

普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术

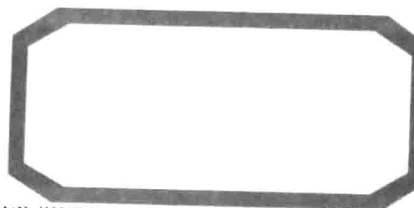
实用教程

SHUZI DIANZI JISHU
SHIYONG JIAOCHENG

主编 孙 禾 于宝琦 陈亚光



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术实用教程

主 编 孙 禾 于宝琦 陈亚光
副主编 于桂君 胡建伟 张立娟
参 编 李 玲 朴琴兰

东南大学出版社
• 南京 •

内 容 简 介

本书是为满足应用型本科院校培养一批合格工程技术人才和更多卓越工程师的需求,根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会对数字电子技术课程的教学基本要求,并经过多年教学改革与实践后编写的。本书以现代数字电子技术的基本知识、基本理论、基本技能为主线,针对本课程具有的工程性和实践性特点,突出理论教学与实践训练相结合;内容取舍上以应用为目的,尽量做到少而精,重点突出,淡化理论分析;叙述上简明扼要、深入浅出、层次分明、概念清楚;教学方法上力求将理论教学与技能训练优化组合,以利于激发学生的学习积极性,培养其实践能力。全书共分10章,内容包括:数字逻辑基础,集成逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲波形的产生与变换电路,大规模数字集成电路,D/A与A/D转换,数字电路EDA设计基础,数字系统综合实践指导。各章均配有典型例题和习题。

本书适用于高等院校电子电气信息类专业和部分非电类专业本科和高职学生在学习数字电子技术方面的教科书,也可作为自学考试和从事电子技术工程的工作人员自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术实用教程 / 孙禾,于宝琦,陈亚光主编.

—南京:东南大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5641-2582-0

I. ①数… II. ①孙… ②于… ③陈… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015512 号

数字电子技术实用教程

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京市四牌楼2号 邮编:210096

出 版 人:江建中

网 址:<http://www.seupress.com>

经 销:全国各地新华书店

印 刷:南京海兴印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.75

字 数:392千字

版 次:2014年2月第1版

印 次:2014年2月第1次印刷

印 数:1—3000册

书 号:ISBN 978-7-5641-2582-0

定 价:31.00元

前言

PREFACE

“数字电子技术”是电子电气信息类专业和部分非电类专业学生在数字电子技术方面入门性质的学科基础课程之一,同时又是一门具有自身体系和很强实践性与应用性的技术基础课程。本书是为满足应用型本科院校培养一批合格工程技术人才和更多卓越工程师的需求,根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会对数字电子技术课程的教学基本要求并结合多年教学改革与实践经验编写的。

本书以现代数字电子技术的基本知识、基本理论、基本技能为主线,针对本课程具有的工程性和实践性特点,突出理论教学与实践训练相结合;内容取舍上以应用为目的,尽量做到少而精,重点突出,淡化理论分析;叙述上简明扼要、深入浅出、层次分明、概念清楚;教学方法上力求将理论教学与技能训练优化组合,以利于激发学生的学习积极性,培养其实践应用能力。全书共分10章,内容包括:数字逻辑基础,集成逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲波形的产生与变换电路,大规模数字集成电路,D/A与A/D转换,数字电路EDA设计基础,数字系统综合实践指导。各章均配有典型例题和习题。

本书适用于高等院校电子电气信息类各专业和部分非电类专业本科和高职学生在学习数字电子技术方面的教科书,也可作为自学考试和从事电子技术工程的工作人员自学用书。

本书由辽宁科技学院孙禾、于宝琦、陈亚光担任主编,于桂君、胡建伟和吉林电子信息职业技术学院张立娟担任副主编,李玲、朴琴兰参与编写。绪论、第5章由孙禾编写,并负责全书的组织和定稿;第1、4章由于宝琦编写;第9章由陈亚光编写;第2、6章由于桂君编写;第3、8章由胡建伟编写;第7章由张立娟编写;本书的实验项目部分,第10章及附录由李玲编写;朴琴兰编写了第3章部分内容。

时间仓促,加之水平有限,书中难免有疏漏之处。恳请广大读者给以批评指正,以便今后再版时改进和提高。

编者

2013年11月



目 录

CONTENTS

绪论	1
0.1 数字信号与数字电路	1
0.2 “数字电子技术”的课程性质与研究内容	2
0.3 “数字电子技术”的课程特点和学习方法	3
 第1章 数字逻辑基础	4
1.1 数制与码制	4
1.1.1 常用数制	4
1.1.2 不同数制间的转换	5
1.1.3 码制	7
1.2 逻辑函数与逻辑运算	8
1.2.1 算术运算与逻辑运算	8
1.2.2 三种基本逻辑函数	9
1.2.3 复合逻辑函数	11
1.3 逻辑代数基础	12
1.3.1 逻辑代数的基本公式	12
1.3.2 逻辑代数的常用规则	13
1.3.3 逻辑函数的代数化简法	14
1.4 逻辑函数的表示方法及相互转换	16
1.4.1 逻辑函数的建立及三种基本表示方法	16
1.4.2 逻辑函数的最小项及最小项表达式	18
1.4.3 逻辑函数的卡诺图表示法	18
1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	19
1.5.1 利用卡诺图化简逻辑函数的原理	19
1.5.2 逻辑函数卡诺图化简法的基本步骤	20
1.5.3 具有无关项的逻辑函数及其化简	21
本章习题	23
 第2章 集成逻辑门电路	26
2.1 概述	26
2.2 TTL 集成逻辑门电路	27
2.2.1 半导体二极管、三极管的开关特性	27



2.2.2	TTL 集成门电路的工作原理与电气特性	30
2.2.3	集成芯片的数据手册所含主要信息举例	35
2.2.4	特殊 TTL 门电路及应用	39
2.3	CMOS 集成逻辑门电路	43
2.3.1	MOS 管工作原理及其开关特性	43
2.3.2	CMOS 反相器的工作原理与电气特性	45
2.3.3	其他 CMOS 门电路	46
2.4	集成门电路的应用	49
2.4.1	CMOS 器件和 TTL 器件的接口	49
2.4.2	集成芯片使用的注意事项	51
实验项目一 数字实验箱的使用及门电路测试与应用		53
本章习题		55
 第 3 章 组合逻辑电路		59
3.1	小规模组合电路的分析与设计方法	59
3.1.1	小规模组合逻辑电路的分析	59
3.1.2	小规模逻辑电路的设计	61
3.2	常用的中规模集成组合逻辑电路	64
3.2.1	编码器	64
3.2.2	译码器	68
3.2.3	数据选择器	74
3.2.4	加法器与比较器及集成芯片	78
3.3	组合逻辑电路中的竞争与冒险	82
3.3.1	逻辑竞争与冒险的概念	82
3.3.2	逻辑险象的识别	82
实验项目二 译码器的逻辑功能测试及应用		84
实验项目三 数据选择器的逻辑功能测试及应用		86
本章习题		88
 第 4 章 触发器		90
4.1	触发器的电路结构及动作特点	90
4.1.1	基本 RS 触发器	90
4.1.2	同步触发器	92
4.1.3	主从触发器	96
4.1.4	边沿触发器	99
4.2	触发器的逻辑功能描述	101
4.2.1	触发器的逻辑功能及描述方法	101
4.2.2	触发器的电路结构与逻辑功能的关系	105
4.2.3	触发器逻辑功能的互换	106



4.3 集成触发器的应用	107
4.3.1 触发器的电气特性	107
4.3.2 集成触发器的主要参数	109
4.3.3 触发器的应用举例	110
实验项目四 集成触发器的逻辑功能测试及应用	112
本章习题	115
第5章 时序逻辑电路	119
5.1 时序逻辑电路及其分析方法	119
5.1.1 时序逻辑电路概述	119
5.1.2 同步时序电路的分析方法	121
5.1.3 异步时序电路的分析方法	124
5.2 集成计数器	126
5.2.1 集成异步计数器	126
5.2.2 集成同步加法计数器	128
5.2.3 集成同步可逆计数器	129
5.2.4 集成计数器的应用	130
5.3 集成寄存器和移位寄存器	134
5.3.1 集成寄存器简介	134
5.3.2 集成移位寄存器的基本原理	135
5.3.3 集成移位寄存器的应用分析	136
5.4 同步时序逻辑电路的设计方法	138
5.4.1 同步时序电路设计的基本步骤	138
5.4.2 同步时序电路设计举例	139
实验项目五 集成计数器的逻辑功能测试及应用	141
实验项目六 计数、译码与显示综合训练	142
本章习题	144
第6章 脉冲波形的产生与变换电路	148
6.1 概述	148
6.2 施密特触发器	149
6.2.1 用门电路组成的施密特触发器	149
6.2.2 集成施密特触发器	150
6.2.3 施密特触发器的应用	151
6.3 多谐振荡器	152
6.3.1 由门电路组成的多谐振荡器	152
6.3.2 石英晶体振荡器	154
6.3.3 多谐振荡器的应用	155



6.4 单稳态触发器	156
6.4.1 由门电路组成的单稳态触发器	156
6.4.2 集成单稳态触发器	157
6.4.3 单稳态触发器的应用	158
6.5 555 定时器及其应用	159
6.5.1 555 定时器的电路结构及功能	159
6.5.2 由 555 定时器组成的施密特触发器	161
6.5.3 由 555 定时器组成单稳态触发器	162
6.5.4 由 555 定时器组成多谐振荡器	163
本章习题	164
第 7 章 大规模数字集成电路	168
7.1 半导体存储器	168
7.1.1 概述	168
7.1.2 只读存储器 ROM	169
7.1.3 随机存取存储器 RAM	171
7.2 现场可编程逻辑阵列 FPGA	173
7.2.1 FPGA 概述	173
7.2.2 FPGA 的开发流程	174
本章习题	176
第 8 章 D/A 与 A/D 转换	177
8.1 概述	177
8.2 D/A 转换器	177
8.2.1 D/A 转换工作原理	177
8.2.2 D/A 转换器主要技术指标	184
8.2.3 集成 D/A 转换器件	185
8.3 A / D 转换器	187
8.3.1 A/D 转换器工作原理	189
8.3.2 A/D 转换器主要技术指标	195
8.3.3 集成 ADC 器件	195
本章习题	197
第 9 章 数字电路 EDA 设计基础	199
9.1 硬件描述语言 VHDL 快速入门	199
9.1.1 VHDL 的程序结构	199
9.1.2 VHDL 的语法规则	201
9.1.3 VHDL 的顺序语句	206
9.1.4 VHDL 的并行语句	210



9.2 Quartus II 开发工具	213
9.2.1 Quartus II 的原理图文件输入方法	213
9.2.2 Quartus II 的层次化设计流程	220
9.3 基本数字电路的 EDA 实现	222
9.3.1 组合逻辑电路的 VHDL 描述	222
9.3.2 时序逻辑电路的 VHDL 描述	226
9.4 典型数字系统的 EDA 实现	233
9.4.1 数字钟电路的 EDA 实现	233
9.4.2 交通灯控制器的 EDA 实现	241
本章习题	243
 第 10 章 数字系统综合实践指导	244
10.1 数字系统的结构与设计方法	244
10.1.1 数字系统的结构	244
10.1.2 数字系统设计的一般步骤	245
10.2 数字系统设计实例	246
10.2.1 N 进制秒计数器	246
10.2.2 八路智力竞赛抢答器	250
 附录 国产半导体集成电路型号命名法(GB3430—82)	254
参考文献	256



绪 论

本章导学

本部分内容属于数字电子技术的导论,以数字信号和数字电路的特点为起点,着重阐述了数字电子技术的研究内容和学习方法。通过绪论的学习,使同学对本门课程的研究对象、学习内容以及学习方法有一个宏观的认识。

0.1 数字信号与数字电路

电子电路中的信号可以分为模拟信号和数字信号两大类。时间连续、数值也连续的信号被称为模拟信号,时间上和数值上均是离散的信号则被称为数字信号。数字信号只有两个离散值,常用数字 0 和 1 来表示。

注意:这里的 0 和 1 没有数值大小之分、只代表两种对立的逻辑状态,称为逻辑 0 和逻辑 1,也被称为二值数字逻辑。

数字电路是传递与处理数字信号的电子电路。常用的数字电路包括信号发生、变换、传送、计数、运算、储存、控制等电路。和模拟电路相比,数字电路在工作信号、研究对象(I/O 的逻辑关系)、分析与设计方法以及所用的数学工具都有显著的不同,其具有下列优点:

1. 数字电路易于用电路来实现。数字电路是以二值数字逻辑为基础的,只需要 0 和 1 两个基本数字,可用二极管、三极管的导通与截止这两个对立的状态来表示。
2. 数字电路工作可靠,精度较高,抗干扰能力强。数字系统可通过整形方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰,还可利用差错控制技术对传输信号进行查错和纠错。
3. 数字电路在控制系统中是必不可少的部件。数字电路不仅能完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算。
4. 数字信息便于长期保存。可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。
5. 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

数字电路在日常生活中的应用越来越普遍,已被广泛应用于工业、农业、通信、医疗、家用电子等各个领域,如工农业生产中用到的数控机床、温度控制、气体检测、家用冰箱、空调的温度控制、通信用的数字手机以及正在发展的网络通信、数字化电视等。随着数字电路的发展,其应用将会越来越广泛,它将会深入到生活的每一个角落。

按电路逻辑功能的不同,数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路没有记忆功能,其输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路以前的状态无关。如加法



器、编码器、译码器、数据选择器等。时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅和当时的输入信号有关,而且与电路以前的状态有关,如寄存器、计数器等。

按电路结构不同,数字电路可分为分立元件数字电路和集成数字电路两大类。根据集成密度不同,集成电路可分为小规模集成数字电路(SSI:10—100个元件/片)、中规模集成数字电路(MSI:100—1000个元件/片)、大规模集成数字电路(LSI:1000—1万个元件/片)、超大规模集成数字电路(VLSI:1万个以上元件/片)。

按电路所用的器件不同可分为双极型电路和单极型电路。其中双极型电路有DTL、TTL、ECL等,单极型电路有JFET、NMOS、PMOS、CMOS等。双极型电路开关速度快,频率高,信号传输延迟时间短,但制造工艺较复杂。单极型电路输入阻抗高,功耗小,工艺简单,集成密度高,易于大规模集成。

数字电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类型。

0.2 “数字电子技术”的课程性质与研究内容

1. 本课程的地位、作用和任务

“数字电子技术”是电子电气信息类专业和部分非电类专业学生在数字电子技术方面入门性质的学科基础课程之一,具有自身的体系和很强的实践性。本课程通过对典型逻辑器件、数字电路及其系统的分析和设计的学习,获得必要的数字电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,为深入学习电子技术及其在专业中的应用打好基础。

2. “数字电子技术”课程的研究内容

“数字电子技术”课程的研究内容主要有以下四个方面:

- (1) 数字电路的基本单元电路:门电路和触发器。
- (2) 数字电路逻辑功能的描述方法:真值表、逻辑式、逻辑图、卡诺图和分析工具:逻辑代数。
- (3) 对给定的组合逻辑电路或时序逻辑电路进行逻辑功能分析,或根据实际需要设计出相应的逻辑电路。
- (4) 各种典型逻辑器件的结构、性能和工作原理。

3. “数字电子技术”课程的学习目标

- (1) 掌握基本概念、基本电路、基本分析方法和基本实验技能。
- (2) 具有能够继续深入学习和接受电子技术新发展的能力,以及将所学知识用于本专业的能力。
- (3) 建立起系统的观念。简单数字电路是复杂数字系统的一个部分,在研究数字电路时应强调整体功能,建立起系统的概念。
- (4) 建立工程的观念:既是入门性质的学科基础课,又是技术基础课。
- (5) 建立科技进步的观念和创新意识:数字电子技术能够在一个小方寸之间实现千变万化,通过数字电路的EDA技术提高设计能力,从而培养创新能力。



0.3 “数字电子技术”的课程特点和学习方法

1. 课程特点:

数字电子技术是一门具有较强工程性和实践性的入门性质的学科基础课,同时又是一门具有较强应用性的技术基础课。不仅其自身有完整的理论体系,而且与各种功能电路典型的集成芯片产品紧密相连。它的课程特点主要体现在以下四个方面:

(1) 数字电路的工作信号是在时间和幅值上都离散的数字信号,用二值数字逻辑 0、1 描述。在电路中用高、低电平表示,是一个范围的量、而不是具体的精确数值。其微小变化不影响电路功能,这进一步突出了工程性。

(2) 数字电路中的晶体管和 MOS 管通常工作在开关状态,放大状态只是一种过渡状态。这与模拟电路中晶体管和 MOS 管的工作状态截然不同。

(3) 数字电路主要研究电路的逻辑功能,即电路输入与输出之间的逻辑关系。主要分析工具是逻辑代数,表示电路逻辑功能的主要方法有真值表、逻辑式、逻辑图、波形图以及卡诺图等。

(4) 数字电路的主要任务是对给定的电路进行逻辑功能分析,以及根据实际需要设计出相应的逻辑电路。

2. 课程学习方法

首先,应掌握好本课程的基本概念、基本电路和基本分析方法。

下面从概念,电路,方法三方面谈如何学习本课程。数字电子电路的应用是灵活的,但“万变不离其宗”,其基本概念是不变的,学好数字电子技术的第一步是弄清概念;具体的数字电子电路是多种多样的,但其构成原则是不变的,应先加强对基本电路的学习,再通过熟练习题,达到举一反三的效果;不同类型的数字电子电路有不同的性能指标和描述方法,因而有不同的分析方法,应加强对各种基本分析方法的理解和应用。

其次,要善于抓重点,注意掌握功能部件的外特性。

数字集成电路的种类很多,电路内部结构及工作过程千差万别。学习时对于电路结构与工作原理只要简单了解即可,应该把侧重点放在对于电路输入与输出之间的逻辑功能和使用方法的掌握上,并在此基础上能够正确使用各种集成芯片完成满足实际需求的功能设计。

再次,注意理论联系实际,将课程学习的落脚点放在实际数字系统的设计与实现上,培养自己“看,算,选,调”的能力。

实用的数字电子电路几乎都需要进行调试才能达到预期的目标,因而本课程具有较强的实践性。同学在学习这门课时要掌握常用电子仪器的使用方法;电子电路的测试方法;故障的判断与排除方法;以及 EDA 软件的应用方法。

最后,注意新技术的学习。

目前数字系统的设计与实现已经从电路板级发展到芯片级。可编程器件的迅速发展使得数字系统的实现更为灵活,系统的可靠性更高,功耗更低,整个系统的体积更小。可编程器件实现数字系统离不开 EDA 软件的应用。EDA 已经成为进行数字系统设计必须掌握的技术,同时这也是培养学生解决实际工程问题,进行实践创新的一种重要手段。



第1章 数字逻辑基础

本章导学

数字逻辑是数字电子技术的逻辑学基础,是分析设计数字系统的理论依据。本部分内容以用二进制数描述数字逻辑为基础,介绍了数制与编码及其相互转换的方法;基本的逻辑关系与逻辑运算;逻辑代数的基本公式和规则;逻辑函数的不同表示方法及其相互转换;逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法等知识。

1.1 数制与码制

数制就是计数的规则或体制。同一个数可以采用不同的进位数制来计量。日常生活中,人们习惯采用十进制数计数,而在数字电路中,广泛采用二进制数。

数码不仅可以表示数量的大小,还可以表示某种信息、操作命令及不同的事物等,这时的数码叫做代码。编制代码时所遵循的规则,即编码方案,叫做码制。

1.1.1 常用数制

1. 十进制

十进制是人们最常用的一种数制。它采用0~9十个数码计数,低位和相邻高位之间的进位关系是“逢十进一”。任意一个十进制数可表示为

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

式(1-1)中, a_i 是第*i*位的系数,它可以是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,下标10为十进制的进位基数; 10^i 表示数码在不同位置的大小,称为位权。通常把式(1-1)的表示形式称为按权展开式或多项式表示法。例如:

$$(357.28)_{10} = 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

从计数电路的角度来看,采用十进制是不方便的。因为要构成计数电路,必须把电路的状态跟计数符号对应起来,十进制有十个符号,电路就必须有十个能严格区别的状态与之对应,这样将在技术上带来许多困难,而且也不经济,因此在计数电路中一般不直接采用十进制。

2. 二进制

二进制采用0、1两个数码计数,计数的基数是2。低位和相邻高位之间的进位关系是



“逢二进一”。任意一个二进制数可表示为

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

式(1-2)中, a_i 是第 i 位的系数, 它可以是 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, 下标 2 为二进制的进位基数; 2^i 表示数码在不同位置的大小, 称为位权。应用权的概念, 可以把一个二进制数按权展开。例如:

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

根据二进制的特点, 目前数字电路普遍采用二进制, 因为在数字电路中通常只有两个不同状态, 这两个状态刚好可以用二进制中的两个符号来表示。例如: 继电器的闭合和断开, 晶体管的饱和与截止等。只要规定一种状态代表“1”, 另一种状态代表“0”, 就可以表示二进制数。二进制的运算规则简单, 为数字系统的分析与设计带来极大方便。

3. 八进制和十六进制

二进制的缺点是位数太多, 书写和阅读都不方便, 容易出错。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。

八进制采用 0~7 八个数码计数, 计数的基数是 8。低位和相邻高位之间的进位关系是“逢八进一”。

十六进制采用 0~9 及 A、B、C、D、E、F 十六个数码计数, 计数的基数是 16。低位和相邻高位之间的进位关系是“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按权展开。

1.1.2 不同数制间的转换

把一种数制转换成为另一种数制称为数制之间的转换。

1. N 进制数转换为十进制数

N 进制数转换为十进制数的方法为按权展开, 用十进制运算法则求和, 即可得到相应的十进制数。其通式为

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

其中 N 可以为 2(二进制)、8(八进制)、16(十六进制)等等。

【例 1-1】 将二进制数 $(1101.101)_2$ 转换为十进制数。

解: 将二进制数按权展开如下:

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

其他进制数转换为十进制的方法与上类似, 如下例。

【例 1-2】 将十六进制数 $(EB47)_{16}$ 转换为十进制数。

$$(EB47)_{16} = 14 \times 16^3 + 11 \times 16^2 + 4 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = (60231)_{10}$$

2. 十进制数转变为 N 进制数

将十进制数转变为 N 进制数时, 要将其整数部分和小数部分分别转换, 再将结果合并为目的数制形式。

(1) 整数部分的转换



整数部分的转换采用除基取余法。即用目的数制的基数去除十进制整数,第一次除得的余数为目的数的最低位,所得到的商再除以该基数,所得余数为目的数的次低位,依次类推,直到商为0时,所得余数为目的数的最高位。

(2) 小数部分的转换

小数部分的转换采用乘基取整法。即用该小数乘目的数制的基数,第一次乘得的结果的整数部分为目的数小数的最高位,其小数部分再乘基数,所得的结果的整数部分为目的数小数的次最高位,依次类推,直到小数部分为0或达到要求精度为止。

注意:整数部分除基取余数按倒序排列;小数部分乘基取整数按顺序排列。

【例 1-3】将十进制数 $(46.375)_{10}$ 转换为二进制数。

解:对于整数部分,采用除2取余法有

2		46		
2		23	—	0
2		11	—	1
2		5	—	1
2		2	—	1
2		1	—	0
		0	—	1

最低位
最高位

即整数部分为 $(46)_{10} = (101110)_2$ 。

对于小数部分,采用乘2取整法有

	0.375	0.75	0.5
	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$
	0.75	1.5	1
	⋮	⋮	⋮
取整	0	1	1
	最高位		最低位

所以 $(46.375)_{10} = (101110.011)_2$ 。

3. 非十进制之间的转换

(1) 二进制转换为八进制、十六进制

由于八进制的基数 $8=2^3$,十六进制的基数 $16=2^4$,因此一位八进制所能表示的数值恰好相当于3位二进制数能表示的数值,而一位十六进制与4位二进制数能表示的数值正好相当,所以将二进制数转换成八进制数和十六进制数转换可按如下规则进行:

从小数点起向左右两边按3位(或4位)分组,不满3位(或4位)的,加0补足,每组以其对应的八进制(或十六进制)数码代替,即3位合1位(或4位合1位),顺序排列即为变换后的等值八进制(或十六进制)数。

【例 1-4】 $(101111.01010011)_2 = (\quad)_8 = (\quad)_{16}$

解:从小数点起向两边每3位合1位,不足3位的加0补足,则得相应的八进制数

$(\underline{101} \ \underline{111} \ \underline{001} \ \underline{100} \ \underline{110})_2 = (57.246)_8$

从小数点起向两边每4位合1位,不足4位的加0补足,则得相应的十六进制数

$(101111.01010011)_2 = (\underline{0010} \ \underline{1111} \ \underline{0101} \ \underline{0011} \ \underline{1000})_2 = (2F.53)_{16}$



(2) 八进制、十六进制转换为二进制

可按如下规则进行:从小数点起,对八进制数,1 位用 3 位二进制数代替;对十六进制数,1 位用 4 位二进制数代替。例如:

$$\begin{aligned} (4 \ 2 \ 5)_8 &= (\underline{100} \ \underline{010} \ \underline{101})_2 \\ (3 \ A \ E)_{16} &= (\underline{0011} \ \underline{1010} \ \underline{1110})_2 \end{aligned}$$

1.1.3 码制

由于数字系统是以二值数字逻辑为基础的,因此其中数值、文字、符号、控制命令等信息都采用二进制形式的代码来表示。为了记忆和处理方便,在编制代码时应遵循一定的规则,这些规则就叫做码制。编码过程是比较灵活的,对同一信息,可采用多种编码方案。常见的二进制编码方式包括二—十进制码(即 BCD 码, Binary—Coded—Decimal)、可靠性编码(格雷码、奇偶校验码等)、字符编码(ASCII)等。

1. BCD 码

用四位二进制数码表示一位十进制数的代码,称为二—十进制码,简称 BCD 码。四位二进制数有 16 种组合,而一位十进制数只需要 10 种组合,因此,用四位二进制码表示一位十进制数的组合方案有许多种,几种常用的 BCD 码如表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用的 BCD 码

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

8421BCD 码是一种最常用的 BCD 码,它的四位二进制数各位的权从左至右分别为 8、4、2、1,而且每个代码的十进制数恰好就是它所代表的十进制数。8421BCD 码是一种有权码。例如:

$$(276.4)_{10} = (001001110110.0100)_{8421BCD}$$

余 3 码是在每组 8421BCD 码上加 0011 形成的,若把余 3 码的每组代码看成 4 位二进制数,那么每组代码均比相应的十进制数多 3,故称为余 3 码。例如:

$$(56)_{10} = (01010110)_{8421BCD} = (10001001)_{\text{余3码}}$$

BCD 码解决了人们习惯使用十进制计数和数字逻辑系统只能处理二值信息之间的



矛盾。

2. 可靠性代码

(1) 奇偶校验码

奇偶校验码是计算机常用的一种可靠性编码,其主要用途是检查数据传送过程中数码1(或0)的个数的奇偶性是否整整。奇偶校验码由信息位和校验位两部分组成。信息位就是要传送的二进制信息,校验位仅有一位,可以放在信息位的前面或者后面。

当信息位的代码中有奇数个1时,校验位为0,有偶数个1时校验位为1,即每一码组中信息位和校验位的1的个数之和总为奇数,称为奇校验码。

当信息位的代码中有偶数个1时,校验码为0,有奇数个1时校验码为1,即每一码组中信息位和校验位的1的个数之和总为偶数,称为偶校验码。奇偶校验只能检测出一位错码,但无法测定哪一位出错,也不能自行纠正错误。若两位同时出现错误,则奇偶校验码无法检测出错误,但这种出错概率极小,且奇偶校验码容易实现,故被广泛应用。

(2) 格雷码(葛莱码、循环码)

格雷码是按照相邻性原则编排的无权码,即任意两个相邻的代码只有一位二进制数不同,而且首尾两个码也具有相邻性,所以格雷码也称循环码。

3. ASCII 码

在数字电路设备特别是计算机中,除了需要传送数字,常常还需要传送如字母、字符以及控制信号等这样的信息,因此,就需要采用一种符号——数字编码。目前最普遍采用的是美国标准信息交换码——ASCII码。

1.2 逻辑函数与逻辑运算

1.2.1 算术运算与逻辑运算

1. 算术运算

当两个二进制数码表示两个数量大小时,它们之间可以进行数值运算,这种运算称为算术运算。其运算方法与十进制的运算方法相同,规则是相邻两位数值之间的进位规则为“逢二进一”。例如:

$$(1001)_2 + (0011)_2 = (1100)_2 \quad (1001)_2 - (0011)_2 = (0110)_2$$

$$(1001)_2 \times (0011)_2 = (11011)_2 \quad (1001)_2 \div (0011)_2 = (0011)_2$$

在数字电路中,带符号的数码表示方法主要包括两部分:一是符号位,二是数值位。最高位的数码表示符号位。规定:正数的最高位用0表示,负数的最高位用1表示。带符号二进制数有3种表示方法:原码表示法、反码表示法、补码表示法。

(1) 原码表示法

最高位为符号位,其余 $n-1$ 位表示数的绝对值。 N 位二进制原码所能表示的十进制数范围为 $-(2^{N-1}-1) \sim +(2^{N-1}-1)$ 。