

423

TN77-43

1-51

教育部高职高专规划教材

数字电路与逻辑设计

胡 锦 主编

李中发 赵 欢 副主编



A1026233

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部高职高专规划教材。全书在内容上对数字电路与数字逻辑课程内容进行了整合优化,从应用角度出发介绍了数字电路的基本知识、逻辑分析与设计的基本方法及中大规模集成电路的应用。

全书共分八章,包括逻辑代数基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形电路、数模及模数转换器、大规模数字集成电路。附录部分的实验和实践环节介绍了与本教材相配套的常用仪器与设备的使用方法、数字电路实验及课程设计。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的计算机专业、通信专业、电子类专业的教材,也可供有关专业技术人员参考使用,或作为自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路与逻辑设计/胡锦涛主编. —北京: 高等教育出版社, 2002. 8

教育部高职高专教材

ISBN 7-04-010834-8

I. 数… II. 胡… III. ①数字电路—高等学校: 技术学校—教材 ②逻辑电路—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 (2002) 第 042734 号

数字电路与逻辑设计
胡锦涛 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 17.75
字 数 420 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 20.70 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

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

前 言

本书是教育部高职高专规划教材。全书在内容上对数字电路与数字逻辑课程内容进行了整合优化,从应用角度出发介绍了数字电路的基本知识、逻辑分析与设计的基本方法及中大规模集成电路的应用。

全书共分八章,第1章为逻辑代数基础,介绍数制与几种常用的编码,逻辑代数的基本概念、公式和有关规则,逻辑函数的表示方法及化简方法,是本书的理论基础。第2章为逻辑门电路,介绍晶体管、场效应管的开关特性,从应用角度出发分别介绍了分立元件门电路、TTL集成门电路、CMOS集成门电路及应用注意事项,是本课程的硬件基础。第3章为组合逻辑电路,在前两章的基础上主要介绍组合逻辑电路的分析与设计方法,译码器、编码器、全加器、比较器、数据选择器和数据分配器等常用组合逻辑电路及其用法。第4章为集成触发器,主要分析基本RS触发器和时钟触发器的逻辑功能,介绍了不同结构形式的触发器的原理、应用及其相互转换,是时序逻辑电路的基础。第5章为时序逻辑电路,主要介绍时序逻辑电路的分析方法,重点介绍计数器、寄存器、顺序脉冲发生器的工作原理及其应用,简要介绍时序逻辑电路的设计方法。第6章为脉冲波形的产生和整形电路,着重介绍了集成555定时器的应用。第7章为数模、模数转换器,介绍了数模、模数转换的基本原理及它们的应用。第8章为大规模集成数字电路,主要介绍了ROM、RAM、PLD的基本工作原理及应用。附录部分的实验和实践环节介绍了与本教材相配套的常用仪器与设备的使用方法、数字电路实验及课程设计。

本书充分体现了高职高专教育的特点,以应用为宗旨,强调理论与实践相结合。编写原则是:由浅入深,通俗易懂,便于自学,力争做到“讲、学、做”统一协调,重点和难点采取阐述与比喻相结合、例题与习题相结合、实例与实验相结合。针对本课程实践性强的特点,增加了与本教材相应的实践环节教学内容。

本书是在教育部“高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”(项目编号Ⅲ31-1)课题组和高等教育出版社指导下编写完成的。全书由胡锦涛同志任主编,李中发同志、赵欢同志任副主编。其中第1、2章及附录由李中发同志执笔,第3章至第6章由胡锦涛同志执笔,第7章由赵欢同志执笔,第8章由徐熙文同志执笔,胡锦涛同志负责全书的统稿。参加编写和录入工作的还有杨华、谭立安、蒋寿生等同志。

梁先宇教授担任本书主审;湖南计算机高等专科学校、南京电力高等专科学校、长沙电力学院、邵阳高等专科学校等项目课题组院校对本书的编写给予了大力支持和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中错漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2001年11月于岳麓山

目 录

绪论	(1)	2.4 CMOS 集成门电路	(52)
第 1 章 逻辑代数基础	(3)	2.4.1 CMOS 反相器	(52)
1.1 数制与编码	(3)	2.4.2 其它类型的 CMOS 逻辑门电路	(53)
1.1.1 数制	(3)	2.4.3 CMOS 电路的特点和使用	(56)
1.1.2 数制转换	(4)	本章小结	(58)
1.1.3 编码	(6)	思考题与习题	(58)
1.2 基本概念、公式和定理	(9)	第 3 章 组合逻辑电路	(62)
1.2.1 三种基本逻辑关系	(9)	3.1 概述	(62)
1.2.2 基本公式、定理和常用规则	(13)	3.1.1 组合逻辑电路的分析	(62)
1.3 逻辑函数的化简	(16)	3.1.2 组合逻辑电路的设计	(64)
1.3.1 逻辑函数的标准与或式和最简式	(16)	3.1.3 组合逻辑电路设计举例	(66)
1.3.2 逻辑函数的公式化简法	(19)	3.2 编码器和译码器	(70)
1.3.3 逻辑函数的图形化简法	(21)	3.2.1 编码器	(70)
1.3.4 具有无关项的逻辑函数的化简	(25)	3.2.2 编码器的用法	(74)
1.4 逻辑函数的表示方法及相互转换	(27)	3.2.3 译码器	(75)
1.4.1 几种逻辑函数的表示方法	(27)	3.2.4 译码器的用法	(81)
1.4.2 逻辑函数几种表示方法之间的转换	(29)	3.3 加法器和数值比较器	(83)
本章小结	(31)	3.3.1 加法器	(83)
思考题与习题	(32)	3.3.2 加法器的用法	(84)
第 2 章 集成逻辑门电路	(36)	3.3.3 数值比较器	(86)
2.1 半导体器件的开关特性	(36)	3.3.4 数值比较器的用法	(88)
2.1.1 半导体二极管的开关特性	(36)	3.4 数据选择器和数据分配器	(88)
2.1.2 双极型三极管的开关特性	(38)	3.4.1 数据选择器	(88)
2.1.3 场效应管的开关特性	(40)	3.4.2 数据选择器的用法	(89)
2.2 分立元器件门电路	(41)	3.4.3 数据分配器	(92)
2.2.1 二极管门电路	(41)	3.4.4 数据分配器的用法	(92)
2.2.2 三极管门电路	(43)	3.5 组合逻辑电路中的竞争冒险	(93)
2.2.3 正逻辑和负逻辑	(44)	3.5.1 竞争冒险的概念及产生的原因	(93)
2.3 TTL 集成门电路	(45)	3.5.2 竞争冒险的识别与消除方法	(94)
2.3.1 TTL 与非门	(45)	本章小结	(94)
2.3.2 其它类型的 TTL 门电路	(47)	思考题与习题	(95)
2.3.3 TTL 集成逻辑门的使用	(51)	第 4 章 集成触发器	(98)
		4.1 基本 RS 触发器	(98)
		4.1.1 概述	(98)
		4.1.2 基本 RS 触发器	(98)

4.1.3 集成基本触发器	(101)	本章小结	(156)
4.2 时钟触发器	(103)	思考题与习题	(157)
4.2.1 同步 RS 触发器	(103)	第 6 章 脉冲波形的产生和整形	(160)
4.2.2 主从 CMOS 边沿 D 触发器 (CC4013)	(105)	6.1 概述	(160)
4.2.3 维持阻塞 D 触发器(74LS74)	(106)	6.1.1 矩形脉冲的基本特性	(160)
4.2.4 负边沿 JK 触发器	(108)	6.1.2 555 定时器	(161)
4.2.5 T 触发器和 T' 触发器	(110)	6.2 多谐振荡器	(162)
4.3 触发器逻辑功能分类及相互 转换	(111)	6.2.1 555 定时器构成的多谐振荡器	(162)
4.3.1 触发器逻辑功能分类	(111)	6.2.2 其它多谐振荡器	(163)
4.3.2 不同类型时钟触发器间的转换	(112)	6.2.3 多谐振荡器的应用	(165)
4.4 触发器的选用	(113)	6.3 施密特触发器	(167)
4.4.1 触发器的合理选用	(113)	6.3.1 555 定时器构成的施密特触 发器	(167)
4.4.2 触发器的参数和指标	(113)	6.3.2 集成施密特触发器	(168)
4.4.3 触发器使用的注意事项	(114)	6.3.3 施密特触发器的应用	(169)
本章小结	(114)	6.4 单稳态触发器	(170)
思考题与习题	(115)	6.4.1 555 定时器构成的单稳态触 发器	(170)
第 5 章 时序逻辑电路	(119)	6.4.2 集成单稳态触发器	(171)
5.1 概述	(119)	6.4.3 单稳态触发器的应用	(172)
5.1.1 时序逻辑电路的特点	(119)	本章小结	(173)
5.1.2 时序电路逻辑功能表示方法	(120)	思考题与习题	(173)
5.2 时序逻辑电路的分析方法	(121)	第 7 章 数模、模数转换器	(176)
5.2.1 分析步骤	(121)	7.1 概述	(176)
5.2.2 分析举例	(122)	7.2 D/A 转换器	(177)
5.3 计数器	(124)	7.2.1 权电阻网络型 D/A 转换器	(177)
5.3.1 异步计数器	(124)	7.2.2 T 型电阻网络型 D/A 转换器	(178)
5.3.2 同步计数器	(131)	7.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	(179)
5.3.3 N 进制计数器	(137)	7.3 A/D 转换器	(181)
5.3.4 计数器的应用	(140)	7.3.1 采样、保持与量化、编码	(181)
5.4 寄存器	(141)	7.3.2 计数器式 A/D 转换器	(183)
5.4.1 基本寄存器	(141)	7.3.3 逐次逼近式 A/D 转换器	(183)
5.4.2 移位寄存器	(142)	7.3.4 双积分式 A/D 转换器	(184)
5.4.3 寄存器的应用	(145)	7.3.5 并行比较式 A/D 转换器	(186)
5.5 顺序脉冲发生器	(149)	7.3.6 A/D 转换器的主要技术指标	(186)
5.5.1 计数器型顺序脉冲发生器	(150)	7.4 D/A 和 A/D 转换器应用举例	(187)
5.5.2 移位型顺序脉冲发生器	(151)	7.4.1 DAC0832 的应用	(187)
5.6 时序逻辑电路的设计方法	(152)	7.4.2 ADC0809 的应用	(190)
5.6.1 基本设计步骤	(152)	本章小结	(193)
5.6.2 设计举例	(153)	思考题与习题	(193)

第 8 章 大规模集成数字电路	(194)	F.2.3 电路故障的检测与排除	(222)
8.1 概述	(194)	F.2.4 数字电路设计举例	(226)
8.1.1 大规模集成电路的发展	(194)	F.3 数字电路实验	(231)
8.1.2 大规模集成电路的分类	(194)	F.3.1 仪器使用和门电路测试	(231)
8.2 存储器及其应用	(195)	F.3.2 组合逻辑电路的设计与调试	(233)
8.2.1 固定只读存储器 ROM	(195)	F.3.3 加法器应用电路的设计与调试	(234)
8.2.2 ROM 的应用	(198)	F.3.4 编码器和译码器应用电路的 设计与调试	(235)
8.2.3 随机存取存储器 RAM	(201)	F.3.5 数据选择器和数据分配器应用 电路的设计与调试	(237)
8.2.4 RAM 的应用	(202)	F.3.6 触发器逻辑功能测试及其简单 应用	(238)
8.3 可编程逻辑器件 PLD	(204)	F.3.7 时序逻辑电路的测试	(240)
8.3.1 PLD 的基本结构	(204)	F.3.8 时序逻辑电路的设计与测试	(242)
8.3.2 PLD 的分类	(205)	F.3.9 <i>N</i> 进制计数器的设计与测试	(243)
8.3.3 PLA 应用	(206)	F.3.10 计数器应用电路的设计与测试	(244)
8.3.4 PLD 设计过程简介	(207)	F.3.11 移位寄存器	(247)
8.4 语音芯片及其应用	(208)	F.3.12 555 定时器应用电路的设计与 测试	(249)
8.4.1 语音芯片的分类、特点、用途	(208)	F.4 数字电子技术课程设计	(250)
8.4.2 语音芯片的应用	(209)	F.4.1 数字电子钟	(250)
本章小结	(210)	F.4.2 交通信号灯	(253)
思考题与习题	(211)	F.4.3 数字频率计	(257)
附录 实验和实践环节	(212)	F.4.4 智力竞赛抢答器	(261)
F.1 常用仪器与设备的使用方法	(212)	F.5 EWB 应用简介	(265)
F.1.1 数字实验仪	(212)	F.5.1 EWB 简介	(265)
F.1.2 数字万用表	(213)	F.5.2 EWB 应用举例	(268)
F.1.3 逻辑笔	(214)	参考文献	(272)
F.1.4 示波器	(214)		
F.2 数字电路设计的基础知识	(215)		
F.2.1 数字电路一般设计方法	(215)		
F.2.2 数字电路的调试	(218)		

绪 论

1. 数字电路和模拟电路

工程上把电信号分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号指在时间上和数值上都是连续变化的信号,如温度、压力、速度、磁场、电场等物理量通过传感器变成的电信号,模拟语音的音频信号和模拟图像的视频信号等。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路,如放大器、滤波器、信号发生器等。另一类是时间和幅度都是离散的(不连续)信号,称为数字信号。如生产中自动记录零件个数的计数信号,由计算机键盘输入计算机的信号等。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路,如数字钟、数字万用表等都是由数字电路组成的。

2. 数字电路的特点

由于数字电路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,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,它具有如下特点:

(1) 数字电路在稳态时,二极管和三极管处于开关状态。开关的接通和断开两种状态,用二极管或三极管的导通与截止来实现。这和二进制信号的要求是相对应的,因为导通和截止两种状态的外部表现正是电流的有、无,电压的高、低,这种有和无、高和低相对立的两种状态,分别用1和0两个数码来表示。

(2) 因为数字信号中的1和0没有任何数量的含义,只表示两种不同的状态罢了。所以在数字电路的基本单元电路中,对元件的精度要求不高,允许有较大的误差,电路在工作时只要能可靠地区分开1和0两种状态就可以了。

(3) 对于数字电路,人们关心和研究的主要问题是输入信号的状态与输出信号的状态之间的逻辑关系。

(4) 因研究内容不同,数字电路中不能采用模拟电路的分析方法,而是以逻辑代数作为主要工具,利用真值表、逻辑表达式、波形图等来表示电路的逻辑功能,所以数字电路又称逻辑电路。

(5) 数字电路不仅具有逻辑运算能力,还具有逻辑推理和逻辑判断能力,因此,人们才能制造出各种数控装置、智能仪表以及数字电子计算机等现代化的科技产品,使其得到广泛的应用。

3. 数字电路的常用类型

最基本的数字电路是由二极管、三极管、电阻、电容等电子元器件组成。随着集成电路的飞速发展,已有小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成数字电路,目前已生产出功能块性质的数字集成电路。集成电路从应用的角度可分为通用型和专用型两大类。通用型是指已被定型的标准化的产品,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,具有特定的复杂而完整功能的功能块型产品,只适用于专用的数字设备。数字电

路根据所用器件制作工艺的不同,大致可分为双极型(TTL型)和单极型(MOS型)两类。

4. 数字逻辑电路的研究方法

数字逻辑电路的研究有两个主要任务:一是分析,二是设计。随着集成电路技术的飞跃发展,数字逻辑电路的分析和设计方法在不断发生变化。但不管怎样变化,用逻辑代数作为基本理论的传统方法仍不失为逻辑电路分析和设计的基本方法。传统方法建立在小规模集成电路基础上,它以技术经济指标作为评价一个设计方案优劣的主要性能指标,设计时追求的是如何使一个电路中的逻辑门和连线数目最少。而在时序逻辑电路设计时,则通过状态化简和逻辑函数化简,尽可能使电路中的触发器,逻辑门和连线数最少。但是一个最简的方案不等于一个最佳的方案,最佳方案应满足全面的性能指标和实际应用要求。所以,在传统方法求出一个实现预定功能的最简结构之后,往往要根据实际情况进行相应调整。

尽管传统的分析和设计方法至今仍是一种最成熟、最基本的方法,但由于中、大规模集成电路的不断发展,使芯片内部容纳的逻辑器件越来越多,因而,实现某种逻辑功能所需要的门和触发器不再成为影响经济指标的突出问题。如何用各种廉价的中、大规模集成组件去构造满足各种功能的经济合理的电路,这无疑给设计应用人员提出了新的更高的要求。要适应这种要求就必须充分了解各种器件的逻辑结构和外部特性,做到合理选择器件,充分利用每一个已选器件的功能,用灵活多变的方法完成各类电路或功能模块的设计。此外,各类可编程逻辑器件(PLD)的出现,给逻辑设计带来了一种全新的方法。人们不再用常规硬线连接的方法去构造电路,而是借助丰富的计算机软件对器件进行编程烧录来实现各种逻辑功能,这给逻辑设计带来了极大的方便。

第 1 章 逻辑代数基础

1.1 数制与编码

1.1.1 数制

数字电路中经常遇到计数问题。在日常生活中,人们习惯于采用十进制数。在数字电路中一般采用二进制数,有时也采用八进制数和十六进制数。对于任何一个数,可以用不同的进位制来表示。

1. 十进制数

十进制数有 10 个数字符号,即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。任何一个数都可以用这 10 个数字符号按一定规律并列在一起来表示,由低位向高位进位是“逢十进一”,这就是十进制的特点。

某种进位制所具有的数字符号的个数称为该进位制的基数,某种进位制的数中不同位置上数字的单位数值称为该进位制的位权或权。十进制的基数为 10,十进制数中第 i 位上数字的权为 10^i 。基数和权是进位制的两个要素,利用基数和权,可以将任何一个数表示成多项式的形式。例如,十进制的 603.85 可以表示成:

$$603.85 = 6 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

一般地,任何一个十进制数 N 可以表示为:

$$(N)_{10} = (a_{n-1} a_{n-2} \cdots a_1 a_0 . a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m})_{10}$$

这种表示方法称为并列表示法。

或表示为:

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

式中, n 表示整数部分的位数, m 表示小数部分的位数,10 表示基数, 10^i 为第 i 位的权, K_i 表示各个数字符号。

这种表示方法称为多项式表示法或按权展开式。

2. 二进制数

在数字电路中,常用二进制来表示数和进行运算。采用二进制具有以下优点:

- ① 二进制的基数为 2,只有 0 和 1 两个数字符号,容易用物理状态来表示。
- ② 二进制运算规则简单,其进位规则是“逢二进一”,便于进行算术运算。
- ③ 采用二进制来表示数可以节省设备,其运算逻辑电路的设计也比较方便。

任何一个二进制数 N 可以表示为:

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

利用上式可以将任何一个二进制数转换为十进制数。

[例 1.1.1] 将二进制数 10101.01 转换为十进制数。

$$(10101.01)_2 = (1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2})_{10} = (21.25)_{10}$$

3. 八进制数

二进制数的缺点是当位数很多时不便于书写和记忆,容易出错。因此,在数字电子计算机的资料中通常采用二进制的缩写形式:八进制数和十六进制数。

八进制的基数为 8,采用的 8 个数字符号为 0、1、2、3、4、5、6、7,进位规则为“逢八进一”。任何一个八进制数 N 可以表示为:

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 8^i$$

利用上式可以将任何一个八进制数转换为十进制数。

[例 1.1.2] 将八进制数 735.4 转化为十进制数。

$$(735.4)_8 = (7 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1})_{10} = (477.5)_{10}$$

4. 十六进制数

十六进制的基数为 16,采用的 16 个数字符号为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F,其中字母 A、B、C、D、E、F 分别代表十进制数 10、11、12、13、14、15,进位规则为“逢十六进一”。任何一个十六进制数 N 可以表示为:

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 16^i$$

利用上式可以将任何一个十六进制数转换为十进制数。

[例 1.1.3] 将十六进制数 5DF.8 转化为十进制数。

$$(5DF.8)_{16} = (5 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1})_{10} = (1503.5)_{10}$$

1.1.2 数制转换

1. 二进制数与八进制数之间的相互转换

由于一位八进制的 8 个数字符号正好相应于三位二进制数的 8 种不同组合,所以八进制与二进制之间有简单的对应关系:

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与二进制之间进行数的转换。

由二进制转换为八进制的方法是: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,每三位分成一组,头尾不足三位的补 0,然后将每组的三位二进制数转换为一位八进制数。

[例 1.1.4] 将二进制数 11101110.0101 转换为八进制。

$$\begin{array}{cccccc} \underline{011} & \underline{101} & \underline{110} & . & \underline{010} & \underline{100} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 5 & 6 & . & 2 & 4 \end{array}$$

所以, $(11101110.0101)_2 = (356.24)_8$

将八进制转换为二进制,只要将每一位八进制数用三位二进制数表示即可。

[例 1.1.5] 将八进制数 251.36 转换为二进制。

$$\begin{array}{cccccc} 2 & 5 & 1 & . & 3 & 6 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ \underline{010} & \underline{101} & \underline{001} & . & \underline{011} & \underline{110} \end{array}$$

所以, $(251.36)_8 = (10101001.01111)_2$

2. 二进制数与十六进制数之间的相互转换

由于一位十六进制的 16 个数字符号正好相应于四位二进制数的 16 种不同组合,所以十六进制与二进制之间有简单的对应关系。利用这种对应关系,可以很方便地在十六进制与二进制之间进行数的转换。

[例 1.1.6] 将二进制数 1101101101.0100101 转换为十六进制数。

$$\begin{array}{ccccc} \underline{0011} & \underline{0110} & \underline{1101} & . & \underline{0100} & \underline{1010} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 6 & D & & 4 & A \end{array}$$

所以, $(1101101101.0100101)_2 = (36D.4A)_{16}$

[例 1.1.7] 将十六进制数 4FA.C6 转换为二进制数。

$$\begin{array}{ccccc} 4 & F & A & . & C & 6 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ \underline{0100} & \underline{1111} & \underline{1010} & . & \underline{1100} & \underline{0110} \end{array}$$

所以, $(4FA.C6)_{16} = (10011111010.1100011)_2$

3. 其它进制数转换为十进制数

将二进制、八进制、十六进制数转换为十进制数的方法如前所述,这里不再重复。

4. 十进制数转换为其它进制数

将十进制整数转换为其它进制数一般采用基数除法,也称为除基取余法。设将十进制整数转换为 N 进制数,其方法是将十进制整数连续除以 N 进制的基数 N ,求得各次的余数,然后将各余数换成 N 进制中的数字符号,最后按照并列表示法将先得到的余数列在低位、后得到的余数列在高位即得 N 进制的整数。

[例 1.1.8] 将十进制整数 44 分别转换为二进制、八进制和十六进制数。

2	44	余数	↑	低位
2	22	0=K ₀		
2	11	0=K ₁		
2	5	1=K ₂		
2	2	1=K ₃		
2	1	0=K ₄		
	0	1=K ₅		↑
				高位

所以, $(44)_{10} = (101100)_2$

8	44	余数	↑	低位
8	5	4=K ₀		
	0	5=K ₁		↑
				高位

所以, $(44)_{10} = (54)_8$

$$\begin{array}{r|l}
 16 & 44 \\
 16 & \underline{2} \\
 & 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{余数} \\
 12 = K_0 \\
 2 = K_1
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \uparrow \text{低位} \\
 \text{高位}
 \end{array}$$

由于 $(12)_{10} = (C)_{16}$, 所以, $(44)_{10} = (2C)_{16}$

将十进制小数转换为其它进制数一般采用基数乘法, 也称为乘基取整法。例如, 将十进制小数转换为 N 进制数, 其方法是将十进制小数连续乘以 N 进制的基数 N , 求得各次乘积的整数部分, 然后将各整数换成 N 进制中的数字符号, 最后按照并列表示法将先得到的整数列在高位、后得到的整数列在低位即得 N 进制的小数。

[例 1.1.9] 将十进制小数 0.6875 分别转换为二进制、八进制和十六进制数。

$$\begin{array}{r|l}
 0.6875 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.3750 \\
 0.3750 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.7500 \\
 0.7500 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.5000 \\
 0.5000 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.0000
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{整数} \\
 1 = K_{-1} \\
 \\
 0 = K_{-2} \\
 \\
 1 = K_{-3} \\
 \\
 1 = K_{-4}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{高位} \\
 \downarrow \\
 \text{低位}
 \end{array}$$

所以, $(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$

$$\begin{array}{r|l}
 0.6875 \\
 \times 8 \\
 \hline
 5.5000 \\
 0.5000 \\
 \times 8 \\
 \hline
 4.0000
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{整数} \\
 5 = K_{-1} \\
 \\
 4 = K_{-2}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{高位} \\
 \downarrow \\
 \text{低位}
 \end{array}$$

所以, $(0.6875)_{10} = (0.54)_8$

$$\begin{array}{r|l}
 0.6875 \\
 \times 16 \\
 \hline
 11.0000
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{整数} \\
 11 = K_{-1}
 \end{array}$$

由于 $(11)_{10} = (B)_{16}$, 所以, $(0.6875)_{10} = (0.B)_{16}$

1.1.3 编码

数字电路中处理的信息除了数值信息外, 还有文字、符号以及一些特定的操作(例如表示确认的回车操作)等。为了处理这些信息, 必须将这些信息也用二进制的数字符号来表示。这些特定的二进制数字符号称为这些信息的代码。这些代码的编制过程称为编码。

1. 二-十进制编码(BCD 码)

在数字电子计算机中, 十进制数除了转换成二进制数参加运算外, 还可以直接用十进制数进行输入和运算。其方法是将十进制的 10 个数字符号分别用四位二进制代码来表示, 这种编码称为二-十进制编码, 也称 BCD 码。BCD 码有很多种形式, 常用的有 8421 码、余 3 码、2421 码、

5421 码等,如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 常用 BCD 码

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

(1) 8421 码

在 8421 码中,10 个十进制数字符号与自然二进制数一一对应,即用二进制数的 0000~1001 来分别表示十进制数的 0~9。8421 码是一种有权码,各位的权从左到右分别为 8、4、2、1,所以根据代码的组成便可知道代码所代表的值。设 8421 码的各位为 $a_3 a_2 a_1 a_0$,则它所代表的值为:

$$N = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

8421 码与十进制数之间的转换只要直接按位转换即可。例如:

$$(901.73)_{10} = (1001\ 0000\ 0001.0111\ 0011)_{\text{BCD}}$$

$$(0110\ 0101\ 1000.0100\ 0010)_{\text{BCD}} = (658.42)_{10}$$

8421 码只利用了四位二进制数的 16 种组合 0000~1111 中的前 10 种组合 0000~1001,其余 6 种组合 1010~1111 是无效的。从 16 种组合中选取 10 种组合方式的不同,可以得到其它二十进制码,如 2421 码、5421 码、余 3 码等。

(2) 2421 码

2421 码也是一种有权码,各位的权从左到右分别为 2、4、2、1。设 2421 码的各位为 $a_3 a_2 a_1 a_0$,则它所代表的值为:

$$N = 2a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

需要指出的是,2421 码的编码方案不止一种,表 1-1-2 中给出的只是其中的一种方案。

(3) 余 3 码

余 3 码由 8421 码加 3(0011)得来的,这是一种无权码。一个十进制数用余 3 码表示时,只要按位表示成余 3 码即可。例如:

$$(83.06)_{10} = (1011\ 0110.0011\ 1001)_{\text{余3码}}$$

2. 可靠性编码

代码在形成和传输过程中,难免因干扰的存在而发生错误。为了尽可能减少错误的发生,或者在错误发生后能及时发现和纠正,在工程应用中普遍采用可靠性编码技术。格雷码、奇偶校验码是常用的简单可靠性编码。

(1) 格雷码

格雷码有多种编码形式,但所有的格雷码都有一个共同的特点:即从一个代码变为相邻的另一个代码时只有一位发生变化。表 1-1-2 所示给出了一种典型格雷码与十进制码及二进制码的对应关系。

表 1-1-2 典型格雷码与十进制码及二进制码的对应关系

十进制码	二进制码	格雷码	十进制码	二进制码	格雷码
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

由表 1-1-2 可以看出,不仅两个相邻的格雷码之间只相差一位数码,而且整个 4 位二进制码的首、尾格雷码之间也只相差一位数码,所以格雷码又称循环码。

其它编码方法表示的数码,在递增或递减过程中可能发生多位数码的变化。例如,8421 BCD 码表示的十进制数,从 7(0111)递增到 8(1000)时,4 位数码均发生了变化。由于数字电路中多位数码同时发生变化是不可能的,所以在变化过程中就会出现短暂的粗大错误。如第一位先变为 1,然后再其它位变为 0,就会出现从 0111 变到 1111 的粗大错误。而格雷码由于其任何两个代码(包括首、尾)均只差一位数码,所以用格雷码表示的数在递增或递减过程中不易产生差错。

格雷码也可用作二-十进制编码,如表 1-1-3 所示给出了十进制数的两种格雷码。其中修改格雷码也具有循环性,即十进制数的首、尾两个数(0 与 9)的格雷码也有一位不同。

表 1-1-3 十进制数的两种格雷码

十进制码	典型格雷码	修改格雷码	十进制码	典型格雷码	修改格雷码
0	0000	0010	5	0111	1100
1	0001	0110	6	0101	1101
2	0011	0111	7	0100	1111
3	0010	0101	8	1100	1110
4	0110	0100	9	1101	1010

(2) 奇偶校验码

二进制信息在传送、存储过程中,可能会发生错误,即有的 1 错成 0,或者有的 0 错成 1。奇偶校验码是一种能检查出这类错误的可靠性编码。表 1-1-4 所示为 8421 BCD 码的奇校验码和偶校验码。

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信息本身,可以是位数不限的二进制代码。例如,并行传送 8421 BCD 码,信息位就是 4 位;校验位是根据规定算法求得并附加在信息位后的冗余位。

表 1-1-4 8421 BCD 码的奇校验码和偶校验码

十进制数	奇校验码		偶校验码	
	信息位	校验位	信息位	校验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

奇偶校验码分为奇校验和偶校验两种。校验位产生的规则是:对于奇校验,若信息位中有奇数个 1,则校验位为 0,若信息位中有偶数个 1,则校验位为 1;对于偶校验,若信息位中有奇数个 1,则校验位为 1,若信息位中有偶数个 1,则校验位为 0。也即通过调节校验位的 0 或 1,使得整个代码中 1 的个数恒为奇数或者恒为偶数。

接收方对收到的加有校验位的代码进行校验,若信息位和校验位中 1 的个数的奇偶性符合约定的规则,则认为信息没有发生错误,否则可以确定信息已经出错。

奇偶校验码算法简单,实现容易,在计算机中有着广泛的应用。但奇偶校验码只能发现代码一位(或奇数位)出错,不能发现两位(或偶数位)出错。由于两位或两位以上出错的几率相当小,所以奇偶校验码用来检测代码在传送过程中的错误是相当有效的。

奇偶校验码只能发现一位出错,但不能定位错误,因而也就不能纠正错误。汉明校验码就是一种既能发现错误又能定位错误的可靠性编码,汉明校验的基础是奇偶校验,可以看成是多重的奇偶校验码,这里不再介绍。感兴趣的读者可查阅有关资料。

1.2 基本概念、公式和定理

1.2.1 三种基本逻辑关系

在客观世界中,事物的发展变化通常都是有一定因果关系的。电灯的亮与灭决定于电源是否接通,如果电源接通了,电灯就会亮,否则就灭。这里电源接通与否是因,电灯亮与不亮是果。这种因果关系,一般称为逻辑关系,反映和处理逻辑关系的数学工具,就是逻辑代数。逻辑代数又叫布尔代数或开关代数。

因为数字电路的输出信号与输入信号之间的关系就是逻辑关系,所以数字电路的工作状态可以用逻辑代数来描述。

逻辑代数和普通代数一样,用字母代表变量。逻辑代数的变量称为逻辑变量。和普通代数不同的是,逻辑变量只有两种取值,并用二元常量 0 和 1 来表示。注意逻辑代数中的 0 和 1 并不

表示数量的大小,而是表示两种对立的逻辑状态,如是和非、真和假、高和低、有和无、开和关等。

在客观世界中,最基本的逻辑关系只有与逻辑关系、或逻辑关系和非逻辑关系 3 种,所以逻辑代数中变量的运算也只有与运算、或运算和非运算 3 种基本逻辑运算。其它任何复杂的逻辑运算都可以用这 3 种基本逻辑运算来实现。

1. 与逻辑关系

只有当决定一件事情的所有条件全部具备时,这件事情才会发生,这样的逻辑关系称为与逻辑关系。

实际生活中与逻辑关系的例子很多。例如,在图 1-2-1(a)所示的电路中,电池 E 通过开关 A 和 B 向灯 Y 供电,只有 A 与 B 都闭合时,灯 Y 才会亮; A 和 B 中只要有一个不闭合或二者均不闭合时,灯 Y 不亮。所以对灯亮来说,开关 A 、 B 闭合是与逻辑关系。这一关系可以用表 1-2-1 所示的功能表来表示。

如果用二元常量 0 和 1 来表示图 1-2-1(a)所示电路的逻辑关系,把开关 A 、 B 和灯 Y 分别用 A 、 B 和 Y 表示,并用 0 表示开关断开和灯灭,用 1 表示开关闭合和灯亮,则可以得到表 1-2-2 所示的表格。这种用字母表示开关和电灯的过程称为设定变量,用二元常量 0 和 1 表示开关和电灯有关状态的过程称为状态赋值,经过状态赋值得到的反映开关状态和电灯亮灭之间逻辑关系的表格称为逻辑真值表,简称真值表。

由表 1-2-2 可知, Y 与 A 、 B 之间的关系是:只有当 A 和 B 都是 1 时, Y 才为 1;否则 Y 为 0。这一关系可用逻辑表达式表示为:

$$Y = A \cdot B$$

式中小圆点“ \cdot ”表示 A 、 B 的与运算,与运算又叫逻辑乘,通常与运算符“ \cdot ”可以省略。上式读作“ Y 等于 A 与 B ”,或者“ Y 等于 A 乘 B ”。由与运算的逻辑表达式 $Y = A \cdot B$ 或表 1-2-2 所示的真值表,可知与运算的规律是:

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 \cdot 1 = 0 \quad 1 \cdot 0 = 0 \quad 1 \cdot 1 = 1$$

表 1-2-1 图 1-2-1(a)所示电路的功能表

开关 A	开关 B	灯 Y
断开	断开	灭
断开	闭合	灭
闭合	断开	灭
闭合	闭合	亮

表 1-2-2 图 1-2-1(a)所示电路的真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

与运算除用真值表和逻辑表达式表示外,还可用逻辑符号表示,如图 1-2-1(b)、(c)所示,其中图 1-2-1(b)所示为曾用符号,图 1-2-1(c)所示为国家规定的标准符号。

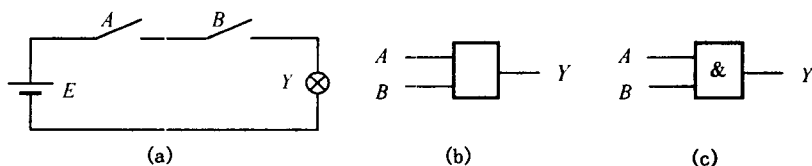


图 1-2-1 与运算的例子和逻辑符号

(a) 电路图 (b) 曾用符号 (c) 国标符号