数字逻辑设计

高翠芸
School of Computer Science
gaocuiyun@hit.edu.cn

Unit 2　布尔代数

- 逻辑运算
- 布尔表达式和真值表
- 逻辑代数定理及规则
- 代数化简法

George Boole

各种逻辑运算

- **基本逻辑运算（Basic Operations）**
  - ➢ **与（AND）**
  - ➢ **或（OR）**
  - ➢ **非（NOT）**
- **复合逻辑运算（Other Operations）**

基本运算——AND

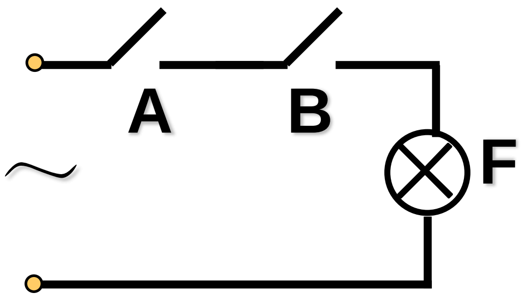
1. AND（逻辑“与”）

$F = A \bullet B$

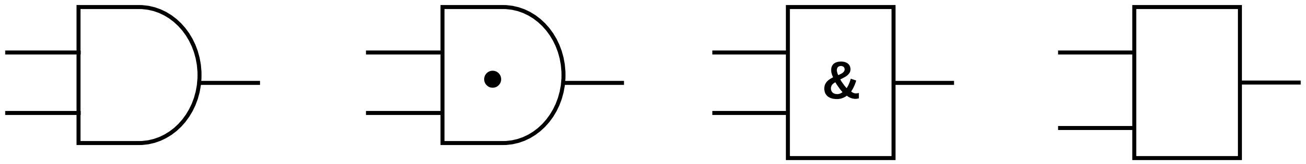
真值表

AB	F
0 0	0
0 1	0
1 0	0
1 1	1

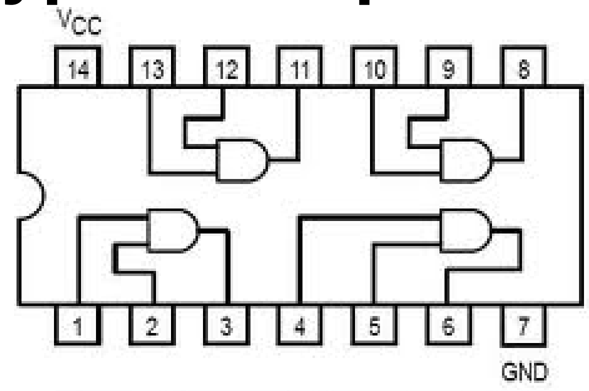
① 也称为： 逻辑“乘”

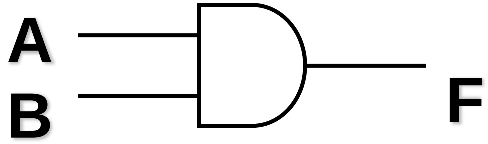


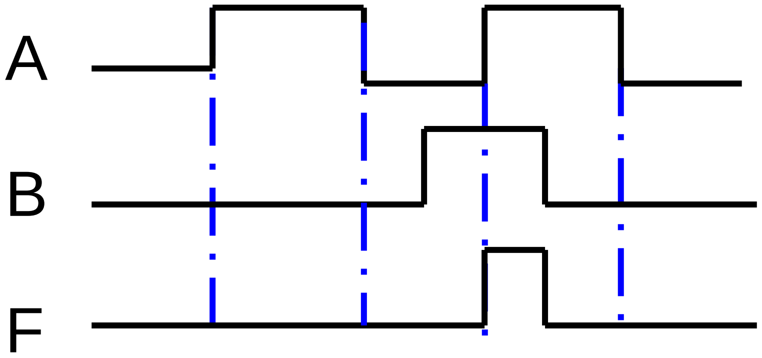
② AND gate（与门）逻辑符号



③ Typical Chip: 74LS08





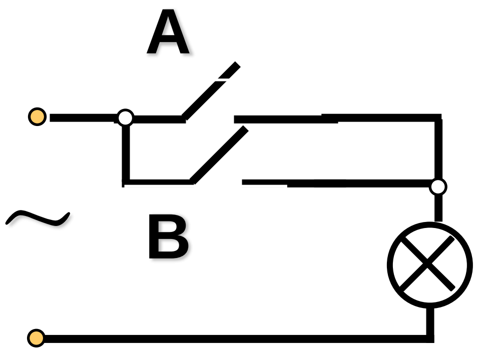


基本运算——OR

2. OR（逻辑“或”）

$$F=A+B$$

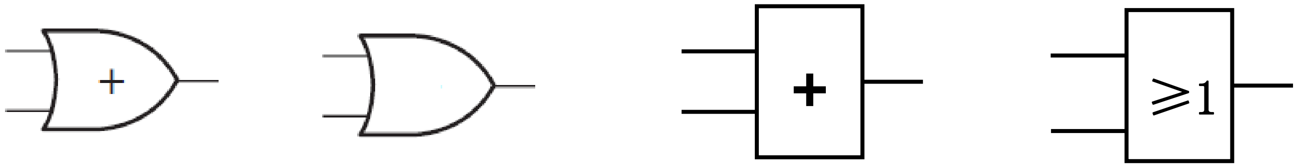
①也称为：逻辑“加”



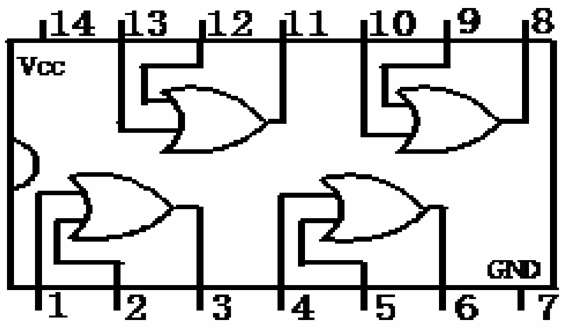
Truth Table

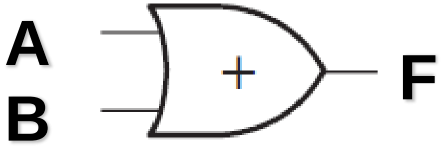
AB	F
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	1

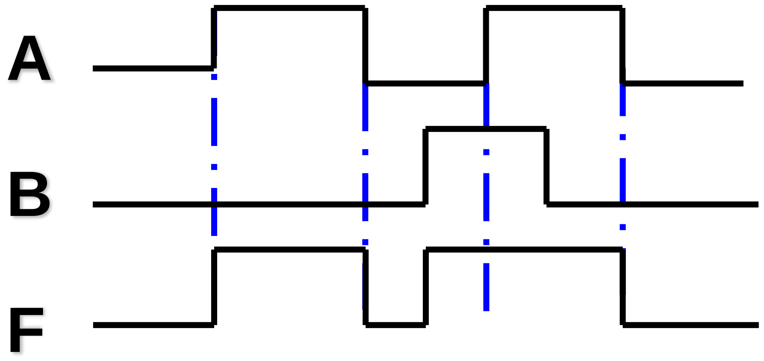
② OR gate（或门）逻辑符号



③ Typical Chip: 74LS32







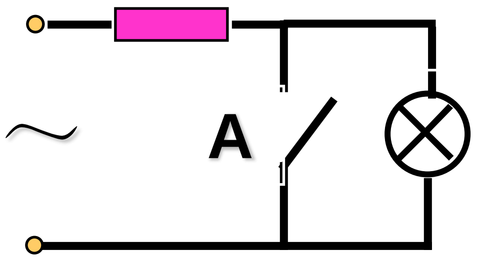
基本运算——NOT

3. NOT（逻辑“非”）

$$F=\overline{A}$$

$$(\ or\ F=A')$$

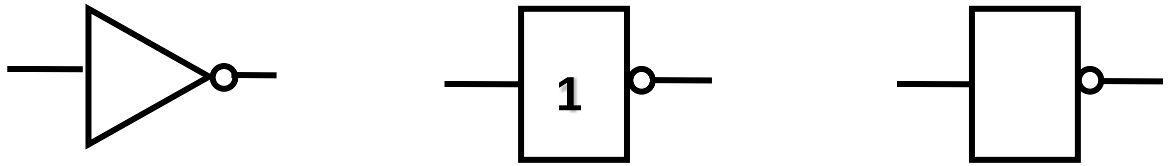
①也称为：反相器



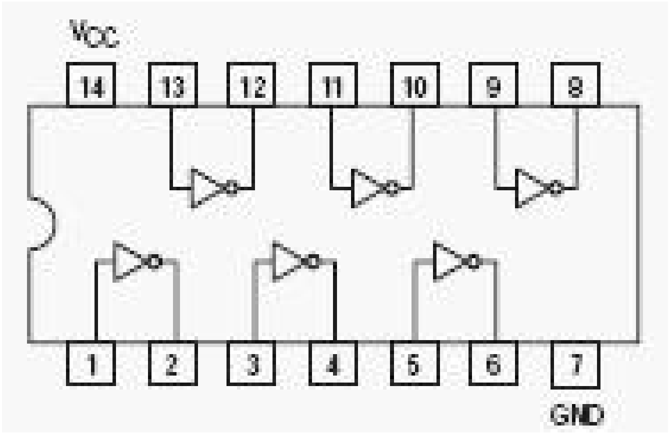
True table

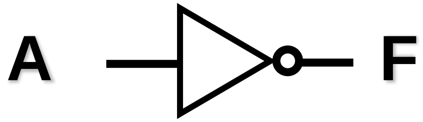
A	F
0	1
1	0

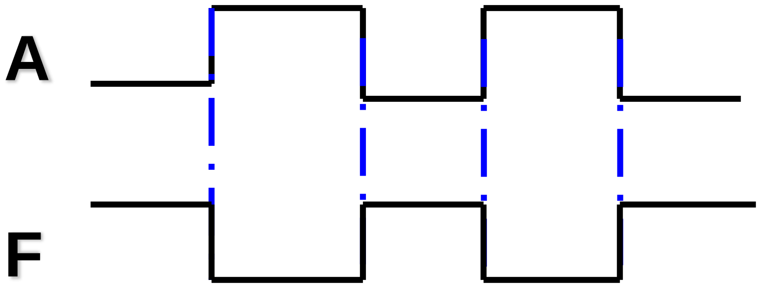
② NOT gate（非门）逻辑符号



③ Typical Chip: 74LS04







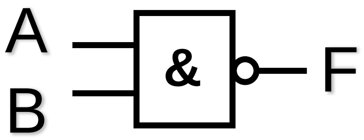
复合逻辑运算（Other Operations）

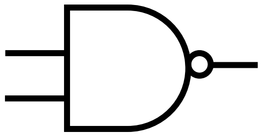
- **基本逻辑运算（Basic Operations）**
  - **与（AND）**
  - **或（OR）**
  - **非（NOT）**
- **复合逻辑运算（Other Operations）**

复合逻辑运算——NAND

4. 与非门（NAND gate）

$$F = \overline{AB}$$

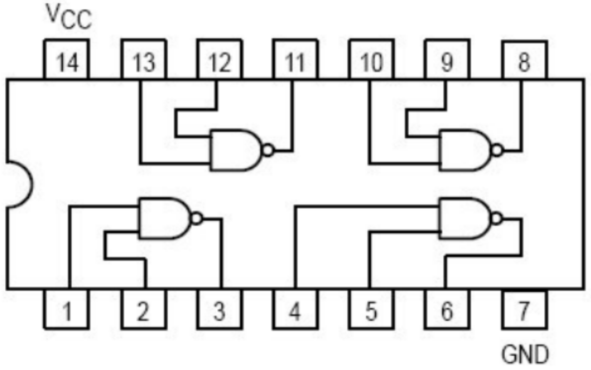




Truth Table

AB	F
0 0	1
0 1	1
1 0	1
1 1	0

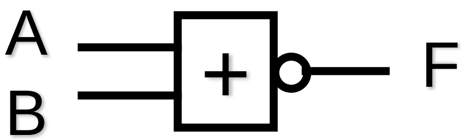
- Typical Chip: 74LS00

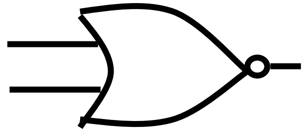


复合逻辑运算——NOR

5. 或非门（NOR gate）

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

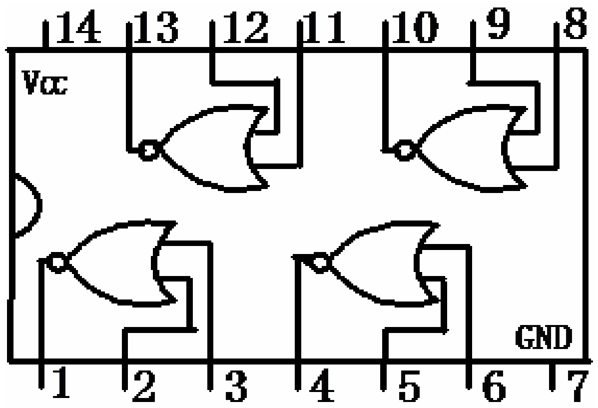




Truth Table

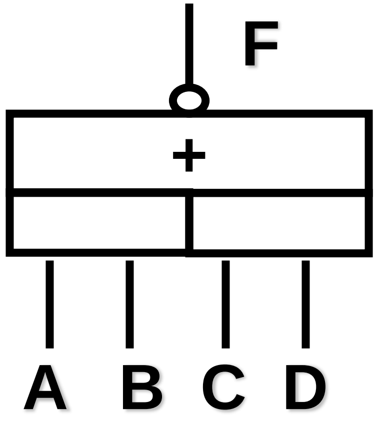
AB	F
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	0

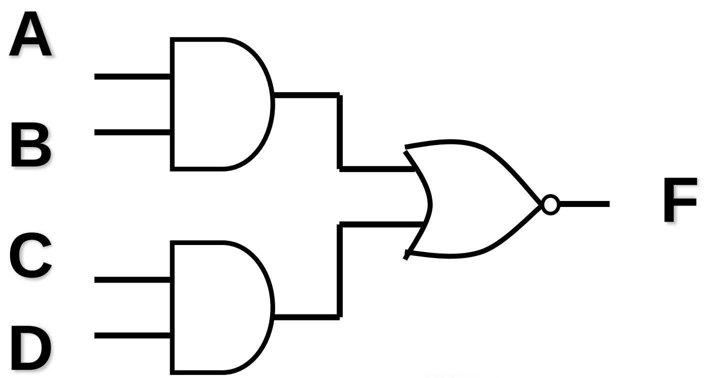
- Typical Chip: 74LS02



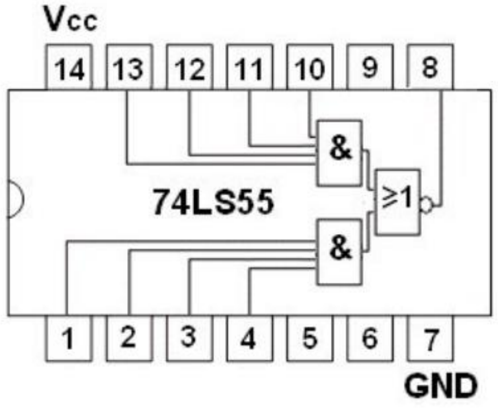
6. 与或非门（AND-OR-NOT gate)

$$F=\overline{AB+CD}$$





- Typical Chip: 74LS51,74LS55

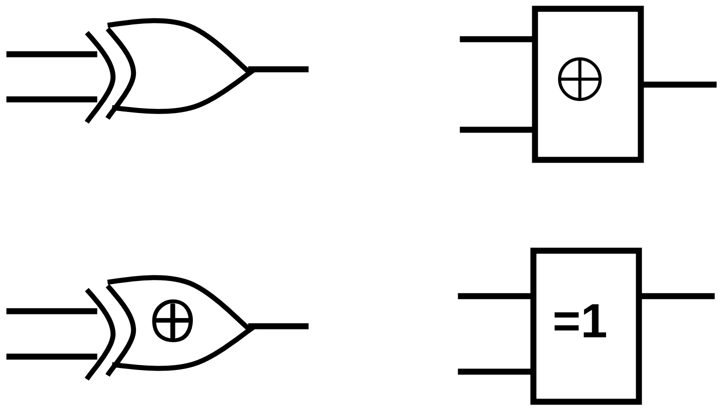


复合逻辑运算——Exclusive-OR

7. 异或门 (Exclusive-OR gate)

① $F = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$

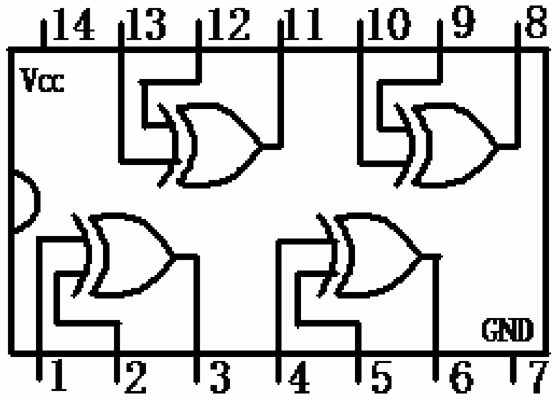
② 逻辑符号



Truth Table

AB	F
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	0

③ Typical Chip: 74LS86

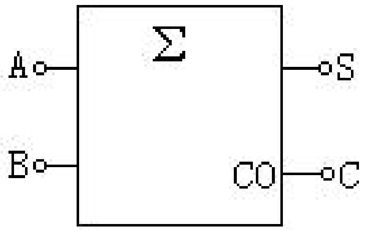


④ 应用

- 全加器（Full adder)
- 半加器（Half-adder)

异或门的应用

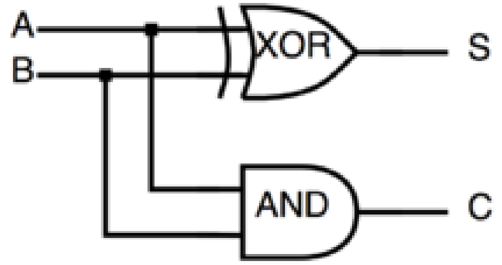
■ 半加器（Half-adder）



半加器逻辑符号

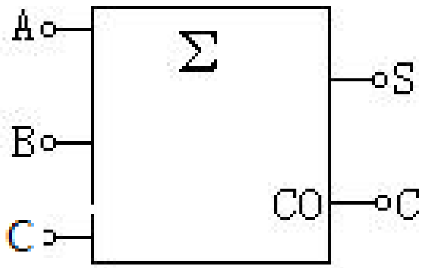
输入		输出	
A	B	C	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

逻辑表达式：$S = A \oplus B$；$C = A \cdot B$。



半加器的逻辑实现

■ 全加器（Full adder）

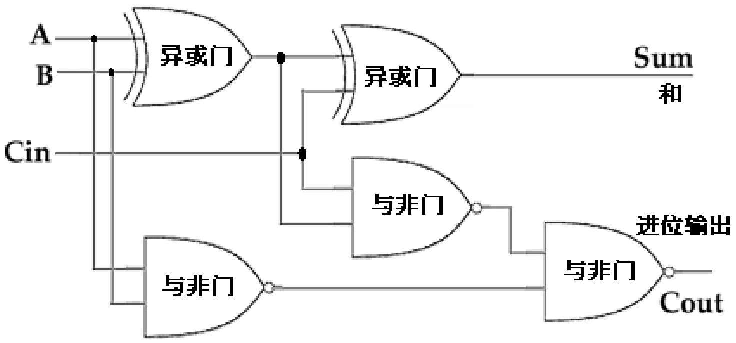


全加器逻辑符号

输入			输出	
Ci-1	Ai	Bi	Si	Ci
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

$$S = A \oplus B \oplus C_{in}$$

$$C_{out} = (A \cdot B) + (C_{in} \cdot (A \oplus B))$$



复合逻辑运算——Exclusive-OR

8. 同或门 (Equivalence operation)

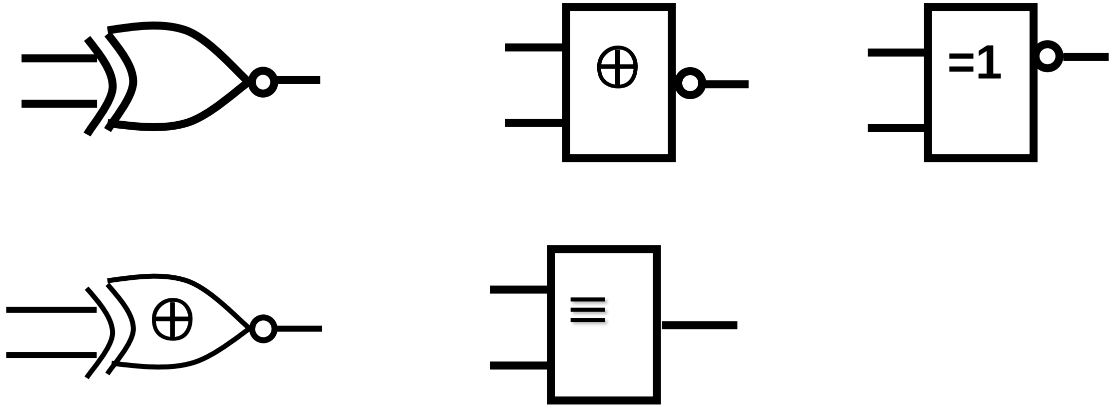
$F = A \equiv B$ or

$$F = A \odot B = \bar{A}\bar{B} + AB$$

Truth Table

AB	F
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	1

① 逻辑符号



投票(匿名) 最多可选1项

设置

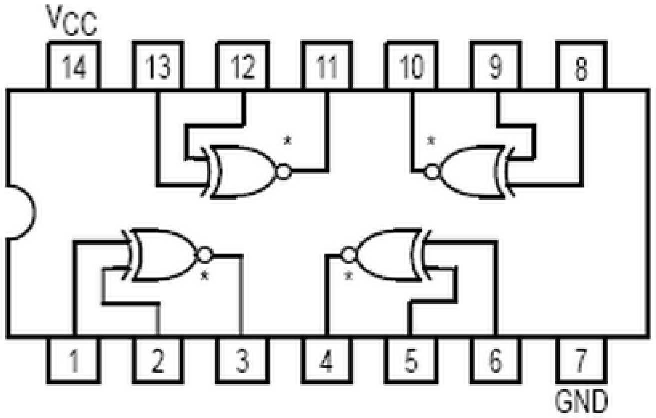
大家觉得课程节奏如何?

- A 太快了
- B 偏快
- C 还可以
- D 偏慢
- E 太慢了

提交

复合逻辑运算——Exclusive-OR

② Typical Chip: 74LS266



如何构造1位等值比较器？？

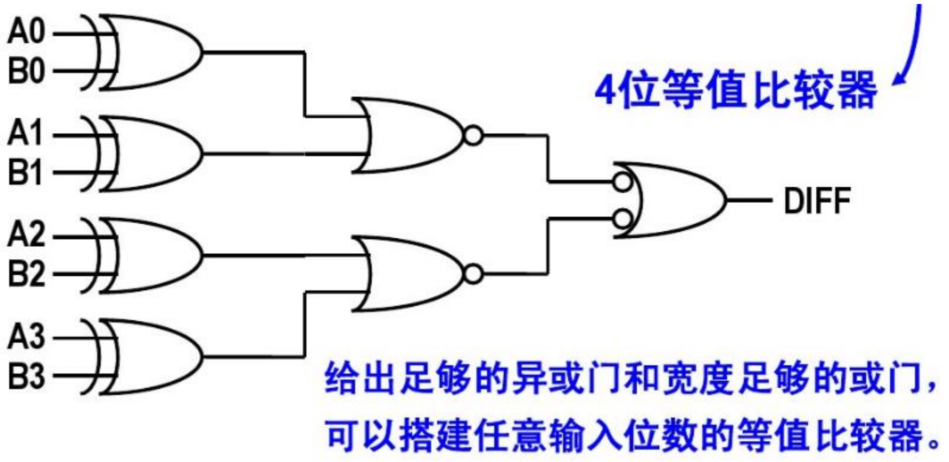
③ Applications

- 等值比较器

主观题 10分

设置

如何用同或门实现4位二进制的等值比较?



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答

复合逻辑运算——Exclusive-OR

④ 性质

$A \oplus 1 = \bar{A}$ $\quad$ $A \odot 1 = A$

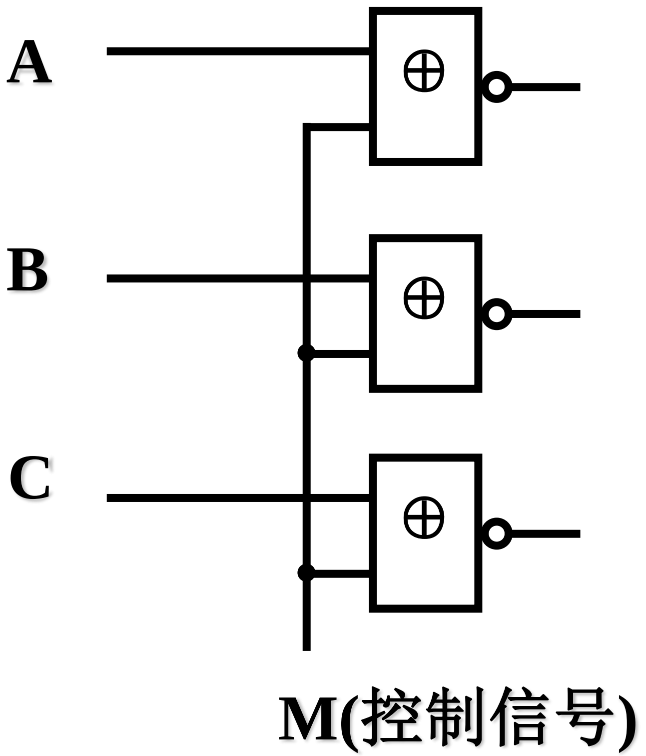
$A \oplus 0 = A$ $\quad$ $A \odot 0 = \bar{A}$

$A \oplus A = 0$ $\quad$ $A \odot A = 1$

$A \oplus \bar{A} = 1$ $\quad$ $A \odot \bar{A} = 0$

复合逻辑运算——Exclusive-OR

应 用



Unit 2　Boolean Algebra

- **逻辑运算**
- **布尔表达式和真值表**
- **逻辑代数定理及规则**
- **代数化简法**

布尔表达式和真值表

布尔表达式（Boolean Expressions）

$$F = AB + \bar{A}\bar{B}$$

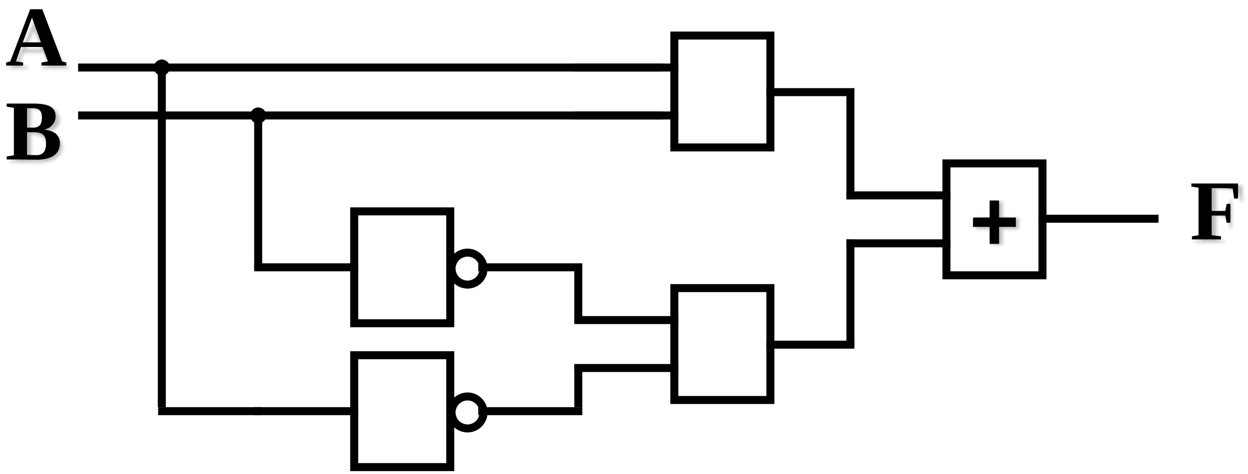
$$F = [A(C+D)]' + BE$$

- *Boolean expressions* are formed by application of the basic operations (and, or, not) to one or more variables or constants.

布尔表达式和真值表

$F = AB + \bar{A}\bar{B}$

逻辑图



真值表

AB	F
0 0	1
0 1	0
1 0	0
1 1	1

- n 个输入变量有 2^n 种取值组合

■ 如果两个逻辑表达式的真值表相等，则这两个逻辑表达式相等.

Example. $AB'+C = (A+C)(B'+C)$

A B C	$AB' + C$	$(A + C)(B' + C)$
0 0 0	0	0
0 0 1	1	1
0 1 0	0	0
0 1 1	1	1
1 0 0	1	1
1 0 1	1	1
1 1 0	0	0
1 1 1	1	1

适用情况：逻辑表达式简单，逻辑变量较少

投票 最多可选1项

设置

一个逻辑运算的真值表是否是唯一的？对应的逻辑图是否是唯一的?

A 否，否

B 是，否

C 否，是

D 是，是

提交

Unit 2　Boolean Algebra

- 逻辑运算
- 布尔表达式和真值表
- 逻辑代数定理及规则
- 代数化简法

Laws and Theorems

1. 公理（Axiom）

(A1) $0 \cdot 0 = 0$

(A1D) $0+0 = 0$

(A2) $0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$

(A2D) $1+0 = 0+1=1$

(A3) $1 \cdot 1 = 1$

(A3D) $1+1 = 1$

(A4) $\overline{0} = 1$

(A4D) $\overline{1} = 0$

(A5) If $A \neq 0$ then $A=1$

(A5D) If $A \neq 1$ then $A=0$

Laws and Theorems

2. 基本定理（Basic Theorems）

- *single variable is involved*

(T1)	$A+0=A$	(T1D)	$A \cdot 0=0$
(T2)	$A+1=1$	(T2D)	$A \cdot 1=A$

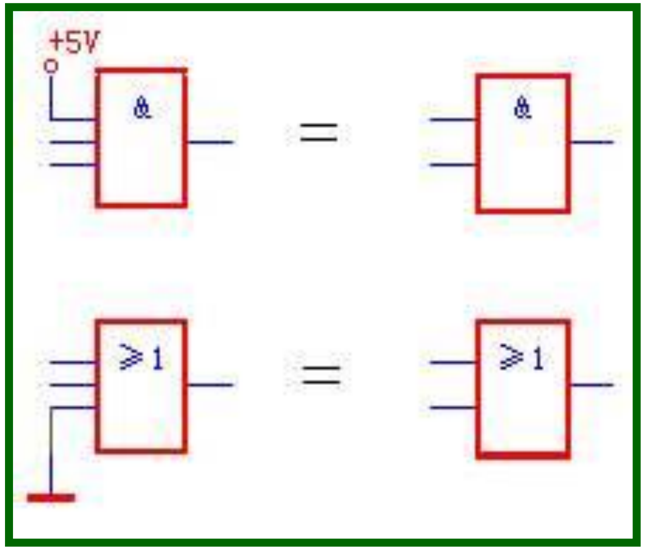
0—1律

(T3)	$A+\overline{A}=1$	(T3D)	$A \cdot \overline{A}=0$	互补律
(T4)	$A+A=A$	(T4D)	$A \cdot A=A$	重叠律
(T5)	$\overline{\overline{A}}=A$			还原律

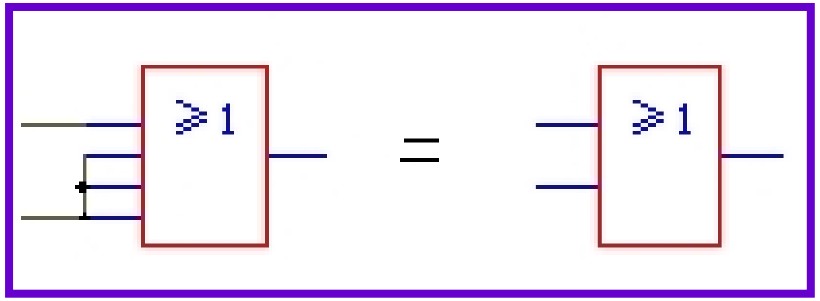
Laws and Theorems

➢ 应用——

0－1 律



重叠率



Laws and Theorems

- 与普通代数相似的定理
  - *Two or three variables is involved*

交换律

(T6) $A+B=B+A$　　(T6D) $A \cdot B = B \cdot A$

结合律

(T7) $(A+B)+C=A+(B+C)$　　(T7D) $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$

分配律　　第二分配律

(T8) $A \cdot (B+C) = AB+AC$　　(T8D) $A+BC=(A+B) \cdot (A+C)$

普通代数不支持

- *Two or three variables is involved*

(T9) $A + AB = A$ (T9D) $A(A + B) = A$ （吸收律）

(T10) $AB + A\overline{B} = A$ (T10D) $(A+B)(A+\overline{B}) = A$ （合并律）

(T11) $A + \overline{A}B = A + B$ （消除律）

$A+\overline{A}B$ 分配律的对偶式

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

$=A+B$

$A+\overline{A}B$

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

$=A+B$

- *Two or three variables is involved*

(T9) $A + AB = A$ (T9D) $A(A + B) = A$ （吸收律）

(T10) $AB + A\overline{B} = A$ (T10D) $(A+B)(A+\overline{B}) = A$ （合并律）

(T11) $A + \overline{A}B = A + B$ （消除律）

(T12) $AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C$

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

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

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

- ***Two or three variables is involved***

(T9) $A+AB=A$ (T9D) $A(A+B)=A$ （吸收律）

(T10) $AB+A\overline{B}=A$ (T10D) $(A+B)(A+\overline{B})=A$ （合并律）

(T11) $A+\overline{A}B=A+B$ （消除律）

(T12) $AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$ （蕴含律）

(T12D) $AB+\overline{A}C+BCD=AB+\overline{A}C$

(T12D)' $(A+B)(B+C)(A'+C)=(A+B)(A'+C)$

- ***Two or three variables is involved***

(T9) $\mathbf{A + AB = A}$ (T9D) $\mathbf{A(A + B) = A}$ （吸收律）

(T10) $\mathbf{AB + A\overline{B} = A}$ (T10D) $\mathbf{(A+B)(A+\overline{B}) = A}$ （合并律）

(T11) $\mathbf{A + \overline{A}B = A + B}$ （消除律）

(T12) $\mathbf{AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C}$ 律）

(T12D) $\mathbf{AB + \overline{A}C + BCD = AB + \overline{A}C}$

(T12D)' $\boldsymbol{(A+B)(B+C)(A'+C) = (A+B}$

From (T12) :

$\mathbf{AB + \overline{A}C + BCD}$

$\mathbf{= AB + \overline{A}C + \color{red}{BC} + BCD}$

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

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

- *Two or three variables is involved*

(T9) $A + AB = A$ (T9D) $A(A + B) = A$ （吸收律）

(T10) $AB + A\overline{B} = A$ (T10D) $(A+B)(A+\overline{B}) = A$ （合并律）

(T11) $A + \overline{A}B = A + B$ （消除律）

(T12) $AB + \overline{A}C + BC = AB + \overline{A}C$ （蕴含律）

(T12D) $AB + \overline{A}C + BCD = AB + \overline{A}C$

(T12D)' $(A+B)(B+C)(A' + C) = (A+B)(A' + C)$

(T13) $\overline{A\overline{B} + \overline{A}B} = \overline{A}\,\overline{B} + AB$

- *Two or three variables is involved*

(T9) $A + AB = A$ (T9D) $A(A+B) = A$ （吸收律）

(T10) $AB + A\bar{B} = A$ (T10D) $(A+B)(A+\bar{B}) = A$ （合并律）

(T11) $A + \bar{A}B = A + B$ （消除律）

(T12) $AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$ 蕴含律）

(T12D) $AB + \bar{A}C + BCD = AB + \bar{A}C$

(T12D)' $(A+B)(B+C)(A'+C) = (A+B$

(T13) $\overline{A\bar{B} + \bar{A}B} = \bar{A}\bar{B} + AB$

$$\overline{A\bar{B} + \bar{A}B}$$

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

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

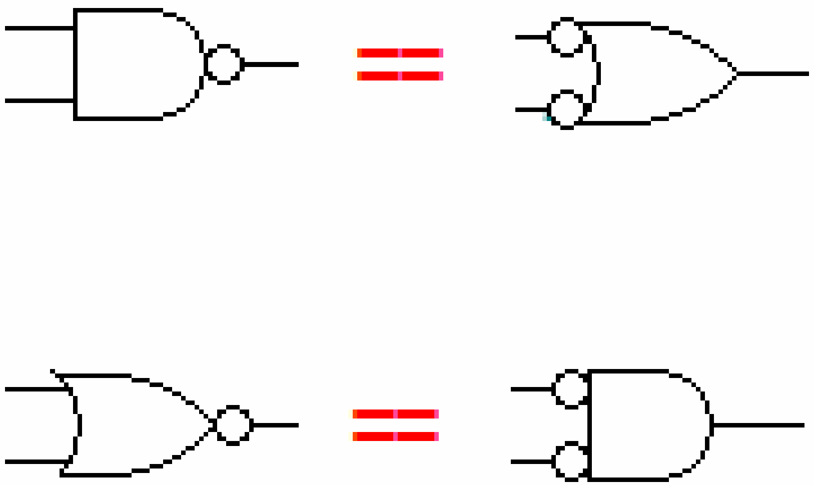
$$= \bar{A}\bar{B} + AB$$

定理和规则

- *N variables is involved*

  —德摩根定理（DeMorgan’s Laws）

(13) $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$　　(13)’ $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$



定理和规则

特殊定理

1、DeMorgan's Laws

- Applications: 表达式化简

（1） $\overline{X_1 X_2 \ \dots\ X_n} = \overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \dots + \overline{X}_n$

（2） $\overline{X_1 + X_2 + \dots + X_n} = \overline{X}_1 \overline{X}_2 \ \dots\ \overline{X}_n$

定理和规则

- ***N variables is involved***

(T14) $X + X + \ldots + X = X$ (T14D) $X \bullet X \bullet \ldots \bullet X = X$ （广义同一律）

(T15) $(X_1 \bullet X_2 \bullet \cdots \bullet X_n)' = X_1' + X_2' + \cdots + X_n'$

(T15D) $(X_1 + X_2 + \cdots + X_n)' = X_1' \cdot X_2' \cdot \cdots \cdot X_n'$ （德·摩根定理）

(T16) $[F(X_1, X_2, \ldots, X_n, +, \cdot)]' = F(X_1', X_2', \ldots, X_n', \cdot, +)$ （广义德·摩根定理）

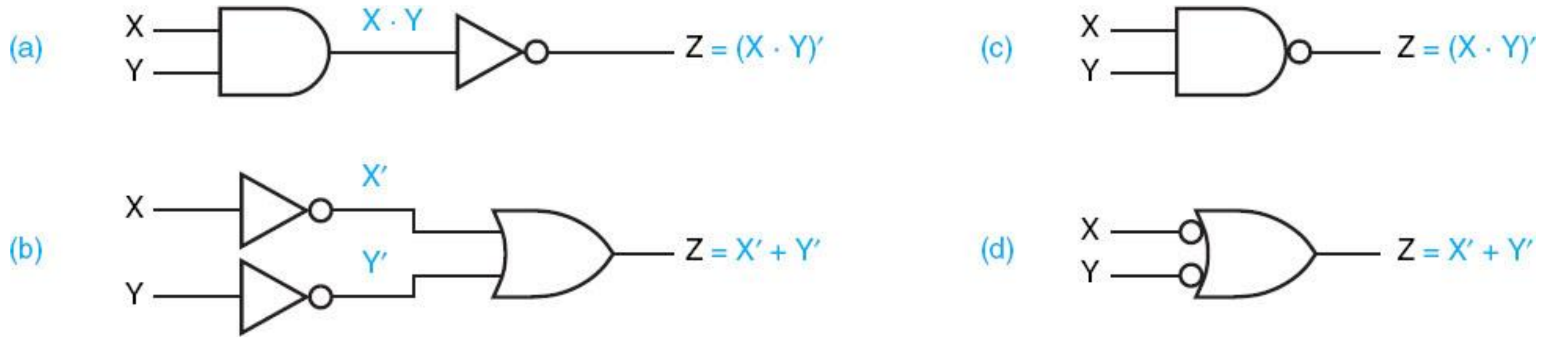
(T17) $F(X_1, X_2, \ldots, X_n) = X_1 \cdot F(1, X_2, \ldots, X_n) + X_1' \cdot F(0, X_2, \ldots, X_n)$

(T17D) $F(X_1, X_2, \ldots, X_n) = [X_1 + F(0, X_2, \ldots, X_n)] \cdot [X_1' + F(1, X_2, \ldots, X_n)]$

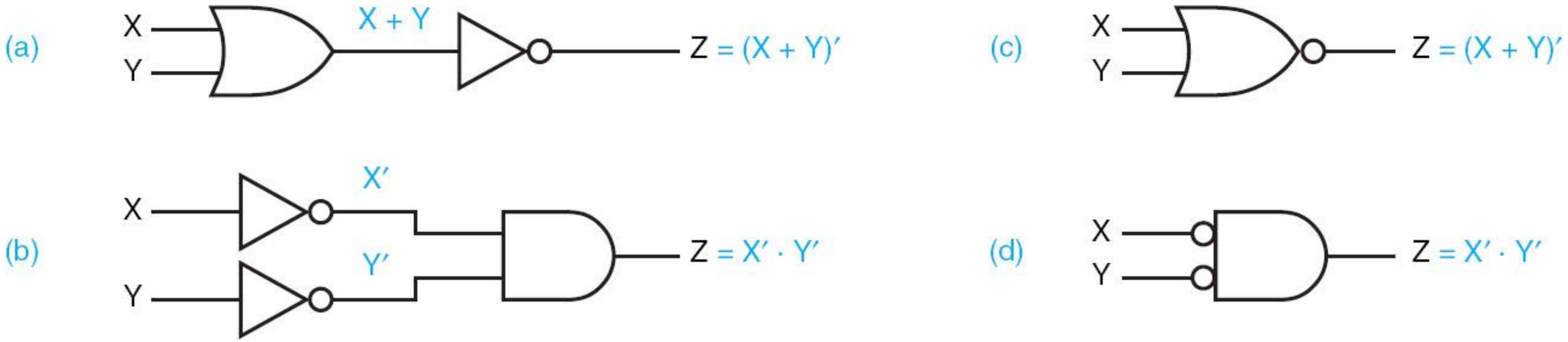
（香农展开定理）

根据德·摩根定理的等效电路

(T15) $(X_1 \bullet X_2 \bullet \cdots \bullet X_n)' = X_1' + X_2' + \cdots + X_n'$



(T15D) $(X_1 + X_2 + \cdots + X_n)' = X_1' \cdot X_2' \cdot \cdots \cdot X_n'$



定理和规则

2、对偶规则

- **Applications:** Algebraic Simplification

变量:　　不变

运算符:

$$\cdot \longrightarrow +$$

$$+ \longrightarrow \cdot$$

$$\oplus \longrightarrow \odot$$

$$\odot \longrightarrow \oplus$$

不能改变原来的优先级

定理和规则

特殊定理

——对偶规则

① $F \xleftrightarrow{\text{Dual Rule}} (F)^D$

② 两个逻辑表达式相等，它们的对偶也相等

$$A+BCD = (A+B)(A+C)(A+D)$$

Dual Rule $\downarrow$ $\qquad$ Dual Rule $\downarrow$

$$A \cdot (B+C+D) = AB+AC+AD$$

对偶规则（Inference of Dual Rule）

Example

$$F=A\cdot(B+C) \xrightarrow{\text{对偶}} (F)^D = A+B\cdot C$$

$$F=A\cdot\overline{B}+AC \xrightarrow{\text{对偶}} (F)^D = (A+\overline{B})\cdot(A+C)$$

$$F=\overline{\overline{A}\cdot\overline{B\cdot\overline{C}}} \xrightarrow{\text{对偶}} (F)^D = \overline{\overline{A}+\overline{B+\overline{C}}}$$

Unit 2 Boolean Algebra

- 逻辑运算
- 布尔表达式和真值表
- 逻辑代数定理及规则
- 代数化简法

代数化简法

一个逻辑函数有多种不同的表达式

$F=AB+A\overline{C}$ .....与-或

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

$=\overline{\overline{AB}\cdot\overline{A\overline{C}}}$ .....与非-与非

$=\overline{(\overline{A}+\overline{B})\cdot(\overline{A}+C)}$.....或-与非

$=\overline{(\overline{A}+\overline{B})}+\overline{(\overline{A}+C)}$ .....或非-或

$F=(A+B)\cdot(A+\overline{C})$ .....或-与

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

$=\overline{\overline{(A+B)}+\overline{(A+\overline{C})}}$....或非-或非

$=\overline{\overline{A}\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot C}$ .....与-或非

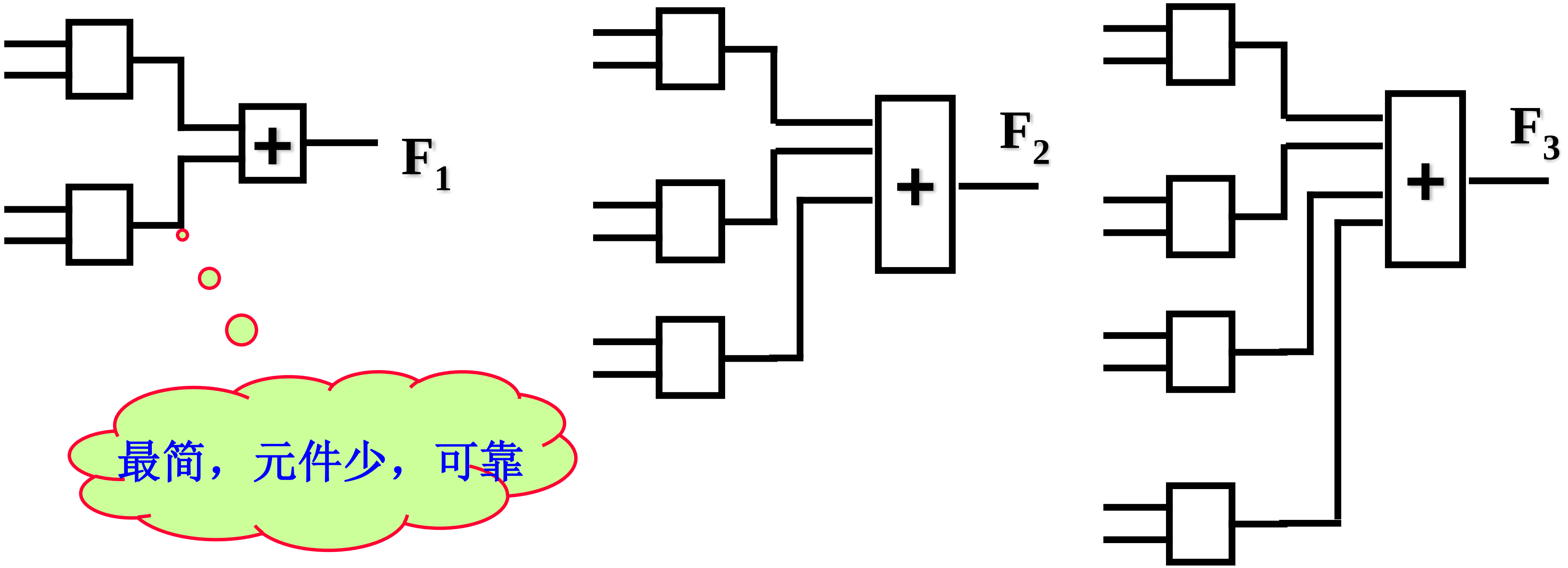
$=\overline{\overline{A}\,\overline{B}}\cdot\overline{\overline{A}C}$ .....与非-与

同一类型的表达式也不是唯一的

$$F=AB+\bar{A}C \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots ① \ F_1$$

$$=AB+\bar{A}C+BC \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots ② \ F_2$$

$$=ABC+AB\bar{C}+\bar{A}BC+\bar{A}\bar{B}C \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots ③ \ F_3$$



代数法化简

最简（Minimum Expressions）？

① 与项（和项）的个数最少

② 每个与项（和项）中变量的个数最少

minimum cost

① **逻辑门的数量最少**

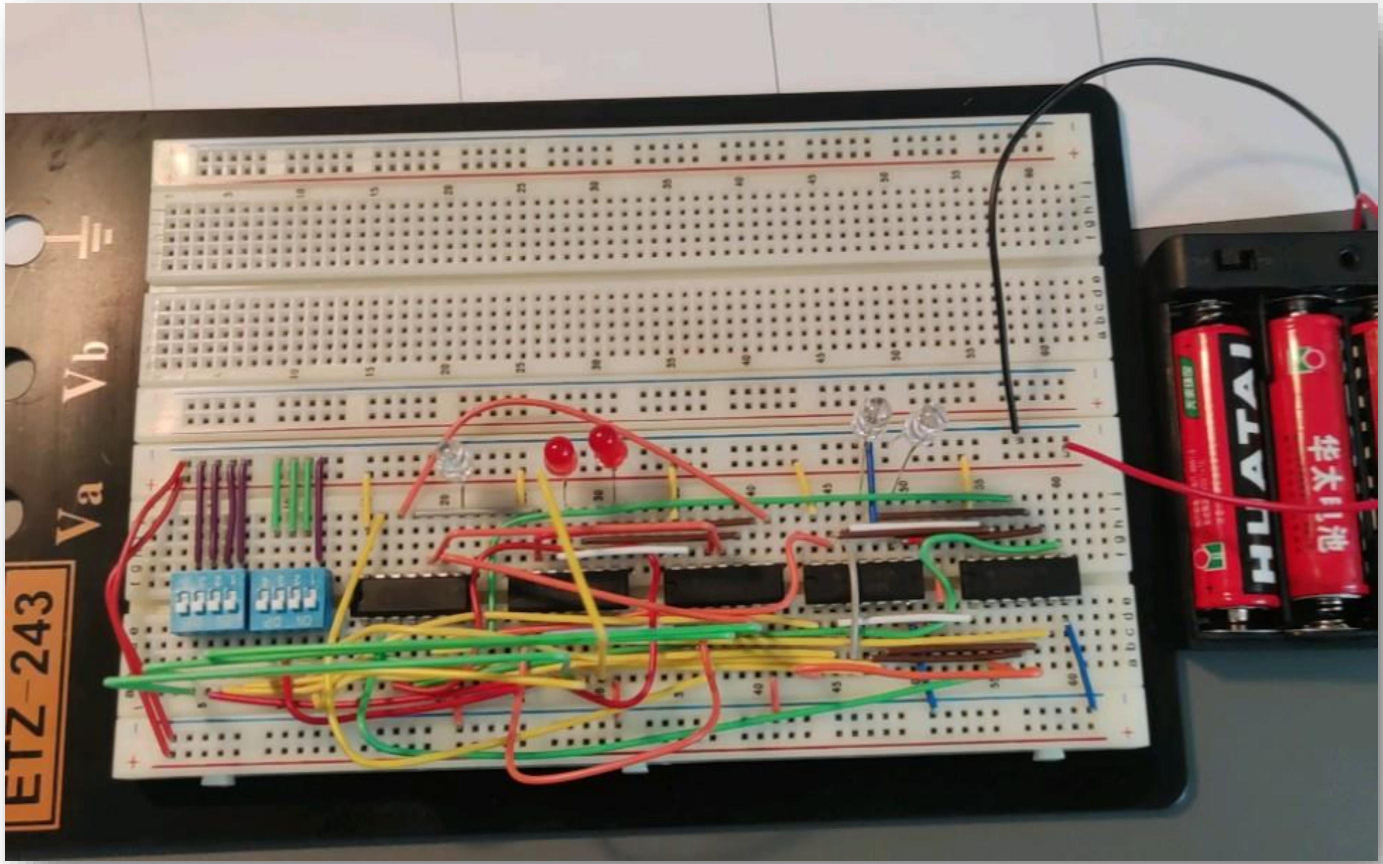
② **逻辑门的输入个数最少**

目的：

- 降低成本
- 提高可靠性

Methods

- 代数法（**Algebraic techniques**）
- 卡诺图法（**K. map method**）



逻辑函数化简的意义：

逻辑表达式越简单，实现它的电路越简单，电路工作越稳定可靠。

Simplification Methods

代数化简法

Example.1

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

$$= A + \bar{A}CD + \bar{C}E + \bar{D}E$$

$$= A + CD + \bar{C}E + \bar{D}E$$

$$= A + CD + E(\bar{C} + \bar{D})$$

$$= A + CD + E\overline{CD}$$

$$= A + CD + E$$

Example.2

$$F = AB + A\bar{C} + \bar{B}C + B\bar{C} + \bar{B}D + B\bar{D} + ADE(F+G)$$

$$= A(\overline{\bar{B}C}) + \bar{B}C + B\bar{C} + \bar{B}D + B\bar{D} + ADE(F+G)$$

$$= A + \bar{B}C + B\bar{C} + \bar{B}D + B\bar{D} + ADE(F+G)$$

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

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

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

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

Example.3 $F=(\overline{B}+D)(\overline{B}+D+A+G)(C+E)(\overline{C}+G)(A+E+G)$

Dual Rule: $J=\overline{B}D+\overline{B}DAG+CE+\overline{C}G+AEG$

$=\overline{B}D+CE+\overline{C}G+\cancel{AEG}$

$=\overline{B}D+CE+\overline{C}G$

Dual Rule:

$F=(\overline{B}+D)(C+E)(\overline{C}+G)$

主观题 5分

设置

$$F = A+AB+\bar{A}C+BD+ACEF+\bar{B}E+DEF$$

$$= A+C+BD+\bar{B}E$$

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答

重要的三个规则

(T8D) $\mathbf{A+BC=(A+B)\bullet(A+C)}$

(T11) $\mathbf{A+\bar{A}B = A+B}$

(T12D) $\mathbf{AB+\bar{A}C+BC = AB+\bar{A}C}$

投票(匿名) 最多可选3项

设置

哪些内容没有听懂，需要再讲一下?

A 德摩根定理

B 对偶规则

C 蕴含率

D 其他

E 无

提交

代数化简法优缺点

- 优点——
  - 不受变量数目的约束
  - 对公理、定理和规则十分熟练时，化简较方便
- 缺点——
  - 技巧性强
  - 在很多情况下难以判断化简结果是否最简

小　结

- 各种逻辑运算
- 布尔表达式和真值表
- 逻辑代数定理及规则
- 代数化简法