



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

(第二版) 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

第二分册主编 王建平 靳宝全



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

(第二版) 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

第二分册主编 王建平 靳宝全



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工电子技术》(第二版)的第二分册,是根据教育部面向21世纪电工电子技术课程教改要求,在2003年第一版的基础上,重新修订编写。

本书的特点是选材合理、适当,较好地体现了“少而精”和“必需”、“够用”的原则;理论分析和概念阐述严谨、准确,较好地体现了教材内容的科学性;内容丰富,有着广泛的适用性;内容先进,突出实用,有利于开阔读者视野,激发学习兴趣,培养学生工程实践能力。

本书的第二分册内容包括: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,共9章。

本教材适用于高等学校理工科非电类专业和计算机专业,也可作为高职、高专以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/
渠云田主编;王建平,靳宝全分册主编.—2版.—北京:
高等教育出版社,2008.4

ISBN 978-7-04-023629-3

I.电… II.①渠…②王…③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.TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第022387号

策划编辑	金春英	责任编辑	魏芳	封面设计	于文燕	责任绘图	尹莉
版式设计	马敬茹	责任校对	殷然	责任印制	陈伟光		

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 100011

总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司

印刷 涿州市京南印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 18

字数 440 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landraco.com>

<http://www.landraco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2003年2月第1版

2008年4月第2版

印次 2008年4月第1次印刷

定价 20.90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 23629-00

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-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-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路教授编写第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。

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 9 章 数字电路基础	1	10.2.1 变量译码器.....	33
9.1 数制和编码.....	1	10.2.2 二-十进制译码器.....	37
9.1.1 几种常用的进位计数制.....	1	10.2.3 显示译码器.....	37
9.1.2 不同数制间的转换.....	2	10.3 编码器	40
9.1.3 编码.....	5	10.3.1 10 线-4 线优先编码器 74LS147.....	41
9.2 逻辑代数基础.....	7	10.3.2 8 线-3 线优先编码器 74LS148.....	42
9.2.1 逻辑代数的特点和基本运算.....	7	10.4 数据选择器	44
9.2.2 逻辑代数的基本公式和规则.....	8	10.4.1 集成多路选择器 74LS151.....	44
9.2.3 逻辑函数的标准与或式.....	10	10.4.2 用数据选择器实现逻辑函数.....	45
9.2.4 逻辑函数的化简.....	11	10.5 加法器	47
9.3 分立元件门电路.....	15	10.5.1 1 位加法器.....	47
9.3.1 基本逻辑门电路.....	15	10.5.2 多位加法器.....	49
9.3.2 复合逻辑门电路.....	16	10.6 组合逻辑电路的竞争-冒险	51
9.4 TTL 集成逻辑门电路.....	18	10.6.1 竞争-冒险现象.....	51
9.4.1 TTL 非门.....	18	10.6.2 竞争-冒险现象的消除.....	52
9.4.2 TTL 三态输出门(TSL 门).....	21	习题	52
9.4.3 TTL 集电极开路门(OC 门).....	22	1. 概念题.....	52
9.5 CMOS 逻辑门电路.....	23	2. 分析和仿真题.....	53
9.5.1 CMOS 门电路.....	23	第 11 章 触发器与时序逻辑电路	55
9.5.2 CMOS 门电路系列介绍.....	25	11.1 触发器.....	55
习题	26	11.1.1 基本 RS 触发器.....	55
1. 概念题.....	26	11.1.2 门控触发器.....	56
2. 分析和仿真题.....	27	11.1.3 边沿触发器.....	59
第 10 章 组合逻辑电路	29	11.2 时序电路的分析.....	60
10.1 组合逻辑电路的分析与设计.....	29	11.2.1 同步时序电路的分析.....	61
10.1.1 组合逻辑电路的分析.....	29	11.2.2 异步时序电路的分析.....	62
10.1.2 组合逻辑电路的设计.....	30	11.3 计数器.....	63
10.1.3 组合逻辑电路设计中的几个 实际问题.....	33	11.3.1 二进制计数器.....	63
10.2 译码器.....	33	11.3.2 十进制计数器.....	67

11.3.3 使用集成计数器构成 M 进制 计数器	68	13.2.6 模数(A/D)转换器应用	104
11.4 寄存器与移位寄存器	73	13.2.7 模数(A/D)转换器的主要 技术指标	108
11.4.1 寄存器	73	习题	109
11.4.2 移位寄存器	74	1. 概念题	109
习题	76	2. 分析和仿真题	109
1. 概念题	76	第 14 章 存储器与可编程逻辑器件	111
2. 分析和仿真题	77	14.1 存储器分类	111
第 12 章 脉冲波形的产生与整形	81	14.1.1 易失存储器分类	111
12.1 555 定时电路及其功能	81	14.1.2 非易失存储器分类	111
12.1.1 555 定时电路的组成	81	14.2 非易失存储器	112
12.1.2 555 定时电路引脚的功能	82	14.2.1 非易失存储器产生及发展	112
12.2 施密特触发器	82	14.2.2 非易失存储器基本工作原理	113
12.2.1 用 555 定时电路构成的施密特 触发器	83	14.2.3 各种非易失存储单元结构	115
12.2.2 施密特触发器的应用	84	14.2.4 实际的存储器芯片	120
12.3 单稳态触发器	86	14.3 易失存储器	124
12.3.1 用 555 定时电路构成的单稳态 触发器	86	14.3.1 静态随机存储器 SRAM	125
12.3.2 单稳态触发器的应用	88	14.3.2 动态随机存储器 DRAM	128
12.4 多谐振荡器	89	14.4 非易失 RAM 介绍	129
12.4.1 用 555 定时电路构成的多谐 振荡器	89	14.4.1 SRAM + 后备电池型非易失 存储器	129
12.4.2 多谐振荡器的应用	91	14.4.2 SRAM + E^2 PROM 型非易失 存储器	130
习题	92	14.4.3 铁电随机存取存储器	131
1. 概念题	92	14.5 存储器扩展	134
2. 分析和仿真题	92	14.5.1 位扩展	134
第 13 章 数模和模数转换技术	94	14.5.2 字容量扩展	134
13.1 数模(D/A)转换技术	94	14.6 可编程逻辑器件工作原理	135
13.1.1 $R/2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	95	14.6.1 现场可编程门阵列 FPGA	135
13.1.2 数模(D/A)转换器应用	96	14.6.2 复杂可编程逻辑器件 CPLD	136
13.1.3 数模(D/A)转换器的主要 技术指标	97	14.7 实际的可编程门阵列器件	139
13.2 模数(A/D)转换技术	98	14.8 实际的复杂可编程逻辑器件	144
13.2.1 模数(A/D)转换器的基本 工作过程	98	14.9 FPGA 器件的配置与 CPLD 器件 的编程	149
13.2.2 并行模数转换器	99	14.10 CPLD 和 FPGA 器件的开发软件	150
13.2.3 双积分模数转换器	100	14.11 硬件描述语言	151
13.2.4 逐次比较式模数转换器	102	习题	153
13.2.5 $\Sigma - \Delta$ 型模数转换器	103	第 15 章 变压器和电动机	154
		15.1 磁路分析基础	154
		15.1.1 铁磁材料的特点	154

15.1.2	磁路欧姆定律	155	16.5.2	异步电动机的正反转控制电路	236
15.1.3	简单磁路分析	156	16.5.3	多机顺序联锁控制	238
15.2	变压器	158	16.5.4	多处控制	240
15.2.1	变压器的分类	158	16.5.5	行程控制电路	241
15.2.2	变压器的工作原理	159	16.5.6	时间控制电路	243
15.2.3	变压器的运行特性	162	习题		247
15.2.4	变压器的使用	163	1. 概念题		247
15.2.5	专用变压器	165	2. 分析和仿真题		247
15.3	异步电动机	167	第17章 总线、接口与互连技术		249
15.3.1	三相异步电动机的基本结构和 工作原理	168	17.1 通信的基础知识		249
15.3.2	三相异步电动机的电磁转矩与 机械特性	172	17.1.1 通信分类		249
15.3.3	三相异步电动机的使用	175	17.1.2 通信方式		250
15.3.4	单相异步电动机	184	17.2 串行通信		251
*15.3.5	三相异步电动机的绕组排布及 重绕工艺简介	187	17.2.1 RS-232 接口		251
*15.4	三相同步电动机	191	17.2.2 RS-422/485 接口		253
*15.5	直流电动机	193	17.2.3 USB 接口		254
*15.6	控制电机	197	17.2.4 1394 接口		254
15.6.1	步进电动机	197	17.3 工业局域网基础知识		255
15.6.2	伺服电动机	201	17.3.1 计算机网络的功能		256
15.6.3	测速发电机	203	17.3.2 网络的分类		256
习题		203	17.3.3 局域网拓扑结构		256
1. 概念题		203	17.3.4 传输介质		257
2. 计算题		204	17.3.5 介质访问控制		258
第16章 可编程控制器		206	17.3.6 网络通信协议		258
16.1	工厂常用低压电器	206	17.3.7 网络参考模型		259
16.2	PLC 的基本结构与工作原理	213	17.4 工业局域网的组网技术		260
16.2.1	PLC 基本结构	214	17.4.1 工业局域网的特点		260
16.2.2	PLC 的工作原理	216	17.4.2 工业局域网的选型		260
16.2.3	PLC 的编程语言	217	17.4.3 网络系统设计的基本原则		261
16.3	PLC 的编程软元件	218	17.5 现场总线		261
16.3.1	用户数据的类型	220	17.5.1 现场总线产生的背景		261
16.3.2	编程元件	220	17.5.2 现场总线的定义与分类		262
16.4	PLC 指令系统	225	17.5.3 现场总线的特点与优点		262
16.4.1	PLC 基本指令系统	225	17.5.4 现场总线目前的发展情况		263
16.4.2	PLC 应用指令简介	231	17.5.5 主流现场总线简介		263
16.5	基本电气控制电路	234	17.5.6 现场总线的发展		264
16.5.1	直接起动单向运行控制电路	234	习题		265
			附录 GX Developer7.0 编程软件、 GX-Simulator6 仿真软件		266
			中英文名词术语对照		272
			参考文献		275

第9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。

9.1 数制和编码

9.1.1 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

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

十进制数3 784.25可表示成多项式形式

$$(3\ 784.25)_{10} = 3 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

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。

二进制的数码只有0和1,即基数为2,它的进位规律是“逢二进一”。

二进制数1101.11可以表示成多项式形式

$$(1101.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

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”。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”。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9-1给出了十进制、二进制、八进制、十六进制数的对应关系。

表9-1 十进制、二进制、八进制、十六进制数的对应关系

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

9.1.2 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方便起见又常用到十六进制数或八进制数,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

将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9-1 将 $(1101.101)_2$ 和 $(6E.41)_{16}$ 转换成十进制数。

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

$$(6E.41)_{16} = 6 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} = (110.253\ 906\ 25)_{10}$$

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9-2给出了常用的2的整次幂和十进制数的对应关系。

表9-2 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	0.062 5	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1 024

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9-2 将 $(41)_{10}$ 转换成二进制数和八进制数。

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

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

$$\begin{aligned} 41/8 &= 5 && \text{余数为 } 1, && \text{最低位 } a_0 = 1 \\ 5/8 &= 0 && \text{余数为 } 5, && \text{最高位 } a_1 = 5 \end{aligned}$$

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9-3 将 $(0.625)_{10}$ 转换成二进制数。

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

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9-4 将 $(0.7)_{10}$ 转换成二进制数,要求误差小于 2^{-6} 。

$$\begin{aligned} \text{解: } 0.7 \times 2 &= 1 + 0.4 && a_{-1} = 1 \\ 0.4 \times 2 &= 0 + 0.8 && a_{-2} = 0 \\ 0.8 \times 2 &= 1 + 0.6 && a_{-3} = 1 \end{aligned}$$

$$0.6 \times 2 = 1 + 0.2 \quad a_{-4} = 1$$

$$0.2 \times 2 = 0 + 0.4 \quad a_{-5} = 0$$

$$0.4 \times 2 = 0 + 0.8 \quad a_{-6} = 0$$

所以, $(0.7)_{10} = (0. a_{-1} a_{-2} a_{-3} a_{-4} a_{-5} a_{-6})_2 = (0.101100)_2$ 。

最后剩下的未转换部分就是误差, 由于它在转换过程中扩大了 2^6 , 所以真正的误差应该是 0.8×2^{-6} , 其值小于 2^{-6} , 满足精度要求。

3. 非十进制数之间的转换

(1) 二进制数和八进制数之间的转换

二进制的基数是 2, 八进制的基数是 8, 正好有 $2^3 = 8$, 因此, 任意 1 位八进制数可以转换成 3 位二进制数。当要把一个八进制数转换成二进制数时, 可以直接将每位八进制数转换成 3 位二进制数。而二进制数到八进制数的转换可按相反的过程进行, 转换时, 从小数点开始向两边分别将整数和小数每 3 位划分成一组, 整数部分的最高一组不够 3 位时, 在高位补 0, 小数部分的最后一组不足 3 位时, 在末位补 0, 然后将每组的 3 位二进制数转换成 1 位八进制数即可。

例 9-5 将 $(354.76)_8$ 转换成二进制数, 将 $(1010110.0111)_2$ 转换成八进制数。

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

所以, $(354.76)_8 = (11101100.111110)_2$ 。

$$\begin{array}{ccccccc} & 001 & 010 & 110 & . & 011 & 100 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ & 1 & 2 & 6 & . & 3 & 4 \end{array}$$

所以, $(1010110.0111)_2 = (126.34)_8$ 。

(2) 二进制数和十六进制数之间的转换

二进制的基数是 2, 十六进制的基数是 16, 正好有 $2^4 = 16$ 。因此, 任意 1 位十六进制数可以转换成 4 位二进制数。当要把一个十六进制数转换成二进制数时, 可以直接将每位十六进制数码转换成 4 位二进制数码。对二进制数到十六进制数的转换可按相反的过程进行, 转换时, 从小数点开始向两边分别将整数和小数每 4 位划分成一组, 整数部分的最高一组不够 4 位时, 在高位补 0, 小数部分的最后一组不足 4 位时, 在末位补 0, 然后将每组的 4 位二进制数转换成 1 位十六进制数即可。

例 9-6 将 $(8E.5A)_{16}$ 转换成二进制数, 将 $(1001111.1011011)_2$ 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{解:} & 8 & E & . & 5 & A \\ & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ & 1000 & 1110 & . & 0101 & 1010 \end{array}$$

所以, $(8E.5A)_{16} = (10001110.01011010)_2$

$$\begin{array}{ccccccc} & 0100 & 1111 & . & 1011 & 0110 \\ & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \end{array}$$

4 F . B 6

所以, $(1001111.1011011)_2 = (4F.B6)_{16}$ 。

(3) 八进制数和十六进制数之间的转换

八进制数和十六进制数之间的转换直接进行比较困难,可用二进制数作为转换中介,即先转换成二进制数,再进行转换就比较容易了。

例 9-7 将 $(345.27)_8$ 转换成十六进制数,将 $(2B.A6)_{16}$ 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, $(2B.A6)_{16} = (53.514)_8$ 。

9.1.3 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 10 种组合状态来表示 1 位十进制数的编码方法很多,表 9-3 是几种常用的 BCD 码。

表 9-3 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

续表

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码(A)	2421 码(B)	余 3 码
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

(1) 8421BCD 码

8421BCD 码是用 4 位二进制数 **0000** 到 **1001** 来表示十进制数的 0~9。它的每一位都有固定的权,从高位到低位的权值分别为 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 ,即 8、4、2、1。由于具有自然二进制数的特点,容易识别,转换方便,所以是最常用的一种二-十进制编码。

例 9-8 将十进制数 1 947.35 转换成 8421BCD 码。

解: $(1\ 947.35)_{10} = (0001\ 1001\ 0100\ 0111.0011\ 0101)_{8421BCD}$

(2) 余 3 码

余 3 码也是用 4 位二进制数表示 1 位十进制数,但对于同样的十进制数,比 8421BCD 码多 **0011**,所以叫余 3 码。余 3 码用 **0011** 到 **1100** 这 10 种编码表示十进制数的 0~9,是一种无权码。由表 9-3 可以看出:0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 这 5 对代码互为反码。

2. 可靠性编码

表示信息的代码在形成、存储和传送过程中,由于某些原因可能会出现错误。为了提高信息的可靠性,需要采用可靠性编码。可靠性编码具有某种特征或能力,使得代码在形成过程中不容易出错。循环码是常用的可靠性编码。

循环码又称为格雷码(Gray 码),具有多种编码形式,但都有一个共同的特点,就是任意两个相邻的循环码仅有 1 位不同。例如,4 位二进制计数器,在从 **0101** 变成 **0110** 时,最低 2 位都要发生变化。当 2 位不是同时变化时,如最低位先变,次低位后变,就会出现一个短暂的误码 **0100**。采用循环码表示时,因为只有 1 位发生变化,就可以避免出现这类错误。

循环码是一种无权码,每一位都按一定的规律循环。表 9-4 给出了一种 4 位循环码的编码方案。可以看出,任意两个相邻的编码仅有 1 位不同,而且存在一个对称轴(在 7 和 8 之间),对称轴上边和下边的编码,除最高位是互补外,其余各个数位都是以对称轴为中线镜像对称的。

表 9-4 4 位循环码

十进制数	二进制数	循环码	十进制数	二进制数	循环码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

9.2 逻辑代数基础

逻辑代数是英国数学家乔治·布尔(George Boole)在 19 世纪中期研究思维规律时首先提出来的,因此又称为布尔代数。1938 年布尔代数首次用于电话继电器开关电路的设计,所以又称它为开关代数。目前逻辑代数已成为数字系统分析和设计的重要工具。

9.2.1 逻辑代数的特点和基本运算

逻辑代数是研究因果关系的一种代数,和普通代数类似,可以写成下面的表达形式

$$Y = F(A, B, C, D)$$

逻辑变量 A, B, C 和 D 称为自变量, Y 称为因变量,描述因变量和自变量之间的关系称为逻辑函数。它具有与普通代数不同的两个特点:

第一,不管是变量还是函数的值只有 **0** 和 **1** 两个,且这两个值不表示数值的大小,而用来表示两种相反的逻辑状态,如电平的高和低、电流的有和无、开关的闭合和断开等。

在逻辑电路中,通常规定 **1** 代表高电平,**0** 代表低电平,为正逻辑。如果规定 **0** 代表高电平,**1** 代表低电平,则为负逻辑。在以后如不专门声明时,指的都是正逻辑。

第二,基本的逻辑关系有与逻辑、或逻辑和非逻辑三种,与之对应的逻辑运算为与运算、或运算和非运算。其他任何复杂的逻辑运算都可以用这三种基本逻辑运算来实现。

1. 与运算

两变量的与运算规则可用表 9-5 说明,该表称为真值表,它反映所有变量全部可能的组合和运算结果之间的关系。真值表在以后的逻辑电路分析和设计中是十分有用的。

与运算的例子在日常生活中经常会遇到,如图 9-1 所示的串联开关电路,灯 F 亮的条件是开关 A 和 B 都必须接通。如果开关闭合用 **1** 表示,开关断开用 **0** 表示;灯亮用 **1** 表示,灯灭用 **0** 表示。则灯和开关之间的逻辑关系可表示为 $F = A \cdot B$ 或 $F = AB$,读作 A 与 B 。