



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电工电子技术

第三版 第二分册

数字与电气控制技术基础

太原理工大学电工基础教学部 编

系列教材主编 渠云田 田慕琴

第二分册主编 王建平 靳宝全



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电工电子技术

Diangong Dianzi Jishu

第三版 第二分册

数字与电气控制技术基础

■ 太原理工大学电工基础教学部 编

系列教材主编 渠云田 田慕琴

第二分册主编 王建平 靳宝全



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本教材是《电工电子技术》(第三版)系列教材的第二分册——数字与电气控制技术基础,在2008年出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材第二版基础上重新修订编写。

在内容上,本教材拓展了范围,既重点介绍了数字电路与电气技术基础理论与知识,也介绍了可编程序控制器、存储器与可编程逻辑器件及工业网络知识等新技术。与同类教材相比,本教材课程体系更加合理,内容与时代更加贴近,更加注重学生综合应用能力的培养。全书包括数字电路基础、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数模与模数转换技术、存储器与可编程逻辑器件、变压器和电动机、可编程序控制器及工业网络介绍等9章,附录部分介绍了最新版的可编程序控制器软件。

本教材适用于高等学校理工类非电类专业和计算机专业,也可作为高职高专及成人教育相应专业的选用教材,还可以作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术.第2分册,数字与电气控制技术基础/渠云田,田慕琴主编;王建平,靳宝全分册主编.—3版.—北京:高等教育出版社,2012.12

ISBN 978-7-04-036484-2

I. ①电… II. ①渠… ②田… ③王… ④靳… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 ③电气设备-数字控制-高等学校-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 277281 号

策划编辑	金春英	责任编辑	王勇莉	封面设计	于文燕	版式设计	马敬茹
插图绘制	尹 莉	责任校对	胡晓琪	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 涿州市京南印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 16.75
字 数 400 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2003 年 2 月第 1 版
2012 年 12 月第 3 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 24.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36484-00

第三版前言

随着科学技术的发展,电工电子技术已形成一门理论基础比较完善的技术科学,在国民经济和社会进步中起着举足轻重的作用。近年来,电工电子技术在吸收其他新兴学科成就的同时也促进了自身不断发展。

本教材第二版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。第二分册“数字与电气控制技术基础”自2008年4月出版以来,得到了许多专家、教师和学生的关注,根据大家所提的宝贵意见及相互之间的交流研讨,对本教材作了修订。借再版之机,编者全面认真地检查了上版教材,对其中的疏漏逐一进行了核实、修正、补充和完善。并结合现代电工电子技术的发展现状,对一些关键问题作了增补和修改,主要反映在:①强化了课后练习与思考内容,提高课后学生的学习思考能力。②对于实际应用较多的知识点进行了内容补充。③对于一些逐渐被取代的技术进行合理删减。④一些近年来发展起来的热门技术予以一定篇幅阐述。⑤对附录中的软件说明采用最新版本等,使本书与时代更加贴近,内容与体系更加合理。

本分册共分9章,即第10章~第18章,其中陈惠英编写第10章,吴申编写第11章,崔建明编写第12章,田慕琴编写第13章,苏斌编写第14章,王跃龙编写第15章及中英文名词术语对照,王建平编写第16章,靳宝全编写第17章和附录,赵晋明编写第18章,本分册由渠云田教授进行统稿。

本分册主要特点有:

(1)在每节内容之后增加了练习与思考,促进学生每堂课后的知识消化,对巩固所学知识起到强化作用。同时每章尽可能增加实物图以增加学生的感性认识。

(2)删减了部分难度偏大的习题,注重基础知识学习。

(3)数模和模数转换技术一章对发展前景好的 $\Sigma-\Delta A/D$ 转换器增加了学习内容。

(4)存储器与可编程逻辑器件一章是随技术发展变化变动最多的一章,根据非电类专业的特点及实际应用要求作了大幅修订,根据近年来的技术发展变化重新进行分类介绍,注重与单片机的接口并采用了最新器件型号。

(5)变压器和电动机一章针对授课及学习中出现的问题,丰富了电磁铁的分析及计算内容。

(6)可编程序控制器一章采用三菱最新版的编程软件GX Developer8.86。

(7)第18章更改为工业网络介绍,增加了工业以太网内容,以拓宽学生学习知识面。

对于书末所附参考文献的作者表示衷心感谢。由于编者水平和实践经验有限,书中难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

2012年6月

第二版前言

21 世纪知识日新月异,为适应时代的要求,培养具有竞争力和创新能力的优秀人才,根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教改要求,在第一版的基础上,借鉴国内外同类有影响力的教材,重新对教材进行修订编写、调整补充,使之更适应非电类专业、计算机专业等电工电子技术的教学要求。

本教材由太原理工大学电工基础教学部组织编写。全套教材共有六个分册:第一分册,电路与模拟电子技术基础(分册主编李晓明、李凤霞),本分册主要介绍电路分析基础、电路的瞬态分析、正弦交流电路、常用半导体器件与基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、现代电力电子器件及其应用和常用传感器及其应用;第二分册,数字与电气控制技术基础(分册主编王建平、靳宝全),本分册主要介绍数字电路基础、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数模和模数转换技术、存储器与可编程逻辑器件、变压器和电动机、可编程控制器、总线、接口与互连技术等;第三分册,利用 Multisim 2001 的 EDA 仿真技术(分册主编高妍、申红燕),本分册主要介绍 Multisim 2001 软件的特点、分析方法及其使用方法,然后列举大量例题说明该软件在直流、交流、模拟、数字等电路分析与设计中的应用;第四分册,电工电子技术实践教程(分册主编陈惠英),本分册主要介绍电工电子实验基础知识、常用电工电子仪器仪表,详细介绍了 38 个电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电机与控制实验以及 Protel 2004 原理图与 PCB 设计内容;第五分册,电工电子技术学习指导(分册主编田慕琴),本分册紧密配合主教材内容,提出每章的基本要求和阅读指导,有重点内容、重点题目的讲解与分析,列举了一些概念性强、综合分析能力强并有一定难度的例题;第六分册,基于 EWB 的 EDA 仿真技术(分册主编崔建明、陶晋宜、任鸿秋),本分册主要介绍 EWB 5.0 软件的特点、各种元器件和虚拟仪器、分析方法,并对典型的直流、瞬态、交流、模拟和数字电路进行了仿真。系列教材由太原理工大学渠云田教授主编和统稿。本教材第一分册、第二分册由北京理工大学刘蕴陶教授审阅;第三分册、第六分册由太原理工大学夏路易教授审阅;第四分册、第五分册由山西大学薛太林副教授审阅。

本教材第二分册“数字与电气控制技术基础”,是由陈惠英编写第 9 章,吴申编写第 10、12 章,渠云田编写第 11 章,苏斌编写第 13 章,夏路易编写第 14 章,王建平编写第 15 章,靳宝全编写第 16 章,赵晋明编写第 17 章,王跃龙编写中英对照等,全书由王建平教授进行统稿。

第二分册“数字与电气控制技术基础”是按照教育部颁布的“电工技术”(电工学)和“电子技术”(电工学)两门课的教学基本要求,在第一版下册的基础上总结提高,修订编写的,在内容处理上做了精选、改写、调整和补充,更适应教学要求和非电类专业、计算机专业及其他相关专业的教学需要。该书具有如下特点:

(1)将“数字电路基础”、“组合逻辑电路”、“触发器与时序逻辑电路”、“脉冲波形的产生与整形”、“数模和模数转换技术”、“变压器和电动机”等 6 章,以及分立元件门电路、TTL 集成逻辑门电路、CMOS 逻辑门电路、边沿触发器、模数(A/D)转换技术、变压器、异步电动机等内容做了

改写,或加强了基础性、应用性和先进性,或叙述更为简洁,符合认识规律。

(2)第16章将继电器-接触器控制和可编程控制器(PLC)放在一起介绍,并将PLC的机型由欧姆龙改为三菱最新推出的FX_{1N}小型机,适当削弱了传统的继电器-接触器控制方面的内容,以可编程控制器为主,并介绍了相应的编程与仿真软件及使用。先进的教材内容有利于开阔读者视野,激发学习兴趣。

(3)第14章主要介绍各种非易失存储器和易失存储器的结构、工作原理与几种实际的存储器,还介绍了可编程门阵列与复杂可编程逻辑器件的结构、工作原理,实际的可编程逻辑器件与实际可编程逻辑器件的开发过程。

(4)第17章为新增内容,主要介绍工业局域网络通信所涉及的一些基础知识,通过对I/O总线与系统总线的学习,熟悉工业局域网络组网技术,了解工业局域网络组网过程中现场总线的一些基础知识,目的是扩大学生的知识面。

(5)删去了或压缩了部分内容,如:主从触发器、权电阻数模转换、小型变压器设计、三相异步电动机转矩公式推导等内容和一些偏难的例题和习题,较好地体现了“少而精”和“必需”、“够用”的原则,更适应非电类专业的要求。

本教材由各位主审提出了宝贵意见和修改建议,并且得到了太原理工大学电工基础教学部老师和广大读者的关怀,他们提出大量建设性意见,在此深表感谢。

同时,编写本教材过程中,编者也曾参考了部分优秀教材,在此,谨对这些参考书的作者表示感谢。

限于编者水平,书中错误疏漏之处难免,恳请读者,特别是使用本教材的教师和学生积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2007年10月

第一版前言

21 世纪是科学技术飞速发展的时代,也是竞争激烈的时代。为了新一代大学生能适应这个高科技和竞争激烈的时代,根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教改要求,结合我校电工电子系列课程建设以及山西省教育厅重点教改项目——“21 世纪初非电类专业电工学课程模块教学的改革与实践”,在我们已经使用数年的电工电子技术系列讲义的基础上,经过多次使用与反复修改,将以教材形式面诸于世。

本书是理工科非电类专业与计算机专业本、专科适用的电工电子系列教材之一;也是我们教改项目中的第一模块教材,即计算机专业与机械、机电类专业实用教材;同时也是兄弟院校理工类相应专业择用的教材之一;也可作为高职高专和职业技术学院相应专业的择用教材。参考学时为 110~130 学时。

本教材的基本特点是:精练,删减传统内容力度较大;结构顺序变动较大;集成电路与数字电路技术部分内容大大加强;电气控制技术部分系统性增强;电工电子新技术内容与现代分析手段大量引入;突出电气技能与素质培养方面的内容及其在工业企业中的应用范例明显增多;基本概念、分析与计算、EDA 仿真等各类习题分明。

本教材在突出电气技能与素质培养方面增设了不少电工电子技术应用电路及设计内容。如调光、调速电路、测控技术电路、小型变压器设计与绕制、电动机定子绕组的排布、常用集成运放芯片与数字逻辑芯片介绍及其典型应用电路、世界各主要厂家的 PLC 性能简介、使用 isp-DesignExpert 软件开发 ispLSI 器件等新技术应用内容。

依据电工电子技术的发展趋势及其在机械、机电类专业的应用特点,并兼顾计算机专业的教学需求,此教材的上册为“电路与模拟电子技术基础”,下册为“数字与电气控制技术基础”。

为了有效减少课堂教学时数,增加课内信息量,提高教学效率,并以提高学生技能素质与新技术、新手段的应用能力为目标,适用本教材应建立 EDA 基辅分析教学平台,结合教学方法及教学手段,并与实践教学环节相配合,方能更有效地发挥其效能。

本教材由太原理工大学电工基础教学部组织编写。上册由李晓明任主编,王建平、渠云田任副主编,下册有渠云田任主编,王建平、李晓明任副主编。王建平编写第 1、2、4、5、8 章,李晓明编写第 3、6、15 章,渠云田编写第 9、10、11、12、13、14 章,陶晋宜编写第 16 章,太原理工大学信息学院夏路易教授编写第 7 章与下册的附录 1,太原师范学院周全寿副教授参与了本书附录与部分章节的编写。渠云田、李晓明、王建平三人对全书作了仔细的修改,并最后定稿。

本教材上册由北京理工大学刘蕴陶教授主审,下册由北京理工大学庄效桓教授主审。两位教授对本书稿进行了详细地审阅,并提出许多宝贵的意见和修改建议。我们根据提出的意见和建议进行了认真的修改。在本教材编写和出版过程中,大连理工大学唐介教授、太原理工大学信息学院夏路易教授、太原师范大学周全寿副教授以及太原理工大学电工基础教学部使用过本讲义的所有老师,给予了极大的关心和支持,在此一并对他们表示衷心的感谢。

同时,编写本教材过程中,我们曾参考了部分优秀教材,在此,谨对这些参考书的作者表示感谢。

由于我们水平有限,书中缺陷和疏漏在所难免,恳请使用本教材的教师和读者批评指正,为提高电工电子技术教材的质量而共同努力。

编者

2002年10月

目 录

第 10 章 数字电路基础	1	11.1.2 组合逻辑电路的设计	28
10.1 数制和编码	1	11.1.3 组合逻辑电路设计中的几个	
10.1.1 几种常用的进位计数制	1	实际问题	30
10.1.2 不同数制间的转换	2	练习与思考	30
10.1.3 编码	5	11.2 译码器	31
练习与思考	6	11.2.1 变量译码器	31
10.2 逻辑代数基础	7	11.2.2 二-十进制译码器	34
10.2.1 逻辑代数的特点和基本		11.2.3 显示译码器	34
运算	7	练习与思考	37
10.2.2 逻辑代数的基本公式和		11.3 编码器	37
规则	8	11.3.1 10 线-4 线优先编码	
10.2.3 逻辑函数的标准与或式	10	器 74147	37
10.2.4 逻辑函数的化简	11	11.3.2 8 线-3 线优先编码	
练习与思考	14	器 74148	38
10.3 分立元件门电路	14	11.4 数据选择器	39
10.3.1 基本逻辑门电路	14	11.4.1 集成多路选择器 74151	39
10.3.2 复合逻辑门电路	15	11.4.2 用数据选择器实现逻辑	
练习与思考	17	函数	40
10.4 TTL 集成逻辑门电路	17	练习与思考	42
10.4.1 TTL 非门	17	11.5 加法器	42
10.4.2 TTL 三态输出门(TSL 门) ..	20	11.5.1 1 位加法器	42
10.4.3 TTL 集电极开路门(OC 门) ..	21	11.5.2 多位加法器	43
练习与思考	22	练习与思考	45
10.5 CMOS 逻辑门电路	22	11.6 组合逻辑电路的竞争-冒险 ..	45
10.5.1 CMOS 门电路	22	11.6.1 竞争-冒险现象	45
10.5.2 CMOS 门电路系列介绍	24	11.6.2 竞争-冒险现象的消除	46
练习与思考	25	习题	46
习题	25	第 12 章 触发器与时序逻辑电路	48
第 11 章 组合逻辑电路	27	12.1 触发器	48
11.1 组合逻辑电路的分析与		12.1.1 基本 RS 触发器	48
设计	27	12.1.2 门控触发器	49
11.1.1 组合逻辑电路的分析	27	12.1.3 边沿触发器	51

练习与思考	52	14.1 数模(D/A)转换技术	85
12.2 时序电路的分析	53	14.1.1 数模(D/A)转换器实现原理	85
12.2.1 同步时序电路的分析	53	14.1.2 数模(D/A)转换器应用	87
12.2.2 异步时序电路的分析	54	14.1.3 数模(D/A)转换器的主要技术指标	88
练习与思考	55	练习与思考	88
12.3 计数器	55	14.2 模数(A/D)转换技术	88
12.3.1 二进制计数器	56	14.2.1 模数(A/D)转换器的基本工作过程	89
12.3.2 十进制计数器	58	14.2.2 并行模数(A/D)转换器	90
12.3.3 使用集成计数器构成 M 进制计数器	59	14.2.3 双积分模数(A/D)转换器	91
练习与思考	64	14.2.4 逐次比较式模数(A/D)转换器	93
12.4 寄存器与移位寄存器	64	14.2.5 $\Sigma - \Delta$ 型模数(A/D)转换器	94
12.4.1 寄存器	64	14.2.6 模数(A/D)转换器应用	96
12.4.2 移位寄存器	64	14.2.7 模数(A/D)转换器的主要技术指标	100
练习与思考	66	练习与思考	101
习题	66	习题	101
第13章 脉冲波形的产生与整形	71	第15章 存储器与可编程逻辑器件	103
13.1 555 定时电路及其功能	71	15.1 只读存储器	103
13.1.1 555 定时电路的组成	71	15.1.1 只读存储器概述	103
13.1.2 555 定时电路引脚的功能	72	15.1.2 不可写入数据的 ROM	104
练习与思考	72	15.1.3 可写入数据的 ROM	107
13.2 施密特触发器	73	15.1.4 并行接口 EPROM 存储器 27256	112
13.2.1 用 555 定时电路构成的施密特触发器	73	练习与思考	113
13.2.2 施密特触发器的应用	75	15.2 随机存储器	114
练习与思考	77	15.2.1 静态随机存储器	114
13.3 单稳态触发器	77	15.2.2 动态随机存储器	118
13.3.1 用 555 定时电路构成的单稳态触发器	77	15.2.3 存储器扩展	119
13.3.2 单稳态触发器的应用	79	练习与思考	120
练习与思考	80	15.3 现场可编程门阵列	121
13.4 多谐振荡器	80	15.3.1 现场可编程门阵列的工作原理	121
13.4.1 用 555 定时电路构成的多谐振荡器	81	15.3.2 实际的可编程门阵列器件	122
13.4.2 多谐振荡器的应用	82		
练习与思考	83		
习题	83		
第14章 数模与模数转换技术	85		

练习与思考	128	*16.4 三相同步电动机	176
15.4 复杂可编程逻辑器件	128	*16.5 直流电动机	178
15.4.1 复杂可编程逻辑器件的		练习与思考	182
工作原理	128	*16.6 控制电机	182
15.4.2 实际的复杂可编程逻辑		16.6.1 步进电动机	182
器件	130	16.6.2 伺服电动机	186
练习与思考	133	16.6.3 测速发电机	188
15.5 可编程逻辑器件的开发	133	习题	188
15.5.1 FPGA 器件的配置与 CPLD		第 17 章 可编程序控制器	191
器件的编程	133	17.1 工厂常用低压电器	191
15.5.2 CPLD 和 FPGA 器件的开发		练习与思考	198
软件	134	17.2 PLC 的基本结构与工作原理	199
练习与思考	135	17.2.1 PLC 的基本结构	199
习题	135	17.2.2 PLC 的工作原理	202
第 16 章 变压器和电动机	136	17.2.3 PLC 的编程语言	203
16.1 磁路分析基础	136	练习与思考	204
16.1.1 铁磁材料的特点	136	17.3 PLC 的编程软元件	204
16.1.2 磁路欧姆定律	137	17.3.1 用户数据的类型	205
16.1.3 简单磁路分析与电磁铁	138	17.3.2 编程元件	205
16.1.4 电磁铁	140	练习与思考	210
练习与思考	143	17.4 PLC 指令系统	210
16.2 变压器	143	17.4.1 PLC 基本指令系统	210
16.2.1 变压器的分类	143	17.4.2 PLC 应用指令简介	217
16.2.2 变压器的工作原理	144	练习与思考	219
16.2.3 变压器的运行特性	147	17.5 基本电气控制电路	219
16.2.4 变压器的使用	148	17.5.1 直接起动单向运行控制	
16.2.5 专用变压器	150	电路	219
练习与思考	152	17.5.2 异步电动机的正反转控制	
16.3 异步电动机	153	电路	221
16.3.1 三相异步电动机的基本		17.5.3 多机顺序联锁控制	224
结构和工作原理	153	17.5.4 多处控制	225
16.3.2 三相异步电动机的电磁		17.5.5 行程控制电路	226
转矩与机械特性	157	17.5.6 时间控制电路	227
16.3.3 三相异步电动机的使用	160	练习与思考	231
16.3.4 单相异步电动机	169	习题	232
*16.3.5 三相异步电动机的绕组		第 18 章 工业网络介绍	233
排布及重绕工艺简介	172	18.1 计算机网络体系结构	233
练习与思考	176	18.1.1 计算机网络体系模型	233

第10章 数字电路基础

数字信号具有在数值上和时间上都不连续的特点,对数字信号进行传输、处理、运算和存储的电子电路称为数字电路。本章将介绍数字电路的基础知识:数制和编码、逻辑代数和可实现逻辑运算的门电路。

10.1 数制和编码

10.1.1 几种常用的进位计数制

数制是人们对数量计算的一种统计规律。在日常生活中,人们最熟悉的是十进制,而在数字系统中广泛使用的是二进制、八进制和十六进制。

1. 十进制

十进制的数每一位有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9共十个数码,即基数为10,它的进位规律是“逢十进一”。

十进制数1234.56可表示成多项式形式

$$(1234.56)_{10} = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

任意一个十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中 a_i 是第 i 位的系数,它可能是0~9中的任意数码, n 表示整数部分的位数, m 表示小数部分的位数, 10^i 表示数码在不同位置的大小,称为位权。

2. 二进制

在数字电路中,数字以电路的状态来表示。找一个具有十种状态的电子器件比较难,而找一个具有两种状态的器件很容易,故在数字电路中广泛使用二进制。

二进制的数每一位只有0和1数码,即基数为2,它的进位规律是“逢二进一”,即 $1+1=10$ 。

二进制数1011.01可以表示成多项式形式

$$(1011.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

任意一个二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

式中 a_i 是第 i 位的系数,它可能是0、1中的任意数码, n 表示整数部分的位数, m 表示小数部分的

位数, 2^i 表示数码在不同位置的大小, 称为位权。

3. 八进制和十六进制

用二进制表示一个较大数值时, 它的位数太多。在数字系统中采用八进制和十六进制作为二进制的缩写形式。

八进制的数码是: 0、1、2、3、4、5、6、7, 即基数是 8, 它的进位规律是“逢八进一”, 即“ $1 + 7 = 10$ ”。十六进制的数码是: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F, 即基数是 16, 它的进位规律是“逢十六进一”, 即“ $1 + F = 10$ ”。不管是八进制还是十六进制, 都可以像十进制和二进制那样用多项式的形式来表示。表 10-1 给出了十进制、二进制、八进制、十六进制数的对应关系。

表 10-1 十进制、二进制、八进制、十六进制的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

10.1.2 不同数制间的转换

计算机中存储数据和对数据进行运算采用的是二进制数, 当把数据输入到计算机中或者从计算机中输出数据时, 主要采用的是十进制数, 而人们在编写程序时为了方便起见又常用到八进制数或十六进制数, 因此, 不同数制间的转换是必不可少的。

1. 非十进制数到十进制数的转换

非十进制数转换成十进制数一般采用的方法是按权相加, 这种方法是按照十进制数的运算规则, 将非十进制数各位的数码乘以对应的权再累加起来。

例 10-1 将 $(1101.101)_2$ 和 $(6E.4)_{16}$ 转换成十进制数。

$$\text{解: } (1101.101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (13.625)_{10}$$

$$(6E.4)_{16} = 6 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} = (110.25)_{10}$$

在二进制数到十进制数的转换过程中,要频繁地计算 2 的整次幂。表 10-2 给出了常用的 2 的整次幂和十进制数的对应关系。

表 10-2 常用的 2 的整次幂和十进制数的对应关系

n	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2^n	0.0625	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

2. 十进制数到非十进制数的转换

将十进制数转换成非十进制数时,必须对整数部分和小数部分分别进行转换。整数部分的转换一般采用“除基取余”法,小数部分的转换一般采用“乘基取整”法。

(1) 十进制整数转换成非十进制整数

例 10-2 将 $(41)_{10}$ 转换成二进制数和八进制数。

$$\begin{array}{ll} \text{解: } 2 \overline{)41} \dots\dots\dots \text{余数为 } 1, & \text{最低位 } a_0 = 1 \\ 2 \overline{)20} \dots\dots\dots \text{余数为 } 0, & a_1 = 0 \\ 2 \overline{)10} \dots\dots\dots \text{余数为 } 0, & a_2 = 0 \\ 2 \overline{)5} \dots\dots\dots \text{余数为 } 1, & a_3 = 1 \\ 2 \overline{)2} \dots\dots\dots \text{余数为 } 0, & a_4 = 0 \\ 2 \overline{)1} \dots\dots\dots \text{余数为 } 1, & \text{最高位 } a_5 = 1 \end{array}$$

$$\text{所以, } (41)_{10} = (a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0)_2 = (101001)_2$$

$$41/8 = 5 \dots\dots\dots \text{余数为 } 1, \text{最低位 } a_0 = 1$$

$$5/8 = 0 \dots\dots\dots \text{余数为 } 5, \text{最高位 } a_1 = 5$$

$$\text{所以, } (41)_{10} = (a_1 a_0)_8 = (51)_8$$

(2) 十进制小数转换成非十进制小数

例 10-3 将 $(0.625)_{10}$ 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ll} \text{解: } 0.625 \times 2 = 1 + 0.25 & a_{-1} = 1 \\ 0.25 \times 2 = 0 + 0.5 & a_{-2} = 0 \\ 0.5 \times 2 = 1 + 0 & a_{-3} = 1 \end{array}$$

$$\text{所以, } (0.625)_{10} = (0.a_{-1} a_{-2} a_{-3})_2 = (0.101)_2$$

由于不是所有的十进制小数都能用有限位 R 进制小数来表示,因此,在转换过程中可根据精度要求取一定的位数即可。若要求误差小于 R^{-n} ,则转换时取小数点后 n 位就能满足要求。

例 10-4 将 $(0.7)_{10}$ 转换成二进制数,要求误差小于 2^{-6} 。

$$\begin{array}{ll} \text{解: } 0.7 \times 2 = 1 + 0.4 & a_{-1} = 1 \\ 0.4 \times 2 = 0 + 0.8 & a_{-2} = 0 \\ 0.8 \times 2 = 1 + 0.6 & a_{-3} = 1 \\ 0.6 \times 2 = 1 + 0.2 & a_{-4} = 1 \\ 0.2 \times 2 = 0 + 0.4 & a_{-5} = 0 \end{array}$$

转换成二进制数,再进行转换就比较容易了。

例 10-7 将 $(345.27)_8$ 转换成十六进制数, $(2B.A6)_{16}$ 转换成八进制数。

解:

3	4	5	2	7	
↓	↓	↓	↓	↓	
011	100	101	010	111	先转换成二进制数
1110	0101		0101	1100	重新分组
↓	↓		↓	↓	
E	5		5	C	转换成十六进制数

所以, $(345.27)_8 = (E5.5C)_{16}$

2	B	A	6		
↓	↓	↓	↓		
0010	1011	1010	0110	先转换成二进制数	
101	011	101	001	100	重新分组
↓	↓	↓	↓	↓	
5	3	5	1	4	转换成八进制数

所以, $(2B.A6)_{16} = (53.514)_8$

10.1.3 编码

在数字电路及计算机中,用二进制数码表示十进制数或其他特殊信息如字母、符号等的过程称为编码。编码在数字系统中经常使用,例如通过计算机键盘将命令、数据等输入后,首先将它们转换为二进制码,然后才能进行信息处理。

1. 二-十进制编码(BCD 码)

用 4 位二进制数码表示 1 位十进制数的编码称为二-十进制编码(Binary Coded Decimal),也称为 BCD 码。4 位二进制数码有 $2^4 = 16$ 种不同的组合,因而,从 16 种组合状态中选出其中 10 种组合状态来表示 1 位十进制数的编码方法很多,表 10-3 是几种常用的 BCD 码。

表 10-3 几种常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码(A)	2421 码(B)	余 3 码
0	0000	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0100	0111
5	0101	1000	0101	1011	1000
6	0110	1001	0110	1100	1001
7	0111	1010	0111	1101	1010
8	1000	1011	1110	1110	1011
9	1001	1100	1111	1111	1100
权	8421	5421	2421	2421	无