

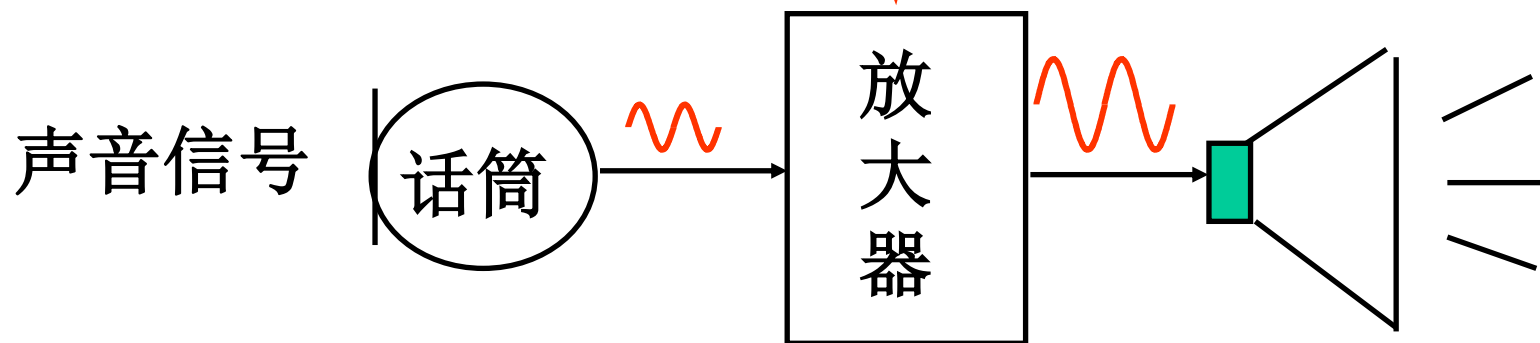
第2章 基本放大电路

- 2.1 放大的概念与放大电路的性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管放大电路的三种接法
- 2.6 场效应管及其基本放大电路
- 2.7 基本放大电路的派生电路

【引例】

放大电路是如何工作的？

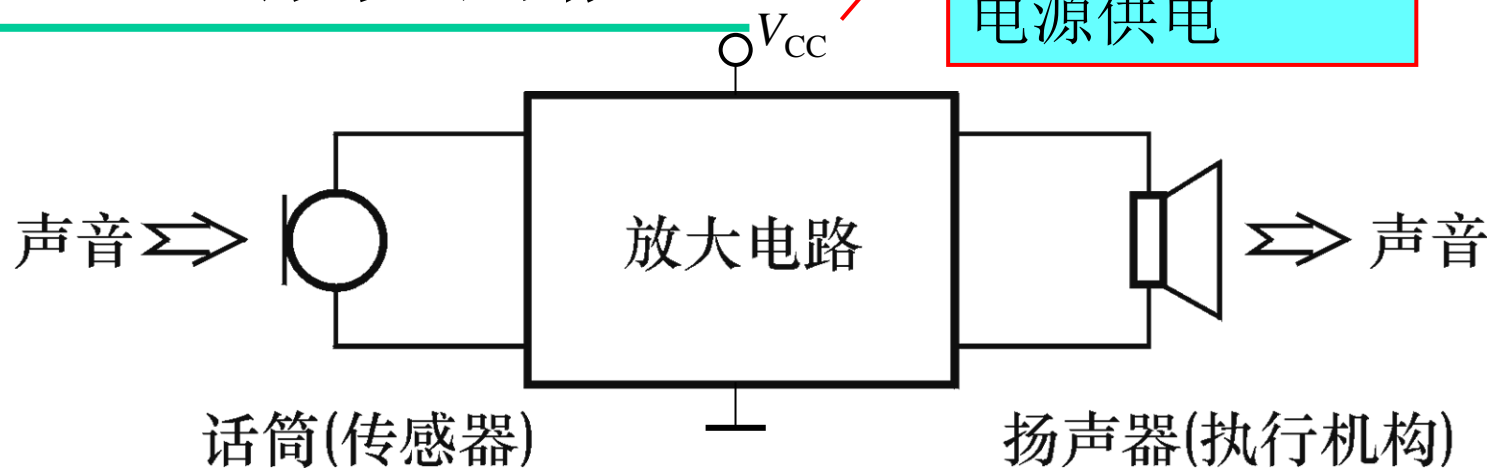
在电子技术中，利用晶体管和场效应管组成放大电路，放大微弱的电信号，驱动负载工作。例如，扩音机电路的示意图如下：



本章主要讨论常用的基本放大电路的结构、工作原理、分析方法及其应用。

2.1 放大的概念与放大电路的性能指标

2.1.1 放大的概念

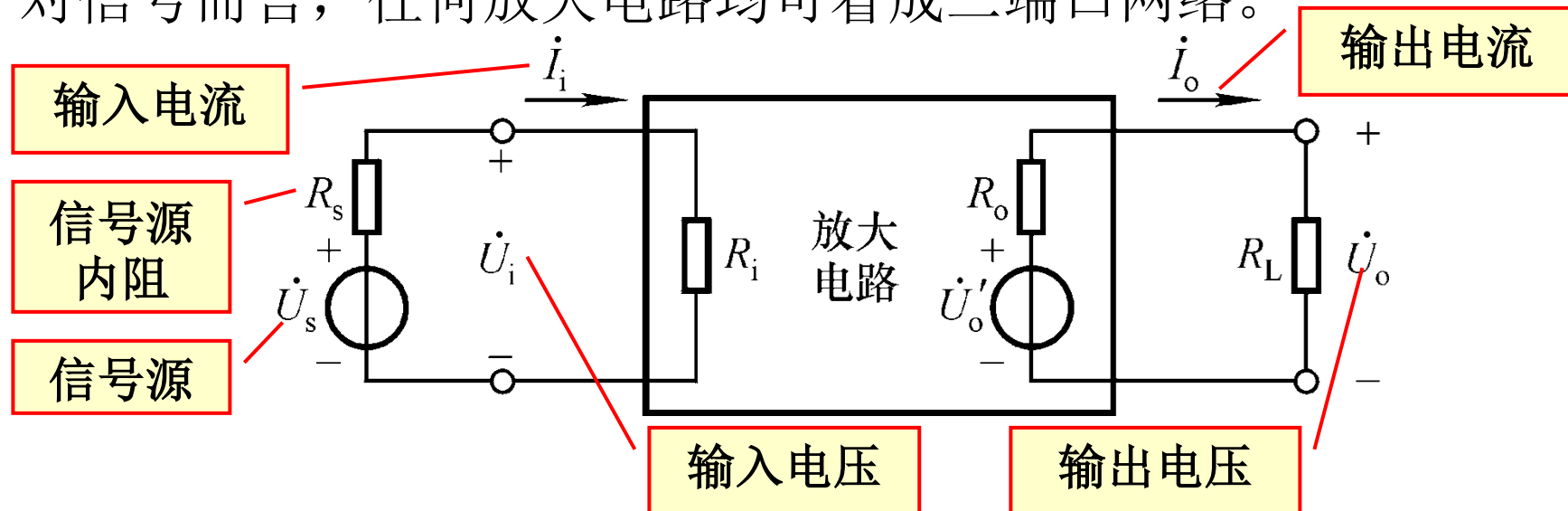


- 放大的对象：变化量
- 放大的本质：能量的控制
- 放大的特征：功率放大
- 放大的基本要求：不失真——放大的前提

判断电路能否放大的基本出发点

2.1.2 放大的性能指标

对信号而言，任何放大电路均可看成二端口网络。



1. 放大倍数：输出量与输入量之比

$$\dot{A}_{uu} = \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

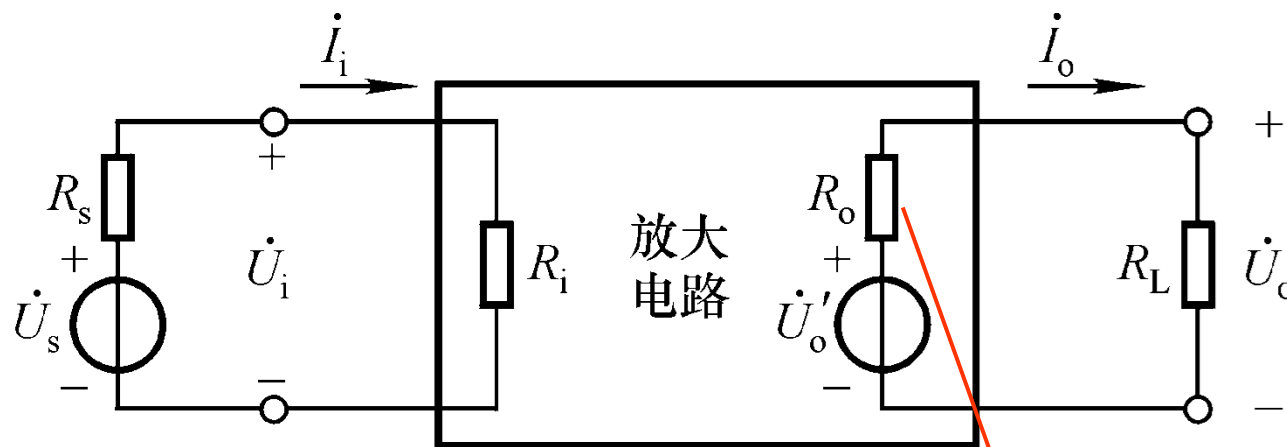
$$\dot{A}_{ii} = \dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i}$$

$$\dot{A}_{ui} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i}$$

$$\dot{A}_{iu} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i}$$

电压放大倍数是最常被研究和测试的参数

2. 输入电阻和输出电阻



$$R_i = \frac{U_i}{I_i}$$

输入电压与
输入电流有
效值之比。

$$R_o = \frac{U'_o - U_o}{\frac{U_o}{R_L}} = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L$$

空载时输出
电压有效值

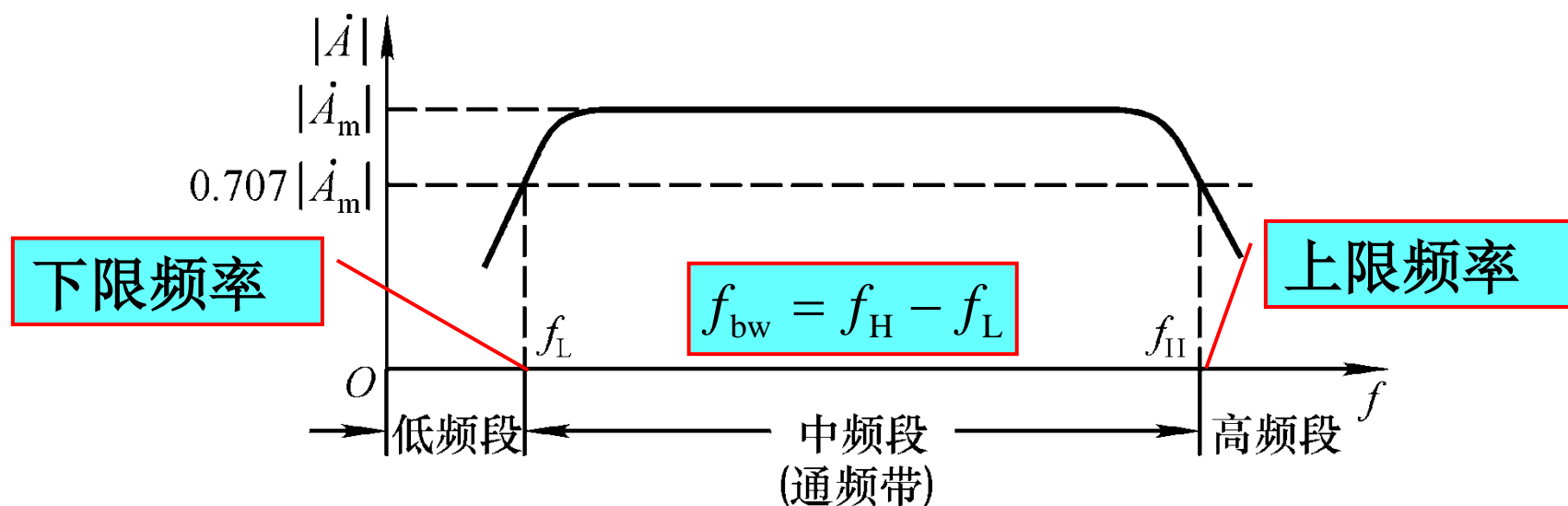
带 R_L 时的输出
电压有效值

将输出等效成
有内阻的电压
源，内阻就是
输出电阻。

3. 通频带

衡量放大电路对不同频率信号的适应能力。

由于电容及放大管PN结的电容效应，使放大电路在信号频率较低和较高时电压放大倍数的数值下降，并产生相移。



4. 最大不失真输出电压 U_{om} ：交流电压的有效值。

5. 最大输出功率 P_{om} 和效率 η ：功率放大电路的参数。

2.2 基本共射电压放大电路的工作原理

放大电路

电压放大电路

电流放大电路

功率放大电路

交流放大电路

直流放大电路

共发射极接法的放大电路

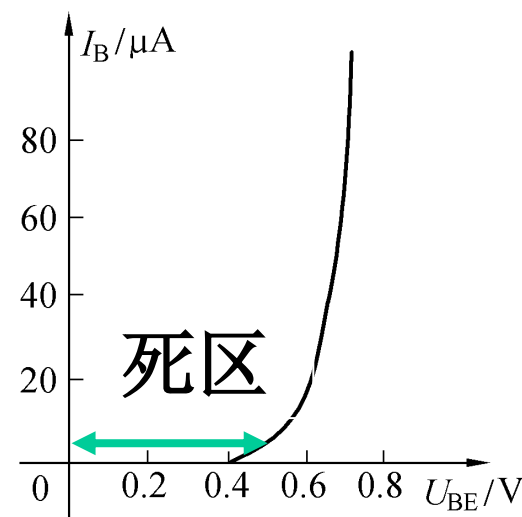
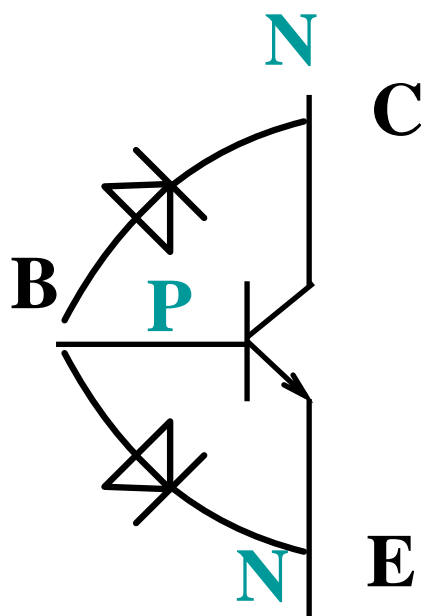
共集电极接法的放大电路

共基极接法的放大电路（简介）

2.2.1 基本共射交流电压放大电路的组成

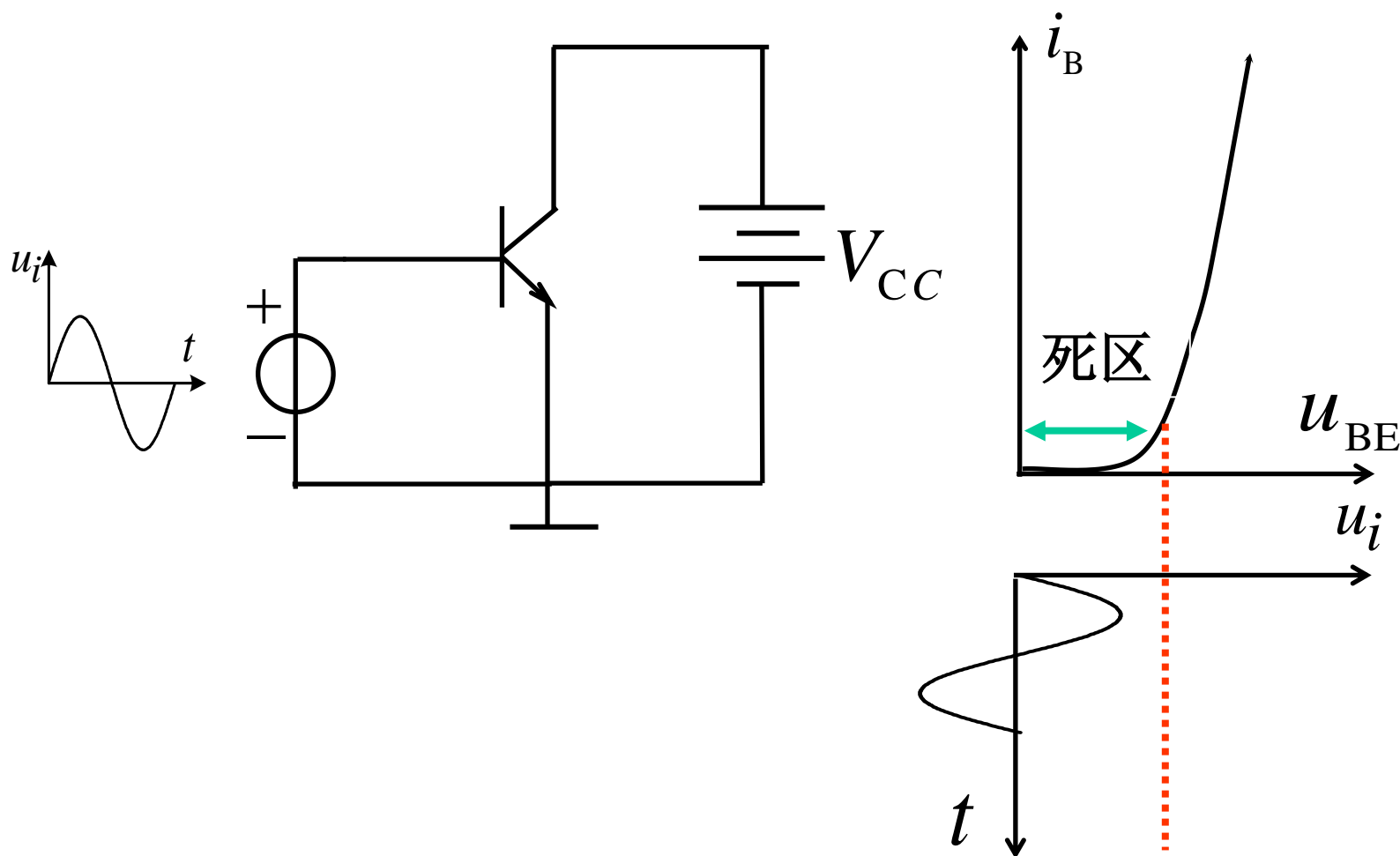
1. 基本组成

基本放大条件： 1. 能放大， 2. 不失真

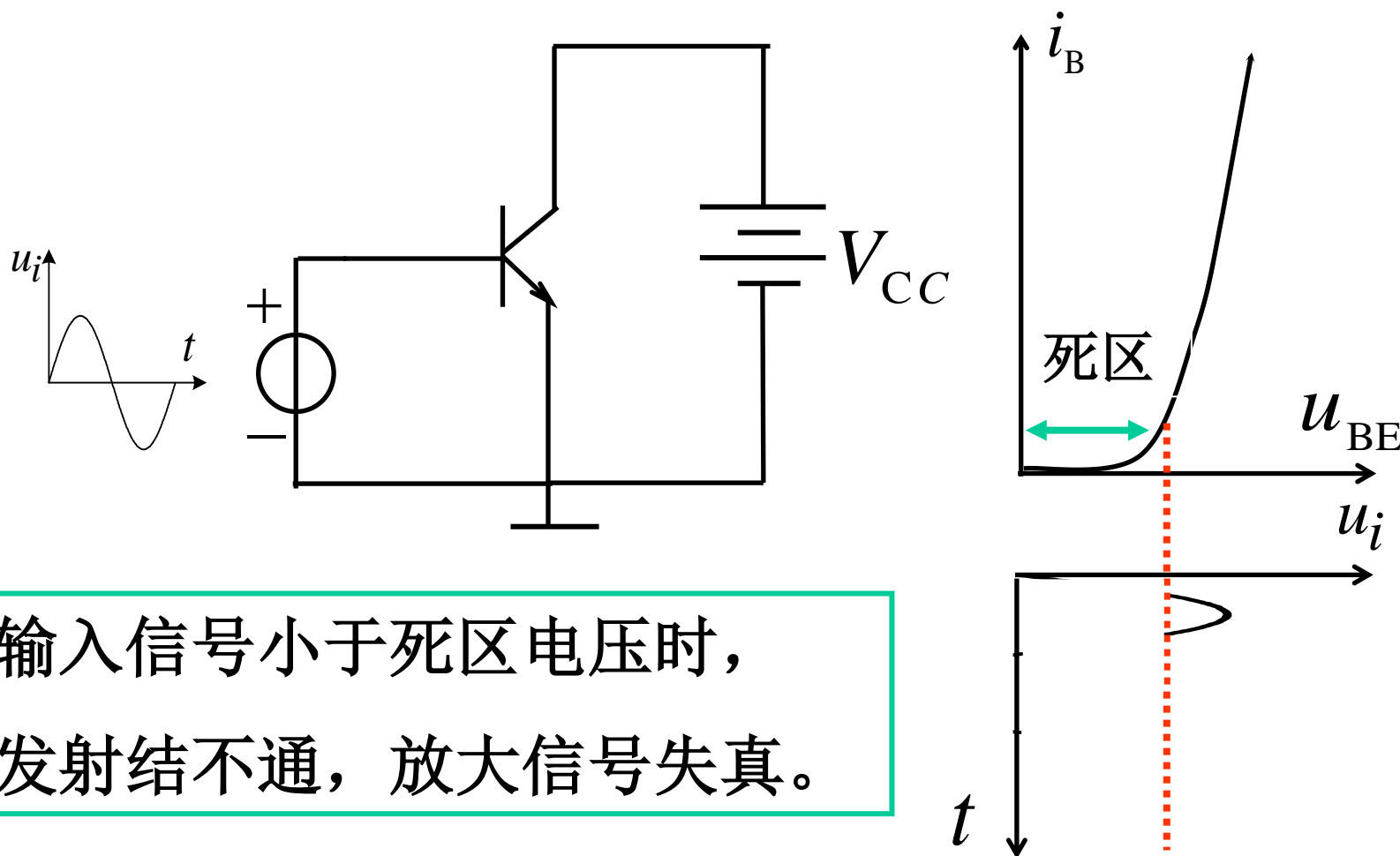


若输入信号小于死区电压，二极管不通，被放大的输入信号肯定失真。

若直接在晶体管的输入端加交流信号：

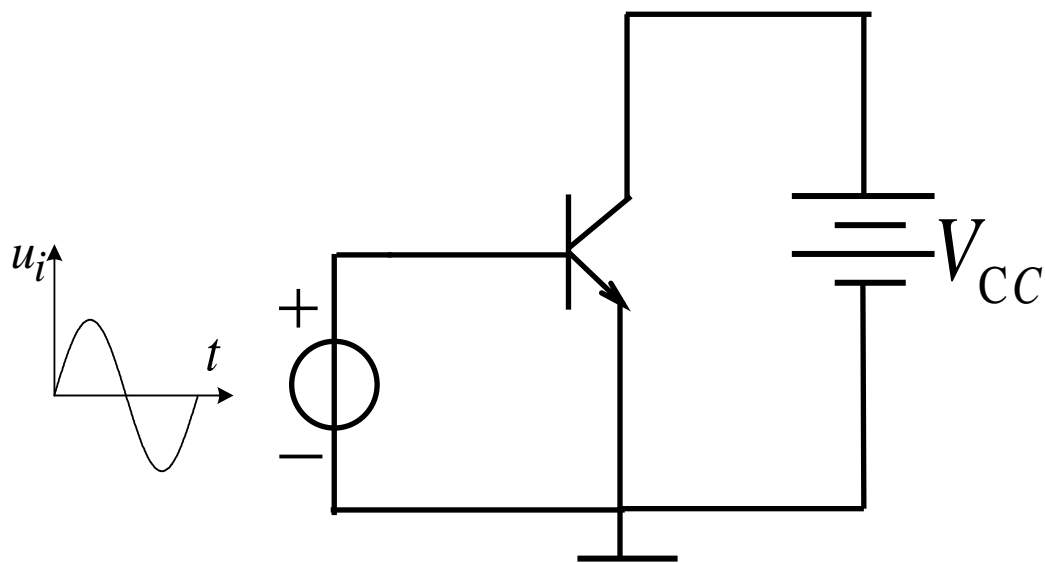


若直接在晶体管的输入端加交流信号：

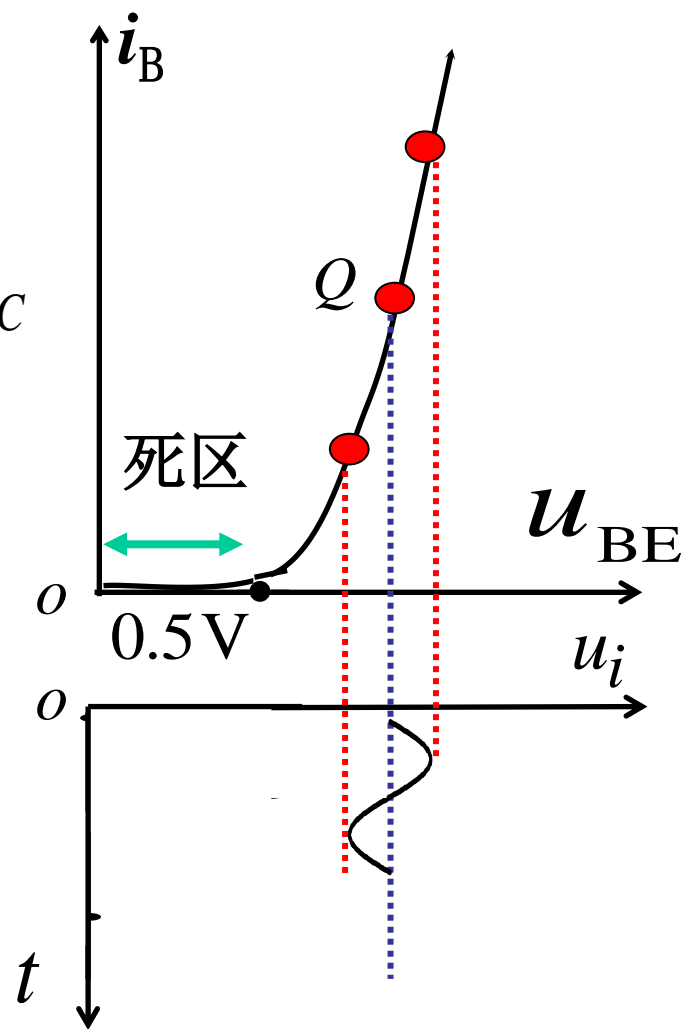


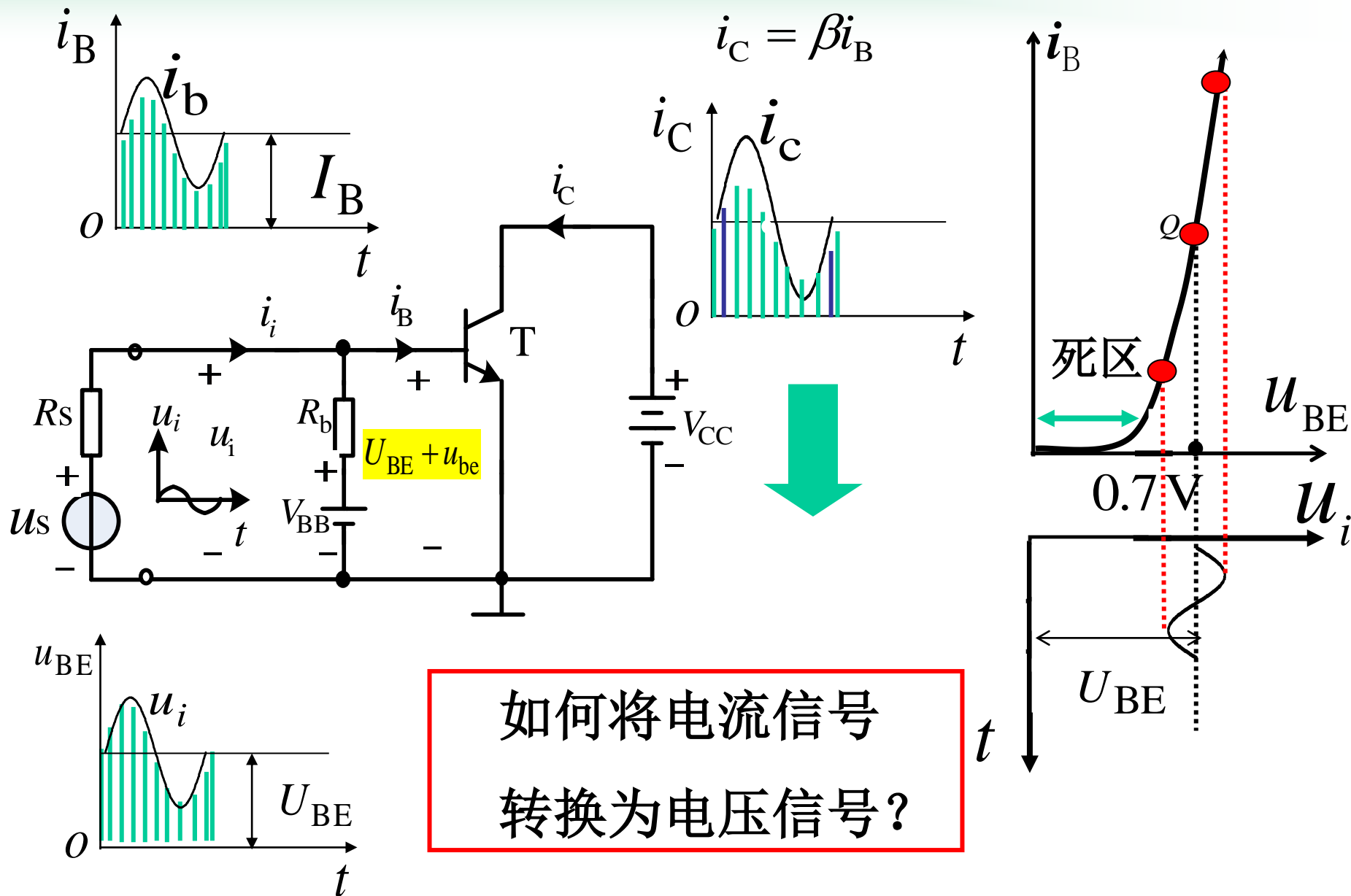
输入信号小于死区电压时，
发射结不通，放大信号失真。

怎么办呢？让输入信号避开死区，工作在线性区。



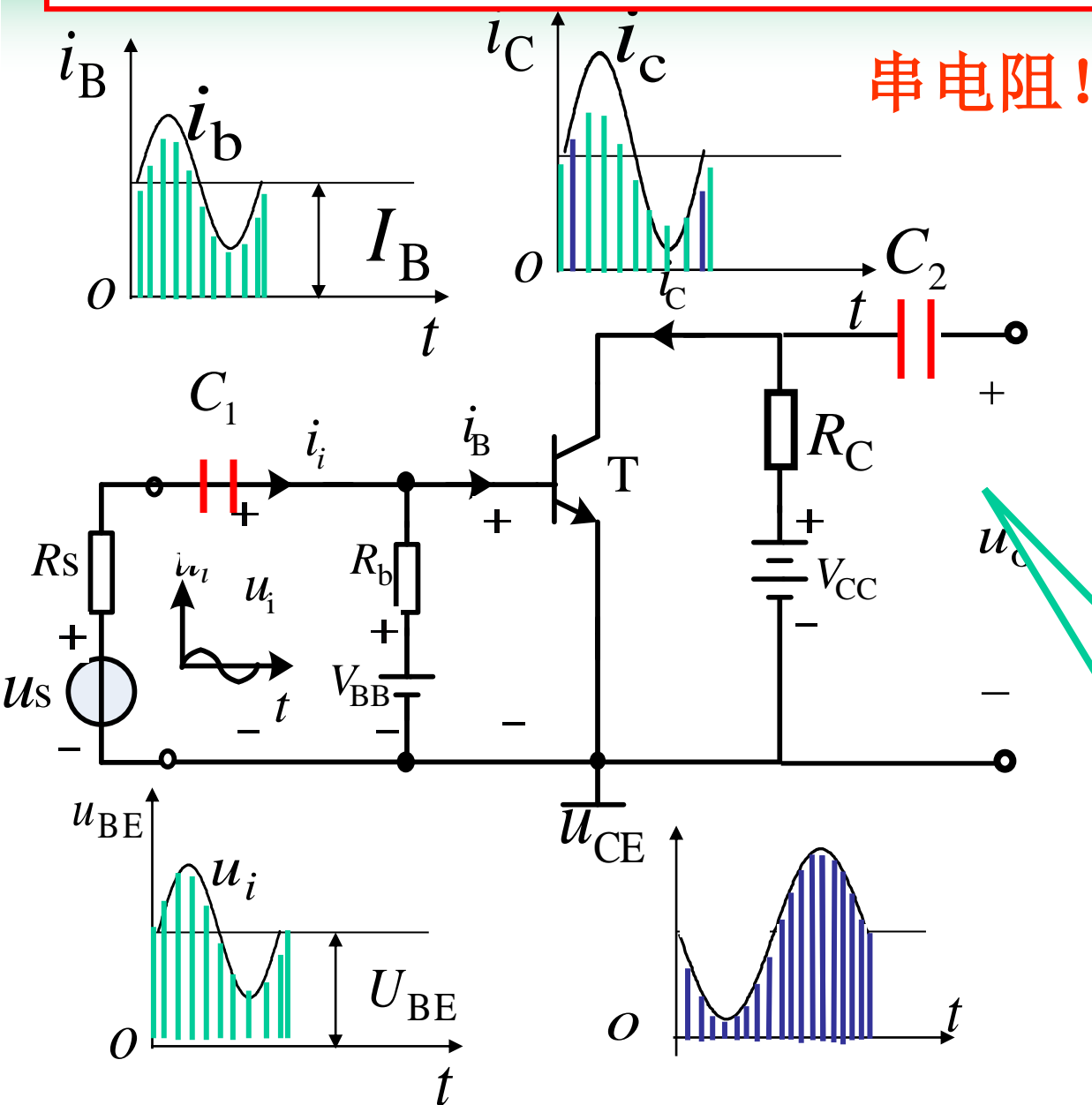
若能让晶体管先导通，
有一个合适的工作点，
然后再加输入小信号，
即可实现信号不失真。





如何将电流信号
转换为电压信号？

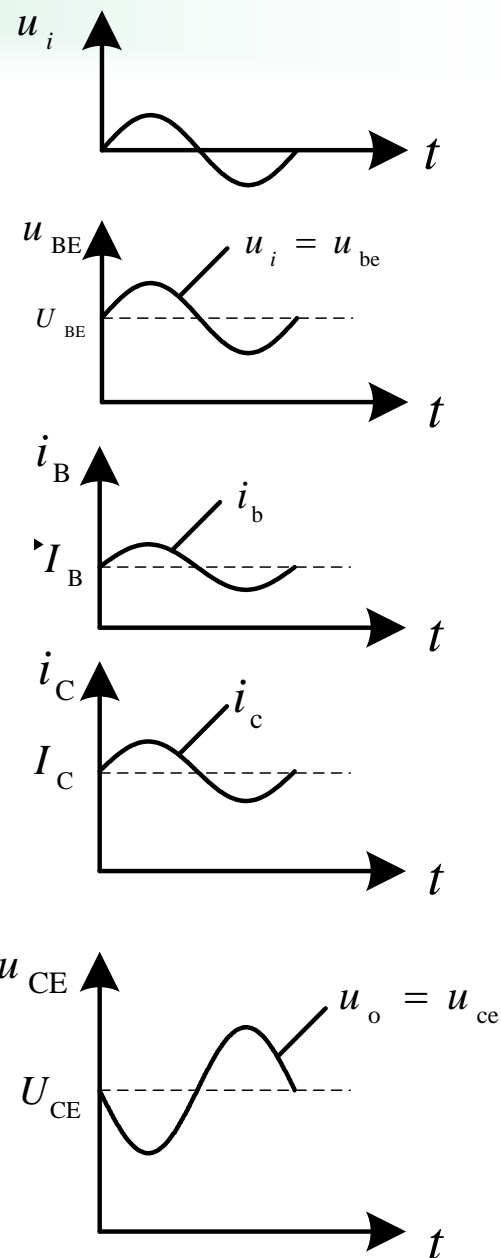
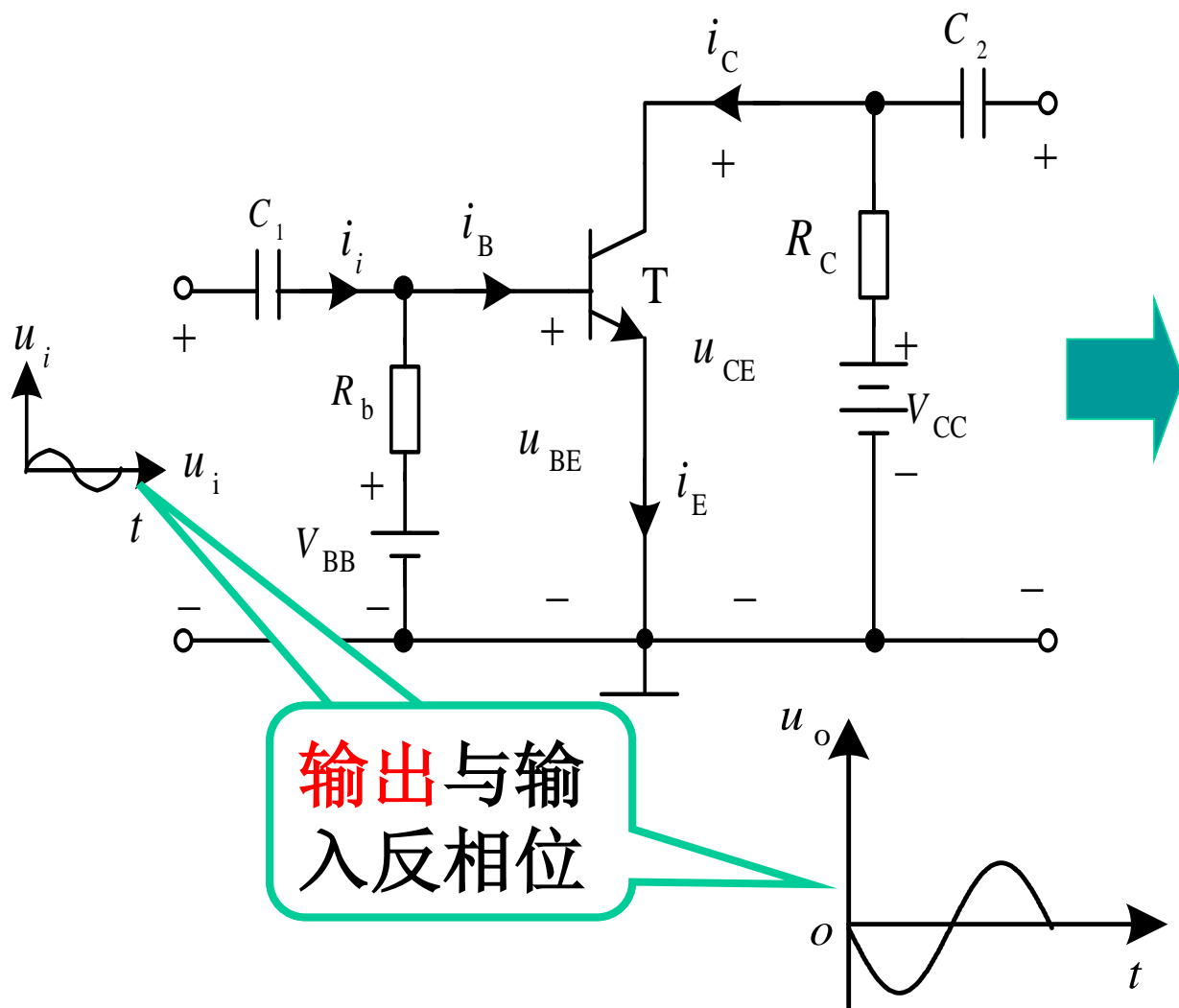
如何将电流信号转换为电压信号？



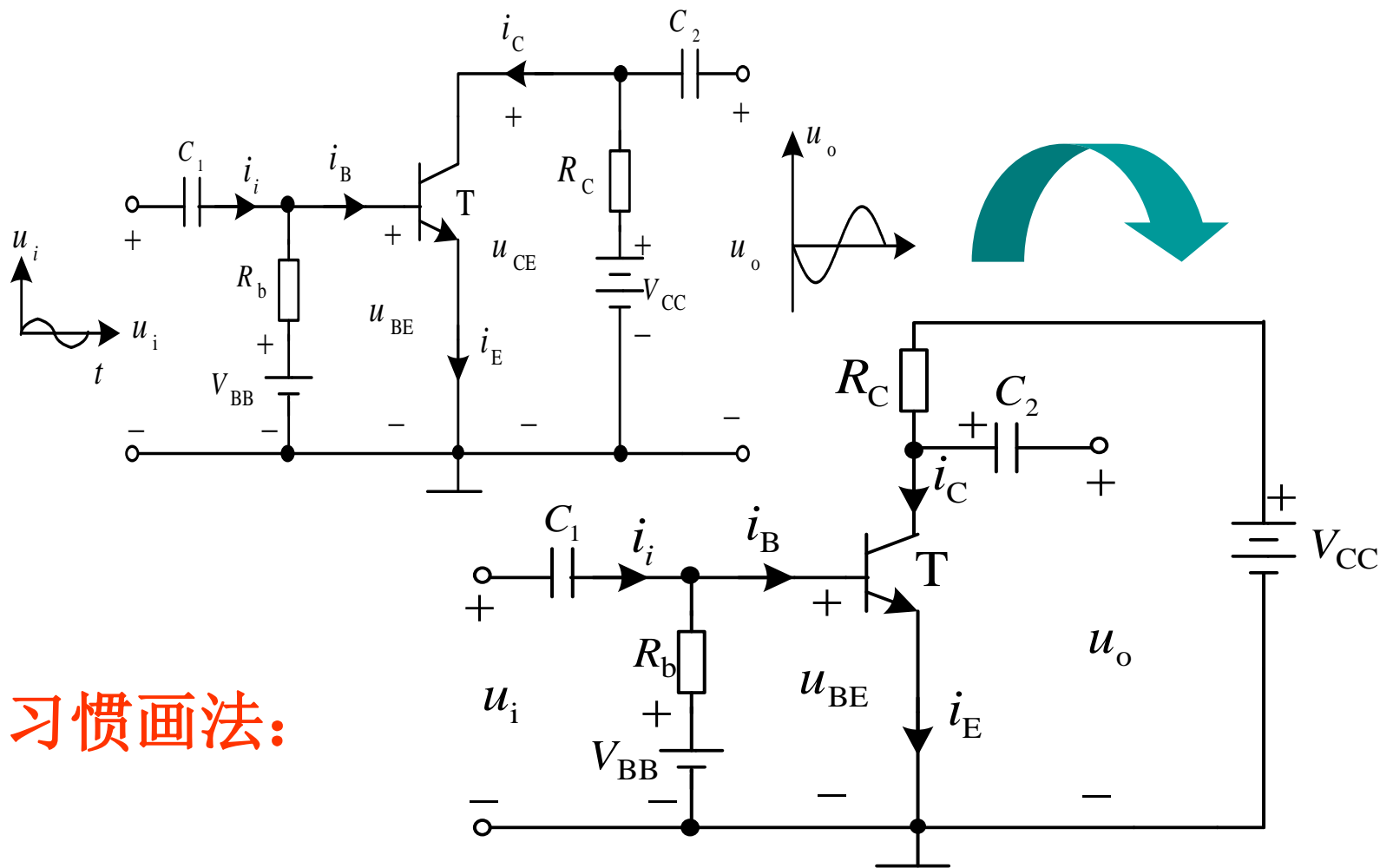
如何滤掉直流分量？

这就是一个基本的交流电压放大电路。

2.2.2 信号传输过程



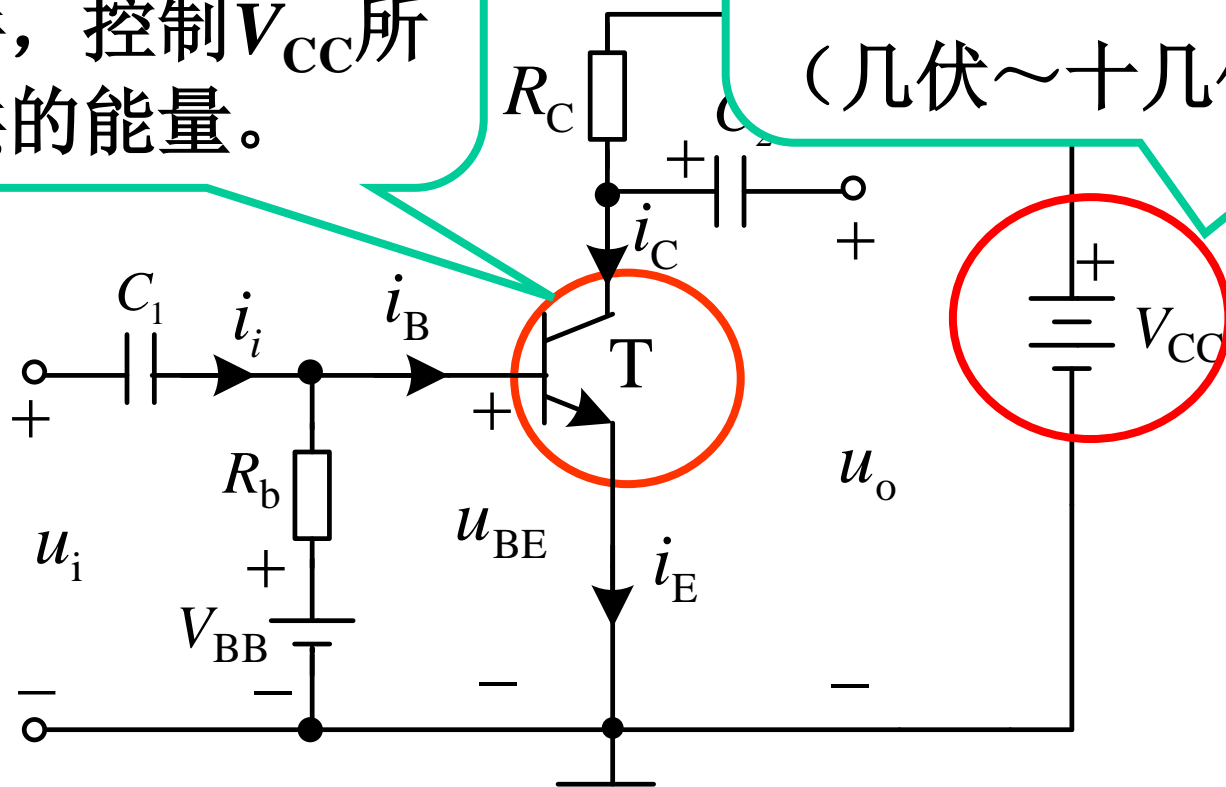
2.2.3 各元件作用与电路简化



习惯画法:

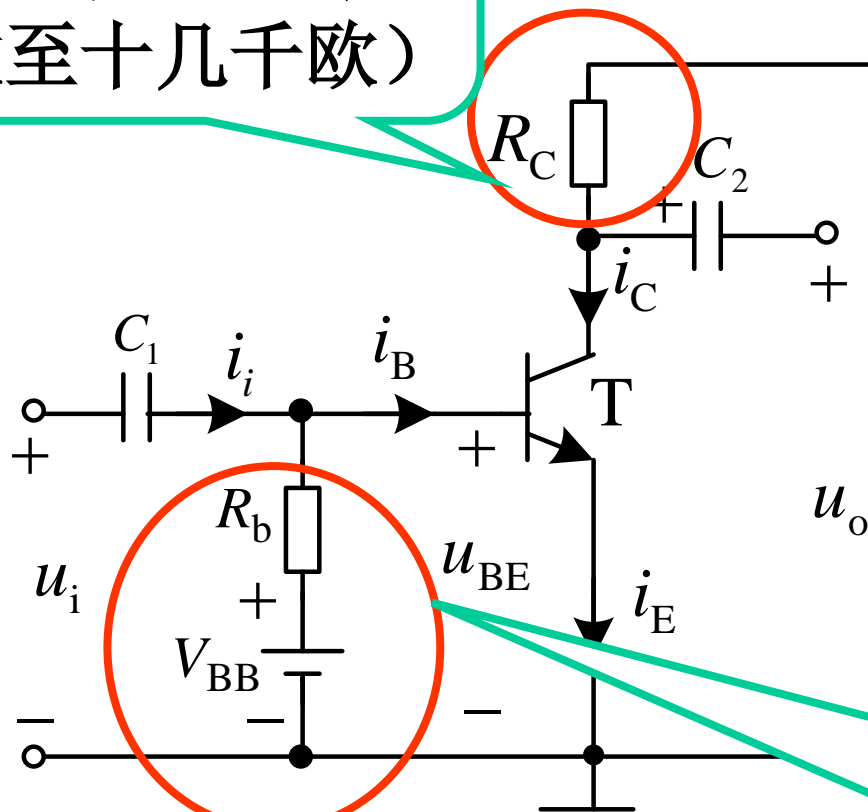
是放大元件，
 $i_c = \beta i_b$ ；也是控制
元件，控制 V_{CC} 所
提供的能量。

放大电路的能量，
并保证集电结反偏。
(几伏~十几伏)



将电流信号变换
为电压信号。(几
千欧至十几千欧)

放大电路的能量，
并保证集电结反偏。
(几伏~十几伏)

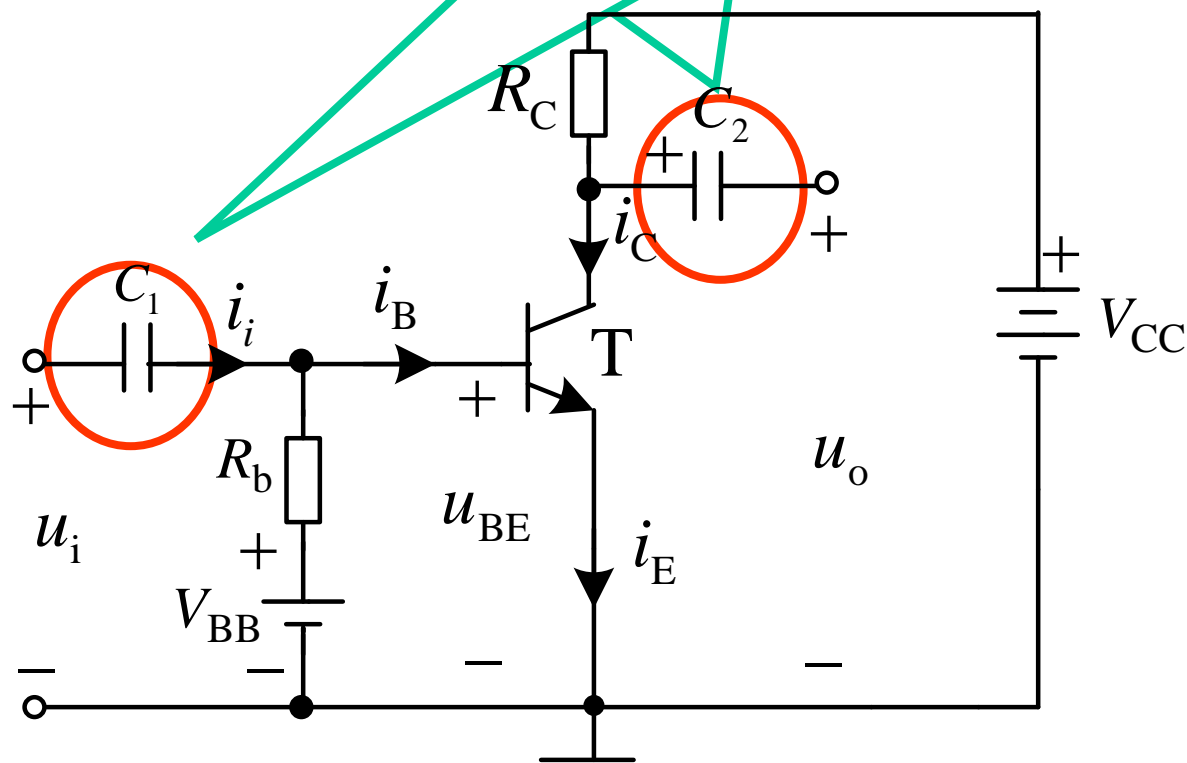


V_{BB} 一般为几伏， R_b 一般为
几十千欧以上。

使发射结正偏，
并提供合适的静
态工作点。

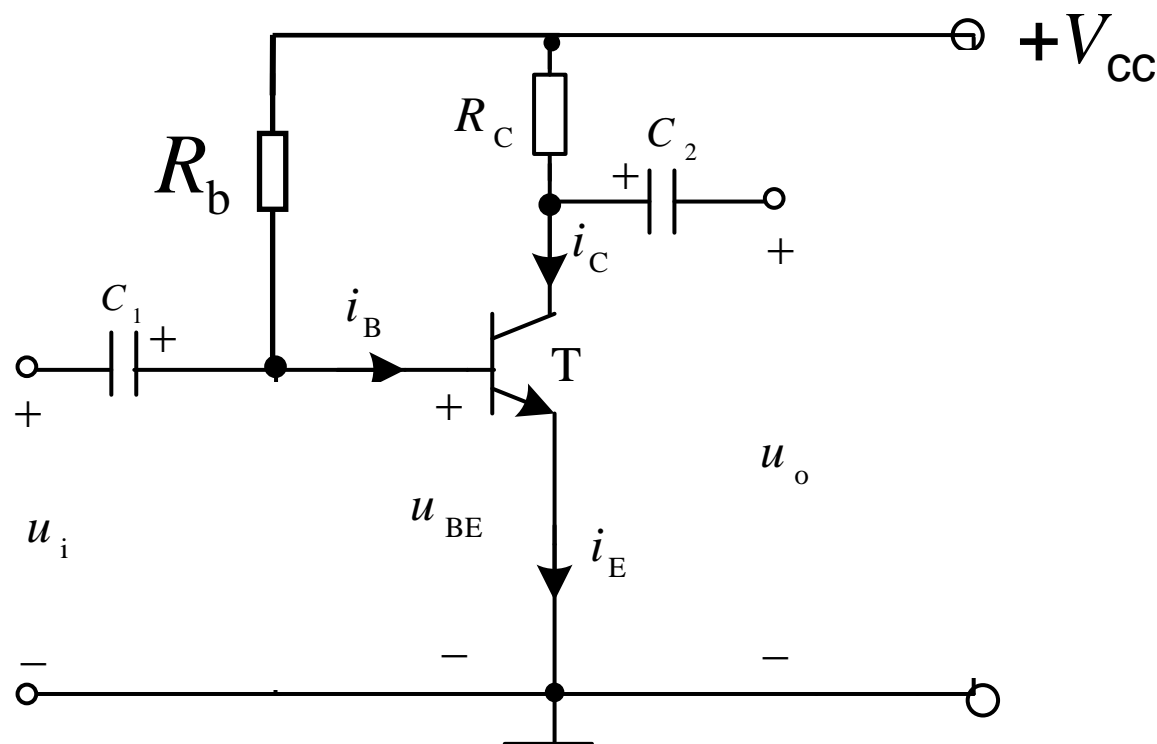
耦合电容

隔直流，通交流。一般为几微法到几十微法。



2. 电路的简化

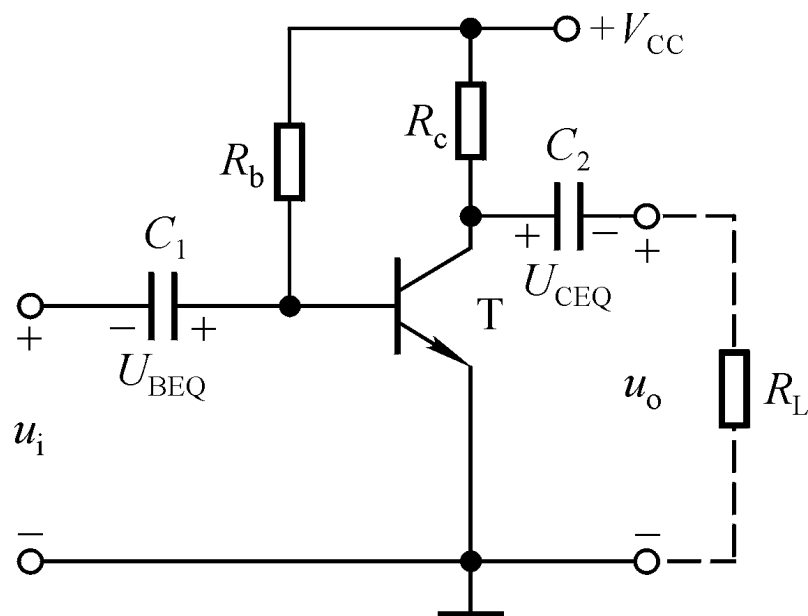
除去基极电源，集电极电源简化。



共发射极接法的交流电压放大电路

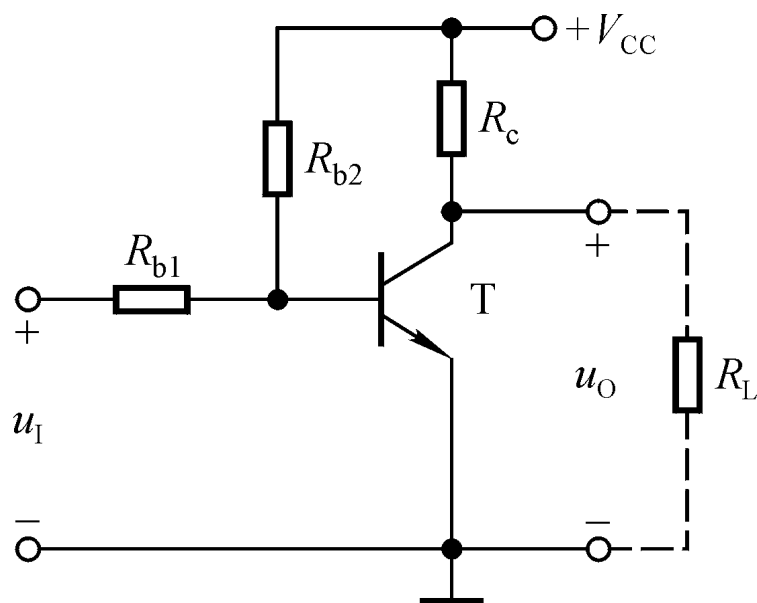
3. 两种常用共射放大电路

(1) 阻容耦合共射放大电路



放大交流信号

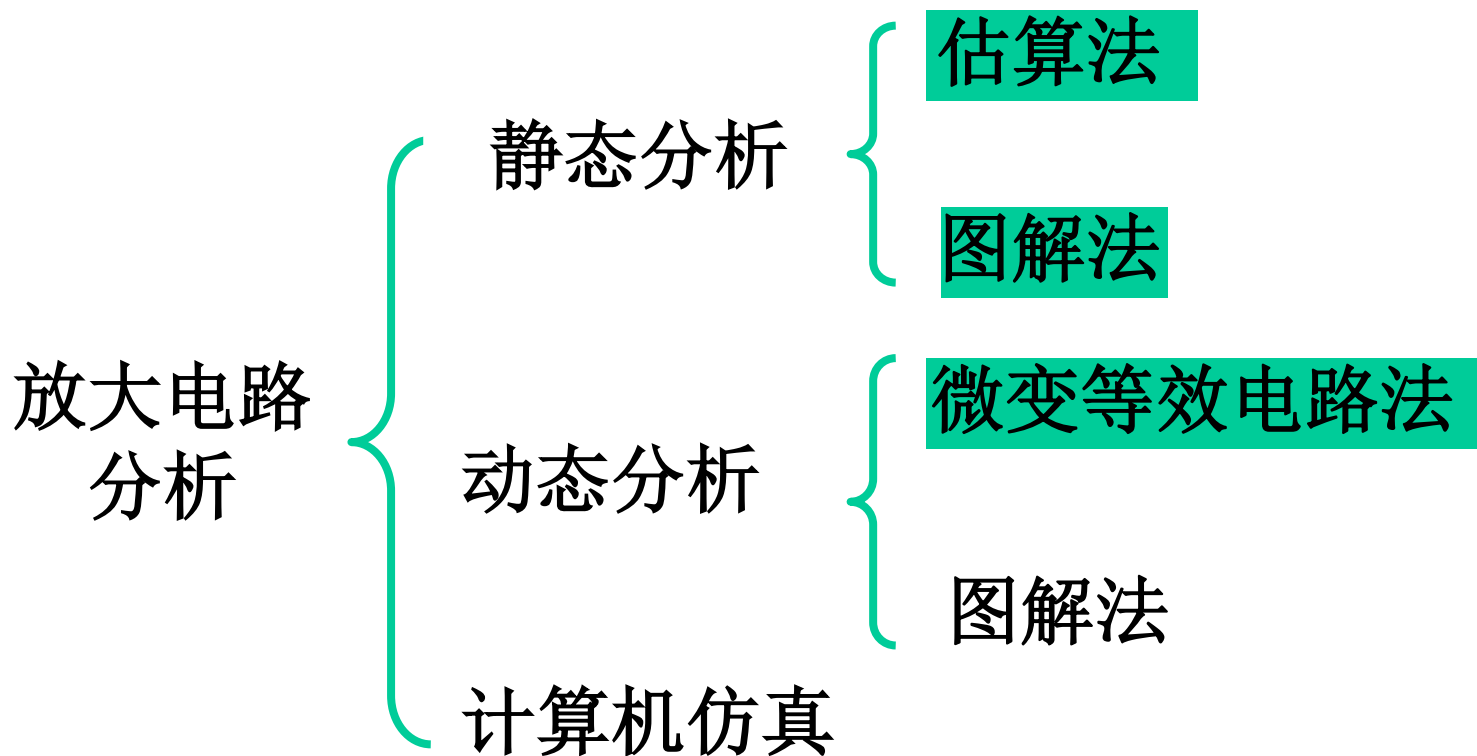
(2) 直接耦合共射放大电路



直流信号

讨论：直接耦合放大电路为什么多一个基极电阻？

2.3 放大电路的分析方法



2.3.1 电压放大电路分析的主要指标

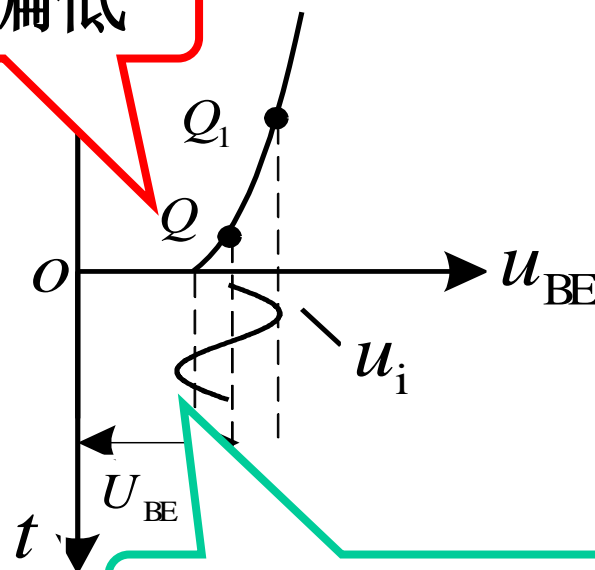
1. 静态分析指标

静态： $u_i = 0$ ，仅由直流电源作用时的工作状态。

可见，工作点的位置
直接影响放大信号是
是否失真？是否能得到
最大幅度的放大。

所以，静态工作点的
位置计算是静态分析
的重要指标。

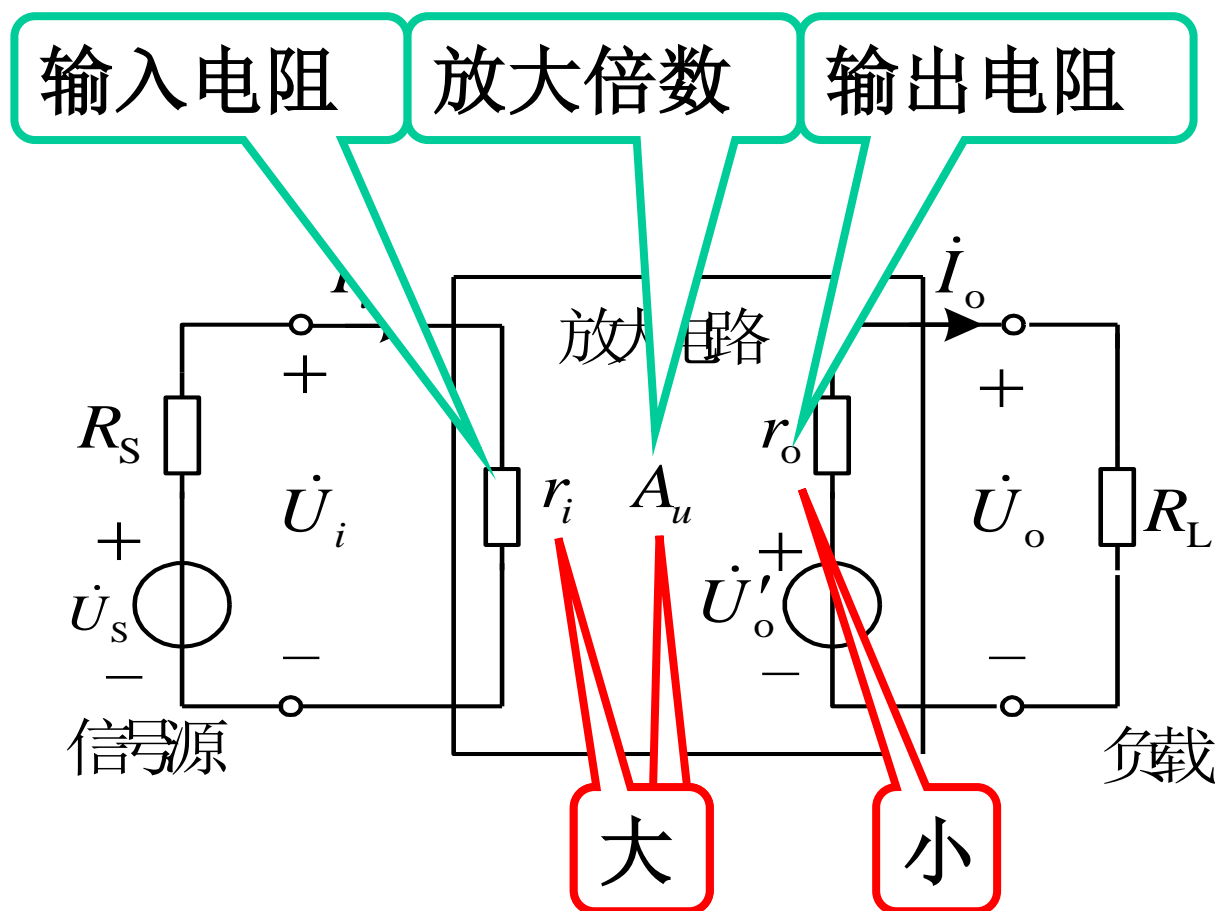
工作点偏低



输入信号失真

2. 动态分析指标

电压放大倍数、输入电阻和输出电阻



2.3.2 放大电路的静态分析

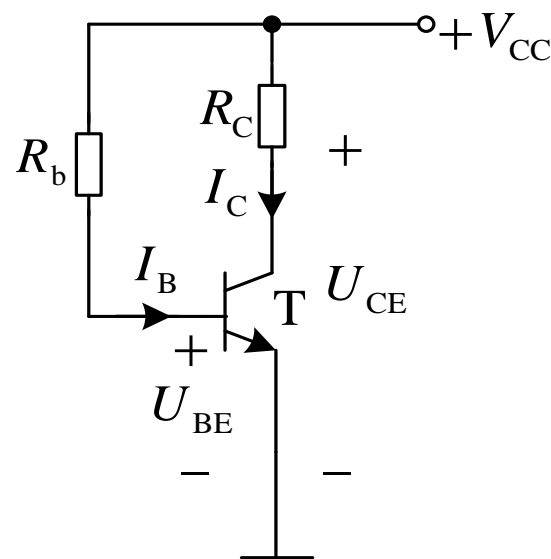
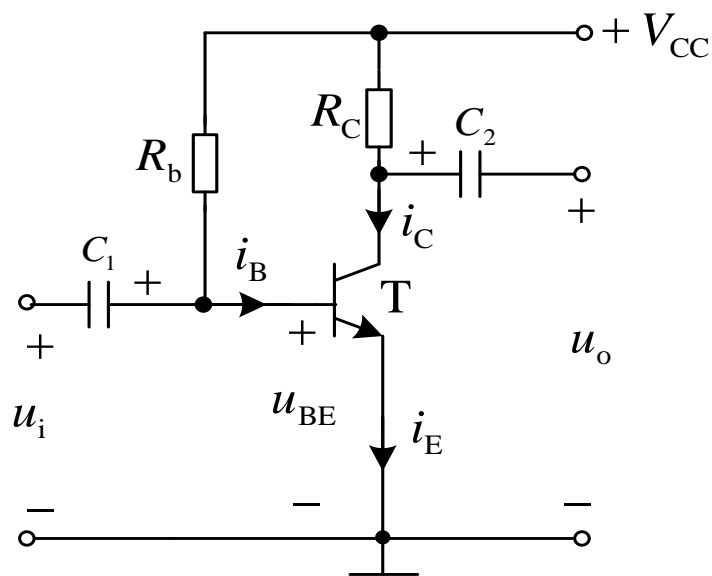
静态: 不加输入信号

静态值: I_{BQ} , I_{CQ} , U_{BEQ} , U_{CEQ}

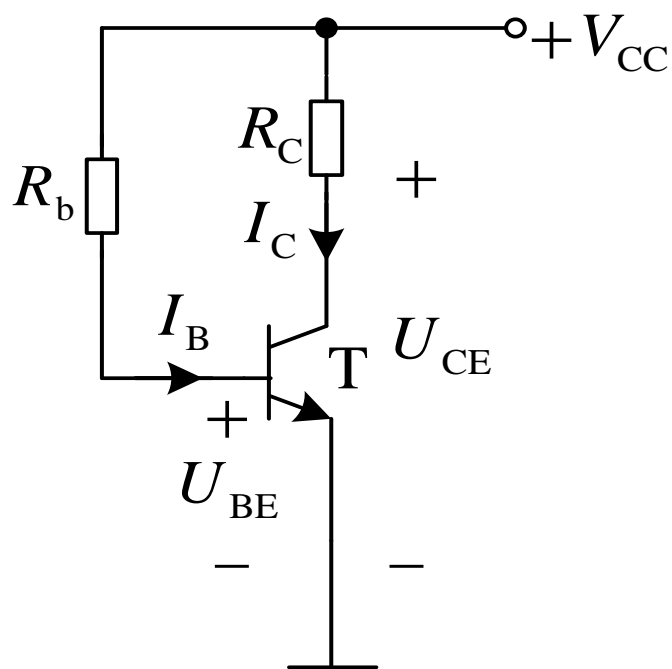
分析的方法: 估算法、图解法和等效电路法

1. 用估算法确定静态值

直流通路



根据直流通路估算静态值：



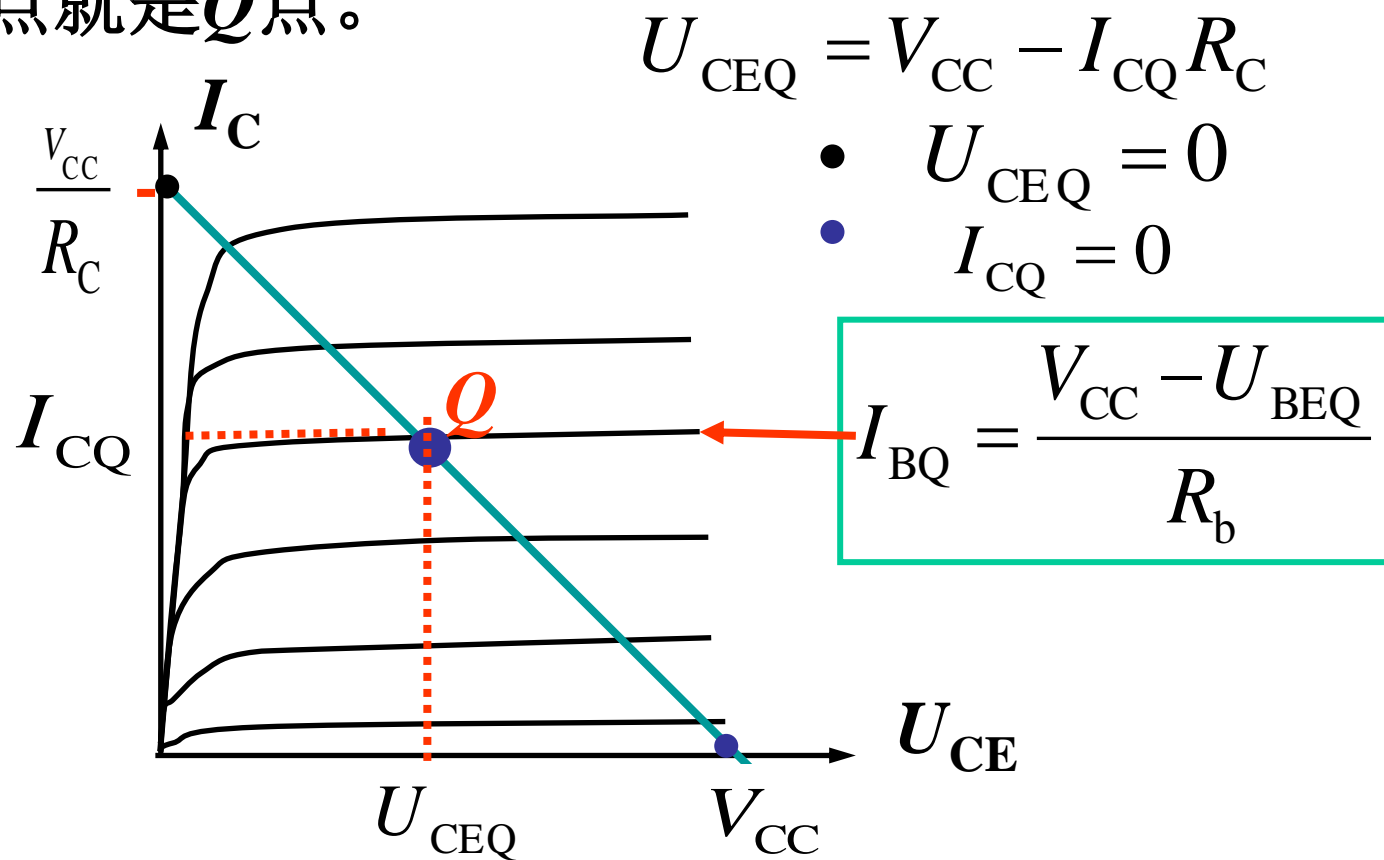
$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$

$$I_C = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

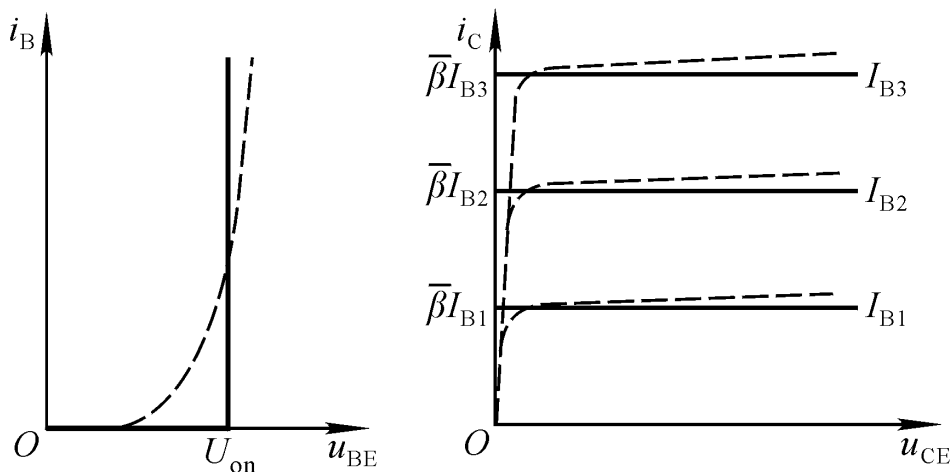
2. 图解法

估算出 I_B ，在输出特性曲线上作出直流负载线，与 I_B 对应的输出特性曲线和直流负载线的交点就是 Q 点。

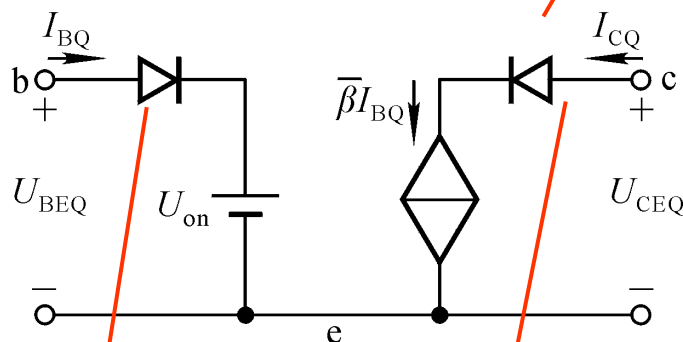


3. 等效电路法（直流模型）

输出回路等效为电流控制的电流源

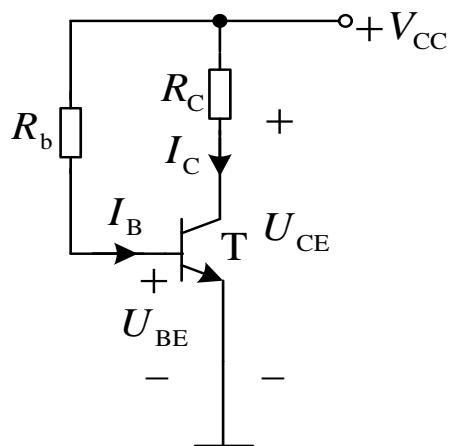


(a)



理想二极管

输入回路等效为恒压源



$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

利用估算法求解

静态工作点，实质上是使用了直流模型。

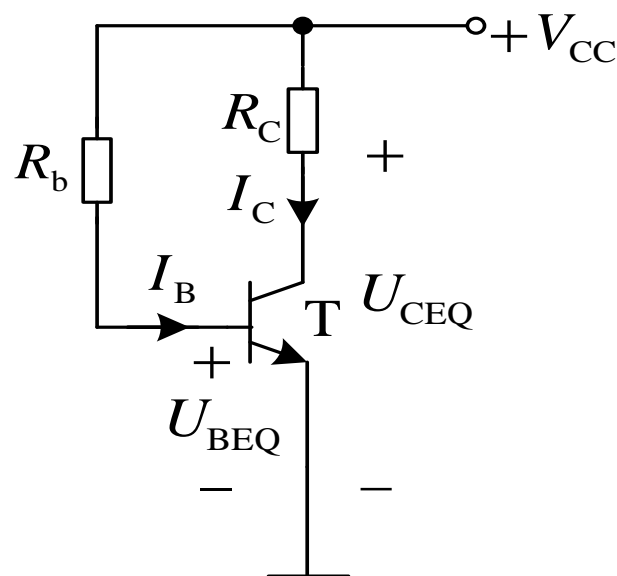
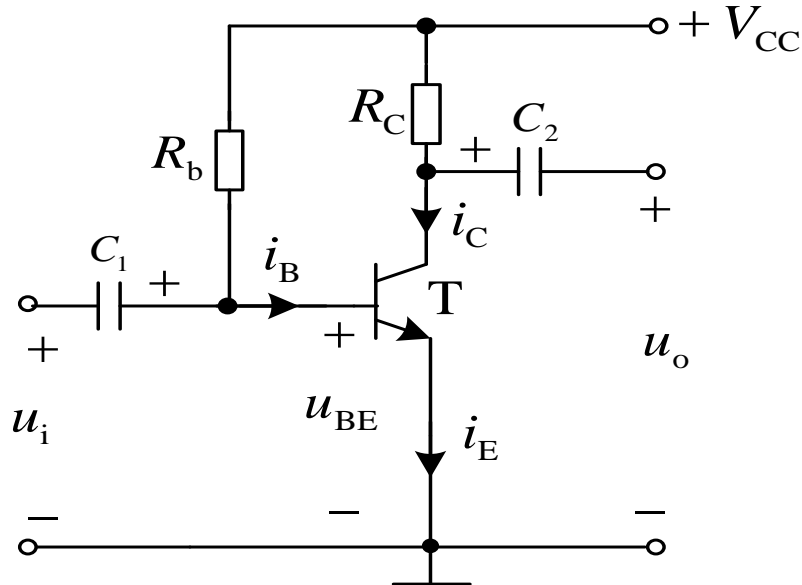
【例2.2.1】晶体管交流放大电路如图所示，已知 $V_{CC}=12V$ ， $R_C=4k\Omega$ ， $R_b=300k\Omega$ ， $\beta=40$ 。

试求：1. 用估算法计算静态工作点。

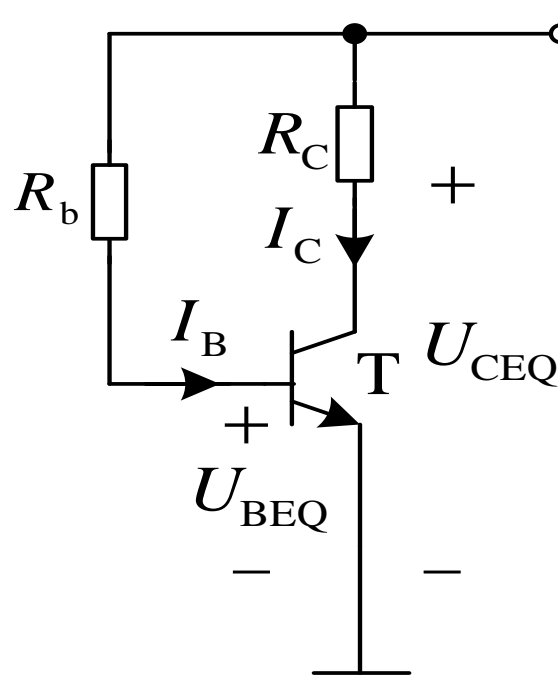
2. 用图解法计算静态工作点。

【解】

1. 画出直流通路如图



$$V_{CC}=12V, R_C=4k\Omega, R_b=300k\Omega, \beta=40$$



$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$

$$I_{BQ} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{12}{300} = 0.04\text{mA} = 40\mu\text{A}$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} = 40 \times 0.04 = 1.6\text{mA}$$

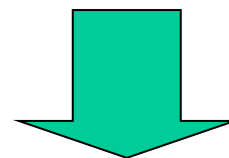
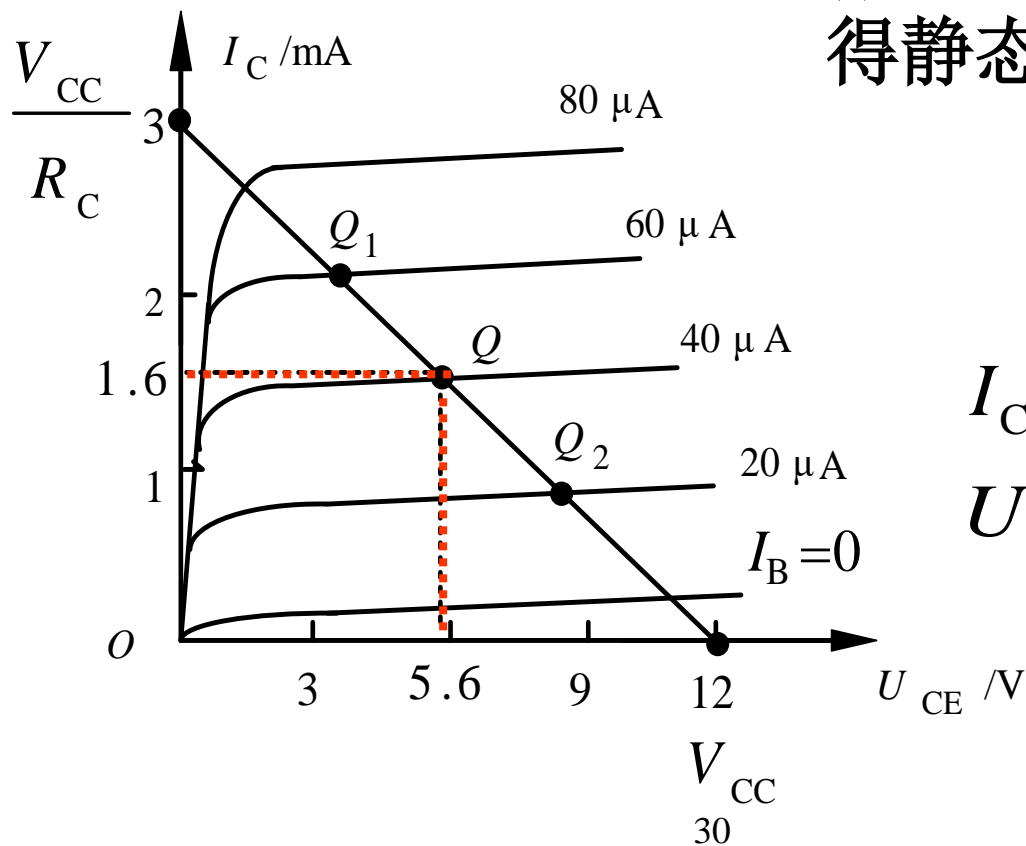
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12 - 1.6 \times 4 = 5.6\text{V}$$

注意 I_{BQ} 和 I_{CQ} 的数量级

2. 图解法

$$I_{BQ} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = \frac{12}{300} = 0.04\text{mA} = 40\mu\text{A}$$

作直流负载线，
得静态工作点 Q 。

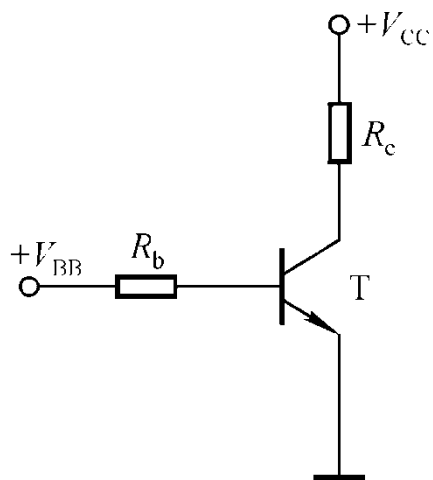
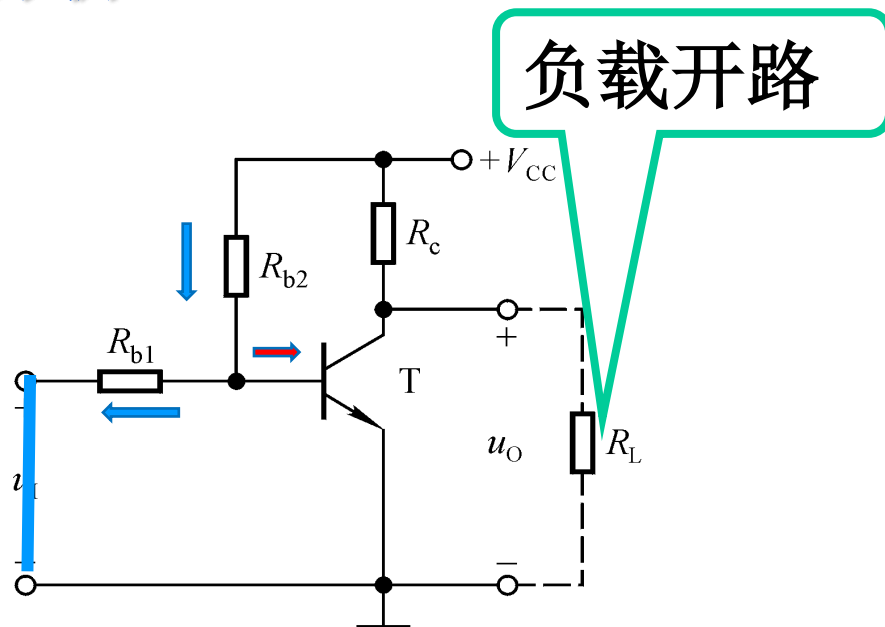
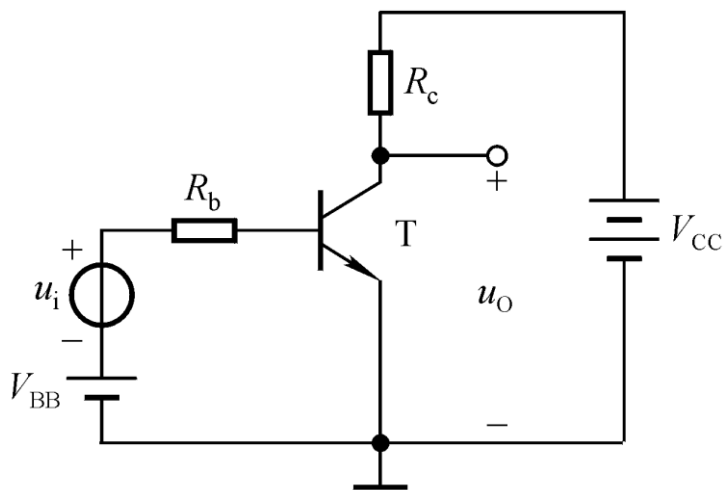


$$I_{CQ} = 1.6\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = 5.6\text{V}$$

直接耦合放大电路的静态分析

1. 用估算法确定静态值



$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b}$$

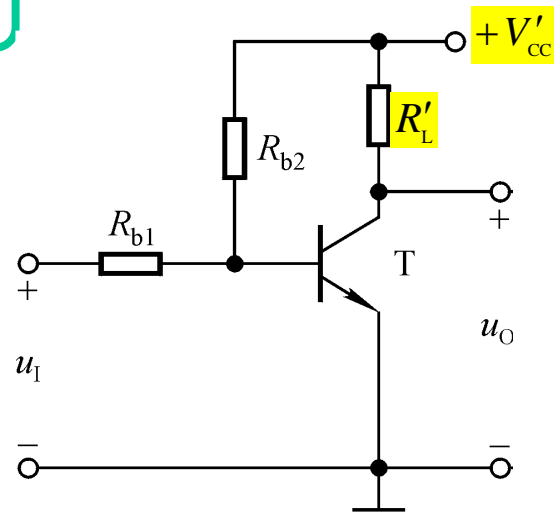
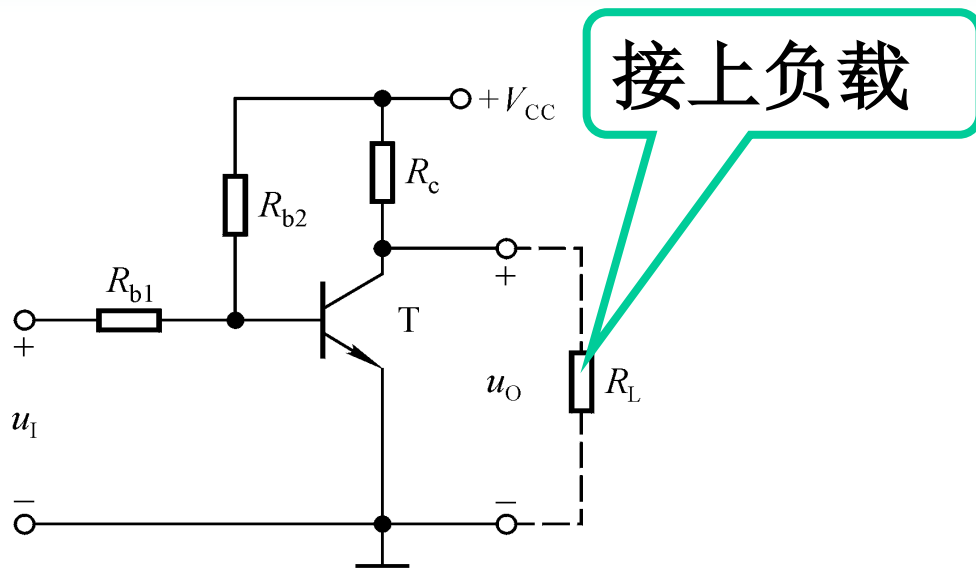
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_{b2}} - \frac{U_{BEQ}}{R_{b1}}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$



用戴维南定理求：

$$U_{oc} = V'_{cc} = \frac{R_L}{R_C + R_L} V_{cc}$$

$$R'_L = R_C // R_L$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_{b2}} - \frac{U_{BEQ}}{R_{b1}}$$

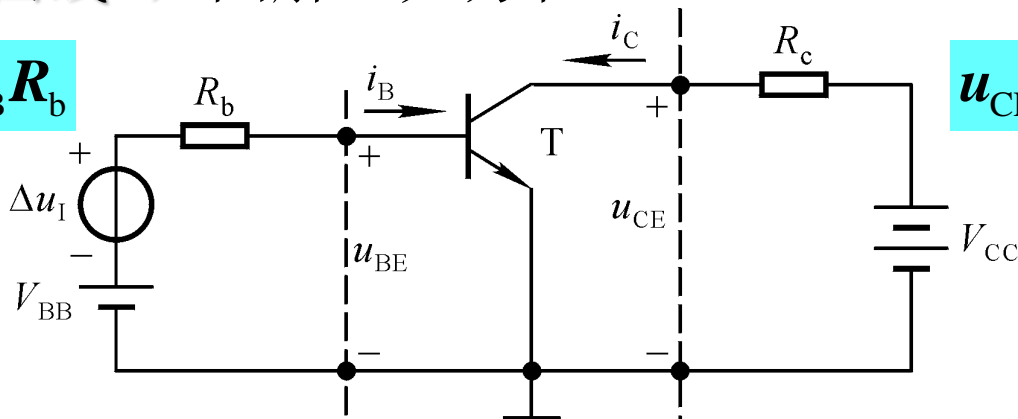
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V'_{CC} - I_{CQ} R'_L$$

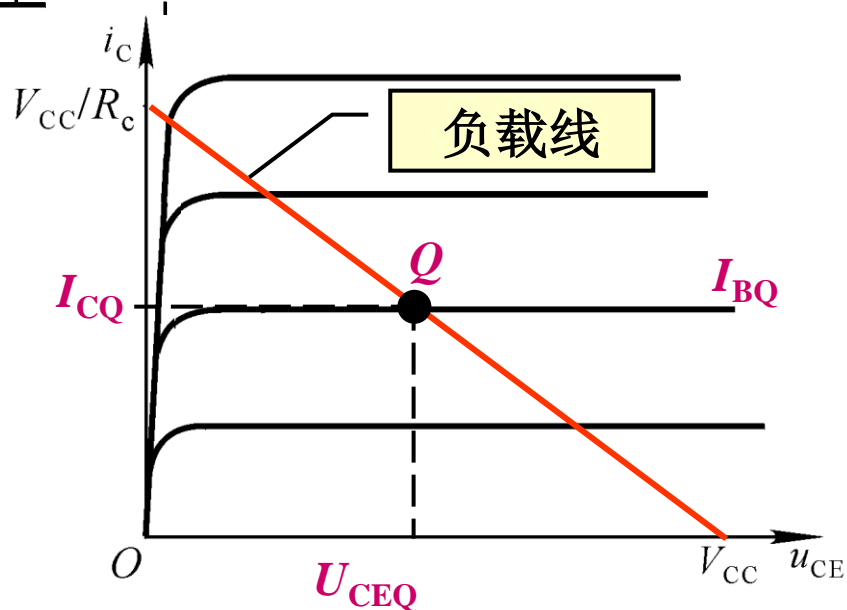
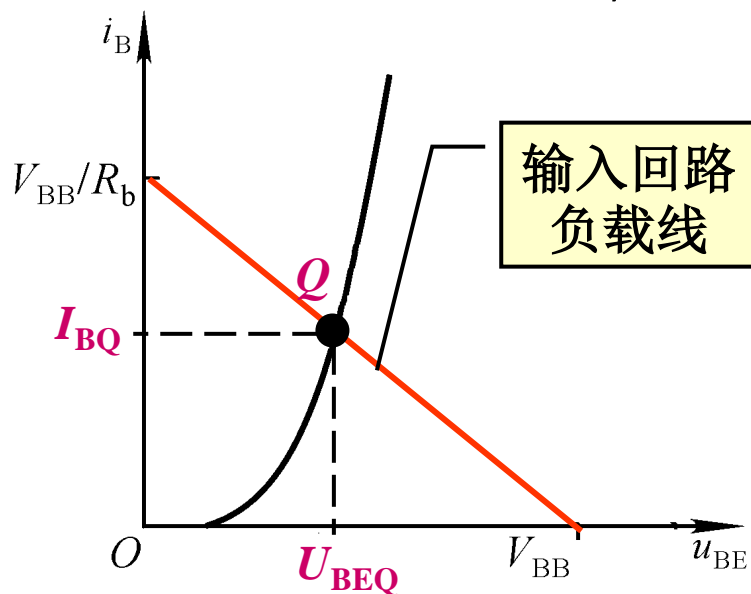
2. 用图解法确定静态值

应实测特性曲线，图解二元方程

$$u_{BE} = V_{BB} - i_B R_b$$

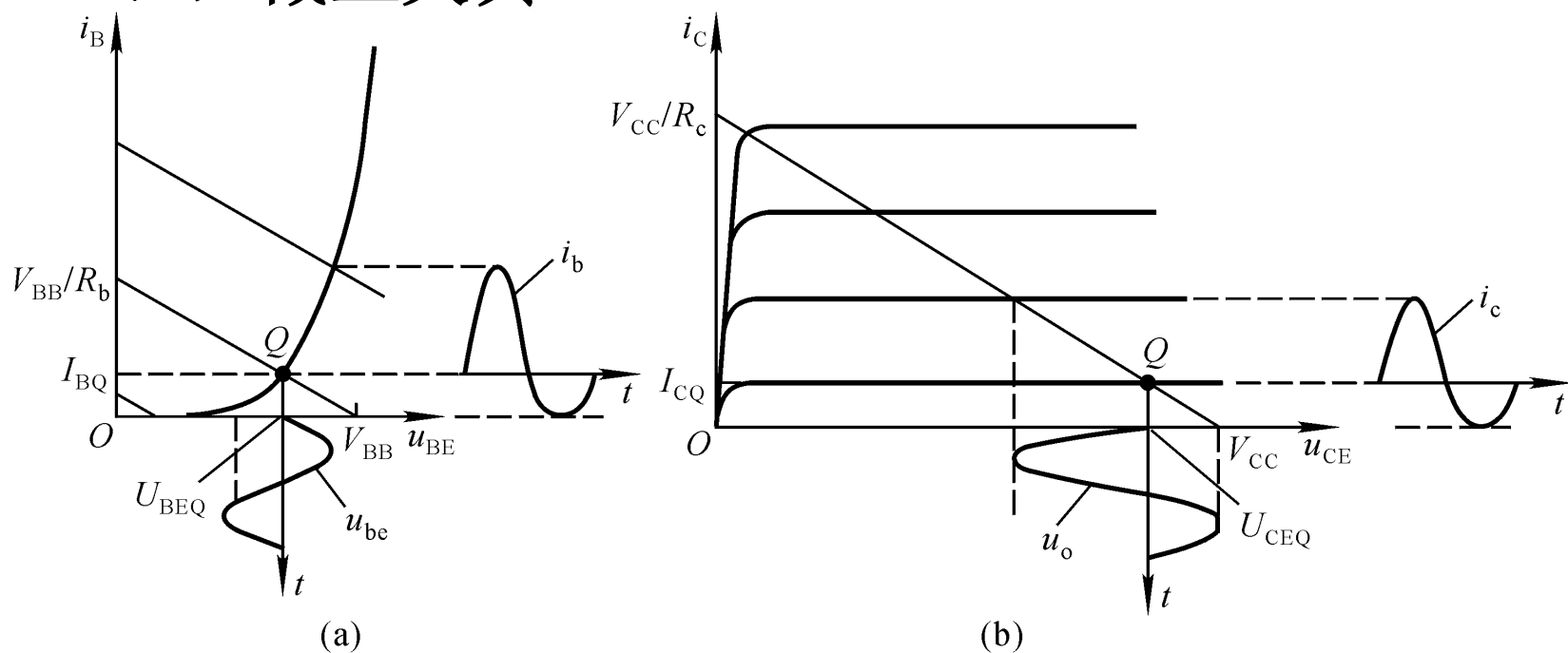


$$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c$$



3. 静态工作点不合适引起的非线性失真

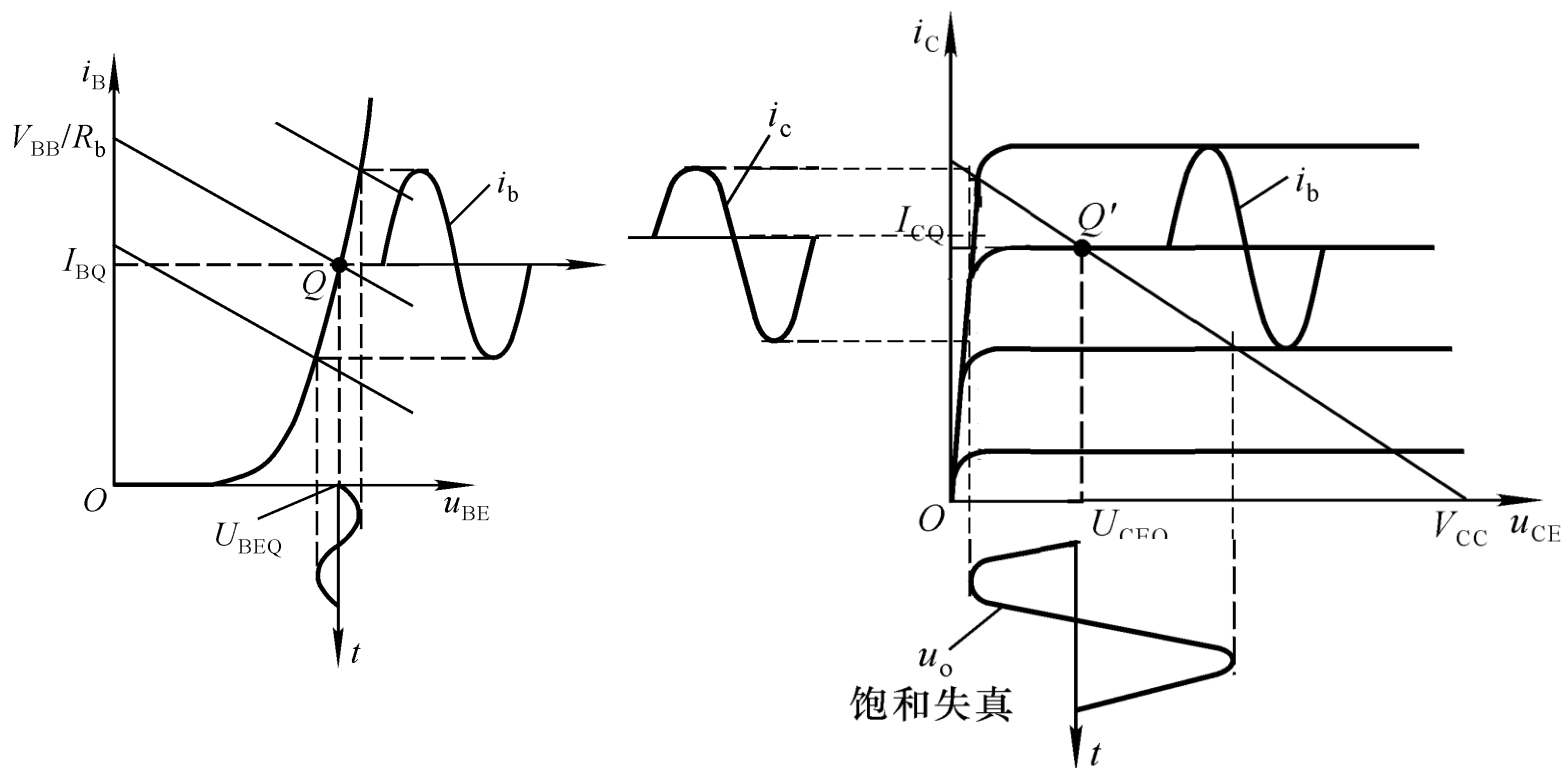
(1) 截止失真



截止失真是基极电流在输入回路首先失真了！

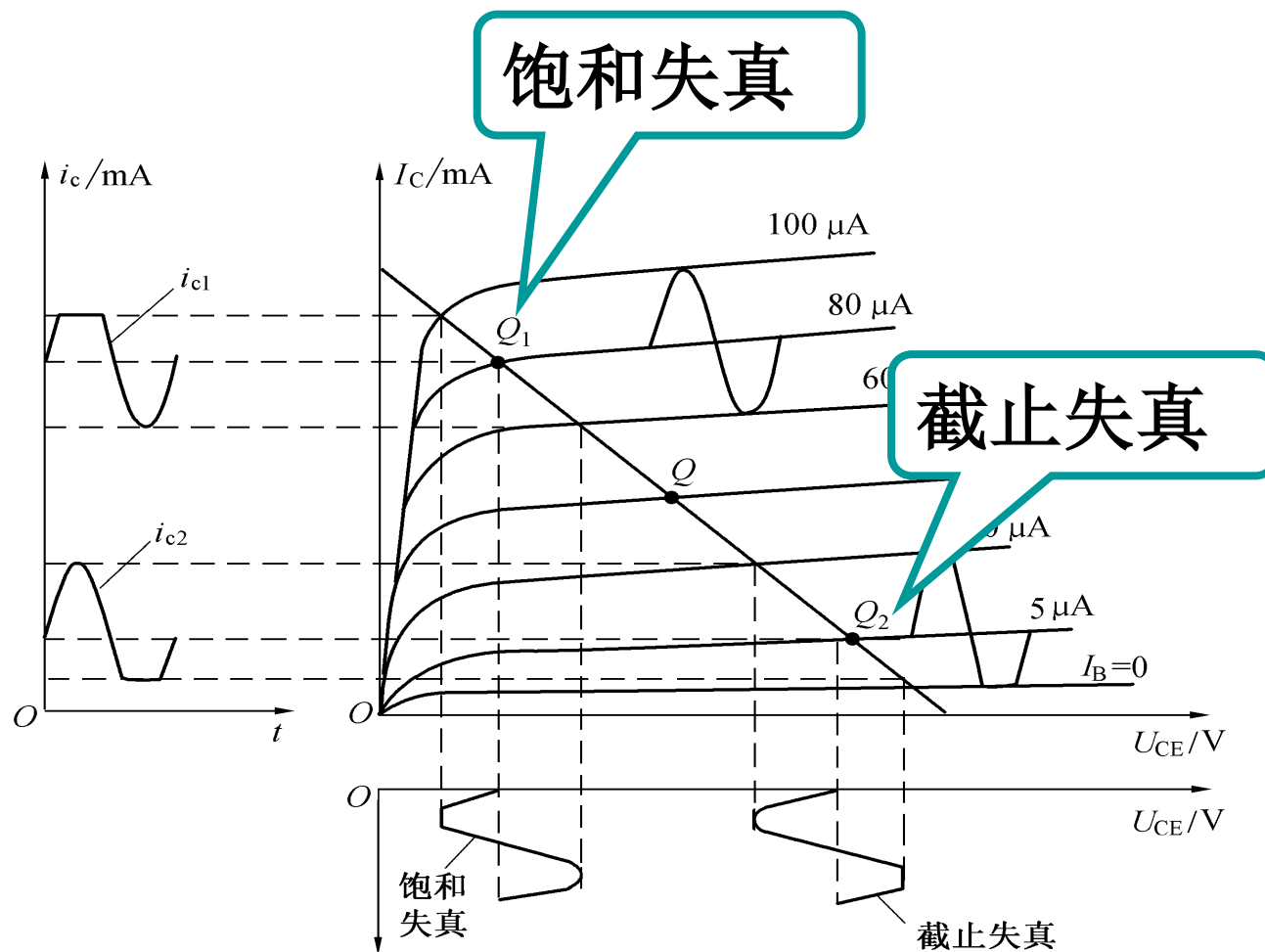
失真的顺序： $i_b \rightarrow i_c \rightarrow u_o$ 导致输出电压上半波失真。

(2) 饱和失真



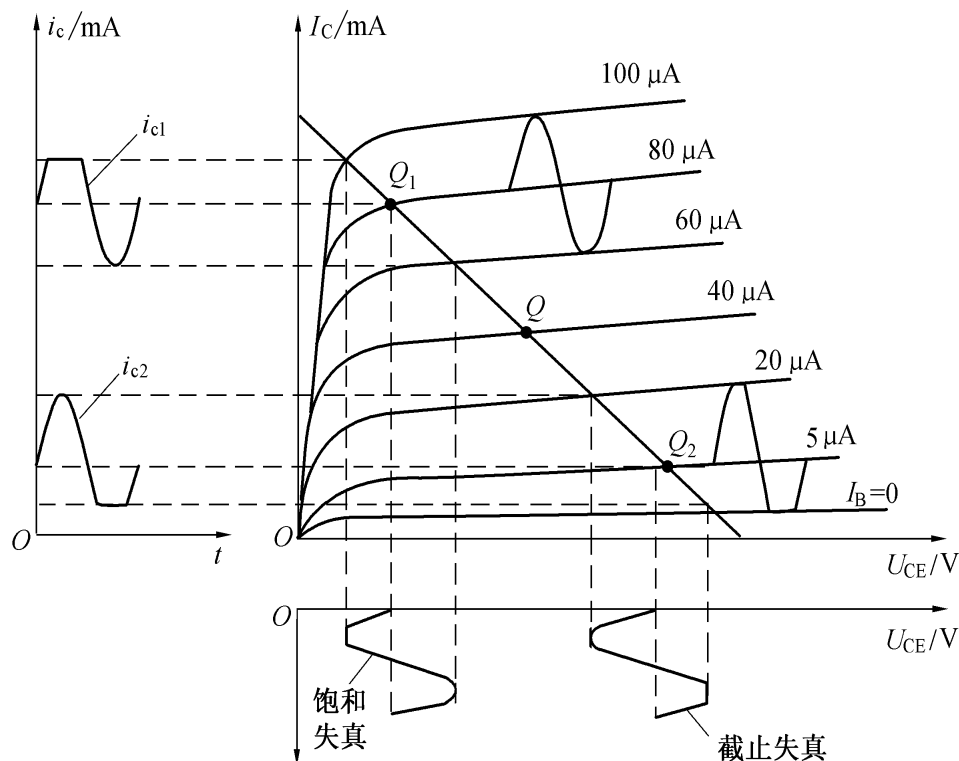
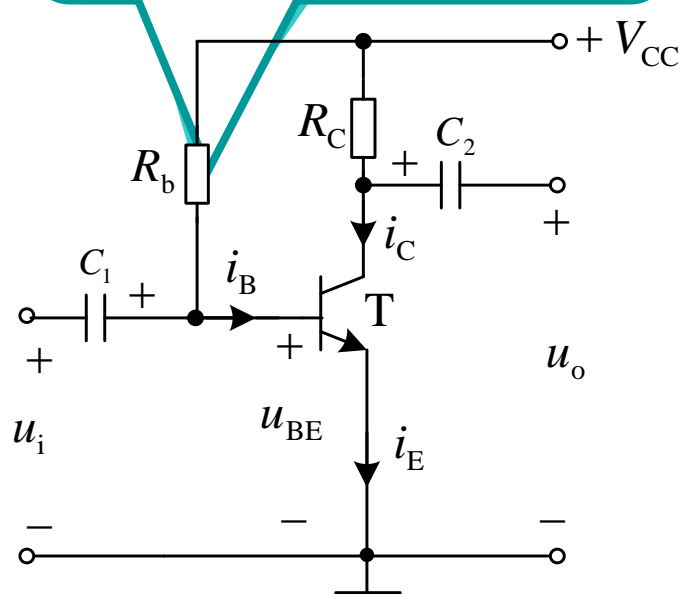
饱和失真是集电极电流在输出回路产生失真，即

$$i_c \rightarrow u_o \quad \text{导致输出电压下半波失真。}$$



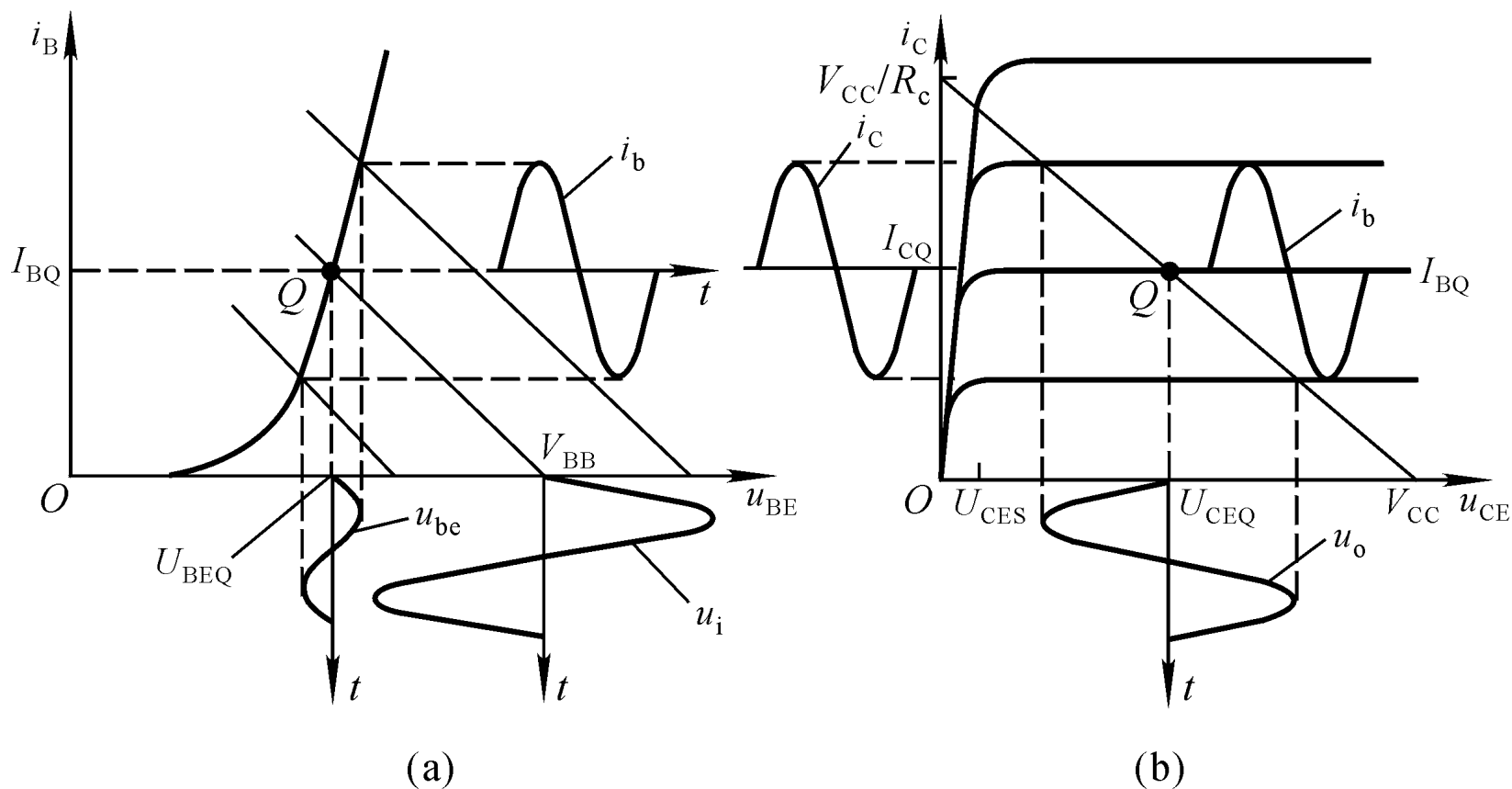
消除失真的方法：调整基极电阻的阻值。

减小基极电阻，
消除截止失真

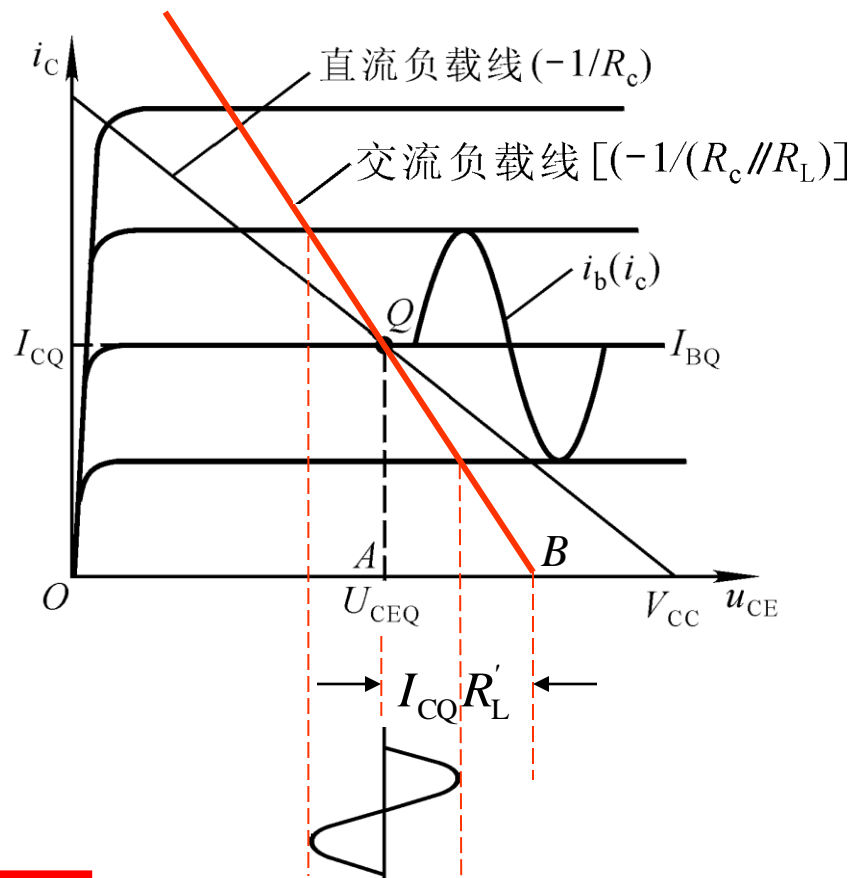
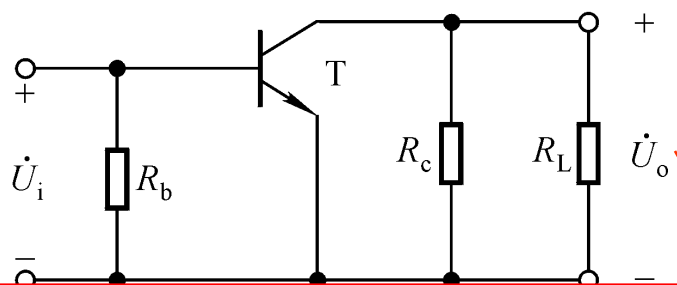
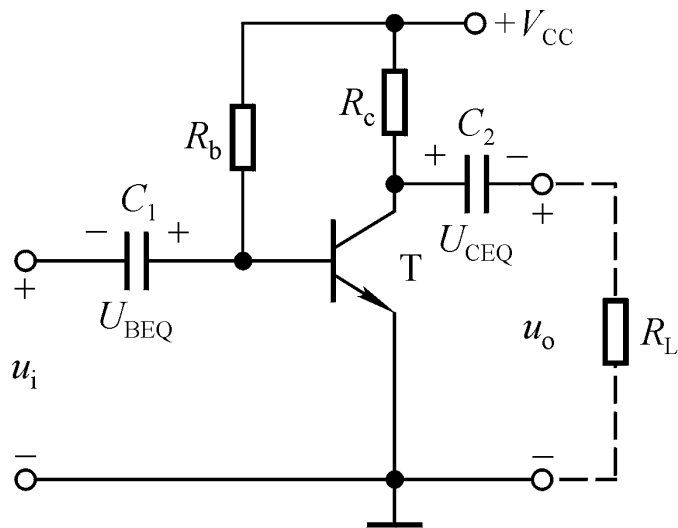


也可以改变集电极电阻或更换 β 较大的晶体管。

(3) 静态工作点合适的输入波形与输出波形



若负载开路，交流负载线与直流负载线重合。



最大峰值为 $U_{CEQ} - U_{CES}$ 和 $I_{CQ} R'_L$ (取小者)

有效值 $U_{om} = \frac{U_{CEQ} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$, $U_{om} = \frac{I_{CQ} R'_L}{\sqrt{2}}$

则 $u_{ce} = U_{CEQ} - i_c R'_L = U_{CEQ} + I_{CQ} R'_L - i_c R'_L$

第2章 基本放大电路

- 2.1 放大的概念与放大电路的性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管放大电路的三种接法
- 2.6 场效应管及其基本放大电路
- 2.7 基本放大电路的派生电路

2.3.3 放大电路的动态分析

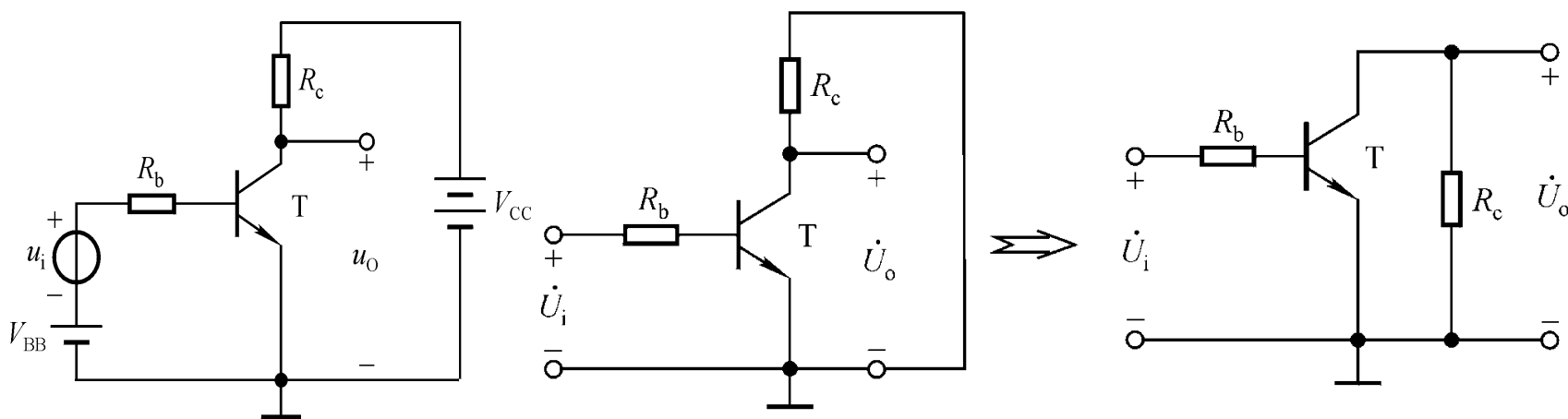
动态:有输入信号

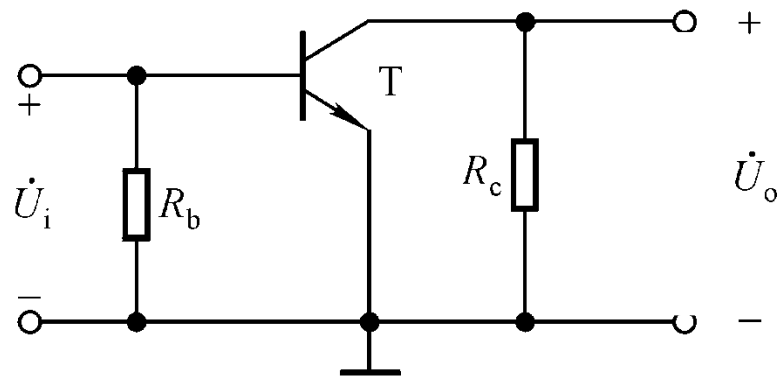
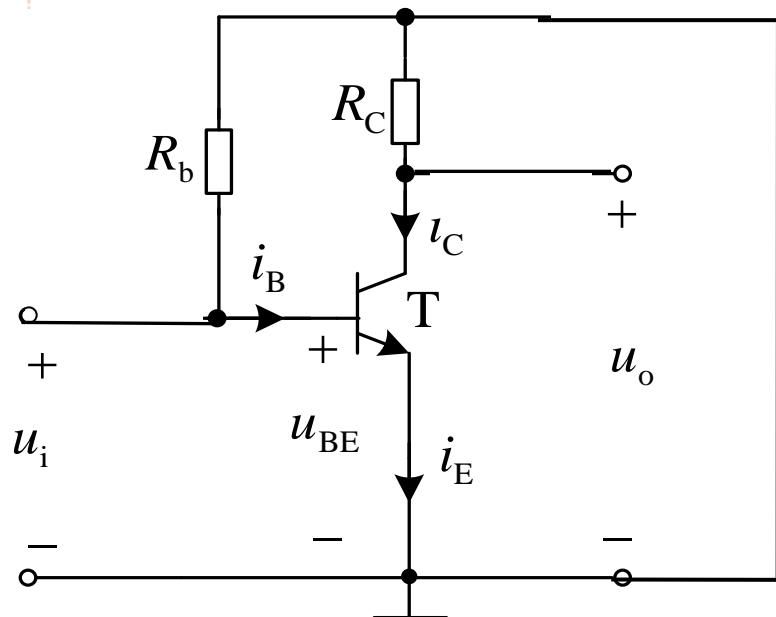
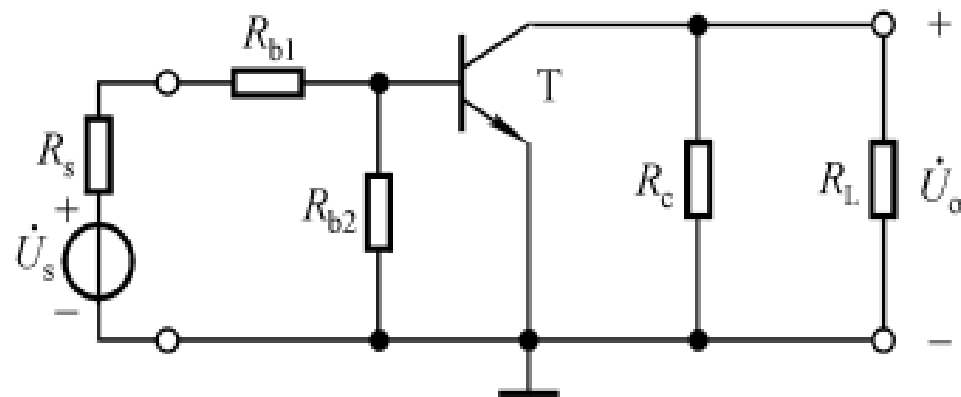
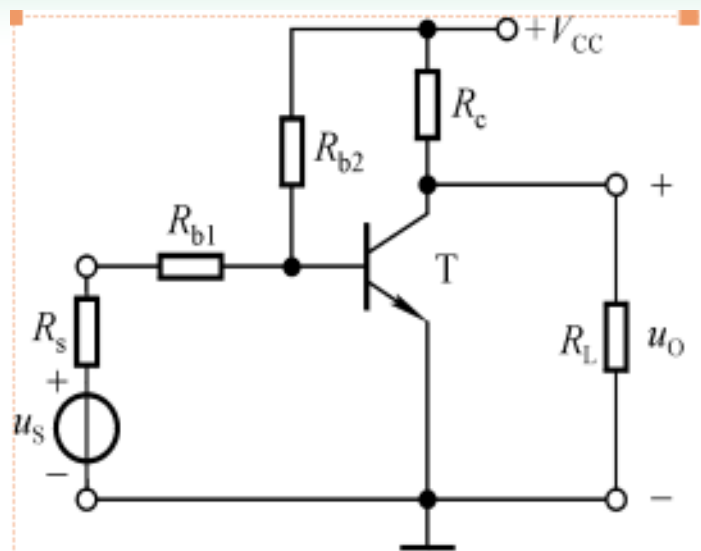
分析指标:电压放大倍数、输入电阻和输出电阻等。

分析的方法:微变等效电路法和图解法

1. 放大电路的交流通路

画交流通路的原则: **电容和直流电源相当短路。**

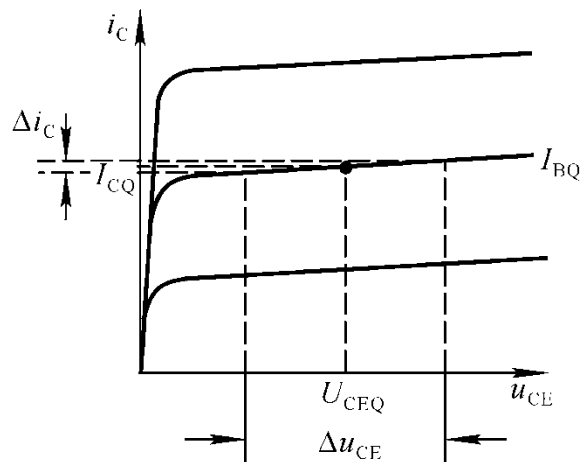
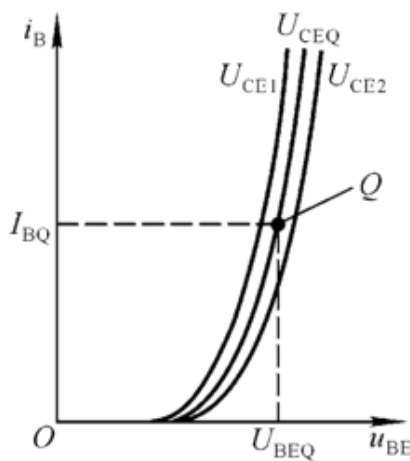
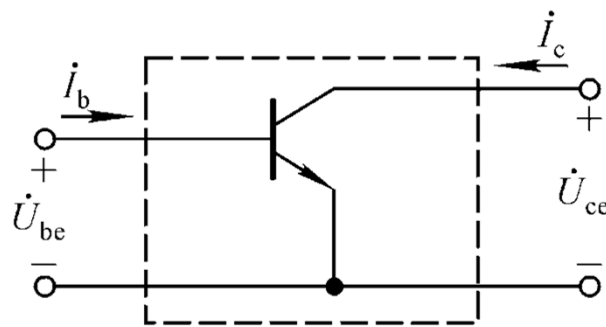




2. 晶体管的 h 参数（混合参数）等效模型

低频小信号模型

- 在交流通路中可将晶体管看成为一个二端口网络，输入回路、输出回路各为一个端口。



$$\begin{cases} u_{BE} = f(i_B, u_{CE}) \\ i_C = f(i_B, u_{CE}) \end{cases}$$

在低频、小信号作用下的关系式

$$\begin{cases} du_{BE} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial i_B} \Big|_{u_{CE}} di_B + \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} \Big|_{I_B} du_{CE} \\ di_C = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \Big|_{u_{CE}} di_B + \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} \Big|_{I_B} du_{CE} \end{cases}$$

电阻

无量纲

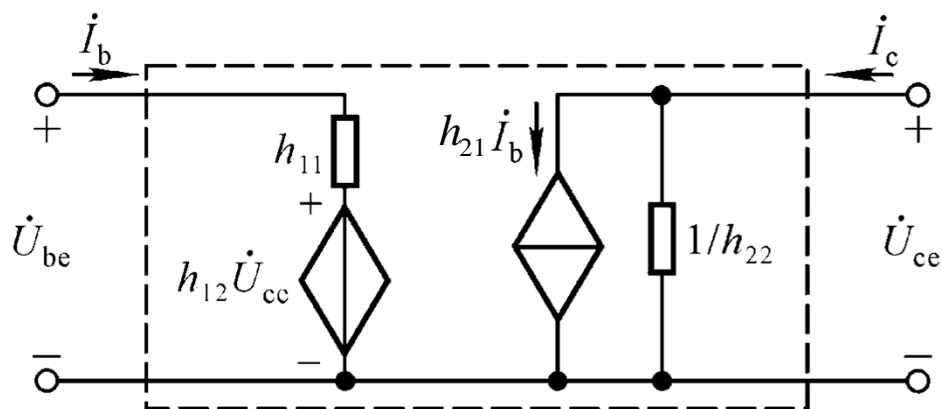
$$\begin{cases} \dot{U}_{be} = h_{11} \dot{I}_b + h_{12} \dot{U}_{ce} \\ \dot{I}_c = h_{21} \dot{I}_b + h_{22} \dot{U}_{ce} \end{cases}$$

无量纲

电导

交流等效模型（按式子画模型）

为了研究低频小信号作用下的各个变化量之间的关系



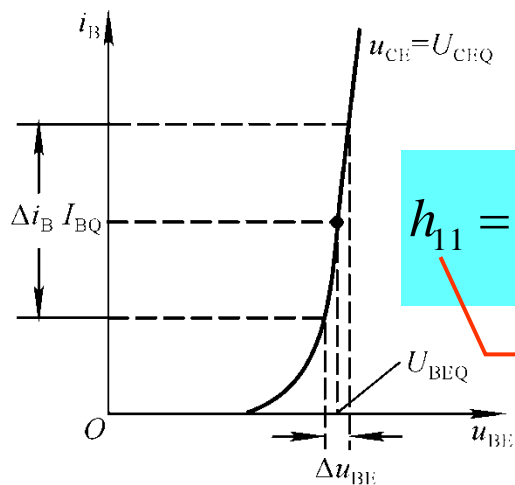
求全微分

$$\begin{cases} u_{BE} = f(i_B, u_{CE}) \\ i_C = f(i_B, u_{CE}) \end{cases}$$

h 参数的物理意义

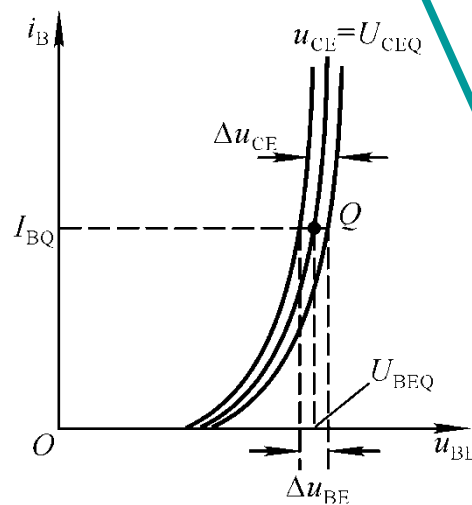
$$\begin{cases} \dot{U}_{be} = h_{11}\dot{I}_b + h_{12}\dot{U}_{ce} \\ \dot{I}_c = h_{21}\dot{I}_b + h_{22}\dot{U}_{ce} \end{cases}$$

小于 10^{-2}



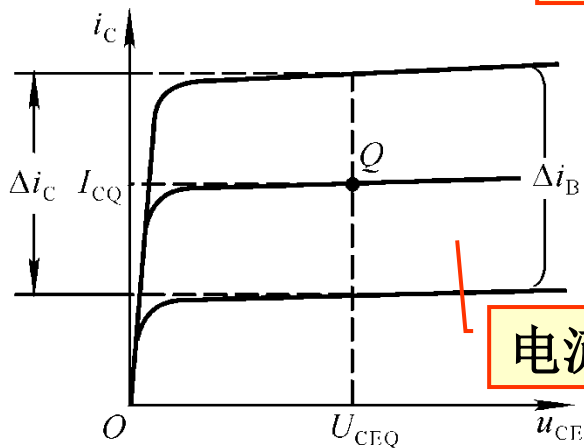
$$h_{11} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial i_B} \Big|_{U_{CE}} = r_{be}$$

**b-e间的
动态电阻**



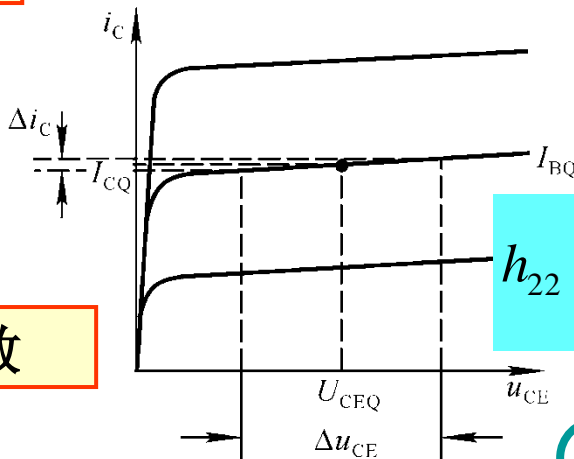
$$h_{12} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} \Big|_{I_B}$$

**内反馈
系数**



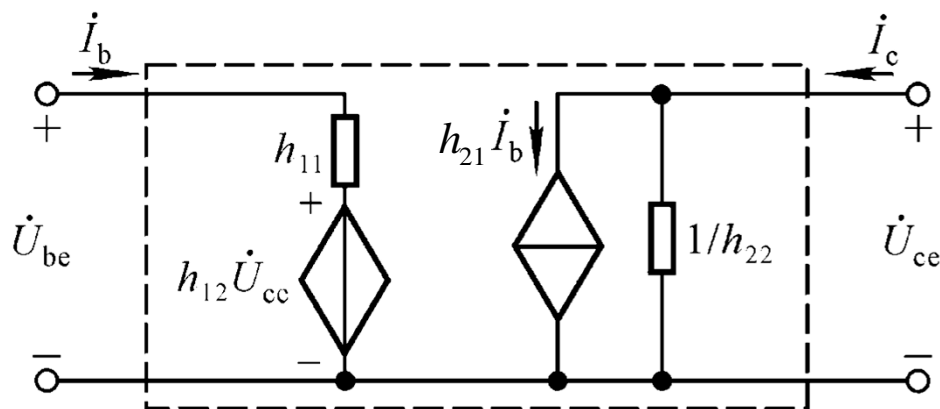
$$h_{21} = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \Big|_{U_{CE}} = \beta$$

电流放大系数



$$h_{22} = \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} \Big|_{I_B} = \frac{1}{r_{ce}}$$

**几百千欧
以上**



$$\begin{cases} \dot{U}_{be} = h_{11} \dot{I}_b + h_{12} \dot{U}_{ce} \\ \dot{I}_c = h_{21} \dot{I}_b + h_{22} \dot{U}_{ce} \end{cases}$$

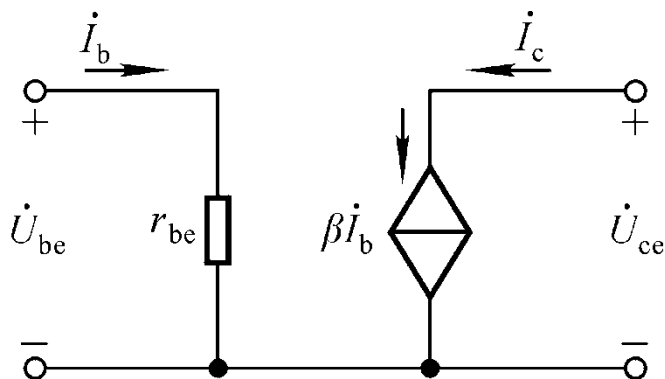
$$h_{12} = \left. \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} \right|_{I_B}$$

内反馈
系数

u_{CE} 对 u_{BE} 的影响很小，可忽略。

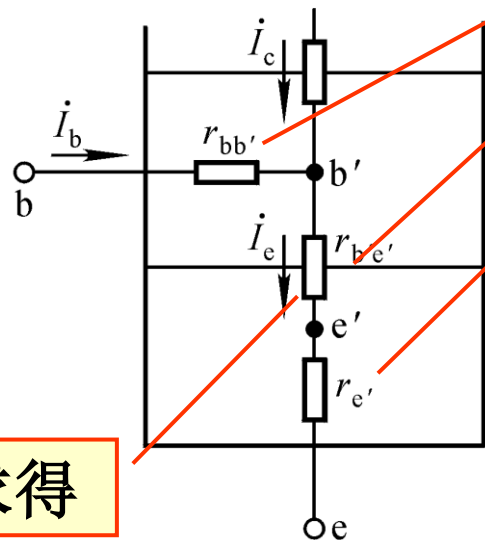
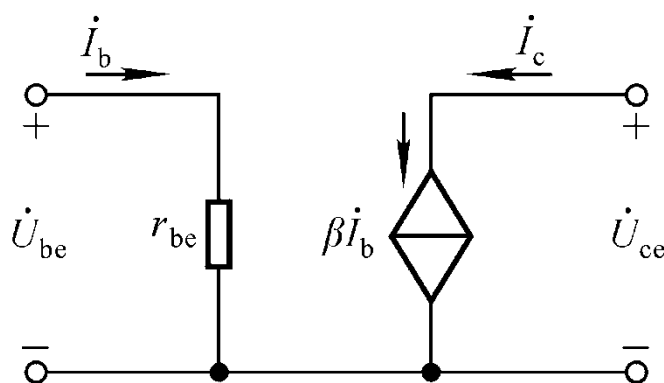
$$h_{22} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} \right|_{i_B} = \frac{1}{r_{ce}}$$

r_{ce} 很大，开路。



简化的 h 参数等效电路—交流等效模型。

r_{be} 的确定:



基区体电阻

发射结电阻

发射区体电阻
数值小可忽略

利用PN结的电流方程可求得

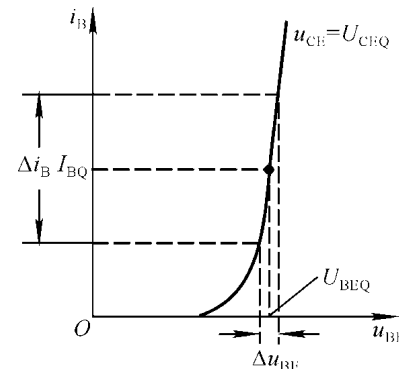
$$r_{be} = \frac{U_{be}}{I_b} = r_{bb'} + r_{b'e'} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}}$$

是静态电流 I_{EQ}

参见教材79-80页的详细推导。

在输入特性曲线上， Q 点越高， r_{be} 越小！

r_{be} 的数量级从几百欧到1千欧左右。

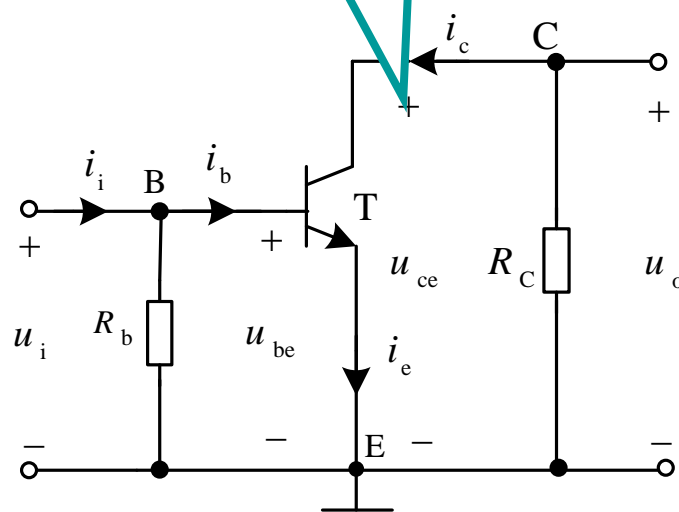
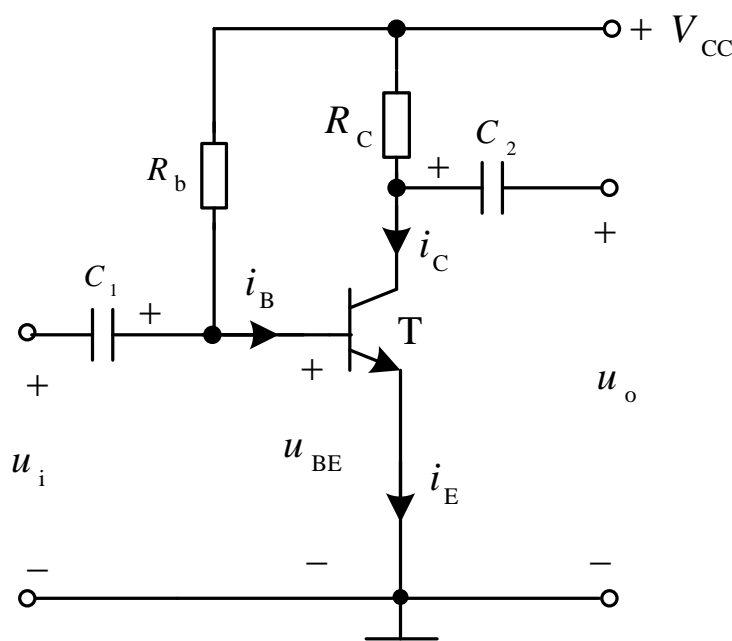


3. 放大电路的微变等效电路

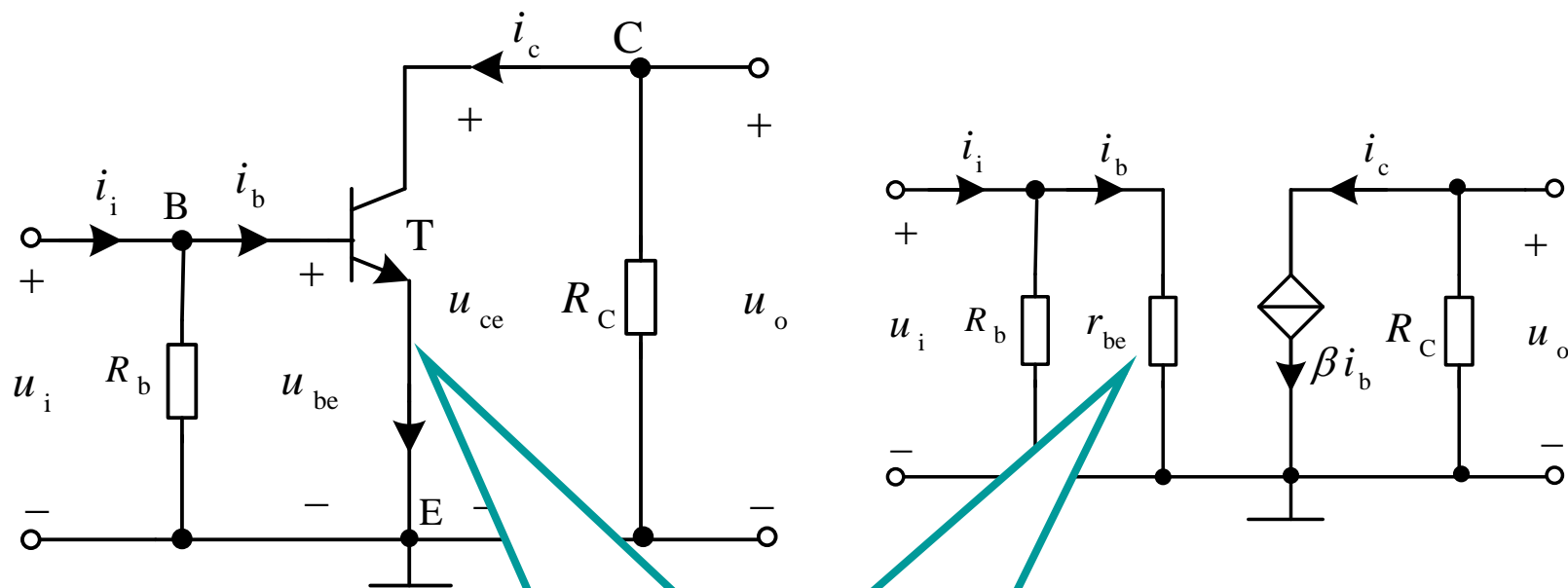
(1) 放大电路的交流通路

交流通路：只考虑交流信号的电路

画交流通路的原则：**电容和直流电源** 交流通路



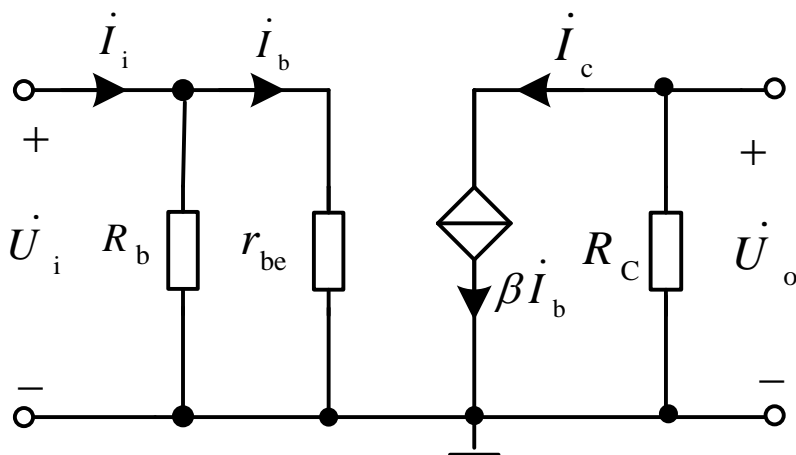
(2) 放大电路的微变等效电路



将交流通路中的晶体管换成微变等效电路

4. 动态指标的计算

电压放大倍数:

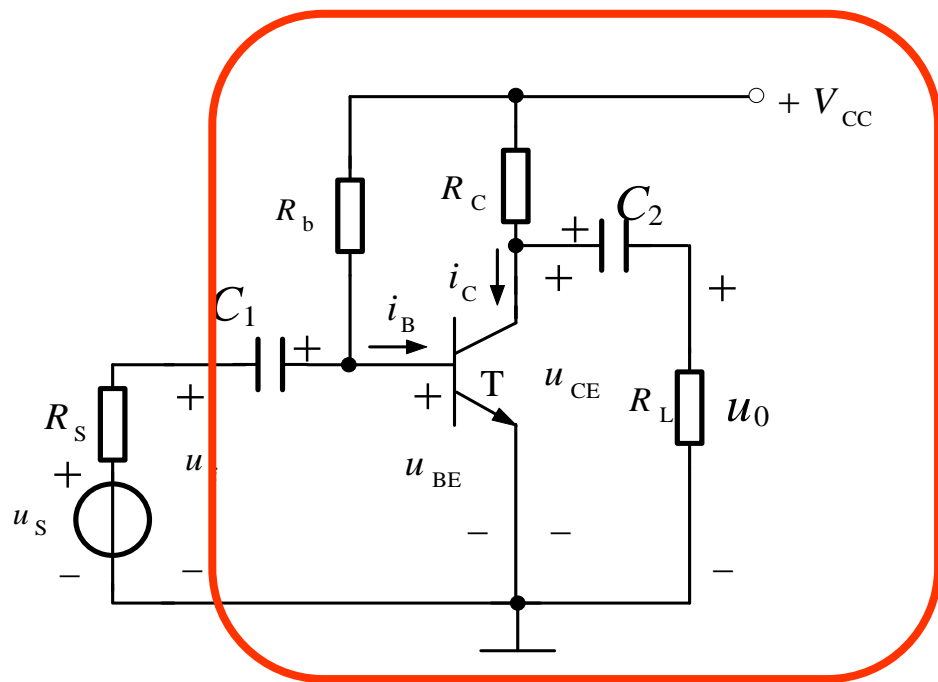


$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be}$$

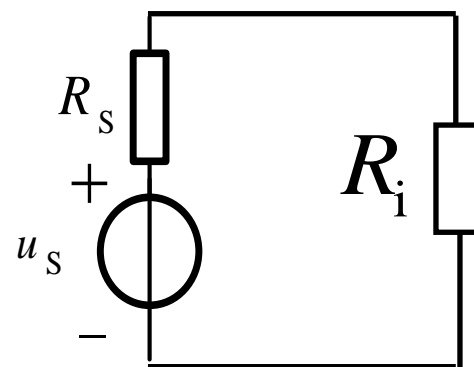
$$\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b R_C$$

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\beta \frac{R_C}{r_{be}}$$

输入电阻:



等效

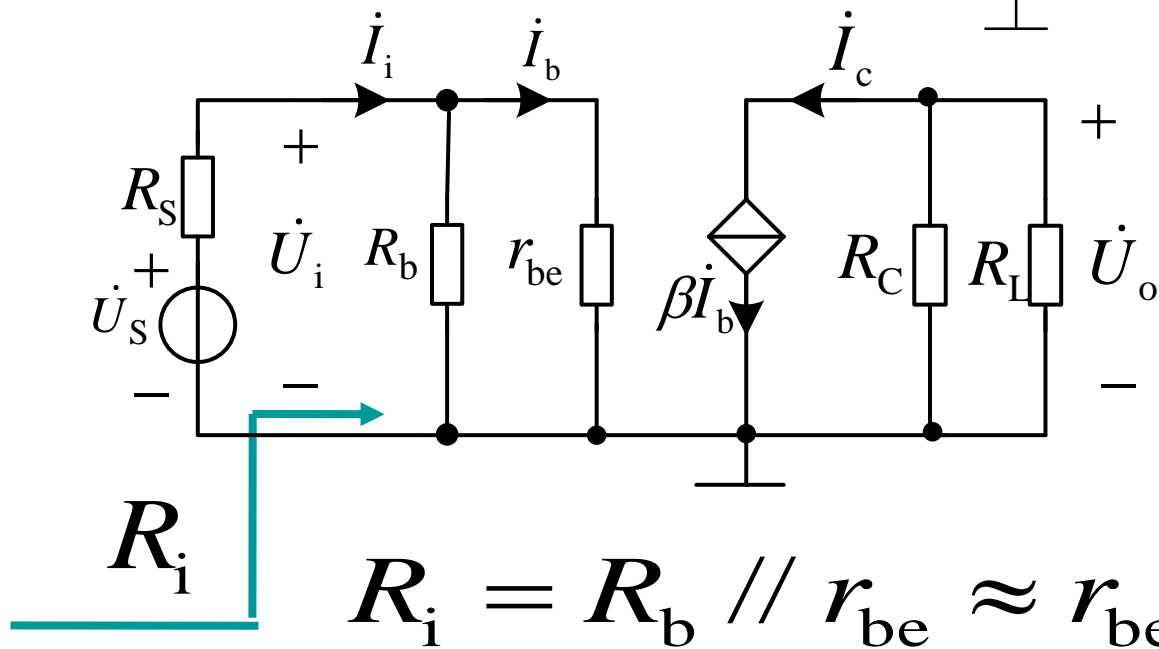
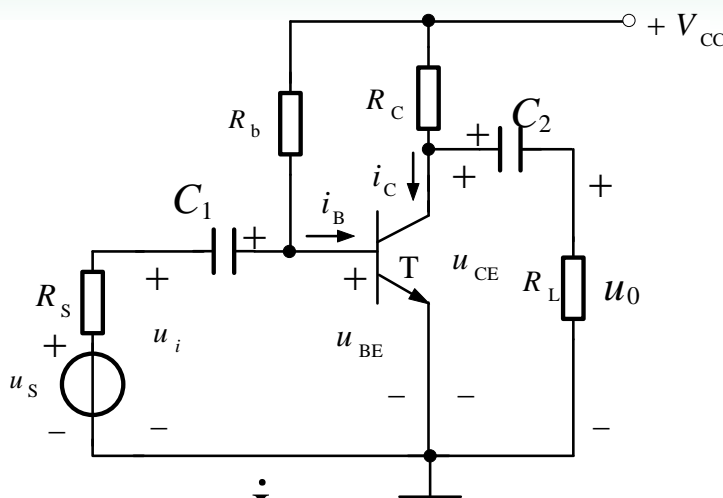


对信号源来说，放大电路是电源的负载，
可用等效电阻 R_i 表示。

R_i 称为放大电路的输入电阻。

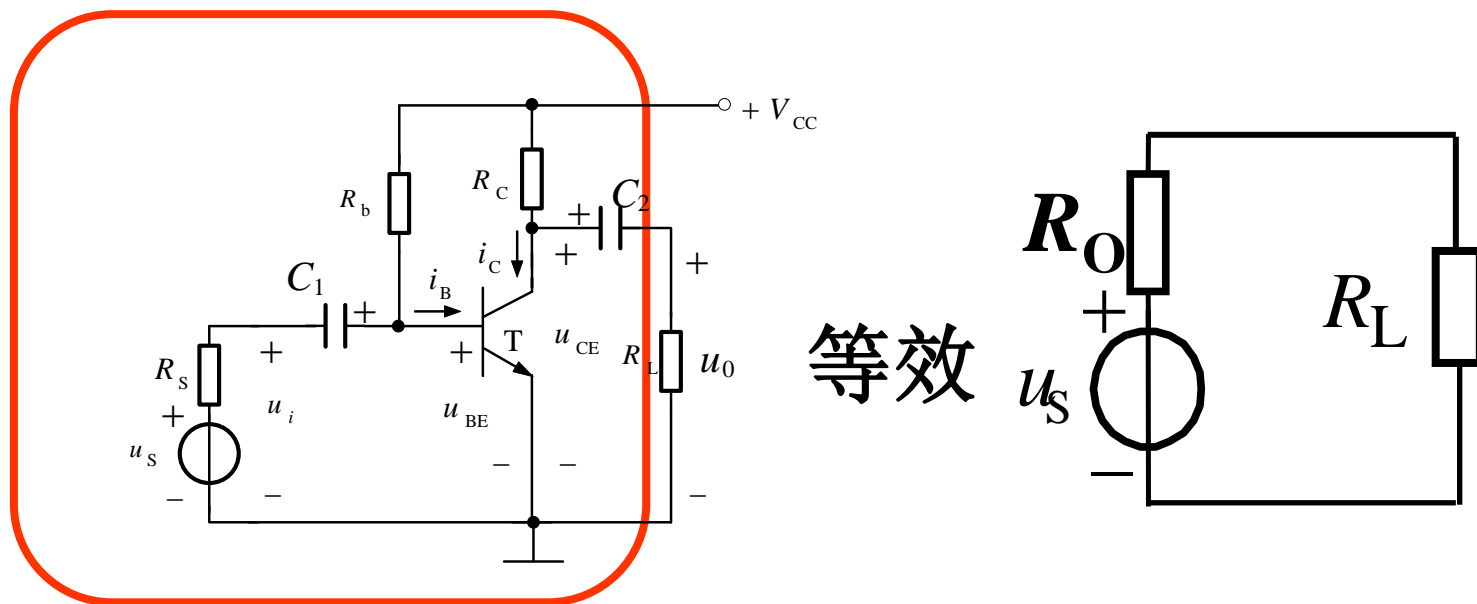
输入电阻的计算:

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$$



输出电阻:

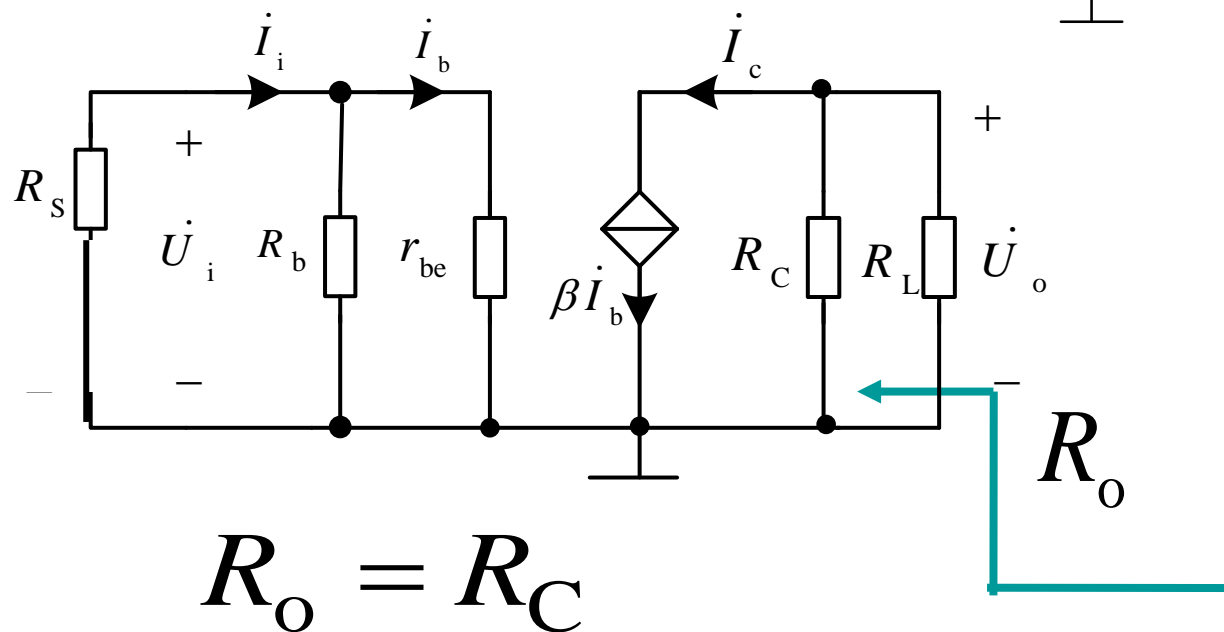
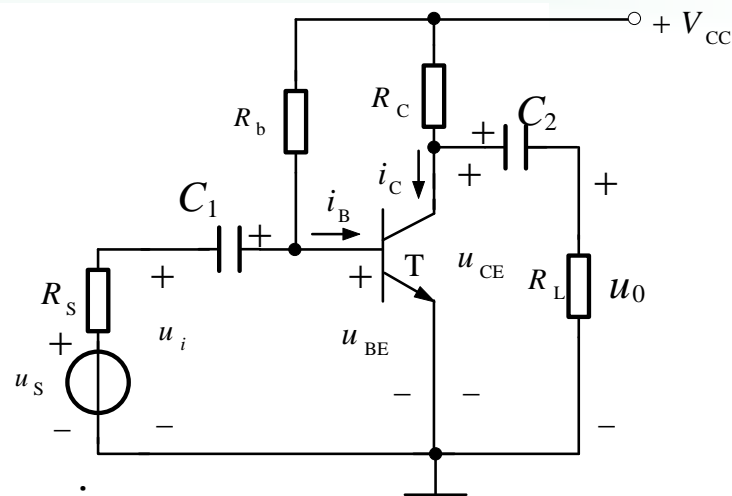
输出电阻的概念



放大电路对负载来说，相当是负载的电压源，电压源的内阻，称为放大电路的输出电阻 R_o 。

输出电阻的计算:

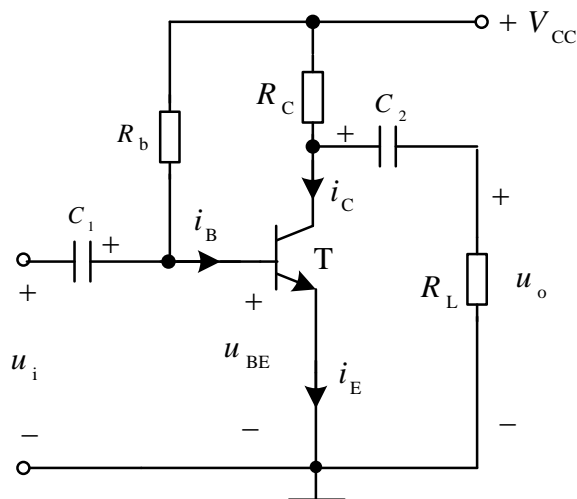
$$\dot{U}_S = 0, \dot{I}_b = 0, \dot{I}_c = 0$$



$$R_o = R_C$$

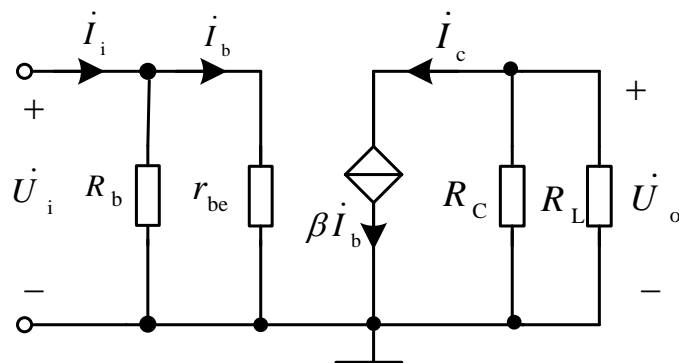
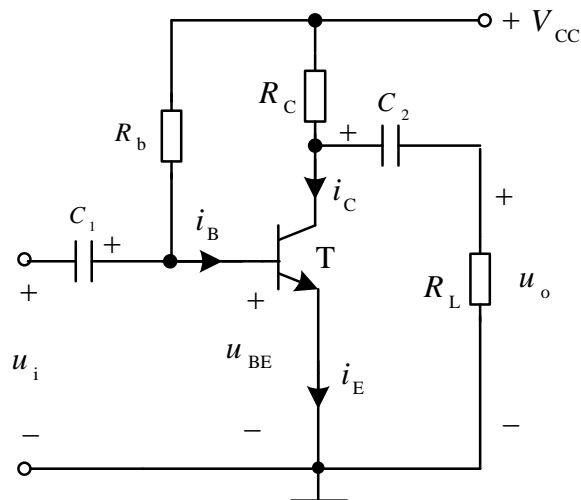
【例2.3.1】 晶体管交流放大电路如图所示，已知 $V_{CC}=12V$ ， $R_C=3k\Omega$ ， $R_L=6k\Omega$ ， $R_b=240k\Omega$ ， $\beta=40$ ， $r_{be}=0.73k\Omega$ 。

求：（1）负载开路 and 带载时的电压放大倍数。
（2）输入电阻和输出电阻。



【解】

利用放大电路的微变等效电路求解。



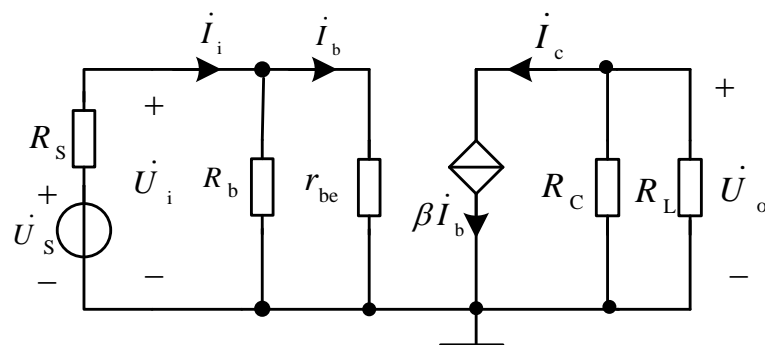
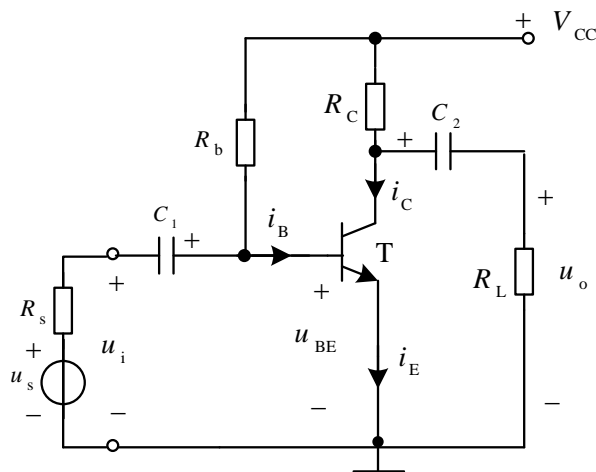
输出端开路时
$$A_u = -\frac{\beta R_C}{r_{be}} = -\frac{40 \times 3}{0.73} = -164.4$$

输出端带负载时
$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be}} = -\frac{40 \times 3 // 6}{0.73} = -109.6$$

$$R_i = R_B // r_{be} \approx 0.73 \text{k}\Omega$$

$$R_o = R_C = 3 \text{k}\Omega$$

(3) 若信号源的内阻为600欧, 求 $\dot{A}_{us} = \dot{U}_o / \dot{U}_s$



$$\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{A}_u$$

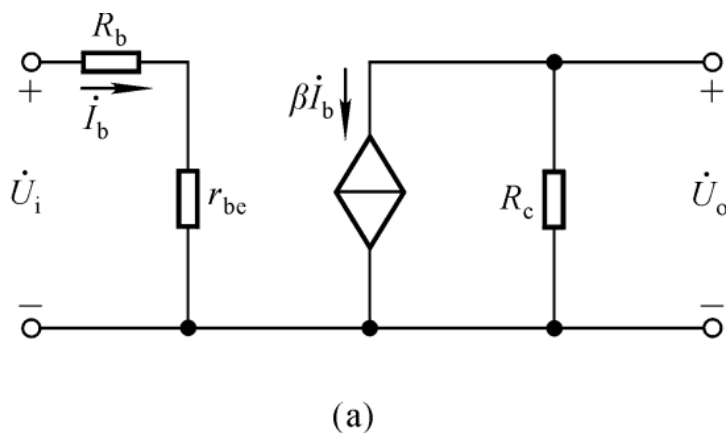
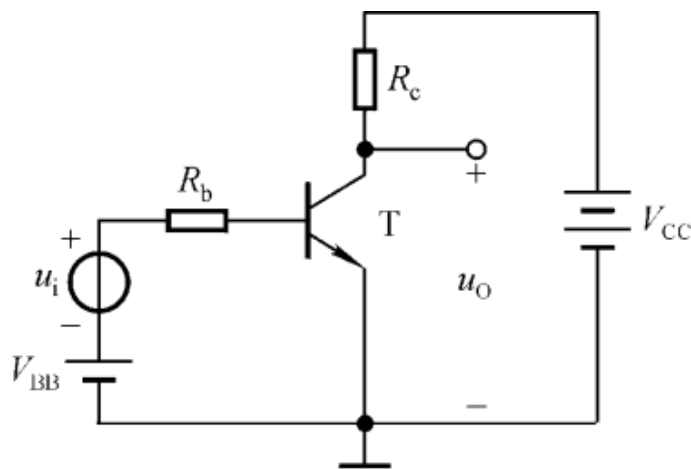
$$\dot{A}_{us} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{A}_u = \frac{0.73}{0.6 + 0.73} \times (-109.6) = -60.2$$

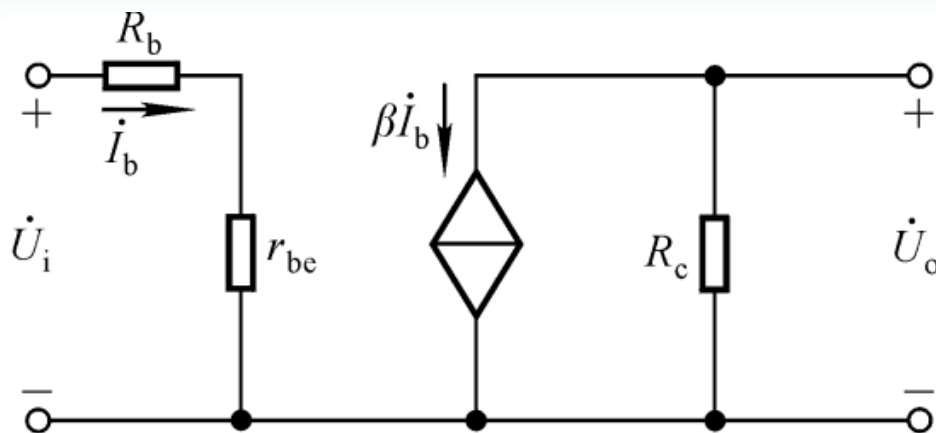
【例2.3.2】晶体管放大电路如图所示。试求：

(1) 微变等效电路

(2) 写出电压放大倍数和输入电阻、输出电阻的公式。

【解】 (1)





(a)

$$(2) \quad A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \dot{I}_b R_c}{\dot{I}_b (R_b + r_{be})} = \frac{-\beta R_c}{R_b + r_{be}}$$

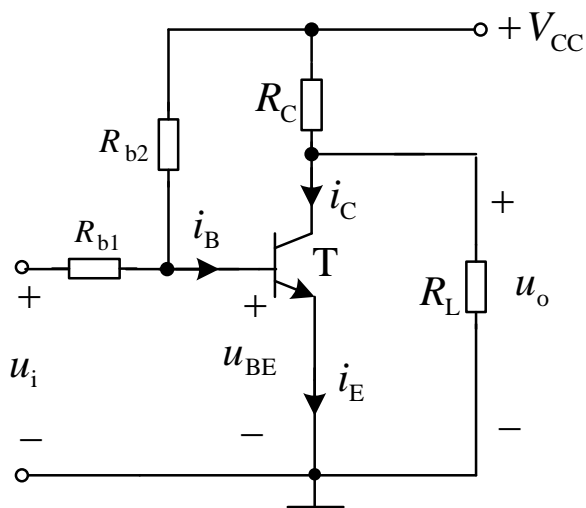
$$R_i = R_b + r_{be}$$

$$R_o = R_c$$

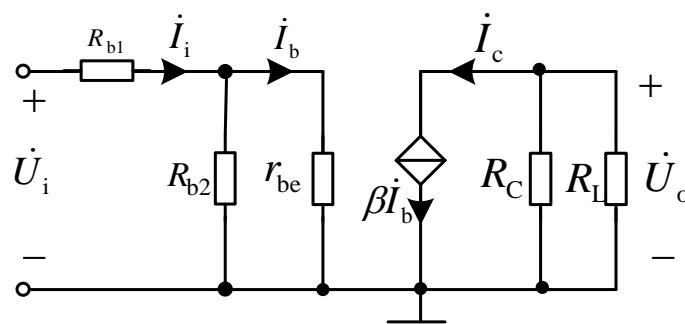
【例2.3.3】晶体管放大电路如图所示。试求：

(1) 微变等效电路。

(2) 写出电压放大倍数和输入电阻、输出电阻的公式。



【解】 (1)

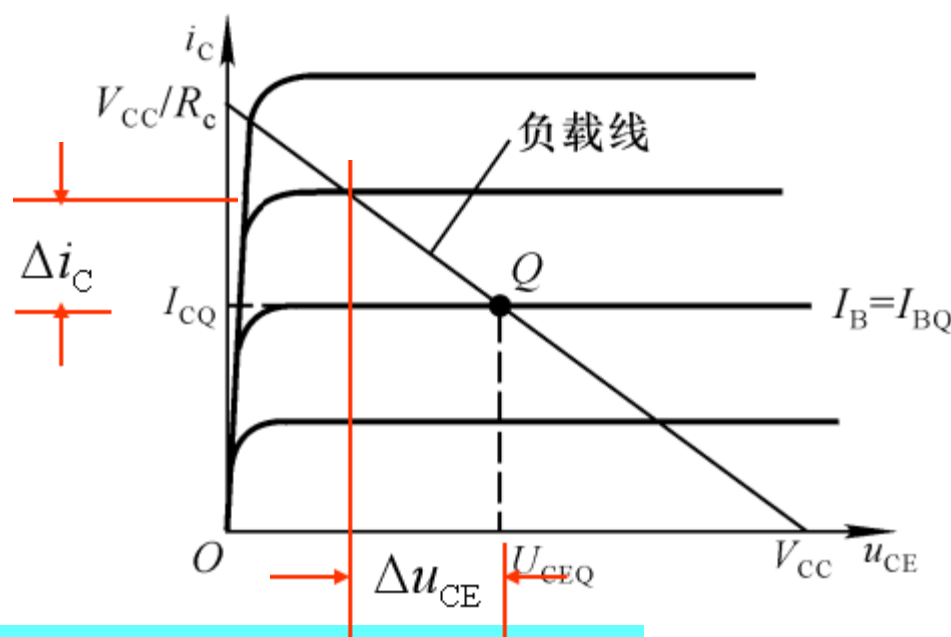
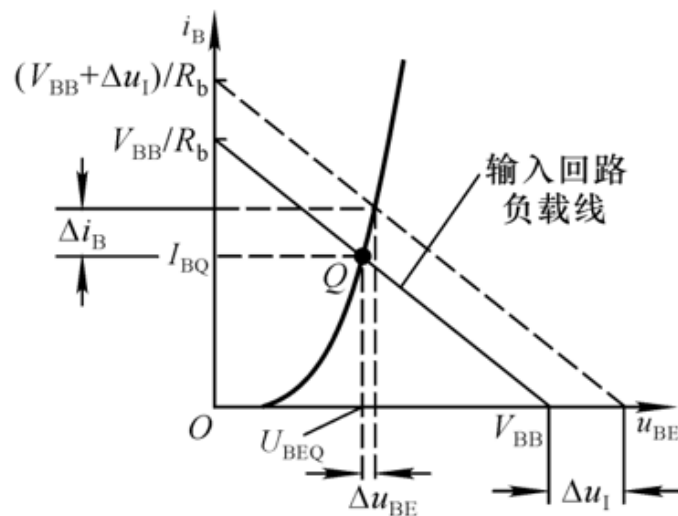
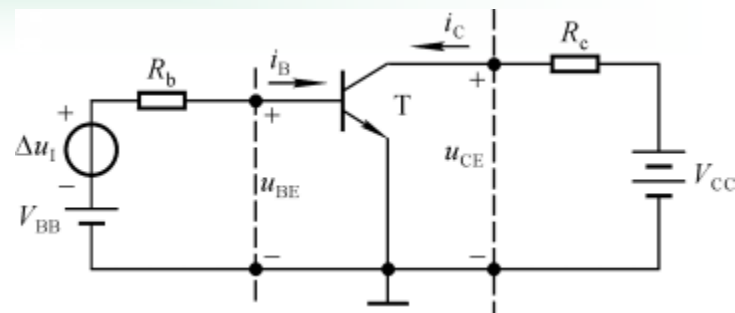


$$(2) \quad A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{-\beta \dot{I}_b R'_L}{\dot{I}_b (R_{b1} + r_{be})} = \frac{-\beta R'_L}{R_{b1} + r_{be}}$$

$$R_i = R_{b1} + (R_{b2} // r_{be}) \approx R_{b1} + r_{be} \quad R_o = R_C$$

5. 用图解法求电压放大倍数

$$u_{BE} = V_{BB} + \Delta u_I - i_B R_b \quad \text{斜率不变}$$



给定 $\Delta u_I \rightarrow \Delta i_B \rightarrow \Delta i_C \rightarrow \Delta u_{CE} (\Delta u_O) \rightarrow A_u = \frac{\Delta u_O}{\Delta u_I}$

Δu_O 与 Δu_I 反相, A_u 符号为 “-”。

第2章 基本放大电路

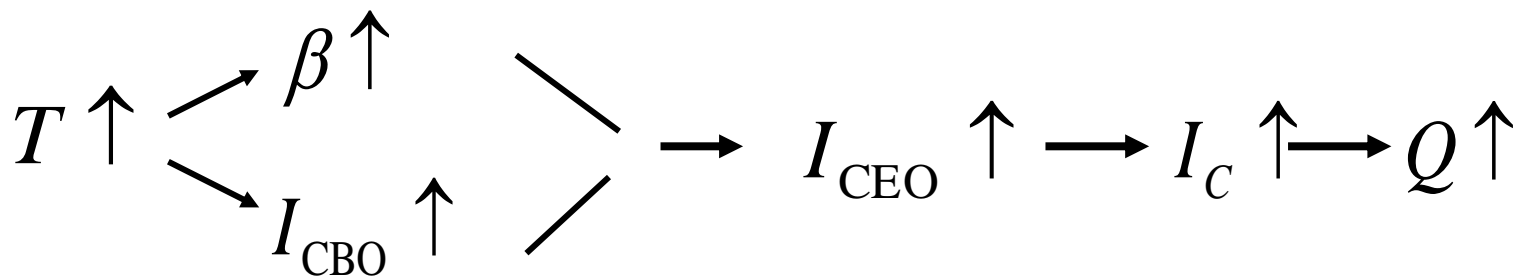
- 2.1 放大的概念与放大电路的性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管放大电路的三种接法
- 2.6 场效应管及其基本放大电路
- 2.7 基本放大电路的派生电路

2.4 放大电路的静态工作点的稳定

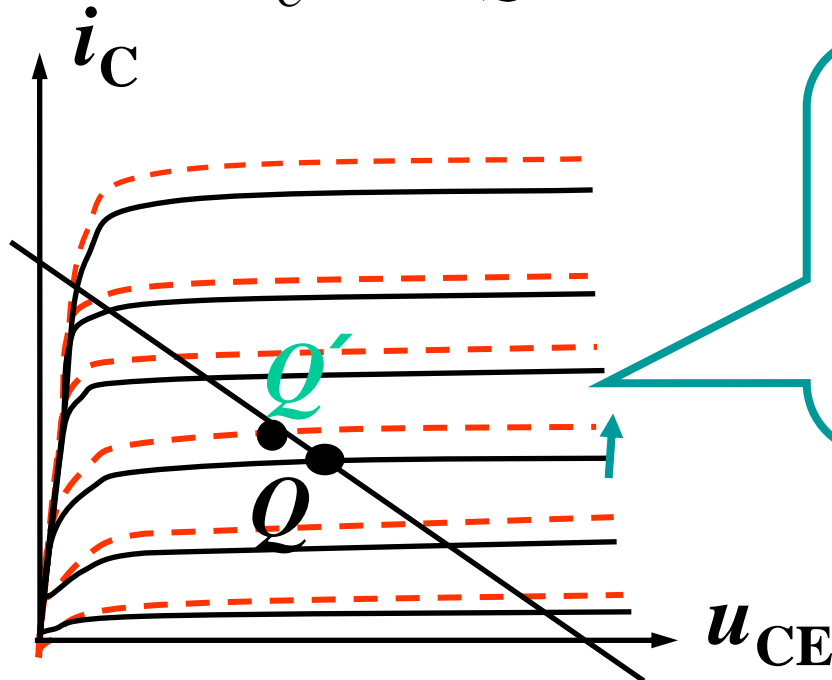
温度变化对静态工作点的影响：

为了保证放大电路的稳定工作，必须有稳定的静态工作点。

静态工作点不稳定的主要原因是温度变化对晶体管参数的影响。



$$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow Q \uparrow$$



温度升高时，
输出特性曲线
上移，使 Q 点上
移。

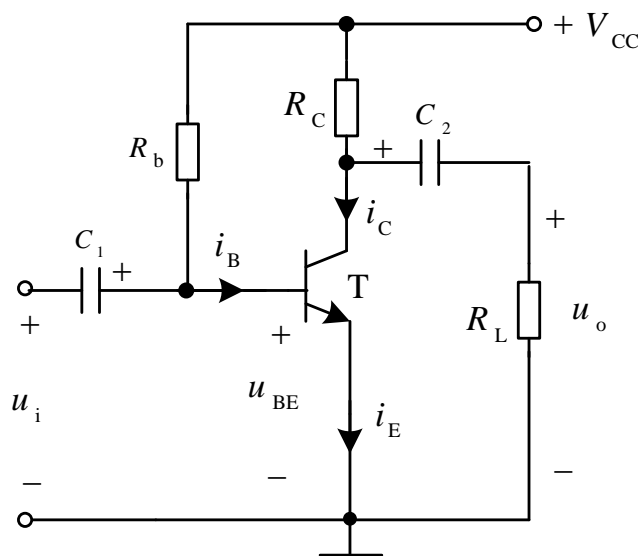
总的影响结果是：

$Q \uparrow \rightarrow$ 使动态工作范围减小 $\rightarrow A_u \downarrow$

1. Q 点稳定原理

(1) 思路

观察此电路结构可知，这个电路的 Q 点是不稳定的。

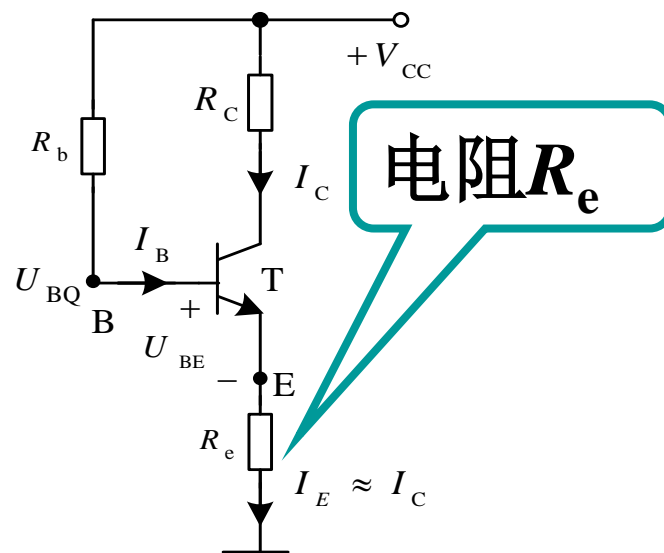
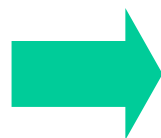
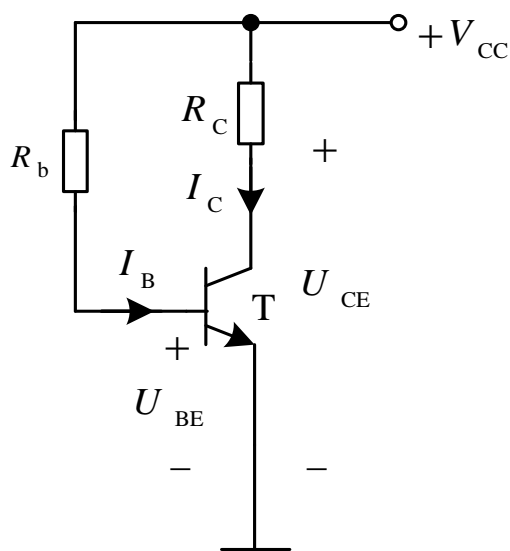


$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_b}, \quad T \uparrow \longrightarrow I_C \uparrow$$

在这个电路的基础上
如何改进，使温度升高，
保证 I_C 基本不变？

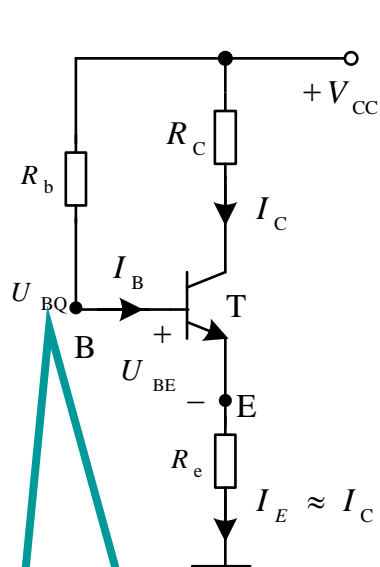
思路： $T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$

思路: $T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$

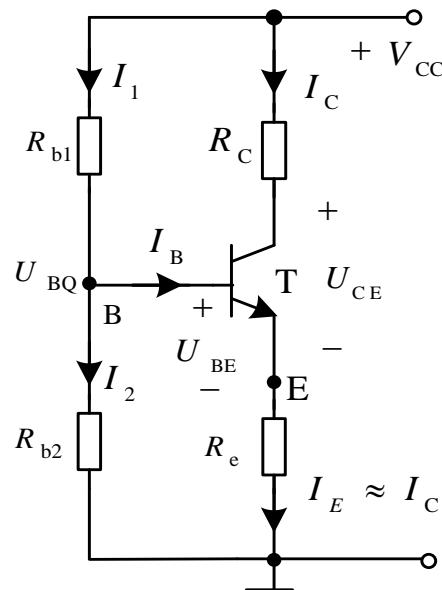
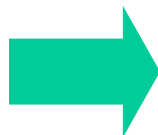


首先，在基本放大电路中增加一个电阻 R_e ，其作用是将 I_C 的变化引回到输入端，若保证基极电位 U_{BQ} 不变的条件下使 U_{BE} 、 I_B 下降，从而使 I_C 下降， Q 点就稳定了。

(2) 电路的组成:

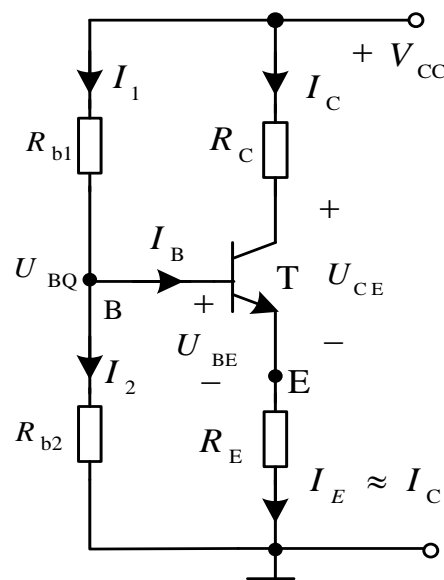
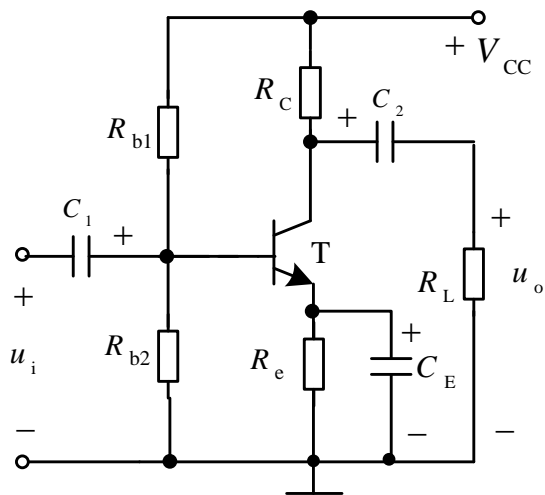


如何保证B点的电位不变?



在电路中再加一个基极电阻 R_{b2} ，使其流过的电流大大于 I_B ，则基极电位 U_{BQ} 就保持基本不变。

2. Q 点稳定条件



设 $I_2 \gg I_{BQ}$ ，即 $I_2 \approx I_1$ ，则有

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC}$$

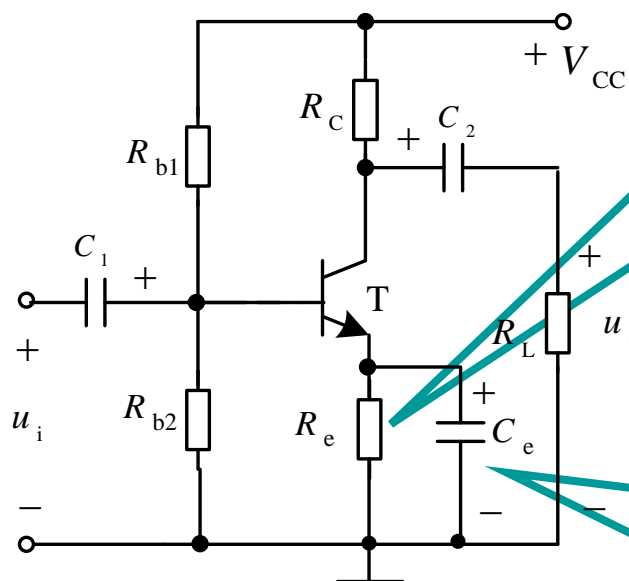
不受温度影响

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e}$$

不受温度影响

设 $U_{BEQ} = U_{BE} + \Delta U_{BE}$ ，若 $U_{BQ} - U_{BE} \gg \Delta U_{BE}$ ，则 I_{EQ} 稳定。

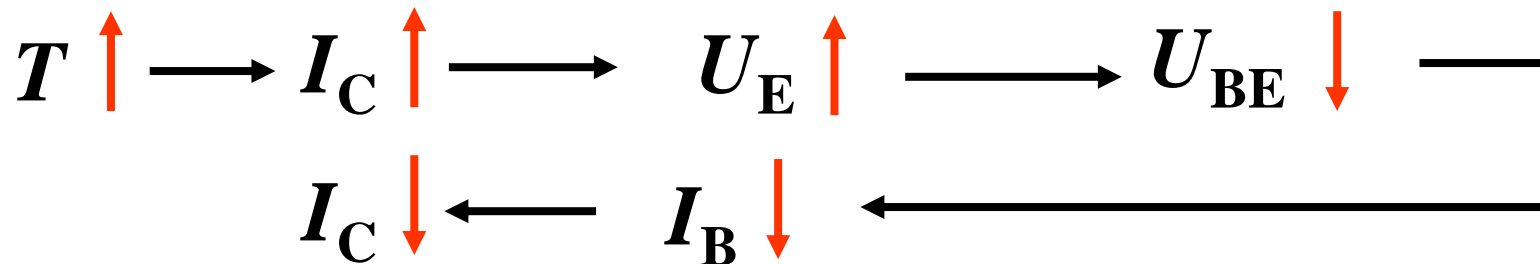
工作点稳定电路（分压式偏置）



本电路稳定的过程实际上是 R_e 形成的负反馈过程。

为了保证电压放大倍数不变，并联旁路电容 C_e 。

工作点稳定过程：

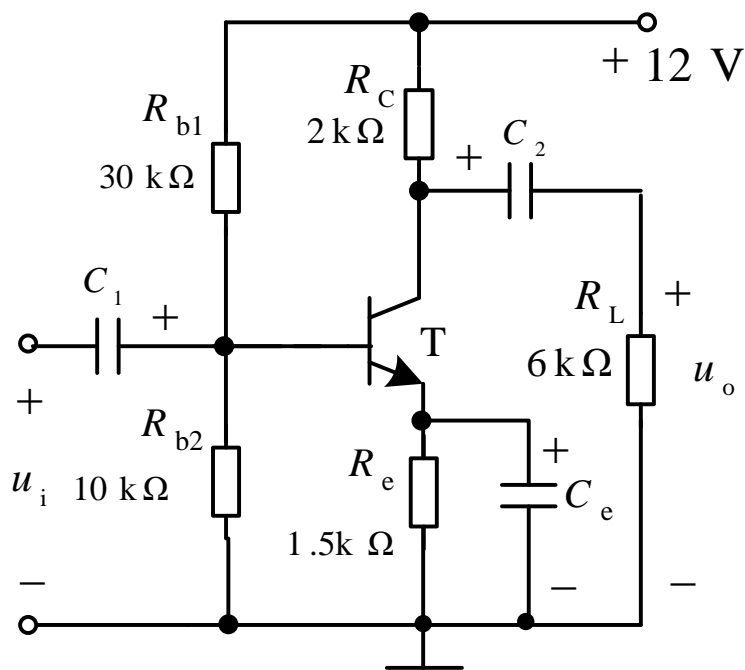


【例2.4.1】分压式偏置电路如图所示，已知 $\beta = 50$ ，

$$U_{BE} = 0.7V, r_{be} = 0.86k。$$

试求：1. 放大电路的静态值。

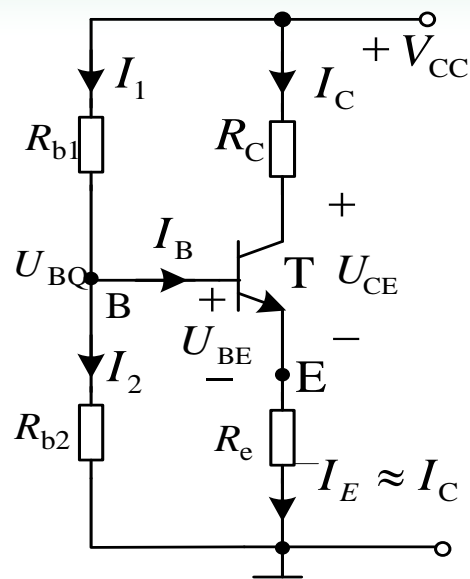
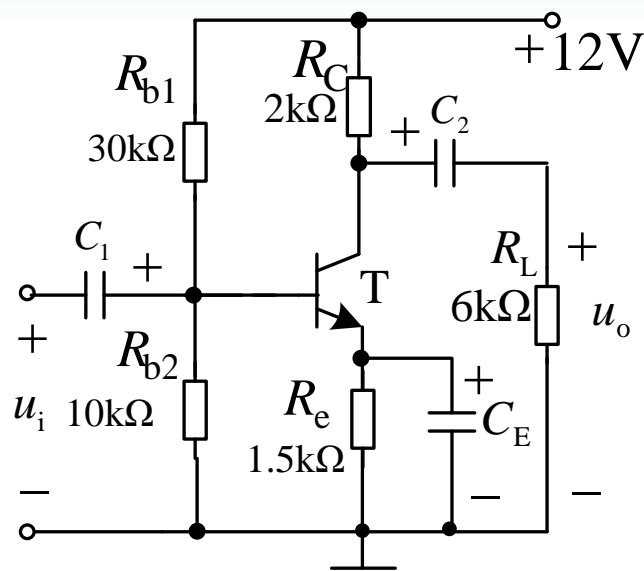
2. 电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。



【解】

1. 根据直流通路求静态值。

2. 根据微变等效电路求电压放大倍数和输入、输出电阻。



1. 根据直流通路求静态值。

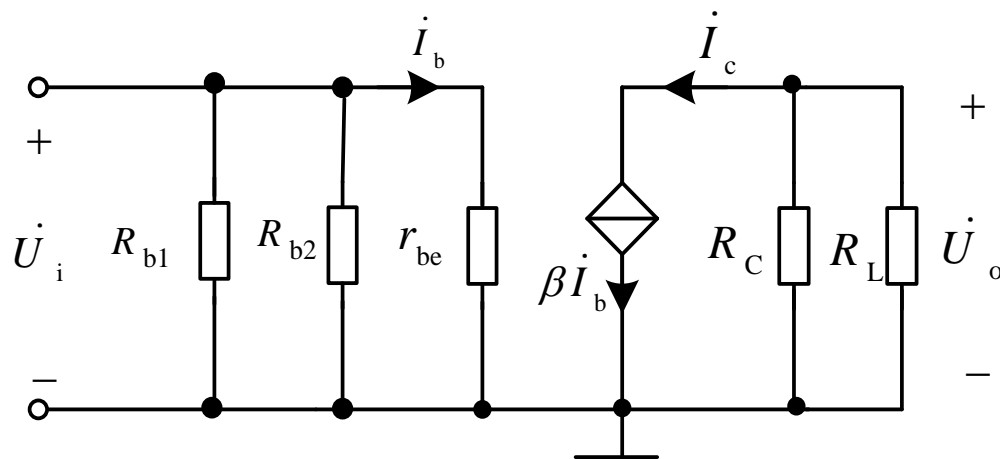
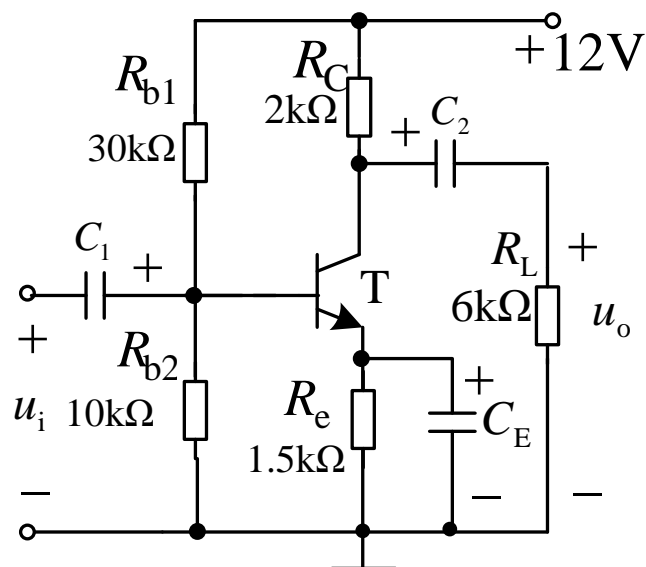
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} = \frac{10}{30 + 10} \times 12 = 3V$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e} = \frac{3 - 0.7}{1.5} = 1.53mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} = \frac{1.53}{51} = 30\mu A$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_e) = 12 - 1.53 \times 3.5 = 6.65V$$

2. 根据微变等效电路求动态指标

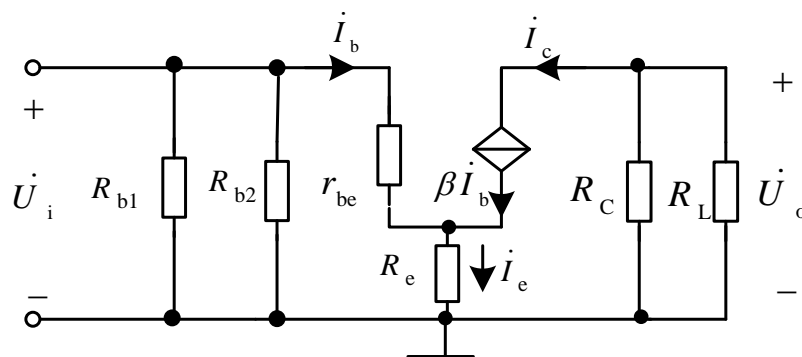
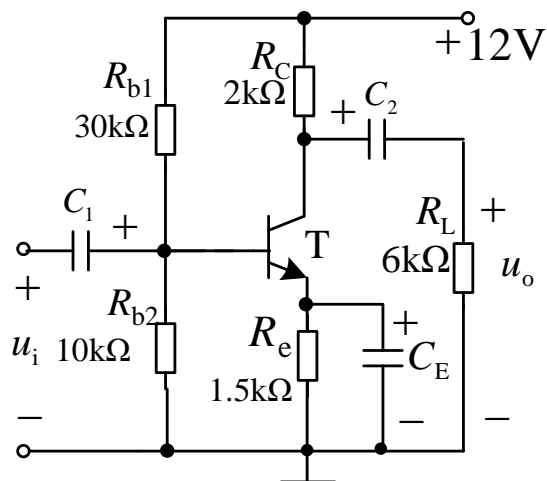


$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be}} = -\frac{50 \times 2 // 6}{0.86} = -87.2$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 30 // 10 // 0.86 = 0.77 \text{k}\Omega$$

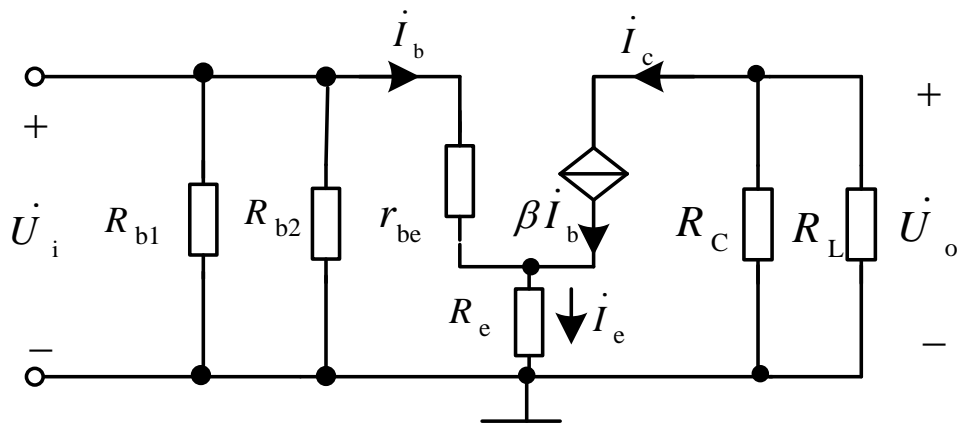
$$R_O = R_C = 2 \text{k}\Omega$$

思考：若旁路电容开路？对哪些指标有影响？



$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} = -\frac{50 \times 2 // 6}{0.86 + 51 \times 1.5} = -\frac{75}{65.79} = -1.1$$

$$\begin{aligned} R_i &= R_{b1} // R_{b2} // (r_{be} + (1 + \beta)R_e) \\ &= 30 // 10 // (0.86 + 51 \times 1.5) = 30 // 10 // 65.79 \\ &= 20.6 // 10 = 6.7 \text{k}\Omega \end{aligned}$$

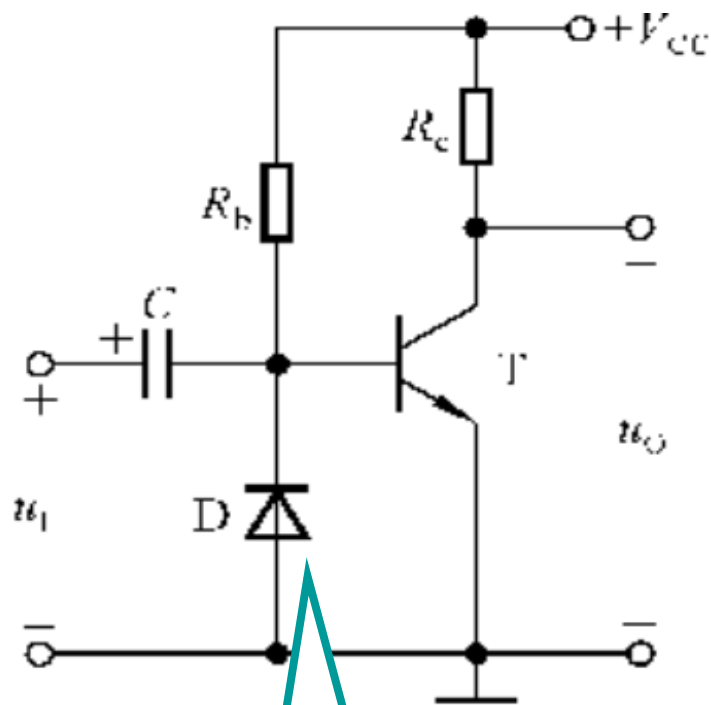


$$\dot{A}_u = - \frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

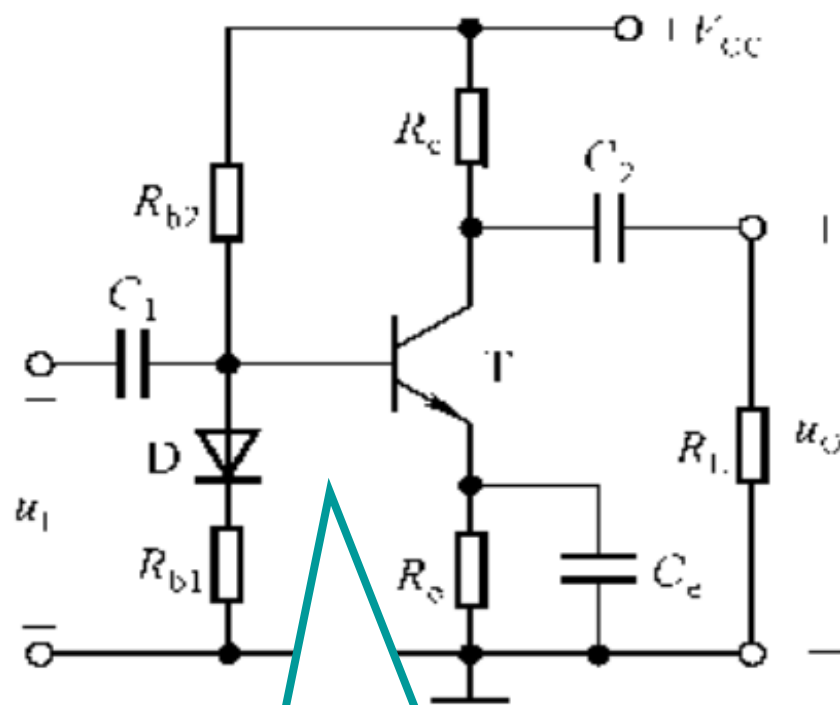
$$\text{若 } (1 + \beta) R_e \gg r_{be}, \text{ 则 } A_u \approx - \frac{R'_L}{R_e}$$

放大倍数不受温度影响，稳定性好！

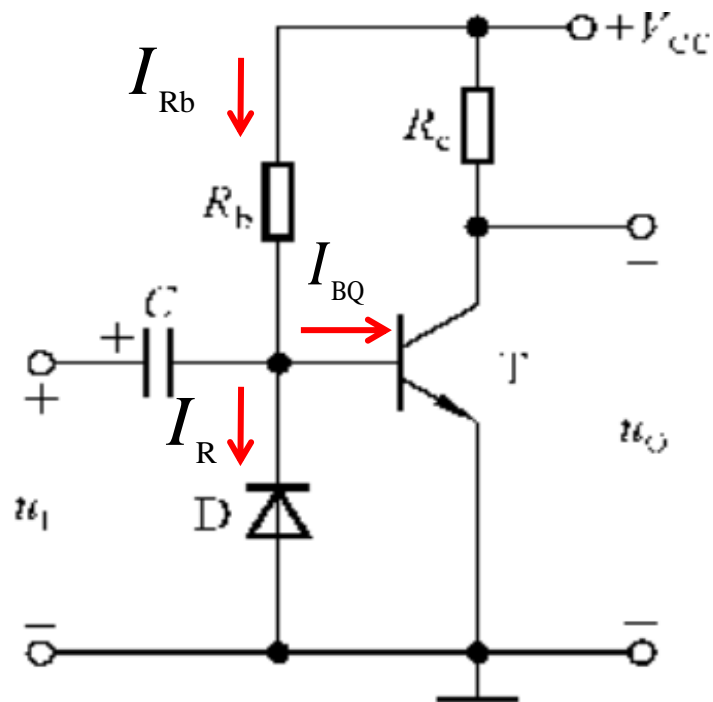
3. Q 点稳定的其他方法



温度补偿
稳定 Q 点



温度补偿与负反馈
稳定 Q 点



(a)

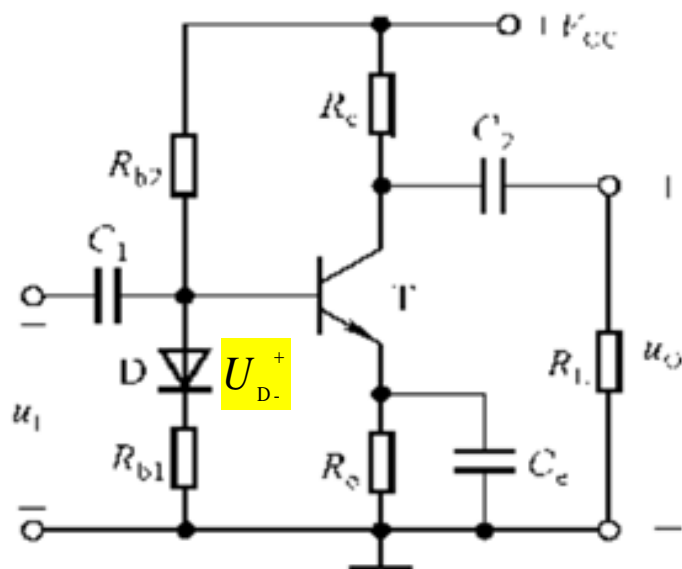
$$I_{Rb} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$$

不受温度影响

$$I_{Rb} = I_R + I_{BQ}$$

$$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow$$

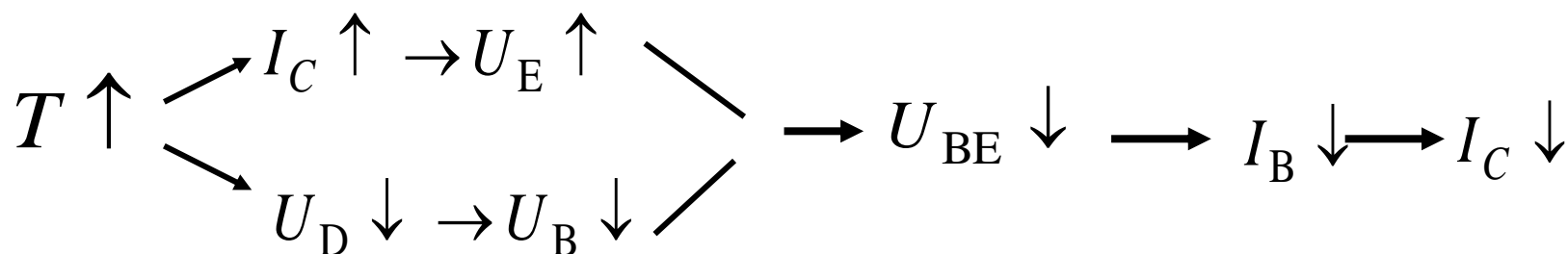
$$T \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$$



$$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow$$

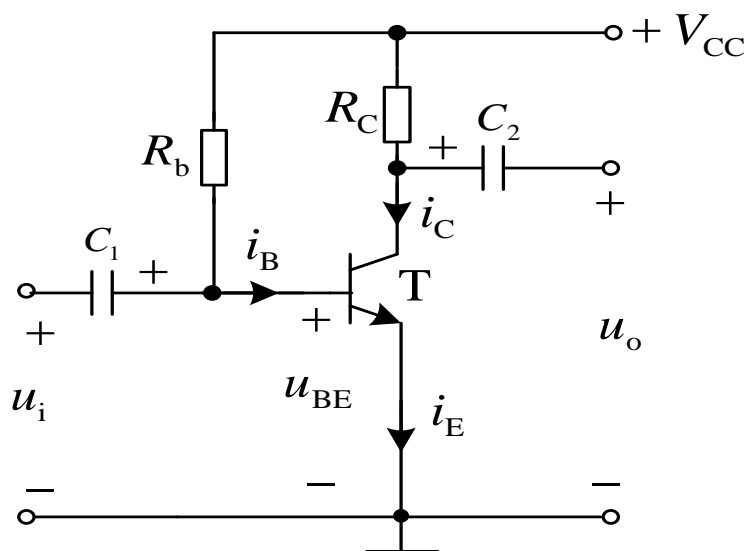
$$T \uparrow \rightarrow U_D \downarrow$$

(二极管的正向电流不变)



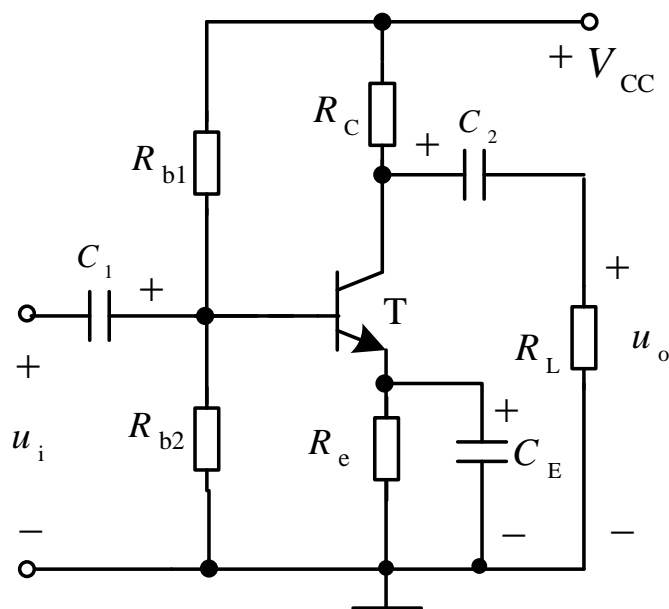
上次课的复习

练习1. 写出这个电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的公式。



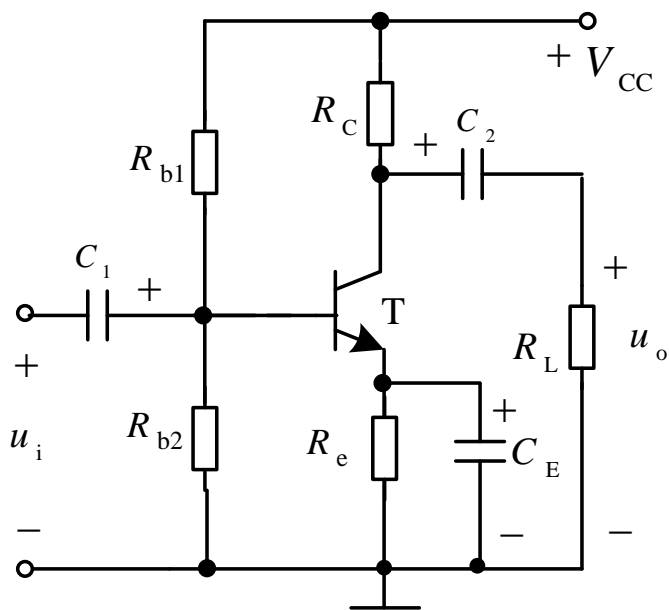
练习2. 这个电路有什么缺点？

练习3. 这个电路是什么电路？有什么优点？



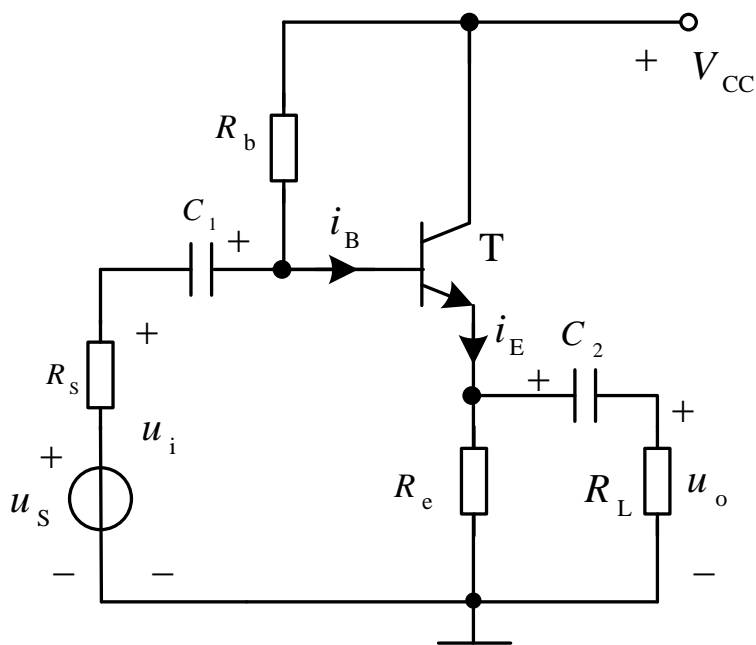
练习4. R_e 和 R_{b2} 起什么作用？

练习5. 写出这个电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的公式。



2.5.放大电路的三种接法

一. 共集电极放大电路

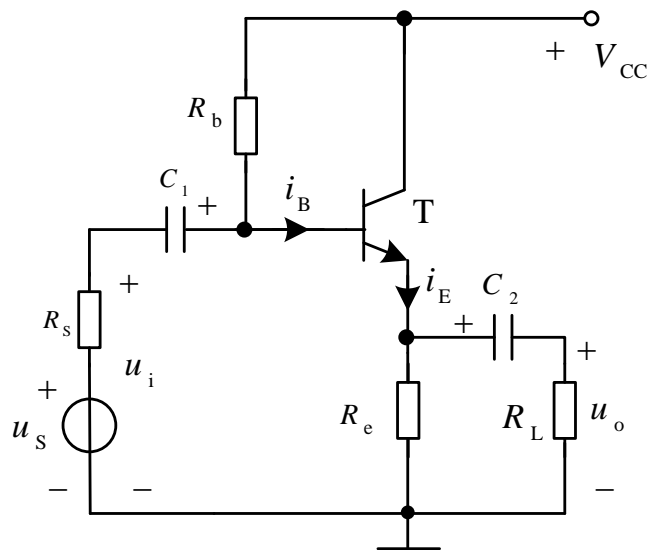


电路结构：

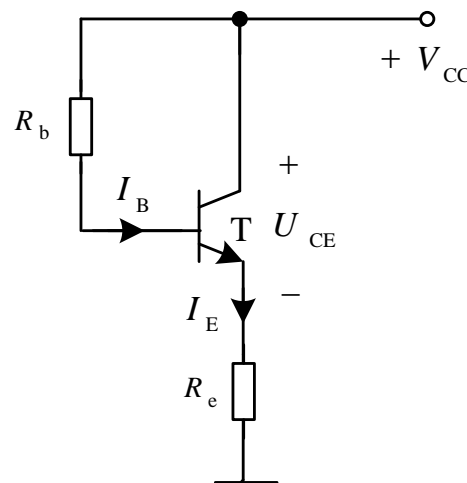
(1) 从发射极取出信号；又称射极输出器。

(2) 集电极对交流信号是电路的公共端。

1. 静态分析



由直流通路得



$$V_{CC} = I_{BQ}R_b + U_{BEQ} + I_{EQ}R_e = I_{BQ}[R_b + (1 + \beta)R_e] + U_{BEQ}$$

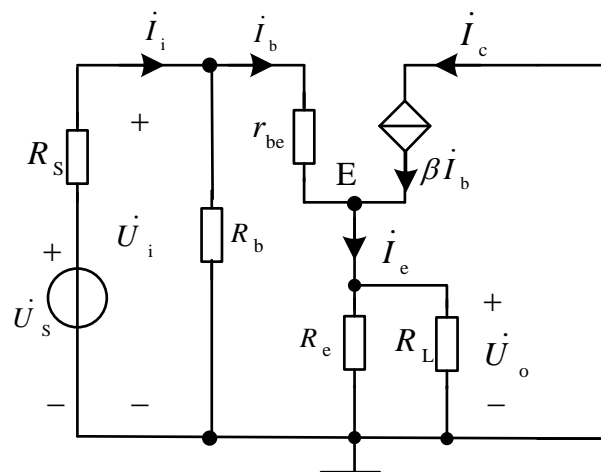
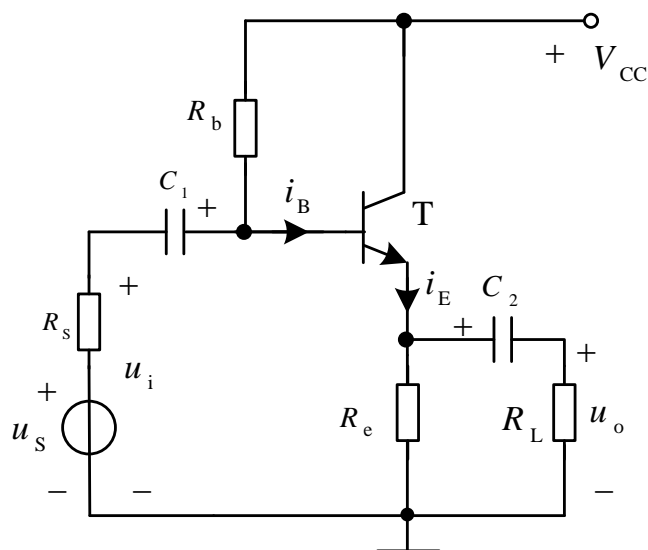
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

$$I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ} = (1 + \beta)I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e$$

2. 动态分析

(1) 电压放大倍数 (微变等效电路求解)



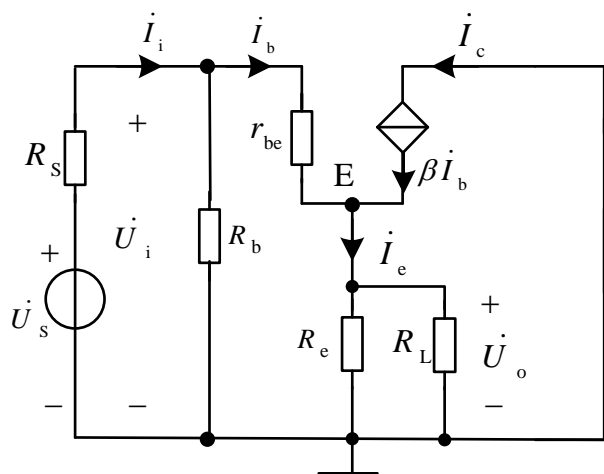
$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R'_L = \dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R'_L = \dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$$

$$\dot{U}_o = \dot{I}_e R'_L = (\dot{I}_b + \dot{I}_c) R'_L = (\dot{I}_b + \beta \dot{I}_b) R'_L = (1 + \beta) \dot{I}_b R'_L$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) \dot{I}_b R'_L}{\dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L} \leq 1$$

没有电压
放大作用

(2) 输入电阻



$$\dot{U}_i = \dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

$$R'_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_b} = r_{be} + (1 + \beta)R'_L$$

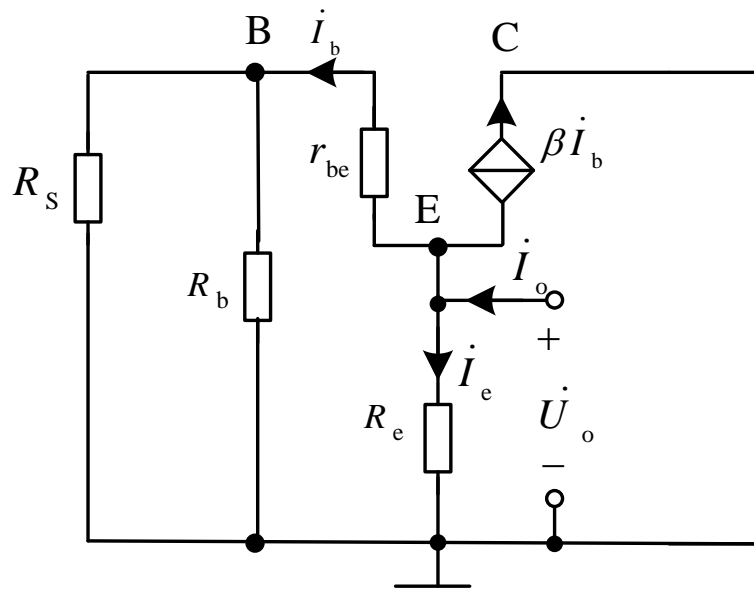
$$R_i = R_b // R'_i$$

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

可见：射极输出器的输入电阻比共发射极放大电路的输入电阻高得多。

通常 $(1 + \beta)R_e \gg (r_{be} + R'_S), \beta \gg 1$

(3) 输出电阻



$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \quad \dot{I}_o = \dot{I}_b + \beta \dot{I}_b + \dot{I}_e$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_o}{r_{be} + R'_S}, \quad R'_S = R_S // R_b$$

可见：输出电阻比共发射极放大电路的输出电阻小得多。

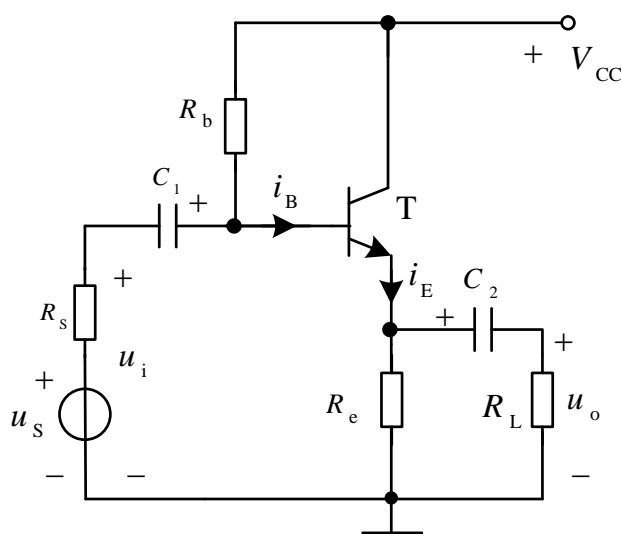
$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}_o}{r_{be} + R'_S} + \beta \frac{\dot{U}_o}{r_{be} + R'_S} + \frac{\dot{U}_o}{R_e} = \dot{U}_o \left(\frac{1 + \beta}{r_{be} + R'_S} + \frac{1}{R_e} \right) = \dot{U}_o \frac{(1 + \beta)R_e + (r_{be} + R'_S)}{(r_{be} + R'_S)R_e}$$

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \frac{(r_{be} + R'_S)R_e}{(1 + \beta)R_e + (r_{be} + R'_S)} \\ &= \frac{(r_{be} + R'_S)}{(1 + \beta)} // R_e \end{aligned}$$

$$R_o \approx \frac{(r_{be} + R'_S)R_e}{(1 + \beta)R_e} = \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}$$

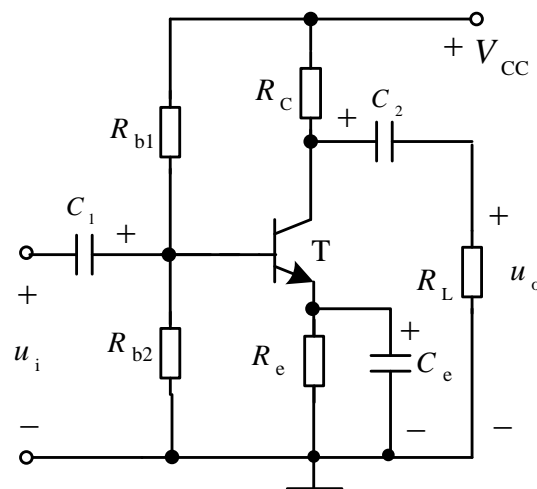
3. 射极输出器的特点

(1) 输入电阻高，输出电阻低



$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

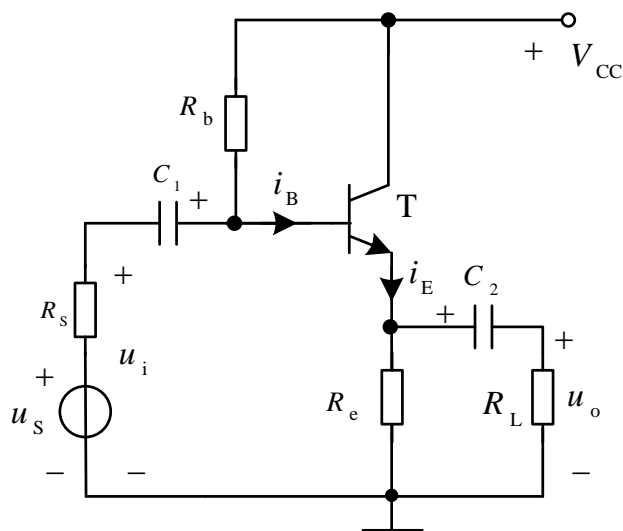
$$R_o \approx \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}$$



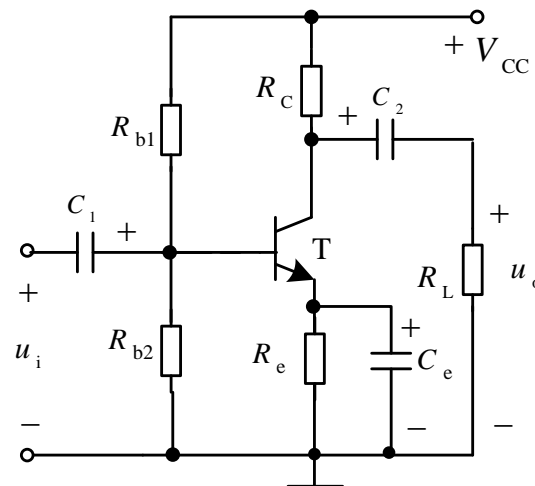
$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} \approx r_{be}$$

$$R_o = R_C$$

(2) 电压放大倍数小于等于1，输入输出同相位。



$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L}$$



$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

(3) 电路存在串联电压负反馈

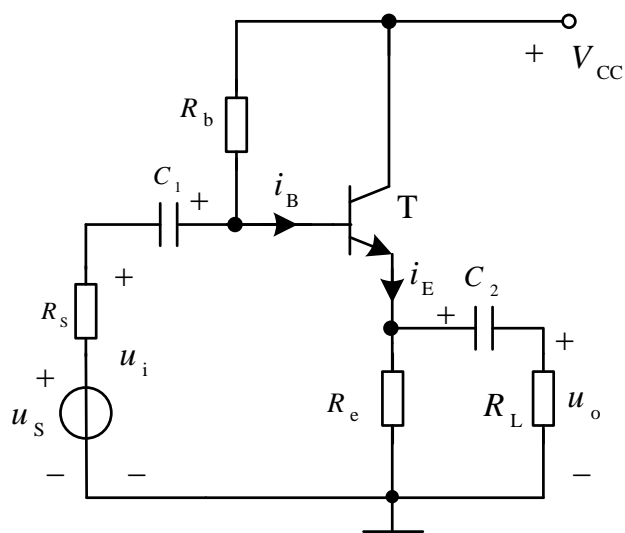
提高输入电阻，减小输出电阻，稳定输出电压。

(4) 射极输出器的应用

- a. 接在电压放大电路的首级，可以提高电压放大电路的输入电阻。
- b. 接在电压放大电路的末级，可以降低电压放大电路的输出电阻，提高电路的带负载能力。
- c. 接在电压放大电路的两级之间，可以使前级放电路的电压放大倍数不受后级电压放大电路的影响。

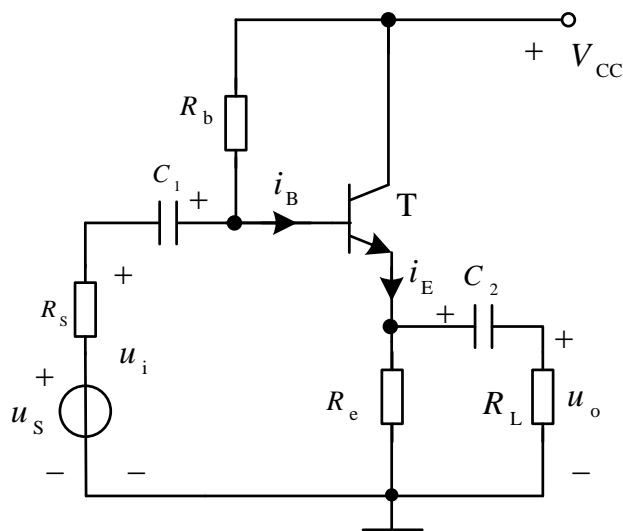
【例2.5.1】在图示电路中，已知 $V_{CC}=12\text{V}$ ， $\beta=60$ ， $R_b=200\text{k}\Omega$ ， $R_e=3\text{k}\Omega$ ， $R_L=3\text{k}\Omega$ ， $R_S=50\Omega$ ， $r_{be}=1\text{k}\Omega$ 。

求：(1) 静态值；(2) 电压放大倍数；(3) 输入电阻和输出电阻。



【解】 (1)

$$\begin{aligned} I_{BQ} &= \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_e} \\ &= \frac{12 - 0.6}{200 \times 10^3 + (1 + 60) \times 3 \times 10^3} \\ &= \frac{11.4}{383 \times 10^3} \approx 30\mu\text{A} \end{aligned}$$

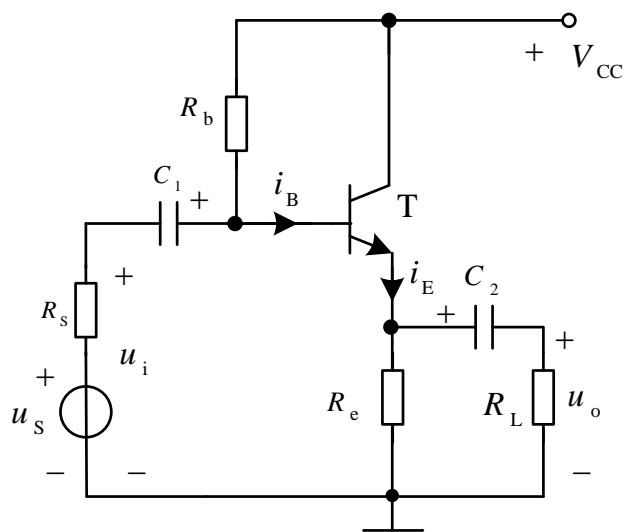


【解】 (1)

$$\begin{aligned}
 I_{BQ} &= \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_e} \\
 &= \frac{12 - 0.6}{200 \times 10^3 + (1 + 60) \times 3 \times 10^3} \\
 &= \frac{11.4}{383 \times 10^3} \approx 30 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ} = 61 \times 30 \times 10^{-6} = 1.83 \text{ mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e = 12 - 1.83 \times 3 = 6.51 \text{ V}$$



【解】 (2) 电压放大倍数

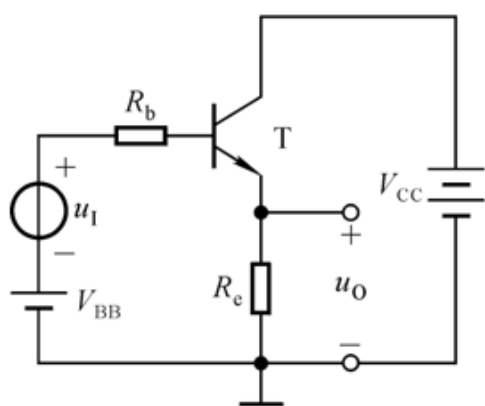
$$\begin{aligned}\dot{A}_u &= \frac{(1 + \beta)R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L} \\ &= \frac{(1 + 60) \times 1.5}{1 + (1 + 60) \times 1.5} = \frac{91.5}{92.5} = 0.989\end{aligned}$$

(3) 输入电阻和输出电阻

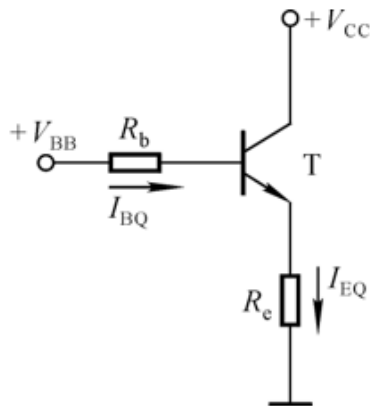
$$\begin{aligned}R_i &= R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L] = 200 // [1 + (1 + 60) \times 1.5] \\ &= 200 // 92.5\text{k}\Omega = 63.3\text{k}\Omega\end{aligned}$$

$$R_o = \frac{R'_S + r_{be}}{\beta} = \frac{50 + 1000}{60} = 17.5\Omega$$

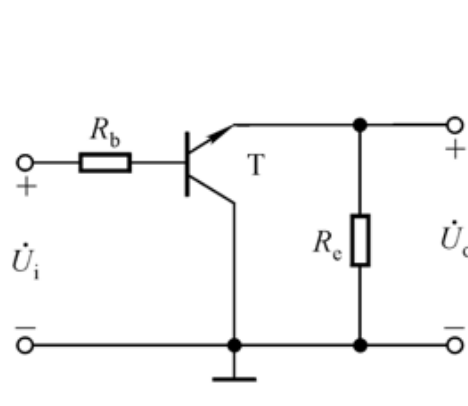
【例2.5.2】求图（a）电路的静态工作点和动态指标。



(a)



(b)



(c)

1. 静态分析

$$V_{BB} = I_{BQ}R_b + U_{BEQ} + I_{EQ}R_e$$

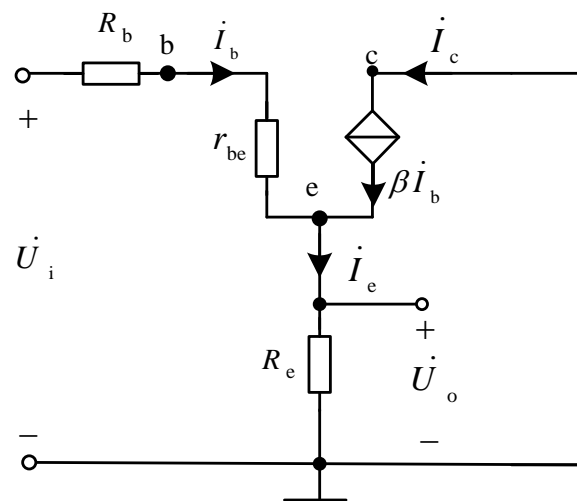
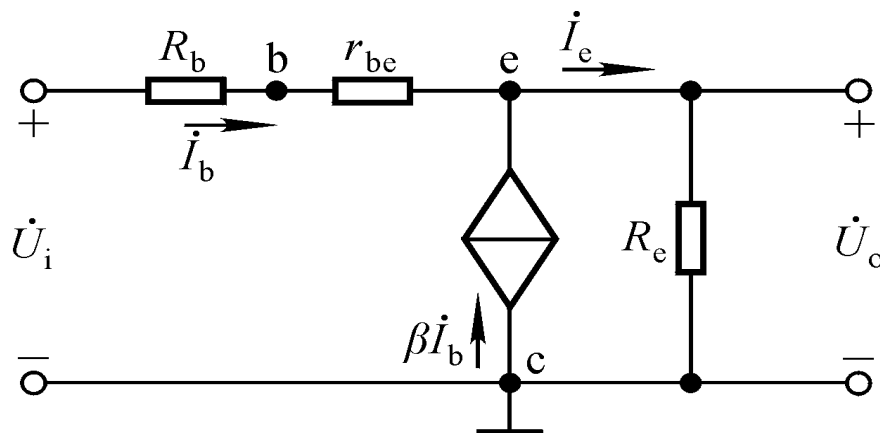
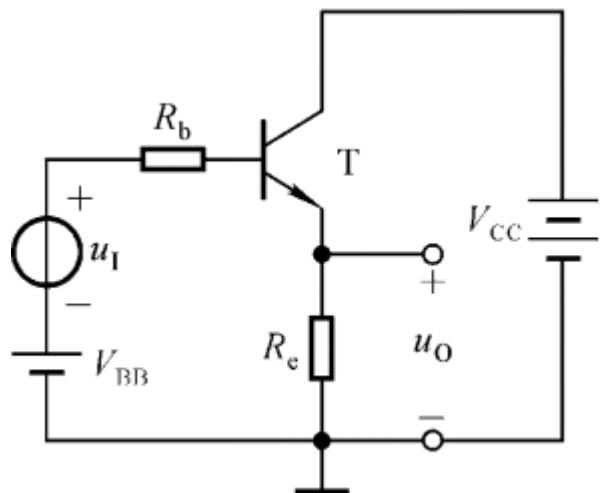
$$V_{CC} = U_{CEQ} + I_{EQ}R_e$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

$$I_{EQ} = (1 + \beta)I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e$$

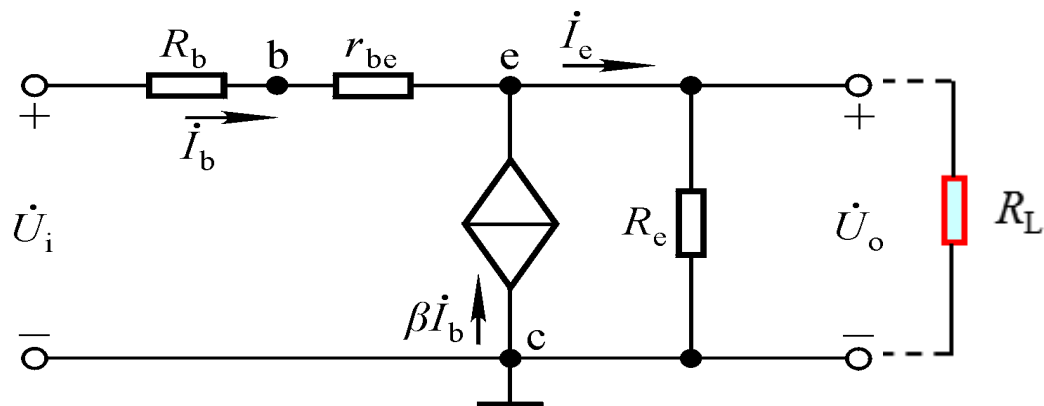
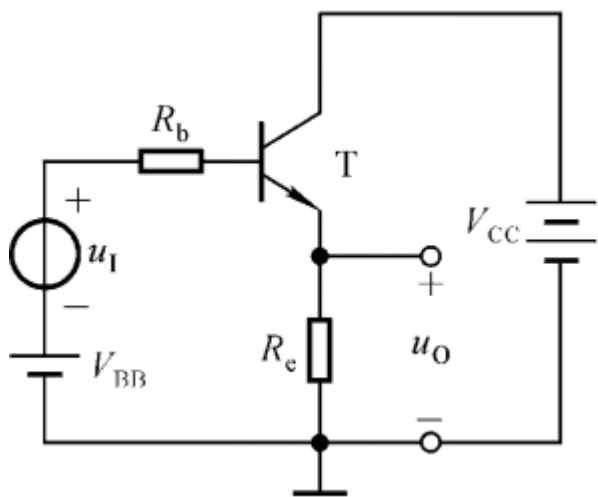
2. 动态分析：电压放大倍数



$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_e R_e}{\dot{I}_b (R_b + r_{be}) + \dot{I}_e R_e} \\ &= \frac{(1 + \beta) R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta) R_e} \end{aligned}$$

若 $(1 + \beta) R_e \gg R_b + r_{be}$, 则 $\dot{A}_u \approx 1$, 即 $U_o \approx U_i$ 。

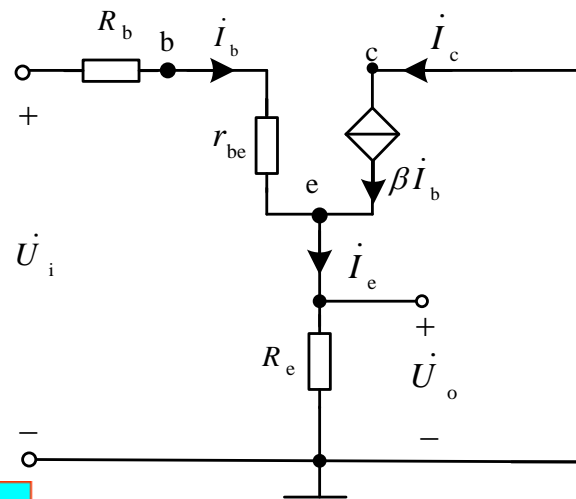
输入电阻



$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{I_b} = R_b + r_{be} + (1 + \beta)R_e$$

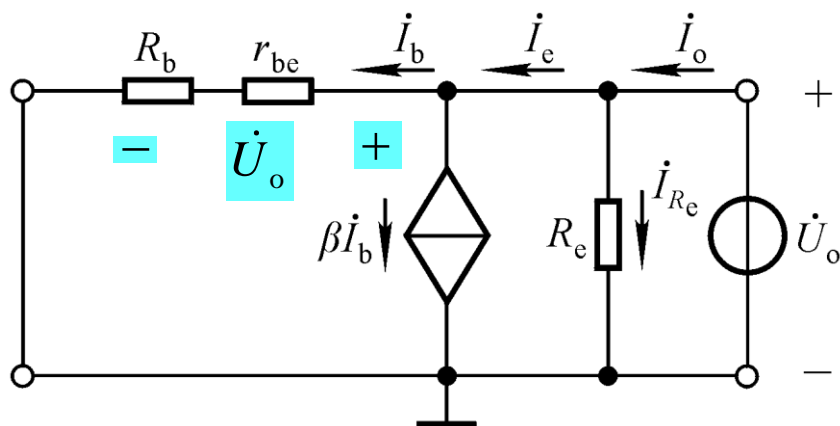
带负载电阻后

$$R_i = R_b + r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)$$

 R_i 与负载有关!

输出电阻的分析

令输入电压为零，保留内阻 R_s ，应用外加电压法求输出电阻。



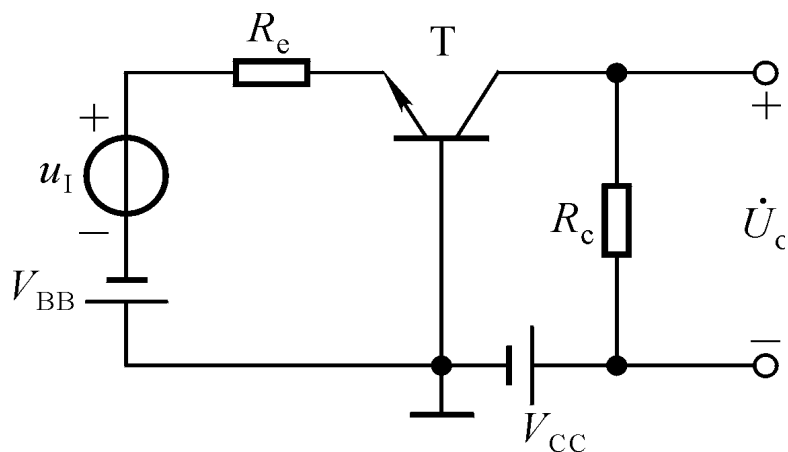
从射极看基极回路电阻，被减小到 $(1+\beta)$ 倍

$$\begin{aligned}
 R_o &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_{R_e} + \dot{I}_e} \\
 &= \frac{\dot{U}_o}{\frac{\dot{U}_o}{R_e} + (1 + \beta) \frac{\dot{U}_o}{R_b + r_{be}}} \\
 &= R_e // \frac{R_b + r_{be}}{1 + \beta}
 \end{aligned}$$

3. 特点：输入电阻大，输出电阻小；只放大电流，不放大电压；在一定条件下有电压跟随作用！

二、基本共基放大电路

1. 静态分析



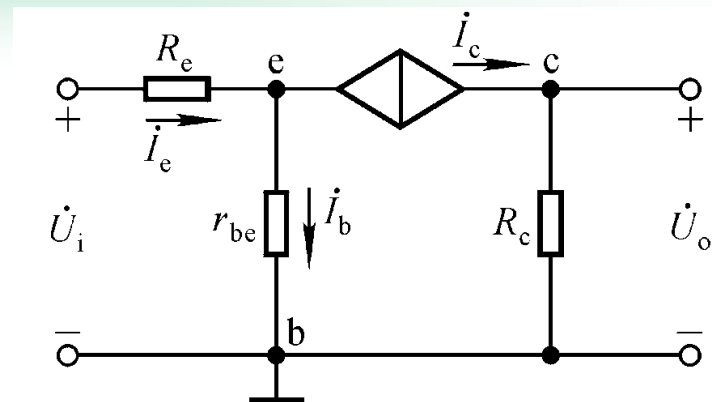
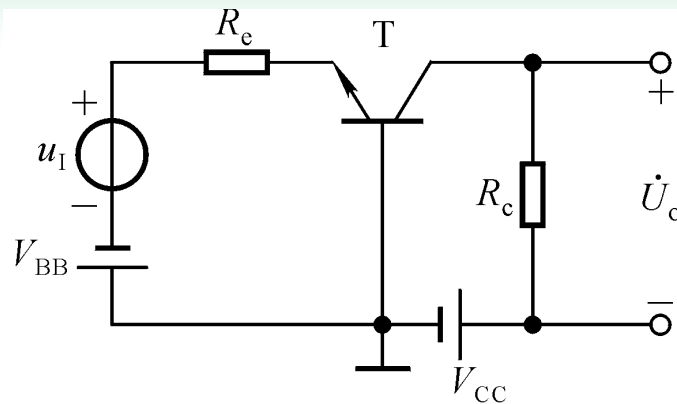
$$\begin{cases} U_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_{BB} \\ I_{CQ}R_c + U_{CEQ} - U_{BEQ} = V_{CC} \end{cases}$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_e}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c + U_{BEQ}$$

2. 动态分析



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_c R_c}{\dot{I}_e R_e + \dot{I}_b r_{be}} = \frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_e} = \frac{\dot{I}_e R_e + \dot{I}_b r_{be}}{\dot{I}_e} = \frac{\dot{I}_e R_e + \dot{I}_e \frac{r_{be}}{1 + \beta}}{\dot{I}_e}$$

$$= R_e + \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

诺顿定理

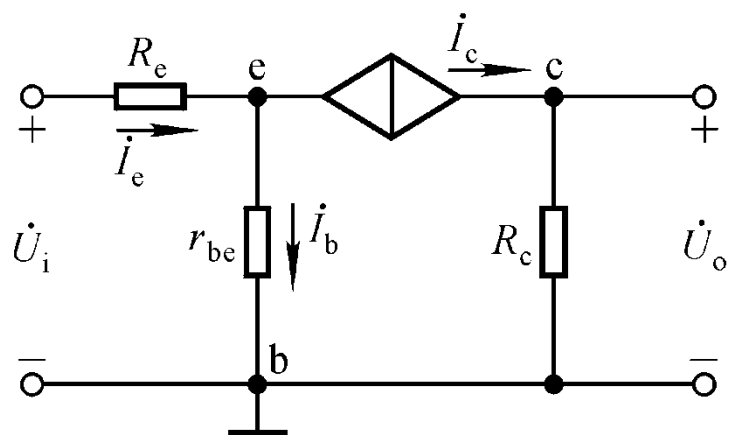
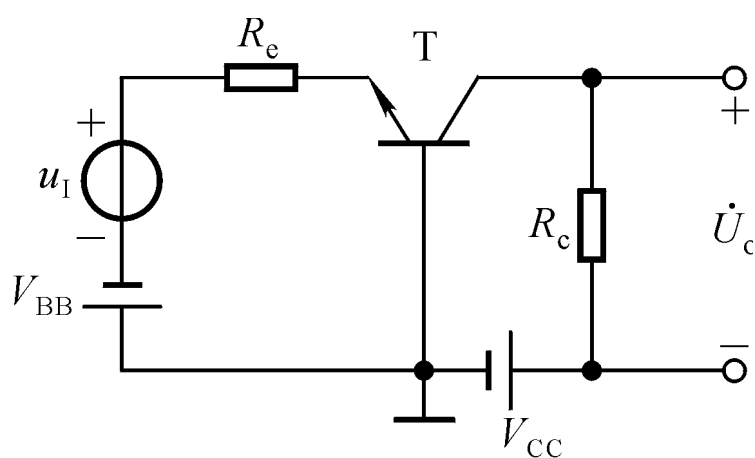
$$R_o = R_c$$

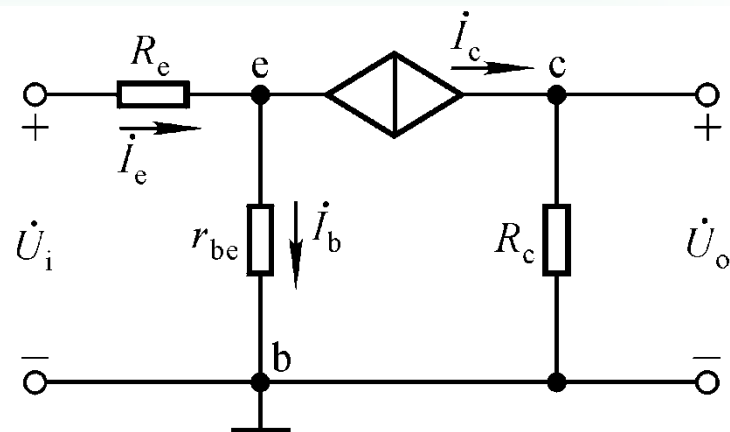
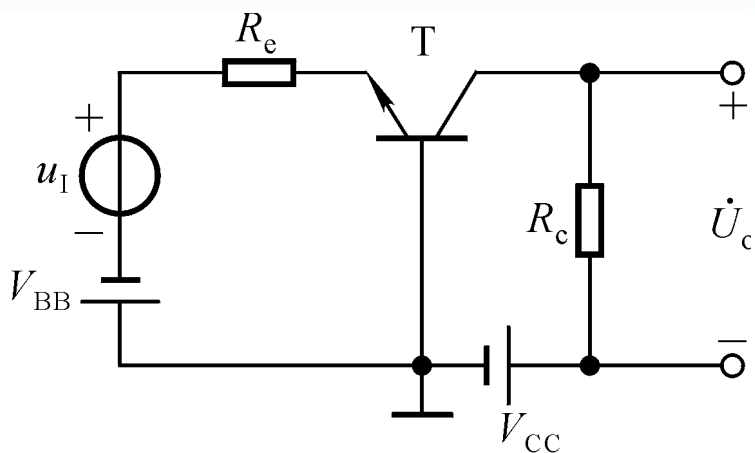
3. 特点:

输入电阻小，只放大电压，不放大电流！

【例2.5.3】在图示电路中， $\beta = 60$ ， $R_e = 300\Omega$ ， $R_c = 5k\Omega$ ， $r_{be} = 1k\Omega$ ；静态工作点合适。

求：(1) 电压放大倍数； (2) 输入电阻和输出电阻。





$$\dot{A}_u = \frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} = \frac{100 \times 5}{1 + 101 \times 0.3} \approx 16$$

$$R_i = R_e + \frac{r_{be}}{1 + \beta} = (300 + \frac{10^3}{101}) \approx 310\Omega$$

$$R_o = R_c = 5k\Omega$$

三、三种接法的比较：空载情况下

接法	共射	共集	共基
A_u	大	小于1	大
A_i	β	$1+\beta$	α
R_i	中	大	小
R_o	大	小	大
频带	窄	中	宽

2.6 场效应管及其放大电路

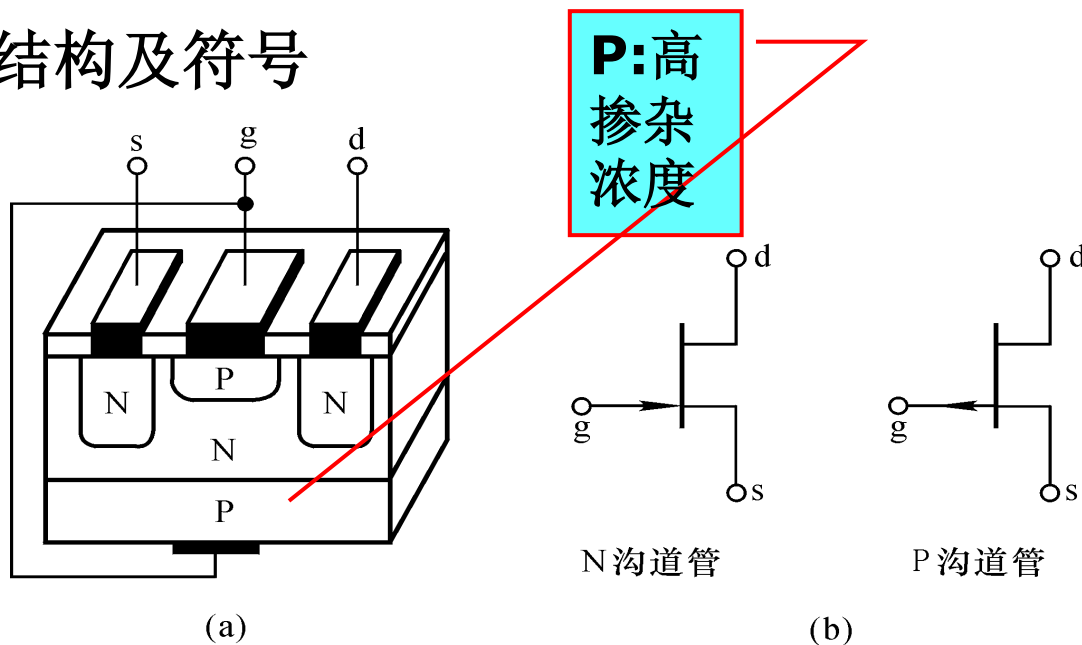
2.6.1 场效应管的工作原理

单极型管:噪声小、抗辐射能力强、低电压工作。

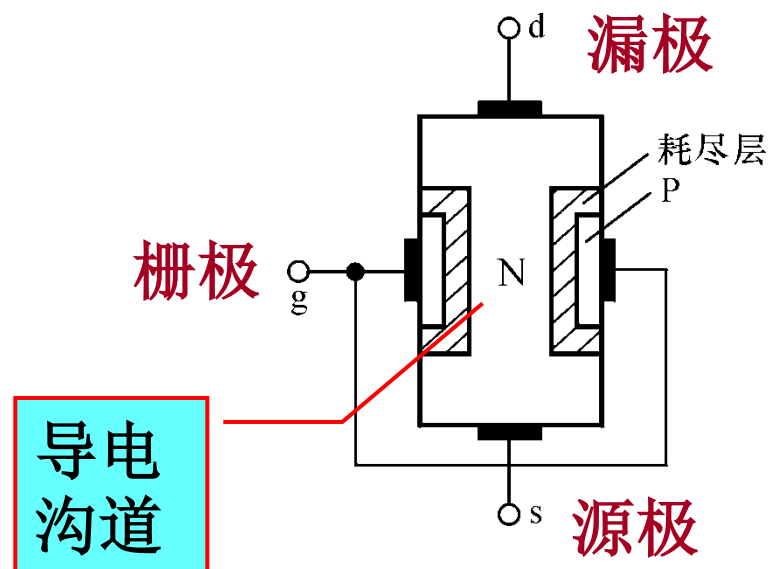
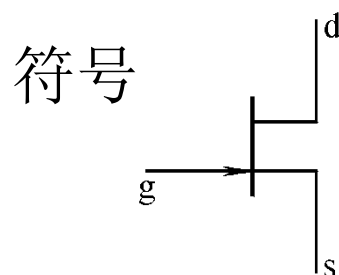
场效应管有三个电极,栅极(g)、漏极(d)、源极(s),对应于晶体管的b、c、e;有三个工作区域:截止区、恒流区、可变电阻区,对应于晶体管的截止区、放大区、饱和区。

一、结型场效应管

1. 结构及符号

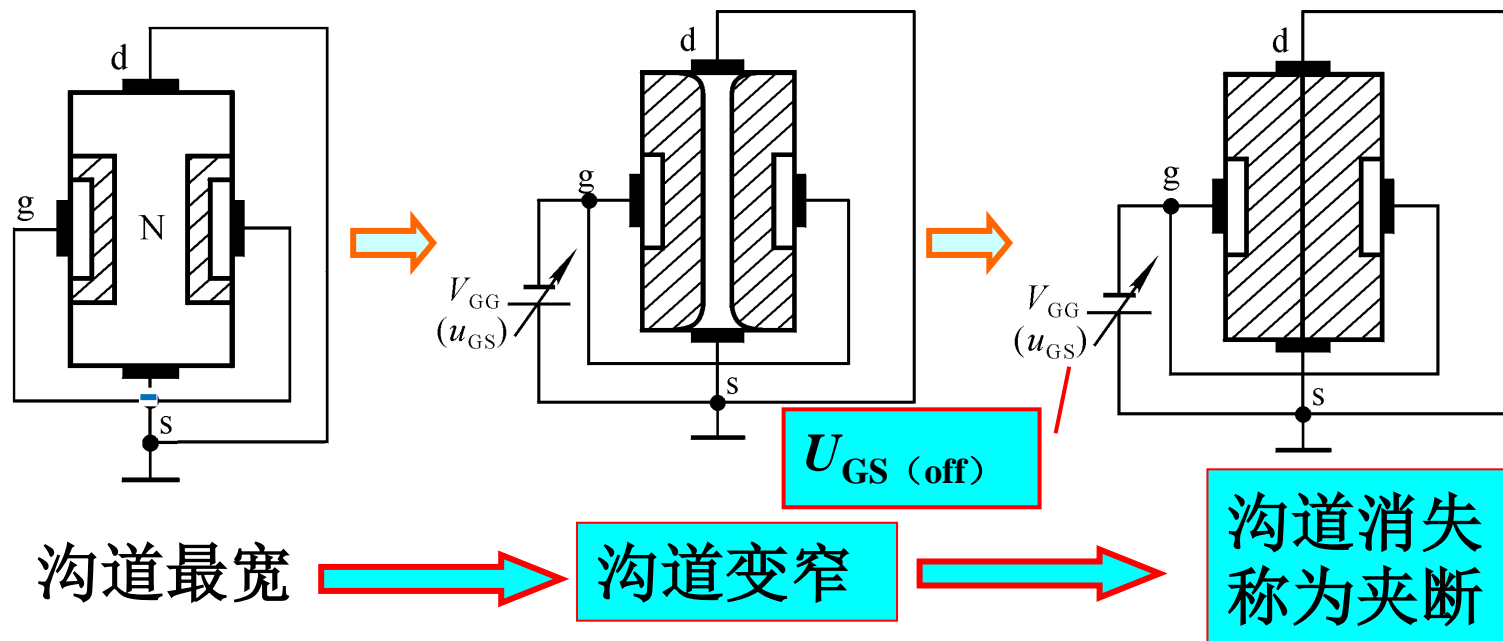


结构示意图



2. 栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用

当 $u_{DS}=0$ 时



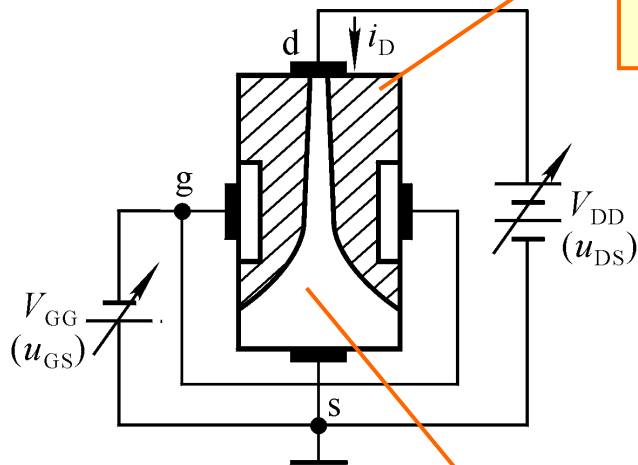
u_{GS} 可以控制导电沟道的宽度。为什么g-s必须加负电压？

3. 漏-源电压对漏极电流的影响

$u_{GS(\text{off})} < u_{GS} < 0$, 且 $u_{DS} > 0$ 的情况

当 $u_{DS} = 0$ 时, $i_D = 0$ 。

$u_{GD} > U_{GS(\text{off})}$



当 $u_{DS} > 0$ 时, 靠近漏极的导电沟道变窄, 为什么?

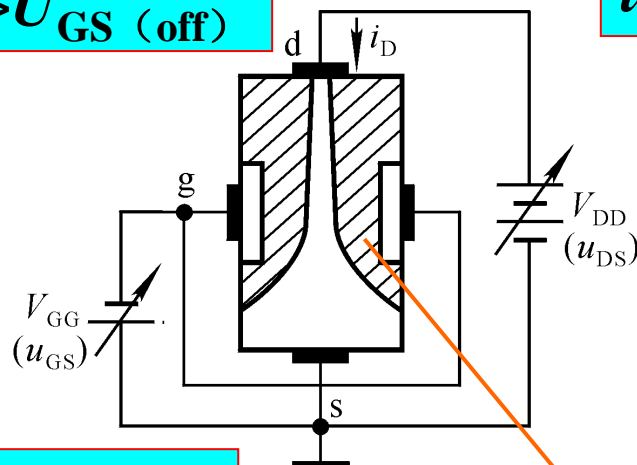
$$u_{GD} = u_{GS} - u_{DS}$$

当 u_{DS} 增加时, u_{GD} 减小, 靠近漏极的PN加宽, 所以, 靠近漏极的导电沟道必然变窄。

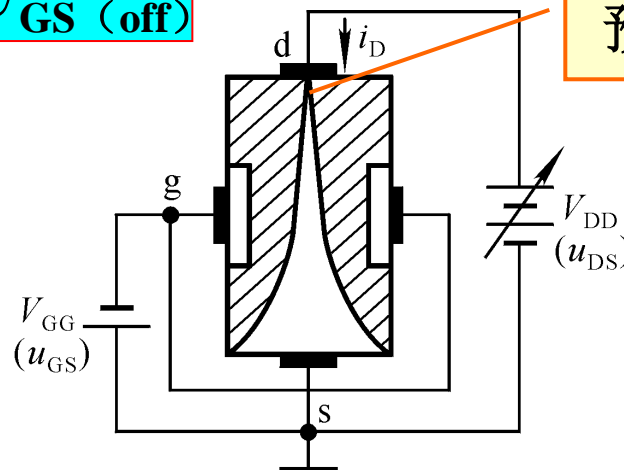
$u_{GS} > U_{GS(\text{off})}$ 且不变, V_{DD} 增大, i_D 增大。

$$u_{GD} = u_{GS}$$

$$u_{DS} > u_{GD} > U_{GS}(\text{off})$$

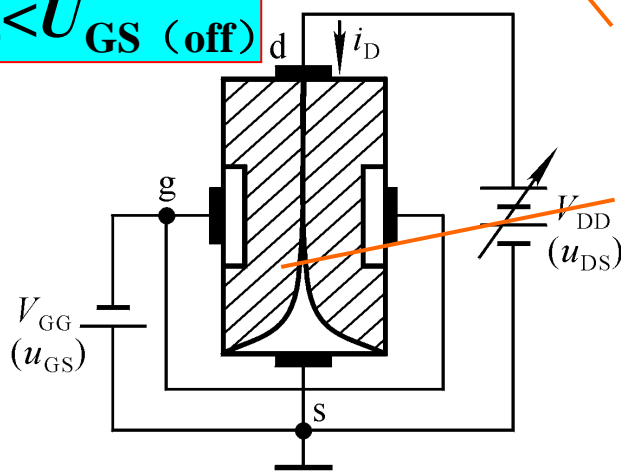


$$u_{GD} = U_{GS}(\text{off})$$



预夹断

$$u_{GD} < U_{GS}(\text{off})$$

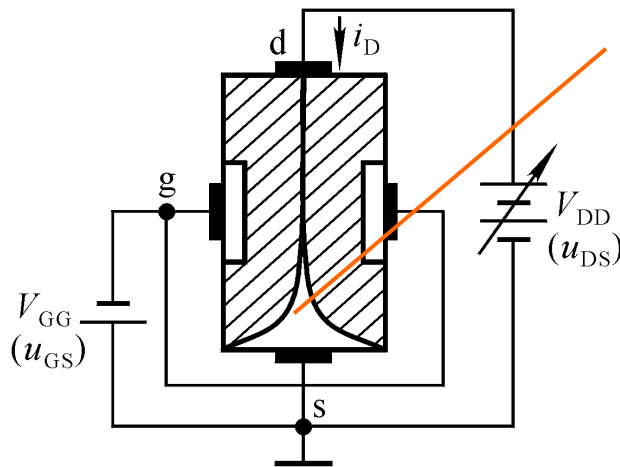


$u_{GS} > U_{GS}(\text{off})$ 且不变, V_{DD} 增大, i_D 增大。

V_{DS} 的增大使沟道电阻增大, i_D 减小, 另一方面, V_{DS} 的增大使 d-s 之间的电场加强, 又使 i_D 加大, 则两者的变化使 i_D 的变化量抵消。所以, V_{DS} 的增大几乎全部用来克服沟道的电阻对 i_D 的影响, 保持 i_D 几乎不变, 管子进入恒流区, i_D 几乎仅仅决定于 u_{GS} 。

$$u_{GD} < U_{GS}(\text{off})$$

栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用



V_{DS} 的增大使沟道电阻增大, i_D 减小, 另一方面, V_{DS} 的增大使d-s之间的电场加强, 又使 i_D 加大, 则两者的变化使 i_D 的变化量抵消。所以, V_{DS} 的增大几乎全部用来克服沟道的电阻对 i_D 的影响, 保持 i_D 几乎不变, 管子进入恒流区, i_D 几乎仅仅决定于 u_{GS} 。

管子工作在恒流区（放大区）时, i_D 几乎由 u_{GS} 决定。

低频跨导:

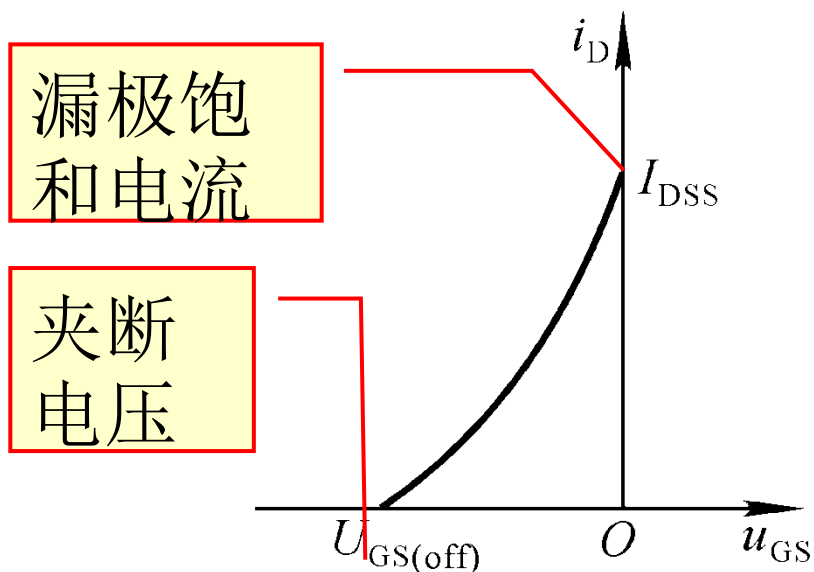
$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{常量}}$$

场效应管相当是一个电压控制的电流源。

4. 转移特性

$$i_D = f(u_{GS}) \Big|_{U_{DS}=\text{常量}}$$

场效应管工作在恒流区，因而 $u_{GS} > U_{GS(\text{off})}$ 且 $u_{GD} < U_{GS(\text{off})}$ 。



$$u_{GS(\text{off})} < u_{GS} < 0$$

在恒流区时

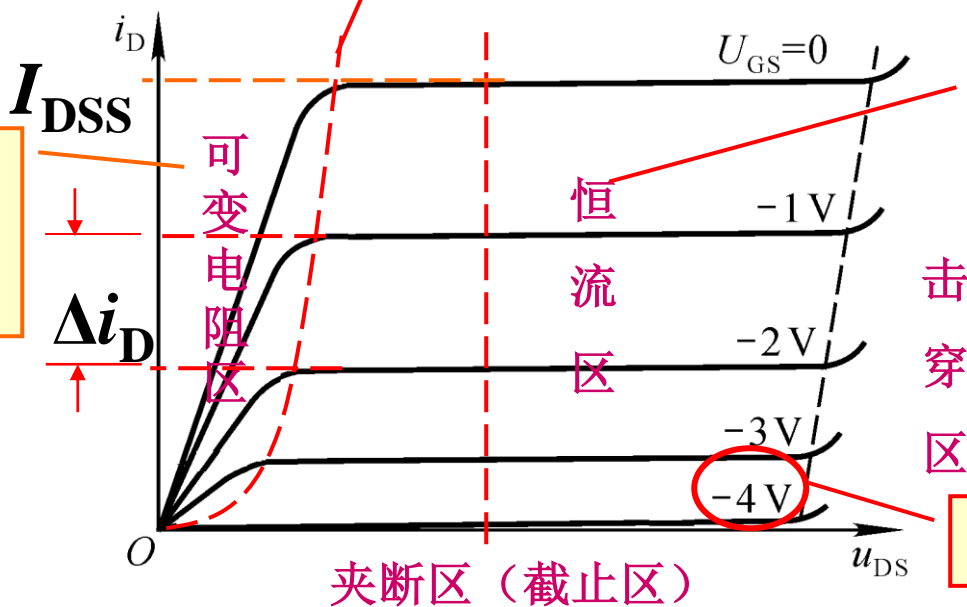
$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(\text{off})}}\right)^2$$

5. 输出特性

$$i_D = f(u_{DS}) \Big|_{U_{GS}=\text{常量}}$$

预夹断轨迹, $u_{GD} = U_{GS(\text{off})}$

g-s电压控制d-s的等效电阻



i_D 几乎仅决定于 u_{GS}

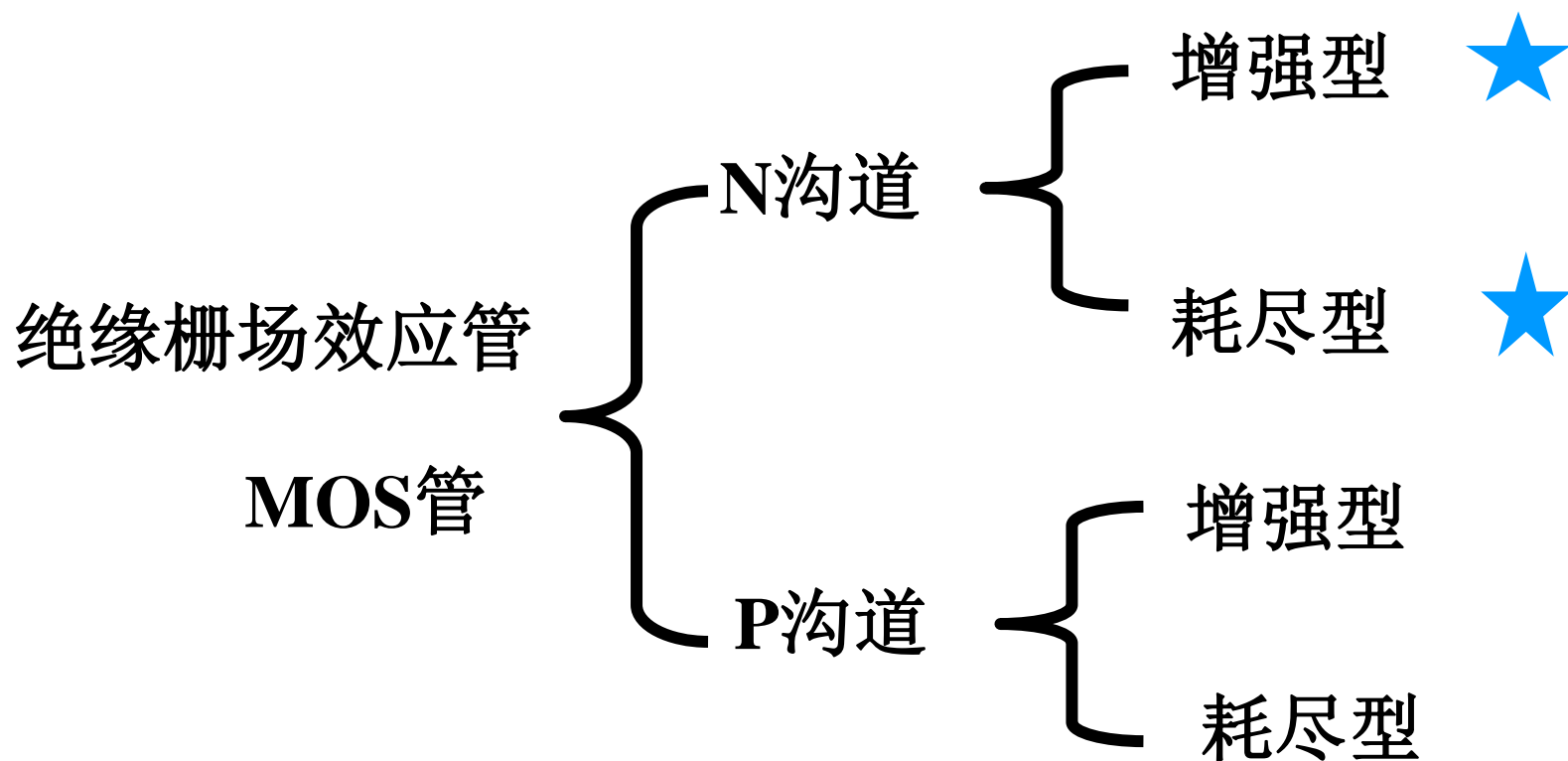
夹断电压

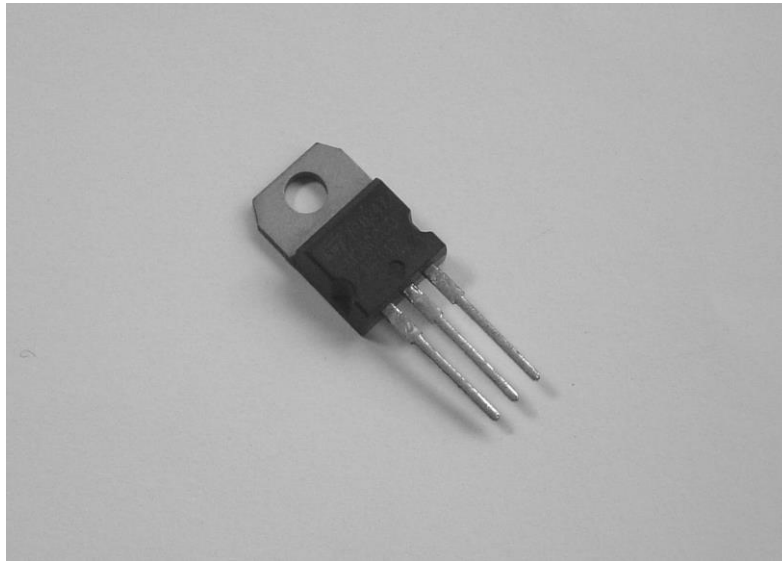
低频跨导:

$$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \Big|_{U_{DS}=\text{常量}}$$

不同型号的管子 $U_{GS(\text{off})}$ 、 I_{DSS} 将不同。

二、绝缘栅型场效应管



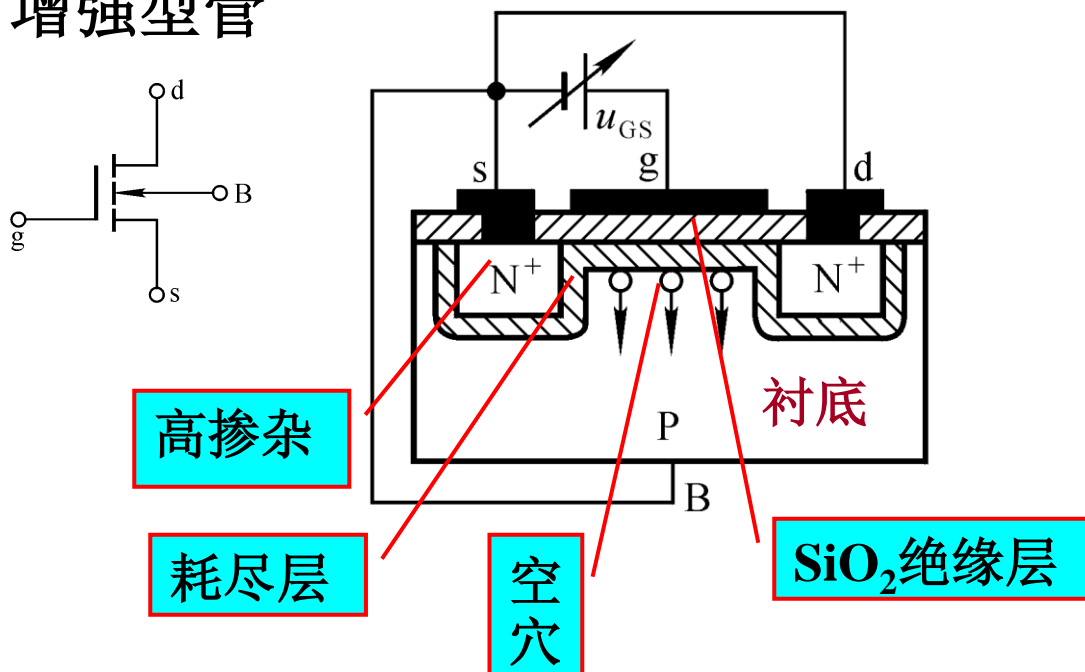


场效应管

1. 工作原理:

(1) 由于 SiO_2 绝缘层的存在, 栅极电流为零。

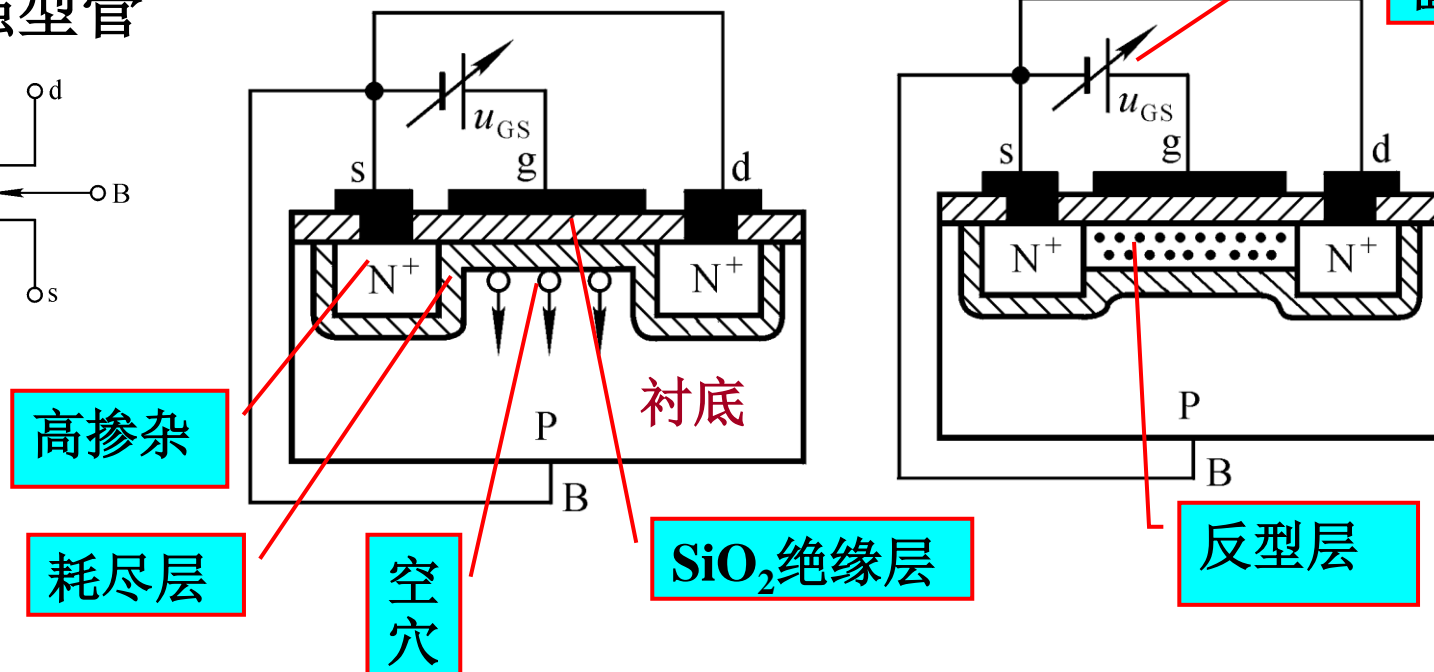
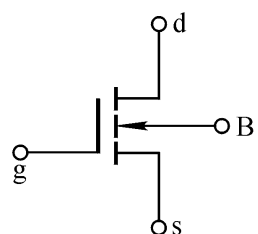
增强型管



(2) 由于 $u_{GS} > 0$, 在栅源之间的电场作用下, 使 P 型衬底中, 靠近 SiO_2 绝缘层一侧的空穴向下移动, 剩下负离子区, 形成耗尽层。

(3) 当 u_{GS} 增大时，耗尽层加宽，并且将P型衬底中的自由电子吸引到耗尽层形成一个N型薄层，称为反型层。

增强型管



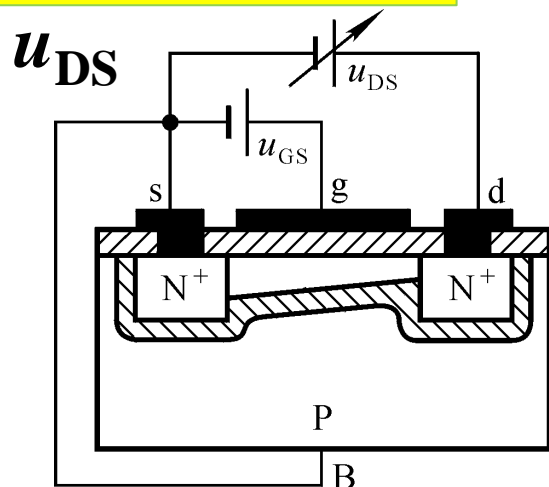
当 u_{GS} 继续增大时，反型层将变厚变长。当反型层将两个N区相接时，就形成了导电沟道。

(4) 增强型MOS管 u_{DS} 对 i_D

u_{DS} 的增大几乎全部用来克服夹断区的电阻

夹断区变长

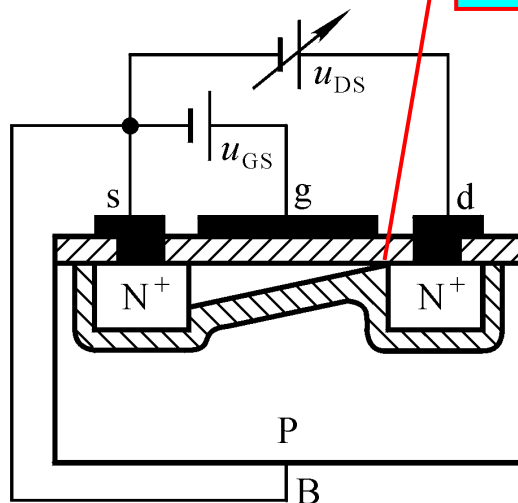
$$u_{GD} = u_{GS} - u_{DS}$$



i_D 随 u_{DS} 的增大而增大，可变电阻区。

$$u_{GD} > U_{GS(th)}$$

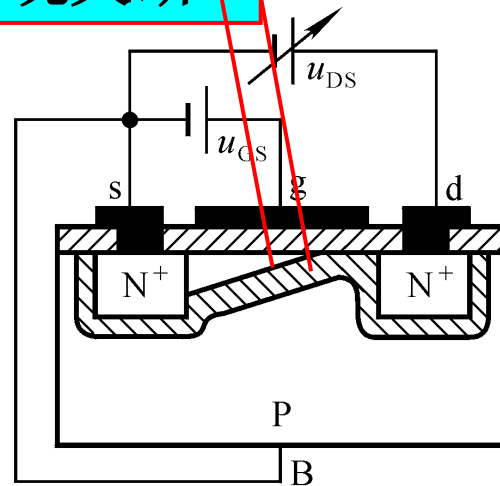
$$u_{DS} < u_{GS} - U_{GS(th)}$$



$u_{GD} = U_{GS(th)}$ ，预夹断

$$u_{DS} = u_{GS} - U_{GS(th)}$$

刚出现夹断



i_D 几乎仅仅受控于 u_{GS} ，恒流区

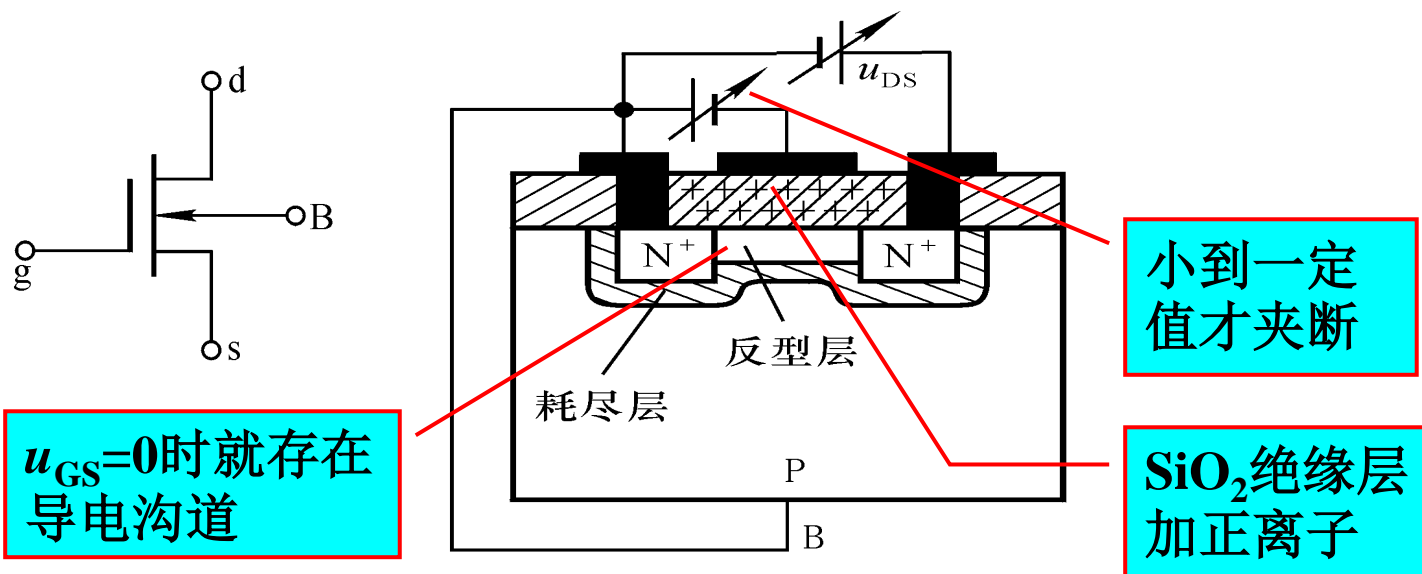
$$u_{GD} < U_{GS(th)}$$

$$u_{DS} > u_{GS} - U_{GS(th)}$$

用场效应管组成放大电路时应使之工作在恒流区。

N沟道增强型MOS管工作在恒流区的条件是什么？

耗尽型 MOS管



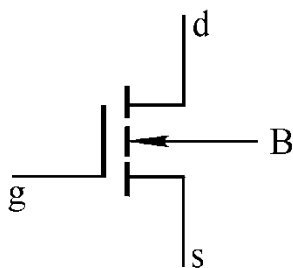
耗尽型MOS管在 $u_{GS} > 0$ 、 $u_{GS} < 0$ 、 $u_{GS} = 0$ 时均可导通，且与结型场效应管不同，由于SiO₂绝缘层的存在，在 $u_{GS} > 0$ 时仍保持g-s间电阻非常大的特点。

2. MOS管的特性

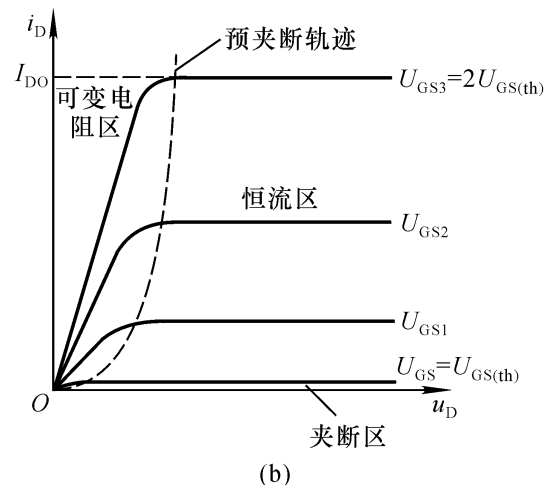
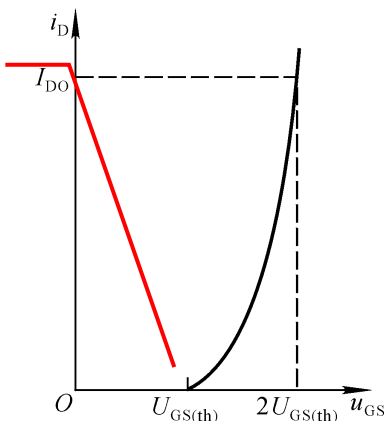
(1) 增强型MOS管

在恒流区时, $i_D = I_{DO} \left(\frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$

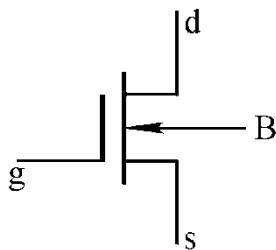
式中 I_{DO} 为 $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的 i_D



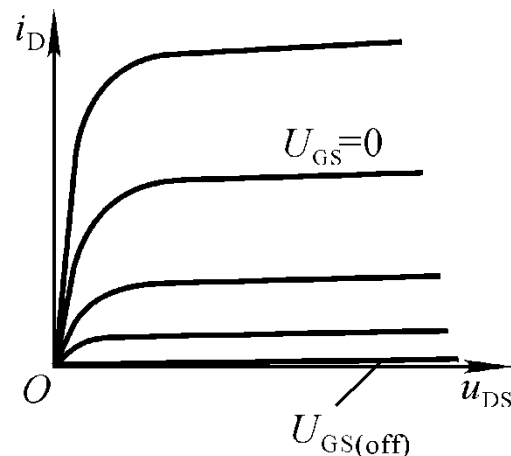
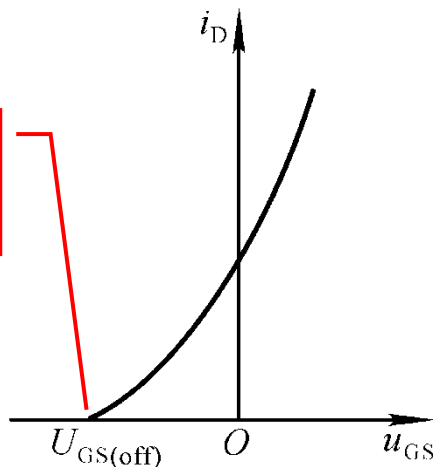
开启
电压



(2) 耗尽型MOS管

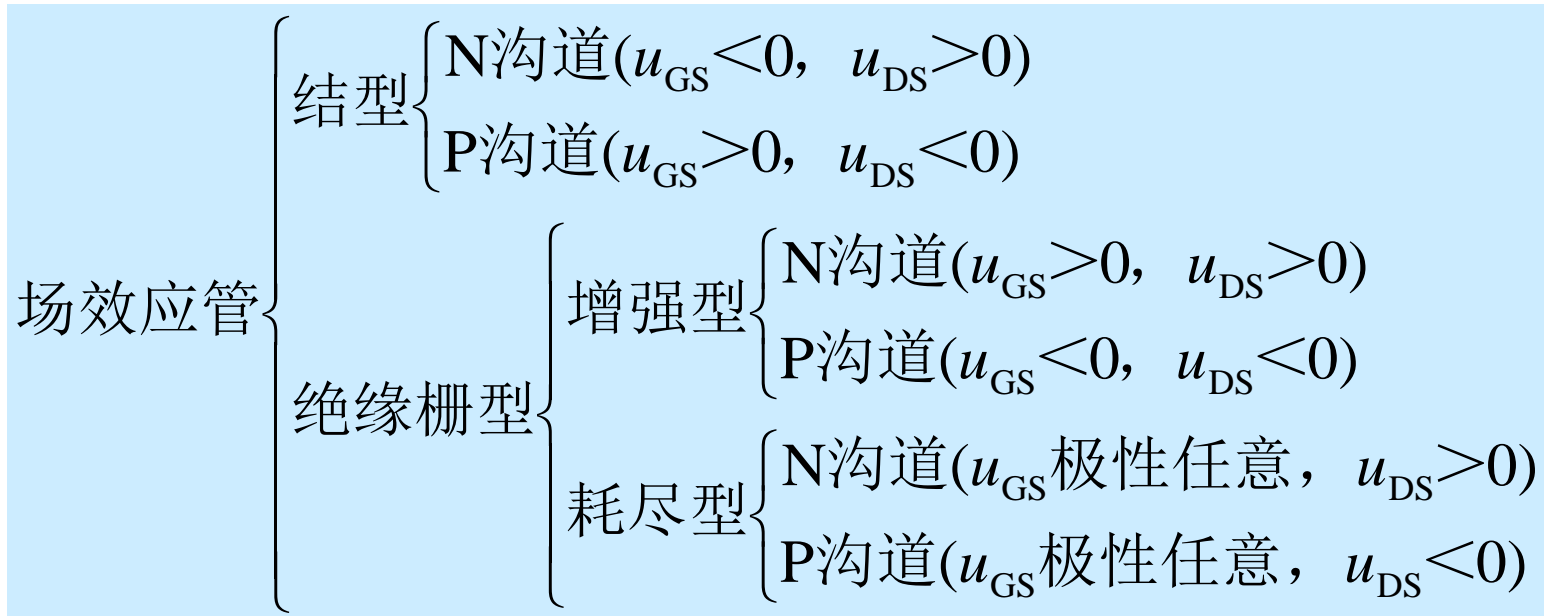


夹断
电压



3. 场效应管的分类

工作在恒流区时g-s、d-s间的电压极性



$u_{GS}=0$ 可工作在恒流区的场效应管有哪几种？

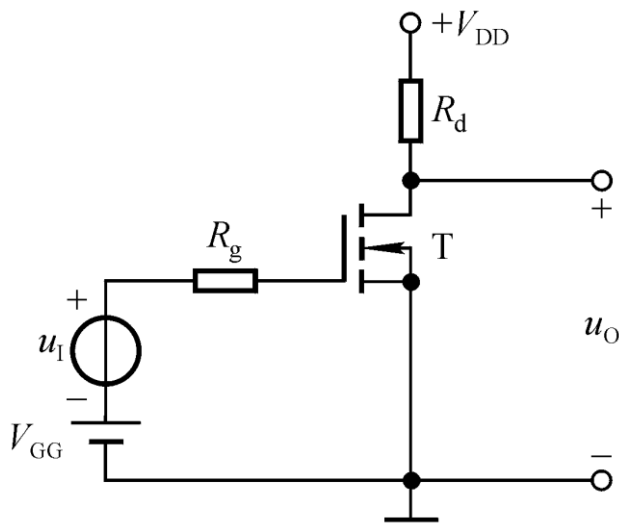
$u_{GS}>0$ 才可能工作在恒流区的场效应管有哪几种？

$u_{GS}<0$ 才可能工作在恒流区的场效应管有哪几种？

2.6.2 场效应管电压放大电路的静态分析方法

1. 基本共源放大电路

根据场效应管工作在恒流区的条件，在g-s、d-s间加极性合适的电源



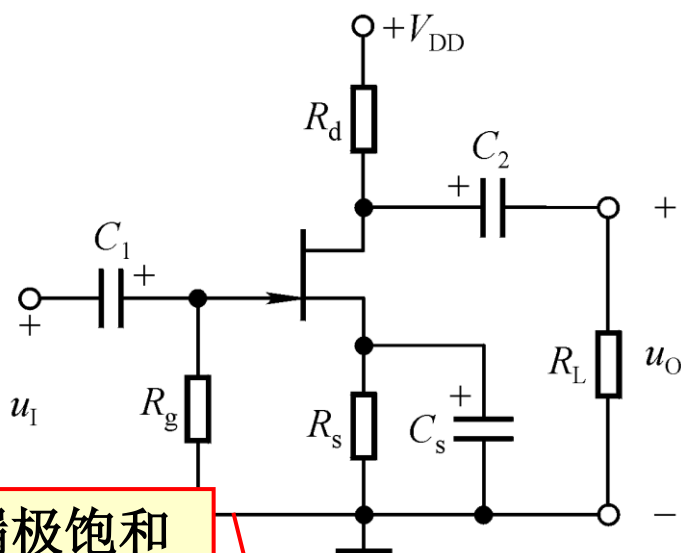
$$U_{GSQ} = V_{GG}$$

$$I_{DQ} = I_{DO} \left(\frac{V_{GG}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_d$$

也可以用图解法

2. 自给偏压电路



漏极饱和
电流

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}}\right)^2$$

$$U_{GQ} = 0, \quad U_{SQ} = I_{DQ} R_s$$

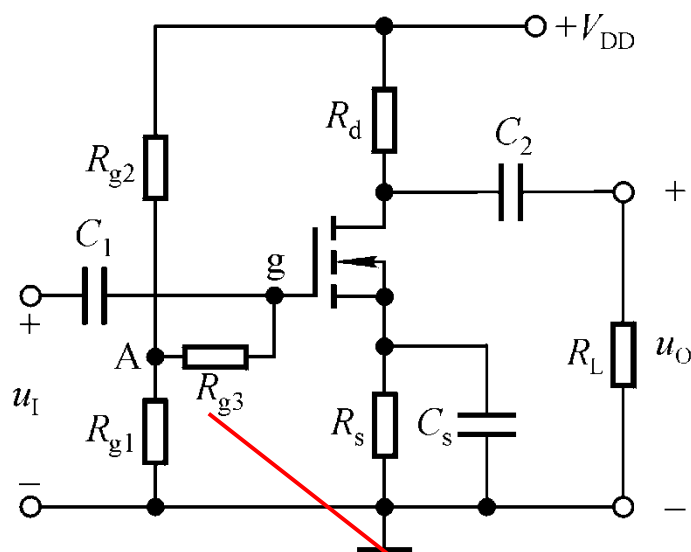
$$U_{GSQ} = U_{GQ} - U_{SQ} = -I_{DQ} R_s$$

由正电源获得负偏压
称为自给偏压

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$$

3. 分压式偏置电路

即典型的 Q 点稳定电路



$$U_{GQ} = U_{AQ} = \frac{R_{g1}}{R_{g1} + R_{g2}} \cdot V_{DD}$$

$$U_{SQ} = I_{DQ} R_s$$

$$I_{DQ} = I_{DO} \left(\frac{U_{GSQ}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$

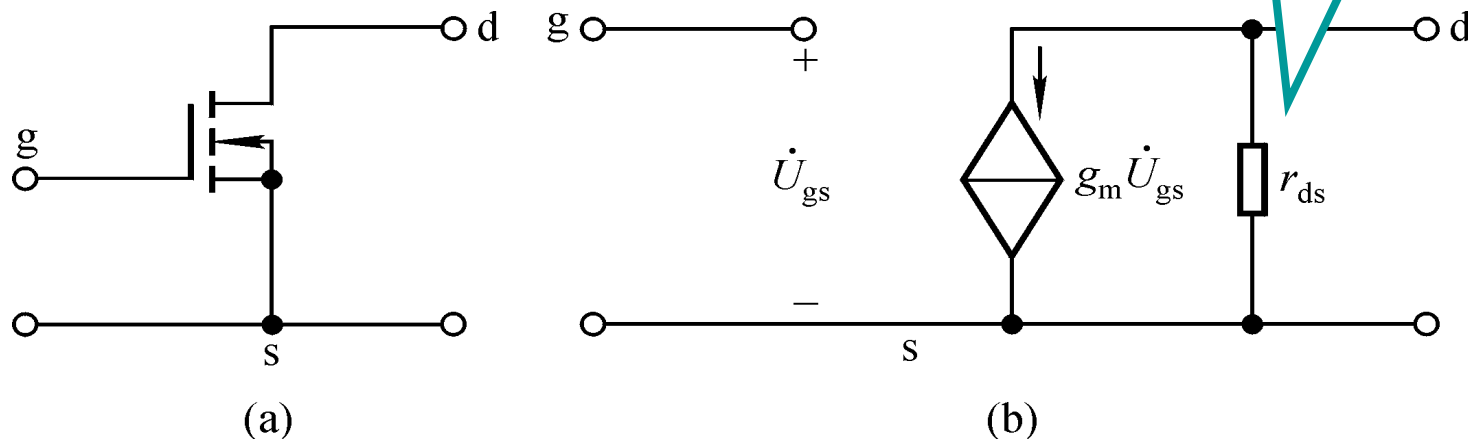
$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$$

为什么加 R_{g3} ?其数值应大些小些?

2.6.3 场效应管电压放大电路的动态分析

1. 场效应管的交流等效模型

与晶体管的 h 参数等效模型相比：

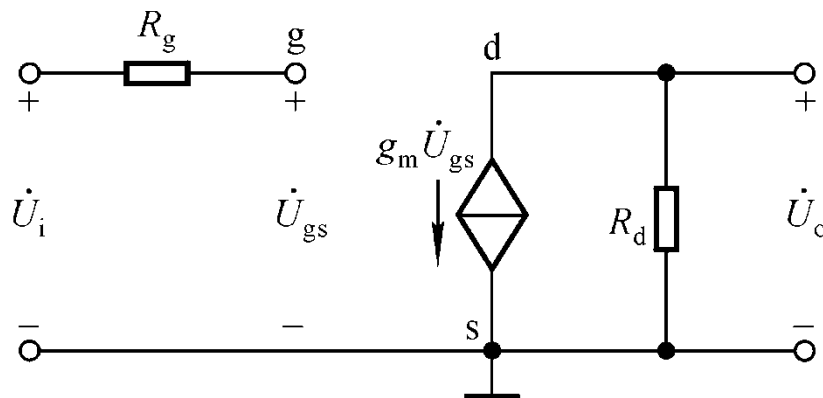
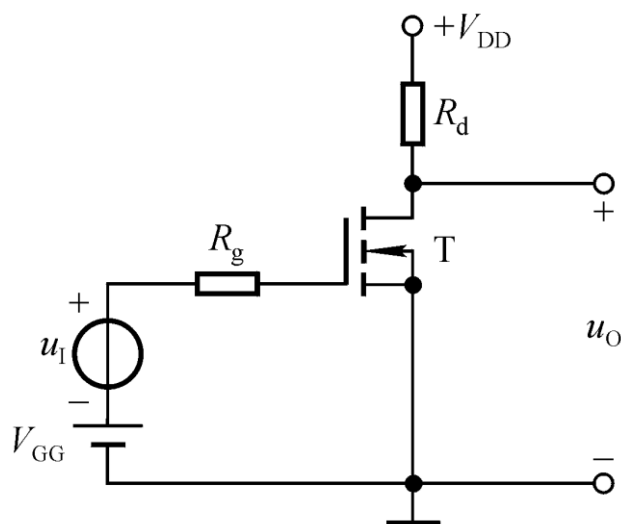


根据 i_D 的表达式或转移特性可求得 g_m 。

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}}$$

$$g_m \approx \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$$

2. 基本共源放大电路的动态分析



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_d R_d}{\dot{U}_{gs}} = -g_m R_d$$

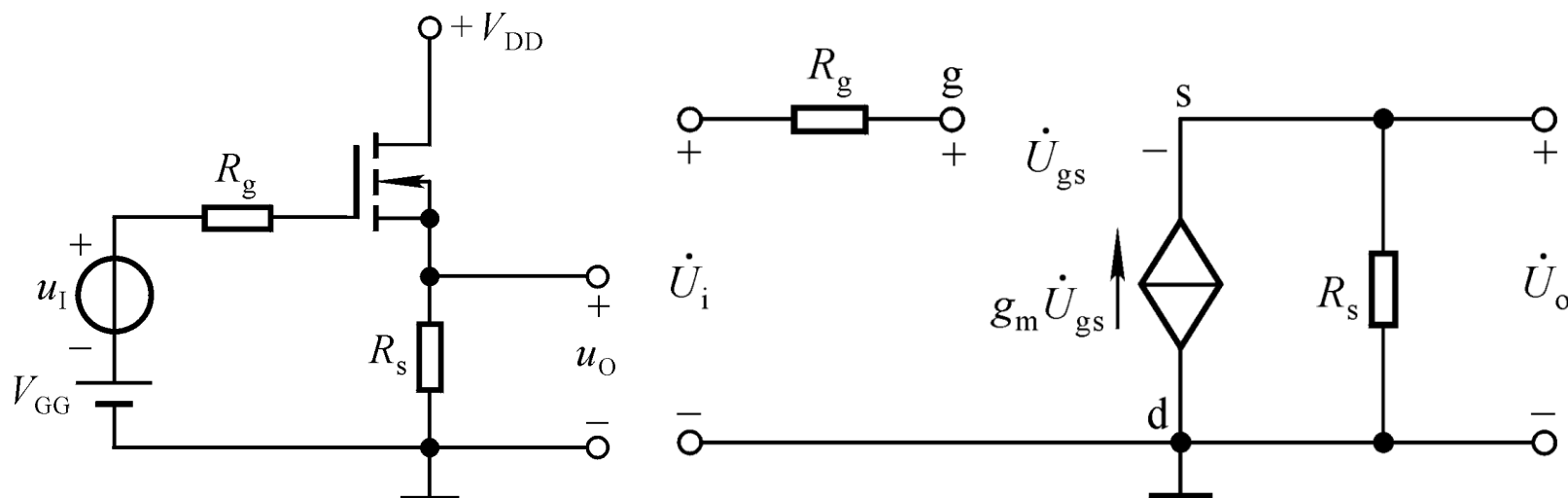
$$R_i = \infty$$

$$R_o = R_d$$

若 $R_d=3\text{k}\Omega$, $R_g=5\text{k}\Omega$,
 $g_m=2\text{mS}$, 则 $\dot{A}_u = -6$

与共射电路比较。

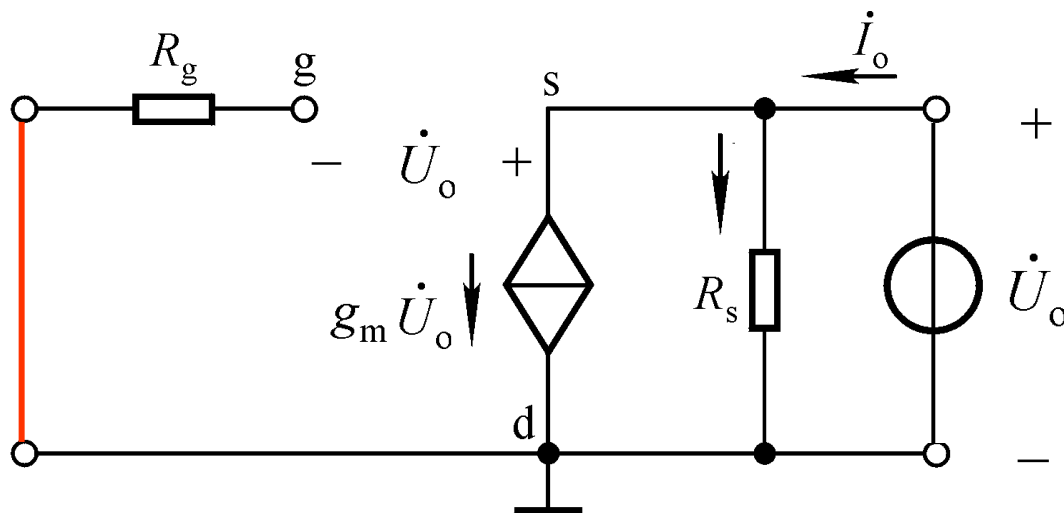
3. 基本共漏放大电路的动态分析



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_d R_s}{\dot{U}_{gs} + \dot{I}_d R_s} = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s}$$
$$R_i = \infty$$

若 $R_s = 3\text{k}\Omega$, $g_m = 2\text{mS}$, 则 $\dot{A}_u = ?$

输出电阻:



$$R_o = \frac{U_o}{I_o} = \frac{U_o}{\frac{U_o}{R_s} + g_m U_o} = R_s // \frac{1}{g_m}$$

若 $R_s = 3\text{k}\Omega$, $g_m = 2\text{mS}$,
则 $R_o = ?$

$$R_o = 428\Omega$$

2.7 派生电路

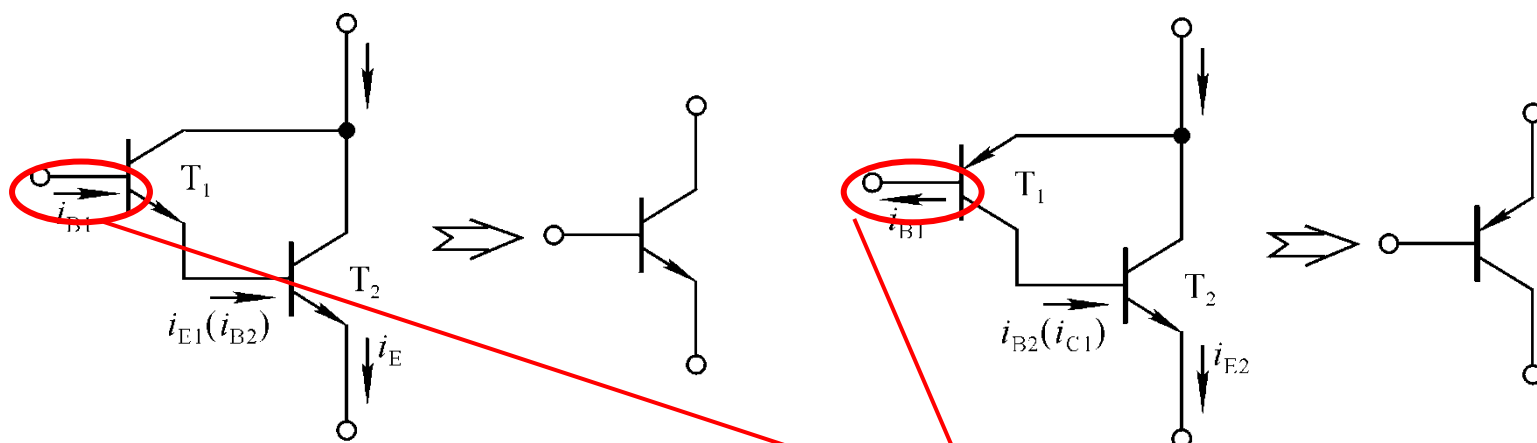
2.7.1 复合管及放大电路

2.7.2 派生电路举例

2.7.1 复合管及放大电路

1. 复合管：多只管子合理连接等效成一只管子。

目的：增大 β ，减小前级驱动电流，改变管子的类型。



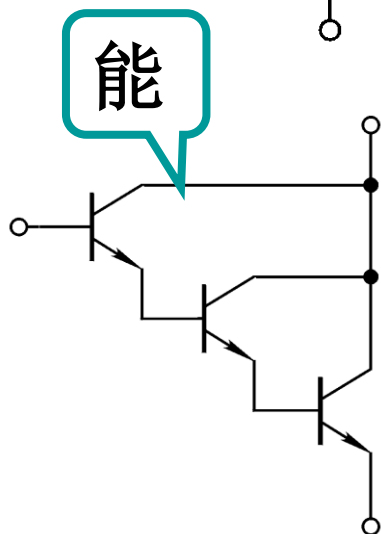
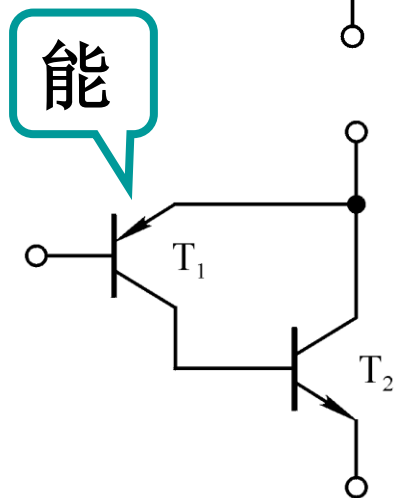
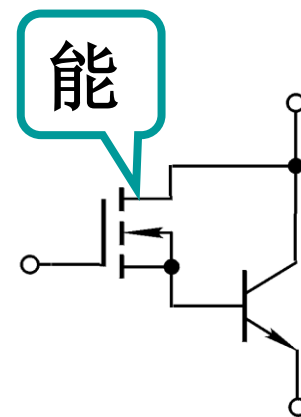
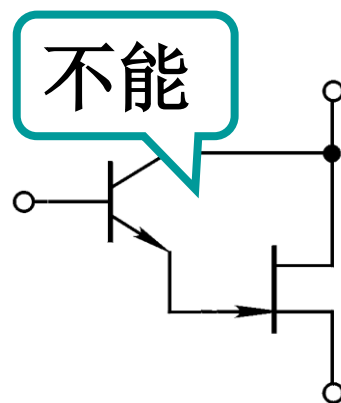
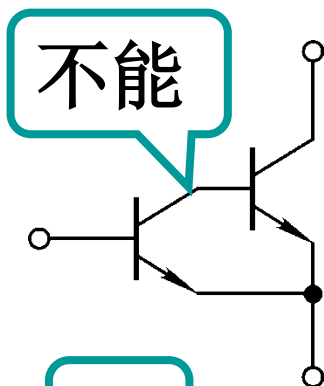
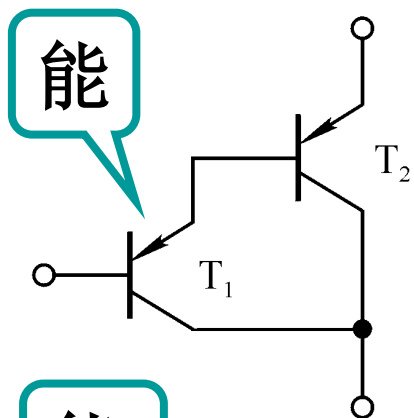
$$\begin{aligned} i_C &= i_{C1} + i_{C2} = \beta_1 i_{B1} + \beta_2 (1 + \beta_1) i_{B1} \\ &= i_{B1} (\beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2) \end{aligned}$$

$$\beta \approx \beta_1 \beta_2$$

i_B 方向决定复合管的类型

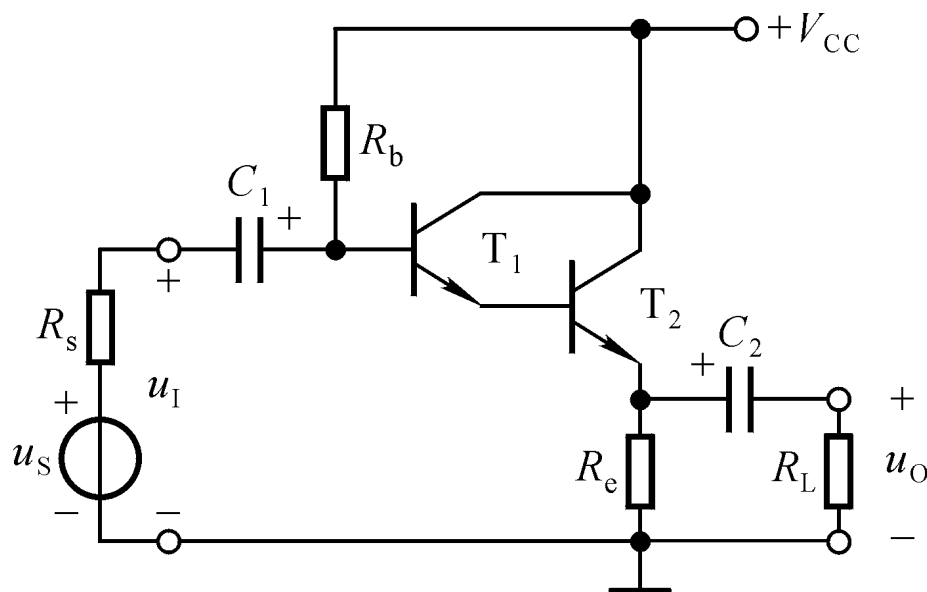
不同类型的管子复合后，其类型决定于 T_1 管。

【例2.7.1】判断下列各图是否能组成复合管。



在合适的外加电压下，每只管子的电流都有合适的通路，才能组成复合管。

2. 复合管放大电路



集成复合管，即达林顿管，这种晶体管的放大倍数高、特征频率高、体积小、功率大，便于安装散热片。

$$R_i = R_b // \{r_{be1} + (1 + \beta_1)[r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_e // R_L)]\}$$

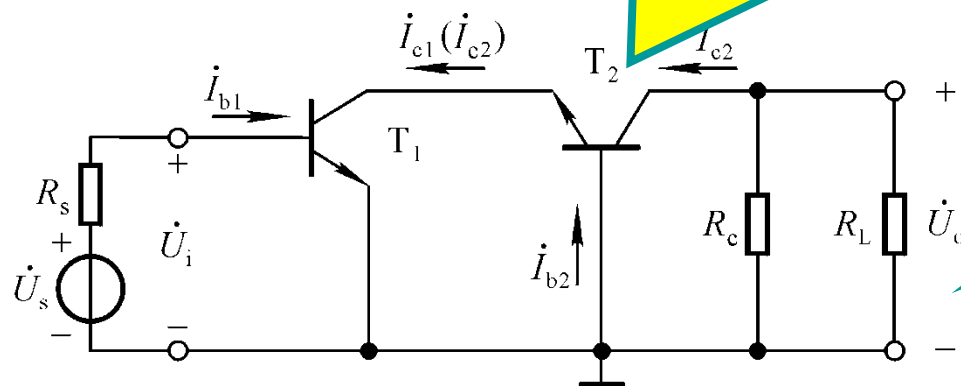
$$R_o = R_e // \frac{r_{be2} + \frac{r_{be1} + R_b // R_s}{1 + \beta_1}}{1 + \beta_2}$$

输入电阻更高，
输出电阻更低。

2.7.2 派生

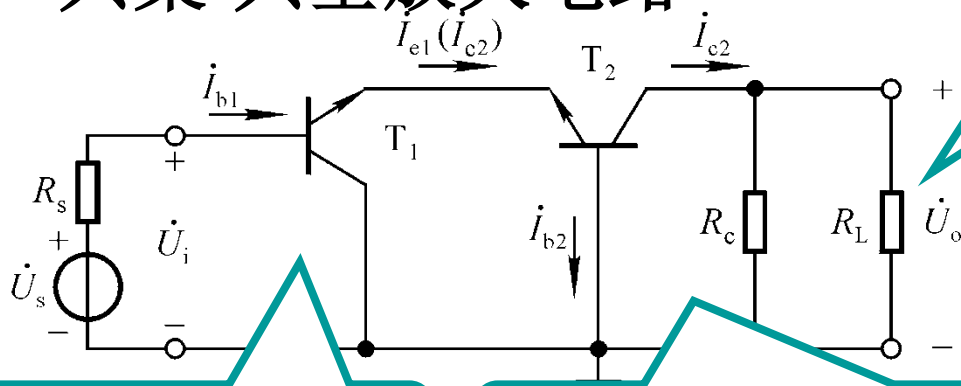
因为T2管的输入电阻小，使T1管的结电容对T2管的输入回路影响较小。

共射-共基放大电路



从而改善共射电路的高频特性

共集-共基放大电路



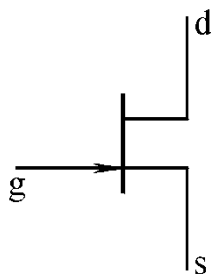
这两种电路的上限截止频率都较高，则电路的通频带较宽。

输入电阻大

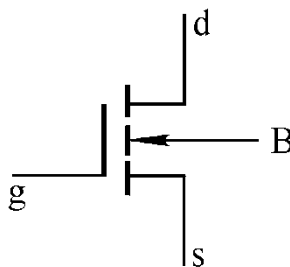
具有一定的电压放大能力

课堂练习

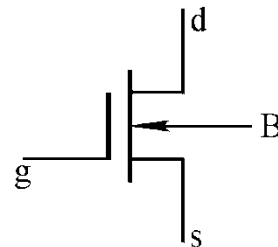
练习题1.请说出以下是什么管子的符号？



(a)



(b)

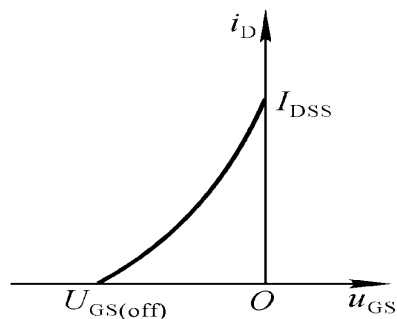


(c)

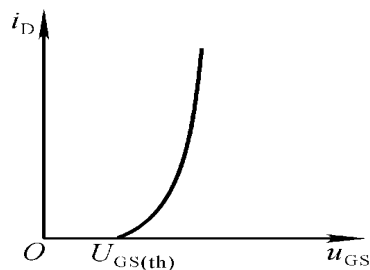
练习题2. 这些管子有原始导电沟道吗？

练习题3. 若处于放大状态，都外加什么电压？

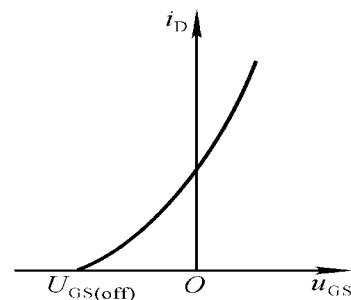
练习题4. 以下转移特性分别是哪种管的特性？



(a)

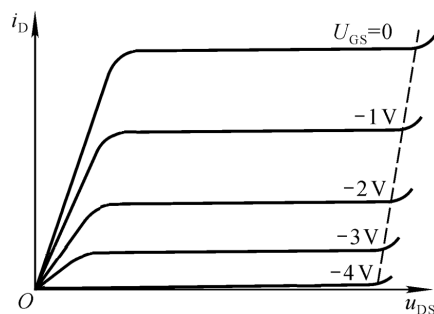


(b)

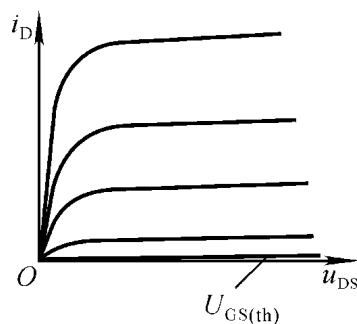


(c)

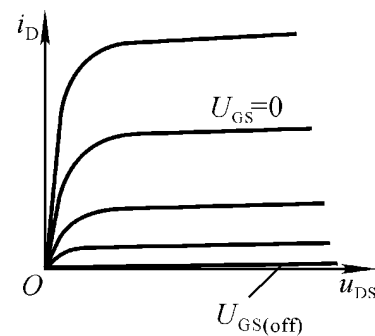
练习题5. 以下输出特性分别是哪种管的特性？



(a)



(b)



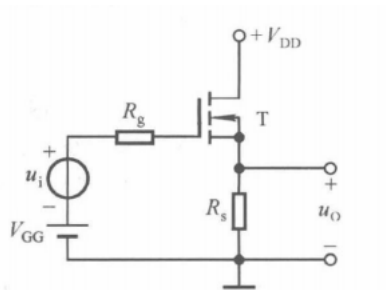
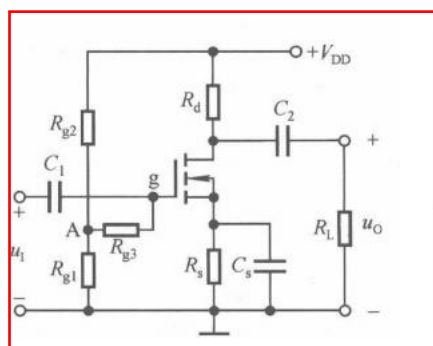
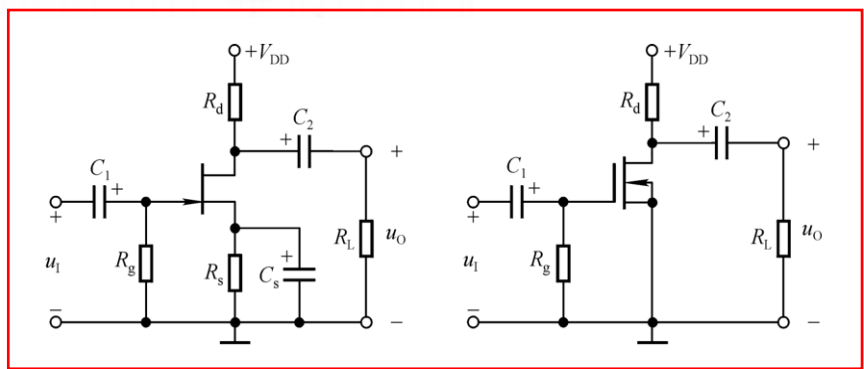
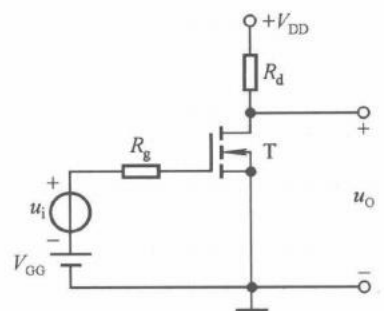
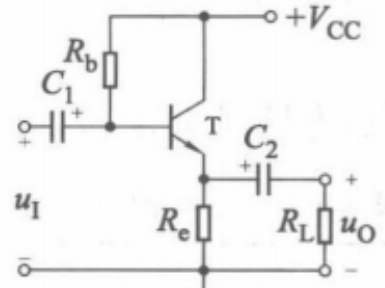
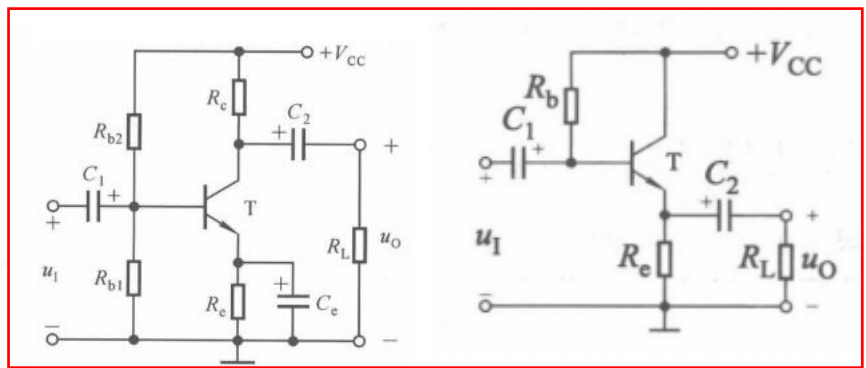
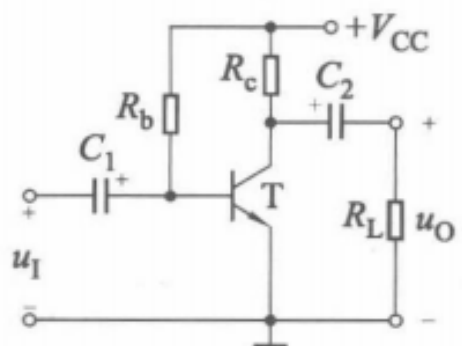
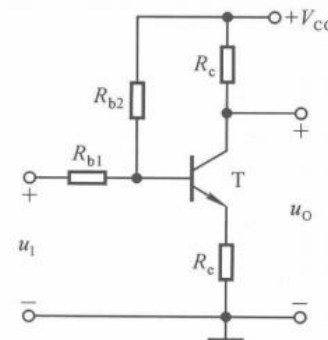
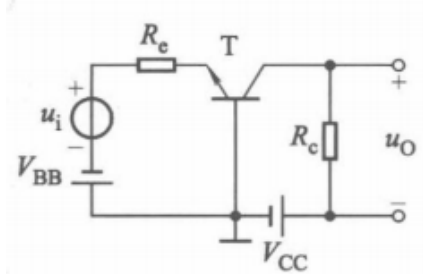
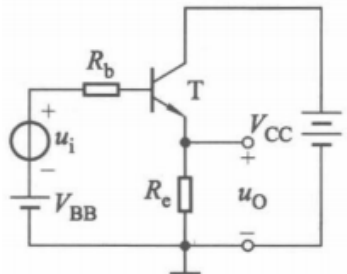
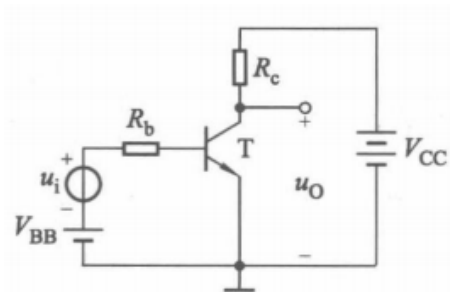
(c)

模拟电子技术基础

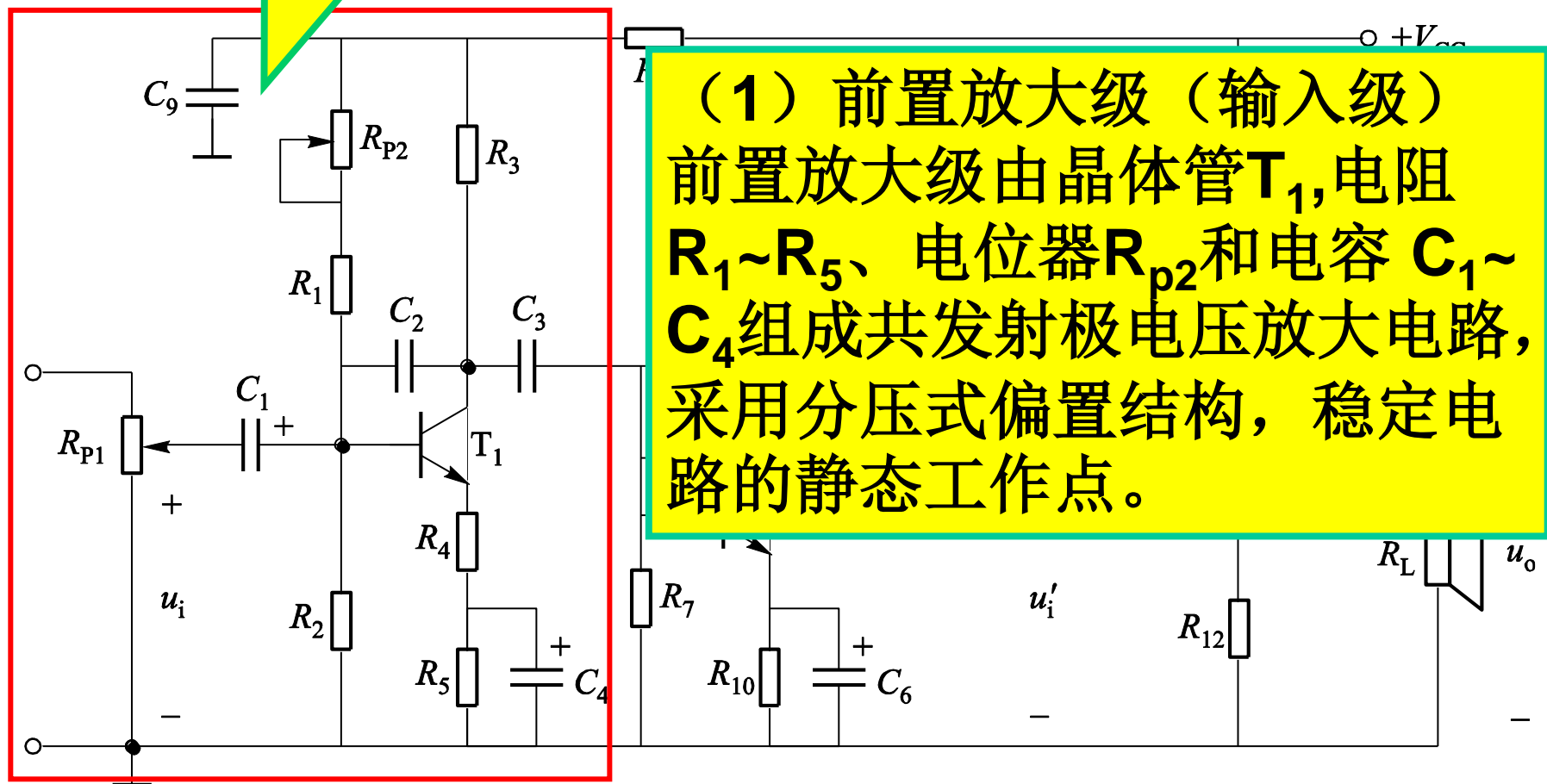
基本放大电路

第2章基本放大电路

练习. 试说出各图是什么接法的电压放大电路。

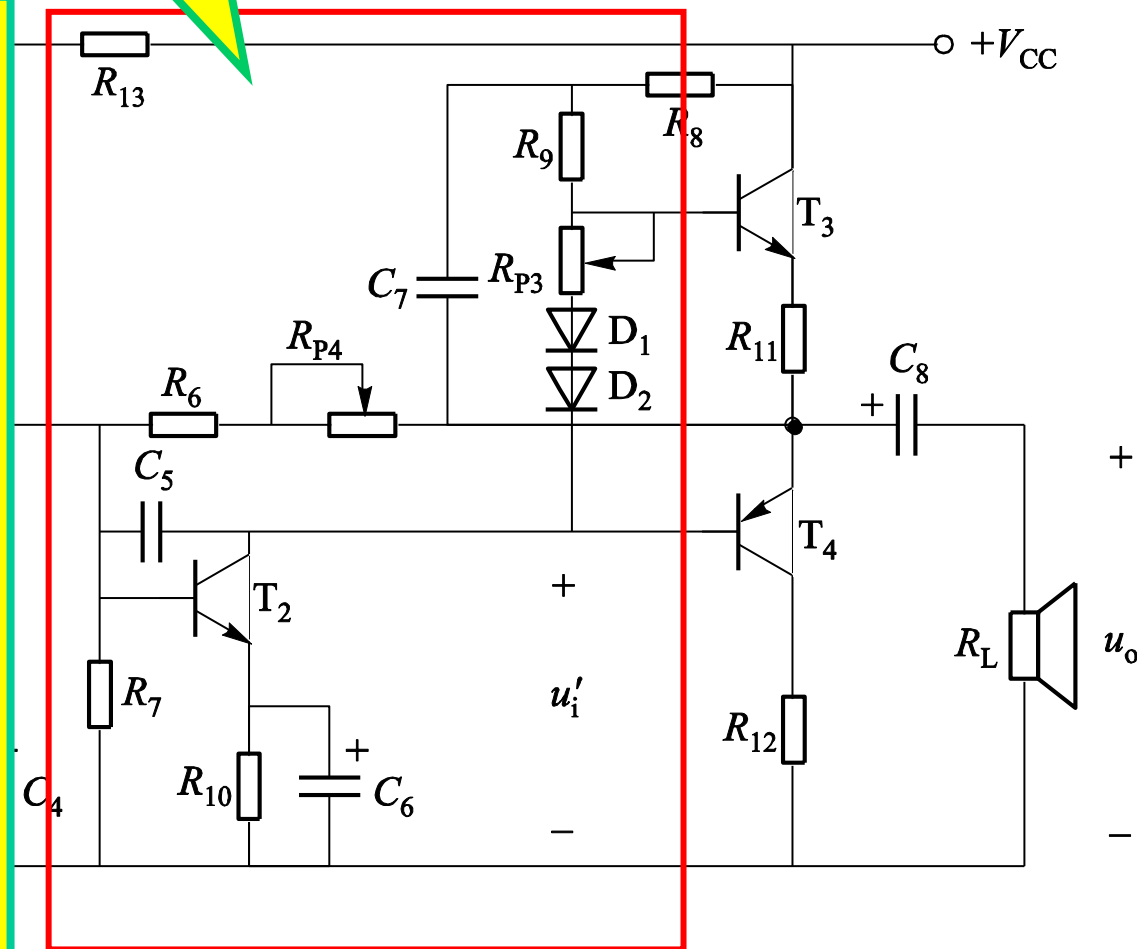


前置放大级 扩音机电路分析



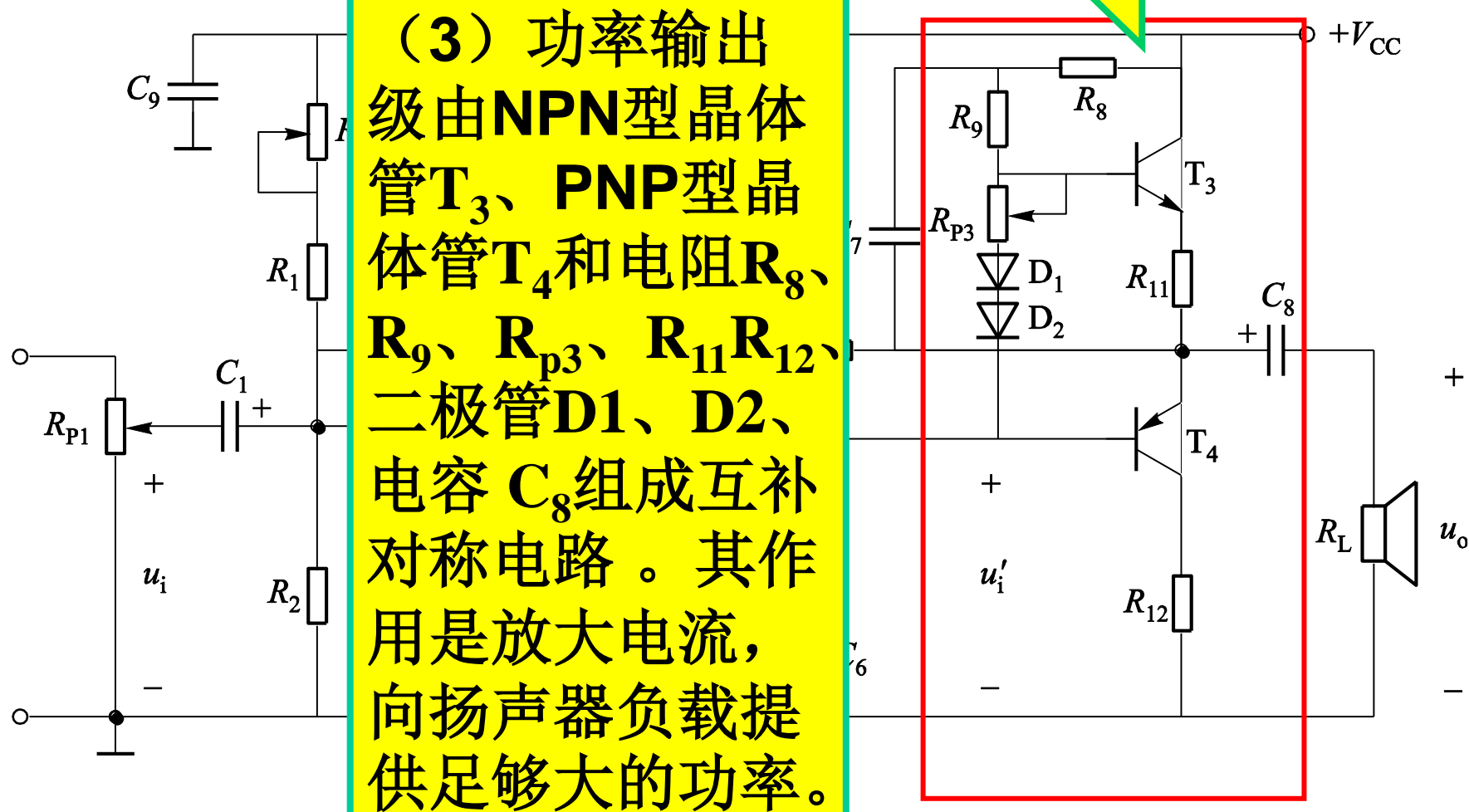
【扩展阅读】扩音机 推动级

(2) 推动级由晶体管 T_2 、电阻 $R_6 \sim R_{10}$ 、电位器 R_{p3} 和 R_{p4} 及电容 $C_5 \sim C_7$ 、二极管 D_1 、 D_2 组成的分压式偏置共发射极电压放大电路。其作用是向功率输出级提供足够大的电压和电流



【扩展阅读】扩音机电路分析

功率输出级



第2章

结 束