

## 第四章 基本放大电路

作业(P213-219):

2.1、2.2、2.3、2.4、2.6、2.9、2.10、

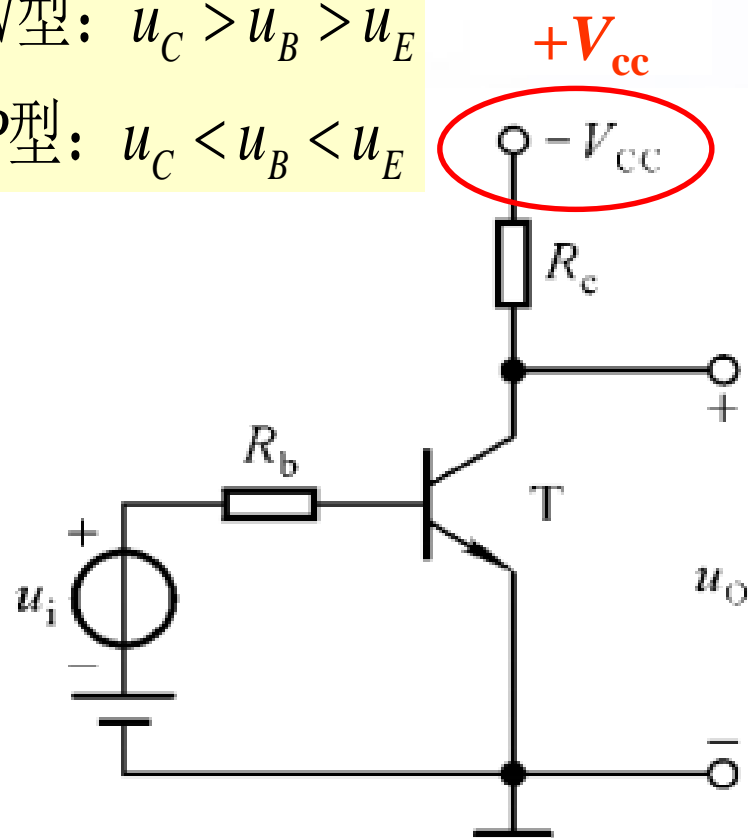
2.11、2.13、2.14、2.17、2.18



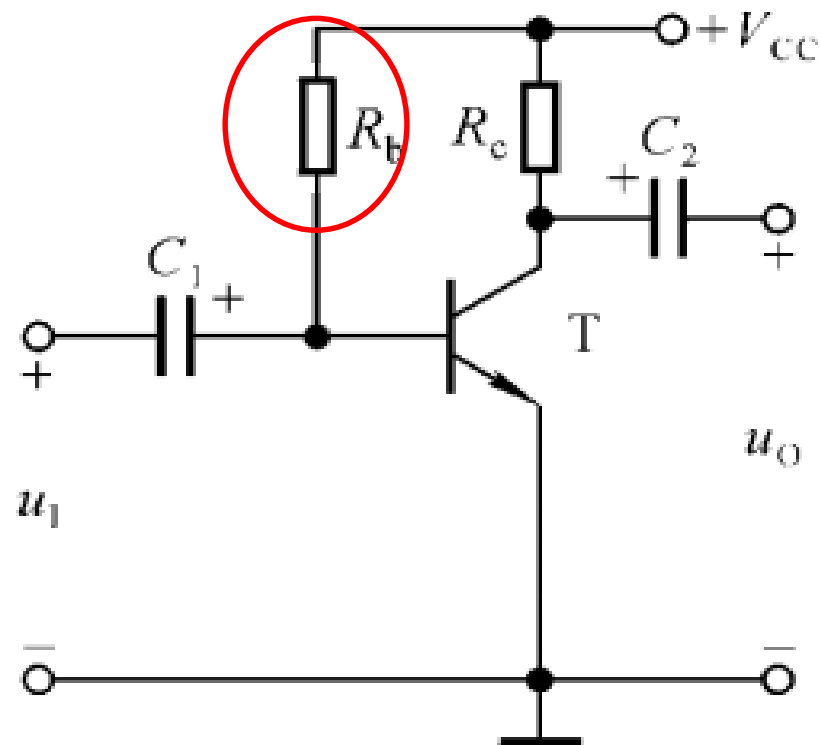
## 2.1 分别改正图 P2.1 所示各电路中的错误，使它们有可能放大正弦波信号。要求保留电路原来的共射接法

NPN型:  $u_C > u_B > u_E$

PNP型:  $u_C < u_B < u_E$



(a)

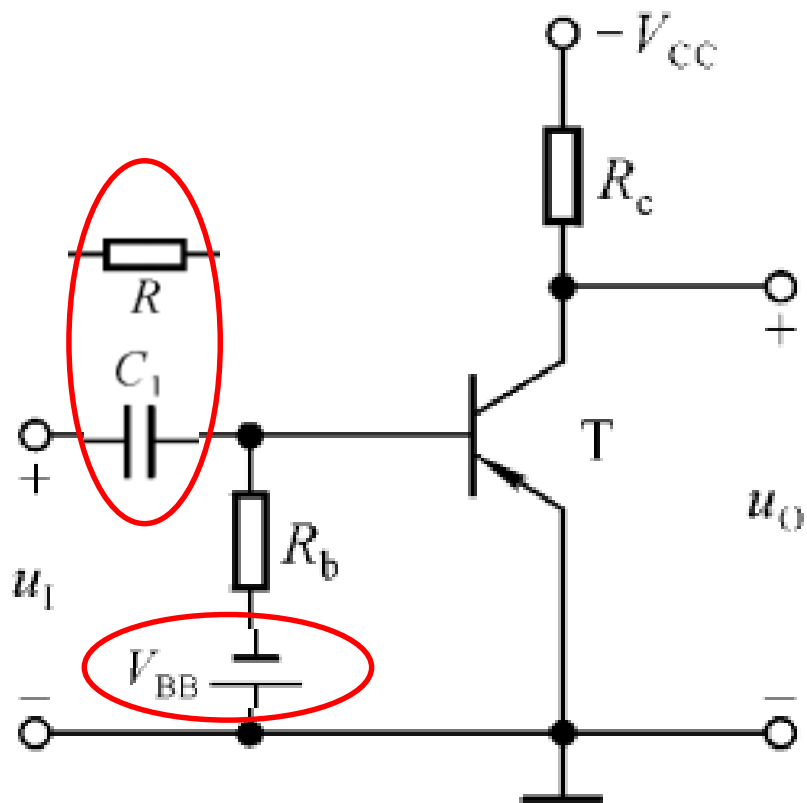


(b)

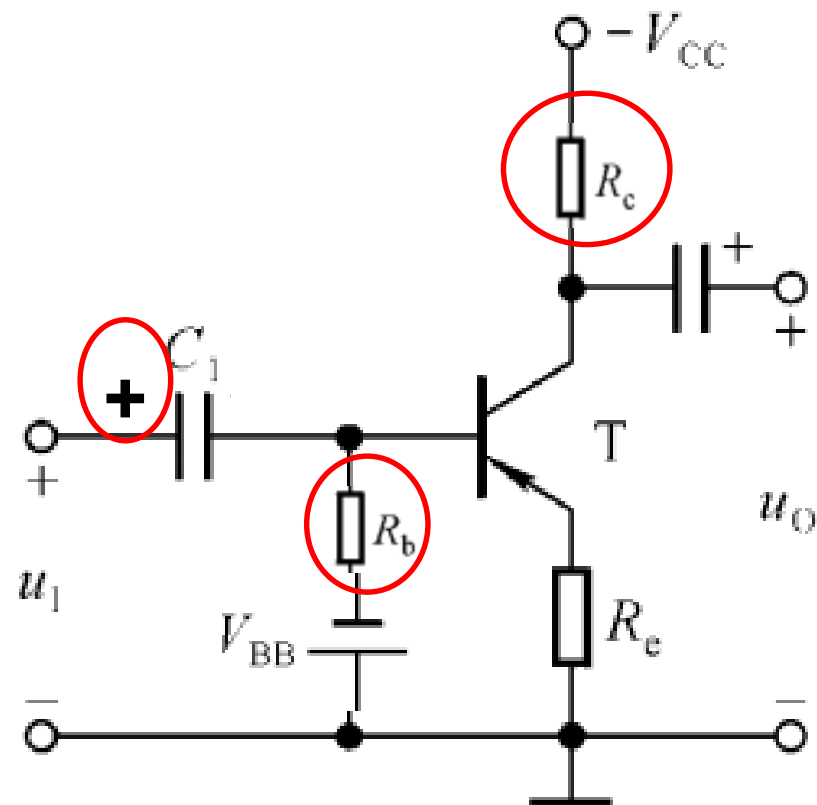


NPN型:  $u_C > u_B > u_E$

PNP型:  $u_C < u_B < u_E$



(c)



(d)

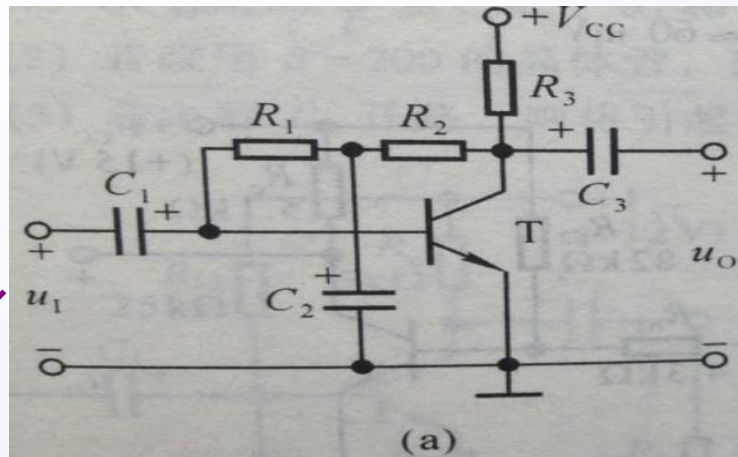


**2.2** 画出图 P2.2 示各电路的直流通路和交流通路。设所有电容对交流信号均可视为短路。

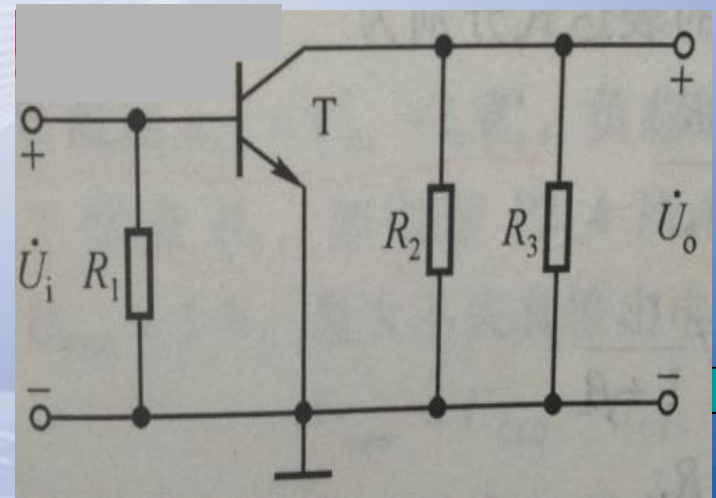
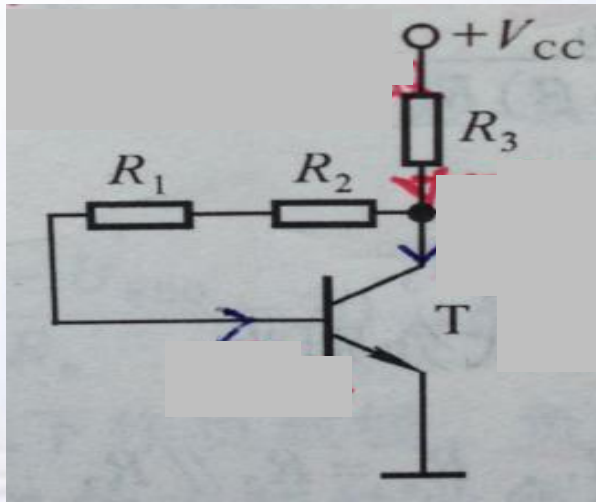
将电路中电容开路、变压器线圈短路，信号源置零，可得**直流通路**；

将电路中电容和直流电源置零，可得**交流通路**。

**直流通路**



**交流通路**

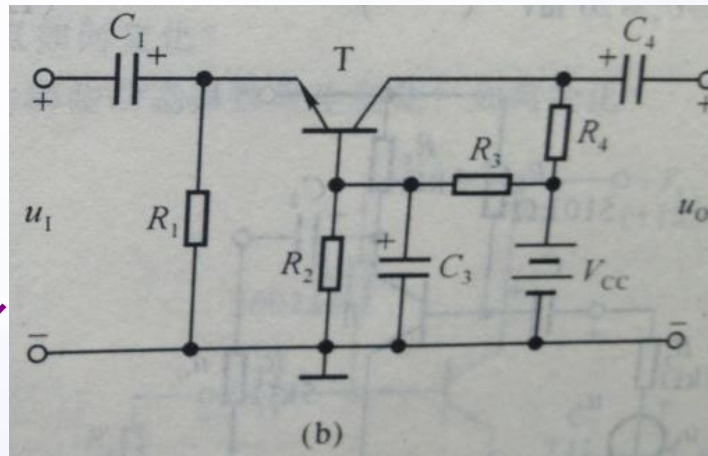


**2.2** 画出图 P2.2 示各电路的直流通路和交流通路。设所有电容对交流信号均可视为短路。

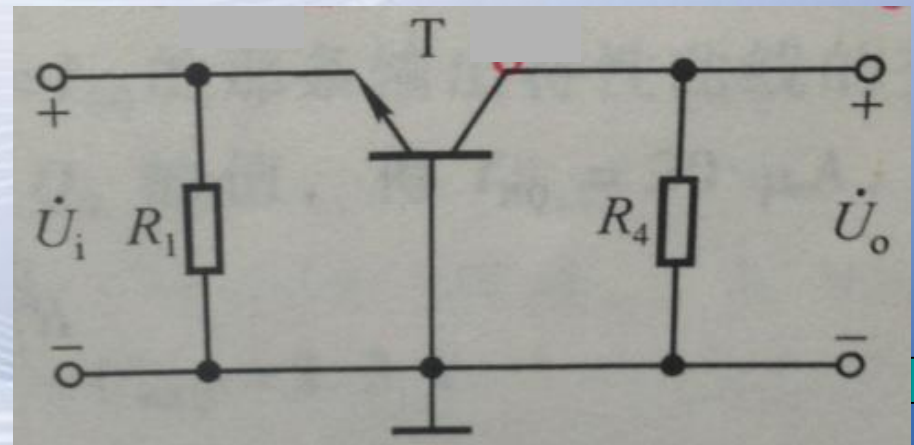
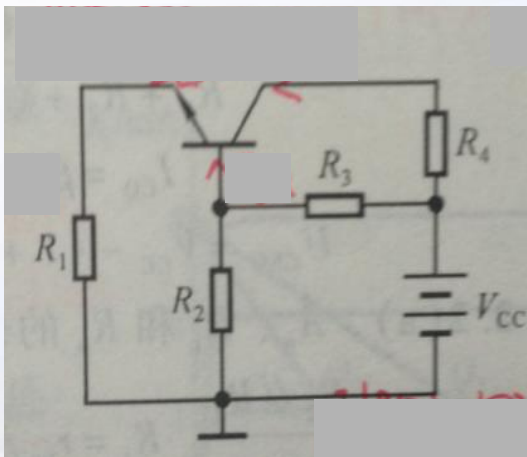
将电路中电容开路、变压器线圈短路，信号源置零，可得**直流通路**；

将电路中电容和直流电源置零，可得**交流通路**。

**直流通路**



**交流通路**

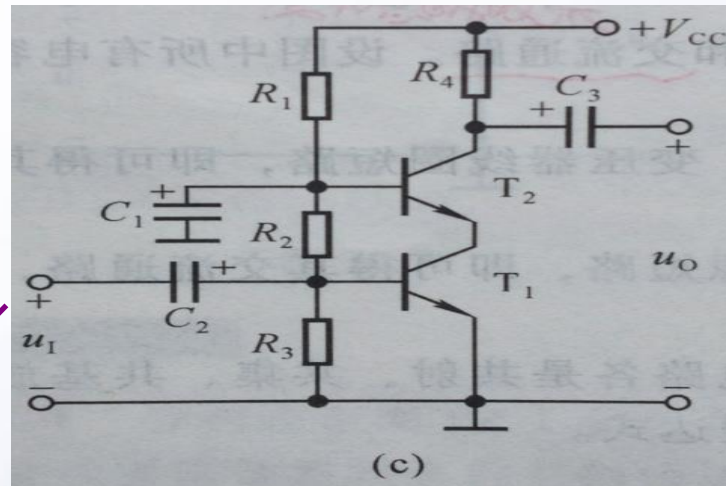
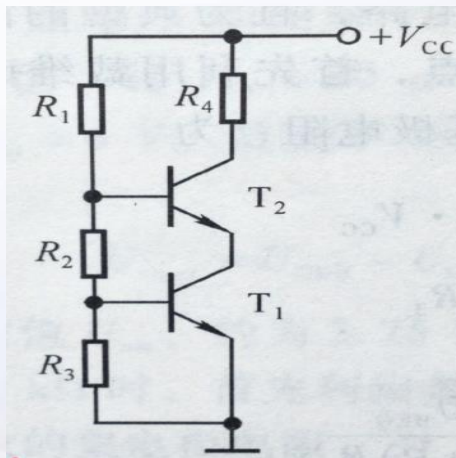


## 2.2 画出图 P2.2 示各电路的直流通路和交流通路。设所有电容对交流信号均可视为短路。

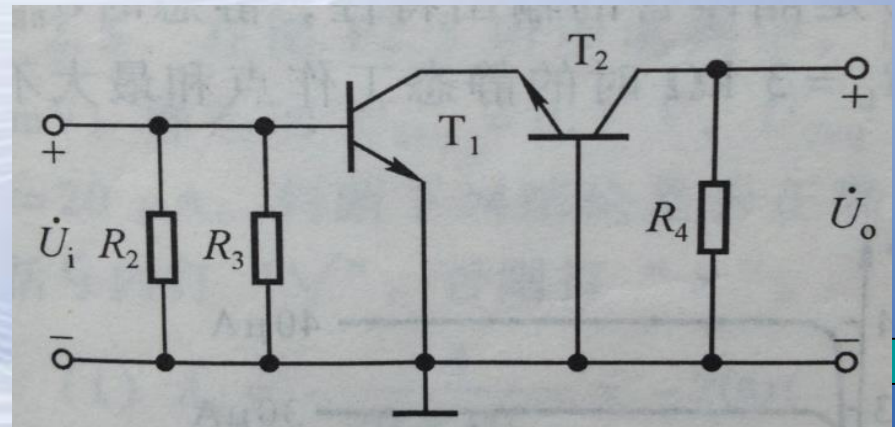
将电路中电容开路、变压器线圈短路，信号源置零，可得直流通路；

将电路中电容和直流电源置零，可得交流通路。

直流通路



交流通路



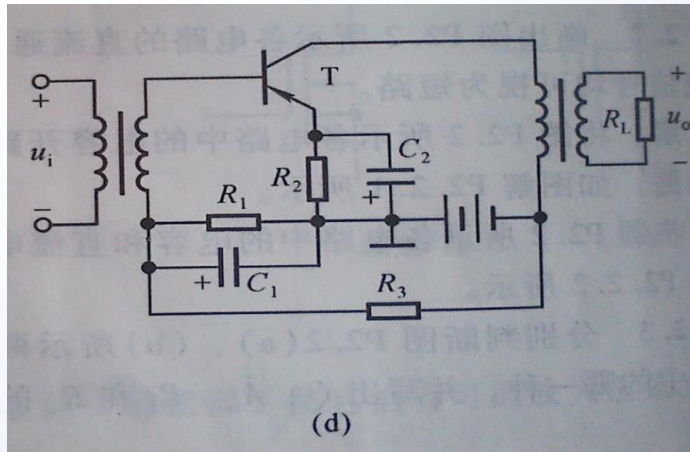


**2.2** 画出图 P2.2 示各电路的直流通路和交流通路。设所有电容对交流信号均可视为短路。

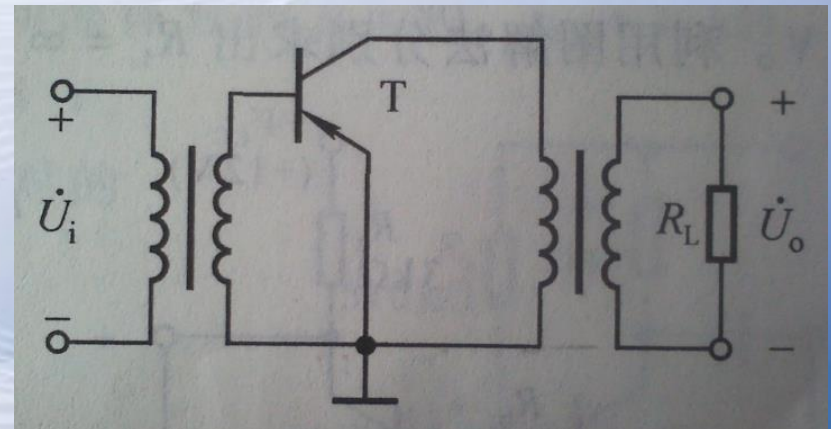
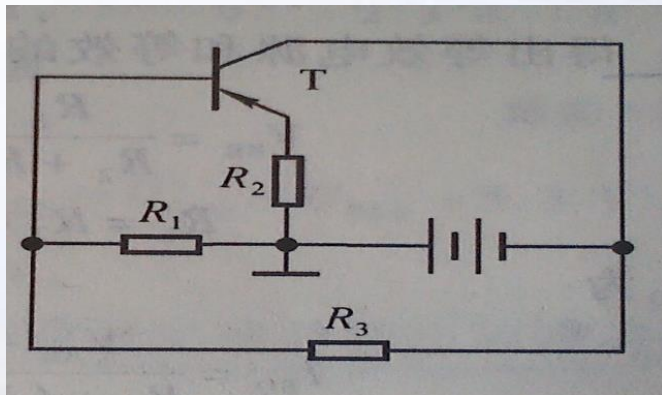
将电路中电容开路、变压器线圈置零，信号源短路，可得**直流通路**；

将电路中电容和直流电源置零，可得**交流通路**。

**直流通路**

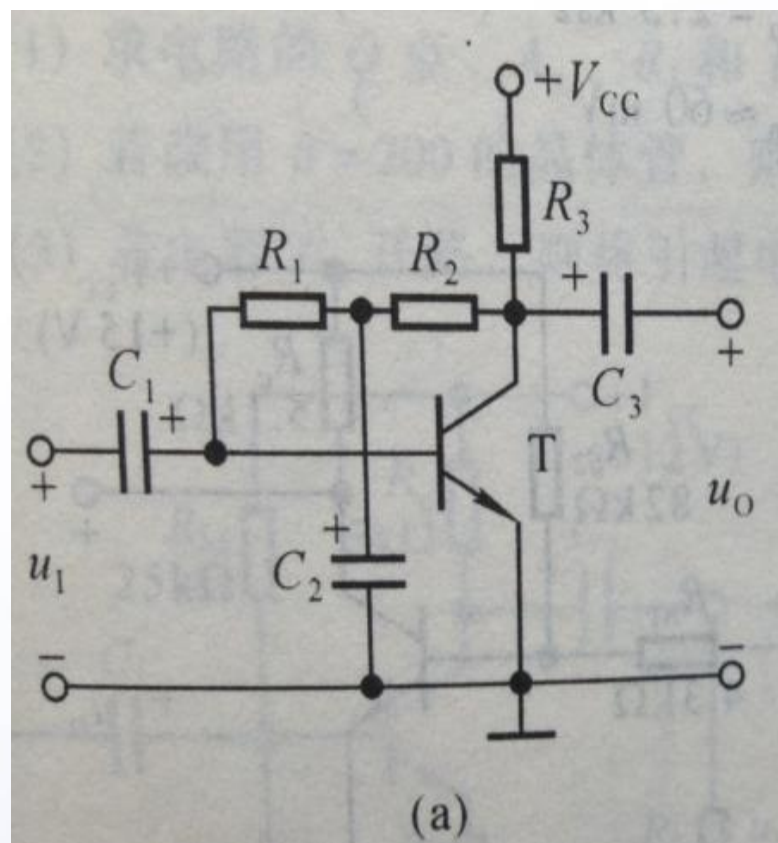


**交流通路**

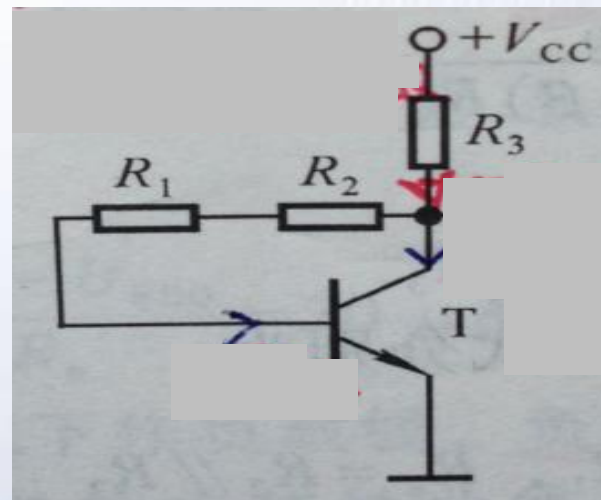


## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



直流  
通路



共射放大电路





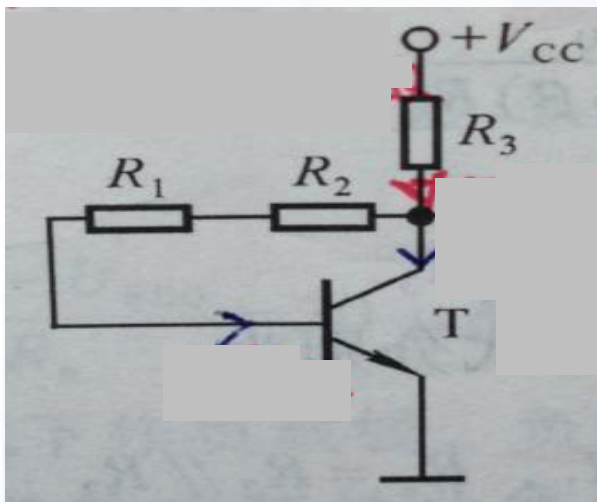
## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。

**Q点:**  $I_{BQ}$ 、 $U_{CEQ}$

$$V_{CC} - (1 + \beta)I_{BQ}R_3 - (R_1 + R_2)I_{BQ} - U_{BEQ} = 0$$

**直流通路**



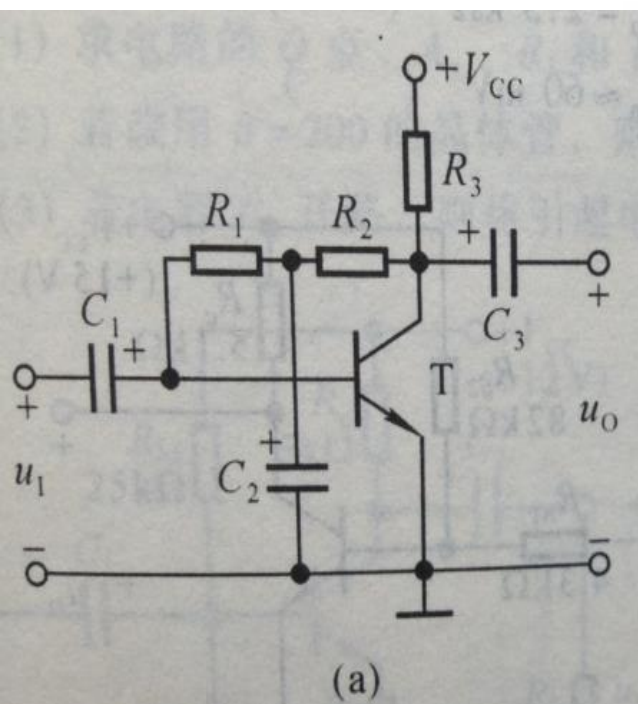
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{(1 + \beta)R_3 + R_1 + R_2}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - (1 + \beta)I_{BQ}R_3$$

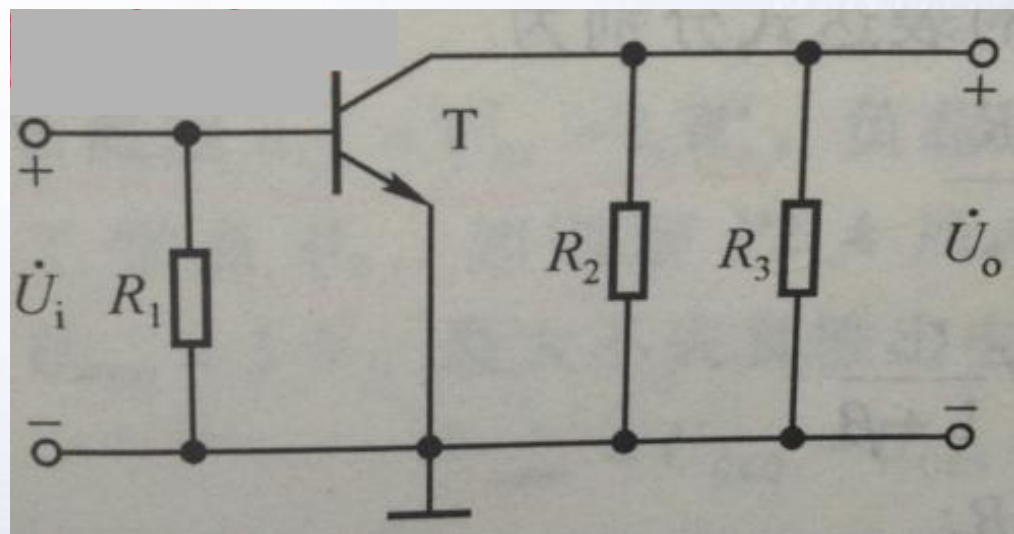


## 2.3

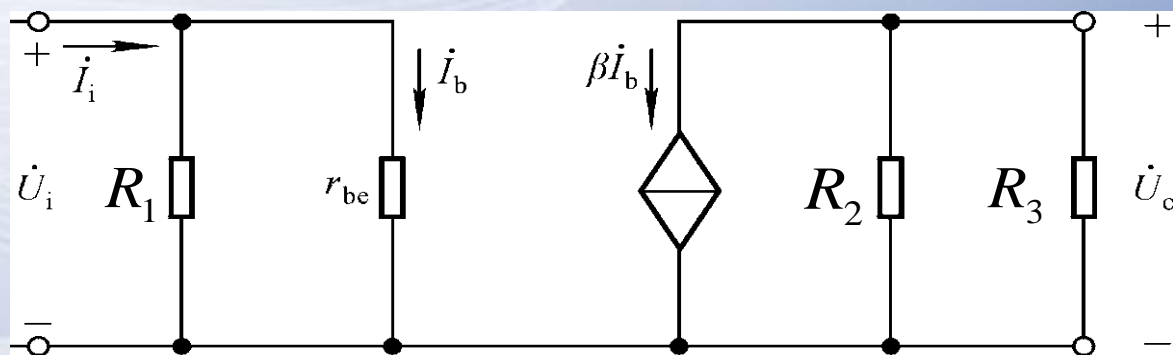
分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



### 交流通路



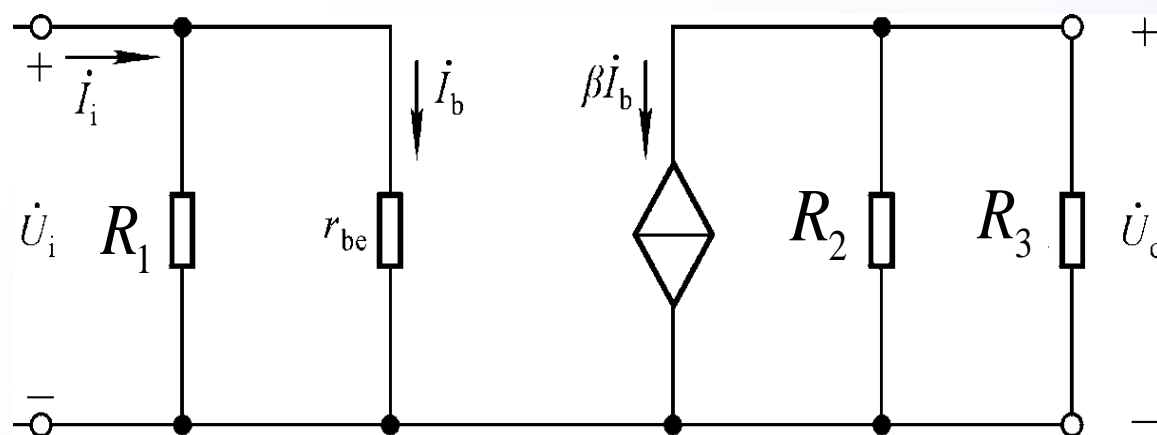
### 交流等效电路



## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。

### 交流等效电路



$$\begin{aligned}\dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \\ &= \frac{-\beta I_b (R_2 \parallel R_3)}{I_b r_{be}} \\ &= -\beta \frac{R_2 \parallel R_3}{r_{be}}\end{aligned}$$

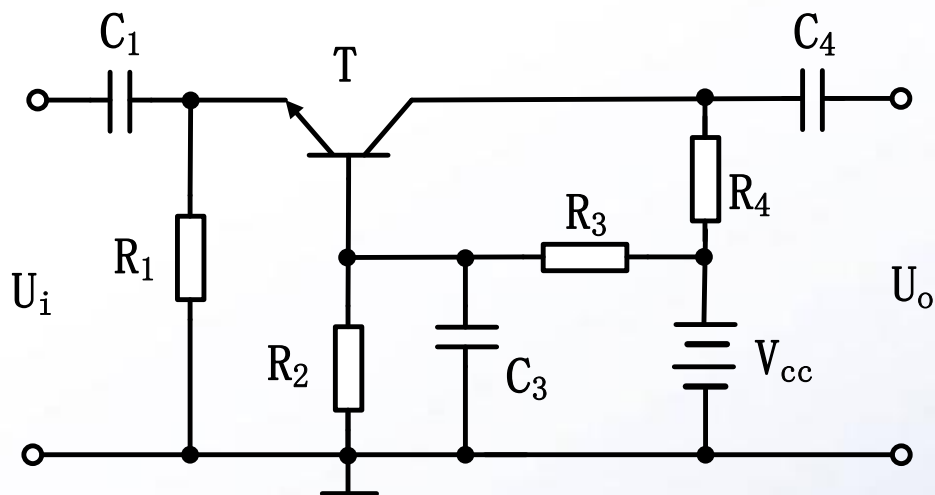
$$R_i = r_{be} \parallel R_1$$

$$R_o = R_2 \parallel R_3$$

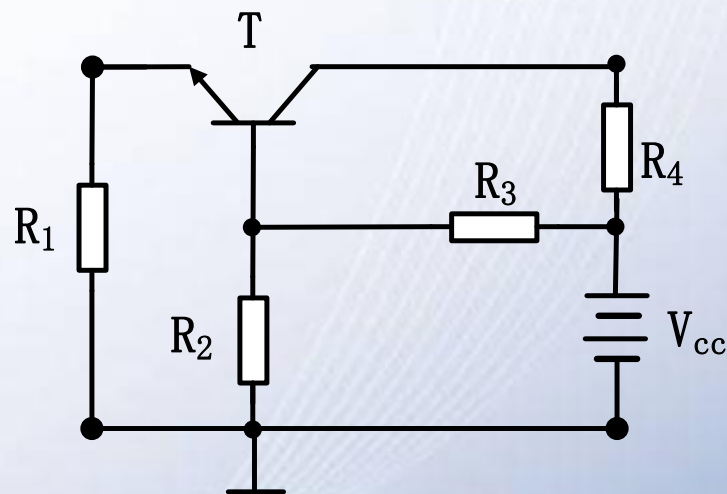


## 2.3

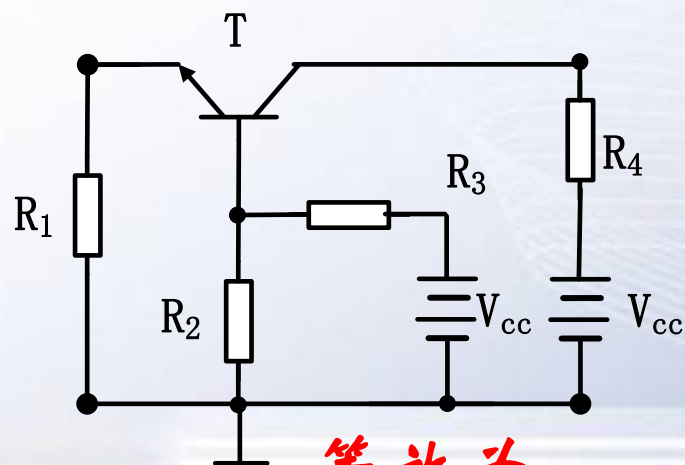
分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



直流  
通路

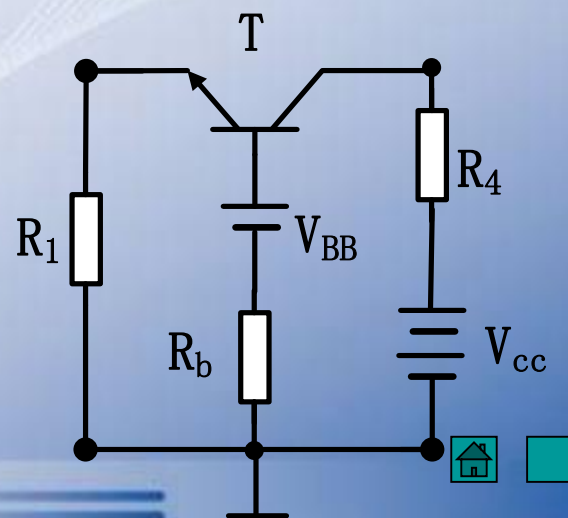


共基放大电路



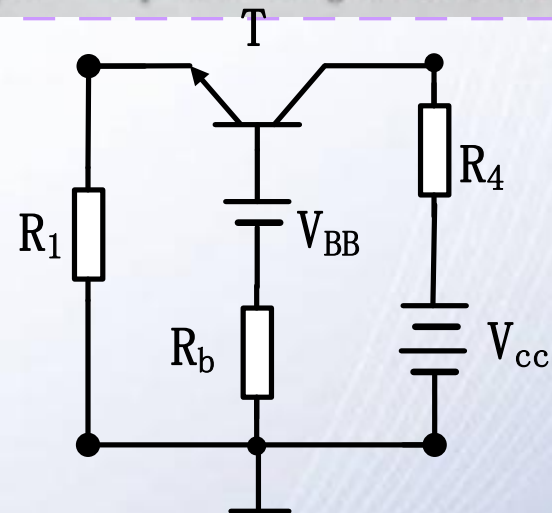
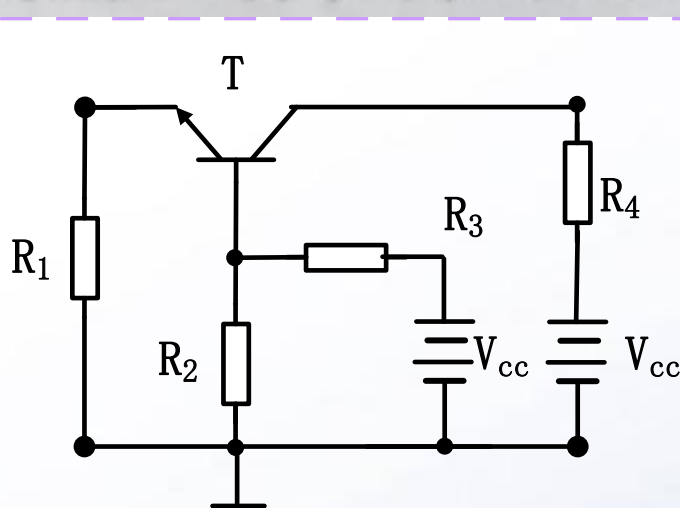
等效为

对直流通路，利用戴维南定理进行等效变换，得到等效的电源和基极电阻

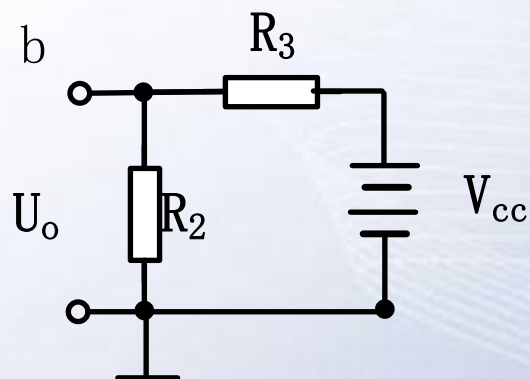


## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



等效变换后的直流通路



$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot V_{CC}$$

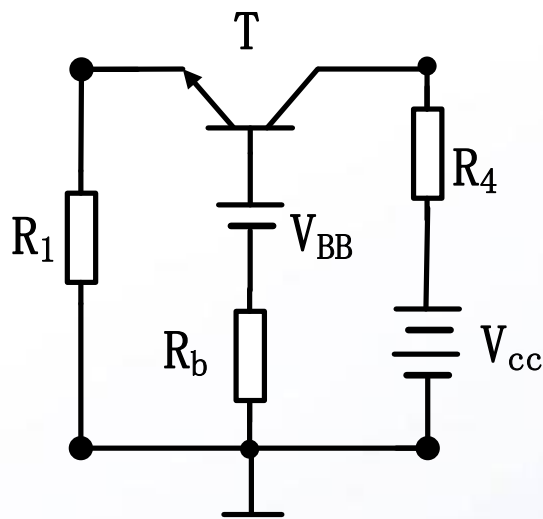
$$R_b = R_2 // R_3$$





## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



$$-V_{BB} + U_{BEQ} + (1 + \beta)I_{BQ}R_1 + R_b I_{BQ} = 0$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{(1 + \beta)R_1 + R_b}$$

$$U_C = V_{cc} - \beta I_{BQ} R_4$$

Q点:

$$U_E = (1 + \beta)I_{BQ}R_1$$

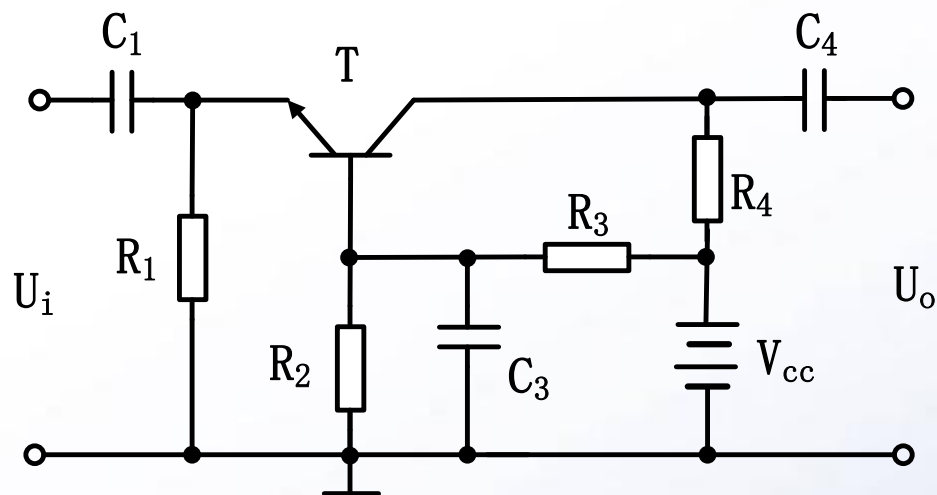
$$\begin{aligned} U_{CEQ} &= U_C - U_E = V_{cc} - \beta I_{BQ} R_4 - (1 + \beta)I_{BQ} R_1 \\ &= V_{cc} - (R_4 + R_1)\beta I_{BQ} - I_{BQ} R_1 \end{aligned}$$

$$U_{CEQ} \approx V_{cc} - \beta I_{BQ} (R_4 + R_1)$$

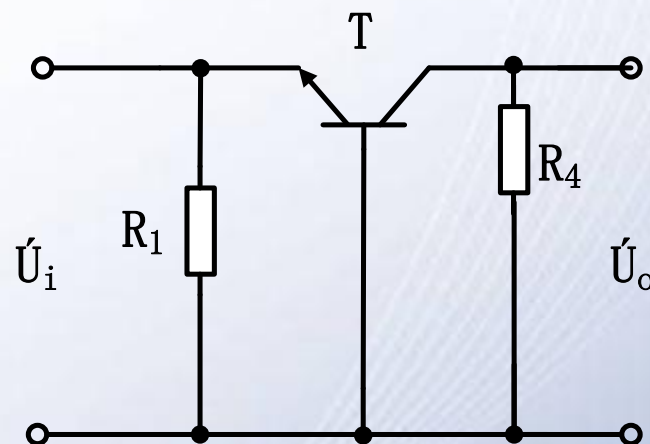


## 2.3

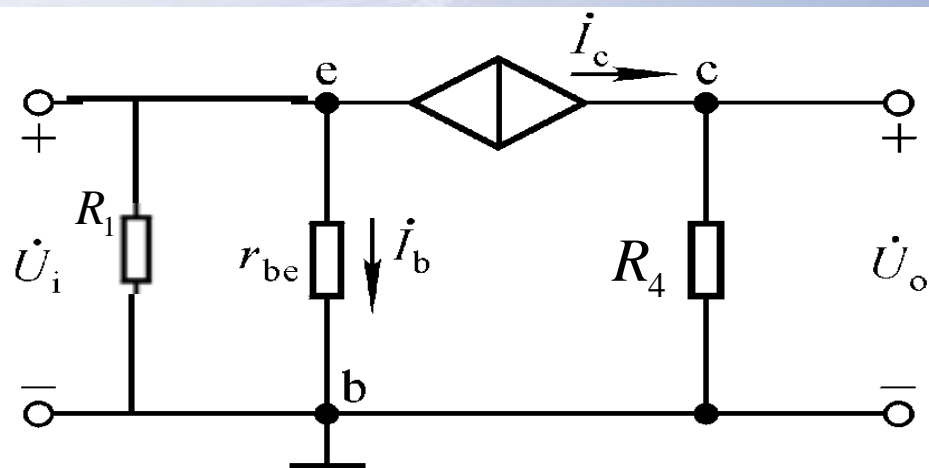
分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。



交流通路



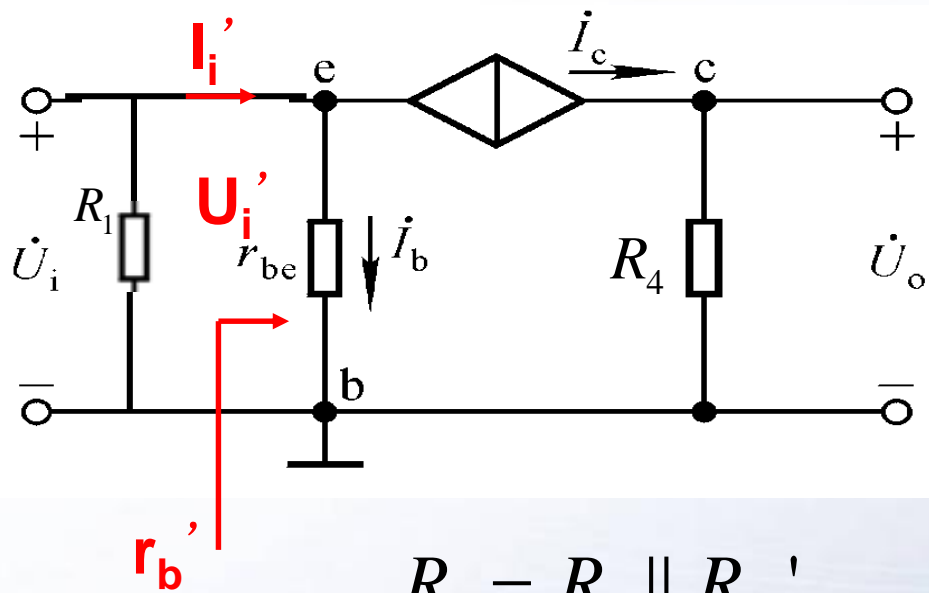
交流等效电路



## 2.3

分别判断图 P2.2(a)、(b) 所示两电路各是共射、共集、共基放大电路中的哪一种，并写出  $Q$ 、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。

### 交流等效电路



$$R_i = R_1 \parallel R_b'$$

$$R_b' = \frac{\dot{U}_i'}{\dot{I}_i'} = \frac{\dot{I}_b r_{be}}{\dot{I}_b + \dot{I}_b \beta} = \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

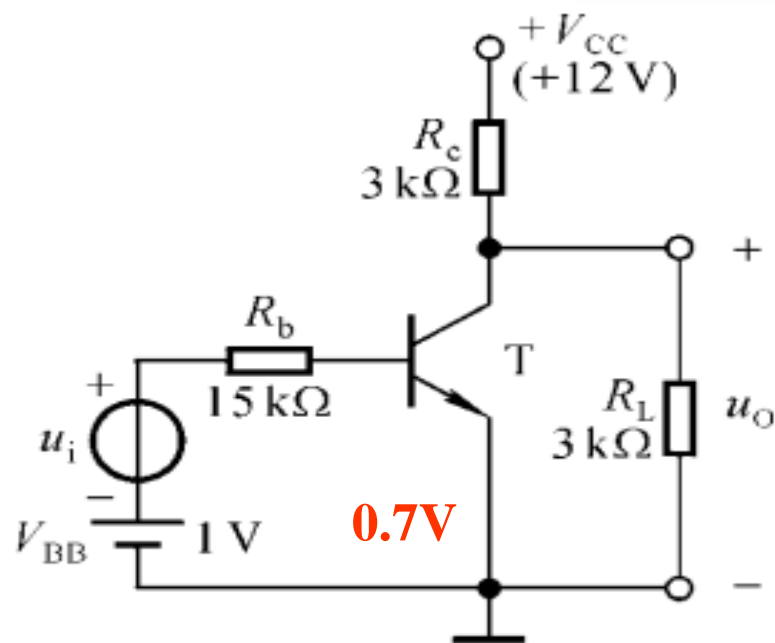
$$\begin{aligned} A_u &= \frac{U_u}{U_i} \\ &= \frac{\beta I_b R_4}{I_b r_{be}} = \frac{\beta R_4}{r_{be}} \end{aligned}$$

$$R_i = R_1 \parallel \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

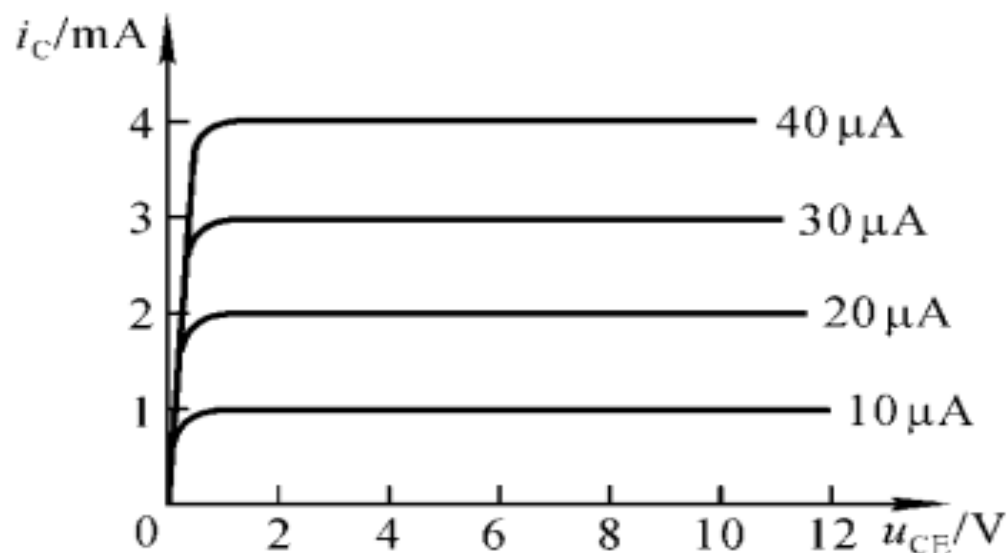
$$R_o = R_4$$



2.4 电路如图 P2.4 (a) 所示, 图 (b) 是晶体管的输出特性, 静态时  $U_{BEQ} = 0.7V$ 。利用图解法分别求出  $R_L = \infty$  和  $R_L = 3k\Omega$  时的静态工作点和最大不失真输出电压  $U_{om}$  (有效值)。



(a)



(b)

令  $u_i = 0$ , 列晶体管输入回路方程, 估算静态基极电流:

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} = 20\mu A \quad \text{则} \quad I_{CQ} = 2mA$$

2.4 电路如图 P2.4 (a) 所示, 图 (b) 是晶体管的输出特性, 静态时  $U_{BEQ} = 0.7V$ 。利用图解法分别求出  $R_L = \infty$  和  $R_L = 3k\Omega$  时的静态工作点和最大不失真输出电压  $U_{om}$  (有效值)。

1.  $R_L = \infty$ , 即空载时 **Q点:**  $I_{BQ} = 20\mu A$

列晶体管输出回路方程:

$$I_{CQ} = 2mA$$

$$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c = 12 - i_C \times 3k\Omega$$

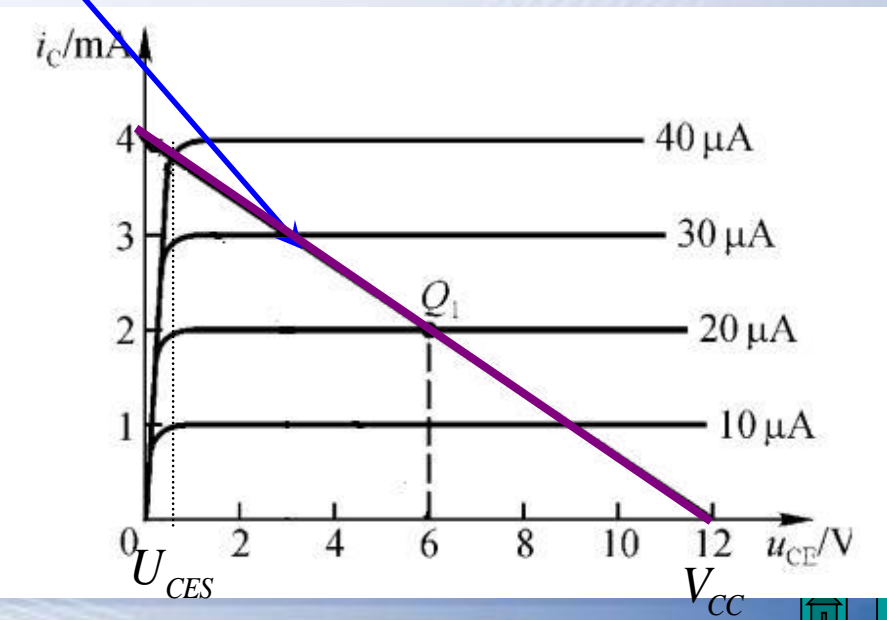
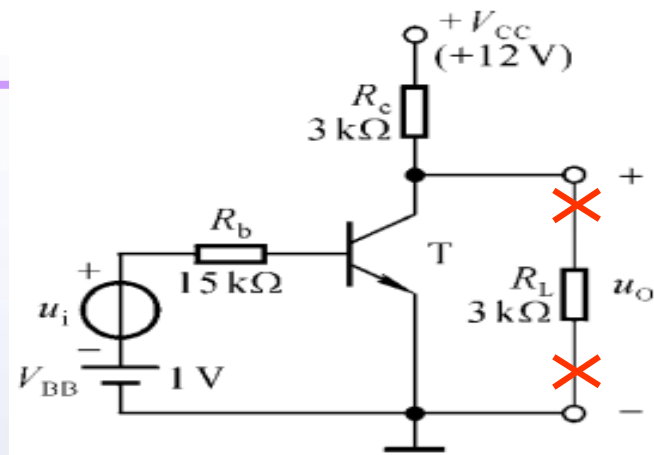
由于  $I_{CQ} = 2mA$ , 则  $U_{CEQ} = 6V$

**最大不失真输出电压:**

$$U_{CEQ} - U_{CES} \approx 6 - 0.7 = 5.3V$$

$$V_{CC} - U_{CEQ} = 6V$$

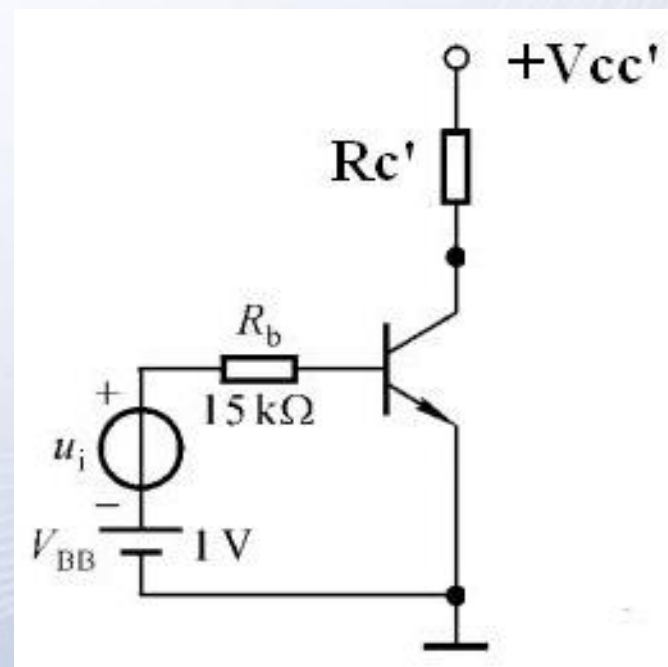
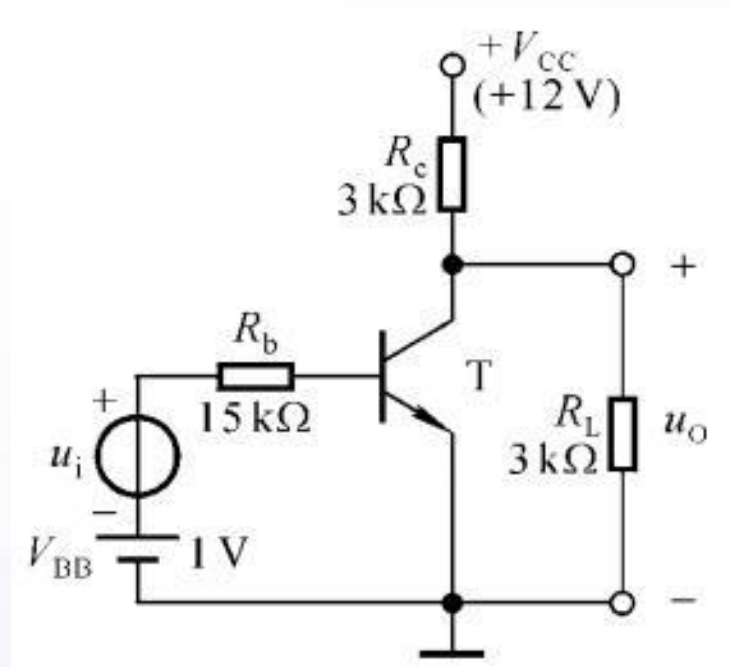
$$U_{om} = \frac{U_{CEQ} - U_{CES}}{\sqrt{2}} = \frac{5.3}{\sqrt{2}} \approx 3.75V$$





2.4 电路如图 P2.4 (a) 所示, 图 (b) 是晶体管的输出特性, 静态时  $U_{BEQ} = 0.7V$ 。利用图解法分别求出  $R_L = \infty$  和  $R_L = 3k\Omega$  时的静态工作点和最大不失真输出电压  $U_{om}$  (有效值)。

2.  $R_L = 3k\Omega$  时, 利用戴维南定理对输出回路进行等效变换



$$V'_{CC} = \frac{R_L}{R_L + R_C} \times V_{CC} = 6V$$

$$R'_C = R_L // R_C = 1.5k\Omega$$

2.4 电路如图 P2.4 (a) 所示, 图 (b) 是晶体管的输出特性, 静态时  $U_{BEQ} = 0.7V$ 。利用图解法分别求出  $R_L = \infty$  和  $R_L = 3k\Omega$  时的静态工作点和最大不失真输出电压  $U_{om}$  (有效值)。

列晶体管输出回路方程:

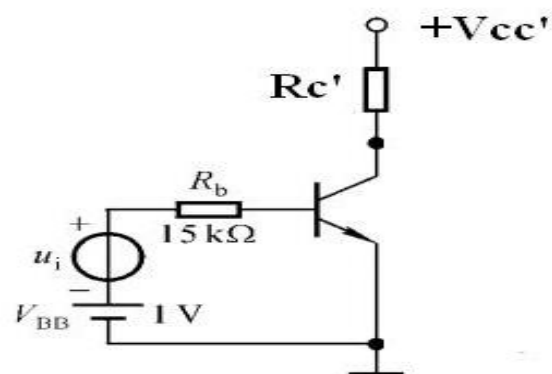
Q点:

$$I_{BQ} = 20\mu A$$

$$I_{CQ} = 2mA$$

$$u_{CE} = V_{CC}' - i_C R_C' = 6 - i_C \times 1.5k\Omega$$

$$u_{CEQ} = 3V$$

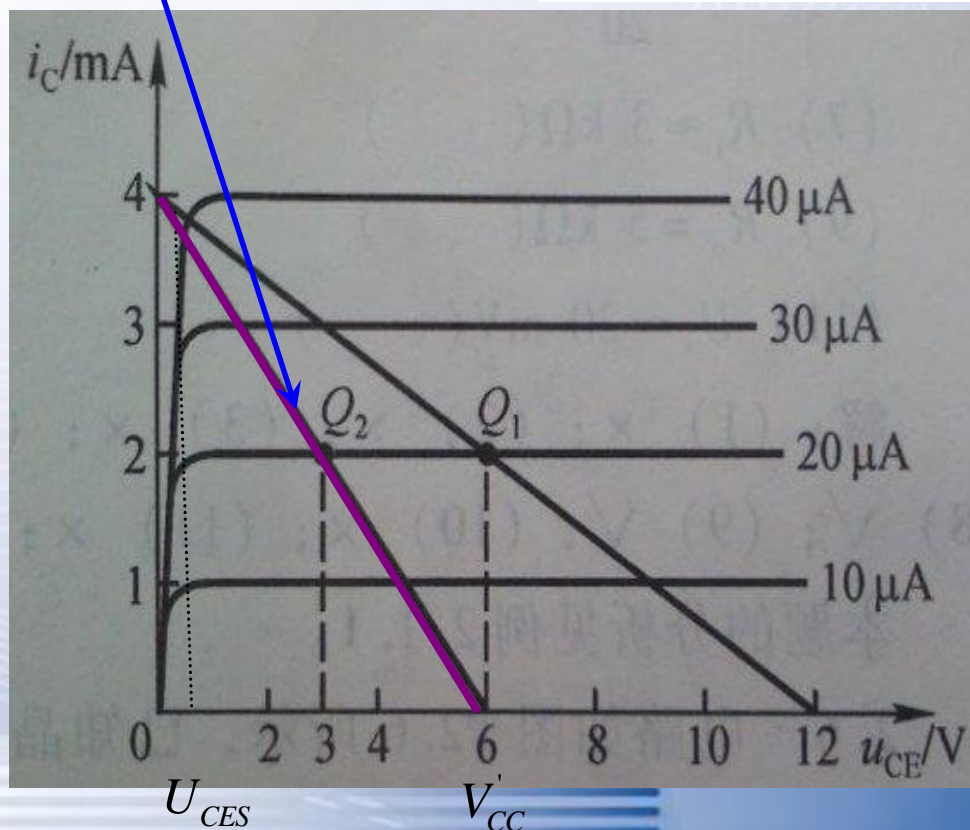


最大不失真输出电压:

$$U_{CEQ} - U_{CES} < V_{CC}' - U_{CEQ}$$

$$U_{omax} = U_{CEQ} - U_{CES} = 3 - 0.7 = 2.3V$$

$$U_{om} = \frac{U_{omax}}{\sqrt{2}} \approx 1.63V$$



2.6 电路如图 P2.6 所示，已知晶体管  $\beta=120$ ，在下列情况下，用直流电压表测晶体管的集电极电位，应分别为多少？设  $V_{CC}=15V$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

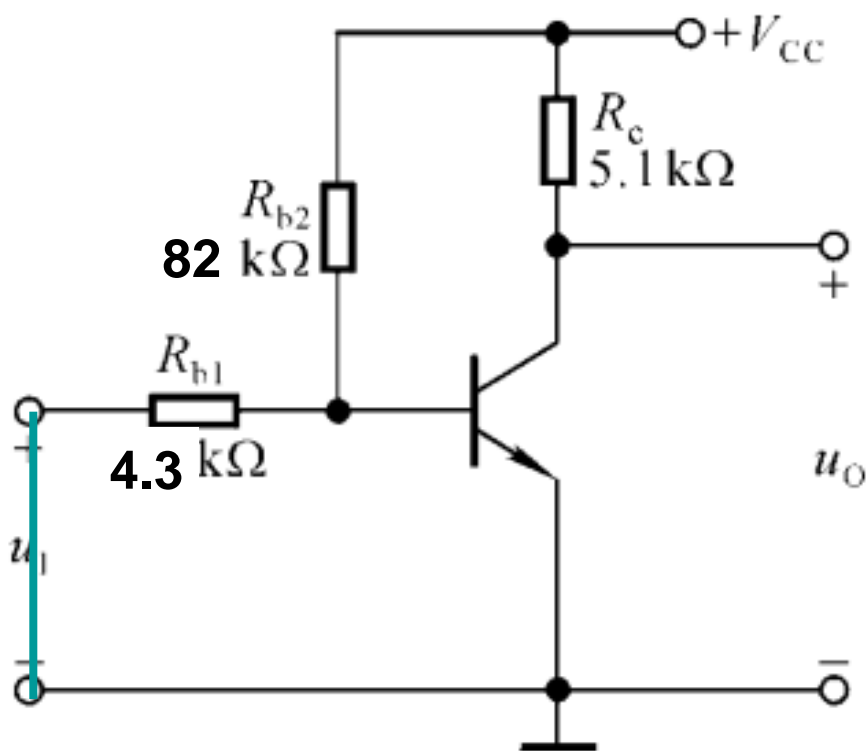
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



直流电压表测的为静态电位，故令  $U_i=0$

$$(1) \quad I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} - \frac{U_{BE}}{R_{b1}} = 0.0116\text{mA}$$

假设三极管工作在放大状态，则

$$U_C = V_{CC} - I_C R_C \approx 7.9V > U_{ces}$$

说明三极管的确在放大状态

$$U_C \approx 7.9V$$



2.6 电路如图 P2.6 所示, 已知晶体管  $\beta=120$ , 在下列情况下, 用直流电压表测晶体管的集电极电位, 应分别为多少? 设  $V_{CC}=15V$ , 晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ,  $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

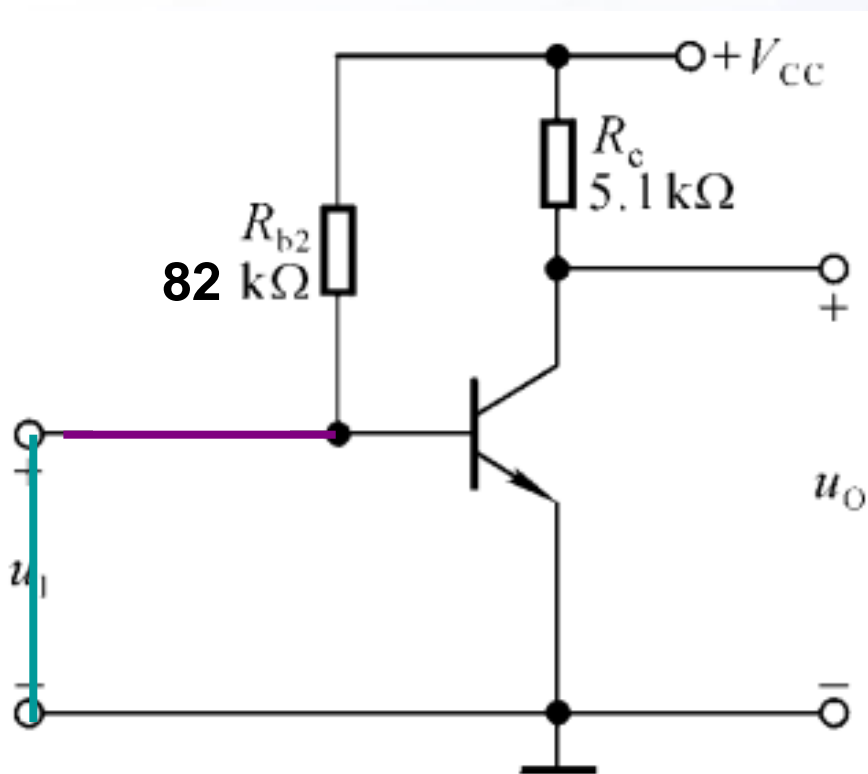
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



令  $U_i=0$

(2) 由于  $U_{BE}=0V$ , T 截止

$$U_C = 15V$$

2.6 电路如图 P2.6 所示，已知晶体管  $\beta=120$ ，在下列情况下，用直流电压表测晶体管的集电极电位，应分别为多少？设  $V_{CC}=15V$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

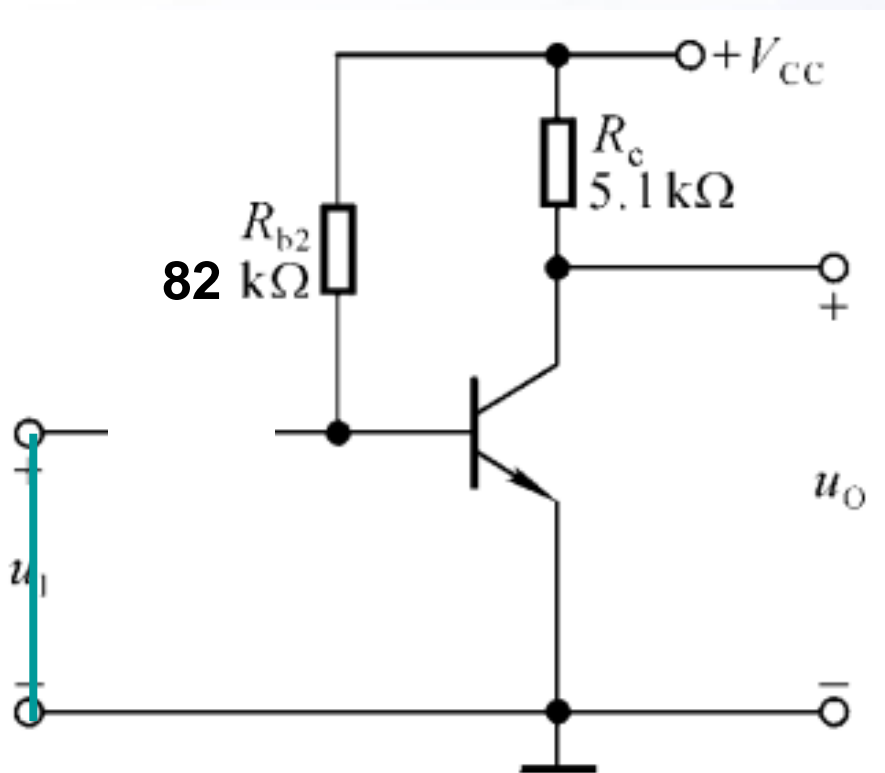
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



令  $U_i=0$

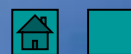
$$(3) \quad I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_{b2}} \approx 0.174mA$$

假设三极管工作在放大状态，则

$$U_C = V_{CC} - R_C I_C \approx -91.5V < 0$$

说明三极管工作在饱和状态

$$U_C = U_{CES} = 0.5V$$





2.6 电路如图 P2.6 所示，已知晶体管  $\beta=120$ ，在下列情况下，用直流电压表测晶体管的集电极电位，应分别为多少？设  $V_{CC}=15V$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

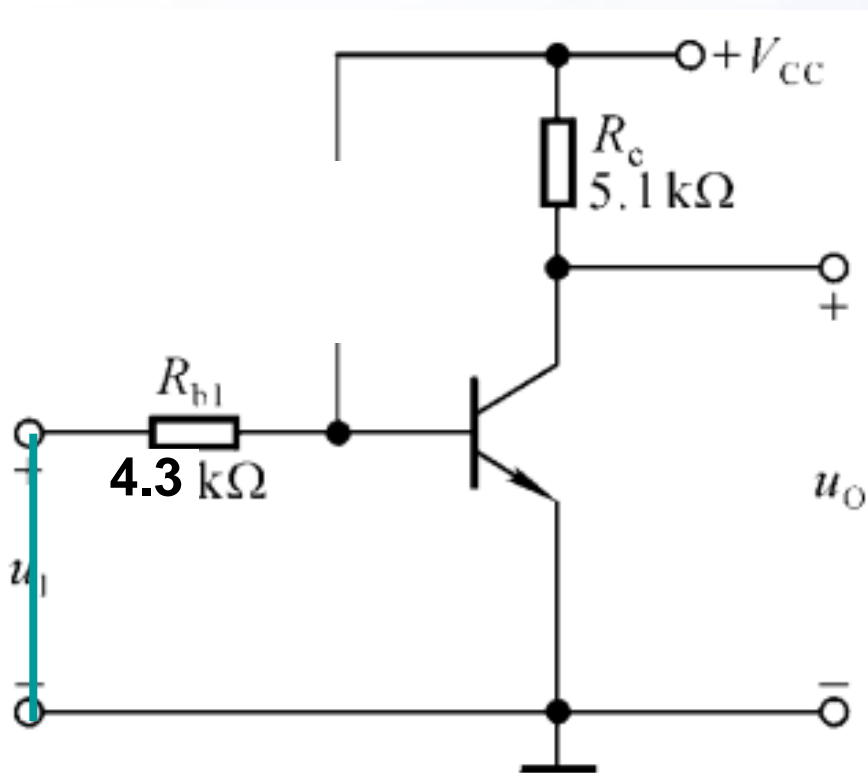
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



令  $U_i=0$

(4)

由于  $U_{BE}=0V$ ，T 截止

$$U_C = 15V$$

2.6 电路如图 P2.6 所示，已知晶体管  $\beta=120$ ，在下列情况下，用直流电压表测晶体管的集电极电位，应分别为多少？设  $V_{CC}=15V$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

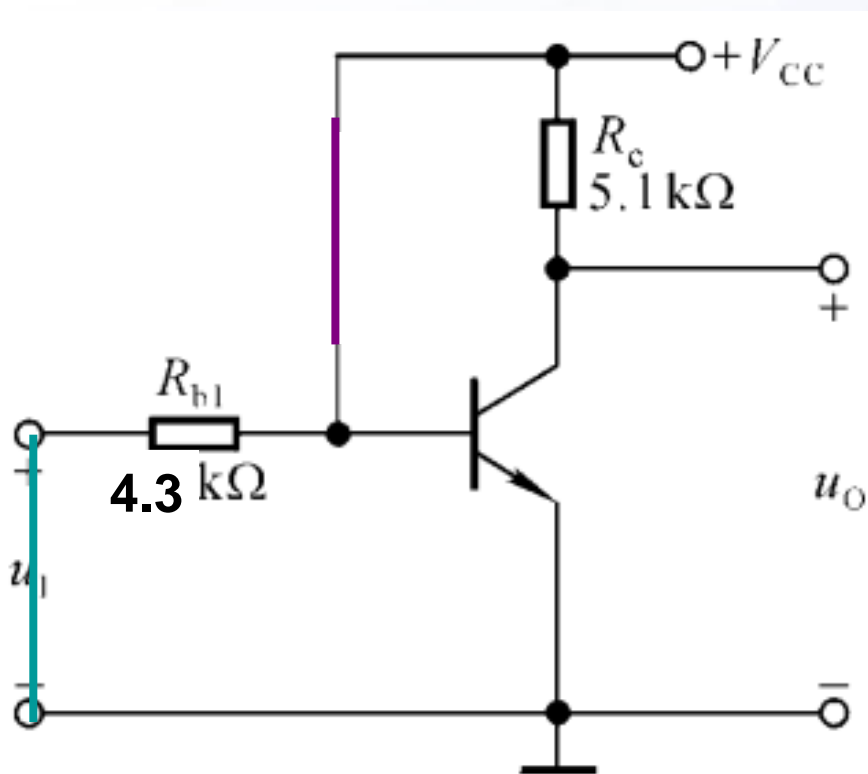
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



令  $U_i=0$

(5)

T 烧毁

2.6 电路如图 P2.6 所示，已知晶体管  $\beta=120$ ，在下列情况下，用直流电压表测晶体管的集电极电位，应分别为多少？设  $V_{CC}=15V$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.5V$ ， $U_{BE}=0.7V$ 。

(1) 正常情况

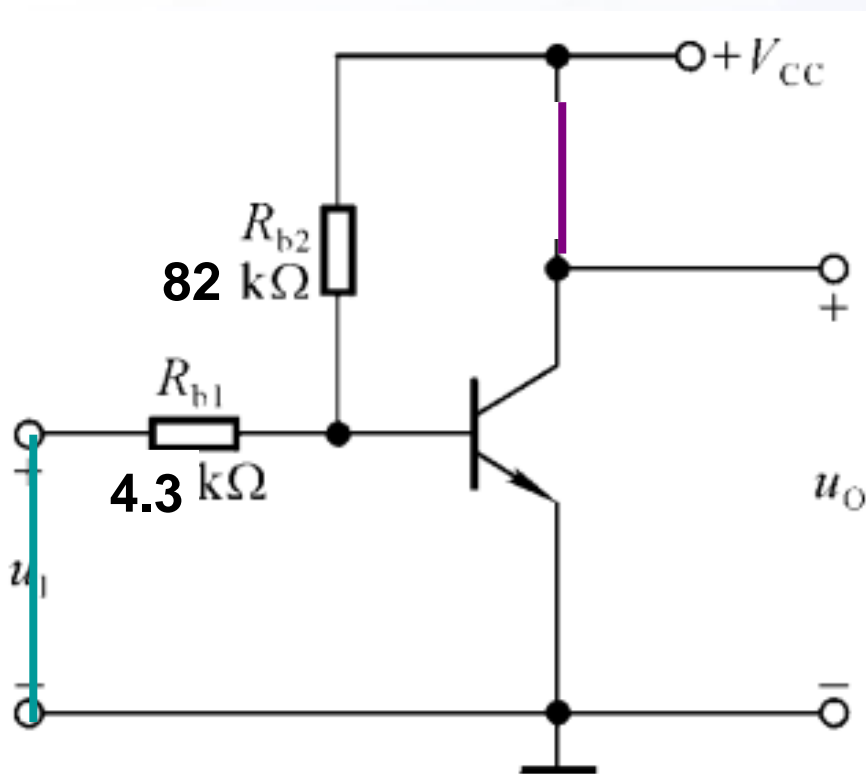
(2)  $R_{b1}$  短路

(3)  $R_{b1}$  开路

(4)  $R_{b2}$  开路

(5)  $R_{b2}$  短路

(6)  $R_C$  短路



令  $U_i=0$

(6)

由于集电极直接接直流电源，

$$U_C = 15V$$

## 2.9 已知图 P2.9 所示电路中晶体管的 $\beta = 100$ , $r_{be} = 1.4 \text{ k}\Omega$

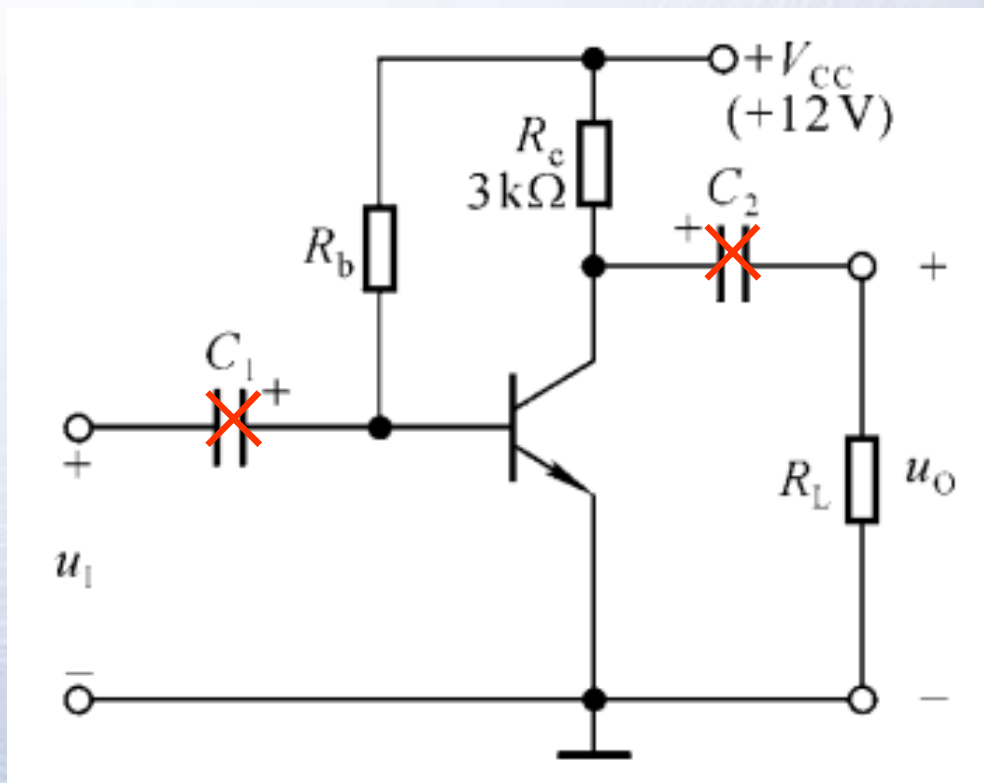
- (1) 现已测得静态管压降  $U_{CEQ} = 6\text{V}$ , 估算  $R_b$  约为多少千欧;
- (2) 若测得  $\dot{U}_i$  和  $\dot{U}_o$  的有效值分别为  $1\text{mV}$  和  $100\text{mV}$ , 则负载电阻  $R_L$  为多少千欧?

(1) 静态时,  $u_i = 0$

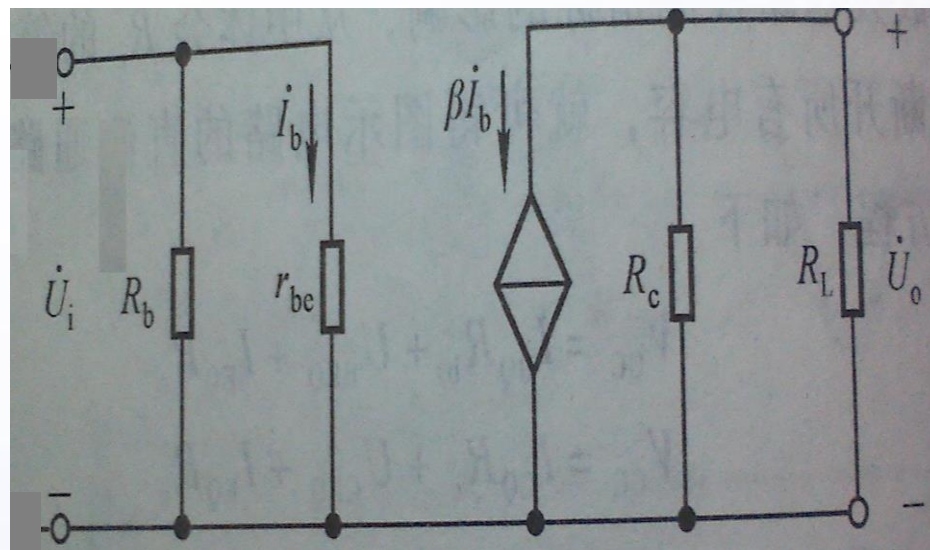
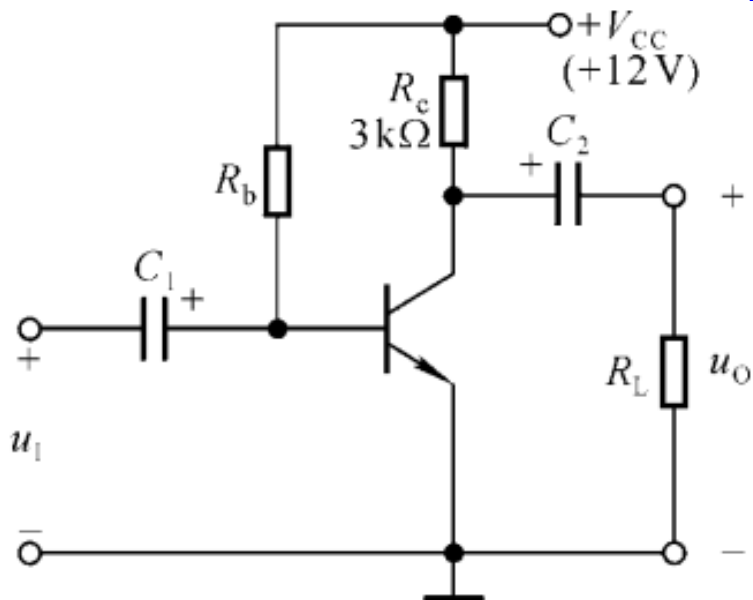
$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{R_C} = 2\text{mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 20\mu\text{A}$$

$$R_b = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{I_{BQ}} \approx 565\text{k}\Omega$$



## 交流等效电路



(2) 已知,  $\dot{A}_u = -\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -100$

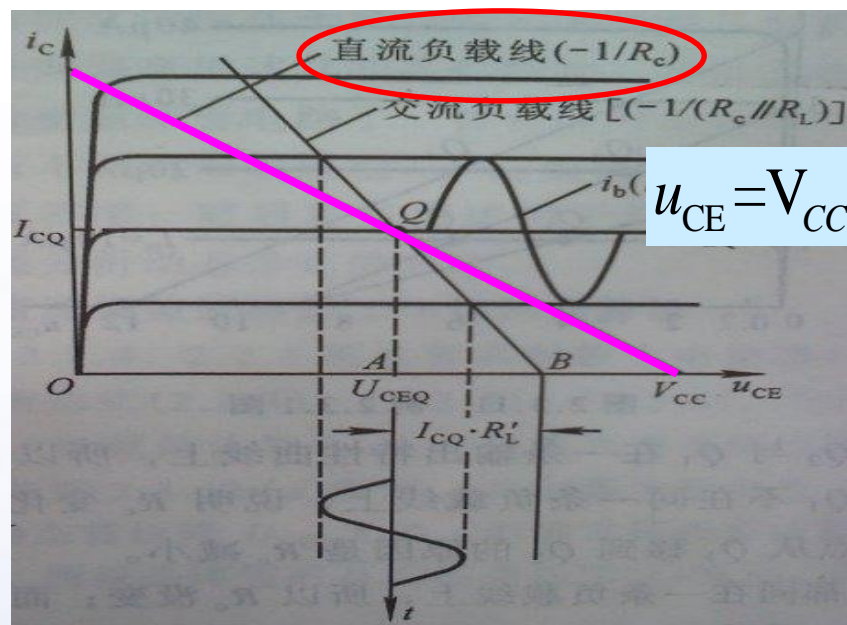
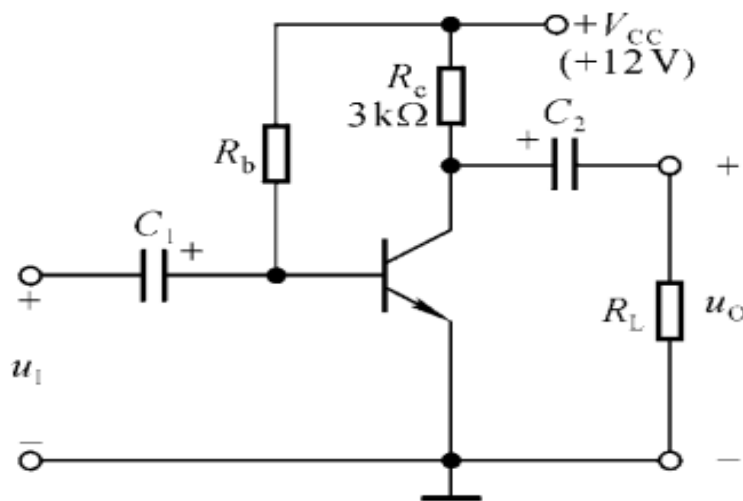
$$\dot{A}_u = \frac{-\beta \dot{I}_b (R_C // R_L)}{\dot{I}_b r_{be}} = -\frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} = -\frac{100 (R_C // R_L)}{1.4k\Omega} = -100$$

→  $R_C // R_L = 1.4k\Omega$ , 即  $\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{1.4}$

$$R_L \approx 2.6k\Omega$$



**2.10** 在图 P2.9 所示电路中，设静态时  $I_{CQ}=2\text{mA}$ ，晶体管饱和管压降  $U_{CES}=0.6\text{V}$ 。试问：当负载电阻  $R_L=\infty$  和  $R_L=3\text{k}\Omega$  时电路的最大不失真输出电压各为多少伏？



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

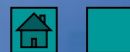
解：1. 由于  $I_{CQ}=2\text{mA}$ ，则  $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C = 6\text{V}$

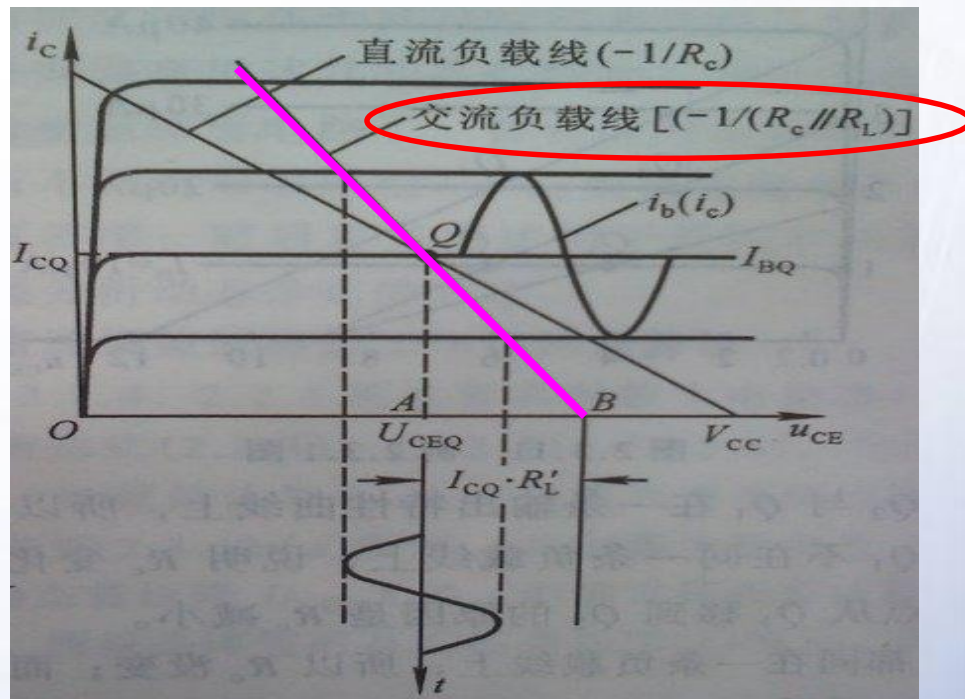
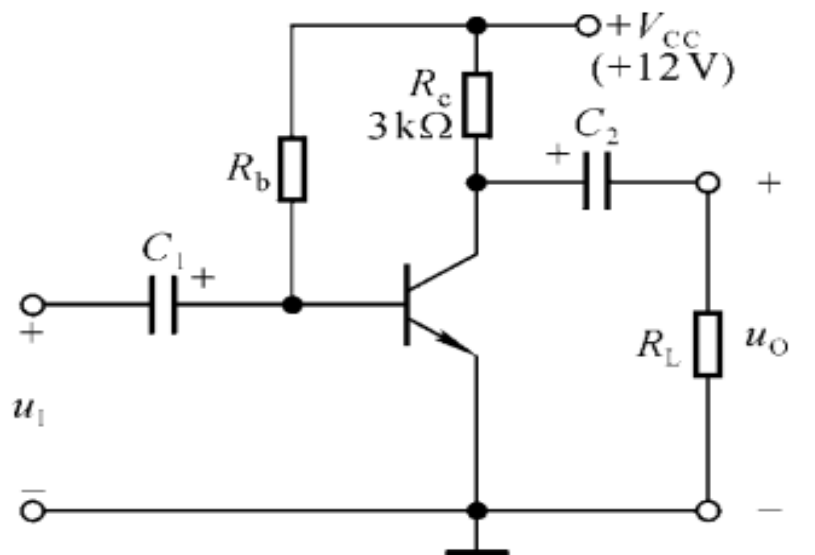
$R_L = \infty$  时，交流负载线和直流负载线重合

$$U_{CEQ} - U_{CES} = 5.4\text{V}, V_{CC} - U_{CEQ} = 6\text{V}$$

输入信号增大到一定幅值，电路首先出现饱和失真

$$U_{om} = \frac{U_{CEQ} - U_{CES}}{\sqrt{2}} = \frac{5.4}{\sqrt{2}} \approx 3.82\text{V}$$





2.  $R_L = 3k\Omega$ 时,

$$I_{CQ}(R_C // R_L) = 2mA \times (3k\Omega // 3k\Omega) = 3V$$

$$U_{CEQ} - U_{CES} = 5.4V, (U_{CEQ} - U_{CES}) > [I_{CQ}(R_C // R_L)]$$

当输入信号增大到一定幅值，电路首先出现截止失真

$$U_{om} = \frac{I_{CQ}(R_C // R_L)}{\sqrt{2}} \approx 2.12V$$

**2.11** 电路如图 P2.11 示, 晶体管的  $\beta=100$ ,  $r_{bb'}=100\ \Omega$ 。

(1) 求电路的  $Q$  点、 $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ ;

(2) 若改用  $\beta=200$  的晶体管, 则  $Q$  点如何变化?

(3) 若电容  $C_e$  开路, 将引起电路哪些动态参数发生变化? 如何变?

解: (1) 静态分析: 阻容耦合的  $Q$  点稳定电路

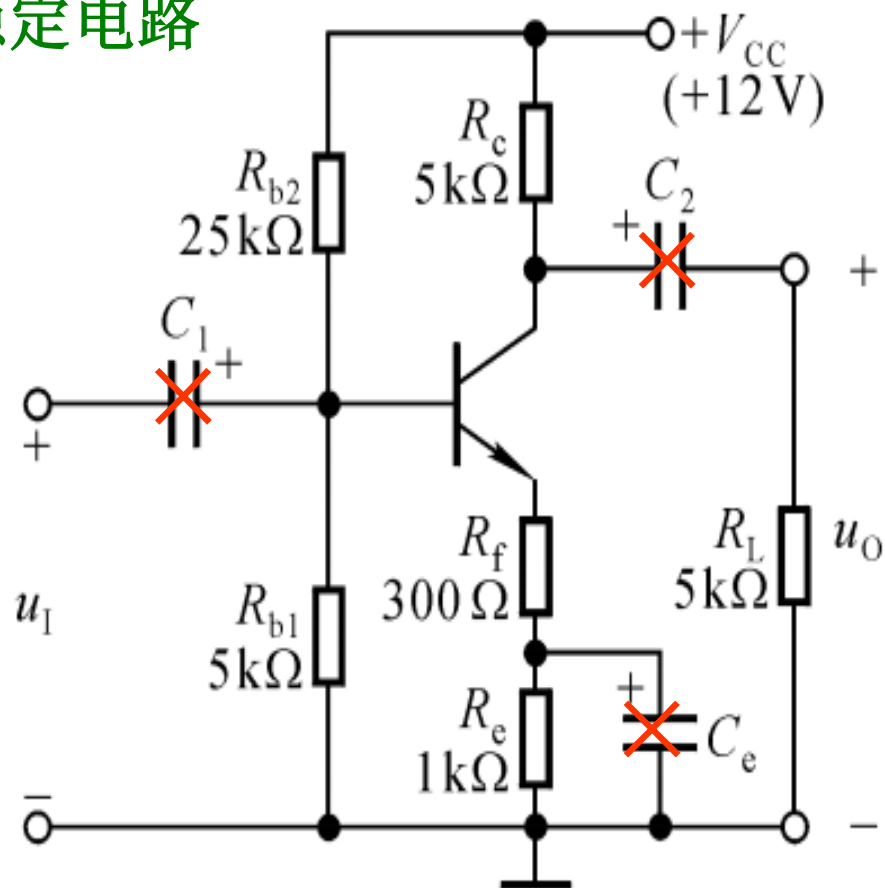
由于  $(1+\beta)(R_e + R_f) \gg (R_{b1} // R_{b2})$

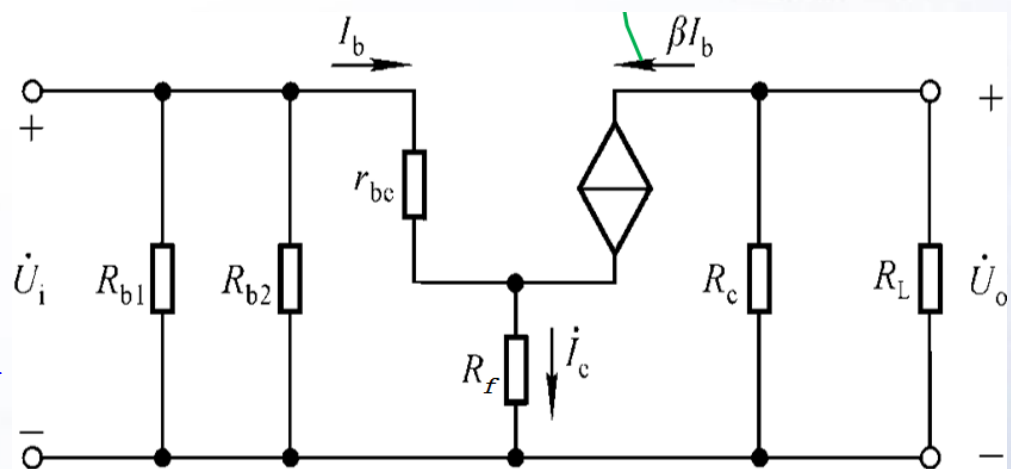
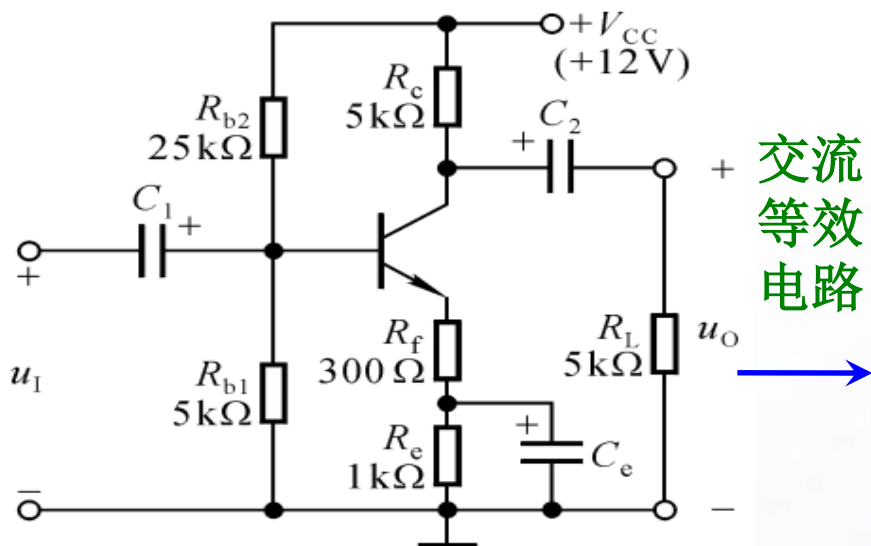
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} \approx 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} \approx 10\ \mu A$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V$$

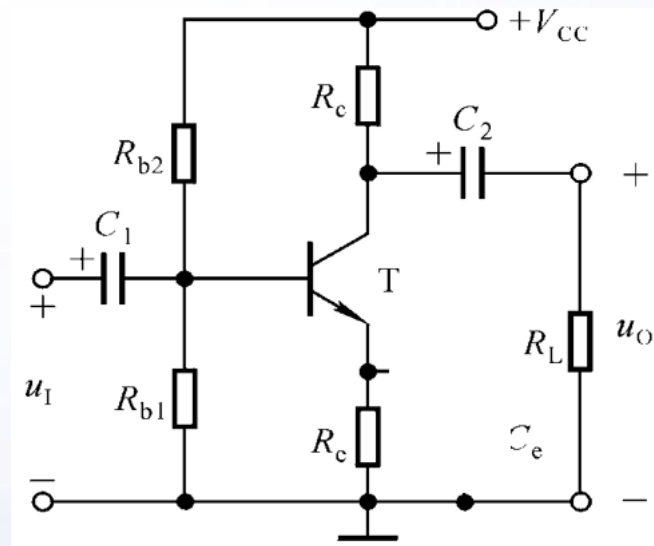
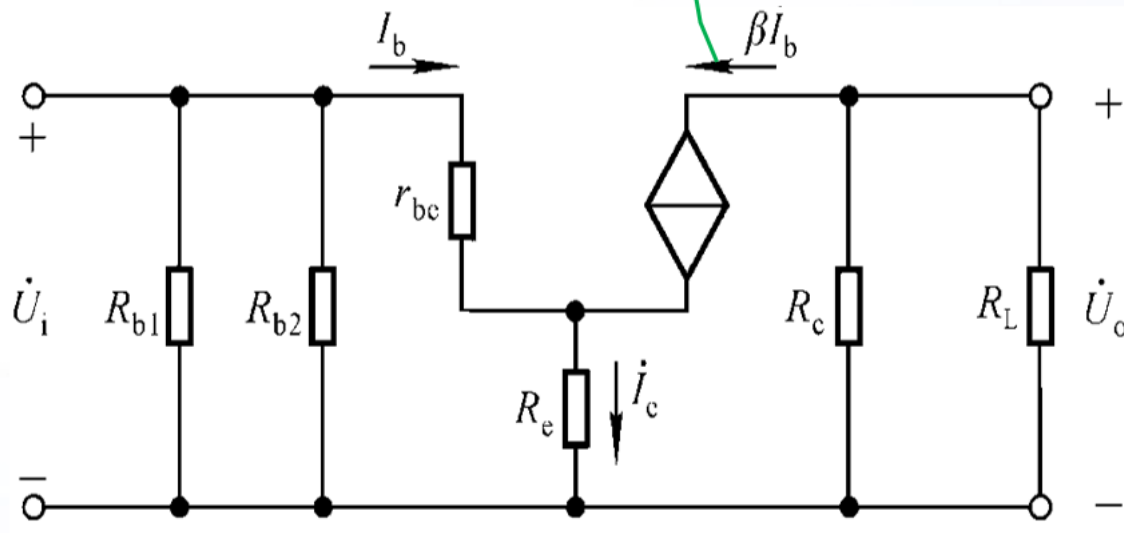




动态分析:

## § 4.2 晶体管共射放大电路

无旁路电容 $C_e$ 时: 交流等效电路



$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \dot{I}_b (R_c // R_L)}{\dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_e} \\ &= -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e} \end{aligned}$$

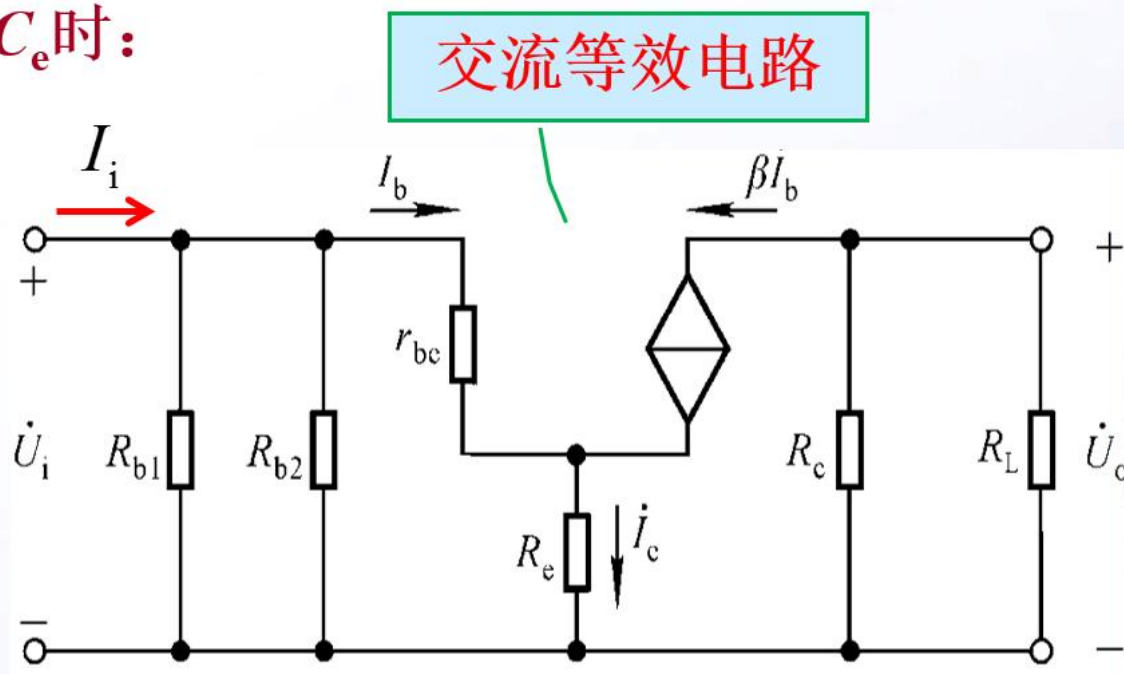
若 $(1 + \beta) R_e \gg r_{be}$ , 则 $A_u \approx -\frac{R'_L}{R_e}$





## § 4.2 晶体管共射放大电路

无旁路电容 $C_e$ 时:



两式联立求解:

$$\begin{cases} U_i = I_b \cdot r_{be} + (1 + \beta) I_b \cdot R_e \\ I_i = \frac{U_i}{R_{b1} // R_{b2}} + I_b \end{cases}$$

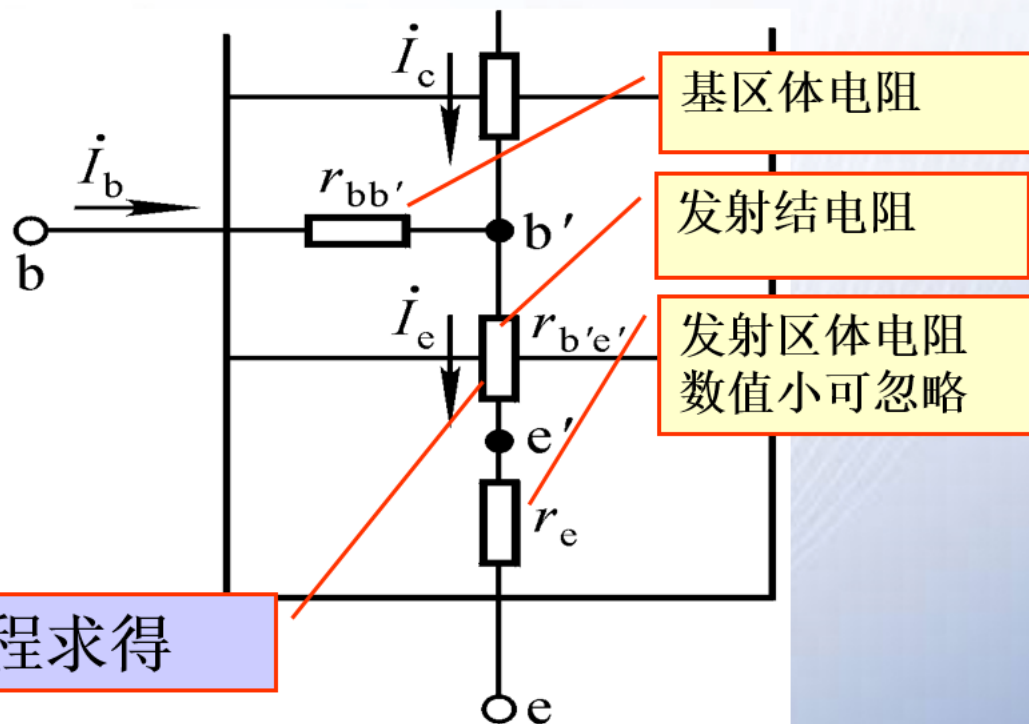
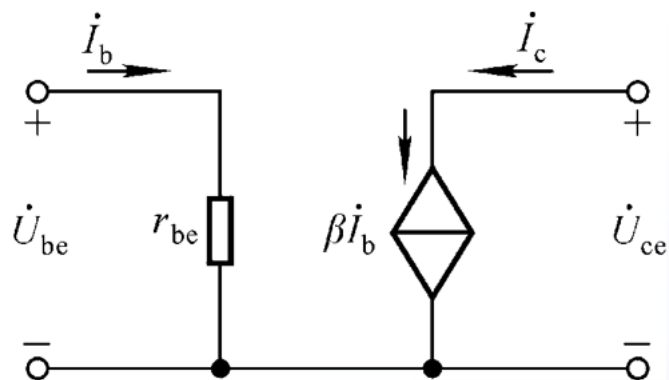
输入电阻:  $R_i = U_i / I_i$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$$



### § 3.3 晶体三极管（模电1.3、2.3.3）

#### $r_{be}$ 的近似表达式



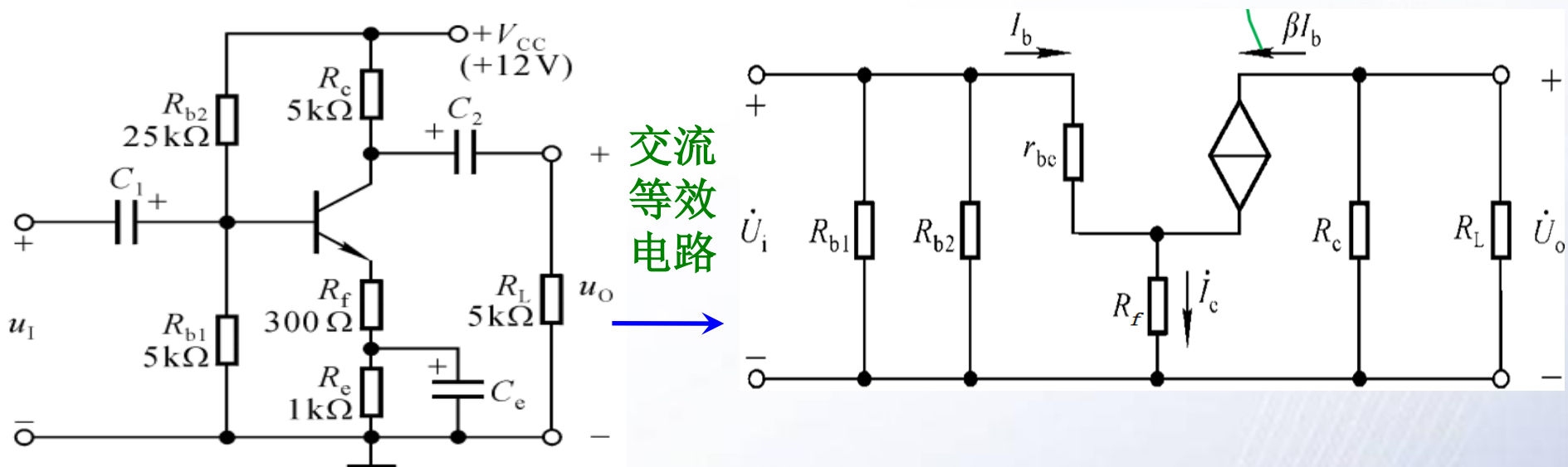
利用PN结的电流方程求得

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

查阅手册

由 $I_{EQ}$ 算出





动态分析:

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}} \approx 2.73\text{k}\Omega$$

$$\dot{A}_u = - \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} \approx -7.7$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_f] \approx 3.7\text{k}\Omega$$

$$R_o = R_c = 5\text{k}\Omega$$

**2.11** 电路如图 **P2.11** 示, 晶体管的  $\beta=100$ ,  $r_{bb'}=100\ \Omega$ 。

- (1) 求电路的  $Q$  点、 $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ ;
- (2) 若改用  $\beta=200$  的晶体管, 则  $Q$  点如何变化?
- (3) 若电容  $C_e$  开路, 将引起电路哪些动态参数发生变化? 如何变?

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} = 2V \quad I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_f + R_e} \approx 1mA$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta} \approx 10\ \mu A$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_f + R_e) = 5.7V$$

(2) 若改用  $\beta=200$  的晶体管, 由 (1) 的结论,

$I_{EQ}$  基本不变,  $U_{CEQ}$  也基本不变。

但  $I_{BQ}$  明显变小, 为  $I_{BQ} = I_{EQ} / (1 + \beta) = 5\ \mu A$



**2.11** 电路如图 P2.11 示, 晶体管的  $\beta=100$ ,  $r_{bb'}=100\ \Omega$ 。

(1) 求电路的  $Q$  点、 $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ ;

(2) 若改用  $\beta=200$  的晶体管, 则  $Q$  点如何变化?

(3) 若电容  $C_e$  开路, 将引起电路哪些动态参数发生变化? 如何变?

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_f} \approx -7, \quad R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_f] \approx 3.7\text{k}\Omega$$
$$R_o = R_c = 5\text{k}\Omega$$

(3) 若电容  $C_e$  开路,  $R_f \rightarrow R_f + R_e$  则  $|A_u|$  减小,  $R_i$  增大

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_f + R_e)} \approx -\frac{R_C // R_L}{R_f + R_e} \approx -1.92$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)(R_f + R_e)] \approx 4.1\text{k}\Omega$$





**2.13** 电路如图 P2.13 所示，晶体管的  $\beta = 60$ ， $r_{bb'} = 100 \Omega$ 。

(1) 求解  $Q$  点、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ ；

(2) 设  $U_s = 10\text{mV}$  (有效值)，问  $U_i = ?$   $U_o = ?$  若  $C_3$  开路，则  $U_i = ?$   $U_o = ?$

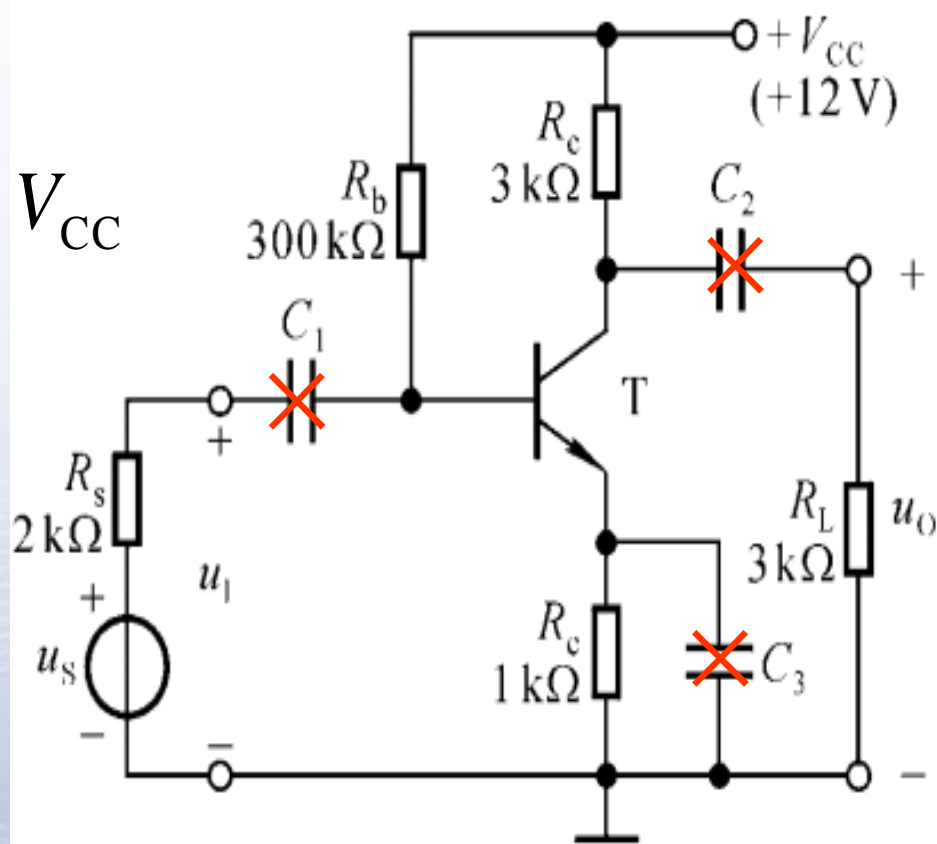
(1)  $Q$  点：

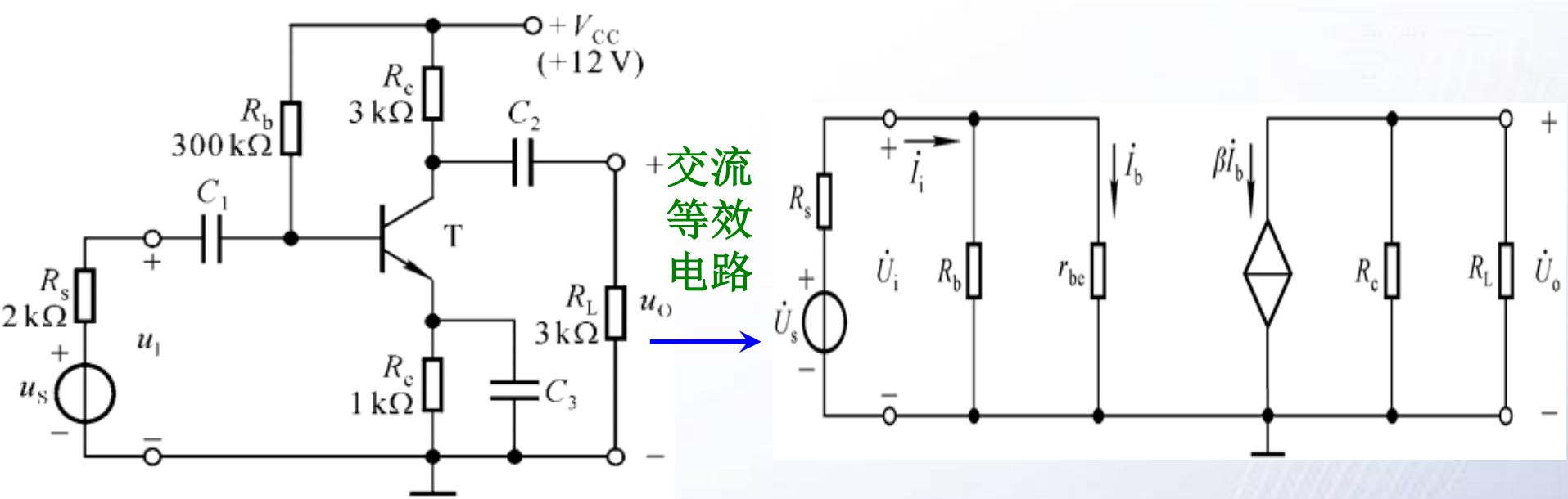
$$I_{BQ}R_b + U_{BEQ} + (1 + \beta)I_{BQ}R_e = V_{CC}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \approx 31\mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 1.86\text{mA}$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_e) = 4.56\text{V}$$





## 动态分析:

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26\text{ mV}}{I_{EQ}} \approx 939\Omega$$

$$R_i = R_b // r_{be} \approx 939\Omega$$

$$\dot{A}_u = \frac{U_o}{U_i} = - \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -96$$

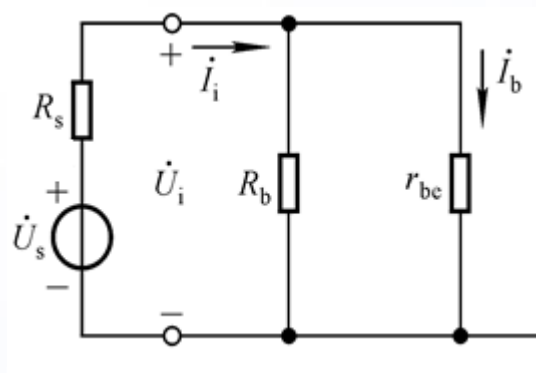
$$R_o = R_c = 3\text{ k}\Omega$$

**2.13** 电路如图 P2.13 所示，晶体管的  $\beta = 60$ ， $r_{bb'} = 100 \Omega$ 。

(1) 求解  $Q$  点、 $\dot{A}_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ ；

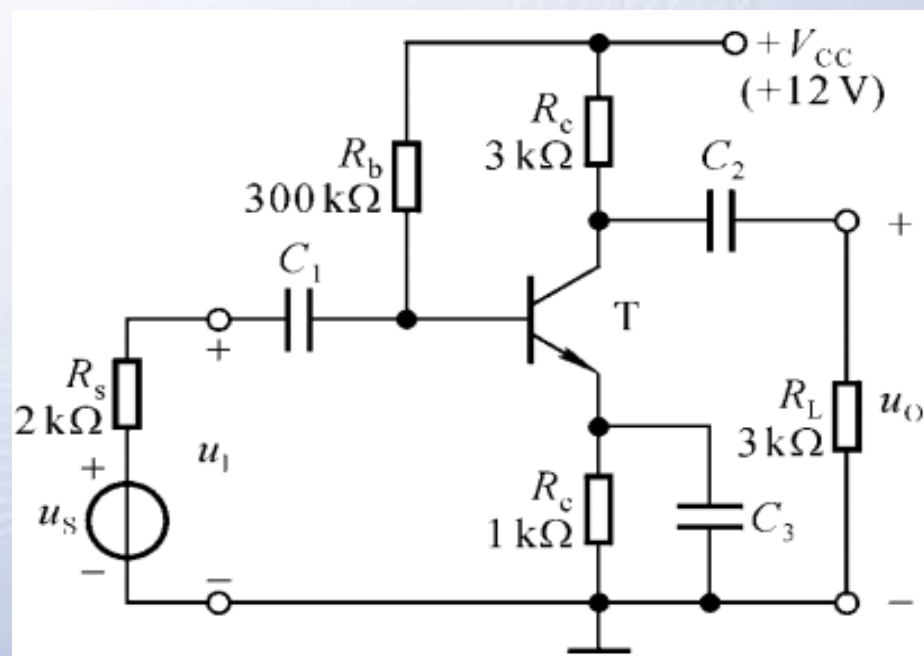
(2) 设  $U_s = 10\text{mV}$  (有效值)，问  $U_i = ?$   $U_o = ?$  若  $C_3$  开路，则  $U_i = ?$   $U_o = ?$

(2) 设  $U_s = 10\text{mV}$  (有效值)，则



$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times U_s \approx 3.2\text{mV}$$

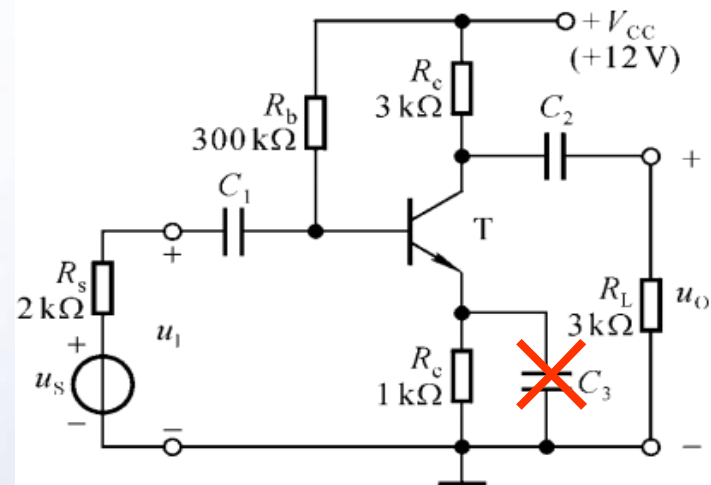
$$U_o = |\dot{A}_u| U_i \approx 307\text{mV}$$



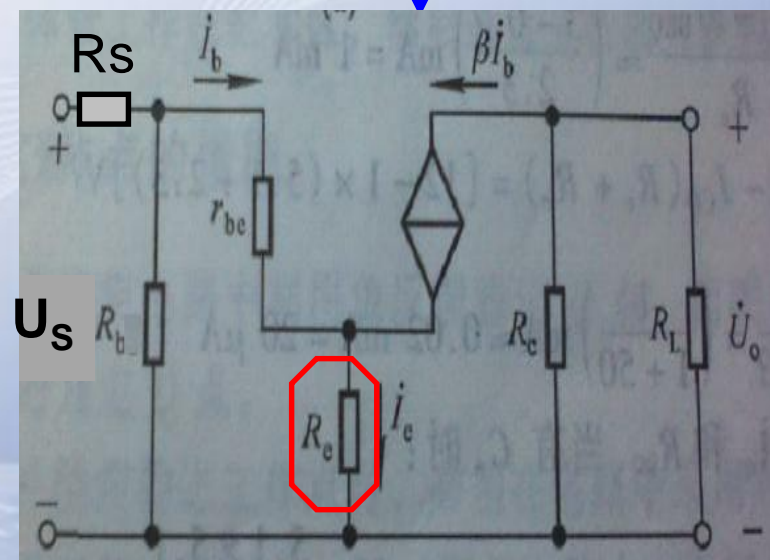
2.13 电路如图 P2.13 所示，晶体管的  $\beta = 60$ ， $r_{bb'} = 100 \Omega$ 。

(2) 设  $U_s = 10\text{mV}$  (有效值)，问  $U_i = ?$   $U_o = ?$  若  $C_3$  开路，则  $U_i = ?$   $U_o = ?$

若  $C_3$  开路，则

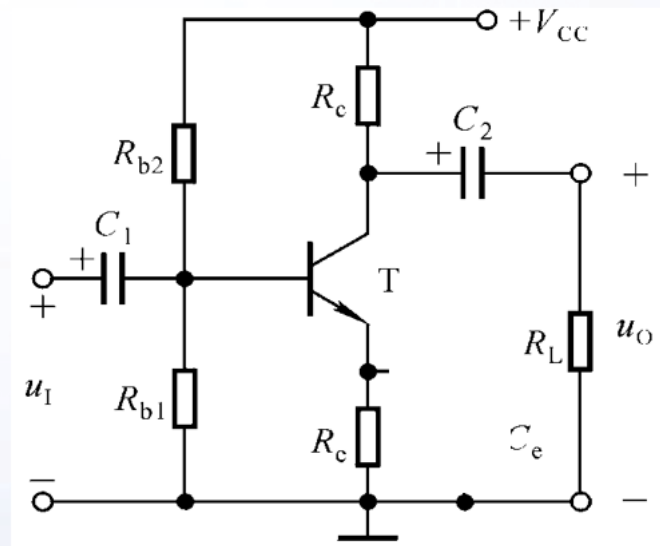
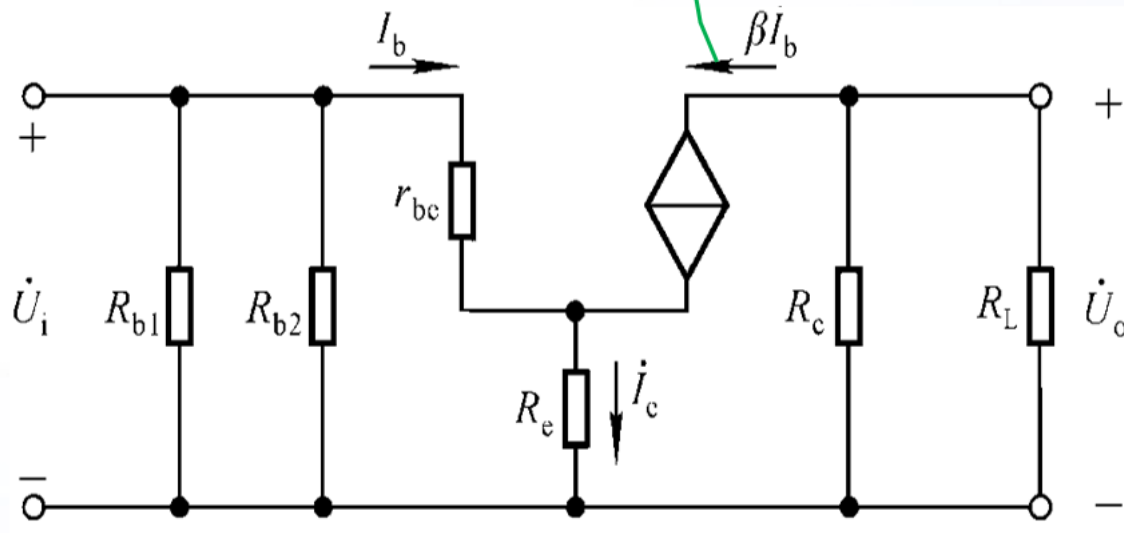


交流等效电路



## § 4.2 晶体管共射放大电路

无旁路电容 $C_e$ 时: 交流等效电路



$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \dot{I}_b (R_c // R_L)}{\dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_e} \\ &= -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e} \end{aligned}$$

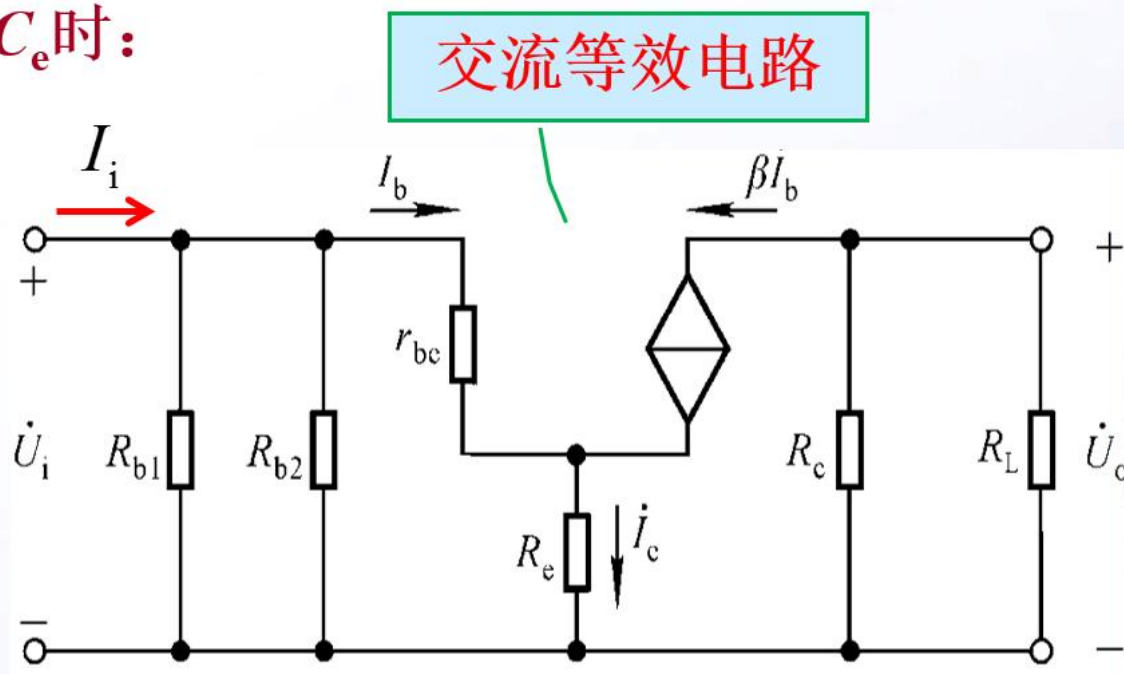
若 $(1 + \beta) R_e \gg r_{be}$ , 则 $A_u \approx -\frac{R'_L}{R_e}$





## § 4.2 晶体管共射放大电路

无旁路电容 $C_e$ 时:



两式联立求解:

$$\begin{cases} U_i = I_b \cdot r_{be} + (1 + \beta) I_b \cdot R_e \\ I_i = \frac{U_i}{R_{b1} // R_{b2}} + I_b \end{cases}$$

输入电阻:  $R_i = U_i / I_i$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$$



2.13 电路如图 P2.13 所示，晶体管的  $\beta = 60$ ， $r_{bb'} = 100 \Omega$ 。

(2) 设  $U_s = 10\text{mV}$  (有效值)，问  $U_i = ?$   $U_o = ?$  若  $C_3$  开路，则  $U_i = ?$   $U_o = ?$

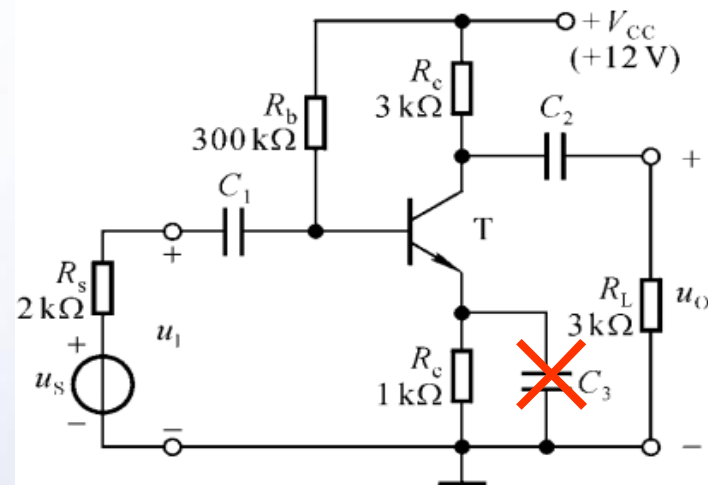
若  $C_3$  开路，则

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 51.3\text{k}\Omega$$

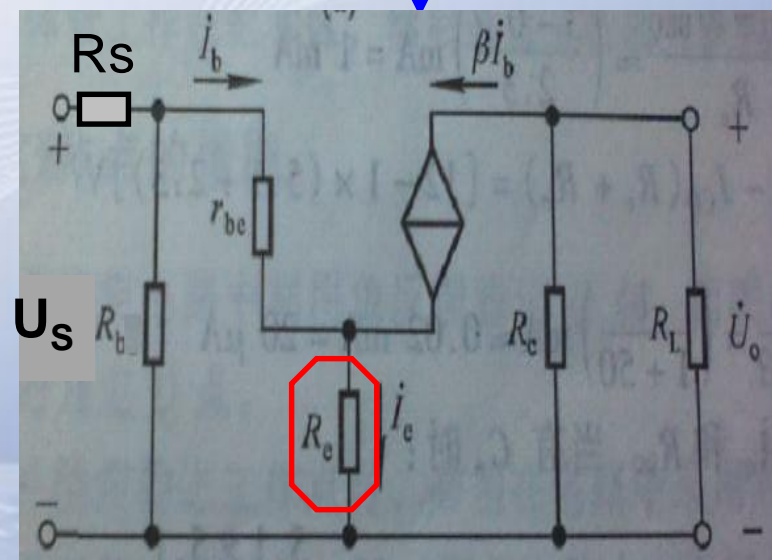
$$\dot{A}_u = \frac{-\beta \dot{I}_b (R_C // R_L)}{r_{be} \dot{I}_b + (1 + \beta) \dot{I}_b R_e} \approx -\frac{R_C // R_L}{R_e} = -1.5$$

$$U_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \times U_s \approx 9.6\text{mV}$$

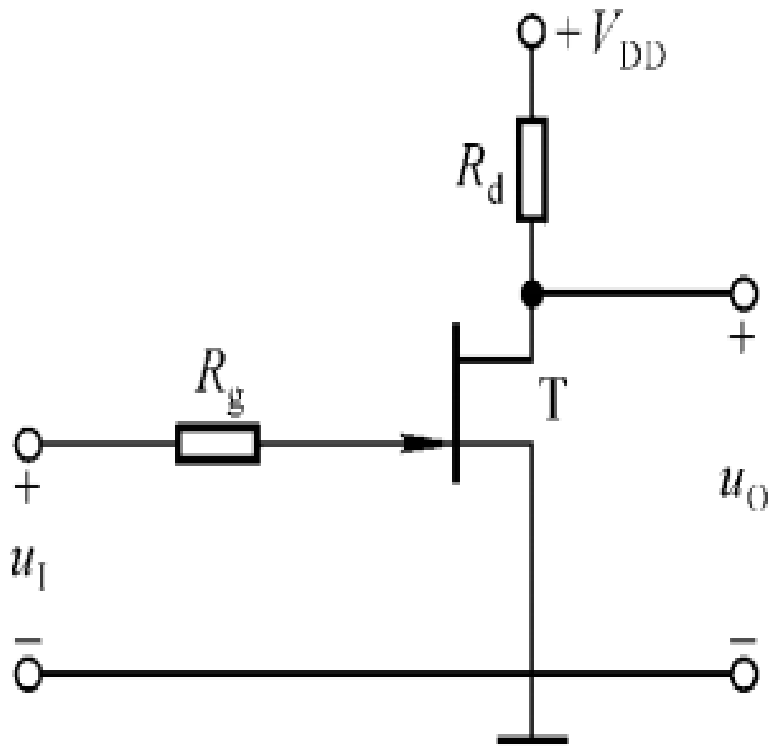
$$U_o = |\dot{A}_u| U_i \approx 14.4\text{mV}$$



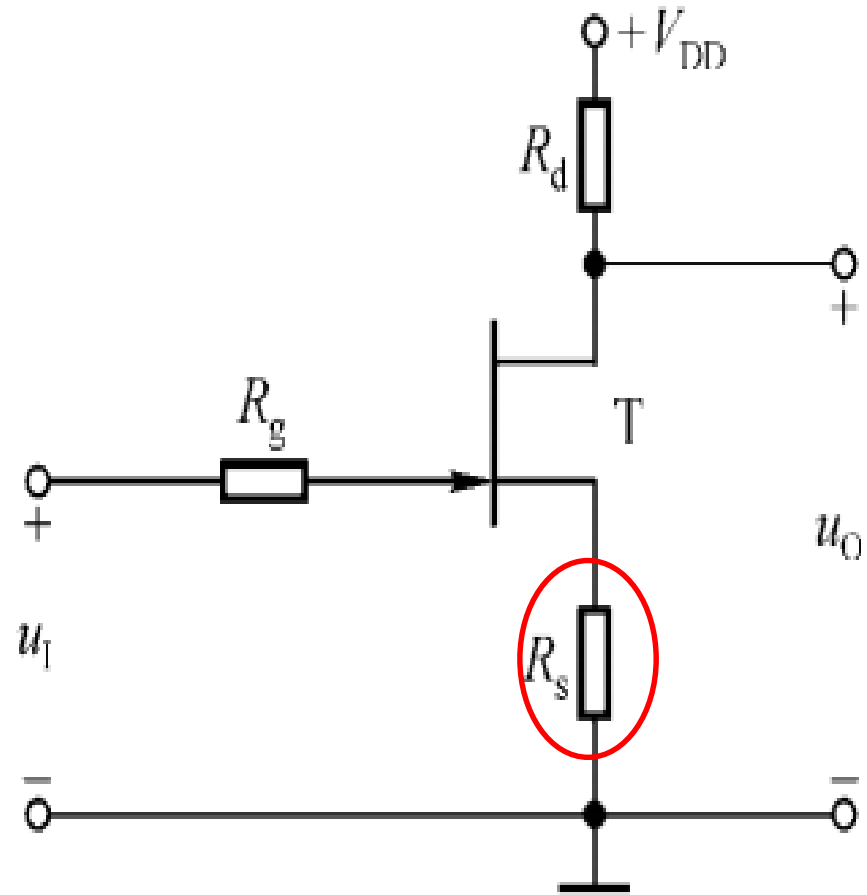
交流等效电路



2.14 改正图2.14所示各电路中的错误，使它们有可能放大正弦波电压。要求保留电路的共源接法。



(a)



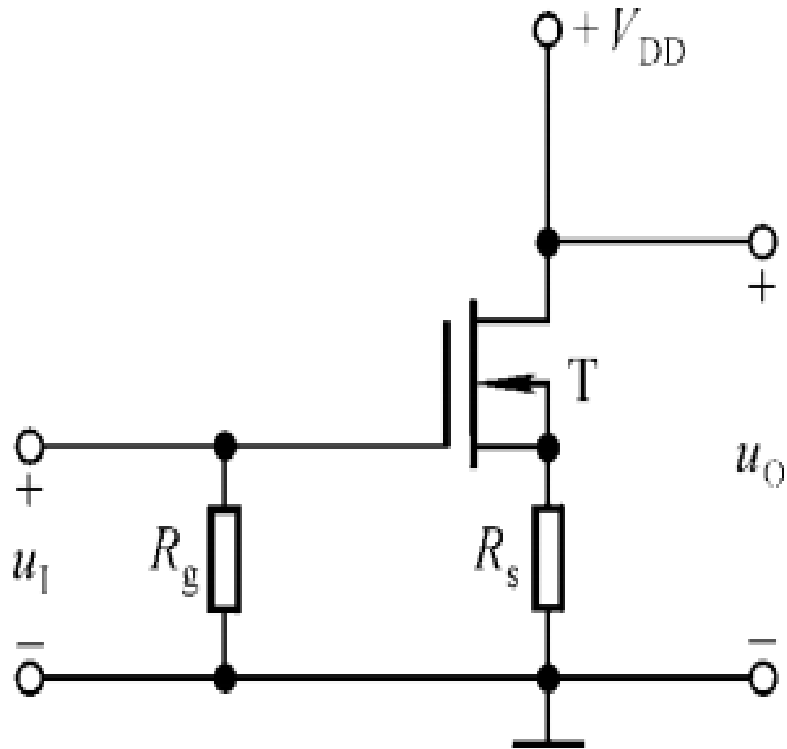
N沟道结型

恒流区应有

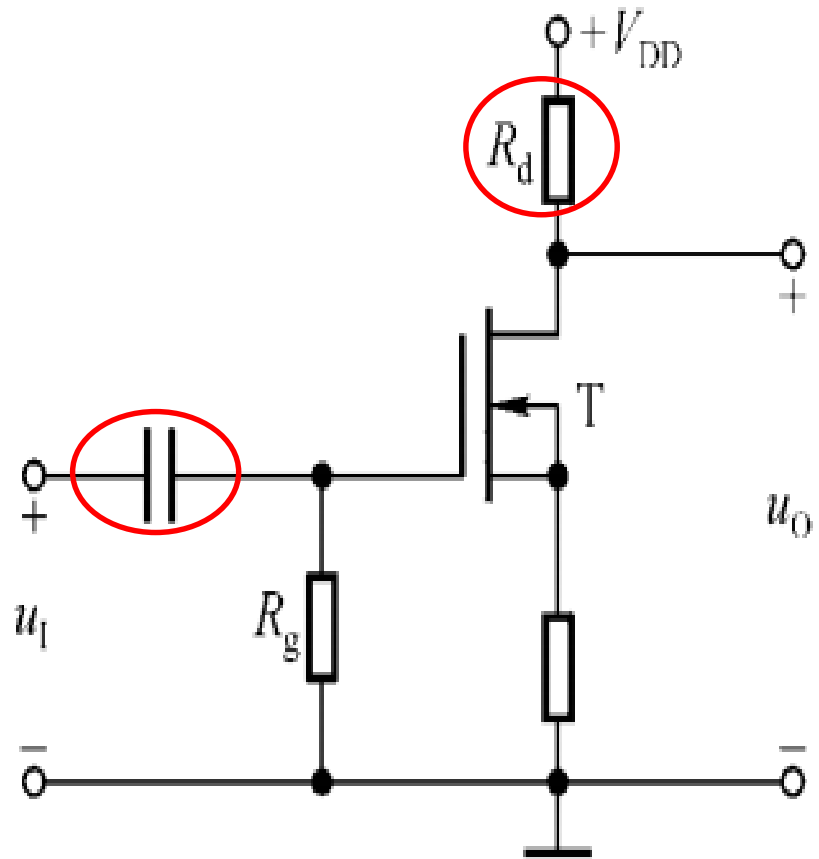
$$u_{GS} < 0, u_{DS} > 0$$



2.14 改正图2.14所示各电路中的错误，使它们有可能放大正弦波电压。要求保留电路的共源接法。



(b)

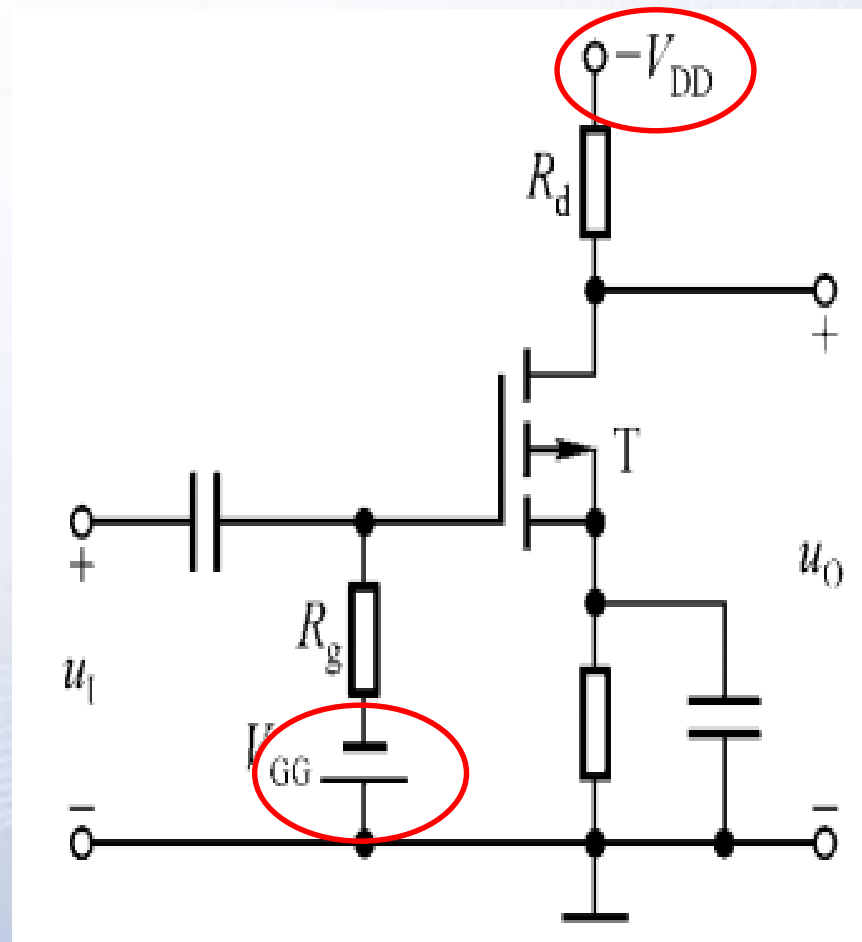
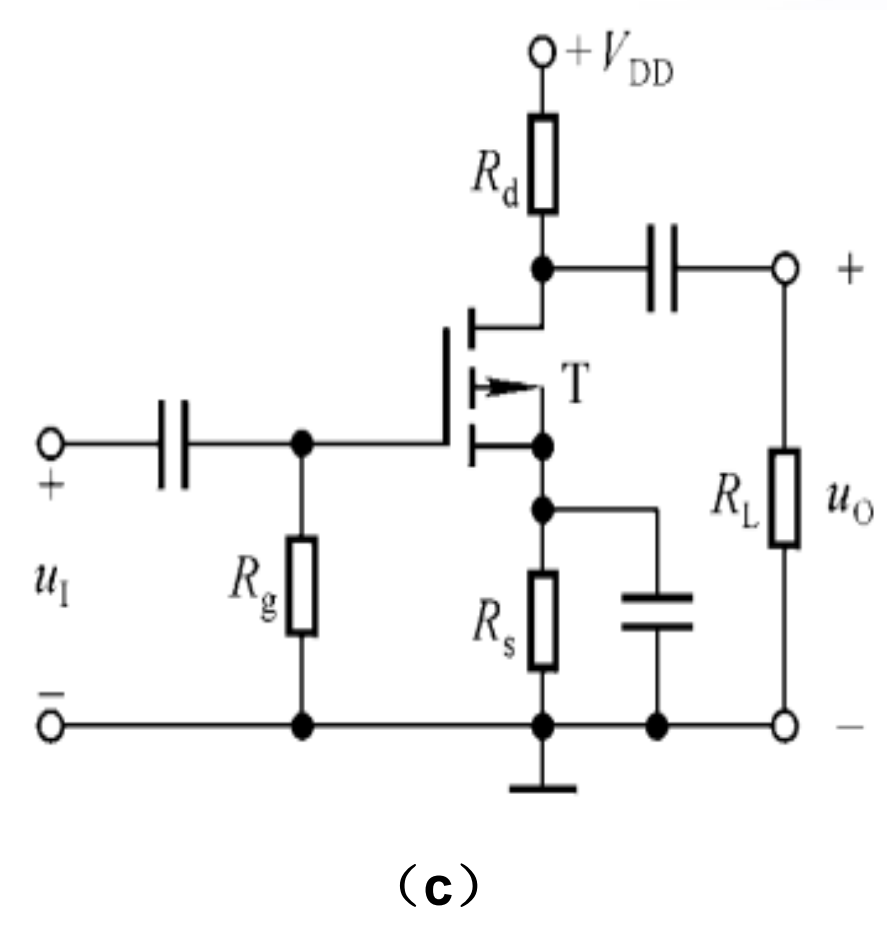


N沟道耗尽型 恒流区应有

$$u_{GS} \text{ 任意, } u_{DS} > 0$$



2.14 改正图2.14所示各电路中的错误，使它们有可能放大正弦波电压。要求保留电路的共源接法。



**P**沟道增强型 恒流区应有

$$u_{GS} < 0, u_{DS} < 0$$





## 2.17 电路如图 P2.17 所示

(1) 若输出电压波形底部失真, 则可采取哪些措施? 若输出电压波形顶部失真, 则可采取哪些措施?

(2) 若想增大  $|\dot{A}_u|$ , 则可采取哪些措施?

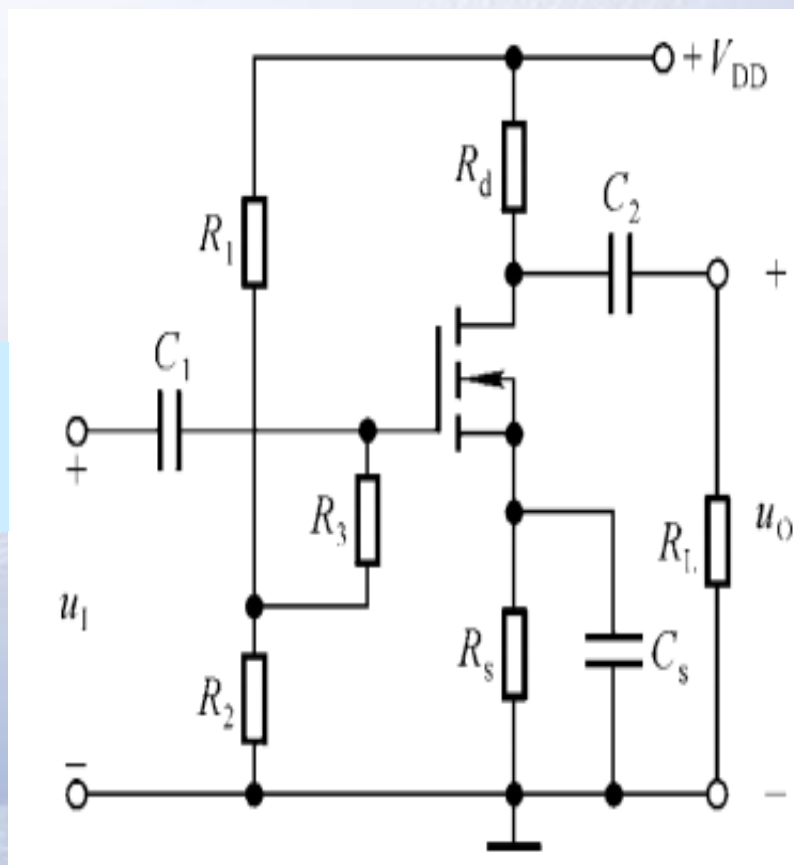
解: (1) 
$$U_{GQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD}$$

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

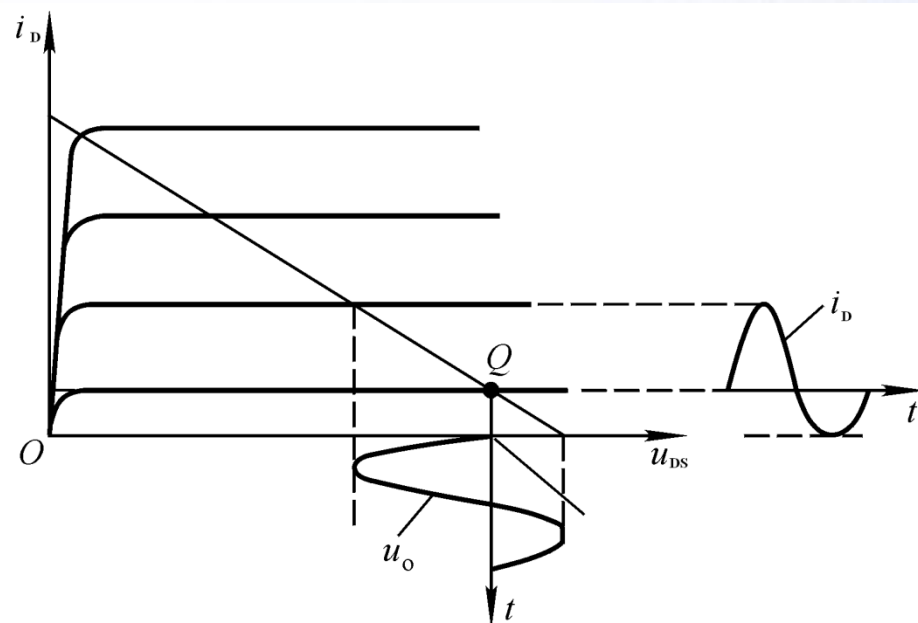
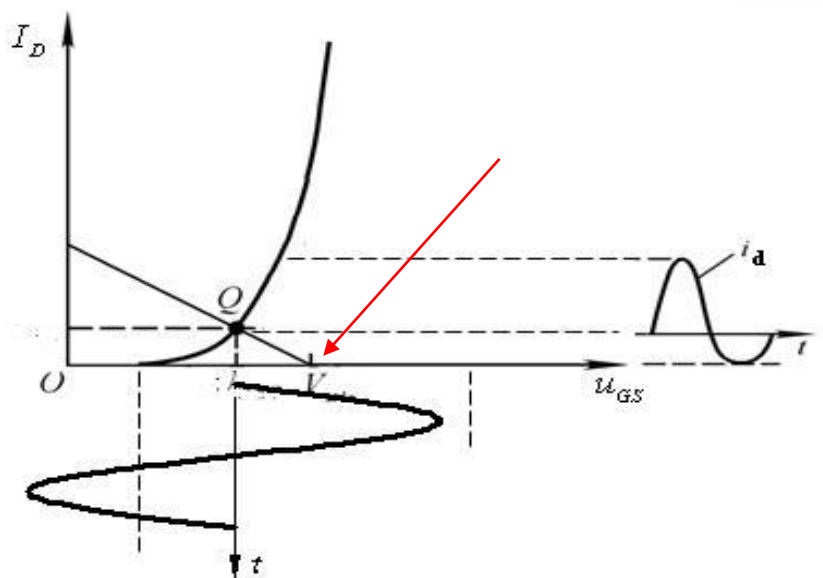
$$U_{GSQ} = U_{GQ} - U_{SQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD} - I_{DQ} R_S$$

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

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



## 截止失真 ----> 输出顶部失真



$$U_{GSQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD} - I_{DQ} R_S$$

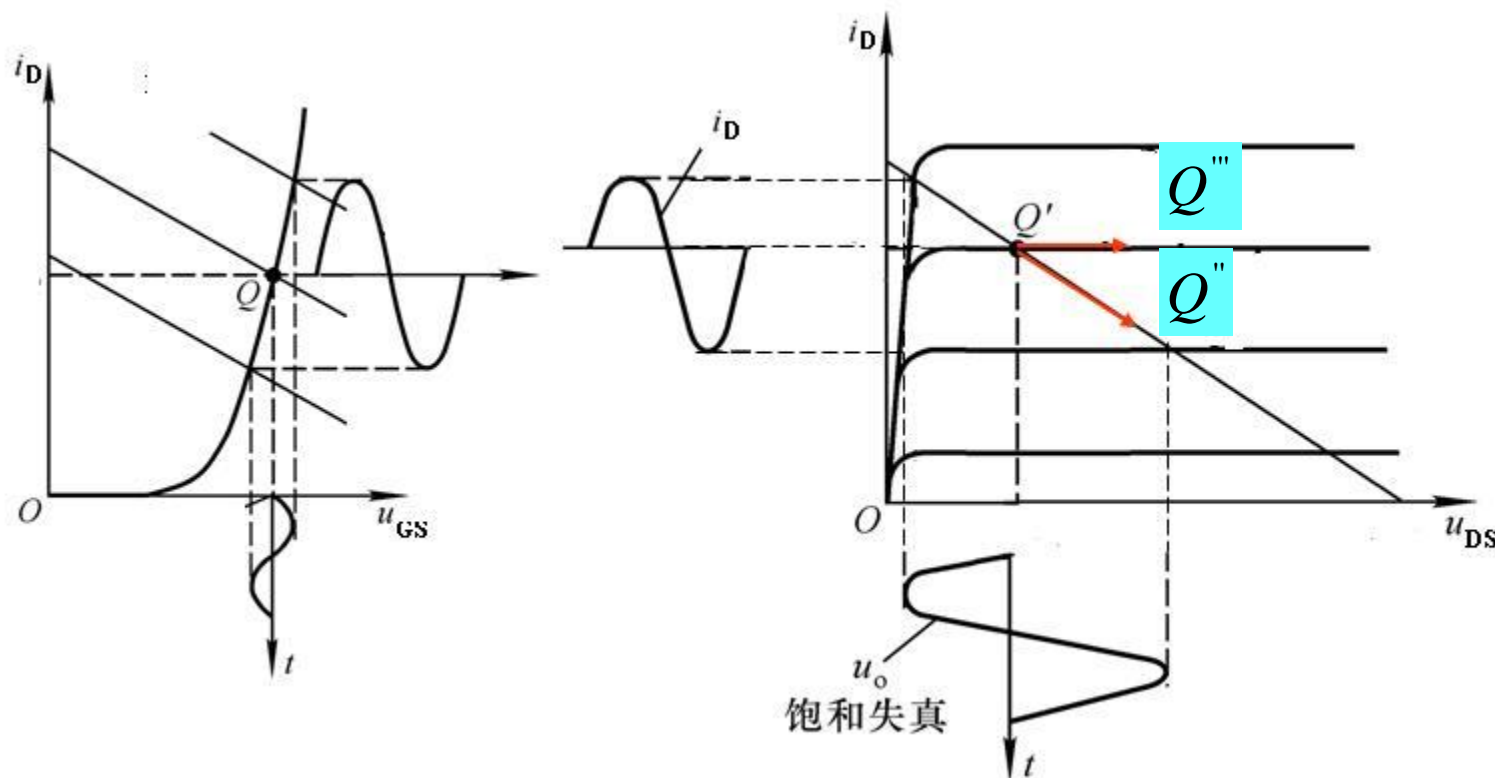
$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_S)$$

解决办法：增大 $U_{GSQ}$ ；减小 $U_{DSQ}$

具体措施：减小 $R_1$ 、 $R_S$ ，增大 $R_2$ 、 $R_d$



## 饱和失真 ----> 输出底部失真



解决办法：减小 $U_{GSQ}$ ；增大 $U_{DSQ}$

具体措施：增大 $R_1$ 、 $R_s$ ，减小 $R_2$ 、 $R_d$

## 2.17 电路如图 P2.17 所示

(2) 若想增大  $|\dot{A}_u|$ ，则可采取哪些措施？

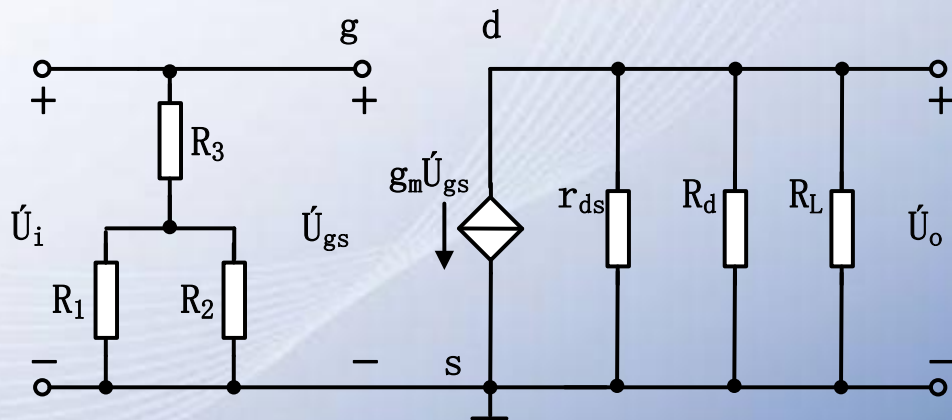
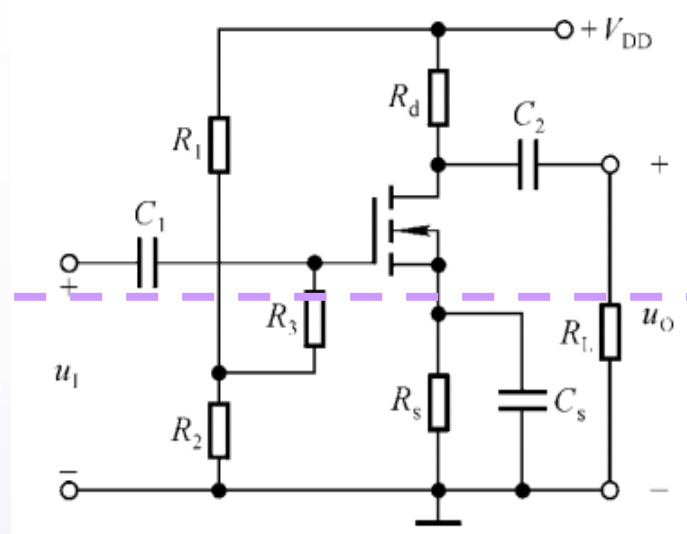
(2)

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

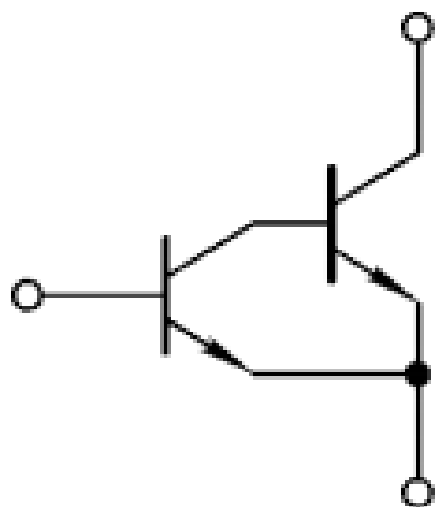
$$g_m = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$$

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

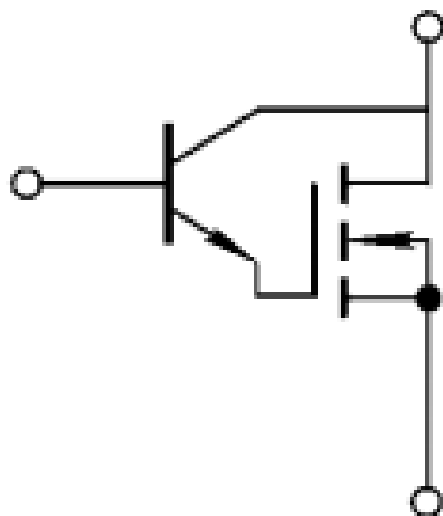
增大  $|\dot{A}_u|$  **措施**: 减小  $R_1$ 、 $R_s$ ，增大  $R_2$ 、 $R_d$



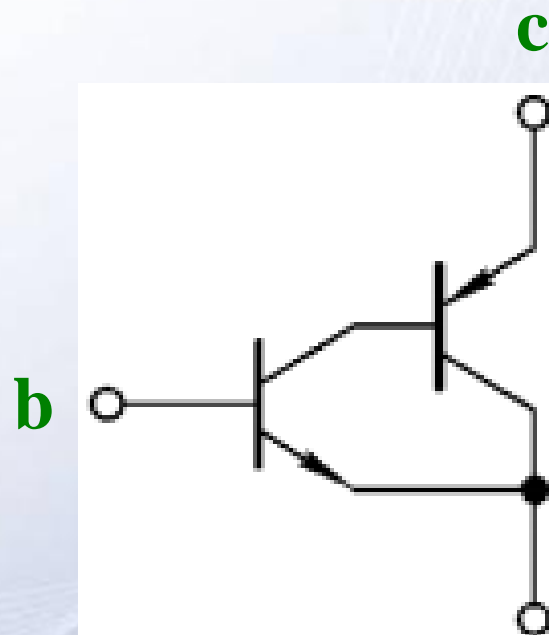
**2.18** 图 P2.18 中的哪些接法可以构成复合管？标出它们等效管的类型（如 NPN 型、PNP 型、N 沟道结型）及管脚（b、e、c、d、g、s）。



(a)



(b)

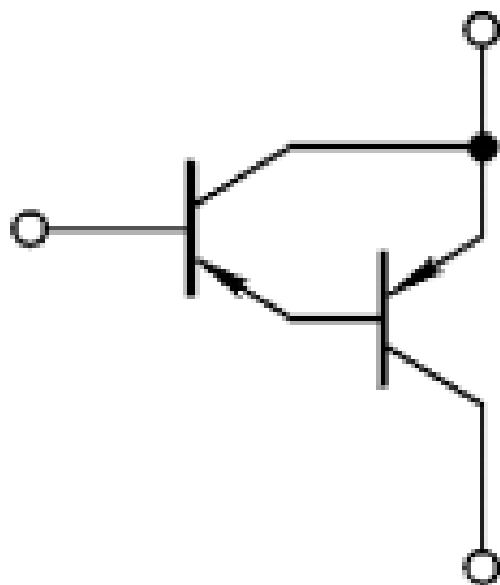


(c)

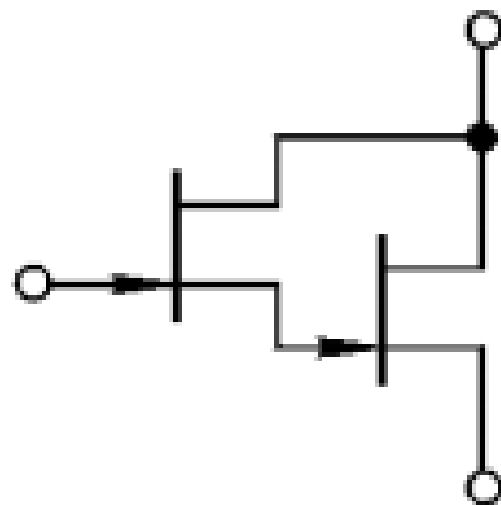
**e**

**NPN型**

**2.18** 图 P2.18 中的哪些接法可以构成复合管？标出它们等效管的类型（如 NPN 型、PNP 型、N 沟道结型）及管脚（b、e、c、d、g、s）。



(d)

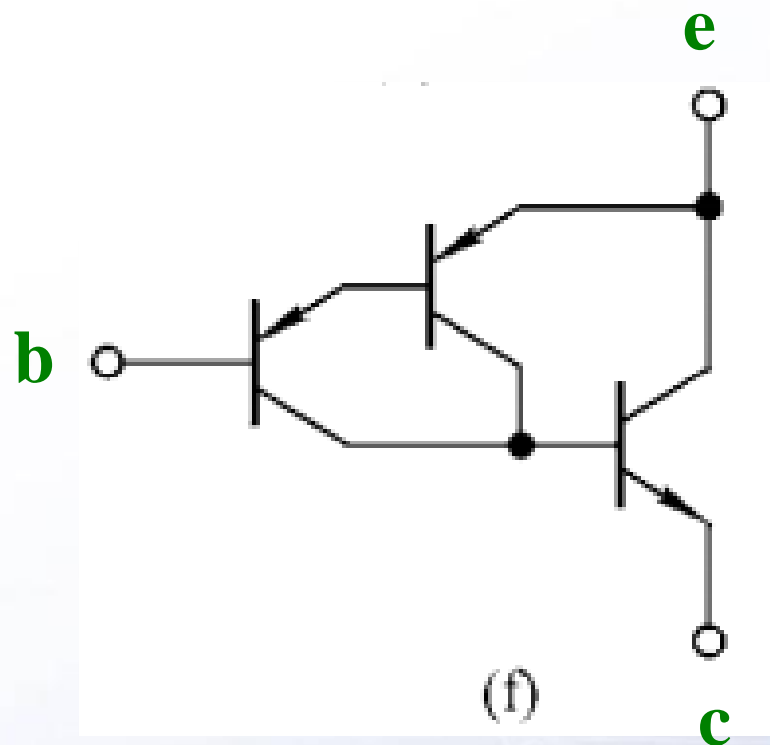


(e)

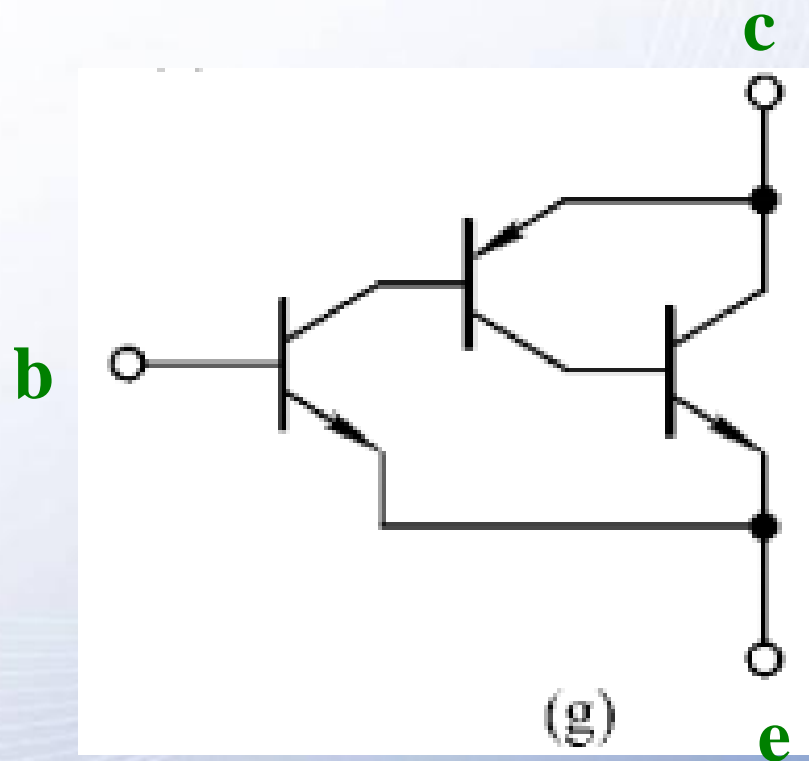




**2.18** 图 P2.18 中的哪些接法可以构成复合管？标出它们等效管的类型（如 NPN 型、PNP 型、N 沟道结型）及管脚（b、e、c、d、g、s）。



**PNP型**



**NPN型**