



# 第2章 门电路

## 2.1 概 述

## 2.2 半导体器件的开关特性

## 2.3 分立元件门电路

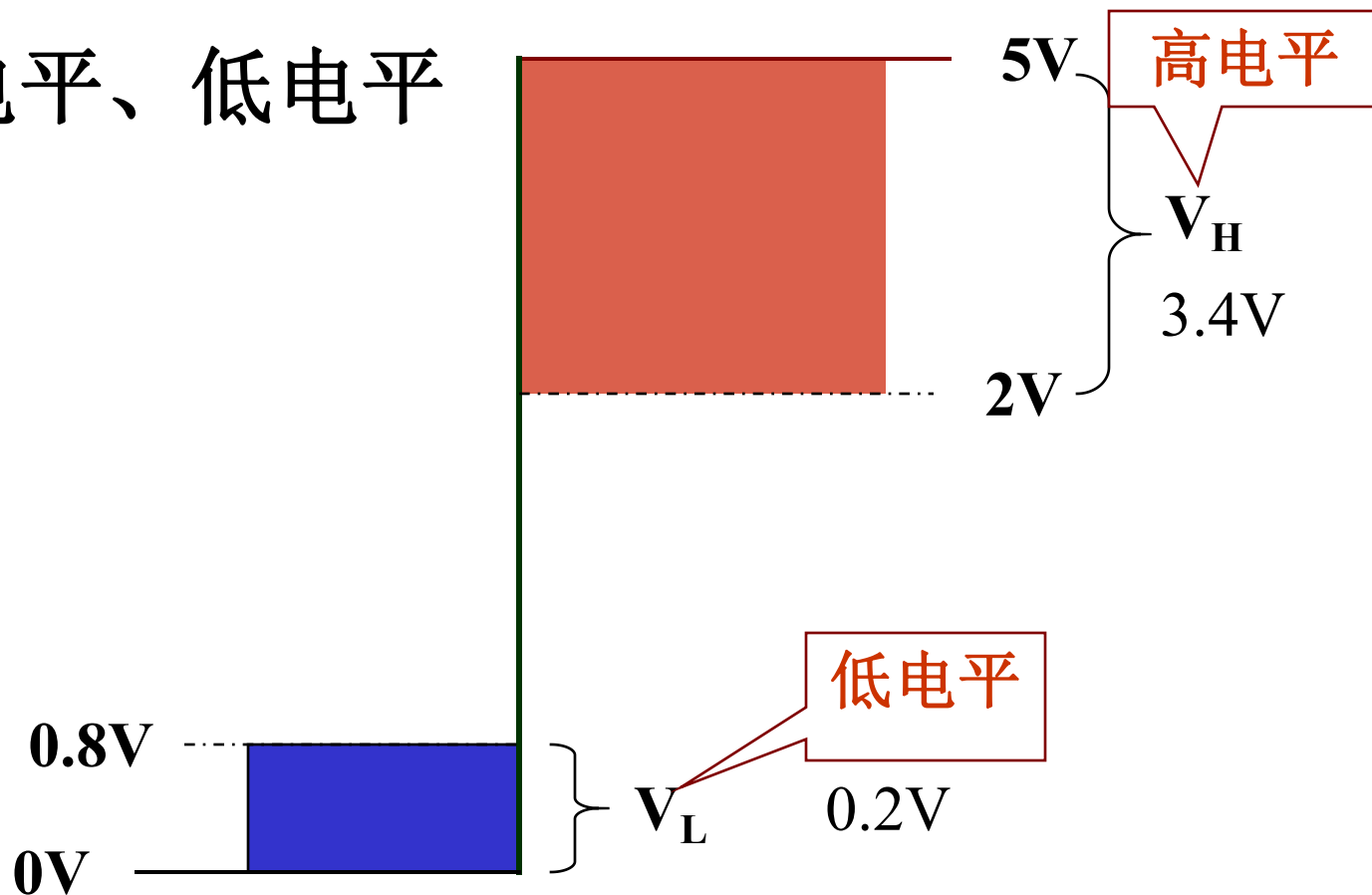
## 2.4 TTL集成门电路

## 2.5 CMOS集成门电路



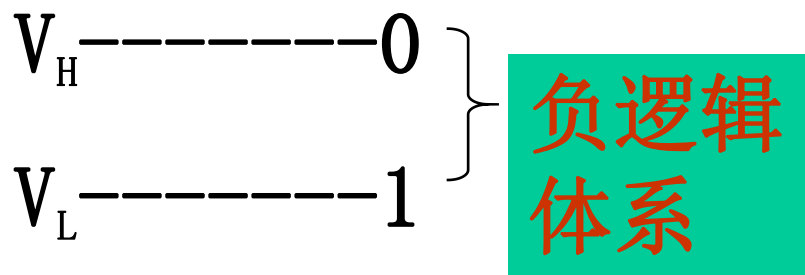
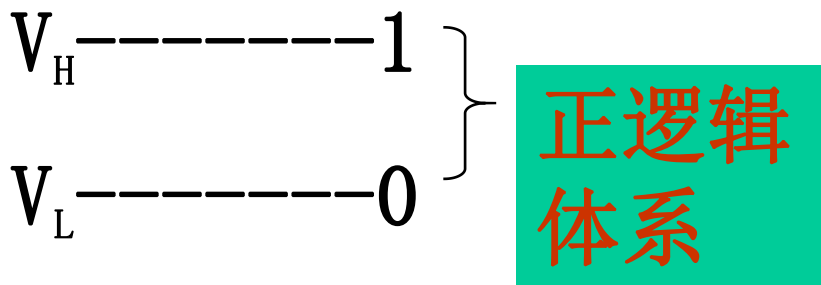
## 2.1 概述

### 一、高电平、低电平

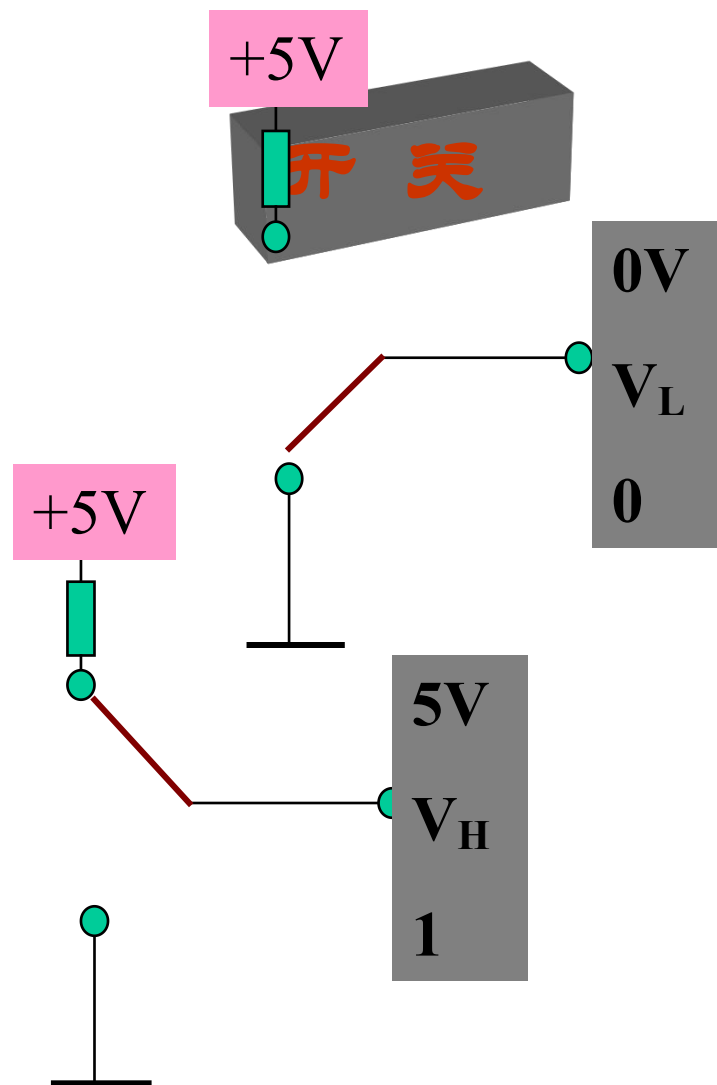




## 二、逻辑赋值



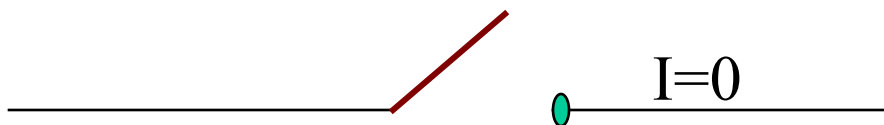
## 三、高低电平获取方法





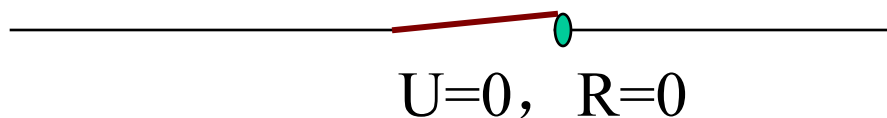
## • 理想开关

- 开关打开时：电流为零



机械开关  
电子开关

- 开关闭合时：导通电压为零，导通电阻为零

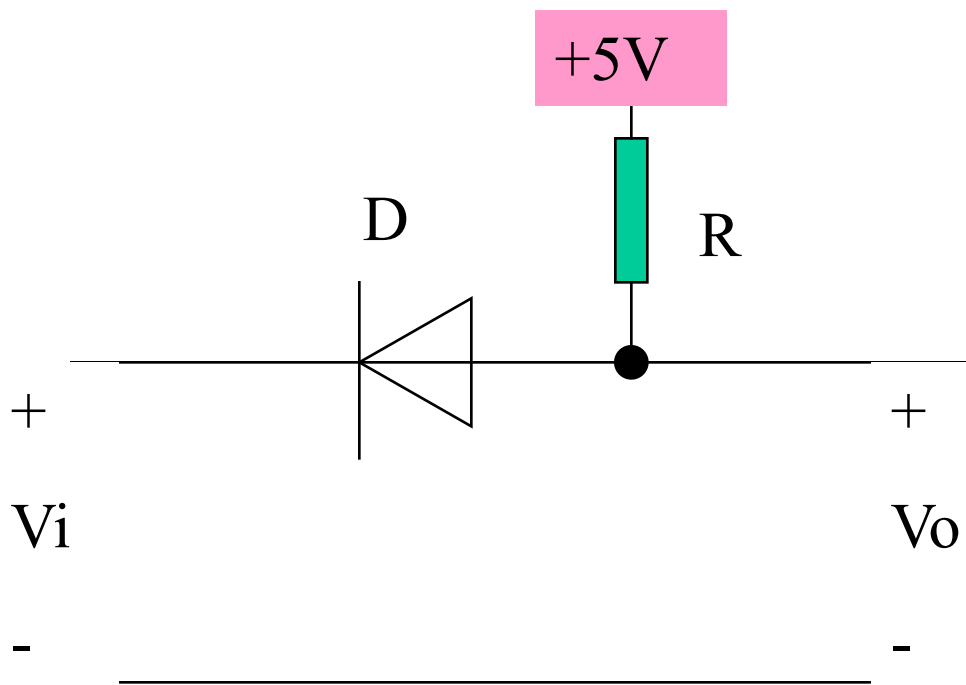


- 开关动作在瞬时完成



## 2.2 半导体器件的开关特性

### 2.2.1 二极管的开关特性



1. 二极管导通:

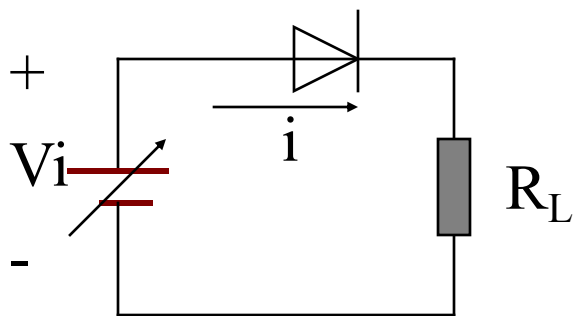
**$V_i=0V$** 时,  **$D$** 正向导通,  **$V_o=0.7V$** , 相当于开关闭合。

2. 二极管截止:

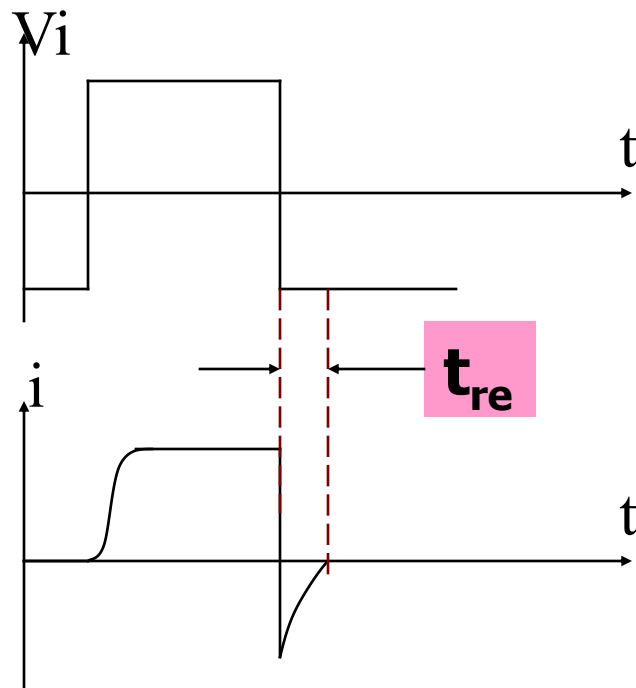
**$V_i=5V$** 时,  **$D$** 反向截止,  **$V_o=5V$** , 相当于开关打开。



## 2.2.2 二极管的动态开关特性



$t_{re} < 10\text{nS}$



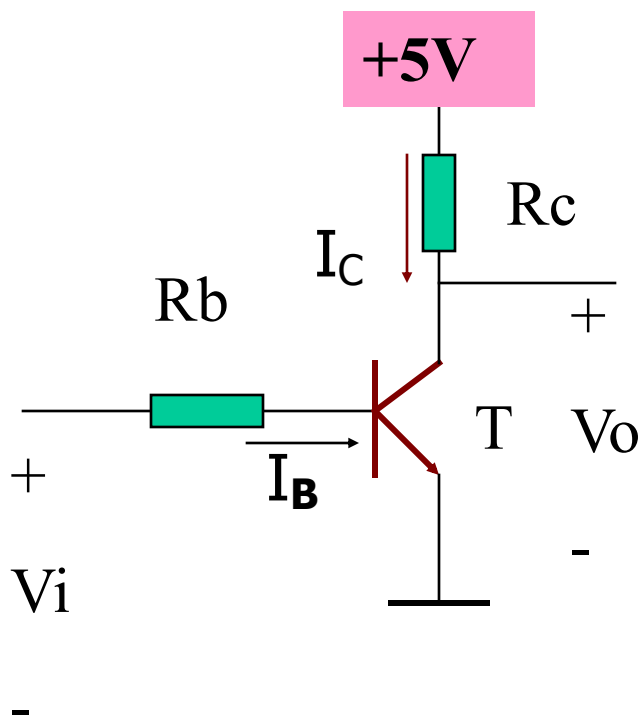
反向恢复时间 $t_{re}$ 是影响开关速度的主要因素，其原因在于PN结的电容效应。



## 2.2.3 三极管的开关特性

### 1) 三极管截止

**$V_i=0V$ 时, T截止,  $I_B=0$ ,  $I_C \approx 0$ ,  $V_{CE} \approx V_{CC}$ ,  $V_o=5V$ , CE间相当于断开的开关。**



### 2) 三极管饱和导通

**$V_i=V_{iH}$ 时,  $I_B = (V_i - 0.7)/R_b$ ,**

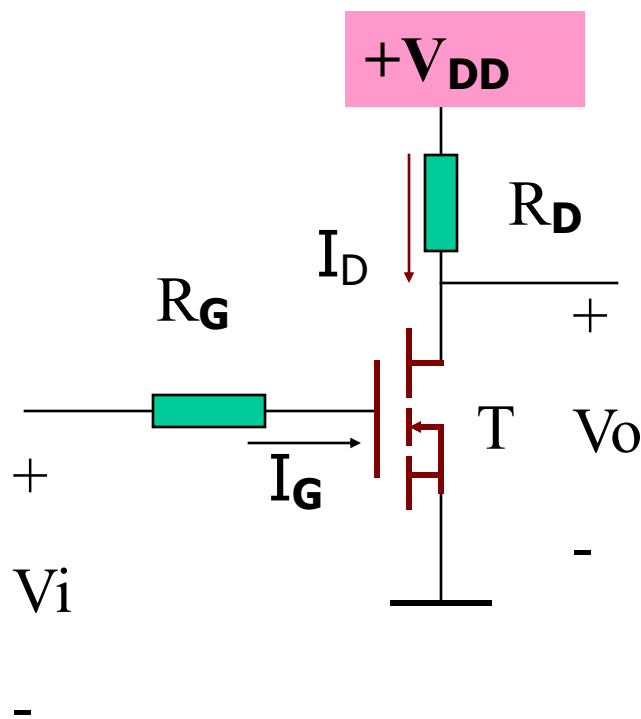
**$I_{CS} \approx V_{CC}/R_c, I_{BS} = I_{CS} / \beta$ ,**

**当  $I_B > I_{BS}$  时, 三极管饱和导通**

**$V_{CE} = V_{CES} = 0.2V$ ,  $V_o = 0.2V$ ,  
CE间相当于闭合的开关。**



## 2.2.4 MOS管的开关特性



### 1) MOS管截止

$V_i=0V$ 时:  $V_{GS} < V_{GS(th)}$ , MOS管工作在截止区,  $I_D=0$ , DS间相当于断开的开关,  $V_o=V_{DD}$ 。

### 2) MOS管导通

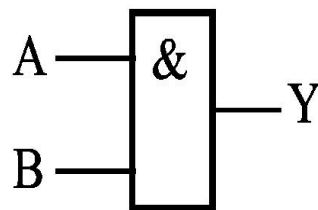
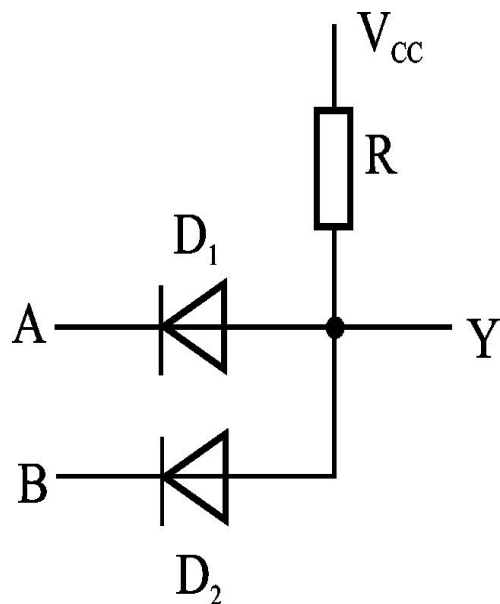
$V_i=V_{DD}$ 时:  $V_{GS} > V_{GS(th)}$ ,  $V_{GD} > V_{GS(th)}$ , MOS管工作于可变电阻区,  $R_{ON} < 1K\Omega$ , D, S间相当于闭合的开关。  
 $V_o = V_{DD} R_{ON} / (R_{ON} + R_D) \approx 0V$





## 2.3 分立元件门电路

### 2.3.1 二极管“与门”

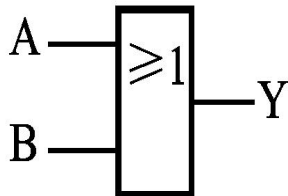
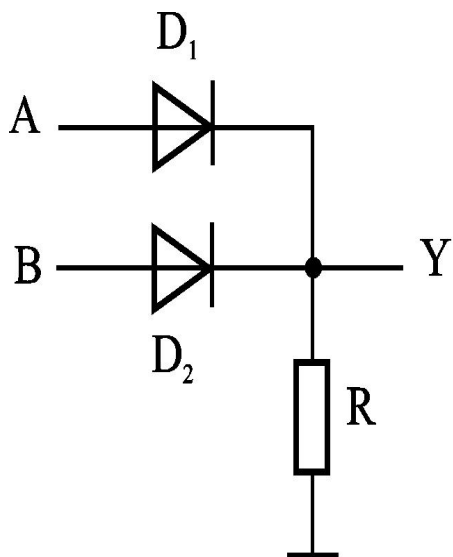


| $V_A$ | $V_B$ | $V_Y$       |
|-------|-------|-------------|
| 0V    | 0V    | <b>0.7V</b> |
| 0V    | 3V    | <b>0.7V</b> |
| 3V    | 0V    | <b>0.7V</b> |
| 3V    | 3V    | <b>3.7V</b> |

| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |



## 2.3.2 二极管“或门”



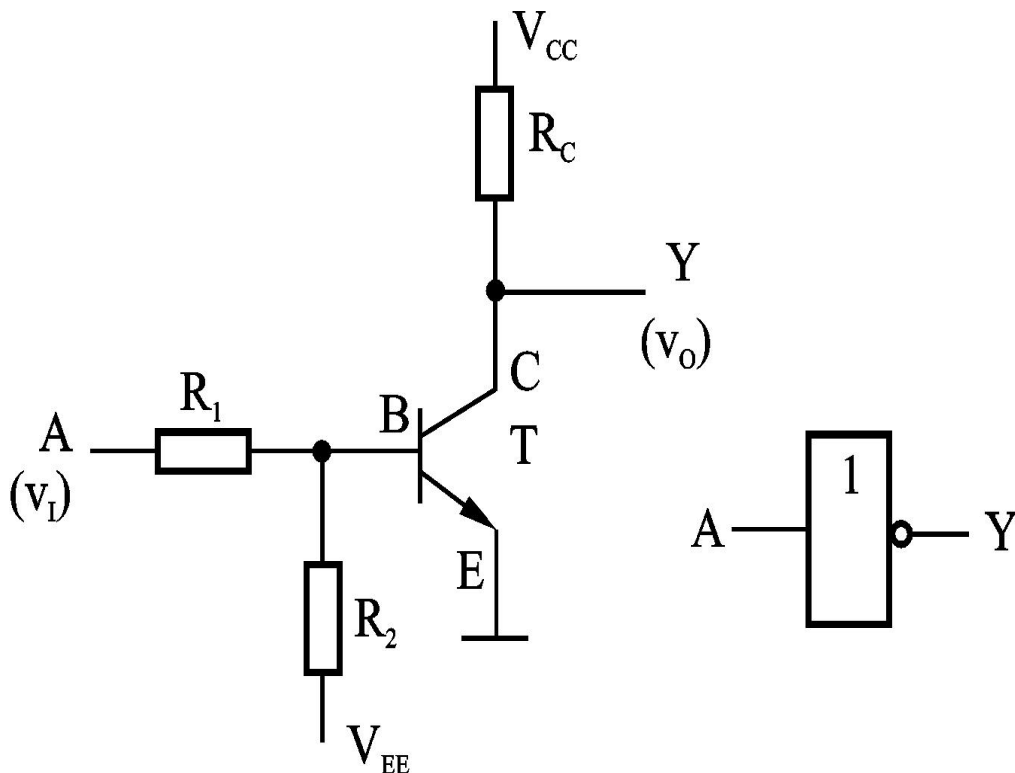
| $V_A$ | $V_B$ | $V_Y$ |
|-------|-------|-------|
| 0V    | 0V    | 0V    |
| 0V    | 3V    | 2.3V  |
| 3V    | 0V    | 2.3V  |
| 3V    | 3V    | 2.3V  |

| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |



## 2.3.3 三极管“非门”

分立元件门电路的输出电平存在偏移而且带负载能力较差, 工作不稳定, 可靠性差。



| $V_i$    | $V_o$    |
|----------|----------|
| 0V       | $V_{CC}$ |
| $V_{CC}$ | 0.2V     |

| A | Y |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

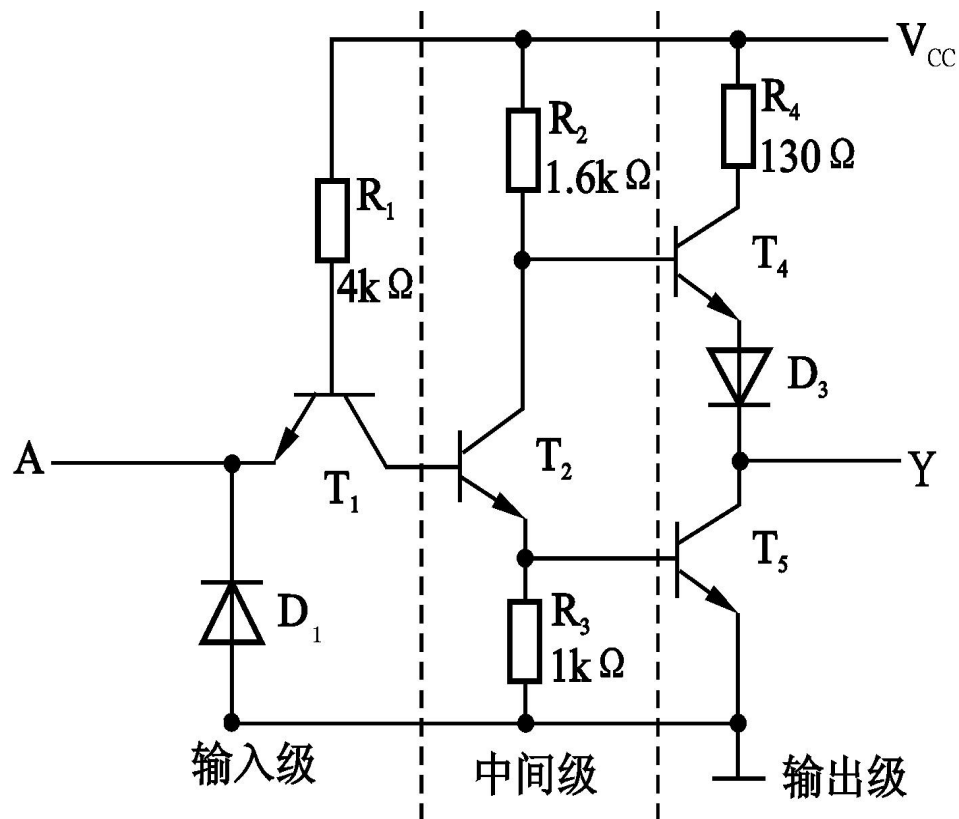


## 2.4 TTL集成门电路

- 集成电路：把二极管、三极管、电阻和连线都制作在一块半导体基片上构成具有一定功能的电路。
- 集成电路可分为线性集成电路、**数字集成电路**、混合集成电路。
- 数字集成电路可分为**SSI**、MSI、LSI、VLSI。
- SSI从功能可分为**门电路**、触发器
- 门电路从集成工艺可分为**双极型**、**MOS型**
- 双极型工艺可分为**TTL**、HTL、ECL、I<sup>2</sup>L
- MOS型工艺可分为NMOS、PMOS、**CMOS**



# 一、TTL逻辑门



## 1. TTL反相器的结构和原理

### 1) 结构

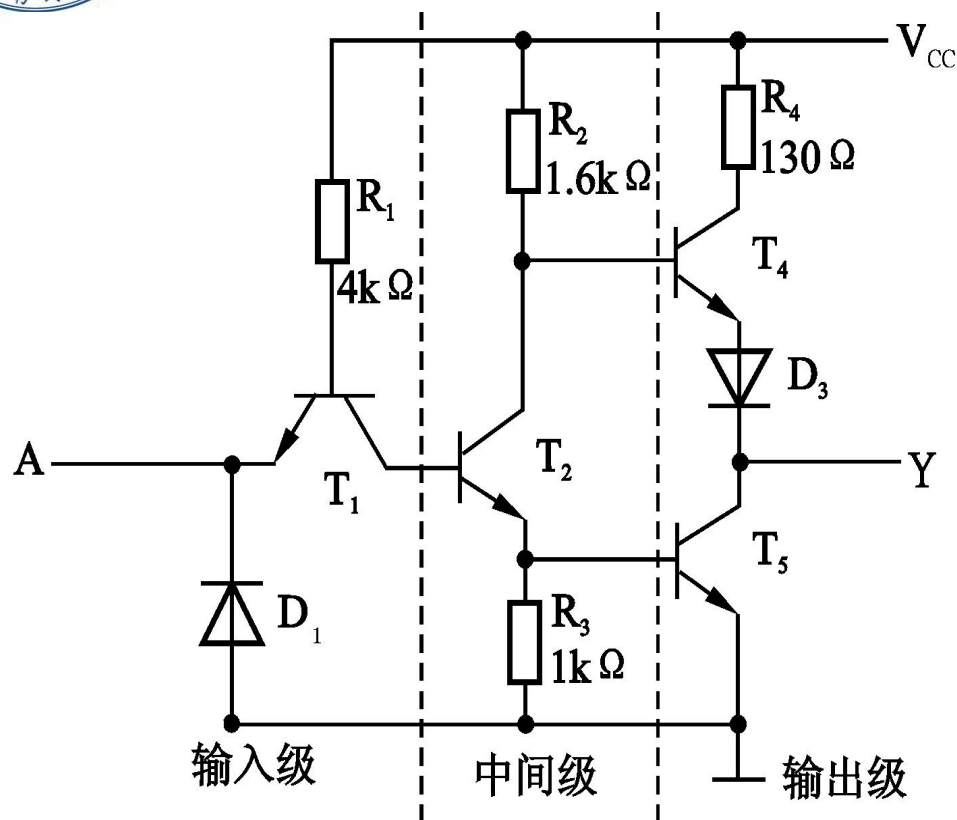
TTL反相器由三部分构成：输入级、中间级和输出级。



## 2) 原理

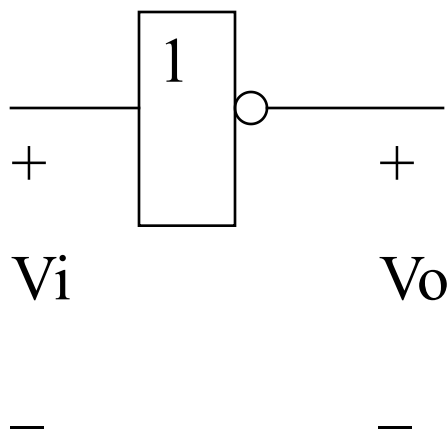
A为低电平时，T1饱和， $V_{B1} \approx 0.9V$ ， $V_{B2} \approx 0.2V$ ，T2和T5截止，T4和D2导通，Y为高电平；

A为高电平时， $V_{B1} \approx 2.1V$ ，T1倒置， $V_{B2} \approx 1.4V$ ，T2和T5饱和，T4和D2截止，Y为低电平。

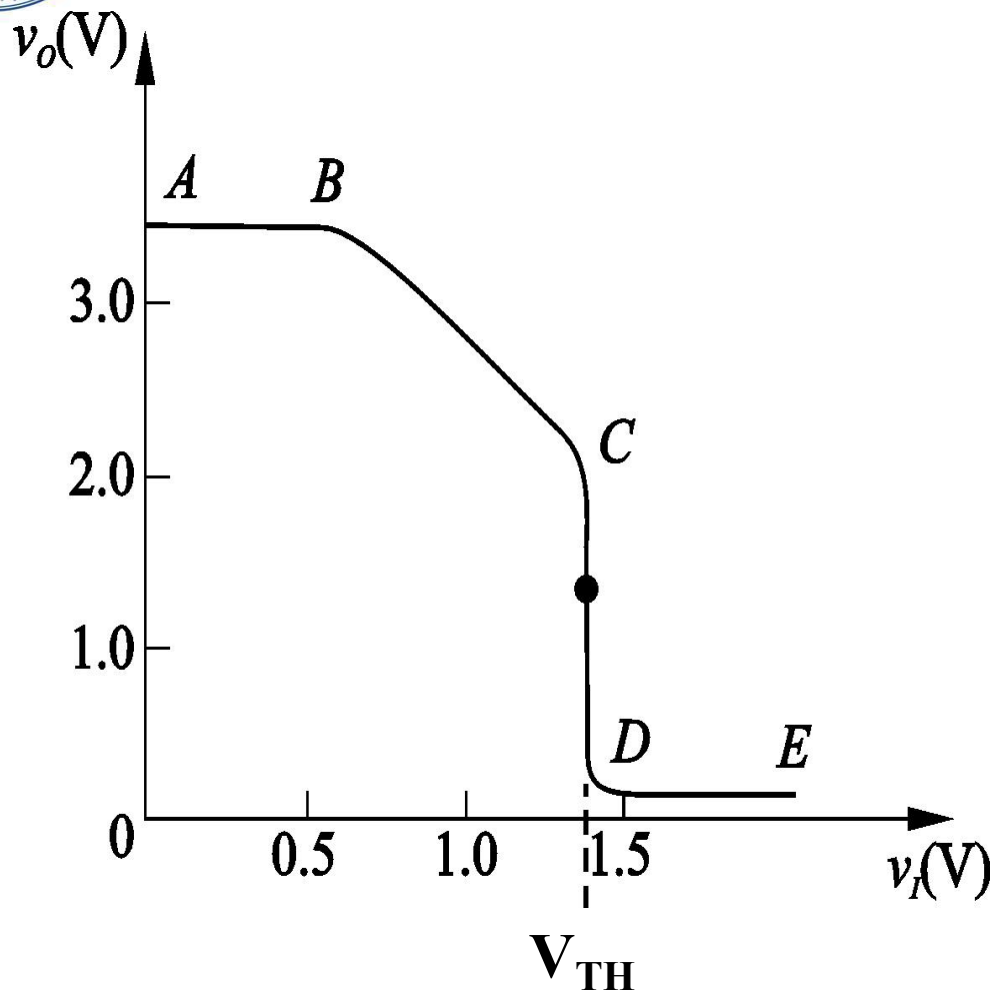




## 2. TTL反相器的电压传输特性



$$V_o = f(V_i)$$



分为四个区段：

AB段：  $U_I < 0.6$  伏，截止区；BC段：  $0.6 \text{ 伏} < U_I < 1.3$  伏，线性区；

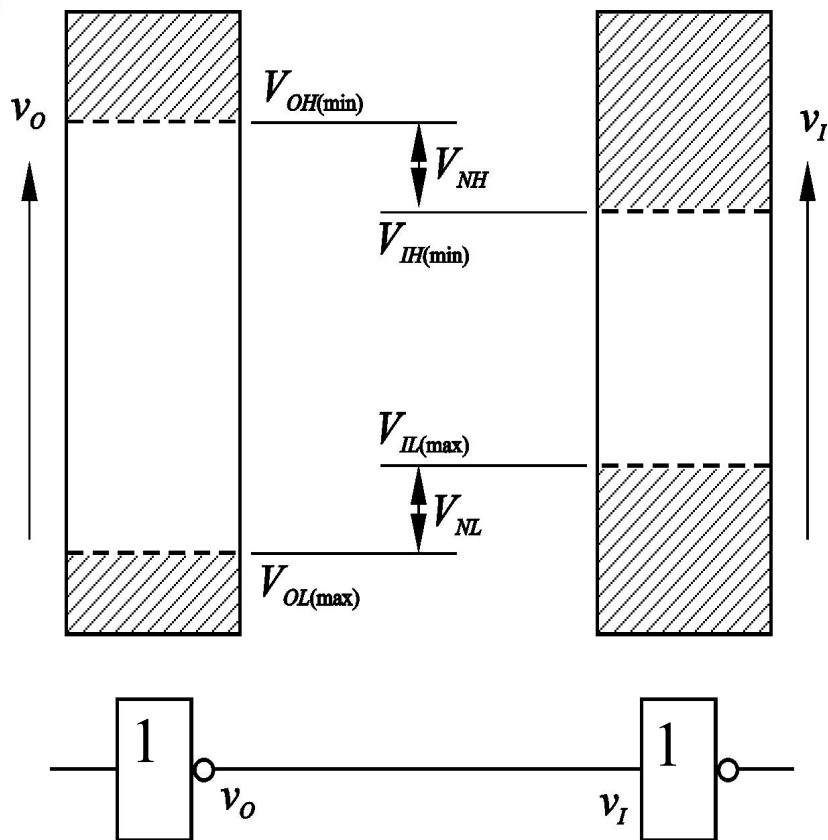
CD段：  $U_I \approx 1.4$  伏，转折区；DE段：  $U_I > 1.4$  伏，饱和区。

输出高电平：  $V_{OH} = 3.4V$

输出低电平：  $V_{OL} = 0.2V$

阈值电压：  $V_{TH} = 1.4V$





输入端噪声容限示意图

## 相关参数:

高电平噪声容限  $V_{NH}$ ,

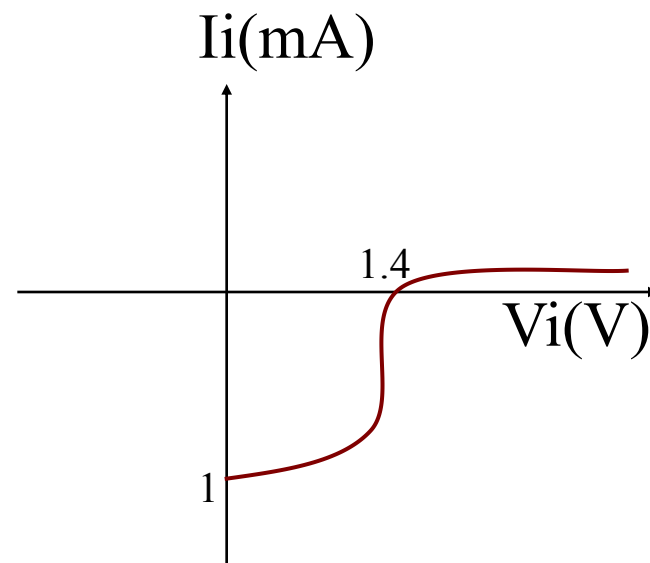
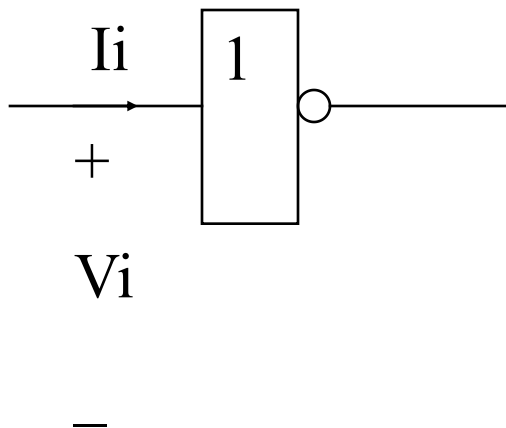
低电平噪声容限  $V_{NL}$ 。

$$V_{NH} = V_{NL} = 0.4 \text{ V}$$



### 3. TTL反相器的静态输入和输出特性

#### 1) 输入伏安特性 $I_i = f(V_i)$



输入短路电流:  $I_{IL} = 1\text{mA}$

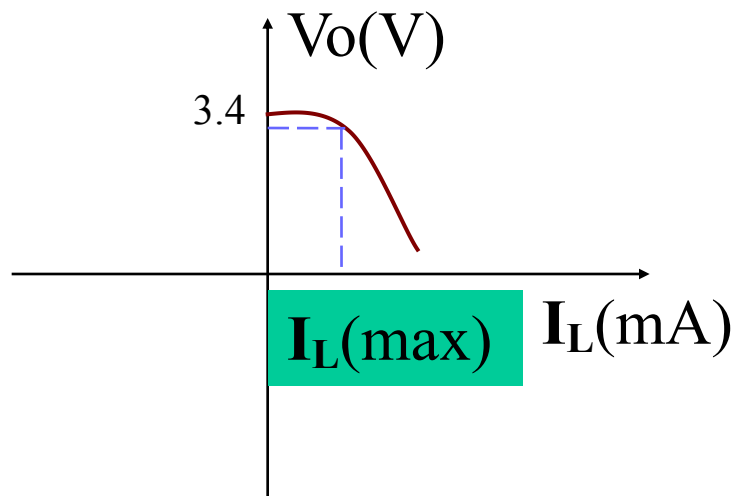
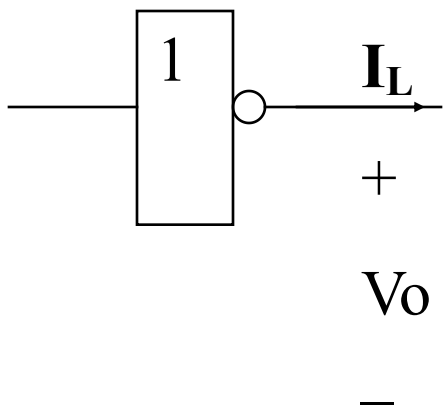
输入漏电流:  $I_{IH} = 40\mu\text{A}$



## 2) 输出特性

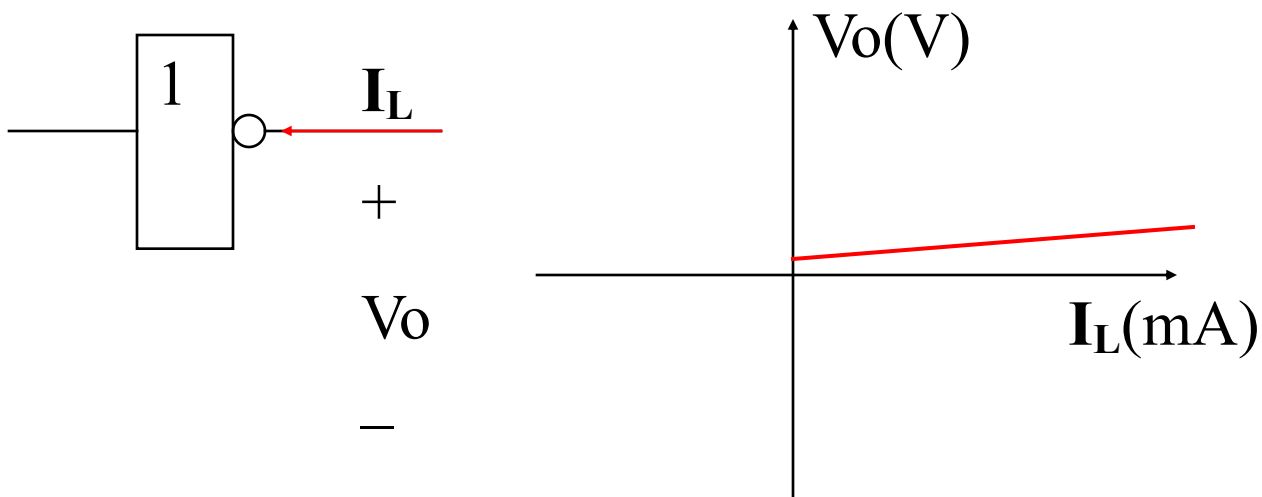
$$V_o = f(I_L)$$

### (1) 输出为高电平时





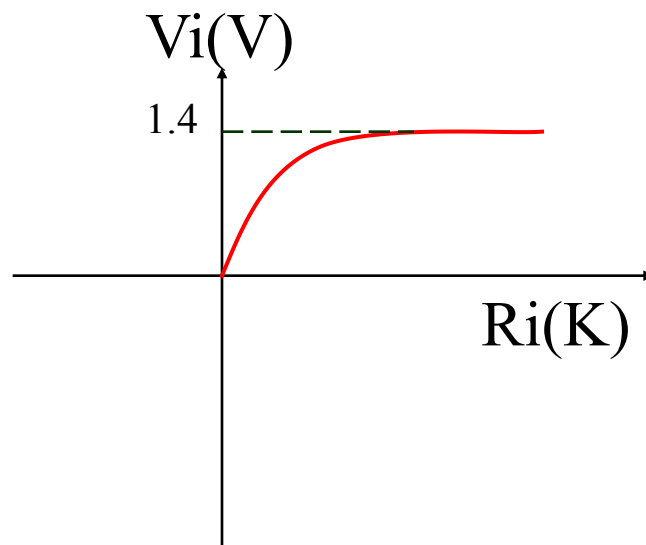
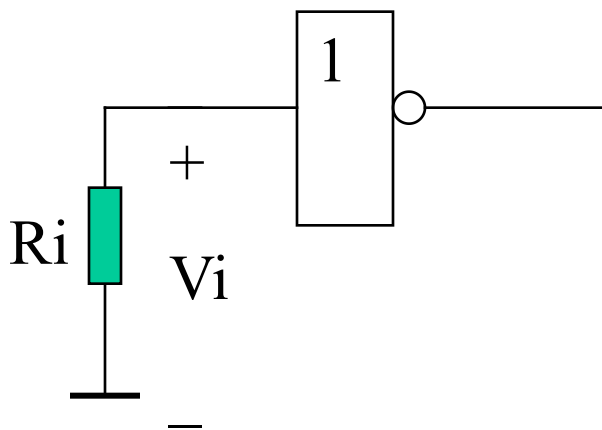
## (2) 输出为低电平时





### 3) 输入负载特性

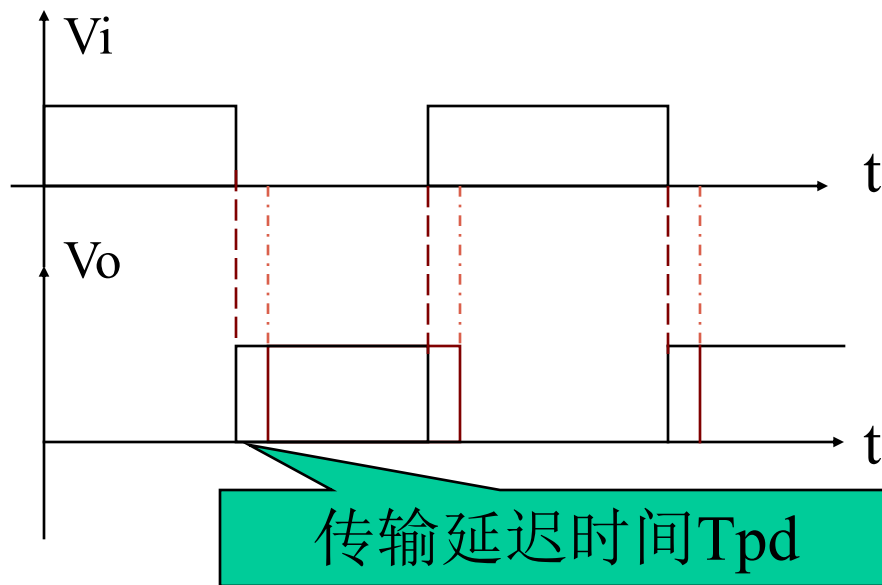
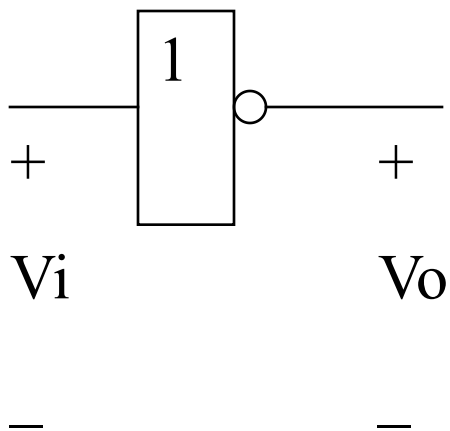
$$V_i = f(R_i)$$



- 输入端短路接地相当于接低电平
- 输入端电阻小于1K时相当于接低电平
- 输入端电阻大于1K时相当于接高电平
- 输入端悬空时相当于接高电平



## 4. TTL反相器的动态特性





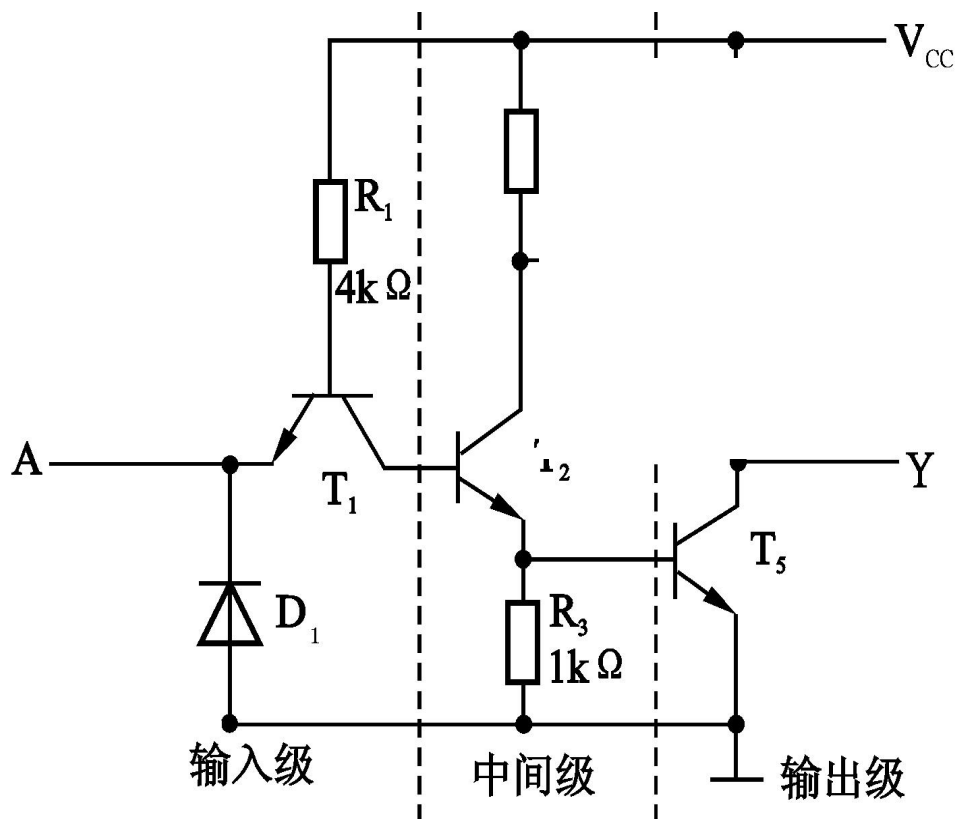
## 5. 其它逻辑功能的TTL门

- TTL门电路包括与门、或门、与非门、或非门、与或非门、异或门等几种常见的类型。
- TTL门电路输入端、端出端的电路结构形式与反相器基本相同
- 反相器的特性同样适用所有的TTL门电路



## 6. 特殊门电路

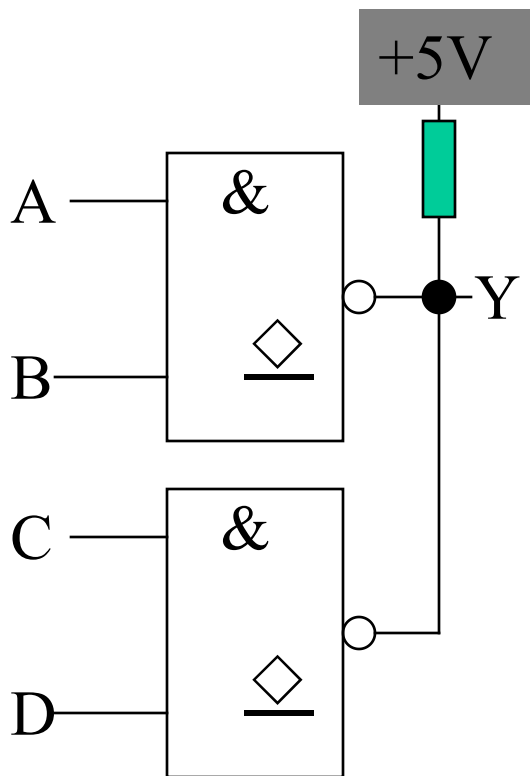
### 1) OC门（集电极开路的门电路）



$A=1, Y=0$

$A=0, Y$ 为高电阻





- $A=B=1$ 时,  $Y=0$
- 其它情况,  $Y$ 为高电阻

•使用时需外接电阻和电源, 电源取值一般为+5V, 电阻取值应恰当。

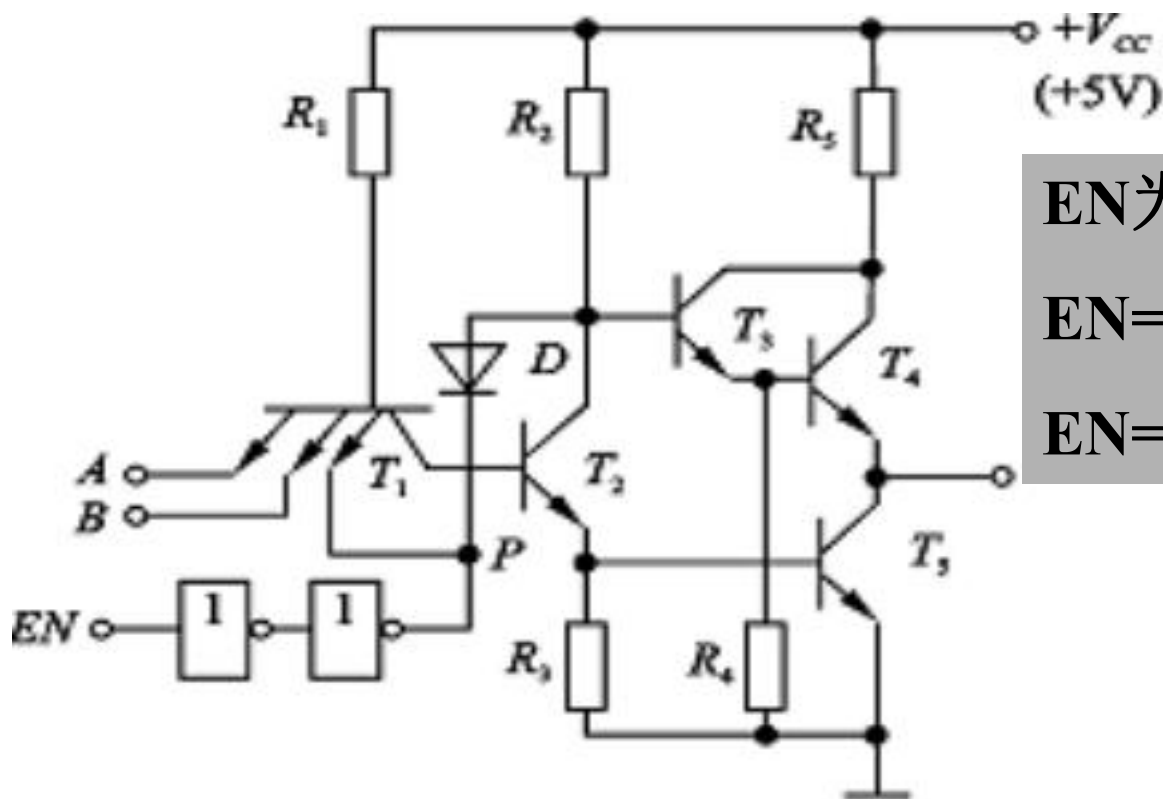
$$Y = \overline{AB}$$

可将多个OC门的输出端直接并联以实现“线与”。

$$Y = \overline{AB} \bullet \overline{CD}$$



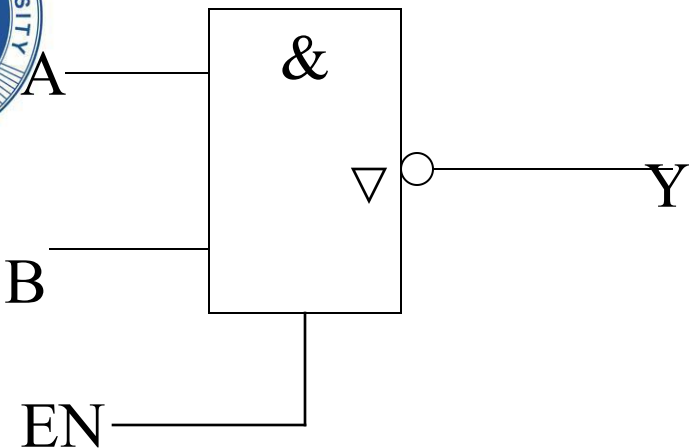
## 2) 三态输出门电路 (TS门)



EN为控制端 (使能端)

EN=0, Y为高阻

EN=1,  $Y = \overline{AB}$

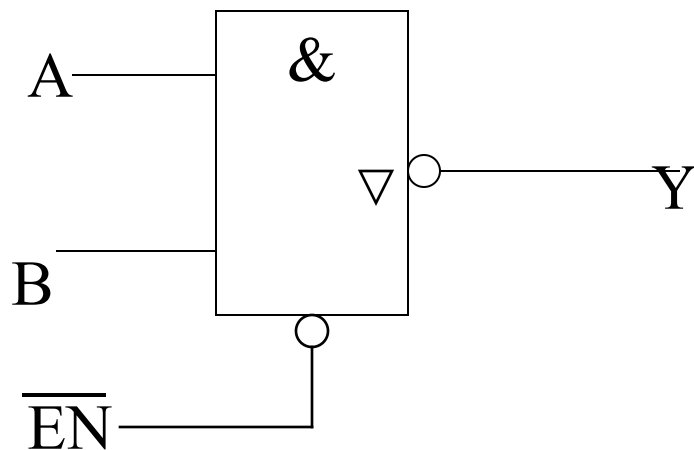


EN为控制端（使能端）

EN=0, Y为高阻

EN=1,  $Y = \overline{AB}$

控制端为高电平有效



$\overline{EN}$ 为控制端

$\overline{EN} = 1$ , Y为高阻

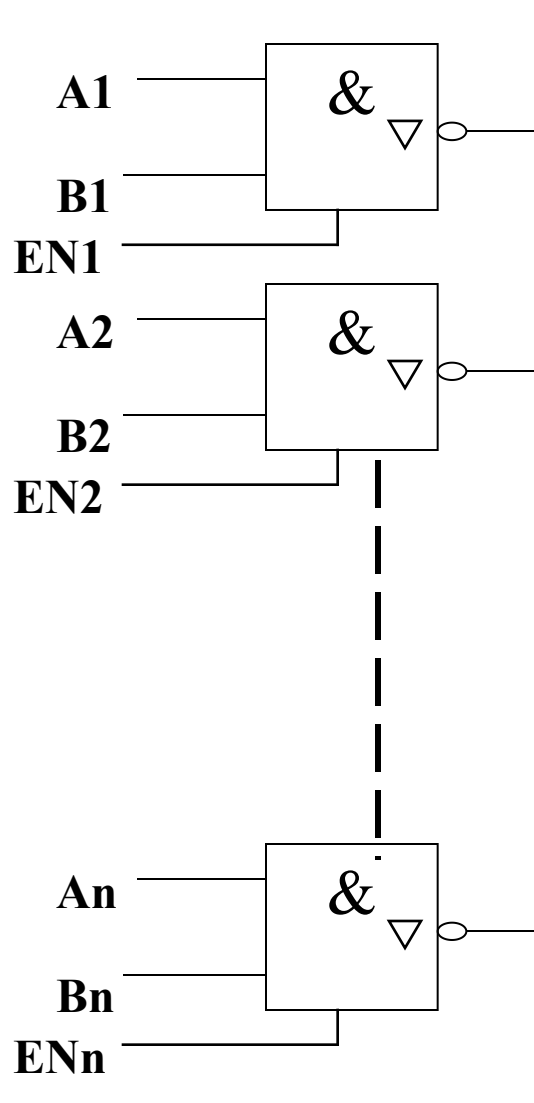
$\overline{EN} = 0$ ,  $Y = \overline{AB}$

控制端为低电平有效



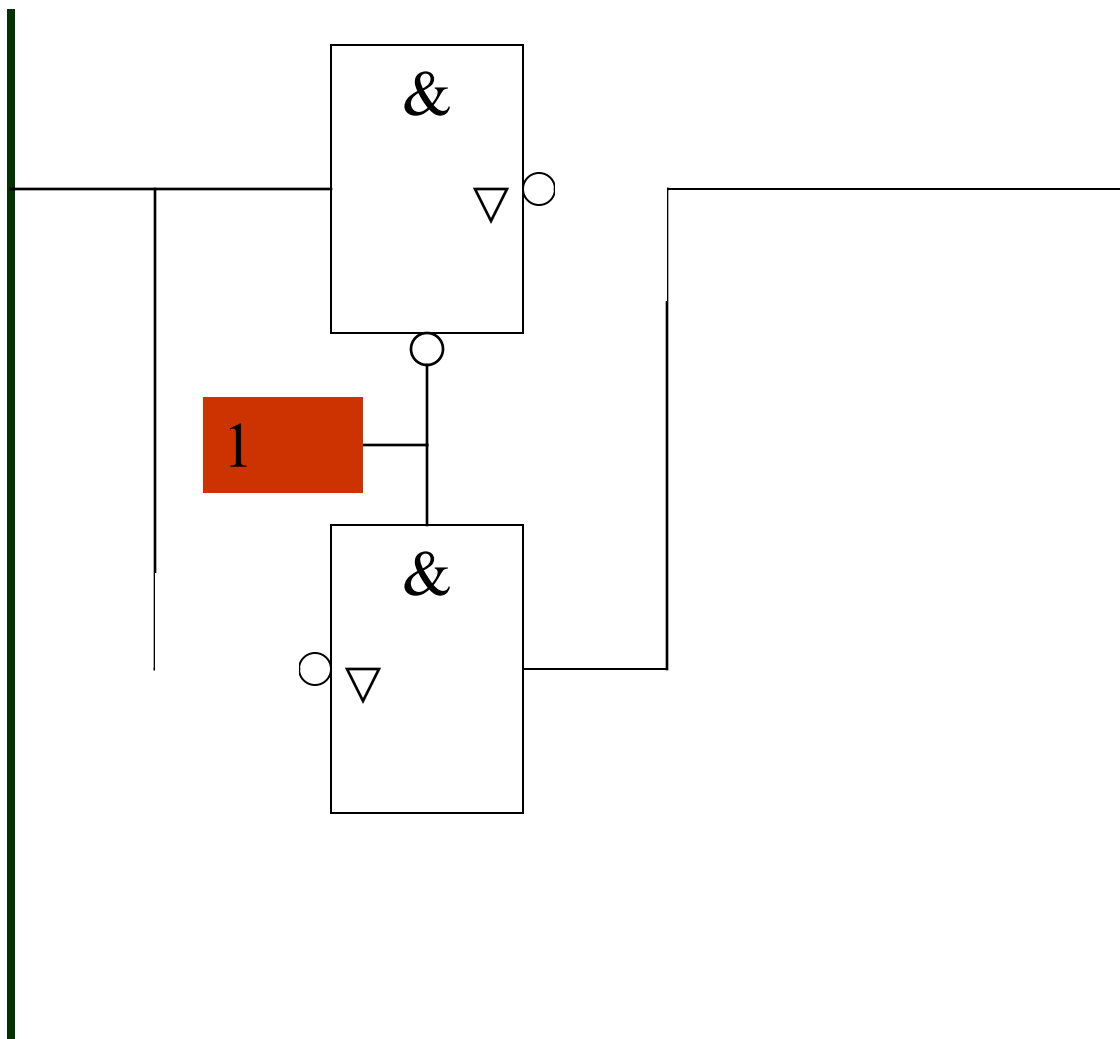
# 特殊门电路的应用

总线





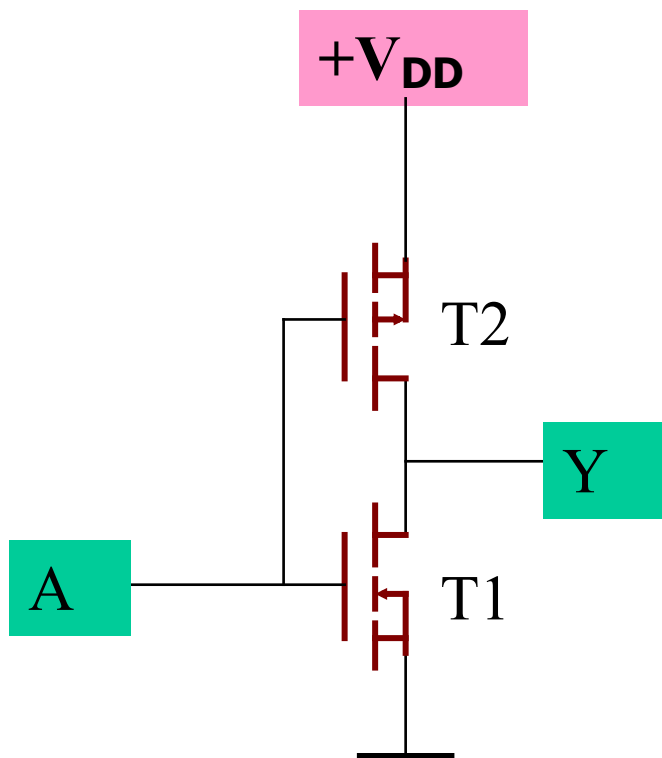
# 双向传输线





## 2.5 CMOS集成门电路

### 1. CMOS反相器电路结构及工作原理

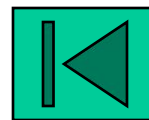


电路正常工作的条件:

$$V_{DD} > V_{TN} + |V_{TP}|$$

$A=0V$ , T1截止, T2导通,  
 $Y=V_{DD}$

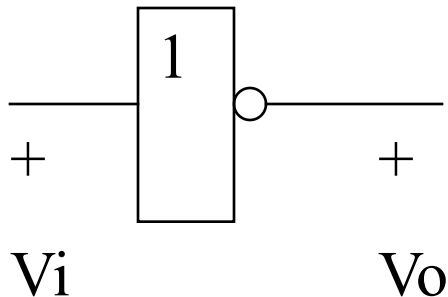
$A=V_{DD}$ , T2截止, T1导通,  
 $Y=0V$



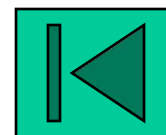
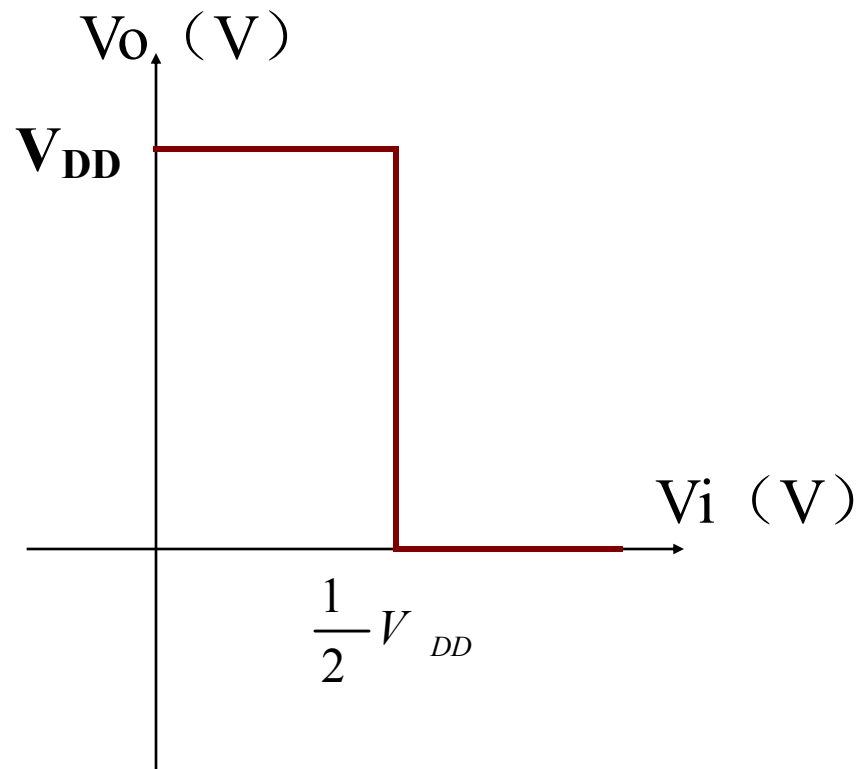


## 2. COMS反相器的电压传输特性

$$V_o = f(V_i)$$



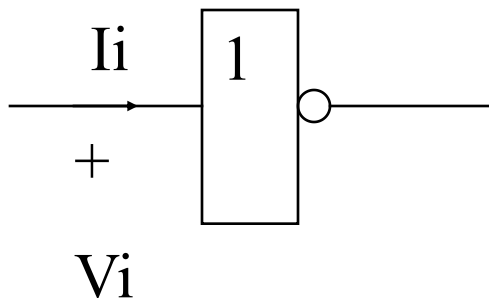
$$\begin{aligned} V_{OH} &= V_{DD} \\ V_{OL} &= 0V \\ V_{TH} &= \frac{1}{2} V_{DD} \end{aligned}$$





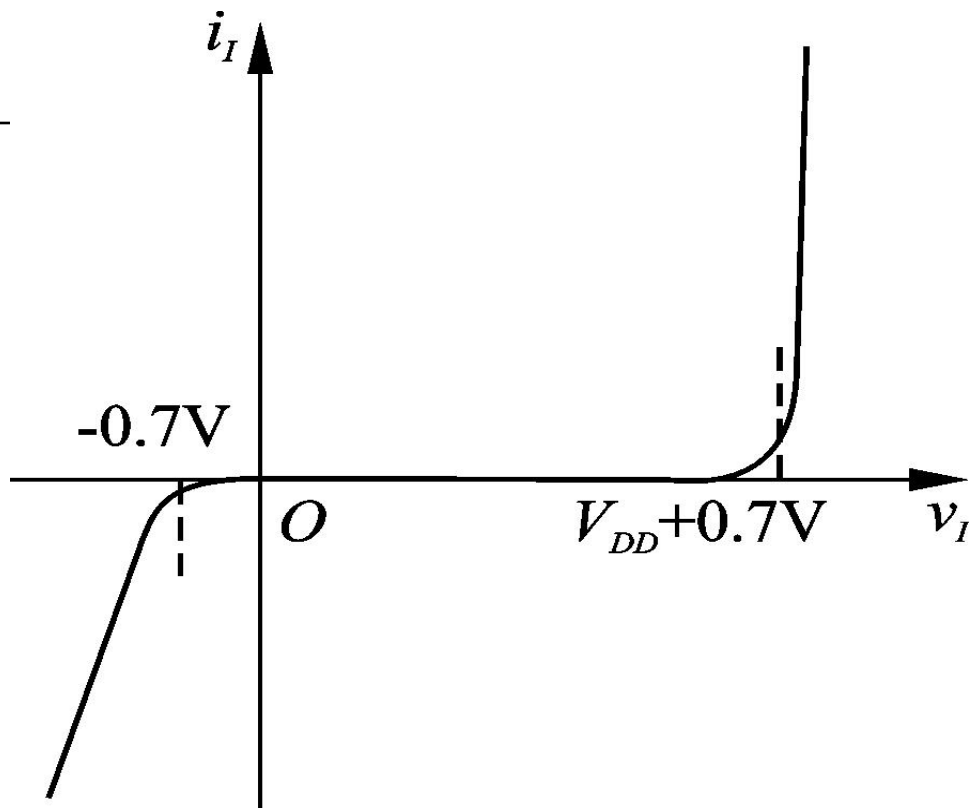
### 3. COMS反相器的静态特性

#### 1) 输入伏安特性 $I_i = f(V_i)$



输入短路电流:  $I_{IL} = 0\text{mA}$

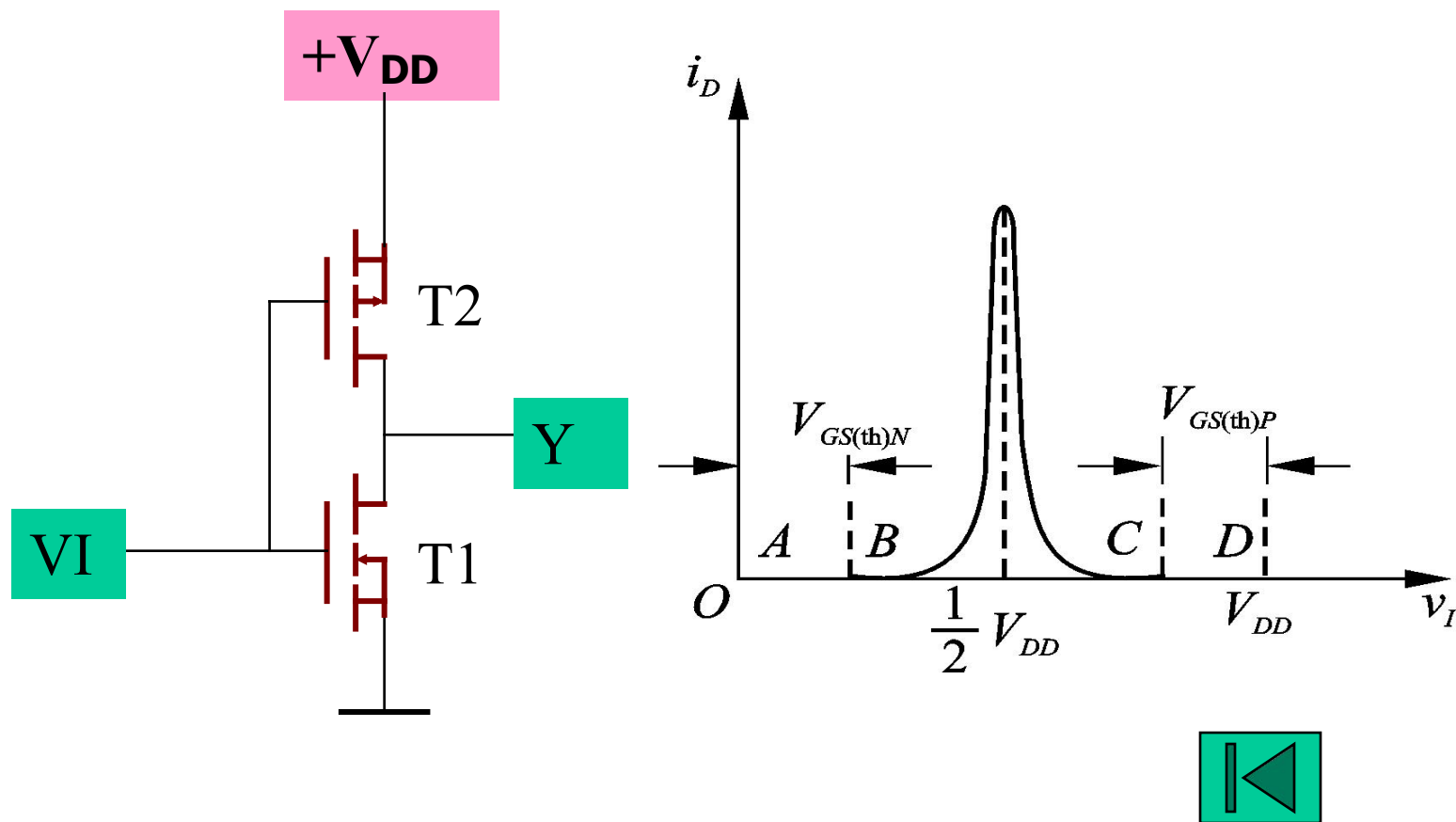
输入漏电流:  $I_{IH} = 0\text{mA}$





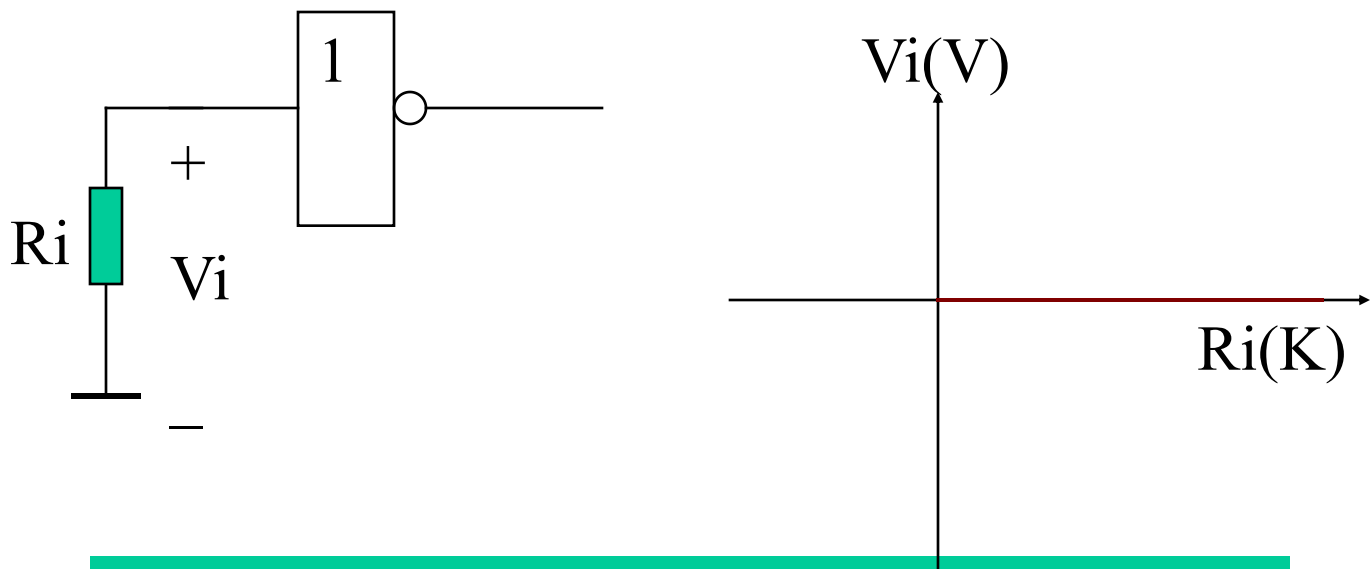


## 2) 电流传输特性 $I_D = f(V_i)$

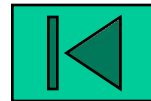




### 3) 输入负载特性 $V_i = f(R_i)$

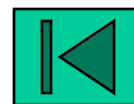
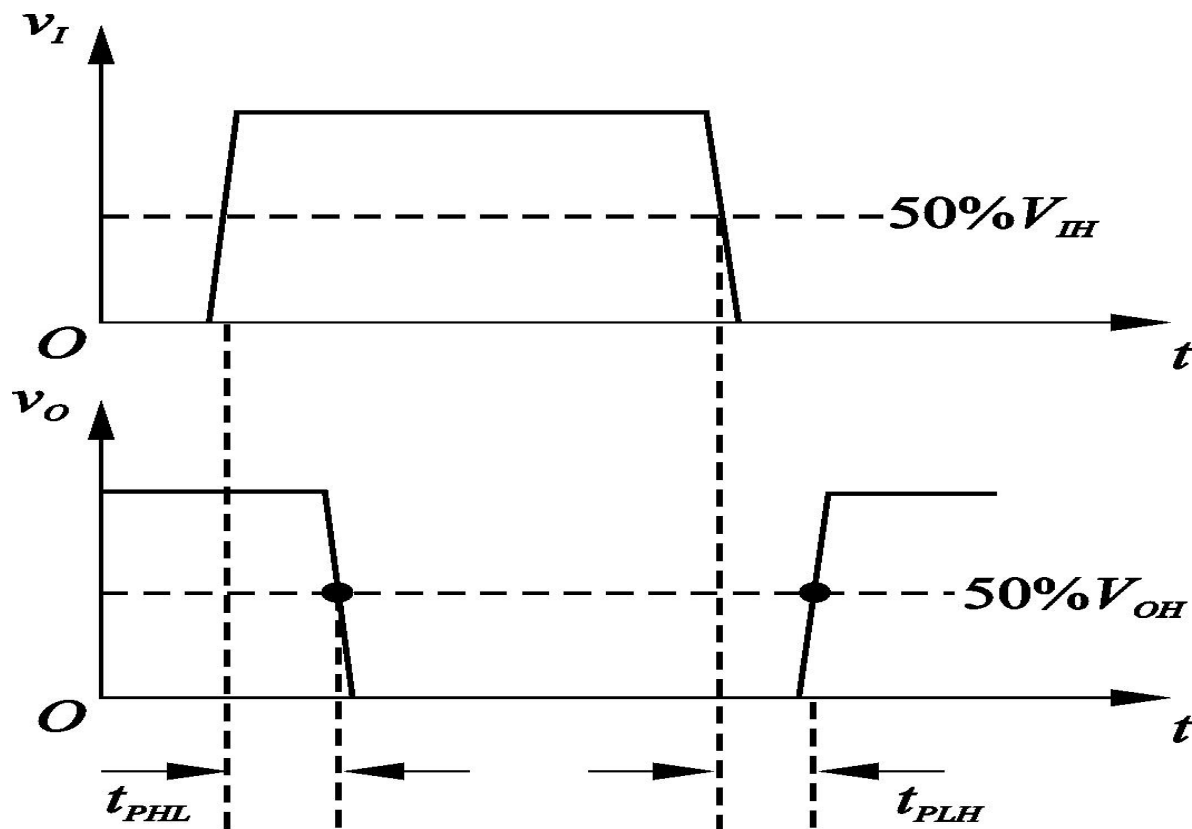


- 输入端接电阻接地相当于接低电平
- 输入端不能悬空



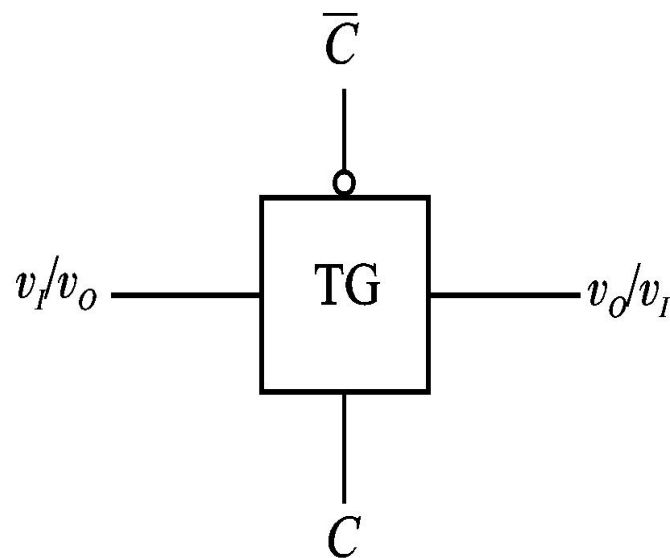
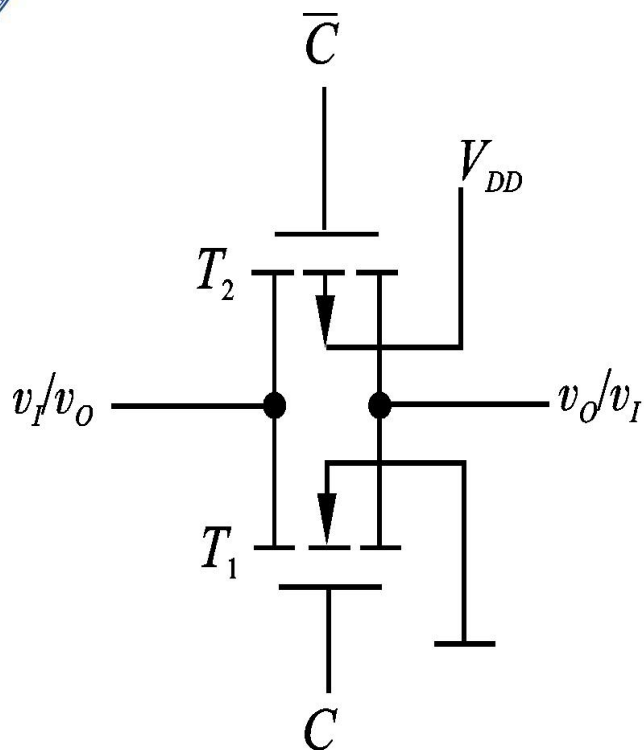


## 4. 动态特性





## 5、COMS传输门

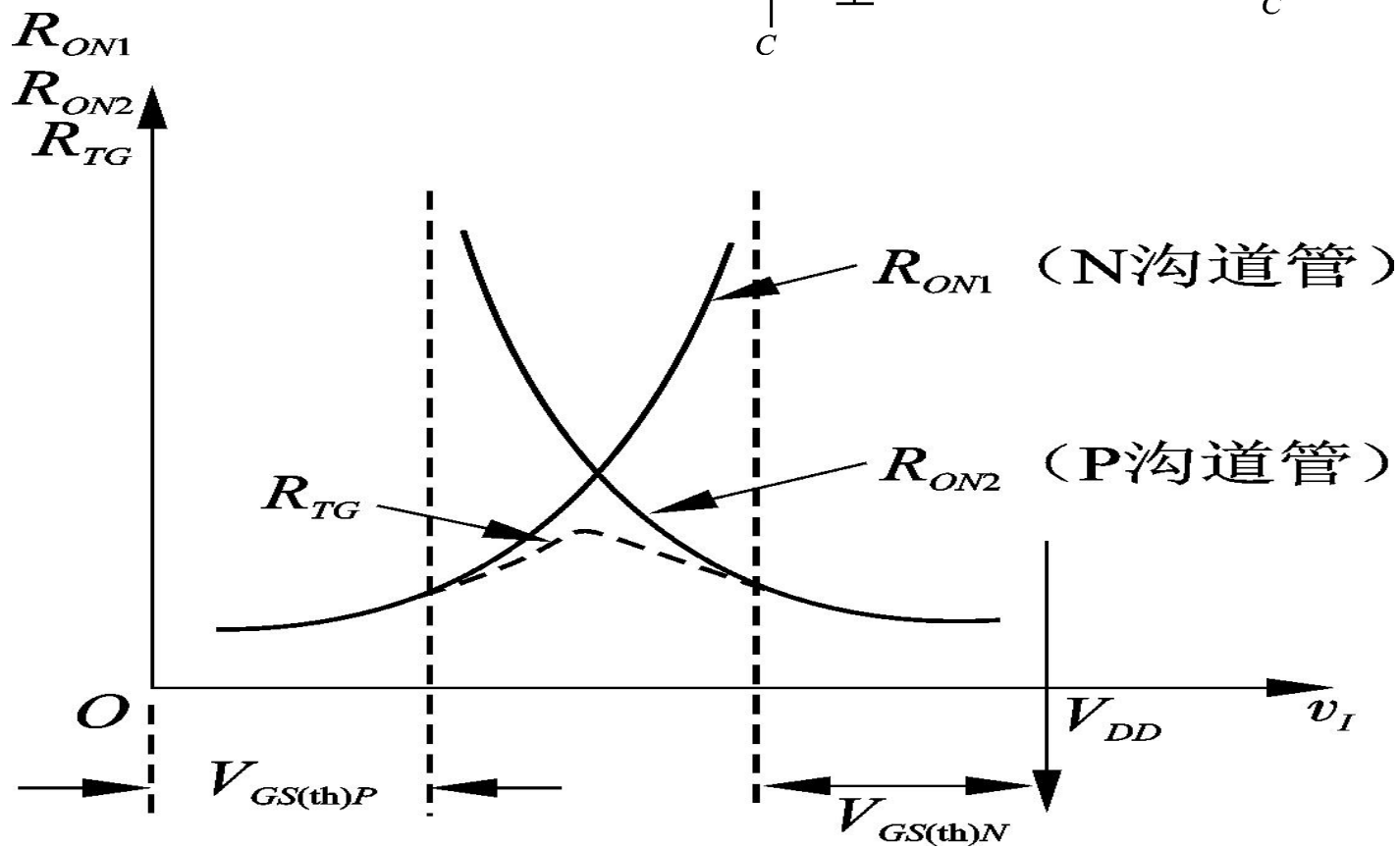
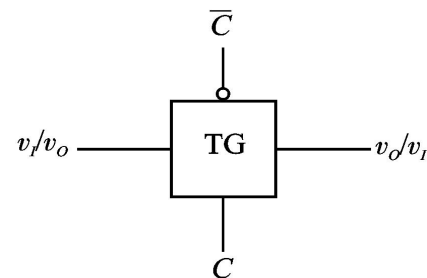
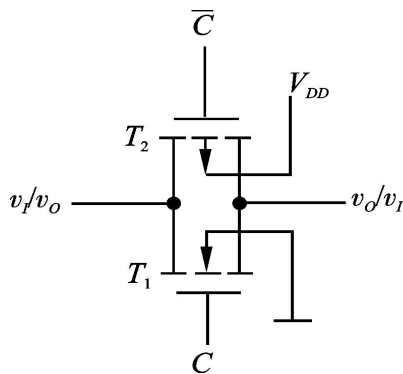


$\overline{C} = 0, C = 1, V_o = V_i$

$\overline{C} = 1, C = 0$ , 输入与输出之间断开

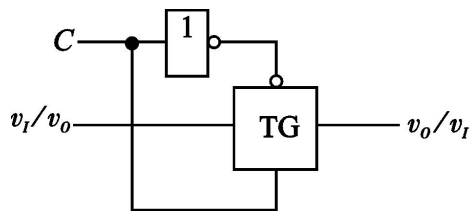


## 电阻特性

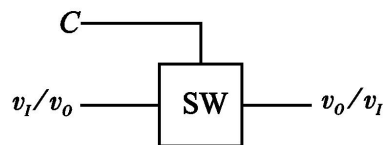




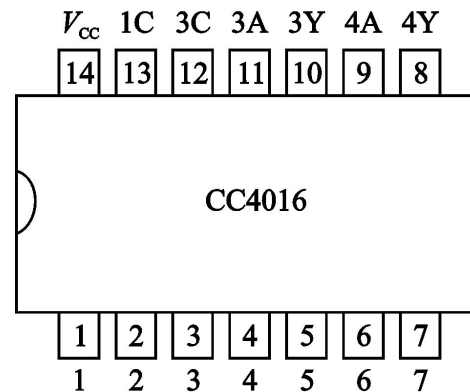
# 模拟开关



(a)电路结构



(b)符号



(c)CC4016四双向模拟开关管脚图

