

数字电子技术



刘昕彤 马文华 郑荣杰 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数字电子技术

主 编 刘昕彤 马文华 郑荣杰

副主编 张艳敏 王建强 罗海兵

内 容 简 介

本书采用项目导入,任务驱动,以及教、学、做一体化的教学模式编写。突出“以学生学为主导,教师教为辅”的职业教育课程改革指导思想,使学生做到“学以致用”。重点培养学生的实践能力,使学生真正掌握逻辑电路的设计、绘图与仿真,将课堂理论教学与实验室的实践教学紧密结合,通过具体的任务实施过程使学生掌握 Multisim 仿真软件的实际应用技能。

本书由 8 个项目构成,涵盖了数字电子技术所有的知识点和 Multisim 仿真软件应用的注意事项。主要涉及基本门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、555 定时器的仿真及应用。

本书可作为高职高专院校电气自动化类、电子信息类和机电一体化类及相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 刘昕彤主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017. 2

ISBN 978 - 7 - 5682 - 3781 - 9

I. ①数… II. ①刘… 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 (2017) 第 044605 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 352 千字

版 次 / 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / .00 元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 高 芳

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Preface

随着信息化、智能化、网络化的发展,数字电子技术应用的领域越来越多,数字电路以其使用简单、方便、成本低、反映速度快等特点受到大家的喜爱。各高等职业院校电类及相关专业纷纷开设了“数字电子技术”课程。但是数字电子技术作为一门专业基础课,使用的教材一般只注重于理论讲解,忽略了实际的应用。本书在结合基本理论的基础上,引入了电路仿真的分析方法,以“理论为主,仿真为辅”的理念来构建教材结构。“理论为主”指的是以数字电子技术的基本理论知识够用和必用为指导思想,除去学习中晦涩难懂的电路内部构造和电路原理等知识,让学生主要学习集成芯片的输入、输出关系和状态转换特性,并根据芯片特点完成规定功能的电路,讲解的重点在于如何应用芯片而不在于电路内部原理。“仿真为辅”指的是借助 Multisim 12 仿真软件,使学生直观清楚地看到集成电路工作时的状态变化,使学生对集成芯片的工作情况能有更深刻的理解。同时为学生自主利用集成芯片设计电路打好基础。

本书将 Multisim 12 仿真引入到数字电路分析、设计的过程中,力图通过直观的 Multisim 仿真实现数字电路的“形象化”描述,通过“直观的”状态变化展示抽象的电路规律。以充分调动学生的形象思维,激发学生学习的兴趣。用 Multisim 12 仿真构建虚拟的实践环境,可弥补真实的实践环境的不足,学生通过仿真,可以充分发挥个人的想象力,锻炼其独立分析问题和解决问题的能力。

本书共分8个项目,基本涵盖了数字电子技术所有的知识点和 Multisim 12 在数字电路中应用时需要注意的问题。其中,项目一主要是学习数字电子技术的基本知识,项目二~项目六这5个项目,每个项目除对数字电路知识的介绍以外,最后一个任务就是对本项目内容的一个总结。项目二主要介绍了门电路的使用,并通过学习门电路来完成八选一编码电路的设计;项目三主要介绍了组合逻辑电路的使用,完成了数码显示电路的设计;项目四是对触发器的学习,完成了四路抢答器的设计;项目五主要是对时序逻辑电路的学习,完成了秒计数器的设计;项目六主要介绍了555定时器的知识,完成了报警电路的设计。项目七主要内容是 Multisim 12 仿真软件在数字电路中的使用方法和常见问题。项目八是对整本书的内容进行总结和提高,综合整本书中出现的知识点,总结并设计了3个通过数字电子技术能实现的电路,并对其进行仿真。在这本书的最后,还附有指导书,内容包括6个数字实验和1个数字实训的任务,教师在平时上课时可以直接使用。本书做到了既有理论知识,又有仿真实践;既直观形象地演示了数字电路的状态,又详细地讲解了数字电路的基本知识。由于仿真实验都是单独作为任务出现的,所



以教师在采用该书讲授数字电子技术时既可以结合仿真软件调动学生的积极性，又可以脱离仿真只讲解基本理论。

本书每个项目都配有相应的练习题和答案，请读者自行参考。本书可作为高职高专院校和成人教育学院电类等相关专业的数字电路教材，也可供科研人员、工程技术人员和数字电路爱好者参考阅读。

河北水利电力学院刘昕彤老师编写项目四、项目七、项目八；马文华老师编写项目六；郑荣杰老师编写项目五；王建强老师编写项目三；张艳敏老师编写项目二；罗海兵老师编写项目一。刘昕彤、马文华、郑荣杰任主编，张艳敏、王建强、罗海兵任副主编，刘昕彤负责全书内容的组织和统稿。此外，河北水利电力学院的刘雅老师参与了部分项目图表的绘制。河北水利电力学院崔海良教授担任主审，并对编写工作提出了很多宝贵的意见，在此表示衷心感谢。

此外，本书在编写过程中，得到了许多同行专家的大力支持和帮助，编者在此谨表谢意。由于编者水平有限且成书仓促，书中难免会有疏漏错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者



目 录 *Contents*

► 项目一 数字电路基础	1
1.1 生活中的数字电路	1
1.2 数字电路入门知识	3
1.3 数制与码制	4
1.4 逻辑代数的基本运算	8
1.5 逻辑代数的公式和运算规则	11
1.6 逻辑函数的表示方法及化简	13
1.7 课堂实验——入室盗窃警报装置	20
► 项目二 八选一信号编码电路的设计	26
2.1 集成逻辑门电路	26
2.2 数字集成电路的应用	32
2.3 课堂实验一：“与、或、非”门逻辑功能仿真测试	35
2.4 课堂实验二：多数表决器的仿真测试	39
2.5 用 Multisim 12 设计八路抢答器的编码电路	41
► 项目三 数码显示电路的设计	47
3.1 使用与非门的组合逻辑	47
3.2 中规模集成电路的应用	50
3.3 课堂实验一：三人表决电路的设计与制作	59
3.4 加法器和比较器	60
3.5 课堂实验二：将 BCD 码转换成余三码	64
3.6 任务：八选一信号编码、译码电路的设计	66
► 项目四 四路抢答电路的设计	71
4.1 锁存器	71
4.2 触发器	76
4.3 任务：四人智力竞赛抢答器	84
► 项目五 秒计数器的设计	89
5.1 时序逻辑电路的基本知识	90

5.2	集成计数器	104
5.3	任意进制计数器的设计	107
5.4	课堂实验一：六进制计数的仿真	111
5.5	移位寄存器	112
5.6	课堂实验二：流水灯	115
5.7	任务：秒进制计数器的设计	116
►	项目六 555 报警电路的设计	122
6.1	555 定时器简介	122
6.2	555 定时器的应用	124
6.3	课堂实验	130
6.4	任务：采用 555 定时器的触摸报警器的制作	134
►	项目七 Multisim 12 仿真软件的应用	138
7.1	Multisim 12 仿真环境	138
7.2	Multisim 12 元件库	152
7.3	Multisim12 在数字电路中的应用	160
►	项目八 Multisim 12 仿真的设计	170
8.1	八路抢答电路设计	170
8.2	电子时钟设计	175
8.3	交通灯的设计	180
►	数字电子技术实验实训指导书	186
	实验规则	187
	实验一 逻辑门电路的测试	188
	实验二 译码显示电路	190
	实验三 数据选择器的设计	193
	实验四 触发器的逻辑功能与应用	196
	实验五 时序逻辑电路	199
	实验六 555 定时器及其应用	202
	《数字电路》实训指导书	204
►	习题答案	209
►	附 录	225
►	参考文献	227

项目一

数字电路基础

项目摘要

数字电路已广泛地应用于各个领域，本项目介绍数字电路的基本知识和应用实例。本项目在介绍数字系统运算的数制（二、八、十、十六进制）与码制（BCD 码、余三码、循环码）的基础上，重点介绍各种常用数字逻辑电路的逻辑功能、逻辑代数的基本逻辑运算、逻辑函数的表示方法、化简及应用。

学习目标

- 掌握数字系统运算的数制与码制；
- 掌握逻辑代数的基本逻辑运算；
- 掌握逻辑函数的表示方法及化简使用方法；
- 培养和提高查阅有关技术资料 and 数字集成电路产品手册的能力。

1.1 生活中的数字电路

当今时代，数字电路已广泛地应用于各个领域，随着以信息技术高速发展为背景的“互联网+”时代的到来，数字生活成为依托互联网和一系列数字科技技术应用的一种广为接受的生活方式，可以方便快捷地带给人们更好的生活体验和工作上的便利。数字生活离不开形形色色的数字电路。

1.1.1 数字电路常见产品

生活中，由数字电路或者主要由数字电路组成的产品比比皆是。比如说，现在几乎每个

人都在使用的手机，就是一个典型的数字电路。它是在以前的模拟手机（传说中的“大哥大”）的基础上发展而来的，具体来说就是用数字电路替代了原来的模拟电路。因为只有数字电路才能做到集成度更高，也才能在手机这样有限的空间内容纳更多的电路，从而实现各种复杂的功能。

再比如说，现在的电视也已经全面步入数字化时代，数字电视与原来的模拟电视相比，无论是画面质量还是频道数都得到了大大的增强与提高。尤其是数字智能电视的推出，使得原本只能单向接收信息的电视观众，可以对节目内容等进行越来越多的个性化定制，这是模拟电视所不可能实现的。

数字电路的另外一个典型的应用就是计算机了，当今世界上所有投入使用的计算机无一例外都是数字计算机。当我们沉迷于“魔兽世界”的时候，当我们发动“极品飞车”的时候，当我们开启“星际争霸”之旅的时候，估计我们很少会有人想到在后台运行的居然是一串串的“0”和“1”的组合，无论游戏进程多么跌宕起伏，也无论游戏场景多么绚丽多彩，居然都是靠着“0”和“1”两个“数字”来实现的，而且居然连个“2”都没有用到。

1.1.2 数字时代的另一个产物——网络

生活在当今社会的人们，尤其是年轻人，已经习惯畅游在网络的世界中了，如果哪一天没有网络，就会“觉得整个世界都不好”了。而就是这个人们已经离不开的网络，其构成也全部是数字化的。

首先，人们上网所能得到的各种各样的信息，包括文字、图片、声音、视频以及各种动画等，无一例外都是以数字的形式存储在遍布世界各地的数字存储器中。这些存储器为人们提供了网上的各种数字资源。

其次，信息之所以能够以极快的速度从存储器传输到客户端，也是因为有了联通世界的数字化网络。这个数字化网络能够快速而高效地传输各种数字信号。

最后，人们用来上网的各种终端设备，如计算机、手机都是由数字电路构成的电子产品。

1.1.3 智能家居

智能家居（英文：smart home, home automation）是以住宅为平台，利用综合布线技术、网络通信技术、安全防范技术、自动控制技术、音视频技术将家居生活有关的设施集成，构建高效的住宅设施与家庭日程事务的管理系统，提升家居安全性、便利性、舒适性、艺术性，并实现环保节能的居住环境。

智能家居之所以能够实现，除了要依托上一小节提到的网络外，很重要的一点就是日常生活中的各种家用电器都应该是嵌入了控制系统的，而这个被嵌入的控制系统（ARM 系统、PLC 系统、单片机系统）也是由数字电路组成的。控制系统接收到数字传感器采集的信号，经过智能家居系统的处理后，再将指令发送给嵌入式控制系统，进而实现家居的智能化控制。

1.2 数字电路入门知识

1.2.1 模拟信号与数字信号

自然界中存在着各种各样、千变万化的物理量，但就其变换规律，不外乎两大类：模拟信号和数字信号。

模拟信号——物理量在时间和数值上均连续的信号。如速度、压力、温度等。话音信号、正弦波信号就是典型的模拟信号。产生、变换、传送、处理模拟信号的电路称为模拟电路。

数字信号——在时间上和数值上均是离散的。如电子表的秒信号、生产线上记录零件个数的记数信号、矩形波、方波信号等就是典型的数字信号。

(1) 数字信号在电路中常表现为突变的电压或电流，如图 1.1 所示的方波信号。

数字信号通常又称为脉冲信号、离散信号，一般来说，数字信号在两个稳定的状态之间做阶跃变化，它有电位型和脉冲型两种：用高、低两个电位信号来表示数字“1”和“0”是电位型表示法，用有无脉冲数字来表示数字“1”和“0”是脉冲型表示法。产生、存储、变换、处理、传达数字信号的电路称为数字电路。

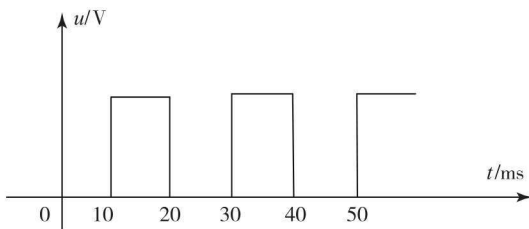


图 1.1 方波信号

(2) 正逻辑与负逻辑。

数字信号是一种二值信号，用两个电平（高电平和低电平）分别来表示两个逻辑值（逻辑 1 和逻辑 0）。在应用时存在两种逻辑体制，分别是正逻辑和负逻辑。正逻辑体制规定：高电平为逻辑 1，低电平为逻辑 0；负逻辑体制规定：低电平为逻辑 1，高电平为逻辑 0。通常，数字电路中采用的是正逻辑体制，图 1.2 所示为采用正逻辑体制表示的逻辑信号。

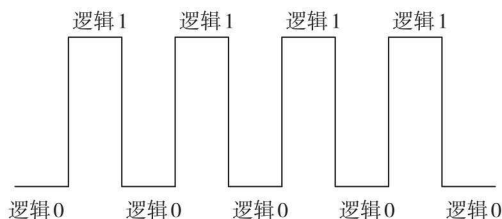


图 1.2 正逻辑

1.2.2 数字电路的分类及特点

1. 数字电路的分类

(1) 按电路有无集成元器件来分，数字电路可分为分立元件电路和集成元件电路两

大类。

(2) 按集成电路的集成度进行分类,可分为小规模集成数字电路 (SSI)、中规模集成数字电路 (MSI)、大规模集成数字电路 (LSI) 和超大规模集成数字电路 (VLSI)。

(3) 按构成电路的半导体器件来分类,可分为双极型数字电路和单极型数字电路。

(4) 按功能来分,可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

时序电路,它是由最基本的逻辑门电路加上反馈逻辑回路(输出到输入)或器件组合而成的电路,与组合电路最本质的区别在于时序电路具有记忆功能。时序电路的特点是:输出不仅取决于当时的输入值,还与电路过去的状态有关。它类似于含储能元件的电感或电容的电路,如触发器、锁存器、计数器、移位寄存器、寄存器等电路都是时序电路的典型器件。组合逻辑电路是指在任何时刻,逻辑电路的输出状态只取决于电路各输入状态的组合,而与电路原来的状态无关。即组合逻辑电路的输出与时间无关,仅与输入有关。

2. 数字电路的特点

(1) 用数字信号完成对数字量进行的算术运算和逻辑运算,具有逻辑运算和逻辑处理功能。因此,数字电路也常被称为数字逻辑电路或逻辑电路。

(2) 便于高度集成化。

(3) 数字信息便于长期保存。

(4) 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

(5) 抗干扰力强。由于数字电路所处理的是逻辑电平信号,因此从信号处理的角度看,数字电路系统比模拟电路具有更高的信号抗干扰能力。

(6) 保密性好。数字电路中容易对数字信号进行加密处理,使信号在传输过程中不容易被窃取。

1.3 数制与码制

1.3.1 数制

按进位的原则进行计数,称为进位计数制,简称数制。不论是哪一种数制,其计数和运算都有共同的规律和特点。逢 N 进一: N 是指数制中所需要的数字字符的总个数,称为基数。位权表示法:位权是指一个数字在某个固定位置上所代表的值,处在不同位置上的数字所代表的值不同,每个数字的位置决定了它的值或者位权。位权与基数的关系是:各进位制中位权的值是基数的若干次幂。

1. 几种常用的计数体制

常用的数制有十进制、二进制、八进制、十六进制等。

1) 十进制 (Decimal)

十进制计数是我们日常使用最多的计数方法(俗称“逢十进一”)。十进制数组成以10为基础的数字系统,由0、1、2、3、4、5、6、7、8、9一共10个基本数字组成。一般表达式(加权系数展开式)为:

$N_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 10^i$ 。式中 K_i 为基数10的 i 次幂的系数,它可为

0~9 中的任意一个数字。如： $(234)_{10} = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$ 。

在数字电路中一般不直接采用十进制，因为要用 10 个不同的电路状态来表示十进制的 10 个数码，既不容易又不经济。

2) 二进制 (Binary)

二进制是相对十进制计数法而言的，是计算技术中广泛采用的一种数制。二进制数用 0 和 1 两个数码来表示数。它的基数为 2，进位规则是“逢二进一”，借位规则是“借一当二”。二进制数据也是采用位置计数法，其位权是以 2 为底的幂。例如：二进制数据 110，逢 2 进 1，其权的大小顺序为 2^2 、 2^1 、 2^0 。二进制数据的一般表达式（加权系数展开式）

为： $N_2 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 2^i$ 。

【例 1.1】将二进制数据 111 写成加权系数展开式的形式。

解： $(111)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

3) 十六进制 (Hexadecimal) 与八进制 (Octal)

十六进制是计算机中数据的一种表示方法，同日常生活中的表示法不一样。它由 0~9 和 A~F 组成，字母不区分大小写。与十进制的对应关系是：0~9 对应 0~9；A~F 对应 10~15；N 进制的数可以用 0~(N-1) 的数表示，超过 9 的数用字母 A~F 表示。

八进制是一种以 8 为基数的计数法，采用 0、1、2、3、4、5、6、7 这 8 个数字，逢八进一。一些编程语言中常常以数字 0 开始以表明该数字是八进制。八进制数和二进制数可以按位对应（八进制一位对应二进制三位），因此常应用在计算机语言中。

2. 不同数制之间的相互转换

1) 十进制数转换成二进制数

十进制转换为二进制采用“除 2 取余，逆序排列”法。具体做法是：用 2 去除十进制整数，可以得到一个商和一个余数；再用 2 去除商，又会得到一个商和一个余数，如此进行，直到商为零，然后把先得到的余数作为二进制数的低位有效位，后得到的余数作为二进制数的高位有效位，依次排列起来。

【例 1.2】将十进制数 25 转换成二进制数。

解：用“除 2 取余”法转换，为：

2	25	……余1	↑ 读 取 顺 序
2	12	……余0	
2	6	……余0	
2	3	……余1	
2	1	……余1	

则 $(25)_{10} = (11001)_2$ 。

2) 二进制数转换成十进制数

由二进制数转换成十进制数的基本做法是：把二进制数首先写成加权系数展开式的形式，然后按十进制加法规则求和。这种做法称为“按权相加”法。

【例 1.3】将二进制数 10011 转换成十进制数。

解：将每一位二进制数乘以位权，然后相加，可得：

$$(10011)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (19)_{10}$$

3) 二进制数转换成八进制数

从小数点开始，整数部分向左、小数部分向右，每3位为一组用一位八进制数的数字表示，不足3位的要用“0”补足3位，就得到一个八进制数。

4) 八进制数转换成二进制数

把每一个八进制数转换成3位的二进制数，就得到一个二进制数。八进制数与二进制数的对应关系见表1.1。

表 1.1 八进制数与二进制数的对应关系

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

【例 1.4】 将八进制的 37 转换成二进制。

根据表 1.1 可知 $(37)_8 = (011\ 111)_2$ 。

即： $(37)_8 = (011\ 111)_2$ 。

【例 1.5】 将二进制的 010110 转换成八进制。

从低位到高位3个为一组，最高位不足3位补0即得到： $(010\ 110)_2$ ，按照表 1.1 可得： $(010\ 110)_2 = (26)_8$ 。

5) 二进制数转换成十六进制数

二进制数转换成十六进制数时，只要从小数点位置开始，向左或向右每4位二进制划分为一组（不足4位数可补0），然后写出每一组二进制数所对应的十六进制数即可。

6) 十六进制数转换成二进制数

把每一个十六进制数转换成4位的二进制数，就得到一个二进制数。十六进制数与二进制数的对应关系见表 1.2。

表 1.2 十六进制数和二进制数的对应关系

二进制	十六进制	二进制	十六进制
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	A
0011	3	1011	B
0100	4	1100	C
0101	5	1101	D
0110	6	1110	E
0111	7	1111	F

【例 1.6】 将十六进制数 5DF 转换成二进制数。

根据表 1.2 可知每一位十六进制数可以由 4 位二进制数代替, 即: $(5DF)_{16} = (0101\ 1101\ 1111)_2$ 。

【例 1.7】将二进制数 1100001 转换成十六进制数。

$(0110\ 0001)_2 = (61)_{16}$ 。

1.3.2 码制

1. BCD 码 (二 - 十进制码)

BCD 码——用二进制代码来表示十进制的 0 ~ 9 这 10 个数。

要用二进制代码来表示十进制的 0 ~ 9 这 10 个数, 至少要用 4 位二进制数。4 位二进制数有 16 种组合, 可从这 16 种组合中选择 10 种组合分别来表示十进制的 0 ~ 9 这 10 个数。选哪 10 种组合, 有多种方案, 这就形成了不同的 BCD 码, 表 1.3 是常用 BCD 码。

表 1.3 常用 BCD 码

十进制数	8421 码	2421 码	5421 码	余 3 码
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0
2	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 1
3	0 0 1 1	0 0 1 1	0 0 1 1	0 1 1 0
4	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1
5	0 1 0 1	1 0 1 1	1 0 0 0	1 0 0 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0	1 0 0 1	1 0 0 1
7	0 1 1 1	1 1 0 1	1 0 1 0	1 0 1 0
8	1 0 0 0	1 1 1 0	1 0 1 1	1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 1 1 1	1 1 0 0	1 1 0 0
位权	8 4 2 1	2 4 2 1	5 4 2 1	无权

2. 余三码

余三码 (余 3 码) 是由 8421BCD 码加上 0011 形成的一种无权码, 由于它的每个字符编码比相应的 8421 码多 3, 故称为余三码 (BCD 码的一种)。余三码是一种对 9 的自补代码, 因而, 可给运算带来方便。其次, 在将两个余三码表示的十进制数相加时, 能正确产生进位信号, 但对“和”必须修正。修正的方法是: 如果有进位, 则结果加 3; 如果无进位, 则结果减 3。

如 $(526)_{10\text{进制}} = (0101\ 0010\ 0110)_{8421\text{BCD 码}} = (1000\ 0101\ 1001)_{\text{余 3 码}}$

3. 循环码

循环码又称格雷码 (Grey Code)。格雷码又称循环二进制码或反射二进制码。在数字系统中只能识别 0 和 1, 各种数据要转换为二进制代码才能进行处理, 格雷码是一种无权码, 它具有的循环、单步的特性消除了随机取数时出现重大误差的可能, 它的反射、自补特性使得求反非常方便。格雷码属于可靠性编码, 是一种错误最小化的编码方式。格雷码的特点是: 相邻两数的格雷码, 仅仅有一位二进制发生变化。而且在其范围内的最小值和最大值也仅仅有一位二进制发生变化。

1.4 逻辑代数的基本运算

逻辑代数是英国科学家乔治·布尔（George·Boole）创立的，故又称布尔代数。布尔用数学方法研究逻辑问题，成功地建立了逻辑演算。逻辑代数是按照一定的逻辑规则进行逻辑运算的代数，是分析数字电路的数学工具。逻辑代数中的变量包括自变量（前因）和因变量（后果），都只有两个取值：“1”和“0”。

逻辑代数和普通代数是明显区别的，尽管在逻辑代数和普通代数中都存在数字“1”和数字“0”，但其在两者中的含义是有本质区别的，在逻辑代数中，“1”和“0”不表示具体的数量，而只是表示逻辑状态。例如，电位的高与低、信号的有与无、电路的通与断、开关的闭合与断开、晶体管的导通与截止等。而且逻辑运算也是逻辑关系的组合，并不表示数值的计算关系。

1.4.1 三种基本逻辑运算

任一逻辑函数和其变量的关系不管多么复杂，它都由相应输入变量的与、或、非3种基本运算构成，即逻辑函数中包含3种基本逻辑运算：与、或、非。任何逻辑运算都可以用这3种基本运算来实现。通常把实现与逻辑运算的单元电路叫作与门，把实现或逻辑运算的单元电路叫作或门，把实现非逻辑运算的单元电路叫作非门（也叫作反相器）。

1. 逻辑与（与门）

逻辑与的意义是：当 A 和 B 都为“1”时， Y 才为“1”； A 和 B 中只要有一个为“0”， Y 必为“0”。

如图1.3所示的两个开关串联控制电灯的电路就是一种与逻辑电路，可以列出输入（开关） A 、 B 与输出（电灯） Y 的所有关系。可以很明显看出：只有当 $A=1$ 并且 $B=1$ 时，才有 $Y=1$ ； A 和 B 中只要有一个为0时，则 $Y=0$ 。与逻辑——只有当决定一件事情的条件全部具备之后，这件事情才会发生。

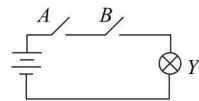


图 1.3 与逻辑电路

设开关闭合为“1”、断开为“0”，电灯亮为“1”、不亮为“0”，可以用表格的形式列出逻辑关系，叫作真值表。它是描述逻辑功能的一种重要形式。表1.4为与逻辑的真值表。

表 1.4 与逻辑的真值表

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

反映逻辑与关系的逻辑运算叫作逻辑与，其逻辑函数表达式为： $Y=A \cdot B$ （或 $Y=AB$ ）。

式中, A 和 B 是输入变量, Y 是输出变量, “ $\cdot$ ” 表示逻辑与运算。由此可见, 与逻辑运算的规则为: “有 0 出 0, 全 1 出 1”。与门是数字电路中最基本的一种逻辑门电路, 它的符号表示如图 1.4 所示。

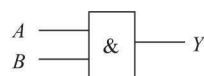


图 1.4 与门符号

2. 逻辑或 (或门)

如图 1.5 所示的并联控制电灯的电路就是一种或逻辑电路。或逻辑和与逻辑的分析过程类似, 可以列出该电路的输入开关 A 、 B 与输出 (电灯) Y 的所有关系。

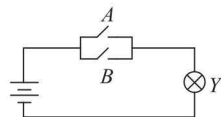


图 1.5 或逻辑电路

灯亮的条件是两个开关只要有一个闭合, 这种 Y 与 A 、 B 的关系为“或逻辑”关系。所谓或逻辑, 是当决定一件事情的几个条件中, 只要有一个或一个以上条件具备时, 这件事情就发生。这种因果关系叫作逻辑或, 或者叫逻辑加。在逻辑代数中, 逻辑变量之间的逻辑加关系称为加运算, 也叫逻辑加法运算。

同理, 若以开关闭合为“1”、断开为“0”, 电灯亮为“1”、不亮为“0”, 可以用表格的形式列出或逻辑的真值表, 见表 1.5。

表 1.5 或逻辑的真值表

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

反映逻辑或关系的逻辑运算叫作逻辑或, 其逻辑函数表达式为: $Y = A + B$ 。由此可得或逻辑运算的规则为: “有 1 出 1, 全 0 出 0”。能够实现或逻辑运算的电路称为“或门”, 它的符号表示如图 1.6 所示。

3. 逻辑非 (非门)

如图 1.7 所示的电灯控制的电路就是一种非逻辑电路。可以得出该电路的输入 (开关) A 与输出 (电灯) Y 的关系, 结果灯 Y 的亮、灭与条件开关 A 的闭合、断开呈现一种相反的因果关系, 这种关系为“非逻辑”关系, 或者叫作逻辑反。所谓非逻辑, 是某事情发生与否, 仅取决于一个条件, 而且是对该条件的否定。即条件具备时事情不发生; 条件不具备时事情才发生。

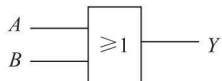


图 1.6 或门符号

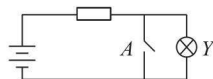


图 1.7 非逻辑电路

同理, 若以开关闭合为“1”、断开为“0”, 电灯亮为“1”、不亮为“0”, 可以用表格的形式列出非逻辑的真值表, 见表 1.6。

表 1.6 非逻辑的真值表

A	Y
0	1
1	0

反映逻辑非关系的逻辑运算叫作逻辑非，其逻辑函数表达式为： $Y = \bar{A}$ 。由此可得非运算的规则为： $\bar{0} = 1$ ； $\bar{1} = 0$ ； $A + \bar{A} = 1$ ； $A \times \bar{A} = 0$ 。能够实现非逻辑运算的电路称为“非门”，它的符号表示如图 1.8 所示。

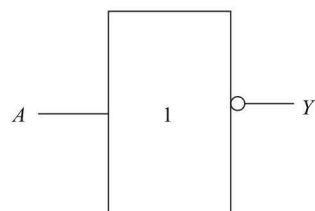


图 1.8 非门符号

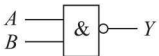
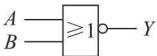
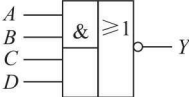
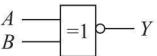
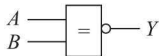
1.4.2 复合逻辑运算

实际的逻辑问题往往比与、或、非复杂得多，不过它们都可以用与、或、非的组合来实现。最常用的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或、同或等。表 1.7 给出了它们的表达式、逻辑符号、真值表和运算规律。

1. 与非运算

与非——由与运算和非运算组合而成。其逻辑表达式、真值表、逻辑符号和运算规律见表 1.7。

表 1.7 5 种组合逻辑运算

逻辑名称	与非			或非			与或非			异或			同或				
逻辑表达式	$Y = \overline{AB}$			$Y = \overline{A + B}$			$Y = \overline{AB + CD}$			$Y = A \oplus B$			$Y = A \odot B$				
逻辑符号																	
真值表	A	B	Y	A	B	Y	A	B	C	D	Y	A	B	Y	A	B	Y
	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
	1	0	1	1	0	0	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	1	0	1	1	0	0
	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
运算规律	有 0 得 1 全 1 得 0			有 1 得 0 全 0 得 1			与项为 1 结果 为 0，其余输出 全为 1			相同为 0 不同为 1			相同为 1 不同为 0				

2. 或非运算

或非——由或运算和非运算组合而成。其逻辑表达式、逻辑符号、真值表和运算规律见表 1.7。