



第3章 逻辑门电路

3.1 概述

3.2 半导体二极管和三极管的开关特性

3.2.1 半导体二极管的开关特性

3.2.2 半导体三极管的开关特性

双极型三极管的开关特性

3.3 最简单的与、或、非门电路

3.3.1 二极管与门

3.3.2 二极管或门

3.3.3 二极管非门



3.4 TTL门电路

3.4.1 TTL反相器的电路结构和工作原理

3.4.2 TTL反相器的静态输入特性和输出特性

3.4.3 TTL反相器的动态性能

3.4.4 其他类型的TTL门电路

3.4.5 TTL电路的改进系列

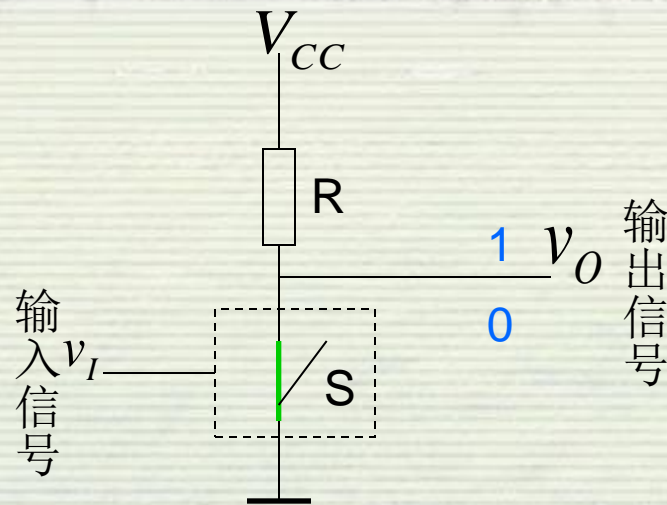
3.1 概述

门电路——用以实现各种基本逻辑运算和复合逻辑运算的单元电路

正逻辑——用**1**表示高电平、用**0**表示低电平的情况

负逻辑——用**0**表示高电平、用**1**表示低电平的情况

注意：除非特别说明，书中一律采用正逻辑。



3.2 半导体二极管和三极管的开关特性

3.2.1 半导体二极管的开关特性

理想二极管：正向导通电阻为0，反向内阻为无穷大。

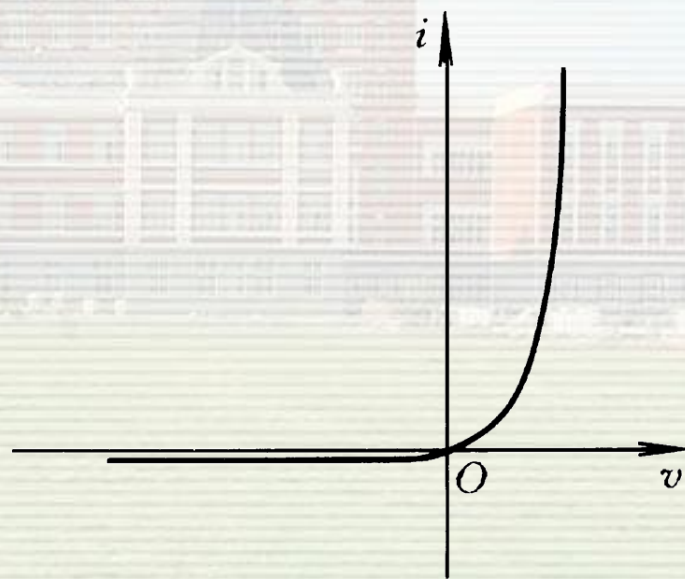
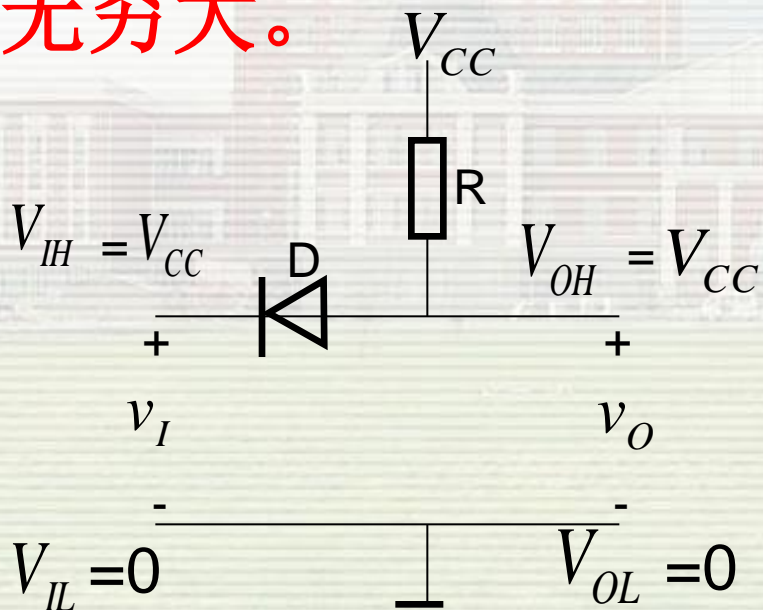
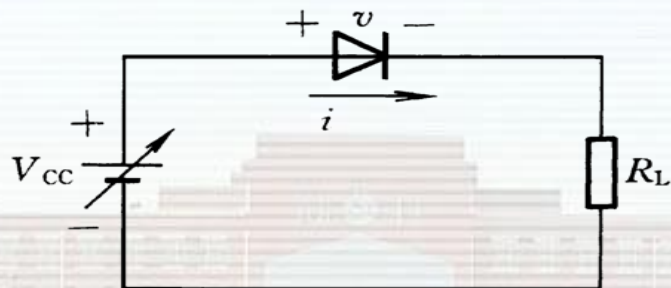


图3.2.2 二极管的伏安特性

图3.2.1 二极管开关电路



V_{CC} 和 R_L 都很小，
 r_D 和 V_{ON} 都不能忽略

V_{CC} 小， R_L 大， r_D 忽略，
 V_{ON} 不能忽略

V_{CC} 和 R_L 都很大，
 r_D 和 V_{ON} 都可以忽略

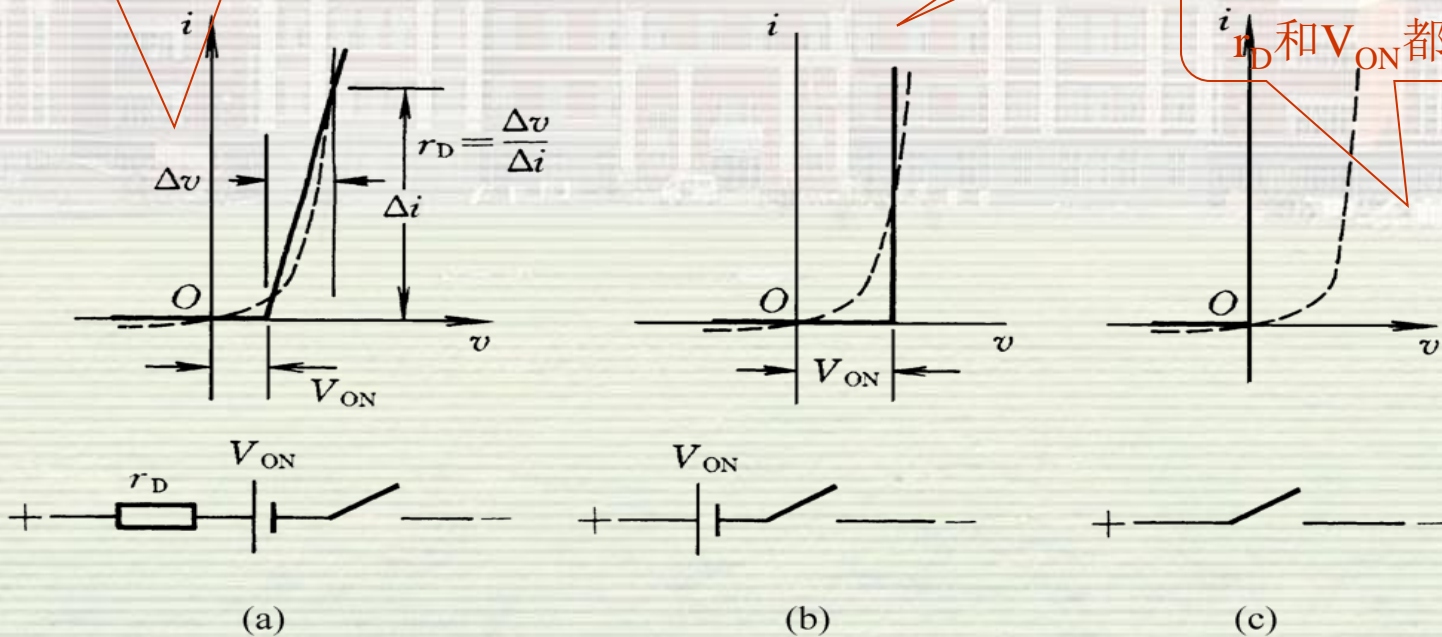


图3.2.3 二极管伏安特性的几种近似方法

二极管的动态电流:

动态: 从一个方向变化到另外一个方向

这里指加到二极管两端的电压突然反向时电流的变化过程

外加电压由负 \rightarrow 正

外加电压由正 \rightarrow 负

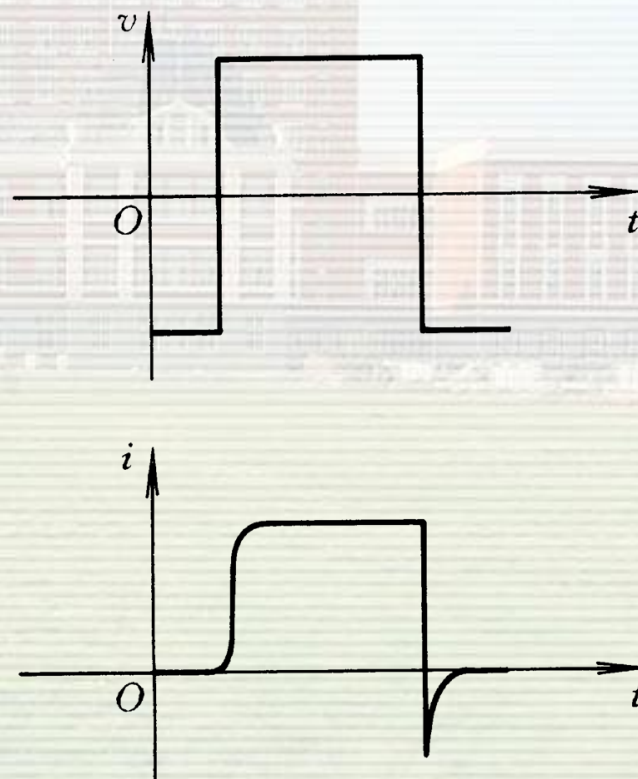


图3.2.4 二极管的动态电流波形 6

3.2.2 半导体三极管的开关特性

一、双极型三极管的开关特性

1. 双极型三极管的结构

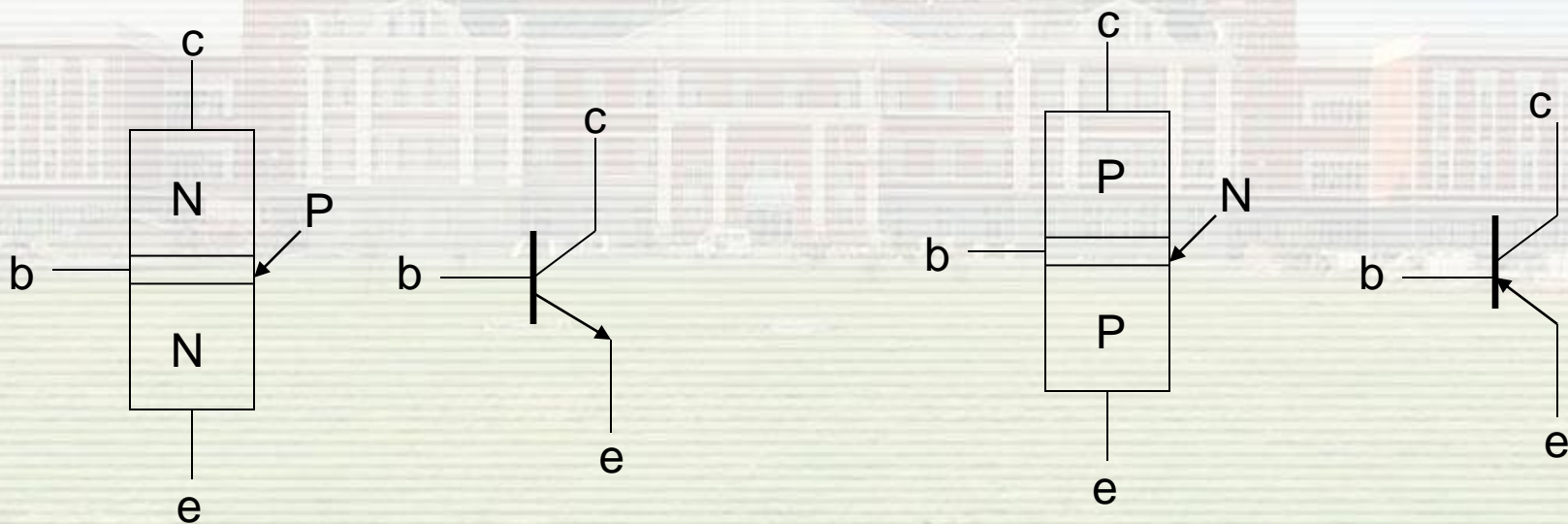
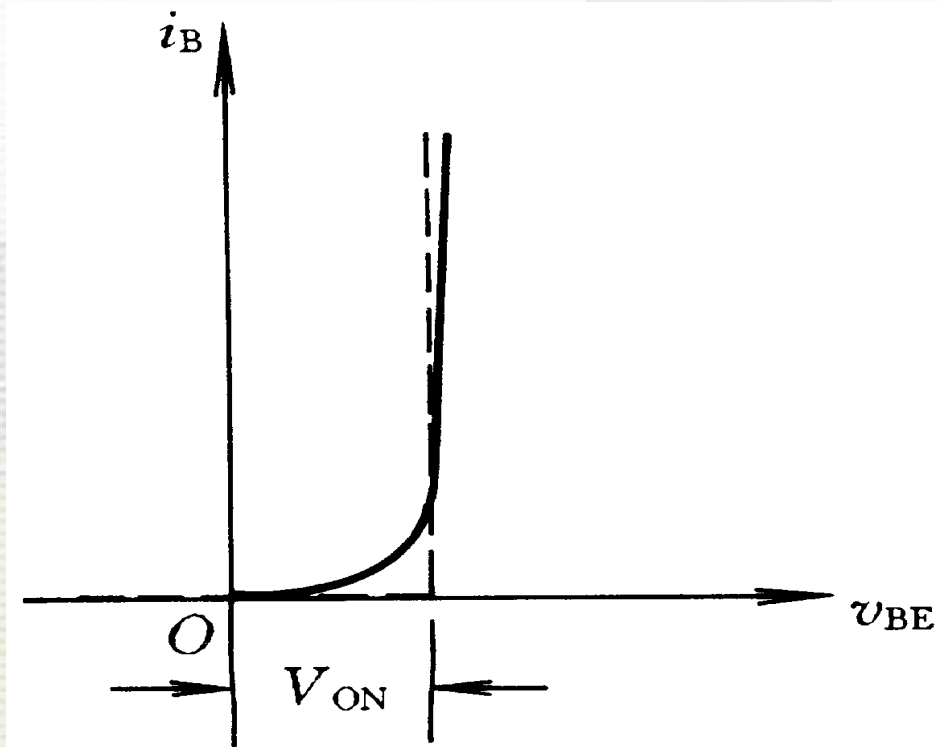


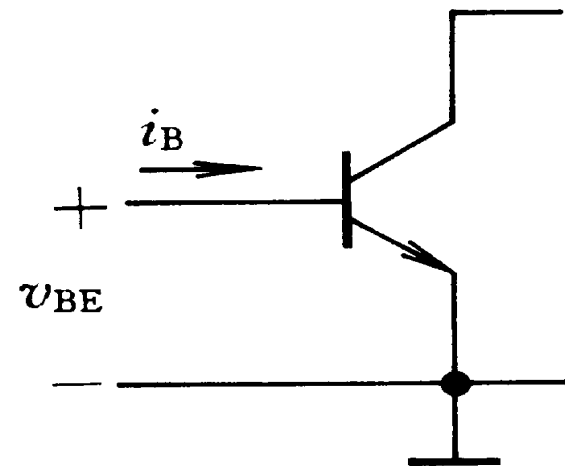
图3.2.5 双极型三极管的两种类型
(a) NPN型 (b) PNP型

2. 双极型三极管的输入特性和输出特性

输入特性



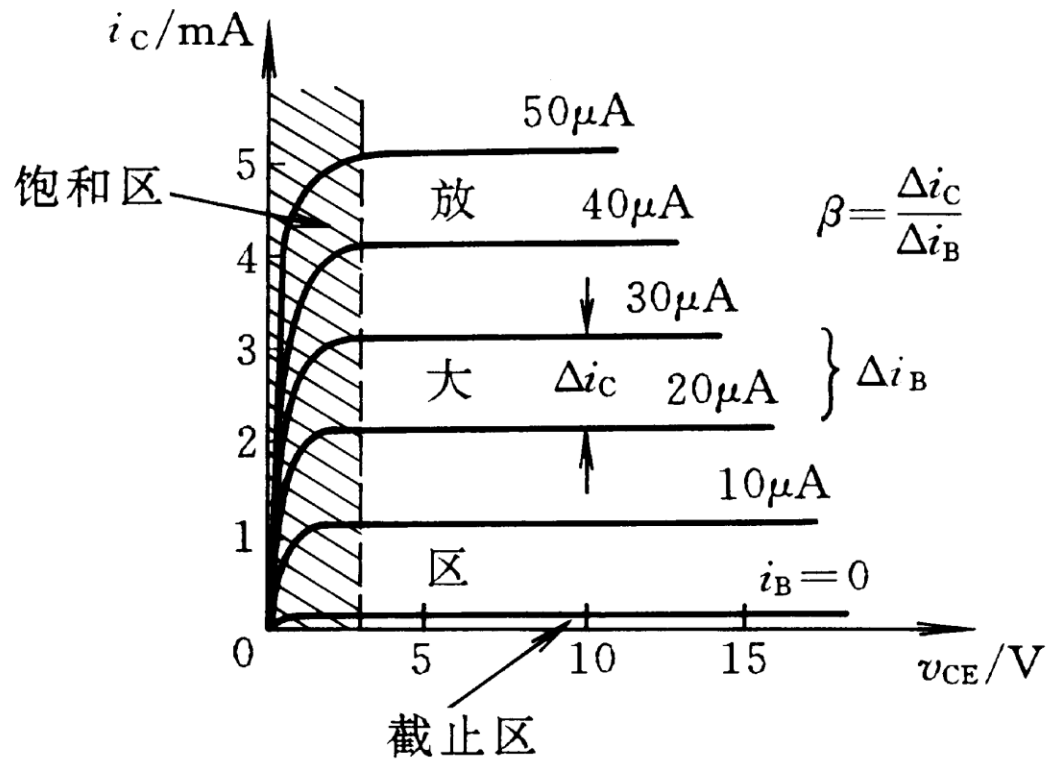
(a)



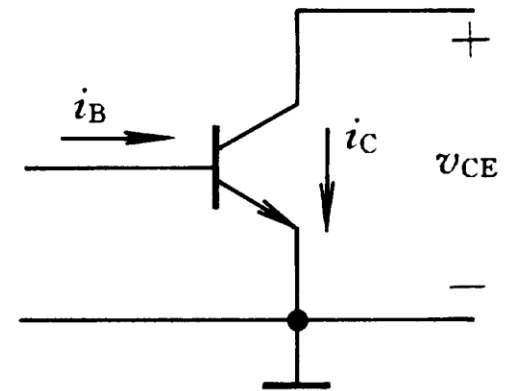
开启电压 { 硅管: $(0.5 \sim 0.7) \text{ V}$
 锗管: $(0.2 \sim 0.3) \text{ V}$



输出特性



(b)





3. 双极型三极管的基本开关电路

$v_I < V_{ON}$ 时，三极管截止， $i_B \approx 0$

$i_C \approx 0$ ， R_C 上没有压降

输出为高电平 V_{OH} ，且 $V_{OH} \approx V_{CC}$

$v_I > V_{ON}$ 时， i_B 产生

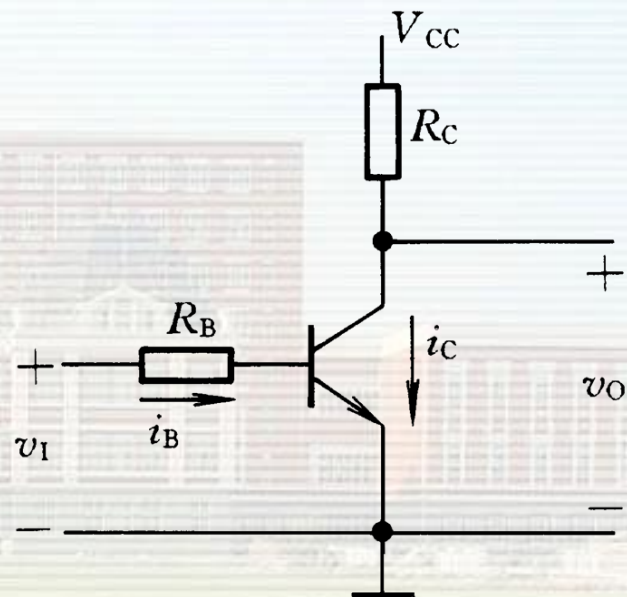
i_C 流过 R_C 和三极管的输出回路

三极管进入放大区

$$i_B = \frac{v_I - V_{ON}}{R_B}$$

若三极管的电流放大系数为 β

$$\begin{aligned} v_O = v_{CE} &= V_{CC} - i_C R_C \\ &= V_{CC} - \beta i_B R_C \end{aligned}$$





$v_i \uparrow$ R_C 压降 \uparrow , 当 R_C 压降接近 V_{CC} 时, 三极管压降接近零, 三极管处于深度饱和状态,

$$V_O = V_{OL} \approx 0$$

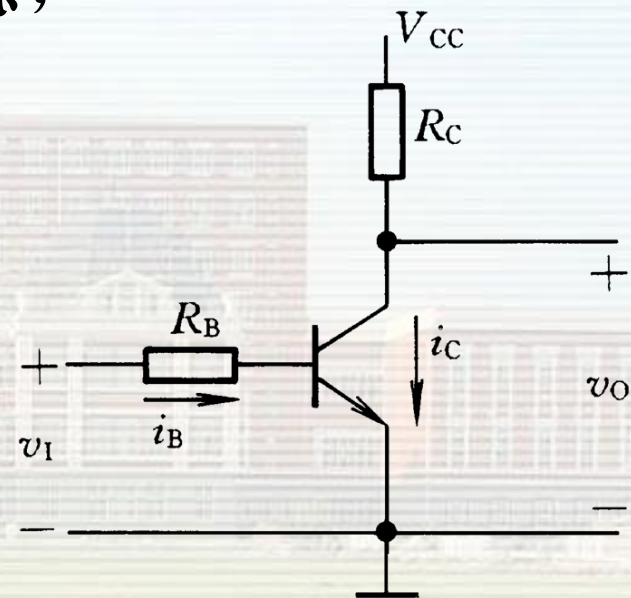
三极管深度饱和压降为 $V_{CE(sat)}$

$$V_{CC} - V_{CE(sat)} = i_C R_C$$

解得:
$$i_C = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} < \beta i_B$$

则
$$i_B > \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{\beta R_C} = I_{BS}$$

为使三极管处于饱和工作状态, 电路输出低电平, 必须保证 $i_B \geq I_{BS}$ (饱和基极电流)





综上所述，只要合理地选择电路参数。保证

v_I 为低电平 V_{IL} 时 $V_{BE} < V_{ON}$ ，三极管工作在截止状态

v_I 为高电平 V_{IH} 时 $I_B \geq I_{BS}$ ，三极管工作在深度饱和状态

则三极管的c-e间就相当于一个受 v_I 控制的开关

三极管截止时相当于开关断开，输出高电平

三极管饱和导通时相当于开关接通，输出低电平

4. 三极管的开关等效电路

实用电路中通常都满足饱和压降 $V_{CE(sat)} \approx 0$ ，截止时的 $I_{CEO} \approx 0$

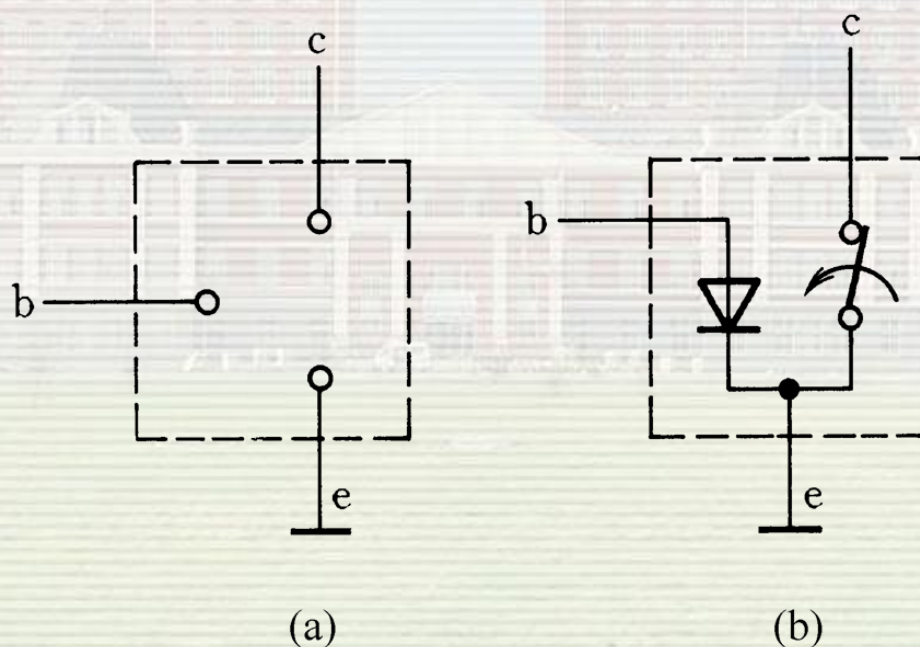


图3.2.9 双极型三极管的开关等效电路
(a)截止状态 (b)饱和导通状态

5. 双极型三极管的动态开关特性

动态情况下，即三极管在截止与饱和导通两种状态间迅速转换时，三极管内部电荷建立和消散都需要一定的时间

因而 i_c 的变化将滞后于输入电压 v_i 的变化

所以 v_o 的变化滞后于输入电压 v_i 的变化

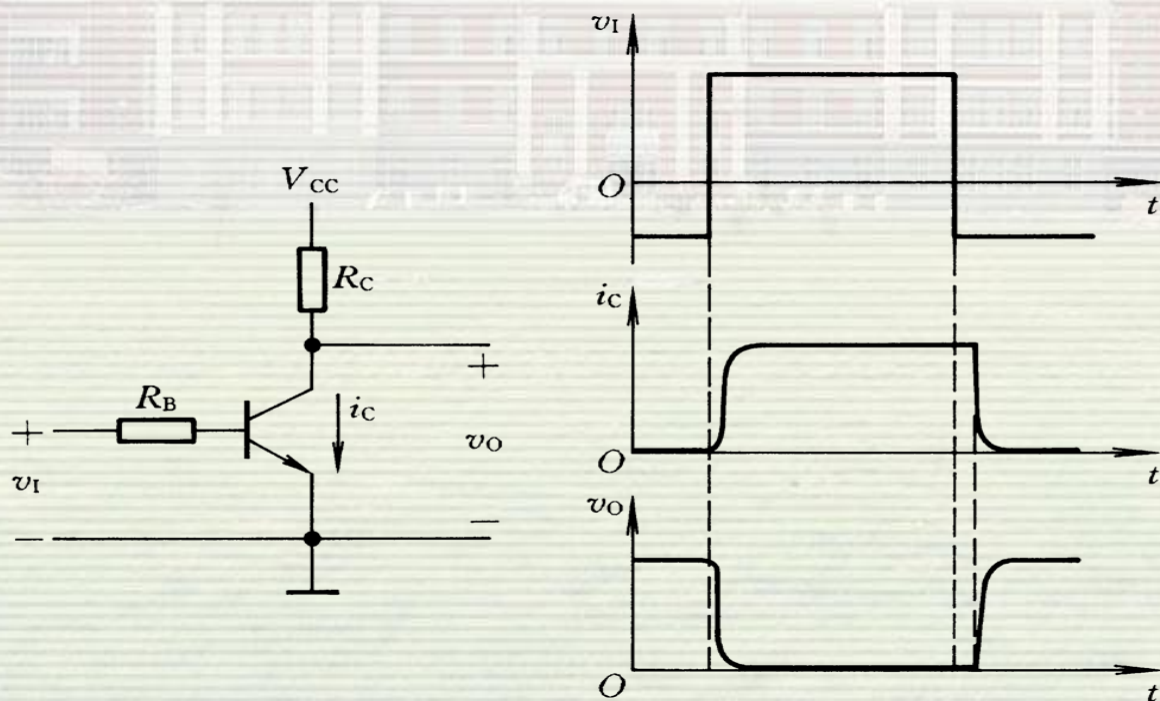
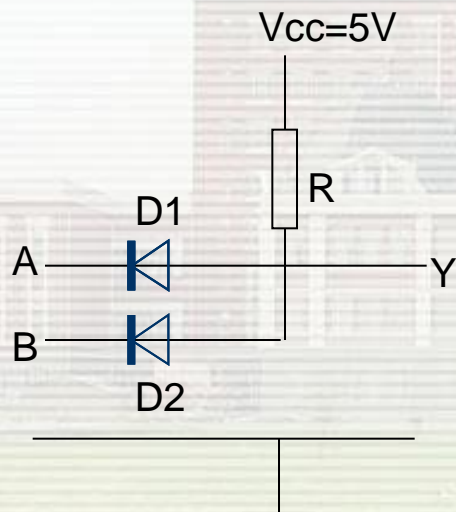


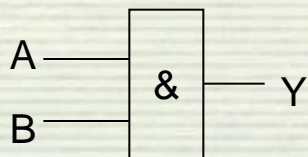
图3.2.10 双极型三极管的动态开关特性

3.3最简单的与、或、非门电路

3.3.1 二极管与门



设 $V_{cc}=5V$ ，A、B 输入端的高、低电平分别为 $V_{IH}=3V$ ， $V_{IL}=0V$ ，二极管 D_1 、 D_2 的正向导通压降 $V_{DF}=0.7V$



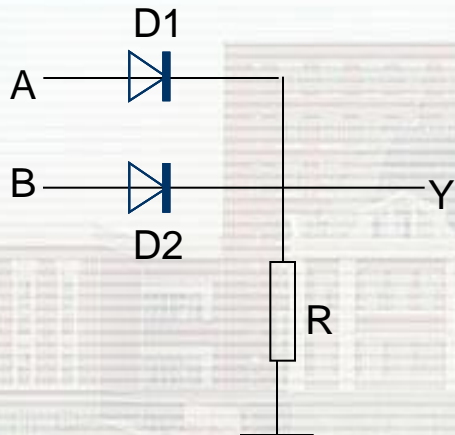
电路逻辑电平

| A / V | B / V | Y / V |
|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0.7 |
| 0 | 3 | 0.7 |
| 3 | 0 | 0.7 |
| 3 | 3 | 3.7 |

电路真值表

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

3.3.2 二极管或门

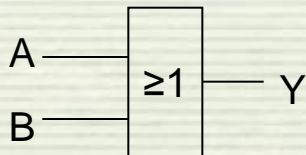


电路逻辑电平

| A / V | B / V | Y / V |
|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 3 | 2.3 |
| 3 | 0 | 2.3 |
| 3 | 3 | 2.3 |

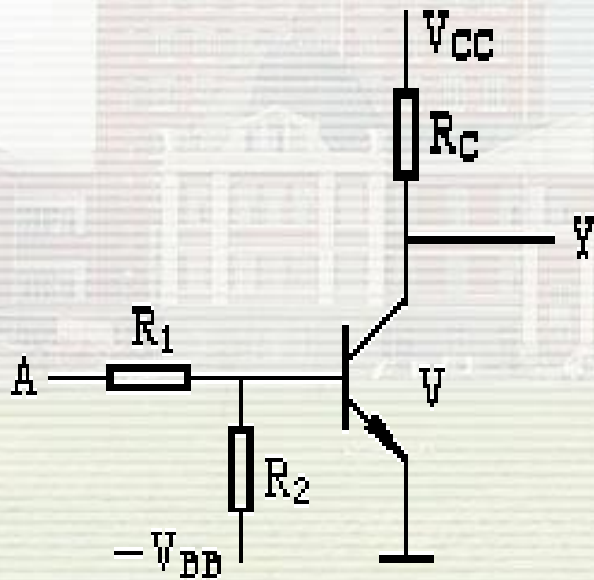
电路真值表

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



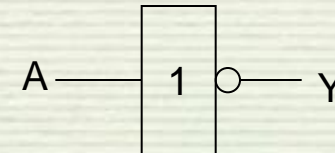


3.3.3 三极管非门



电路真值表

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





3.4 TTL门电路

1961年美国德克萨斯仪器公司率先将数字电路的元、器件和连线制作在同一硅片上，制成了集成电路IC。

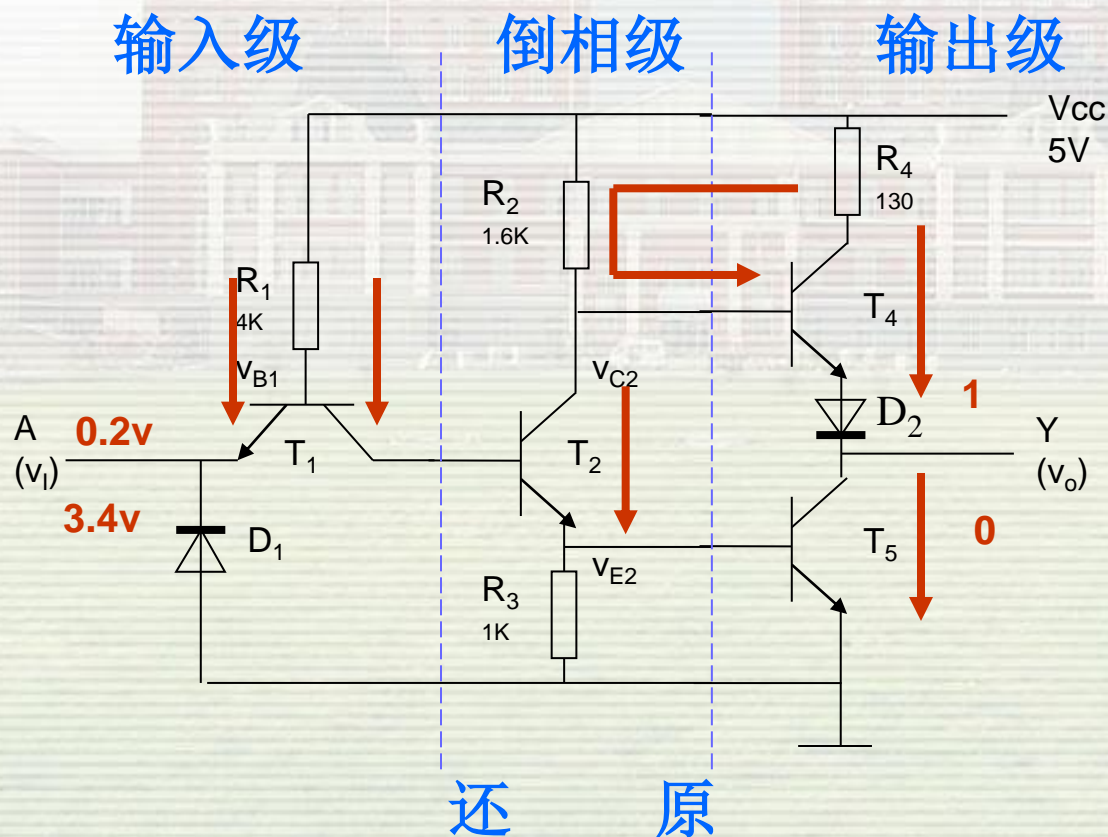
按集成度高低可分：**SSI, MSI, LSI, VLSI**。

按制造工艺的不同可分为：双极型和单极型

TTL电路：输入端和输出端均为三极管结构的电路，叫三极管-三极管逻辑电路，(**Transistor-Transistor Logic**)简称**TTL电路**。

3.4.1 TTL反相器的电路结构和工作原理

一、电路结构



当 $V_i = V_{iL}$ 时

当 $V_i = V_{iH}$ 时