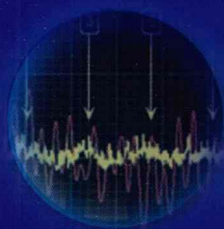




高职高专“十一五”规划教材

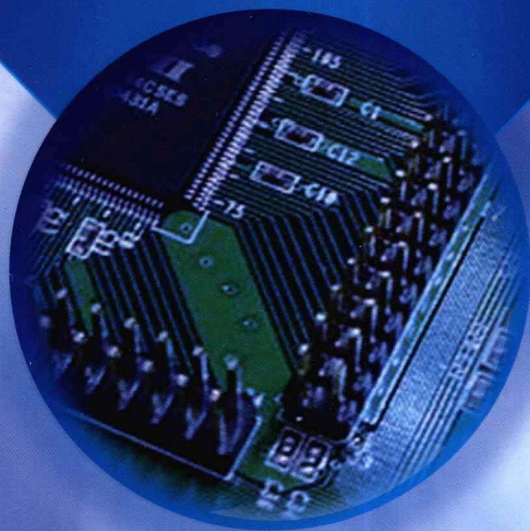
SHUZI DIANZI JISHU



数字电子技术



赵翱东 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

数字电子技术

赵翱东 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书分为两个模块共9章,基本模块包括数字电路基础知识、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数/模和模/数转换器;技能模块包括数字电子实验、EWB软件简介及使用和电子产品工艺基础简介等。

从职业教育特点出发,本书突出基本概念、基本原理和基本分析方法的讲解,采用较多实例代替理论分析;淡化器件内部结构分析,重点介绍器件的符号、特性、功能及应用;降低理论分析、公式推导和计算难度,加大应用实例的篇幅,以突出高等职业教育的特色。

本书可作为高职高专院校自动化、电子信息及计算机类相关专业的教材,也可供有关教师与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/赵翱东主编. —北京:化学工业出版社,
2009.6

高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-05204-9

I. 数… II. 赵… III. 数字电路-电子技术-高等学校:
技术学院-教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第050081号

责任编辑:王听讲

文字编辑:鲍晓娟

责任校对:陶燕华

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数355千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

本教材是根据工科类高等职业教育《电子技术教学大纲》，结合目前高职高专工科类专业发展情况编写的。本书在编写内容上，根据高等职业教育的培养目标和能力要求，以实用、够用为度，在保证必要的基本理论、基本知识、基本技能的基础上，贯彻理论与工程实践相结合，以应用为目的的原则，特别注重实践应用，贴近岗位技能需要。

本书共分9章，系统地介绍了数字电路基础知识、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数/模和模/数转换器，以及相关的实验、实训技能等知识。本书学习过程中可与《电子技术练习册》和《简明电子元器件手册》配套使用。

从职业教育特点出发，本书内容安排深浅合理，通俗易懂，理论联系实际。其特点主要有如下几个方面。

(1) 突出基本概念、基本原理和基本分析方法的讲解，采用较多的实例代替理论分析。

(2) 淡化器件内部结构分析，重点介绍器件的符号、特性、功能及应用。

(3) 尽量降低理论分析、公式推导和计算难度，加大应用实例的篇幅。对一些公式，直接给出结论，忽略推导过程，重点介绍结论的实际意义和应用，以符合高职教育的特点。

(4) 为培养学生的动手能力，拓宽知识面，本书还增加了技能模块，包括数字电子实验、EWB软件简介及使用和电子产品工艺基础简介，以突出高等职业教育的特色。

本书由无锡职业技术学院赵翱东担任主编，吕洁、陈慧、赵勇参编，全书由赵翱东统稿。

本书由陆荣主审，她为本书提出了许多宝贵意见和修改建议，在此表示衷心的感谢。

电子技术日新月异，新的电子器件和技术不断涌现，其应用领域涉及生活的各个方面，由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

基本模块	1
第 1 章 数字电路基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号和数字电路	1
1.1.2 数字电路的特点及应用	1
1.2 数制和码	2
1.2.1 数的表示方法	2
1.2.2 几种数制之间的相互转换	3
1.2.3 码制	5
1.3 逻辑代数	6
1.3.1 基本概念、基本逻辑运算	6
1.3.2 逻辑函数的几种表示方法及相互 转换	9
1.3.3 逻辑代数中的基本公式及定律	11
1.3.4 逻辑函数的公式化简法	13
1.3.5 逻辑函数的卡诺图化简法	14
本章小结	19
思路拓展及应用	20
思考与练习题	20
第 2 章 集成逻辑门电路	23
2.1 二极管及三极管的开关特性	23
2.1.1 标准高低电平的规定	23
2.1.2 二极管的开关特性	23
2.1.3 三极管的开关特性	26
2.2 基本逻辑门电路	29
2.2.1 二极管与门和或门电路	30
2.2.2 三极管非门电路	31
2.3 TTL 集成逻辑门	32
2.3.1 TTL 与非门的工作原理	33
2.3.2 TTL 与非门的工作特性及主要 参数	35
2.3.3 其他类型的 TTL 门电路	41
2.3.4 TTL 集成电路使用中的几个实际 问题	48
2.4 CMOS 集成逻辑门	49
2.4.1 概述	49
2.4.2 基本 CMOS 逻辑电路	50
2.4.3 CMOS 电路使用中的实际问题	55
本章小结	59
思路拓展及应用	60
思考与练习题	62
第 3 章 组合逻辑电路	66
3.1 组合逻辑电路的分析和设计方法	66
3.1.1 概述	66
3.1.2 组合逻辑电路的分析	66
3.1.3 组合逻辑电路的设计	68
3.1.4 数字集成电路简述	71
3.2 加法器	72
3.2.1 半加器和全加器	72
3.2.2 集成加法器及应用	73
3.2.3 集成算术/逻辑运算单元	75
3.3 编码器	76
3.3.1 二进制编码器	76
3.3.2 二-十进制编码器	78
3.4 译码器	80
3.4.1 通用译码器	80
3.4.2 显示译码器	85
3.5 数据选择器	88
3.6 数值比较器	92
3.7 组合逻辑电路中的竞争冒险	95
本章小结	96
思路拓展及应用	96
思考与练习题	99
第 4 章 时序逻辑电路	101
4.1 时序逻辑电路的基本概念	101
4.2 触发器	101
4.2.1 基本 RS 触发器	101
4.2.2 同步 RS 触发器	102
4.2.3 主从 JK 触发器	104
4.2.4 D 触发器	106
4.2.5 集成触发器介绍	109

4.2.6 触发器功能的转换	110	5.1.2 石英晶体多谐振荡器	136
4.3 时序逻辑电路的分析方法	111	5.2 施密特触发器	138
4.3.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	111	5.3 单稳态触发器	140
4.3.2 同步时序逻辑电路分析举例	111	5.4 集成 555 定时器	145
4.3.3 异步时序逻辑电路分析举例	113	本章小结	152
4.4 计数器	114	思路拓展及应用	152
4.4.1 二进制计数器	114	思考及练习题	154
4.4.2 非二进制计数器	118	第 6 章 数/模和模/数转换器	156
4.4.3 通用中规模集成计数器	121	6.1 概述	156
4.4.4 集成计数器的应用	124	6.2 D/A 转换器	156
4.5 寄存器	126	6.2.1 R-2R 倒 T 形电阻网络 DAC	156
4.5.1 数码寄存器	126	6.2.2 集成 D/A 转换器及其应用	158
4.5.2 移位寄存器	127	6.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	163
4.5.3 集成移位寄存器 74HC194	127	6.3 A/D 转换器	166
4.5.4 移位寄存器构成的移位型计数器	128	6.3.1 A/D 转换的一般步骤	166
本章小结	129	6.3.2 A/D 转换器的分类	166
思路拓展及应用	130	6.3.3 逐次渐进式 A/D 转换器	167
思考及练习题	132	6.3.4 双积分 A/D 转换器	170
第 5 章 脉冲波形的产生与整形	135	本章小结	172
5.1 多谐振荡器	135	思考及练习题	172
5.1.1 环形振荡器	135		
技能模块	174		
第 7 章 数字电子实验	174	第 9 章 电子产品工艺基础简介	199
7.1 常用电子仪器的使用	174	9.1 电子产品常用制造材料	199
7.2 门电路功能与转换	176	9.1.1 常用导线	199
7.3 组合逻辑电路	179	9.1.2 常用绝缘材料	201
7.4 触发器逻辑功能测试	181	9.1.3 覆铜板	202
7.5 计数及译码显示综合	183	9.1.4 焊接材料	204
7.6 555 定时电路应用	184	9.2 常用工具	205
第 8 章 EWB 软件简介及使用	187		
附录	209		
附录 A 常用 IC 端子排列图	209	B.2 CD40/45 系列集成电路	218
附录 B 数字集成电路选型参考	216	B.3 其他集成电路	220
B.1 74 系列集成电路	216	附录 C VD622 双踪示波器控制面板	221
参考文献	222		

基本模块

第 1 章 数字电路基础知识

1.1 概述

1.1.1 数字信号和数字电路

工程上将电信号分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指在时间和幅值上都连续变化的信号，例如温度、压力、磁场、电场等物理量通过传感器转换成的电信号，模拟语音的音频信号和模拟图像的视频信号等，如图 1-1 (a) 所示。传输、处理模拟信号的电子线路称为模拟电路。数字信号是指在时间和幅值上都不连续的离散信号，例如计算机中各部件之间传输的信息、生产过程中自动记录零件个数的计数信号等，如图 1-1 (b) 所示。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路。

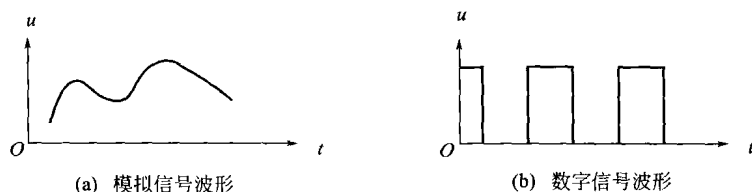


图 1-1 模拟信号和数字信号的电压-时间波形

1.1.2 数字电路的特点及应用

数字电路的基本工作信号是二进制数字信号，采用 1 和 0 这两个二进制基本数字表示脉冲的有、无或者电平的高、低。在稳态时，数字电路中的半导体器件都工作在开、关状态。

与模拟电路相比数字电路具有以下特点：

- ① 电路结构简单，容易制造，便于集成以及系列化生产，成本较低；
- ② 数字元器件通用性强，由数字电路组成的数字系统，工作可靠，精度较高，抗干扰能力强；
- ③ 除了完成数值运算，数字电路还能进行逻辑判断和逻辑运算，因此常把数字电路称为“数字逻辑电路”。

由于具有上述的特点，数字电路在电子计算机、自动控制、数字化仪表、通信、雷达、

数字化家电等领域都得到了广泛应用。

1.2 数制和码

1.2.1 数的表示方法

数制就是计数的方法。人们在生产和生活中，根据自身的需要和方便，创造了很多不同的计数表示方法。常用的计数体制有十进制、二进制、八进制、十六进制等，这些数制采用的都是位置计数法。

1. 十进制 (decimal)

十进制是人们最熟悉的一种数制，它以 10 作为基数 (radix number)，使用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数字符号作为数码，计数的原则是“逢十进一，借一当十”。例如：

$$(5350.23)_{10} = (5 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 0 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2})_{10}$$

式中括号外的注脚 10 表示括号内的数是十进制数。 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 这些以 10 为底的幂，是根据每一位数码所在的位置确定的，称为位权 (weight)。

根据以上分析，可以将任意十进制数 M 表示为

$$[M]_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \times (10)^i \quad (1-1)$$

式中 i 可以是一 ∞ 至 $+\infty$ 之间的任意整数， a_i 是第 i 位的系数，它可以是 0~9 中任一数字， $(10)^i$ 是第 i 位的位权，因此式 (1-1) 也被称为十进制数的按权展开式。

2. 二进制 (binary)

在数字系统中常采用二进制计数制，因为在数字电路工作时，通常只有两种基本状态，如电位高或低，脉冲有或无，晶体管导通或截止等，二进制数制使用 0 和 1 两个数码，可以直接与数字电路的两个基本状态直接对应。二进制以 2 作为基数，计数的原则是“逢二进一，借一当二”，位权是 2 的整数幂。例如：

$$(1011.1)_2 = (1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1})_{10}$$

任意二进制数 M 的按权展开式表示为

$$[M]_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \times (2)^i \quad (1-2)$$

式中系数 a_i 可以是 0 或 1 中任一数字。

通常把一位二进制数叫做一比特 (bit)，八位二进制数叫做一字节 (byte)，十六位二进制数叫做一个字，而二进制数的位数叫做字长。

二进制的基本运算规则简单、运算操作简便，使用的数字装置简单可靠，所用元件少，很容易用二极管、三极管等电子元器件来实现。但对于较大的数值，二进制数表示时位数较多，不便于书写和记忆，所以在数字系统中还采用了八进制和十六进制。

3. 八进制 (octal) 和十六进制 (hexadecimal)

八进制是以 8 作为基数的计数体制，使用 0、1、2、3、4、5、6、7 这 8 个数码，计数的原则是“逢八进一，借一当八”，位权是 8 的整数幂。例如：

$$(174)_8 = (1 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 4 \times 8^0)_{10}$$

任意八进制数 M 的按权展开式表示为

$$[M]_8 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \times (8)^i \quad (1-3)$$

式中系数 a_i 可以是 $0 \sim 7$ 中任一数字。

十六进制是以 16 作为基数的计数体制, 采用的数码为 $0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F$, 其中 $A \sim F$ 分别代表十进制数 $10 \sim 15$ 。其计数的原则是“逢十六进一, 借一当十六”, 位权是 16 的整数幂。例如:

$$(4E6)_{16} = (4 \times 16^2 + E \times 16^1 + 6 \times 16^0)_{10} = (4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0)_{10}$$

任意十六进制数 M 的按权展开式表示为

$$[M]_{16} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \times (16)^i \quad (1-4)$$

4. 任意进制数

由前面的式(1-1)到式(1-4), 不难得出任意 N 进制数 M 的按权展开式可以表示为

$$[M]_N = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \times (N)^i \quad (1-5)$$

1.2.2 几种数制之间的相互转换

1. 非十进制转换为十进制

由前面几种数制的介绍分析不难看出, 将非十进制数的按权展开式按照十进制的规律进行运算, 得出其相加的结果, 即为对应的十进制数。

【例 1-1】 (a) $(11010.1)_2 = (1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1})_{10} = (26.5)_{10}$

(b) $(136)_8 = (1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0)_{10} = (94)_{10}$

(c) $(34A)_{16} = (3 \times 16^2 + 4 \times 16^1 + 10 \times 16^0)_{10} = (842)_{10}$

(d) $(25)_7 = (2 \times 7^1 + 5 \times 7^0)_{10} = (19)_{10}$

2. 十进制转换为非十进制

① 十进制数的整数部分转换为非十进制数时可采用连除法, 即将十进制数连续除以转换数的基数, 每次除完后所得余数作为需转换数的系数。先得到的余数为转换数的低位, 后得到的为高位, 直到除得的商为 0 为止。这种方法概括地说就是“除基数, 得余数, 作系数, 从低位, 到高位”。

【例 1-2】 $(26)_{10} = ()_2 = ()_8 = ()_{16}$

$$\begin{array}{rcl} 2 \overline{) 26} & \dots & \text{余} 0 \uparrow \text{低位} \\ 2 \overline{) 13} & \dots & \text{余} 1 \\ 2 \overline{) 6} & \dots & \text{余} 0 \\ 2 \overline{) 3} & \dots & \text{余} 1 \\ 2 \overline{) 1} & \dots & \text{余} 1 \uparrow \text{高位} \\ 0 & & \end{array}$$

分析可得 $(26)_{10} = (11010)_2$, 同理

$$\begin{array}{rcl} 8 \overline{) 26} & \dots & \text{余} 2 \uparrow \\ 8 \overline{) 3} & \dots & \text{余} 3 \\ 0 & & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} 16 \overline{) 26} & \dots & \text{余} 10 \uparrow \\ 16 \overline{) 1} & \dots & \text{余} 1 \\ 0 & & \end{array}$$

$(26)_{10} = (32)_8 = (1A)_{16}$

② 十进制数的小数部分转换为其他进制小数时可采用连乘法，即将十进制纯小数乘以要转换出的数制的基数，取其积的整数部分作系数，剩余的纯小数部分再乘基数，先得到的整数作系数的高位，后得到的作低位，直到纯小数部分为 0 或达到一定精度为止。这种方法可概括为“乘基数，取整数，作系数，从高位，到低位”。

【例 1-3】 将 $(0.562)_{10}$ 转换成误差 ϵ 不大于 2^{-6} 的二进制数。

解：用“乘 2 取整”法，按如下步骤转换。

取整

$$\begin{aligned} 0.562 \times 2 &= 1.124 \cdots \cdots 1 \\ 0.124 \times 2 &= 0.248 \cdots \cdots 0 \\ 0.248 \times 2 &= 0.496 \cdots \cdots 0 \\ 0.496 \times 2 &= 0.992 \cdots \cdots 0 \\ 0.992 \times 2 &= 1.984 \cdots \cdots 1 \end{aligned}$$

由于最后的小数 $0.984 > 0.5$ ，根据“四舍五入”的原则，位权为 2^{-6} 的那一位系数应为 1。因此 $(0.562)_{10} = (0.100011)_2$ ，其误差 $\epsilon < 2^{-6}$ 。

注意，十进制数的小数部分转换为八进制数的小数可采用“乘 8 取整”法，转换为十六进制数的小数可采用“乘 16 取整”法，转换为 N 进制数的小数可采用“乘 N 取整”法，转换方法与转换为二进制数的小数类似。

3. 二进制与八、十六进制间的相互转换

表 1-1 是几种数制相互关系的对照表。

表 1-1 几种数制相互关系的对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

由表 1-1 不难看出，每一个八进制数都可以用三位二进制数来表示，所以可以将一个二进制的整数部分自小数点开始由低位向高位（小数部分自小数点开始由高位向低位）每三位一组写出各组对应的一位八进制数，再从左到右读写，就是转换后的八进制数。如 $(1010001.1)_2 \Rightarrow (001\ 010\ 001.100)_2 \Rightarrow (121.4)_8$ 。

同理，由于每一个十六进制数都可以用四位二进制数来表示，因此可将二进制数每四位

一组（整数部分自小数点开始由低位向高位，小数部分自小数点开始由高位向低位；最高位一组或小数点后最低位一组如位数不足四位均可用 0 补齐）写出其对应的一位十六进制数，再从左到右读写，即为转换后的十六进制数。如 $(1010001.1)_2 \Rightarrow (0101\ 0001.1000)_2 \Rightarrow (51.8)_{16}$ 。

上述方法是可逆的，将八进制数的每一位写成三位二进制数，以及将十六进制数的每一位写成四位二进制数，左右顺序不变，就可以将八进制数与十六进制数直接转换为二进制数。

1.2.3 码制

码制是指用二进制数表示数字或字符的编码方法。常用的编码有多种，这里只介绍二十进制编码。

二十进制码，又称 BCD 码，是用二进制码表示的十进制数。由于十进制数有 0~9 共十个数码，所以用四位二进制码表示，这里的“二进制”并无“进位”的含义，只是强调采用的是二进制数的符号而已。大家知道，四位二进制码共有十六种不同的组合（或叫状态），可以选取其中的任意十个组合代表 0~9 十个数字。这种表示方法称为编码，其方案有上百种，但常用的只有几种，如表 1-2 所示，其中最常用的是 8421BCD 码。

表 1-2 常用的几种 BCD 编码

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

从表 1-2 中可以看出，8421BCD 码和一个四位二进制数一样，从高位到低位的权依次为 8、4、2、1，故称为 8421 码。在这种编码中，1010~1111 等六种状态是不使用的，被称为禁用码。通常将每一位具有位权的编码称为有权码。

由表 1-2 还可以看出，5421BCD 码也是有权码，从高位到低位的权依次为 5、4、2、1，0101~0111 和 1101~1111 等六种状态为禁用码。2421BCD 码也是有权码，从高位到低位的权依次为 2、4、2、1，0101~1010 等六种状态为禁用码。但余 3 码和格雷码的每一位没有恒定的权，所以称为无权码。

此外，在数字电路中，还有一些专门处理字母、标点符号、运算符号的二进制代码，如 ASCII 码、ISO 码等，可参阅其他相关书籍。

用 BCD 码表示十进制数时，只要把十进制数的每一位数码分别用 BCD 码取代即可。反之，若要知道 BCD 码代表的十进制数，只要把 BCD 码以小数点为起点向左、向右每四位分一组，再写出每一组代码代表的十进制数，并保持原排序即可。例如：

$$(95.7)_{10} = (10010101.0111)_{8421BCD} = (11001000.1010)_{\text{余}3BCD}$$

1.3 逻辑代数

1.3.1 基本概念、基本逻辑运算

1. 逻辑函数与逻辑变量

逻辑函数是表示输入逻辑变量与输出逻辑变量之间关系的函数，用数学式表示，即为 $F=f(A,B,C,D\cdots)$ 。其中 F 称为输出逻辑变量， $A、B、C、D\cdots$ 称为输入逻辑变量。逻辑变量的取值十分简单，不是 0 就是 1，没有第三种可能。这里的 0 和 1 不表示数量的大小，只表示两种不同的逻辑状态。

2. 三种基本逻辑关系及表示方法

逻辑代数中只有三种基本运算：与、或、非。

1) 与逻辑 (AND)

(1) 与逻辑关系 只有当决定某一事物结果的所有条件同时具备时，结果才会发生，这种因果关系叫做与逻辑，也叫逻辑乘、逻辑与。如图 1-2 所示电路反映的就是与逻辑关系，只有开关 A 和 B 都闭合时，灯才亮，其中只要有一个断开，灯就熄灭。

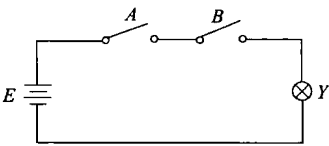


图 1-2 与逻辑关系

在数字电路中，往往只关注输入与输出之间的逻辑关系。表 1-3 是图 1-2 所示与逻辑关系电路的逻辑真值表，表中用 0 和 1 表示开关 A 和 B 的状态，1 表示开关闭合，0 表示开关断开；灯 Y 的状态也用 1 和 0 来表示，1 表示灯亮，0 表示灯不亮。从与逻辑的真值表可以看出，只有 $A、B$ 都为 1 时， Y 才为 1。

表 1-3 与逻辑的逻辑真值表

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

当 $A、B$ 表示输入变量， Y 表示输出变量时，上述 $A、B$ 与 Y 的关系可以用逻辑函数表达式表示为

$$Y=A \cdot B=AB$$

与逻辑的运算规则为：“输入有 0，输出为 0；输入全 1，输出为 1”，也可表示为 “ $0 \cdot 0=0 \cdot 1=1 \cdot 0=0, 1 \cdot 1=1$ ”。

与逻辑还可以推广到多变量的情况： $Y=A \cdot B \cdot C \cdot D \cdots=ABCD \cdots$

(2) 与门 能够实现逻辑运算的电路称为逻辑门电路，简称门电路。数字电路中能够实现与逻辑的基本单元电路叫做与门，其逻辑符号如图 1-3 所示。

2) 或逻辑 (OR)

(1) 或逻辑关系 如果决定某一事物结果的所有条件中只要有一个或一个以上条件具备时，结果就会发生，这种因果关系叫做或逻辑，也称逻辑加。如图 1-4 所示的电路反映的就是或逻辑关系，两个并联的开关控制一个灯泡，显然，开关 $A、B$ 只要有一个闭合，灯泡就会亮。

表 1-4 是图 1-4 或逻辑关系电路的逻辑真值表，如果用逻辑表达式来描述，则可写成： $Y=A+B$ 。

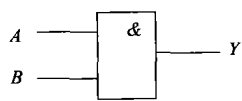


图 1-3 与门逻辑符号

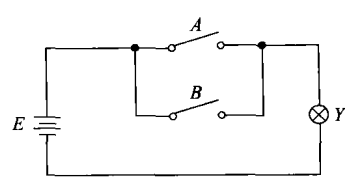


图 1-4 或逻辑关系

表 1-4 或逻辑的逻辑真值表

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

或逻辑的运算规则为：“输入有 1，输出为 1；输入全 0，输出为 0”，也可表示为“ $0+0=0$ ， $0+1=1+0=1+1=1$ ”。

或逻辑也可以推广到多变量的情况： $Y=A+B+C+\cdots$

(2) 或门 能够实现或逻辑的基本单元电路叫做或门，其逻辑符号如图 1-5 所示。

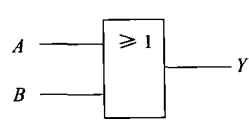


图 1-5 或门逻辑符号

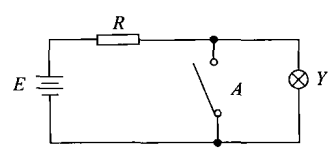


图 1-6 非逻辑关系

3) 非逻辑

(1) 非逻辑关系 非逻辑是这样一种因果关系：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，这样的因果关系叫做逻辑非，也称逻辑求反。如图 1-6 所示是一个开关和一个灯泡并联，若把开关闭合作为条件，灯泡亮作为结果，显然，开关闭合，灯泡不亮；开关打开，灯泡亮。

表 1-5 是图 1-6 非逻辑关系电路的逻辑真值表，如果用逻辑表达式来描述，则可写成： $Y=\bar{A}$ 。

表 1-5 非逻辑的逻辑真值表

A	Y
0	1
1	0

非逻辑的运算规则为：“ $\bar{0}=1$ ， $\bar{1}=0$ ”，不难得出“ $\overline{\bar{0}}=0$ ， $\overline{\bar{1}}=1$ ”。

(2) 非门 能够实现非逻辑的基本单元电路叫做非门，其逻辑符号如图 1-7 所示。

3. 复合逻辑函数

任何复杂的逻辑运算都可以由与、或、非三种基本逻辑运算组合而成。在实际应用中为了减少逻辑门的数目，使数字电路的设计更方便，还常常使用复合逻辑函数。含有两种或两种以上基本逻辑

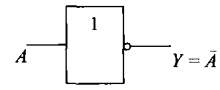


图 1-7 非门逻辑符号

运算的逻辑函数称为复合逻辑函数。

1) 与非逻辑

与非逻辑由与逻辑和非逻辑组合而成，其逻辑表达式为： $Y = \overline{A \cdot B} = \overline{AB}$ ，逻辑真值表及门电路逻辑符号分别见表 1-6 和图 1-8。

与非逻辑亦可推广到多变量的情况： $Y = \overline{ABCD\cdots}$

表 1-6 与非逻辑的逻辑真值表

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

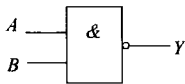


图 1-8 与非门逻辑符号

2) 或非逻辑

或非逻辑由或逻辑和非逻辑组合而成，其逻辑表达式为： $Y = \overline{A+B}$ ，逻辑真值表及门电路逻辑符号分别见表 1-7 和图 1-9。

或非逻辑亦可推广到多变量的情况： $Y = \overline{A+B+C+D+\cdots}$

表 1-7 或非逻辑的逻辑真值表

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

3) 与或非逻辑

与或非逻辑由与逻辑、或逻辑和非逻辑组合而成，其逻辑表达式为： $Y = \overline{AB+CD}$ ，逻辑真值表及门电路逻辑符号分别见表 1-8 和图 1-10。

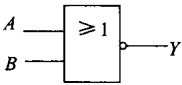


图 1-9 或非门逻辑符号

表 1-8 与或非逻辑的逻辑真值表

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
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

4) 异或逻辑

异或是一种二变量逻辑运算，其逻辑关系为：当两个变量取值相同时，逻辑函数值为0；当两个变量取值不同时，逻辑函数值为1。逻辑表达式为： $Y = A\bar{B} + \bar{A}B$ ，也可以表示为： $Y = A \oplus B$ 。其逻辑真值表及门电路逻辑符号分别见表1-9和图1-11。

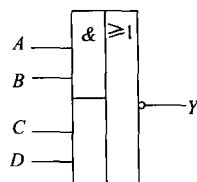


图 1-10 与或非门逻辑符号

表 1-9 异或逻辑的逻辑真值表

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

异或逻辑的运算规则为：“相同出0，相反出1”。

5) 同或逻辑

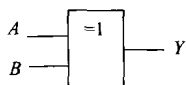


图 1-11 异或门逻辑符号

同或也是一种二变量逻辑运算，其逻辑关系为：当两个变量取值相同时，逻辑函数值为1；当两个变量取值不同时，逻辑函数值为0。逻辑表达式为： $Y = \bar{A}\bar{B} + AB$ ，也可以表示为： $Y = A \odot B$ 。其逻辑真值表见表1-10。

表 1-10 同或逻辑的逻辑真值表

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

同或逻辑的运算规则为：“相同出1，相反出0”。

4. 正逻辑与负逻辑的规定

采用0和1来表示相互对立的逻辑状态时，可以有两种不同的表示方法：逻辑电路中的高电平用逻辑1表示，低电平用逻辑0表示，称为正逻辑体制；高电平用逻辑0表示，低电平用逻辑1表示，称为负逻辑体制。

对于同一电路，可以采用正逻辑，也可以采用负逻辑。选择的正、负逻辑体制不同，电路所实现的功能也不相同。同样的电路，对正逻辑而言是与门（正与门），而对负逻辑而言则是或门（或负门）。与门与或门之间存在着如下的关系：正与门即负或门，正或门即负与门。在正逻辑或负逻辑中，“非”关系是相同的。

目前在逻辑电路中习惯采用正逻辑体制，今后如不加特殊说明，本书均采用正逻辑。

1.3.2 逻辑函数的几种表示方法及相互转换

任何逻辑函数都可以用逻辑真值表（简称真值表）、逻辑表达式（也称逻辑式或逻辑函数式）、逻辑图等方法来描述。对于同一个逻辑函数，它的几种表示方法都是可以相互转换的。

【例 1-4】 一个由三个开关 A、B、C 控制灯 F 的电路，如图 1-12 所示，试以数字逻辑函数描述电路中各个量之间的关系。

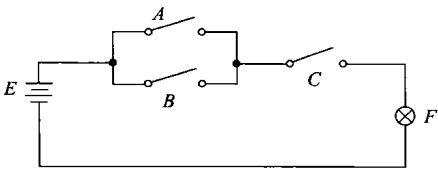


图 1-12 开关灯电路

解：由题意不难看出，开关 A、B、C 的闭合或断开最终决定灯 F 处于亮还是灭的状态。根据逻辑函数的基本概念，设输入逻辑变量为开关 A、B、C，输出逻辑变量为灯 F。

1. 逻辑真值表

逻辑真值表是将输入逻辑变量的各种可能取值和相应的函数（输出逻辑变量）值排列在一起而组成的表格。为了避免在表格排列时出现遗漏，各输入变量的取值组合一般是按照二进制递增的次序排列的。

由例 1-4，如果以 1 表示开关闭合和灯亮的状态，以 0 表示开关断开和灯灭的状态，那么，开关 A、B、C 的八个状态组合对应灯 F 的八个确定状态，根据电路列出真值表如表 1-11 所示。

表 1-11 开关灯电路的真值表

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

2. 逻辑表达式

逻辑表达式是指用与、或、非等运算的组合形式表示输入与输出逻辑变量之间关系的逻辑代数式。

逻辑表达式可以由真值表转换而来，具体方法为：在真值表中依次找出函数（输出逻辑变量）值等于 1 的输入逻辑变量组合，变量值为 1 的写成原变量，变量值为 0 的写成反变量，把组合中各个变量相乘。这样，对应于函数值为 1 的每一个输入逻辑变量组合就可以写成一个乘积项。然后，把这些乘积项相加，就得到相应的逻辑表达式。

由例 1-4 及表 1-11，函数 F 的值为 1 的乘积项分别为 $\overline{A}BC$ 、 $A\overline{B}C$ 、 ABC ，相应的逻辑表达式为 $F = \overline{A}BC + A\overline{B}C + ABC$ 。

3. 逻辑图

逻辑图就是由逻辑符号及它们之间的连线而构成的图形。由逻辑表达式可以画出其相应的逻辑图。

由例 1-4 的逻辑表达式，可画出如图 1-13 所示的逻辑图。

4. 逻辑函数表示方法的相互转换

逻辑函数的几种表示方法中，不仅可以由逻辑真值表转换为逻辑表达式或由逻辑表达式转换为逻辑图，还有其他几种转换关系。

1) 已知逻辑表达式求真值表

如果有了逻辑表达式，只要把输入变量取值的所有组合状态逐一代入逻辑表达式中算出逻辑函数值，然后将输入变量取值组合与逻辑函数值对应地列成表，就得到逻辑函数的真值表。

【例 1-5】 已知逻辑表达式 $Y = \overline{A}B + A\overline{B}C$ ，求与它对应的真值表。

解：首先观察到逻辑表达式中有 A 、 B 、 C 三个输入变量，它们的各种可能取值就有 $2^3 = 8$ 组，将每组取值一一代入表达式，求出对应的 Y 值，列成表格后即得出真值表如表 1-12 所示。

表 1-12 例 1-5 真值表

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

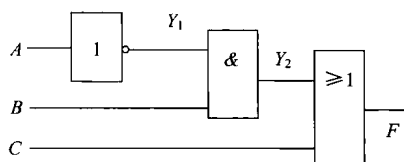


图 1-14 例 1-6 逻辑图

2) 已知逻辑图求逻辑表达式

将逻辑图转换为逻辑表达式时，只要从输入到输出逐级写出输出端的逻辑表达式，即可得逻辑图对应的逻辑表达式。

【例 1-6】 试写出图 1-14 所示逻辑图的逻辑表达式。

解：由图 1-14 分析可得

$$Y_1 = \overline{A}, Y_2 = \overline{A}B$$

所以

$$F = C + Y_2 = C + \overline{A}B$$

1.3.3 逻辑代数中的基本公式及定律

逻辑代数和普通代数一样，有一套完整的运算规则，利用这些规则对逻辑函数式进行处理，可以完成对电路的化简、变换、分析与设计。

1. 基本公式

1) 变量与常量的关系

- (1) 0-1 律 $A \cdot 0 = 0, A + 1 = 1$;
- (2) 自等律 $A \cdot 1 = A, A + 0 = A$;
- (3) 互补律 $A \cdot \overline{A} = 0, A + \overline{A} = 1$;
- (4) 等幂律 $A \cdot A = A, A + A = A$;

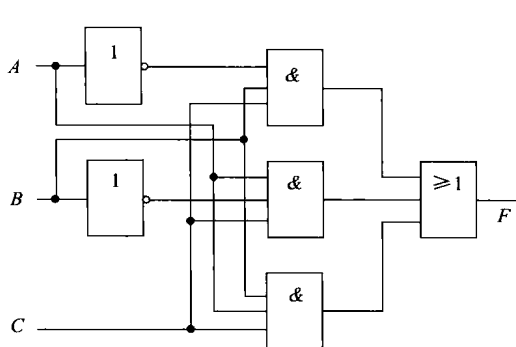


图 1-13 例 1-4 开关灯电路的逻辑图