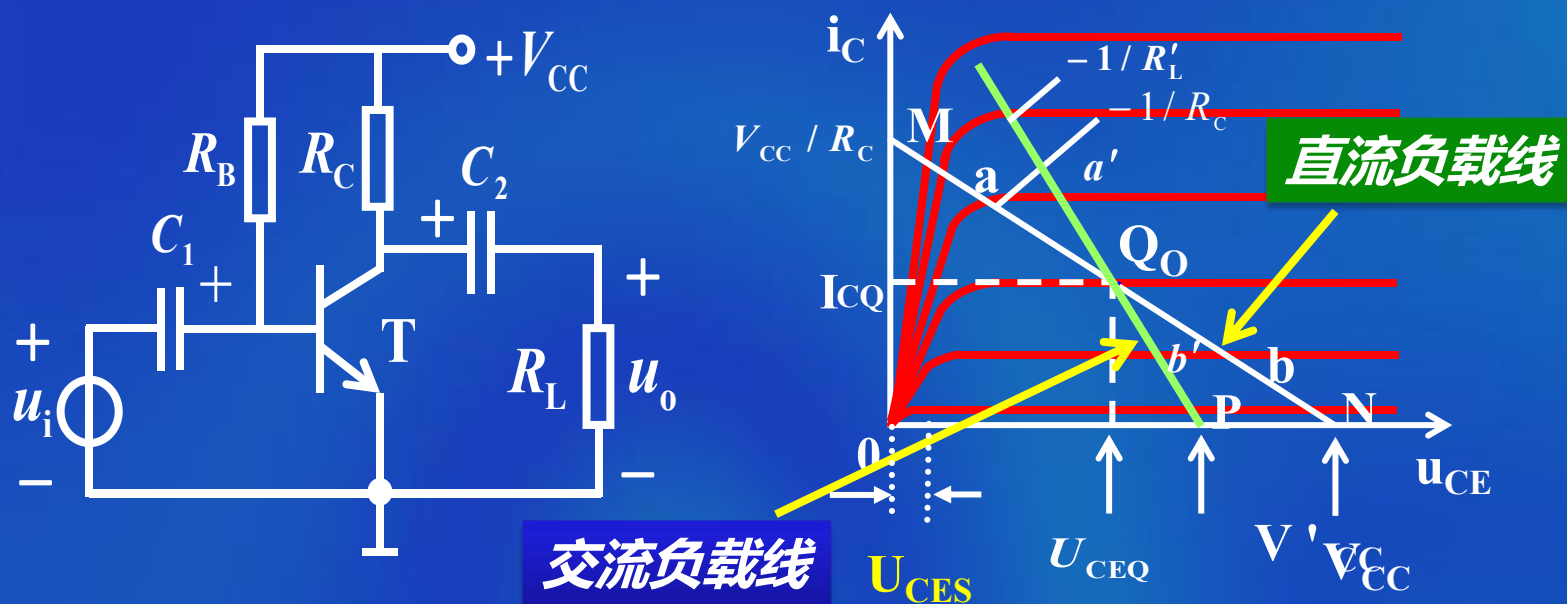


## 2.5 静态工作点的选择和稳定

### 1. 静态工作点 $Q$ 的选择



## 2.5.1 选择静态工作点 $Q$ 应该考虑的几个主要问题

### 1. 安全性

$Q$ 应该在安全区，且应该在安全区中的放大区。

### 2. 动态范围

为了获得尽可能大的动态范围， $Q$ 应该设置在交流负载线的中间。

### 3. 电压放大倍数 $A_u$

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

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{|I_{EQ}|}$$

当  $d\beta/dI_C \approx 0$  时

$|I_{CQ}|$  增大  $\Rightarrow r_{be}$  减小  $\Rightarrow |A_u|$  提高

#### 4. 输入电阻 $R_i$

由于  $R_i \approx r_{be}$

当  $|I_{CQ}|$  增大  $\Rightarrow r_{be}$  减小  $\Rightarrow R_i$  减小

## 5. 功耗和噪声

减小电流 $|I_{CQ}|$ ，可以降低电路的功耗和噪声。

### 2.5.2 静态工作点的稳定

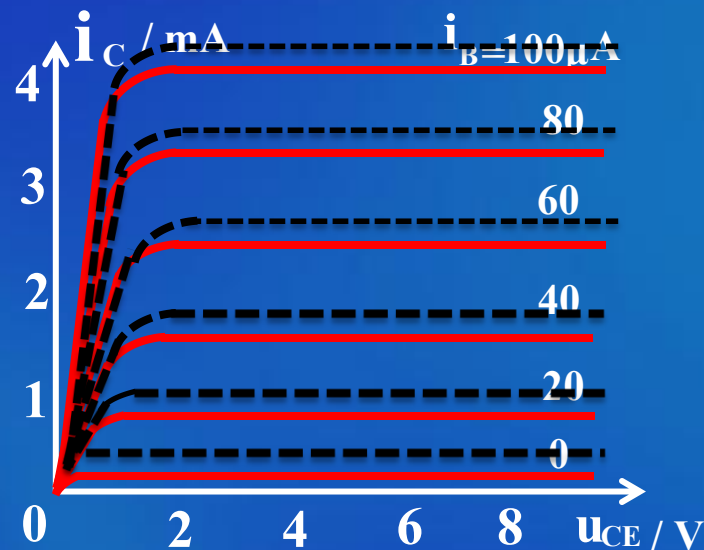
#### 1. 引起 $Q$ 点不稳定的原因

##### (1) 温度对 $Q$ 点的影响

a. 温度升高， $\beta$ 增大

b. 温度升高， $I_{CBQ}$ 增大

c. 温度升高， $|U_{BE}|$ 减小



导致集电极电流 $I_{CQ}$ 增大

## (2) 老化

管子长期使用后，参数会发生变化，影响 $Q$ 点。

## (3) 其他方面

电路中电源电压波动、元件参数的变化等都会影响 $Q$ 点。

### 小结：

a.  $Q$ 点是影响电路性能的主要因素

b. 影响 $Q$ 点不稳定的主要因素是温度

## 2. 稳定静态工作点的途径

### (1) 从元件入手。

- a. 选择温度性能好的元件
- b. 经过一定的工艺处理以稳定元件的参数，防止元件老化。

### (2) 从环境入手

采用恒温措施。

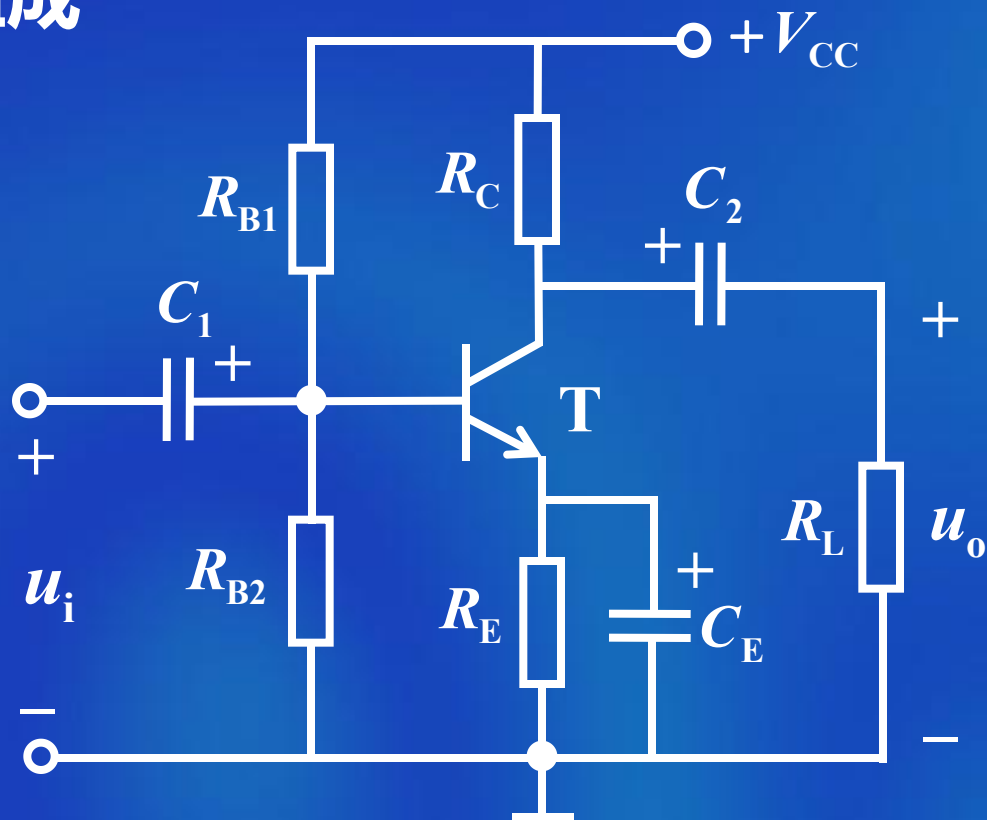
### (3) 从电路入手

采用温度补偿

引入负反馈

## 2.5.3 负反馈在静态工作点稳定中的应用

### (1) 电路组成



## (2) $Q$ 点稳定的条件

$I \gg I_{BQ}$       硅管 5 ~ 10倍

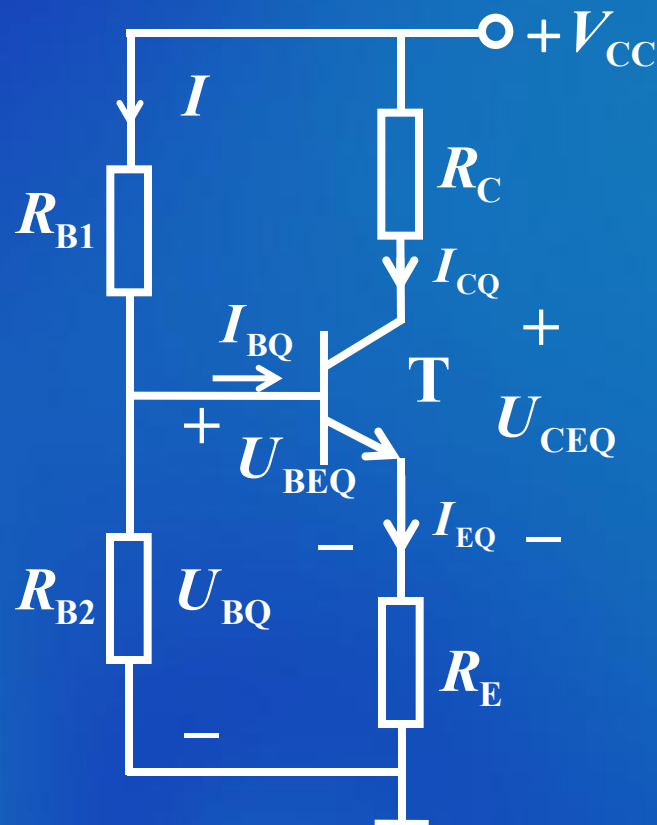
$U_{BQ} \gg U_{BEQ}$       锗管 10 ~ 20倍

故基极电位

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

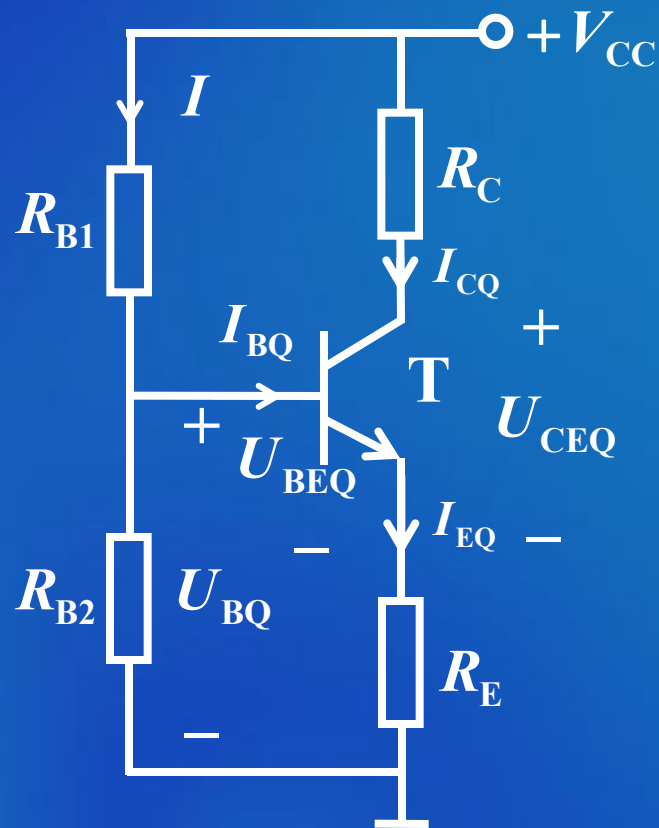
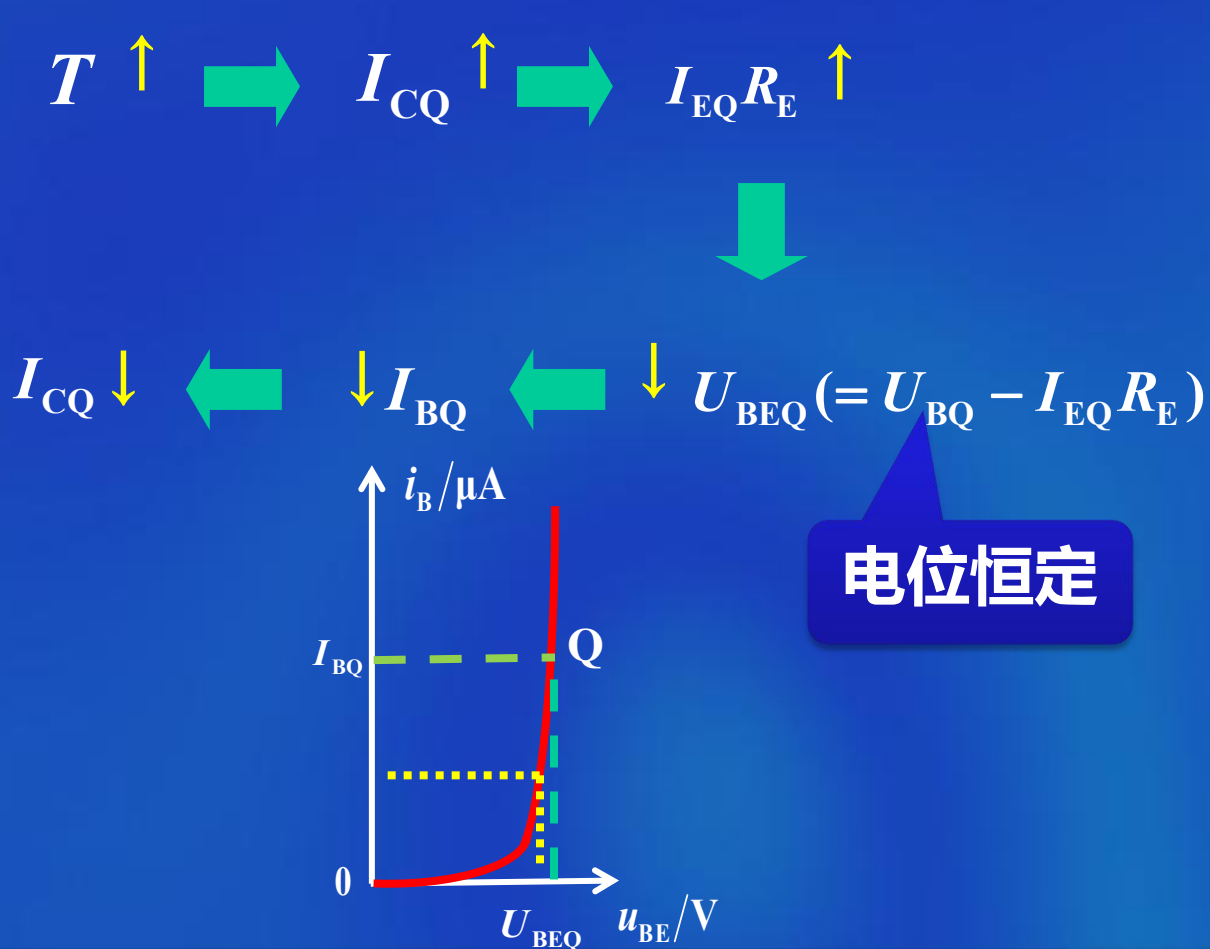
电阻受温度影响小，可认为基极电压不变

直流通路





# 稳定Q点的机理

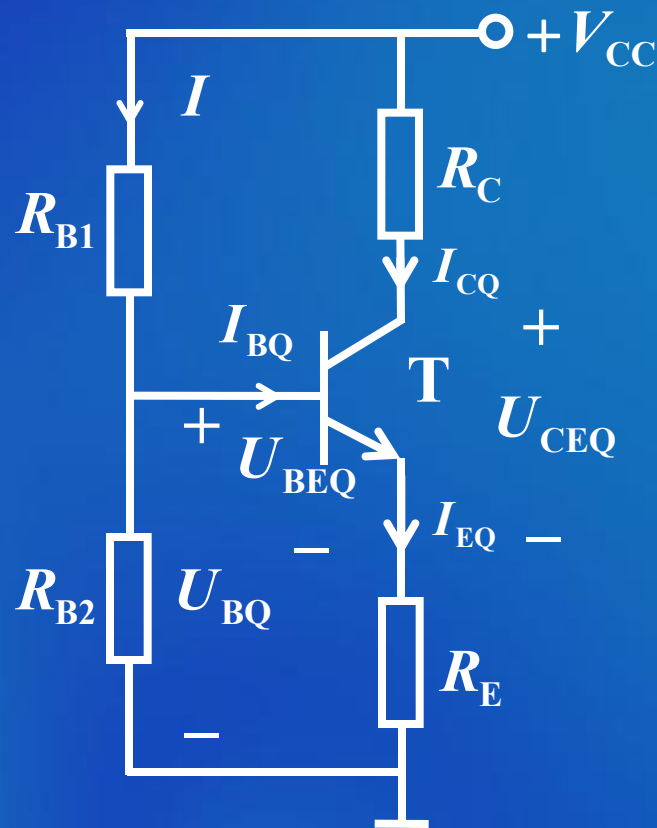


小结：

稳定 $Q$ 的机理是：

电路将输出电流 $I_C$ 在 $R_E$ 上的压降返送到输入回路，产生了抑制 $I_C$ 改变的作用，使 $I_C$ 基本不变。

这种作用称为**直流电流负反馈**。



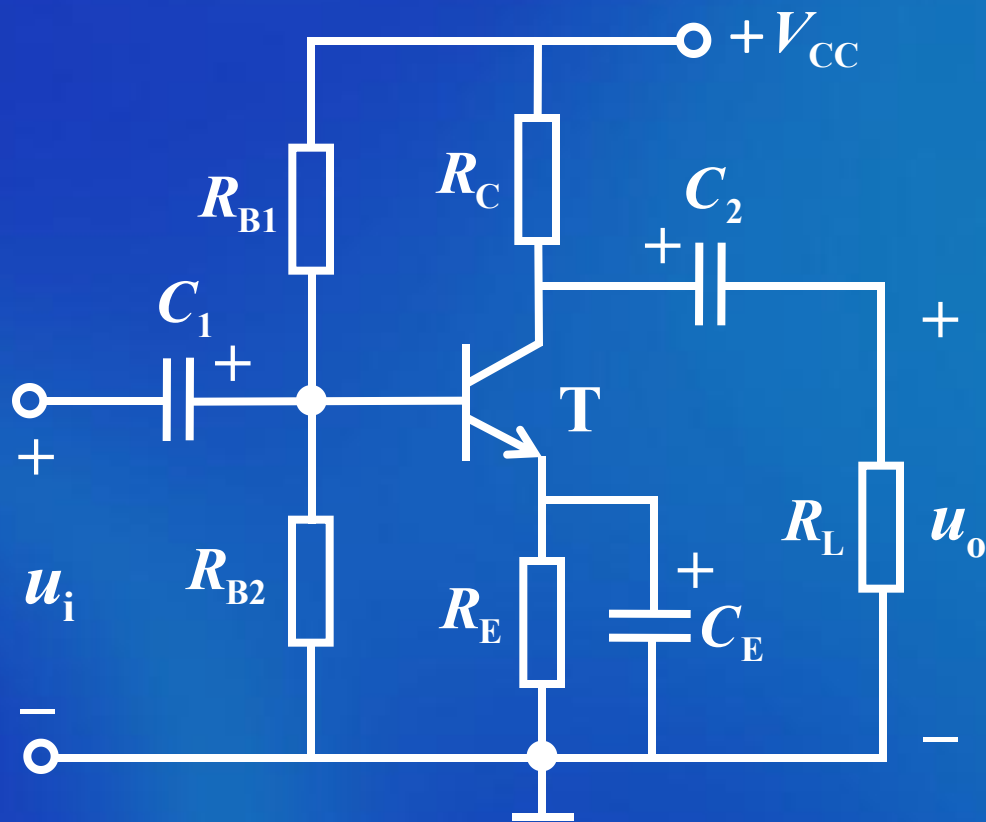
## 电容 $C_E$ 的作用：

a. 对于交流信号满足

$$R_E \gg \frac{1}{\omega C_E}$$

b. 交流信号对地短路，使 $R_E$ 只对直流信号有反馈，而对交流信号无反馈。

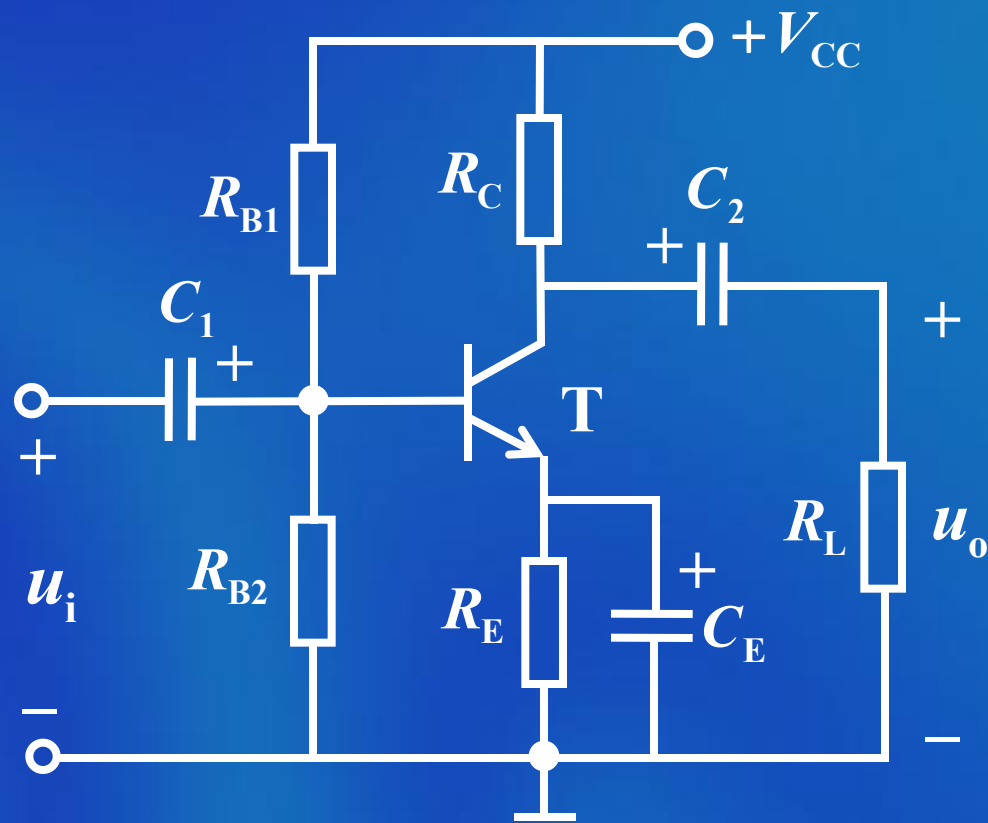
电容 $C_E$ 称为**旁路电容**。



**[例1] 在图示电路中**， $R_{B1}=39\text{k}\Omega$ ， $R_{B2}=10\text{k}\Omega$ ， $R_C=2.7\text{k}\Omega$ ， $R_E=1\text{k}\Omega$ ， $R_L=5.1\text{k}\Omega$ ， $C_1=C_2=10\mu\text{F}$ ， $C_E=47\mu\text{F}$ ， $V_{CC}=15\text{V}$ ，晶体管T的 $\beta=100$ 、 $r_{bb'}=300\Omega$ 、 $U_{BEQ}=0.7\text{V}$ 。试求：

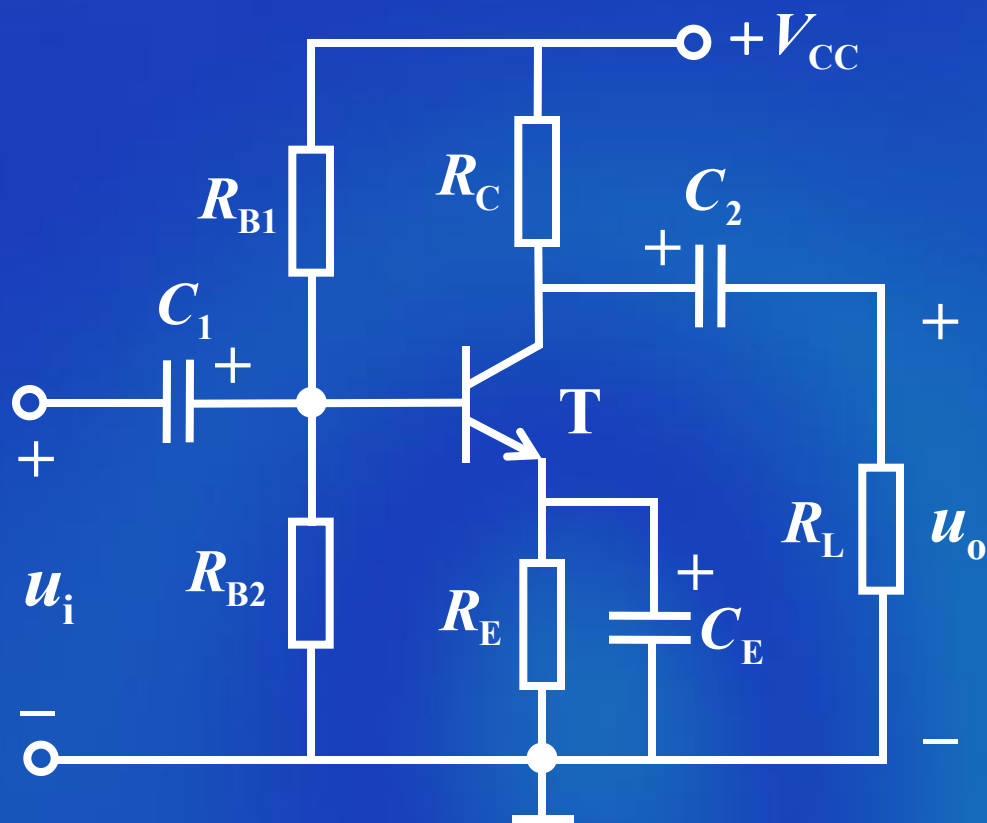
(1) 放大电路的静态工作点值

(2)  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 的值。

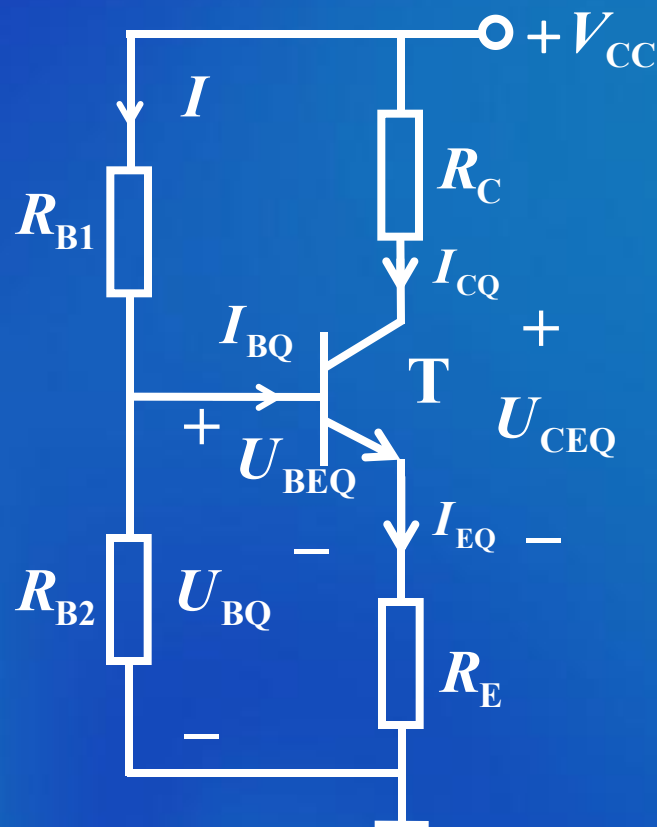


# [解] (1) 求静态工作点有两种方法

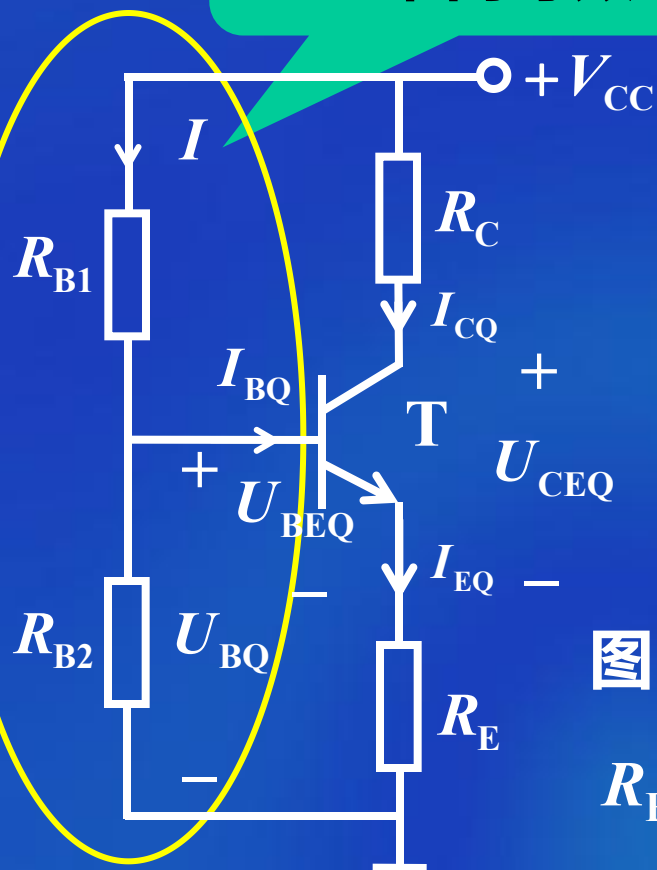
## 方法一：戴维南等效电路法



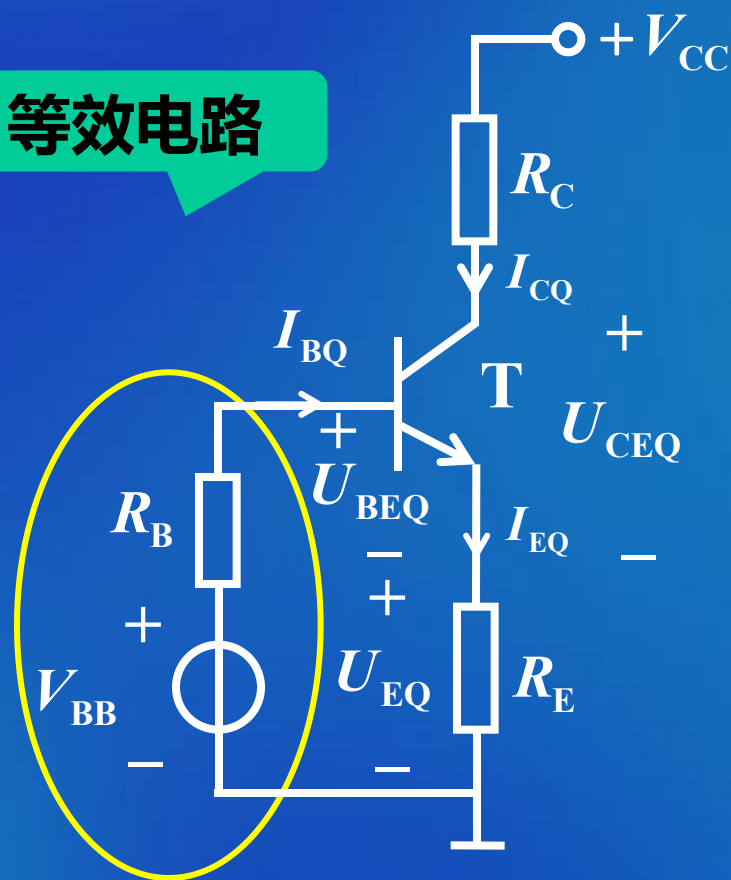
## 直流通路



对输入回路进行戴  
维南等效



等效电路



图中

$$R_B = R_{B1} // R_{B2} = 7.96 \text{k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 3.06 \text{V}$$

# 写出输入回路方程

$$V_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BEQ} + I_{EQ} R_E$$

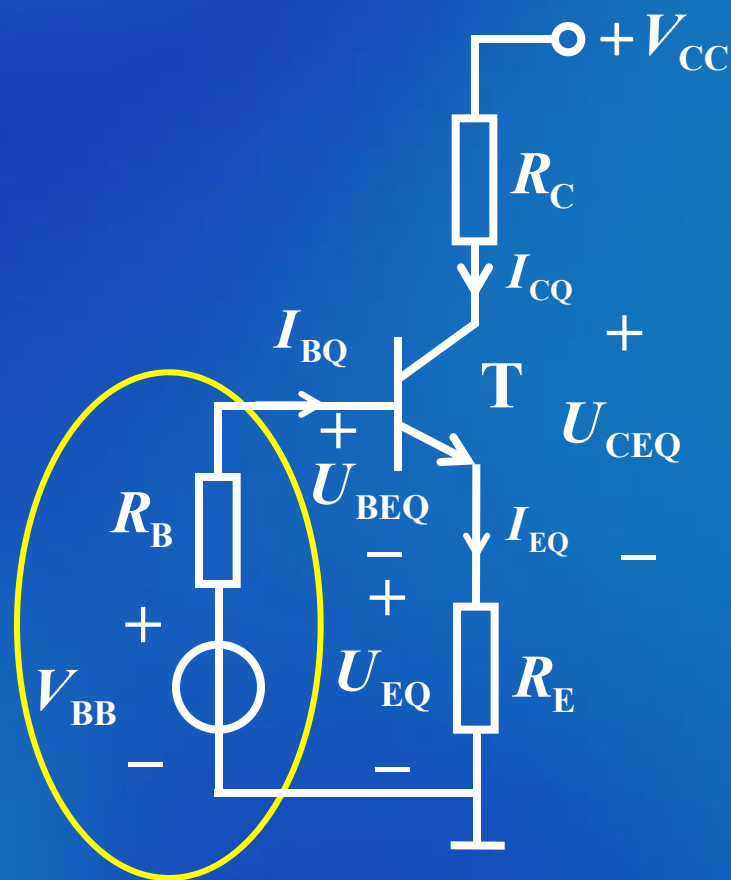
式中

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

故

$$V_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BEQ} + (1 + \bar{\beta}) I_{BQ} R_E$$

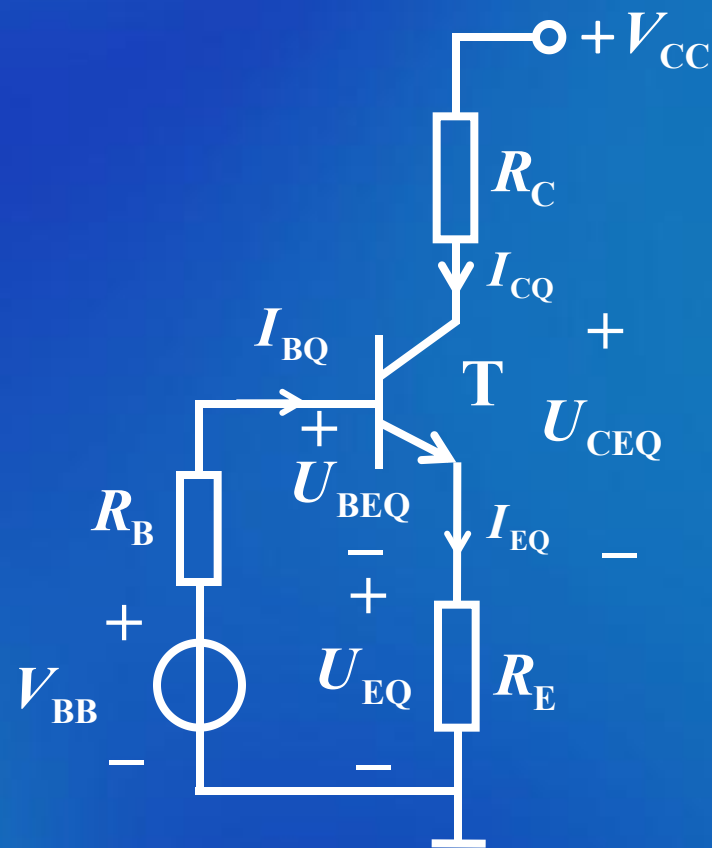
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \bar{\beta}) R_E}$$



将有关数据代入上式，得

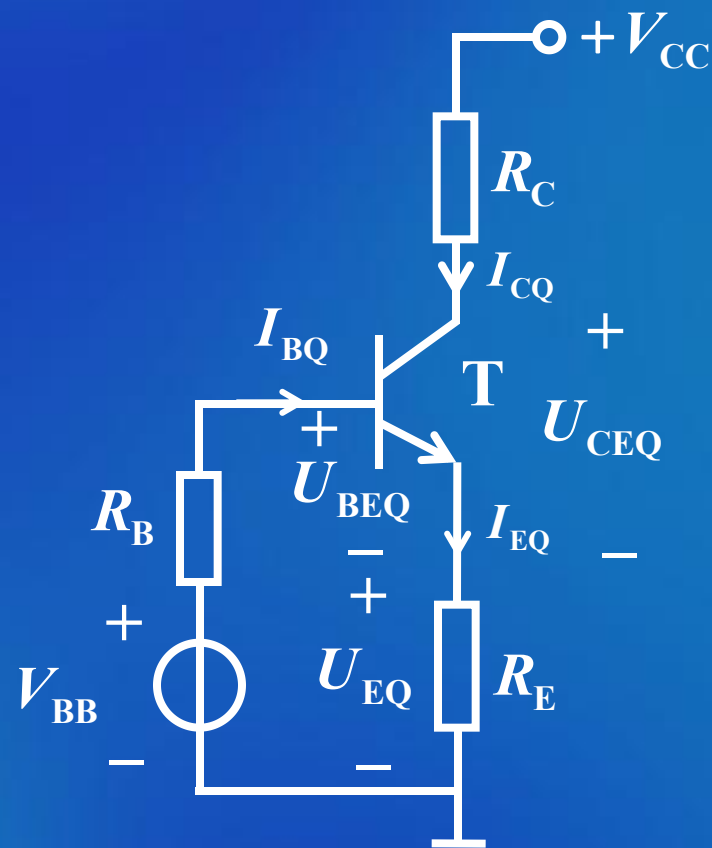
$$\begin{aligned}
 I_{BQ} &= \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \bar{\beta})R_E} \\
 &= \frac{3.06 - 0.7}{7.96 + 101 \times 1} \\
 &= 0.0217 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$I_{CQ} = \bar{\beta} I_{BQ} = 100 \times 0.0217 = 2.17 \text{ mA}$$





$$\begin{aligned}U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ}R_C - I_{EQ}R_E \\&\approx V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) \\&= 15 - 2.17 \times (2.7 + 1) \\&= 6.97 \text{ V}\end{aligned}$$



## 方法二 估算法

由  $I \gg I_{BQ}$  得

三步法!

(1)

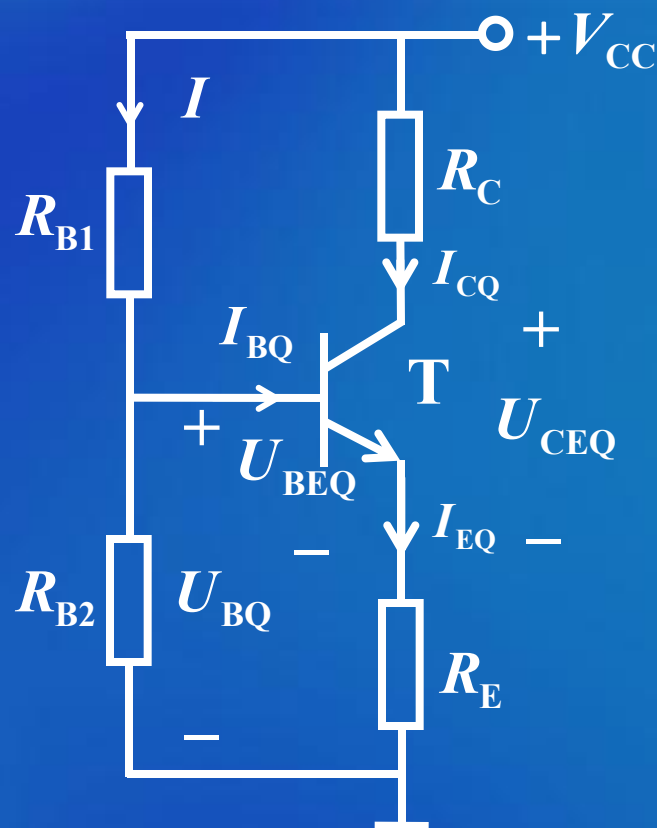
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 3.06V$$

(2)

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = \frac{3.06 - 0.7}{1} = 2.36mA$$

(3)

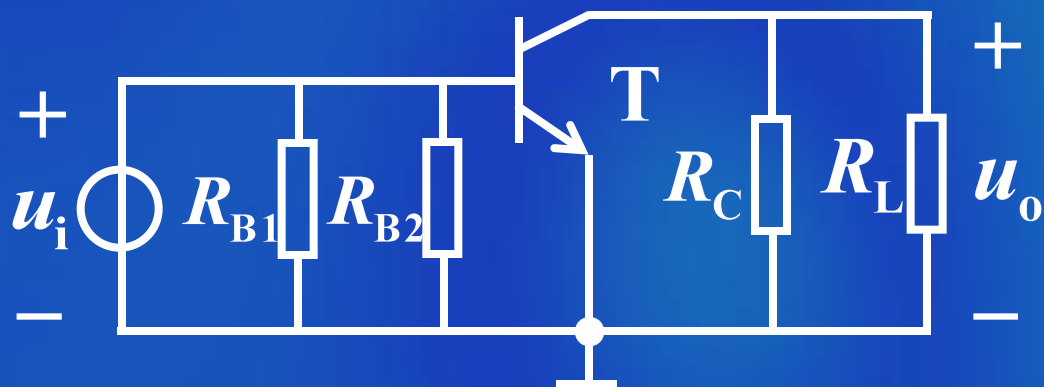
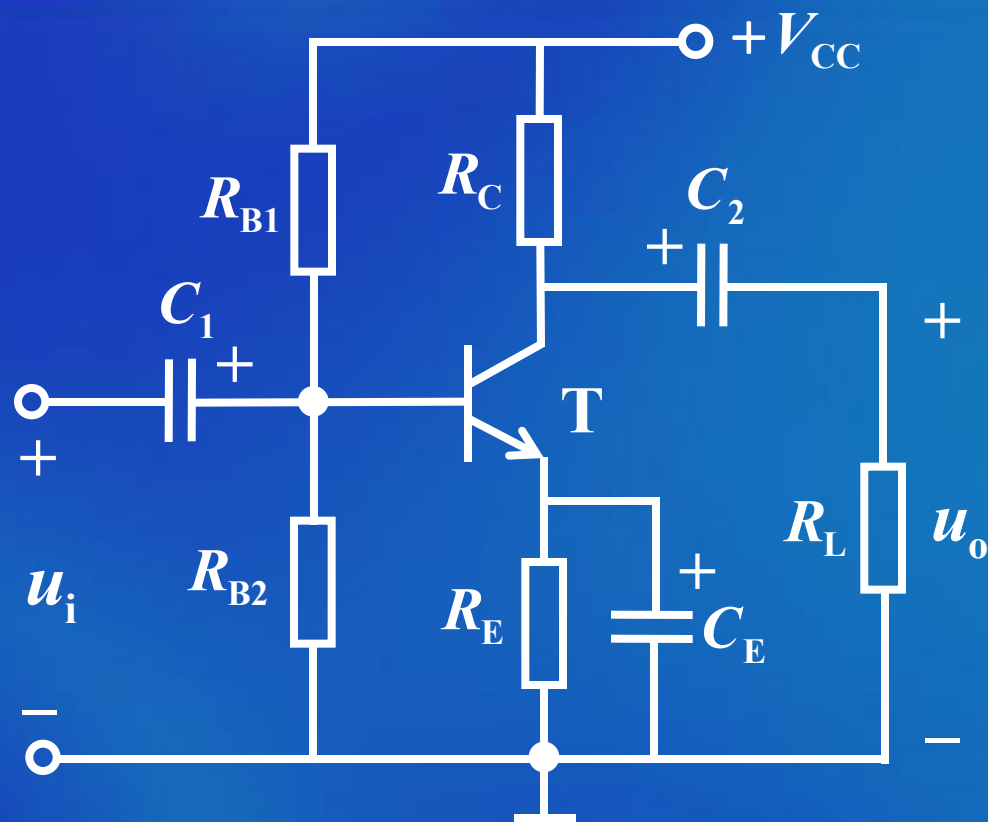
$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ} (R_C + R_E) = 15 - 2.36 \times (2.7 + 1) = 6.27V$$



## (2) 动态分析

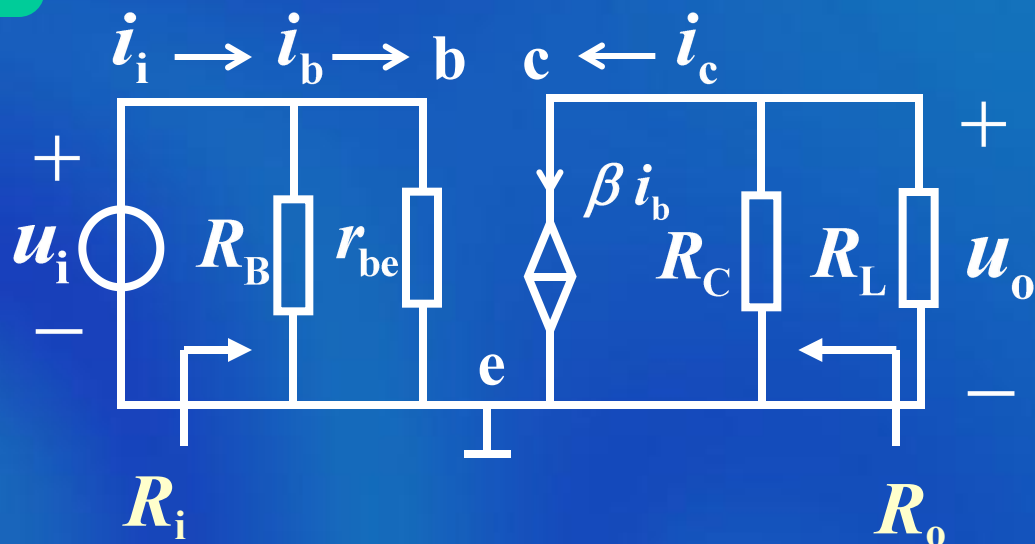
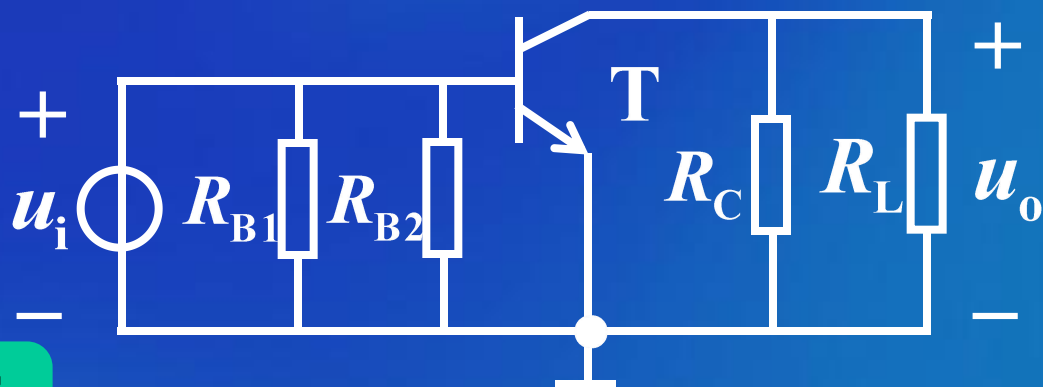
首先画出放大电路的交流通路

交流通路



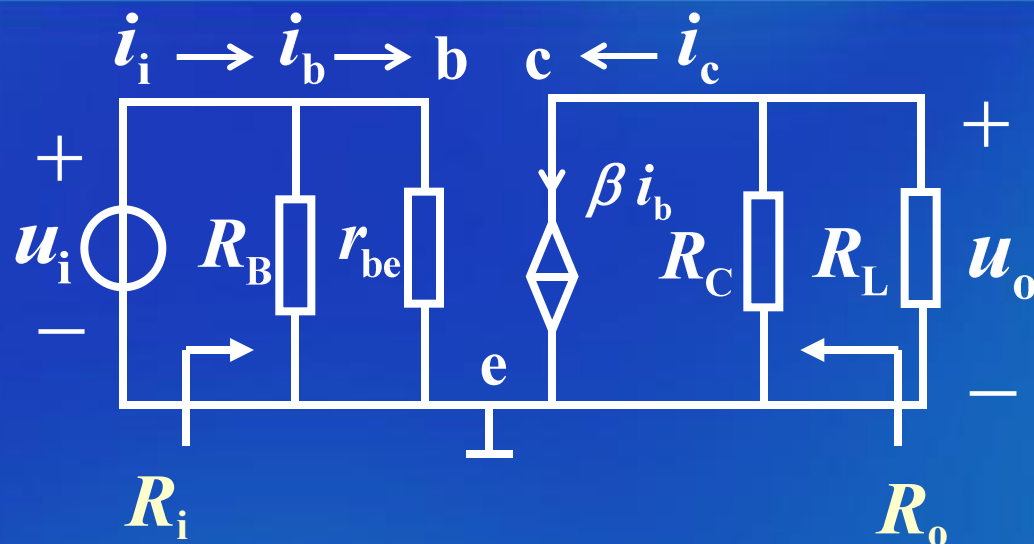
再画出放大电路  
的微变等效电路

微变等效电路



图中

$$R_B = R_{B1} // R_{B2}$$



$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 100) \frac{26}{2.36} \approx 1.4 \text{ k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = -\beta \frac{R_L // R_C}{r_{be}} = -100 \frac{2.7 // 5.1}{1.4} \approx -126$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} = 39 // 10 // 1.4 \approx 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = R_C = 2.7 \text{ k}\Omega$$

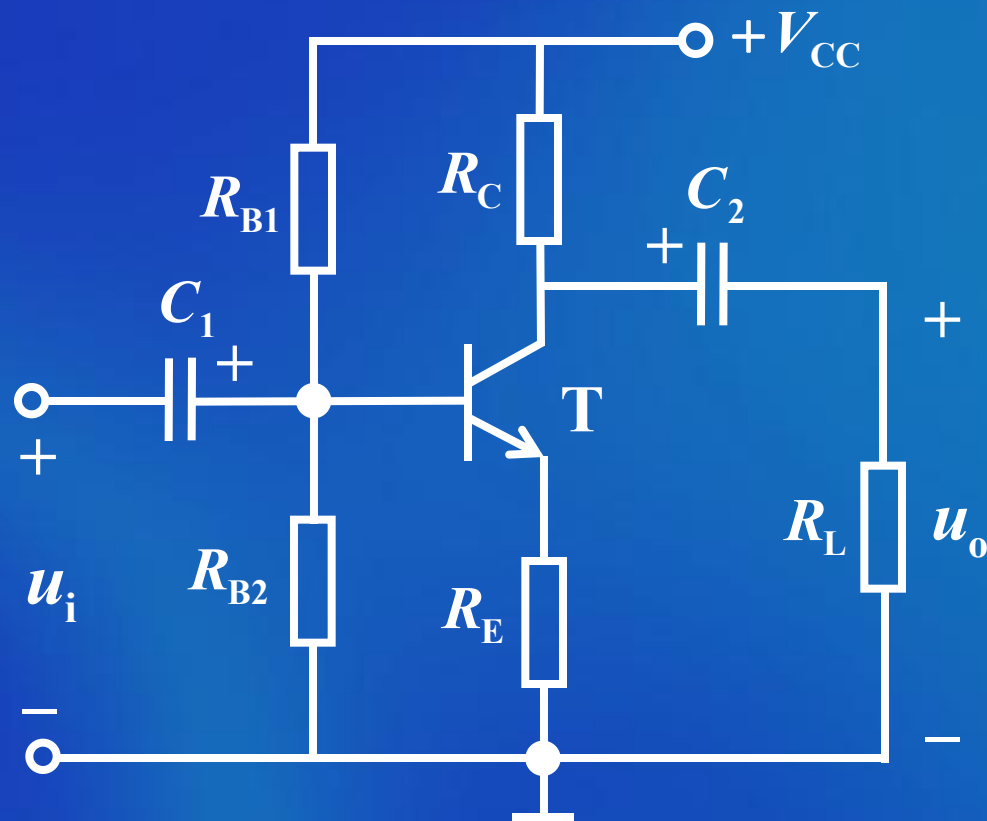
[例2] 图示电路的参数均与例1相同。试求：

(1) 放大电路的 $Q$ 。

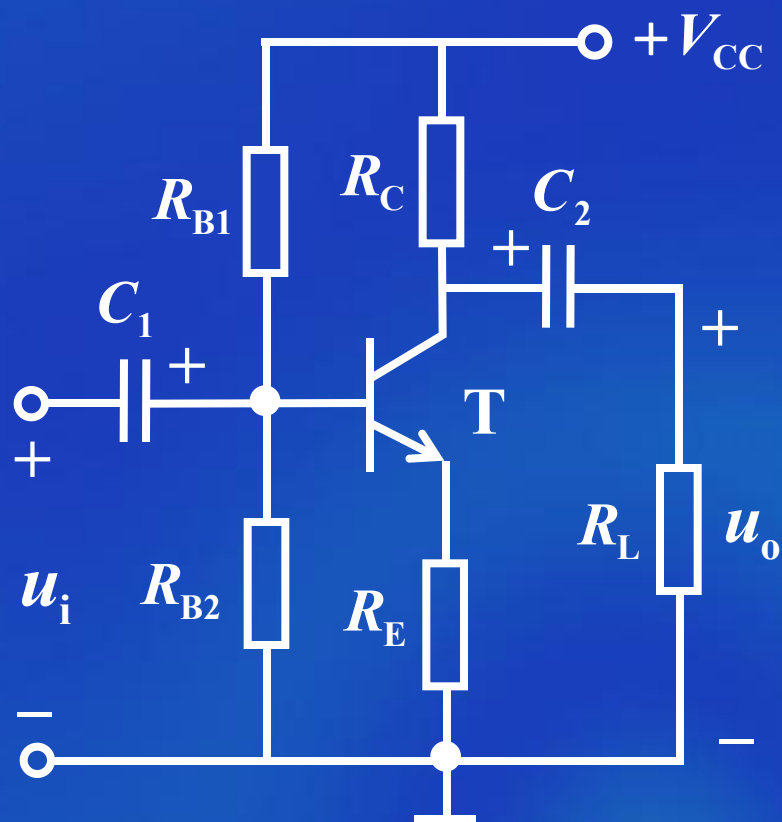
(2) 放大电路的 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 。

[解]

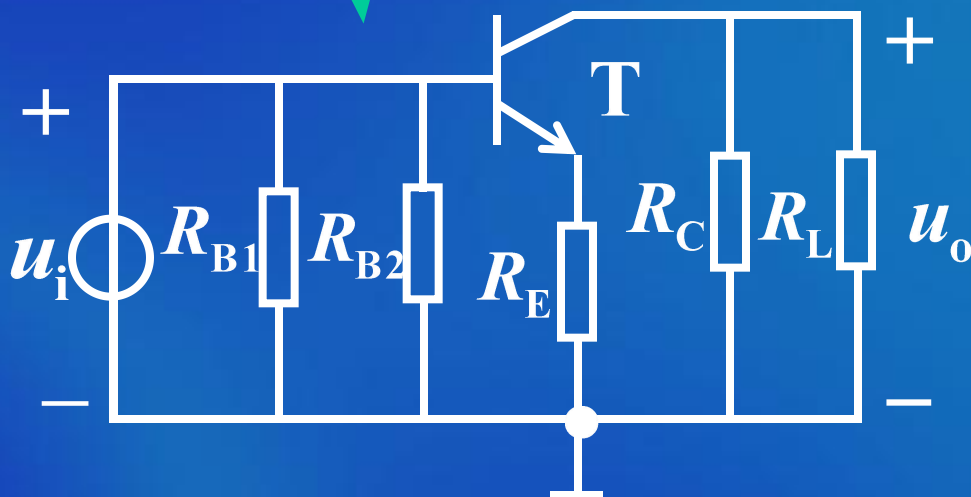
(1) 由于图示电路的直流通路与例1完全相同，故两电路的静态工作点一样。



(2) 首先画出放大电路的交流通路



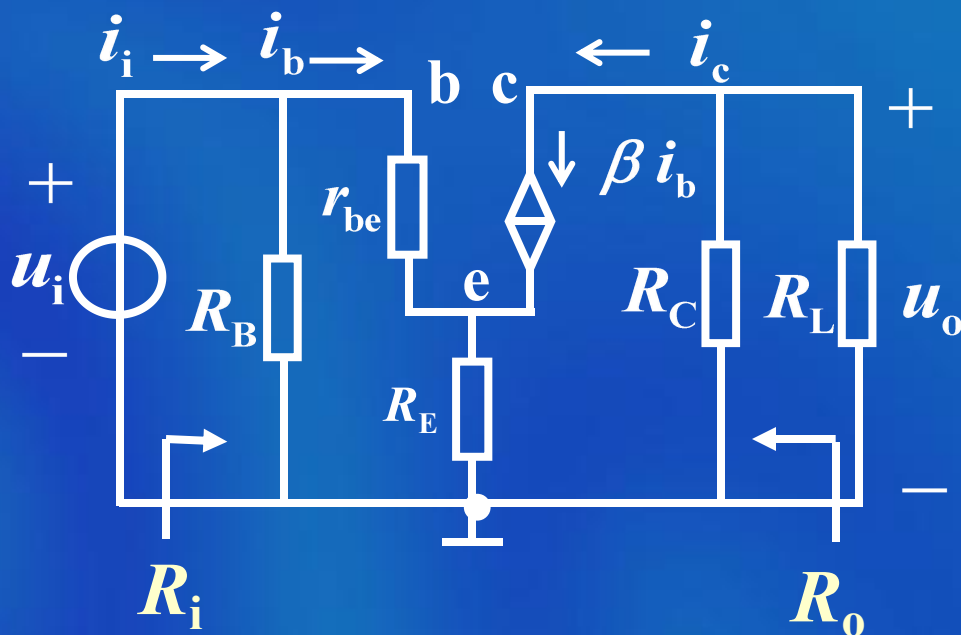
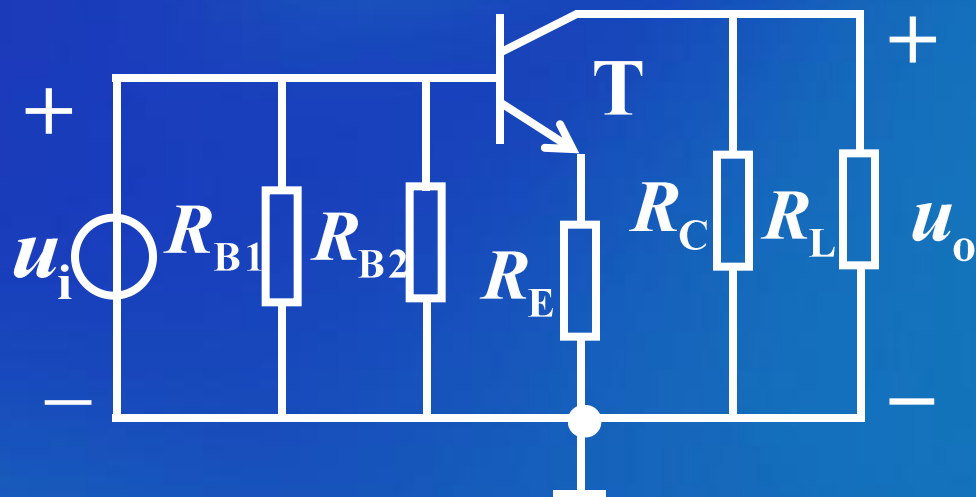
## 交流通路



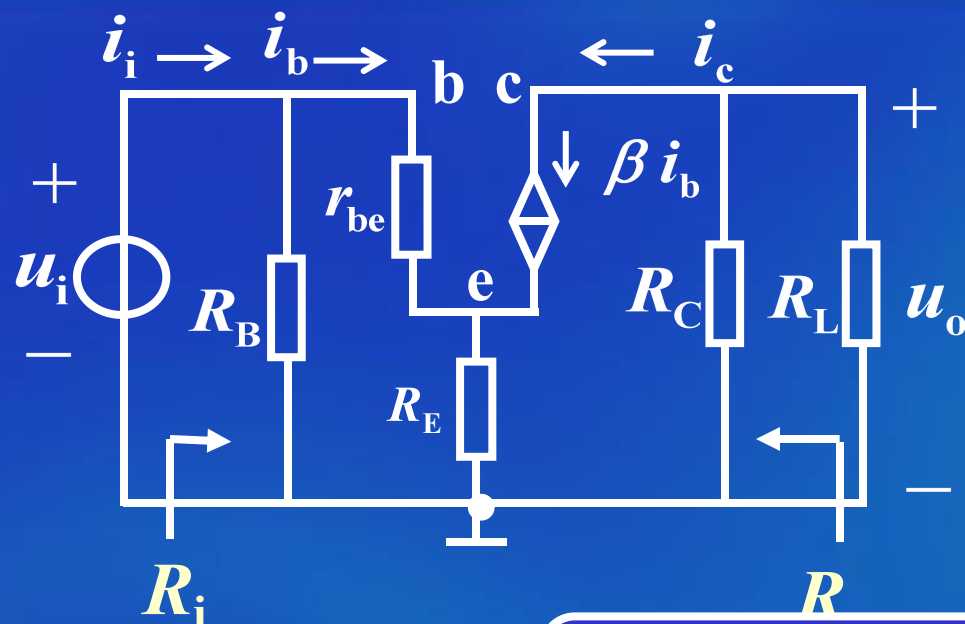
图中  $R_B = R_{B1} // R_{B2} = 39 // 10 \approx 7.96 \text{ k}\Omega$

其次画出微  
变等效电路

微变等效电路







由图可知  $\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_E$

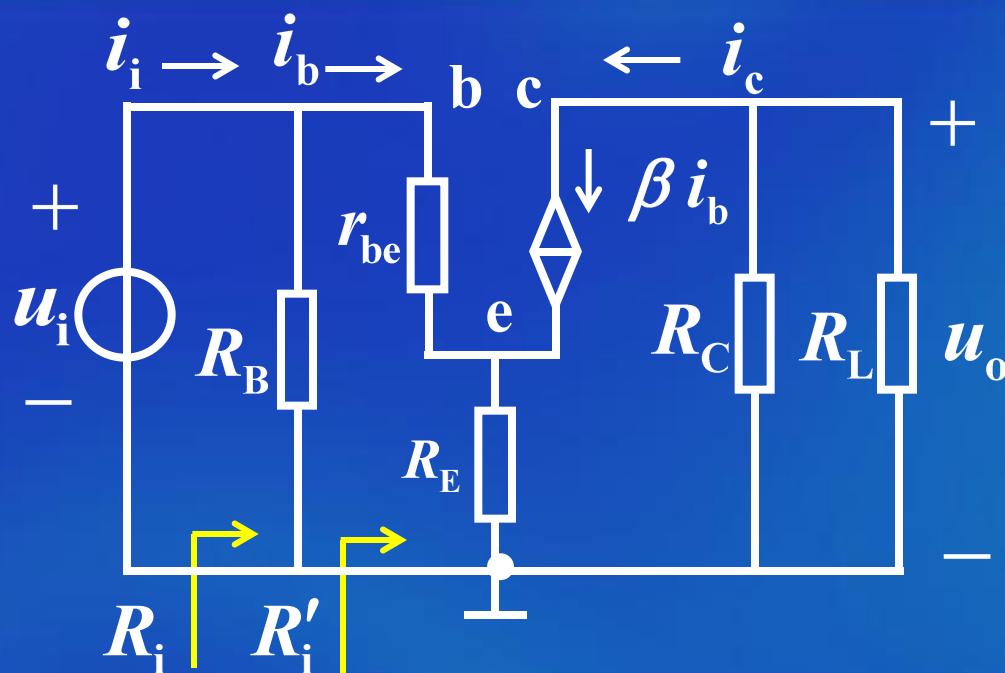
$$= \dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R_E$$

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_c (R_L // R_C) = -\dot{I}_c R'_L$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -1.72$$

$C_E \neq 0$  时

$$A_u = -\beta \frac{R_L // R_C}{r_{be}} \approx -126$$

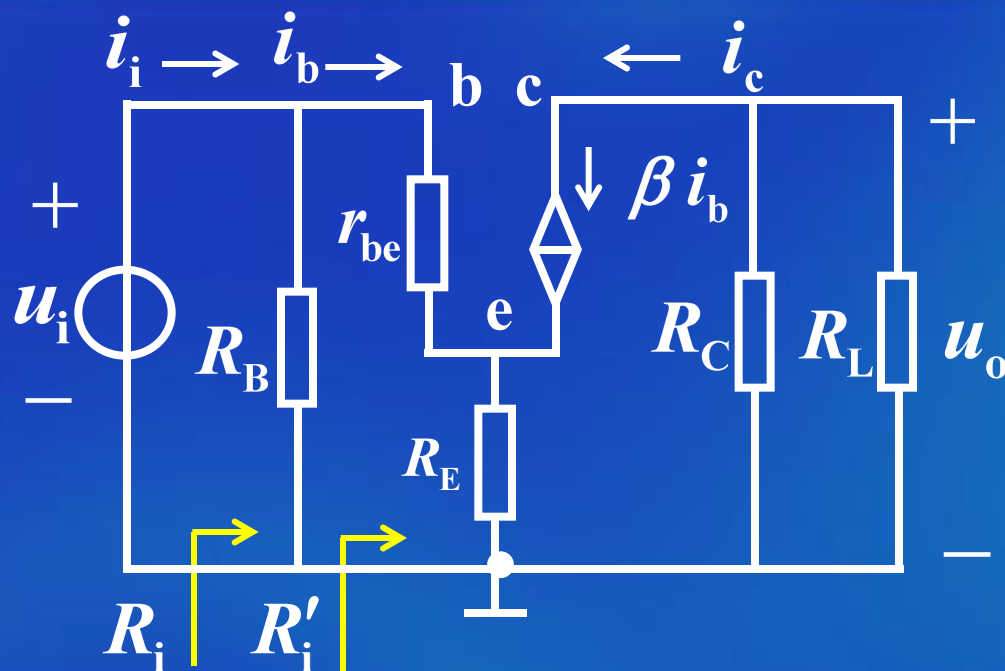


输入电阻

$$R_i = U_i / I_i = R_B // R'_i$$

其中

$$\begin{aligned} R'_i &= \frac{U_i}{I_b} = \frac{I_b r_{be} + (1 + \beta) I_b R_E}{I_b} \\ &= r_{be} + (1 + \beta) R_E = 102.4 \text{k}\Omega \end{aligned}$$



$C_E \neq 0$  时

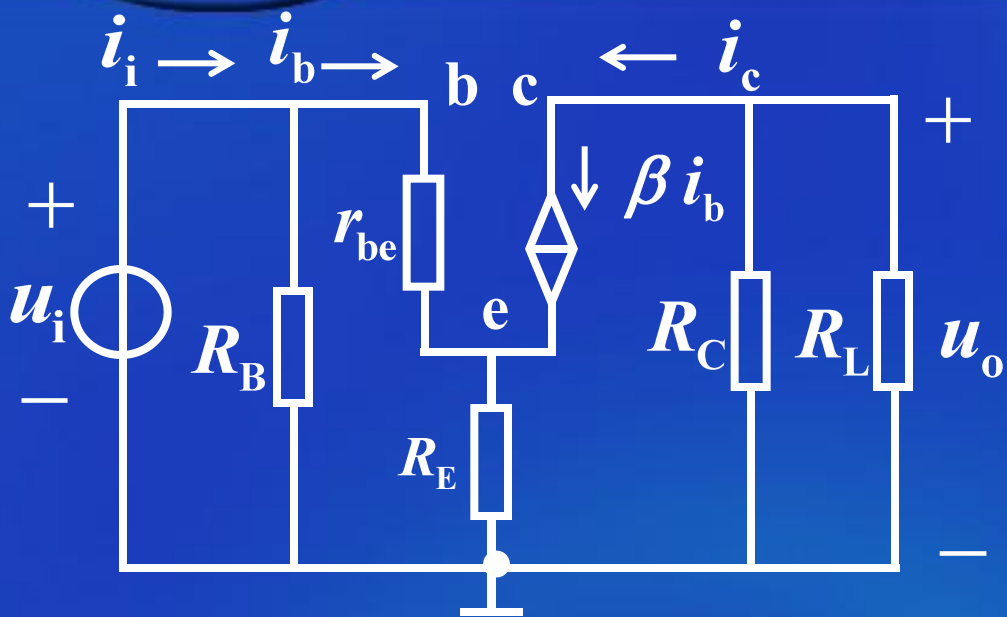
$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \approx 1.2 \text{ k}\Omega$$

故

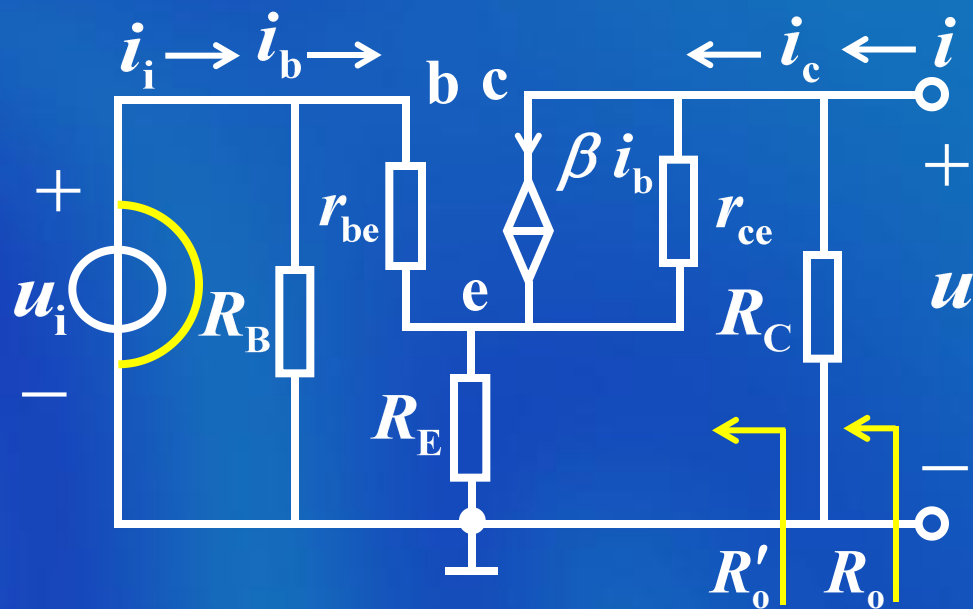
$$R_i = U_i / I_i = R_B // R_i' = 7.96 // 102.4 = 7.39 \text{ k}\Omega$$

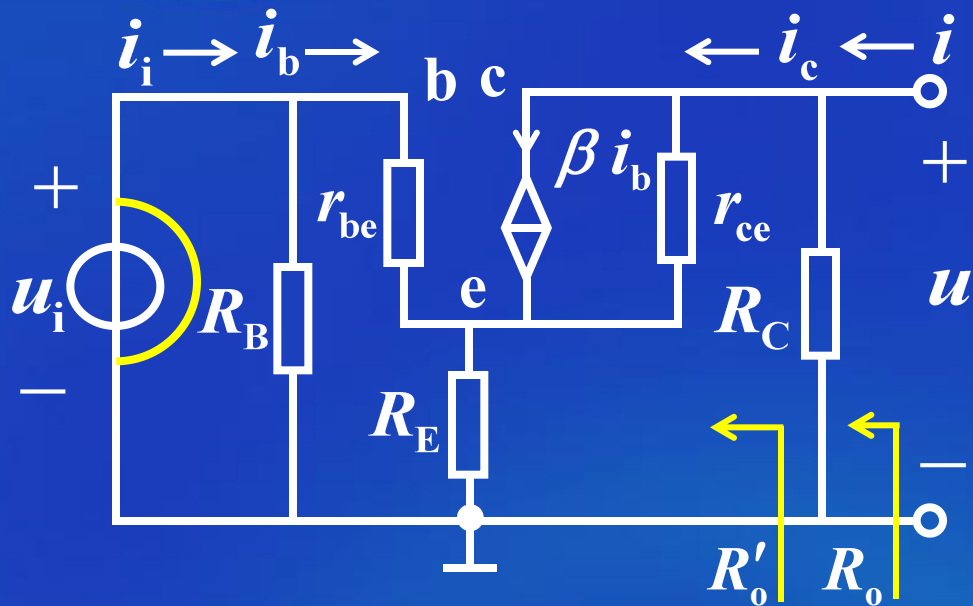
$$R_o = \frac{U}{I} \bigg|_{\substack{U_i=0 \\ R_L=\infty}}$$

画出求 $R_o$ 的等效电路

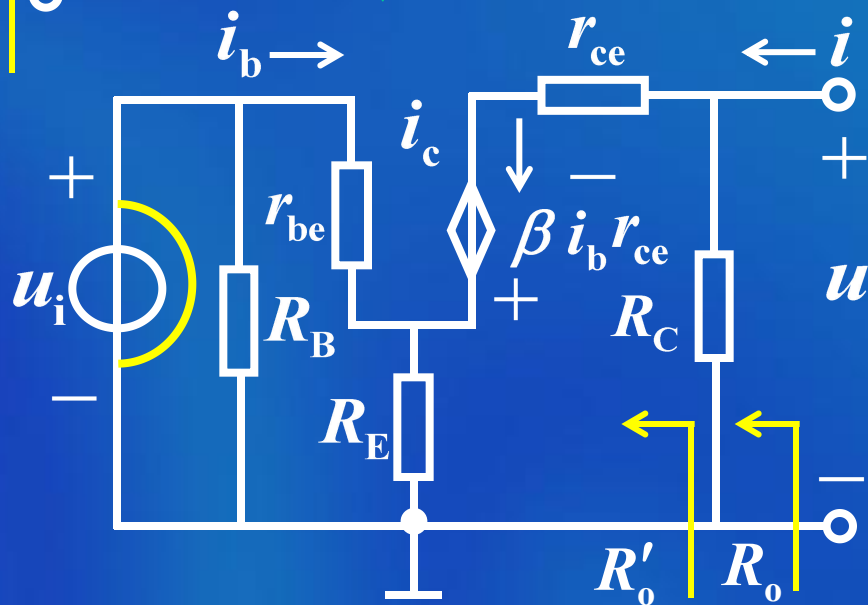


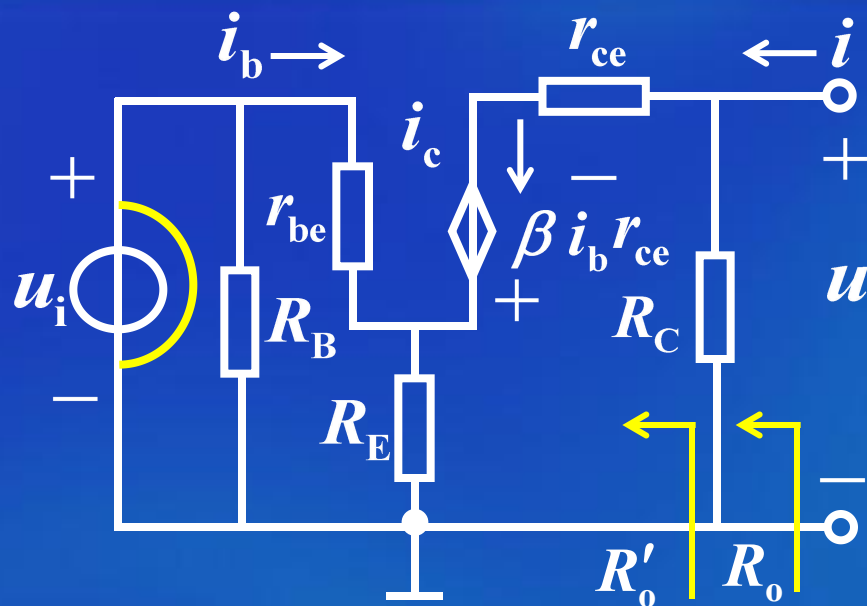
求  $R_o$  的等效电路





化电流源为电压源





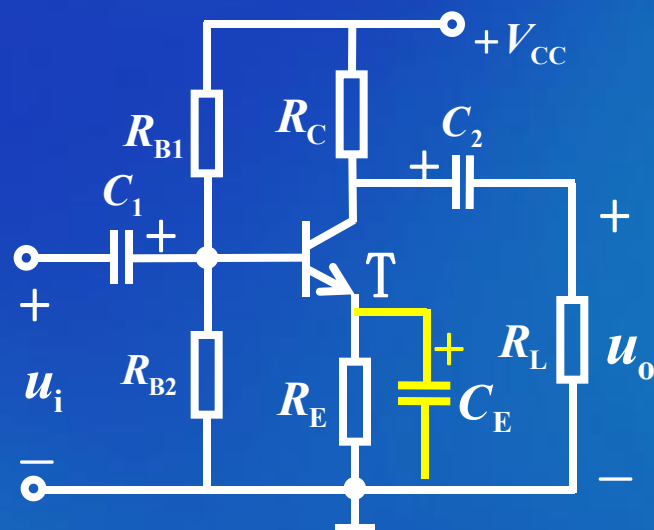
由图得

$C_E \neq 0$  时  
 $R_o = R_C = 2.7\text{k}\Omega$

$$R_o = R'_0 // R_C \approx R_C = 2.7\text{k}\Omega$$

## 总结：

若无旁路电容 $C_E$ ，将使电路的电压放大倍数 $|A_u|$ 下降，输入电阻 $R_i$ 略有提高，而输出电阻 $R_o$ 不变。

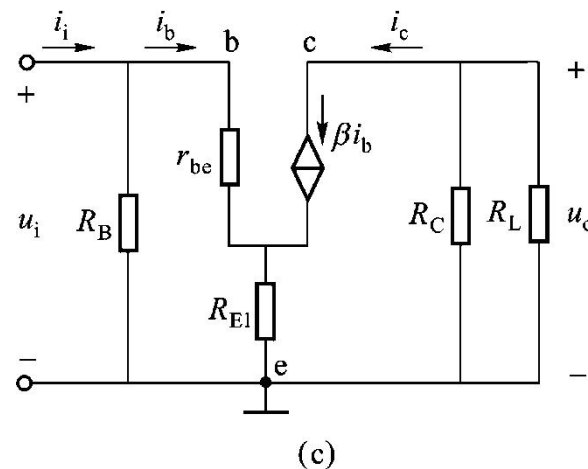
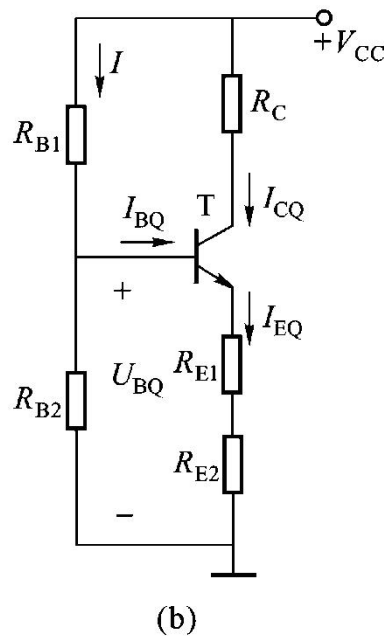
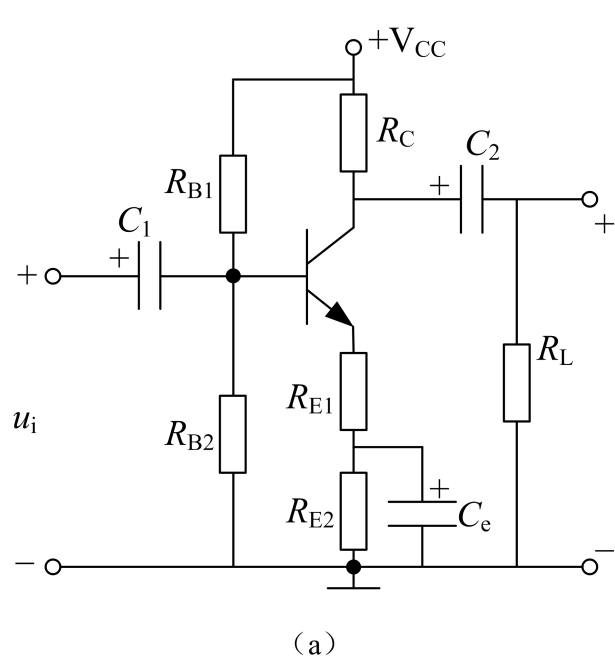


故电路需要 $C_E$ ，既可以稳定静态工作点，又不影响电路的动态特性



# P92 2.15题 (第二版)

# P88 2.16题 (第三版)



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = - \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}}$$

$$R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}]$$

$$R_o = R_C$$

## 共射极放大电路的特点：

- (a) 有**电压放大能力**。
- (b)  $u_o$ 与 $u_i$ 反相。
- (c) 具有**电流放大能力**和**功率放大能力**。
- (d) 具有**低**的输入电阻和**高**的输出电阻。

## 小 结：

静态工作点稳定放大电路的分析

静态分析

戴维南等效电路法

估算法

动态分析

射极有 $C_E$ 电容

射极无 $C_E$ 电容