



高等职业教育精品工程规划教材

EWB 和 Multisim 软件仿真进行电路设计和测试

数字电子技术及应用项目教程



主 编 李 鹏
参 编 姜永华 白春涛 郭迎娣
张 静 赵洪涛

逻辑代数、门电路、计数器
时序电路及触发器、编码/译码
寄存器、加法器及其他中规模器件
数模互转、综合应用、电路焊接



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育精品工程规划教材

数字电子技术及应用 项目教程

李 鹏 主 编

姜永华 白春涛 参 编

郭迎娣 张 静 赵洪涛

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以电子信息类专业就业岗位所需的职业技能和知识为依据,融合数字电子技术的主干内容和 Multisim 软件仿真技术、电子制作技术设计学习项目,具体内容包括简单会议表决器(逻辑代数基本知识、门电路应用等)、键盘与显示电路(编码、译码器等)、BCD 加法器(加法器及其他中规模器件)、四人竞赛抢答器(时序电路及触发器应用)、100 秒计时与显示电路(计数器、寄存器的应用)、多功能数字钟电路(综合应用)、简单数字电压表(A/D、D/A 转换)等项目的设计与制作。同时本书还介绍了 EWB、Multisim 仿真软件、电路焊接等知识和技能,使学生能够更全面地掌握有关数字电子技术应用的知识和技能。

本书主要作为职业院校和成人教育院校的应用电子技术、电子信息工程、机电一体化、电气自动化、计算机应用技术等专业的教材,也可供从事电子技术方面的工程技术人员和自学者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及应用项目教程 / 李鹏主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.3

ISBN 978-7-121-27611-8

I. ①数… II. ①李… III. ①数字电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 277741 号

策划编辑: 郭乃明

责任编辑: 郭乃明 特约编辑: 范 丽

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15 字数: 384 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版

印 次: 2016 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

《数字电子技术及应用项目教程》是在传统数字电子技术课程基础上,融合电子仿真技术,经过项目化改造而来。数字电子技术是电子信息类各专业的一门重要技术基础课,课程的理论性、实践性、应用性都很强,学习好本课程对后续单片机技术等多门课程的学习大有裨益。因此,职业院校的电子信息大类各专业(如应用电子技术、电子信息工程、机电一体化、计算机应用技术等)的学生都开设这门课程。数字电子技术及其学习方式的发展很快,教学的内容和方式也要跟着发展的形式变化。本教材根据教育部对现代高等职业教育的要求,在广泛调研的基础上,以项目为主导、以任务为驱动,设计了7个教学项目,打破传统的专业知识体系,将各知识技能点打乱重构,分配到各项目及其任务中去,使学习者在教师的引导下,完成各学习任务和项目的同时完成知识、技能的学习,在做中学,在学中做。书中所设计的项目既能保证学习专业知识的全面性又便于教与学,在项目及任务的组织上,符合学习者的认知发展规律,从简单到复杂,从单一到综合,在学习过程中,教师的指导也应从多到少,学生的自主学习从少到多。

本书包含7个教学项目,教师可根据情况选择学习。每个项目包含若干学习任务,在每个学习任务中都明确了学习的技能目标、知识目标和学生的实践活动与指导、知识链接与扩展、巩固与提高等内容。每个任务的知识链接与扩展都是完成本任务必需的知识,保证学以致用,理论适度够用,重点培养学生的分析设计能力和电路制作能力,坚持培养学生的实践操作能力。同时,书中大量使用 EWB 和 Multisim 仿真软件,进行电路的仿真设计和测试,使学生逐步掌握 1~2 种电子仿真软件的使用,同时通过这种方式拓展学生的学习时空。本书有完善的配套课程设计材料和教学资源、远程学习网站,有助于培养学员的自学能力和可持续发展能力。

本书主编为李鹏,负责全书的设计与规划、教学资源的组织和建设,并主笔编写了项目 1~3 的内容,同时也参与其他项目的编写。本书参编人员有:姜永华、白春涛、郭迎娣、张静(分别完成 4~7 项目的编写任务并协助完成全书校稿、组织教学辅助材料,建立课程网站资源等工作)。本书的规划以及项目的筛选、电路设计等得到栾春光教授和多位企业专家的帮助,在此向为本书提供帮助的朋友表示衷心的感谢。

由于编者水平和实践经验有限,书中难免有错漏与不妥之处,欢迎广大读者提出宝贵意见,批评指正,联系邮箱 ytlip@126.com。

目 录

项目一 简易会议表决器电路设计与制作	1
任务一 数字逻辑认识与交流	1
■ 技能目标	1
■ 知识目标	1
■ 实践活动与指导	2
■ 知识链接与扩展	2
■ 巩固与提高	4
任务二 表示与使用逻辑	4
■ 技能目标	4
■ 知识目标	4
■ 实践活动与指导	5
■ 知识链接与扩展（一）	5
一、数制及其相互转化	5
二、常见二进制编码	8
三、基本逻辑运算及简单复合逻辑运算	10
四、逻辑代数的常用公式及规则	14
■ 巩固与提高	16
■ 知识链接与扩展（二）	17
一、逻辑代数的基本规则	17
二、卡诺图化简	18
■ 巩固与提高	23
任务三 3人会议表决器的设计	25
■ 技能目标	25
■ 知识目标	25
■ 实践活动	25
■ 知识链接与扩展	25
一、逻辑函数及其表示方法	25
二、组合逻辑电路的设计步骤与方法	28
■ 巩固与提高	28
任务四 三人会议表决器的 Multisim 仿真	30
■ 技能目标	30
■ 知识目标	30
■ 实践活动与指导	30
■ 知识链接与扩展	30
一、Multisim 软件的初步使用	30
二、电路输入输出部分	32

三、电路仿真	35
四、逻辑转换仪的使用	36
■ 巩固与提高	37
任务五 三人会议表决器的电路搭建与测试	37
■ 技能目标	37
■ 知识目标	37
■ 实践活动与指导	38
■ 知识链接与扩展	38
一、实训台基本情况介绍	38
二、简易会议表决电路的搭建	38
三、集成门电路的分类及电气特性	39
■ 巩固与提高	51
项目二 数字键盘与显示电路设计与制作	54
任务一 二进制及 BCD 编码器的初识和功能测试	54
■ 技能目标	54
■ 知识目标	55
■ 实践活动与指导	55
■ 知识链接与扩展	55
一、组合逻辑电路	55
二、编码器分类及其功能测试	58
■ 巩固与提高	63
任务二 数字键盘设计与电路制作	64
■ 技能目标	64
■ 知识目标	64
■ 实践活动与指导	64
■ 知识链接与扩展	64
一、键盘显示电路的框图	64
二、键盘和编码电路设计	65
■ 巩固与提高	66
任务三 常用译码器的认识和应用	66
■ 技能目标	66
■ 知识目标	66
■ 实践活动与指导	67
■ 知识链接与扩展——译码器	67
■ 巩固与提高	74
任务四 数字键盘设计与显示电路设计、制作	75
■ 技能目标	75
■ 知识目标	75
■ 实践活动与指导	75
■ 知识链接与扩展	75

一、数字键盘与显示电路原理图	75
二、电路制作材料与工具	76
三、数字键盘与显示电路的制作	82
■ 巩固与提高	82
任务五 二进制译码器电路的应用扩展	83
■ 技能目标	83
■ 知识目标	83
■ 实践活动与指导	83
■ 知识链接与扩展	83
一、二进制译码器功能扩展	83
二、二进制译码器作为函数发生器	86
■ 巩固与提高	87
项目三 BCD 加法器设计与制作	88
任务一 一位二进制加法器的设计与仿真	88
■ 技能目标	88
■ 知识目标	88
■ 实践活动与指导	89
■ 知识链接与扩展	89
一、半加器的设计	89
二、全加器的设计与仿真	90
■ 巩固与提高	92
任务二 多位二进制加法器的设计与电路仿真	92
■ 技能目标	92
■ 知识目标	92
■ 实践活动与指导	92
■ 知识链接与扩展	92
一、四位二进制加法器的设计和仿真	92
二、集成加法器的功能和测试	95
三、用加法器设计 8421BCD 码和余 3 码的互换电路	96
■ 巩固与提高	98
任务三 一位 8421BCD 十进制加法器的设计与制作	98
■ 技能目标	98
■ 知识目标	98
■ 实践活动与指导	98
■ 知识链接与扩展	98
一、8421BCD 码加法的特点	98
二、BCD 加法器电路框图	99
三、BCD 加法器电路设计和仿真	100
四、BCD 加法器电路的搭建	101
■ 巩固与提高	101

项目四	四人竞赛抢答器的设计与制作	102
任务一	简单自动蓄水池控制电路分析	102
■	技能目标	102
■	知识目标	102
■	实践活动与指导	103
■	知识链接与扩展	103
	一、简单自动蓄水池的基本情况	103
	二、简单自动蓄水池控制电路的工作	104
	三、基本 RS 触发器的功能和表示	105
■	巩固与提高	108
任务二	各类触发器的功能测试与比较	109
■	技能目标	109
■	知识目标	110
■	实践活动与指导	110
■	知识链接与扩展	110
	一、触发器的分类	110
	二、时钟触发器	110
■	巩固与提高	124
任务三	四人竞赛抢答器的设计与仿真、制作	127
■	技能目标	127
■	知识目标	127
■	实践活动与指导	127
■	知识链接与扩展	127
	一、电路设计框图	127
	二、电路各部分的设计与仿真	128
	三、电路的制作	130
■	巩固与提高	131
项目五	100 秒计时与显示电路设计与制作	134
任务一	计数器设计与功能仿真	134
■	技能目标	134
■	知识目标	134
■	实践活动与指导	135
■	知识链接与扩展	135
	一、时序逻辑电路特点及计数器的分类	135
	二、用二分频电路构成二进制计数器	136
	三、十进制计数器的设计与仿真	141
	四、时序逻辑电路的分析方法	142
■	巩固与提高	146
任务二	集成计数器的功能比较与测试	147
■	技能目标	147

■ 知识目标	147
■ 实践活动与指导	147
■ 知识链接与扩展	148
一、二进制集成计数器	148
二、十进制集成计数器	156
三、可逆集成计数器	159
四、构成任意进制计数器的方法	162
■ 巩固与提高	168
任务三 100 秒计时与显示电路设计与制作	169
■ 技能目标	169
■ 知识目标	170
■ 实践活动与指导	170
■ 知识链接与扩展	170
一、一百进制计数器的设计与仿真	170
二、脉冲信号的产生电路	172
三、100 秒计时显示电路与抢答器的联调	177
■ 巩固与提高	179
项目六 多功能数字钟电路设计与制作	180
任务一 多功能数字钟的功能分析与框图设计	180
■ 技能目标	180
■ 知识目标	180
■ 实践活动与指导	181
■ 知识链接与扩展	181
一、电路功能分析	181
二、数字钟功能框图	181
■ 巩固与提高	181
任务二 时钟脉冲电路的认识与测试	182
■ 技能目标	182
■ 知识目标	182
■ 实践活动与指导	182
■ 知识链接与扩展	182
一、脉冲电路的类型和脉冲波形的基本参数	182
二、555 定时器的认识	183
三、施密特触发器 (Schmitt Trigger)	185
四、单稳态触发器 (Monostable Trigger)	190
■ 巩固与提高	194
任务三 数字钟电路的原理设计	196
■ 技能目标	196
■ 知识目标	196
■ 实践活动	196

■ 知识链接与扩展	196
一、振荡与分频电路设计	197
二、时、分、秒计时部分设计	199
三、显示电路	201
四、校时电路	203
五、整点报时电路设计	205
■ 巩固与提高	209
任务四 数字钟电路的制作与调试	209
■ 技能目标	209
■ 知识目标	209
■ 实践活动与指导	209
■ 知识链接与扩展	209
一、列写元器件清单	209
二、制作并测试电路	211
■ 巩固与提高	211
项目七 简单数字电压表的设计	212
任务一 A/D 和 D/A 转换器件认识与交流	212
■ 技能目标	212
■ 知识目标	212
■ 实践活动与指导	212
■ 知识链接与扩展	213
一、A/D 和 D/A 转换的概念和应用领域	213
二、D/A 转换器的基本工作原理和参数	213
三、A/D 转换器的基本工作原理和参数	217
四、ADC 和 DAC 的发展趋势和应用前景	220
■ 巩固与提高	221
任务二 设计数字式电压表	221
■ 技能目标	221
■ 知识目标	222
■ 实践活动与指导	222
■ 知识链接与扩展	222
一、MC14433 的基本情况	222
二、电路设计框图	224
三、三位半数字电压表的设计原理图	225
■ 巩固与提高	227
附录 常用集成电路逻辑符号对照表	228

项目一 简易会议表决器电路设计与制作



项目要求

请使用逻辑电路设计一个简易会议表决器，要求每位参会人员的桌上有一个表决按钮，会议表决结果用一个红色 LED 指示灯表示。参会人员在对会议研讨问题进行不记名表决时，按下表决器按钮表示同意，否则表示不同意。当多数人同意时，红色 LED 指示灯亮，否则，LED 指示灯不亮。请按 3 人参加会议来设计本表决器。



项目目标

项目分五个任务进行实施，通过本项目的实施，达到如下目标。

1. 能清楚识别数字、模拟信号并能理解其意义。
2. 能熟练应用逻辑代数的基本运算、公式、规则进行逻辑问题的分析、化简。
3. 能用 5 种方法表示逻辑问题并能实现 5 种表示方法的转换。
4. 能理解各类门电路的逻辑意义和电气特性，会合理选用集成门电路并正确连接使用。
5. 会综合运用逻辑代数、门电路、组合电路分析设计方法进行小规模组合逻辑电路分析和设计。
6. 初步学会使用 Multisim 进行原理图绘制和仿真及基本仪表的使用。
7. 会使用实训室设备进行数字电路搭建并会使用仪表进行参数和逻辑功能测试。

任务一 数字逻辑认识与交流

■ 技能目标

1. 能正确区分数字信号和模拟信号，数字电路与模拟电路。
2. 能借助教材、电子材料、网络等手段查询并整理筛选有价值的信息。
3. 能有条理地整理信息并撰写小论文。

■ 知识目标

1. 了解数字信号/电路和模拟信号/电路的特点。
2. 掌握脉冲波形的主要参数。

■ 实践活动与指导

教师搜集与电子生产、数字化设备相关的视频资料在课堂上与学生分享并进行讲解和讨论。教师展示有关脉冲及参数的课件或动画资料,让学生对此有直观的认识和理解。教师组织学生阅读教材并指导学生通过查阅图书资料和上网搜索获取资料,撰写关于数字电子技术发展和应用的技术文章。

■ 知识链接与扩展

1. 数字电路与模拟电路

在近代电子工程中,按照所处理的信号形式,通常将电子线路分成两大类:模拟电路和数字电路。

模拟信号 (Analog Signal) 通常是指模拟物理量的信号形式,它在时间上及数值上都是连续的,可以在一定范围内任意取值,如图 1.1.1 (a) 所示。模拟电路是以模拟信号作为研究对象的电路,主要分析输入、输出信号在频率、幅度、相位等方面的不同,如交、直流放大器 (AC、DC Amplifier)、信号发生器 (Signal Generator)、滤波器 (Filter) 等。在模拟电路中,三极管 (Transistor) 工作在放大状态。

数字信号 (Digital Signal) 是指时间上和数值上都是离散的信号。它们的变化在时间上是不连续的,它们的数值大小和增减变化,都是采取数字的形式,如图 1.1.1 (b) 所示。

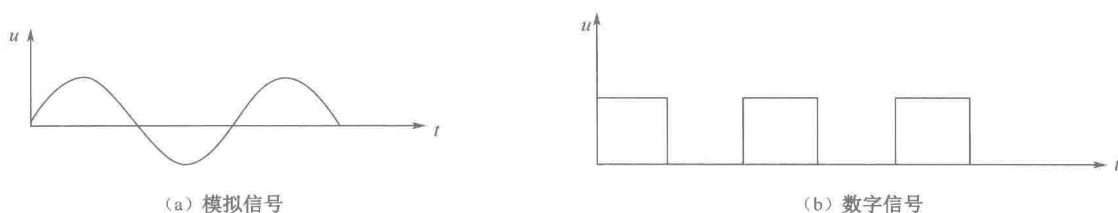


图 1.1.1 模拟信号与数字信号

数字电路是处理数字信号并能完成数字运算的电路。在电子计算机、电动机、通信设备、自动控制系统、雷达、家用电器、日常电子小产品、汽车电子等许多领域得到了广泛的应用。在数字电路中,电压或电流通常只有两个状态,用逻辑 1 和逻辑 0 表示。数字信号通常是以 0、1 符号组成的序列来表示的。数字电路输入与输出的 0、1 符号序列间的逻辑关系,便是数字电路的逻辑功能。因此,数字电路也可认为是实现各种逻辑关系的电路,也称为逻辑电路。

数字电路通常由逻辑门、触发器、计数器及寄存器等逻辑部件构成,数字电路分析的重点已不是输入、输出波形间的数值关系,而是输入、输出序列间的逻辑关系。数字电路的一般框图如图 1.1.2 所示,其输入与输出的信息以及控制与操作的变量都是数字信号。电路中含有对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示以及信号的产生、整形、变换等不同功能的数字部件。

数字电路的分析和设计中采用的主要方法是逻辑分析和逻辑设计,数学工具是逻辑代数。基本分析方法与手段有功能表、真值表、逻辑表达式、波形图、卡诺图。常用的设计仿真软件有 EWB (Electronics WorkBench)、Multisim、Proteus 等。数字电路的制作与测试中常用的仪器仪表有数字电压表、电子示波器、逻辑分析仪、万用表等。

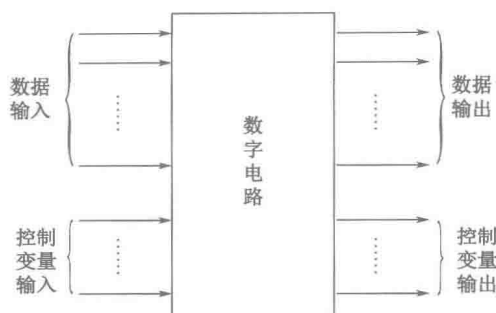


图 1.1.2 数字电路一般结构框图

2. 数字电路特点

(1) 工作信号是二进制的数字信号，在时间上和数值上是离散的（不连续），反映在电路上就是低电平和高电平两种状态（即 0 和 1 两个逻辑值）。

(2) 电路中晶体管工作于开关状态，对组成数字电路的元器件的精度要求不高，只要在工作时能够可靠地区分 0 和 1 两种状态即可。

(3) 抗干扰能力强，可靠性和准确性高。

(4) 集成度高，通用性强，保密性好，电路设计、维修灵活方便。

(5) 在数字电路中，研究的主要问题是电路的逻辑功能，即输入信号的状态和输出信号的状态之间的关系，遇到的问题是逻辑电路的分析与设计，工具有逻辑代数等。

3. 脉冲信号及其参数

脉冲信号是指一种持续时间极短的电压或电流波形。从广义上讲，凡不具有连续正弦形状的波形，几乎都可以称为脉冲信号。

相对于零电平或某一基准电平，幅值为正的脉冲叫正脉冲，反之则为负脉冲。

理想的矩形脉冲突变部分是瞬时的，但实际上，脉冲电压从零值跃升到最大值，或从最大值降到零值，都要经历一定的时间，如图 1.1.3 所示。其主要参数如下。

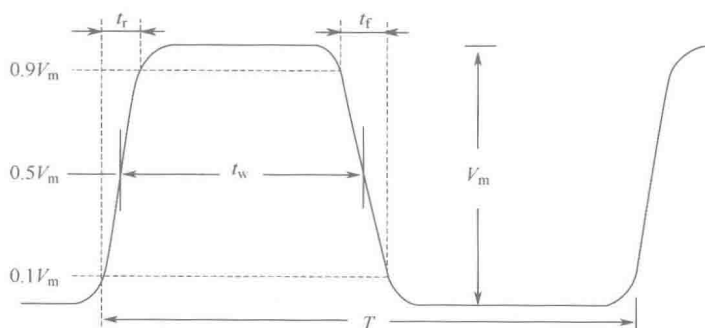


图 1.1.3 矩形脉冲实际波形及其参数

1) 脉冲幅度 V_m ：脉冲幅度表示一个脉冲电压波从底部到顶部之间的数值大小。

2) 脉冲上升时间 t_r ：上升时间表示脉冲从 $0.1V_m$ 上升至 $0.9V_m$ 所经历的时间。

3) 脉冲下降时间 t_f ：下降时间表示脉冲从 $0.9V_m$ 下降至 $0.1V_m$ 所经历的时间。

4) 脉冲宽度 t_w ：脉冲宽度是脉冲的持续时间。通常取脉冲前、后沿 $0.5V_m$ 的时间间隔作为脉冲宽度。

5) 脉冲周期 T ：一个周期性的脉冲序列，两相邻脉冲重复出现的时间间隔称为脉冲周期 T 。

其倒数为脉冲重复频率 f 。即： $f = \frac{1}{T}$

6) 占空比 q ：脉冲宽度与脉冲周期之比称为占空比 $q = \frac{t_w}{T}$ 。占空比 $q = \frac{1}{2}$ 的矩形波即为方波。

脉冲电路是用来处理脉冲信号的电路。对于脉冲电路，分析的重点不在于电路的放大倍数、频率响应以及非线性失真等，而是着重分析输入、输出波形的形状、幅度及周期等。

数字电路分析的重点是电路的逻辑功能，分析的方法是逻辑分析，使用的数学工具是逻辑代数；脉冲电路分析的重点是电路输入、输出波形的形状、幅度和周期等，分析方法采用模拟电路的分析方法。

■ 巩固与提高

1. 知识巩固

1.1 模拟信号的最显著特点是_____，模拟电路主要分析输入、输出信号的_____、_____、_____等参数。

1.2 数字信号的最显著特点是_____，它用逻辑_____和逻辑_____表示。数字电路是实现各种逻辑关系的电路，也称为_____电路。

1.3 某矩形波信号的频率是 10Hz，1 秒的时间内高电平的累计时间是 0.3 秒，该矩形波的占空比是_____。

2. 任务作业

课下各学习小组利用图书资料和网络资料整理一篇小论文，主题是数字电路的发展、应用、特点及展望，在同学中进行交流与展示。

任务二 表示与使用逻辑

■ 技能目标

1. 能正确进行各种进制数值的转换。
2. 能进行十进制与 BCD 码的转换。
3. 能应用基本逻辑表示简单逻辑问题。
4. 能运用逻辑数学知识对逻辑问题进行化简。

■ 知识目标

1. 掌握各种进制的相互转化。
2. 认识常用二进制代码。
3. 掌握基本逻辑门的逻辑功能。
4. 掌握复合逻辑运算。
5. 掌握逻辑数学的基本公式和规则。

■ 实践活动与指导

教师组织学生自学和互助学习逻辑代数的知识并给予指导。当学生基本掌握逻辑代数以后,组织一次公式化简的小组竞赛和一次卡诺图化简的小组竞赛。每次竞赛设置题分 and 速度分,竞赛完成与学生一起批改并讲解,最后评出成绩给予点评。

■ 知识链接与扩展 (一)

一、数制及其相互转化

1. 常用数制

数制就是计数的制度,进位计数制是按照进位的方式进行计数的制度。常用的计数制度有日常生活中常用的十进制、数字电路及设备中使用的二进制、为方便表示二进制而在技术文档和书籍材料中使用的八进制和十六进制。除此之外,还有计时用的十二进制、二十四进制、六十进制、还有每周的七进制等很多进制形式。

进位计数制的三要素是数据元素、基数、权重。

数据元素就是构成一种进制所使用的计数符号,如十进制中使用 0、1、2、…、9 共十个元素来计数,十六进制中使用 0~9、A、B、C、D、E、F 这些元素。如表 1.2.1 所示。

基数就是一种进位计数制逢几进位。如十进制的基数是 10,二进制的基数是 2,如表 1.2.1 所示。

权重是指每种进位计数制中不同位置的数值所代表的数值,在 N 进制中,其整数部分从最低位向高位看,权重分别是 $N^0, N^1, N^2, N^n, \dots$ 如表 1.2.1 所示。例如,十进制的 111,三个不同位置的“1”所代表的实际值是不同的,最后一个“1”代表的就是 1,也即 1 个 10^0 ,最高位的“1”所代表的是 100,也即 1 个 10^2 。

表 1.2.1 常用数制的三要素比较表

进制	数据元素	基数	权重	举例
十进制	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9	10	10^n (n 是整数)	$(111)_{10}$, 0.123D, 3.321D
二进制	0、1	2	2^n (n 是整数)	$(101)_2$, 0.1001B, 10.01B
八进制	0、1、2、3、4、5、6、7	8	8^n (n 是整数)	$(754)_8$, 567O, 3.567O
十六进制	0~9、A、B、C、D、E、F	16	16^n (n 是整数)	$(1A2)_{16}$, 3C2DH, 1.AH

任何一个数值,都可以写成数据元素乘以权重然后求和的形式,这种表达式称为按权展开式。如下例:

$$(5555)_{10} = 5 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

$$(209.04)_{10} = 2 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 0 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$$

任意一个 N 进制数 $(a_m a_{m-1} \dots a_3 a_2 a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \dots a_{-k})_N$, 其按权展开式为:

$$\begin{aligned}
 (a_m a_{m-1} \dots a_3 a_2 a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \dots a_{-k})_N &= a_m \times N^m + a_{m-1} \times N^{m-1} + \dots + a_3 \times N^3 + a_2 \times N^2 + a_1 \times N^1 + a_0 \times N^0 \\
 &+ a_{-1} \times N^{-1} + a_{-2} \times N^{-2} + a_{-3} \times N^{-3} + \dots + a_{-k} \times N^{-k} \\
 &= \sum_{i=-k}^m a_i \times N^i \quad (k, m \text{ 为正整数或 } 0)
 \end{aligned}$$

因此,二进制的按权展开式如下所示:

$$(101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.25)_{10}$$

八进制数的按权展开式如下所示：

$$(207.04)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = (135.0625)_{10}$$

十六进制数的按权展开式如下所示：

$$(D8.A)_{16} = 13 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} = (216.625)_{10}$$

由此可见，按权展开式可以将任意进制的任何数转换成十进制。这是非十进制转换成十进制的通用方法。

2. 不同进制数的相互转换

(1) 非十进制转换成十进制

非十进制转换成十进制的统一做法就是按权展开式进行运算。

如二进制 $(1001.111)_2$ 转换成十进制如下：

$$(1001.111)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (9.875)_{10}$$

(2) 十进制转换成非十进制

十进制转换成非十进制（任意 N 进制），整数部分和小数部分要分别进行转换。整数部分采用短除法，小数部分采用短乘法。

短除法：用十进制整数除以目标进制的基数，取出余数，一直进行到商为 0 为止，所得余数倒序排。简记为：除基取余，直至商 0，余数倒排。

例 1.2.1 将 $(43)_{10}$ 转换成二进制，八进制，十六进制

解：十进制整数转换成二进制，八进制，十六进制采用短除法，如下所示。

2	43			
2	21	-----	1	↑
2	10	-----	1	
2	5	-----	0	
2	2	-----	1	
2	1	-----	0	
	0	-----	1	

8	43		16	43			
8	5	-----	3	16	2	-----	11
	0	-----	5		0	-----	2

因此 $(43)_{10} = (101011)_2$ $(43)_{10} = (53)_8$ $(43)_{10} = (2B)_{16}$

短乘法：用十进制小数乘以目标进制的基数，取出整数，一直进行到满足精度要求为止，所得整数正序排列。简记为：乘基取整，直至足精，整数正序排。

例 1.2.2 请将 $0.875D$ 转换成二进制、八进制、十六进制数。

解：十进制小数转换成二进制、八进制、十六进制数采用短乘法，如下所示。

0.875			
× 2			
1.75	-----	1	↓
0.75			
× 2			
1.50	-----	1	
0.50			
× 2			
1.0	-----	1	
0			

0.875		0.875			
× 8		× 16			
7.0	-----	7	14.0	-----	E
0			0		

因此， $0.875D = 0.111B$ $0.875D = (0.7)_8$ $0.875D = (0.E)_{16}$

需要说明的是，并不是每一次使用短乘法进行数制转换都能出现小数部分为 0 的情况，很多时候达不到小数为 0，但是越往后运算，所得的整数的权重越低，因此，只要是转化后的数据满

足精度要求,即可停止运算而获得结果。

十进制的实数转换成非十进制时,只要将整数部分和小数部分分别转换,然后将整数部分和小数部分的结果拼接在一起即可。

例如: $(43.875)_{10} = (101011.111)_2 = (53.7)_8 = (2B.E)_{16}$

(3) 二进制与八进制和十六进制间的互相转换

① 二进制数转换为八进制数: 将二进制数由小数点开始, 整数部分向左, 小数部分向右, 每 3 位分成一组, 不够 3 位补零, 则每组二进制数便是一位八进制数。简记为: 整数从右向左, 三位一段, 分别转化; 小数从左向右, 三位一段, 分别转化。

例如: 将 $(1010101.11011)_2$ 转换成八进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} (001, 010, 101, 110, 110)_2 & & & & & & \\ \leftarrow \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \rightarrow & & & & & & \\ 1 & 2 & 5 & 6 & 6 & & \end{array}$$

因此 $(1010101.11011)_2 = (125.66)_8$

思考: $(10101011110.100000111)_2 = (?)_8$

八进制数转换成二进制数, 过程是相反的, 即: 将八进制的每一个位变成三位二进制数, 最前面的 0 可以去掉, 小数部分最后边的 0 可以去掉。

例如: 将八进制数 $(543.21)_8$ 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} (5 & 4 & 3 & . & 2 & 1)_8 & \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \\ = (101 & 100 & 011 & . & 010 & 001)_2 & \end{array}$$

因此, $(543.21)_8 = (101100011.010001)_2$

② 二进制数转换为十六进制数: 将二进制数由小数点开始, 整数部分向左, 小数部分向右, 每 4 位分成一组, 不够 4 位补零, 则每组二进制数便是一位十六进制数。简记为: 整数从右向左, 四位一段, 分别转化; 小数从左向右, 四位一段, 分别转化。

例如: 将 $(1010101.11011)_2$ 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} 0101, 0101, 1101, 1000 & & & & & & \\ \leftarrow \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \rightarrow & & & & & & \\ 5 & 5 & D & 8 & & & \end{array}$$

因此 $(1010101.11011)_2 = (55.D8)_{16}$

思考: $(11101.011000111)_2 = (?)_{16}$

十六进制数转换成二进制数, 过程是相反的, 即: 将十六进制的每一个位变成四位二进制数, 最前面的 0 可以去掉, 小数部分最后边的 0 可以去掉。

例如: 将十六进制数 $(5A3.21)_{16}$ 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} (5 & A & 3 & . & 2 & 1)_{16} & \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \\ = (0101 & 1010 & 0011 & . & 0010 & 0001)_2 & \end{array}$$

因此, $(5A3.21)_{16} = (10110100011.00100001)_2$

(4) 八进制和十六进制之间的转换, 可以通过二进制作为中间过渡进行转换。

例如: $(5A3.21)_{16} = (10, 110, 100, 011.001, 000, 01)_2 = (2643.102)_8$

对于 0~15 范围内常用的二进制、八进制、十六进制、十进制的转换关系需要熟悉, 如表 1.2.2 所示。