



浙江省重点教材建设项目

全国高等院校计算机职业技能应用规划教材

SHUZI DIANLU JICHU YU SHIYAN SHIXUN

数字电路基础与 实验实训

• 孔 欣 管瑞霞 严 伟◎编著



中国人民大学出版社

浙江省重点教材建设项目
全国高等院校计算机职业技能应用规划教材

数字电路基础与实验实训

孔欣 管瑞霞 严伟 编著

中国人民大学出版社

• 北京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路基础与实验实训/孔欣等编著. —北京: 中国人民大学出版社, 2012
浙江省重点教材建设项目
全国高等院校计算机职业技能应用规划教材
ISBN 978 - 7 - 300 - 15668 - 2

I. ①数… II. ①孔… III. ①数字电路-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 220270 号

浙江省重点教材建设项目
全国高等院校计算机职业技能应用规划教材
数字电路基础与实验实训
孔欣 管瑞霞 严伟 编著

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010 - 62511242 (总编室)		010 - 62511398 (质管部)
	010 - 82501766 (邮购部)		010 - 62514148 (门市部)
	010 - 62515195 (发行公司)		010 - 62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn		
	http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	北京市媛明印刷厂		
规 格	185mm×260mm 16 开本	版 次	2012 年 9 月第 1 版
印 张	13.25	印 次	2012 年 9 月第 1 次印刷
字 数	331 000	定 价	26.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换



前言

随着半导体技术的迅猛发展和微型计算机的广泛应用,数字电子技术在现代科学技术领域已经成为发展最快的学科之一。它的发展不仅深刻地影响着人们的生产、生活,也推动着其他学科的进步。

本书遵循理论够用、应用为主、注重实践的教学思想编写。根据高校学生的实际情况,注重基础知识与应用并重,强调实践动手能力,在内容安排上弱化了繁杂的数学公式推导以及集成电路的内部结构,将重点放在学生在数字逻辑电路领域的基本素质培养,分析、设计、调试方法的训练,以及分析设计能力的提高上,力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂、图文并茂。

本书从实用数字电子技术的基础理论出发,由浅入深地介绍了数字逻辑电路的基本概念、常用集成电路芯片及其应用。全书共分10章,主要内容按照知识能力训练和实验技能训练设计,第1~7章包括数字逻辑电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、模-数和数-模转换、半导体存储器和可编程逻辑器件,并配有习题和答案;第8章主要介绍数字电路实验中常用仪器的使用方法和电路故障的诊断技术,电路搭建和调试的基本方法以及安全用电知识;第9章给出了9个典型的实验项目,实验的设计从认知性实验、基础性实验到系统设计性实验,实验项目包括集成逻辑门电路的逻辑功能测试、TTL门电路主要参数的测试、组合逻辑电路的设计与测试、译码器及其应用、数据选择器及其应用、触发器逻辑功能的测试、移位寄存器的功能测试及其应用、计数器功能测试及其应用、D-A与A-D转换器;第10章给出了4个实训项目,包括使用门电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器、交通灯控制电路设计、四人智力竞赛抢答器设计、简易数字频率计设计。在安排教学内容时,可以视具体要求和学时的多少,做必要的增删,实验实训也可自由穿插到相关知识的教学后进行。

本书为浙江省重点教材建设项目,由孔欣、管瑞霞、严伟编著。其中第1、2、6、8章由孔欣编写,第3~5章由管瑞霞编写,第7章由严伟编写,第9、10章由孔欣和管瑞霞共同编写。本书由孔欣策划和统稿。

由于编者水平有限,书中错漏和不妥之处难免,欢迎读者批评指正,联系邮箱是 kongxinkx@sohu.com。

编者

2012年2月

目 录

第1章 数字逻辑电路基础知识 1

1.1 数制与编码	3
1.1.1 数制	3
1.1.2 数在计算机中的表示方法	3
1.1.3 计算机中的编码	4
1.2 逻辑代数基础	5
1.2.1 逻辑变量	5
1.2.2 逻辑代数中的三种基本运算	5
1.2.3 复合逻辑运算	7
1.2.4 基本公式和定律	8
1.2.5 若干常用公式	9
1.2.6 逻辑代数的三个规则	9
1.3 逻辑函数及其表示方法	10
1.3.1 逻辑函数	10
1.3.2 逻辑函数的表示方法	10
1.3.3 逻辑函数表示方法的相互转换	11
1.4 逻辑函数的化简法	12
1.4.1 最小项	13
1.4.2 逻辑函数的公式化简法	13
1.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法	15
1.4.4 具有无关项的逻辑函数化简	18
习题1	18

第2章 逻辑门电路 20

2.1 常用二极管	22
2.1.1 半导体基本知识	22

2.1.2 半导体的导电作用	22
2.1.3 PN结和二极管	23
2.1.4 稳压二极管	26
2.1.5 发光二极管(LED)	27
2.2 三极管	28
2.2.1 三极管的结构与符号	28
2.2.2 三极管的放大作用	29
2.2.3 三极管的特性曲线	29
2.3 场效应管	31
2.3.1 N沟道增强型MOS管	31
2.3.2 N沟道耗尽型MOS管	32
2.4 二极管和三极管的开关特性	32
2.4.1 二极管的开关特性	32
2.4.2 双极性三极管的开关特性	32
2.4.3 MOS管的开关特性	33
2.5 逻辑门电路	33
2.5.1 基本逻辑门电路	33
2.5.2 常用的逻辑电平	35
2.5.3 TTL门电路	35
习题2	40

第3章 组合逻辑电路 42

3.1 组合逻辑电路的分析与设计	44
3.1.1 组合逻辑电路的分析	44
3.1.2 组合逻辑电路的设计	46
3.2 常见组合逻辑电路	47
3.2.1 编码器	47

3.2.2 译码器	50
3.2.3 加法器	54
3.2.4 数值比较器	56
3.2.5 数据选择器	57
习题3	59
第4章 触发器	60
4.1 触发器概述	61
4.2 基本RS触发器	61
4.3 同步RS触发器	64
4.4 主从触发器	66
4.4.1 主从JK触发器	66
4.4.2 D触发器	69
4.4.3 T和T'触发器	70
4.5 不同逻辑功能触发器之间的 转换	71
4.5.1 JK触发器转换为其他逻辑功能 触发器	72
4.5.2 D触发器转换为其他逻辑功能 触发器	73
习题4	74
第5章 时序逻辑电路	77
5.1 时序逻辑电路分析	78
5.1.1 时序逻辑电路的特点	78
5.1.2 同步时序逻辑电路分析	79
5.2 时序逻辑电路的应用	84
5.2.1 寄存器	84
5.2.2 计数器	86
习题5	89
第6章 模-数与数-模转换	92
6.1 模-数转换器	94
6.1.1 A-D转换器的基本原理	94
6.1.2 A-D转换器芯片ADC0809	96
6.1.3 A-D转换器的主要性能指标	97
6.2 数-模转换器	97
6.2.1 全电阻网络D-A转换原理	97
6.2.2 D-A转换器芯片DAC0808	98
6.2.3 D-A转换器的主要性能指标	99

习题6	100
第7章 半导体存储器和可编程 逻辑器件	101
7.1 随机存取存储器(RAM)	102
7.1.1 RAM的一般结构和读/写过程 ...	102
7.1.2 RAM中的存储单元	104
7.1.3 SRAM存储容量的扩展	104
7.2 只读存储器(ROM)	105
7.2.1 ROM的结构	106
7.2.2 ROM的种类	108
7.3 可编程逻辑器件	109
7.3.1 可编程逻辑器件简介	109
7.3.2 可编程逻辑器件的基本结构	109
7.3.3 可编程逻辑器件的分类 和特点	111
7.4 FPGA系统设计概述	113
7.4.1 PLD编程语言HDL	113
7.4.2 PLD设计开发软件	114
7.4.3 程序的写入	114
习题7	115
第8章 数字电路实验实训基础 知识	117
8.1 项目实验实训要求	118
8.2 逻辑电路图的三种形式	119
8.3 集成电路芯片简介	120
8.3.1 TTL集成电路使用规则	121
8.3.2 CMOS集成电路使用规则	121
8.4 仪器、设备安全使用注意事项	122
8.5 常用仪器仪表的使用	124
8.5.1 示波器的使用	124
8.5.2 数字万用表的使用	124
8.6 数字电路实验装置的检查	126
8.7 数字电路的安装技术	127
8.8 数字电路的调试技术	128
8.9 数字电路测试及故障查找、排除 ...	128
8.10 安全用电知识	129
8.10.1 电流对人体的作用	129
8.10.2 触电急救	130
8.10.3 保护接地和保护接零	130

8.10.4 电气防雷	132	实验 8 计数器功能测试及其应用	163
8.10.5 电气防火和防爆	133	实验 9 D-A 与 A-D 转换器	168
8.10.6 静电的防护	134	第 10 章 数字电路实训	174
第 9 章 数字电路实验	136	实训项目 1 使用门电路产生脉冲信号	
实验 1 集成逻辑门电路的逻辑功能		——自激多谐振荡器	175
测试	137	实训项目 2 交通灯控制电路设计	177
实验 2 TTL 门电路主要参数的测试 ...	140	实训项目 3 四人智力竞赛抢答器设计 ...	180
实验 3 组合逻辑电路的设计与测试 ...	144	实训项目 4 简易数字频率计设计	183
实验 4 译码器及其应用	146	附录 A 常用集成电路引脚图	188
实验 5 数据选择器及其应用	150	附录 B 国标集成电路的型号命名	
实验 6 触发器逻辑功能的测试	154	方法	192
实验 7 移位寄存器的功能测试及其		附录 C 部分习题参考答案	193
应用	158	参考文献	200

第1章 数字逻辑电路基础知识



课前导读

计算机除了用于数值计算外，还要处理大量符号，如英文字母、汉字、图像、声音等非数值信息。

案例 1:

当你要用计算机编写文章时，就需要将文章中的各种符号、英文字母、汉字等输入计算机，然后由计算机进行编辑排版。因此，计算机要对各种文字进行处理。通常，计算机中的数据可以分为数值型数据与非数值型数据。其中数值型数据就是常说的“数”（如整数、实数等），它们在计算机中是以二进制形式存放的。而非数值型数据与一般的“数”不同，通常不表示数值的大小，而只表示字符或图形等信息，但这些信息在计算机中也是以二进制形式来表示的。

老子说：道生一，一生二，二生三，三生万物，万物负阴而抱阳，冲气以为和。这段话所指的，就是《易经》利用阴阳创造万物的基本思想与过程。现代计算机所应用的，正符合宇宙创造万物的阴阳原理。具体地说，《易经》八卦的生成，恰恰表达了上述的二进制原理。

在1672—1676年，德国著名的数学家和哲学家莱布尼兹（Gottfried Wilhelm von Leibniz）研究了二进制算术。之后，他接触到了中国《易经》中的六十四卦图，认为二进制数与六十四卦图的符号是有联系的，1703年，莱布尼兹在法国《皇家科学院纪录》上发表标题为《关于仅用0与1两个记号的二进制算术的说明并附有其效用及关于据此解释古代中国伏羲图的探讨》的论文。图1—1是八卦生成过程与二进制的比较。

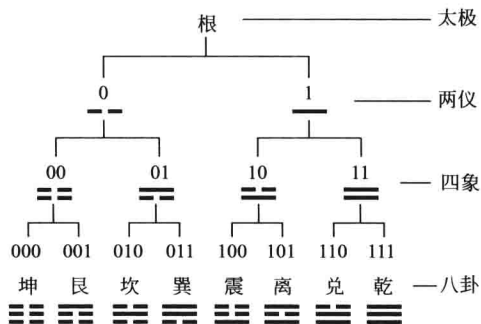


图1—1 八卦生成过程和二进制的比较

计算机是由电子元器件构成的，二进制只有两个数字，在电气、电子元器件中最易实现，它用两种稳定的物理状态即可表达，且稳定可靠。而若采用十进制，则需用十种稳定的物理状态分别表示十个数字，不易找到具有这种性能的元器件，即使有，其运算与控制的实现也极为复杂。

案例 2:

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。例如，电灯的亮、灭决定了电源是否接通，如果接通，电灯就会亮，否则就灭。电源接通与否是因，电灯亮不亮是果。这种因果关系，一般称为逻辑关系，反映和处理这种关系的数学工具，就是逻辑代数。

逻辑代数由英国数学家 George Boole 在 19 世纪中叶创立，所以也叫做布尔代数。直到 20 世纪 30 年代，美国人克劳福德·香农 (Claude Elwood Shannon) 在开关电路中才找到了它的途径，并且很快就成为分析和设计开关电路的重要数学工具。

计算机是一种能够自动完成运算的电子装置。其所以能够自动完成运算，是因为它能够存储程序、原始数据和中间结果，并采用二进制计算出最终结果。利用计算机不仅能够完成数学运算，而且可以进行逻辑运算，同时还具有推理判断的能力。因此，人们称它为“电脑”。现在，科学家们正在研究具有“思维能力”的智能计算机。那么，布尔代数、逻辑学和二进制算术之间有什么内在的联系？计算机中的运算是怎样实现的？二进制和逻辑代数就是本章所要讲授的重要内容。



技能目标

- 掌握逻辑函数的表示方法及相互转换；
- 掌握利用公式法和卡诺图法对逻辑函数进行化简。



知识目标

- 了解数制与编码；
- 掌握逻辑代数的基本定律和基本运算规律；
- 掌握逻辑函数的各种表达方式。

用于电子电路的信号分为两大类：模拟信号和数字信号。

在时间和数量上都是离散的物理量称为数字量。表示数字量的信号称做数字信号。工作在数字信号下的电子电路称做数字电路。例如，用电子电路记录从自动生产线上输出的零件数目时，每送出一个零件便给电子电路一个信号，使之记 1，而平时没有零件送出时加给电子电路的信号是 0，所以不记数。可见，零件数目这个信号无论在时间上还是在数量上都是不连续的，因此它是一个数字信号。最小的数量单位就是 1。

在时间上或数值上都是连续的物理量称为模拟量。表示模拟量的信号称做模拟信号。工作在模拟信号下的电子电路称做模拟电路。例如，热电偶在工作时输出的电压信号就属于模拟信号，因为所测得的电压信号无论在时间上还是在数量上都是连续的。这个电压信号在连续变化过程中的任何一个取值表示一个相应的温度。

1.1 数制与编码

1.1.1 数制

1. 基本概念

任意一个数都可以表示为：

$$(D)_r = a_{n-1}r^{n-1} + a_{n-2}r^{n-2} + \cdots + a_1r^1 + a_0r^0 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i r^i$$

其中， r 为该进制数的基数； a_i 为该进制数中第 i 位上的数码； r^i 为第 i 位的位权； $a_i r^i$ 表示第 i 位的位值。

例如， 8×10^2 表示十进制整数第 3 位上的位值是 800。当 i 为负整数时， r^i 表示该进制小数位上的位权。

- 数制：计数的方法，用一组固定的符号和统一的规则来表示数值的方法。在计数过程中采用进位的方法，称为进位计数制。

- 数码（数位）：数码在一个数中所处的位置，它可以是 0~9 这十个数码中的任何一个。

- 基数：在某种进位计数制中，数位上所能使用的数码的个数。例如，二进制的基数是 2，十进制数的基数是 10，八进制的基数是 8， n 进制的基数就是 n 。

- 位权：在某种进位计数制中，数位所代表的大小。对于一个 n 进制数（即基数为 n ），若数位记作 j ，则位权可记作 n^j 。

2. 计算机中常用数制的表示

(1) 十进制数 (Decimal Number) 用后缀 D 表示或无后缀。

基数是 10，用到 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共十个数码，逢十进一。

(2) 二进制数 (Binary Number) 用后缀 B 表示。

基数是 2，用 0、1 来表示，逢二进一。

(3) 八进制数 (Octal Number) 用后缀 O 表示。

基数是 8，用 0、1、3、4、5、6、7 来表示，逢八进一。

(4) 十六进制数 (Hexadecimal Number) 用后缀 H 表示。

基数是 16，用 0~9、A、B、C、D、E、F 来表示，逢十六进一。

在计算机系统中，二进制主要用于机器内部的数据处理；八进制和十六进制主要用于书写程序；十进制主要用于运算最终结果的输出。

1.1.2 数在计算机中的表示方法

1. 数的符号表示法

由于在计算机中，二进制数码是用双稳态元件来表示的，因此，对于数的符号“+”或“-”很容易想到也用一位数码来表示，即：用数码“0”表示正数的符号“+”；用数码“1”表示负数的符号“-”。

有符号数在机器中的表示形式如图 1—2 所示，前者表示 +74，后者表示 -74。

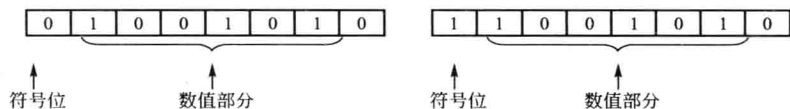


图 1—2 符号数的表示形式

这种连正负号也数字化的数，称为机器数，是计算机所能识别的数；而把这个数本身，

即用“+”、“-”号表示的数称为真值。

2. 数的原码、反码及补码

数的二进制数表示形式在计算机中通常有三种代码，即原码、反码和补码。在了解原码、反码和补码之前，首先应了解机器数的概念。机器数是指数在计算机中的表示形式。为了表示通常的数与机器数的对应关系，将通常的数称为机器数的数值。因此，在计算机中只有机器数，不存在数的真值。

(1) 原码。原码是一种简单的机器数表示法。其符号位用数码 0 表示正号，用数码 1 表示负号，数值部分按二进制书写。

【例 1】 写出数 $X=+1010$ 的原码。

解： $X_{\text{原}}=00001010$

【例 2】 写出数 $X=-1010$ 的原码。

解： $X_{\text{原}}=10001010$

(2) 补码。正数的补码就是它本身；负数的补码是取真值的绝对值，再按二进制逐位求反，最后加 1，就成了负数的补码。

【例 3】 写出数 $X=+1010$ 的补码。

解： $X_{\text{补}}=00001010$

【例 4】 写出数 $X=-1010$ 的补码。

解： $X_{\text{补}}=11110110$

(3) 反码。正数的反码就是它本身，按二进制书写即是。负数的补码是取真值的绝对值，再按二进制逐位求反即可。

【例 5】 写出数 $X=+0011$ 的反码。

解： $X_{\text{反}}=00000011$

【例 6】 写出数 $X=-0011$ 的反码。

解： $X_{\text{反}}=11111100$

3. 定点数、浮点数表示法

在计算机中，根据数据中小数点的位置是固定不变的，还是浮动变化的，分有定点数和浮点数。定点数表示的是纯整数或纯小数；浮点数表示任何数；定点数用原码、反码、补码表示；浮点数表示法 $f=m \times r^e$ ，其中， m 为浮点数尾数， r 为浮点数的基数， e 为浮点数的阶。在不同的机器中，浮点数的表示也不尽相同。

1.1.3 计算机中的编码

由于计算机只能识别二进制数，但是它不仅要处理二进制数，还要处理十进制数、八进制数、十六进制数，同时还要处理各种符号、英文字母和汉字等。为了使计算机能够识别这些数、字母和符号，因此要将它们用特定的二进制代码来表示，即用二进制数对数字与字符进行编码。用按一定规律排列的多位二进制数码表示某种信息，称为编码。形成代码的规律法则，称为码制。

1. BCD 码（二-十进制编码）

把十进制数的每一位分别写成二进制形式的编码，称为二进制编码的十进制数，即二-十进制编码或 BCD (Binary Coded Decimal) 码。

BCD 码的编码方法很多，通常采用 8421 编码。其方法是用四位二进制数表示一位十进制数，从左到右每一位对应的权分别是 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 ，即 8、4、2、1。例如，十进制数

1975 的 8421 码是：1975(D)=0001 1001 0111 0101 (BCD)。

2. 字符编码

在计算机中，对非数值的文字和其他符号进行处理时，首先要对其进行数字化处理，即用二进制编码来表示文字和符号。字符编码就是以二进制的数字来对应字符集的字符，目前用得最普遍的字符集二进制编码是 ANSI 码。DOS 和 Windows 操作系统都使用了 ANSI 码。

3. ASC II 码

ASC II 码是用七位二进制表示字符的一种编码，使用一个字节表示一个特殊的字符，字节高位为 0 或用于在数据传输时的校验。

4. 汉字编码

西文是拼音文字，基本符号比较少，编码比较容易，因此，在一个计算机系统中，输入、内部处理、存储和输出都可以使用同一代码。汉字种类繁多，编码比拼音文字困难，因此在不同的场合要使用不同的编码。通常有四种类型的汉字编码，即输入码、国标码、内码、字形码。

1.2 逻辑代数基础

1.2.1 逻辑变量

逻辑是指事物的因果关系，或者说条件和结果的关系，这些因果关系可以用逻辑运算来表示，也就是用逻辑代数来描述。逻辑代数是按一定的逻辑关系进行运算的代数，是分析和设计数字电路的数学工具。

事物往往存在两种对立的状态，在逻辑代数中可以抽象地表示为 0 和 1，称为逻辑 0 状态和逻辑 1 状态。

逻辑代数中的变量称为逻辑变量，用大写字母表示。逻辑变量的取值只有两种，即逻辑 0 和逻辑 1，0 和 1 称为逻辑常量，并不表示数量的大小，而是表示两种对立的逻辑状态。

在逻辑代数中，只有 0 和 1 两种逻辑值，与、或、非三种基本逻辑运算，还有与或、与非、或非、异或、同或几种导出逻辑运算。

1.2.2 逻辑代数中的三种基本运算

1. 与

如图 1—3 所示，指示灯控制电路代表与的因果关系。如果把开关闭合作为条件 A、B，把灯亮、暗作为结果 F，图 1—3 的例子表明，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。这种因果关系叫做与逻辑（逻辑乘法运算），记作： $F=A \cdot B$ 。

若分别以 A、B 表示两个开关的状态，并以 1 表示开关闭合，以 0 表示开关打开；以 F 表示灯的状态，并以 1 表示灯亮，以 0 表示灯灭。与逻辑关系的逻辑真值表见表 1—1。

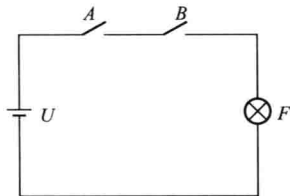


图 1—3 与关系指示灯控制电路

表 1—1 与运算真值表

输入		输出
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

与逻辑电路图形符号如图 1—4 所示。图中列出了与逻辑电路的国标图形符号、国外流行图形符号和曾用图形符号。

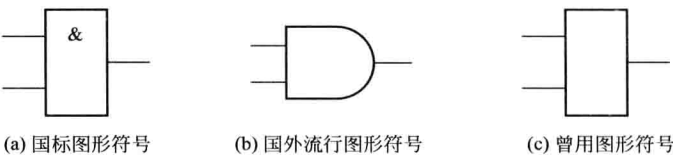


图 1—4 与逻辑电路图形符号

2. 或

图 1—5 所示的是指示灯控制电路代表或的因果关系。同样把开关闭合作为条件 A 、 B ，把灯亮、暗作为结果 F ，图 1—5 的例子表明，只要当决定某一事件的条件中有一个或一个以上具备，这一事件就能发生，这种因果关系称为或逻辑（逻辑加法运算），记作： $F=A+B$ 。

若分别以 A 、 B 表示两个开关的状态，并以 1 表示开关闭合，以 0 表示开关打开；以 F 表示灯的状态，并以 1 表示灯亮，以 0 表示灯灭。或逻辑关系的逻辑真值表见表 1—2。

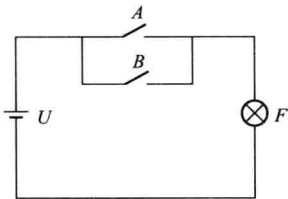


图 1—5 或关系指示灯控制电路

表 1—2 或运算真值表

输入		输出
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

或逻辑电路图形符号如图 1—6 所示。图中列出了或逻辑电路的国标图形符号、国外流行图形符号和曾用图形符号。

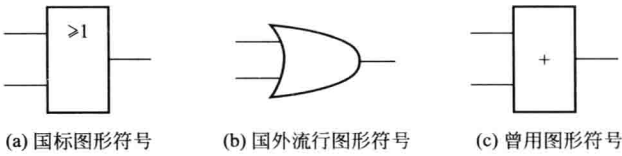


图 1—6 或逻辑电路图形符号

3. 非

图 1—7 所示的是指示灯控制电路代表非的因果关系。同样把开关闭合作为条件 A ，把灯亮、暗作为结果 F 。图 1—7 的例子表明，当决定某一事件的条件满足时，事件不发生；反之，事件发生，这种因果关系称为非逻辑（逻辑求反运算），记作： $F=\overline{A}$ 。

若以 A 表示开关的状态，并以 1 表示开关闭合，以 0 表示开关打开；以 F 表示灯的状态，并以 1 表示灯亮，以 0 表示灯灭。非逻辑关系的逻辑真值表见表 1—3。

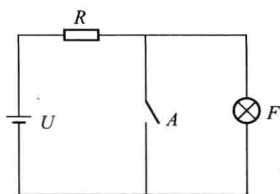


图 1—7 非关系指示灯控制电路

表 1—3 非运算真值表

输入	输出
A	F
0	1
1	0

非逻辑电路图形符号如图 1—8 所示。图中列出了非逻辑电路的国际图形符号、国外流行图形符号和曾用图形符号。

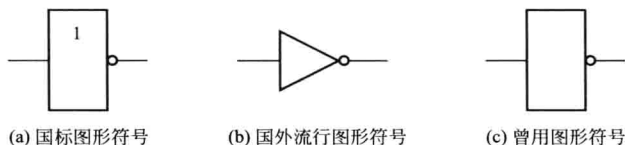


图 1—8 非逻辑电路图形符号

1.2.3 复合逻辑运算

复合逻辑运算和常用逻辑门将与、或、非三种基本的逻辑运算进行组合，可以得到各种形式的复合逻辑运算，其中最常用的几种复合逻辑运算是“与非”运算、“或非”运算、“异或”运算以及“同或”运算。

1. 与非运算

与非逻辑运算算式为 $F = \overline{A \cdot B}$ 。与非逻辑真值表见表 1—4，运算符号如图 1—9 所示。

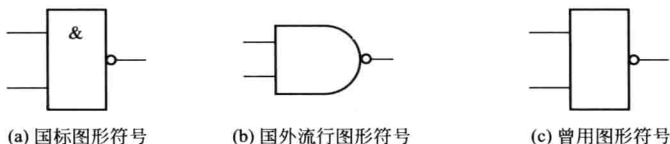


图 1—9 与非逻辑运算符号

2. 或非运算

或非逻辑运算算式为 $F = \overline{A + B}$ 。或非逻辑真值表见表 1—5，运算符号如图 1—10 所示。

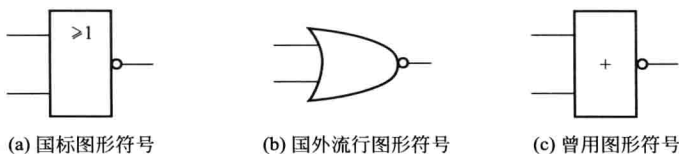


图 1—10 或非逻辑运算符号

表 1—4 与非运算真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 1—5 或非运算真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

3. 异或运算

异或逻辑运算算式为 $F=A\oplus B=A\bar{B}+\bar{A}B$ 。异或逻辑真值表见表 1—6，运算符号如图 1—11 所示。

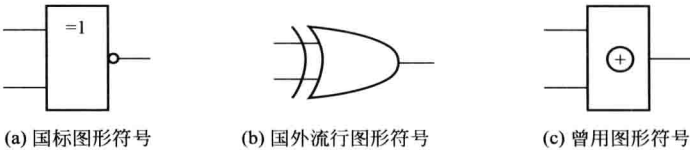


图 1—11 异或逻辑运算符号

4. 同或运算

同或逻辑运算算式为 $F=A\odot B=AB+\bar{A}\bar{B}$ 。同或逻辑真值表见表 1—7，运算符号如图 1—12 所示。

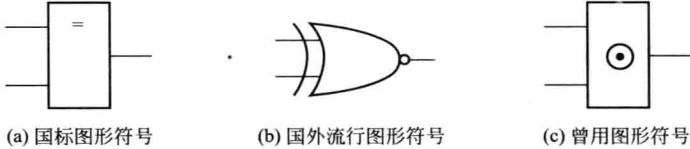


图 1—12 同或逻辑运算符号

表 1—6 异或运算真值表

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 1—7 同或运算真值表

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

1.2.4 基本公式和定律

1. 常量之间的关系

在逻辑代数中，只有 0 和 1 两个常量，而最基本的逻辑关系只有与、或、非三种，常量之间的关系见表 1—8。

表 1—8 常量之间的关系表

与运算	或运算	非运算
$0 \cdot 0 = 0$	$0 + 0 = 0$	$\bar{0} = 1$
$0 \cdot 1 = 0$	$0 + 1 = 1$	
$1 \cdot 0 = 0$	$1 + 0 = 1$	$\bar{1} = 0$
$1 \cdot 1 = 1$	$1 + 1 = 1$	

2. 基本公式

用字母来代替描述事物的两种对立的逻辑状态（字母的取值非 0 即 1），叫做逻辑变量；字母上无反号的叫做原变量；字母上有反号的叫做反变量。逻辑变量的基本公式见表 1—9。

表 1—9

逻辑变量的基本公式

0—1 律	$A+0=A$	$A+1=1$	$A \cdot 0=0$	$A \cdot 1=A$
互补律	$A+\bar{A}=1$	$A \cdot \bar{A}=0$	—	—
等幂律	$A+A=A$	$A \cdot A=A$	—	—
双重否定律	$\bar{\bar{A}}=A$	—	—	—
交换律	$A+B=B+A$	$A \cdot B=B \cdot A$	—	—
结合律	$(A+B)+C=A+(B+C)$	$(A \cdot B) \cdot C=A \cdot (B \cdot C)$	—	—
分配律	$A+B \cdot C=(A+B) \cdot (A+C)$	$A \cdot (B+C)=A \cdot B+A \cdot C$	—	—
反演律 (摩根定律)	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$	$\overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B}$	—	—

上述公式可用穷举法证明。如果对字母变量所有可能的取值在等式两边始终相等，则公式成立。

【例 7】 证明： $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$ 。

证明：对 A、B 两个逻辑变量，其所有可能的取值为 00、01、10、11 四种列表如表 1—10 所示。

表 1—10

例 7 真值表

A	B	$A \cdot B$	$\overline{A \cdot B}$	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{A}+\bar{B}$	结论
0	0	0	1	1	1	1	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$
0	1	0	1	1	0	1	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$
1	0	0	1	0	1	1	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$
1	1	1	0	0	0	0	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$

由此可知： $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$ 成立。

用上述方法同样可以证明： $\overline{A \cdot B \cdot C}=\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}$ 。

1.2.5 若干常用公式

1. $A+AB=A$

证明：左边= $A \cdot 1+A \cdot B=A \cdot (1+B)=A \cdot 1=A$ =右边。

2. $A+\bar{A}B=A+B$

证明：左边= $A+AB+\bar{A}B=A+(A+\bar{A})B=A+1 \cdot B=A+B$ =右边。

1.2.6 逻辑代数的三个规则

在逻辑代数中，利用代入规则、对偶规则、反演规则可由基本定律推导出更多的公式。

1. 代入规则

在任何一个逻辑等式中，如将等式两边所有出现某一变量的地方都用同一函数式替代，则等式仍然成立。这个规则叫做代入规则。

例如，已知 $\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$ ，如用 $B \cdot C$ 来代替等式中的 B，则等式仍成立，故有 $\overline{A \cdot B \cdot C}=\bar{A}+\overline{B \cdot C}=\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}$ 。

2. 对偶规则

将某一逻辑表达式 Y 中的 “ $\cdot$ ” 换成 “ $+$ ”、“ $+$ ” 换成 “ $\cdot$ ”；“0” 换成 “1”，“1” 换成 “0”，就得到一个新的表达式 Y'。这个新的表达式 Y' 就是原表达式 Y 的对偶式。如果两

个逻辑式相等，则它们的对偶式也相等，这就是对偶规则。

例如，已知 $A + \bar{A}B = A + B$ ，则 $A \cdot (\bar{A} + B) = AB$ 。

3. 反演规则

如将某一逻辑式 Y 中的 “ $\cdot$ ” 换成 “ $+$ ”、“ $+$ ” 换成 “ $\cdot$ ”；“ 0 ” 换成 “ 1 ”，“ 1 ” 换成 “ 0 ”；原变量换成反变量，反变量换成原变量，则所得到的逻辑表达式称为原式的反演式 $\bar{Y}$ ，这种变换方法称为反演规则。利用反演规则可以比较容易地求出一个函数的反函数。

【例 8】 求函数 $Y = \bar{A} \cdot B + C \cdot \bar{D} + 0$ 的反函数。

解：利用反演规则可得： $\bar{Y} = (A + \bar{B}) \cdot (\bar{C} + D) \cdot 1$ 。

【例 9】 已知函数 $Y = \bar{A}(B + C\bar{D}) + \bar{B}C$ ，求 $\bar{Y}$ 。

解：利用公式可得 $\bar{Y} = \overline{\bar{A}(B + C\bar{D}) + \bar{B}C} = \overline{\bar{A}(B + C\bar{D})} \cdot \overline{\bar{B}C}$
$$= (A + B + C\bar{D})(B + \bar{C})$$
$$= [A + \bar{B}(\bar{C} + D)](B + \bar{C})。$$

若运用反演规则，可直接求出： $\bar{Y} = [A + \bar{B}(\bar{C} + D)](B + \bar{C})$ 。

1.3 逻辑函数及其表示方法

1.3.1 逻辑函数

从上面讲过的各种逻辑关系中可以看到，如果以逻辑变量作为输入，以运算结果作为输出，则输出与输入之间是一种函数关系，这种函数关系称为逻辑函数，写作： $Y = F(A, B, C, \dots)$ 。

任何一件具体的因果关系都可以用一个逻辑函数描述，由于变量和输出（函数）的取值只有 0 和 1 两种状态，所以我们所讨论的都是二值逻辑函数。

1.3.2 逻辑函数的表示方法

常用的逻辑函数表示方法有逻辑真值表（简称真值表）、逻辑函数式（也称逻辑式或函数式）、逻辑图、卡诺图和波形图（见第 4 章）等。

1. 真值表

将输入变量所有的取值下对应的输出值列成表格，即可得到真值表。

【例 10】 在一个举重比赛中，比赛规则规定，在一名主裁判和两名副裁判中，必须有两人以上（而且必须包括主裁判）认定运动员的动作合格，试举才算成功。用一个逻辑函数真值表描述比赛的逻辑功能。

解：A 表示主裁判的判定，B 和 C 表示两名副裁判的判定，“1” 表示裁判认为动作合格，“0” 表示判定动作不合格；Y 表示运动员试举是否成功，以 “1” 表示试举成功，以 0 表示试举不成功。逻辑关系见表 1—11。

2. 逻辑函数式

把输出与输入之间的逻辑函数关系写成与、或、非等运算的组合式，就得到了所需的逻辑函数式，如 $Y = A(B + C)$ 。

3. 逻辑图

将逻辑函数中各变量之间的与、或、非等逻辑关系用图形符号表示出来，就可以画出表