169
二、工作任务	169
三、数字电子钟的基本工作原理	169
四、数字电子钟的制作与调试	171
创新技能实训2 智力竞赛抢答器的安装、调试与制作	172
一、学习目标	172
二、工作任务	172
三、电路结构分析	172
四、电路的工作原理	174
五、制作与调试	175
创新技能实训3 路灯开关模拟电路的安装、调试与制作	175
一、学习目标	175

二、工作任务	176
三、电路功能	176
四、模拟制作实训要求	176
五、参考电路	176
六、电路的工作原理	176
七、元器件功能	178
创新技能实训4 交通灯自动控制器模拟电路的安装、调试与制作	178
一、学习目标	178
二、工作任务	179
三、电路功能	179
四、实训电路	179
五、电路工作原理	179
六、元器件选择	181
第10章 工程训练	182
工程训练1 电子密码锁的设计、调试与制作	182
一、任务与要求	182
二、总体方案设计	182
工程训练2 声控电子锁的设计、调试与制作	183
一、任务与要求	183
二、总体方案设计	183
工程训练3 数字频率计的设计、调试与制作	184
一、任务与要求	184
二、总体方案设计	184
工程训练4 可编程彩灯控制器的设计、调试与制作	185
一、任务与要求	185
二、总体方案设计	185
附录 常用集成电路引脚性能图	187
参考文献	189

1.1 概 述

1. 数字信号

在实际应用中,我们所接触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和数值上都是连续变化的信号,如传统调频、调幅方式传送的广播电视信号等;数字信号是指信号的变化在时间上是不连续的,即它在时间和幅度上是离散的。数字信号常用二值量信息表示,它既可以用两个有一定数值范围的高、低电平来表示,也可以用两个状态的逻辑符号0和1来表示。例如,我们可以用1表示灯的亮,0表示灯的灭。

2. 数字电路

能够对模拟信号进行传送、加工及处理的电子电路称为模拟电路,如在模拟电路中介绍的交、直流放大器等;类似地,能够对数字信号进行传递、加工及处理的电子电路称为数字电路,如本教材中即将介绍的门电路、触发器、计数器等。

将二极管、三极管、电阻等元器件组成的具有一定逻辑功能的电路(即分立元件电路),集中制作在一块很小的半导体材料基片上,这种电路就叫做“集成电路”。

按照集成度的高低,集成电路可分为:小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI)(每个芯片含有10~100个元件)、中规模集成电路(Middle Scale Integration, MSI)(每个芯片含100~1 000个元件)、大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI)(每个芯片含1 000~10 000个元件)、超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)(每个芯片含10 000~1 000 000个元件)、超超大规模集成电路(Very Very Large Scale Integration, VVLSI)(每个芯片可含1 000 000个以上元件)。

3. 数字电路的优点

与模拟电路相比,数字电路主要有如下优点。

(1) 工作可靠性高、抗干扰能力强:数字电路其信号是用高(1)、低(0)电平来描述的,大大提高了电路工作的可靠性及抗噪声干扰能力。

(2) 集成度高:数字电路采用二进制,基本单元电路的结构简单,对电路元件的精度要求不高,有利于高度集成。

(3) 数字集成电路功耗低、通用性强、成本低。

(4) 保密性好：对数字信息进行编码加密处理简单，且难于被破解。

4. 数字电路的研究方法

数字电路的传统研究方法是经典法，即先对设计任务进行逻辑分析，求出函数与变量之间的逻辑关系（一般称它为逻辑函数），然后利用布尔代数法或卡诺图等方法对逻辑函数进行化简，最后用集成器件实现逻辑函数。这样设计出来的逻辑电路具有使用器件和连线最少等优点，这种经典法特别适宜于用中、小规模集成数字电路的设计。

1.2 晶体管的开关特性

由模拟电路知识可知，在理想状态下，晶体二极管正偏导通时其正向压降为 0，相当于短路状态，而反偏截止时其反向电流为 0，相当于开路状态；晶体三极管工作在饱和区时其 $b-e$ 、 $c-e$ 之间呈现的电阻很小，相当于短路状态，而工作于截止区时其 $b-e$ 、 $c-e$ 之间均呈现很高的电阻，相当于开路状态。它们的这种特性与理想开关的特性十分相似。所谓理想开关就是指开关接通时其接触电阻为 0，相当于短路状态；开关断开时其绝缘电阻为无穷大，电流等于 0，处于开路状态，且开关状态的转换能在瞬间完成。因此，在数字电路中，晶体二极管、晶体三极管常被作为开关器件来使用。

1.2.1 晶体二极管的开关特性

由于实际中使用的晶体二极管不可能是理想的，因此，晶体二极管从截止到饱和或是从饱和到截止都需要一定的时间。在低速开关电路中，二极管导通与截止两种状态之间的转换过程可以看做是无惰性的，转换时间可以不考虑。但在高速开关电路中就必须加以考虑了。又由于二极管从截止转换到导通所需要的时间很短，因此它对开关速度的影响可忽略不计。我们只分析二极管由导通到截止的过程，即反向恢复过程。

图 1.1 (a) 是一简单的二极管开关电路，其输入电压波形如图 1.1 (b) 所示。

当输入电压由正向 U_F 突然变到反向 U_R 时，理想情况下，二极管应立即由导通变为截止，流过二极管的电流为反向漏电流 I_S ，如图 1.1 (c) 所示。但由于二极管并非理想的，实际电流如图 1.1 (d) 所示。反向电流 $I_R \approx U_R/R$ 持续一段时间 t_s 后，按指数规律减小，经过一段时间 t_r ，电流下降到 $0.1I_R$ ，然后电流逐渐减小到反向电流 I_S ，二极管才截止。其中，反向恢复时间 $t_R = t_s + t_r$ 。

二极管产生反向恢复过程的根本原因是由于正向工作时， $p-n$ 结两边存储了多余的少数载流子，消散该存储电荷是需要时间的。除了少数载流子的存储效

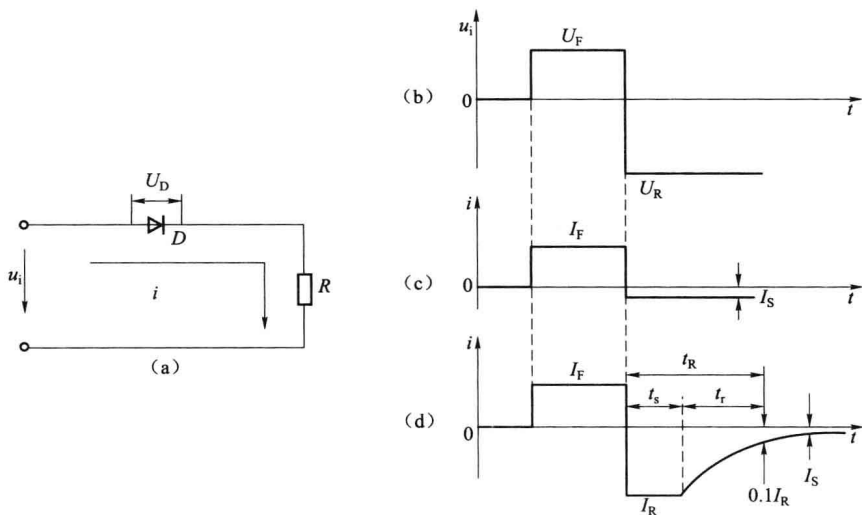


图 1.1 二极管的开关特性

(a) 电路; (b) 输入电压波形; (c) 理想电流波形; (d) 实际电流波形

应会引起开关的惰性外,二极管的结电容对此也有影响。当正向工作时 p 区的空穴和 n 区的电子进入空间电荷区,使阻挡层变窄,空间电荷量减少,而当 p-n 结由正偏变为反偏时,阻挡层变宽,空间电荷量增加。p-n 结的这个作用如同一个电容器一样,故称为结电容。因此,产生反向恢复过程的原因可归结为存储电荷效应和结电容效应。

反向恢复时间 t_R 的大小除了与管子本身的性能有关外,也与正向导通电流和反向电流的大小有关。正向电流越小,则存储的少数载流子电荷越少, t_R 就越短,反向电流越大,则对存储电荷的驱散速度越快, t_R 越短。因此,为了减小反向恢复时间,应该尽量减小正向电流与反向电流的比值。

1.2.2 晶体三极管的开关特性

由于晶体三极管发射结、集电结同晶体二极管的 p-n 结一样,都存在存储电荷效应和结电容效应,因此,晶体三极管在截止状态与饱和状态之间转换时也具有过渡特性,即状态的转换不可能在瞬间完成,一定有时间延时的。

在图 1.2 (a) 所示电路中,若三极管基极输入电压为一理想的矩形波,理想条件下其集电极电流 i_c 和集电极电压 u_{ce} 的波形也应是理想的矩形波,但实际的波形却如图 1.2 (d) 所示,它们的上升沿和下降沿都变化缓慢,而且上升部分和下降部分与输入波形相比都有延时。产生这种情况的原因同样是因为存储电荷效应和结电容效应。

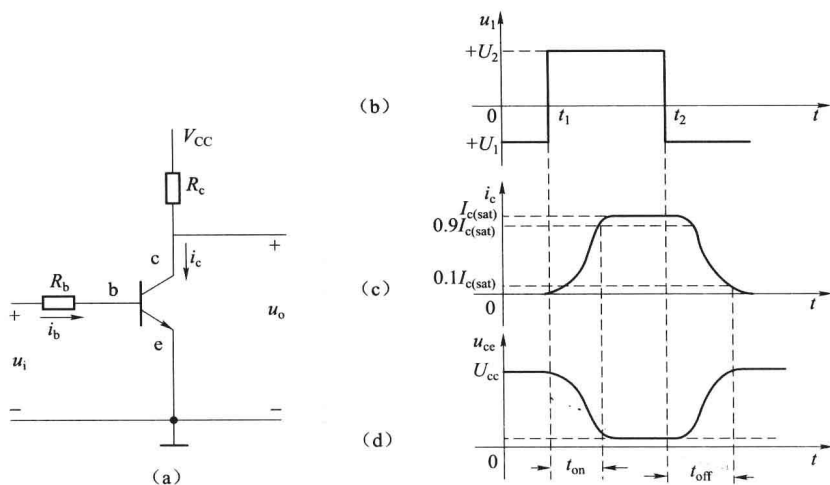


图 1.2 三极管的开关特性

(a) 电路；(b) 输入电压波形；(c) 实际电流波形；(d) 实际电压波形

在图 1.2 (a) 中, 我们规定 u_i 正跳变开始到 i_c 上升至 $0.9I_{c(sat)}$ 所需要的时间称为开通时间, 用 t_{on} 表示; 而从 u_i 负跳变开始到 i_c 下降至 $0.1I_{c(sat)}$ 所需要的时间称为关断时间, 用 t_{off} 表示; 开通时间 t_{on} 与关断时间 t_{off} 总称为三极管的开关时间, 它随管子不同而有很大差别, 其大小影响三极管的开关速度。

1.3 数制和码

所谓数制是进位记数制度的简称。我们日常生活中有许多不同的数制。例如, 十进制是“逢 10 进 1”, 钟表计时采用六十进制, 即 60 秒为 1 分, 60 分为 1 小时, 12 英寸为 1 英尺, 则采用的是十二进制。

1.3.1 数制表示

1. 十进制的表示

十进制是使用最早的一种主要的记数制度。例如一个十进制数 286.75, 我们可以立刻读出这个数, 数码“2”代表 200, 数码“8”代表 80 等, 显然这是由某个数码在数字中处在不同的位置 (数位) 所决定的。此数也可用一个多项式来表示, 即:

$$286.75 = 2 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

一般地, 对于任意一个 n 位整数, m 位小数的十进制数 $(N)_{10}$ 可以表示为:

$$(N)_{10} = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0a_{-1}\cdots a_{-m} \quad (1-1)$$

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

a_i 表示相应数位的数码,可以是0, 1, ..., 9这10个数码中的任意一个,记作 $0 \leq a_i \leq 9$,我们把10称为十进制的基数。所谓“基数”是指在一个数制中可能用到的数码个数。例如,二进制的基数是2, R 进制的基数是 R 。 n 、 m 为正整数,分别代表整数位数和小数位数; $(N)_{10}$ 的下标10(也可用D)表示十进制数。

式(1-1)称为十进制数的位置记数法或称并列表示法,式(1-2)称为十进制数的多项式表示法,或称按权展开式。

10^i 称为数码 a_i 具有的“权”。例如,数码 a_3 的权为 $10^3 = 1\,000$,数码 a_0 的权为 $10^0 = 1$ 。显然可见,处在不同数位上的数码具有不同的“权”。

2. 二进制数的表示

1) 二进制数的表示方法

与十进制数一样,二进制数的表示也有两种方法:位置记数法和多项式表示法。如

$$1011.01 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

等式左边是位置记数法,等式右边是多项式表示法。

一般地,对于任意一个 n 位整数和 m 位小数的二进制数 $(N)_2$ 可以表示为:

$$(N)_2 = b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_0b_{-1}\cdots b_{-m} \quad (1-3)$$

$$\begin{aligned}
 \text{或} \quad (N)_2 &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

$(N)_2$ 下标2表示二进制。式中 b_i 表示相应数位的数码, n 、 m 为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数。 2^i 称为数码 b_i 的权。

2) 二进制数的运算

二进制数的运算规则与十进制数类似,其运算规则如下:

(1) 加法运算规则

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=0 \text{ (同时向邻近高位进1)}$$

(2) 减法运算规则

$$0-0=0 \quad 0-1=1 \text{ (同时向邻近高位借1)} \quad 1-0=1 \quad 1-1=0$$

(3) 乘法规则

$$0 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

(4) 除法规则

$$0 \div 1 = 0 \quad 1 \div 1 = 1$$

例 1.1 求 1001 与 1010 之和。

解：将末位对齐逐位相加。则：

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 0\ 1 \\ +\)\ 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1\ 1 \end{array}$$

即 $1001 + 1010 = 10011$ 。

二进制数加法运算将末位对齐逐位相加，但采用“逢 2 进 1”的法则。

例 1.2 求 1101 与 1011 之差。

解：将末位对齐逐位相减。则：

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ -\)\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 0 \end{array}$$

即 $1101 - 1011 = 10$ 。

二进制数减法运算亦是末位对齐逐位相减，当某数位减数大于被减数时，需向高位借位，并且是借 1 当 2。

例 1.3 求 1001 与 1011 的积。

解：

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 0\ 1 \\ \times\)\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1 \end{array}$$

即 $1001 \times 1011 = 1100011$ 。

例 1.4 求 10010001 与 1011 之商。

解：

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ \sqrt{1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1} \\ \underline{1\ 0\ 1\ 1} \\ 1\ 1\ 1\ 0 \\ \underline{1\ 0\ 1\ 1} \\ 1\ 1\ 0\ 1 \\ \underline{1\ 0\ 1\ 1} \\ 1\ 0\ \cdots \end{array} \begin{array}{l} \text{商} \\ \\ \\ \text{余数} \end{array}$$

二进制数的乘法和除法运算与十进制数的运算类似，只是要采用二进制数的运算规则。

3. 任意进制数的表示

对于一个 n 位整数， m 位小数的任意进制数 $(N)_R$ 可以表示为：