



国家示范（骨干）高职院校
重点建设专业优质核心课程系列教材

数字电子技术

主 编 刘晓阳 王 平
副主编 李 翠 滕丽丽 康存勇
邱迎迎 闫 青 陈建忠

案例教程



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家示范（骨干）高职院校重点建设专业

优质核心课程系列教材

数字电子技术案例教程

主 编 刘晓阳 王 平

李 翠 滕丽丽 康存勇
副主编

邱迎迎 闫 青 陈建忠



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

“数字电子技术”是高职院校工科类特别是电类各专业必修的一门专业基础课,目的是使学生掌握数字电路的基本知识、基本元件、基本电路单元及其分析方法,使学生具备初步的数字集成电路的分析与开发能力。

本书以案例教学为特色,根据高职高专教学的基本要求,在保证知识体系完整的基础上,共穿插介绍了数字电路工程实例 40 余个。全书内容精简、逻辑清晰、图表规范、说明性强。

全书共分为四个模块:基础篇,主要介绍数字电路基础知识、逻辑门电路;应用篇,主要介绍组合逻辑电路基本单元、时序逻辑电路基本单元、脉冲信号的产生与整形、A/D、D/A 转换、半导体存储器;仿真篇,介绍了仿真软件 Multisim 及其应用;实践篇,集中介绍了多个数字电路的综合实用案例。本书既能有利于零基础的读者通读,以掌握本课程的全面内容,又方便具备一定专业知识的读者根据自身需求选读,以把握重点、查漏补缺。

本书适合高职高专电子、电气类、计算机类、机电类、通信类、自动化类专业学生使用,也可供广大初、中级工程技术人员和对电子技术爱好的读者自学参考。

图书在版编目(C I P)数据

数字电子技术案例教程 / 刘晓阳, 王平主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 6

国家示范(骨干)高职院校重点建设专业优质核心课程系列教材

ISBN 978-7-5084-9388-6

I. ①数… II. ①刘… ②王… III. ①数字电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第281486号

策划编辑: 石永峰 责任编辑: 杨元泓 加工编辑: 丁 琪 封面设计: 李 佳

书 名	国家示范(骨干)高职院校重点建设专业优质核心课程系列教材 数字电子技术案例教程
作 者	主 编 刘晓阳 王 平 副主编 李 翠 滕丽丽 康存勇 邱迎迎 闫 青 陈建忠
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.25 印张 395 千字
版 次	2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

目前,高职院校工科类特别是电类各专业,普遍开设了“数字电子技术”课程,目的是使学生掌握数字电路的基本知识、元件、电路单元、分析方法,为其进行后续的数字集成电路的分析与开发能力的培养打下基础。但是作为一门专业基础课,本身基础性、预备性的知识比较多,理论性比较强,学生不大容易提起兴趣,老师也不易讲出特色。

为此,本书的主要作者近几年主持和参与了山东省教育厅高等学校教学改革立项项目“《数字电子技术》案例式教学研究”(项目编号:C05124),其初衷就是希望探索一条以实用案例为特色,理论课上突出实践性、突出应用能力培养、改进专业基础课教学的道路。教改项目结题后,于2009年荣获“山东省高等教育教学成果奖”。但是,由于能力和时间所限,当时的研究也存在诸多遗憾和不足,并且随着科研和实践的积累,已建成的案例库又有调整和扩充。因此,在课题基础上修订出版了本书《数字电子技术案例教程》,书中加入了作者最新教研成果和工程案例,在体例上采用更契合高职特色的项目导向、任务驱动的模式。本书由校企联合打造,作者既包括高职院校的一线教师,又加入了企业的工程技术人员。书中在保证知识体系完整的基础上,共穿插介绍了数字电路工程实例40余个。全书内容精简、逻辑清晰、图表规范、说明性强。

本书按照50~70学时编写,共分为四个模块。模块一:基础篇,主要介绍数字电路的基础知识、分立元件门电路。内容为必要的基础知识、背景知识,以理论综述、案例分析为主。模块二:应用篇,是全书的主体部分,主要介绍组合逻辑电路基本单元、时序逻辑电路基本单元、脉冲信号的产生与整形电路、A/D、D/A转换电路、半导体存储器。篇内分设若干项目,每一项目介绍一类基本数字逻辑单元,部分项目又下设若干子项目。每一项目(子项目)分成【案例导入】→【知识链接】→【扩展应用】三段。【案例导入】为案例精讲,以开篇案例以及必要的案例分析,引出讲解内容;【知识链接】是对案例相关基本知识点、能力点进行必要讲解,前后呼应进行案例回顾;【扩展应用】对本章节相关扩展知识点进行讲解,辅以必要的补充拓展案例,同时本章节中理论性、原理性较强的知识点也放在此,本部分内容可根据课时量情况进行选讲。模块三:仿真篇,介绍了仿真软件Multisim和仿真实验。模块四:实践篇,集中介绍了多个数字电路的综合实用案例。

四个模块的内容既紧密联系又相对独立,因而既能有利于零基础的读者通读,以掌握本课程的全部内容,又方便具备一定专业知识的读者根据自身需求选读,以把握重点、查漏补缺。本书适合高职高专电子、电气类、计算机类、机电类、通信类、自动化类专业学生使用,也可供广大初、中级工程技术人员和对电子技术爱好的读者自学参考。

本书由济南职业学院电子工程系刘晓阳、王平任主编。济南职业学院李翠、滕丽丽,青岛海信通信公司康存勇,宝世达控股集团有限公司邱迎迎,山东商业职业技术学院闫青,山东交通学院陈建忠等任副主编。全书由刘晓阳统稿。2012年适逢济南职业学院“国家骨干高职院校”项目建设的启动之年。本书同时也是该项目重点建设专业——应用电子技术专业的建设成果之一。

本书在编写过程中参考了兄弟院校、相关企业和科研院所的一些教材、资料和文献，在此向有关作者一并致谢。

书中内容尚有不少待改进之处，恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

前言

模块一 基础篇	1
项目一 数字信号与数字电路	1
一、模拟信号与数字信号	1
二、数字电路	1
项目二 数制与码制	2
一、数制	2
二、数制的转换	3
三、常用编码	5
项目三 逻辑代数基础	7
一、概述	7
二、逻辑代数基本运算	7
三、案例分析：声光控照明电路	12
项目四 逻辑函数及其化简	13
一、概述	13
二、逻辑函数的表示方法	13
三、逻辑函数表示方法的相互转换举例	14
四、逻辑代数运算规则	16
五、逻辑函数的公式化简法	18
六、逻辑函数的卡诺图化简法	20
项目五 分立元件门电路	29
一、二极管门电路	29
二、三极管门电路	32
三、MOS 管门电路	35
项目六 逻辑电路的分析与设计	37
一、组合逻辑电路概述	37
二、组合逻辑电路的分析与设计	37
三、案例分析：智能抢答器	42
项目七 逻辑电路的竞争冒险	43
一、竞争冒险的产生	43
二、竞争冒险的判别	43
三、竞争冒险的消除	44
习题一	46

模块二 应用篇	50
项目一 集成门电路	50
一、TTL 集成门电路	50
二、CMOS 集成门电路	60
项目二 加法器	68
项目三 数值比较器	73
项目四 编码器	77
项目五 译码器	80
项目六 数据选择器与分配器	88
项目七 触发器	96
一、基本 RS 触发器	96
二、时钟触发器	105
项目八 计数器	109
项目九 寄存器	126
项目十 脉冲信号的产生与整形电路	132
一、多谐振荡器	132
二、施密特触发器	138
三、单稳态触发器	143
项目十一 模/数与数/模转换电路	148
一、模/数转换电路	148
二、数/模转换电路	157
项目十二 半导体存储器	163
一、只读存储器（ROM）	163
二、随机存取存储器（RAM）	170
习题二	174
模块三 仿真篇	184
项目一 Multisim 8 概述	184
一、Multisim 8 基本介绍	184
二、Multisim 8 的安装	185
项目二 Multisim 8 窗口界面	186
一、基本界面	186
二、菜单栏	186

三、标准工具栏	193	二、元器件选型与调试	213
四、元件工具栏	194	项目四 数字频器计	216
五、仪器工具栏	197	一、电路分析	216
项目三 Multisim 8 操作使用方法	203	二、元器件选型与调试	218
一、电路的创建	203	项目五 数字电子钟	220
二、仿真实例	204	一、电路分析	220
习题三	206	二、元器件选型与调试	223
模块四 实践篇	207	项目六 红外线遥控器	224
项目一 带门铃的编码电子锁	207	一、电路分析	224
一、电路分析	207	二、元器件选型与调试	227
二、元器件选型与调试	208	习题四	228
项目二 3 位计数、译码和显示电路	209	习题参考答案	229
一、电路分析	209	习题一	229
二、元器件选型与调试	209	习题二	232
项目三 红外线自控水龙头电路	212	参考文献	235
一、电路分析	212		

模块一

基础篇

项目一 数字信号与数字电路

一、模拟信号与数字信号

在自然界中有形形色色的物理量，它们性质各异，就其变化规律的特点而言，可分为两大类：数字量和模拟量。

模拟量是指物理量的变化在时间和数量上都是连续的，这种物理量一般是指模拟真实世界的物理量，如连续发出的声音、持续的光照、我们周围的温度等都在时间和空间上是连续的，处理模拟量和模拟信号的电路称为模拟电路。用波形表示时，模拟信号是一条连续的曲线，处理这类信号时，考虑的是放大倍数、频率失真、非线性失真、相位失真等，着重分析波形的形状、幅度和频率如何变化。

数字量是指物理量的变化在时间和数量上是离散的，也就是说它们的变化在时间上是不连续的，同时它们的数值每次变化都是某一最小数量单位的整数倍，处理数字量和数字信号的电路称为数字电路。用波形表示时，数字信号是一系列高、低电平组成的脉冲波，即信号总是在高电平和低电平之间来回变化，在这里，重要的是能正确区分出信号的高、低电平，并正确反应电路的输出、输入之间关系，至于高、低电平的数值精确为多少则无关紧要。

二、数字电路

（一）数字电路的特点

（1）电路结构简单，稳定可靠。数字电路只要能区分高电平和低电平即可，对元件的精度要求不高，因此有利于实现数字电路集成化。

（2）数字电路抗干扰能力强，不易受外界干扰影响。因为数字信号是采用高、低电平二值信号进行传递的。

（3）数字电路可以完成数值和逻辑两种运算，因此数字电路又称为数字逻辑电路或数字电路与逻辑设计。

(4) 数字电路中的元件处于开关状态, 功耗较小。

(5) 数字电路具有体积小、重量轻、可靠性高、便于集成化、价格便宜等特点。

由于数字电路具有上述特点, 故发展十分迅速, 在计算机、数字通信、自动控制、数字仪器及家用电器等技术领域中得到广泛的应用。

(二) 数字电路的分类

(1) 按电路组成结构分为分立元件和集成电路两大类。其中集成电路按集成度(在一块硅片上包含的逻辑门电路或元件的数量)可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路, 如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 集成电路分类

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路 SSI	1~10 个门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路 包括: 逻辑门电路、集成触发器
中规模集成电路 MSI	10~100 个门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑功能部件 包括: 译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器、比较器等
大规模集成电路 LSI	>100 个门/片或 >1000 个元件/片	数字逻辑系统 包括: 中央处理器、存储器、串并行接口电路等
超大规模集成电路 VLSI	>1000 个门/片或 >10 万个元件/片	高集成度的数字逻辑系统 例如: 在一个硅片上集成一个完整的微型计算机

(2) 按电路所用器件分为双极型(如 TTL、ECL、I²L、HTL)和单极型(如 NMOS、PMOS、CMOS)电路。

(3) 按电路逻辑功能分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

项目二 数制与码制

一、数制

用数字量表示物理量的大小时, 仅用一位数码往往不够, 因此经常需要用进位技术的方法组成多位数码使用, 把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。日常生活中习惯用的数制是十进制, 而在数字信号处理系统中进行数字的运算和处理, 采用的是二进制数、八进制数、十六进制数。

(一) 十进制数

十进制数是人们日常生活中最常使用的计数进位制。在这种计数进位制中, 每一位由 0~9 十个数码中的一个组成, 计数基数为 10, 按照“逢十进一”的规律排列起来, 表示数的大小。

例如: $152.25 = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

因此, 对任一个十进制的正整数 $[N]_{10}$ 可以表示为

$$[N]_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 10^i \tag{1.2.1}$$

式中： K_i 为第 i 位的系数，它是 0~9 十个数码中任意一个； 10^i 为第 i 位的权，这个表达式也就是数字的加权系数之和的形式。

（二）二进制数

在数字电路中应用最广的则是二进制，因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态与数码对应起来，十进制数需要 10 个数码，要找到区分 10 种状态的器件与之对应，是十分困难的，但要找到能够区分两种状态的器件就很多。例如灯泡的亮与灭；开关的接通与断开；晶体管的饱和与截止等。二进制中每位由 0 和 1 两个数码组成，计数的基数是 2，计数规律是“逢二进一”即 $1+1=10$ （读作“壹零”）。二进制数各位的权为 2 的幂。

所以，一个 n 位二进制数 $[N]_2$ 的按权展开式为

$$[N]_2 = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$

式中： K_i 为第 i 位的系数，它是 0 或 1 两个数码中任意一个； 2^i 为第 i 位的权。

用这个方法也就计算出它表示的十进制数的大小。

例如： $[10111.1]_2 = [1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}]_{10} = (16 + 0 + 4 + 2 + 1 + 0.5)_{10} = (23.5)_{10}$

从上例可以看出，采用二进制数便于机器识别和运算，但位数太长，人们既难记忆，又不便于读写。所以在数字系统中为了便于读写，有时用八进制或十六进制数表示二进制数。

（三）八进制数

八进制数的基数是 8，每位采用 0~7 八个数码。计数规律是“逢八进一”。八进制数各位的权为 8 的幂。

所以，一个 n 位八进制数 $[N]_8$ 的按权展开式为

$$[N]_8 = K_{n-1} \times 8^{n-1} + K_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + K_1 \times 8^1 + K_0 \times 8^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 8^i \quad (1.2.3)$$

例如： $[234]_8 = [2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0]_{10} = [128 + 24 + 4]_{10} = [156]_{10}$

（四）十六进制数

十六进制数的基数是 16，采用 0~9 和 A~F 十六个数码。其中，A 到 F 表示 10 到 15。计数规律是“逢十六进一”。十六进制数各位的权为 16 的幂。

所以，一个 n 位十六进制数 $[N]_{16}$ 的按权展开式为

$$[N]_{16} = K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 16^i \quad (1.2.4)$$

例如： $[9C.3]_{16} = [9 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1}]_{10} = [156.1875]_{10}$

二、数制的转换

（一）二进制数、八进制数、十六进制数转换为十进制数

在进行转换时只要将二进制数、八进制数、十六进制数按权展开形式展开，然后把各项的数值按十进制数进行相加，就可以得到等值的十进制数。

例如，二—十进制转换：

$[101.01]_2 = [1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2}]_{10} = (4 + 0 + 1 + 0.25)_{10} = (5.25)_{10}$

(二) 十进制数转换为二进制数

1. 整数部分的转换(除二取余法)

方法: 把十进制数逐次地用 2 除, 取余数, 一直除到商数为零。然后将每次所得到的余数从后向前排列倒序读出, 即为所求的二进制整数。

【例 1.2.1】将十进制整数 $[75]_{10}$ 转换为二进制数。

解	2	75	余数	
	2	37	1	最低位
		2	18	1
		2	9	0
		2	4	1
		2	2	0
		2	1	0
		0	1	最高位

所以 $[75]_{10}=[1001011]_2$

2. 小数部分的转换(乘二取整法)

方法: 用 2 逐次乘以十进制数小数, 取其整数, 直到小数为 0 或达到转换所要求的精度为止。然后将所得的整数从高到低正序读出。

【例 1.2.2】将十进制小数 $[0.875]_{10}$ 转换为二进制数。

解	0.875	
	$\times 2$	
	1.750	1
	$\times 2$	
	1.500	1
	$\times 2$	
	1.000	1
		最高位
		最低位

所以, $[0.875]_{10}=[0.111]_2$

十进制数转换为八进制数、十六进制数过程比较繁琐, 一般先将十进制数转换为二进制数, 再转换为八进制数、十六进制数。

3. 二进制数转换为八进制数

由于 3 位二进制数恰好有 8 个状态, 因此把 3 位二进制数看作一个整体, 恰好是逢八进一, 即可以看作一位八进制数。转换时将二进制数从小数点开始, 分别向两侧每 3 位一组, 若整数最高位不足一组, 在左边加 0 补足一组, 小数最低位不足一组, 在右边加 0 补足一组, 然后将每组二进制数转换为八进制数, 组成的数既是该数的八进制数。反之可以把一位八进制数视为 3 位二进制数。

【例 1.2.3】将二进制数 $[1101101010.0110101]_2$ 转换为八进制数。

解 $[1101101010.0110101]_2=[001/101/101/010.011/010/100]_2=[1552.324]_8$

【例 1.2.4】将八进制数 $[236.74]_8$ 转换为二进制数。

解 $[236.74]_8=[010011110.111100]_2=[10011110.1111]_2$

4. 二进制数转换为十六进制数

由于4位二进制数恰好有16个状态,因此把4位二进制数看作一个整体,恰好是逢十六进一,即可以看作一位十六进制数。转换时将二进制数从小数点开始,分别向两侧每4位一组,若整数最高位不足一组,在左边加0补足一组,小数最低位不足一组,在右边加0补足一组,然后将每组二进制数转换为十六进制数,组成的数既是该数的十六进制数。反之可以把一位十六进制数视为4位二进制数。

【例 1.2.5】 将二进制数 $[1101101010.0110101]_2$ 转换为十六进制数。

解 $[1101101010.0110101]_2=[0011/0110/1010.0110/1010]_2=[36A.6A]_{16}$

【例 1.2.6】 将十六进制数 $[A6C.63]_{16}$ 转换为二进制数。

解 $[A6C.63]_{16}=[101001101100.01100011]_2$

三、常用编码

不同的数码不仅可以表示数量的不同大小,而且还能用来表示不同的事物。在后一种情况下,这些数码已没有表示数量大小的含意,只是表示不同事物的代号而已,这些数码称之为代码。

例如,在举行长跑比赛时,为便于识别运动员,通常给每个运动员编一个号码。显然这些号码仅仅表示不同的运动员,已失去了数量大小的含意。

在数字电路中,我们常用二进制数表示各种文字、符号等信息,这样的过程叫做编码,用来进行编码之后的二进制数码称为二进制代码。编制代码要遵循一定的规则,规则不同,编码的形式也就很多,这里只介绍常见的二—十进制(BCD)码和格雷码。

(一) 二—十进制(BCD)码

二—十进制(BCD)码,是用4位二进制数表示一位十进制数的编码方式。因为4位二进制代码有 $2^4=16$ 种状态组合,若从中取出10种组合表示0~9可以有多种方式。因此BCD码有多种。表1.2.1列出几种常用的二—十进制(BCD)码。

表 1.2.1 几种常用的二—十进制(BCD)码

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

1. 8421 码

8421 码是一种有权代码, 是使用最多的一种编码, 在用 4 位二进制数码表示一位十进制数时, 每一位二进制数的权从高位到低位依次为 8、4、2、1。

【例 1.2.7】将十进制数 $[168]_{10}$ 用 8421BCD 码表示。

解 $[168]_{10} = [000101101000]_{8421BCD} = [101101000]_{8421BCD}$

【例 1.2.8】将 8421BCD 码 $[10000111.0110]_{8421BCD}$ 用十进制数表示。

解 $[10000111.0110]_{8421BCD} = [87.6]_{10}$

2. 5421 码

5421 码也是一种有权代码, 在用 4 位二进制数码表示一位十进制数时, 每一位二进制数的权从高位到低位依次为 5、4、2、1。这种编码有两种形式 5421 (a) 码和 5421 (b) 码, 见表 1.2.1。

【例 1.2.9】将十进制数 168 用 5421 (b) BCD 码表示。

解 $[168]_{10} = [000110011011]_{5421(b)BCD}$

3. 2421 码

2421 码也是一种有权代码, 在用 4 位二进制数码表示一位十进制数时, 每一位二进制数的权从高位到低位依次为 2、4、2、1。因此它也有两种编码方式, 分为 2421 码 (a) 和 2421 码 (b), 见表 1.2.1。

4. 余 3 码

余 3 码是一种无权代码, 也是 4 位二进制数码表示, 与 8421 码相比, 对应同样的十进制数, 但多出 $[0011]_2$, 即 $[3]_{10}$, 因此称余 3 码。

【例 1.2.10】将十进制数 168 用余 3 码表示。

解 $[168]_{10} = [010010011011]_{\text{余 3 码}}$

(二) 格雷码

格雷码是一种无权码, 即各位表示的 0 和 1 已经没有固定的权值, 其优点是任意两个相邻的码只有一位不同, 其余的各位数码均相同。

一位格雷码与一位二进制数码相同, 是 0 和 1。由一位格雷码得到两位格雷码的方法是将一位格雷码的 0 和 1 以虚线为轴折叠, 反射出 1、0, 然后在虚线上方的数字前面加 0, 虚线下方数字前面加 1, 便得到了两位格雷码 00、01、11、10, 分别表示十进制数 0~3。同样的方法可以得到 3 位、4 位格雷码, 如图 1.2.1 所示。以此类推, 由此反射循环的过程生成各位的格雷码, 因而格雷码又称反射循环码。

	二位	三位
加	0 0	0 0 0
0	0 1	0 0 1
轴线		0 1 1
加	1 1	0 1 0
1	1 0	
		1 1 0
		1 1 1
		1 0 1
		1 0 0

图 1.2.1 格雷码

项目三 逻辑代数基础

一、概述

数字电路主要研究电路输入、输出状态之间的相互关系,即逻辑关系。分析和设计数字电路的数学工具是逻辑代数,它是英国数学家布尔于 1849 年提出的,也称布尔代数。

逻辑代数是分析和设计数字电路的一个数学工具,是学习数字电路的基础。因为在数字电路中,一位二进制数码的 0 和 1 不仅可以表示数量的大小,而且可以表示两种不同的逻辑状态。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,这种运算成为算术运算;当两个二进制数码表示不同的逻辑状态时,它们之间可以按照指定的某种因果关系进行所谓的逻辑运算。

1894 年,英国数学家乔·布尔(George Boole)首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法:布尔代数。后来由于布尔代数被广泛地应用于解决开关电路和数字逻辑电路的分析和设计中,所以又把布尔代数叫做开关代数或逻辑代数,和普通代数有一个共同的特点,就是都用英文字母 A 、 B 、 C 、...、 X 、 Y 、 Z 等表示变量,如: $Y=F(A、B、.....)$;不同之处在于在逻辑代数中,变量的取值范围仅为 0 和 1 两个值,没有第三种可能,这种变量称为“逻辑变量”。但是在逻辑代数中,0 和 1 不再表示具体的数量大小,而只是表示两种不同的逻辑状态,如灯的亮或灭,开关的开或关,电压的高或低,晶体管的饱和或截止,事件的是或非等。除此以外逻辑代数和普通代数的运算规则也不完全相同。

二、逻辑代数基本运算

逻辑代数的基本逻辑关系有与、或、非三种,为便于理解它们的含意,就以图 1.3.1 中 3 个指示灯的控制电路为例来说明。在图 1.3.1 (a) 中只有当两个开关同时闭合时,指示灯才会亮;在图 1.3.1 (b) 电路中,只要有任意一个开关闭合,指示灯就亮;而在图 1.3.1 (c) 中,开关断开时灯亮,开关闭合时反而不亮。

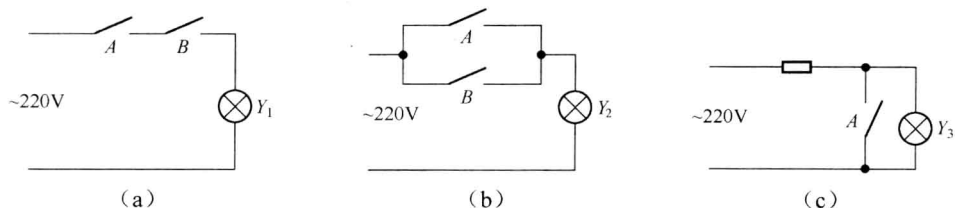


图 1.3.1 逻辑代数的基本运算举例

如果把开关闭合作为条件(或导致事物结果的原因),把灯亮作为结果,那么图 1.3.1 中的 3 个电路就代表了 3 种不同的因果关系:

图 1.3.1 (a) 表明,只有决定事物结果的全部条件同时具备时,结果才发生。这种因果关系叫做逻辑与,或者叫逻辑相乘。

图 1.3.1 (b) 表明,只要决定事物结果的诸多条件中有任何一个满足时,结果就会发生。这种因果关系叫做逻辑或,或者叫逻辑相加。

图 1.3.1 (c) 表明, 只要条件具备了, 结果便不会发生, 而条件不具备时, 结果一定发生。这种因果关系叫做逻辑非, 或者叫逻辑求反。

图 1.3.1 对应的功能表如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 图 1.3.1 电路的功能表

开关 A	开关 B	灯 Y ₁	灯 Y ₂	灯 Y ₃
断开	断开	灭	灭	亮
断开	闭合	灭	亮	
闭合	断开	灭	亮	灭
闭合	闭合	亮	亮	

若以 A 、 B 表示开关的状态, 1 表示开关闭合, 0 表示开关断开; 以 Y 表示指示灯的状态, 并以 1 表示灯亮, 以 0 表示不亮, 则可以列出以 0、1 表示的与非逻辑关系的图表, 如表 1.3.2 所示, 这种图表叫做逻辑真值表, 简称为真值表。

表 1.3.2 图 1.3.1 电路的真值表

开关 A	开关 B	灯 Y ₁	灯 Y ₂	灯 Y ₃
0	0	0	0	1
0	1	0	1	0
1	0	0	1	
1	1	1	1	

(一) 与逻辑、与运算、与门

与运算也称逻辑乘。与运算的逻辑表达式为

$$Y = A \cdot B \tag{1.3.1}$$

或 $Y = AB$ (“ $\cdot$ ”号可省略)。

与逻辑的运算规律为: 输入有 0 得 0, 全 1 得 1。

在数字电路中, 用来完成与逻辑运算的电路叫与门。逻辑符号如图 1.3.2 所示。一个与门电路有两个或两个以上的输入端, 只有一个输出端。符号 “&” 表示与逻辑运算。



图 1.3.2 与逻辑符号

(二) 或逻辑、或运算、或门

或运算也称逻辑加。或运算的逻辑表达式为

$$Y = A + B \tag{1.3.2}$$

或逻辑运算的规律为: 有 1 得 1, 全 0 得 0。

在数字电路中, 用来完成或逻辑运算的电路叫或门。逻辑符号如图 1.3.3 所示。一个或门电路有两个或两个以上的输入端, 只有一个输出端。符号 “ ≥ 1 ” 表示或逻辑运算。

（三）非逻辑、非运算、非门

非运算也称反运算。非运算的逻辑表达式为

$$Y = \overline{A} \quad (1.3.3)$$

非逻辑运算的规律为：0 变 1，1 变 0，即“始终相反”。

实现非逻辑运算的电路叫非门，逻辑符号如图 1.3.4 所示。逻辑符号中用小圆圈代表“非”，“1”表示缓冲。

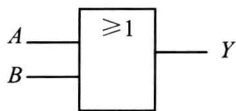


图 1.3.3 或逻辑符号

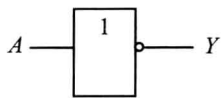


图 1.3.4 非逻辑符号

上述与门、或门、非门 3 种基本电路，是数字电路系统中最基础的逻辑元件。除此之外，将“与”、“或”、“非”3 种基本运算加以组合，还可扩展出“与非”逻辑、“或非”逻辑、“与或非”逻辑、“异或”逻辑、“同或”逻辑等多种逻辑运算。此类扩展的逻辑电路也在数字电路系统中有着广泛的应用。

（四）与非逻辑

“与非”逻辑运算是由“与”和“非”两种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算，逻辑表达式为

$$Y = \overline{AB} \quad (1.3.4)$$

实现“与非”逻辑运算的电路叫“与非”门，逻辑符号如图 1.3.5 所示。

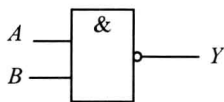


图 1.3.5 与非门逻辑符号

由表 1.3.3 与非逻辑真值表可见，只要输入变量 A 、 B 中有一个为 0，函数 Y 就为 1，只有输入 A 、 B 全为 1，输出 Y 才为 0。

表 1.3.3 与非逻辑真值表

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

（五）或非逻辑

“或非”逻辑运算是“或”和“非”两种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算。其逻辑函数为

$$Y = \overline{A+B} \quad (1.3.5)$$

由真值表 1.3.4 可见，只要变量 A 、 B 有一个为 1，函数 Y 就为 0，只有 A 、 B 全部为 0 时，输出 Y 才为 1。

表 1.3.4 或非门逻辑真值表

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

实现“或非”逻辑运算的电路叫“或非”门，逻辑符号如图 1.3.6 所示。

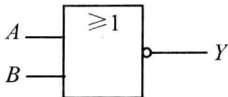


图 1.3.6 或非门逻辑符号

(六) 与或非逻辑

“与或非”逻辑运算是“与”、“或”和“非”3种逻辑运算复合而成的一种复合逻辑运算，实现与或非逻辑运算的门电路称为与或非门，如图 1.3.7 所示。

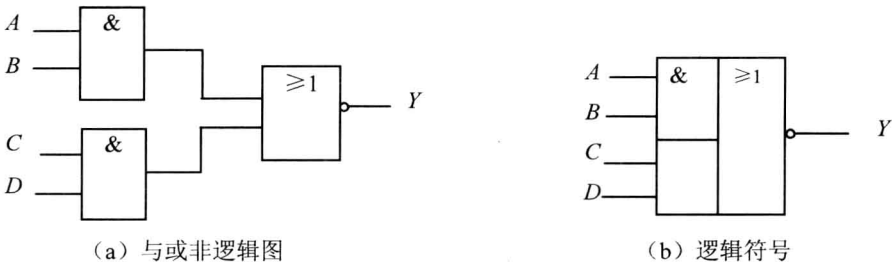


图 1.3.7 与或非门

与或非逻辑的函数表达式为

$$Y = \overline{AB + CD} \tag{1.3.6}$$

与或非逻辑的真值表可由式 (1.3.6) 得出, 如表 1.3.5 所示。由真值表得出与或非逻辑的逻辑功能是：当输入端的任何一组全为 1 时，输出为 0；只有任何一组输入有 0 时，输出端才为 1。

表 1.3.5 与或非门逻辑真值表

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1