

模拟电子技术基础

第二章

双极型晶体三极管和基本放大电路

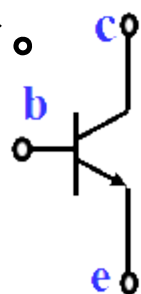
习题解答

作者：孟梦 童瑞川 徐昌洪

本章习题：**2-4、2-7、2-8、2-10、2-12、2-14、
2-17、2-19、2-24、2-25**

2-4: 在放大电路中测得晶体管各电极对地的直流电压如下所列，确定它们各为哪个电极，晶体管是**NPN**型还是**PNP**型？

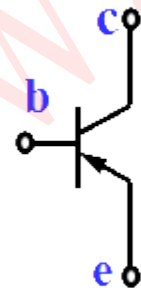
- ◆ 解题思路：晶体管工作在放大区时发射结正偏、集电结反偏。



NPN

$$U_c > U_b > U_e$$

$$U_{BE} = \begin{cases} 0.3V & \text{锗管} \\ 0.7V & \text{硅管} \end{cases}$$



PNP

$$U_e > U_b > U_c$$

$$U_{BE} = \begin{cases} -0.3V & \text{锗管} \\ -0.7V & \text{硅管} \end{cases}$$

A管: $U_x = 12V, U_y = 11.7V, U_z = 6V$

首先, 根据x, y差值为0.3判断出z为c极,
又由c极电压最小, 判断出管子为PNP型,
则e极电压比b极要高, 故x为e极,y为b极

B管 $U_x = -5.2V, U_y = -1V, U_z = -5.5V$

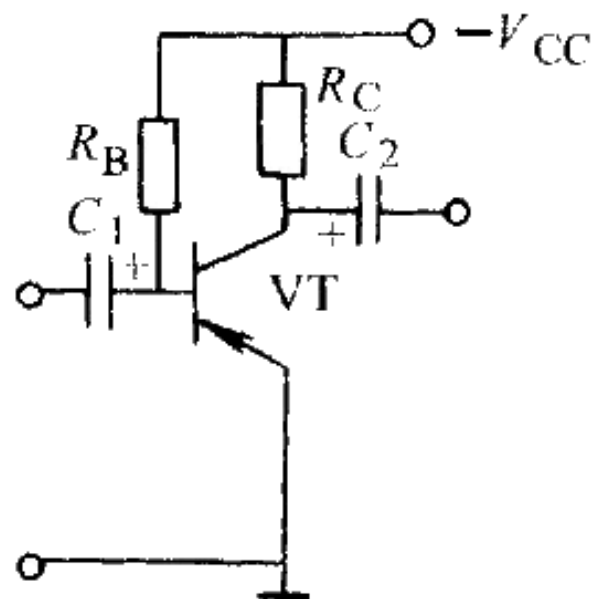
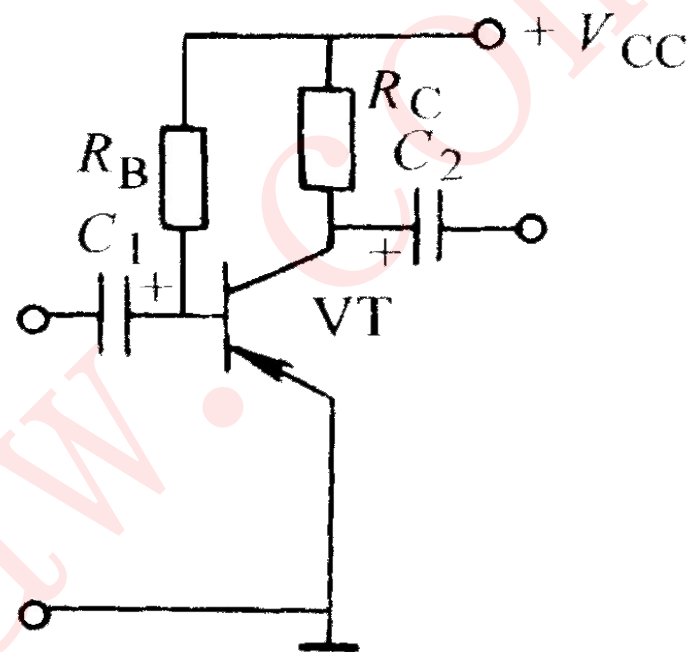
首先, 根据x, z差值为0.3判断出y为c极,
又由c极电压最高, 判断出管子为NPN型,
则b极电压比e极要高, 故x为b极,z为e极

2-7 根据放大电路的组成原则判断电路能否正常放大？如果不能，指出其中的错误，并加以改正。

- ◆ **放大电路的组成原则：**
- ◆ **（1）要有合适的静态工作点，晶体管工作在放大区,发射结正偏、集电结反偏。**
- ◆ **（2）输入信号能加到基极，输出信号能够取得出 来。**

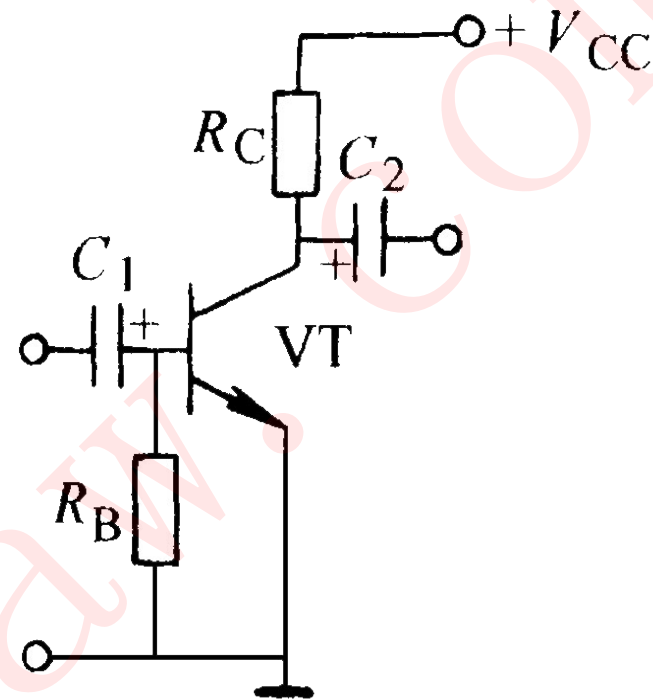
a)

- ◆ 由图可知为**PNP**型
- ◆ 则需 $U_e > U_b > U_c$
- ◆ 电路中**b**、**c**两极电压为正值，**e**极接地，不满足发射结正偏、集电结反偏条件。
- ◆ 应该把 V_{CC} 接负电压。

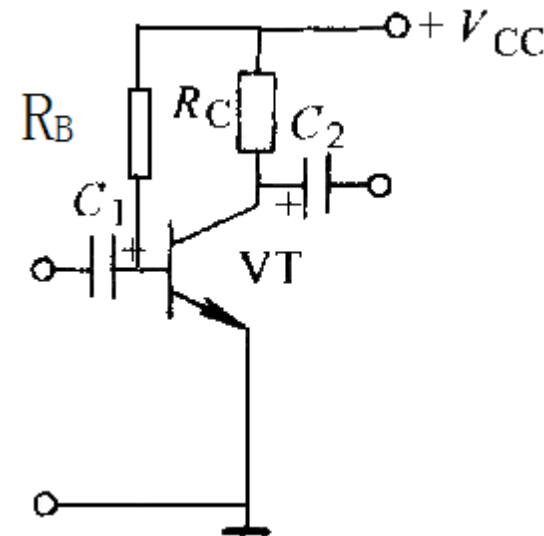


b)

b极对地电位为0，无
基极偏置电流。



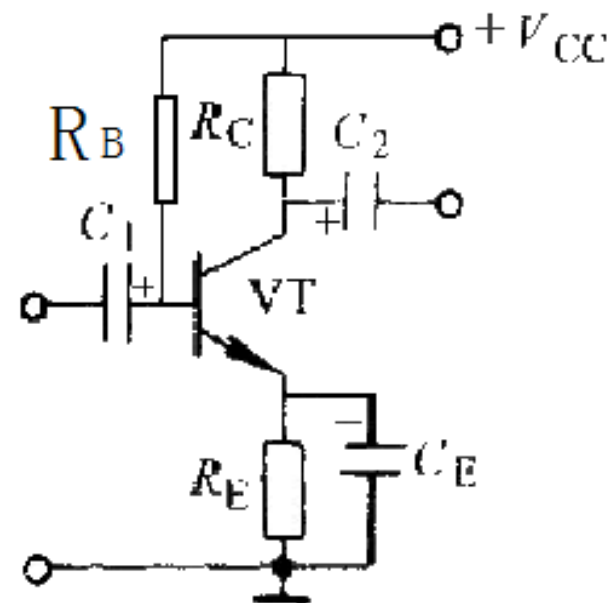
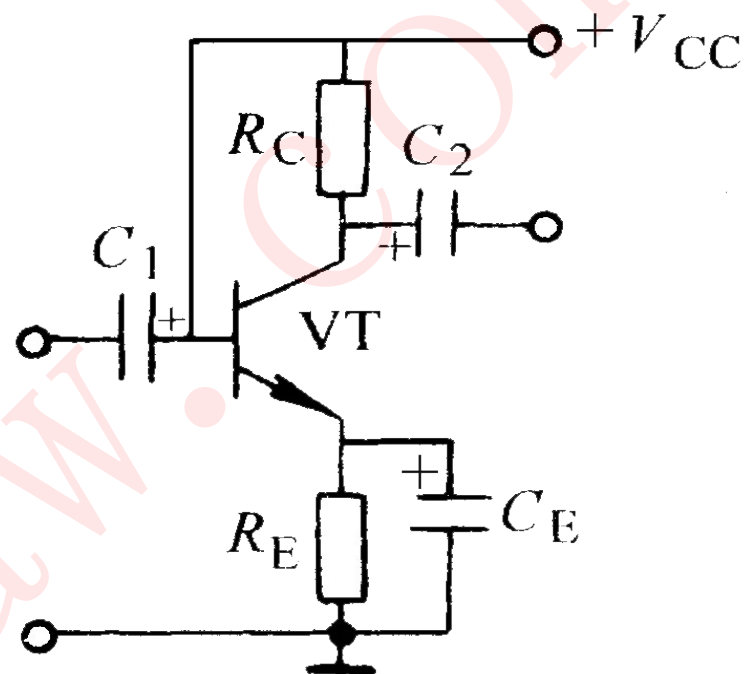
应该将b极经一电阻接
 V_{CC} 。



C)

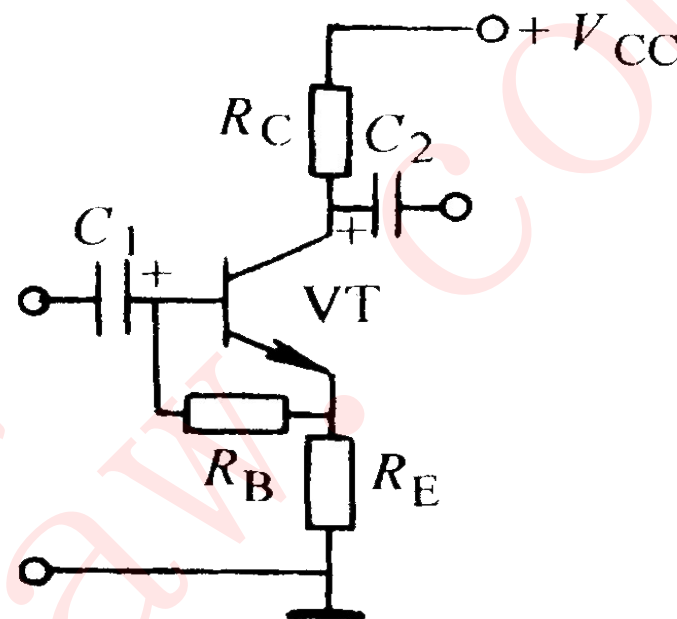
- ◆ b极直接与 V_{CC} 相连，电压超过C极电压，集电结不能反偏。

应该将b极经一电阻接 V_{CC} 。或采用分压偏置式。

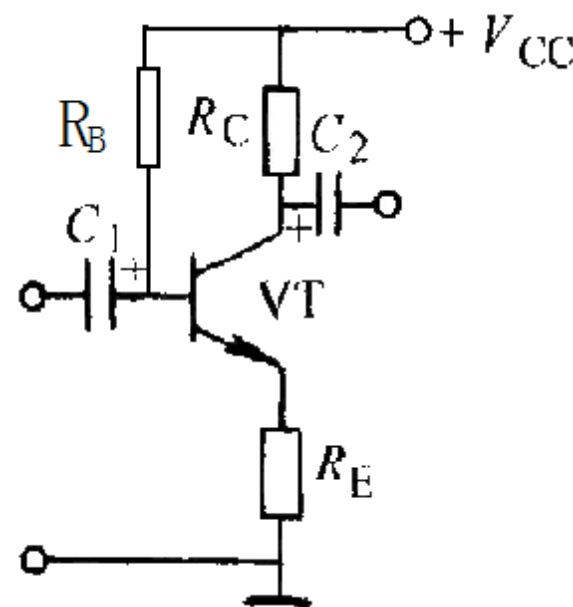


d)

◆ 无基极偏置电流。

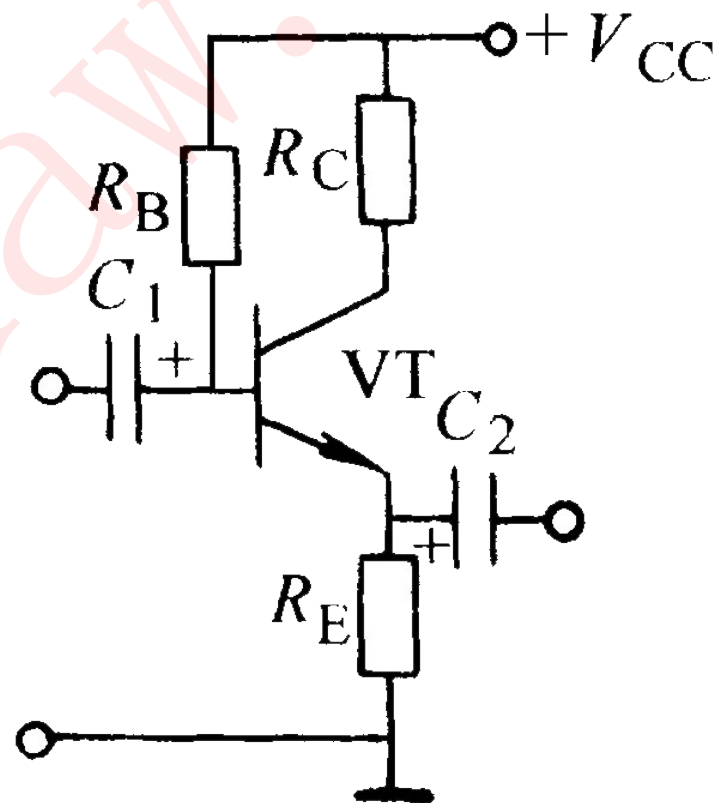


◆ 应将 R_B 跨接到b极和 V_{CC} 之间。



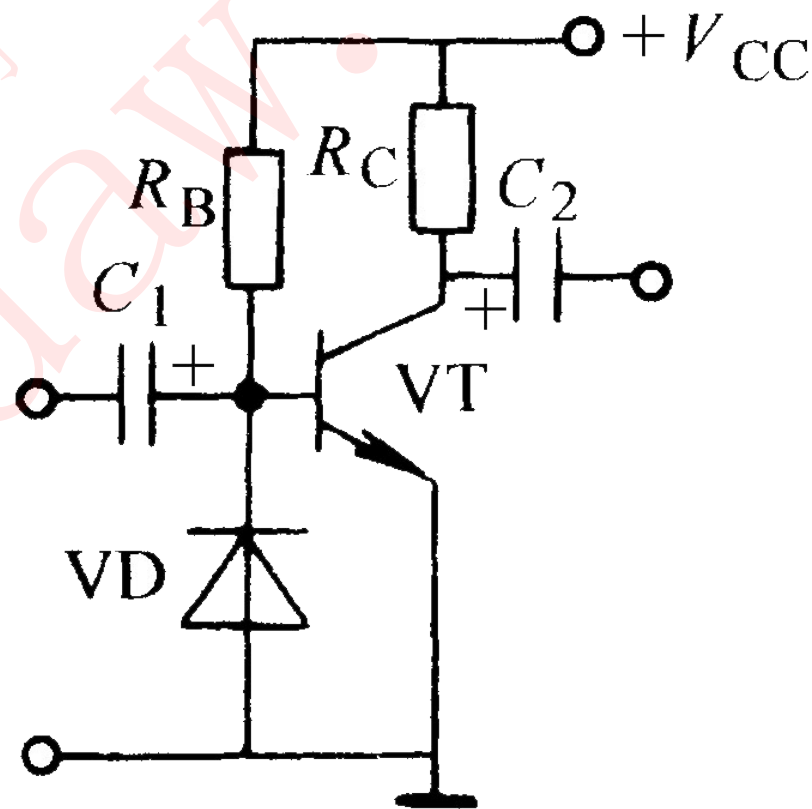
e)

三极管三极电位可以满足 $c > b > e$, 工作在放大区, 故电路可以正常放大

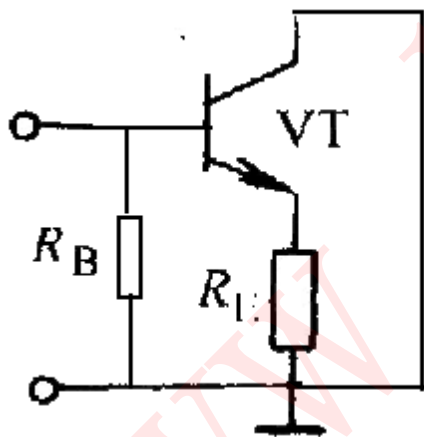


f)

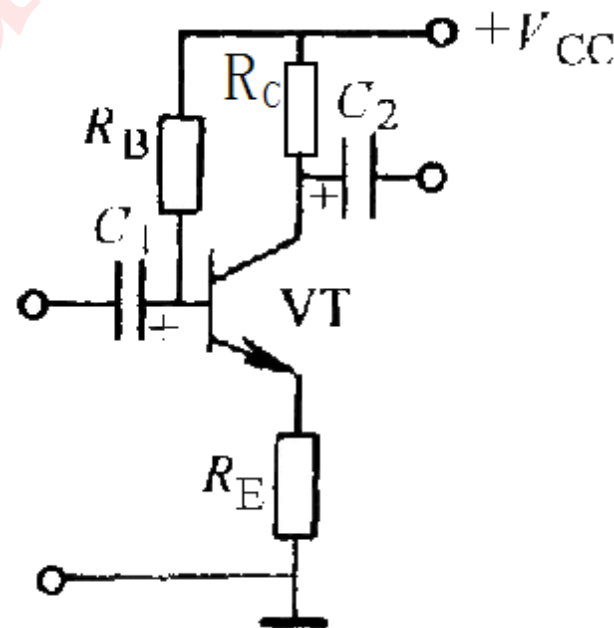
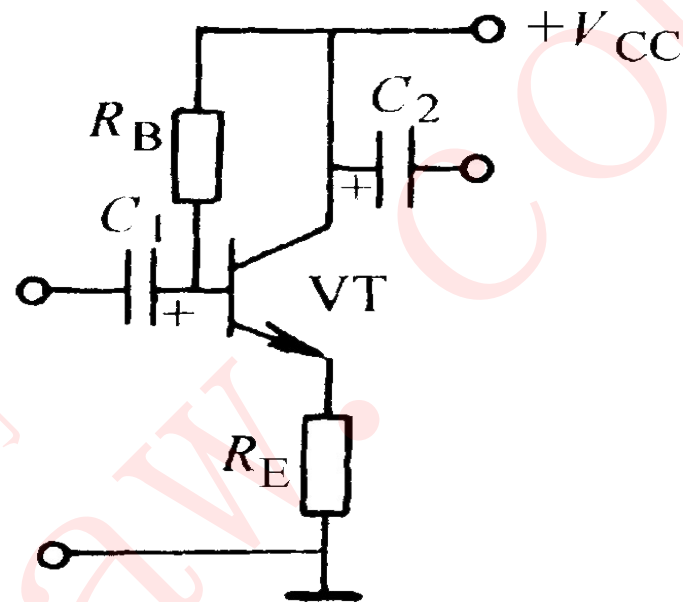
- ◆ 三极管三极电位可以满足 $c > b > e$, 工作在放大区, 故电路可以正常放大。
- ◆ VD为保护二极管。



- ◆ 画出交流通路发现输出直接与地短接，无法将信号取出。
- ◆ 应该在C极和 V_{CC} 之间接一个电阻。

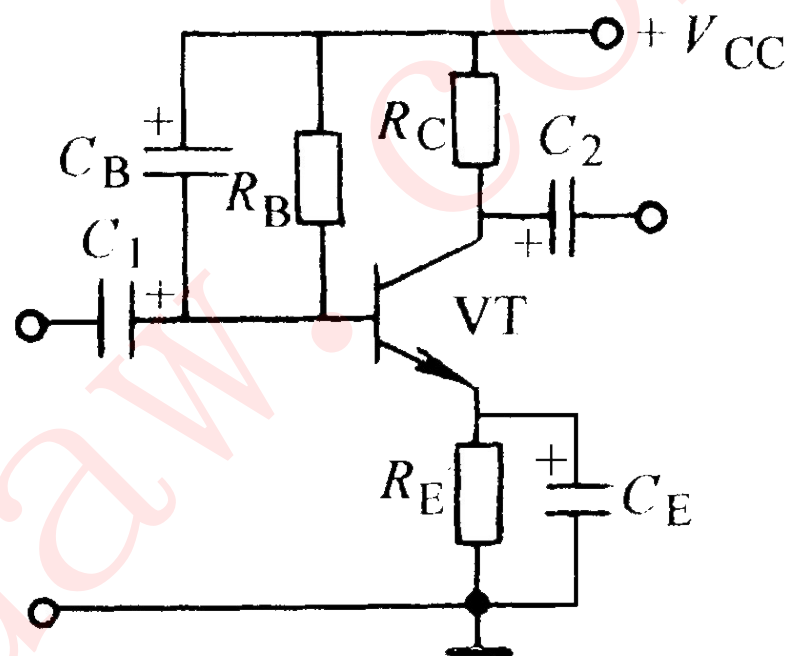


g)

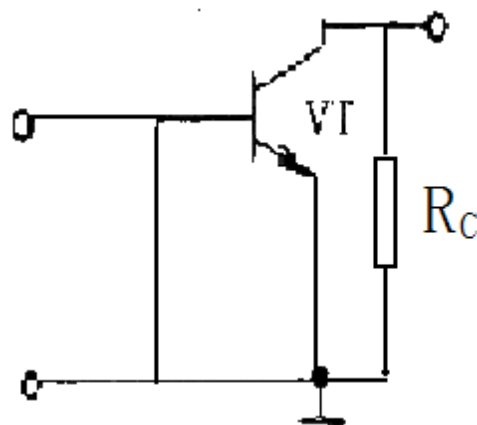


h)

- ◆ 交流通路中，直接将输入信号短路，无法加在输入端。



- ◆ 应该将 C_B 电容开路。



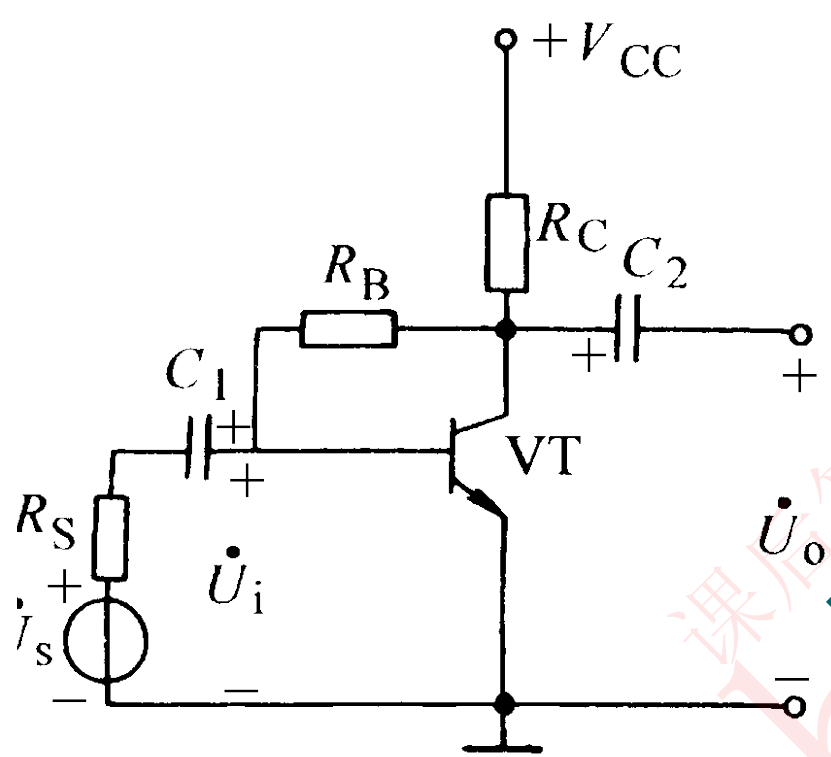
2-8 画出各放大电路的直流通路及交流通路，图中所有电容对交流均可视为短路。

画直流通路要点：

- ◆ 将放大电路中的电容视为开路，电感线圈视为短路。
- ◆ 交流信号源短路，但应保留内阻。

画交流通路要点：

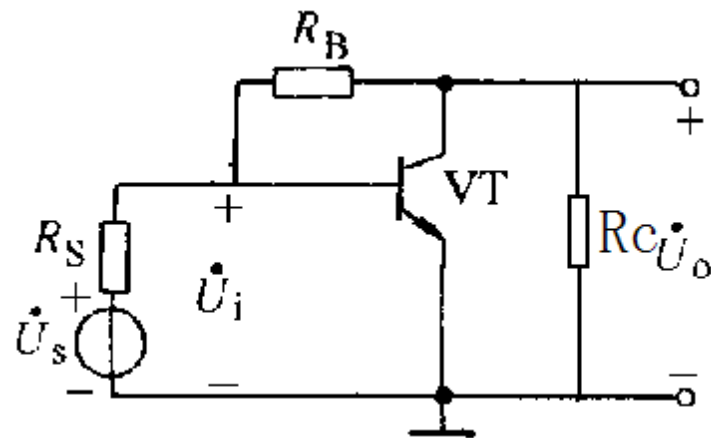
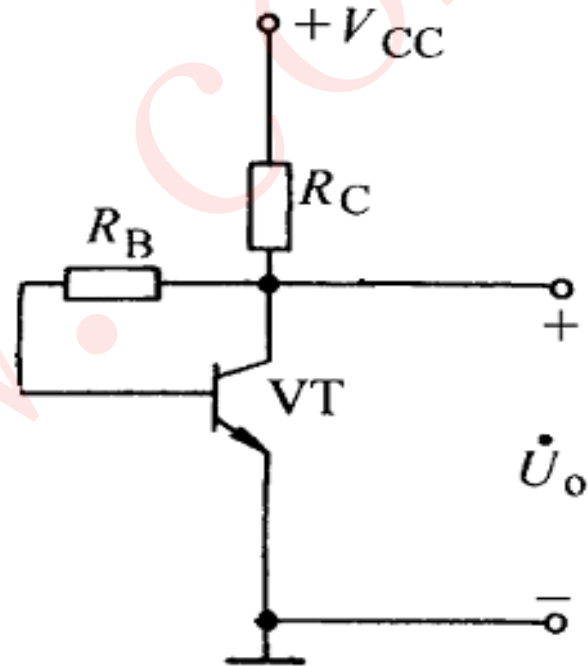
- ◆ 电路中容量较大的隔直电容视为短接。
- ◆ 内阻小的直流电源可以看作对地短路。



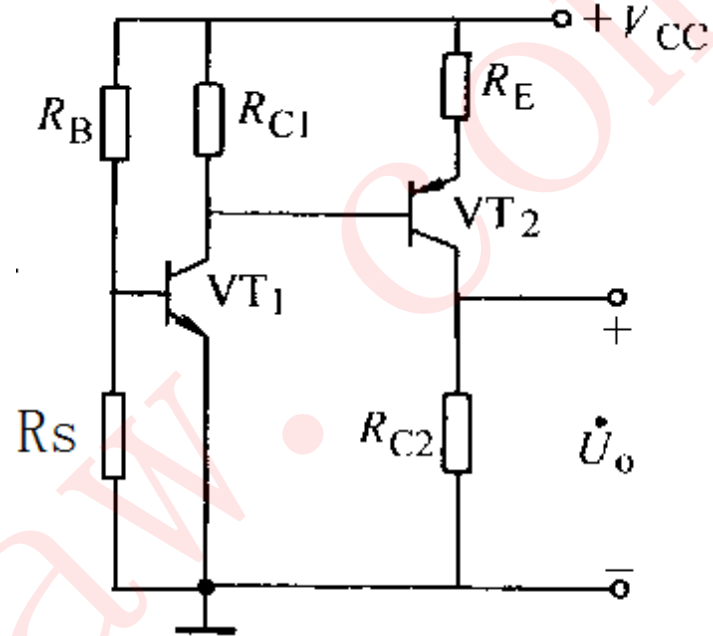
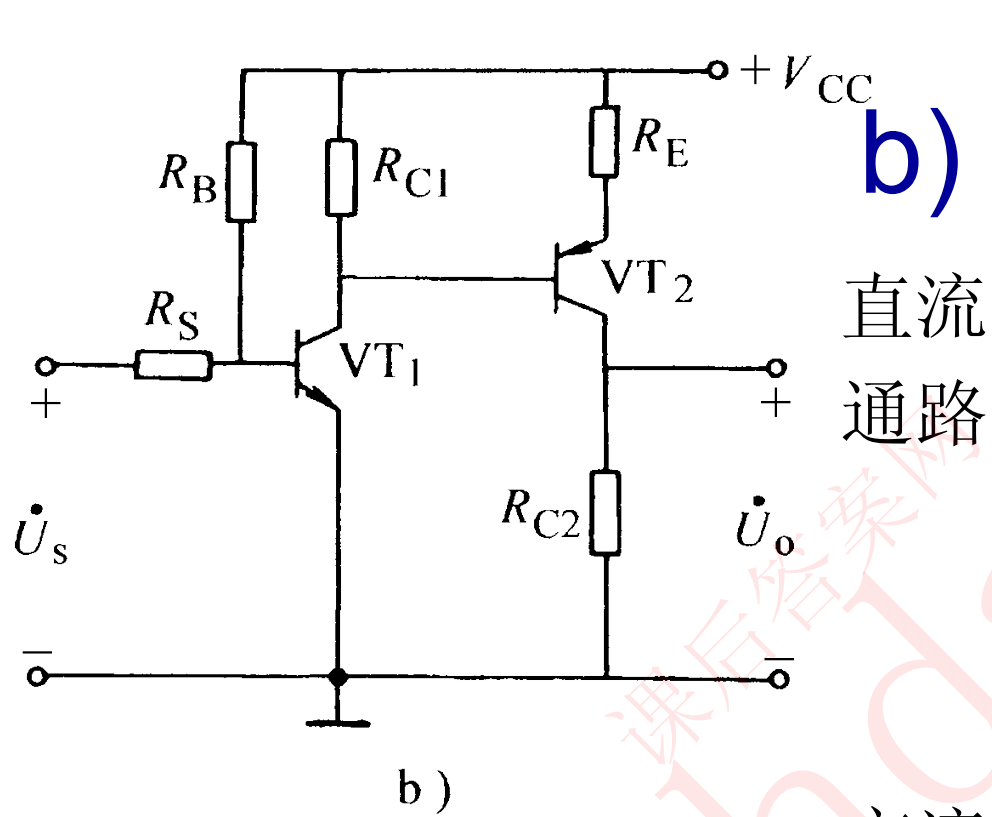
a)

a)

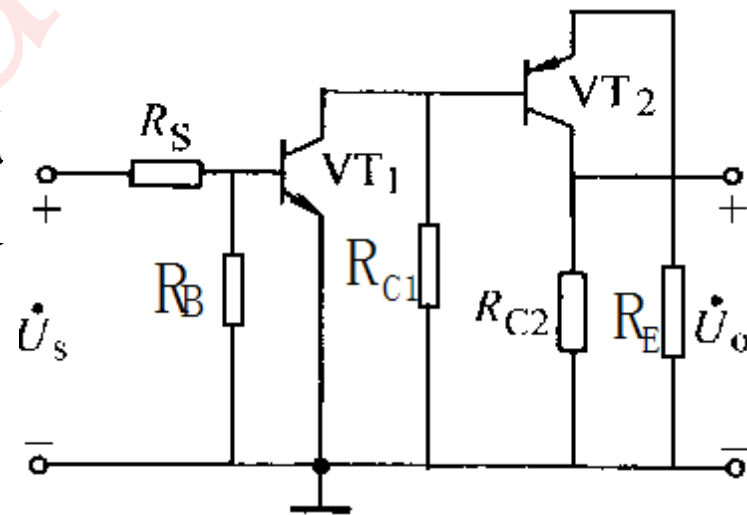
◆ 直流通路



◆ 交流通路



交流通路

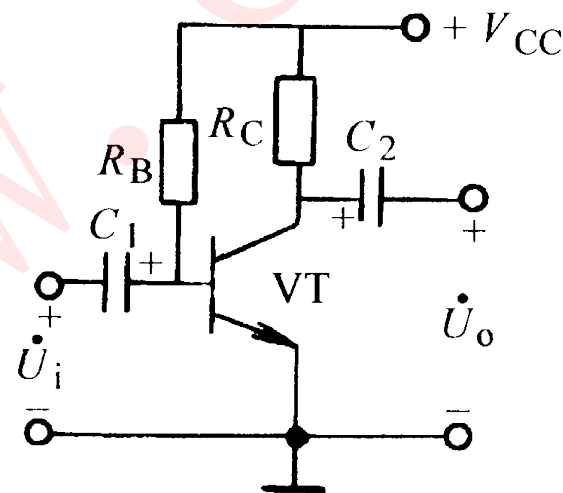


2-10: 共射基本放大电路中, 已知晶体管的 $\beta = 50$, $V_{CC} = 12V$ 。

1. $R_C = 2.4k\Omega$, $R_B = 300k\Omega$,

I_{BQ} , I_{CQ} U_{CEQ} .

解: 将输入短路、电容器视为开路



$$\beta \cdot I_{BQ} = I_{CQ}, U_{BEQ} = 0.7V$$

$$\therefore I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B} = 37\mu A$$

$$\therefore I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ} = 1.88mA$$

$$\therefore U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} \cdot R_C = 7.488V$$

2-10: 共射基本放大电路中, 已知晶体管的 $\beta = 50$, $V_{CC} = 12V$ 。

$$2. \quad U_{CEQ} = 6V,$$

$$I_{CQ} = 2mA, \quad R_B \quad R_C$$

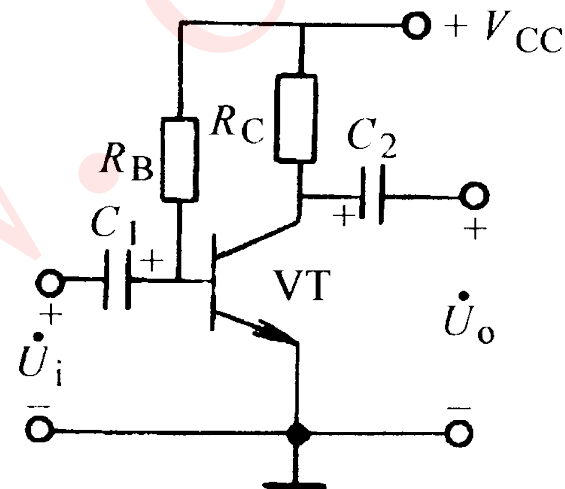
解: 将电容器视为开路。

$$\because U_{CEQ} = 6V, \quad I_{CQ} = 2mA$$

$$\therefore R_C = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{I_{CQ}} = 3k\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 40\mu A$$

$$R_B = 282.5k\Omega$$



2-12: 放大电路及晶体管的特性曲线如图, 用图解法分析

1. 确定放大电路静态工作点的 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 。

涉及知识点

图解法的适用范围

适用于分析输入信号幅值比较大而工作频率 f 不太高时的情况。

实际应用中, 多用于分析 Q 点位置、最大不失真输出电压和波形失真。

2-12: 放大电路及晶体管的特性曲线如图, 用图解法分析.

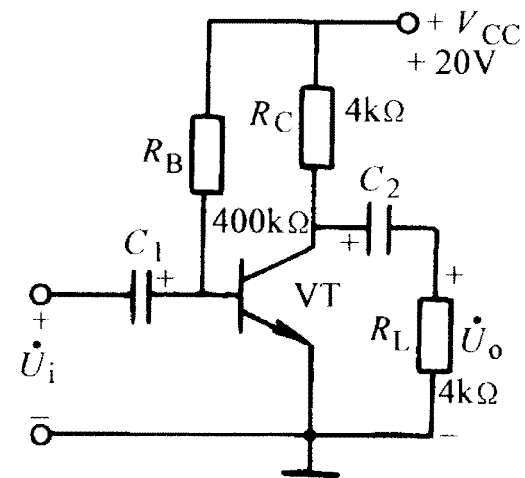
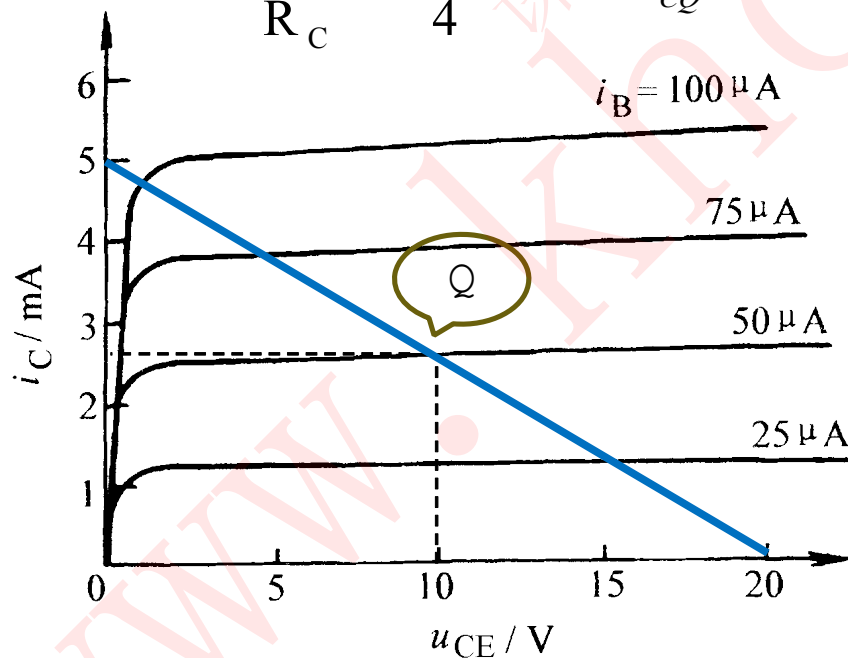
1. 确定放大电路静态工作点的 I_{CQ} 和 U_{CEQ} .

$$\therefore I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} \approx \frac{V_{CC}}{R_B} = 50 \mu A$$

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

$$I_C \quad (0, \frac{V_{CC}}{R_C}) \quad (0, 5mA)$$

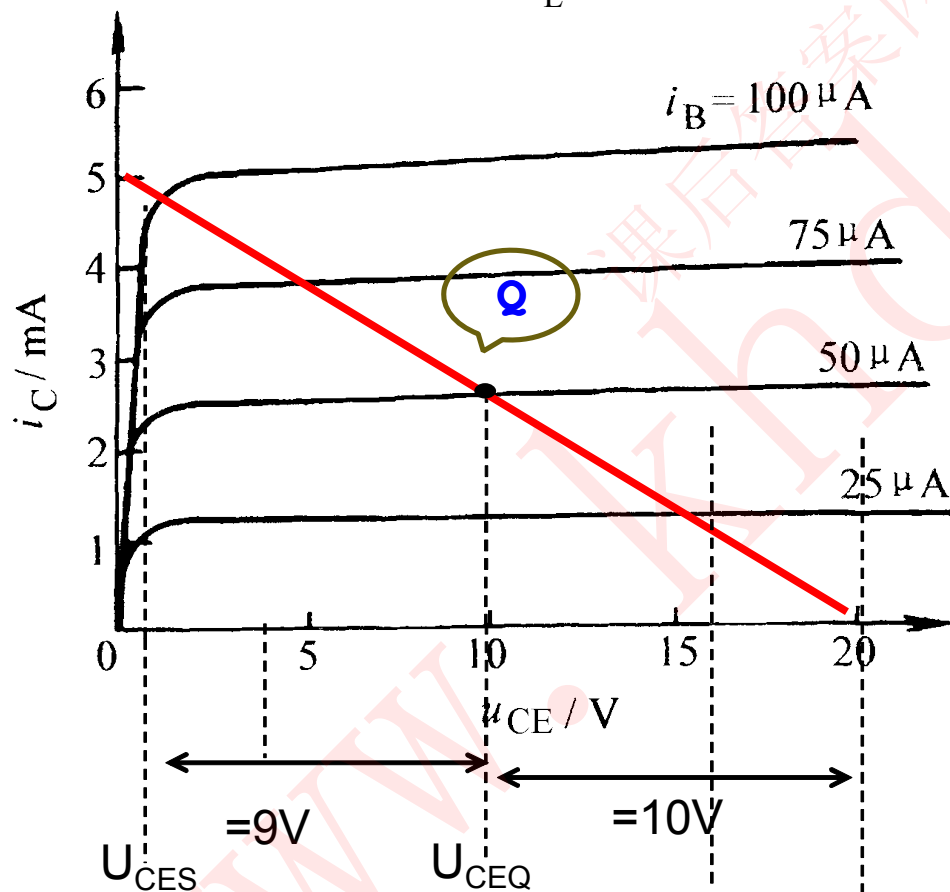
$$-\frac{1}{R_C} = -\frac{1}{4} \quad I_{CQ} \approx 2.6mA \quad U_{CEQ} \approx 10V$$



2. 分别求出负载电阻 $R_L = \infty$ 和 $R_L = 4k\Omega$ 时, 最大不失真输出电压的幅度 $(U_{om})_M$.

解: 设 $U_{ces} = 1V$

$R_L = \infty$: 斜率 $-\frac{1}{R'_L} = -\frac{1}{4} \times 10^{-3}$, 交、直流负载线重合, 如红线。

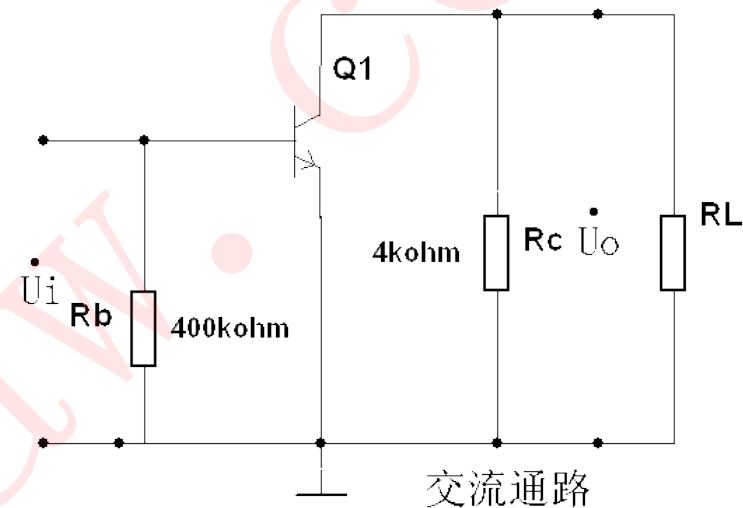
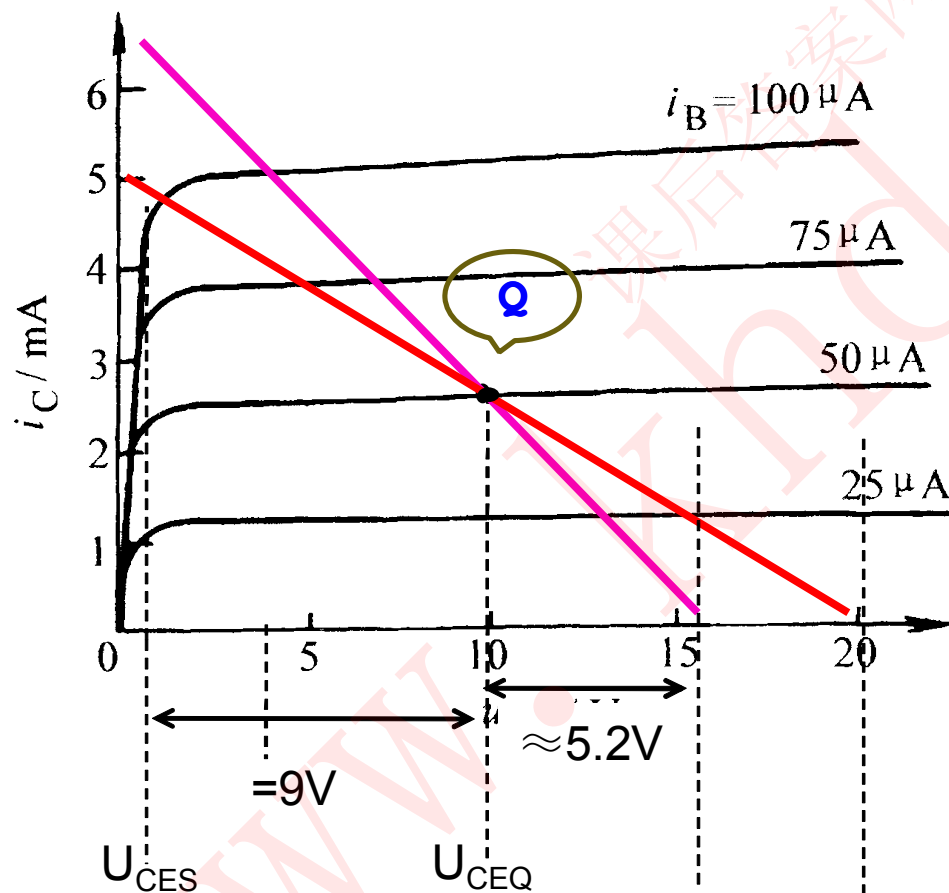


$$(U_{om})_M = U_{CEQ} - U_{CES} = 10V - 1V = 9V$$

在 $V_{CC} - U_{CEQ} = 10V$ 和 $U_{CEQ} - U_{CES} = 9V$ 中取小的一个。

$$R_L = 4k\Omega : \text{斜率} -\frac{1}{R'_L} = -\frac{1}{2} \times 10^{-3}$$

交流负载线过Q点，如粉红色线。



$$I_{CQ}R'_L = 2.6\text{mA} \times 2k\Omega = 5.2\text{V}$$

$$(U_{OM})_M = I_{CQ}R'_L = 5.2\text{V}$$

在 $U_{CEQ} - U_{CES} = 9\text{V}$ 和 $I_{CQ}R'_L = 5.2\text{V}$ 中取小的一个。

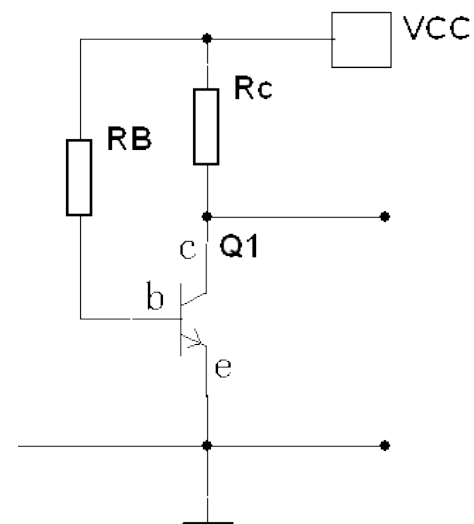
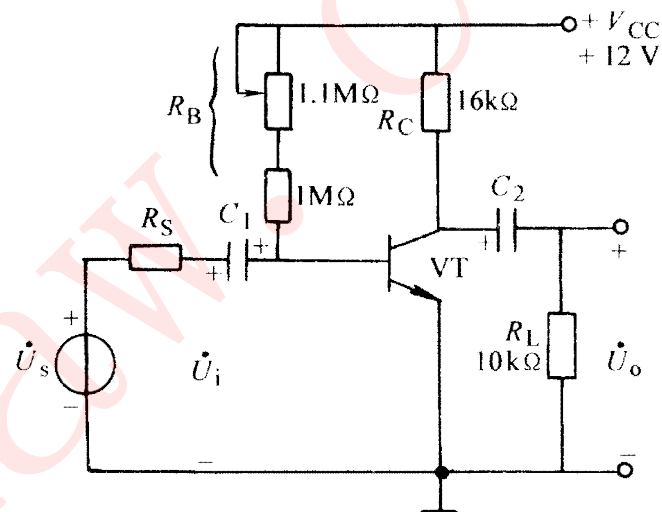
2-14: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, $R_s = 1k \Omega$ 。

1. 要使 $I_{CQ} = 0.5mA$, 求 $R_B = ?$

解: 分析静态工作点

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 10\mu A$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{I_{BQ}} = 1.13M\Omega$$



2-14: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 50$,

$r_{bb'} = 100 \Omega$, $R_s = 1k\Omega$ 。

2.求 A_u 和 A_{us} . 3.求 R_i 和 R_o ..

解:

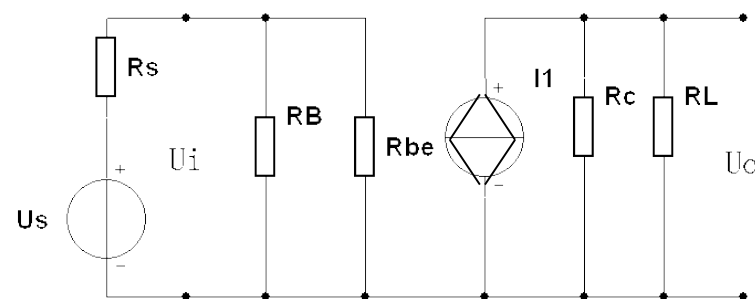
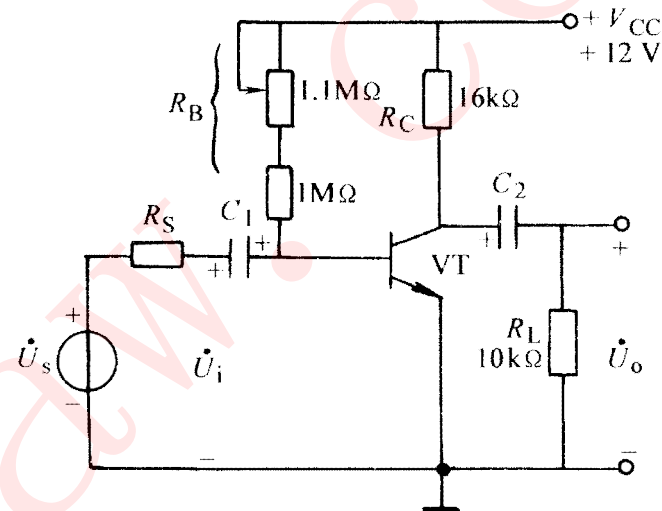
$$\dot{U}_i = \dot{I}_B r_{be}$$

$$\dot{U}_o = -\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \cdot \dot{I}_C = -\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \cdot \beta \dot{I}_B$$

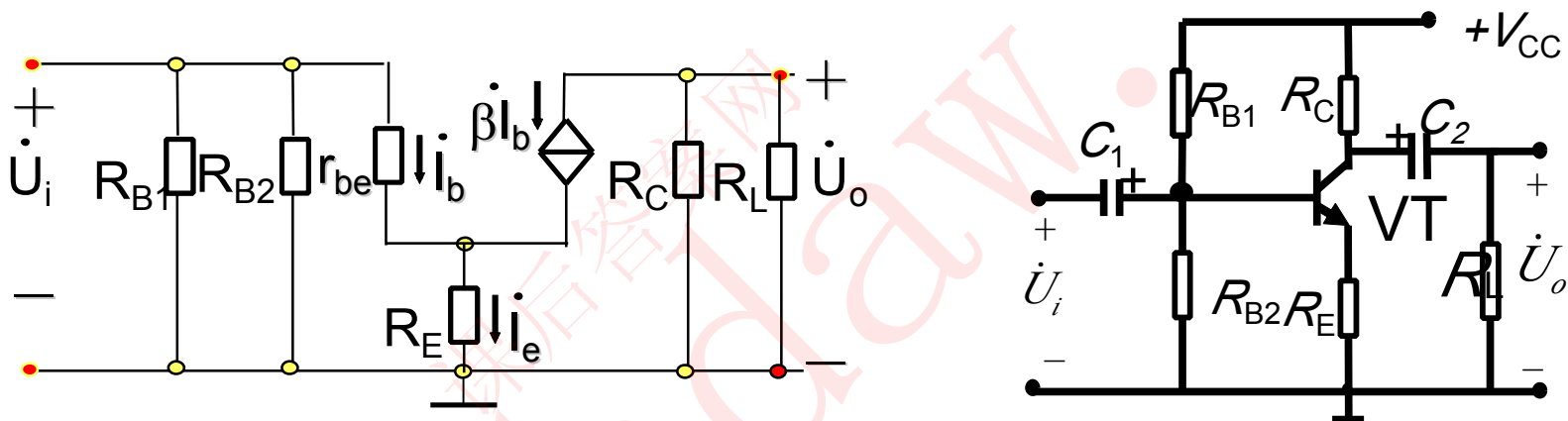
$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \cdot \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}}{r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{0.5}} = -112$$

$$A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = -83$$

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = \frac{R_B r_{be}}{R_B + r_{be}} \approx 2.7k\Omega \quad R_o = R_C = 16k\Omega$$



2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。



用到的表达式:

$$A_u = \frac{-\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_E}$$

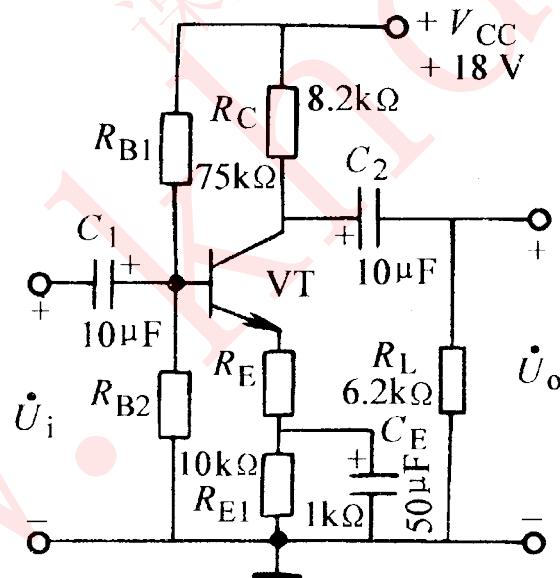
$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$$

$$R_o \approx R_C$$

2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。

解: 当 $R_E = 0$ 时, 分析静态工作点:

$$U_B = \frac{R_{B2} \cdot V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} = 2.12V \quad I_E = \frac{U_B - 0.7V}{R_E + R_{E1}} = 1.42mA$$



2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。

当 $R_E = 0$ 时, 动态时:

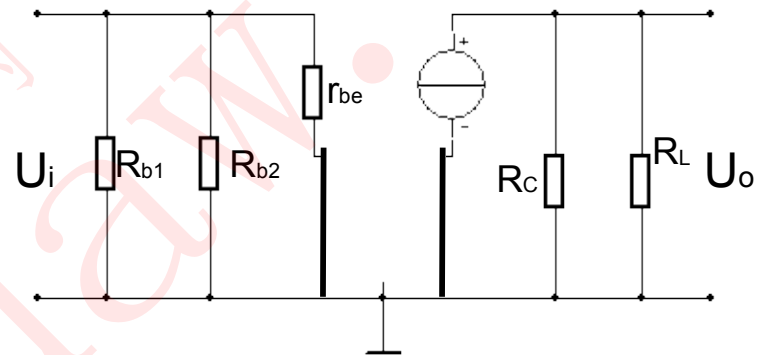
$$\therefore r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \cdot \frac{26 mV}{I_E} = 1.217 k\Omega$$

$$R'_L = R_L // R_C = 3.53 k\Omega$$

$$\therefore A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -174$$

$$\therefore R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} = 1.63 k\Omega$$

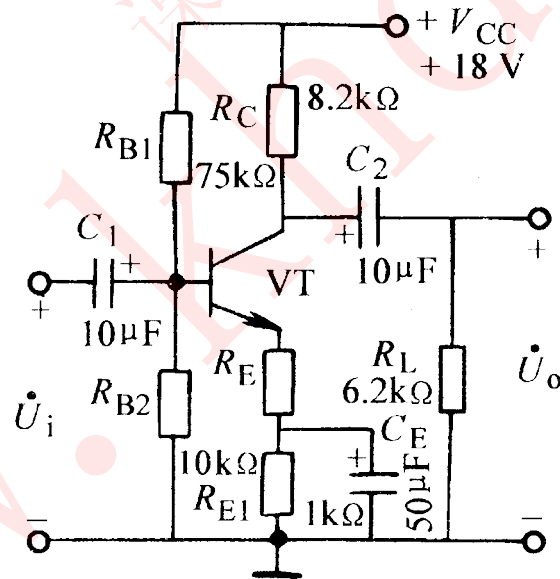
$$\therefore R_o = R_C = 8.2 k\Omega$$



2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。

解: 当 $R_E = 200 \Omega$ 时, 分析静态工作点:

$$U_B = \frac{R_{B2} \cdot V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} = 2.12V \quad I_E = \frac{U_B - 0.7V}{R_E + R_{E1}} = 1.18mA$$



2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。

当 $R_E = 200 \Omega$ 时, 动态时:

$$\therefore r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \cdot 26 mV / I_E$$

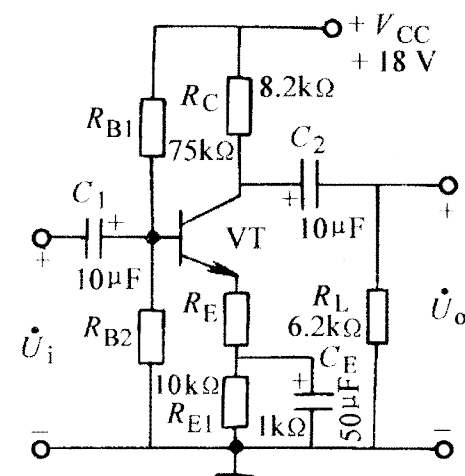
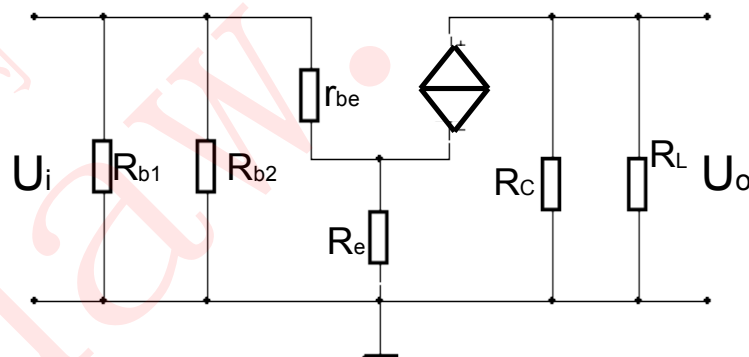
$$= 1.444 k\Omega$$

$$R'_L = R_L // R_C = 3.53 k\Omega$$

$$\therefore A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} = -15.5$$

$$\therefore R_i = \frac{\dot{U}_i}{I_i} = R_{B1} // R_{B2} // (r_{be} + (1 + \beta) R_E) = 5.4 k\Omega$$

$$\therefore R_o = R_C = 8.2 k\Omega$$



2-17: 放大电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 60$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, 分别求当 $R_E = 0$ 及 $R_E = 200 \Omega$ 时, 放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。并分析 R_E 对电路性能的影响。

当 $R_E = 0$ 时,

$$A_u = -174 \quad R_i = 1.63 k\Omega \quad R_o = 8.2 k\Omega$$

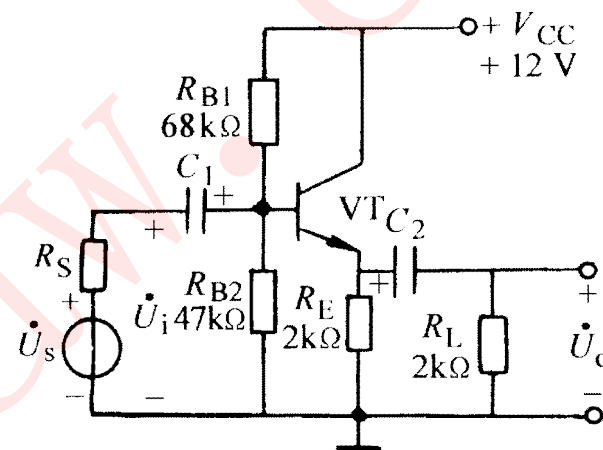
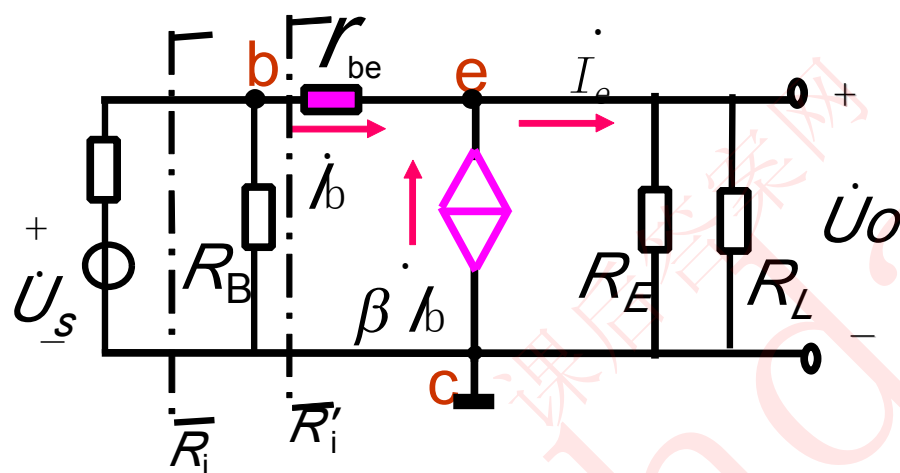
当 $R_E = 200 \Omega$ 时,

$$A_u = -15.5 \quad R_i = 5.4 k\Omega \quad R_o = 8.2 k\Omega$$

综上所述, 当引入电阻 R_E 时, 会使得电路的 $|A_u|$ 下降, 输入电阻 R_i 上升。

2-19: 射极输出器电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 100$, $r_{be} = 100 \Omega$, $R_s = 1k \Omega$ 。试:

1. 估算电路静态工作点的 I_{CQ} 和 U_{CEQ}
2. 计算放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。



用到的表达式:

$$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)}$$

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

$$R_o \approx R_E // \frac{r_{be} + R_B // R_s}{1 + \beta}$$

2-19: 射极输出器电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 100$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, $R_s = 1k \Omega$ 。试:

1. 估算电路静态工作点的 I_{CQ} 和 U_{CEQ}

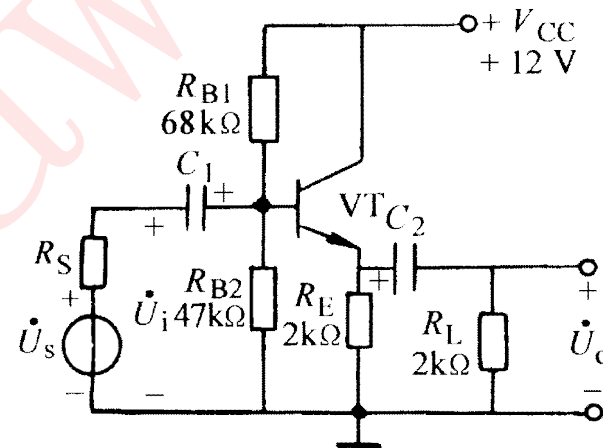
解: 直流时将电容开路。

$$\therefore U_{BQ} = \frac{R_{B2} \cdot V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} \approx 5V$$

$$\therefore I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - 0.7V}{R_E} = 2.15mA$$

$$\therefore I_{CQ} = \frac{\beta}{1 + \beta} I_{EQ} \approx 2.1mA$$

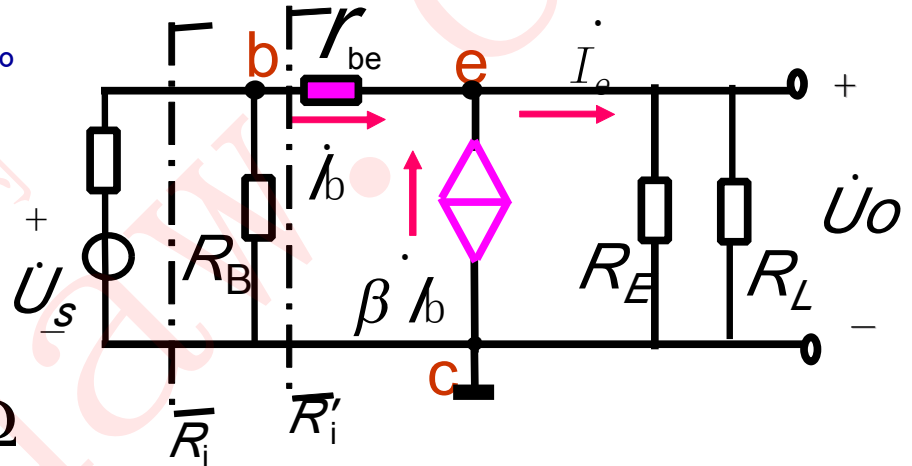
$$\therefore U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ} \cdot R_E = 7.7V$$



2-19: 射极输出器电路如图, 已知晶体管的 $\beta = 100$, $r_{bb'} = 100 \Omega$, $R_s = 1k \Omega$ 。试:

2. 计算放大电路的 A_u 、 R_i 和 R_o 。

解: 交流将电容器短路,
Vcc短路。



$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{CQ}} = 1.35k\Omega$$

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{I}_e R_L'}{\dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_L'} = \frac{(1 + \beta) R_L'}{r_{be} + (1 + \beta) R_L'} = 0.987$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_L'] = 21.8k\Omega$$

$$R_o = R_E // \frac{r_{be} + R_s // R_{B1} // R_{B2}}{1 + \beta} = 23\Omega$$

2-24: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 300 \Omega$, 静态时, $U_{CEQ} = 4V$, $U_{BEQ} = 0.7V$, 各电容足够大, 对交流信号视为短路。试:

1. 设 $R_1 = R_2$, 估算 R_1 、 R_2 值。

解: 分析静态工作点。

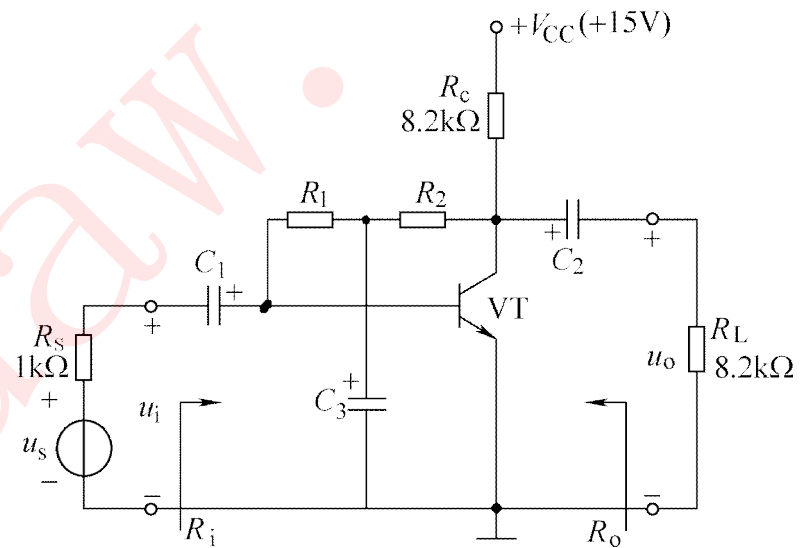
$$\therefore I_{RC} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{R_C}$$

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

$$\therefore I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{CEQ}}{(1 + \beta) R_C} = 26 \mu A$$

$$2R_1 = \frac{U_{CEQ} - U_{BEQ}}{I_{BQ}} = 126 k\Omega$$

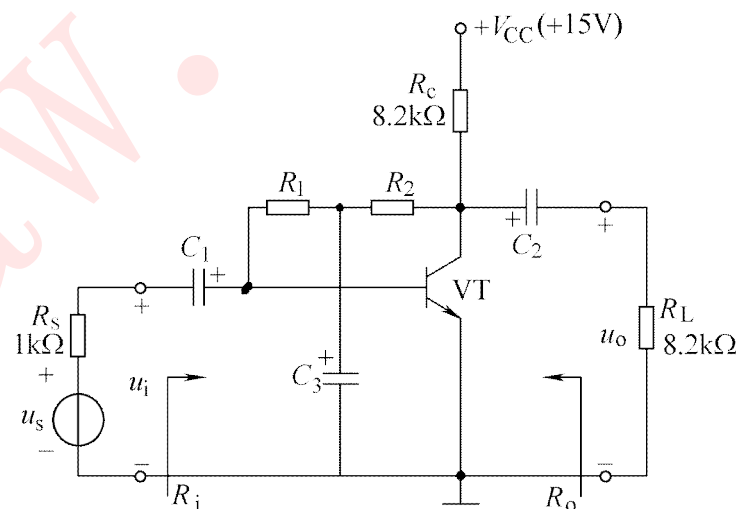
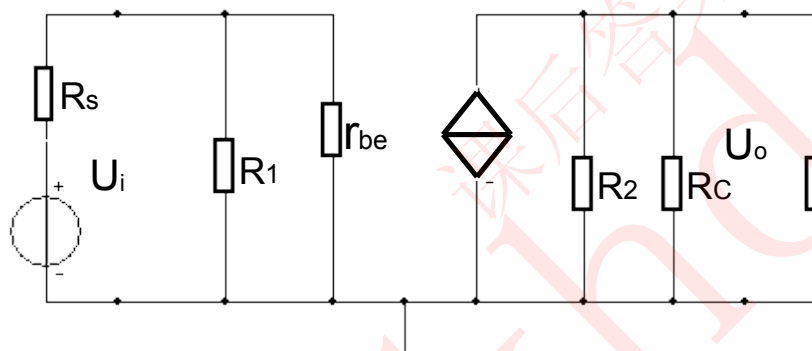
$$R_1 = R_2 = 63 k\Omega$$



2-24: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 300 \Omega$, 静态时, $U_{CEQ} = 4V$, $U_{BEQ} = 0.7V$, 各电容足够大, 对交流信号视为短路。试:

2. 求电压增益 A_u 和 A_{us}

解: 动态过程



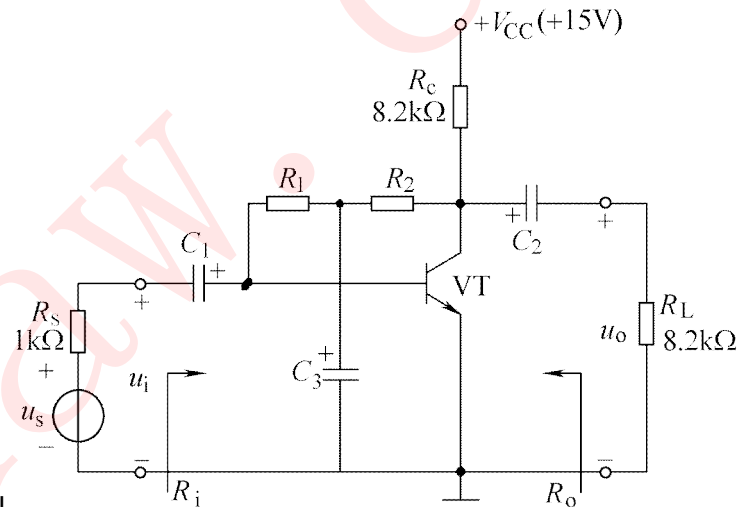
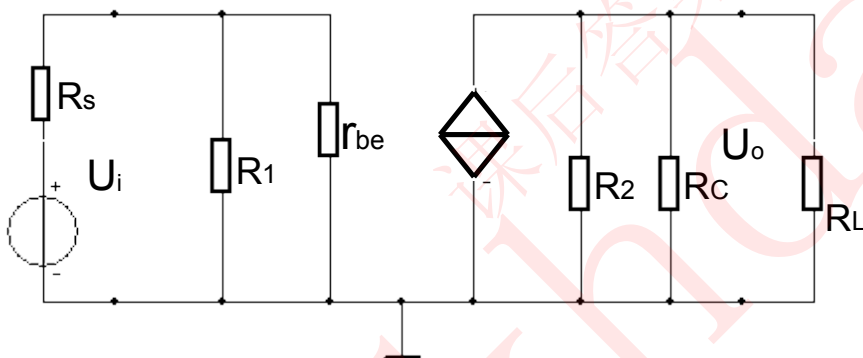
$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_E}$$

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \cdot (R_C \parallel R_L \parallel R_2)}{r_{be}} = -149 \quad A_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_u = -83$$

2-24: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 300 \Omega$, 静态时, $U_{CEQ} = 4V$, $U_{BEQ} = 0.7V$, 各电容足够大, 对交流信号视为短路。试:

3. 求 R_i 和 R_o 。

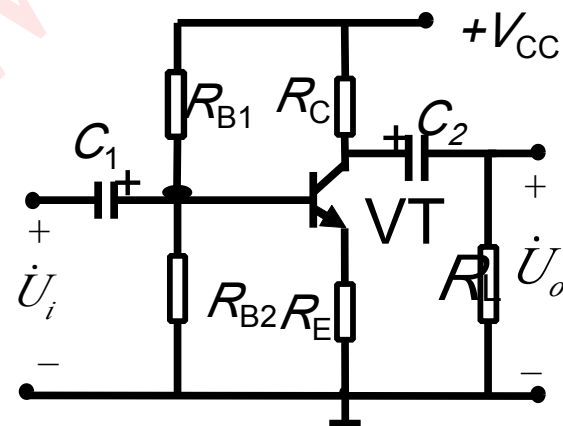
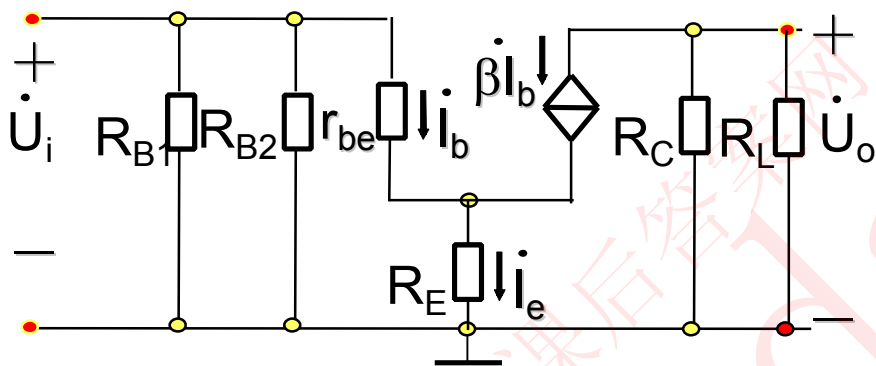
解: 动态过程。



$$R_i = r_{be} // R_1 = 1.3k\Omega$$

$$R_o = R_C // R_2 = 7.3k\Omega$$

2-25: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 100$, $r_{be} = 2.7 \text{ k}\Omega$, 静态时, $U_{BEQ} = 0.7 \text{ V}$, $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$, $U_{CEQ} = 4 \text{ V}$ 各电容足够大, 基极对地电压 $U_{BQ} \approx 5U_{BEQ}$, $I_1 \approx 10I_{BQ}$ 。



$$A_u = \frac{-\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_E}$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_E]$$

$$R_o \approx R_C$$

2-25: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 100$, $r_{be} = 2.7k\Omega$, 静态时, $U_{BEQ} = 0.7V$, $I_{CQ} = 1mA$, $U_{CEQ} = 4V$ 各电容足够大, 基极对地电压 $U_{BQ} \approx 5U_{BEQ}$, $I_1 \approx 10I_{BQ}$ 。试:

1. 估算 R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_c 、 R_e

解: 分析静态工作点。

$$I_{CQ} = 1mA \quad I_{BQ} = 10\mu A \quad I_{EQ} \approx 1mA$$

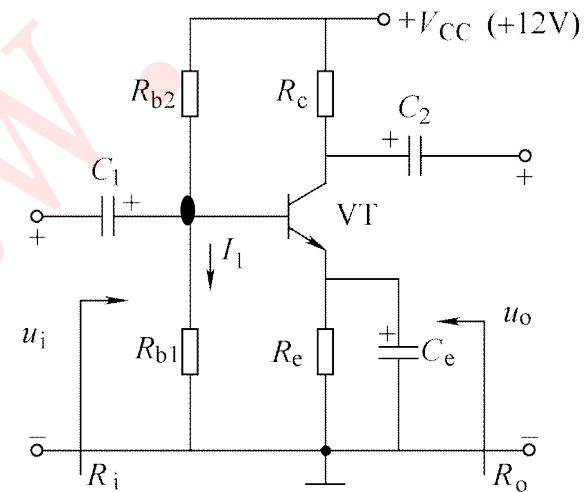
$$U_{BQ} = \frac{R_{b1}V_{CC}}{R_{b1} + R_{b2}} = 3.5V$$

$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e} = \frac{2.8V}{R_e} = 1mA \Rightarrow R_e = 2.8k\Omega$$

$$R_c = \frac{V_{CC} - (U_{BQ} - U_{BEQ}) - U_{CEQ}}{I_{CQ}} = 5.2k\Omega$$

$$\because I_1 = 10I_{BQ} = 0.1mA \quad \text{且 } I_{BQ} \text{ 非常小}$$

$$\therefore R_{b1} + R_{b2} \approx \frac{V_{CC}}{I_1} = 120k\Omega \Rightarrow R_{b1} \approx 35k\Omega, R_{b2} \approx 85k\Omega$$



2-25: 如图, 已知电路中晶体管的 $\beta = 100$, $r_{be} = 2.7k\Omega$, 静态时, $U_{BEQ} = 0.7V$, $I_{CQ} = 1mA$, $U_{CEQ} = 4V$ 各电容足够大, 基极对地电压 $U_{BQ} \approx 5U_{BEQ}$, $I_1 \approx 10I_{BQ}$ 。试:

2. 求电压增益 A_u , R_i 和 R_o

解: 动态过程。

$$A_u = \frac{-R_C \cdot \dot{I}_c}{\dot{I}_b r_{be}} = \frac{-\beta \cdot R_C}{r_{be}} = -193$$

$$R_i = R_{b2} // R_{b1} // r_{be} = 2.4k\Omega$$

$$R_o = R_C = 5.2k\Omega$$

