

# 第二章 逻辑门电路

2.1 二极管的开关特性

2.2 三极管的开关特性

2.3 场效应管的开关特性

2.4 分立元件门电路

2.5 TTL门电路

2.6 MOS门电路

# 教学基本要求

## 掌握:

与门、或门、与非门、或非门、与或、非门、异或门、同或门、集电极开路与非门、三态门、传输门的逻辑符号及逻辑功能;

TTL与非门和CMOS反相器, 传输特性、输入特性及输出特性;

TTL与非门的典型参数 ( $V_{th}$ ,  $V_{off}$ ,  $V_{on}$ ,  $I_s$ ,  $I_{IH}$ ,  $R_{off}$ ,  $R_{on}$ )。

理解: TTL与非门、CMOS反相器的工作原理。

了解: 分立元件门电路。

# 概述

逻辑门电路：用以实现基本和常用逻辑运算的电子电路。简称门电路。

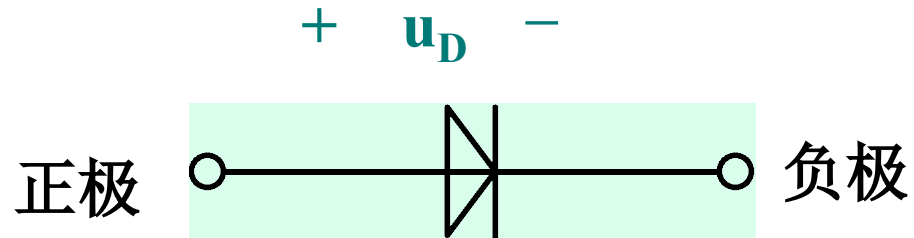
基本和常用门电路有与门、或门、非门（反相器）、与非门、或非门、与或非门和异或门等。

逻辑0和1：电子电路中用高、低电平来表示。

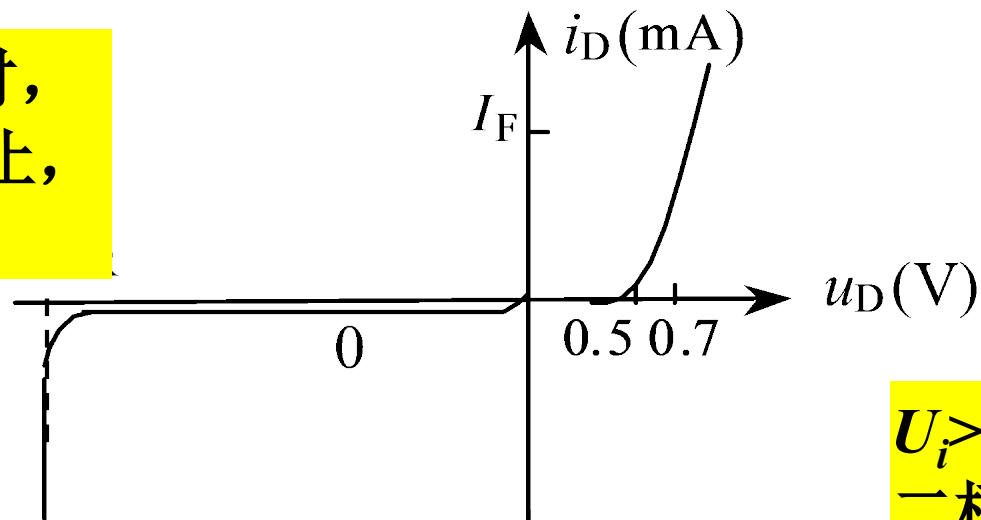
获得高、低电平的基本方法：利用半导体开关元件的导通、截止（即开、关）两种工作状态。

## 2.1 二极管的开关特性

二极管符号:

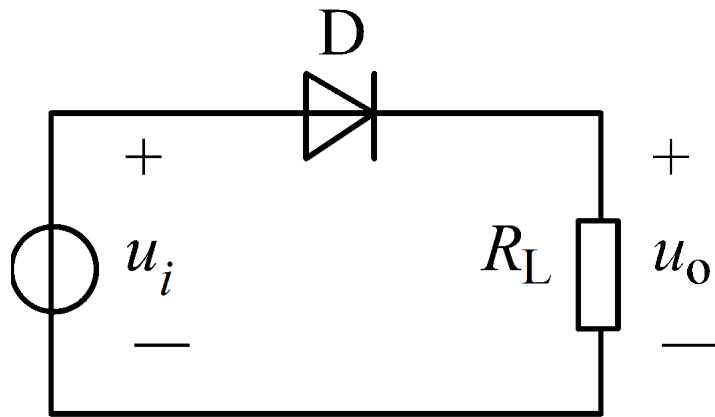


$U_i < 0.5V$ 时,  
二极管截止,  
 $i_D = 0$ 。

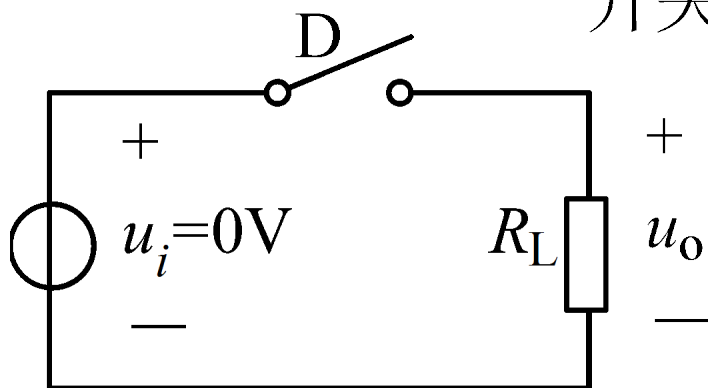


伏安特性

$U_i > 0.5V$ 时,  
二极管导通。



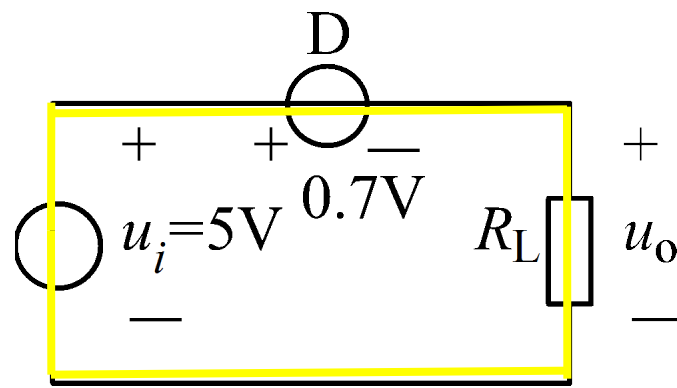
开关电路



$u_i = 0V$  时的等效电路

$u_i = 0V$  时，二极管截止，如同开关断开。

$$u_o = 0V$$



$u_i = 5V$  时的等效电路

$u_i = 5V$  时，二极管导通，如同  $0.7V$  的电压源，

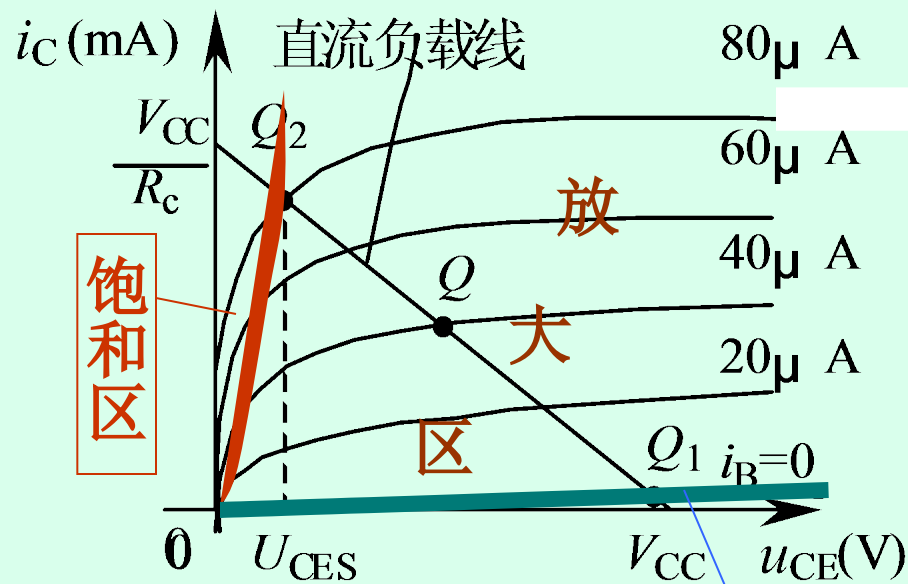
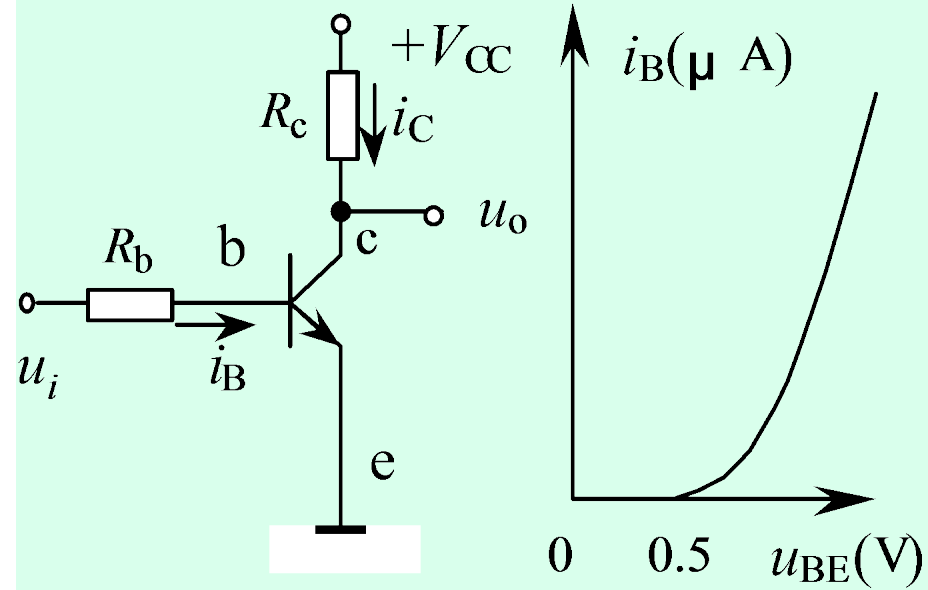
$$u_o = 4.3V$$

二极管的反向恢复时间限制了二极管的开关速度。

## 2.2 三极管的开关特性

NPN 型三极管共发射极接法的截止、放大、饱和 3 种工作状态

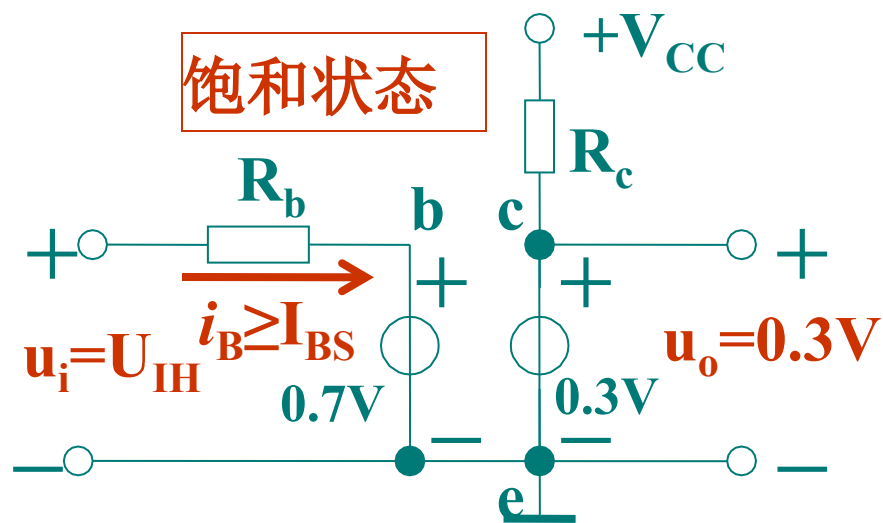
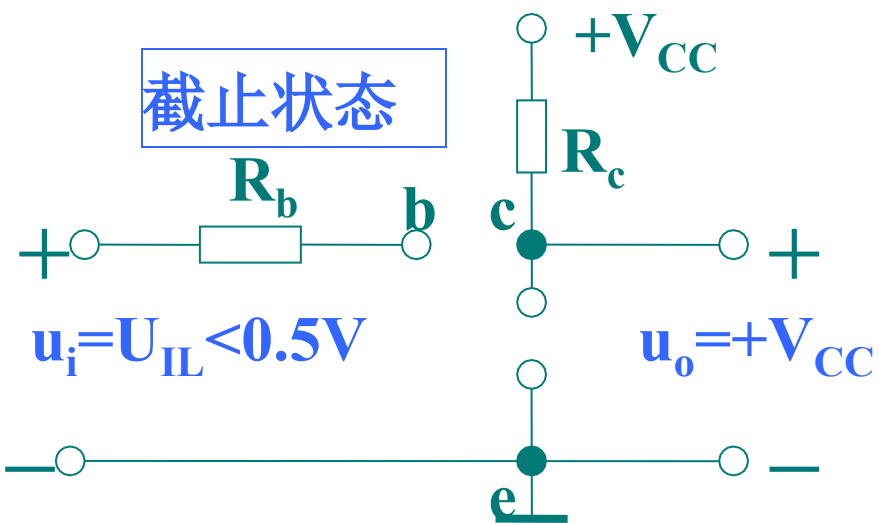
工作状态		截止	放大	饱和
条件		$i_B = 0$	$0 < i_B < I_{BS}$	$i_B > I_{BS}$
工作特点	偏置情况	发射结反偏 集电结反偏 $u_{BE} < 0, u_{BC} < 0$	发射结正偏 集电结反偏 $u_{BE} > 0, u_{BC} < 0$	发射结正偏 集电结正偏 $u_{BE} > 0, u_{BC} > 0$
	集电极电流	$i_C = 0$	$i_C = \beta i_B$	$i_C = I_{CS} < \beta i_B$
	ce 间电压	$u_{CE} = V_{CC}$	$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c$	$u_{CE} = U_{CES} = 0.3V$
	ce 间等效电阻	很大, 相当开关断开	可变	很小, 相当开关闭合



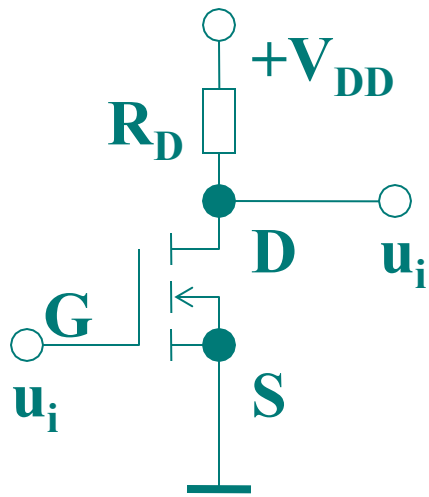
工作原理电路

输入特性曲线

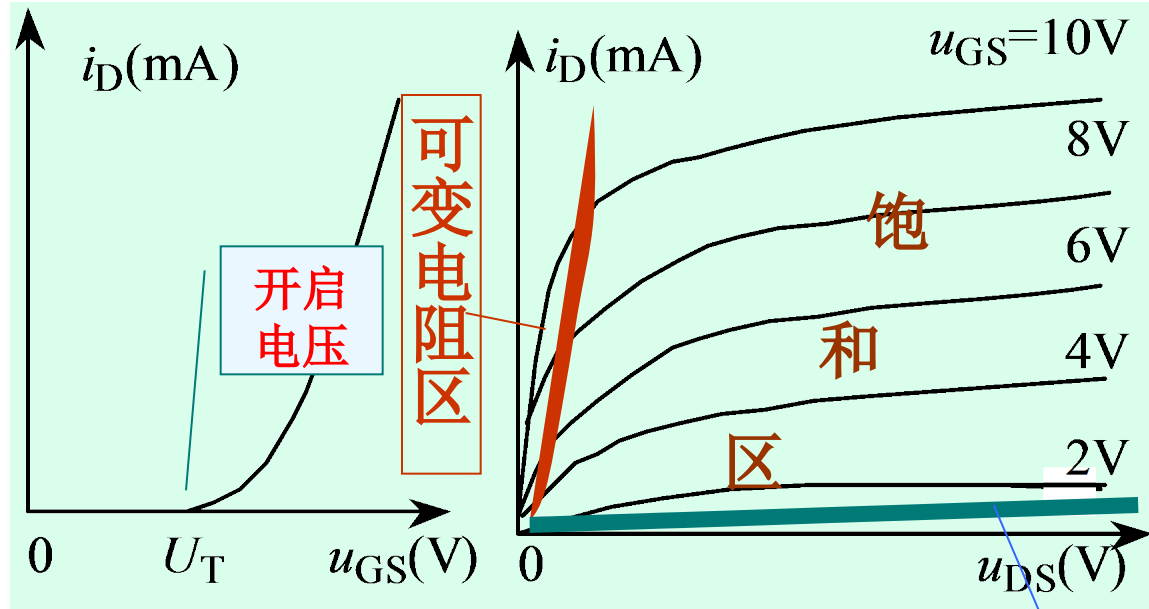
输出特性曲线 **截止区**



## 2.3 场效应管的开关特性

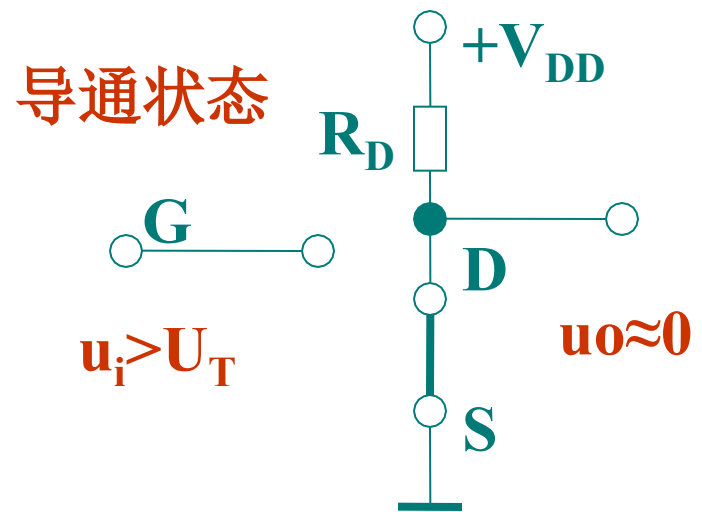
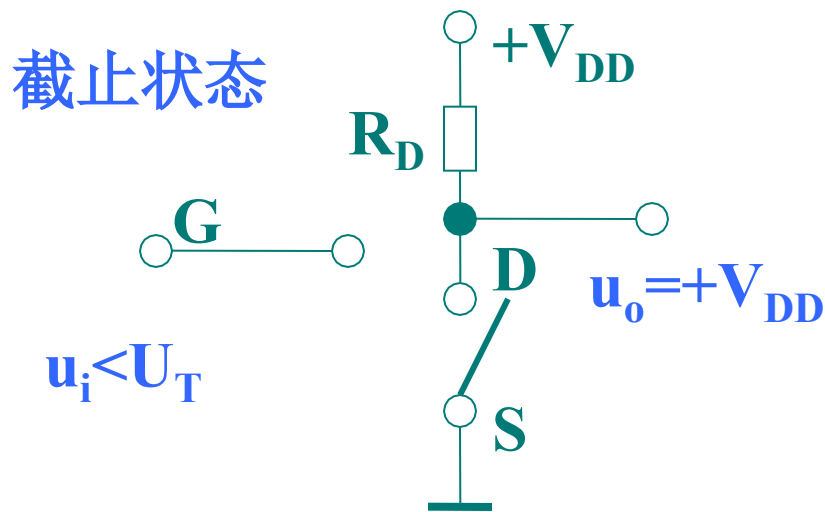


工作原理电路



转移特性曲线

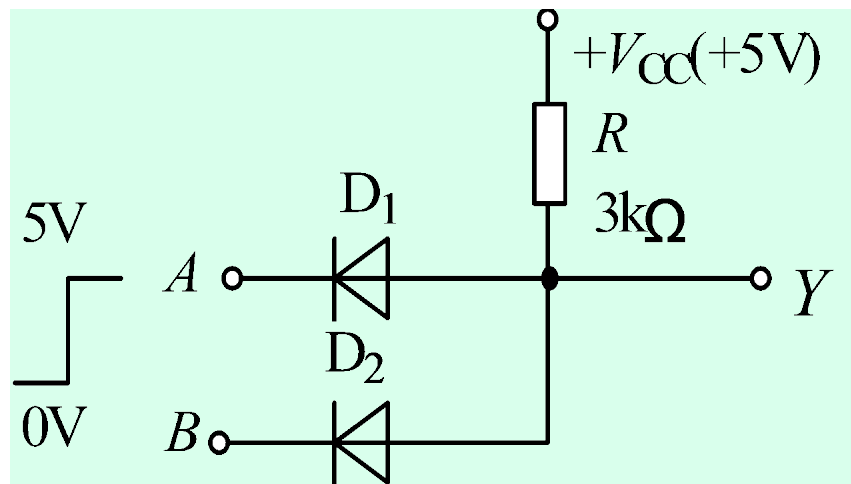
输出特性曲线 截止区





## 2.4 分立元件门电路

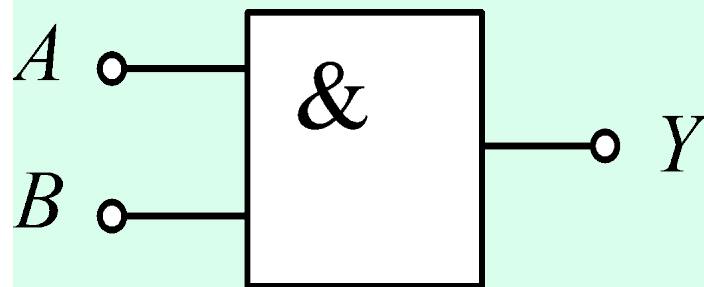
### 2.4.1 二极管与门



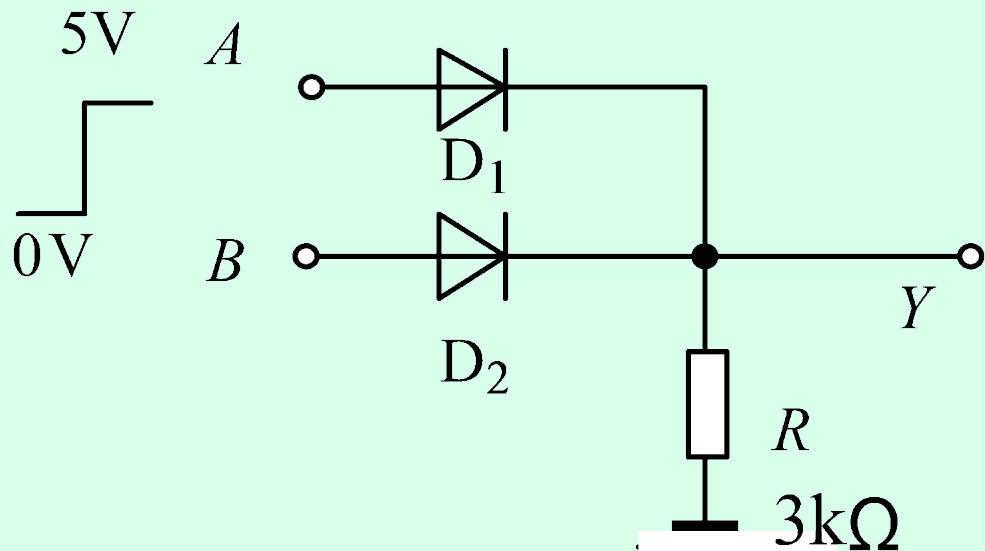
$A$	$B$	$Y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$u_A$	$u_B$	$u_Y$	$D_1$	$D_2$
0V	0V	0.7V	导通	导通
0V	5V	0.7V	导通	截止
5V	0V	0.7V	截止	导通
5V	5V	5V	截止	截止

$$Y=AB$$



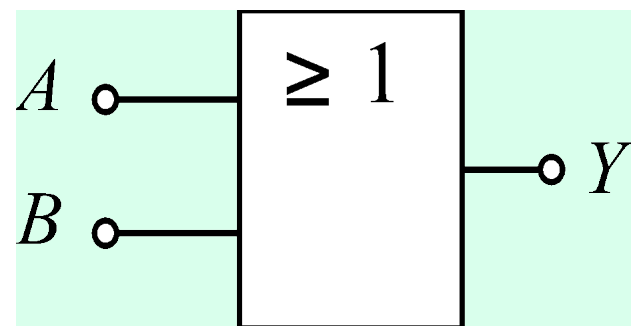
## 2.4.2 二极管或门



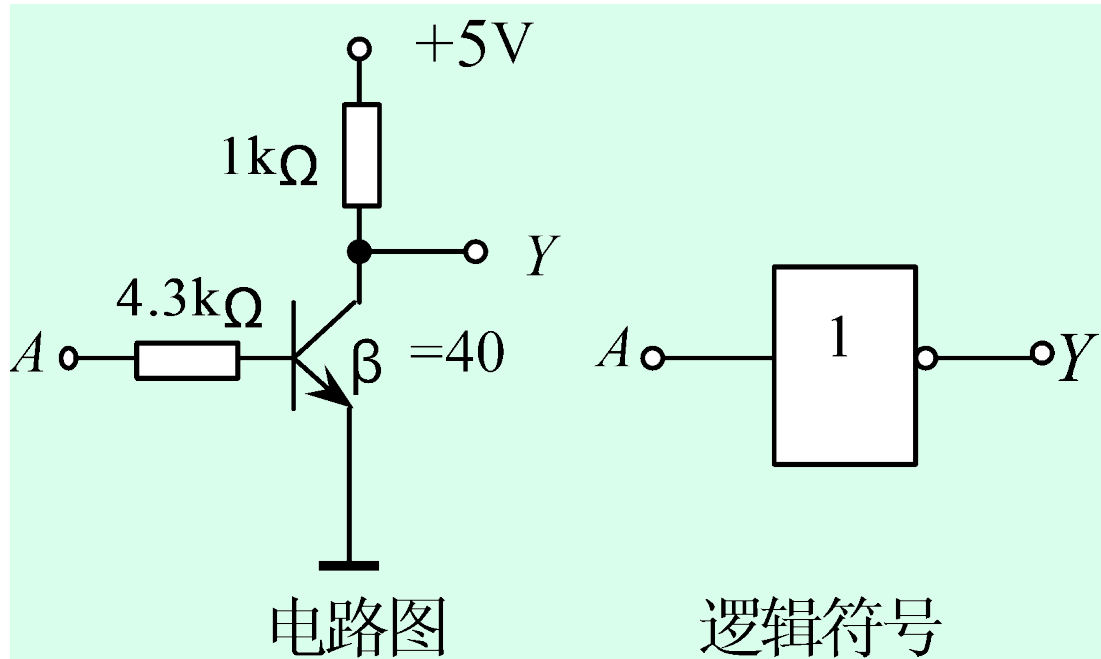
$A$	$B$	$Y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$u_A$	$u_B$	$u_Y$	$D_1$	$D_2$
0V	0V	0V	截止	截止
0V	5V	4.3V	截止	导通
5V	0V	4.3V	导通	截止
5V	5V	4.3V	导通	导通

$$Y = A + B$$



## 2.4.3 非门（三极管、场效应管）



三极管临界饱和时的基极电流：

$$I_{BS} = \frac{5 - 0.3}{40 \times 1} = 0.14 \text{mA}$$

$i_B > I_{BS}$ ，三极管工作在饱和状态。输出电压  $u_Y = U_{CES} = 0.3\text{V}$ 。

①  $u_A = 0\text{V}$  时，三极管截止， $i_B = 0$ 。

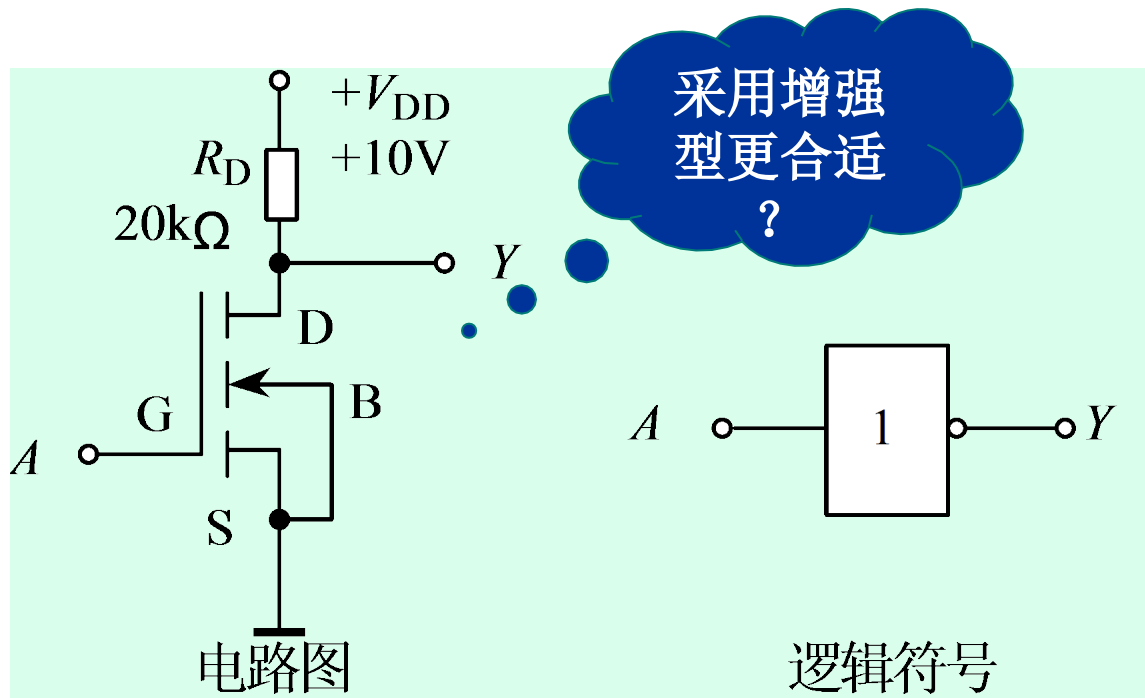
$i_C = 0$ ，输出电压  $u_Y = V_{CC} = 5\text{V}$

②  $u_A = 5\text{V}$  时，三极管导通。基极电流为：

$$i_B = \frac{5 - 0.7}{4.3} \text{mA} = 1 \text{mA}$$

$A$	$Y$
0	1
1	0

$$Y = \overline{A}$$



①当 $u_A = 0V$ 时， $u_{GS} = u_A = 0V$ ，小于开启电压 $U_T$ ，MOS管截止。输出电压为 $u_Y = V_{DD} = 10V$ 。

②当 $u_A = 10V$ 时， $u_{GS} = u_A = 10V$ ，大于开启电压 $U_T$ ，MOS管导通，且工作在可变电阻区，导通电阻很小，只有几百欧姆。输出电压为 $u_Y \approx 0V$ 。

$$Y = \overline{A}$$

## 2.5 TTL门电路

2.5.1 TTL与非门的工作原理

2.5.2 TTL与非门的静态特性

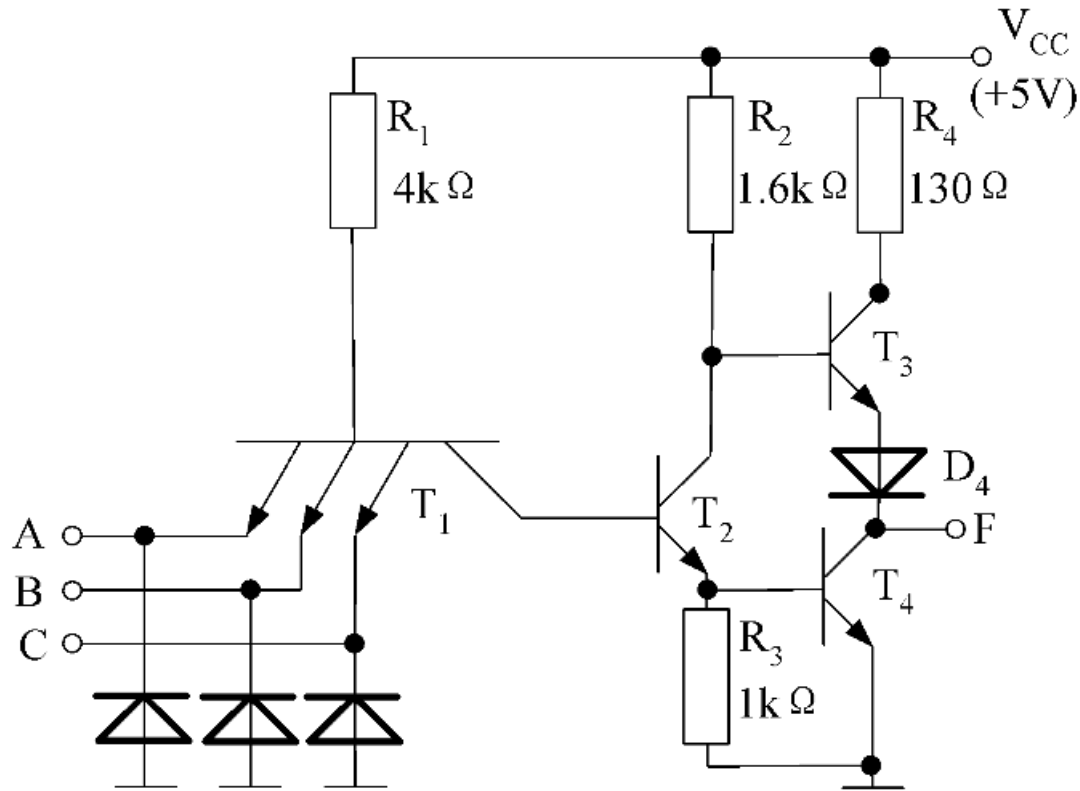
2.5.3 TTL门电路的改进形式（略）

2.5.4 TTL门电路的其它类型

2.5.5 其它双极型门电路(自学)

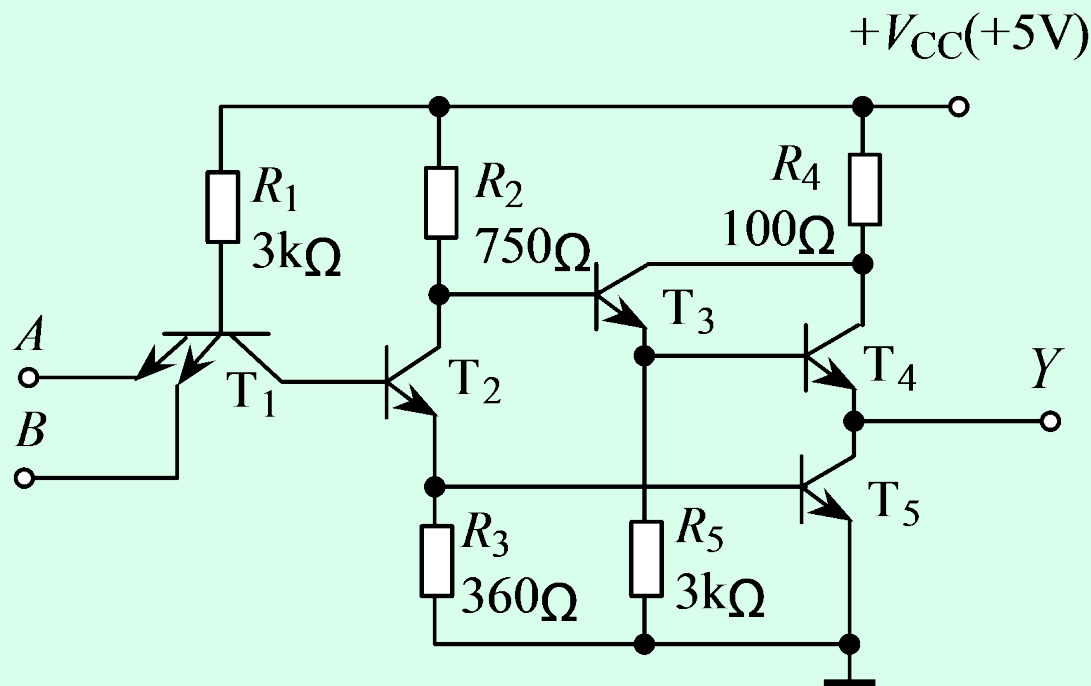
2.5.6 TTL系列集成电路及主要参数

## 2.5.1 TTL与非门的工作原理

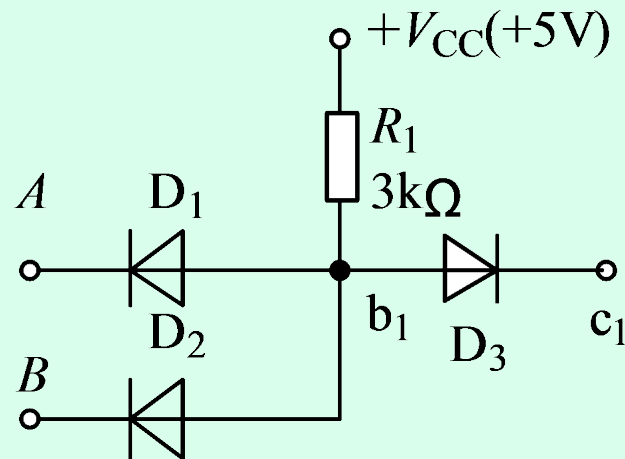


T1000系列与非门

## 2.5.1 TTL与非门的工作原理



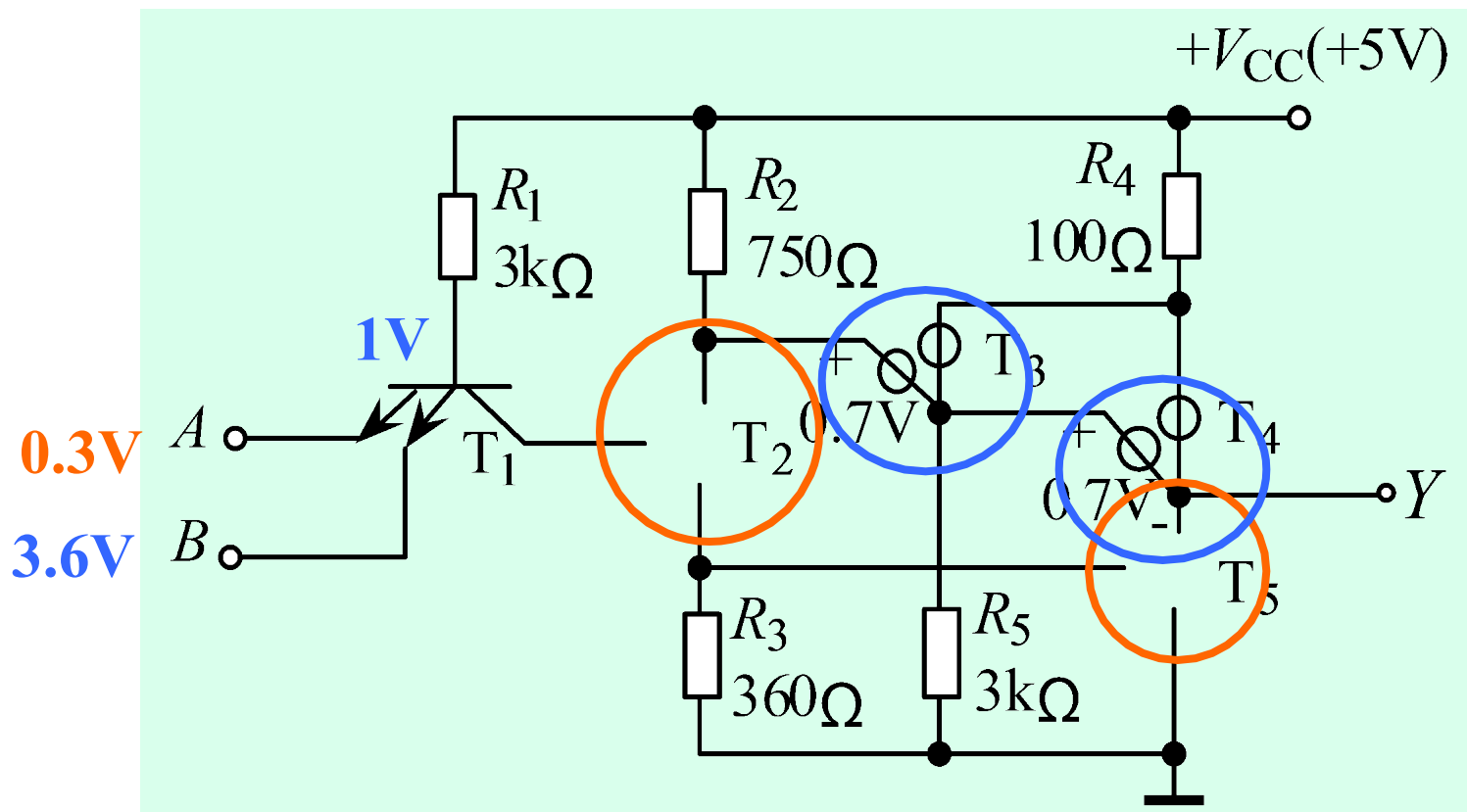
TTL 与非门电路



T<sub>1</sub> 的等效电路

# T2000系列与非门

## 2.5.1 TTL与非门的工作原理



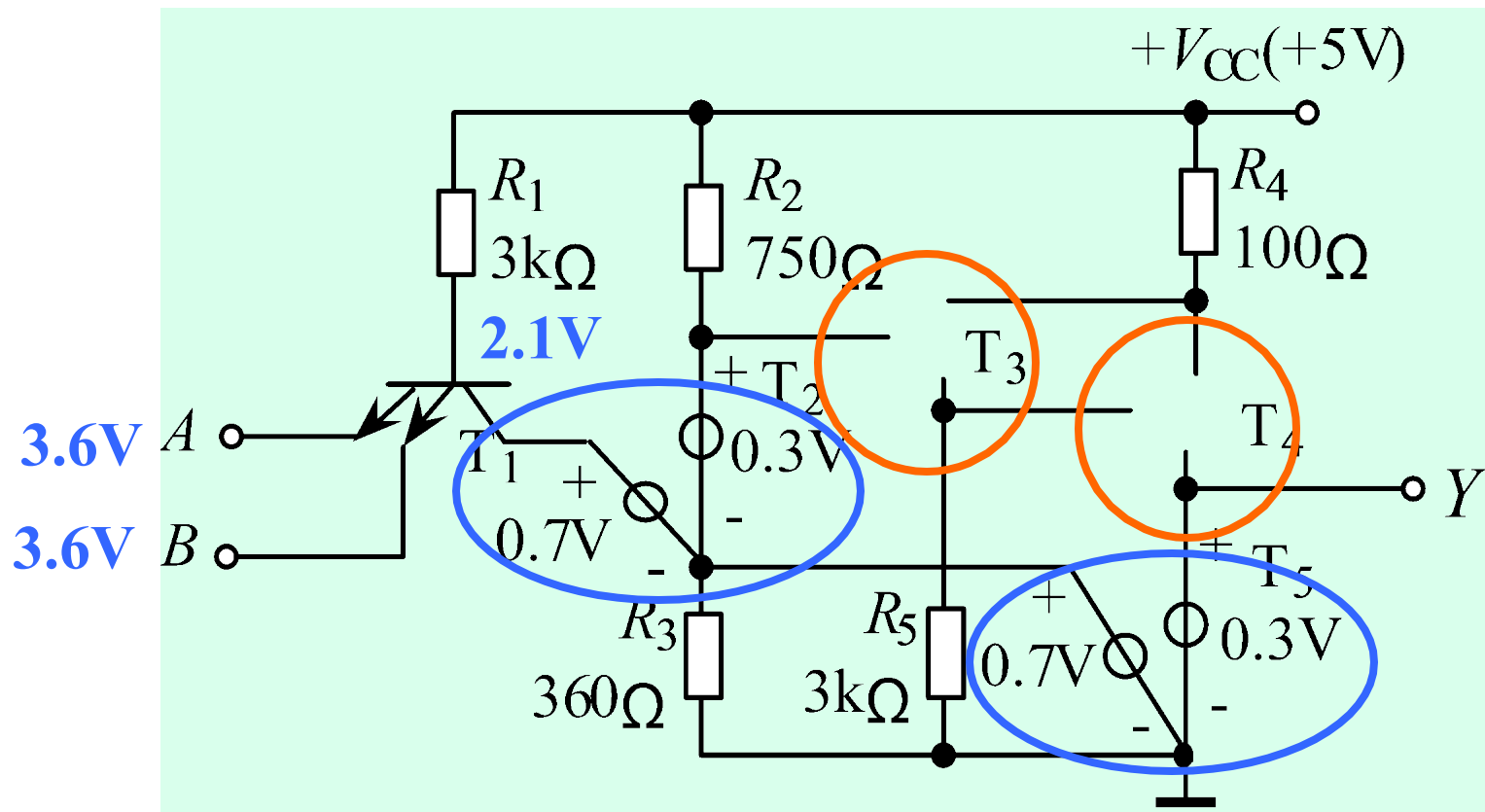
①输入信号不全为1：如 $u_A=0.3V$ ， $u_B=3.6V$ ，则 $T_1$ 为饱和状态。

则 $u_{B1}=0.3+0.7=1V$ ， $T_2$ 、 $T_5$ 截止， $T_3$ 、 $T_4$ 导通

忽略 $i_{B3}$ ，输出端的电位为： $u_Y \approx 5 - 0.7 - 0.7 = 3.6V$

输出 $Y$ 为高电平



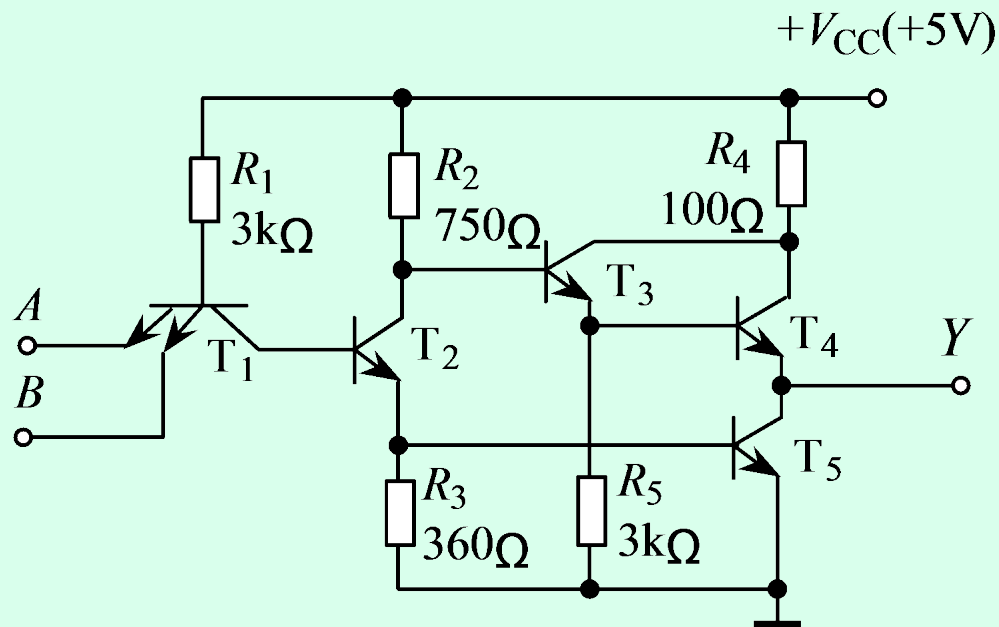


②输入信号全为1：如 $u_A = u_B = 3.6V$ ,  $T_1$ 为倒置状态。

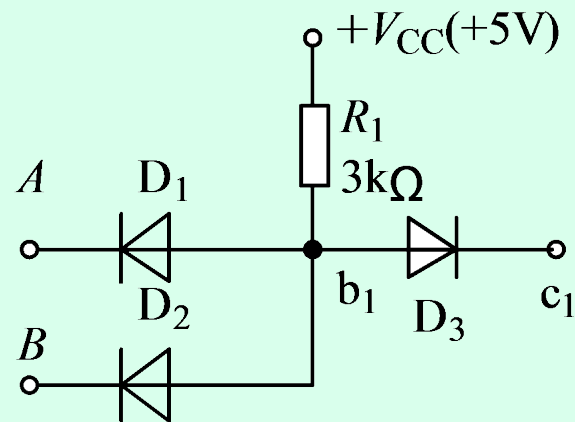
则 $u_{B1} = 2.1V$ ,  $T_2$ 、 $T_5$ 导通,  $T_3$ 、 $T_4$ 截止

输出端的电位为： $u_Y = U_{CES} = 0.3V$

输出Y为低电平



TTL 与非门电路



T<sub>1</sub> 的等效电路

1.当输入全为高电平3.6V时:

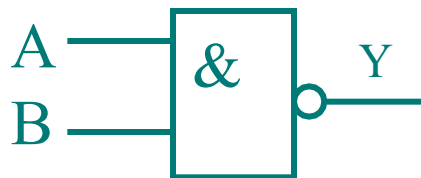
T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub>饱和导通, 输出 $V_o=0.3V=V_{OL}$ ; 漏电流输出

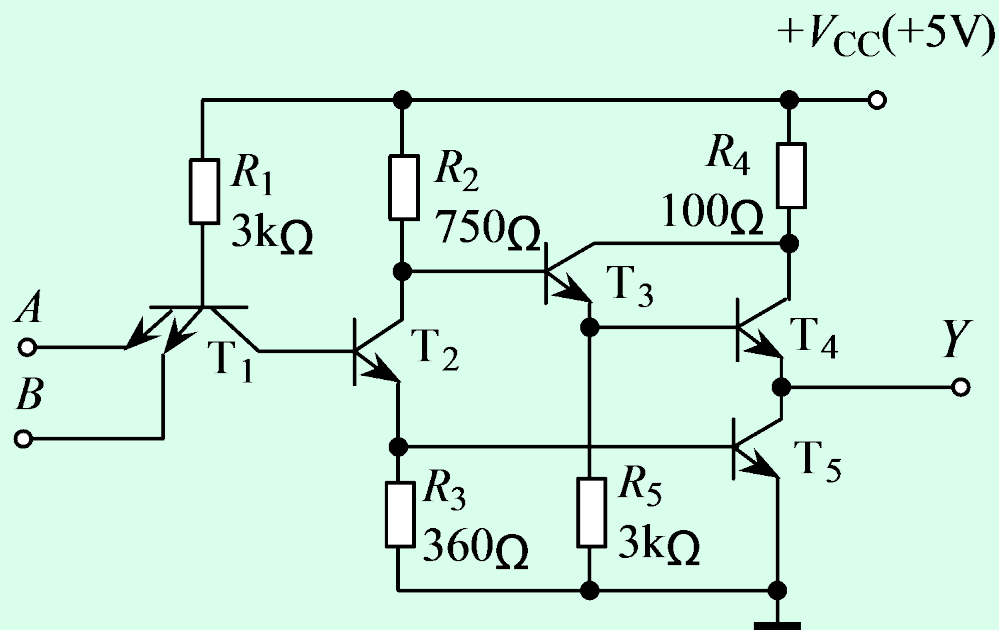
2.当输入有一个或几个低电平0.3V时:

拉电流输出

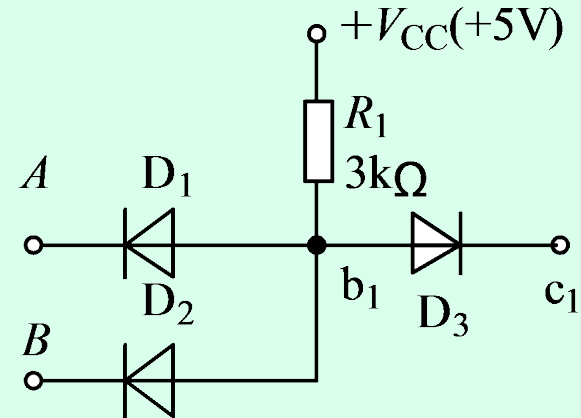
T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub>截止, T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>导通, 输出电压  $V_o=3.6V=V_{OH}$ 。

$$Y = \overline{AB}$$





TTL 与非门电路



$T_1$  的等效电路

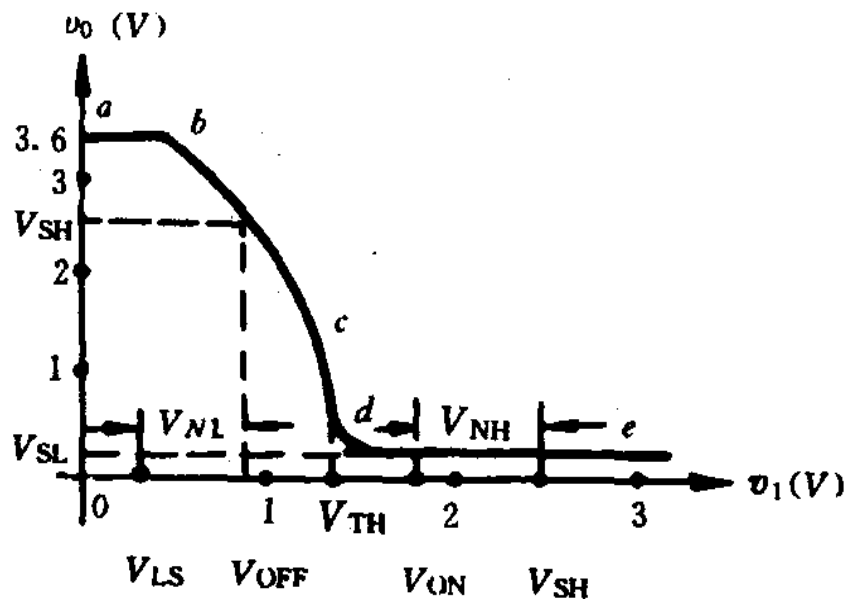
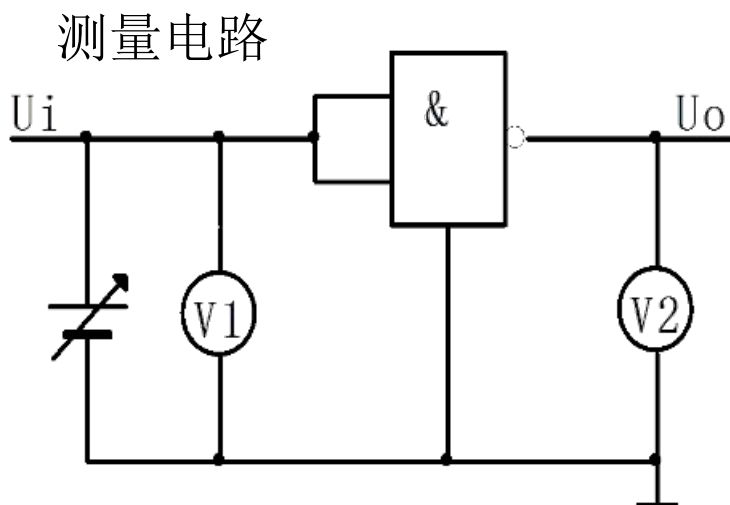
### TTL门电路各晶体管工作状态

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$D_4$	$T_4$
输出高电平(关态)	深饱和	截止	导通	导通	截止
输出低电平(开态)	倒置	饱和	截止	截止	饱和

## 2.5.2 TTL与非门的静态特性

### 1. 电压传输特性

传输特性：TTL与非门电路的输入电压 $U_i$ 和输出电压 $U_o$ 之间的关系， $U_i$ 和 $U_o$ 之间的关系可以通过实际测量得到。



# 1. 电压传输特性

1) 特性曲线

2) 重要参数

(1) 阈值电压

$$V_{TH} = 1.4V$$

(2) 关门电平 $V_{OFF}$

定义:  $V_o = V_{SH} = 2.4V$ 时  
对应的输入电平值:

$$V_{OFF} = 0.8V$$

(3) 开门电平 $V_{ON}$

定义:  $V_o = V_{SL} = 0.4V$ 时  
对应的输入电平值:

$$V_{ON} = 1.8V$$

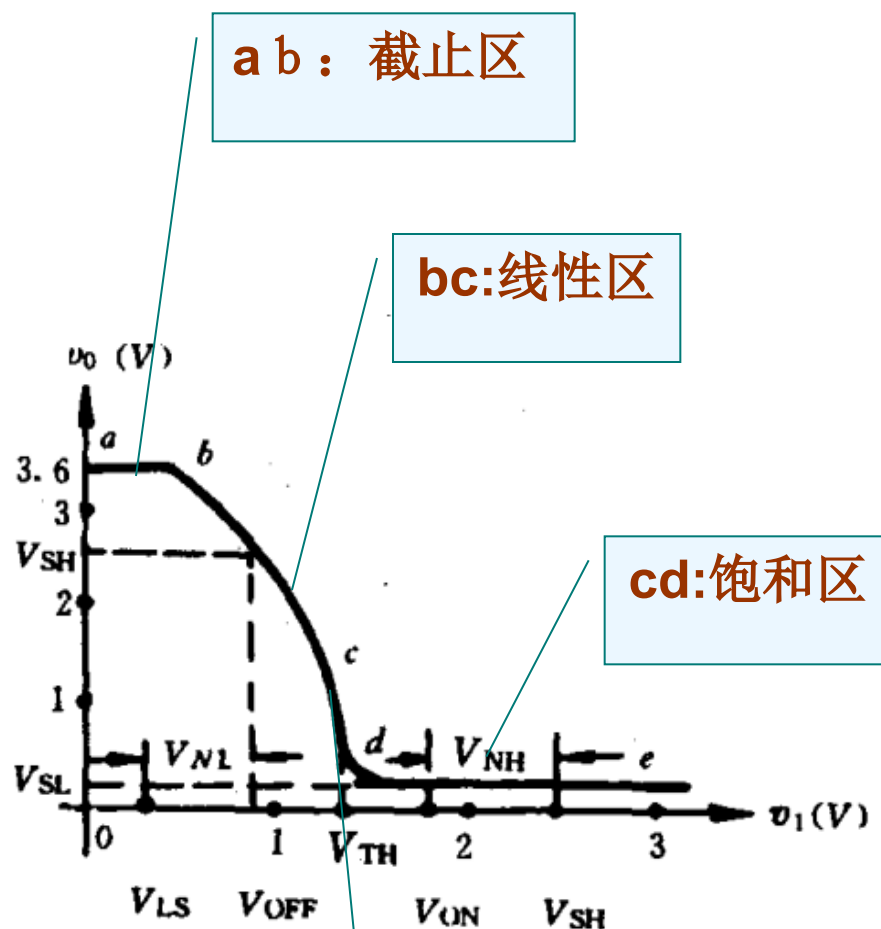


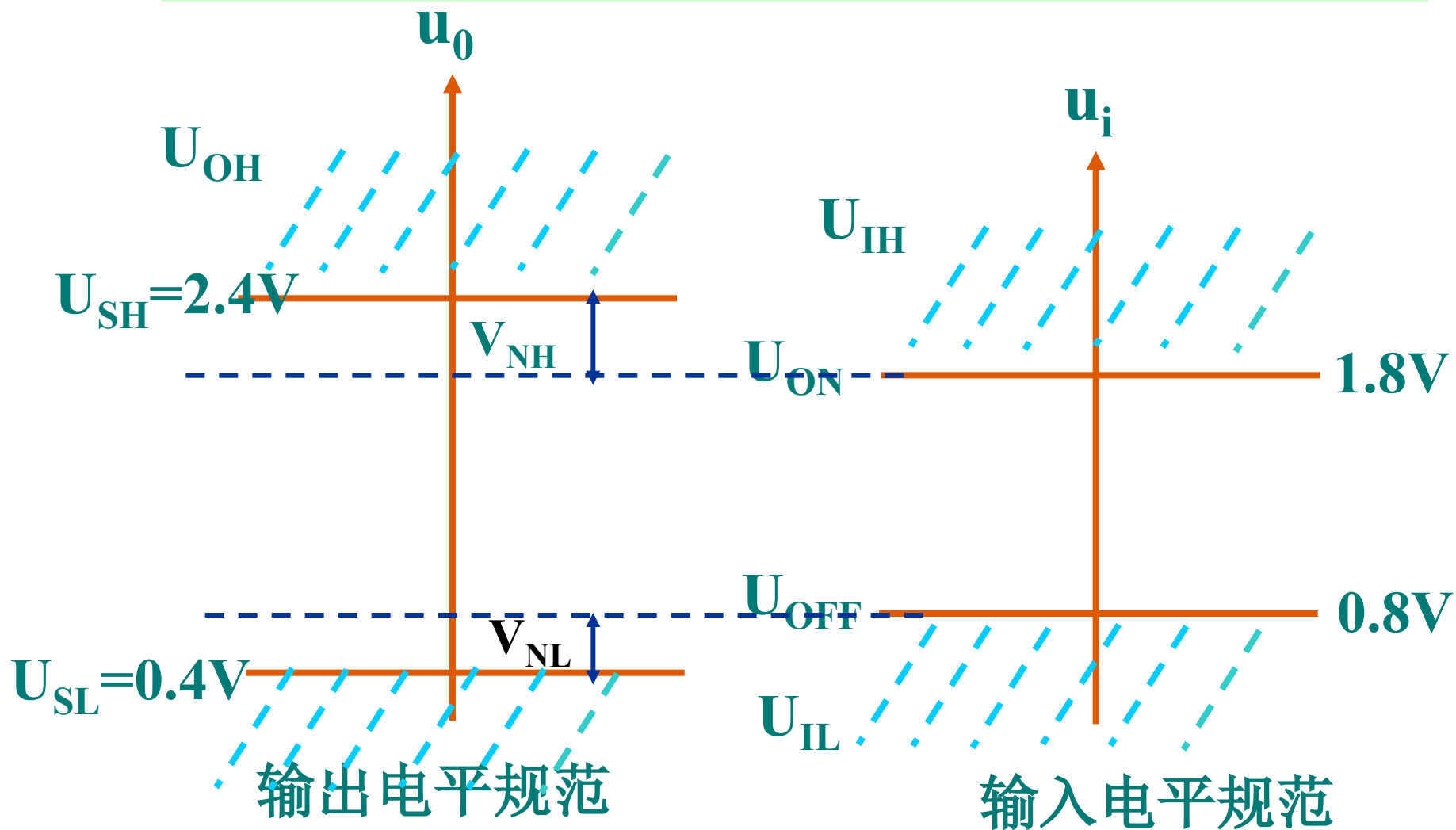
图 2.4.2

**de: 转折区**

## 噪声容限

低电平噪声容限  $V_{NL} = V_{OFF} - V_{SL}$ ;

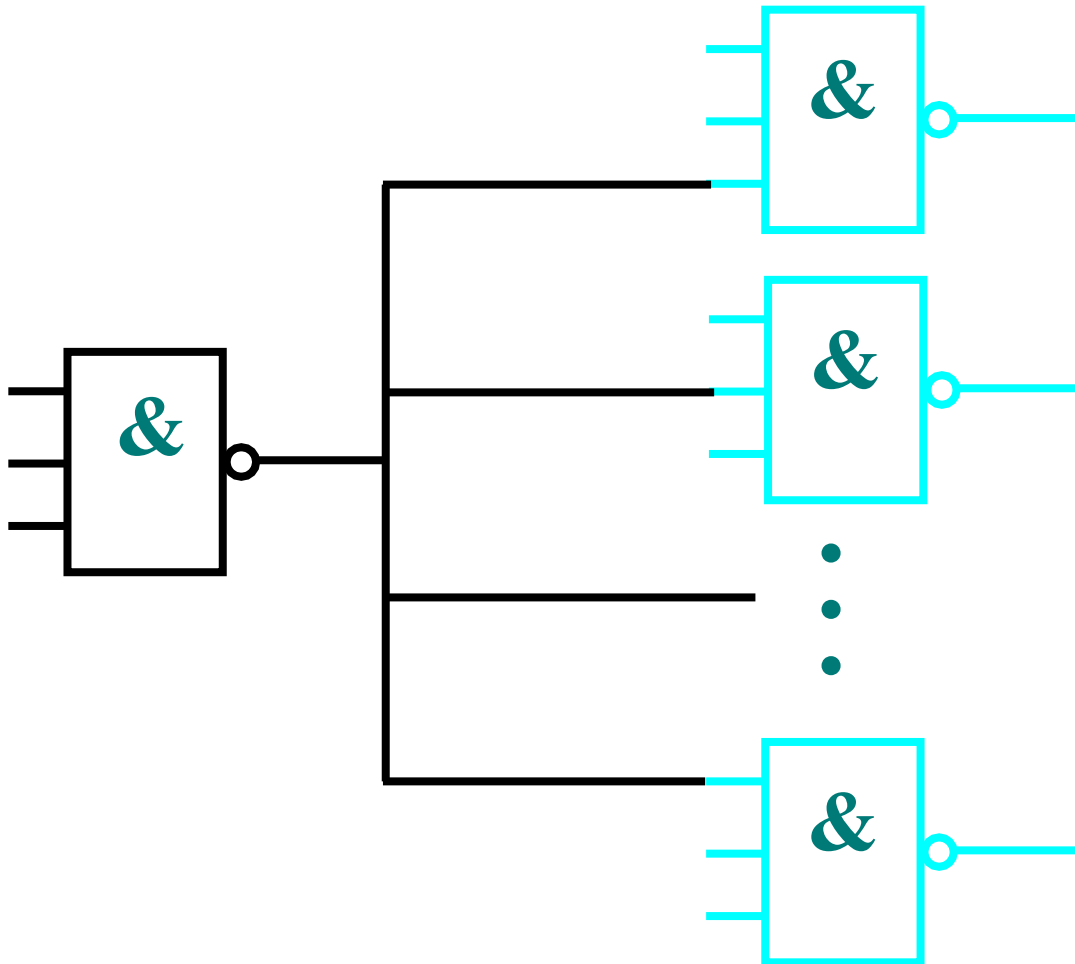
高电平噪声容限  $V_{NH} = V_{SH} - V_{ON}$ 。



## 噪声容限

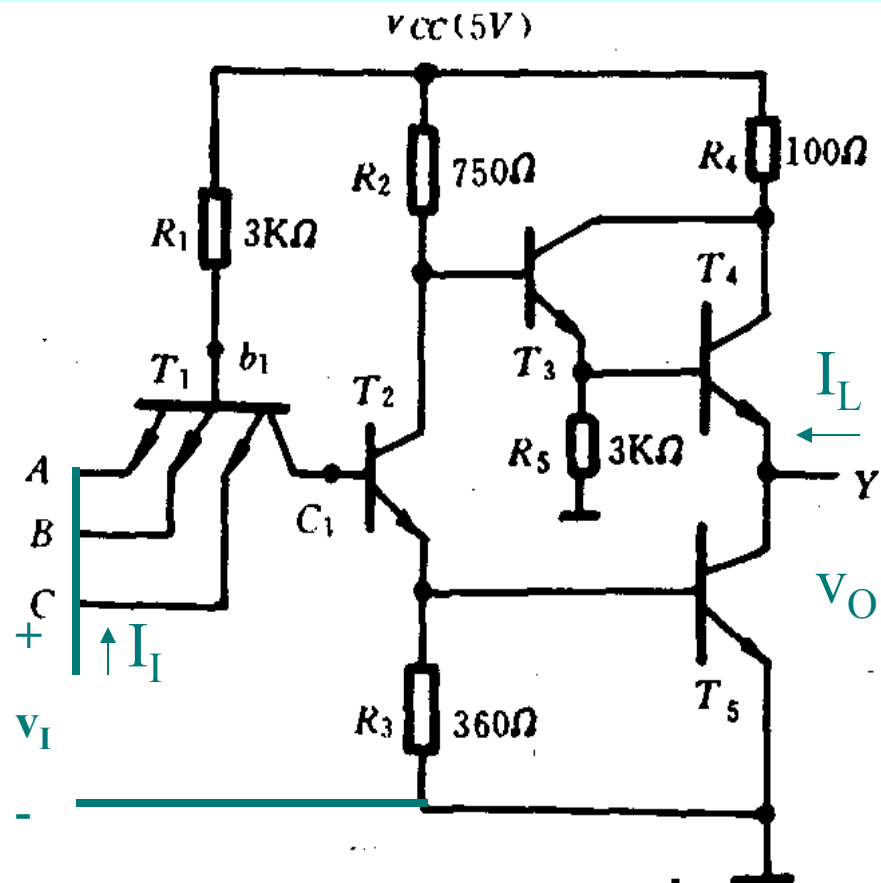
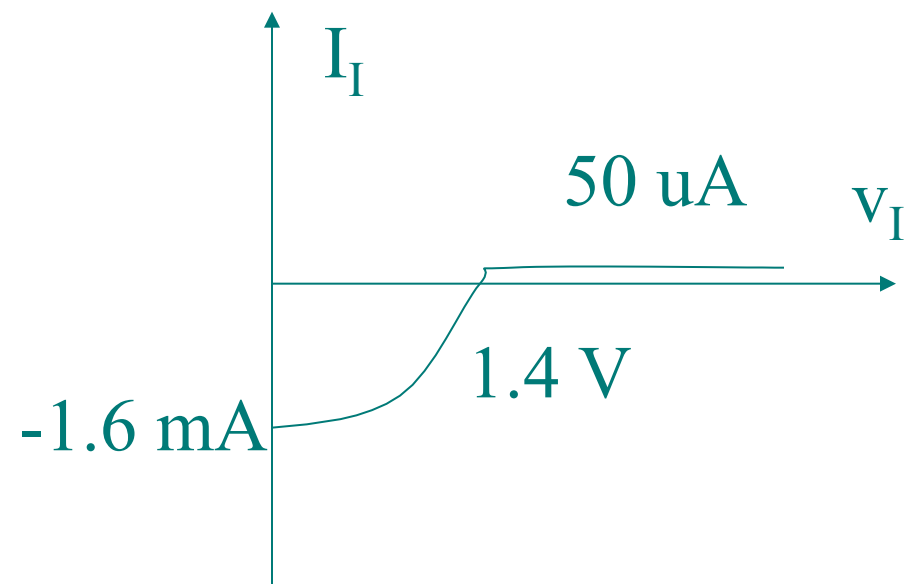
低电平噪声容限  $V_{NL} = V_{OFF} - V_{SL}$ ;

高电平噪声容限  $V_{NH} = V_{SH} - V_{ON}$ 。



## 2. 输入特性

### 1) 输入伏安特性



(a)

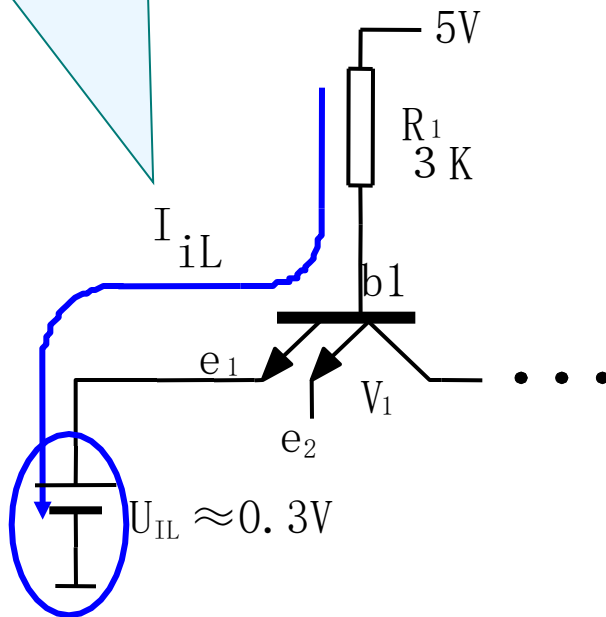
输入电压 $V_I < V_{SL}$ 时，输入短路电流： $I_{IS} \leq 1.6\text{mA}$ ；

输入电压 $V_I > V_{SH}$ 时，输入漏电流： $I_{IH} < 50\mu\text{A}$ 。

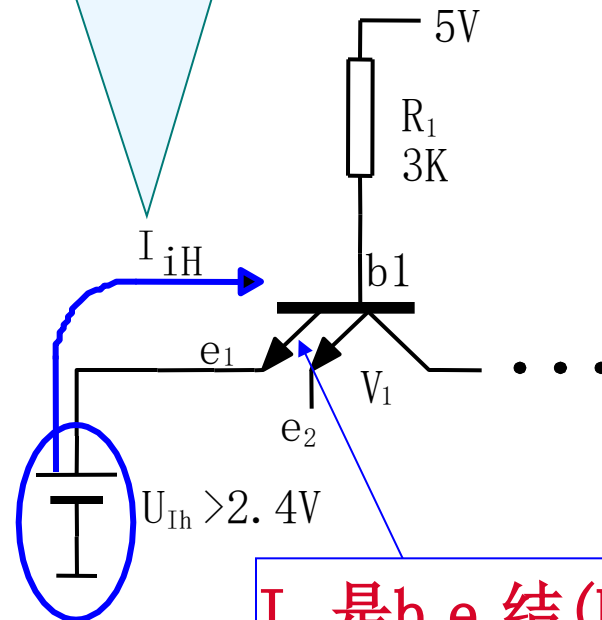


# 1) 输入伏安特性

输入低电平电流，是  $U_i = U_{iL}$  时的输入电流



输入高电平电流，是  $U_i = U_{iH}$  时的输入电流



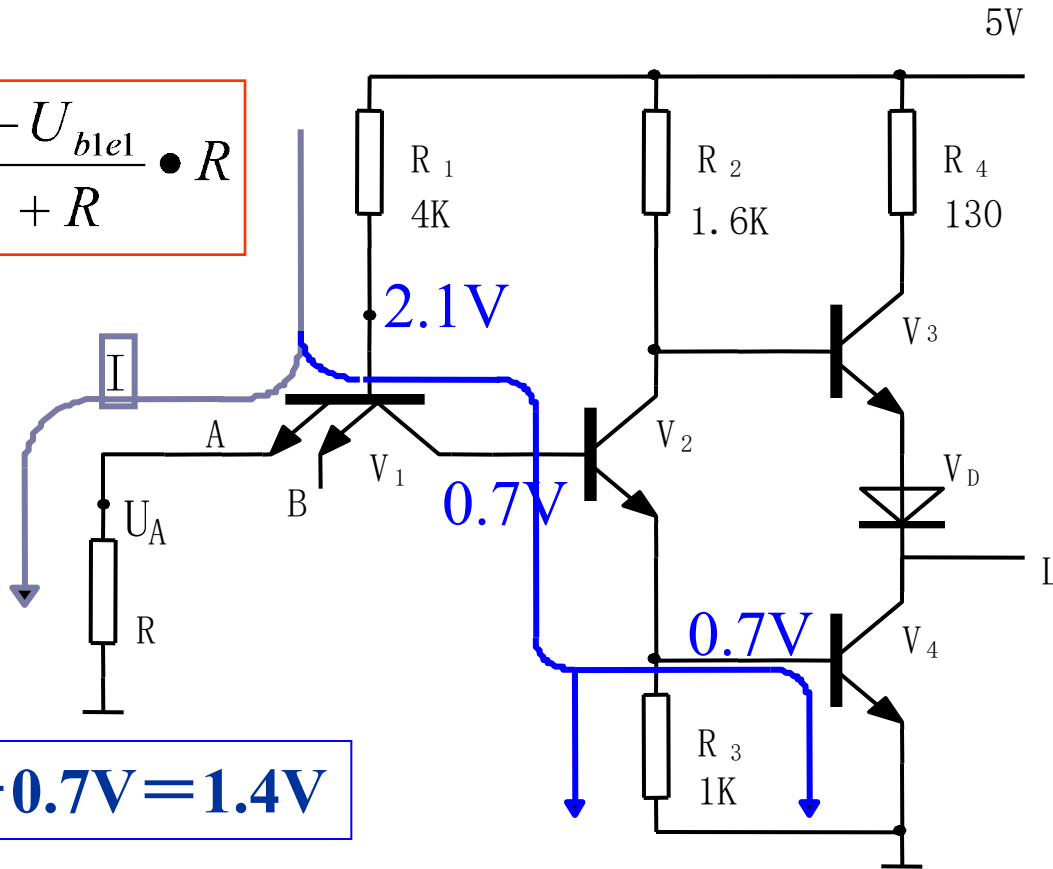
$I_{iH}$  是  $b_1e_1$  结 (PN 结) 的反向漏电流一般为几十  $\mu A$

$$I_{iL} = \frac{5V - U_{B1E1} - U_{iL}}{R_1} \approx \frac{5V - 0.7V - 0.3V}{3K\Omega} = 1.33mA$$



## 输入端接一个电阻到地的情况分析

$$U_A = U_R = \frac{5V - U_{ble1}}{R_1 + R} \cdot R$$



$$U_A = 2.1V - 0.7V = 1.4V$$

只要  $U_A < U_{OFF} \approx 0.8V$  (相当于  $R < 0.91K\Omega$ ),  $U_A$  还属于低电平; 当  $U_A$  增大到 1.4V 时 (相当于  $R > 2K\Omega$ ),  $V_2$ 、 $V_4$  导通, 流过  $R_1$  的电流同时被  $V_2$ 、 $V_4$  的发射极通道分流。

## 2) 输入负载特性

关门电阻

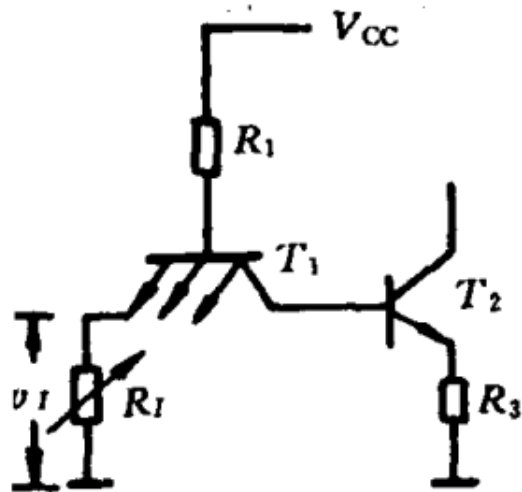
$$R_{OFF} \approx 700\Omega \quad R_I < R_{OFF} (700\Omega), V_I = V_{IL};$$

开门电阻

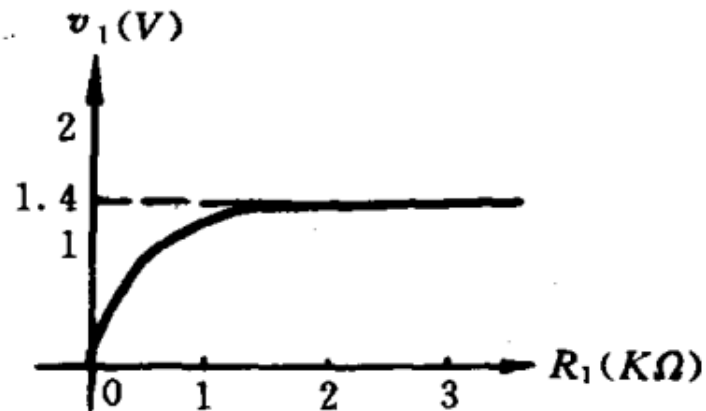
$$R_{ON} \approx 2k\Omega \quad R_I > R_{ON} (2k\Omega), V_I = V_{IH};$$

### 多余输入端的处理

TTL门的输入端悬空等效为高电平，但实际应用时，一般不悬空，多余端接电源或并联使用。



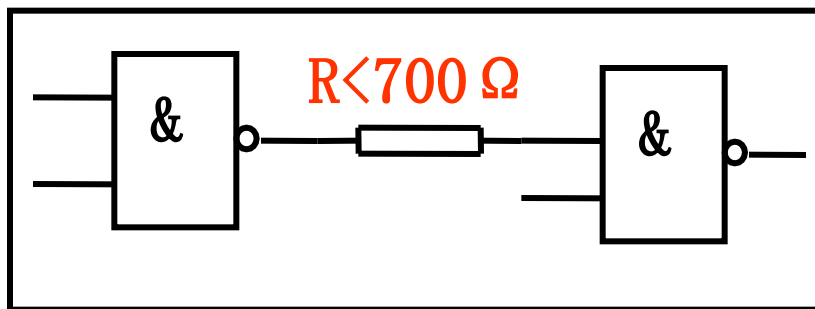
(a)



(b)

(a) 在实际使用TTL门电路时，如果要求输入接一个电阻到地，又要保证输入可靠为0逻辑，则所接电阻 $R$ 应小于 $700\Omega$ ，若所接电阻 $R$ 大于 $2K\Omega$ ，则输入相当于1逻辑。

(b) 悬空相当于接高电平，但是悬空容易接收干扰，因此对于TTL与非门的多余输入端，或要求接1逻辑的输入端均应把输入端接电源。



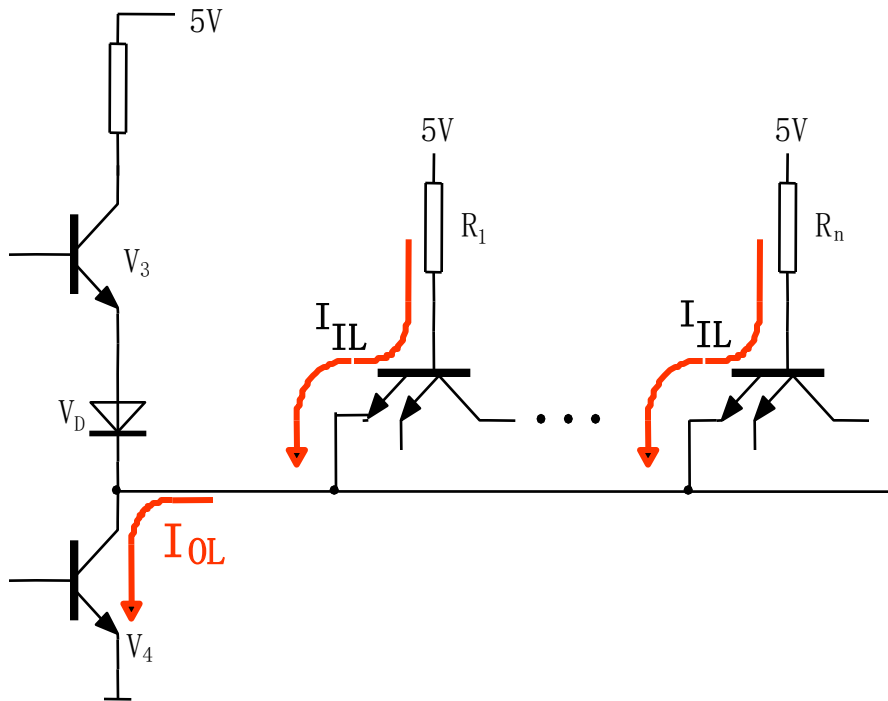
把一个门的输出信号送给下一级电路作输入信号，中间接有电阻 $R$ 时，其阻值不应大于 $700\Omega$ ，否则信号不能可靠传送。

### 3.输出负载特性和扇出系数

输出负载特性是指输出电压和输出电流的关系。

扇出系数 $N_0$ 是指门电路能驱动同类门的个数， $N_0$ 由输出特性决定。

#### 输出低电平特性和扇出系数 $N_L$



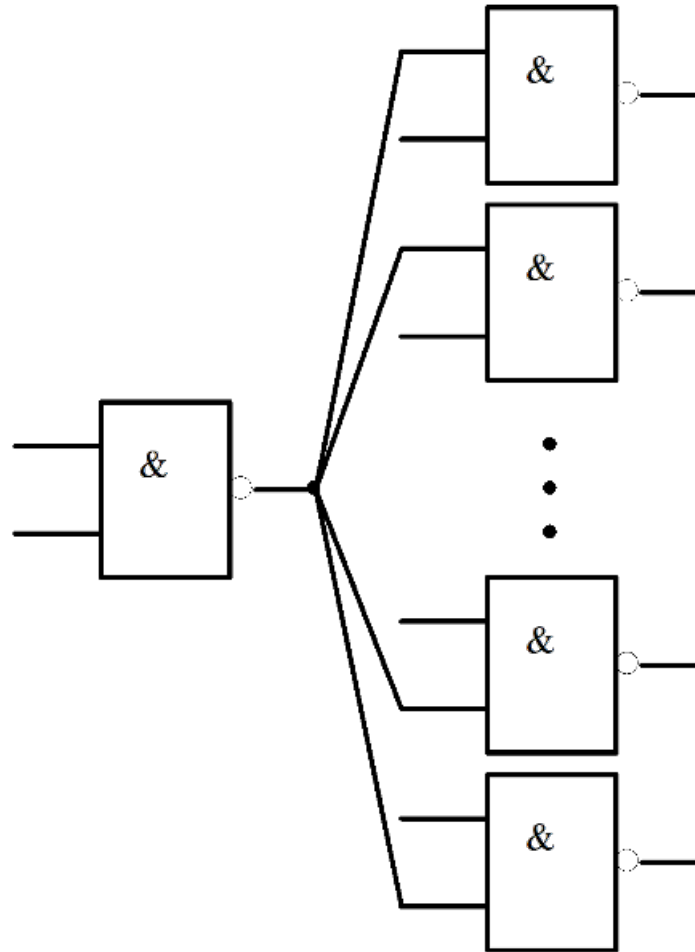
每驱动一个门，就有一个所驱动门的输入低电平电流 $I_{IL}$ 成为该门输出低电平输出电流 $I_{OL}$ 的一部分，要保证输出门在驱动后级门时的输出保持低电平状态，流进输出门的低电平输出电流 $I_{OL}$ 是有限度的。

$$\frac{I_{OL \max}}{I_{IL}} = N_L$$

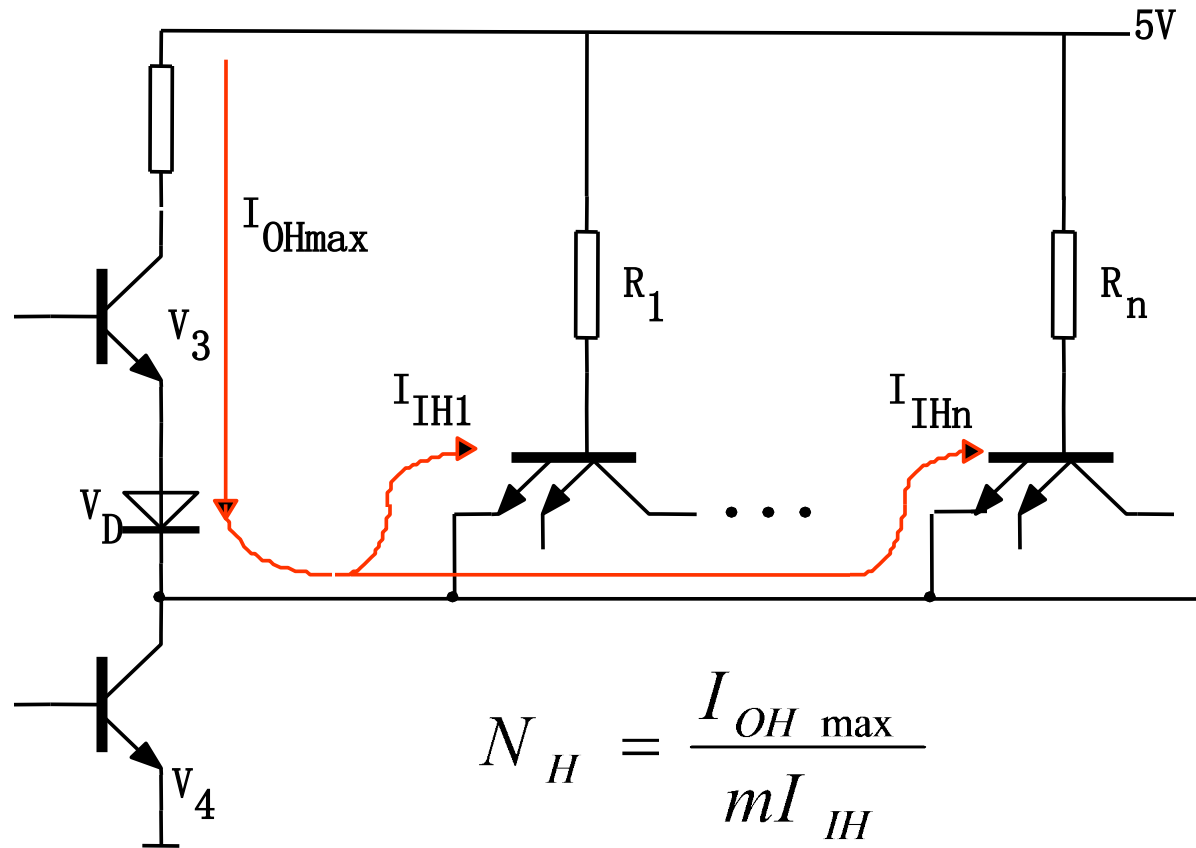
例：7400系列  $I_{OLmax} = 16mA$ ,  $I_{IL} = 1mA$

$$\frac{I_{OL\ max}}{I_{IL}} = N_L$$
$$= 16$$

由于一个门驱动后级门逻辑电路的连接形式，象一把纸扇的骨架，所以称 $N_L$ 为扇出系数。



## ● 输出高电平特性和扇出系数 $N_H$



7400系列 $I_{OH} = 0.4mA$ ,  $I_{IH} = 40\ \mu A$ ,  $m=2$ , 则  $N_H = \frac{0.4mA}{2 \times 40\ \mu A} = 5$

不同系列的N是不同的, 在使用时可查阅有关手册。

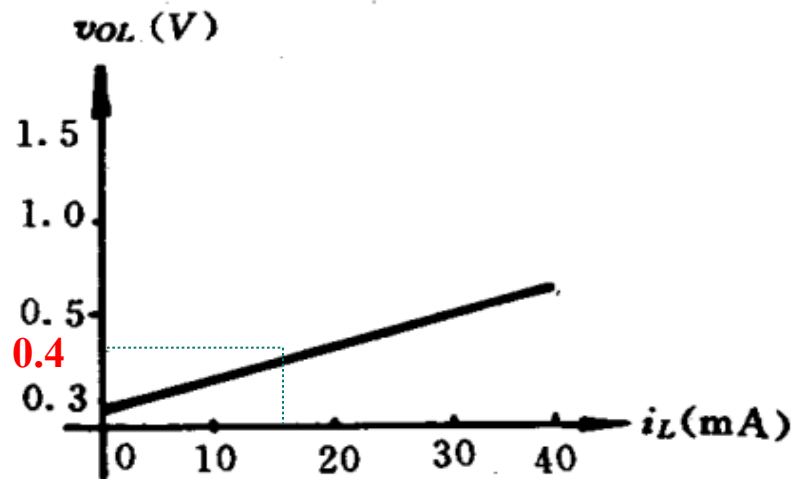
扇出系数 $N = \min\{N_L, N_H\}$

# 输出负载特性

## 1) 输入高电平时的输出特性

$V_O$ 变化慢,  $I_{OL(max)} = 16mA$

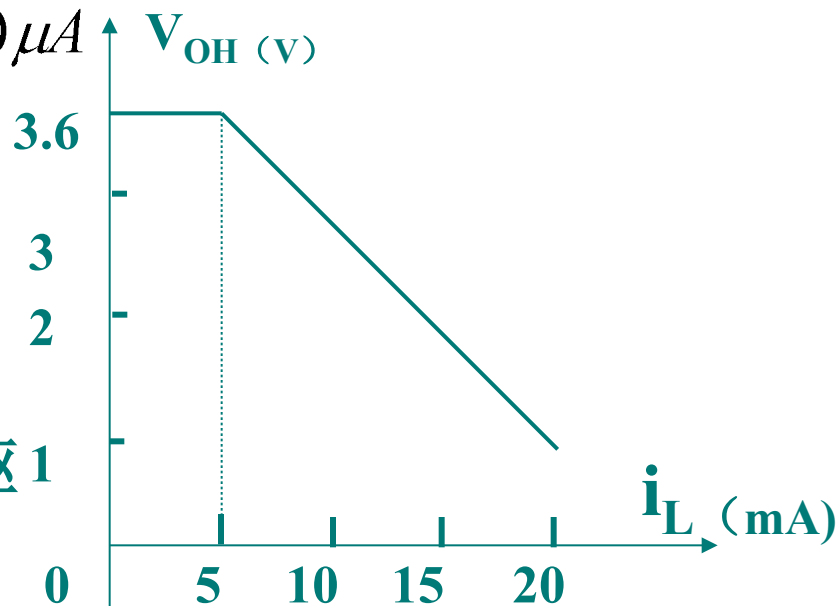
$$N_L = \frac{I_{oL(max)}}{I_{IS}}$$



## 2) 输入低电平时的输出特性

$V_O$ 变化快, 功耗  $1mW \Rightarrow I_{OH} \leq 400\mu A$

$$N_H = \frac{I_{oH(max)}}{mI_{IH}}$$



## 3) 带负载能力

扇出系数：表示一个与非门所能驱动同类门的最大个数。

$$N_O = \min\{N_L, N_H\}$$



## 4. 动态特性

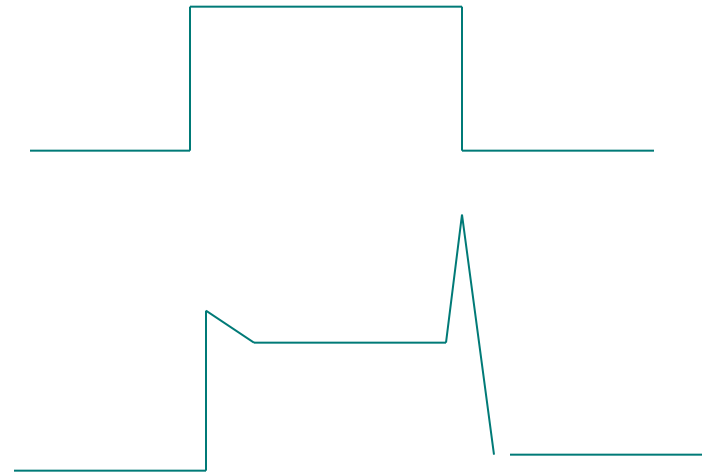
输入

输出

$t_r$

$t_f$

$$t_{pd} = (t_r + t_f) / 2$$



- 1) 平均传输延迟时间 $t_{pd}$ ：输出滞后输入信号的时间。
- 2) 动态尖峰电流：门从导通到截止过程中出现的瞬态电流。应采取措施来避免其影响。

## 2.5.3 TTL门电路的改进形式（自学）

### T2000系列与非门与T1000比较

为了提高电路的开关速度，减小延迟时间，在电路结构上采取两个改进措施。一是在输出级采用了达林顿结构， $T_3, T_4$ 复合管取代了原来的 $T_3, D_4$ ；二是将所有电阻的阻值普遍降低了将近一倍。

采用达林顿结构进一步减小了电路的输出电阻，从而提高了带拉电流负载的能力，加速对负载电容的充电速度。所以电阻值的减小，大大提高了三极管的开关速度。因此，T2000系列与非门的平均延迟时间约为T1000系列与非门的1/2，达6 ns左右。

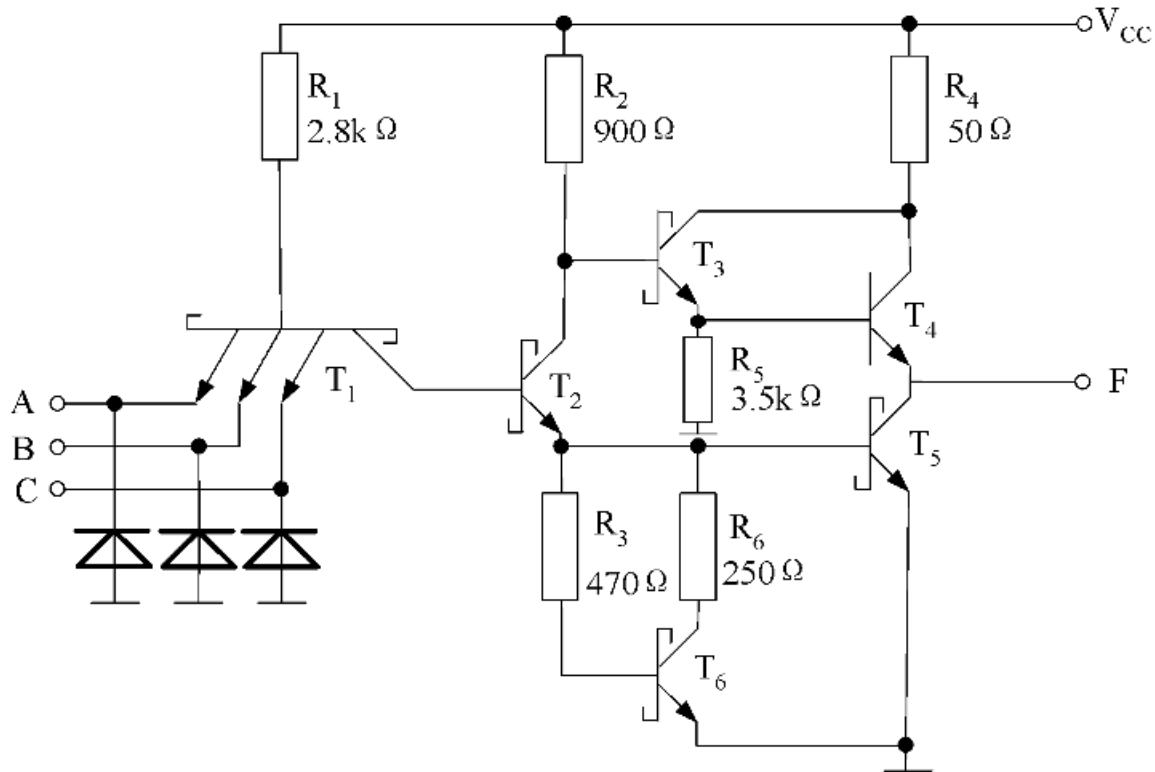
减小电阻值的不利影响是增加了电路的静态功耗。T2000系列门电路的电源平均电流约为T1000系列门的电路的两倍。可见T2000系列工作速度的提高是用增加功耗的代价换取的。

性能较好的理想门电路应该是工作速度快、功耗小。因此，通常用功耗和传输延迟时间的乘积(简称功耗延迟积或 $p_d$ 积)来评价门电路的性能优劣。T1000系列和T2000系列的 $p_d$ 积差不多。

## T3000系列(CT54S / 74S系列)

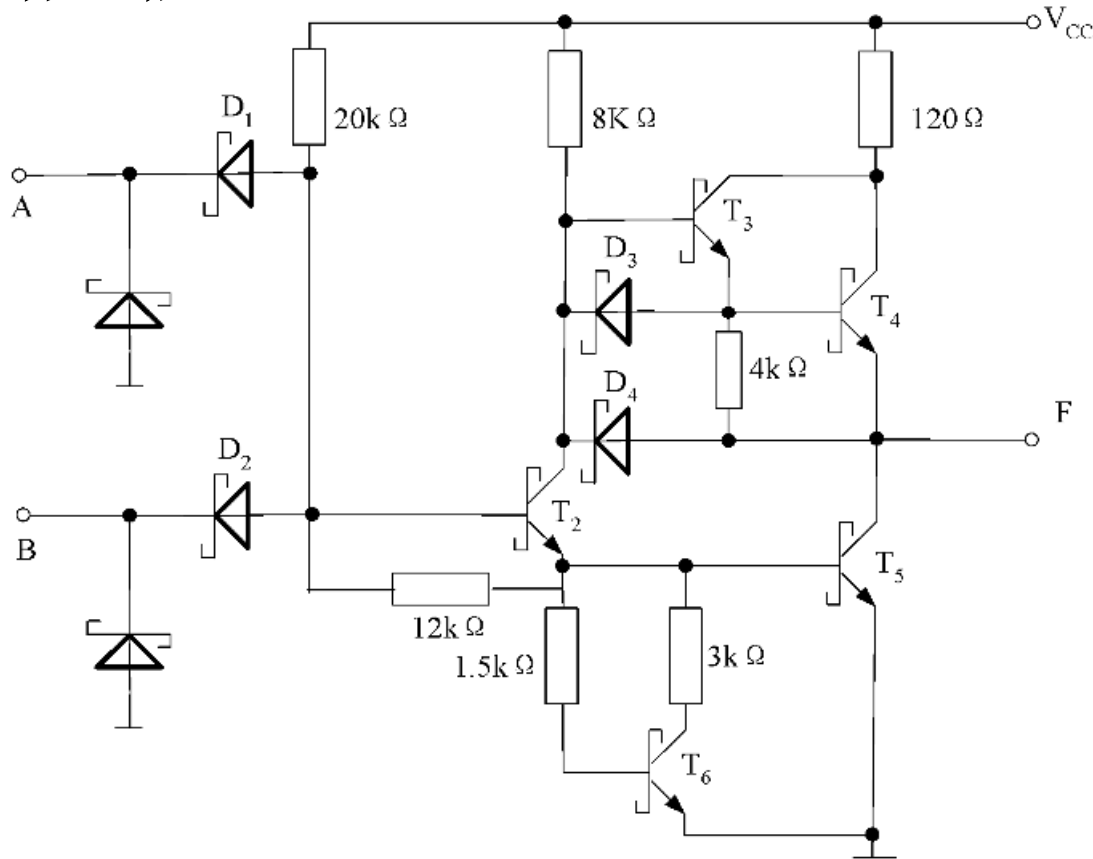
T1000系列和T2000系列都属于饱和型的逻辑门，即电路中的几只晶体管在导通时几乎都处于饱和状态。三极管工作在深度饱和是产生延迟时间的主要原因。倘若能使三极管避免进入饱和状态，那么延迟时间将能大幅度减小。

T3000系列采用了抗饱和电路，从而提高了工作速度。又称肖特基TTL门，其平均延迟时间大约3ns，静态平均功耗约为19mW，它的pd积较T1000及T2000系列有了改善。



## T4000系列(CT54LS/74LS系列)

T4000系列又称低功耗肖特基系列。各电阻的阻值较大，因而功耗较低，约为2 mW。低功耗肖特基TTL门的传输延时约9ns，功耗为2mW，pd积较小为18pJ(皮焦)，低功耗肖特基TTL电路是目前应用较广泛的一种电路。



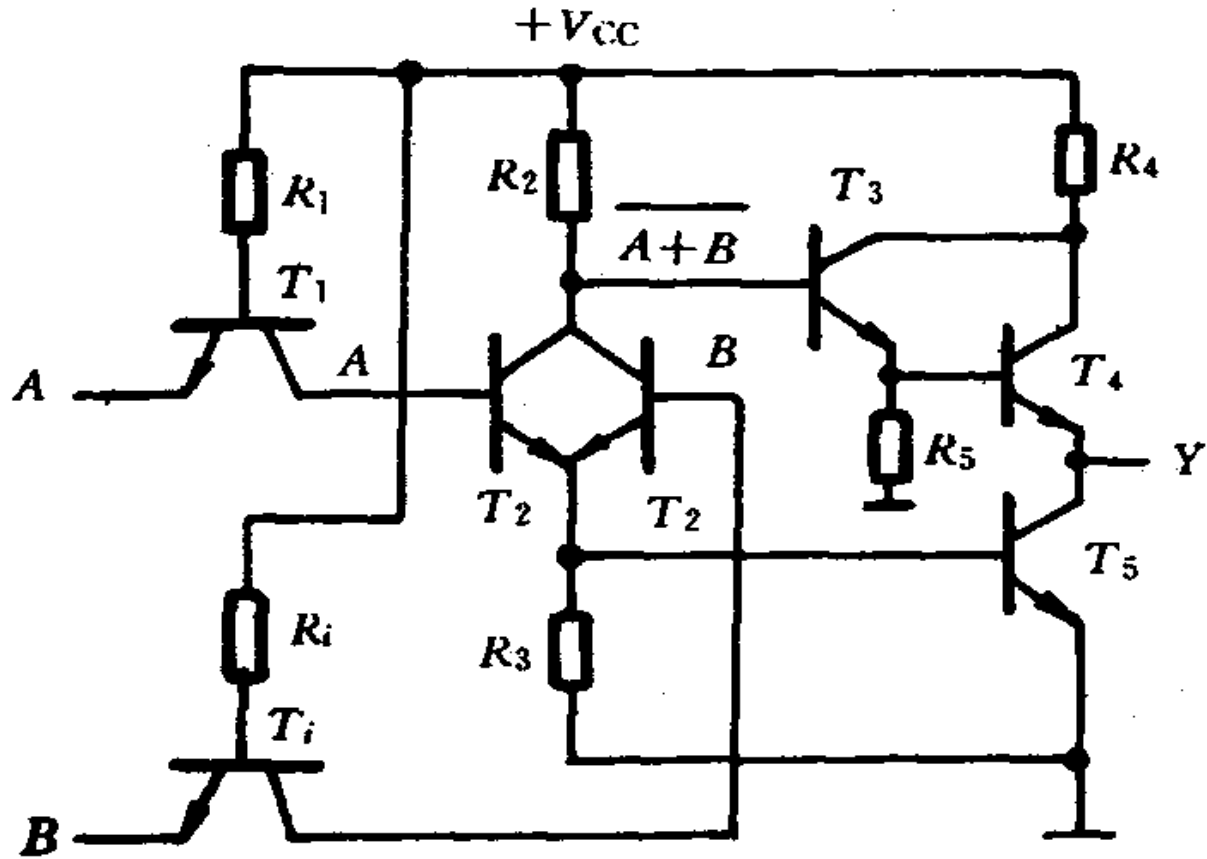
## 2.5.4 TTL门电路的其它类型

TTL门电路中，有与门、或门、与或非门、异或门、集电极开路与非门、三态门等。

各门电路虽然功能不同，但输入、输出电路结构与与非门相同，所以TTL与非门的电气特性同样适用于这些门电路。

# 1. 或非门

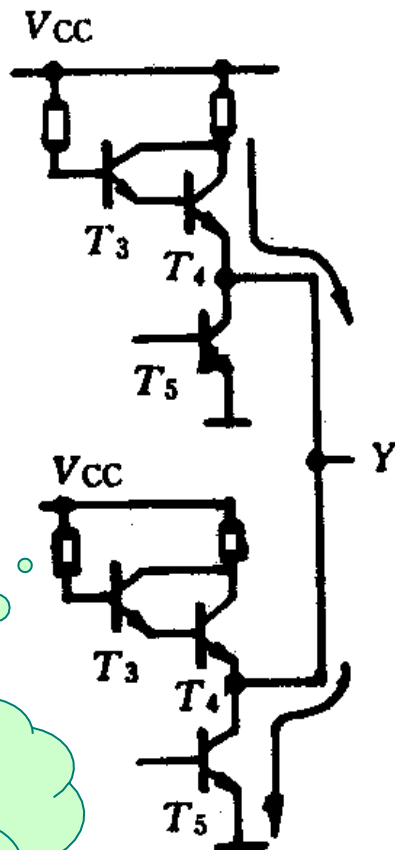
$$Y = \overline{A+B}$$



## 2. 集电极开路与非门

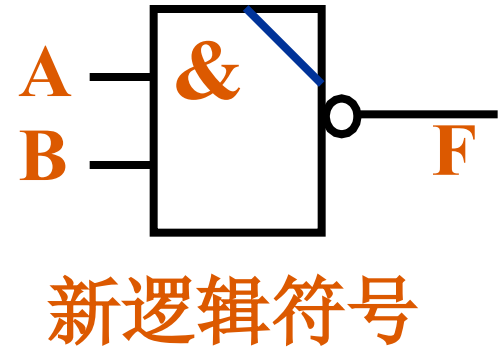
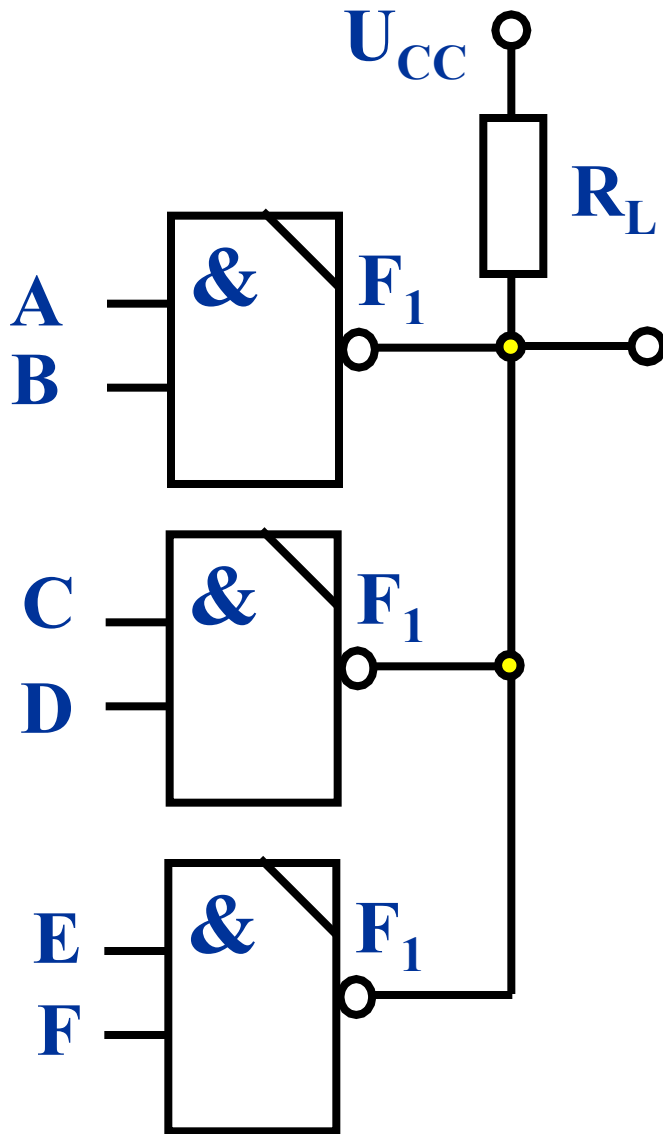
(OC—open collector)

❖ 一般的与非门不能实现线与（输出端直接相连实现与）



一般与非  
门线  
与的  
危害

# 用OC门实现“线与”功能



$$F = F_1 F_2 F_3$$

$$F_1 = \overline{A} B$$

$$F_2 = \overline{C} D$$

$$F_3 = \overline{E} F$$

$$F = \overline{A} B \overline{C} D \overline{E} F$$



## ❖ 上拉电阻 $R_L$ 的计算

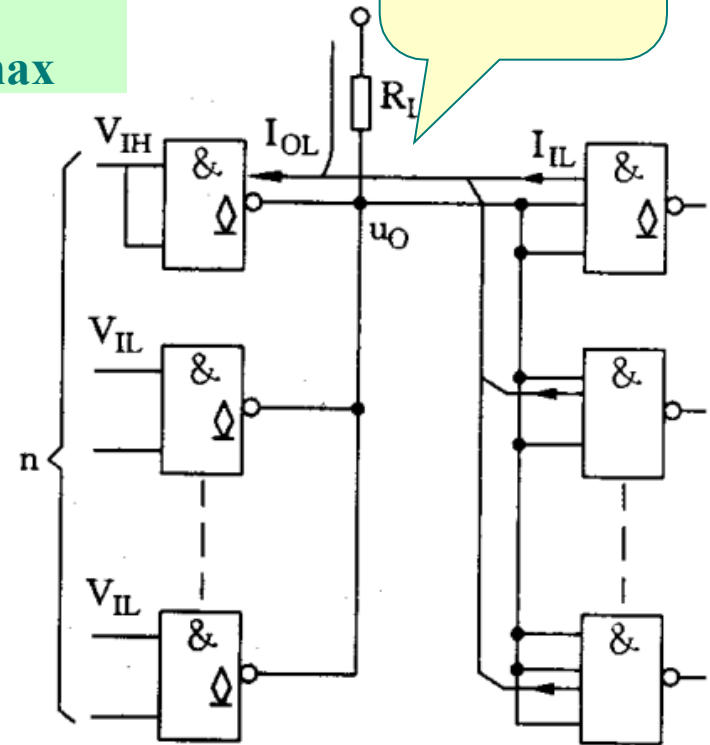
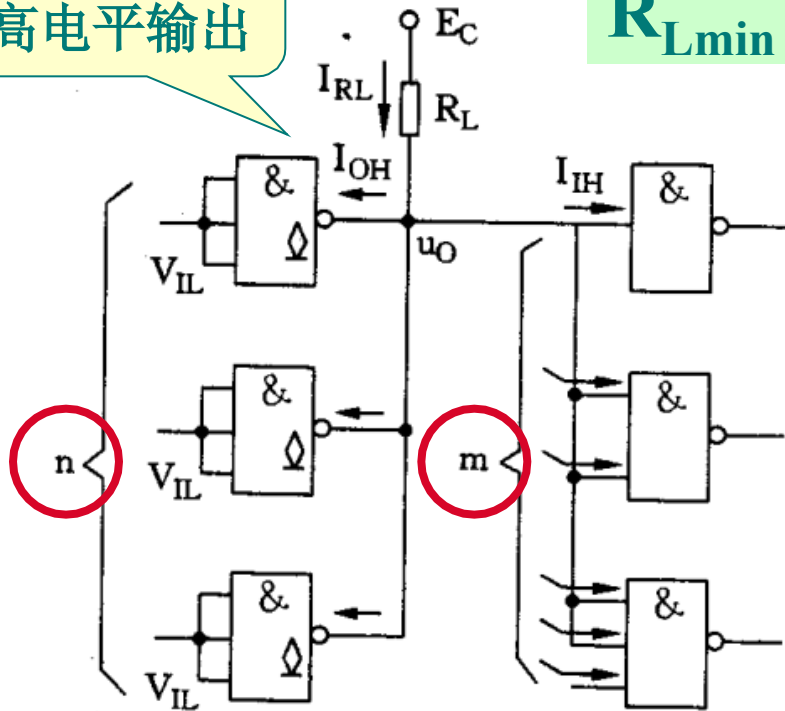
设 $n$ 为OC门并联个数； $m$ 为负载门的总输入端数；  
 $R_{Lmin}$ ， $R_{Lmax}$ 分别为最小和最大上拉电阻：

$$R_{Lmax} = \frac{V_{CC} - V_{SH}}{nI_{OH} + mI_{IH}}, I_{OH} < 400\mu A \quad R_{Lmin} = \frac{V_{CC} - V_{SL}}{I_{OL} - mI_{IS}}$$

OC门均为高电平输出

$$R_{Lmin} < R_L < R_{Lmax}$$

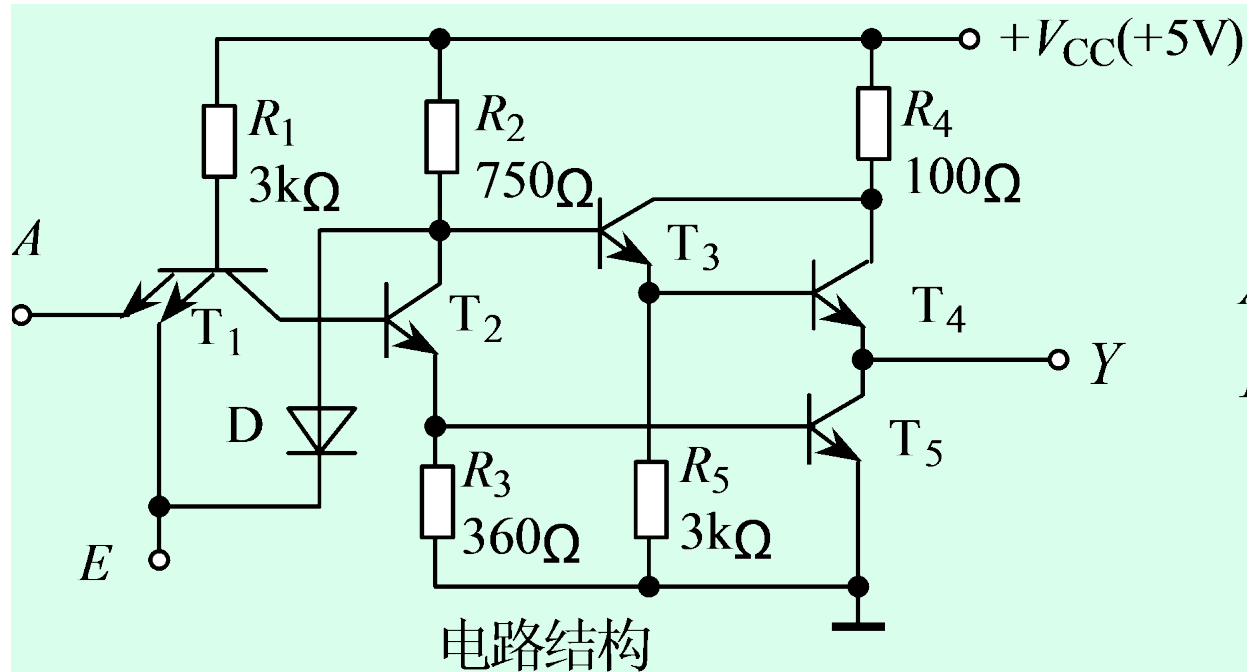
OC门一个导通，其余截止



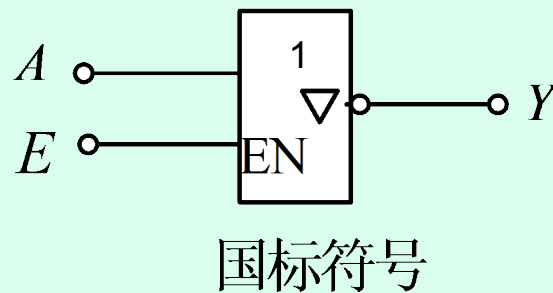
集电极开路与非门可以线与，  
但限制了开关速度的提高；带负载能力下降。

### 3. 三态TTL门

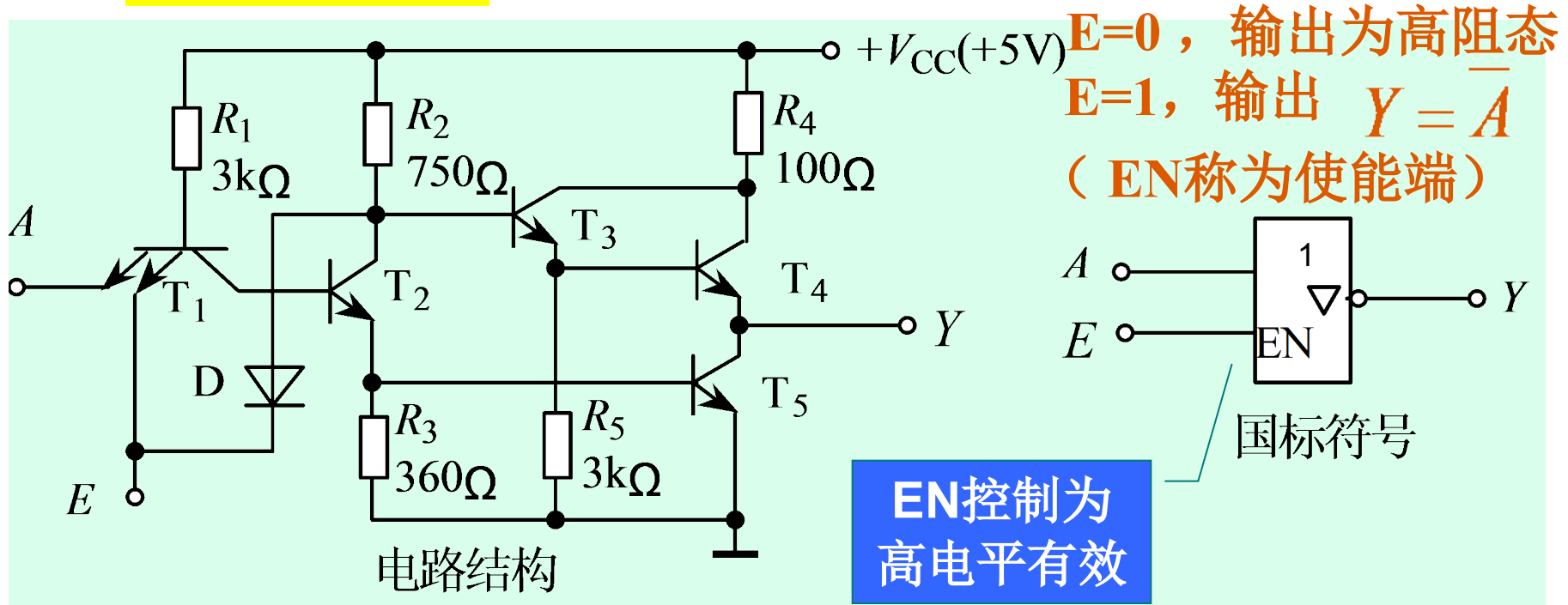
#### 1) 电路结构及逻辑符号



#### 三态非门



## 2) 工作原理



- ①  $E=0$ 时，二极管D导通， $T_2$ 基极和 $T_3$ 基极均被钳制在低电平，因而 $T_2 \sim T_5$ 均截止，输出端开路，电路处于高阻状态。
- ②  $E=1$ 时，二极管D截止，TSL门的输出状态取决于输入信号A的状态，电路输出与输入的逻辑关系和一般反相器相同，即： $Y = \overline{A}$ ， $A=0$ 时 $Y=1$ ，为高电平； $A=1$ 时 $Y=0$ ，为低电平。

结论：电路的输出有高阻态、高电平和低电平3种状态。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/658000062100007002>