

普通高等教育应用型人才培养系列教材

数字电路与逻辑设计

罗中华 主编
曾清生 副主编



清华大学出版社

普通高等教育应用型人才培
养系列教材

数字电路与逻辑设计

罗中华 主 编

曾清生 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容包括数字逻辑电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲的产生和变换电路、数/模与模/数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件、实验和课程设计。

本教材适合计算机等专业本科和高职高专学生使用，也可供相关专业的函授生、自考学生使用。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术。用户可通过下述方法识别真伪：在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计/罗中华主编，曾清生副主编.—北京：清华大学出版社，2004.11

(普通高等教育应用型人才培养系列教材)

ISBN 7-302-09627-9

I. 数… II. ①罗…②曾… III. 数字电路—逻辑设计—高等学校：技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第098131号

出 版 者：清华大学出版社 地 址：北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 客 户 服 务：010-62776969

组稿编辑：张 瑜

文稿编辑：闫光龙

封面设计：陈刘源

印 装 者：北京国马印刷厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印 张：13.5 字 数：315千字

版 次：2004年11月第1版 2004年11月第1次印刷

书 号：ISBN 7-302-09627-9/TN·216

印 数：1~5000

定 价：20.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题，请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话：(010)62770175-3103 或(010)62795704

《普通高等教育应用型人才培养系列教材》序

编写目的

目前随着教育的不断深入,应用型人才教育发展迅速,进入了一个新的历史阶段,学校规模之众,数量之多,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大超过了历史上任何一个时期。然而,作为应用型人才核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于应用型人才教育的发展步伐,以至于许多学校缺乏适用的教材。目前,应用型人才教材建设面临着新的契机和挑战:

(1) 应用型人才教育发展迅猛,相应教材在编写、出版等环节需要在保证质量之前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求对教材提出了更高的要求,应充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 应用型人才教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和内容设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论和实践的紧密结合。

(4) 新教材应充分考虑一线教师的教学需要和教学安排。

为了适应时代发展的需要,为了寻求发展,迎接挑战,根据教育部给高等职业教育提出的为制造业和现代服务业培养高技能型紧缺人才的任务,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下组织几十所高等院校的优秀教师以及相关行业的工程师精心编写了一系列切合当前教育改革需要的、高质量的、面向就业的职业技术应用型教材。本套教材突出针对性和实用性,理论分析以适度够用为限,着重实用技术和能力的培养。使学生既能动脑,更能动手,经过实践的锻炼,能够迅速成长为高技能型人才。

涵盖的领域

本系列教材主要涵盖以下领域:

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络
- 计算机图形图像处理与多媒体
- 电子商务
- 计算机编程
- 电子电工
- 机电一体化
- 数控技术及模具设计
- 土木建筑
- 经济与管理
- 金融与保险

另外,本系列教材还包括大学英语、大学语文、高等数学、大学物理、大学生心理健康等基础教材。所有教材都有相关的配套用书,如实训教材、辅导教材、习题集等,并能够免费为广大教师提供电子教案。

教材特点

为了完善应用型人才教育的教材体系,全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技

术素质，特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写，采用了一线工程技术人员与在校教师联合编写的模式，使课堂教学与实际操作紧密结合。本系列丛书的特点如下：

- (1) 打破以往教科书的编写套路，在兼顾基础知识的同时，强调实用性和可操作性。
- (2) 突出概念和应用，相关课程配有上机指导及习题，帮助读者对所学内容进行总结和
提高。
- (3) 设计了“注意”、“提示”、“技巧”等带有醒目标记的特色段落，让读者更容易得到有益的提示与应用技巧。
- (4) 增加了全新的、实用的内容和知识点，并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、
步骤详尽的写作方式，突出实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材主要面向普通高等院校和高等职业技术学院，适用于本科和高职高专教学需要。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作体制改革下的产物，在后期的推广使用过程中将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐，不断吸取新型办学模式和课程改革的思路及方法，为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献自己的一份力量。

我们希望，通过本系列教材的编写和推广应用，不仅有利于提高职业技术教育的整体水平，而且有助于加快改进应用型人才培养的办学模式、课程体系和教学培训方法，形成具有特色的应用型人才教育新体系。

参编学校(排名不分先后)

- 南昌大学
- 蓝天职业技术学院
- 江西航天科技学院
- 江西财经大学
- 江西财经大学职业技术学院
- 江西教育学院
- 南昌工程学院
- 江西科技学院
- 南昌高等专科学校
- 江西现代职业技术学院
- 江西大宇学院
- 江西新亚大学
- 江西师大职业技术学院
- 江西渝州科技学院
- 赣江大学
- 江西科技师范学院
- 江西信息应用职业技术学院
- 九江职业技术学院
- 江西机电职业技术学院
- 江西交通学院
- 江西工业工程职业技术学院
- 萍乡高等专科学校

教材编委会

前 言

《数字电路与逻辑设计》是高等工科院校计算机、电子等专业的一门专业基础课,近年来,它的发展十分迅速,并日益渗透到电子专业的各个领域。作为工科院校学生知识结构中不可缺少的重要组成部分,从某种意义上看,它又是当今工科院校一门必开的素质教育课。

本书是依照教育部教育基础课程教学基本要求来编写的。编写时我们坚持了以下几点:

(1) 基本理论选择适当,整个教学内容贯穿“教—学—做”相结合的思想。对基本理论的阐述做到概念清晰,水平适中,学生易学易懂。

(2) 突出实用性,删除了繁杂的数学推导,突出概念,尽可能多地让学生接触器件,以提高学生的学习兴趣。

(3) 坚持“四”多:多举实例,多画插图,多做练习,多思考问题。

(4) 更新体系。坚持采用“管路结合,管为路用”的原则,突出了以中规模集成电路为重点内容,以数字电路为主导内容,加入可编程控制器(PLC)和可编程逻辑器件(PLD)等现代控制内容。

(5) 教材内容覆盖面广。

本书编写人员有刘跃元(第1、2章),肖鑫(第3章),曾清生(第4、5章),蔡国瑞(第6章),罗中华(第7章),刘明禄(第8章),郭小春(第9章)。全书的实训内容由罗中华技师进行了验证与审核。全书由曾清生、罗中华组织编写、统稿和审定。

江西航天科技学院邱小林院长十分重视全书的撰写工作,对编写工作给予了极大的关心与支持。在此,深表感谢!

编 者

2004年9月

目 录

第 1 章 数字逻辑电路基础	1
1.1 数字电路的概述.....	1
1.1.1 数字信号和数字电路.....	1
1.1.2 数字电路的特点与分类.....	2
1.2 数制和码制.....	3
1.2.1 进位计数制与常用计数制.....	3
1.2.2 数制转换.....	5
1.2.3 码制和常用代码.....	7
1.3 逻辑代数基础.....	10
1.3.1 基本逻辑运算与复合逻辑运算.....	11
1.3.2 逻辑代数基本定律及基本规则.....	14
1.3.3 逻辑函数的表示及化简.....	17
1.4 本章小结.....	32
1.5 习题.....	32
第 2 章 逻辑门电路	35
2.1 半导体器件的开关特性.....	35
2.1.1 二极管的开关特性.....	35
2.1.2 三极管的开关特性.....	37
2.1.3 MOS 管的开关特性.....	38
2.2 双极型逻辑门电路.....	38
2.2.1 与门、或门、非门.....	38
2.2.2 TTL 与非门.....	42
2.2.3 其他类型 TTL 门.....	48
2.3 单极型逻辑门.....	53
2.3.1 常见的 MOS 逻辑门.....	54
2.3.2 MOS 逻辑门电路特点.....	65
2.4 本章小结.....	66
2.5 习题.....	67
第 3 章 组合逻辑电路	70
3.1 组合逻辑电路的分析.....	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 组合逻辑电路分析举例.....	71

3.2	组合逻辑电路的设计.....	73
3.2.1	组合逻辑电路的一般设计方法.....	73
3.2.2	组合逻辑电路设计举例.....	74
3.3	常见组合逻辑电路及其应用.....	76
3.3.1	全加器.....	76
3.3.2	译码器.....	82
3.3.3	编码器.....	87
3.3.4	资料选择器和分配器.....	89
3.4	组合逻辑电路中的险象及其消除.....	92
3.4.1	险象及产生原因.....	92
3.4.2	险象的检查与消除.....	93
3.5	本章小结.....	94
3.6	习题.....	94
第4章	触发器.....	96
4.1	触发器概述.....	96
4.1.1	触发器的基本性质.....	96
4.1.2	基本(RS)触发器.....	96
4.1.3	触发器逻辑功能的描述.....	97
4.2	时钟型触发器.....	100
4.2.1	时钟型RS触发器.....	100
4.2.2	时钟型D触发器.....	101
4.2.3	时钟型JK触发器.....	102
4.2.4	时钟型T触发器.....	104
4.3	主从型触发器.....	106
4.3.1	时钟型触发器的空翻现象.....	106
4.3.2	主从RS触发器.....	106
4.3.3	主从JK触发器.....	107
4.4	边沿触发器和维持-阻塞触发器.....	109
4.4.1	边沿触发器.....	109
4.4.2	维持-阻塞触发器.....	110
4.5	常用集成触发器.....	112
4.5.1	7474双D触发器芯片.....	112
4.5.2	74112双JK触发器芯片.....	112
4.5.3	集成触发器的主要指标.....	113
4.6	本章小结.....	114
4.7	习题.....	114

第 5 章 时序逻辑电路	118
5.1 时序逻辑电路的分析.....	118
5.1.1 时序逻辑电路概述.....	118
5.1.2 时序逻辑电路的分析方法.....	119
5.1.3 时序逻辑电路分析举例.....	120
5.2 常见时序逻辑部件及应用.....	125
5.2.1 寄存器.....	125
5.2.2 计数器.....	129
5.3 同步时序逻辑电路设计.....	140
5.4 本章小结.....	145
5.5 习题.....	146
第 6 章 脉冲的产生和变换电路	149
6.1 概述.....	149
6.2 555 定时电路.....	149
6.3 单稳态触发器.....	151
6.3.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器.....	151
6.3.2 单稳态触发器应用举例.....	153
6.4 施密特触发器.....	153
6.4.1 用 555 定时器构成的施密特触发器.....	154
6.4.2 施密特触发器应用举例.....	155
6.5 多谐振荡器.....	157
6.5.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器.....	157
6.5.2 多谐振荡器应用举例.....	158
6.6 本章小结.....	159
6.7 习题.....	159
第 7 章 数/模与模/数转换	161
7.1 数/模转换器.....	161
7.1.1 DAC 概述.....	161
7.1.2 DAC 的电路形式及工作原理.....	161
7.1.3 集成 DAC.....	165
7.2 模/数转换器.....	166
7.2.1 ADC 概述.....	166
7.2.2 ADC 的电路形式及工作原理.....	167
7.2.3 集成 ADC.....	170
7.3 本章小结.....	171
7.4 习题.....	172

第 8 章 存储器与可编程逻辑器件	173
8.1 存储器	173
8.1.1 存储器的分类	173
8.1.2 随机存取存储器	174
8.1.3 只读存储器	177
8.2 可编程逻辑器件	182
8.2.1 可编程逻辑阵列的功能与应用	182
8.2.2 可编程阵列逻辑简介	183
8.2.3 通用阵列逻辑简介	184
8.3 本章小结	184
8.4 习题	185
第 9 章 实验与课程设计	186
9.1 概述	186
9.1.1 现代电子电路的设计理念	186
9.1.2 现代电子电路的设计方法	186
9.2 数字电路实验	187
实验 1 门电路	187
实验 2 组合逻辑设计	191
实验 3 555 定时器及应用	193
9.3 课程设计(交通信号灯控制器)	195
附录	199

第 1 章 数字逻辑电路基础

本章主要介绍数字逻辑电路的基本概念、基础知识、逻辑代数基础知识及化简方法。主要内容有：数字信号和数字电路的概念、特点等；计算机中常用的数制和码制及其转换；逻辑运算；逻辑代数重要定律和规则；逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法。

1.1 数字电路的概述

1.1.1 数字信号和数字电路

电子技术中的工作信号可以分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指时间上和数值上都是连续变化的信号，如电视的图像和伴音信号，生产过程中由传感器检测的由某种物理量(如温度、压力)转化成电信号等。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的离散信号，它们的变化发生在离散的瞬间。它们的值也仅在有限个量化值间阶跃变化。数字电路中处理的就是数字信号，这类信号在两种稳定状态(如电位的高、低或脉冲的有、无)之间作阶跃式变化，可以分别表示为“0”和“1”两种信号，脉冲就是一种典型的数字信号。

什么是脉冲？所谓脉冲，是短时间内出现的电压或电流，或者说间断性的电压或电流，也叫做脉冲电压或脉冲电流。很明显，前面提及的模拟信号——直流和正弦交流信号不是脉冲信号。广义地讲，按非正弦规律变化的电压或电流称为脉冲电压或脉冲电流。

数字信号是脉冲信号。正因为如此，有时候把数字电路也叫做脉冲电路。但一般情况下，脉冲电路着重研究脉冲信号的产生、变换、放大、测量等。数字电路着重研究构成数字电路的各单元之间的逻辑关系。

脉冲参数：为了表征脉冲信号的特性，常用一些参数来描述。现在以矩形脉冲电压为例介绍脉冲参数。在图 1.1 所示的矩形脉冲电压中：

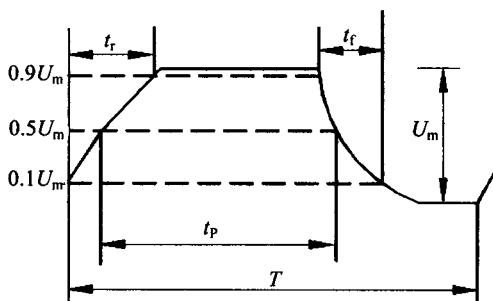


图 1.1 矩形脉冲电压参数

脉冲幅度 U_m ——脉冲电压变化的最大值；

脉冲宽度 t_p ——脉冲前沿 $0.5U_m$ 至脉冲后沿 $0.5U_m$ 的一段时间，又称脉冲持续的时间；

脉冲周期 T ——周期性脉冲信号前后两次出现的时间间隔;

重复频率 $f(1/T)$ ——单位时间内脉冲重复的次数;

上升时间 t_r ——由 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需要的时间;

下降时间 t_f ——由 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需要的时间。

1.1.2 数字电路的特点与分类

数字电路的工作信号一般都是数字信号。在电路中, 信号往往表现为突变的电压或电流, 并且只有两个可能的状态。所以, 数字电路中的半导体器件应工作在开关状态。利用器件导通和截止这两种不同的工作状态, 代表不同的数字信息, 完成信号的传输和处理任务。

通常用 0 和 1 表示数字信号最为简单。常用数字信号用电压的高、低, 脉冲的有、无, 分别代表两个离散数值 1 和 0。所以, 数字电路在结构、工作状态、研究内容和分析方法等方面都与模拟电路不同, 它具有以下特点:

(1) 数字电路在稳态时, 半导体器件(如三极管)处于相当于开关的状态, 即工作在饱和区和截止区。这和二进制信号的要求是相对应的, 因为饱和截止两种状态的外部表现为电流的有、无, 电压的高、低, 这种有和无、高和低相对应的两种状态, 分别用 1 和 0 两个数字来表示。

(2) 数字电路的基本单元电路比较简单, 对元器件的精度要求不高, 允许有较大的误差。因为数字信号的 1 和 0 没有任何数量的含义, 而只是状态的含义, 所以电路工作时只要能可靠地区分 1 和 0 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、价格低廉等优点。

(3) 在数字电路中, 重点研究的是输入信号和输出信号之间的逻辑关系, 以反映电路的逻辑功能。数字电路研究可以分为两种: 一种是分析已有电路逻辑功能, 叫做逻辑分析; 另一种是按逻辑功能要求设计出满足逻辑功能的电路, 称为逻辑设计。

(4) 数字电路的工作状态、研究内容与模拟电路不同, 所以分析方法也不相同。在数字电路分析中, 常常用真值表、逻辑表达式、波形图、卡诺图、特性方程、状态方程、状态转换表、时序图以及状态转换图等表示电路功能。

(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, 所以在各种数控装置、智能仪表以及计算机中得到广泛应用。

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。其中, 集成电路按集成度大小分为小规模集成电路(SSI, 集成度为 1 门/片~10 门/片), 中规模集成电路(MSI, 集成度为 10 门/片~100 门/片)。大规模集成电路(LSI, 集成度为 100 门/片~1000 门/片)和超大规模集成电路(VLSI, 集成度大于 1000 门/片)。

按电路所用的元器件不同, 数字电路可分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。

按电路逻辑功能的不同特点, 数字电路又分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.2 数制和码制

在上一节介绍了数字信号的两种取值，实际生活中的数字表示大多采用进位计数制。

1.2.1 进位计数制与常用计数制

用数字量表示物理量大小，仅用一位数码往往不够用，经常需要用进位计数的方法组成多位数码使用。我们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计数制，生产实践中，人们最熟悉的十进制以外，还大量使用各种不同的进位计数制。如八进制、十六进制等。在数字设备中，机器只认识二进制代码，由于二进制代码书写长，所以又常采用八进制和十六进制代码。

无论使用哪种进位计数制，数值的表示都包含两个基本要素：基数和位权。

一种进位计数制允许使用的基本数字符号的个数称为这种进位计数制的基数。一般而言， J 进制数的基数为 J ，可供使用的基本数字符号有 J 个，它们分别是 $0\sim J-1$ ，每个数位计满 J 就向其高位进1，即“逢 J 进1”。

进位计数制中每位数字符号所表示的数值，等于该数字符号值乘以一个与数字符号所处位置有关的常数，这个常数就称为位权，简称权。位权的大小是以基数为底、数字符号所处位置的序号为指数的整数次幂。各数字符号所处位置的序号计法为：以小数点为基准，整数部分自右向左依次为 $0、1、2\cdots$ ，小数部分自左向右依次为 $-1、-2\cdots$ 。

任何进制数的值都可以表示为该进制数中各位数字符号值与相应权乘积的累加形式，该形式称为按权展开的多项式之和。一个 J 进制数 $(N)_J$ 按权展开的多项式的普遍形式表示为：

$$(N)_J = \sum K_i \cdot J^i$$

其中 i 是数字符号所处位置的序号， K_i 是第 i 位的系数，可以是 $0\sim(J-1)$ 中的任何一个。例如：十进制数 $(143.75)_{10}$ 表示为：

$$(143.75)_{10} = \sum_{i=2}^2 K_i \times 10^i = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

1. 十进制 (Decimal)

十进制是日常生活中最常使用的进位计数制。在十进制数中，每一位有 $0\sim 9$ 十个数码，所以计数的基数是10。超过9的数必须用多位数表示，其中低位和相邻高位之间的关系是“逢十进一”，故称为十进制。根据式 $(N)_J = \sum K_i \cdot J^i$ ，任何一个十进制数均可展开并计算其数值大小。例如：

$$\begin{aligned} (567.8)_{10} &= \sum_{i=2}^1 K_i \times 10^i = 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} \\ &= 500 + 60 + 7 + 0.8 \end{aligned}$$

2. 二进制 (Binary)

目前在数字电路中应用最多的是二进制，在二进制数中每一位数有 0 和 1 两个可能，所以计数基数为 2。低位和相邻高位间的进位关系是“逢二进一”，故称为二进制。例如：

$$\begin{aligned}(101.11)_2 &= \sum_{i=2}^2 K_i \times 2^i = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (5.75)_{10}\end{aligned}$$

上式中使用下脚注的 2 和 10 表示括号中的数是二进制和十进制数，有时也用 B(Binary) 和 D(Decimal) 代替 2 和 10 这两个脚注。

计算机内部采用二进制表示，具有以下优点：

(1) 技术容易实现

因为组成计算机的电子器件本身具有可靠稳定的“开”和“关”两种状态，用于表示二进制数位上的 0、1 时，易于存放、传送和处理。

(2) 运算规则简单

两个一位二进制数的和、积运算组合各仅有 3 种：0+0=0、0+1=1+0=1、1+1=0(向高位进 1)及 0·0=0、0·1=1·0=0、1·1=1。而两个一位十进制数和、积运算组合各有 55 种之多。运算规则简单，有利于简化计算机内部结构、提高运算速度。

(3) 与逻辑量吻合

逻辑量 1、0 表示一个事物的正、反两个方面，如是/非、真/假、对/错等。虽然逻辑量并不具有数值概念，但形式上正好与进制代码相吻合，为计算机进行逻辑运算提供了条件。

3. 十六进制 (Hexadecimal)

十六进制数的每一位可以有十六个不同的数码，分别用 0~9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 表示。根据式 $(N)_J = \sum K_i \cdot J^i$ ，任意一个十六进制数可展开并计算其大小。例如：

$$\begin{aligned}(2A.7F)_{16} &= \sum_{i=1}^2 K_i \times 16^i = 2 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 7 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2} \\ &= 32 + 10 + 0.4375 + 0.0535937 \\ &= (42.4960937)_{10}\end{aligned}$$

式中的下脚注 16 表示括号中的数是十六进制数，有时也用 H(Hexadecimal) 代替这个脚注。

另外，以前也常用八进制(Octadic)作为计算机应用中数据的书写形式。八进制数与二进制数也有简单的对应关系。

表 1.1 给出了 J 进制数 $(K_2 K_1 K_0 K_{-1})_J$ ，当 J 分别为 2、8、10、16 时的各位权值对照。

表 1.1 各种进制位权值对照

	K_2	K_1	K_0	小数点	K_{-1}
$J=2$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$.	$2^{-1}=0.5$
$J=8$	$8^2=64$	$8^1=8$	$8^0=1$.	$8^{-1}=0.125$
$J=10$	$10^2=100$	$10^1=10$	$10^0=1$.	$10^{-1}=0.1$
$J=16$	$16^2=256$	$16^1=16$	$16^0=1$.	$16^{-1}=0.06255$

1.2.2 数制转换

1. 非十进制数转换成十进制数

如前所述,任何进制数只要求得其按权展开的多项式之和,该和值便是对应的十进制数。非十进制数只要利用它们按权展开的多项式再逐项相加,所得的值便是对应的十进制数。

[例 1.1] 求二进制数 $(1011.011)_2$ 所对应的十进制数。

解:把二进制数 $(1011.011)_2$ 按权展开得

$$\begin{aligned}(1011.011)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 2 + 1 + 0.25 + 0.125 \\ &= (11.375)_{10}\end{aligned}$$

[例 1.2] 求八进制数 $(153.07)_8$ 所对应的十进制数。

解:把八进制数 $(153.07)_8$ 按权展开得

$$\begin{aligned}(153.07)_8 &= 1 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 7 \times 8^{-2} \\ &= 64 + 40 + 3 + 0.109 \\ &= (107.109)_{10}\end{aligned}$$

[例 1.3] 求十六进制数 $(E93.A)_{16}$ 所对应的十进制数。

解:把十进制数 $(E93.A)_{16}$ 按权展开得

$$\begin{aligned}(E93.A)_{16} &= 14 \times 16^2 + 9 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} \\ &= 3584 + 144 + 3 + 0.625 \\ &= (3731.625)_{10}\end{aligned}$$

2. 十进制数转换成其他进制数

十进制数转换成其他进制数,相对非十进制数转换成十进制数来要复杂一点。其中,十进制数的整数部分和小数部分要用不同的方法加以处理。

整数转换,采用基数除法,即将待转换的十进制数除以新进位制的基数,取其余数,其步骤如下:

- (1) 将待转换的十进制数除以新进位制的基数 R ,使其余数作为新进位制数的最低位;
- (2) 将步骤(1)所得之商再除以新进位制基数 R ,记下余数,作为新进位制数的次低位;
- (3) 重复步骤(2),将每次所得之商除以新进位制基数,记下余数,得到新进位制数相应的各位,直到最后相除之商为 0,这时的余数即为新进位制数的最高位。

[例 1.4] 求十进制数 $(26)_{10}$ 所对应的二进制数。

解:

	余数	二进制位数
2 26	----- 0	K ₀ (最低位)
2 13	----- 1	K ₁
2 6	----- 0	K ₂
2 3	----- 1	K ₃
2 1	----- 1	K ₄ (最高位)
0		

因此 $(26)_{10}=(11010)_2$

[例 1.5] 求十进制数 $(357)_{10}$ 所对应的八进制数。

解:

	余数	八进制位数
8 357	----- 5	K ₀ (低位)
8 44	----- 4	K ₁
8 5	----- 5	K ₂ (高位)
0		

因此 $(357)_{10}=(545)_8$

[例 1.6] 求十进制数 $(367)_{10}$ 所对应的十六进制数。

解:

	余数	十六进制位数
16 357	----- 15=F	K ₀ (低位)
16 22	----- 6	K ₁
16 1	----- 1	K ₂ (高位)
0		

因此 $(367)_{10}=(16F)_{16}$

纯小数部分的转换,采用基数乘法,即将待转换的十进制的纯小数,逐次乘以新进制制基数 R ,取乘积的整数部分作为新进制制的有效数字。步骤如下:

(1) 待转换的十进制纯小数乘以新进制制基数 R ,取其整数部分作为新进制制纯小数的最高位 K_{-1} ;

(2) 将步骤(1)所得小数部分再乘以新进制制基数 R ,取其积的整数部分作为新进制制小数的次高位 K_{-2} ;

(3) 重复前一步,直到小数部分变成 0 时,转换结束。或者小数部分虽未变成 0,但新进制制小数的位数已达到预定的要求(如位数的要求或者精度的要求)为止,最后一位积的整数部分作为二进制小数的最低位数 K_m 。积的整数部分序列 $K_{-1}K_{-2}\cdots K_{m+1}K_m$ 便构成了对应的二进制数。

[例 1.7] 求十进制数 $(0.875)_{10}$ 所对应的二进制数。

解: 0.875 积的整数部分 二进制位数

$\times 2$		
1.75	1	K ₋₁
0.75		
$\times 2$		
1.5	1	K ₋₂

$$\begin{array}{r} 0.5 \\ \times 2 \\ \hline 1.0 \end{array} \quad 1 \quad K_{-3}$$

因此 $(0.875)_{10}=(0.111)_2$

如果是一个有整数又有小数的数，则整数和小数应分开转换，再相加得转换结果。

[例 1.8] 求十进制数 $(52.375)_{10}$ 所对应的二进制数。

解：整数为 52 按整数转换方法——基数除法得

$$(52)_{10}=(110100)_2$$

小数为 $(0.375)_{10}$ 按基数乘法转换得

$$(0.375)_{10}=(0.011)_2$$

因此 $(52.375)_{10}=(110100.011)_2$

至于十进制数转换为八进制、十六进制，读者可根据上述方法自己练习。

3. 二进制与八进制、十六进制的相互转换

由于二进制与八进制和十六进制之间正好满足 2^3 和 2^4 关系，因此它们之间的转换十分方便。

二进制数转换为八进制数、十六进制数分整数和小数两个部分进行。以小数点为界，整数部分向左、小数部分向右每三位或每四位一组，若遇到最高或最低位一组不足位，则在有效位两边补 0，然后按每组二进制数转换为八进制数和十六进制数。

[例 1.9] 求二进制数 $(1110110101.01101)_2$ 所对应的八进制数和十六进制数。

解： 001 110 110 101 . 011 010

1 6 6 5 . 3 2

0011 1011 0101 . 0110 1000

3 B 5 . 6 8

因此 $(1110110101.01101)_2=(1665.32)_8$

$(1110110101.01101)_2=(3B5.68)_{16}$

八进制数、十六进制数转换为二进制数是上述过程的逆过程，分别将各位八进制数或十六进制数用二进制代码写出来，然后写成相应的二进制数。

[例 1.10] 分别求八进制数 $(563.4)_8$ 和十六进制数 $(563.4)_{16}$ 所对应的二进制数。

解： $(563.4)_8=(101, 110, 011.100)_2$

$(5E3.4)_{16}=(0101, 1110, 0011.0100)_2$

当要将八进制数和十六进制数相互转换时，借二进制数作为过渡，用“十六 \leftrightarrow 二 \leftrightarrow 八”的转换方法来实现。

1.2.3 码制和常用代码

在数字设备中，任何数据和信息都是用代码来表示的。在二进制中只有两个符号 0 和 1，如有 n 位二进制，它有 2^n 种不同的组合，即可以代表 2^n 种不同的信息。指定某一组合去代表某个给定的信息，这一过程就是编码，将表示给定信息的这组符号叫做码或代码。实际上，前面讨论数制时，我们用一组符号来表示数，这就是编码过程。由于指定可以是