

# 数字电子技术基础

## 期末总结

### 第一章：数制和码制

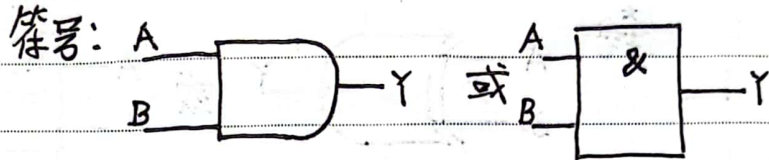
### 第二章：逻辑代数基础

#### 1. 逻辑运算类型

① "与"逻辑 全1为1, 有0为0

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

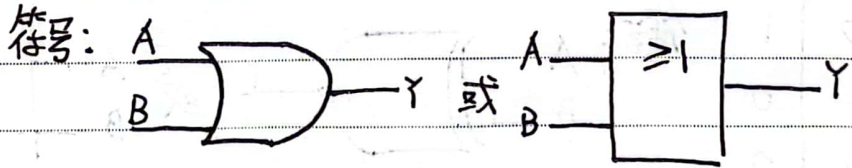
$$Y = A \cdot B$$



② "或"逻辑 全0为0, 有1为1

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

$$Y = A + B$$



③ "非"逻辑

A	Y
0	1
1	0

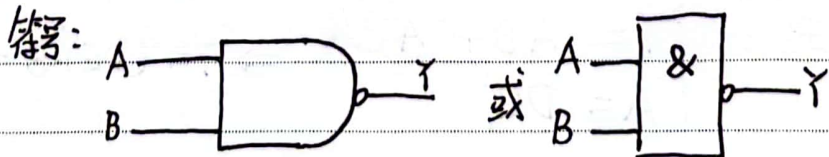
$$Y = A'$$



④ "与非"逻辑

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

$$Y = (A \cdot B)'$$

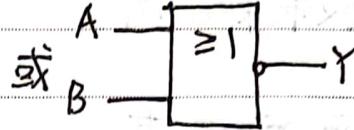


### ⑤ "或非" 逻辑

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

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

符号:



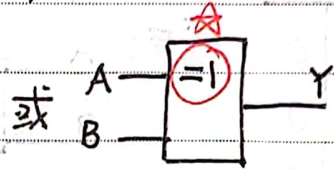
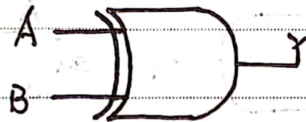
### ⑥ "异或" 逻辑

相同为0, 相异为1

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

$$Y = A \oplus B = AB' + A'B$$

符号:



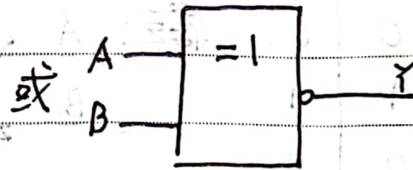
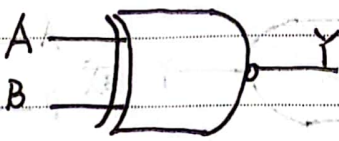
### ⑦ "同或" 逻辑

相同为1, 相异为0

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

$$Y = A \odot B = AB + A'B'$$

符号:



异或的非

### 2. 公式化简常用:

① 摩根定理  $\left. \begin{array}{l} (A+B)' = A' \cdot B' \\ (AB)' = A' + B' \end{array} \right\}$

②  $A+BC = (A+B)(A+C)$

### 3. 逻辑代数的基本定理

① 代入定理:  $\left. \begin{array}{l} Y = AB + A'C' \\ A = DE \end{array} \right\} \Rightarrow Y = (DE) \cdot B + (DE)' \cdot C'$

② 反演定律:  $\left. \begin{array}{l} \text{"\cdot" 变 "+"} \quad \text{"+" 变 "\cdot"} \\ 0 \text{ 变 } 1 \quad 1 \text{ 变 } 0 \\ \text{原变量 变 反变量} \quad \text{反变量 变 原变量} \end{array} \right\} Y \Rightarrow Y'$

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

$$\Rightarrow Y' = (A'B' + B \cdot C') \cdot D'$$

③对偶定理:

若两逻辑式相等,则它们对偶式也相等

(对偶式: "·"  $\leftrightarrow$  "+" 1  $\leftrightarrow$  0)

4. 逻辑函数的两种标准方式 } 最小项之和  $\Sigma m(\dots)$   
 } 最大项之积  $\Pi M(\dots)$

$$Y = AB + A'B'C' = ABC + ABC' + A'B'C' = \Sigma m(0, 6, 7)$$

5. 逻辑函数的化简方法 最简形式: 最简与或式

①公式化简法

②卡诺图化简法

2变量卡诺图

A \ B	0	1
0	$m_0$	$m_1$
1	$m_2$	$m_3$

3变量卡诺图

A \ BC	00	01	11	10
0	$m_0$	$m_1$	$m_3$	$m_2$
1	$m_4$	$m_5$	$m_7$	$m_6$

4变量卡诺图

AB \ CD	00	01	11	10
00	$m_0$	$m_1$	$m_3$	$m_2$
01	$m_4$	$m_5$	$m_7$	$m_6$
11	$m_{12}$	$m_{13}$	$m_{15}$	$m_{14}$
10	$m_8$	$m_9$	$m_{11}$	$m_{10}$

(1) 用卡诺图表示逻辑函数

$$\text{例: } Y = AB'C'D + A'BD' + AB' = \Sigma m(1, 4, 6, 8, 9, 10, 11)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	1	0	0
01	1	0	0	1
11	0	0	0	0
10	1	1	1	1

(2) 用卡诺图化简

ABC	00	01	11	10
0	1	1	1	0
1	1	0	1	1

$\Rightarrow A'B' + AC' + BC$

ABCD	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11	1	0	0	1
10	1	0	0	1

$\Rightarrow A' + D'$

注: ① 覆盖所有的1

② 圈成的矩形最大且最少

③ 化简结果不唯一

6. 含无关项的逻辑函数的化简

在卡诺图中用x表示无关项, x既可是1, 也可是0

例: 化简  $Y(A, B, C, D) = \sum m(2, 4, 6, 8) + d(10, 11, 12, 13, 14, 15)$

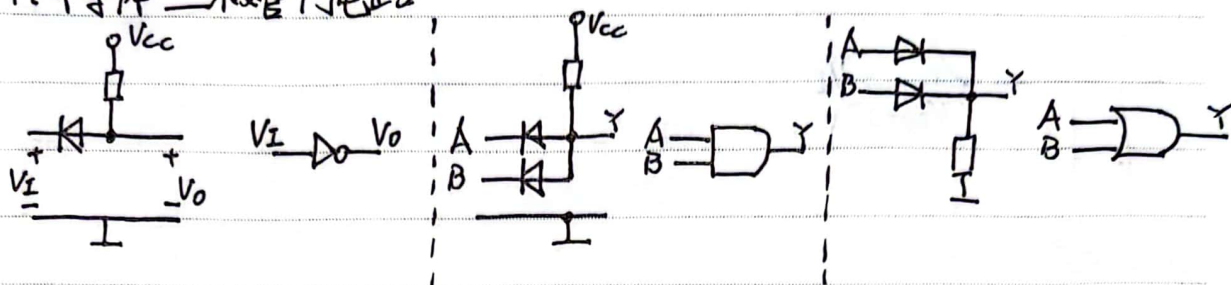
卡诺图:

ABCD	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	0	0	1
11	x	x	x	x
10	1	0	x	x

$\Rightarrow Y(A, B, C, D) = AD' + CD' + BD'$

# 第三章：门电路

## 1. 半导体二极管门电路

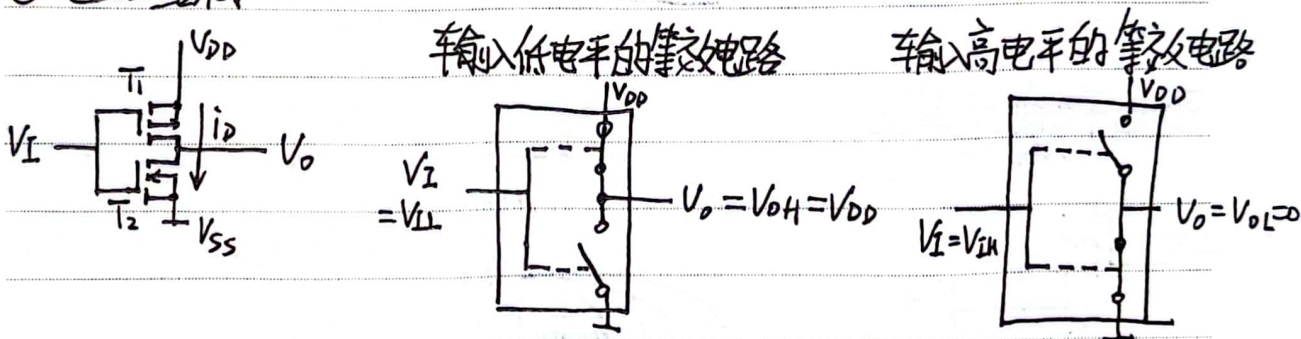


缺点：存在输出电平偏移，且带负载能力不好

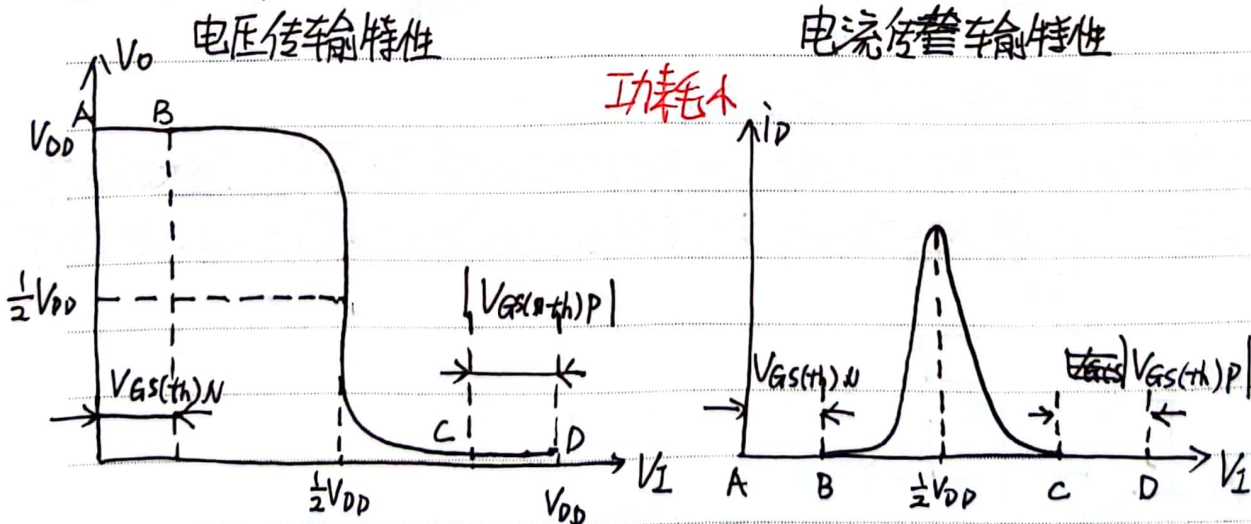
## 2. CMOS 门电路

(1) CMOS 反相器的电路结构和工作原理 (非门)

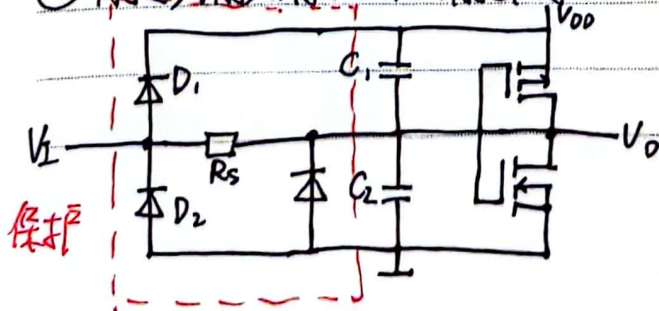
### ① 电路结构



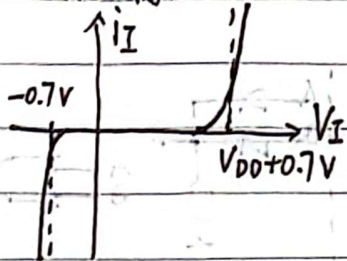
### ② 电压传输特性和电流传输特性



### ③ 静态输入特性和输出特性

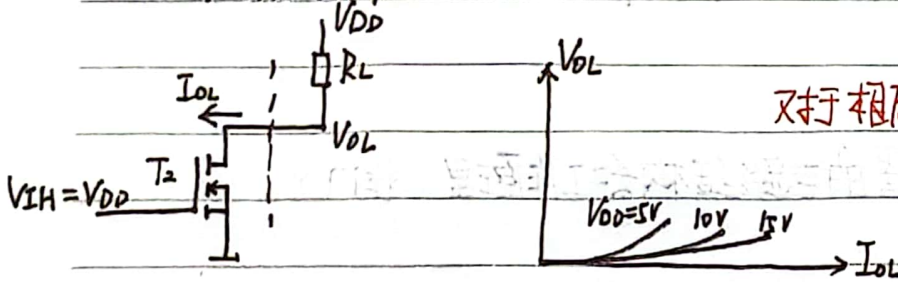


(i) 输入特性

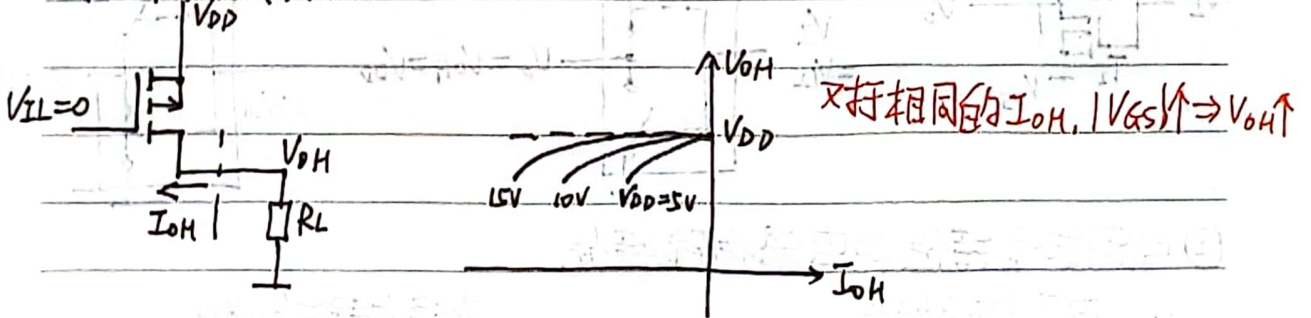


(ii) 输出特性

低电平输出特性

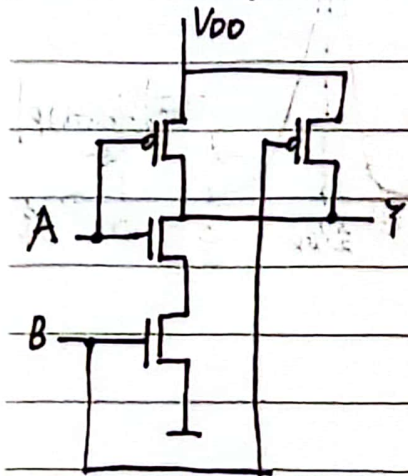


高电平输出特性



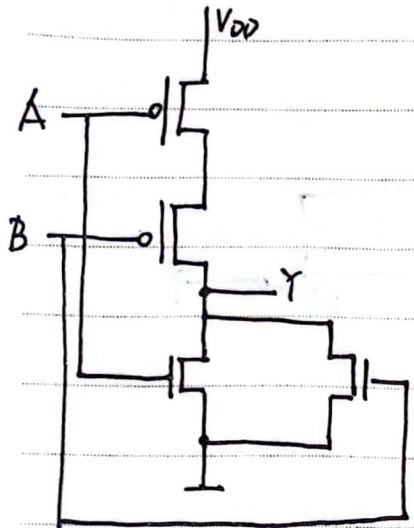
(2) 其他类型的CMOS型门电路

对于n型MOS管,起下拉作用,逻辑表达式中的变量为原变量,表达式结果为Y'  
 对于p型MOS管,起上拉作用,逻辑表达式中的变量为反变量,表达式结果为Y



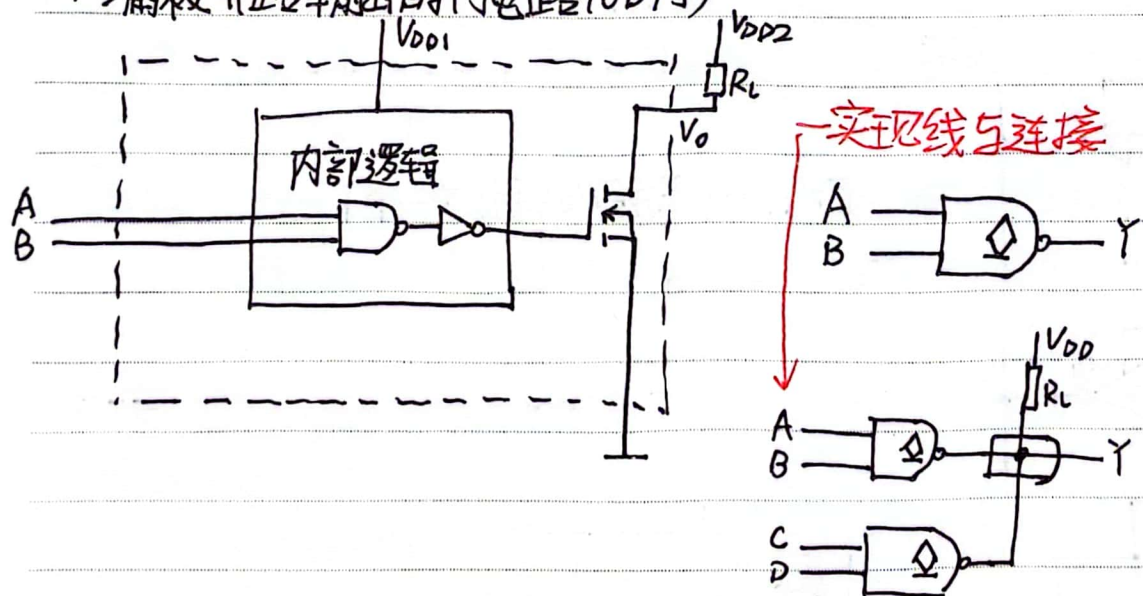
$$Y = (AB)'$$

与非逻辑



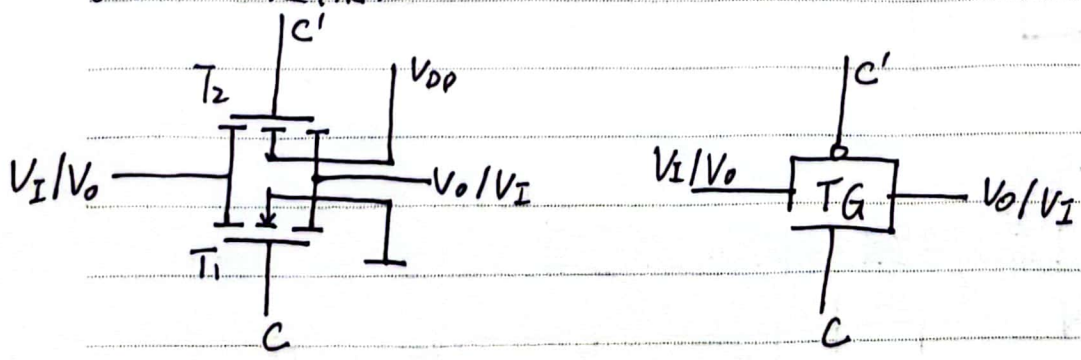
$Y = (A+B)'$   
或非逻辑

(1) 漏极开路输出的门电路(O<sub>D</sub>门)

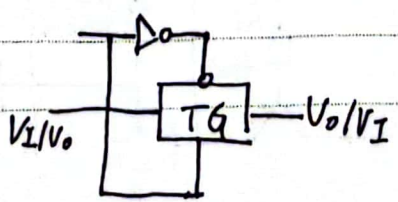


$Y = (AB)' \cdot (CD)' = (AB+CD)'$

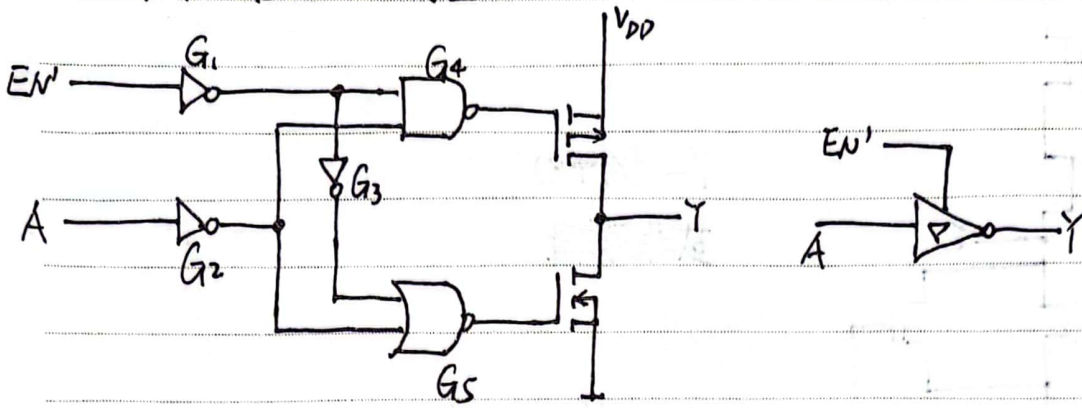
(2) CMOS传输门



C=1时 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> 导通 → 开关  
C=0时 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> 截止



### (3) 三态输出的CMOS门电路

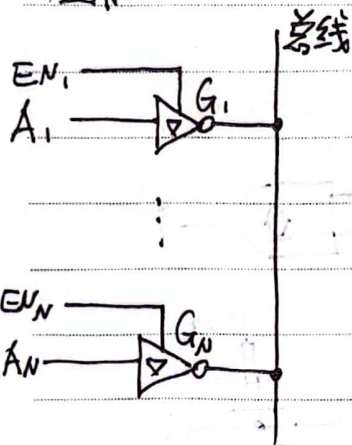


$EN=1$ 时  $Y=A'$

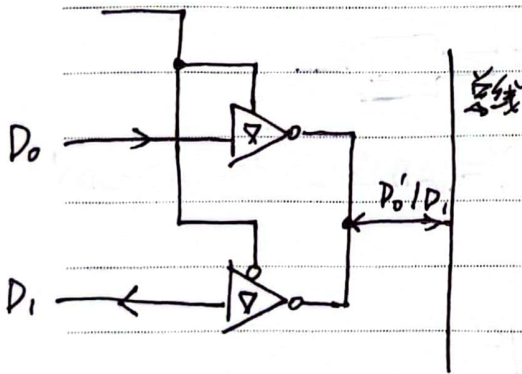
$EN=0$ 时  $Y=Z$  (高阻态)

$\rightarrow$  EN优先级高, 可作 电气开关使用

应用:



$EN_1, \dots, EN_N$  有且只有一个 1

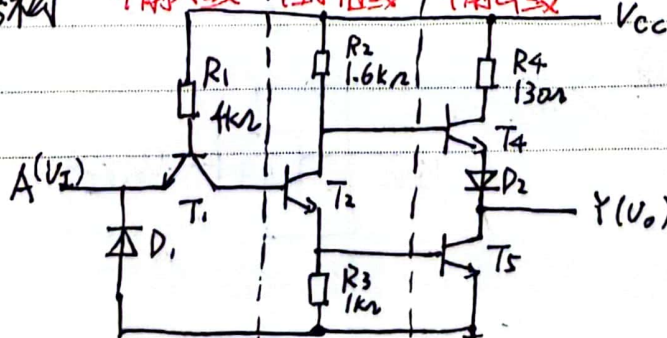


### 3. TTL电路

(1) TTL反相器的电路结构和工作原理

① 电路结构

输入级 | 倒相级 | 输出级



$V_{CC} = 5V$

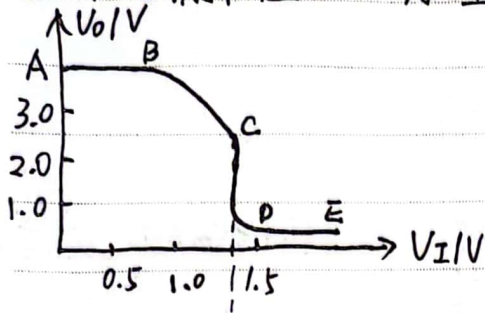
$V_{IH} = 3.4V$

$V_{IL} = 0.2V$

$V_{ON} = 0.7V$



## ② 电压传输特性及工作原理



AB段:  $0 < V_I < 0.6V$ ,  $T_1$ 饱和导通, 使得  $0.1V < V_{B2} < 0.7V$ , 故  $T_2, T_5$ 截止,  $T_4$ 导通, 使得

$$V_O = (V_{CC} - V_{R2} - V_{D1} - V_{D2}) \approx 3.4V$$

BC段:  $0.7V < V_I < 1.3V$ ,  $T_1$ 饱和导通, 使得  $0.8V < V_{B2} < 1.4V$ , 故

$T_2$ 导通, 工作于放大区,  $T_5$ 截止, 随  $V_I$  的升高, 使  $V_{C2}, V_O$  线性下降

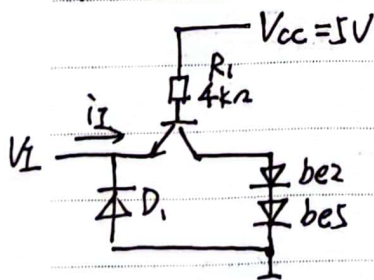
CD段:  $V_I \approx 1.4V$  时,  $T_2, T_5$ 同时导通, 均工作于放大区, 使  $V_I$  上升时,  $V_{C2}$  和  $V_O$  急剧减小

DE段:  $V_I > 1.4V$  时,  $T_2, T_5$ 饱和,  $T_4$ 截止, 使  $V_O \approx 0.2V$

(注: 此时  $T_1$  发射结反偏, 集电结正偏, 处于特殊工作状态)

## ③ 静态输入特性和输出特性

等效电路

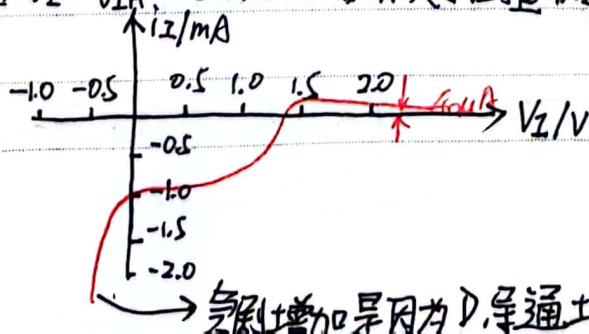


忽略了  $T_2$  和  $T_5$  的  $b-c$  结反向电流  
 $R_3$  对  $T_5$  基极回路的影响

### (1) 输入特性

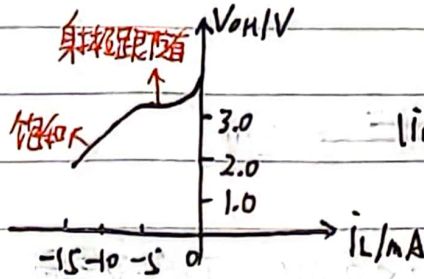
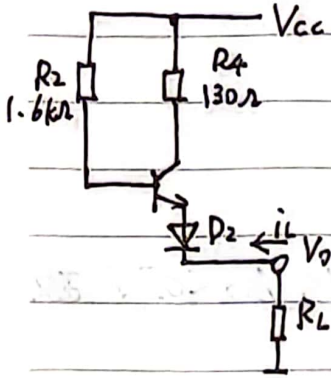
当  $V_I = V_{IL} \approx 0.2V$  时,  $I_{IL} = -\frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{IL}}{R_1} \approx -1mA$

当  $V_I = V_{IH} \approx 3.4V$  时,  $T_1$  处于倒置状态,  $I_{IH}$  极小, 约为  $40\mu A$



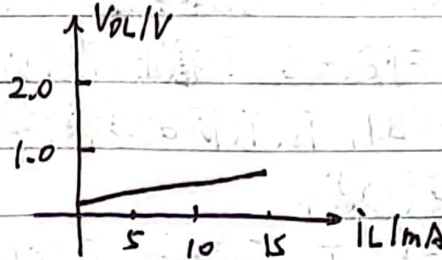
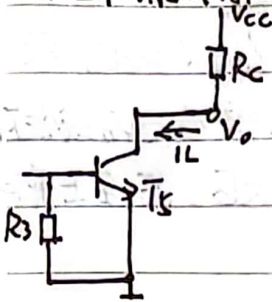
(ii) 输出特性

高电平输出特性 ( $T_4$  导通,  $T_2, T_3$  截止)

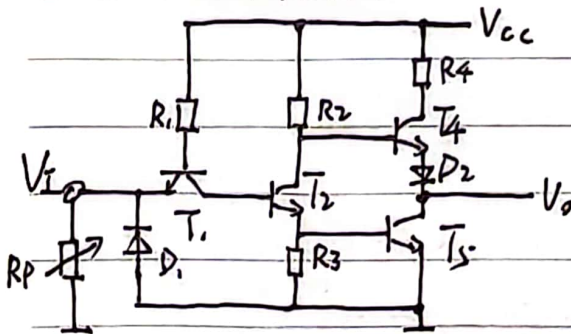


$|I_L| < 5mA$  时,  $V_{OH}$  变化很小

低电平输出特性 ( $T_4$  截止,  $T_5$  导通)

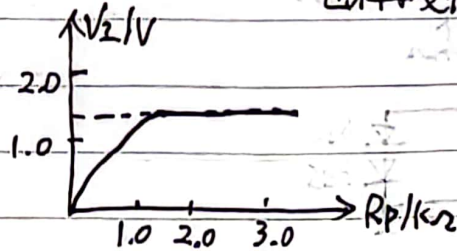


④ 输入端负载特性



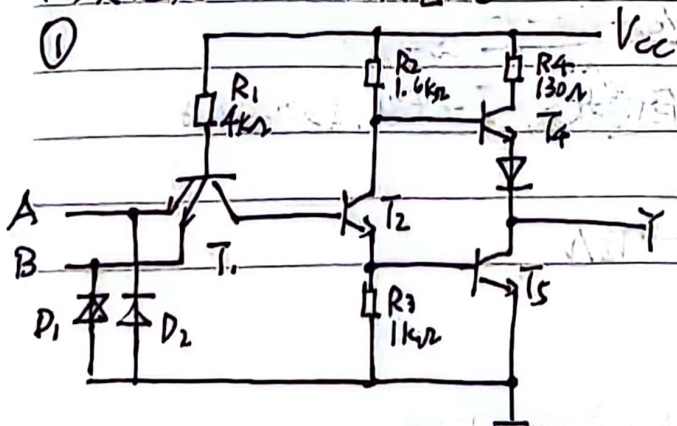
当  $0 < V_i < 1.4V$  时  $V_i = \frac{R_P}{R_i + R_P} (V_{cc} - V_{BE1})$

当  $V_i > 1.4V$  时,  $V_{B1}$  被钳位在  $2.1V$ , 故  $V_i$  也不再变化



(2) 其他类型的TTL门电路

①



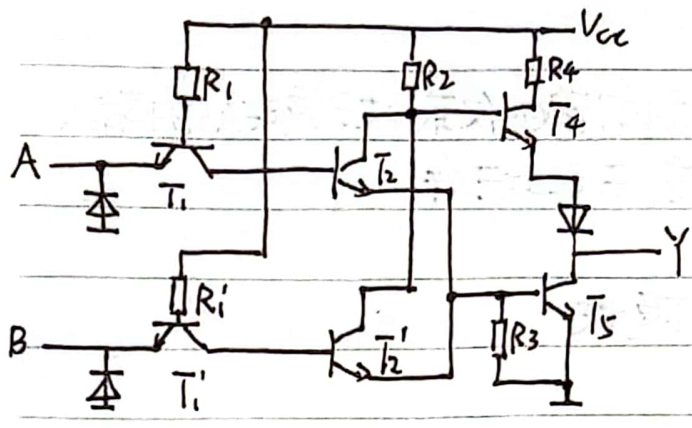
与非门

在A, B均高电平时, 有两份  $I_{IH}$

看PN结个数

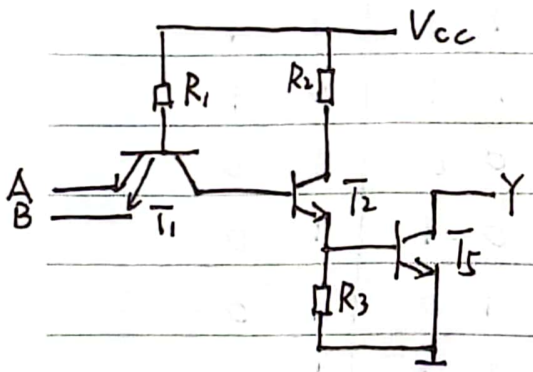
在A, B均低电平时, 有一份  $I_{IL}$

看基极电阻个数

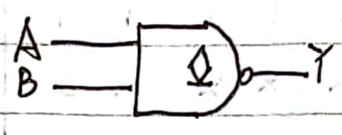


或非门  
在AB均为高电平,低电平输入时,  
均有两份电流

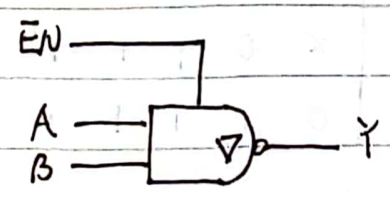
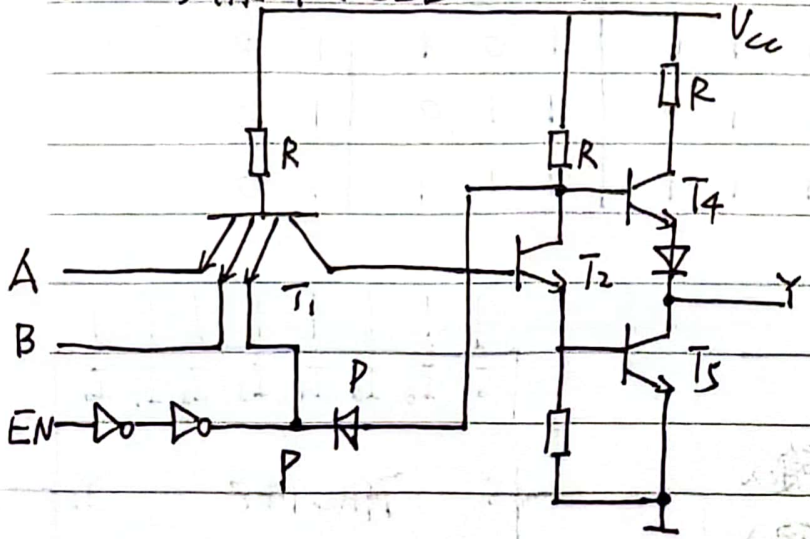
② 集电极开路输出的门电路(OC门)



实现线与



③ 三态输出门电路(TS门)



$\left. \begin{array}{l} EN=1 \text{ 时} \\ EN=0 \text{ 时} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P=1 \text{ 此时 } Y=(AB)' \\ P=0 \text{ 此时 } Y=\text{高阻态} \end{array}$

# 第四章：组合逻辑电路

1. 组合逻辑电路的特点 } 任意时刻的输出仅取决于该时刻的输入  
 无反馈，无延时元件。

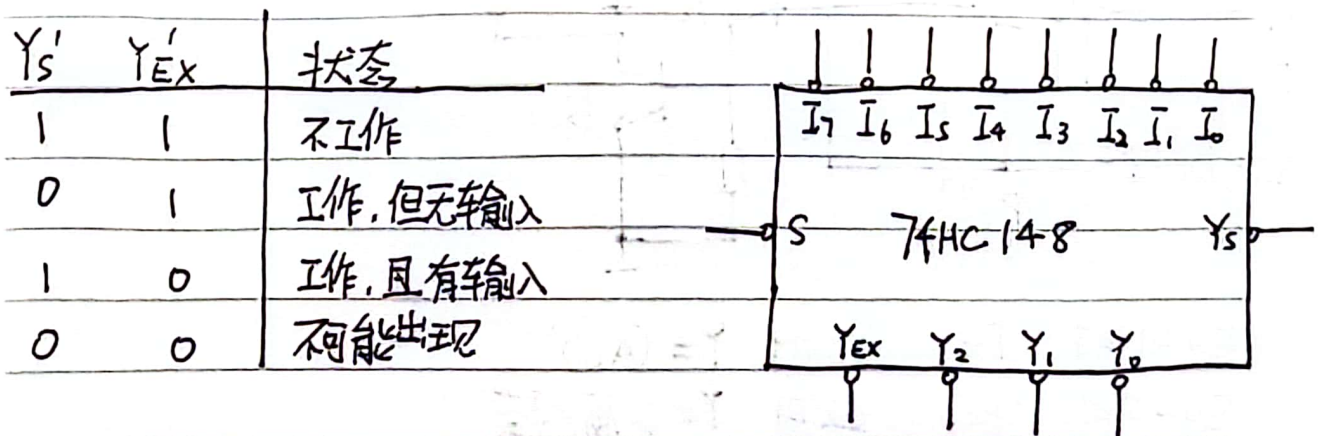
## 2. 若干常用的组合逻辑电路模块

### 1) 编码器 (优先编码器)

#### ① 74HC148 功能表

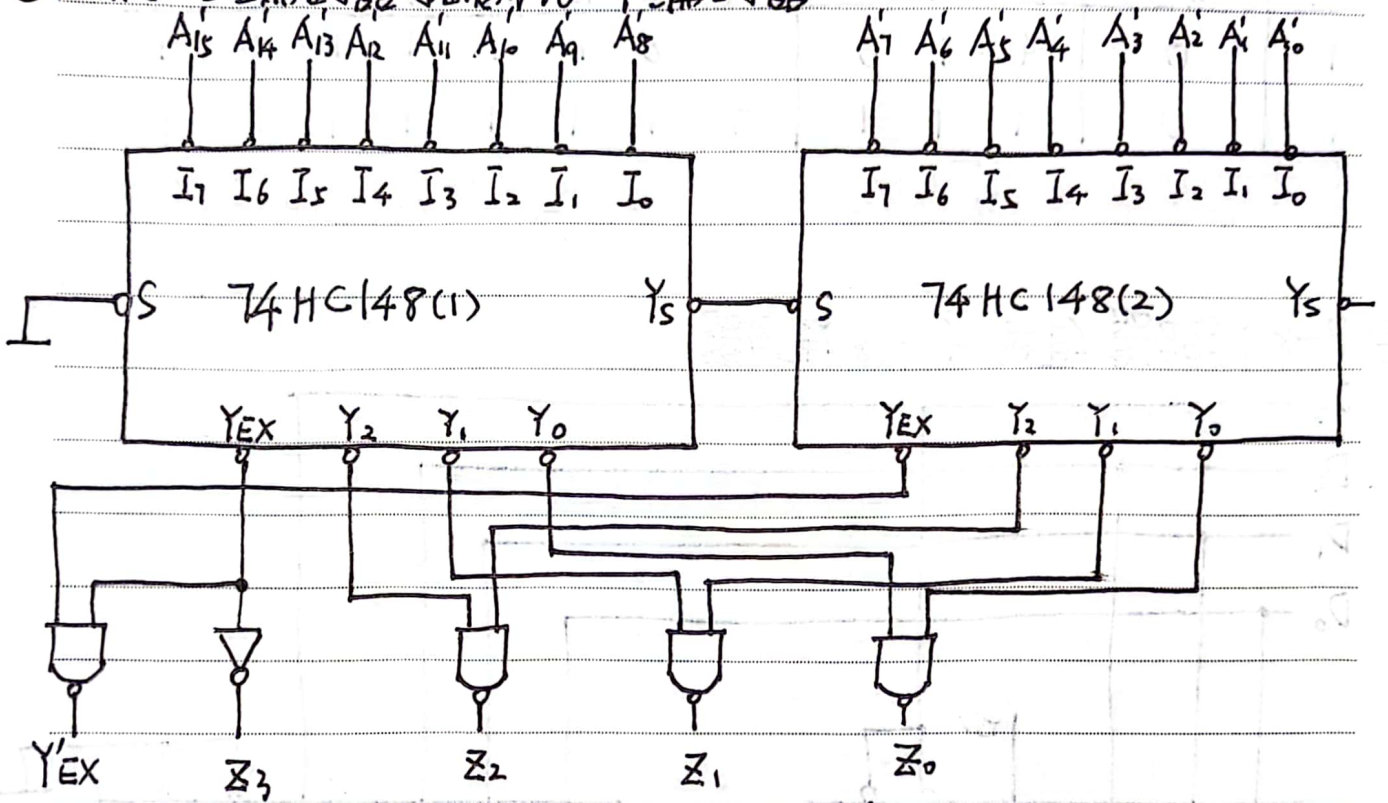
使能  
控制  
端

$S'$	$I_0'$	$I_1'$	$I_2'$	$I_3'$	$I_4'$	$I_5'$	$I_6'$	$I_7'$	$Y_2'$	$Y_1'$	$Y_0'$	$Y_5'$	$Y_{EX}'$
1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	1	0
0	x	x	x	x	x	x	0	1	0	0	1	1	0
0	x	x	x	x	x	0	1	1	0	1	0	1	0
0	x	x	x	x	0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	x	x	x	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
0	x	x	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
0	x	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0



8线-3线编码器

② 应用 8-3 编码器 22 扩展为 16-4 编码器



优先级  $A_{15} > A_{14} > \dots > A_0$

若  $A_{15} \sim A_8$  中有输入, 则 (1) 的  $Y_s = 1$ ,  $Y'_{EX} = 0$ , (1) 的  $Y_s$  接到 (2) 的  $S$ , 使 (1) 工作且有输入时 (2) 不工作, 只有在 (1) 工作但无输入时 (2) 才工作。最高位用 (1) 的  $Y_{EX}$  来表达

(2) 优先译码器

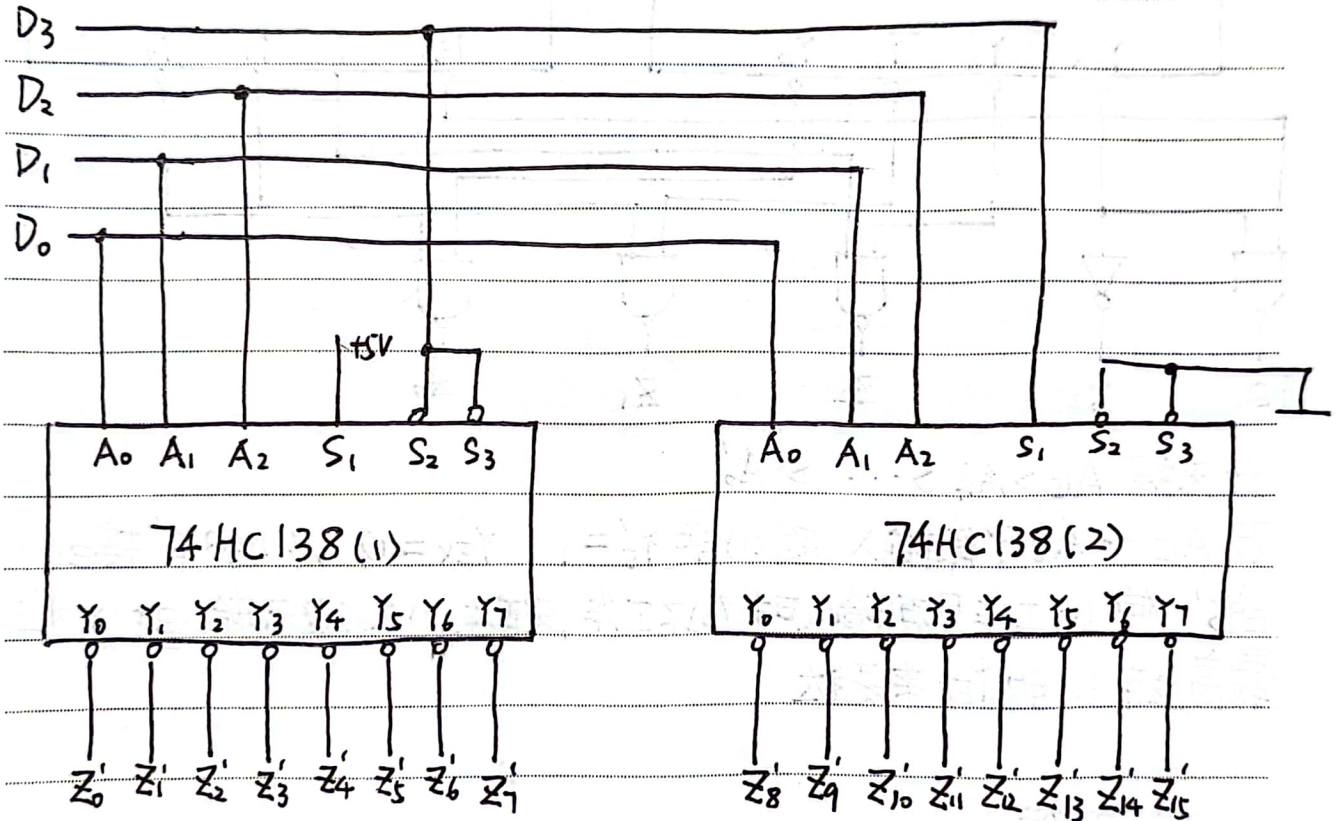
① 74HC138 的功能表  $S_1$  为 1 且  $S_2' + S_3' = 0$  时才工作

使能控制端	$S_1$	$S_2' + S_3'$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$Y_7'$	$Y_6'$	$Y_5'$	$Y_4'$	$Y_3'$	$Y_2'$	$Y_1'$	$Y_0'$
0	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
X	1	1	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1

$S_1$	$S_2+S_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$Y_7$	$Y_6$	$Y_5$	$Y_4$	$Y_3$	$Y_2$	$Y_1$	$Y_0$
1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

译码器的输出是最小项的非  $\rightarrow$  (设计组合逻辑函数的原理)

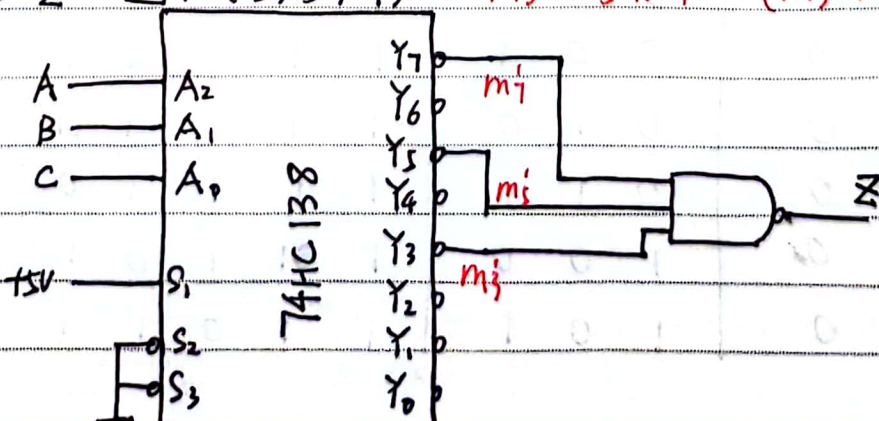
② 3-8 译码器 组成 4-16 译码器



当  $D_3=1$  时 (1) 的  $S_2+S_3=1$  (2) 的  $S_1=1 \Rightarrow$  (1) 不工作 (2) 工作  
 当  $D_3=0$  时 (1) 的  $S_2+S_3=0$  (2) 的  $S_1=0 \Rightarrow$  (1) 工作 (2) 不工作

③ 利用 3-8 译码器<sup>设</sup> 设计组合逻辑函数

例: 实现  $Z = \sum m(3, 5, 7) = m_3 + m_5 + m_7 = (m_3 \cdot m_5 \cdot m_7)'$



### ④显示译码器

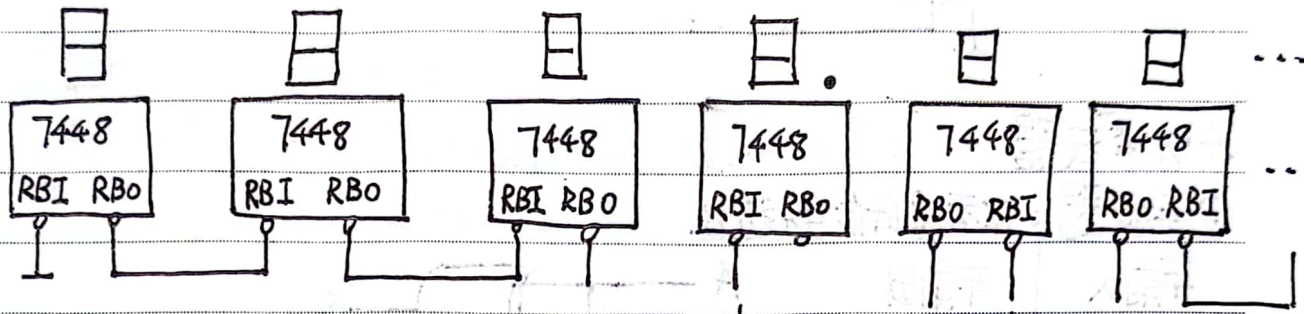
附加控制端:

- $LT'$ : 灯测试输入 ( $LT'=0$  时  $Y_a \sim Y_g$  全置1)
- $RBI'$ : 灭零输入 ( $A_3 A_2 A_1 A_0 = 0000$  时, 若  $RBI'=0$ , 则灭灯)
- $RI'/RBO'$ : 灭灯输入/灭零输出

( $RI'=0$  时, 无论输入, 均灭灯)

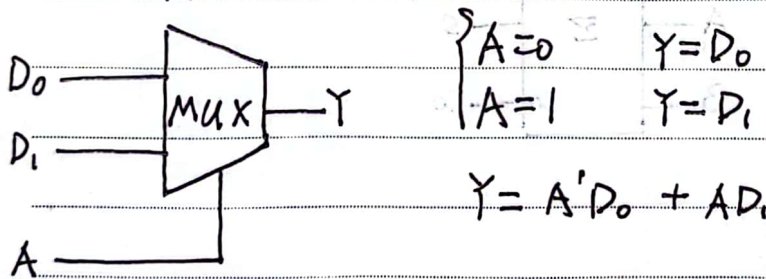
( $A_3 A_2 A_1 A_0 = 0000$  时且  $RBI'=0$  时,  $RBO'$  才给低电平)

利用  $RBI'$  和  $RBO'$  的组合, 实现多位显示系统的灭零控制

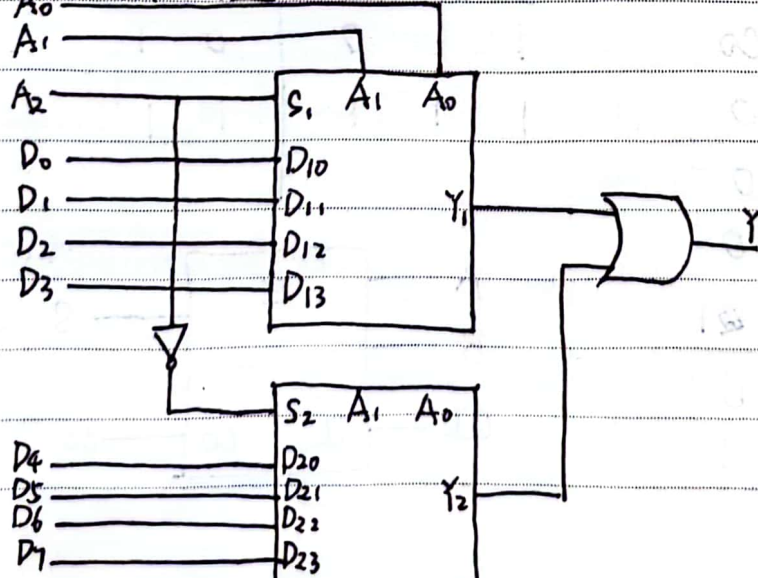


### (3) 数据选择器

①工作原理



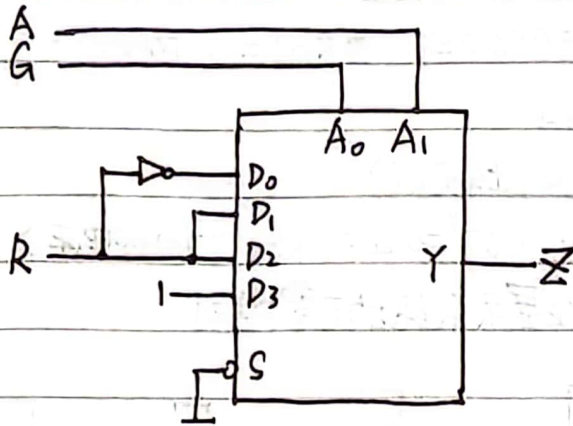
②用两片“四选一”接成“八选一”



$$Y = (A_2' A_1' A_0') D_0 + (A_2' A_1' A_0) D_1 + (A_2' A_1 A_0') D_2 + (A_2' A_1 A_0) D_3 + (A_2 A_1' A_0') D_4 + (A_2 A_1' A_0) D_5 + (A_2 A_1 A_0') D_6 + (A_2 A_1 A_0) D_7$$

### ③用数据选择器设计组合电路

$$\begin{aligned} \text{例: } Z &= R'A'G' + R'AG + RAG' + RA'G + RAG \\ &= R'(A'G') + R(A'G) + RAG' + 1 \cdot (AG) \end{aligned}$$



### (4) 加法器

①半加器: 不考虑低位的进位

输入		输出		
A	B	S	Co	
0	0	0	0	
0	1	1	0	
1	0	1	0	符号
1	1	0	1	号

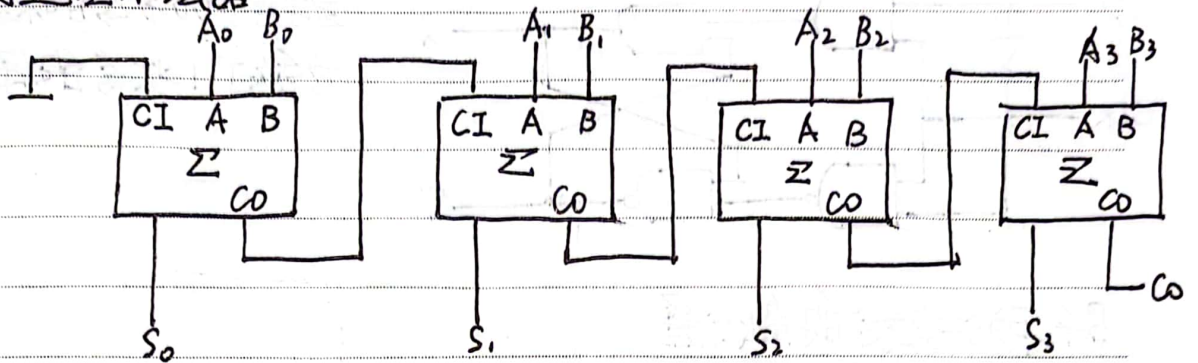
### ②全加器

输入			输出		
A	B	CI	S	Co	
1	1	0	0	1	
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	



### ③ 多位加法器

#### 串行进位加法器

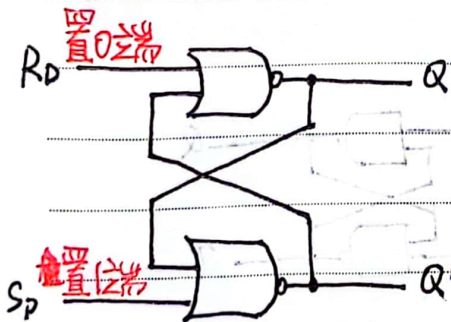


缺点: 有效电平时间延迟

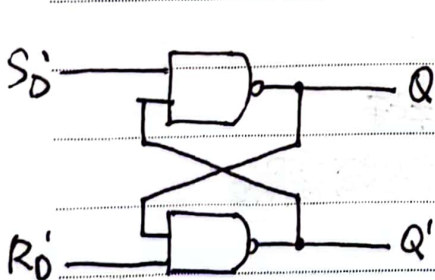
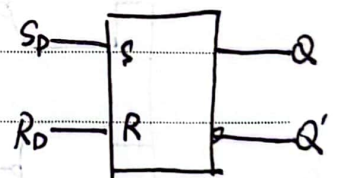
### 第五章: 半导体存储电路

1. 触发器分类
- 按触发方法 (电平, 脉冲, 边沿)
  - 按逻辑功能 (SR, JK, D, T)

#### 2. SR 锁存器



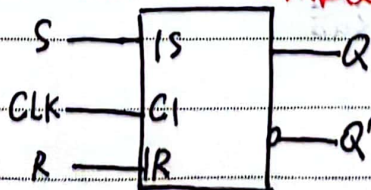
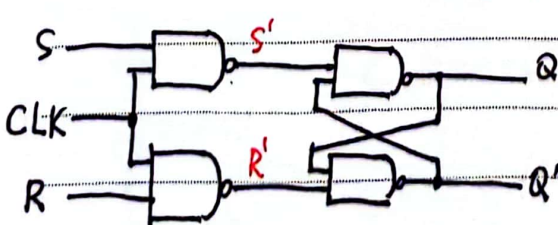
$R_D$	$S_D$	$Q$	$Q'$
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	保持	
1	1	不定	



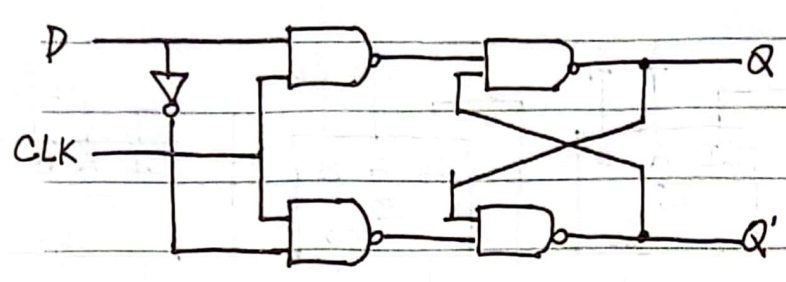
$S_D'$	$R_D'$	$Q$	$Q'$
1	0	0	1
0	1	1	0
1	1	保持	
0	0	不定	

加入同步信号输入端

CLK=1时, S, R 起作用  $\rightarrow$  电平触发



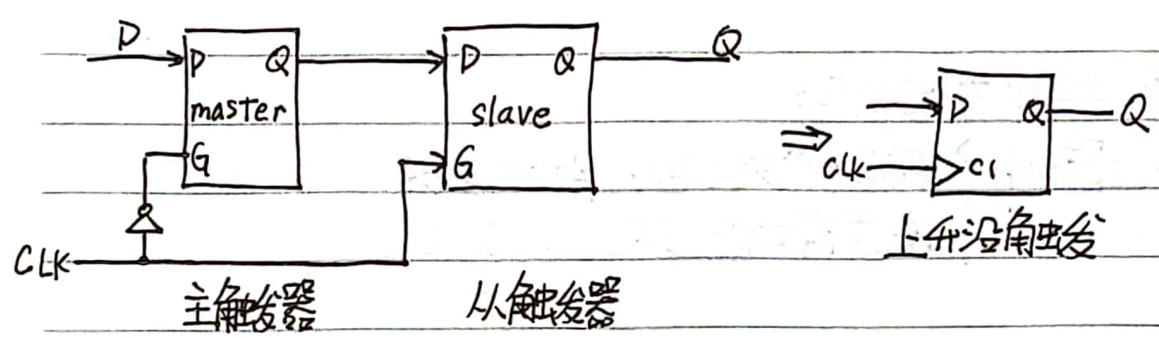
### 3. D角虫发器 (电平触发式)



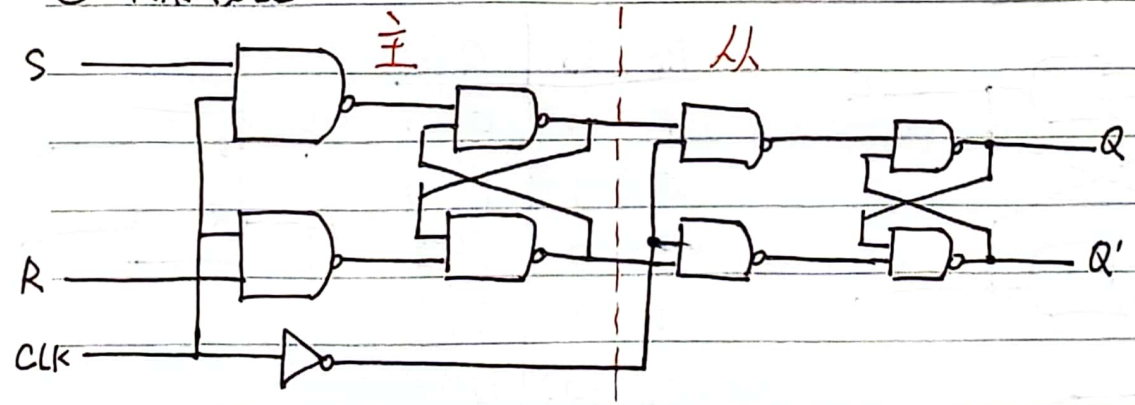
避免了00状态的不定  
也保证了11状态的保持

### 第4. 脉冲触发的触发器

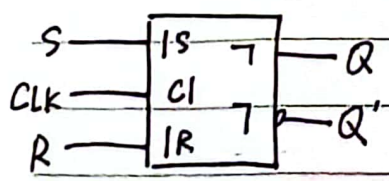
#### ① D角虫发器



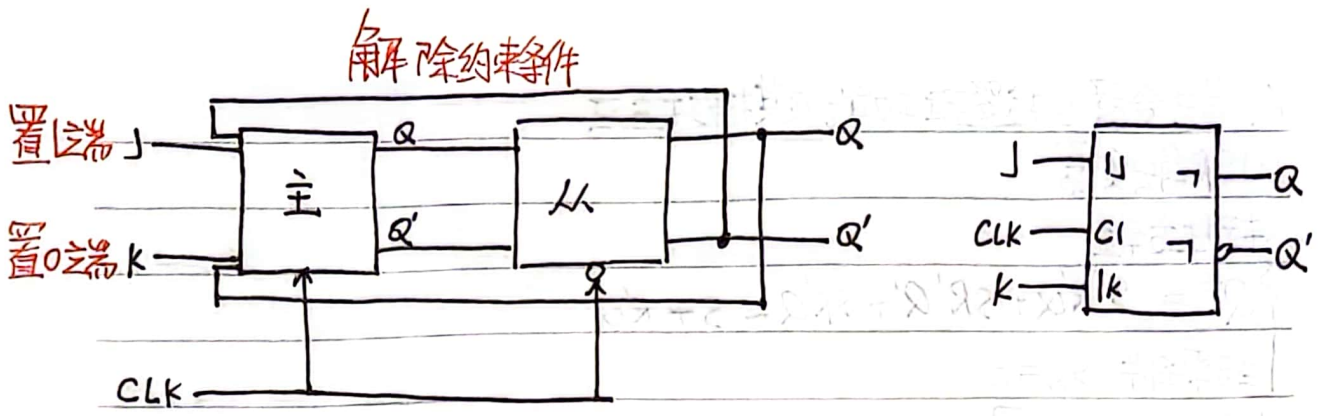
#### ② SR角虫发器



CLK = 1 时, "主" 按 S, R 翻转, "从" 保持  
CLK 下降沿到达时, "主" 保持, "从" 根据 "主" 状态翻转



#### ③ JK角虫发器



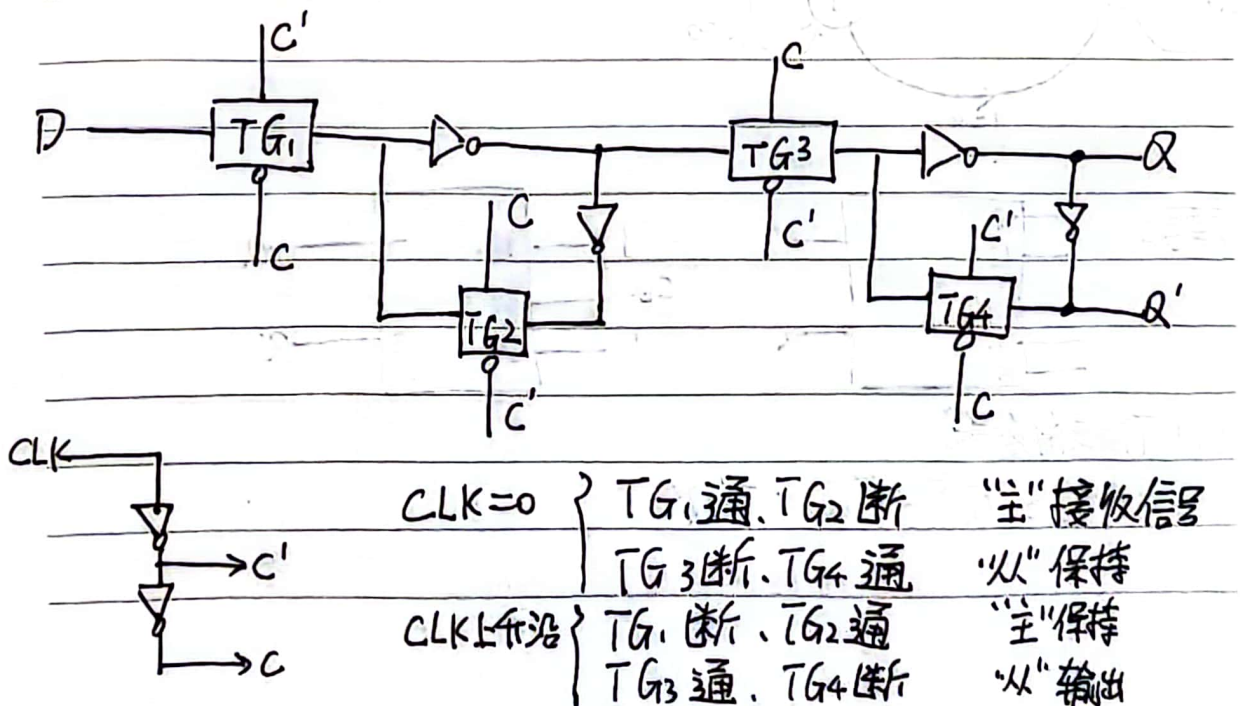
注：JK脉冲触发器在CLK有效边沿到达之前的状态只能翻转一次

如此JK触发器，在CLK为1时， $Q=1$ ，置1端封闭，置0端开放，在CLK=1的时间段，先来一个 $J=0, K=1$ 的信号，此时主触发器的状态会翻转为 $Q=0$ ，如果又来一个 $J=1, K=0$ 的信号，因为置1端封闭，故“主”的Q在翻转一次后只能保持。

### 5. 边沿触发器：

与脉冲触发的区别：比如一个上升沿触发的脉冲触发，边沿触发用脉冲触发的输出取决于上升沿到来之前的信号，边沿触发的输出取决于上升沿到来时的信号。

### 利用CMOS传输门的边沿触发器



## 6. 触发器的逻辑功能及其描述方法

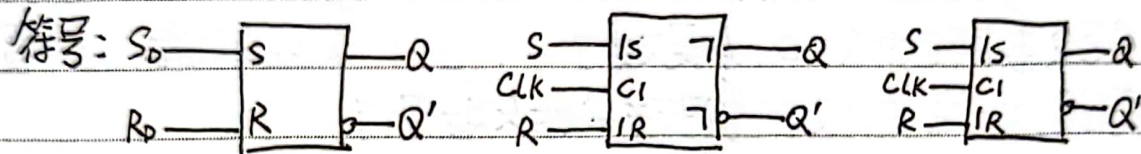
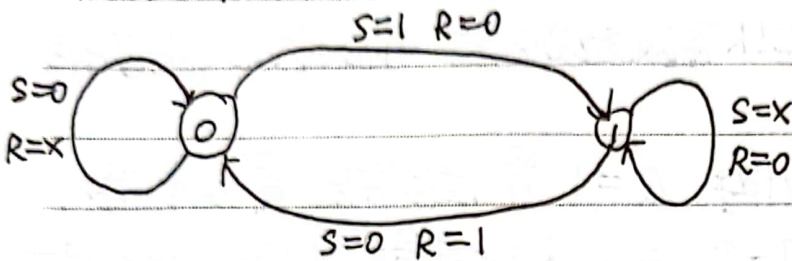
### 1) SR触发器

特性方程

$$Q^* = S'RQ + SR'Q' + SRQ = \underline{S + R'Q}$$

约束条件  $SR=0$

状态转换图

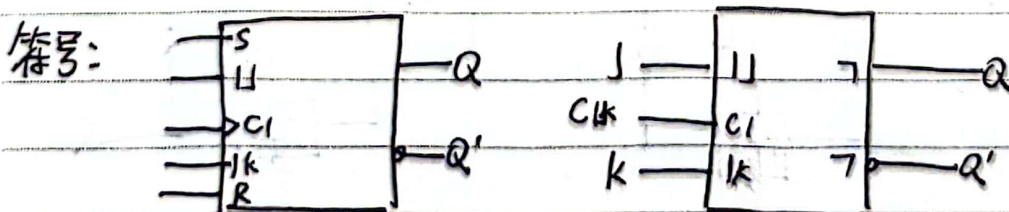
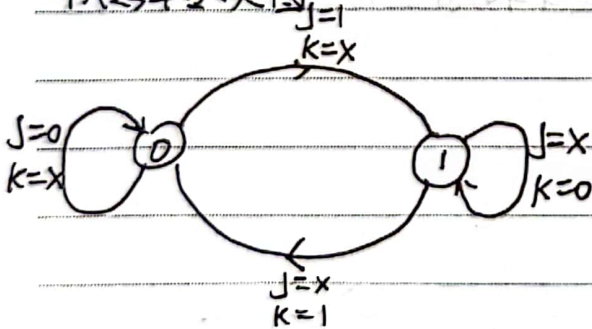


### (2) JK触发器

特性方程

$$Q^* = \underline{JQ' + K'Q}$$

状态转换图

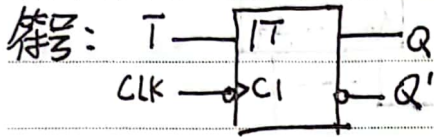
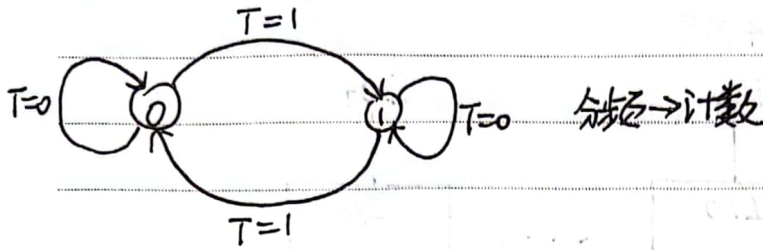


### (3) T触发器

特性方程:  $Q^* = \underline{TQ' + T'Q}$

把JK触发器的K连到J就成了T触发器

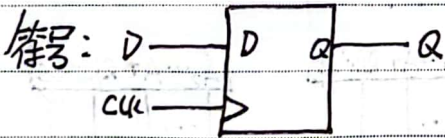
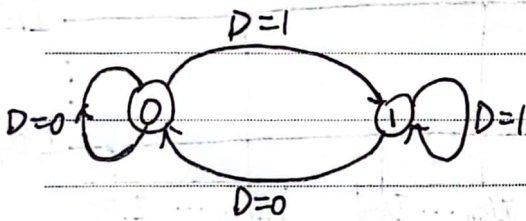
### 状态转换图



### (4) D 触发器

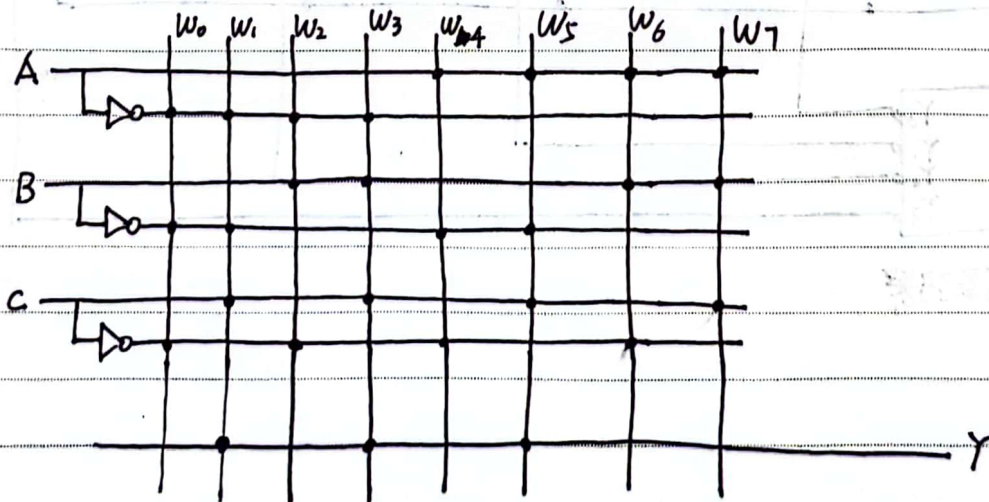
特性方程:  $Q^* = D$

状态转换图:



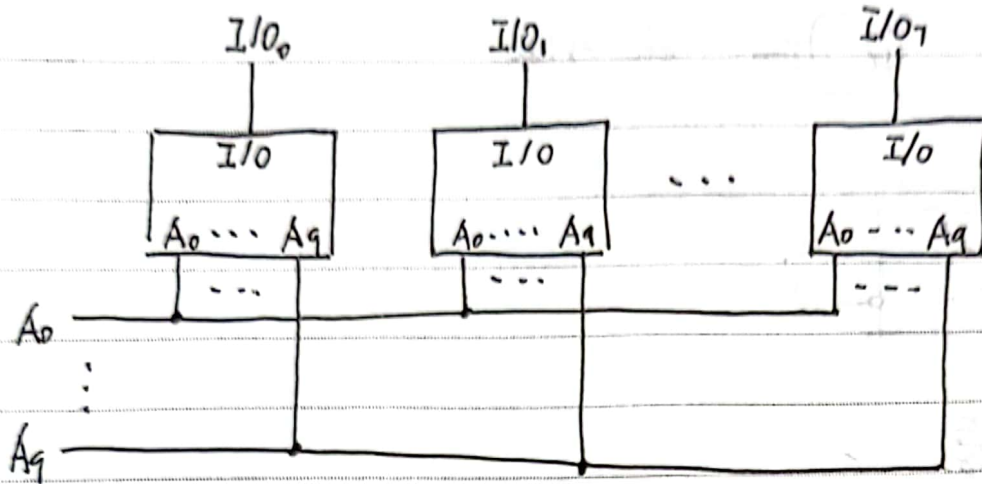
### 7. 用存储器实现组合逻辑函数

例: 用ROM产生  $Y = A'BC + AB'C + AB'C = \sum m(1, 3, 5)$

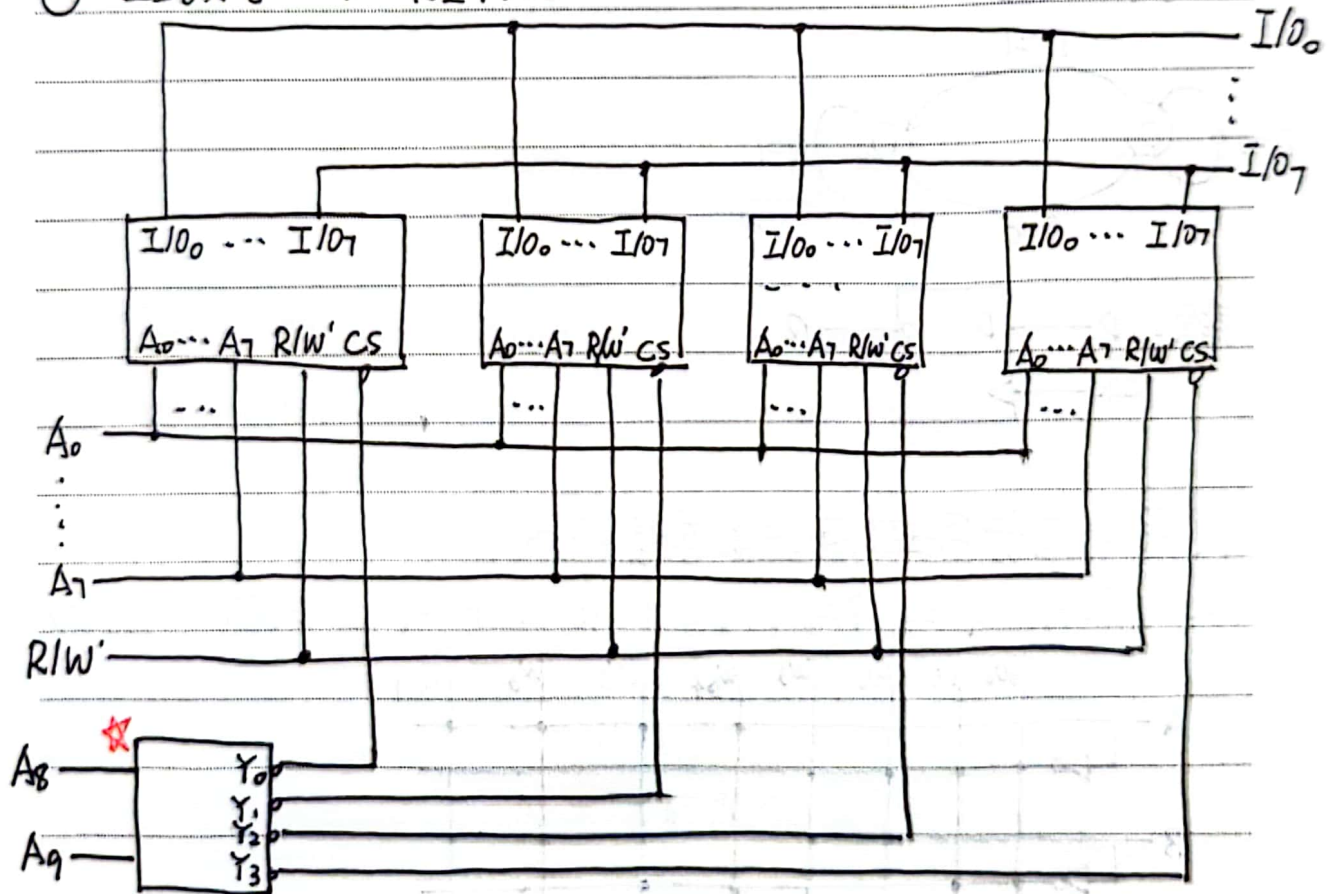


# 8. 存储器的扩展

①  $1024 \times 1 \rightarrow 1024 \times 8$



②  $256 \times 8 \rightarrow 1024 \times 8$



2-4译码器

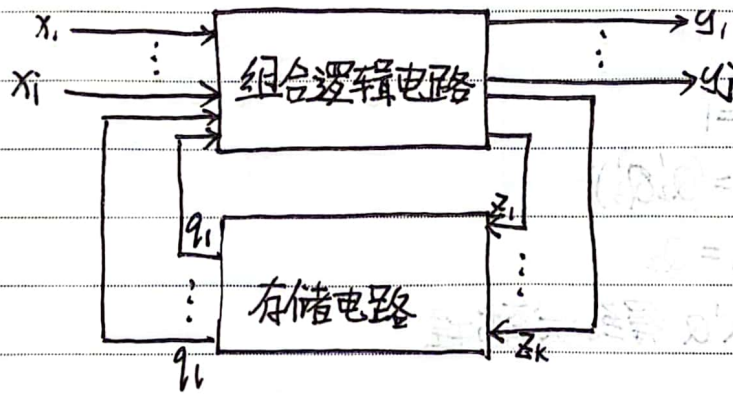
## 第六章：时序逻辑电路

### 1. 概述

#### ① 时序逻辑电路的特点：

- (i) 任一时刻输出不仅取决于该时刻输入，还与电路原来状态有关
- (ii) 包含存储电路和组合电路

#### ② 结构形式



#### ③ 描述方式：三个方程组

输出方程  $Y = F(X, Q)$   $\left\{ \begin{array}{l} y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_i, q_1, \dots, q_l) \\ \dots \end{array} \right.$

$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_i, q_1, \dots, q_l)$

驱动方程  $Z = G(X, Q)$   $\left\{ \begin{array}{l} z_1 = g_1(x_1, x_2, \dots, x_i, q_1, \dots, q_l) \\ \dots \end{array} \right.$

$z_k = g_k(x_1, x_2, \dots, x_i, q_1, \dots, q_l)$

状态方程  $Q^* = H(Z, Q)$   $\left\{ \begin{array}{l} q_1^* = h_1(z_1, \dots, z_k, q_1, \dots, q_l) \\ \dots \end{array} \right.$

$q_l^* = h_l(z_1, \dots, z_k, q_1, \dots, q_l)$

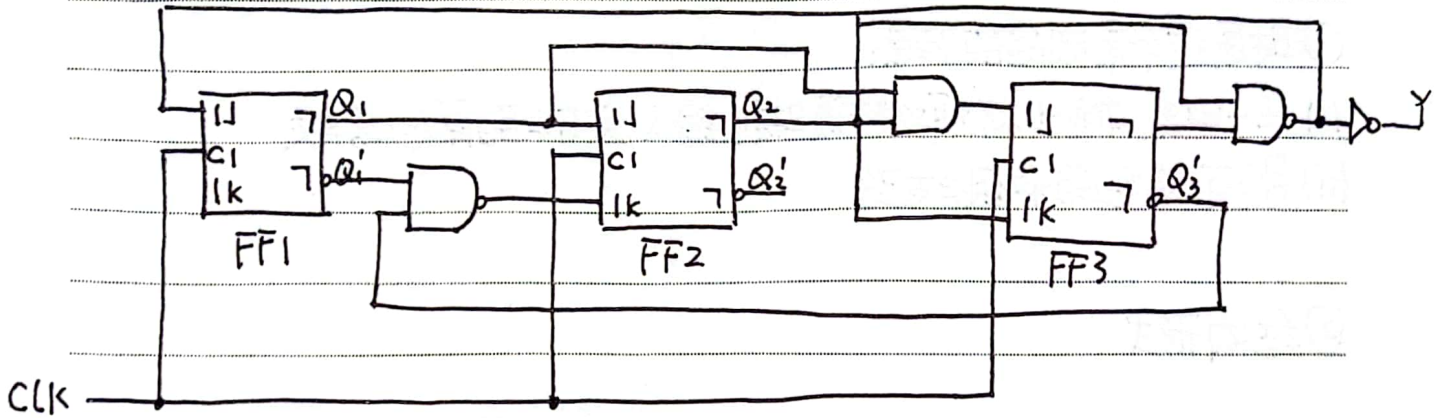
- ④ 分类  $\left. \begin{array}{l} \text{同步时序电路} \\ \text{异步时序电路} \end{array} \right\}$

$\left. \begin{array}{l} \text{Mealy型} \\ \text{Moore型} \end{array} \right\} Y = F(X, Q)$

$Y = F(Q)$

## 2. 时序电路分析举例

### TTL 电路



#### ① 写驱动方程

$$\begin{cases} J_1 = (Q_2 Q_3)' & K_1 = 1 \\ J_2 = Q_1 & K_2 = (Q_2' Q_3)' \\ J_3 = Q_1 Q_2 & K_3 = Q_2 \end{cases}$$

#### ② 代入 $Q^* = JQ' + K'Q$ 得到状态方程

$$\begin{cases} Q_1^* = (Q_2 Q_3)' Q_1 \\ Q_2^* = Q_1 Q_2' + Q_1' Q_3' Q_2 \\ Q_3^* = Q_1 Q_2 Q_3' + Q_2' Q_3 \end{cases}$$

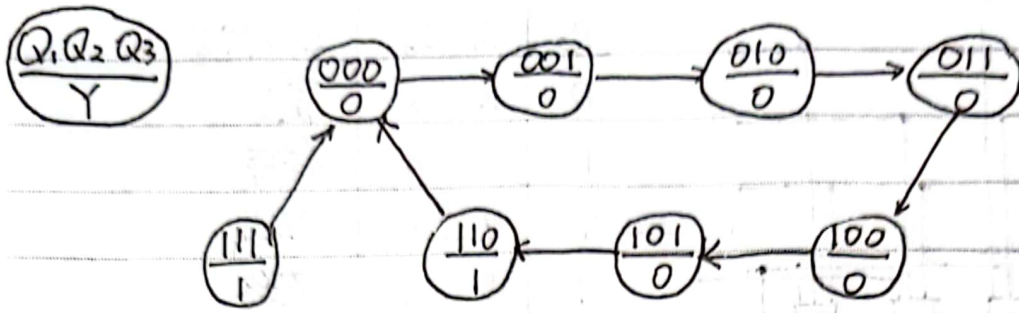
#### ③ 写输出方程 $Y = Q_2 Q_3$

#### 写状态转换表

$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_1^*$	$Q_2^*$	$Q_3^*$	$Y$
0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1

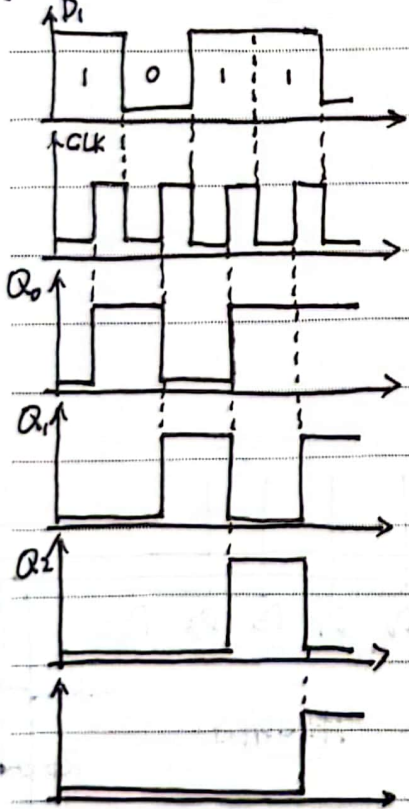
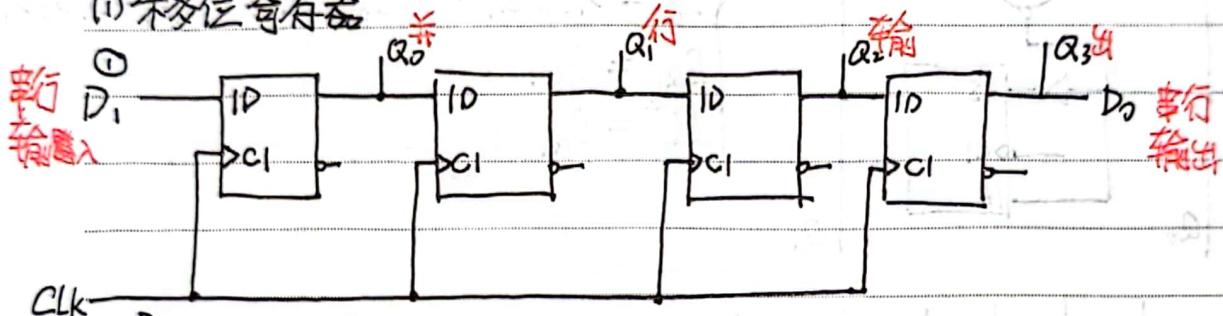
#### 画状态转换图



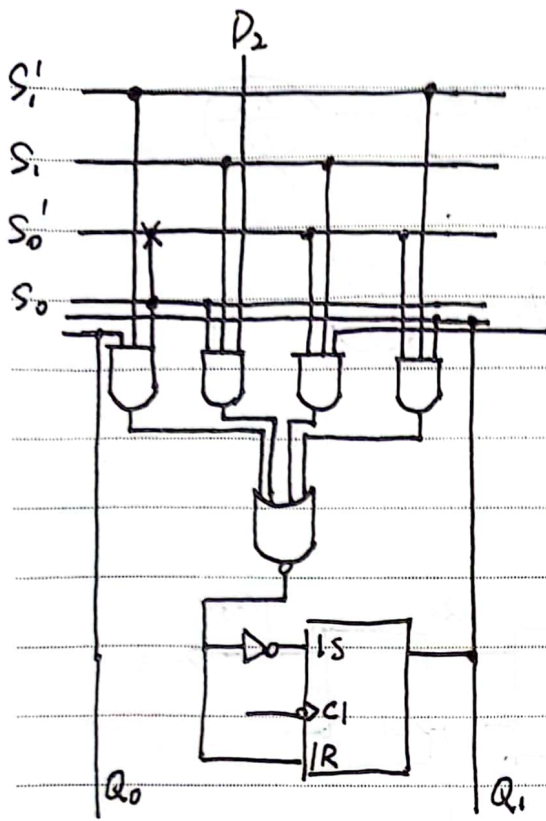


### 3. 若干常用的时序逻辑电路

#### (1) 移位寄存器



② 器件实例：74HC194A (右左移 并行输入, 保持, 异步置零)

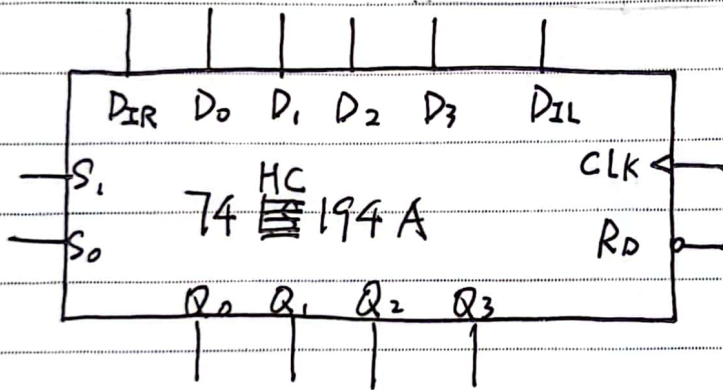


$R_D'$	$S_1$	$S_0$	工作状态
0	X	X	置零
1	0	0	保持
1	0	1	右移
1	1	0	左移
1	1	1	并行输入

$$S_{Q_1} = S_1' S_0' Q_1 + S_1' S_0 Q_0 + S_1 S_0' Q_2 + S_1 S_0 D_1$$

$$R_{Q_1} = S_1 Q_1'$$

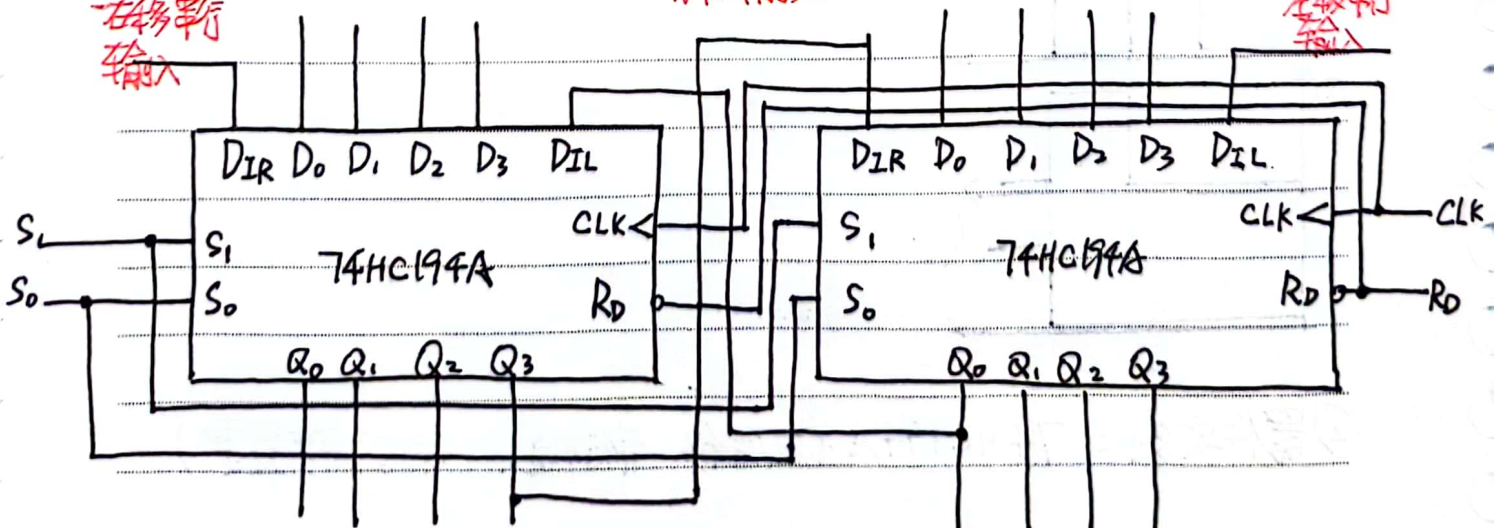
$$Q_1^* = S_{Q_1}$$



扩展 4位 → 8位

并行输入

左移输入



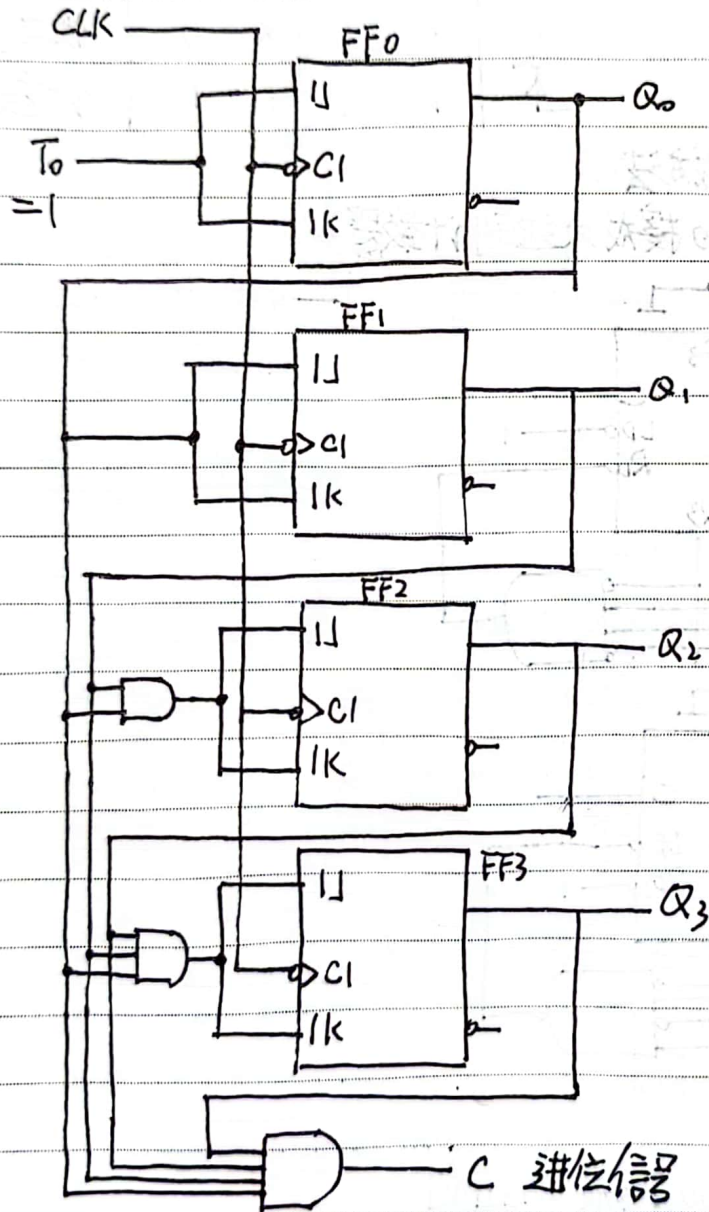
并行输出

(2) 计数器

① 加法计数器

原理：在多位二进制数末位加1，若第*i*位以下皆为1，则第*i*位应翻转

$$\begin{cases} T_i = Q_{i-1} Q_{i-2} \dots Q_0 \\ T_0 = 1 \end{cases}$$



② 减法计数器  $\begin{cases} T_i = Q_{i-1}' Q_{i-2}' \dots Q_0' \\ T_0 = 1 \end{cases}$

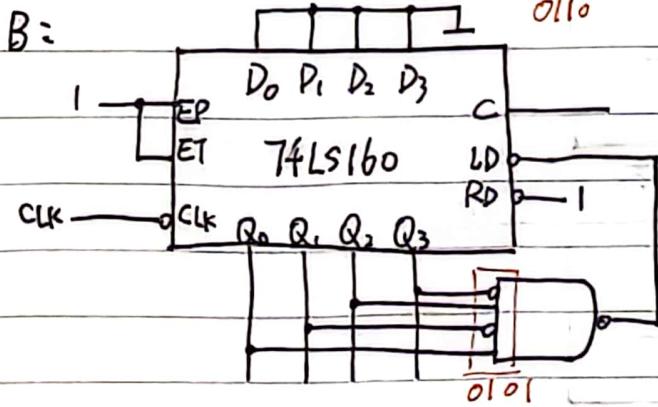
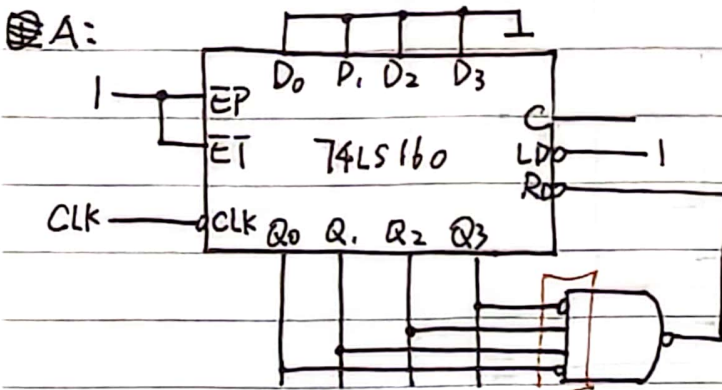
③ 同步加减计数器 (可逆计数器)  $\begin{cases} T_i = (U'/D)' \prod_{j=0}^{i-1} Q_j + (U'/D) \prod_{j=0}^{i-1} Q_j' \\ T_0 = 1 \end{cases}$

④ 器件实例: 74LS160 (十进制) 74LS161 (四位二进制)

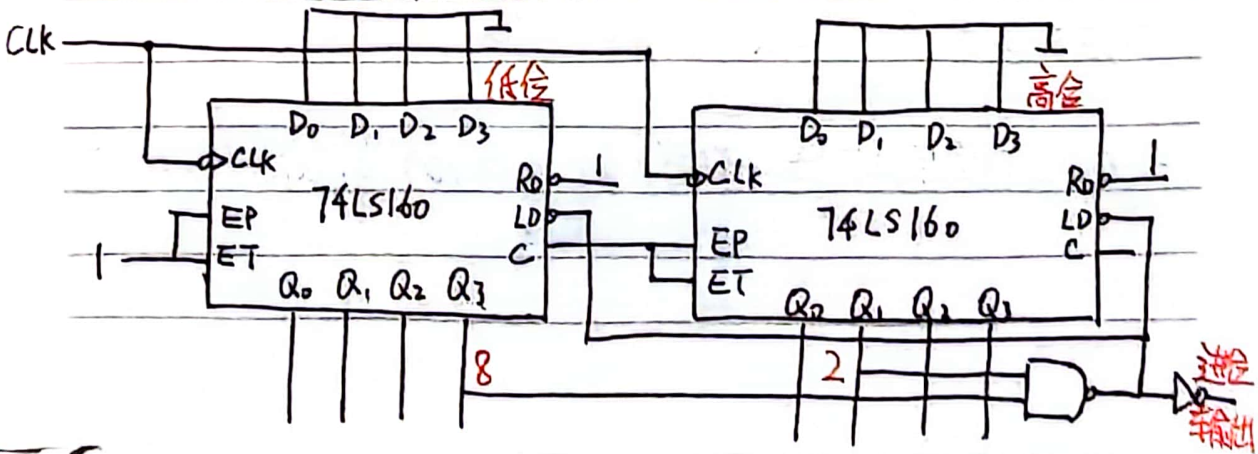
CLK	R <sub>0</sub> '	LD'	EP	ET	工作状态
X	0	X	X	X	置0(异步)
↑	1	0	X	X	预置数(同步)
X	1	1	0	1	保持(包括C)
X	1	1	X	0	保持(C=0)
↓	1	1	1	1	计数

⑤ 任意进制计数器的构成方法☆☆☆

例: 将十进制的74LS160接成六进制计数器

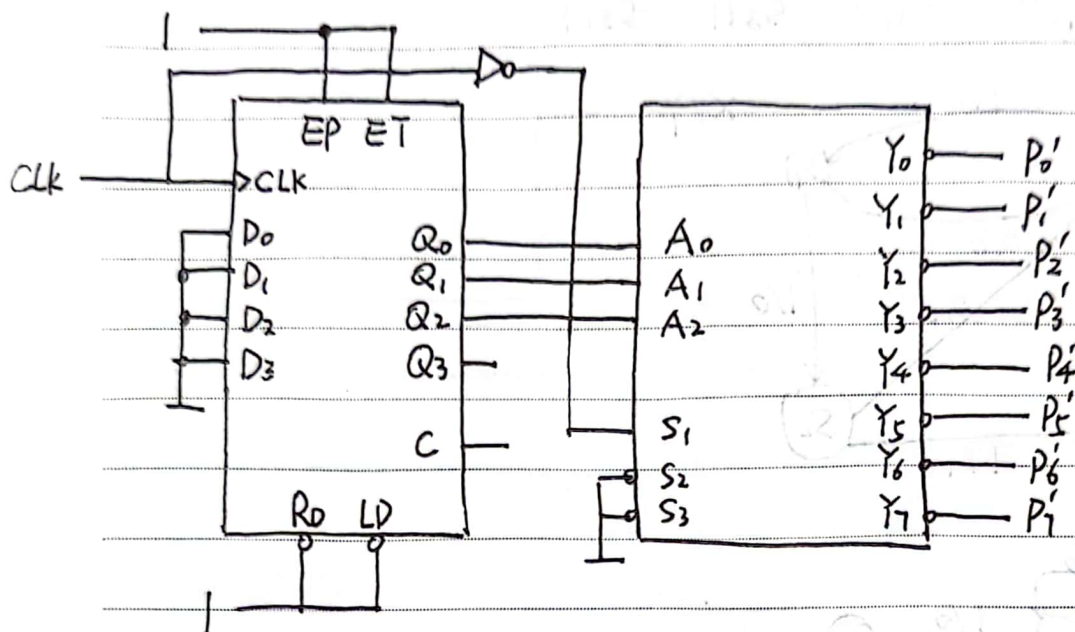


例: 将十进制的74LS160接成29进制

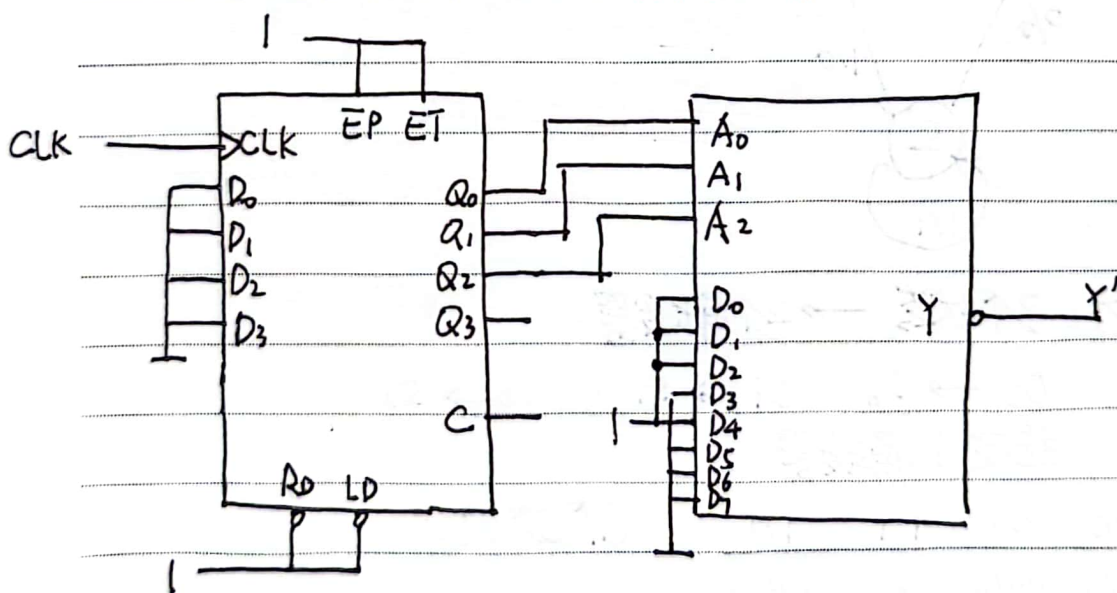


## ⑥ 计数器的应用举例

计数器 + 译码器 霓虹灯



计数器 + 数据选择器 序列脉冲发生器



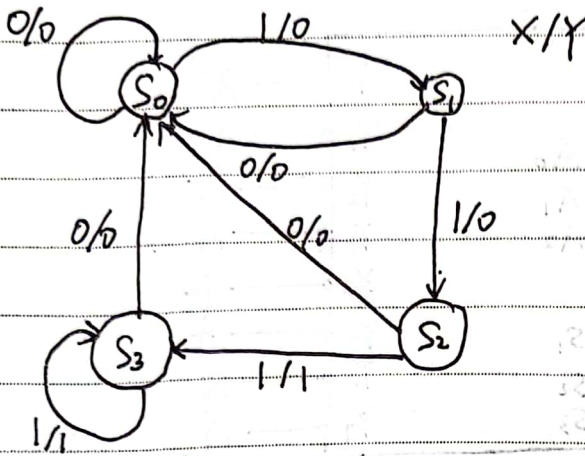
## 4. 时序逻辑电路的设计方法

例：设计一个串行数据检测器，连续输入 3 个或 3 个以上的 1 输出为 1，其他情况输出为 0

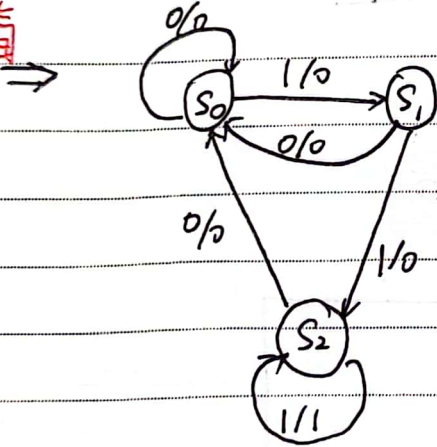
解：设输入变量为 X，输出变量为 Y，S<sub>0</sub> 为初始状态，S<sub>1</sub> 为输入 1 个 1 的状态，S<sub>2</sub> 是输入 2 个 1 的状态，S<sub>3</sub> 是输入 3 个 1 的状态

① 逻辑抽象

$s^*/Y$	$s$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$x$					
0		$S_0/0$	$S_0/0$	$S_0/0$	$S_0/0$
1		$S_1/0$	$S_2/0$	$S_3/1$	$S_3/1$



② 状态化简



③ 状态分配: 3个状态  $\rightarrow$  2个触发器

$00 \rightarrow S_0$     $01 \rightarrow S_1$     $10 \rightarrow S_2$

④ 选定触发器类型 选定 JK 触发器

$x$	$Q_1 Q_0$	$00$	$01$	$11$	$10$	$Q_1^* Q_0^* / Y$
0		$00/0$	$00/0$	$x$	$00/0$	
1		$01/0$	$10/0$	$x$	$10/1$	

$$\Rightarrow \begin{cases} Q_1^* = xQ_0 + xQ_1 \\ Q_0^* = xQ_1'Q_0' \\ Y = xQ_1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} J_1 = xQ_0 & K_1 = x' \\ J_0 = xQ_1' & K_0 = 1 \end{cases}$$

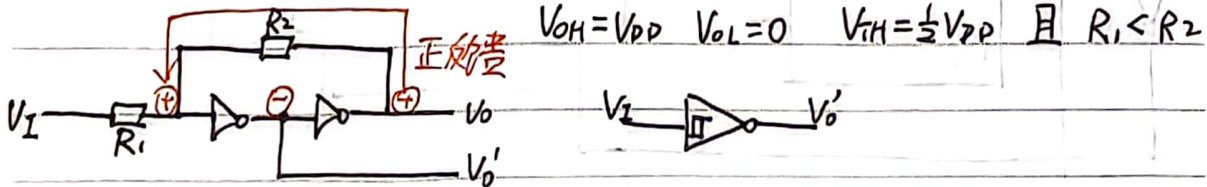


# 第七章：脉冲波形的产生和整形电路

## 1. 施密特触发器

- ① 特点：在上升、下降过程中，电路状态转换的输入电平不同  
电路状态转换时因正反馈边沿变陡

### ② 电路结构及工作原理



(i) 当  $V_I = 0$  时  $V_O = 0$

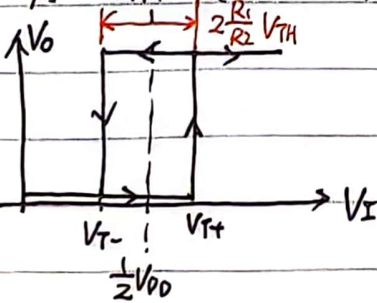
当  $V_I \uparrow$  至  $V_A = V_{TH}$  时  $\rightarrow V_O$  迅速跳变为  $V_O = V_{OH}$  (计算跳变点时  $V_O$  还没变)

$$V_A = V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_I \rightarrow V_I = V_{T+} = (1 + \frac{R_1}{R_2}) V_{TH} > \frac{1}{2} V_{DD}$$

(ii) 当  $V_I = 1$  时  $V_O = 1$

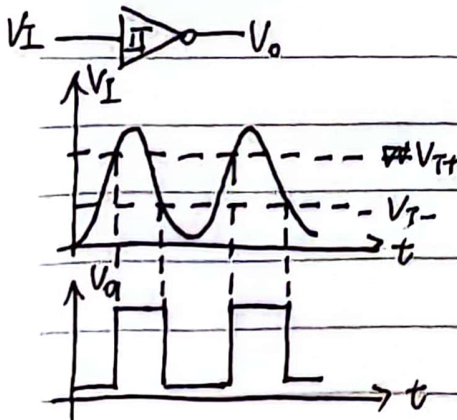
当  $V_I \downarrow$  至  $V_A = V_{TH}$  时  $\rightarrow V_O$  迅速跳变为  $V_O = V_{OL}$

$$V_A = V_{TH} = (V_{DD} - V_I) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_I \rightarrow V_I = V_{T-} = (1 - \frac{R_1}{R_2}) V_{TH} < \frac{1}{2} V_{DD}$$

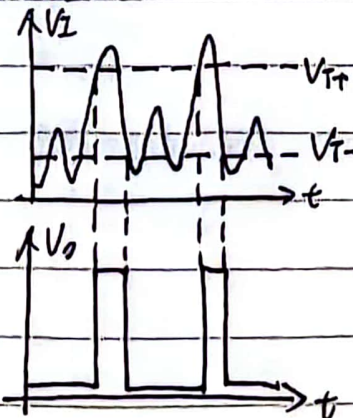


### ③ 应用

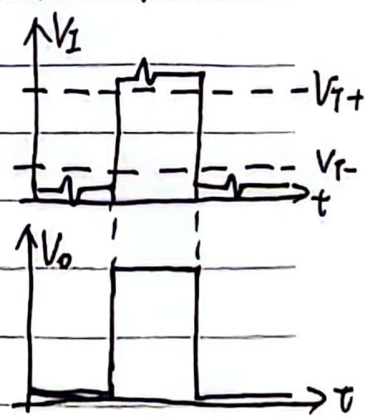
(i) 波形变换



(ii) 鉴幅



(iii) 脉冲整形



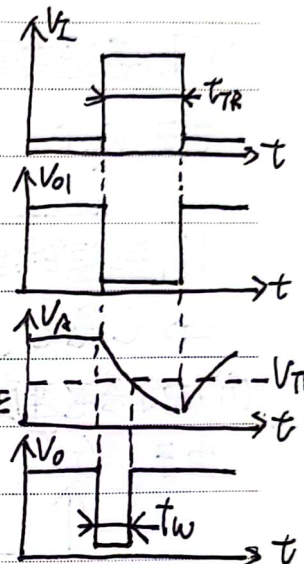
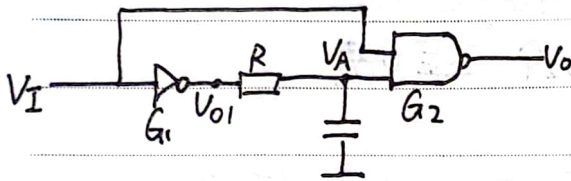


## 2. 单稳态触发器

① 特点：有一稳态和一暂稳态

在外界触发信号作用下，能从稳态  $\rightarrow$  暂稳态，维持一段时间后自动返回。  
维持时间由电路内参数决定  $\star$

### ② 积分型单稳态触发器



稳态下:  $V_I = 0, V_{O1} = V_{OH}, V_O = 1, V_A = V_{OH}$

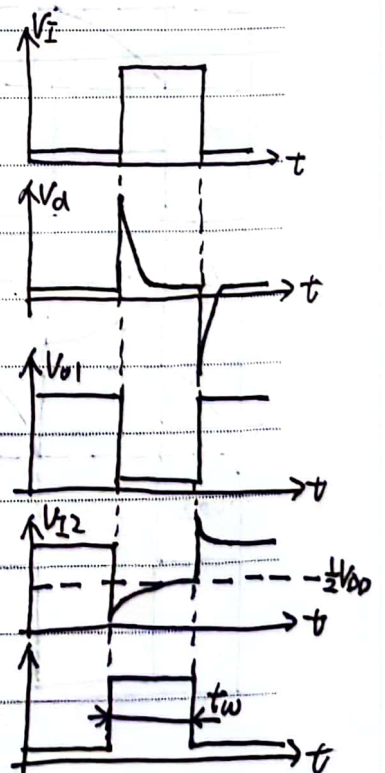
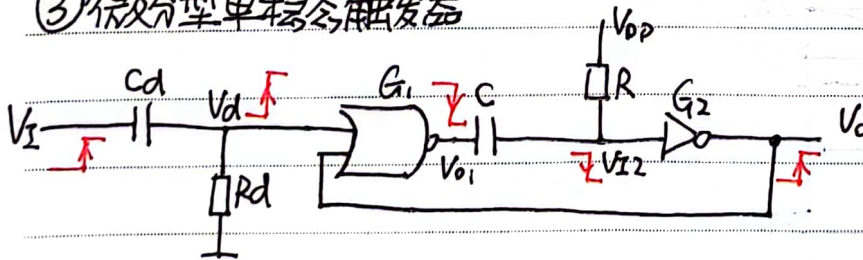
当  $V_I \uparrow$  后,  $V_O = 0$ , 进入暂稳态,  $V_{O1} = 0$ , C 放电维持  $V_A$  电平

当  $V_A = V_{TH}$  后,  $V_O = 1$ , 回到稳态

( $V_I \downarrow$  后, C 重新充电至  $V_{OH}$ , 恢复初始态)

性能参数计算  $t_w = RC \ln \frac{V(\infty) - V(0)}{V(\infty) - V_{TH}} = RC \ln \frac{0 - V_{OH}}{0 - V_{TH}} = RC \ln \frac{V_{OH}}{V_{TH}}$

### ③ 微分型单稳态触发器



稳态下:  $V_I = 0, V_d = 0, V_{I2} = V_{DD}, V_{O1} = V_{DD}$

$V_O = 0$  C 上无电压

当  $V_I$  一个脉冲信号到来后, 电路进入暂稳态, C 开始充电

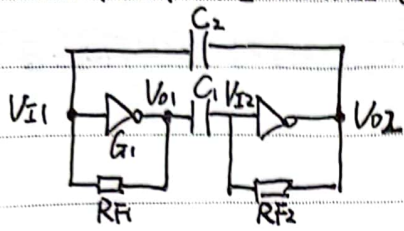
充电至  $V_{I2} = V_{TH}$  时,  $V_{I2} \uparrow$  将引起正反馈

电路迅速返回稳态,  $V_O = 0, V_{O1} = V_{DD}, C$  放电至没压差

性能参数计算  $t_w = RC \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - V_{TH}} \approx RC \ln 2$

### 3. 多谐振荡器 (自激振荡, 不需要外加触发信号)

#### ① 对称式多谐振荡器 (感觉不是很重要)



(i) 刚接通电源, 由于电冲击, 使输入  $V_{11}$  有微小正负变化

由于  $V_{11} \uparrow \rightarrow V_{01} \downarrow \rightarrow V_{12} \downarrow \rightarrow V_{02} \uparrow$  正反馈

$V_{01}$  迅速跳到低电平,  $V_{02}$  翻转转为高电平  $\rightarrow$  第一个暂稳态

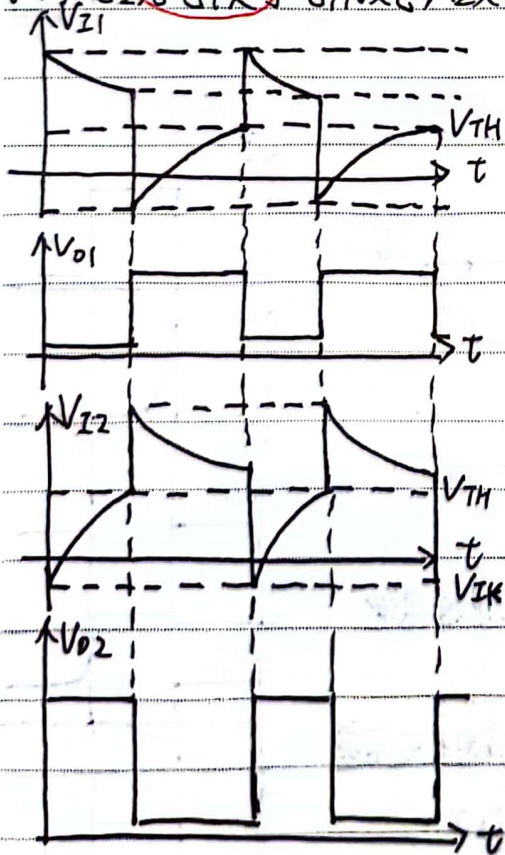
$\Rightarrow C_1$  充电,  $C_2$  放电

(ii) 由于充电速度大于放电速度,  $V_{12}$  先到达  $V_{TH}$

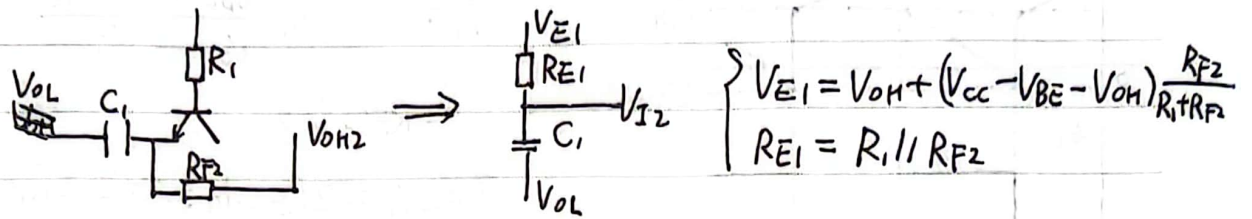
由于  $V_{12} \uparrow \rightarrow V_{02} \downarrow \rightarrow V_{11} \downarrow \rightarrow V_{01} \uparrow$  正反馈

$V_{02}$  迅速跳到低电平,  $V_{01}$  跳到高电平  $\rightarrow$  第二个暂稳态

(iii)  $C_2$  充电快于  $C_1$  放电, 故  $V_{11}$  首先达到  $V_{TH}$   $\rightarrow$  第一个暂稳态



## 振荡周期计算



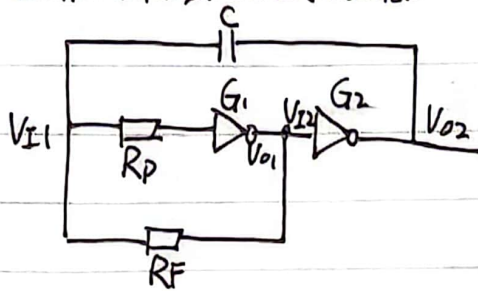
$$\left. \begin{aligned} V_{E1} &= V_{OH} + (V_{CC} - V_{BE} - V_{OH}) \frac{R_{F2}}{R_1 + R_{F2}} \\ R_{E1} &= R_1 // R_{F2} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow T_1 = R_{E1} C_1 \ln \frac{V_{E1} - V_{IK}}{V_{E1} - V_{TH}}$$

当  $R_{F1} = R_{F2} = R_F$ ,  $C_1 = C_2 = C$  时

$$T = 2T_1 = 2R_EC \ln \frac{V_{E1} - V_{IK}}{V_{E1} - V_{TH}}$$

## ② 非对称式多谐振荡器



(i) 起始:  $V_{I1}$  一个正跳变 由于  $V_{I1} \uparrow \rightarrow V_{I2} \downarrow \rightarrow V_{O2} \uparrow$  正反馈

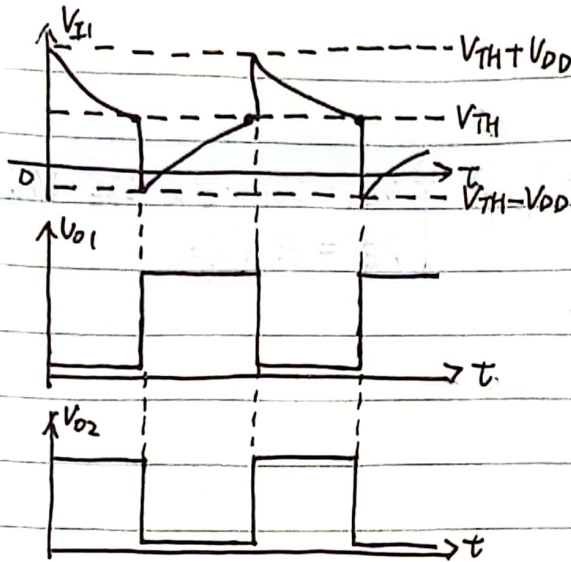
$V_{O1}$  迅速为低,  $V_{O2}$  迅速为高  $\rightarrow$  第一个暂稳态 (电容放电)

(ii) 由于  $C$  放电,  $V_{I1}$  下降

当  $V_{I1} = V_{TH}$  时  $V_{I1} \downarrow \rightarrow V_{I2} \uparrow \rightarrow V_{O2} \downarrow$

$V_{O1}$  迅速为高,  $V_{O2}$  迅速为低  $\rightarrow$  第二个暂稳态 (电容充电)

(iii)  $V_{I1}$  升到  $V_{TH}$ , 回到第一暂稳态



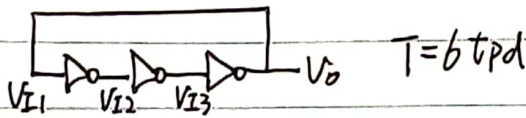
振荡周期的计算

$$T_1 = R C \ln \frac{V_{DD} - (V_{TH} - V_{DD})}{V_{DD} - V_{TH}}$$

$$= R C \ln 3$$

$$T = 2T_1 = 2R C \ln 3 \approx 2.2 R C$$

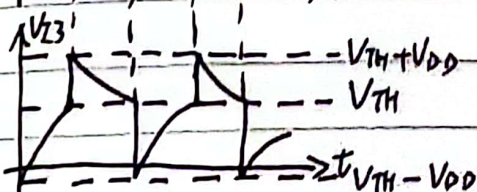
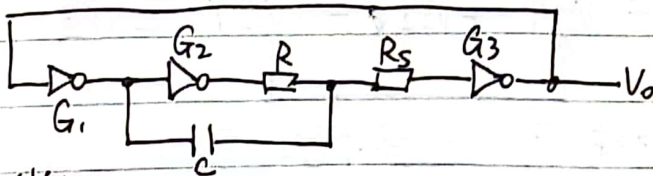
### ③ 环形振荡器



将任何大于等于3的奇数反相器首尾相接

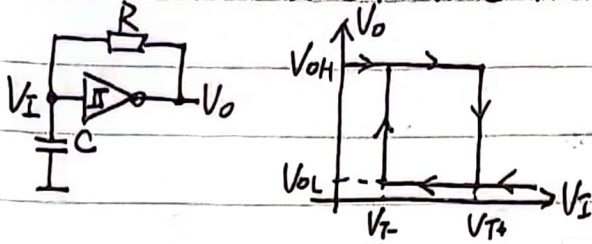
$$T = 2n t_{pd}$$

### 实用的环形振荡器

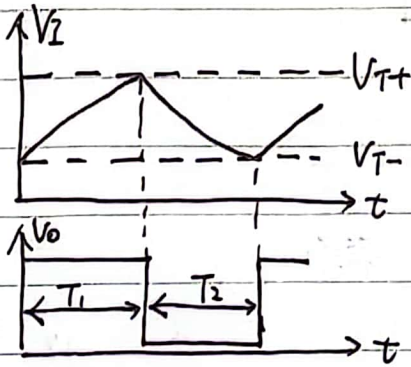


$$T = 2.2 R C$$

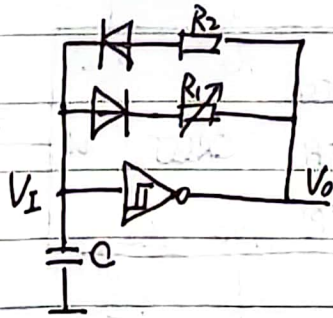
#### ④ 用施密特触发器构成多谐振荡器



电容初始为0 ( $V_I=0$ )  $\rightarrow$   $V_O$  为高  $\leftarrow V_I=V_{T-} \leftarrow V_I \downarrow$   
 $V_O$  通过 R 为 C 充电  $\quad C$  通过 R 放电  
 $V_I \uparrow \rightarrow V_I=V_{T+} \rightarrow V_O$  为低电平



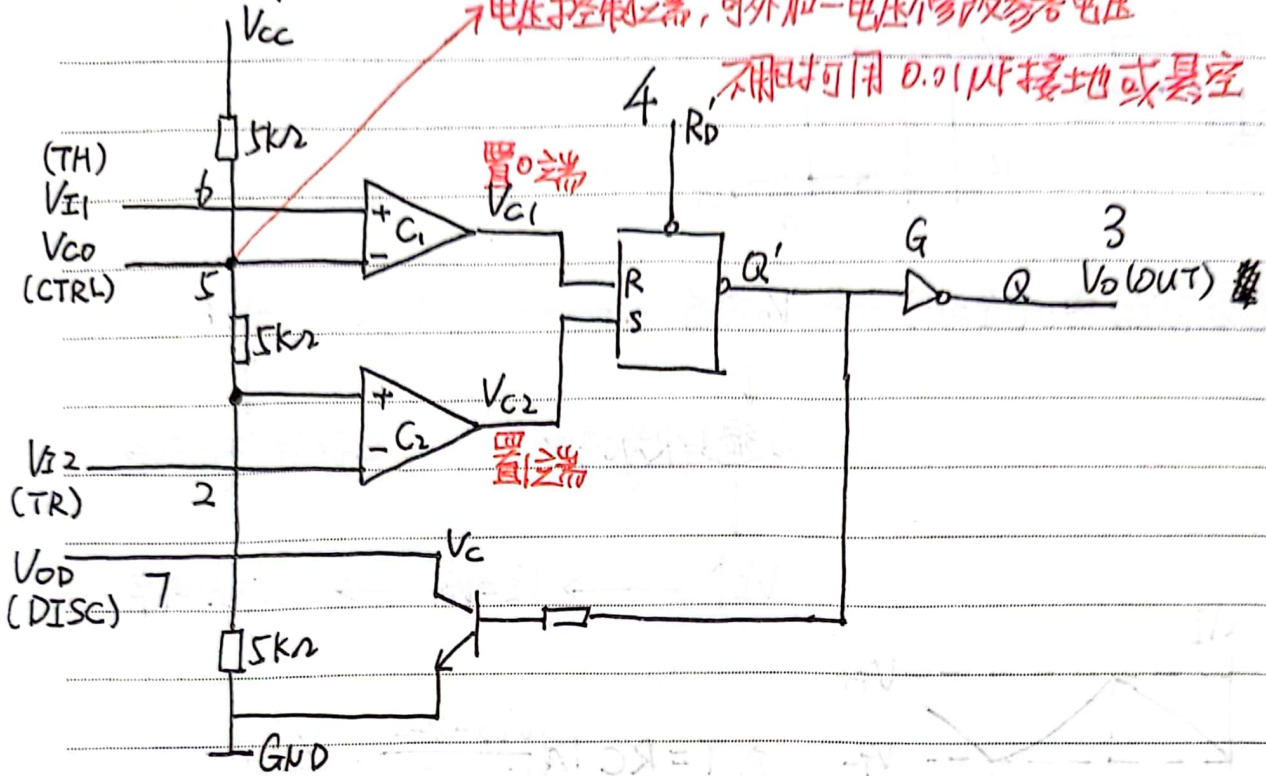
$$T = RC \ln \left( \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} \cdot \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$



$$\Rightarrow \text{可变占空比 } T = R_2 C \ln \frac{V_{DD} - V_{T-}}{V_{DD} - V_{T+}} + R_1 C \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

#### 4. 555 定时器及其应用 ★★★

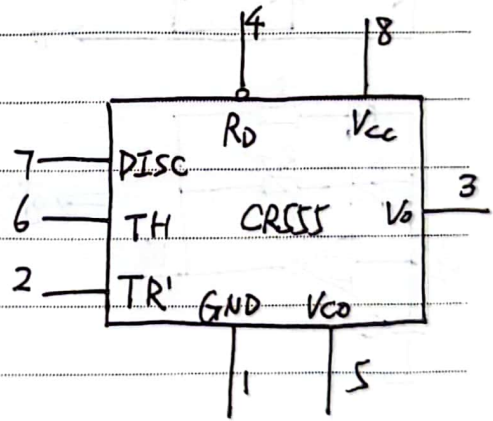
(1) 电路结构



功能表

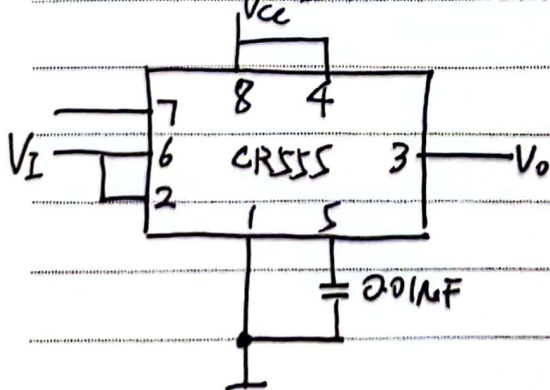
符号:

输入			输出	
$R_D$	$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_O$	$T_D$
0	x	x	0	通
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	0	通
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	不变	不变
1	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	断
1	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	1	断



都大为0, 都为1, 一小一大保持

(2) 用555定时器构成施密特触发器



输入从0到高的过程

- ①  $V_I < \frac{1}{3}V_{CC}$   $Q=1$   $V_O=V_{OH}$
- ②  $\frac{1}{3}V_{CC} < V_I < \frac{2}{3}V_{CC}$   $Q=1$   $V_O=V_{OH}$  保持
- ③  $V_I > \frac{2}{3}V_{CC}$   $Q=0$   $V_O=V_{OL}$

$V_{T+} = \frac{2}{3}V_{CC}$

输入从  $\frac{2}{3}V_{CC}$  逐渐下降的过程 (当  $V_I > \frac{2}{3}V_{CC}$  时  $Q=0$   $V_O=V_{OL}$ )

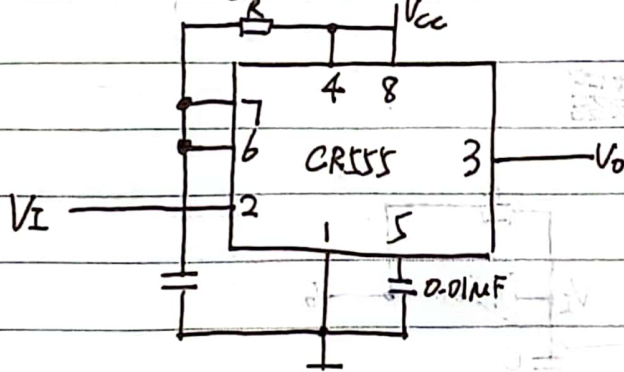
①  $\frac{1}{3}V_{CC} < V_I < \frac{2}{3}V_{CC}$   $Q=0$   $V_O=V_{OL}$  保持

②  $V_I < \frac{1}{3}V_{CC}$   $Q=1$   $V_O=V_{OH}$

$V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC}$

若5脚接  $V_{CC}$   $\Rightarrow$   $\left. \begin{array}{l} V_{T+} = V_{CC} \\ V_{T-} = \frac{1}{3}V_{CC} \end{array} \right\}$

(3) 用555定时器接成单稳态触发电路



①  $V_I=1$   $V_O=0$   $T_D$  导通  $\rightarrow$  稳态

② 若通电后  $Q=0 \rightarrow T_D$  导通  $\rightarrow V_C=0, V_{C1}=0, V_{C2}=0 \rightarrow Q=0$  保持

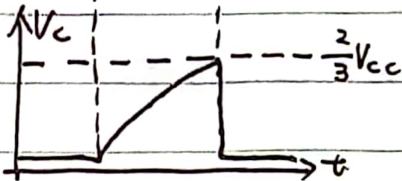
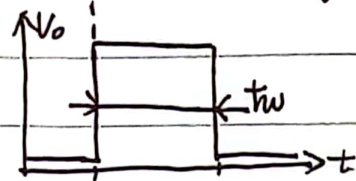
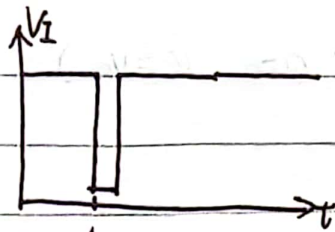
③ 若通电后  $Q=1 \rightarrow T_D$  断  $\rightarrow C$  充电至  $V_C = \frac{2}{3}V_{CC} \rightarrow V_{C1}=1$   
 $\rightarrow Q=0 \rightarrow T_D$  导通  $\rightarrow C$  放电  $\rightarrow V_{C1}=0, V_{C2}=0 \rightarrow Q=0$  保持

④ 若触发脉冲的下降沿到来时 ( $V_I < \frac{1}{3}V_{CC}$ )

$\left. \begin{array}{l} V_{C1}=0 \\ V_{C2}=1 \end{array} \right\} \rightarrow Q=1$  暂稳态  $\rightarrow T_D$  截止,  $C$  充电

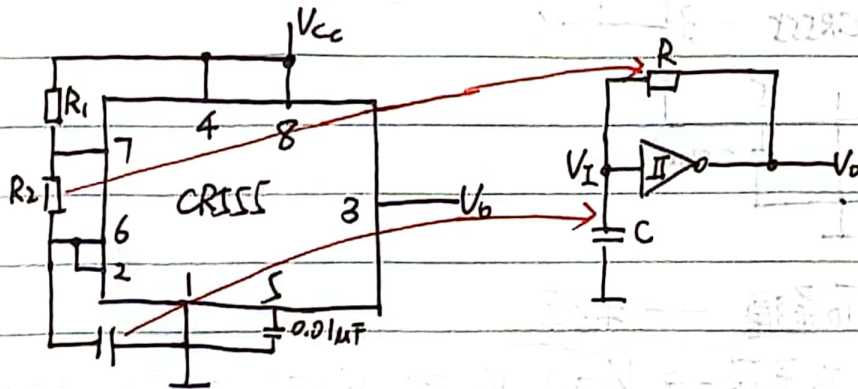
至  $V_C = \frac{2}{3}V_{CC} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_{C1}=1 \\ V_{C2}=0 \end{array} \right\} (V_I \text{ 已恢复高电平}) \rightarrow Q=0 \rightarrow T_D$  导通

$\rightarrow C$  放电  $\rightarrow V_{C1}=0, V_{C2}=0 \rightarrow Q=0, V_O=0$  (回到稳态)



$$\star t_w = RC \ln \frac{V_{cc} - 0}{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}} = RC \ln 3$$

### (3) 用555定时器接成多谐振荡器



① 电源接通  $Q=1$   $V_o=1$

$Q=1 \rightarrow T_D$  截止,  $C$  充电  $\rightarrow$  至  $V_c = \frac{2}{3}V_{cc}$  时  $\left\{ \begin{array}{l} V_{c1} = 1 \rightarrow Q=0 \\ V_{c2} = 0 \end{array} \right.$

$\Rightarrow Q=0 \rightarrow T_D$  导通,  $C$  放电  $\rightarrow$  至  $V_c = \frac{1}{3}V_{cc}$  时  $\left\{ \begin{array}{l} V_{c1} = 0 \rightarrow Q=1 \\ V_{c2} = 1 \end{array} \right.$

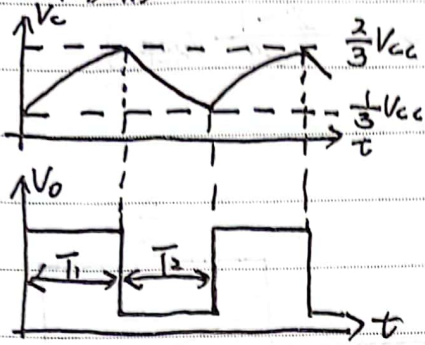
② 电源接通  $Q=0$   $V_o=0$

$Q=0 \rightarrow T_D$  导通,  $C$  放电  $\rightarrow$  至  $V_c = \frac{1}{3}V_{cc}$  时  $\left\{ \begin{array}{l} V_{c1} = 0 \rightarrow Q=1 \\ V_{c2} = 1 \end{array} \right.$

$Q=1 \rightarrow T_D$  截止,  $C$  充电  $\rightarrow$  至  $V_c = \frac{2}{3}V_{cc}$  时  $\left\{ \begin{array}{l} V_{c1} = 1 \rightarrow Q=0 \\ V_{c2} = 0 \end{array} \right.$



工作波形

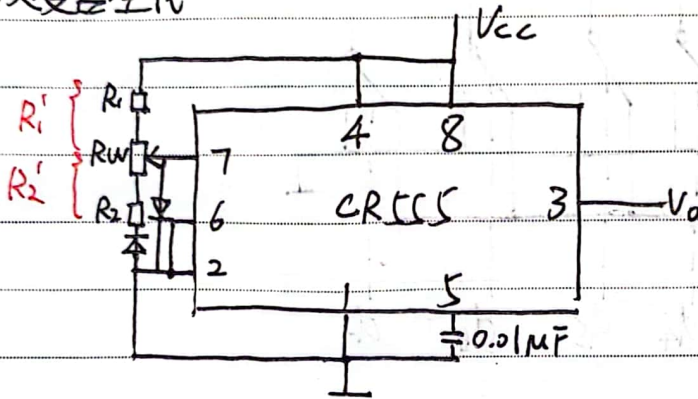


$$\begin{cases} T_1 = (R_1 + R_2)C \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}} \\ T_2 = R_2 C \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = (R_1 + 2R_2)C / 12$$

$$q = \frac{T_1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} > 50\%$$

改变占空比

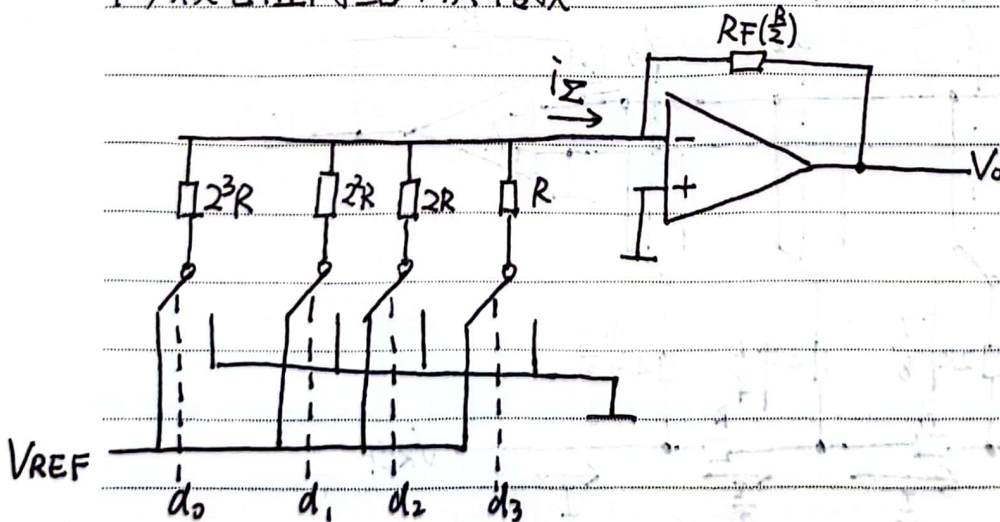


$$q = \frac{R_1'}{R_1' + R_2'}$$

## 第八章: D/A转换器和A/D转换器

### 1. D/A转换器

#### (1) 权电阻网络 D/A 转换



$$V_o = -R_F \cdot i_\Sigma$$

$$= -R_F \cdot \left( \frac{V_{REF}}{R} d_3 + \frac{V_{REF}}{2R} d_2 + \frac{V_{REF}}{2^2 R} d_1 + \frac{V_{REF}}{2^3 R} d_0 \right)$$

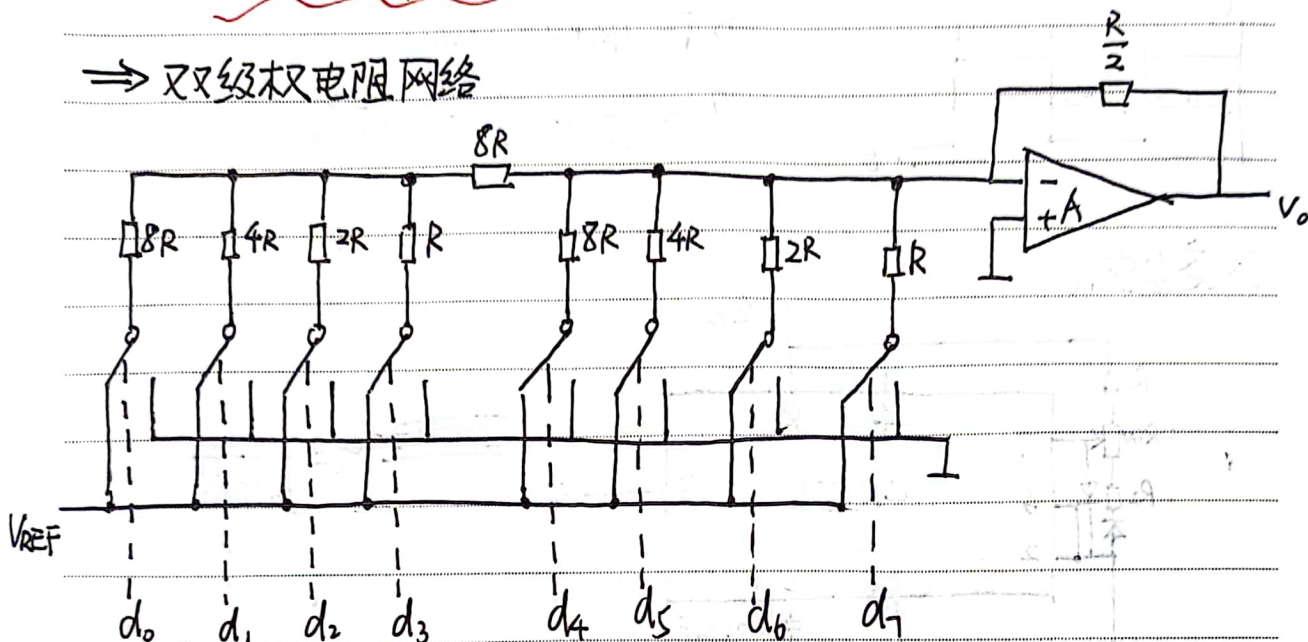
$$= -\frac{V_{REF}}{2^4} (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

若是n位输入

$$V_o = -\frac{V_{REF}}{2^n} (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + 2^0 d_0) \in (0 \sim -\frac{2^n - 1}{2^n} V_{REF})$$

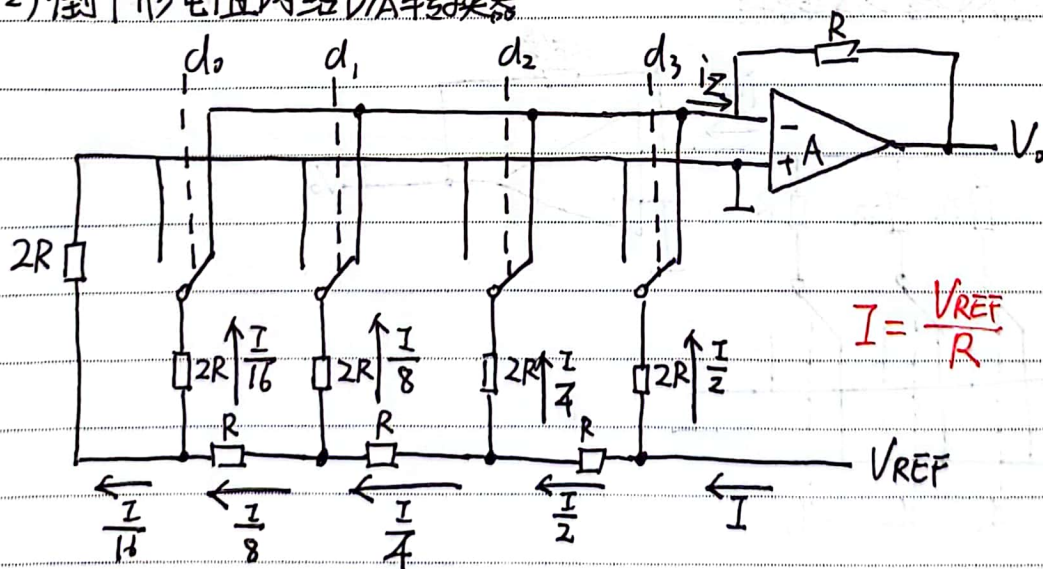
缺点：电阻阻值相差很大

⇒ 双级权电阻网络



$$V_o = -\frac{V_{REF}}{2^8} (d_7 \cdot 2^7 + \dots + d_0 \cdot 2^0)$$

(2) 倒T形电阻网络D/A转换器

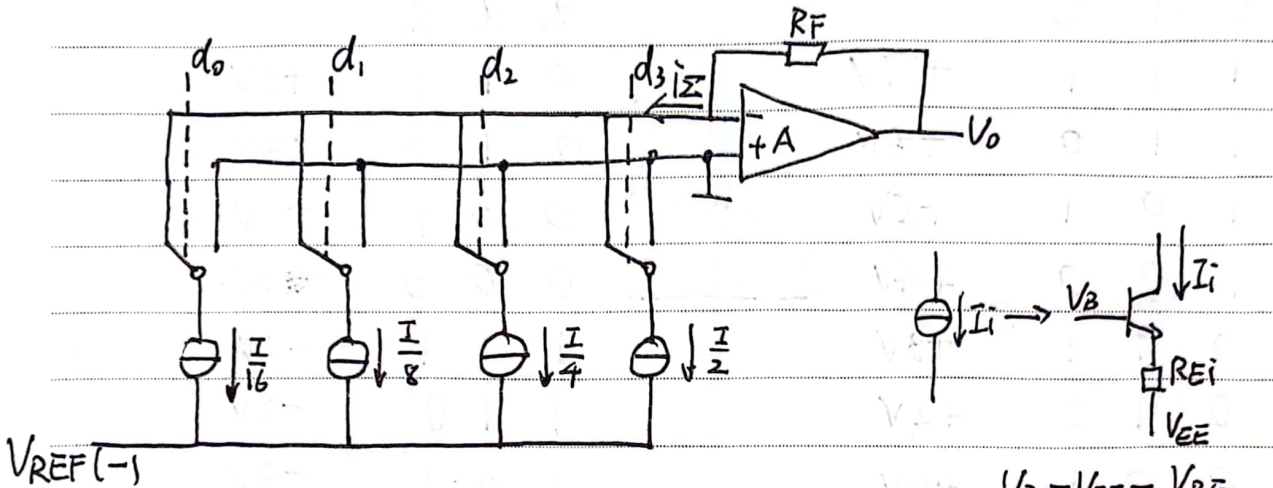


$$I = \frac{V_{REF}}{R}$$

$$V_o = -R \cdot i_3 = -\frac{V_{REF}}{2^4} (d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$

若n位输入  $V_o = -\frac{V_{REF}}{2^n} (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + d_0 \cdot 2^0)$

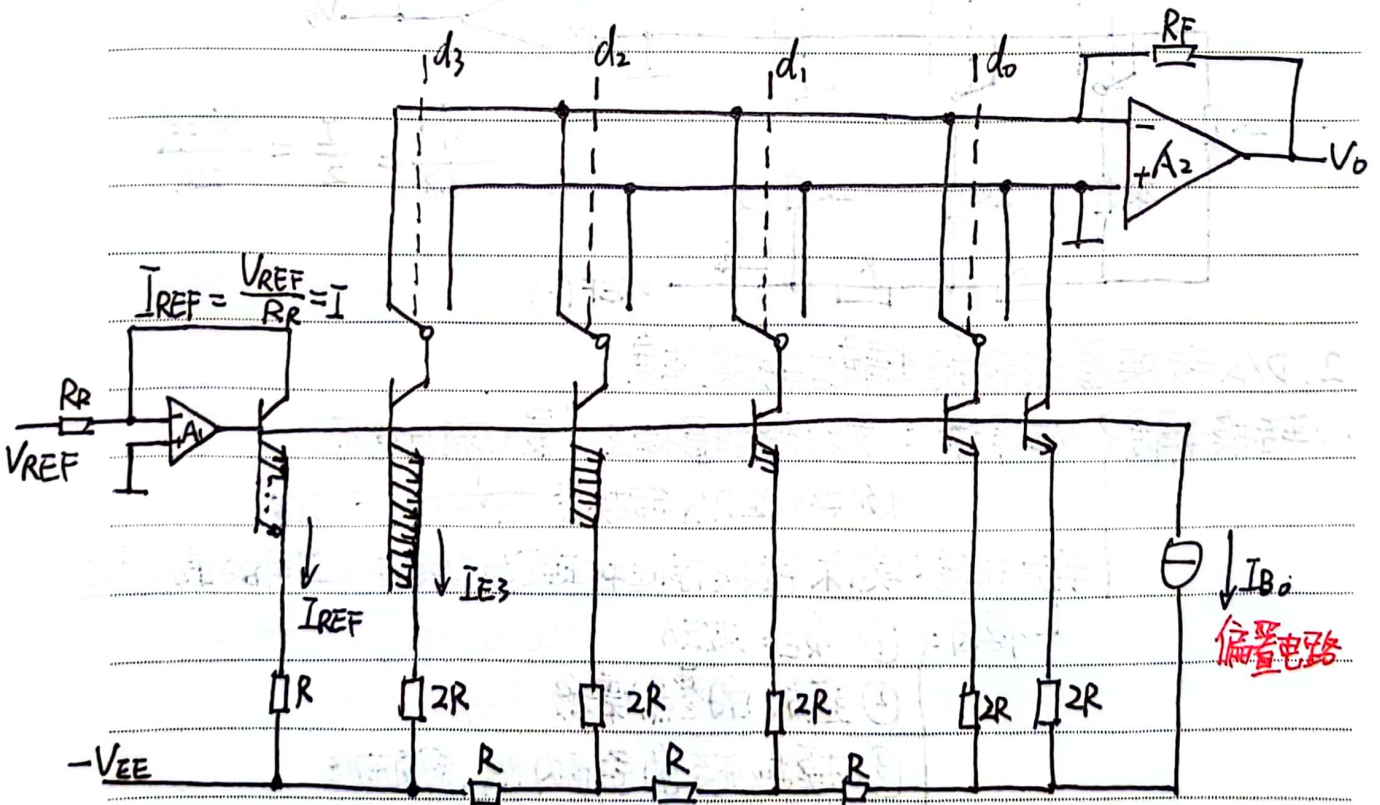
### (3) 电流型 D/A 转换器



$$I_i \approx \frac{V_B - V_{EE} - V_{BE}}{R_{Ei}}$$

$$V_o = I_{\Sigma} R_F = \frac{R_F I}{2^4} (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

为减少电阻种类，结合倒T形电阻网络和电流型 D/A 转换器

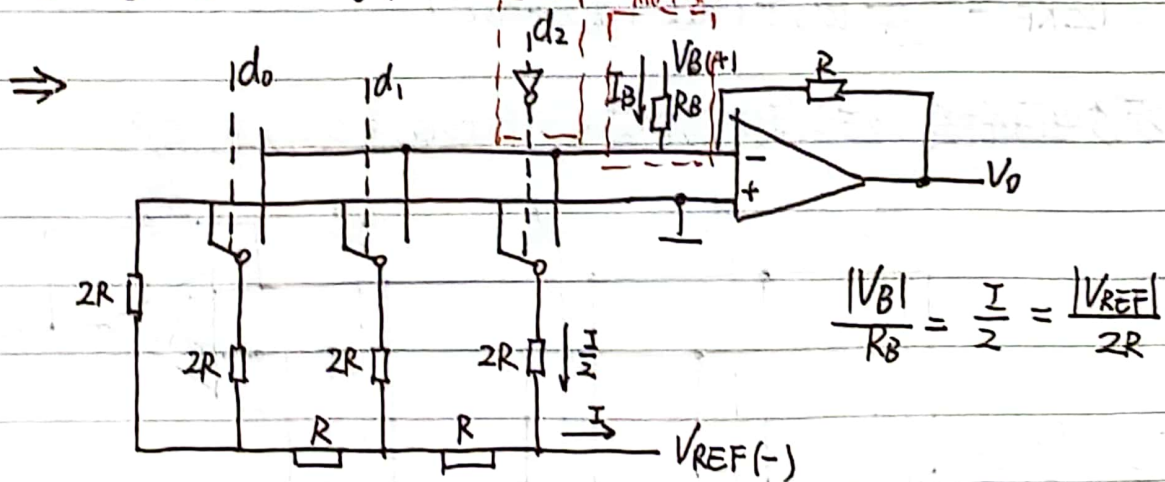


$$I_{REF} = 2I_{E3} = \frac{V_{REF}}{R_R} = I$$

$$V_o = \frac{R_F \cdot V_{REF}}{2^n - R_R} (d_{n-1} 2^{n-1} + \dots + d_0 2^0)$$

#### (4) 具有双极性输出的D/A转换器

$d_2$	$d_1$	$d_0$	Output	$d_2$	$d_1$	$d_0$	Output
1	1	1	+7V	0	1	1	+3V
1	1	0	+6V	0	1	0	+2V
1	0	1	+5V	0	0	1	+1V
1	0	0	+4V	0	0	0	0V
0	1	1	+3V	1	1	1	-1V
0	1	0	+2V	1	1	0	-2V
0	0	1	+1V	1	0	1	-3V
0	0	0	0V	1	0	0	-4V



#### 2. D/A转换器的转换精度与转换速度

(1) 转换精度 } 分辨率: 能分辨的最小电压 / 最大输出电压

例如4位D/A转换器  $\frac{1}{2^4 - 1} = \frac{1}{1023}$

转换误差: 实际转换特性和理想转换特性之间的最大偏差

原因: ①  $V_{REF}$  波动  $\rightarrow$  与输入成正比

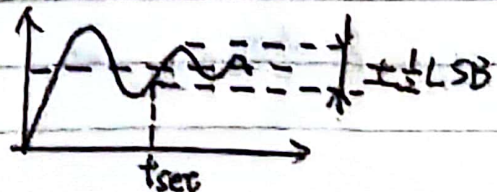
② 运放的零点漂移 与输入无关

③ 模拟开关的导通内阻、导通压降

④ 电阻阻值偏差

⑤ 三极管特性不一致

(2) 转换速度: 建立时间  $t_{set}$



### 3. A/D转换器 → 取样、保持、量化、编码

#### (1) 编码方式

输入信号  $V_i$

代表的模拟电压

1V		111	$7\Delta = \frac{7}{8}V$
$\frac{7}{8}V$		110	$6\Delta = \frac{6}{8}V$
$\frac{6}{8}V$		101	$5\Delta = \frac{5}{8}V$
$\frac{5}{8}V$		100	$4\Delta = \frac{4}{8}V$
$\frac{4}{8}V$		011	$3\Delta = \frac{3}{8}V$
$\frac{3}{8}V$		010	$2\Delta = \frac{2}{8}V$
$\frac{2}{8}V$		001	$1\Delta = \frac{1}{8}V$
$\frac{1}{8}V$		000	$0\Delta = 0V$
0V			

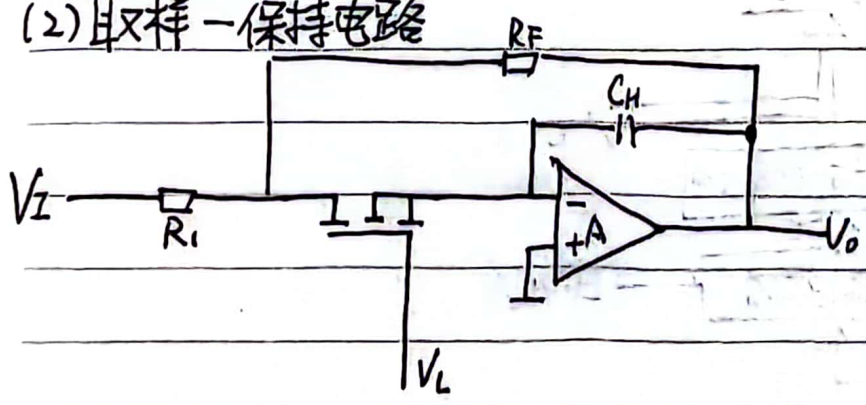
⇒ 只舍不入的量化方式  
(最大误差为  $\Delta$ )

输入信号  $V_i$

1V		$7\Delta = \frac{14}{15}V$
$\frac{13}{15}V$		$6\Delta = \frac{12}{15}V$
$\frac{11}{15}V$		$5\Delta = \frac{10}{15}V$
$\frac{9}{15}V$		$4\Delta = \frac{8}{15}V$
$\frac{7}{15}V$		$3\Delta = \frac{6}{15}V$
$\frac{5}{15}V$		$2\Delta = \frac{4}{15}V$
$\frac{3}{15}V$		$1\Delta = \frac{2}{15}V$
$\frac{1}{15}V$		$0\Delta = \frac{0}{15}V$
0V		

⇒ 四舍五入的量化方式  
(最大量化误差为  $\frac{1}{2}\Delta$ )

#### (2) 取样-保持电路



假设  $R_1 = R_f$ , 运放是理想的

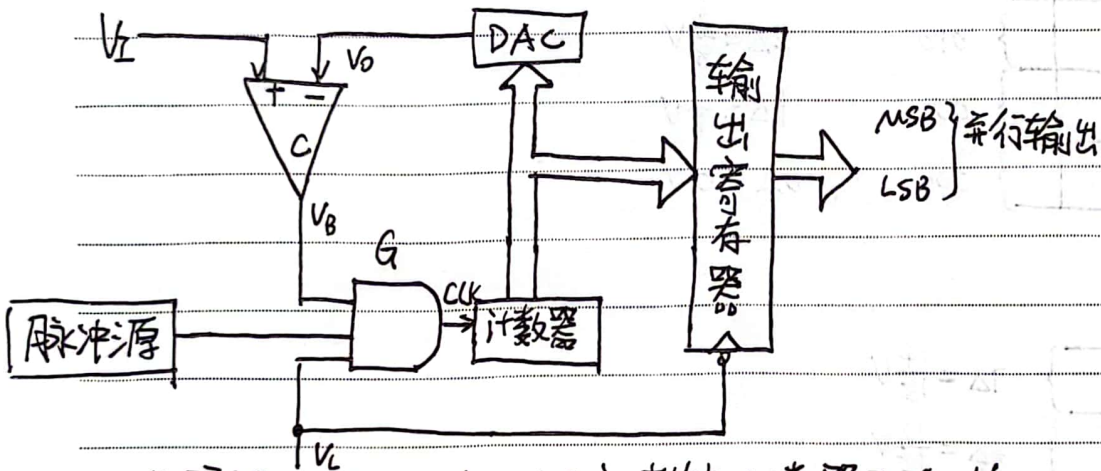
- ① 当  $V_L$  为高时,  $V_L$  通过  $R_1$  和  $T$  为  $C_H$  充电, 使  $V_o = V_c = -V_L$
- ② 当取样电压  $V_L$  为低时, MOS 截止,  $C_H$  两端电压基本不变(保持)

### (3) 几类 A/D 转换器

① 并联比较型 A/D 转换器

② 反馈比较型 A/D 转换器

(i) 计数型 A/D 转换器



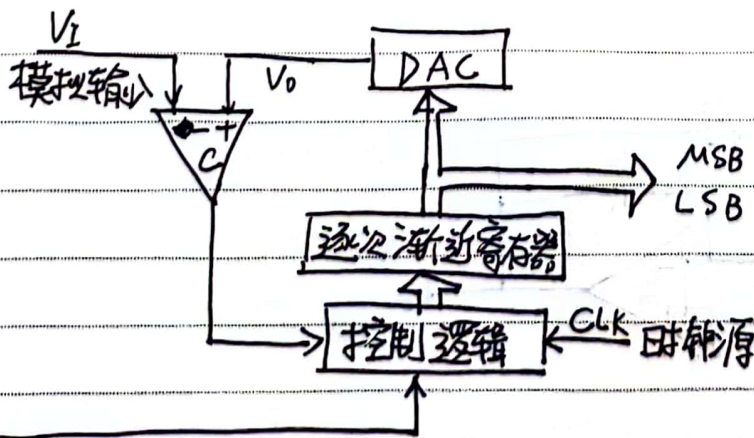
计数器清 0 且  $V_L = 0$ , 此时  $G$  被封锁, 计数器不工作,  $V_o = 0$

$V_L$  为高时, 开始转换, 计数器开始计数, DAC 输出电压不断增加

当  $V_L = V_o$  且  $V_B = 0$ ,  $G$  封锁, 停止计数, 计数器状态就是所求信号

最长转换时间  $T_{cp} = (2^n - 1) T_{clk}$

(ii) 逐次渐近型 A/D 转换器



$V_L$  转换控制信号

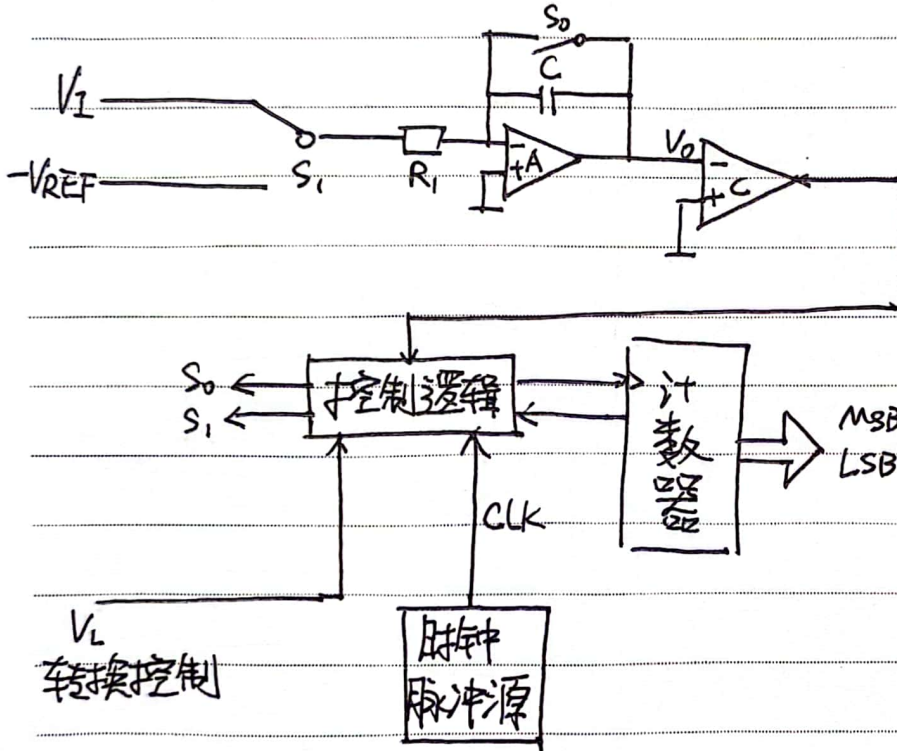
工作原理: 先设寄存器状态, 最高位为1, 其他位为0

当  $V_0 > V_I$  时, 去掉这个1, 若  $V_0 < V_I$  这个1

再将次高位设为1, 依次比较直至最低位为止

最长转换时间  $(n+2)T_{CP}$

### ③ 双积分型 A/D 转换器 (V-T 转换型)



工作原理: 开始前  $V_L=0$  清零, 并接通  $S_0$ , 使电容放电

①  $V_L=1$  时, 开始转换 ( $S_0$  断开), 使  $S_1$  在  $V_I$  一侧

$$V_0 = \frac{1}{C} \int_0^{T_1} \left(-\frac{V_I}{R}\right) dt \Rightarrow V_0 = -\frac{T_1}{RC} V_I$$

②  $S_1$  打到  $-V_{REF}$

$$V_0 = \frac{1}{C} \int_0^{T_2} \frac{V_{REF}}{R} dt - \frac{T_1}{RC} V_I = 0 \Rightarrow \frac{T_2}{RC} V_{REF} = \frac{T_1}{RC} V_I$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{V_{REF}} V_I$$

在电路中  $N=2^n$ , 即  $T_1=2^n T_C$

$$D = \frac{T_2}{T_C} = \frac{T_1}{T_C V_{REF}} V_I = \frac{N}{V_{REF}} V_I$$

固有频率  $T_C = \frac{1}{f}$

#### 4. A/D转换器的转换速度

并联最快, 次之是逐位渐近, 间接最慢

