数字电子技术

主讲人：覃爱娜

中南大学自动化学院

登陆：爱课程–中国大学MOOC，数字电子技术-中南大学

http://www.icourse163.org/course/CSU-1001907006

电子技术是十九世纪末、二十世纪初开始发展起来的新兴技术，二十世纪发展最迅速，应用最广泛，成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入21世纪，人们面临的是以微电子技术（半导体和集成电路为代表）电子计算机和因特网为标志的信息社会。高科技的广泛应用使社会生产力和经济获得了空前的发展。





电子技术的应用







一、电子技术的发展简史

电子技术是在19世纪末叶无线电发明之后才发展起来的一门重要学科。

- 20世纪初：真空管→通信技术、→测量技术、计算技术、自动控制技术。
- 20世纪四十年代：晶体管

里程碑！

- 晶体管与电子管相比：
  体积小、重量轻、功耗低、寿命长。
- 20世纪六十年代：集成电路

SSI →MSI → LSI → VLSI

（4 个晶体管） （3 亿个晶体管）

- 真空管 —— 第一代电子器件
- 晶体管 —— 第二代电子器件
- 中、小规模集成电路 ——第三代电子器件
- 大规模集成电路 —— 第四代电子器件
- 超大规模集成电路 —— 第五代电子器件

电子技术
- 微电子技术
  - 数字电子技术
  - 模拟电子技术
- 电力电子技术

二、电子技术课程概况

1. 性质：电子技术是一门技术基础课，是研究电子器件应用的科学。电子器件的种类很多，它们都是通过控制电子在不同介质中的运动状态或能量状态而产生不同的作用的。

2. 特点：
   - a、非纯理论性课程
   - b、实践性很强
   - c、以工程实践的观点处理电路中的一些问题

3. 内容：以器件为基础，以信号为主线
   研究各种电路的工作原理、特点及性能指标等。

4. 目的：电子技术发展速度快，要求了解一般的常用器件
   掌握对基本电子电路的分析方法及计算方法

三、 数字电路的优点和应用

1. 便于高度集成化。
2. 工作可靠性高、抗干扰能力强。
3. 数字信息便于长期保存。
4. 数字集成电路的产品系列多、通用性强、成本低。
5. 保密性好，数字信息容易进行加密处理，不易被窃取。

在数字通信、自动控制、计算机、数字测量仪表以及家用电器等各个技术领域中的应用十分广泛。

四、数字电子技术课程的教学目的

- 信息类专业的专业基础课
- 工程技术人员基础知识课
- 了解计算机有关术语、结构、功能模块及其工作原理
- 提高逻辑思维、逻辑推理的能力
- 增强编制程序（软件）合理性，简捷性
- 掌握电子信息产品的功能分析方法
- 掌握现代电子信息产品的设计方法

五、具体教学内容

- 第1章　逻辑代数基础　8学时
- 第2章　门电路　4学时
- 第3章　组合逻辑电路　8学时
- 第4章　触发器　4学时
- 第5章　时序逻辑电路　8学时
- 第6章　半导体存储器　4学时
- 第7章　数字系统的分析与设计　6学时
- 第8章　可编程逻辑器件　4学时
- 第9章　脉冲波形产生与整形　4学时
- 第10章　数模与模数转换　4学时
- 总复习　2学时

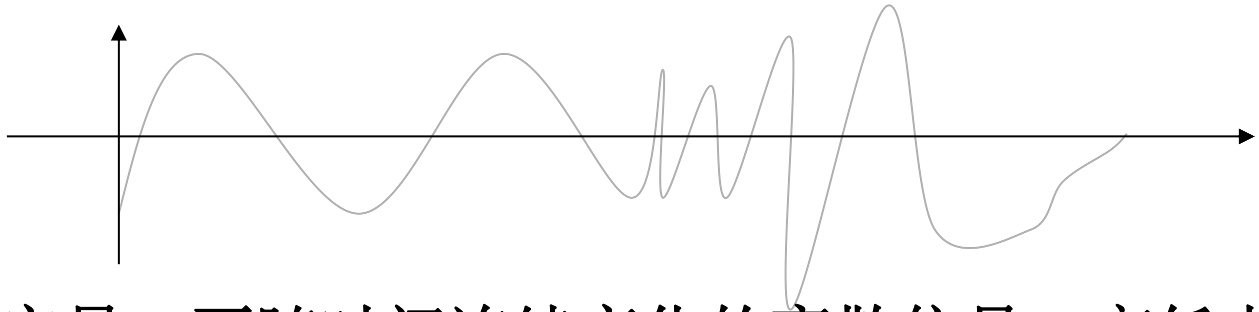
第1章 逻辑代数基础

1.1 概述

一、数字量和模拟量

模拟量：随时间连续变化的信号—音频信号

—模拟电路



数字量：不随时间连续变化的离散信号—高低电平

—数字电路

1. 数制：

$$D = \sum K_i \times P^i$$

权码

数码

1) 十进制：P=10，K={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9}

2) 二进制：P=2,K={0,1}

3) 八进制：P=8,K={0,1,2,3,4,5,6,7}

4) 十六进制：P=16

K={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15}

K={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F}

$$14.75 = 1\times10^{1} + 4\times10^{0} + 7\times10^{-1} + 5\times10^{-2}$$

$$1011.11 = 1\times2^{3} + 0\times2^{2} + 1\times2^{1} + 1\times2^{0} + 1\times2^{-1} + 1\times2^{-2}$$

$$2A.7F = 2\times16^{1} + 10\times16^{0} + 7\times16^{-1} + 15\times16^{-2}$$

2. 码制：用N位二进制数组合表达不同的事物的方法。

例如：8421 BCD码（用四位二进制数的组合表达十进制数的十个数码）

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

二、二进制数的算术运算与逻辑运算

1. 算术运算：加法、减法、乘法、除法

原　　则：逢二进一

规　　则：与十进制数相同

2. 逻辑运算：与、或、非

1.2 逻辑变量与运算

逻辑代数： 英国数学家乔治.布尔1849年提出的描述客观事物因果关系的一种数学方法(布尔代数,开关代数)。 1938年应用于电话继电器开关电路,而后作为计算机的数学工具。

"二值逻辑"

1. 逻辑变量：用于描述客观事物对立统一的二个方面。

{0，1}集合，用单个字母 或单个字母加下标表示

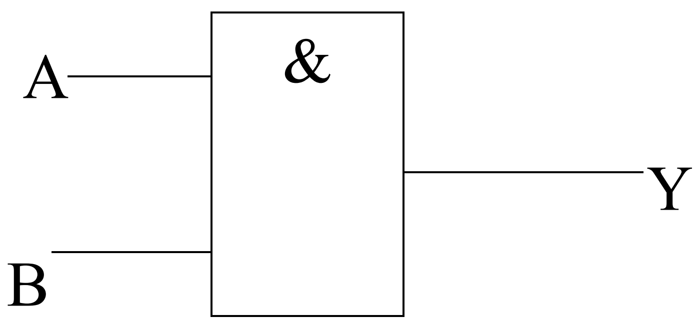
是、非；有、无；开、关；低电平、高电平

2. 基本逻辑运算：用于描述客观事物的三种不同的因果关系，包括与、或、非。

（注意它们的三种描述方法）

逻辑与：**只有**事物的全部条件同时具备时，结果**才**会发生。

$$Y = A \cdot B$$ —— 逻辑乘法运算



与门的符号

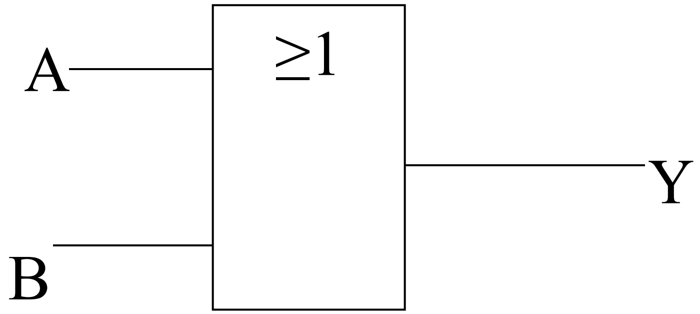
实现与逻辑的基本单元电路

与逻辑的真值表

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

逻辑或：**只要**事物的诸条件中有任何一个具备时,结果**就**会发生

$$Y = A + B \text{ ——— 逻辑加法运算}$$



或门的符号

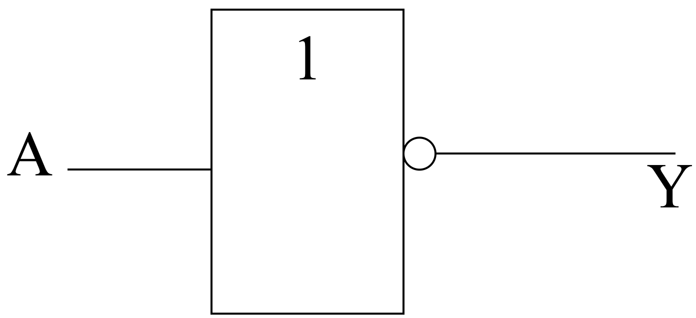
实现或逻辑的基本单元电路

或逻辑的真值表

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

逻辑非：只要事物的某一条件具备时,结果不会发生;只要事物的某一条件不具备时,结果就会发生。

$$Y = \overline{A}$$ —— 逻辑求反运算



非门的符号

非逻辑的真值表

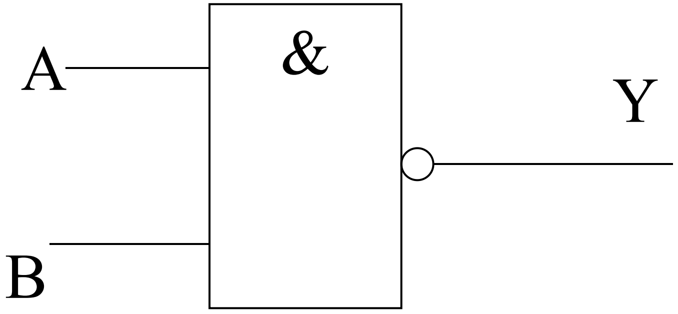
A	Y
0	1
1	0

3. 复合逻辑运算：与非、或非、与或非、异或、同或

与非：只有事物的全部条件同时具备时，

结果才不会发生。

$$Y = \overline{A \cdot B}$$



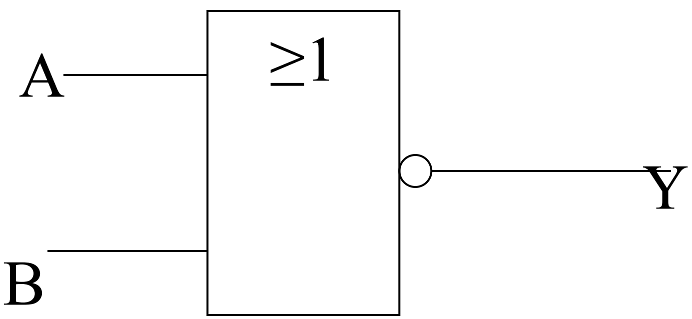
与非门的符号

与非门真值表

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

或非：只要事物的诸条件中有任何一个具备时,结果就不会发生

$$Y = \overline{A + B}$$



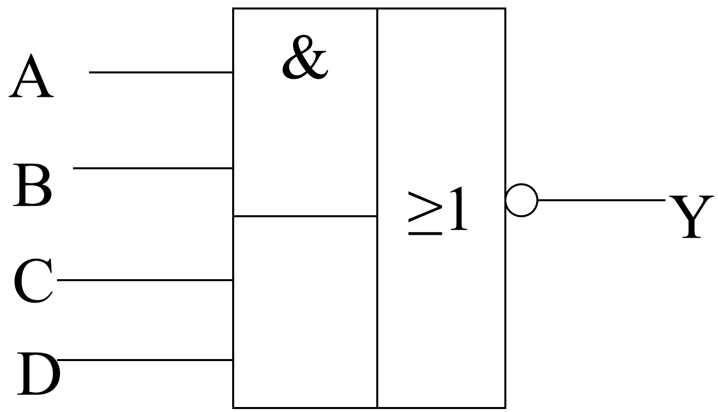
或非门的符号

或非门真值表

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

与或非：**只有AB或者CD**同时具备时,结果才不会发生。

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



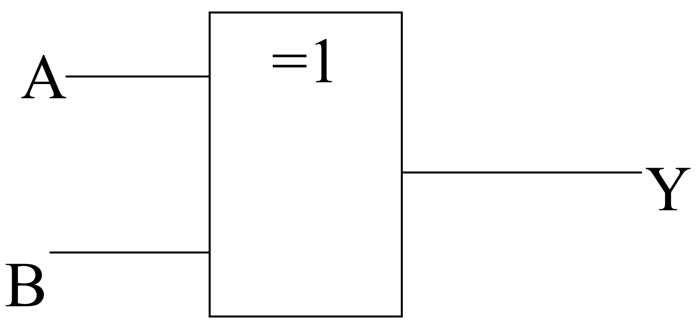
与或非门的符号

与或非门真值表 $Y=\overline{A\cdot B+C\cdot D}$

ABCD	Y	ABCD	Y
0 0 0 0	1	1 0 0 0	1
0 0 0 1	1	1 0 0 1	1
0 0 1 0	1	1 0 1 0	1
0 0 1 1	0	1 0 1 1	0
0 1 0 0	1	1 1 0 0	0
0 1 0 1	1	1 1 0 1	0
0 1 1 0	1	1 1 1 0	0
0 1 1 1	0	1 1 1 1	0

异或：当AB**不相同**时，结果**才会**发生

$$Y = A \oplus B = \overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B}$$



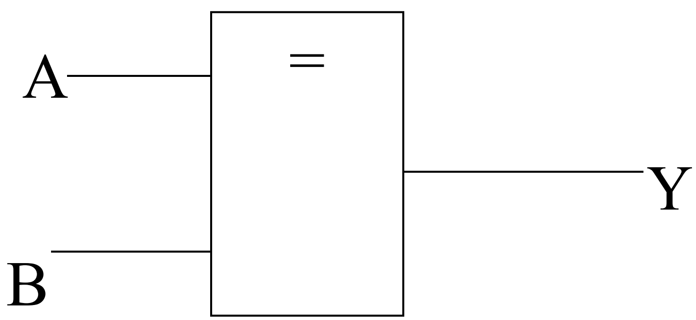
异或门的符号

异或门真值表

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

同或：当**AB相同**时，结果**才**会发生

$$Y = A \odot \mathrm{B} = \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot B$$



同或门的符号

同或门真值表

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

1.3 逻辑代数的公式与定理

一、逻辑代数的基本定律

0—1律:

$$0 + A = A \qquad 1+A=1$$

$$0 \cdot A = 0 \qquad 1 \cdot A = A$$

互补律:

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

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

重叠律:

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

还原律:

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

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:

$$A(B+C) = AB + AC$$

$$A + BC = (A+B)(A+C)$$

吸收律:

$$A + AB = A$$

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

$$AB + A\overline{B} = A$$

包含律:

$$AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C$$

$$AB + \overline{A}C + BC(....) = AB + \overline{A}C$$

反演律:摩根定理

$$\overline{A+B} = \overline{A}\,\overline{B}$$

$$\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$$

二、逻辑等式的证明

例1：证明 $A+\overline{A}B=A+B$

证明：等式的左边 $=(A+\overline{A})(A+B)$ → 分配律

互补律

=A+B=等式的右边

等式得证

例2：证明 $AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$

互补律

证明：等式的左边 $=AB+\overline{A}C+(A+\overline{A})BC$

分配律

$=AB+\overline{A}C+ABC+\overline{A}BC$

吸收律

$=AB+\overline{A}C$ =等式的右边

等式得证

例3：证明 $\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A}+\overline{B}$	$\overline{AB}$
0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	0	0

三、基本定理

1. 代入定理

在任何一个包含变量A的逻辑等式中，若以另外一个逻辑式代入式中所有A的位置，则等式仍然成立。

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

令A=C+D

$$\overline{(C+D)+B}=\overline{C+D}\cdot\overline{B}=\overline{C}\cdot\overline{D}\cdot\overline{B}$$

应用：扩展公式为多变量形式。

2. 反演定理

对任意一个逻辑式Y，若将其中所有的“·”换成
……变

(1)遵守原式“先括号、然后乘、最后加”的运算次序；

(2)不属于单个变量上的反号应保留不变。

应用：快速求 $\overline{Y}$

例2：已知 $Y=\overline{\overline{A\overline{B}+C}+D}+C$ 求 $\overline{Y}$

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

3. 对偶定理

对偶定理：若两逻辑式相等，则它们的对偶式也相等。

对偶式的定义：对任意一个逻辑式Y，若将其中所有的“·”换成“+”, “+”换成“·”, 0换成1, 1换成0, 则得到的结果就是Y的对偶式Y’

应用：证明某些不易证明的等式。

1.4 逻辑函数及其表示方法

一、逻辑函数

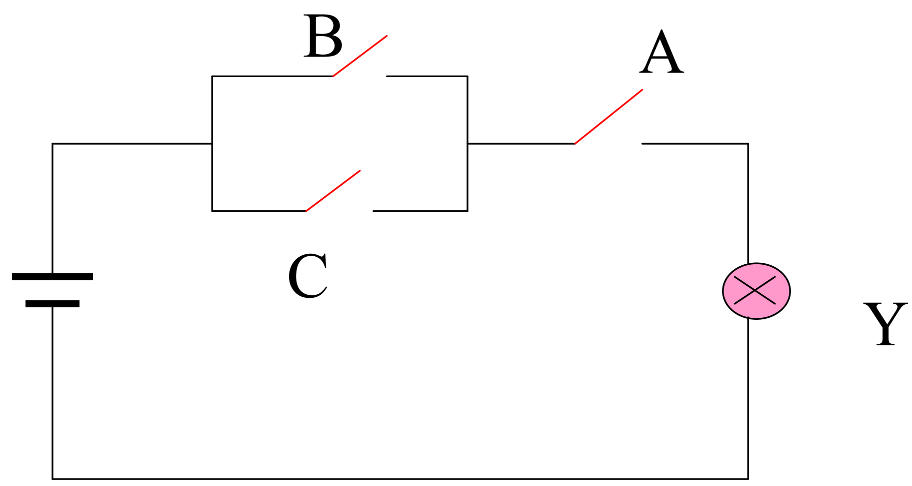
如果以逻辑变量作为输入,以运算结果作为输出,那么当输入变量的取值确定后,输出的取值便唯一确定,输出与输入之间乃是一种函

输入逻辑变量

输出逻辑变量

$$Y=F(A,B,C,\cdots\cdots)$$

例：如图所示是一举重裁判电路，试用逻辑函数描述逻辑功能。



A为主裁判，B、C为副裁判，Y为指示灯，只有主裁判和至少一名副裁判认为合格，试举才算成功，指示灯才亮

A、B、C：1 ——认为合格，开关闭合

0 ——不合格，开关断开

Y=F（A，B，C）

—试举成功，指示灯亮

0——试举不成功，指示灯灭

二、逻辑函数的表示方法及其相互转换

1. 逻辑真值表
2. 逻辑函数式
3. 逻辑图
4. 卡诺图

1. 逻辑真值表

输入逻辑变量所有可能的取值的组合及其对应的输出函数值所构成的表格

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

A、B、C： 1 ——认为合格，开关闭合

0 ——不合格，开关断开

Y：1——试举成功，指示灯亮

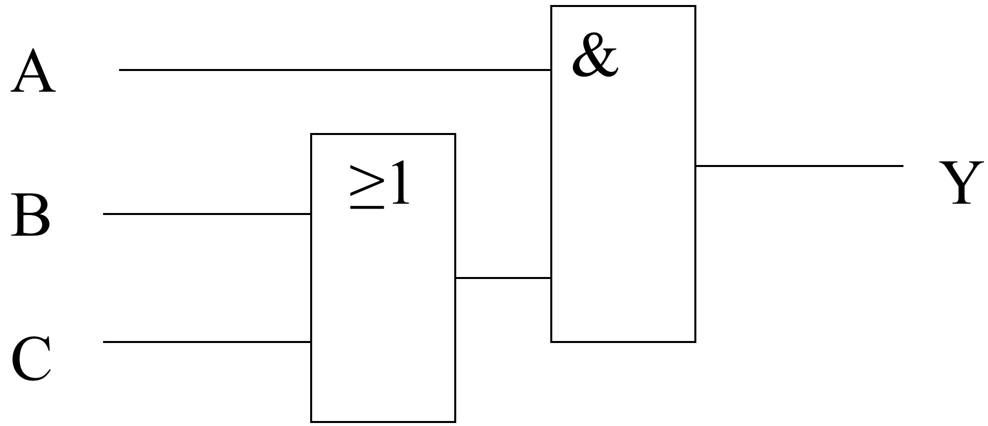
0——试举不成功，指示灯灭

2. 逻辑函数式：

由与、或、非三种运算符所构成的逻辑表达式

$$Y=A(B+C)$$

3. 逻辑图：由各种门所构成的电路图



4. 表示方法之间的相互转换

1)已知逻辑函数式求真值表。

把输入逻辑变量所有可能的取值的组合代入对应函数式，算出其输出函数值。

例： $Y = A + \overline{B}C + \overline{A}B\overline{C}$

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

2）已知真值表写逻辑函数式

例1

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

$\bar{A}\bar{B}C$

$\bar{A}B\bar{C}$

$A\bar{B}C$

ABC

$$Y=\bar{A}\bar{B}C+\bar{A}B\bar{C}+A\bar{B}C+ABC$$

2）已知真值表写逻辑函数式

例2

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

$A\overline{B}C$

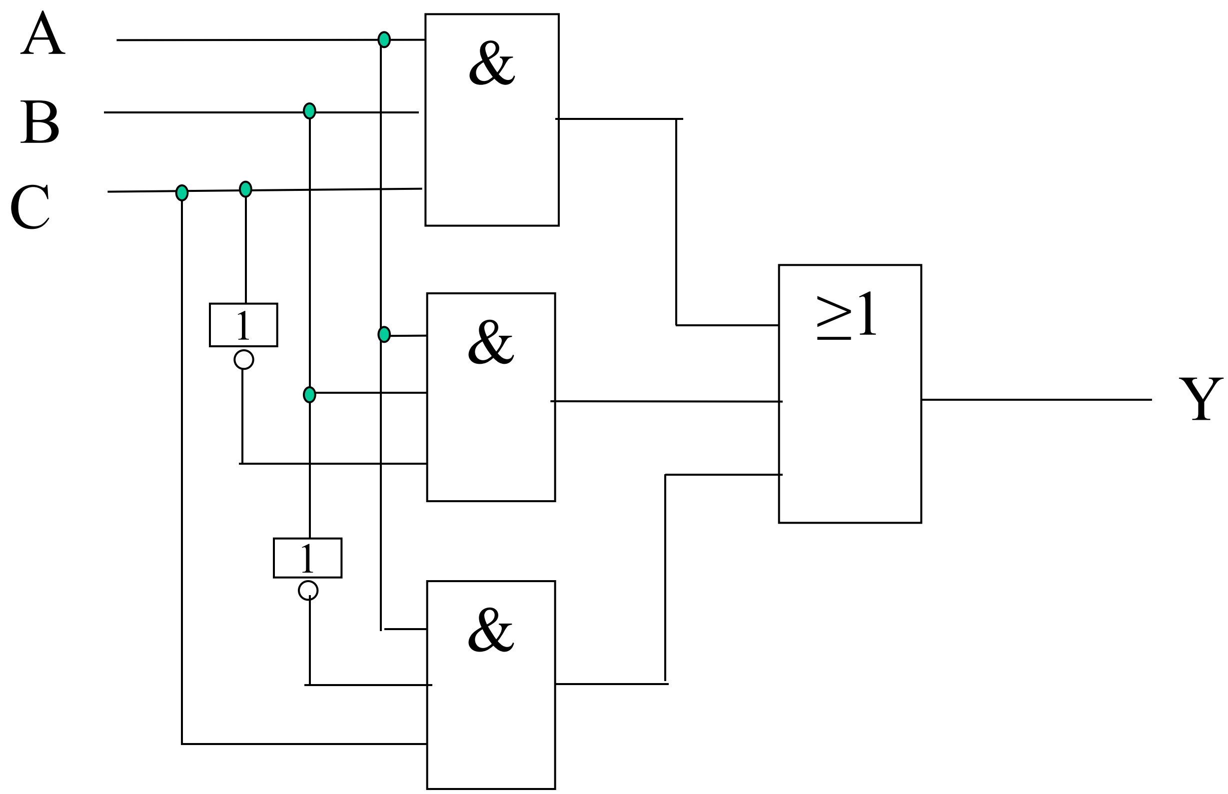
$AB\overline{C}$

ABC

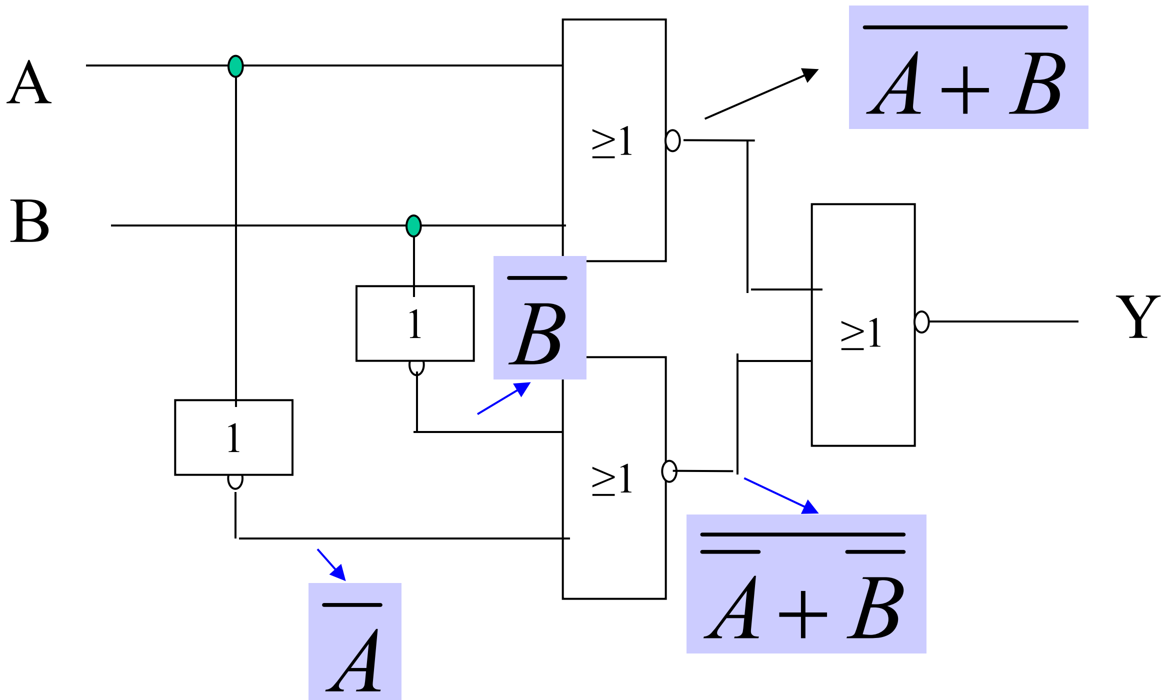
$$Y = A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC$$

3）已知逻辑函数式画逻辑图

$$Y = A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$



4）已知逻辑图写逻辑函数式



$$Y=\overline{\overline{\overline{A}+\overline{B}}+\overline{A+B}}$$

$$=\overline{AB+\overline{A}\,\overline{B}}=A\oplus B$$

合作 進取 求實 創新

三、逻辑函数的两种标准形式

（一）最小项和最大项

1. 最小项：在n变量逻辑函数中，若m为包含n个因子的乘积项，而且这n个变量均以原变量或反变量的形式在m中出现一次，则称m为该组变量的最小项

Y=F(A,B,C)

$m_0 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}$

$m_1 = \bar{A}\bar{B}C$

$m_2 = \bar{A}B\bar{C}$

$m_3 = \bar{A}BC$

$m_4 = A\bar{B}\bar{C}$

$m_5 = A\bar{B}C$

$m_6 = AB\bar{C}$

$m_7 = ABC$

Y=F(A,B,C,D)

$m_{11} = A\bar{B}CD$

$m_9 = A\bar{B}\bar{C}D$

Y=F（A，B，C，D，E）

$m_{19} = A\bar{B}\bar{C}DE$

合作 進取 求實 創新

①在输入变量的任何取值下必有一个最小项,而且仅有一个最小项的值为1

②全体最小项之和为1

③任意两个最小项的乘积为0

④相邻两个最小项之和可合并为一项并消去一个不同的因子

两个最小项只有一个因子不同

$$m_0+m_1=\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}C=\overline{A}\,\overline{B}$$

2. 最大项：在n变量逻辑函数中，若M为包含n个变量之和，而且这n个变量均以原变量或反变量的形式在M中出现一次，则称M为该组变量的最大项

Y=F(A,B,C)

$$\mathbf{M_7}= \overline{A}+\overline{B}+\overline{C}$$

$$\mathbf{M_6}= \overline{A}+\overline{B}+C$$

$$\mathbf{M_5}= \overline{A}+B+\overline{C}$$

$$\mathbf{M_4}= \overline{A}+B+C$$

$$\mathbf{M_3}= A+\overline{B}+\overline{C}$$

$$\mathbf{M_2}= A+\overline{B}+C$$

$$\mathbf{M_1}= A+B+\overline{C}$$

$$\mathbf{M_0}= A+B+C$$

①在输入变量的任何取值下必有一个最大项,而且仅有一个最大项的值为0

②全体最大项之积为0

③任意两个最大项的之和为1

④相邻两个最大项之乘积等于各相同变量之和

⑤ $M_i = \overline{m_i}$

$$\overline{m_5} = \overline{A\overline{B}C} = \overline{A} + B + \overline{C}$$ $=M_5$

（二）逻辑函数的最小项之和的形式

推论：任一逻辑函数都可以用唯一最小项之和的形式表示

$$
\begin{aligned}
Y = F(A,B,C) &= \bar{A}B + A\bar{B}\bar{C} + BC \\
&= \bar{A}B(C+\bar{C}) + A\bar{B}\bar{C} + (A+\bar{A})BC \\
&= \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC + \bar{A}BC \\
&= m_3 + m_2 + m_4 + m_7 \\
&= \sum m(2,3,4,7) \\
&= \sum (2,3,4,7)
\end{aligned}
$$

（三）逻辑函数的最大项之积形式：

推论：任一逻辑函数都可以用唯一最大项之积的形式表示

$$Y=\sum_{i} m_i=\prod_{k\neq i} M_k$$

$$Y=\sum m(2,3,4,7)$$
$$=\prod M(0,1,5,6)$$