

“十一五”高等院校应用型规划教材

数字电子技术

王宗江 张虹 主编
解立明 桑露萍 刘晓亮 副主编



电子教案
教学大纲
实验录像



南京大学出版社

TN79/154D

2007

“十一五”高等院校应用型规划教材

数字电子技术

王宗江 张 虹 主 编

解立明 桑露萍 刘晓亮 副主编

南京大学出版社

内 容 简 介

本书是顺应电子信息时代的新形势和高等院校培养应用型人才的迫切需要而编写的。全书共分9章,内容包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数/模和模/数转换器、存储器和可编程逻辑器件以及数字电路应用举例。各章均配有经典例题和习题,章后附有实验。

本书内容全面、深入浅出、通俗易懂。在保证理论知识够用的同时,注重理论联系实际,培养学生各方面的能力。本书可作为普通高等院校计算机、电子、通信、机电一体化等专业的教材,也可作为从事电子技术工作的工程人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/王宗江,张虹主编. — 南京: 南京大学出版社, 2007.4

“十一五”高等院校应用型规划教材

ISBN 978-7-305-05026-8

I. 数... II. ①王...②张... 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(2007)第 046790 号

出 版 者 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮 编 210093

网 址 <http://press.nju.edu.cn>

出 版 人 左 健

从 书 名 “十一五”高等院校应用型规划教材

书 名 数字电子技术

主 编 王宗江 张 虹

副 主 编 解立明 桑露萍 刘晓亮

责任编辑 徐燕华

编辑热线 025-83595844

照 排 南京海洋电脑制版有限公司

印 刷 丹阳兴华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 449 千字

版 次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-05026-8

定 价 30.00 元

发行热线 025-83594756

电子邮箱 sales@press.nju.edu.cn(销售部)

nupress1@public1.ptt.js.cn

《“十一五”高等院校应用型规划教材》

编审委员会

- 主任：薛向阳 复旦大学
闪四清 北京航空航天大学
副主任：罗怡桂 同济大学计算机学院
崔洪斌 河北工业大学
郭 军 北京邮电大学信息工程学院

委员(以下排名不分先后):

- 刘永华 山东潍坊学院
张孝强 南京邮电大学
刘晓悦 河北理工大学计控学院
白中英 北京邮电大学计算机学院
王相林 杭州电子科技大学
申浩如 昆明学院
刘 悦 济南大学信息科学与工程学院
孙一林 北京师范大学信息科学与技术学院
陆 斐 东南大学
吴立军 浙江大学科技学院
徐 健 山东莱芜职业技术学院
李丹明 山东经贸职业学院

丛书序

目前,我国高等教育正迎来一个前所未有的高速发展时期。社会的迫切需求是高等教育发展的最大动力,高等教育的发展已进入到一个新的阶段。高等本科院校也逐渐演变成“研究型、学术型”和“应用型、就业型”两大类。

而作为知识传承载体的教材,在“应用型”高等院校的教学活动中起着至关重要的作用。但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐,许多院校一直沿用偏重于研究型的教材,应用型教材比较缺乏,这势必影响应用型人才的培养。因此,我们顺应国家“十一五”规划的大局,在教育界相关专家的建议与指导下,坚持“以理论知识够用为前提,重点加强应用技能的培养”的原则,加大实验、实践的力度,由广大学校的老师结合本校的教学改革和精品课程建设,适时规划了这一系列教材,以顺应高等教育普及化迅速发展的趋势。

本套教材具有如下特色。

1. 理论知识以“够用”为前提,培养创新型的应用人才

本系列教材,以培养应用型人才为目标,确保理论知识的介绍够用,加大新知识、新技术的介绍,加强实验、实践的力度,以培养创新型的应用人才。

2. 注重现代教育技术在教学中的应用

本系列教材中的实验采用全程录像的方式,实例采用视频演示的方式讲授。每本书均配一张光盘,提供课堂实例的多媒体视频演示与实验的全程录像,以方便老师授课和学生自主学习。

3. 重视对学生应用能力的培养与训练

本系列教材的编写以“提高学生应用能力”为宗旨,按照企业对高校学生的实际需求,以“项目驱动法”来设计实例与实验,使学生能够在了解相关理论的基础上,具备相应的实际操作技能。

4. 立体化的教学资源网——提供网站优质服务与教学支持

面对“十一五”规划的新形势,为了继续深化课程与教学改革,更深入地解决课改与教改中的重点与难点问题,为中国高等教育的发展提供精工细做的食粮,我们不仅提供优秀的纸质主教材,还提供电子教案、教学大纲、实验录像、视频演示、网络课程等教学配套资源,形成纸质出版物、电子音像与网络出版物等有机结合的立体化教学解决方案。

老师通过网络平台,可以获得更多、更好的教学资源;学生通过网络平台,可以随时随地进行学习。网络平台方便师生进行信息交流,实现资源共享。

前 言

在我国高等教育由精英阶段向大众化阶段的历史性转变过程中,高等教育系统也在重新构建,新老本科高校都在重新审视和调整自己的办学定位,确定新的发展目标和战略。在新的历史条件下,新建本科院校的出路不能是“再版”传统本科模式,而是要在能够满足社会发展需求的“大众化”、“应用型”领域寻求发展空间。

应用型本科院校把人才培养目标定位在一线或实际岗位群,使其具有适应高新技术发展及自我学习、提高的能力。所以,应用型本科教育既非宽泛的工程科学教育,亦非狭窄的职业技能培训,而是培养适应工业、工程生产第一线现实和发展需要的工程应用型、技术应用型人才,是保证本科人才的基本素质的高等教育。

电子技术是电类各专业必修的技术基础课程,而随着电子技术在各个领域越来越广泛的应用,它也渐渐成为非电类专业的重要课程。数字电子技术是电子技术的两大分支之一。然而,由于学时数的限制以及高校培养目标的改革等诸多原因,以往的相关教材显得篇幅过于庞大、内容分散,容易造成学生学习吃力,负担过重。同时各个专业对电路、电子课程也有不同的教学要求,所以迫切需要有一本比较简明的教材。而本书适用于本科学校的教学,也可作为从事电子技术工作的工程人员的自学用书。

为了有效地实现课程整合,我们对相关课程进行了大幅度改革,从内容的选取和衔接,例题、习题的选定到重点、难点的体现,都作了细致的分析和充分的论证,最终形成了一套完整的编写指导思路,同时也融入了编者们的丰富的教学实践经验。

我们编写的原则是:保证基础,加强概念,培养思路;精选内容,主次分明,详略得当;理论与实践并重,知识与技能并重;问题分析深入浅出,文字叙述通俗易懂,图文并茂,便于自学。目的是在保证学生把基本内容学到手的前提下,培养学生处理实际问题和自学的能力。考虑到当前电子技术飞速发展、日益更新的趋势,而本书适当加强了新技术内容的介绍,尤其突出了集成电路芯片引脚及应用方面的介绍。

为了将理论与实践应用有机结合,切实培养学生实际操作能力,在每章后面均附有相关实验,使课堂教学与课外教学互相补充、配合,从而达到注重学生能力培养的目的。这里所说的能力包括本专业的岗位操作能力和自学能力。

本书由王宗江、张虹主编,解立明、桑露萍、刘晓亮副主编。参与本书编写的有王宗江(第3、5章)、张虹(前言、第1、2章)、解立明(第8章)、桑露萍(第7章)、刘晓亮(第4章)、张星慧(第9章)和李德荣(第6章)。此外,陈光军、刘贞德、李耀明、高寒、于钦庆、李厚荣、杨洁、齐丽丽、王立梅等老师也为本书的编写做了大量的工作。

由于时间仓促,加之水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2007年2月

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 信号与电路.....	1
1.1.2 数字电路的特点.....	2
1.1.3 数字电路的分类.....	2
1.1.4 数字电路的应用.....	3
1.2 数制及其相互转换.....	3
1.2.1 数制.....	4
1.2.2 数制转换.....	6
1.2.3 二进制正负数的表示法.....	9
1.3 码制和常用代码.....	10
1.3.1 二十进制编码(BCD 码).....	11
1.3.2 可靠性编码.....	12
1.3.3 字符码.....	14
1.4 逻辑代数.....	15
1.4.1 逻辑变量与逻辑函数.....	15
1.4.2 基本逻辑运算.....	15
1.4.3 复合逻辑运算.....	17
1.4.4 几个概念.....	18
1.5 逻辑函数的表示方法 及其相互转换.....	19
1.5.1 真值表.....	19
1.5.2 逻辑表达式.....	20
1.5.3 逻辑图.....	22
1.5.4 波形图.....	23
1.5.5 卡诺图.....	23
1.6 逻辑代数的基本公式、定律 和规则.....	25
1.6.1 基本公式.....	25
1.6.2 基本定律.....	25
1.6.3 基本规则.....	27
1.7 逻辑函数的化简.....	28
1.7.1 “最简”的概念及最简 表达式的几种形式.....	28

1.7.2 逻辑函数的公式化简法.....	29
1.7.3 逻辑函数的卡诺图化简法.....	30
1.7.4 具有无关项的逻辑函数 的化简.....	33
本章小结.....	37
复习题.....	37
第 2 章 逻辑门电路	41
2.1 逻辑门电路概述.....	41
2.1.1 半导体二极管的开关特性.....	42
2.1.2 半导体三极管的开关特性.....	43
2.1.3 MOS 管的开关特性.....	45
2.2 分立元件门电路.....	46
2.2.1 二极管与门.....	46
2.2.2 二极管或门.....	47
2.2.3 二极管非门.....	48
2.3 集成 TTL 门电路.....	49
2.3.1 集成 TTL 与非门.....	49
2.3.2 集成 TTL 非门、或非门、 集电极开路门和三态门.....	53
2.3.3 改进型 TTL 门电路 ——抗饱和 TTL 门电路.....	60
2.3.4 TTL 门电路的使用规则.....	61
2.4 集成 MOS 门电路.....	62
2.4.1 CMOS 门电路.....	62
2.4.2 CMOS 集成门电路 及其使用规则.....	65
2.4.3 TTL 与 MOS 门电路之间 的接口技术.....	67
本章小结.....	68
复习题.....	68
实验 1 集成逻辑门参数测试.....	72
实验 2 集成逻辑门电路 的功能测试及应用.....	77



第3章 组合逻辑电路	83
3.1 组合电路概述	83
3.1.1 组合电路的特点	83
3.1.2 组合电路的一般分析方法	84
3.1.3 组合电路的一般设计方法	86
3.2 常用中规模集成组合电路	89
3.2.1 编码器	89
3.2.2 译码器	95
3.2.3 加法器	101
3.2.4 数值比较器	104
3.2.5 数据选择器	106
3.2.6 数据分配器	112
3.3 组合电路中的竞争冒险	114
3.3.1 竞争冒险的概念及产生原因	114
3.3.2 竞争冒险的消除方法	115
本章小结	116
复习题	117
实验3 组合逻辑电路	120
第4章 触发器	125
4.1 触发器概述	125
4.1.1 触发器的功能特点	125
4.1.2 触发器的分类及逻辑功能描述方法	126
4.2 基本触发器	126
4.2.1 电路组成及逻辑符号	126
4.2.2 逻辑功能分析及描述	127
4.2.3 应用举例	129
4.2.4 集成基本触发器	130
4.2.5 基本特点	130
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	133
4.4 主从触发器	136
4.4.1 主从RS触发器	136
4.4.2 主从JK触发器	138
4.4.3 主从T触发器 和主从T'触发器	141
4.5 边沿触发器	141
4.5.1 维持阻塞D触发器	142
4.5.2 边沿JK触发器	144
4.6 不同类型时钟触发器间的转换	145
4.6.1 转换原理	146
4.6.2 JK触发器转换成D、T、T' 和R触发器	146
4.6.3 D触发器转换成JK、T、T' 和RS触发器	149
4.7 集成触发器简介	150
本章小结	151
复习题	152
实验4 集成触发器	156
第5章 时序逻辑电路	161
5.1 时序逻辑电路概述	161
5.1.1 时序电路的特点	161
5.1.2 时序电路逻辑功能的描述方法	162
5.1.3 时序电路的一般分析方法	163
5.1.4 常用时序电路	163
5.2 计数器	164
5.2.1 计数器的分类	164
5.2.2 同步计数器	165
5.2.3 异步计数器	176
5.2.4 集成计数器构成N进制 计数器的方法	180
5.3 寄存器	184
5.3.1 数码寄存器	184
5.3.2 移位寄存器	185
5.3.3 寄存器的应用	189
5.4 顺序脉冲发生器	192
5.5 时序逻辑电路的设计	193
5.5.1 设计方法及步骤	193
5.5.2 设计举例	194
本章小结	198
复习题	198
实验5 时序逻辑电路	201
第6章 脉冲波形的产生与整形	205
6.1 概述	205
6.1.1 脉冲信号	205



6.1.2 脉冲信号的参数	206	本章小结	245
6.2 555 定时器	206	复习题	246
6.2.1 电路结构	207	第 8 章 存储器和可编程逻辑器件	248
6.2.2 基本功能	208	8.1 概述	248
6.3 单稳态触发器	209	8.1.1 存储器	248
6.3.1 555 定时器构成 的单稳态触发器	209	8.1.2 可编程逻辑器件	249
6.3.2 集成单稳态触发器	210	8.2 存储器及其应用	250
6.3.3 应用举例	212	8.2.1 随机存取存储器	250
6.4 多谐振荡器	213	8.2.2 只读存储器	255
6.4.1 555 定时器构成 的多谐振荡器	213	8.3 可编程逻辑器件	258
6.4.2 应用举例	215	8.3.1 PLD 的基本结构	259
6.5 施密特触发器	216	8.3.2 PLD 的分类	260
6.5.1 555 定时器构成 的施密特触发器	217	8.3.3 PLD 的应用	261
6.5.2 集成施密特触发器	218	本章小结	264
6.5.3 应用举例	219	复习题	264
本章小结	220	第 9 章 数字电路应用举例	267
复习题	221	9.1 微控制器报警编码电路	267
实验 6 脉冲波形的产生 与整形电路	223	9.2 串行数值比较器	268
第 7 章 数/模和模/数转换器	227	9.3 串行加法器	269
7.1 概述	227	9.4 波形发生和变换电路	270
7.2 D/A 转换器	228	9.5 定时预警电路	273
7.2.1 D/A 转换原理	228	9.6 数字抢答器	275
7.2.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	228	9.7 数字频率计	278
7.2.3 D/A 转换器的主要技术 指标	231	9.8 交通信号灯	281
7.2.4 集成 DAC	233	9.9 霓虹灯显示控制电路	285
7.3 A/D 转换器	236	本章小结	288
7.3.1 A/D 转换的一般步骤	236	附录 A 集成逻辑门电路新、旧图形 符号对照	289
7.3.2 取样保持电路	238	附录 B 集成触发器新、旧图形 符号对照	290
7.3.3 逐次渐近型 A/D 转换器	239	附录 C 部分集成电路的引脚排列	291
7.3.4 双积分型 A/D 转换器	241	参考文献	300
7.3.5 A/D 转换器的主要技术 指标	242		
7.3.6 集成 ADC	243		

第1章

逻辑代数基础

学习内容

逻辑代数是分析和设计数字电路的数学工具，是数字电路的基础。本章首先介绍数字电路中几种常见的数制和码制，然后介绍逻辑代数的基本概念、公式和定律，在此基础上，重点阐述逻辑函数的5种表示方法及其相互转换以及逻辑函数的化简方法。

学习要求

- **了解：**数字电路的特点、分类及应用，二进制正负数的表示法，具有无关项的逻辑函数的化简。
- **掌握：**不同数制及其转换，码制及其用途，逻辑代数中3种基本逻辑关系及复合逻辑关系，逻辑函数的5种表示方法及其相互转换，逻辑代数的基本公式、定律和规则，逻辑函数的公式化简法和卡诺图化简法以及它们的特点。

1.1 概述

1.1.1 信号与电路

电子线路中的工作信号基本上可以分为两大类：模拟信号和数字信号。

模拟信号是指时间和数值上都是连续变化的信号，它具有无穷多的数值，其数学表达式也较复杂，例如正弦函数、指数函数等。人们从自然界感知的许多物理量均是属于模拟性质的，如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上，为了便于分析，常用传感器将模拟量转换为电流、电压或电阻等电学量，以使用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路，简称模拟电路。对于模拟电路，主要关心输入和输出信号间的大小、相位、失真等



方面的问题。

数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的信号,即数字信号具有离散性。交通信号灯控制电路、智力竞赛抢答电路及计算机键盘输入电路中的信号,都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电子线路,简称数字电路。对于数字电路,主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

1.1.2 数字电路的特点

数字电路具有如下特点。

- 数字电路中的工作信号是不连续的数字信号,反映在电路上只有高电平和低电平两种状态,因此在分析数字电路时采用二进制数码 **0** 和 **1** 来表示电路中的高、低两种电平状态。
- 与模拟电路相同,数字电路也是由半导体器件(如二极管、三极管、场效应管等)组成,但不同电路中器件的工作状态不同。在稳态情况下,数字电路中的半导体器件工作于开、关状态,这是利用器件的导通和截止来实现的。器件的导通和截止反映在电路上就是电流的有无、电压的高低,这种有和无、高和低相对立的两种状态,正好可用二进制数码 **0** 和 **1** 来表示。因此,数字电路中的信号采用二进制表示,二进制数码 **0** 和 **1** 在此只代表两种不同的状态,没有数量的大小。例如,用 **0** 和 **1** 分别表示一件事的是与非、真与假,一盏灯的亮与灭,一个开关的开通与断开等。
- 数字电路对元件的精度要求不高,允许有较大的误差,只要在工作时能够可靠地区分 **0** 和 **1** 两种状态即可。因此,数字电路便于集成化、系列化生产,具有使用方便、可靠性高、价格低廉等特点。
- 与模拟电路不同,数字电路讨论的是输入与输出之间抽象的逻辑关系,使用的主要方法是逻辑分析和逻辑设计,使用的主要工具是逻辑代数,所以数字电路又称逻辑电路。
- 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算,因此广泛应用于数控装置、智能仪表以及计算机中。

1.1.3 数字电路的分类

按组成结构的不同,数字电路可分为分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是最基本的电路,由二极管、三极管、电阻、电容等元件组成,并且所有元件都裸露在外,没有封装。随着集成电路的飞速发展,分立元件电路已逐步被取代。集成电路按集成度的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~1 000 门/片)和超大规模集成电路(VLSI,



集成度大于1000门/片)。集成电路从应用的角度可分为通用型和专用型两大类,通用型是已被定型、标准化、系列化的产品,适用于不同的数字设备;专用型是指为某种特殊用途专门设计,具有复杂而完整的功能的产品,只适用于专用的数字设备。

按所用元件的不同,数字电路可分为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。

1.1.4 数字电路的应用

数字电路较模拟电路具有更多的优点,如有较强的稳定性、可靠性和抗干扰能力,精确度较高,具有算术运算和逻辑运算能力,可进行逻辑推理和逻辑判断,电路结构简单,便于制造和集成等。因此,数字电路的应用领域越来越广泛。

在数字通信系统中,可以用若干个0和1编成各种代码,分别代表不同的含义,用以实现信息的传送。

利用数字电路的逻辑推理和判断功能,可以设计出各式各样的数控装置,用来实现对生产和过程的自动控制。其工作过程是:首先用传感器在现场采集受控对象的数据,求出它们与设定数据的偏差,接着由数字电路进行计算、判断,然后产生相应的控制信号,驱动伺服装置对受控对象进行控制或调整。这样不仅能通过连续监控提高生产的安全性和自动化水平,同时也提高了产品的质量,降低了成本,减轻了劳动强度。

在数字电子技术基础上发展起来的数字电子计算机,是当代科学技术最杰出的成就之一。如今,它不仅成了近代自动控制系统中不可缺少的一个重要组成部分,而且已经渗透到了国民经济和人民生活的各个领域,成为人们工作、生活、学习不可或缺的重要组成部分。尤其是计算机网络技术的飞速发展,使人们获取信息、享受网络服务更为便捷。

然而,数字电路的应用也具有它的局限性。前面已提到,在自动控制和测量系统中,被控制和被测量的对象往往是一些连续变化的物理量,即模拟信号,而模拟信号不能直接为数字电路所接收,这就给数字电路的使用带来很大的不便。为了用数字电路处理这些模拟信号,必须通过专门的电路将它们转换为数字信号(称为模/数转换);而经数字电路分析、处理输出的数字量往往还要通过专门的电路转换成相应的模拟信号(称为数/模转换)才能为执行机构所接收。这样一来,不但导致了整个设备的复杂化,而且也使信号的精度受到影响,数字电路本身可以达到的高精度也失去了意义。因此,在使用数字电路时,应具体情况具体分析,以便于操作、提高生产效率为目的。

1.2 数制及其相互转换

数制即计数体制,它是按照一定规则表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数





体制是十进制, 数字电路中常用的是二进制, 有时也采用八进制和十六进制。对于任何一个数, 都可以用不同的进制来表示。

1.2.1 数制

1. 十进制(Decimal)

十进制是最常用的数制。在十进制中, 共有 0~9 十个数码, 所以它的运算规则是“逢十进一, 借一当十”, 故为十进制; 同一数字符号在不同的数位代表的数值不同。设某十进制数有 n 位整数, m 位小数, 则该十进制数 N 可表示为

$$N_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 10^i \quad (1.1)$$

其中 k_i 为第 i 位的系数, 可取 0、1、2、…、9, 10^i 为第 i 位的权, 10 为进位基数。基数和权是进位制的两个要素, 利用它们, 可以将任何一个数表示成多项式的形式。例如, 十进制数 505.6 可表示为

$$(505.6)_{10} = 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$$

这种表示方法称为多项式表示法或按权展开式。

2. 二进制(Binary)

在数字电路中, 应用最广的是二进制。二进制数中只有 0、1 两个数字符号, 所以运算规则是“逢二进一, 借一当二”, 各位的权为 2^i , k_i 为第 i 位的系数。设某二进制数 N 有 n 位整数, m 位小数, 则该二进制数 N 可表示为

$$N_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 2^i \quad (1.2)$$

利用式(1.2)可以将任何一个二进制数转换为十进制数。

【例 1-1】 将二进制数 101.11 转换为十进制数。

解: $(101.11)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.75)_{10}$

计算机内采用的是二进制, 采用二进制具有以下优点:

- 二进制只有 0 和 1 两个代码, 因此, 在数字系统中, 可用电子器件的两种不同状态来表示这两个代码, 实现起来非常方便。例如, 用晶体管的导通和截止来表示 0 和 1, 或用低电平和高电平来表示 0 和 1 等。所以, 二进制数的物理实现简单、易行、可靠, 并且存储和传送也方便。
 - 二进制运算规则简单, 有利于简化计算机的内部结构, 提高运算速度。
- 二进制数的缺点是书写位数太多, 不便记忆, 为此, 数字系统通常采用八进制和十六进制。



3. 八进制(Octal)

八进制有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码，基数为 8，它的运算规则是“逢八进一，借一当八”。任意一个八进制数 N 可表示为

$$N_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 8^i \quad (1.3)$$

利用式(1.3)可将任意一个八进制数转换为十进制数。

【例 1-2】 将八进制数 372.5 转换为十进制数。

解： $(372.5)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} = (250.625)_{10}$

4. 十六进制(Hexadecimal)

十六进制数采用 16 个数码，而且“逢十六进一，借一当十六”。这 16 个数码是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(对应于十进制数中的 10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)。十六进制数的基数是 16。

仿照式(1.1)，任一十六进制数 N 可表示为

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 16^i \quad (1.4)$$

利用式(1.4)可将任意一个十六进制数转换为十进制数。

【例 1-3】 将十六进制数 4E6 转换为十进制数。

解： $(4E6)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = (1254)_{10}$

注意

◆ 本书中，十进制数(Decimal)、二进制数(Binary)、八进制数(Octal)、十六进制数(Hexadecimal)常用第一个字母 D、B、O、H 作为其标识，加在数的后面。例如， $(F58.B2)_{16}$ 可写成 $F58.B2H$ ，还可写成 $(F58.B2)_H$ 。

二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E



(续表)

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

1.2.2 数制转换

人们通常习惯用十进制,但送入机器时,必须将十进制数转换成数字系统能识别的二进制数。用二进制表示一个比较大的数时,位数较长不容易读写和记忆,这时常采用八进制和十六进制,作为二进制的缩写。因此,务必要熟练掌握不同数制之间的转换。

1. 十进制数转换成非十进制数

十进制数转换成二进制数

整数部分:用除2取余的方法进行转换,先余为低,后余为高。

小数部分:用乘2取整的方法进行转换,先整为高,后整为低。

【例 1-4】将 $(21.125)_{10}$ 转换成二进制数。

解: 整数部分

2	21		余数	
2	10		1	↑ 第一个余数为二进制数的最低位
2	5		0	
2	2		1	
2	1		0	
	0		1	↓ 最后一个余数为二进制数的最高位

小数部分

$0.125 \times 2 = 0.250$	取出整数 0	↑ 第一个整数为二进制数的最高位
$0.250 \times 2 = 0.50$	取出整数 0	
$0.50 \times 2 = 1.00$	取出整数 1	↓ 最后一个整数为二进制数的最低位

所以,有 $(21.125)_{10} = (10101.001)_2$

十进制数转换成八进制数

十进制转换为八进制与十进制转换为二进制的方法类似。

整数部分:用除8取余的方法进行转换,先余为低,后余为高。



小数部分：用乘8取整的方法进行转换，先整为高，后整为低。

【例1-5】 将 $(207.5)_{10}$ 转换成八进制数。

解：整数部分

8	$\overline{)207}$	余数	
8	$\overline{)25}$	7	↑ 第一个余数为八进制数的最低位
8	$\overline{)3}$	1	
	0	3	最后一个余数为八进制数的最高位

小数部分

$0.5 \times 8 = 4.0$ 取出整数4，余数为0，转换结束

综上所述得 $(207.5)_{10} = (317.4)_8$

十进制数转换成十六进制数

十进制转换为十六进制与十进制转换为二进制的方法类似。

整数部分：用除16取余的方法进行转换，先余为低，后余为高。

小数部分：用乘16取整的方法进行转换，先整为高，后整为低。

【例1-6】 将 $(1\,023)_{10}$ 转换成十六进制数。

解：

16	$\overline{)1023}$	余数	
16	$\overline{)63}$	15	↑ 第一个余数为十六进制数的最低位
16	$\overline{)3}$	15	
	0	3	最后一个余数为十六进制数的最高位

得 $(1\,023)_{10} = (3FF)_{16}$

注意

- 对于整数，由二进制、八进制、十六进制转换为十进制，或由十进制转换为二进制，都能做到完全准确。
- 将十进制小数转换为其他进制小数时，除少数可以完全准确外，大多数存在误差，这时就要根据精度的要求进行“四舍五入”。

【例1-7】 将 $(0.706)_{10}$ 转换成二进制数，要求其误差不大于0.1%。

解：要使精度达到0.1%，必须使LSB(最低有效位)的值小于等于0.1%。由于 $2^{-10} = \frac{1}{1024}$

$< \frac{1}{1000} = 0.1\%$ ，所以小数点后取10位即可满足精度要求。





$0.706 \times 2 = 1.412$	1	a_{-1}
$0.412 \times 2 = 0.824$	0	a_{-2}
$0.824 \times 2 = 1.648$	1	a_{-3}
$0.648 \times 2 = 1.296$	1	a_{-4}
$0.296 \times 2 = 0.592$	0	a_{-5}
$0.592 \times 2 = 1.184$	1	a_{-6}
$0.184 \times 2 = 0.368$	0	a_{-7}
$0.368 \times 2 = 0.736$	0	a_{-8}
$0.736 \times 2 = 1.472$	1	a_{-9}

由于最后的小数小于 0.5, 根据“四舍五入”的原则, $a_{-10} = 0$, 所以,

$$(0.706)_{10} = (0.101101001)_2$$

2. 二进制数与八进制数之间的转换

由于 1 位八进制数有 0~7 八个数码, 3 位二进制数正好有 000~111 八种组合, 它们之间有以下简单的对应关系:

八进制	0	1	2	3	4	5	6	7
二进制	000	001	010	011	100	101	110	111

利用这种对应关系, 可以很方便地在八进制数与二进制数之间进行转换。

将二进制数转换为八进制数的方法是: 以小数点为界, 将二进制数的整数部分从低位开始, 小数部分从高位开始, 每 3 位分成一组, 头尾不足 3 位的补 0, 然后将每组 3 位二进制数转换为 1 位八进制数。

【例 1-8】 将 $(10111010011.01011)_2$ 转换成八进制。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{解:} & & \underline{010} & \underline{111} & \underline{010} & \underline{011} & . & \underline{010} & \underline{110} \\ & & 2 & 7 & 2 & 3 & . & 2 & 6 \end{array}$$

所以, $(10111010011.01011)_2 = (2723.26)_8$

将八进制转换为二进制, 只要将每 1 位八进制用 3 位二进制数表示即可。

【例 1-9】 将 $(3\ 274.65)_8$ 转换成二进制。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{解:} & & \underline{3} & \underline{2} & \underline{7} & \underline{4} & . & \underline{6} & \underline{5} \\ & & 011 & 010 & 111 & 100 & . & 110 & 101 \end{array}$$

所以, $(3\ 274.65)_8 = (011010111100.110101)_2$

3. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于 1 位十六进制数有 16 个代码, 而 4 位二进制数正好有 0000~1111 十六种组合, 它们之间也存在简单的对应关系。利用这种对应关系, 可以很方便地在十六进制数与二进制数之间进行转换。转换方法与二、八进制数的转换类似, 只是将二进制数中 3 位一组改为 4 位一组。