

第8章 门电路和组合逻辑电路

8.1 数字信号和数制

8.2 逻辑门电路(重点)

8.3 组合逻辑电路的分析与综合(重点)

8.4 数字集成组合逻辑电路

8.5 半导体存储器和可编程逻辑器件 (自学)

8.6 应用举例 (自学)

1

8.1 数字信号和数制

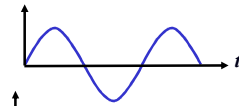
电子电路中的信号

- 模拟信号
- 数字信号

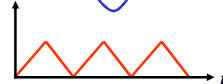
一、模拟信号

模拟信号：随时间连续变化的信号

正弦波信号



三角波信号



2

处理模拟信号的电路称为模拟电路。如整流电路、放大电路等，注重研究的是输入和输出信号间的大小及相位关系。

★ 在模拟电路中，三极管通常工作在放大区。

二、数字信号

幅度不随时间连续变化，而是跳跃变化。

脉冲信号：是一种跃变信号，并且持续时间短暂。

尖顶波



矩形波



3

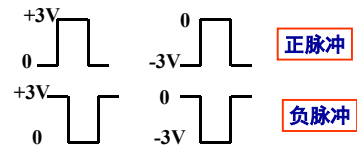
★ 处理数字信号的电路称为数字电路，它注重研究的是输入、输出信号之间的逻辑关系。

★ 在数字电路中，三极管一般工作在截止区和饱和区，起开关的作用。

脉冲信号

- 正脉冲：脉冲跃变后的值比初始值高
- 负脉冲：脉冲跃变后的值比初始值低

如：

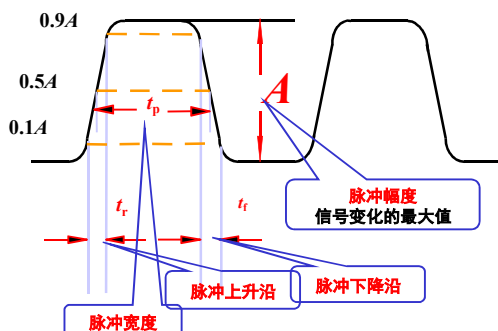


正脉冲

负脉冲

4

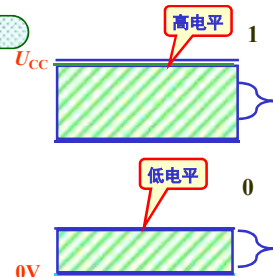
脉冲信号的参数



5

由电子电路实现逻辑运算时，它的输入和输出信号都是用电位（或称电平）的高低表示的。高电平和低电平都不是一个固定的数值，而是有一定的变化范围。

电平的高低一般用“1”和“0”两种状态区别，若规定高电平为“1”，低电平为“0”则称为正逻辑。反之则称为负逻辑。若无特殊说明，均采用正逻辑。

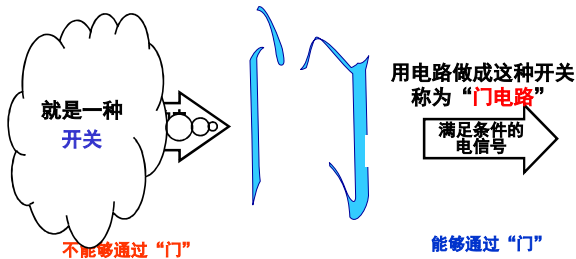


0~0.3V=逻辑0, 3V~=逻辑1

6

8.2 逻辑门电路

门电路的基本概念



结论：门电路输入信号与输出信号之间存在一定的逻辑关系。

一、基本逻辑门电路：

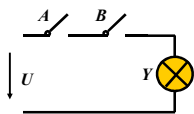
逻辑门电路是数字电路中最基本的逻辑元件。门电路的输入和输出之间存在一定的逻辑关系(因果关系)，所以门电路又称为逻辑门电路。

基本逻辑关系为“与”、“或”、“非”三种。

门电路主要有：与门、或门、非门、与非门、或非门、异或门等。

1、“与”逻辑关系和与门

(1) “与”逻辑关系



规定：开关合为逻辑“1”
开关断为逻辑“0”
灯亮为逻辑“1”
灯灭为逻辑“0”

“与”逻辑：决定事件发生的各条件中，所有条件都具备，事件才会发生（成立）。

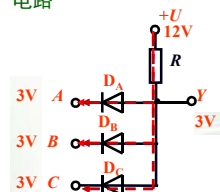
“与”逻辑逻辑状态表

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

特点：有“0”出“0”，
全“1”出“1”。

(2) 二极管与门电路

1) 电路



2) 工作原理

输入A、B、C不全为“1”，输出Y为“0”。

输入A、B、C全为“1”，输出Y为“1”。

与门逻辑状态表

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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

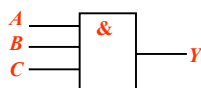
(3) “与”逻辑关系表示式

逻辑表达式： $Y=A \cdot B \cdot C$

逻辑关系：“与”逻辑

即：有“0”出“0”，
全“1”出“1”。

逻辑符号：



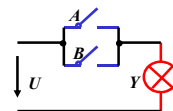
与门逻辑状态表

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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

2、“或”逻辑关系和或门

(1) “或”逻辑关系

“或”逻辑：决定事件发生的各条件中，有一个或一个以上的条件具备，事件就会发生（成立）。



规定：开关合为逻辑“1”，
开关断为逻辑“0”；
灯亮为逻辑“1”，
灯灭为逻辑“0”。

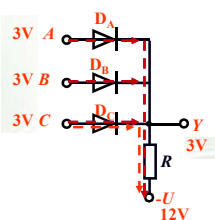
“或”逻辑逻辑状态表

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

特点：有“1”出“1”，
全“0”出“0”。

(2) 二极管或门电路

1) 电路



或门逻辑状态表

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

2) 工作原理

输入A、B、C有一个为“1”，输出Y为“1”。

输入A、B、C全为“0”，输出Y为“0”。

13

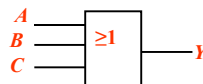
(3) 或逻辑关系表示式

逻辑表达式： $Y=A+B+C$

逻辑关系：“或”逻辑

即：有“1”出“1”，
全“0”出“0”。

逻辑符号：



或门逻辑状态表

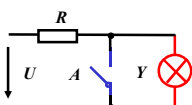
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

14

3、“非”逻辑关系与非门

(1) “非”逻辑关系

“非”逻辑：决定事件发生的条件只有一个，条件不具备时事件发生（成立），条件具备时事件不发生。



规定：开关合为逻辑“1”，
开关断为逻辑“0”；
灯亮为逻辑“1”，
灯灭为逻辑“0”。

“非”逻辑逻辑状态表

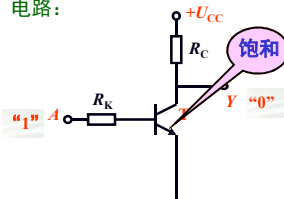
A	Y
0	1
1	0

特点：“1”则“0”，
“0”则“1”。

15

(2) 三极管非门电路

电路：



非门逻辑状态表

A	Y
0	1
1	0

逻辑符号：

逻辑表达式： $Y=\bar{A}$

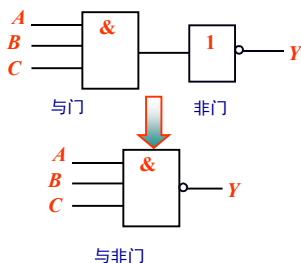


16

4、复合门电路

将基本逻辑门加以组合，可构成与非、或非、异或等门电路。

(1) 与非门



与非门逻辑状态表

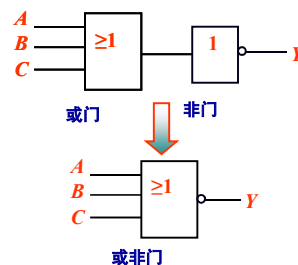
A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

逻辑表达式： $Y=\overline{A \cdot B \cdot C}$

有“0”出“1”，全“1”出“0”。

17

(2) 或非门



或非门逻辑状态表

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

逻辑表达式： $Y=\overline{A+B+C}$

有“1”出“0”，全“0”出“1”。

18

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

(3) 异或门

表示式: $Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$

符号:

异或门逻辑状态表

A	B	$\bar{A}B$	$A\bar{B}$	Y
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	1	0	0	0

相同则“0”，不同则“1”。

19

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

例: 根据输入波形画出输出波形。

有“1”出“1”，全“0”出“0”

20

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

门电路小结

门电路	符号	表示式
与门		$Y = AB$
或门		$Y = A + B$
非门		$Y = \bar{A}$
与非门		$Y = \overline{AB}$
或非门		$Y = \overline{A + B}$
异或门		$Y = A \oplus B$

21

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

二、集成TTL门电路

(三极管—三极管逻辑门电路)

TTL门电路，与分立元件(二极管、三极管)相比，具有速度快、可靠性高和微型化等优点，目前分立元件电路已被集成电路替代。下面介绍集成与非门电路的工作原理、特性和参数。

22

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

1、TTL与非门

T₁:多发射极三极管

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

TTL与非门的内部结构

23

西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

(1) 任一输入为低电平(0.3V)时

不足以让T₂、T₅导通

电位接近电源电压使T₃、T₄导通

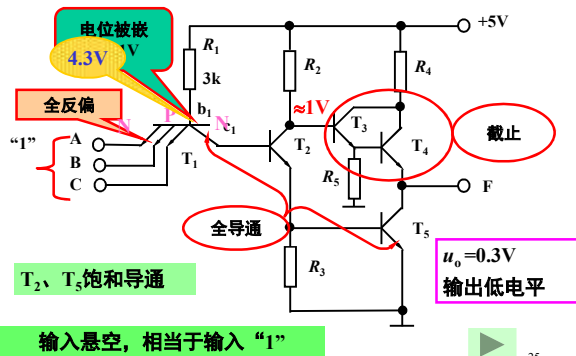
三个PN结
导通需2.1V

T₂、T₅截止

$u_o = 5 - u_{R2} - u_{be3} - u_{be4} \approx 3.6V$ 高电平!

24

(2) 输入全为高电平 (3.6V) 时或输入全悬空



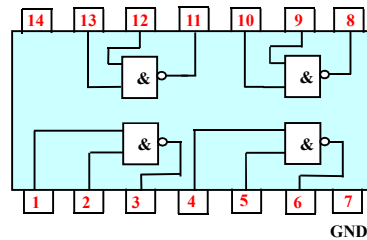
25

TTL门电路芯片简介



如: TTL门电路芯片 (四2输入与非门, 型号74LS00)

电源 V_{CC} (+5V)



实物



管脚

GND

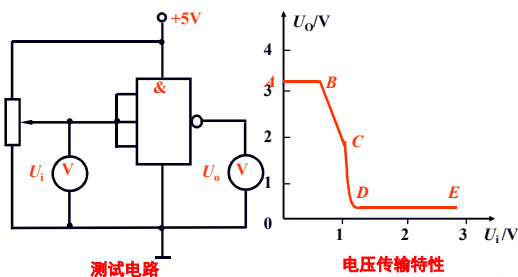
26

3、TTL与非门特性及参数



(1) 电压传输特性

输出电压 U_O 与输入电压 U_i 的关系。

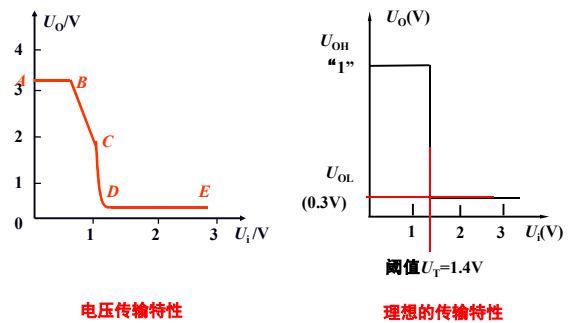


27

3、TTL与非门特性及参数

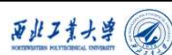


(1) 电压传输特性



28

3、TTL与非门特性及参数



(2) 主要参数

① 输出高电平 U_{OH} 、输出低电平 U_{OL}

$U_{OH} \geq 2.4V$, $U_{OL} \leq 0.4V$ 便认为合格。

典型值 $U_{OH} = 3.6V$, $U_{OL} = 0.3V$ 。

② 阈值电压 U_T

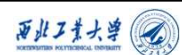
$U_i < U_T$ 时, 认为 U_i 是低电平。

$U_i > U_T$ 时, 认为 U_i 是高电平。

$U_T = 1.4V$

29

3、TTL与非门特性及参数



(2) 主要参数

③ 扇出系数 N_O

指一个“与非”门能带同类门的最大数目, 它表示带负载的能力。对于TTL与非门 $N_O \geq 8$ 。

④ 抗干扰能力

保证输出电平在规定范围内, 允许输入干扰电压的最大范围, 用噪声容限表示。低电平为0.3V, 高电平为1V。

注意: 1) 悬空的输入端相当于接高电平。

2) 为了防止干扰, 可将悬空的输入端接高电平。

30

8.3 组合逻辑电路的分析与综合

用基本门电路可以实现基本逻辑关系，将逻辑门电路组合起来，可构成组合逻辑电路。

分析设计逻辑电路的数学工具是逻辑代数（也称布尔代数）。

31

一、逻辑代数运算法则与定理

逻辑代数（又称布尔代数），它是分析设计逻辑电路的数学工具。虽然它和普通代数一样也用字母表示变量，但变量的取值只有“0”，“1”两种，分别称为逻辑“0”和逻辑“1”。这里“0”和“1”并不表示数量的大小，而是表示两种相互对立的逻辑状态。

★逻辑代数所表示的是逻辑关系，而不是数量关系。这是它与普通代数的本质区别。

32

逻辑代数运算法则：

加运算规则： $0+0=0$, $0+1=1$, $1+0=1$, $1+1=1$

$A+0=A$, $A+1=1$, $A+A=A$, $A+\bar{A}=1$

乘运算规则： $0\cdot0=0$ $0\cdot1=0$ $1\cdot0=0$ $1\cdot1=1$

$A\cdot0=0$ $A\cdot1=A$ $A\cdot A=A$ $A\cdot\bar{A}=0$

非运算规则： $\bar{0}=1$ $\bar{1}=0$ $\overline{\bar{A}}=A$

交换律： $A+B=B+A$ $AB=BA$

结合律： $A+B+C=(A+B)+C=A+(B+C)$
 $ABC=(AB)C=A(BC)$

33

分配律： $A(B+C)=AB+AC$

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

求证： $A+BC=(A+B)(A+C)$

证明： 右边 $=(A+B)(A+C)$

$=AA+AB+AC+BC$; 分配律

$=A+A(B+C)+BC$; 结合律, $AA=A$

$=A(1+B+C)+BC$; 结合律

$=A\cdot1+BC$; $1+B+C=1$

$=A+BC$; $A\cdot1=1$

=左边

34

吸收规则

原变量吸收规则： $A+A\bar{B}=A$

反变量吸收规则： $A+\bar{A}B=A+B$

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

证明： $A+\bar{A}B=A+A\bar{B}+\bar{A}B$

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

$=A+1\cdot B$; $A+\bar{A}=1$

$=A+B$

35

混合变量吸收规则： $AB+A\bar{B}=A$

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

证明： $AB+\bar{A}C+BC=AB+\bar{A}C+(A+\bar{A})BC$

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

$=AB(1+C)+\bar{A}C(1+B)$

$=AB+\bar{A}C$

36

反演定理（德摩根定理）

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

证明：用逻辑状态表证明

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

37

二、逻辑函数的表示方法

表示方法 { 逻辑状态表
逻辑式
逻辑图
卡诺图(不作要求)



下面举例说明逻辑函数表示方法。

例：有一T形走廊，在相会处有一路灯，在进入走廊的A、B、C三地各有控制开关，都能独立进行控制。任意闭合一个开关，灯亮；任意闭合两个开关，灯灭；三个开关同时闭合，灯亮。设A、B、C代表三个开关(输入变量)；Y代表灯(输出变量)。

38

任意闭合一个开关，灯亮；任意闭合两个开关，灯灭；三个开关同时闭合，灯亮。设A、B、C代表三个开关(输入变量)；Y代表灯(输出变量)。

设：开关闭合其状态为“1”，断开为“0”；
灯亮状态为“1”，灯灭为“0”。

1. 列逻辑状态表

用输入、输出变量的逻辑状态(“1”或“0”)以表格形式来表示逻辑函数。

三输入变量有八种组合状态
n输入变量有 2^n 种组合状态

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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

39

2. 逻辑式

用“与”、“或”、“非”等运算来表达逻辑函数的表达式。

由逻辑状态表写出逻辑式：

取Y=“1”(或Y=“0”)列逻辑式

★ 取Y=“1”

一种组合中，输入变量之间是“与”关系，

对应于Y=1，若输入变量为“1”，则取输入变量本身(如A)；若输入变量为“0”则取其反变量(如 \overline{A})。

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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

40

2. 逻辑式

将逻辑状态表中为1的项相加，写成“与或式”。

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

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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

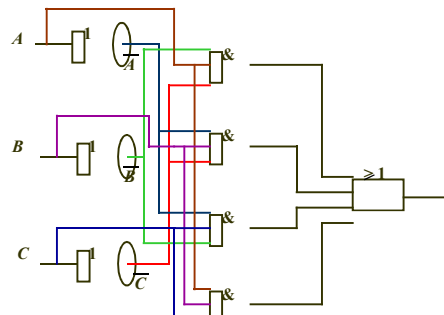
各组合之间是“或”关系

反之，也可由逻辑式列出状态表。

41

3. 逻辑图

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



42

逻辑状态表↔逻辑式

逻辑状态表

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

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

此逻辑代数式并非是最简单的形式，实际上此逻辑状态表是与非门的逻辑状态表，其逻辑代数式为 $Y = \overline{AB}$ ，因此，有一个化简问题。

43

三、逻辑函数的简化

由逻辑状态表直接写出的逻辑式及由此画出的逻辑图，一般比较复杂；若经过简化，则可使用较少的逻辑门实现同样的逻辑功能。从而可节省器件，降低成本，提高电路工作的可靠性。

利用逻辑代数变换，可用不同的门电路实现相同的逻辑功能。

化简方法 { 公式法
卡诺图法(不作要求)



44

利用逻辑代数的基本公式化简

1. 并项法

例1 化简 $Y = \overline{ABC} + \overline{AB}C + \overline{A}B\bar{C} + A\bar{B}C$

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

$$= AC + A\bar{C} = A$$

2. 配项法

例2 化简 $Y = AB + \bar{A}\bar{C} + BC$

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

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

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

3. 加项法

例3 化简 $Y = ABC + \bar{A}BC + A\bar{B}C$

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

$$= BC + AC$$

4. 吸收法

例4 化简 $Y = A\bar{B} + AC + BC$

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

$$= A\bar{B}C + BC \quad \overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$$

吸收 $= A + BC \quad A + \bar{A}B = A + B$

例5 综合练习：

$$Y = \overline{ACE} + \overline{ABE} + \overline{BCD} + \overline{BEC} + \overline{DEC} + \overline{AE}$$

$$= E(\overline{AC} + \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{DC} + \bar{A}) + \overline{BCD}$$

$$= E(C + B + D + \bar{A}) + \overline{BCD}$$

$$= \overline{CE} + \overline{BE} + \overline{DE} + \overline{AE} + \overline{BCD}$$

$$= E(\bar{B} + \bar{C} + \bar{D}) + \overline{AE} + \overline{BCD}$$

$$= E\overline{BCD} + \overline{AE} + \overline{BCD}$$

$$= \underline{E} + \overline{AE} + \overline{BCD}$$

$$= E + \overline{BCD}$$

$$\overline{AC} + \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{DC} + \bar{A}$$

$$= C + \overline{BC} + \overline{DC} + \bar{A}$$

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

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

四、组合逻辑电路的分析

组合逻辑电路：用各种门电路组成的，用于实现某种功能的复杂逻辑电路。

特点：某一时刻的输出状态仅由该时刻电路的输入信号决定，而与该电路在此输入信号之前所具有的状态无关。



组合逻辑电路框图

48

1、组合逻辑电路的分析

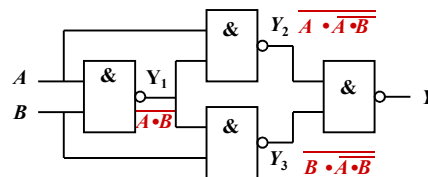


分析步骤：

- (1) 由逻辑图写出输出端的逻辑表达式；
- (2) 运用逻辑代数化简或变换；
- (3) 列逻辑状态表；
- (4) 分析逻辑功能。

49

例：分析下图的逻辑功能



(1) 写出逻辑表达式

$$Y = Y_2 Y_3 = A \cdot \overline{A} \cdot B \cdot \overline{B} \cdot A \cdot B$$



50

(2) 应用逻辑代数化简

$$\begin{aligned} Y &= \overline{A \cdot \overline{A} \cdot B} \cdot \overline{B \cdot \overline{A} \cdot A} \\ &= \overline{A \cdot \overline{A} \cdot B} \cdot \overline{B \cdot \overline{A} \cdot A} \\ &= A \cdot \overline{A} \cdot B + B \cdot \overline{A} \cdot A \\ &= A \cdot \overline{A} \cdot B + B \cdot \overline{A} \cdot A \\ &= A \cdot (\overline{A} \cdot B) + B \cdot (\overline{A} \cdot A) \\ &= \overline{A} \cdot B + \overline{A} \cdot A \end{aligned}$$

反演定理

反演定理

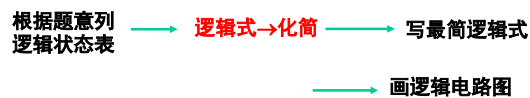
异或门

51

五、组合逻辑电路综合



方法步骤：



52

例1：设计三人表决电路(A、B、C)。每人一个按键，如果同意则按下，不同意则不按。结果用指示灯表示，多数同意时指示灯亮，否则不亮。

(1) 首先指明逻辑符号取“0”、“1”的含义。三个按键A、B、C按下时为“1”，不按时为“0”。输出量为F，多数赞成时是“1”，否则是“0”。

(2) 根据题意列出逻辑状态表

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	1
1	1	1	1

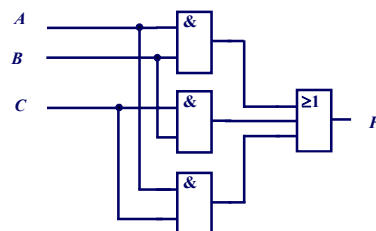
(3) 写出逻辑表达式

$$\begin{aligned} F &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC \\ &= (\overline{A}B + A\overline{B})C + AB(C + \overline{C}) \\ &= BC + AC + AB \end{aligned}$$

53

$$F = AB + BC + CA$$

(4) 根据逻辑表达式画出逻辑图



若要求用与非门构成逻辑电路呢？

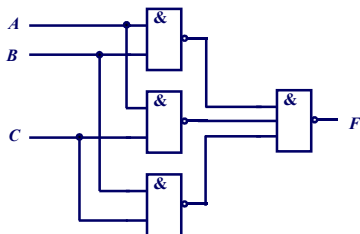
54

若用与非门实现

(利用反演定理 $A+B=\overline{\overline{A}\overline{B}}$, $A+B+C=\overline{\overline{A}\overline{B}\overline{C}}$)

$$F = AB + BC + CA$$

$$= \overline{\overline{AB} \cdot \overline{BC} \cdot \overline{CA}} = \overline{AB \cdot BC \cdot CA}$$



55

例2 某工厂有 A , B , C 三个车间和一个自备电站, 站内有两台发电机 G_1 和 G_2 。 G_1 的容量是 G_2 的两倍。如果一个车间开工, 只需 G_2 运行即可满足要求; 如果两个车间开工, 只需 G_1 运行, 如果三个车间同时开工, 则 G_1 和 G_2 均需运行。试画出控制 G_1 和 G_2 运行的逻辑图。

(1) 根据逻辑要求列状态表

首先假设逻辑变量、逻辑函数 “0”、“1” 的含义。

设: A , B , C 分别表示三个车间的开工状态:

开工为 “1”, 不开工为 “0”;

G_1 和 G_2 运行行为 “1”, 不运行行为 “0”。

56

(1) 根据逻辑要求列状态表

逻辑要求: 如果一个车间开工, 只需 G_2 运行即可满足要求; 如果两个车间开工, 只需 G_1 运行, 如果三个车间同时开工, 则 G_1 和 G_2 均需运行。

开工 — “1” 不开工 — “0”

运行 — “1” 不运行 — “0”

A	B	C	G_1	G_2
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

57

(2) 由状态表写出逻辑式

$$G_1 = \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC$$

$$G_2 = \overline{A}\overline{B}C + \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}\overline{C} + ABC$$

(3) 化简逻辑式可得:

$$G_1 = AB + BC + AC$$

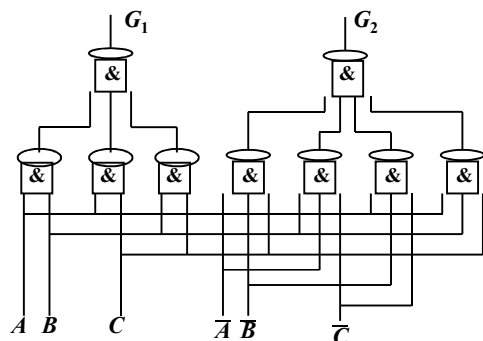
(4) 用 “与非” 门构成逻辑电路

$$G_1 = \overline{\overline{AB} \cdot \overline{BC} \cdot \overline{AC}} = \overline{AB \cdot BC \cdot AC}$$

$$G_2 = \overline{\overline{ABC} \cdot \overline{ABC} \cdot \overline{ABC} \cdot \overline{ABC}}$$

58

(5) 画出逻辑图



59

四、组合逻辑电路的分析

组合逻辑电路: 用各种门电路组成的, 用于实现某种功能的复杂逻辑电路。

特点: 某一时刻的输出状态仅由该时刻电路的输入信号决定, 而与该电路在此输入信号之前所具有的状态无关。



组合逻辑电路框图

60

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



- (1) 由逻辑图写出输出端的逻辑表达式;
- (2) 运用逻辑代数化简或变换;
- (3) 列逻辑状态表;
- (4) 分析逻辑功能。

61

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY





62

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

反演定理

反演定理

异或门

63

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



根据题意列逻辑状态表 \rightarrow 逻辑式 \rightarrow 化简 \rightarrow 写最简逻辑式 \rightarrow 画逻辑电路图

64

(1) 首先指明逻辑符号取“0”、“1”的含义。三个按键A、B、C按下时为“1”，不按时为“0”。输出量为F，多数赞成时是“1”，否则是“0”。

(3) 写出逻辑表达式

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	1
1	1	1	1

65

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

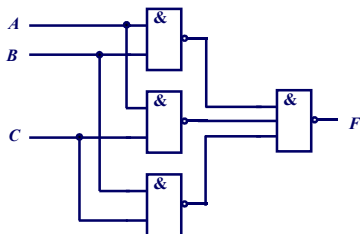
66

若用与非门实现

(利用反演定理 $A+B=\overline{\overline{A}\overline{B}}$, $A+B+C=\overline{\overline{A}\overline{B}\overline{C}}$)

$$F = AB + BC + CA$$

$$= \overline{\overline{AB} \cdot \overline{BC} \cdot \overline{CA}} = \overline{AB \cdot BC \cdot CA}$$



67

8.4 集成组合逻辑电路

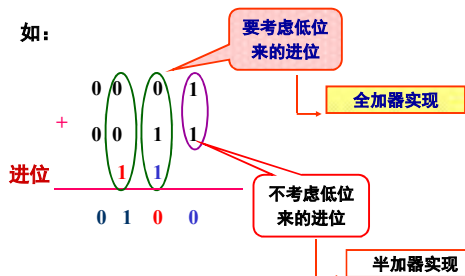
在数字电路中，常用的组合电路有加法器、编码器、译码器等。下面几节分别介绍这几种典型组合逻辑电路的基本结构、工作原理和使用方法。

68

一、加法器

加法器：实现二进制加法运算的电路

如：



69

加法运算的基本规则：

- (1) 逢二进一。
- (2) 最低位是两个数最低位的相加，不需考虑进位。（用半加器实现）
- (3) 其余各位都是三个数相加，包括加数、被加数和低位来的进位。（用全加器实现）
- (4) 任何位相加都产生两个结果：本位和、向高位的进位。

70

1、半加器

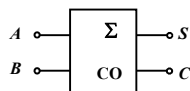
半加：实现两个一位二进制数相加，不考虑来自低位的进位。

半加器：

两个输入 $\begin{cases} A \\ B \end{cases}$ 表示两个同位相加的数

两个输出 $\begin{cases} S & \text{— 表示半加和} \\ C & \text{— 表示向高位的进位} \end{cases}$

半加器逻辑符号：



71

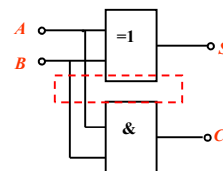
半加器逻辑状态表

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

半加器逻辑表达式：

$$S = A\overline{B} + \overline{A}B = A \oplus B$$

$$C = AB$$



逻辑图



72

2、全加器

全加：实现两个一位二进制数相加，且考虑来自低位的进位。

全加器：

输入 $\begin{cases} A_i \\ B_i \\ C_{i-1} \end{cases}$ —表示两个同位相加的数
 C_{i-1} —表示低位来的进位

输出 $\begin{cases} S_i \\ C_i \end{cases}$ —表示本位和
 C_i —表示向高位的进位

逻辑符号：

73

(1) 列逻辑状态表

A_i	B_i	C_{i-1}	S_i	C_i
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

(2) 写出逻辑式

$$S_i = \overline{A_i} \overline{B_i} C_{i-1} + \overline{A_i} B_i \overline{C_{i-1}} + A_i \overline{B_i} \overline{C_{i-1}} + A_i B_i C_{i-1}$$

$$= (A_i \oplus B_i) C_{i-1} + (A_i \oplus B_i) \overline{C_{i-1}}$$

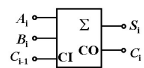
$$= A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$$

$$C_i = \overline{A_i} B_i C_{i-1} + A_i \overline{B_i} C_{i-1} + A_i B_i \overline{C_{i-1}} + A_i B_i C_{i-1}$$

$$= A_i B_i + (A_i \oplus B_i) C_{i-1}$$

74

全加器逻辑符号：



$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$$

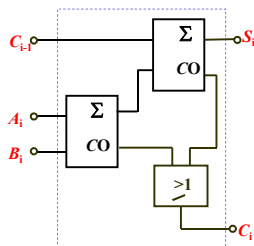
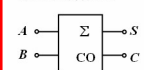
$$C_i = A_i B_i + (A_i \oplus B_i) C_{i-1}$$

半加器逻辑表达式：

$$S = A \oplus B = A \oplus B$$

$$C = AB$$

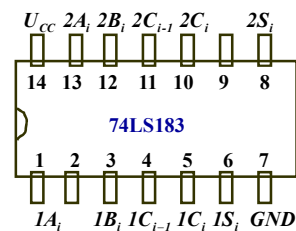
半加器逻辑符号：



半加器构成的全加器

75

(3) 集成全加器



双全加器外引线排列图

76

二、编码器

把二进制码按一定规律编排，使每组代码具有一特定的含义，称为**编码**。具有**编码功能**的逻辑电路称为**编码器**。

n 个二进制代码有 2^n 种不同的组合，可以表示 2^n 个信号。

要表示 N 个信息所需的二进制代码应满足： $2^n \geq N$

1、二进制编码器 将输入信号编成二进制代码的电路。



77

例：设计一个编码器，满足以下要求：

- (1) 将 I_0, I_1, \dots, I_7 8个信号编成二进制代码。
- (2) 编码器每次只能对一个信号进行编码，不允许两个或两个以上的信号同时有效。（即 $I_0 \sim I_7$ 是一组互相排斥的输入变量，任何时刻只能有一个端输入有效信号）
- (3) 设输入信号高电平有效。

(1) 分析要求：

输入有8个信号，即 $N=8$ ，根据 $2^n \geq N$ 的关系，即 $n=3$ ，即输出为三位二进制代码。

78

(2) 列编码表:

输入	输出		
	Y_2	Y_1	Y_0
I_0	0	0	0
I_1	0	0	1
I_2	0	1	0
I_3	0	1	1
I_4	1	0	0
I_5	1	0	1
I_6	1	1	0
I_7	1	1	1

79

(3) 写出逻辑式并转换成“与非”式:

输入	输出		
	Y_2	Y_1	Y_0
I_0	0	0	0
I_1	0	0	1
I_2	0	1	0
I_3	0	1	1
I_4	1	0	0
I_5	1	0	1
I_6	1	1	0
I_7	1	1	1

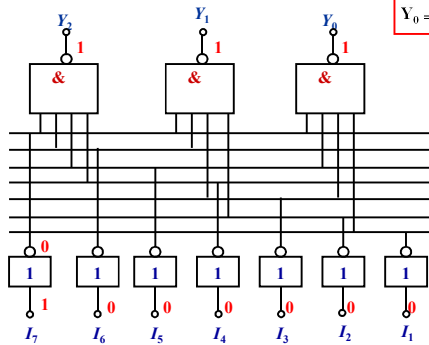
$$Y_2 = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 = \overline{I_4 + I_5 + I_6 + I_7} = \overline{I_4 \cdot I_5 \cdot I_6 \cdot I_7}$$

$$Y_1 = I_2 + I_3 + I_6 + I_7 = \overline{I_2 + I_3 + I_6 + I_7} = \overline{I_2 \cdot I_3 \cdot I_6 \cdot I_7}$$

$$Y_0 = I_1 + I_3 + I_5 + I_7 = \overline{I_1 + I_3 + I_5 + I_7} = \overline{I_1 \cdot I_3 \cdot I_5 \cdot I_7}$$

80

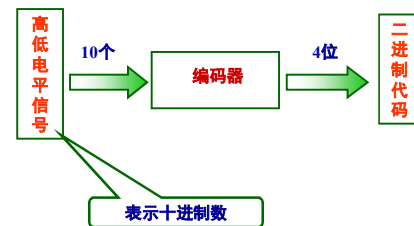
(4) 画出逻辑图:



81

2、二---十进制编码器

将十进制数 0~9 编成二进制代码的电路。



82

列编码表:

四位二进制代码可以表示十六种不同的状态, 其中任何十种状态都可以表示0~9十个数码, 最常用的是8421码。

8421BCD码编码表

输入	输出			
	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0 (I_0)	0	0	0	0
1 (I_1)	0	0	0	1
2 (I_2)	0	0	1	0
3 (I_3)	0	0	1	1
4 (I_4)	0	1	0	0
5 (I_5)	0	1	0	1
6 (I_6)	0	1	1	0
7 (I_7)	0	1	1	1
8 (I_8)	1	0	0	0
9 (I_9)	1	0	0	1

83

写出逻辑式并化成“与非”门

8421BCD码编码表

输入	输出			
	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0 (I_0)	0	0	0	0
1 (I_1)	0	0	0	1
2 (I_2)	0	0	1	0
3 (I_3)	0	0	1	1
4 (I_4)	0	1	0	0
5 (I_5)	0	1	0	1
6 (I_6)	0	1	1	0
7 (I_7)	0	1	1	1
8 (I_8)	1	0	0	0
9 (I_9)	1	0	0	1

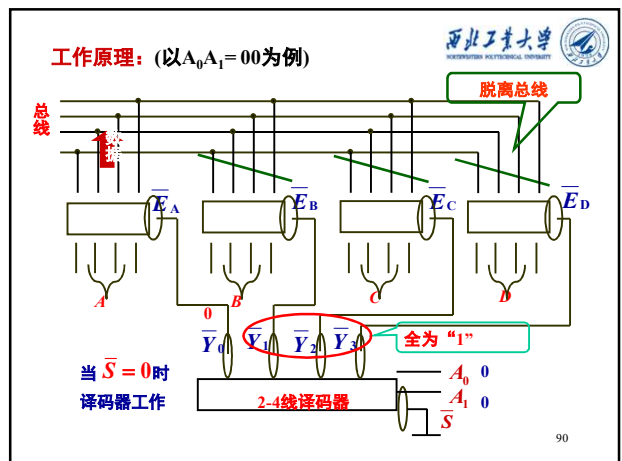
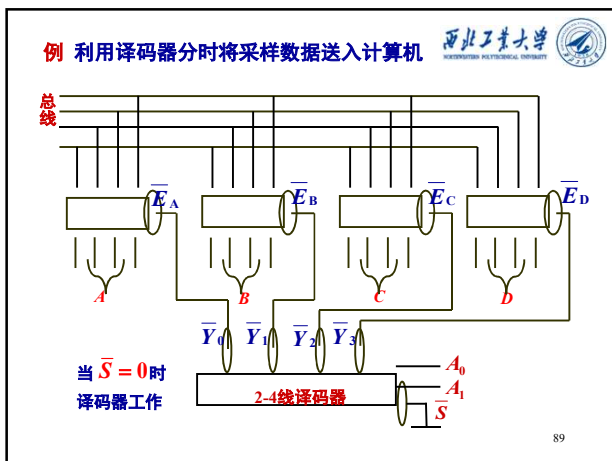
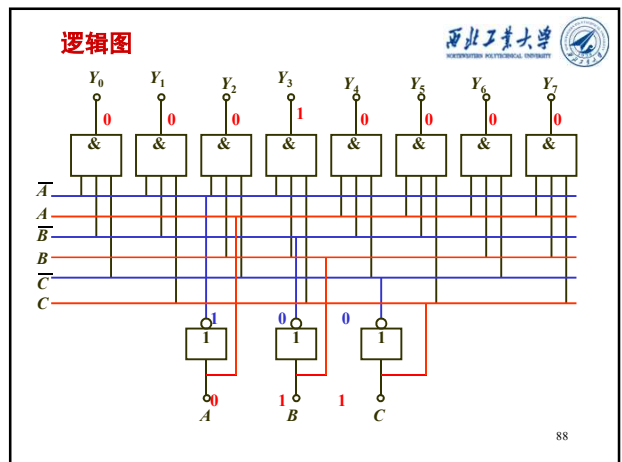
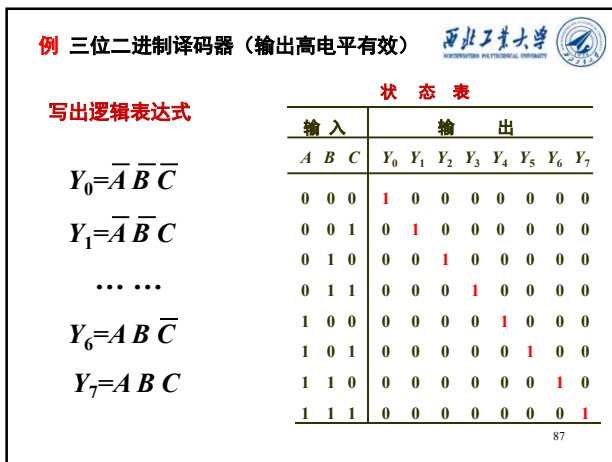
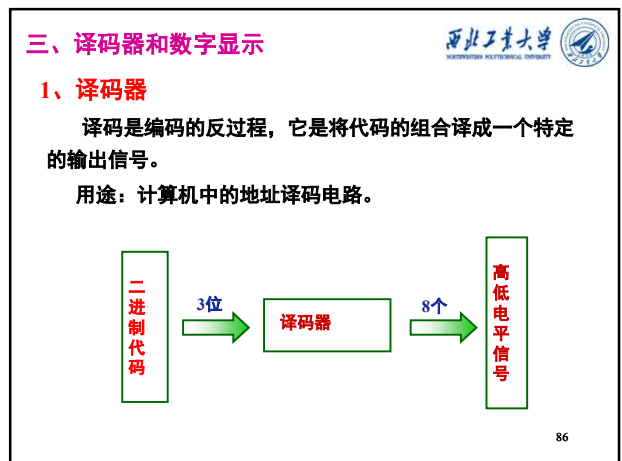
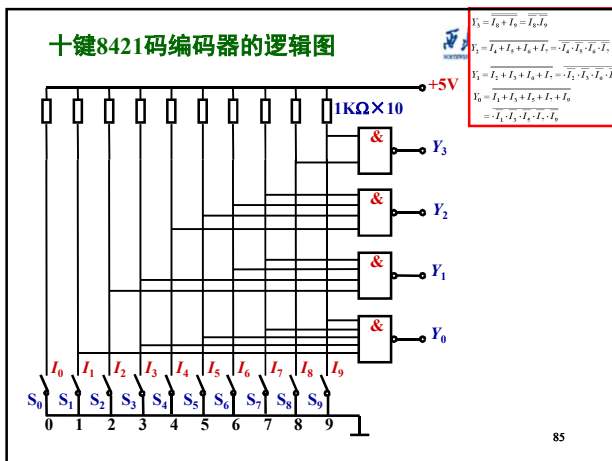
$$Y_3 = I_8 + I_9 = \overline{I_8 \cdot I_9}$$

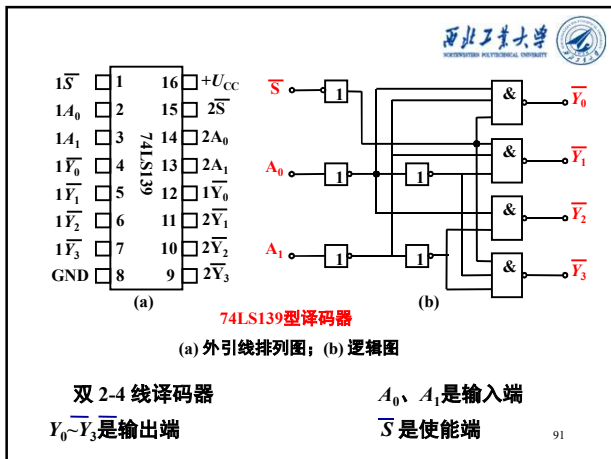
$$Y_2 = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 = \overline{I_4 \cdot I_5 \cdot I_6 \cdot I_7}$$

$$Y_1 = I_2 + I_3 + I_6 + I_7 = \overline{I_2 \cdot I_3 \cdot I_6 \cdot I_7}$$

$$Y_0 = I_1 + I_3 + I_5 + I_7 + I_9 = \overline{I_1 \cdot I_3 \cdot I_5 \cdot I_7 \cdot I_9}$$

84





西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

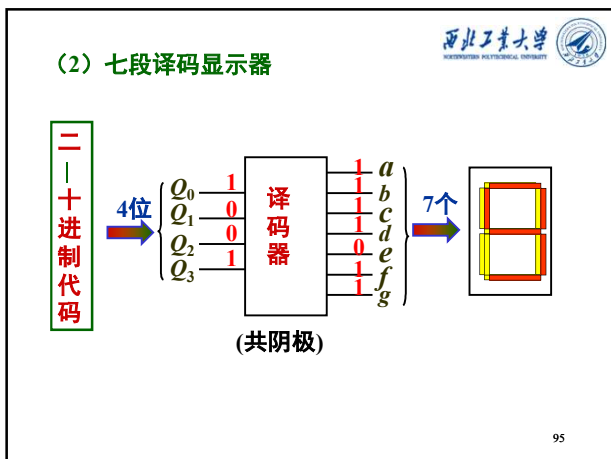
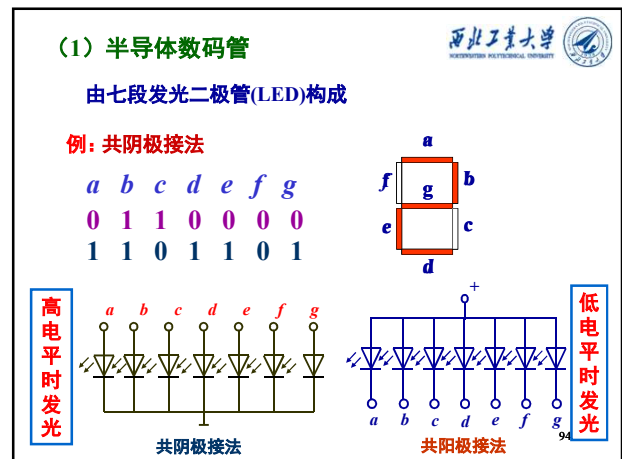
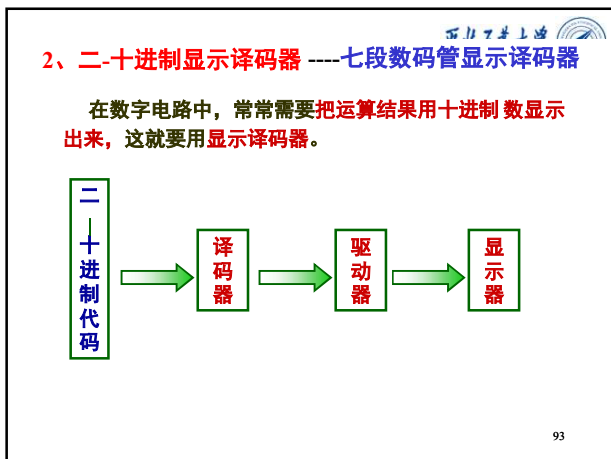
74LS139型译码器

功能表

输 入			输 出			
\overline{S}	A_1	A_0	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
1	x	x	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	1

双 2-4 线译码器
 A_0, A_1 是输入端
 $Y_0 \sim Y_3$ 是输出端
 \overline{S} 是使能端
 $\overline{S} = 0$ 时译码器工作
输出低电平有效

92

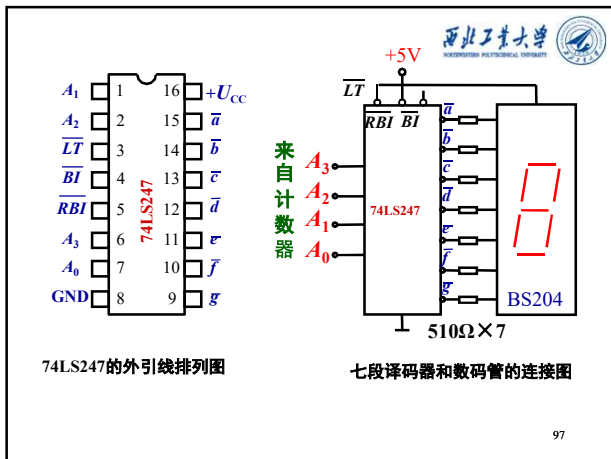


西北工业大学
XIBI UNIVERSITY

七段显示译码器状态表

输 入				输 出							显示 数码
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9

96



第8章 门电路和组合逻辑电路

本章应掌握的内容：

1. 掌握基本的门电路的符号和表示式，掌握用公式法化简逻辑函数的方法。
2. 掌握组合逻辑电路分析的步骤，并能用与非门画出给定逻辑功能的逻辑电路图。
3. 理解课上所讲的各种数字集成组合逻辑电路。

第8章 结束

第8章 作业

习题集：

8.2、8.3、8.4、8.5、8.6、8.7、8.8

习题练习

例1 应用逻辑代数运算法则化简下列各逻辑函数式。

$$\begin{aligned}
 Y &= (AB + \overline{AB} + \overline{AB}) \cdot (A + B + D + \overline{ABD}) \\
 &= (A(B + \overline{B}) + \overline{AB}) \cdot (\overline{ABD} + \overline{ABD}) \\
 &= (A + \overline{AB}) \\
 &= A + B
 \end{aligned}$$

例2 应用逻辑代数运算法则化简下列各逻辑函数式。

$$\begin{aligned}
 Y &= ABC + \overline{AB}D + \overline{A}BC + CD + \overline{BD} \\
 &= ABC + \overline{A}B\overline{C} + CD + B(\overline{AD} + \overline{D}) \\
 &= ABC + \overline{A}B\overline{C} + CD + \overline{AB} + \overline{BD} \quad \text{吸收} \\
 &= \overline{AB} + \overline{A}B\overline{C} + CD + \overline{BD} \quad \text{吸收} \\
 &= \overline{AB} + \overline{B}\overline{C} + CD + \overline{BD} \quad \text{吸收} \\
 &= \overline{AB} + CD + B(\overline{C} + \overline{D}) \\
 &= \overline{AB} + CD + \overline{BCD} \quad \text{吸收} \\
 &= \overline{AB} + CD + B \\
 &= B + CD
 \end{aligned}$$

例3 试根据下图写出逻辑函数式，并分析其逻辑功能

(1) 写出逻辑式 $Y = \overline{AB} \cdot \overline{AB} = \overline{AB} + \overline{AB}$

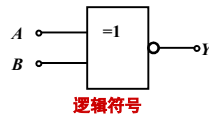
化简

(2) 列逻辑状态表

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

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

$$= A \oplus B = A \odot B$$



(3) 分析逻辑功能

输入相同输出为“1”，输入相异输出为“0”，称为“判一致电路”（“同或门”），可用于判断各输入端的状态是否相同。

103

例4 某同学参加四门课程考试，规定如下：

- (1) 课程A及格得1分，否则得0分；
- (2) 课程B及格得2分，否则得0分；
- (3) 课程C及格得4分，否则得0分；
- (4) 课程D及格得5分，否则得0分。

若总得分大于或等于8分，就可结业。

试用与非门画出实现上述要求的逻辑电路。

104

【解】第一，列逻辑状态表

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

105

例4 某同学参加四门课程考试，规定如下：

- (1) 课程A及格得1分，否则得0分；
- (2) 课程B及格得2分，否则得0分；
- (3) 课程C及格得4分，否则得0分；
- (4) 课程D及格得5分，否则得0分。

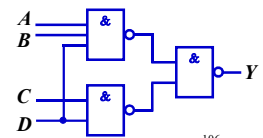
若总得分大于或等于8分，就可结业。

试用与非门画出实现上述要求的逻辑电路。

【解】第二，写逻辑函数式

$$\begin{aligned} Y &= \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + A\bar{B}\bar{C}D + AB\bar{C}D + ABCD \\ &= \bar{A}CD(\bar{B} + B) + \bar{A}\bar{B}CD + ABD(\bar{C} + C) \\ &= \bar{A}CD + \bar{A}\bar{B}CD + ABD \\ &= \bar{A}CD + AD(\bar{B}C + B) \\ &= \bar{A}CD + ACD + ABD \\ &= ABD + CD \\ &= \overline{\overline{ABD} \cdot \overline{CD}} \end{aligned}$$

第三，画逻辑图

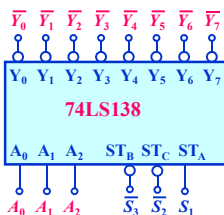


106

例5 电路的真值表如表所示，试用3线-8线译码器74LS138（低电平有效）和与非门设计该电路。

用二进制译码器实现组合逻辑函数

二进制译码器的输出端提供了其输入变量的全部组合。



$$\begin{aligned} S_1 &= 1, \bar{S}_2 = \bar{S}_3 = 0 \\ \bar{Y}_0 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 = \bar{m}_0 \\ \bar{Y}_1 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 A_0 = \bar{m}_1 \\ &\vdots \\ \bar{Y}_7 &= \bar{A}_2 A_1 A_0 = \bar{m}_7 \end{aligned}$$

107

- 基本步骤：(1) 写函数的标准与非-与非式；
(2) 确认变量和输入关系；
(3) 画连线图。

解：(1) 函数的标准与非-与非式

$$\begin{aligned} Z_3 &= \bar{A}BC + \bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}\bar{C} + ABC \\ &= m_3 + m_5 + m_6 + m_7 \\ &= m_3 \cdot m_5 \cdot m_6 \cdot m_7 \end{aligned}$$

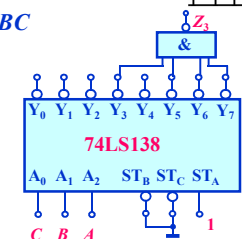
(2) 确认变量和输入关系

$$\text{令 } A_2 = A \quad A_1 = B \quad A_0 = C$$

$$\text{则 } Z_3 = \bar{Y}_3 \cdot \bar{Y}_5 \cdot \bar{Y}_6 \cdot \bar{Y}_7$$

(3) 画连线图

在输出端需增加一个与非门



$$\begin{aligned} S_1 &= 1, \bar{S}_2 = \bar{S}_3 = 0 \\ \bar{Y}_0 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 \bar{A}_0 = \bar{m}_0 \\ \bar{Y}_1 &= \bar{A}_2 \bar{A}_1 A_0 = \bar{m}_1 \\ \bar{Y}_2 &= \bar{A}_2 A_1 \bar{A}_0 = \bar{m}_2 \\ \bar{Y}_3 &= \bar{A}_2 A_1 A_0 = \bar{m}_3 \end{aligned}$$