高等职业教育
电子信息类专业规划教材

ELECTRONIC ENGINEERING

数字电路分析与实践

胡汉章　叶香美　编著

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

高等职业教育
电子信息类专业规划教材
ELECTRONIC ENGINEERING

数字电路分析与实践

编著　胡汉章　叶香美
主审　李雄杰

中国电力出版社
http://jc.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为高等职业教育电子信息类专业规划教材，是项目化教学改革教材。本书以项目为导向，以任务驱动模式组织教学，工学结合，精讲多动，提高学生的动手能力和创新能力。全书共分五个项目，主要内容有组合逻辑电路的制作，时序逻辑电路的制作，555 电路的应用和制作，电压发生器、RAM 和温度计的制作及综合电路设计和制作。本书内容以“制作”为主旨，“够用”为度。全书注重“讲、学、做”，理论联系实践。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院电子信息类、自动化类、电力技术类等专业的数字电路课程教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数字电路分析与实践 / 胡汉章，叶香美编著. —北京：中国电力出版社，2009
高等职业教育电子信息类专业规划教材
ISBN 978-7-5083-8737-6

Ⅰ. 数… Ⅱ. ①胡… ②叶… Ⅲ. 数字电路－电路分析－高等学校：技术学校－教材 Ⅳ. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 060097 号

中国电力出版社出版、发行
（北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn）
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售
*
2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 238 千字
定价 **16.00** 元

前　言

为了促进高等职业教育事业的发展，推进高等职业院校教学改革和创新，结合浙江工商职业技术学院数字电路与实践实训课程的改革试点，将数字电子技术和实践整合成本教材。

数字电路分析与实践是一门发展迅速、实践性和应用性很强的技术基础课程。根据数字电路的特点，编写本教材的指导思想是工学结合、精讲多动、提高学生的动手能力和创新能力。

本书分五个项目。项目一组合逻辑电路的制作，参考课时为30，有四个任务，分别是简单数字门电路的测试、1位二进制数加法器的制作、4位二进制数值比较器的制作、4位二进制数加法数码显示电路的制作。项目二时序逻辑电路的制作，参考课时为12，有三个任务，分别是基本RS触发器的制作、D触发器与数据寄存器的制作、JK触发器与二进制计数器的制作。项目三555电路的应用和制作，参考课时为8，有两个任务，分别是多谐振荡器的制作、施密特触发器的制作。项目四电压发生器、RAM和温度计的制作，参考课时为16，有三个任务，分别是0～5V任意电压发生器的制作、随机存储器RAM的制作、数字温度计的制作。项目五综合电路设计和制作，参考课时为24，有两个任务，分别是数字频率计的制作、智力竞赛抢答器的制作。全书参考课时为90。

本书项目四和项目五由叶香美编写，其余部分由胡汉章编写。胡汉章统校全书。

本书由李雄杰教授主审，他提出许多宝贵的意见，编者在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中的错误在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2008年11月

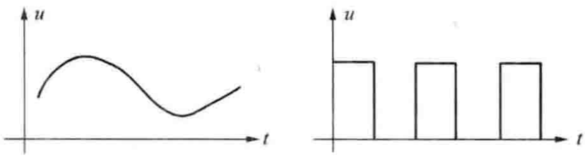
目 录

概　　述

一、数字电路中的电信号与处理

电信号一般可分为两类：一类在时间上是连续变化的，称为模拟信号。对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路。另一类时间和幅度都是离散变化的信号，称为数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路。

图 0-1 是模拟信号波形和数字信号的波形图。



（a）模拟信号波形　　（b）数字信号波形

图 0-1　模拟信号和数字信号的波形图

数字电路被广泛应用于家用消费类电器、数码产品、电脑、通信系统、仪器仪表、控制装置及工业控制系统等领域。数字电路大致包括信号的产生、传送、控制、处理、存储、计数、运算等组成部分。

数字电路比模拟电路有许多优点。例如，数字电路便于集成化、系列化生产，成本低廉，使用方便；抗干扰性强，可靠性高，精度高；处理功能强，不仅能实现数值运算，还可以实现逻辑运算和判断；可编程数字电路可容易地实现各种算法，具有很大的灵活性；数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

二、数字频率计和数字温度计电路

图 0-2 是用来测量周期信号频率的数字频率计的逻辑框图，测量的结果用十进制数字显示出来。由于被测信号一般是模拟信号，所以首先要将被测信号放大、整形，使被测信号变换为相同频率的矩形脉冲信号。为了测量频率，还要有个时间标准，如以秒（s）为单位，把 1s 内通过的脉冲个数记录下来，就得出了被测信号的频率。这个时间标准由秒脉冲发生器产生，它是一个宽度为 1s 的矩形脉冲。用秒脉冲去控制门电路，把门打开 1s。在这段时间内，来自整形电路的矩形脉冲可以经过门电路进入计数器。计数器累计的脉冲个数就是被测信号在 1s 内重复的次数，也就是被测信号的频率。最后通过数字显示电路和显示器将测量结果直接显示出来。

图 0-3 是数字温度计的逻辑框图。数字温度计的工作原理是将温度传感器产生的模拟电信号，通过模—数转换器后，转换成不连续的数字信号，经过数字电路的处理，以数字的形式将温度直接显示出来。

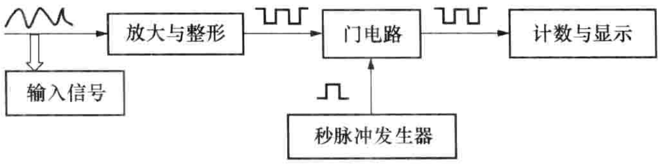


图 0-2 数字频率计的逻辑框图

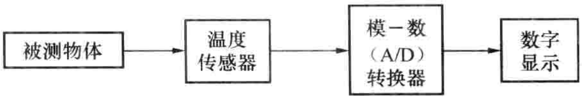


图 0-3 数字温度计的逻辑框图

数字电路的工作信号是不连续的，反映在电路上只有高电平和低电平两种状态，所以在数字电路中工作的二极管和三极管一般都工作在开关状态。开关的接通与断开两种状态，用二极管或者三极管的导通与截止来实现。在实际数字电路中，高电平通常为＋3.5V 左右，低电平通常为＋0.3V 左右。为了分析的方便，而且由于数字电路采用二进制数来进行信息的传输和处理，因此在数字电路中分别用 1 和 0 来表示高电平和低电平。这种高电平对应 1、低电平对应 0 的关系称为正逻辑关系。

数字电路研究的主要问题是输出信号与输入信号之间的逻辑关系。这种逻辑关系是一种因果关系。所以，在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，利用逻辑电路图、真值表、逻辑函数表示式、卡诺图、波形图等来表示电路的逻辑功能。

三、数字电路的种类

目前，数字电路一般都采用数字集成电路。数字集成电路的种类较多，大致可以有以下几种：

（1）按集成度不同分类，可将数字电路分为小规模（SSI，每片数十器件）、中规模（MSI，每片数百器件）、大规模（LSI，每片数千器件）和超大规模（VLSI，每片器件数目大于 1 万）数字集成电路。

（2）按所用器件制作工艺的不同，可将数字电路分为双极型（TTL 型）和单极型（MOS 型）两类。双极型电路开关速度快，频率高，信号传输延迟时间短，但制造工艺较复杂。单极型电路输入阻抗高，功耗小，工艺简单，集成密度高，易于大规模集成。

（3）按照电路的结构和工作原理的不同，可将数字电路分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路如加法器、编码器、译码器、数据选择器等。时序逻辑电路有触发器、计数器、寄存器、顺序脉冲发生器等。组合逻辑电路和时序逻辑电路是各种数字系统和数字设备的基础。

项 目 一

组合逻辑电路的制作

任务一　简单数字门电路的测试

任务要求

【知识要求】

熟悉二进制数、十进制数等数制、编码、基本逻辑关系、逻辑函数、逻辑门电路；掌握逻辑（布尔）代数与逻辑函数的化简、TTL 集成门电路、CMOS 集成门电路及二进制加法运算；掌握集成门电路 74LS00、74LS30、CD4069 的功能。

【技能要求】

学会使用万用表、稳压电源、电烙铁；学会万能板的使用和焊接、电阻和发光二极管的使用；学会认识和连接电路图；学会 74LS00、74LS30、CD4069 的使用。

相关知识

一、数制

数制就是计数方式，在生活中，人们常用十进制数。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

十进制数有十个数码，即 0、1、2、…、9。计数规则是“逢十进一”。

2. 二进制数

二进制数有两个数码，即 0、1。计数规则是“逢二进一”。

采用二进制的优点如下：

（1）二进制的基数为 2，只有 0 和 1 二个数码，容易用电路来实现。

（2）二进制运算规则简单，其进位规则是“逢二进一”，便于进行运算。

二进制数算术运算的规则为

加法规则：$0+0=0$　$0+1=1$　$1+0=1$　$1+1=10$

乘法规则：$0\times0=0$　$0\times1=0$　$1\times0=0$　$1\times1=1$

可以将任何一个二进制数转换为十进制数。例如：

$$(11011.11)_2=1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}$$

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，在数字电路中通常采用二进制的缩写形式——八进制。

八进制的基数为 8，采用的 8 个数码为 0、1、…、7，进位规则为“逢八进一”。

由于 $2^3=8$，3 位二进制数可以用一位八进制数来表示。

任何一个八进制数都可以转换为二进制数。例如：

$$(5632)_8=(101110011010)_2$$

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、…、9、A、B、C、D、E、F，其中字母 A、B、C、D、E、F 分别代表 10、11、12、13、14、15，进位规则为"逢十六进一"。

可以将任何一个十六进制数转换为二进制数。例如：

$$(2D3.B6)_{16}=(1011010011.10110110)_2$$

表 1-1 列出了十进制、二进制、八进制、十六进制数之间的对应关系。

表 1-1　　十进制、二进制、八进制、十六进制数之间的对应关系

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

二、数制之间的转换

1. 二进制数转换为十进制数

将二进制数转换成十进制数，只要按权展开后相加即得。例如：

$$(10011011)_2=(128+16+8+2+1)_{10}=155$$

其他进制数转换成十进制数，只要先将它转换成二进制数，再转换为十进制数。

2. 二进制数与八进制数之间的相互转换

由于 1 位八进制数的 8 个数码正好相应于 3 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如下：

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数与二进制数之间进行数的转换。

由二进制数转换为八进制数的方法是：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 3 位分成一组，头尾不足 3 位的补 0，然后将每组的 3 位二进制数转换为 1 位八进制数。

例如，将二进制数 110110110.1101 转换为八进制数：

$$(110,110,110.110,100)_2=(6,6,6.6,4)_8$$

所以，$(110110110.1101)_2=(666.64)_8$。

将八进制数转换为二进制数，只要将每 1 位八进制数用 3 位二进制数表示即可。例如，将八进制数$(7456)_8$转换为二进制数：

$$(7,4,5,6)_8=(111,100,101,110)_2$$

所以，$(7456)_8=(111100101110)_2$。

3. 二进制数与十六进制数之间的相互转换

由于 1 位十六进制数的 16 个数码正好相应于 4 位二进制数的 16 种不同组合，所以十六进制数与二进制数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数与二进制数之间进行转换。例如，将二进制数 1010110110111 转换为十六进制数：

$$(1,0101,1011,0111)_2=(1,5,D,7)_{16}$$

所以，$(1010110110111)_2=(15B7)_{16}$。

将十六进制数 2BC3 转换为二进制数：

$$(2,B,C,3)_{16}=(0010,1011,1100,0011)_2$$

所以，$(2BC3)_{16}=(10101111000011)_2$。

4. 十进制数转换为其他进制数

将十进制数转换为其他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 进制整数，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 进制中的数码，最后按照并列表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。

为了便于转换，可将十进制数先转换成二进制数，再转换成其他进制数。

例如，将十进制整数 1044 分别转换为二进制、八进制和十六进制数。

$(1044)_{10}=(1024+16+4)_{10}=(10000010100)_{10}$，同理，$(1044)_{10}=(2024)_8$，$(1044)_{10}=(414)_{16}$。

将十进制小数转换为其他进制数一般采用基数乘法，也称为乘基取整法。设将十进制小数转换为 N 进制小数，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 进制中的数码，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。

例如，将十进制小数 0.375 分别转换为二进制、八进制和十六进制数。

$(0.375)_{10}=(0.011)_2$，同理，$(0.375)_{10}=(0.3)_8$，$(0.375)_{10}=(0.6)_{16}$。

三、编码

数字电路中处理的信息除了数字信息外，还有文字、符号以及一些特定的操作等。为了处理这些信息，必须将这些信息也用二进制数码来表示。这些特定的二进制数码，称为这些信息的代码。这些代码的编制过程称为编码。编码很多，这里只介绍二—十进制编码。

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 4 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（Binary Coded Decimals）。由于 4 位二进制数有 16 个状态，所以 BCD 码有很多种形式，目前常用的有 8421 码、余 3 码、格雷（Gray）码、2421 码、5421 码、奇偶校验码等，如表 1-2 所示。

表 1-2 目前常用几种 BCD 码

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

1. 8421 码

在 8421 码中，10 个十进制数码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十进制数的值。

8421 码与十进制数之间的转换只要直接按位转换即可。例如：

$$(873.54)_{10}=(100001110011.01011000)_{8421BCD}$$

$$(011110010011.01010100)_{8421BCD}=(793.54)_{10}$$

8421 码只利用了 4 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，可以得到其他二—十进制码，如 2421 码、5421 码等。余 3 码由 8421 码加 3（0011）得来的，这是一种无权码。

2. 格雷码

格雷码的特点是从一个代码变为相邻的另一个代码时只有一位发生变化。这是考虑到信息在传输过程中可能出错，为了减少错误而研究出的一种编码形式。例如，当将代码 0100 误传为 1100 时，格雷码只不过是十进制数 7 和 8 之差，二进制数码则是十进制数 4 和 12 之差。格雷码的缺点是与十进制数之间不存在规律性的对应关系，不够直观。格雷码与十进制码及二进制码的对应关系如表 1-3 所示。

表 1-3 格雷码与十进制码及二进制码的对应关系

十进制数	二进制码	格雷码	十进制数	二进制码	格雷码
0	0000	0000	4	0100	0110
1	0001	0001	5	0101	0111
2	0010	0011	6	0110	0101
3	0011	0010	7	0111	0100

续表

十进制数	二进制码	格雷码	十进制数	二进制码	格雷码
8	1000	1100	12	1100	1010
9	1001	1101	13	1101	1011
10	1010	1111	14	1110	1001
11	1011	1110	15	1111	1000

格雷码也可用做二—十进制编码，如表 1-2 中的第 4 列所示。

四、逻辑（布尔）代数

逻辑代数又叫布尔代数或开关代数。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。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。

如电灯的亮与灭取决于电源是否接通，如果电源接通了，电灯好的话就会亮，否则就灭。这里电源接通与否是因，电灯亮与不亮是果。

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。

（一）基本逻辑运算

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，逻辑变量分为两类，即输入逻辑变量和输出逻辑变量。和普通代数不同的是，逻辑变量只有两种取值，并用二元变量 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，而是表示两种完全对立的逻辑状态，如是与非、真与假、高与低、亮与灭、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三种，所以逻辑代数中变量的运算也只有与运算、或运算和非运算三种基本逻辑运算。其他任何复杂的逻辑运算都可以用这三种基本逻辑运算来实现。

1. 与运算

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。

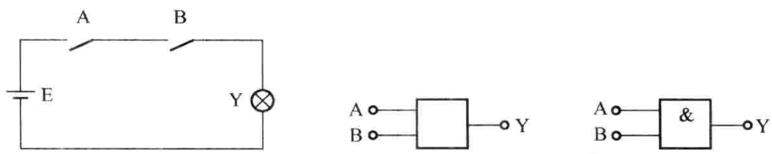
实际生活中与逻辑关系的例子很多。例如，在图 1-1（a）所示的电路中，电池 E 通过开关 A 和 B 向灯 Y 供电，只有 A 与 B 都闭合时，灯 Y 才会亮；A 和 B 中只要有一个断开或二者都断开时，灯 Y 不亮。所以对灯亮来说，开关 A、B 闭合是与逻辑关系。这一关系可以用表 1-4 所示的功能表来表示。

如果用二元常量 0 和 1 来表示图 1-1（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 1-5 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 1-5 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

$$Y=A \cdot B$$



(a) 电路图　(b) 曾用符号　(c) 国标符号

图 1-1　与运算的例子和逻辑符号

表 1-4　图 1-1（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 1-5　图 1-1（a）所示电路的真值表

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

式中小圆点“·”表示 A、B 的与运算，与运算又叫逻辑乘，通常与运算符“·”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 1-5 所示的真值表，可知与运算的规律为

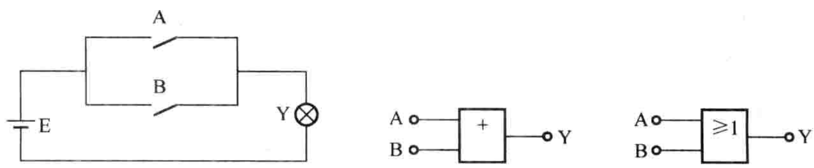
$$0 \cdot 0=0 \quad 0 \cdot 1=0 \quad 1 \cdot 0=0 \quad 1 \cdot 1=1$$

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 1-1（b）和（c）所示，其中图 1-1（b）所示为曾用符号，图 1-1（c）所示为国家规定的标准符号。

2. 或运算

在决定一件事情的所有条件中，只要具备一个或一个以上的条件，这件事情就会发生，这样的逻辑关系称为或逻辑关系。

实际生活中或逻辑关系的例子也很多。例如，在如图 1-2（a）所示的电路中，电池 E 通过开关 A 和 B 向灯 Y 供电，只要 A 或 B 或者二者都闭合，灯 Y 就会亮；A 和 B 均不闭合时，灯 Y 不亮。所以对灯亮来说，开关 A、B 闭合是或逻辑关系。这一关系可以用表 1-6 所示的功能表来表示。设定变量并经状态赋值后，所得真值表如表 1-7 所示。



(a)电路图　(b)曾用符号　(c)国标符号

图 1-2　或运算的例子和逻辑符号

由表 1-7 可知，Y 与 A、B 之间的关系是只要 A、B 当中有一个或二者全是 1 时，Y 就为 1；若 A 和 B 全为 0，则 Y 为 0。这一关系可用逻辑表达式表示为

$$Y=A+B$$

表 1-6　　图 1-2（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	亮
闭合	断开	亮
闭合	闭合	亮

表 1-7　　图 1-2（a）所示电路的真值表

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

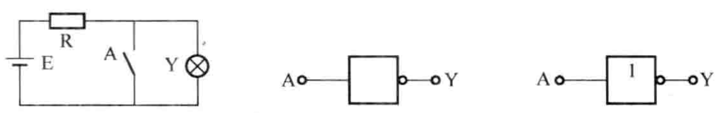
式中符号“＋”表示 A、B 的或运算，或运算又叫逻辑加。上式读作“Y 等于 A 或 B”，或者“Y 等于 A 加 B”。由或运算的逻辑表达式 $Y=A+B$ 或表 1-7 所示的真值表，可知或运算的规律为

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=1$$

或运算也可用逻辑符号表示，如图 1-2（b）和（c）所示，其中图 1-2（b）所示为曾用符号，图 1-2（c）所示为国家规定的标准符号。

3. 非运算

当决定一件事情的条件不具备时，这件事情才会发生，这样的逻辑关系称为非逻辑关系。非就是相反，就是否定。例如，在如图 1-3（a）所示电路中，当开关 A 闭合时灯 Y 灭，而当开关 A 断开时灯 Y 亮。所以对灯亮来说，开关 A 闭合是一种非逻辑关系。这一关系可以用表 1-8 所示的功能表来表示，其真值表如表 1-9 所示。



（a）电路图　（b）曾用符号　（c）国标符号

图 1-3　非运算的例子和逻辑符号

表 1-8　　图 1-3（a）所示电路的功能表

开关 A	灯 Y
断开	亮
闭合	灭

表 1-9　　图 1-3（a）所示电路的真值表

A	Y
0	1
1	0

由表 1-9 可知，Y 与 A 之间的关系是当 $A=0$ 时，$Y=1$；而 $A=1$ 时，则 $Y=0$。这一关系可用逻辑表达式表示为

$$Y=\overline{A}$$

式中字母 A 上方的符号“—”表示 A 的非运算或者反运算。上式读作“Y 等于 A 非”，或者“Y 等于 A 反”。显然，非运算的规律为

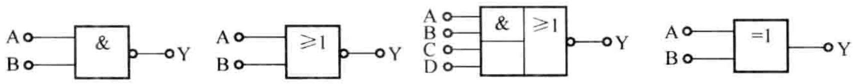
$$\overline{1}=0 \quad \overline{0}=1$$

非运算的逻辑符号如图 1-3（b）和（c）所示，其中图 1-3（b）所示为曾用符号，图 1-3

(c) 所示为国标符号。

(二) 几种常用的逻辑运算

除了与、或、非这三种基本逻辑运算之外，经常用到的还有由这三种基本运算构成的一些复合运算，如与非、或非、与或非、异或等运算，运算符号分别如图 1-4 所示。



(a)与非逻辑符号　(b)或非逻辑符号　(c)与或非逻辑符号　(d)异或逻辑符号

图 1-4 常用逻辑运算的符号

1. 与非运算

逻辑表达式为 $Y=\overline{A \cdot B}$。与非运算的规律为

$$\overline{0 \cdot 0}=1 \quad \overline{0 \cdot 1}=1 \quad \overline{1 \cdot 0}=1 \quad \overline{1 \cdot 1}=0$$

也即变量全为 1，表达式为 0；只要有一个变量为 0，表达式为 1。

2. 或非运算

逻辑表达式为 $Y=\overline{A+B}$。或非运算的规律为

$$\overline{0+0}=1 \quad \overline{0+1}=0 \quad \overline{1+0}=0 \quad \overline{1+1}=0$$

也即变量全为 0，表达式为 1；只要有一个变量为 1，表达式为 0。

3. 与或非运算

逻辑表达式为 $Y=\overline{AB+CD}$。与或非运算的规律遵从与运算、或运算、非运算的规律，运算的先后顺序为先与运算、再或运算、最后非运算。

4. 异或运算

逻辑表达式为 $Y=\bar{A}B+A\bar{B}=A \oplus B$。异或运算的规律是 A、B 取值相同时 $Y=0$，A、B 取值不同时 $Y=1$。

(三) 逻辑代数的公式和定理

根据逻辑变量的取值只有 0 和 1，以及逻辑变量的与、或、非三种运算法则，可推导出逻辑运算的基本公式和定理。这些公式的证明，最直接的方法是列出等号两边函数的真值表，看看是否完全相同。也可利用已知的公式来证明其他公式。

1. 常量之间的关系

因为在二值逻辑中只有 0 和 1 两个常量，逻辑变量的取值不是 0 就是 1，而最基本的逻辑运算又只有与、或、非三种，所以常量之间的关系也只有与、或、非三种：

与运算：$0 \cdot 0=0 \quad 0 \cdot 1=0 \quad 1 \cdot 0=0 \quad 1 \cdot 1=1$

或运算：$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=1$

非运算：$\bar{1}=0 \quad \bar{0}=1$

2. 基本公式

0-1 律：

$$A+0=A$$
$$A \cdot 1=A$$
$$A+1=1$$

$$A \cdot 0=0$$

互补律：

$$A+\overline{A}=1$$
$$A \cdot \overline{A}=0$$

等幂律：

$$A+A=A$$
$$A \cdot A=A$$

双重否定律：

$$\overline{\overline{A}}=A$$

3. 基本定理

交换律：

$$A \cdot B=B \cdot A$$
$$A+B=B+A$$

结合律：

$$(A \cdot B) \cdot C=A \cdot (B \cdot C)$$
$$(A+B)+C=A+(B+C)$$

分配律：

$$A \cdot (B+C)=A \cdot B+A \cdot C$$
$$A+B \cdot C=(A+B) \cdot (A+C)$$

反演律（又称摩根定律）：

$$\overline{A \cdot B \cdot C}=\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}$$
$$\overline{A+B+C}=\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}$$

4. 常用公式

还原律：

$$A \cdot B+A \cdot \overline{B}=A$$
$$(A+B) \cdot (A+\overline{B})=A$$

吸收率：

$$A+A \cdot B=A$$
$$A \cdot (A+B)=A$$
$$A \cdot (\overline{A}+B)=A \cdot B$$
$$A+\overline{A}B=A+B$$

冗余律：

$$A \cdot B+\overline{A} \cdot C+B \cdot C=A \cdot B+\overline{A} \cdot C$$

（四）逻辑函数的表达式

一个逻辑函数的表达式可以有与或表达式、或与表达式、与非—与非表达式、或非—或非表达式、与或非表达式多种表示形式。一种形式的函数表达式对应于一种逻辑电路。尽管一个逻辑函数表达式的各种表示形式不同，但逻辑功能是相同的。其中与或表达式最为常见，同时与或表达式也比较容易和其他形式的表达式进行相互转换。函数的与或表达式就是将函数表示为若干个乘积项之和的形式，即若干个与项相或的形式。

1. 逻辑函数的最小项

如果一个函数的某个乘积项包含了函数的全部变量，其中每个变量都以原变量或反变量的形式出现，且仅出现一次，则这个乘积项称为该函数的一个标准积项，标准积项通常称为最小项。

根据最小项的定义可知：一个变量 A 可组成两个最小项；两个变量 A、B 可组成 4 个最小项；3 个变量 A、B、C 可组成 8 个最小项。

2. 逻辑函数的最小项表达式

任一个逻辑函数均可以表示成一组最小项的和，这种表达式称为函数的最小项表达式，也称为函数的标准与或表达式，或称为函数的标准积之和表达式。任何一个 n 变量的函数都有一个且仅有一个最小项表达式。

（五）逻辑函数的化简

根据逻辑表达式，可以画出相应的逻辑图。但是直接根据逻辑要求而归纳出来的逻辑表达式及其对应的逻辑电路，往往不是最简单的形式，这就需要对逻辑表达式进行化简。用化简后的逻辑表达式来构成逻辑电路，所需的门电路的数目最少，而且每个门电路的输入端数目也最少。

1. 最简与或表达式

最简与或表达式，就是式中的乘积项最少、并且每个乘积项中的变量也最少的与或表达式。例如：

$$Y=\bar{A}B\bar{E}+\bar{A}B+A\bar{C}+A\bar{C}E+B\bar{C}+B\bar{C}D=\bar{A}B+A\bar{C}+B\bar{C}=\bar{A}B+A\bar{C}$$

2. 最简与非—与非表达式

最简与非—或非表达式，就是式中的非号最少、并且每个非号下面乘积项中的变量也最少的与非—与非表达式。例如：

$$Y=\bar{A}B+A\bar{C}=\overline{\overline{\bar{A}B+A\bar{C}}}=\overline{\overline{\bar{A}B}\cdot\overline{A\bar{C}}}$$

3. 最简或与表达式

最简或与表达式，就是式中的括号最少、并且每个括号内相加的变量也最少。例如：

$$Y=\bar{A}B+A\bar{C}=(A+B)\,(\bar{A}+\bar{C})$$

4. 最简与或非表达式

最简与或非表达式，就是式中非号下面相加的乘积项最少、并且每个乘积项中相乘的变量也最少的与或非表达式。例如：

$$Y=\bar{A}B+A\bar{C}=(A+B)(\bar{A}+\bar{C})=\overline{\bar{A}\bar{B}+AC}$$

从上面所介绍的函数的各种最简表达式可知，只要得到了函数的最简与或表达式，再利用摩根定律进行适当的变换，就可以得到其他几种类型的最简表达式。所以，对逻辑函数进行化简时，往往先将其化为最简与或表达式，然后再根据需要将其转化为其他形式的最简表达式。

五、逻辑门电路

实现基本和常用逻辑运算的电子电路，叫做逻辑门电路，简称门电路。例如，实现与运