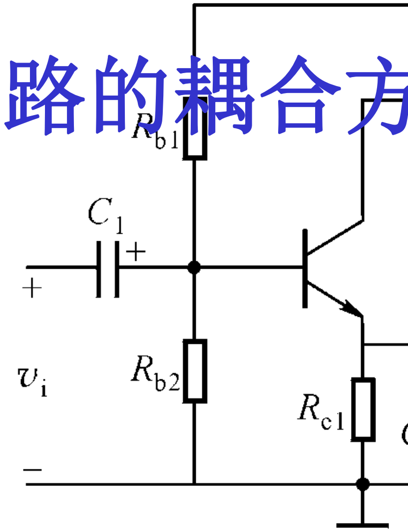
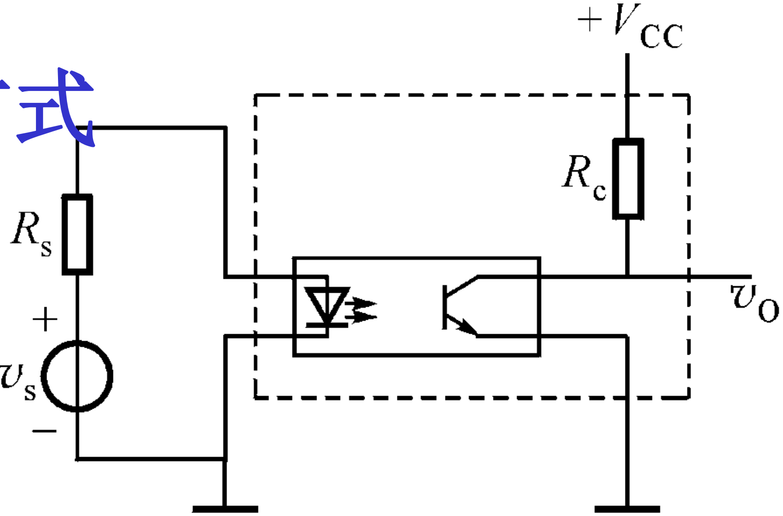
§1.4 多级放大电路的分析

1、多级放大电路的耦合方式

2、多级放大电路的分析

1、多级放大电路的耦合方式



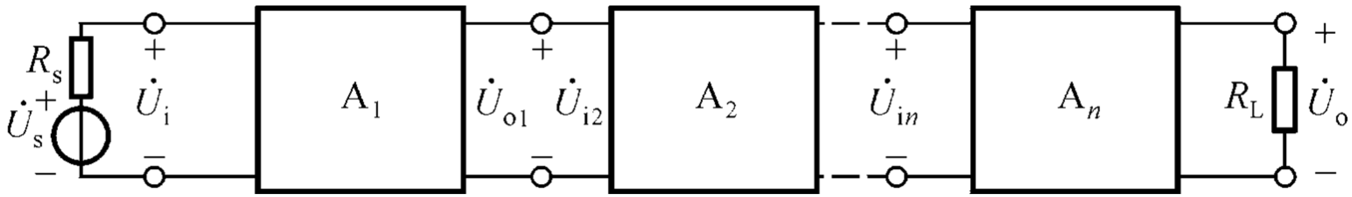


- ❖充分利用各单
- ❖级间耦合
  - ➢耦合 要求
  - ➢阻容 耦合
    - ✓优点：电路简单、各级静态工作点独立；
    - ✓缺点：不能放大低频、直流信号，不易集成化；
    - ✓应用：分立元件电路。
  - ➢直接 耦合
    - ✓优点：低频特性好，易于集成化；
    - ✓缺点：各级静态工作点相互影响，有零点漂移；
    - ✓应用：集成电路。
  - ➢变压器耦合
    - ✓优点：各级静态工作点独立，能实现阻抗变换；
    - ✓缺点：不能放大低频、直流信号，体积大；
    - ✓应用：分立元件功率电路。
  - ➢光电 耦合
    - ✓优点：抗干扰能力强，体积小，使用方便；
    - ✓缺点：信号传输为非线性；
    - ✓应用：数字电路。

2、多级放大电路分析

1）动态参数分析

1. 电压放大倍数



$$\dot{A}_u=\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}=\frac{\cancel{\dot{U}_{o1}}}{\dot{U}_i}\cdot\frac{\cancel{\dot{U}_{o2}}}{\cancel{\dot{U}_{i2}}}\cdots\cdots\frac{\dot{U}_o}{\cancel{\dot{U}_{in}}}=\prod_{j=1}^{n}\dot{A}_{uj}$$

2. 输入电阻

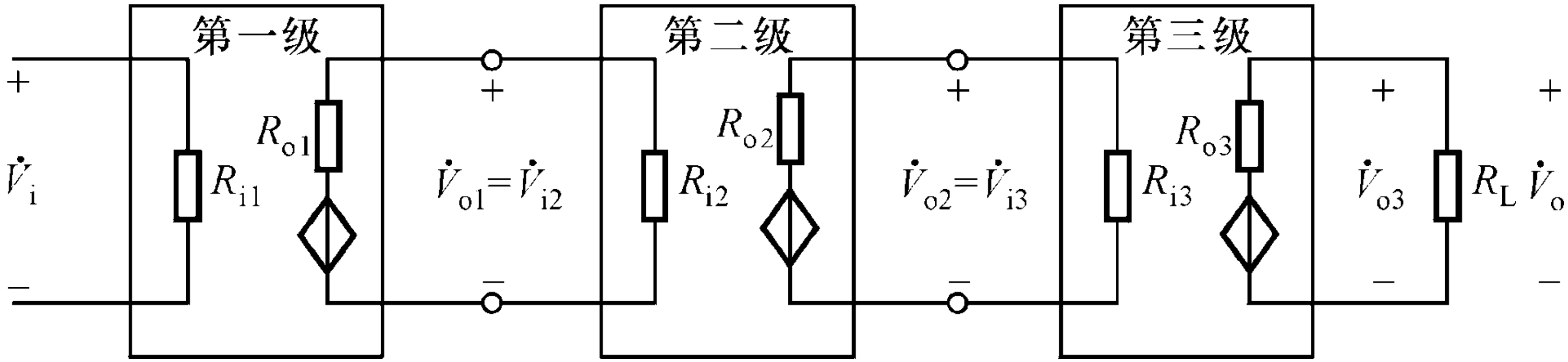
$$R_i=R_{i1}$$

3. 输出电阻

$$R_o=R_{on}$$

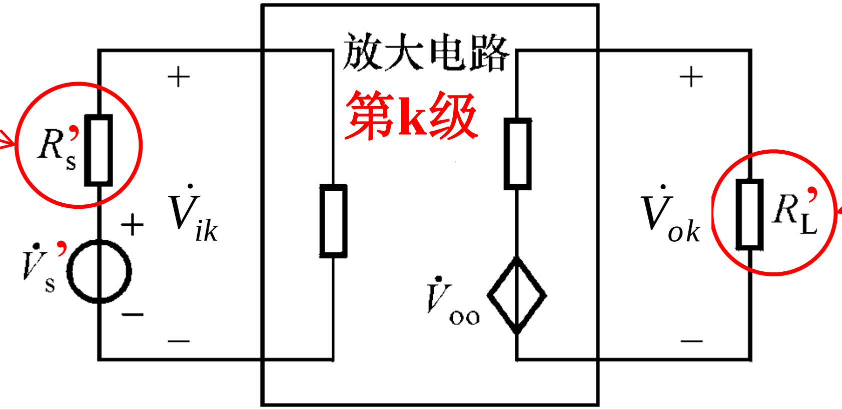
对电压放大电路的要求：$\boldsymbol{R_i}$大， $\boldsymbol{R_o}$小，$\boldsymbol{A_u}$的数值大，最大不失真输出电压大。

❖多级放大电路总增益=各单级增益的乘积（dB之和）



$$\dot{A}_v=\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}=\frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_i}\cdot\frac{\dot{V}_{o2}}{\dot{V}_{o1}}\cdots\frac{\dot{V}_{o(n)}}{\dot{V}_{o(n-1)}}=\dot{A}_{v1}\cdot\dot{A}_{v2}\cdots\dot{A}_{vn}=\prod_{k=1}^{n}\dot{A}_{vk}$$

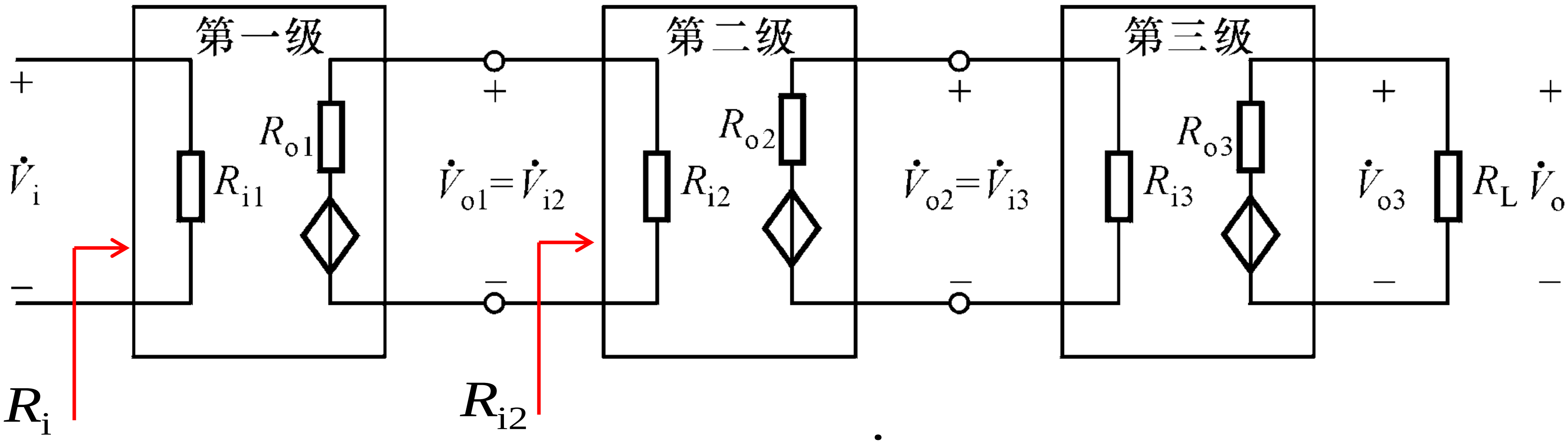
前一级放大电路的输出电阻 $\boldsymbol{R}_{\mathbf{o}（\mathbf{k-1}）}$



后一级放大电路的输入电阻 $\boldsymbol{R}_{\mathbf{i}（\mathbf{k+1}）}$

计算单级增益 $\mathbf{A_{vk}}$ 时应考虑前一级放大电路和后一级放大电路对它的影响。

❖多级放大电路的输入电阻=第一级的输入电阻

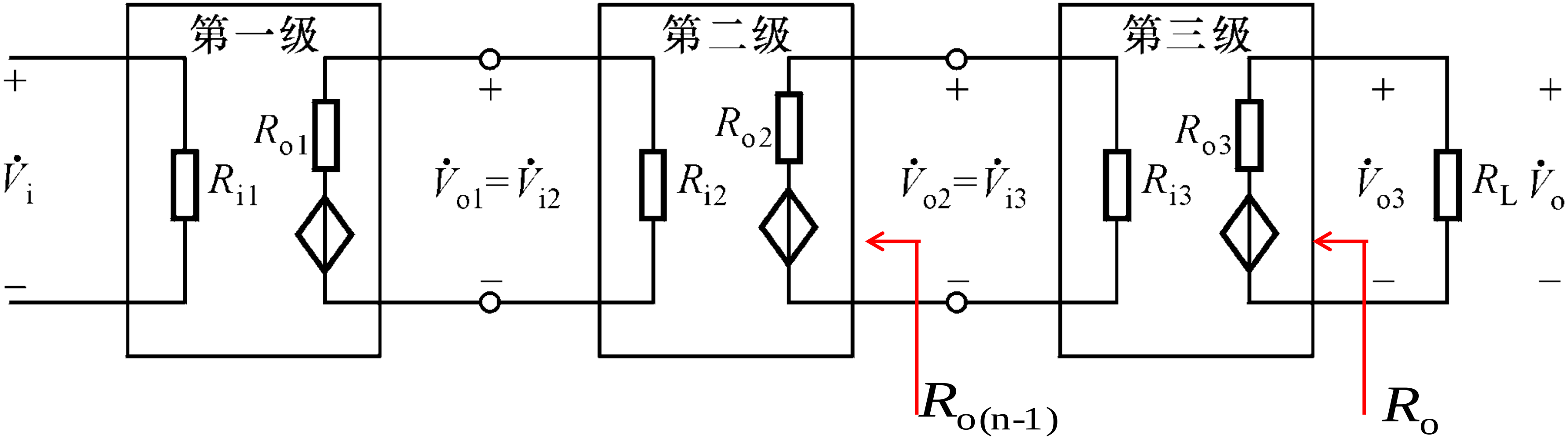


$$R_i = R_{i1} = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i}$$

当**第一级为CC电路**时，应考虑第二级输入电阻的影响。

否则，只需在第一级的输入回路中求等效电阻

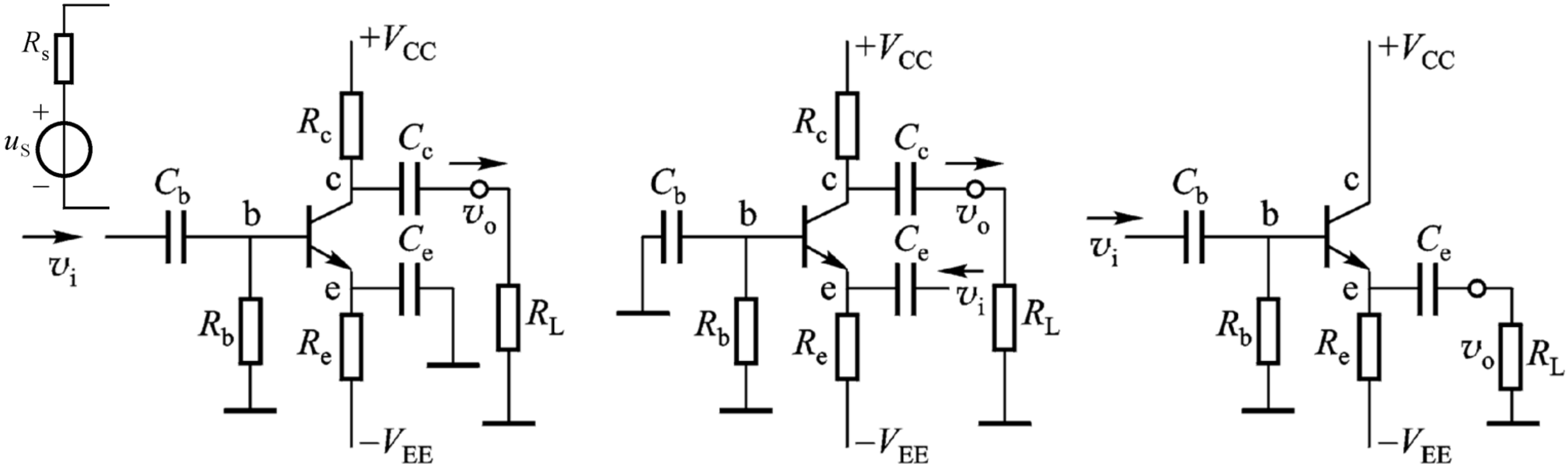
❖多级放大电路的输出电阻=末级的输出电阻



$$R_o = R_{on}$$

当**末级电路为CC电路**时，应考虑末前级输出电阻的影响。

否则，只需在末级的输出回路中令受控源为零求等效电阻

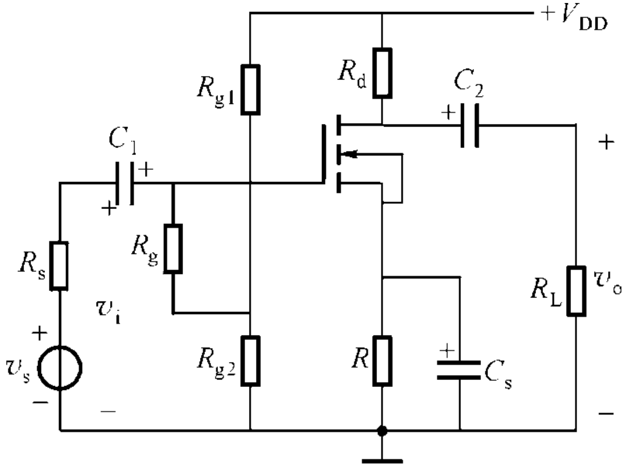


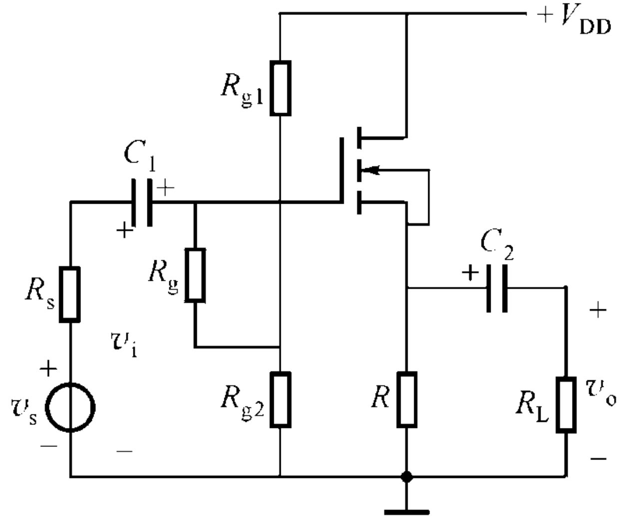
共射　　共基　　共集

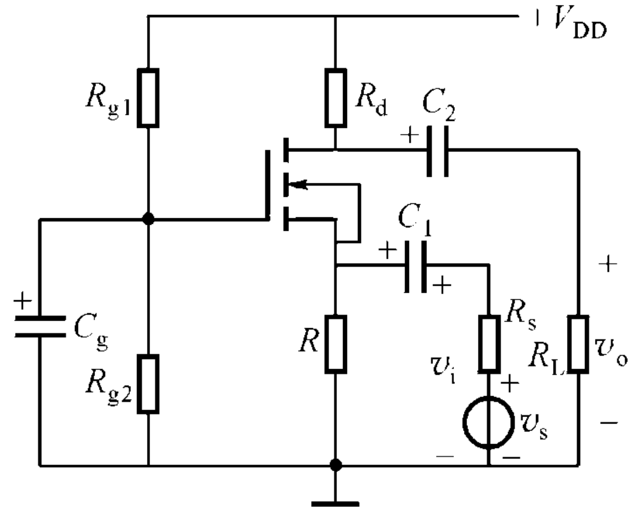
$$A_v = -\frac{\beta R_L'}{r_{be}} \qquad A_v = \frac{\beta R_L'}{r_{be}} \qquad A_v = -\frac{(1+\beta)R_L'}{r_{be}+(1+\beta)R_L'}$$

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

$$R_o = R_c \qquad R_o = R_c \qquad \boxed{R_o = \frac{R_b // R_s + r_{be}}{1+\beta} // R_e}$$







共源

$$A_v = \frac{-g_m \dot{V}_{gs} R_L^{'}}{\dot{V}_{gs}} = -g_m R_L^{'}$$

$$R_L^{'} = R_d \,//\, R_L$$

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = R_g + R_{g1} \,//\, R_{g2}$$

$$R_o = \left.\frac{\dot{V}_o^{'}}{\dot{I}_o^{'}}\right|_{\substack{\dot{V}_s=0 \\ R_L=\infty}} = R_d$$

共漏

$$A_v = \frac{g_m R_L^{'}}{1+g_m R_L^{'}} \approx 1$$

$$R_i = R_g + R_{g1} \,//\, R_{g2}$$

$$R_o = R \,//\, \frac{1}{g_m}$$

共栅

$$A_v = g_m R_L^{'}$$

$$R_i = R \,//\, \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_d$$

放大倍数

CE	CB	CC	CS	CG	CD
$-\dfrac{\beta R'_{\mathrm{L}}}{r_{\mathrm{be}}}$	$\dfrac{\beta R'_{\mathrm{L}}}{r_{\mathrm{be}}}$	$\dfrac{(1+\beta)R'_{\mathrm{L}}}{r_{\mathrm{be}}+(1+\beta)R'_{\mathrm{L}}}$	$-g_{\mathrm{m}}R'_{\mathrm{L}}$	$g_{\mathrm{m}}R'_{\mathrm{L}}$	$\dfrac{g_{\mathrm{m}}R'_{\mathrm{L}}}{1+g_{\mathrm{m}}R'_{\mathrm{L}}}$

输入电阻

CC输入电阻与负载有关

CE	CB	CC	CS	CG	CD
$R_{\mathrm{b}}//r_{\mathrm{be}}$	$R_{\mathrm{e}}//\dfrac{r_{\mathrm{be}}}{1+\beta}$	$R_{\mathrm{b}}//\left[r_{\mathrm{be}}+(1+\beta)R'_{\mathrm{L}}\right]$	$R_{\mathrm{g1}}//R_{\mathrm{g2}}$	$R//\dfrac{1}{g_{\mathrm{m}}}$	$R_{\mathrm{g1}}//R_{\mathrm{g2}}$

输出电阻

CC输出电阻与信号源内阻有关

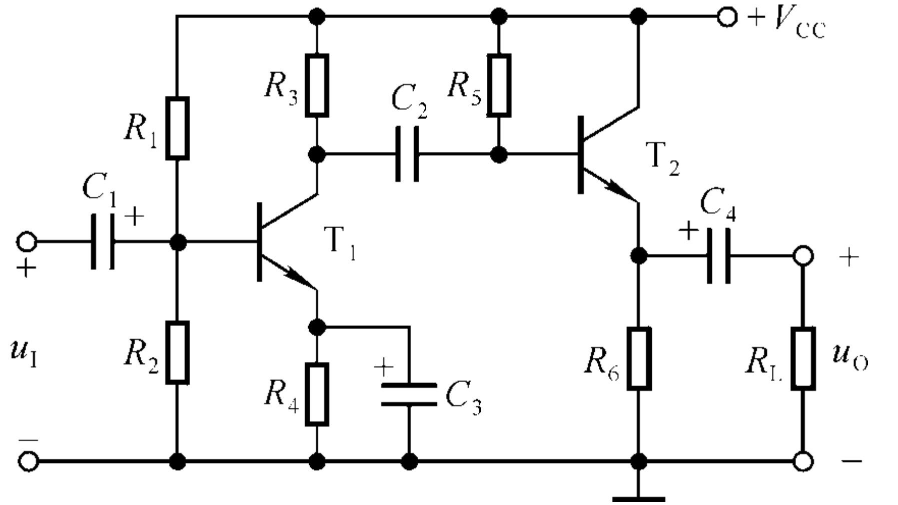
CE	CB	CC	CS	CG	CD
R_{c}	R_{c}	$R_{\mathrm{e}}//\dfrac{r_{\mathrm{be}}+R_{\mathrm{b}}//R_{\mathrm{s}}}{1+\beta}$	R_{d}	R_{d}	$R//\dfrac{1}{g_{\mathrm{m}}}$

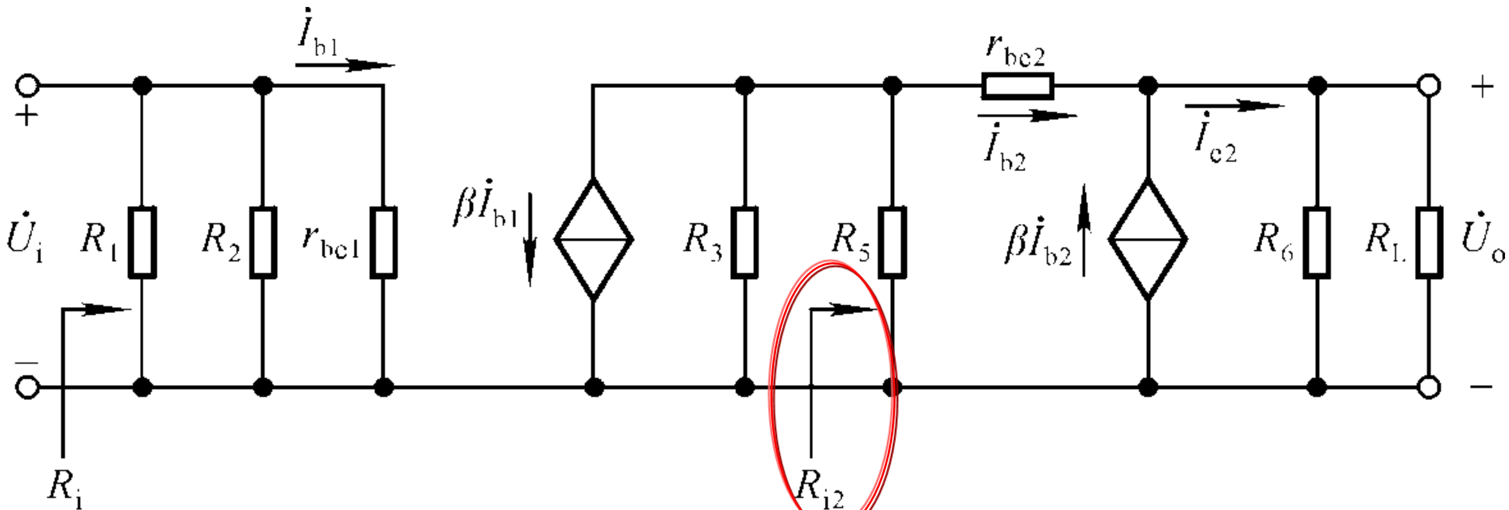
2）分析举例

$$R_i = R_1 \mathbin{//} R_2 \mathbin{//} r_{be1}$$

$$R_o = R_6 \mathbin{//} \frac{R_3 \mathbin{//} R_5 + r_{be2}}{1+\beta}$$

$$R_{i2} = R_5 \mathbin{//} [r_{be2} + (1+\beta_2)(R_6 \mathbin{//} R_L)]$$





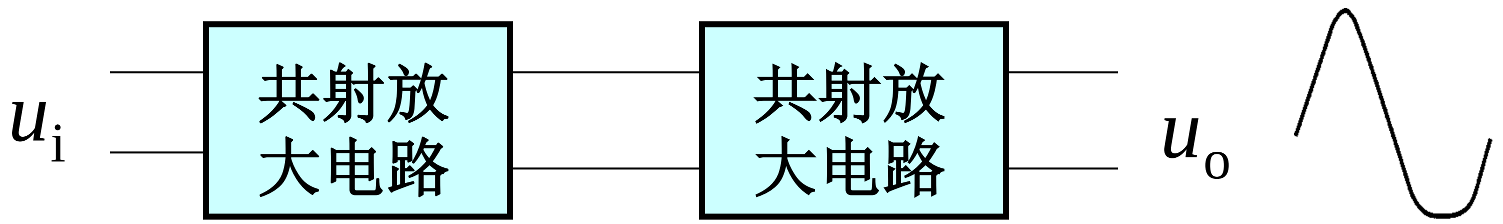
$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta\ (R_3 \mathbin{//} R_{i2})}{r_{be1}}$$

$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1+\beta_2)\ (R_6 \mathbin{//} R_L)}{r_{be2} + (1+\beta_2)\ (R_6 \mathbin{//} R_L)}$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2}$$

讨论

失真分析：由**NPN**型管组成的两级共射放大电路



饱和失真？截止失真？

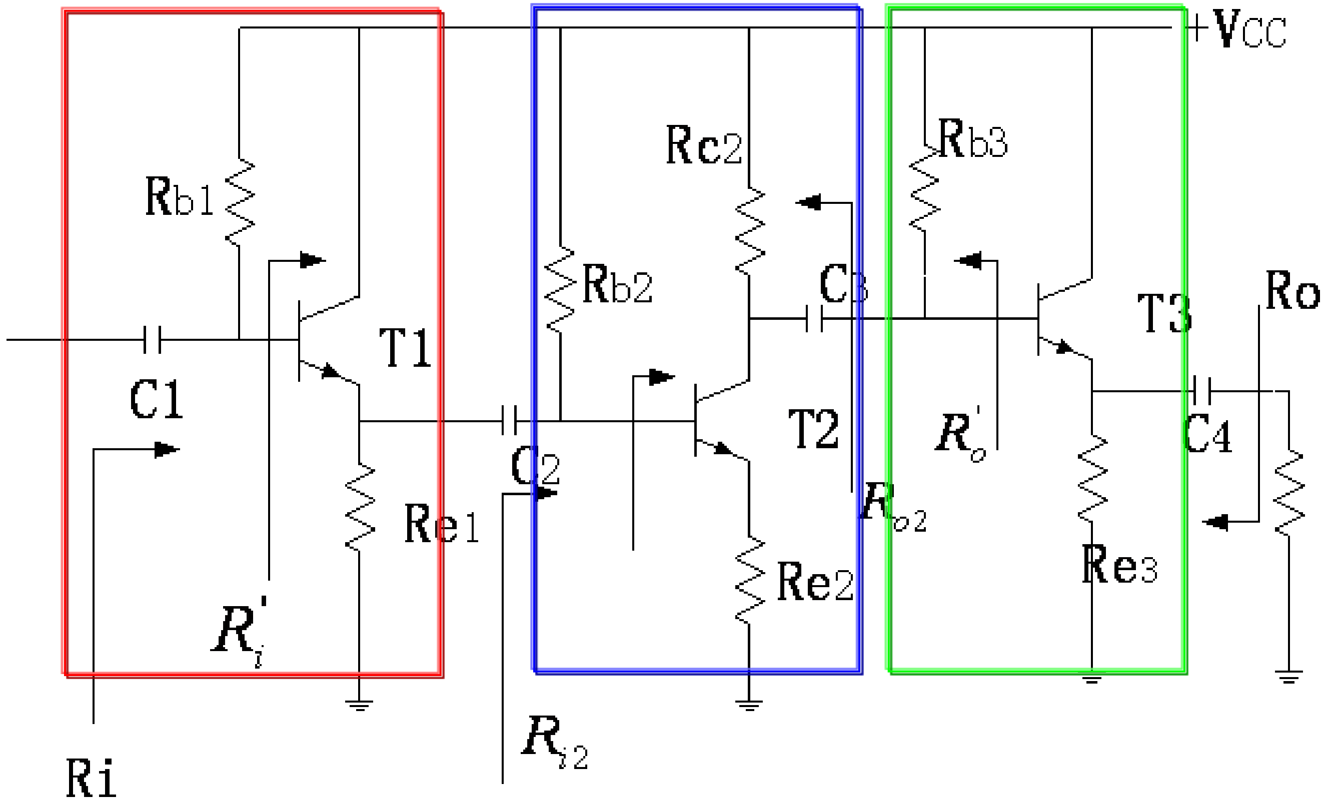
首先确定在哪一级出现了失真，再判断是什么失真。

比较$\boldsymbol{U}_{\mathbf{om1}}$和$\boldsymbol{U}_{\mathbf{im2}}$，则可判断在输入信号逐渐增大时哪一级首先出现失真。

在前级均未出现失真的情况下，多级放大电路的最大不失真电压等于输出级的最大不失真电压。

【例1】

求输入输出电阻



共集放大电路　　共射放大电路　　共集放大电路

$$R_i = R_{b1} // R_i^{'}$$

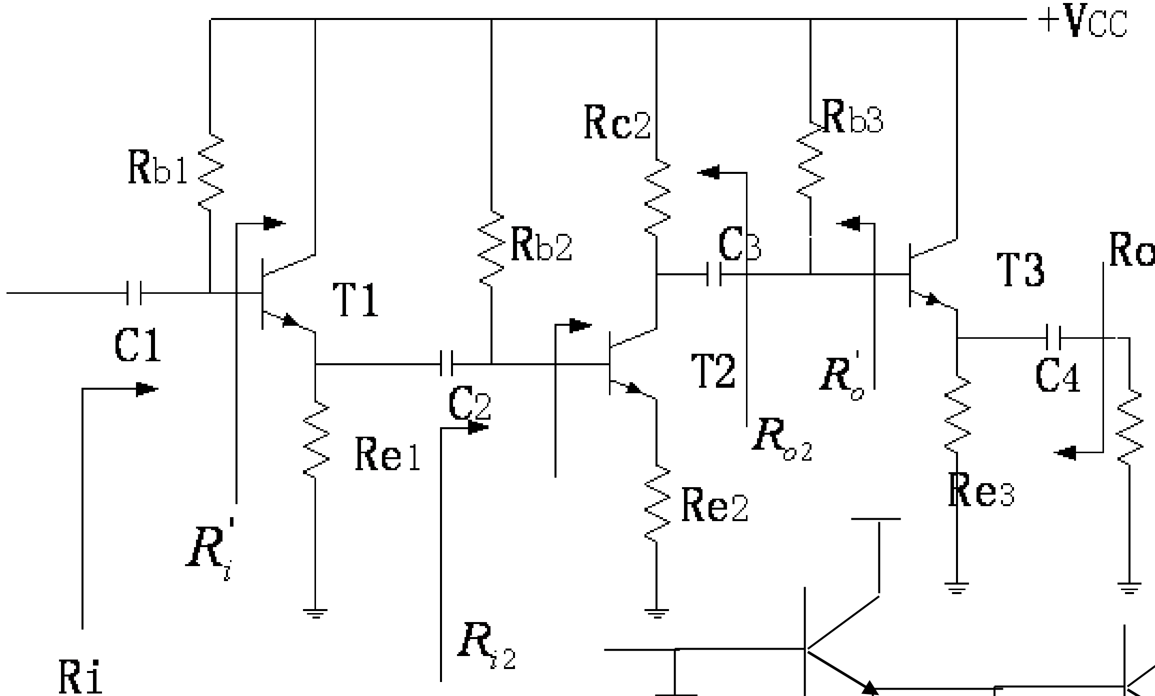
$$R_i^{'} = r_{be1} + (1+\beta)[R_{e1} // R_{i2}]$$

$$R_{i2} = R_{b2} // [r_{be2} + (1+\beta)R_{e2}]$$

$$R_o = R_{e3} // \frac{r_{be3} + R_0^{'}}{1+\beta_3}$$

$$R_o^{'} = R_{b3} // R_{o2}$$

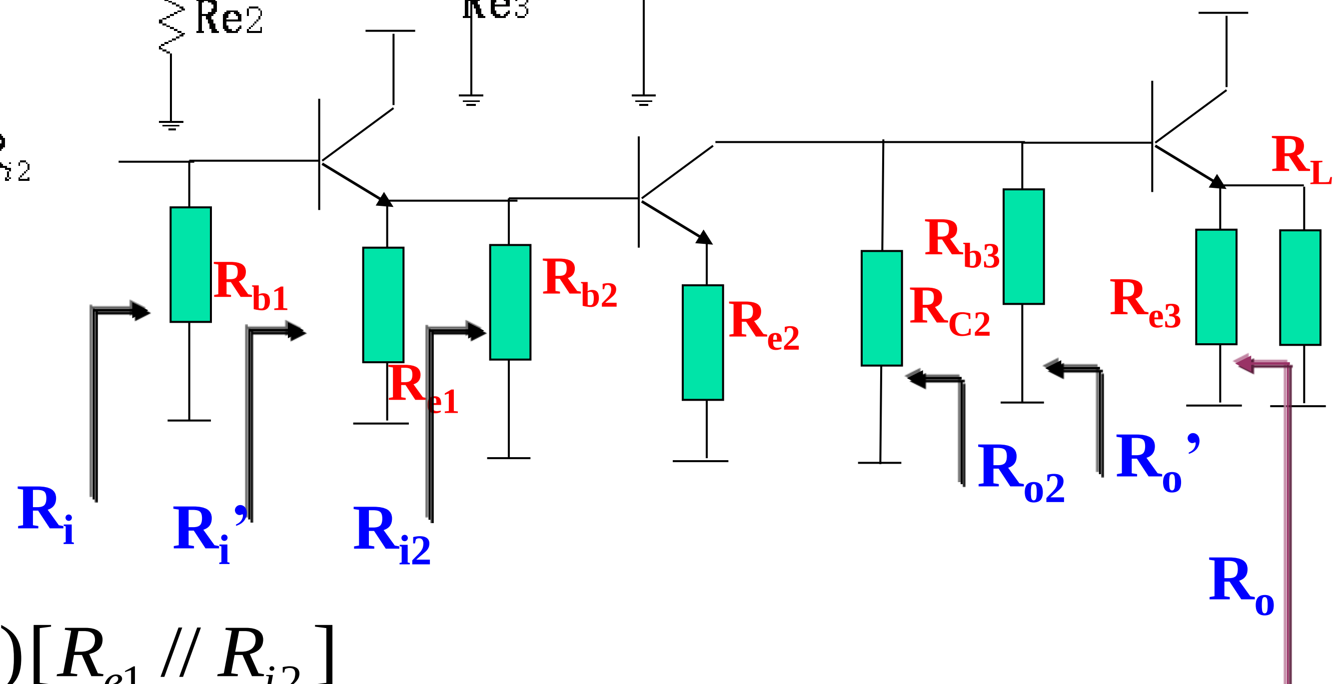
$$R_{o2} = R_{C2}$$



$$R_o = R_{e3} // \frac{r_{be3} + R_0'}{1+\beta_3}$$

$$R_o' = R_{b3} // R_{o2}$$

$$R_{o2} = R_{C2}$$



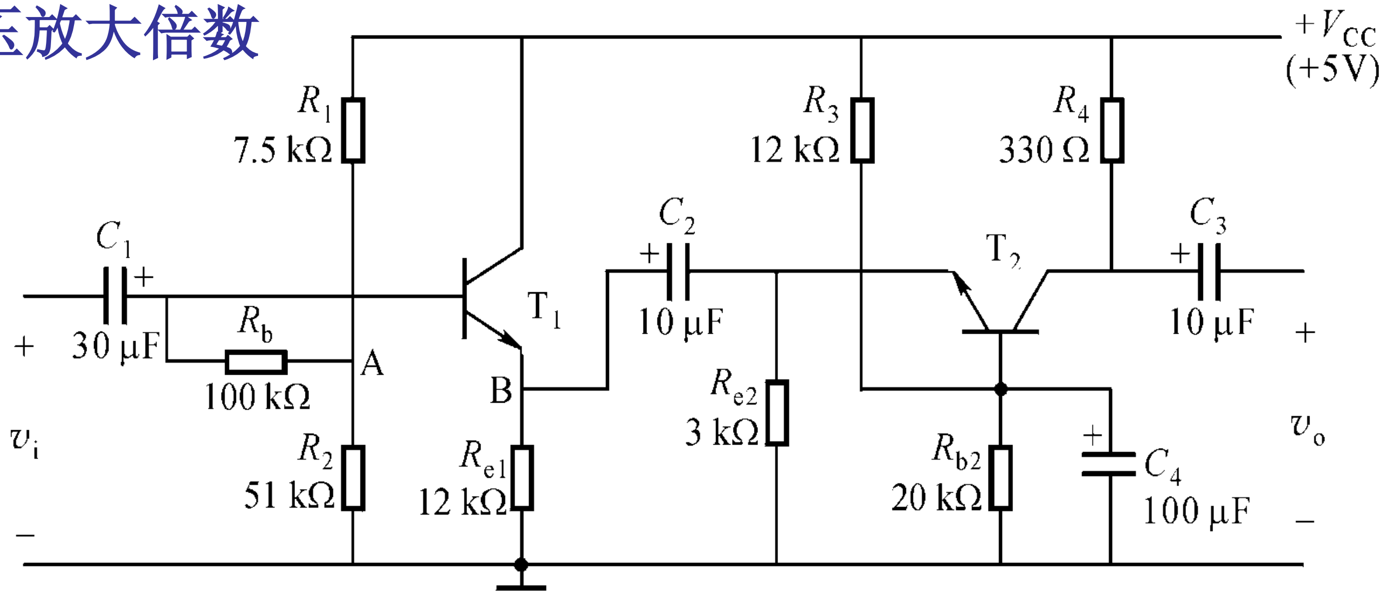
$$R_i = R_{b1} // R_i'$$

$$R_i' = r_{be1} + (1+\beta)[R_{e1} // R_{i2}]$$

$$R_{i2} = R_{b2} // [r_{be2} + (1+\beta)R_{e2}]$$

【例2】 已知$\beta_1=\beta_2=50$，$r_{bb'}=300\Omega$，求：

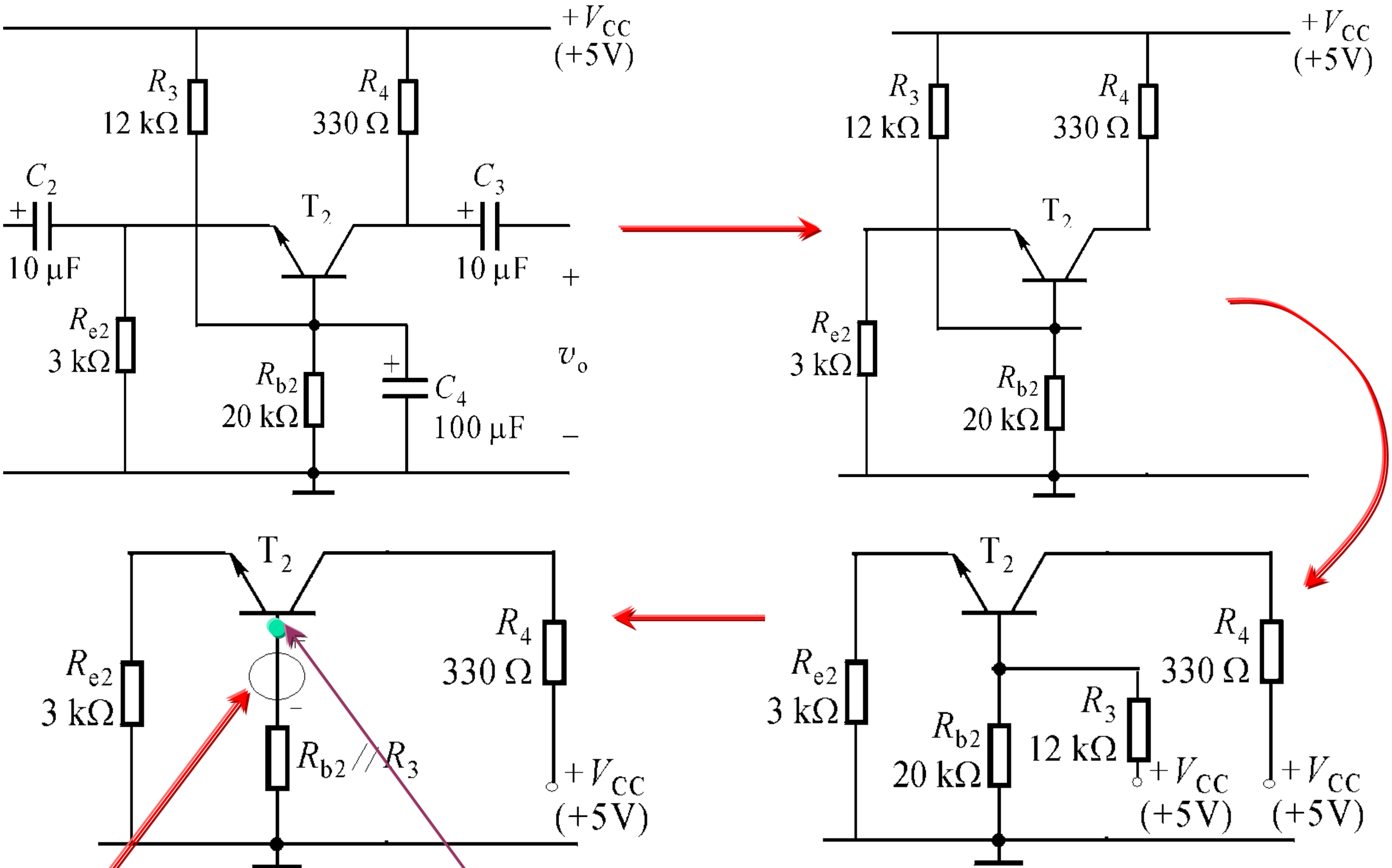
（1）电压放大倍数



解1:

$$\begin{cases} V_A = V_{CC} \times \dfrac{R_2}{R_1+R_2} = 4.36\text{V} \\ I_{EQ1} = (1+\beta)\dfrac{V_A - 0.7}{R_b+(1+\beta)R_{e1}} = 0.26\text{mA} \\ r_{be1} = r_{bb'} + (1+\beta)\dfrac{26}{I_{EQ_1}} = 5.4\text{k}\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{B2} = V_{CC} \times \dfrac{R_{b2}}{R_3+R_{b2}} = 3.125\text{V} \\ I_{EQ2} = \dfrac{V_{B2} - 0.7}{R_{e2}} = 0.81\text{mA} \\ r_{be2} = r_{bb'} + (1+\beta)\dfrac{26}{I_{EQ2}} = 1.94\text{k}\Omega \end{cases}$$

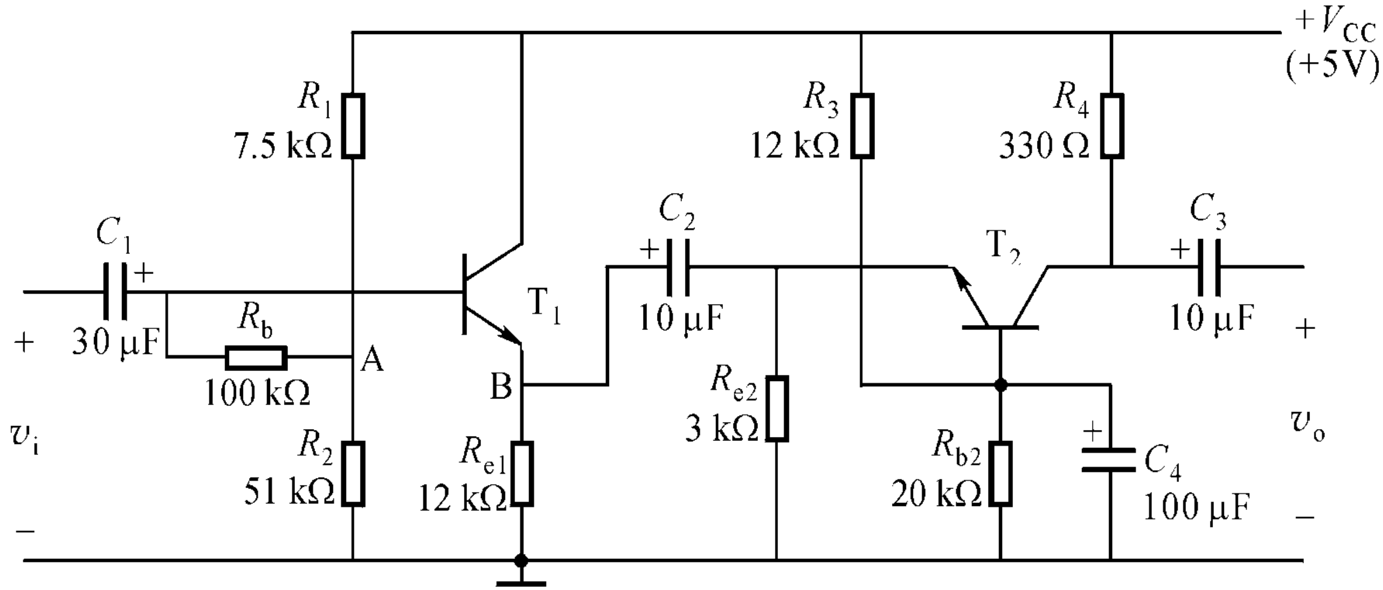


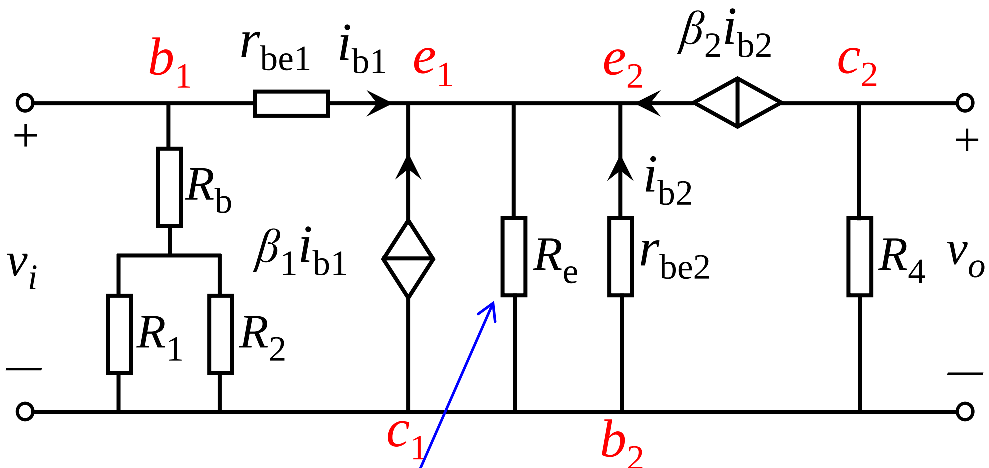
$$V_{CC}\times\frac{R_{b2}}{R_3+R_{b2}}$$

$$V_{B2}\approx V_{CC}\times\frac{R_{b2}}{R_3+R_{b2}}$$

$$I_{EQ2}=\frac{V_{B2}-0.7}{R_{e2}}$$

$$r_{be2}=r_{bb'}+(1+\beta)\frac{26}{I_{EQ2}}=1.94\text{k}\Omega$$



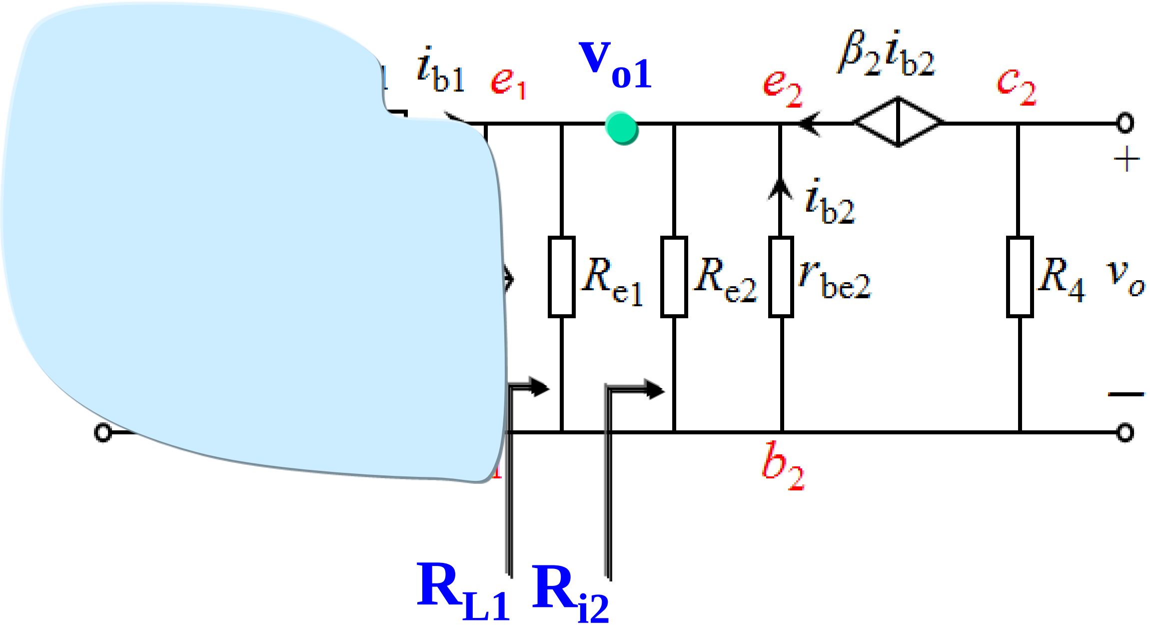


$$R_e = R_{e1} // R_{e2}$$

$$v_o = -\beta\, i_{b2} \cdot R_4$$

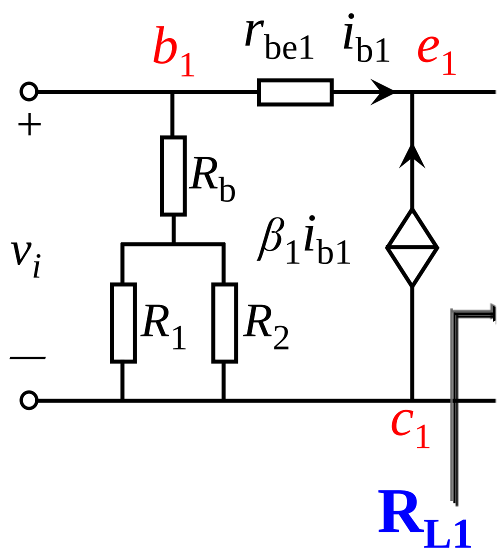
$$v_i = i_{b1} \cdot r_{be1} - i_{b2} \cdot r_{be2}$$

$$-i_{b2} \cdot r_{be2} = [(1+\beta_1) i_{b1} + (1+\beta_2) i_{b2}] \cdot R_e$$



$$\begin{cases} R_{L1} = R_{e1} \mathbin{//} R_{i2} \\ R_{i2} = R_{e2} \mathbin{//} \dfrac{r_{be2}}{1+\beta} \end{cases}$$

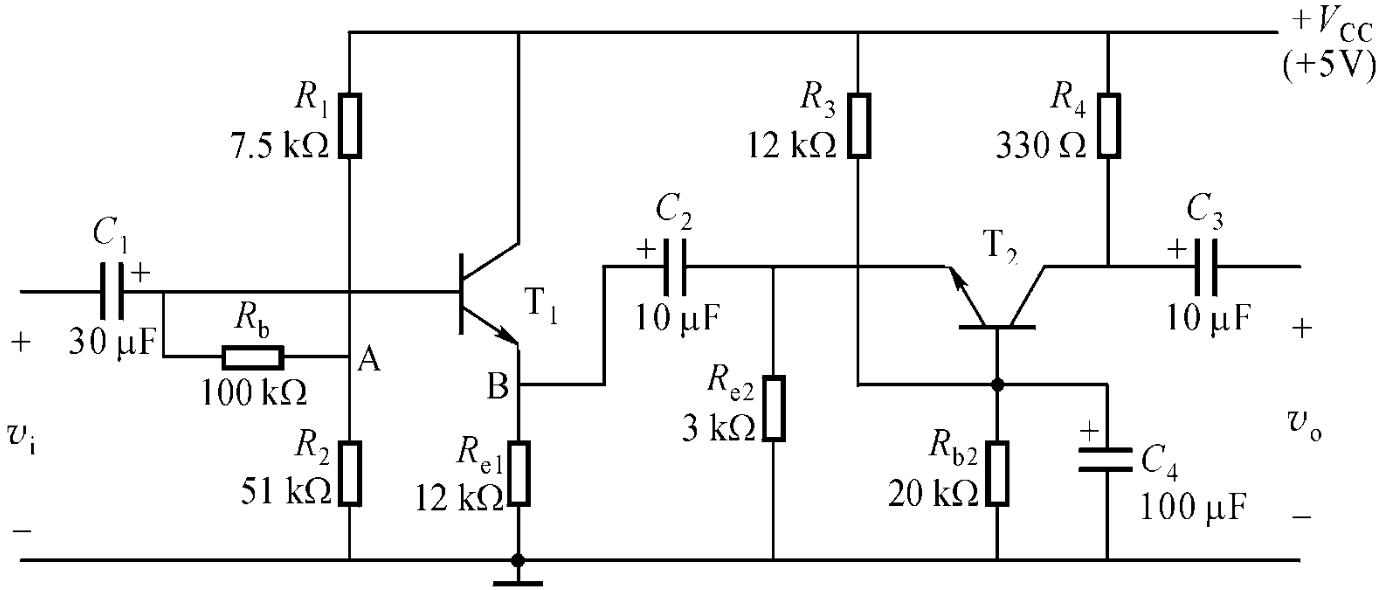
$$A_{v2} = \frac{v_o}{v_{o1}} = \beta \frac{R_4}{r_{be2}}$$



$$A_{v1} = \frac{(1+\beta)R_{L1}}{r_{be1} + (1+\beta)R_{L1}}$$

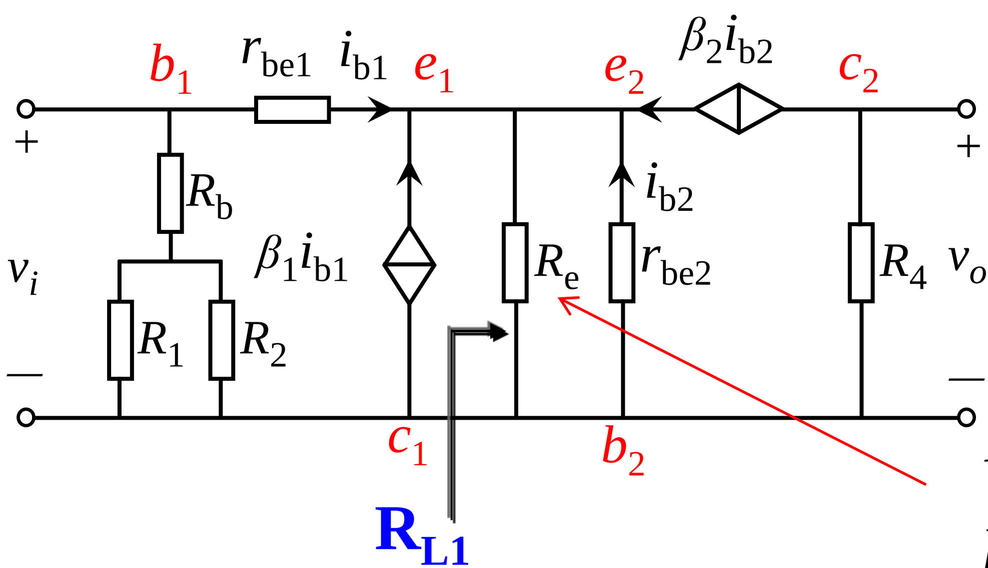
$$A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} = 2.254$$

（2）输入电阻



解2:

$$R_i = [R_b + (R_1 // R_2)] // [r_{be1} + (1+\beta)R_{L1}] \approx 6.83\mathrm{k\Omega}$$

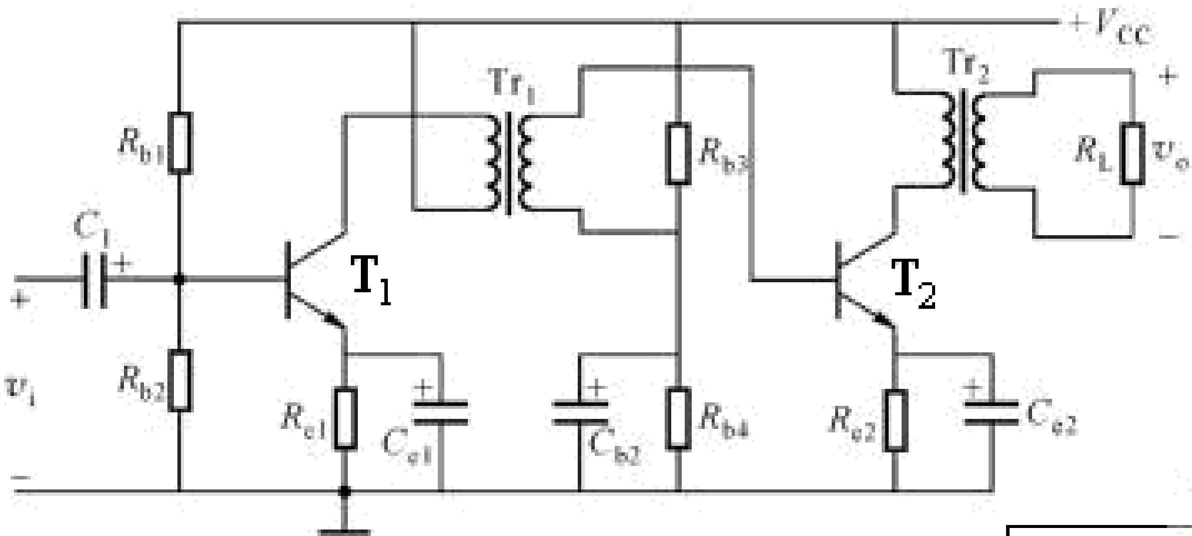


$$\begin{cases} R_{L1} = R_{e1} // R_{i2} \\ R_{i2} = R_{e2} // \dfrac{r_{be2}}{1+\beta} \end{cases}$$

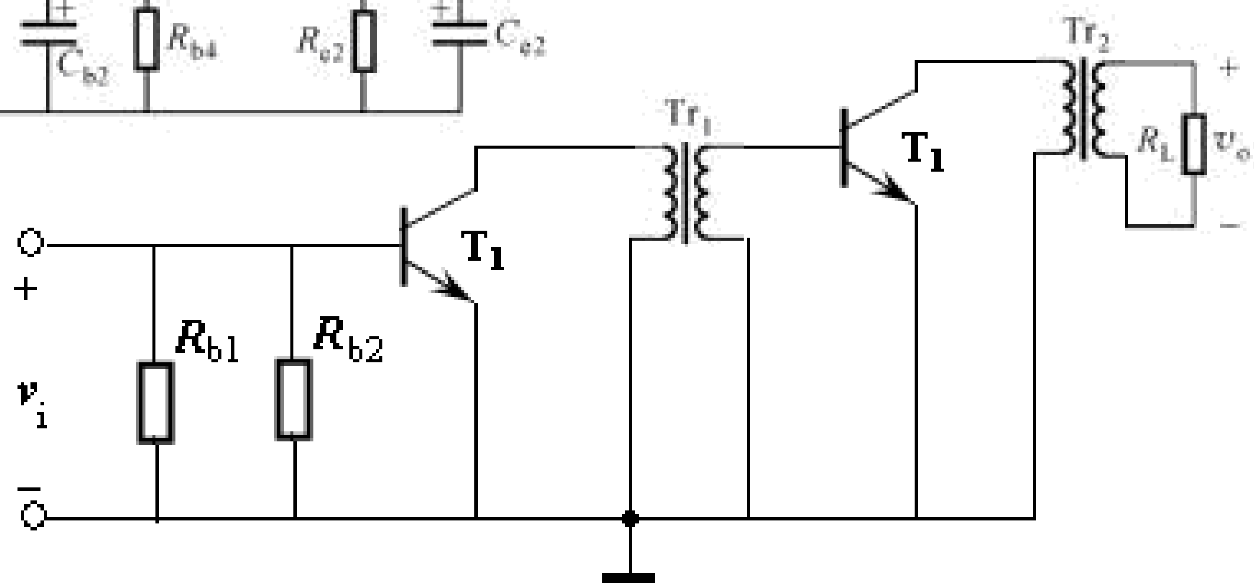
$$R_e = R_{e1} // R_{e2}$$

$$R_{L1} = R_e // \frac{r_{be2}}{1+\beta}$$

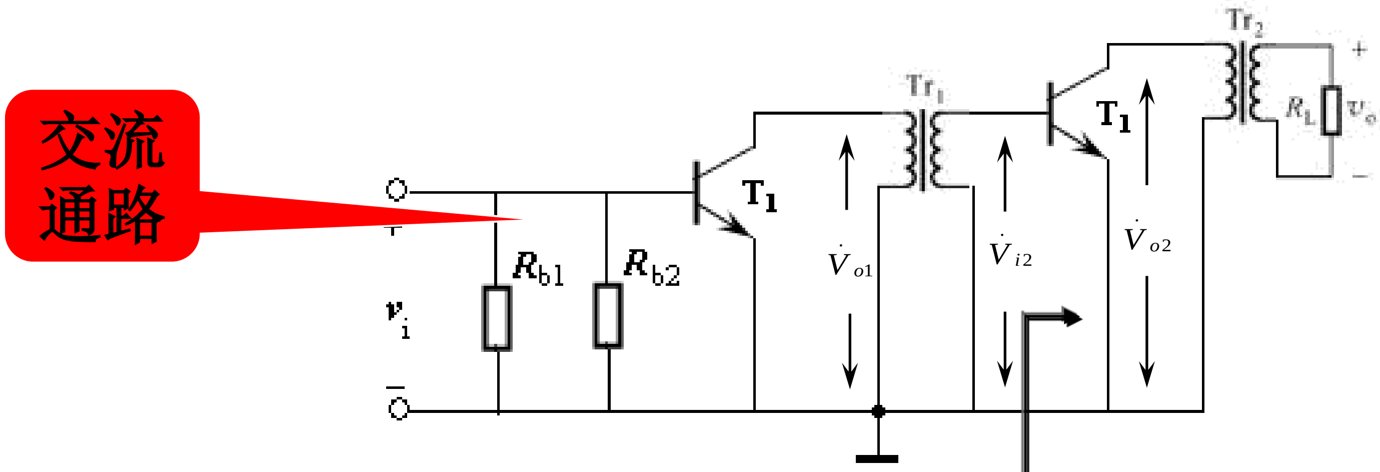
【例3】画出图示电路的交流通路，设T_1、T_2的β和r_{be}相同，变压器的变比为n, 试说明电路组态，并求$\dot{A}_v$ 、R_i 、R_o 的表达式。



交流通路



T_1和T_2都是共发射极放大电路。



两级放大器的电压放大倍数：

$$\dot{A}_{v1}=\frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_{i}}=-\frac{\beta R_{L1}'}{r_{be}}=-\frac{\beta_1 R_{i2}'}{r_{be}}=-\frac{\beta(n^2 r_{be})}{r_{be}}$$

$$\dot{A}_{v2}=\frac{\dot{V}_{o}}{\dot{V}_{01}}=-\frac{\beta R_{L}'}{r_{be}}=-\frac{\beta R_{L}'}{r_{be}}=-\frac{\beta(n^2 R_L)}{r_{be}}$$

$$\dot{A}_{v}=\frac{\dot{V}_{o}}{\dot{V}_{i}}=\dot{A}_{v1}\cdot\dot{A}_{v2}=\beta^2\cdot n^4\cdot\frac{R_L}{r_{be}}$$

放大器输入电阻R_i：

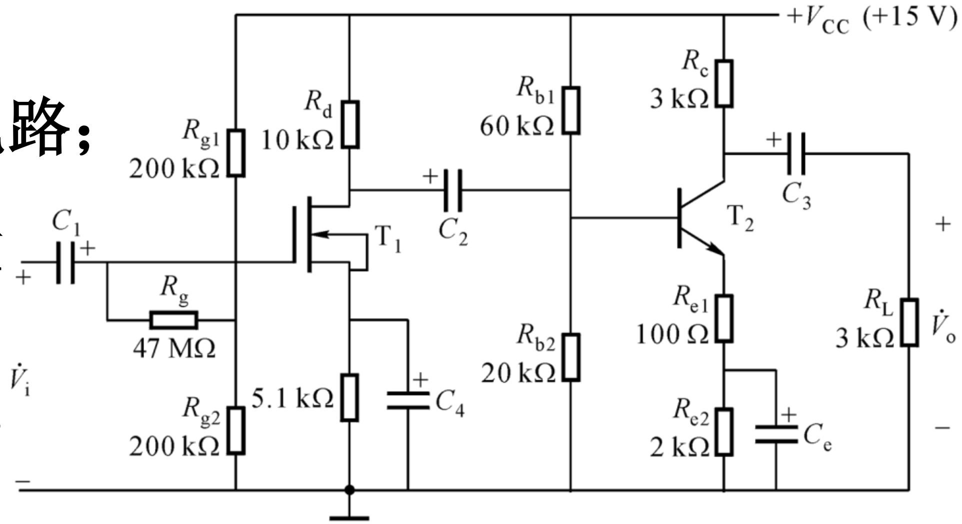
$$R_i=R_{b1}\,//\,R_{b2}\,//\,r_{be1}$$

放大器输出电阻R_o：

$$R_o=\frac{r_{ce2}}{n^2}$$

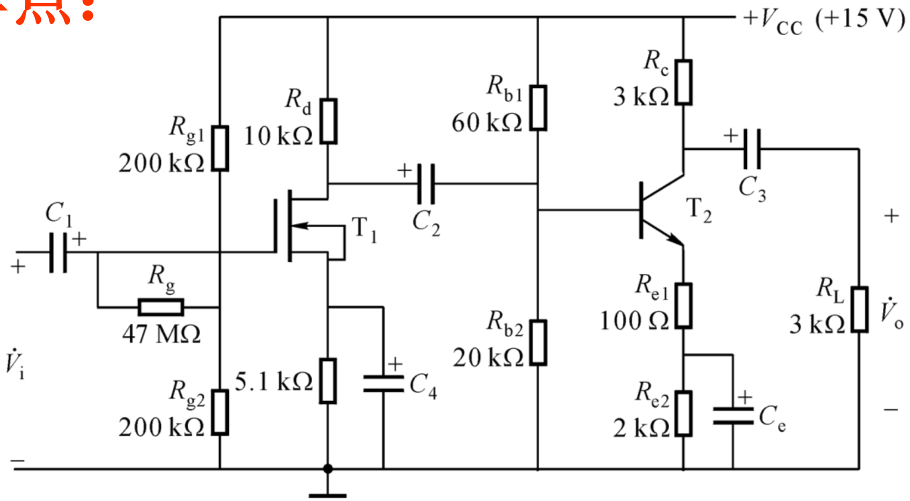
【例4】两级阻容耦合放大器如图，T_1是N沟道的耗尽型场效应管，跨导g_m=2mS、T_2为双极型晶体管，$\beta = 50, r_{be} = 1k\Omega$ ，略管子的输出电阻 r_{ce} 。试求：

1. 第二级的静态工作点；
2. 画出整个电路的微变等效电路；
3. 该放大电路的中频电压放大倍数；
4. 放大电路的输入电阻R_i和输出电阻R_o；



5. 加大输入信号时，该放大电路首先出现饱和失真还是首先出现截止失真？其最大不失真输出电压幅度约为多少？

解：(1)求第二级的静态工作点：



$$V_B = V_{CC}\frac{R_{b2}}{R_{b1}+R_{b2}} = 3.75V$$

$$R_b^{'} = R_{b1} // R_{b2} = 15k$$

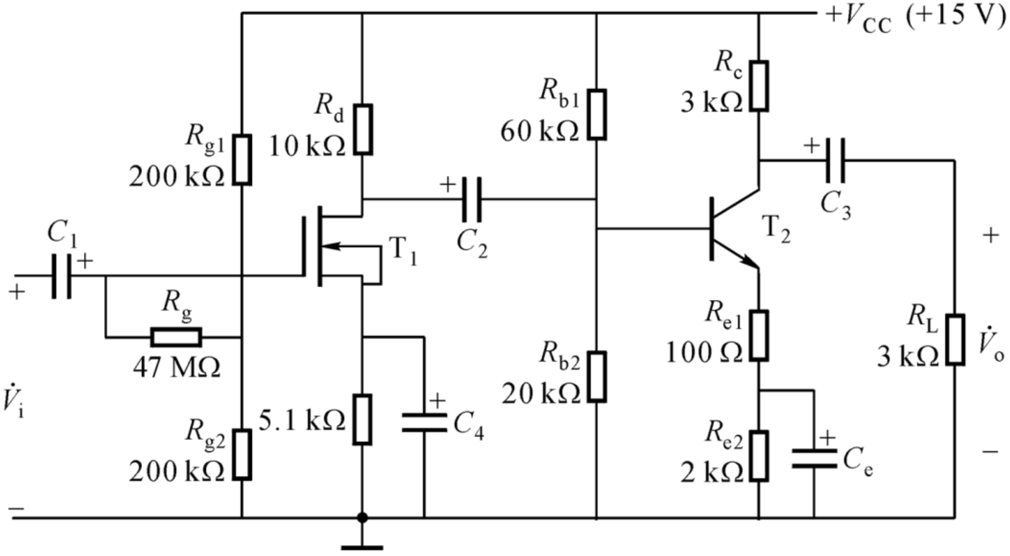
$$I_{B2Q} = \frac{3.75-0.7}{R_b^{'}+(1+\beta)(R_{e1}+R_{e2})} \approx 25\mu A$$

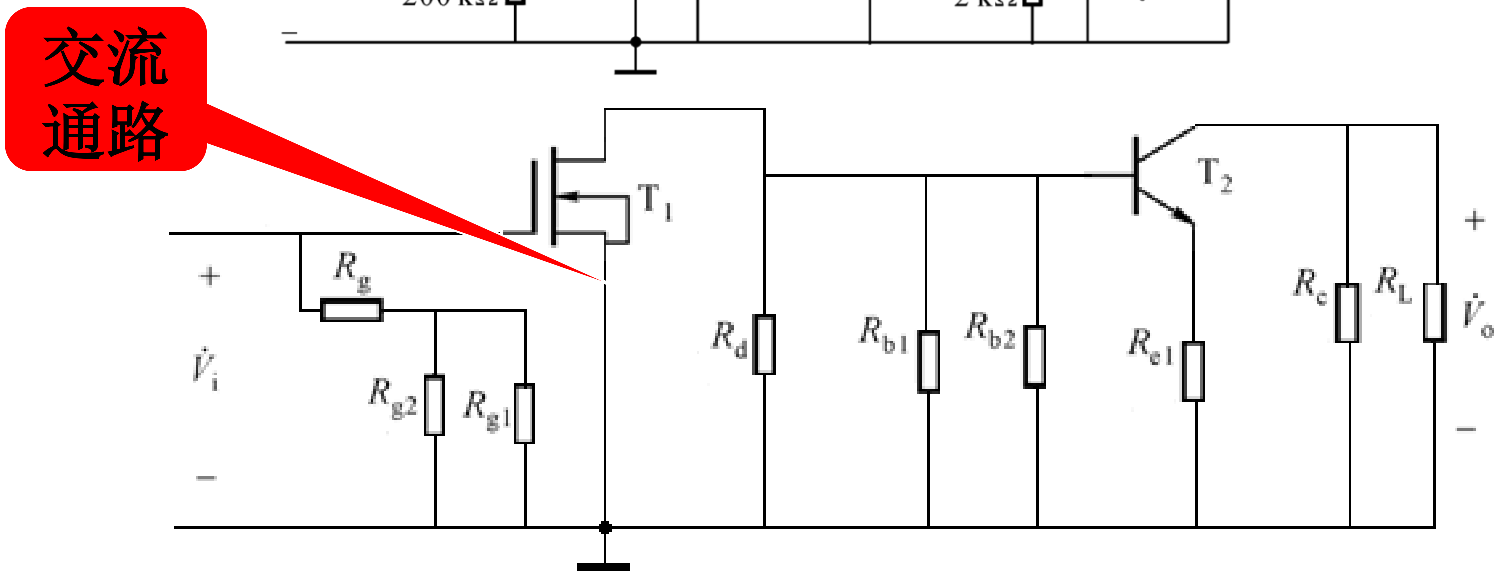
$$I_{C2Q} = 50\times 25\mu A = 1.25mA$$

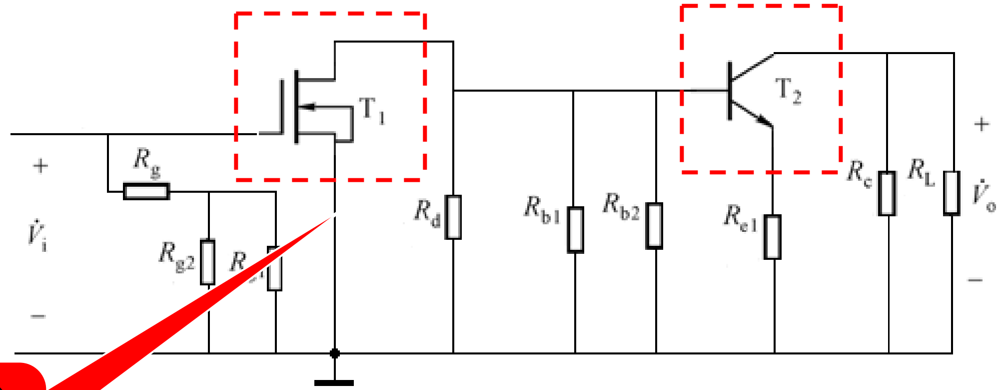
$$V_{CEQ2} \approx V_{CC} - I_{CQ2}(R_c + R_{e1} + R_{e2})$$

$$= 15 - 1.25\times 5.1 = 8.625\text{ V}$$

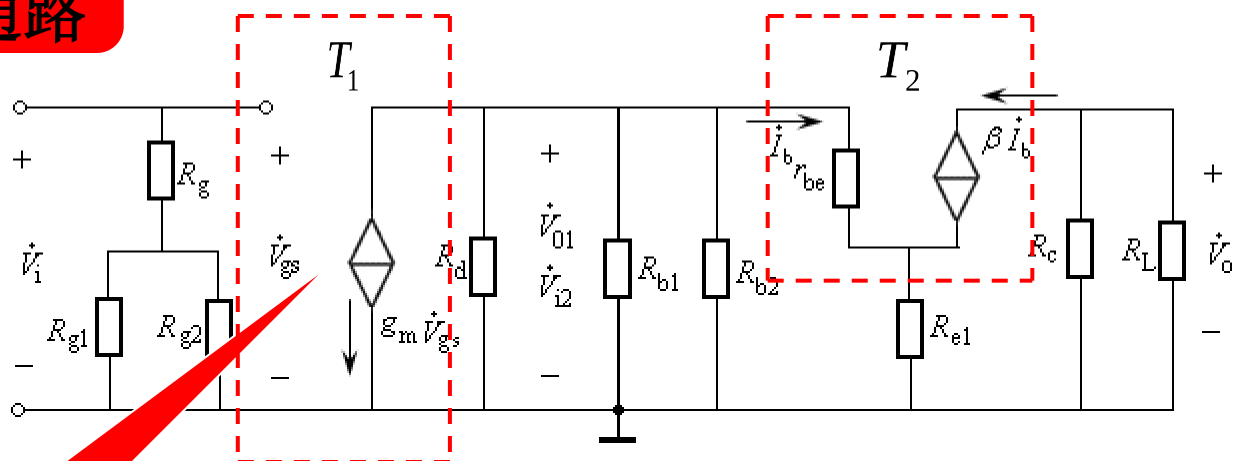
(2)整个放大电路的微变等效电路：





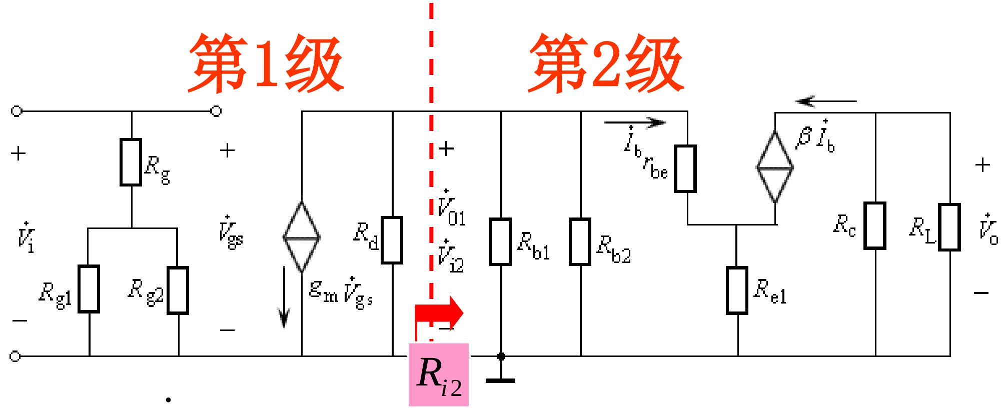

T1
T2
Rg
Rg2
Rd
Rb1
Rb2
Re1
Rc
RL
Vi
Vo

交流通路


T1
T2
Rg
Vi
Rg1
Rg2
Vgs
gm Vgs
Rd
V01
Vi2
Rb1
Rb2
Ib
rbe
β Ib
Re1
Rc
RL
Vo

微变等效电路

(3) 求电压放大倍数：



$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_i} \times -\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_{o1}} = \dot{A}_{v1} \times \dot{A}_{v2}$$

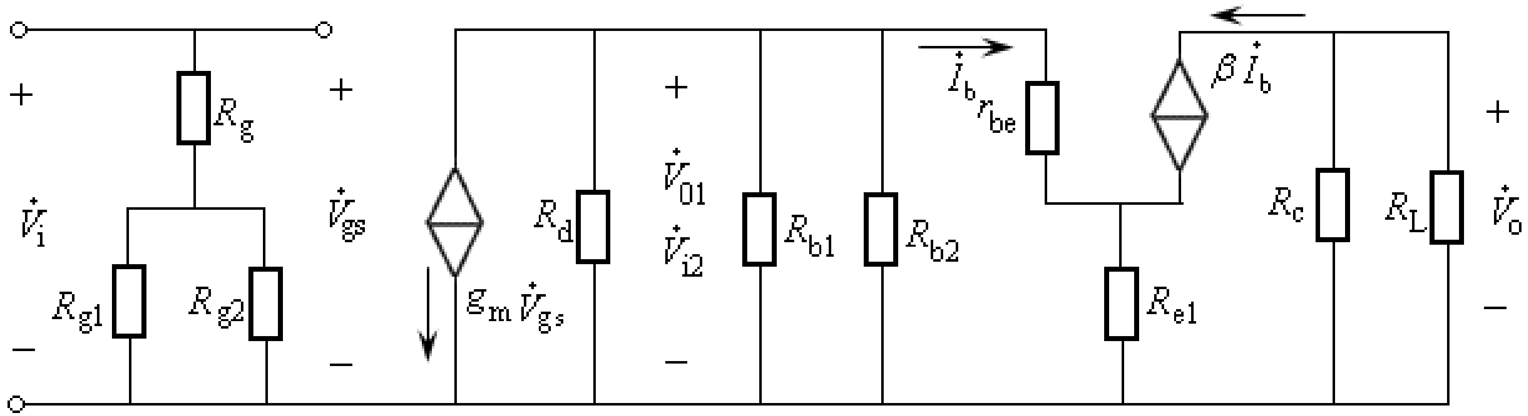
$$= -\frac{g_m \dot{V}_{gs}(R_d // \boxed{R_{i2}})}{\dot{V}_{gs}} \times -\frac{\beta \dot{I}_b (R_L // R_C)}{\dot{I}_b [r_{be} + (1+\beta) R_{e1}]}$$

$$= (-6.0) \times (-12.3) = 73.8$$

其中 $R_{i2} = R_{b1} // R_{b2} //[r_{be} + (1+\beta) R_{e1}]$

$$= 60 // 20 //(1 + 51 \times 0.1)] = 4.33\,\mathrm{k\Omega}$$

(4) 求输入电阻R_i和输出电阻R_o：

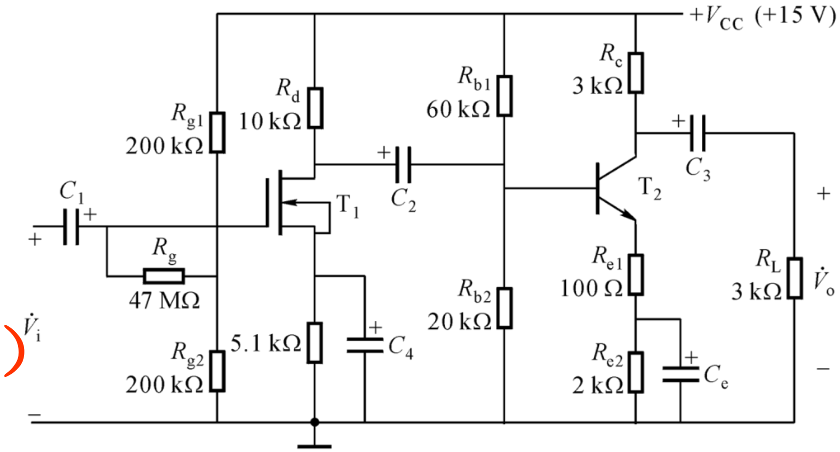


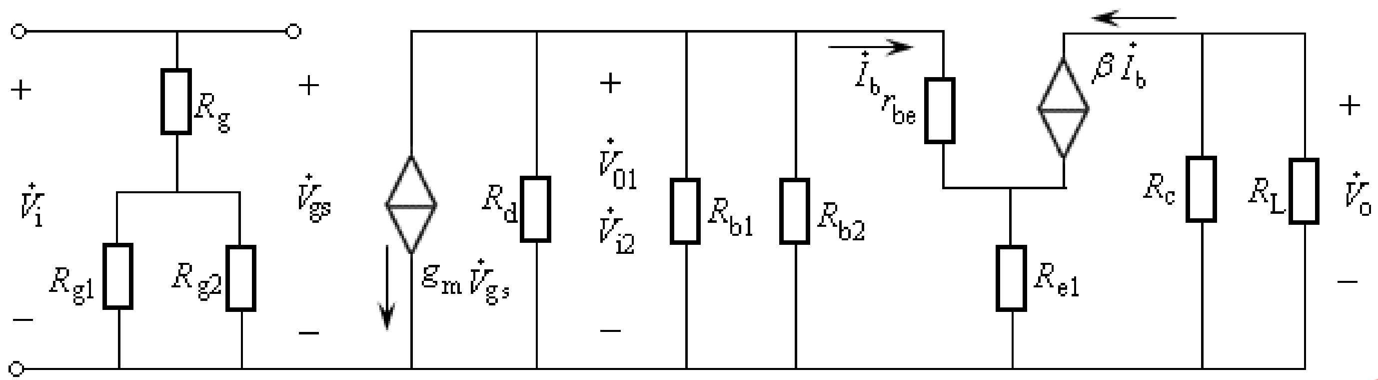
$$R_i = R_g + R_{g1} // R_{g2} = 47.1\,\mathrm{M\Omega}$$

$$R_o = R_c = 3\,\mathrm{k\Omega}$$

(5) 当加大输入信号时，

思路：应从第2级的工作点出发，分别估算出向截止方向和向饱和方向的可能幅度。（为什么？）





若出现截止失真： $V_{om}^{+} \approx I_{CQ} \cdot R_L^{'} = 1.25 \times (3//3) = 1.875\ \mathrm{V}$

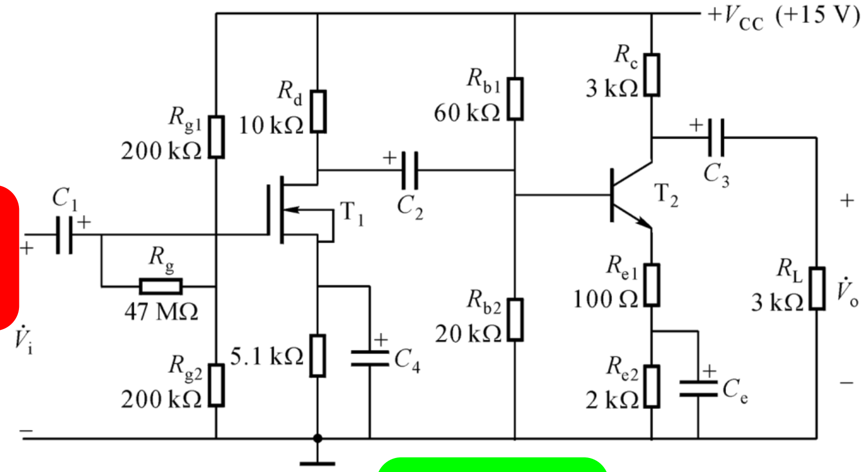
若出现饱和失真：

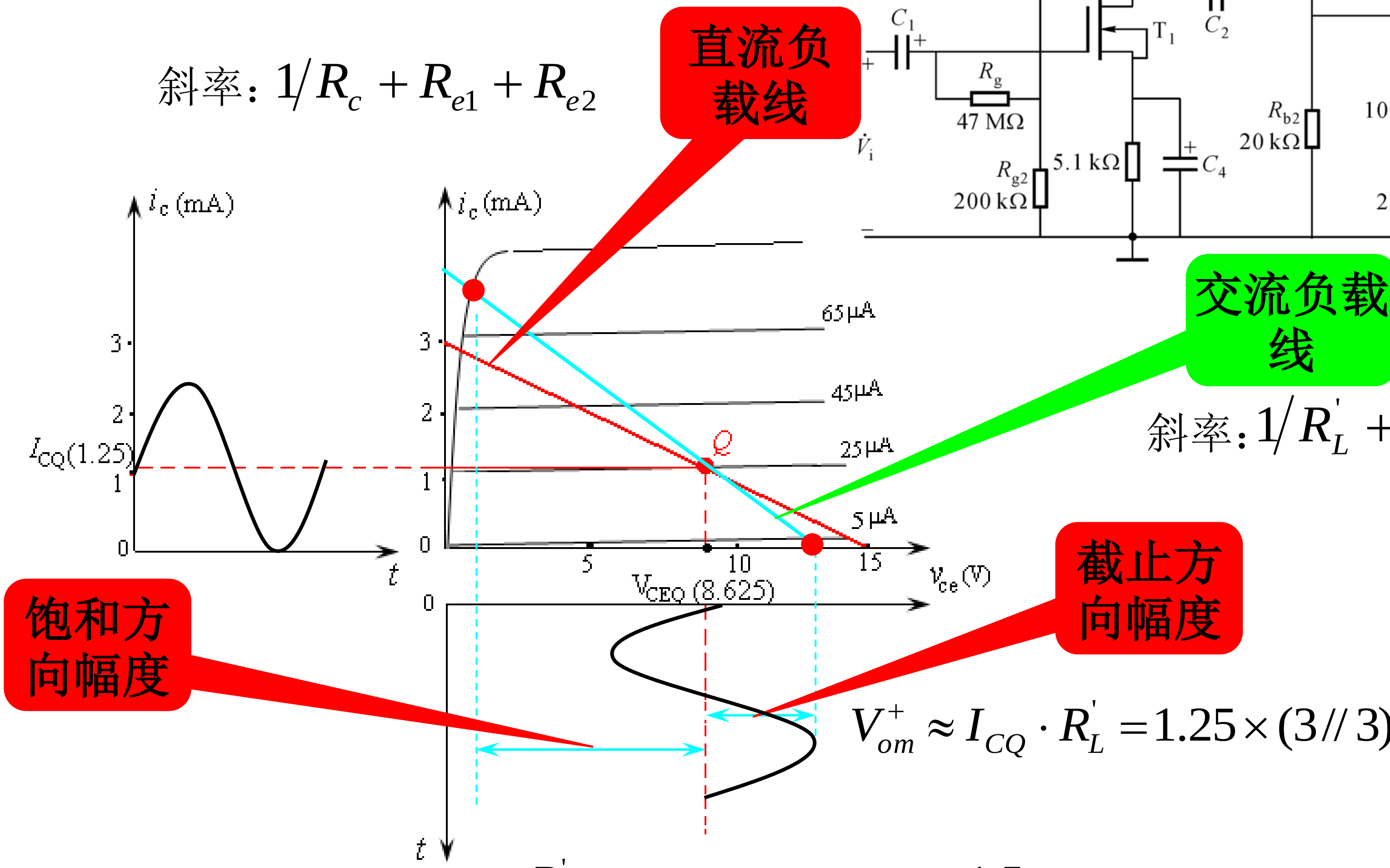
先出现截止失真，最大输出不失真电压幅度为

$$V_{om}^{-} = (V_{CEQ} - V_{CES}) \frac{R_L^{'}}{R_{e1} + R_L^{'}} = (8.625 - 0.7) \frac{1.5}{0.1 + 1.5} = 7.3\ \mathrm{V}$$

判断依据：

斜率：$1/R_c + R_{e1} + R_{e2}$



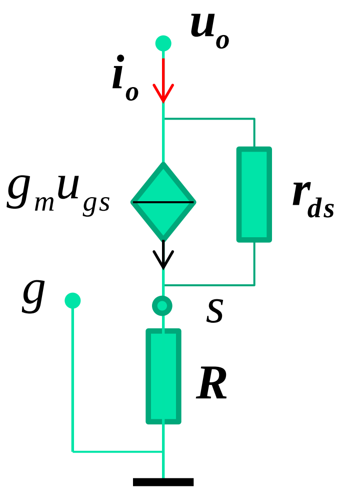


斜率：$1/R_L^{'} + R_{e1}$

$$V_{om}^{+} \approx I_{CQ} \cdot R_L^{'} = 1.25 \times (3 // 3) = 1.875\text{ V}$$

$$V_{om}^{-} = (V_{CEQ} - V_{CES}) \frac{R_L^{'}}{R_{e1} + R_L^{'}} = (8.625 - 0.7) \frac{1.5}{0.1 + 1.5} = 7.3\text{ V}$$

1.13 试证明该恒流源的等效内阻：$R_o=R+(1+g_mR)r_{ds}$

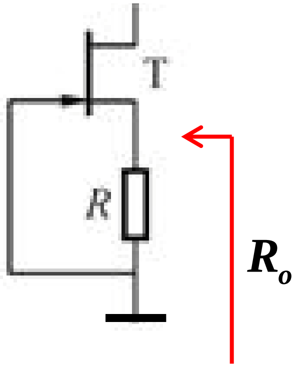


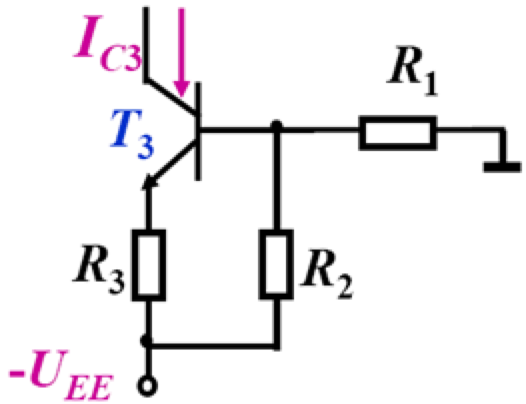
$$u_o = r_{ds}(i_o - g_m u_{gs}) + i_o R$$

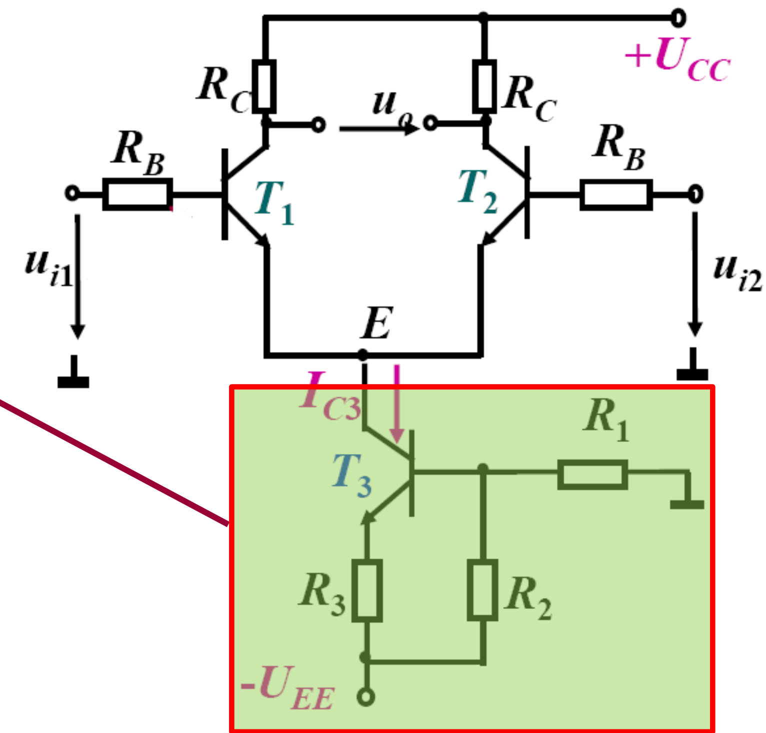
$$u_{gs} = -i_o R$$

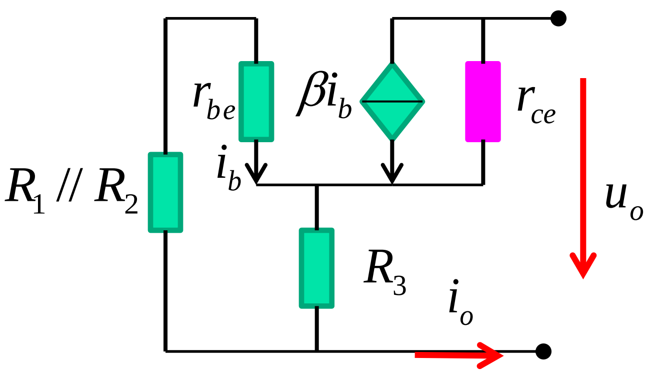
$$u_o = r_{ds}(i_o + g_m R i_o) + i_o R$$

$$R_o = \frac{u_o}{i_o} = r_{ds}(1 + g_m R) + R$$









$$i_b = -\frac{R_3}{R_3 + (r_{be} + R_1 // R_2)} i_o$$

$$u_o = r_{ce}(i_o - \beta i_b) + R_3 //(r_{be} + R_1 // R_2) i_o$$

忽略不计

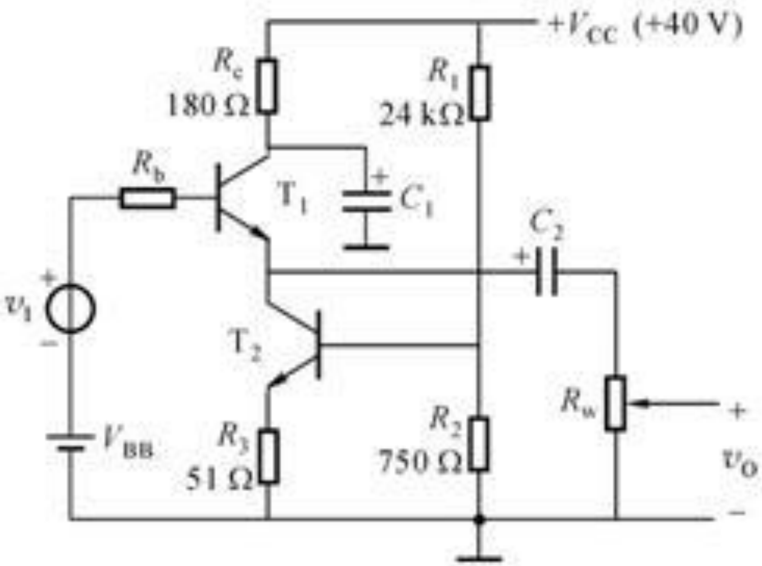
$$R_o = r_{ce}\left(1 + \frac{\beta R_3}{R_1 // R_2 + r_{be} + R_3}\right) + \cancel{(R_1 // R_2 + r_{be}) // R_3} \longrightarrow \infty$$

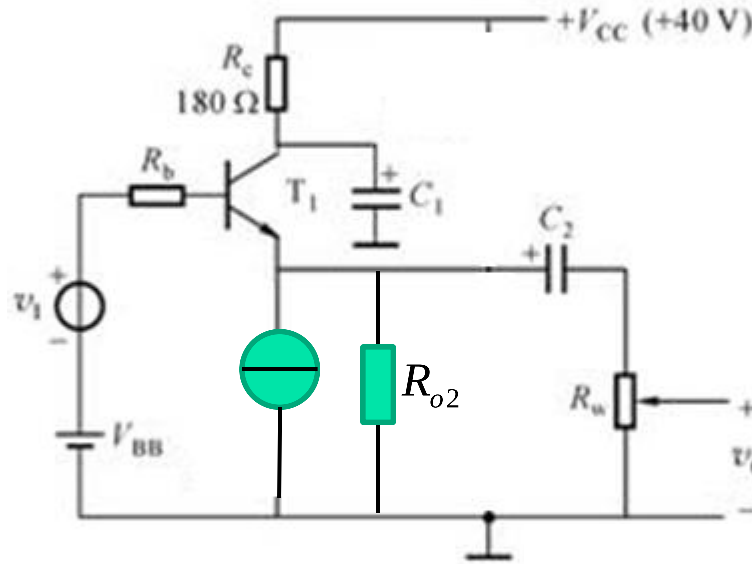
12.14　放大电路如图题 12.14 所示，$V_{BE}=0.7\,V$，电位器 R_w 的中心抽头处于居中位置，$\beta_1=\beta_2=50$，$r_{bb'}=300\,\Omega$。

（1）T_1、T_2 管各起什么作用，它们分别是什么电路？

（2）计算静态时 T_1 管的集电极电流 I_{C1}；

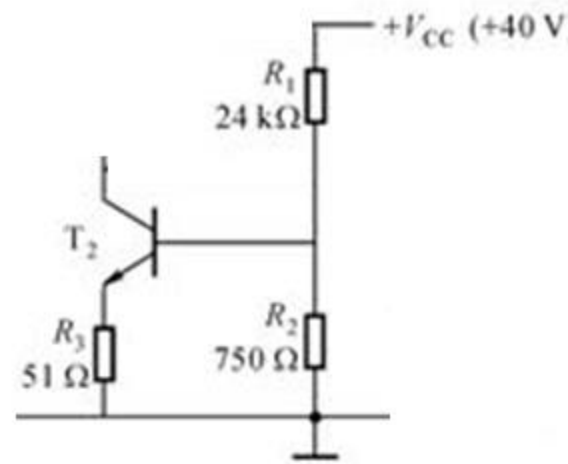
（3）求电压放大倍数 $\dot{A}_v$、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o。





Rw=51k

$$A_V=\frac{(1+\beta_1)(R_W\,//\,R_{o2})}{R_b+r_{be1}+(1+\beta_1)(R_W\,//\,R_{o2})}*0.5$$



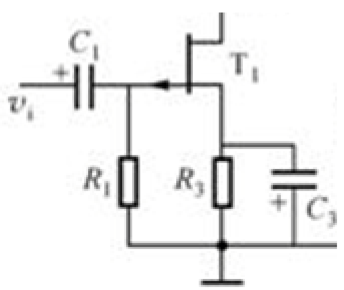
$$R_{o2}=r_{ce}\left(1+\frac{\beta R_3}{R_1\,//\,R_2+r_{be}+R_3}\right)\longrightarrow\infty$$

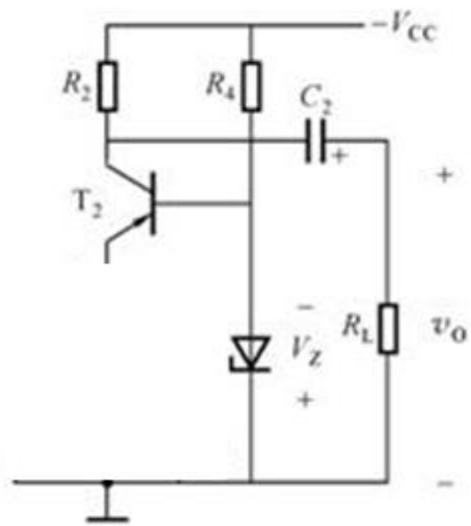
12.15 放大电路如图题 12.15 所示。

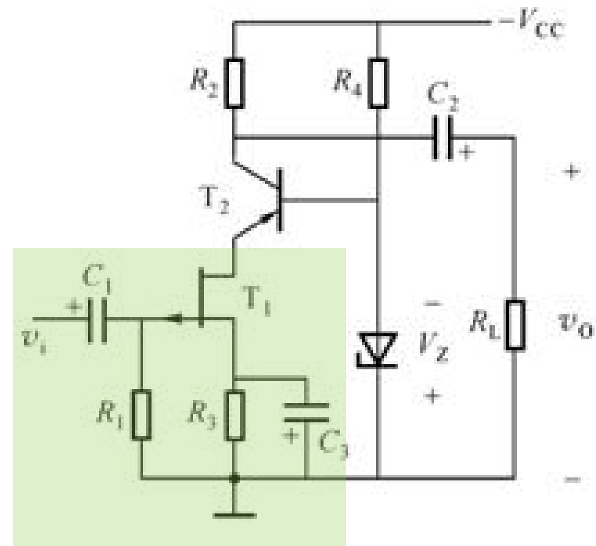
（1）指出 T_1、T_2 管各起什么作用，它们分别属于何种放大电路组态？

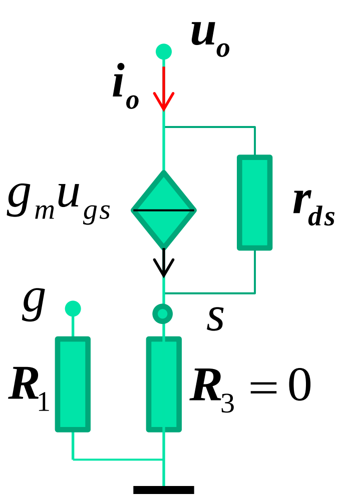
（2）若 T_1、T_2 管参数已知，试写出 T_1、T_2 管的静态电流 I_{CQ}、静态电压 V_{CEQ} 的表达式（设各管的基极电流忽略不计，$V_{BE}=0.7\ V$）；

（3）写出该放大电路的中频电压放大倍数 $\dot{A}_v$、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的近似表达式（设稳压管的 $r_z \approx 0$）。

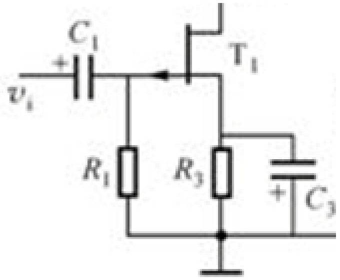


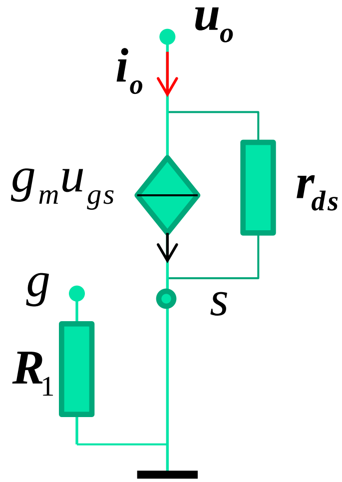


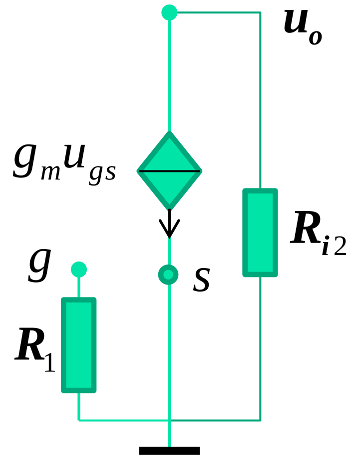




$$R_o=\frac{u_o}{i_o}=r_{ds}(1+g_m R_3)+R_3\approx r_{ds}$$



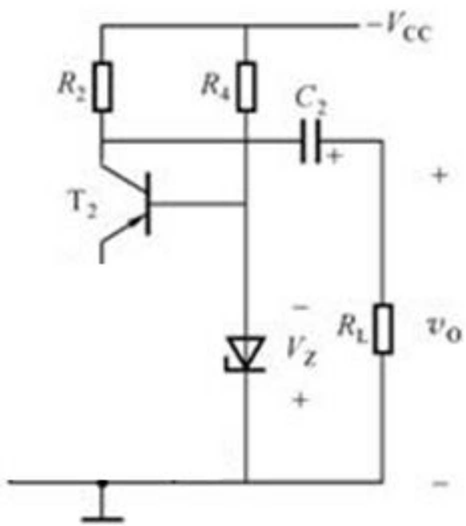


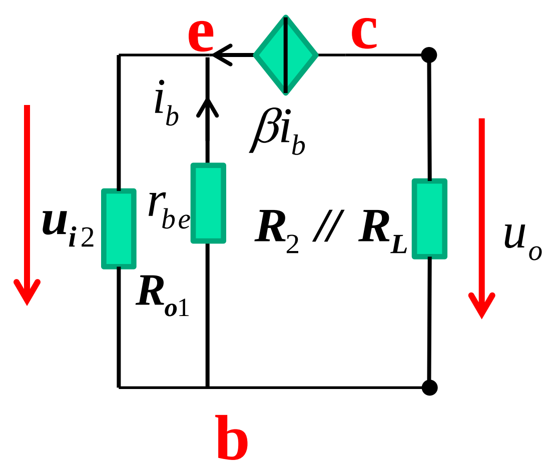


$$A_{V1}=-\frac{g_m u_{gs} R_{i2}}{u_{gs}}=-g_m R_{i2}$$

CS

$$R_{o1}=r_{ds}$$





$$A_{V2}=-\frac{\beta i_b R_2 \,//\, R_L}{-i_b r_{be}}=\frac{\beta R_2 \,//\, R_L}{r_{be}}$$

$$R_{i2}=\frac{-i_b r_{be}}{-(1+\beta) i_b}=\frac{r_{be}}{1+\beta}$$

CB

$$\dot{A}_v=\dot{A}_{v1}\cdot\dot{A}_{v2}$$

$$=\left(-g_m\frac{r_{be}}{1+\beta}\right)\cdot\frac{\beta(R_2 \,//\, R_L)}{r_{be}}$$

$$\approx -g_m(R_2 \,//\, R_L)$$

$Ri=R_1$

$Ro=R_2$

作业

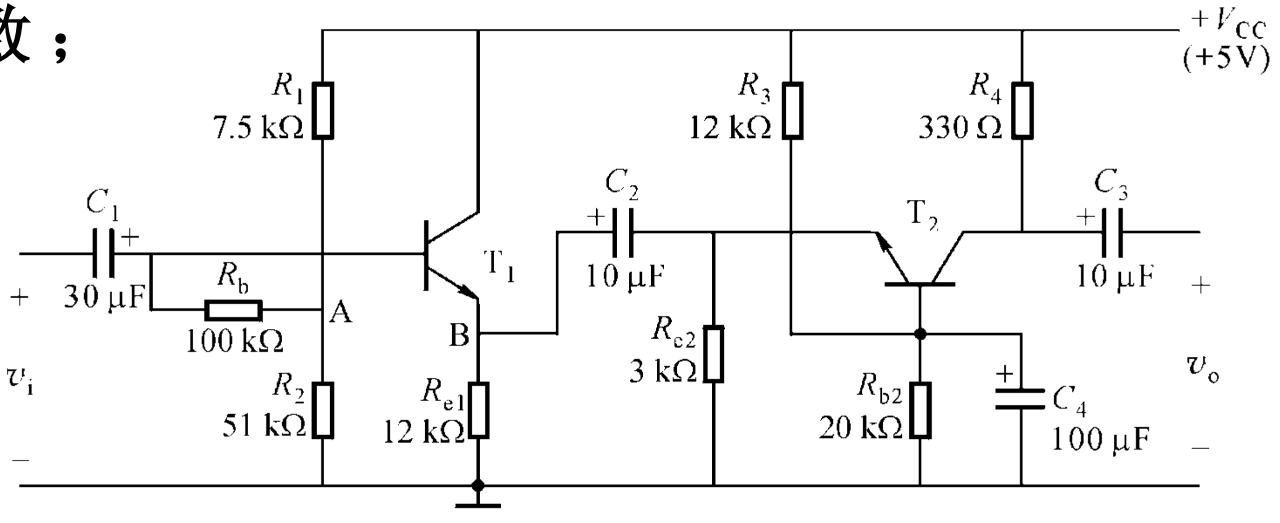
- 1.5，6，7；9，10，11，12，13　单管
- 1.14*，15*，16，17　多级
- 1.22，23，24，25　差分
- 1.28，29，30　频率特性
- 仿真 1.18，19

补充习题：已知 $\beta_1=\beta_2=50$，$r_{bb'}=300\Omega$，求

（1）电压放大倍数；

（2）输入电阻；

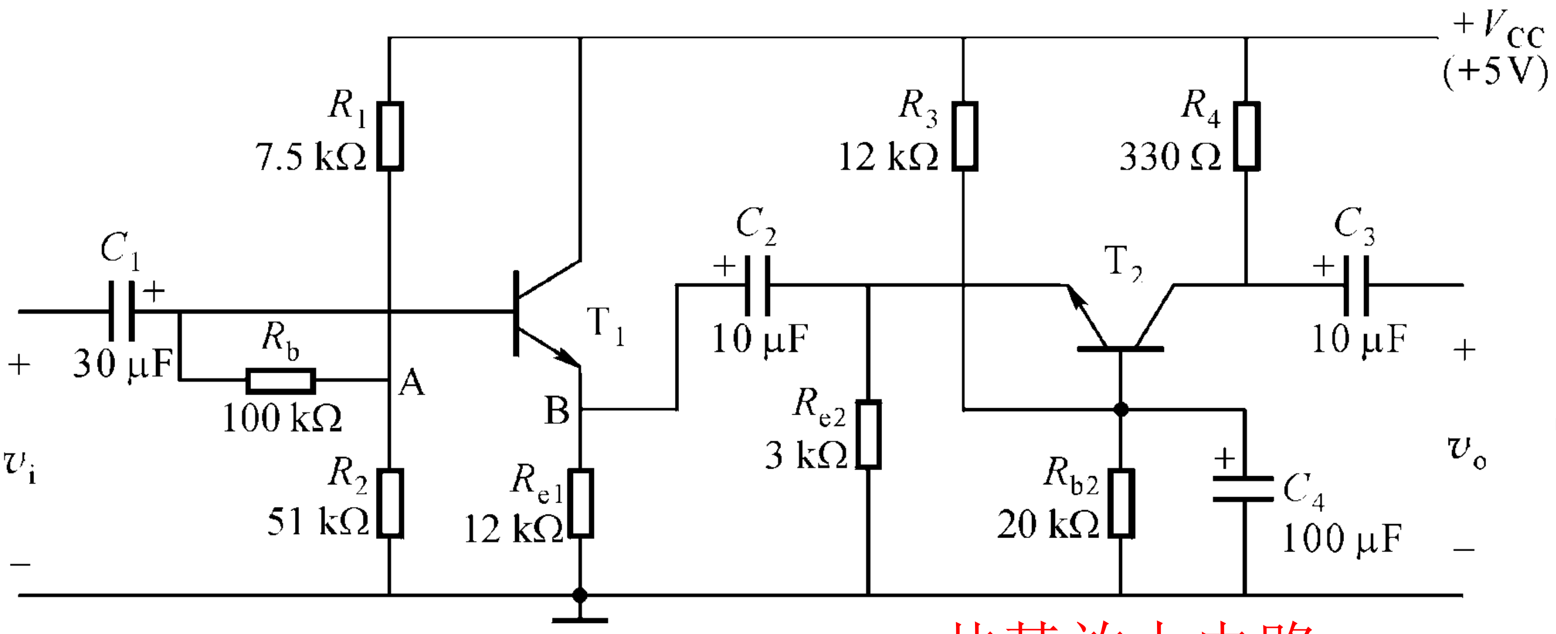
（3）输出电阻



补充习题：已知$\beta_1=\beta_2=50$，$r_{bb'}=300\Omega$，求

（1）电压放大倍数；

（2）输入电阻；（3）输出电阻



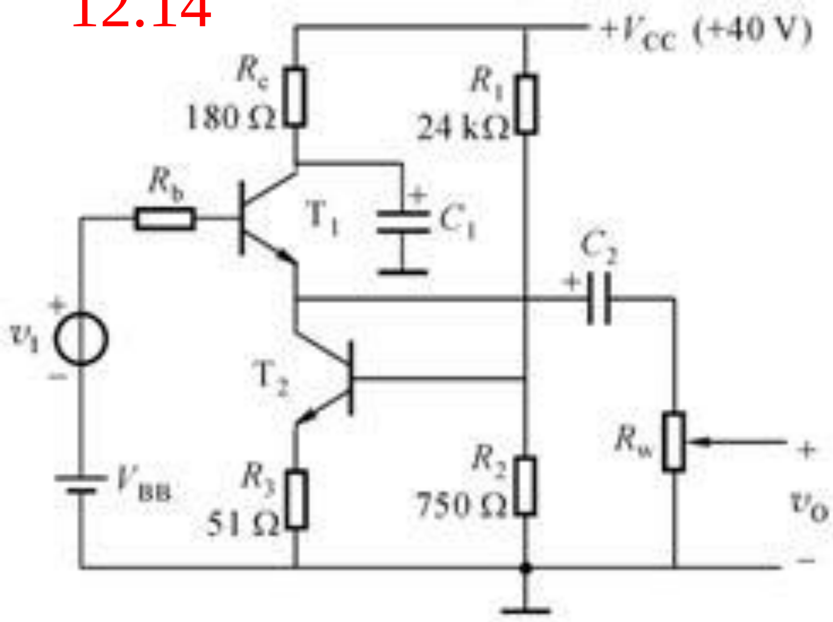
共集放大电路　　共基放大电路

Av1=0.265；Av2=8.5

$$R_i=\left(R_b+R_1\,//\,R_2\right)//\left\{r_{be1}+(1+\beta)R_{e1}\,//\,R_{i2}\right\}\qquad R_{i2}=R_{e2}\,//\,\frac{r_{be2}}{1+\beta}$$

$$R_o=R_4$$

12.14



解：(1) T_1管组成射极跟随器(CC电路)；T_2管组成恒流源，作为T_1管放大电路的射极电阻。

(2) I_{C1}近似为恒流源的输出电流

$$I_{B2}=\frac{\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{CC}-V_{BE}}{R_1//R_2+(1+\beta)R_3}=\frac{\frac{0.75}{24+0.75}\times 40-0.7}{24//0.75+0.051\times 51}$$

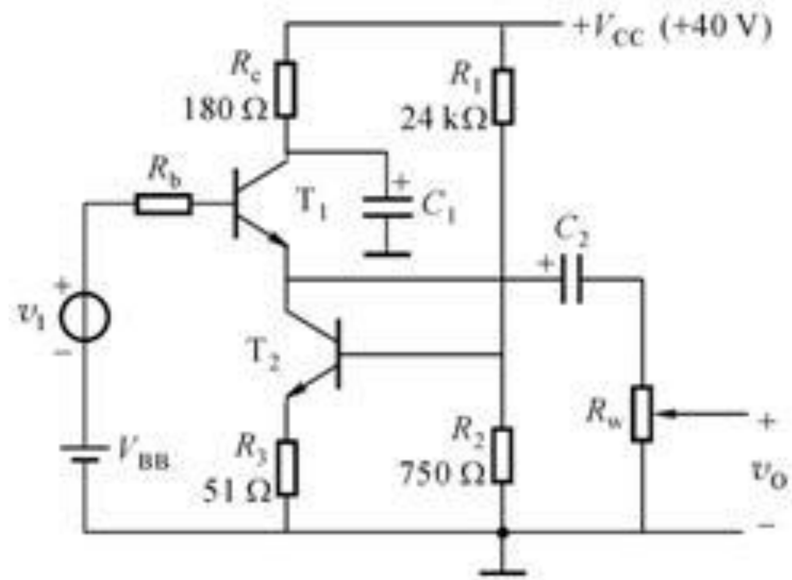
$$I_{C1}\approx I_{E1Q}=I_{C2Q}\approx I_{E2Q}=(1+\beta)I_{B2}=7.85\,mA$$

$$r_{be1}=r_{bb'}+(1+\beta)\frac{V_T}{I_{E1Q}}=0.47\text{ k}\Omega$$

(3) 电压放大倍数

$$\dot{A}_v=\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}=\frac{(1+\beta)(R_{o2}//R_w)\times\frac{1}{2}}{R_b+r_{be1}+(1+\beta)(R_{o2}//R_w)}\approx\frac{1}{2}\cdot\frac{(1+\beta)R_w}{R_b+r_{be1}+(1+\beta)R_w}$$

由于$R_{O2}>>R_w$ $$\dot{A}_v=\frac{1}{2}\cdot\frac{51\times 51}{12+0.47+51\times 51}=0.5$$



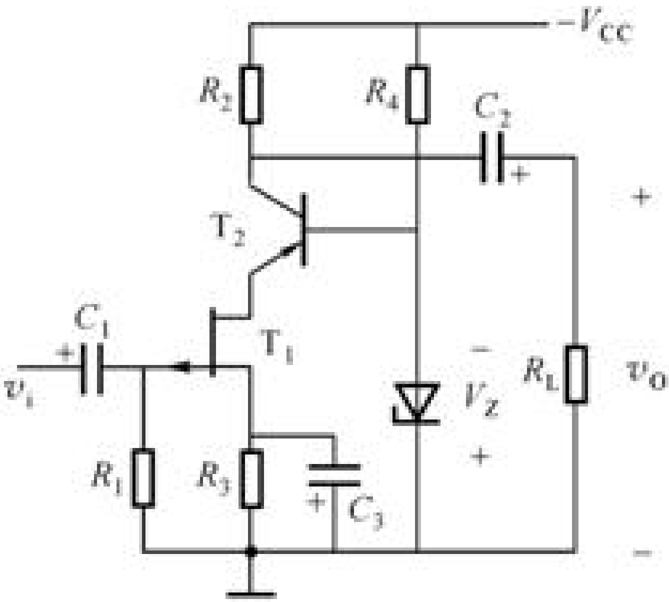
输入电阻

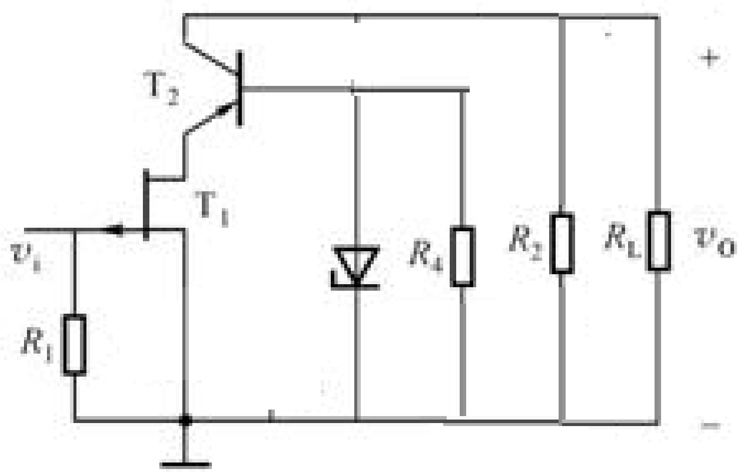
$$R_i = R_b + r_{be1} + (1+\beta)R_{O2}//R_W = 12 + 0.47 + 51 \times 51 = 2613\ \mathrm{k}\Omega$$

输出电阻

$$R_o = \frac{R_w}{2} // \left(\frac{R_w}{2} + R_{O2} // \frac{r_{be1} + R_b}{1+\beta} \right) = \frac{51}{2} // \left(\frac{51}{2} + \frac{0.47+12}{51} \right) = 12.8\ \mathrm{k}\Omega$$

12.15





(1) ***T1***管为共源放大电路，
T2管为共基放大电路

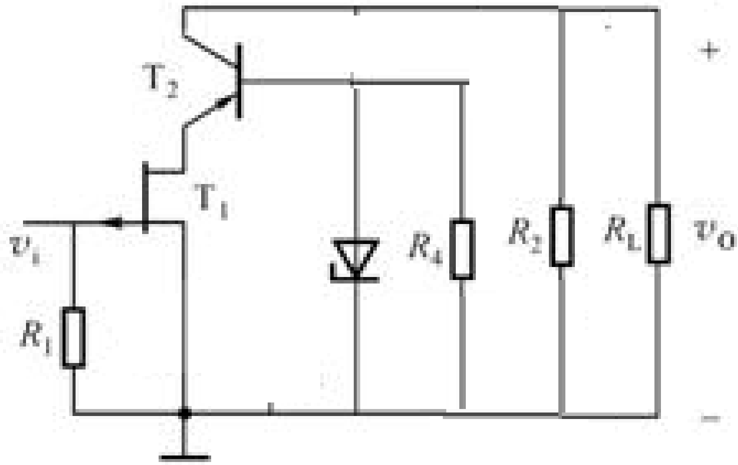
(2) 静态参数

$$\begin{cases} I_{DQ} = I_{DSS}\left(1 - \dfrac{V_{GSQ}}{V_P}\right)^2 \\ V_{GSQ} = I_{DQ}R_3 \end{cases} \quad \text{可解出} I_{DQ}$$

$$I_{CQ} \approx I_{DQ}$$

$$V_{DSQ} = -(V_Z - V_{BE} - I_{DQ}R_3)$$

$$V_{CEQ} = -[V_{CC} - (-V_{DSQ}) - I_{DQ}(R_2 + R_3)]$$



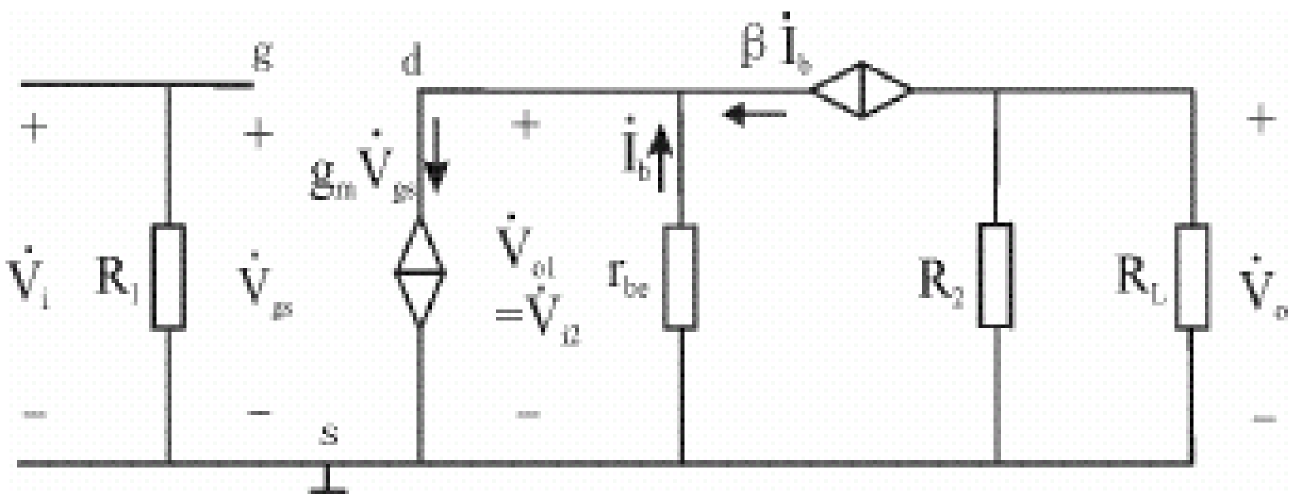
$$\dot{A}_v = \dot{A}_{v1} \cdot \dot{A}_{v2}$$

$$= \left(-g_m \frac{r_{be}}{1+\beta} \right) \cdot \frac{\beta (R_2 // R_L)}{r_{be}}$$

$$\approx -g_m (R_2 // R_L)$$

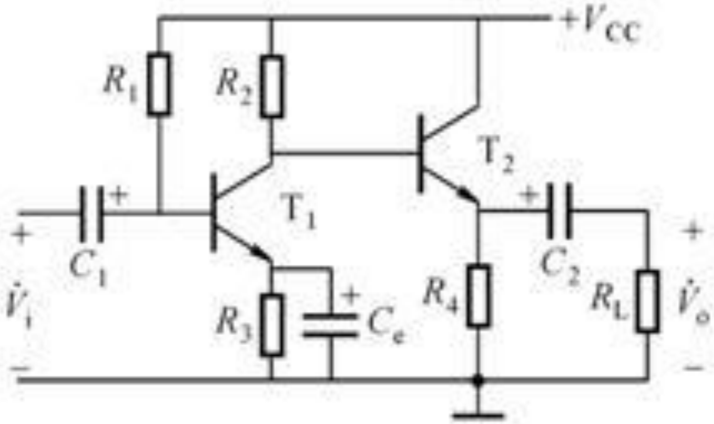
$\boldsymbol{R\mathrm{i}=R_1}$

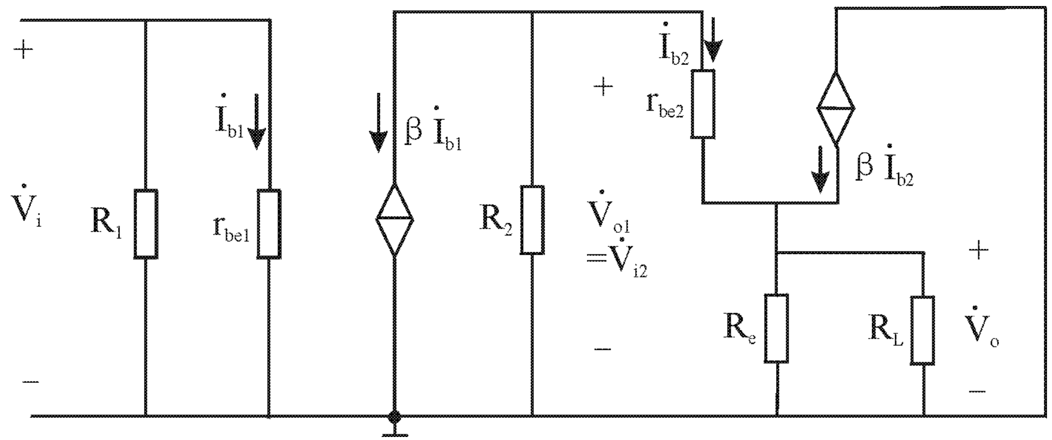
$\boldsymbol{R\mathrm{o}=R_2}$



12.16 （1）分别指出T_1、T_2组成的放大电路的组态；

（2）画出整个放大电路简化的微变等效电路（注意标出电压、电流的参考方向）





(1) T1 –CE；T2 --CC

$$\dot A_{v1} = \frac{\dot V_{o1}}{\dot V_i} = \frac{-\beta_1 (R_2 \,//\, R_{i2})}{r_{be1}}$$

$$R_{i2} = r_{be2} + (1+\beta_2)(R_4 // R_L)。$$

$$(1+\beta)\dot I_{b2} - \frac{\dot V_o}{R_e} + \dot I_o = 0$$

$$(r_{be} + R_2)\dot I_{b2} = -\frac{\dot V_o}{R_e}$$

$$\dot A_{v2} \approx 1$$

$$\dot A_v = \dot A_{v1} \cdot \dot A_{v2} = \frac{-\beta_1 \{R_2 \,//[r_{be2} + (1+\beta_2)(R_4 \,//\, R_L)]\}}{r_{be1}}$$

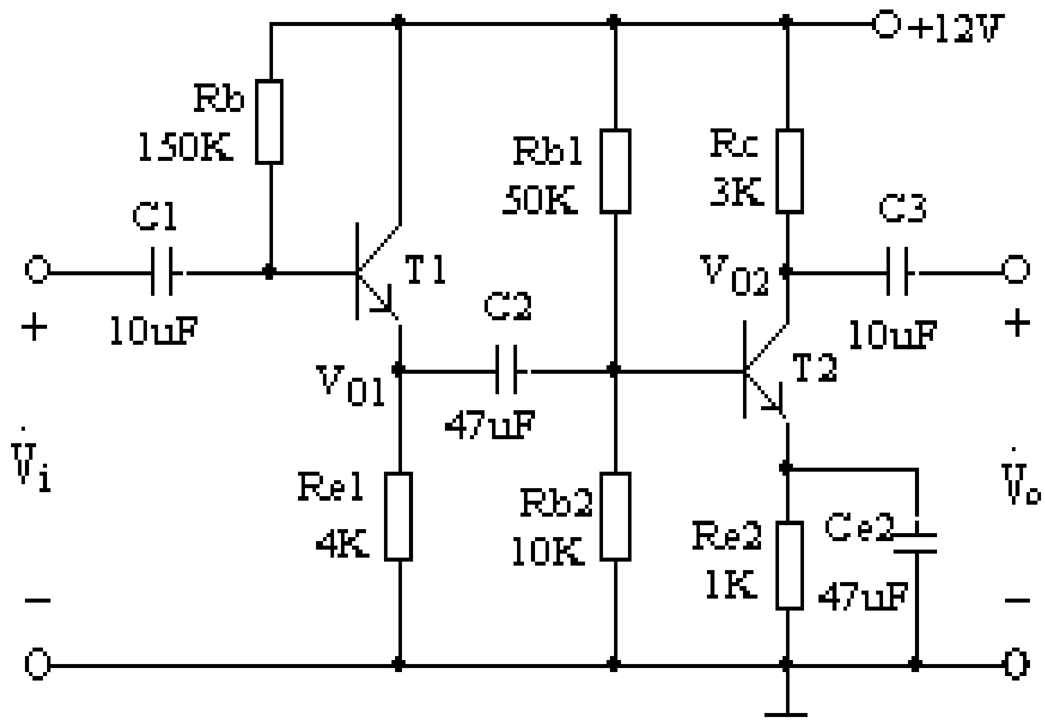
$$R_o = \frac{r_{be} + R_2}{1+\beta} \,//\, R_e$$

$$R_i = R_{i1} = R_1 \,//\, r_{be1}$$

例8

两级放大电路的参数如图 5（A）所示，设晶体管 T_1、T_2 的 $\beta_1=\beta_2=50$，$V_{BE1}=V_{BE2}=0.7V$，晶体管 $r_{be1}=r_{be2}=1K\Omega$，试求：

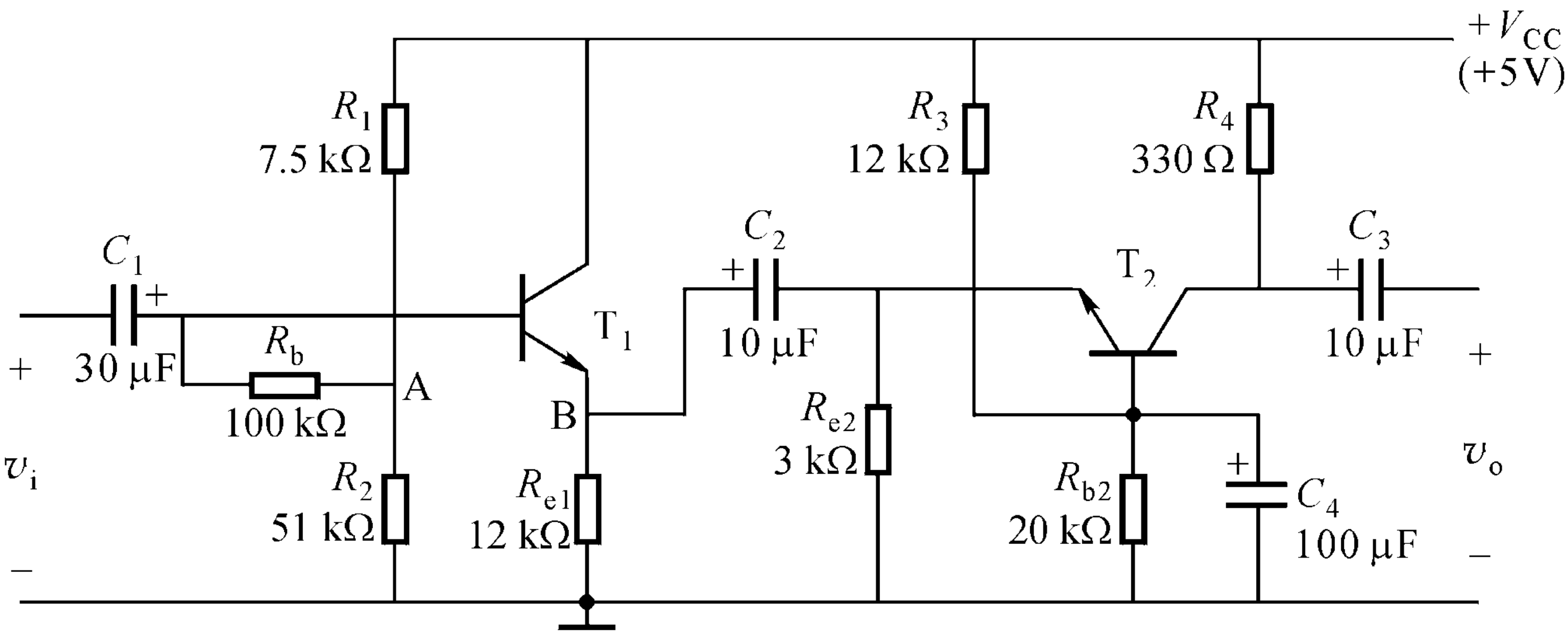
1. 第二级电路的静态工作点（I_{B2Q}，I_{C2Q}，V_{CE2Q}）；
2. 画出整个放大电路简化的微变等效电路（注意标出电压、电流的参考方向）；
3. 放大电路的电压放大倍数 $\dot{A}_{v1}$ 和 $\dot{A}_{v2}$ 以及总的电压放大倍数 $\dot{A}_v=\dot{V}_0/\dot{V}_i$；
4. 该放大电路的输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o；
5. 放大电路的最大不失真输出电压 V_{om}；



补充习题：已知$\beta_1=\beta_2=50$，$r_{bb'}=300\Omega$，求

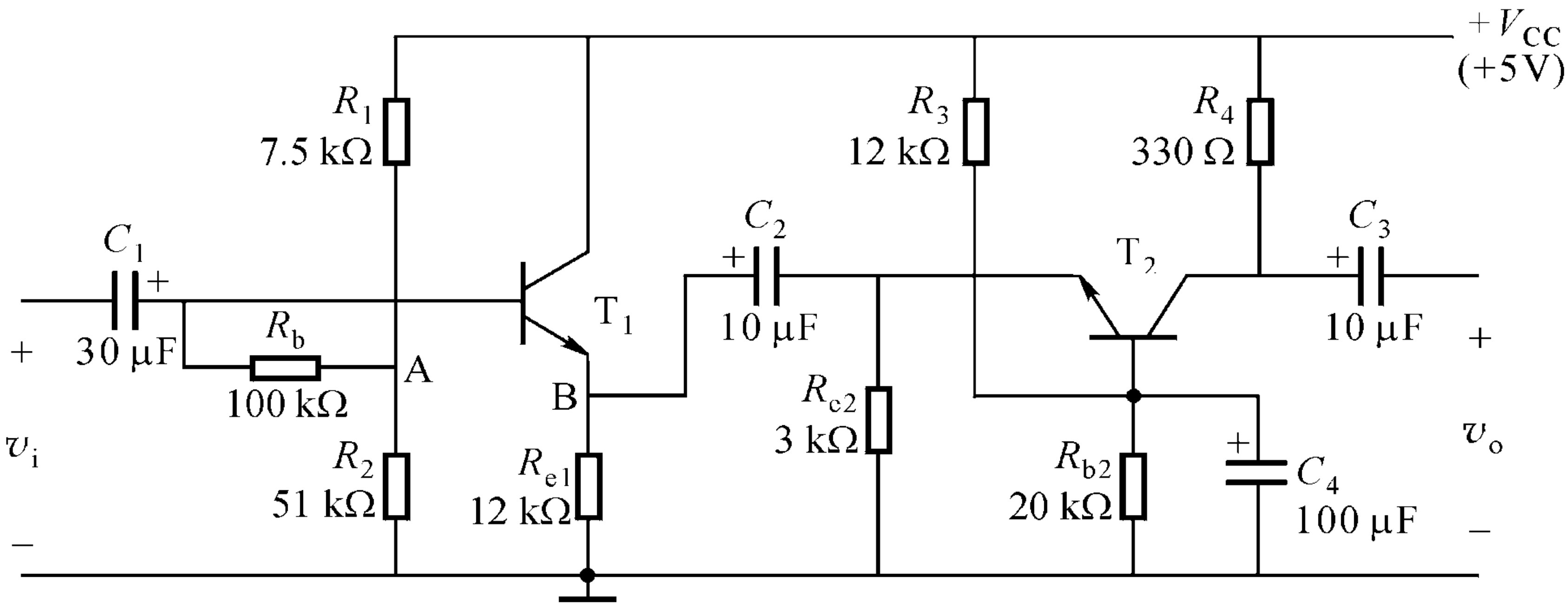
（1）电压放大倍数；

（2）输入电阻；



共集放大电路

共基放大电路



解: $V_A = 5 \times \dfrac{51}{51+7.5} = 4.36\text{V}$ 　　静态电路计算

$$I_{EQ1} = (1+\beta)I_B = (1+\beta)\frac{4.36-0.7}{R_b+(1+\beta)R_{e1}}$$

设 $I_B \ll I_{R1}, I_{R2}$

$$= 51 \times \frac{4.36-0.7}{100+51\times 12} = 0.26\text{mA}$$

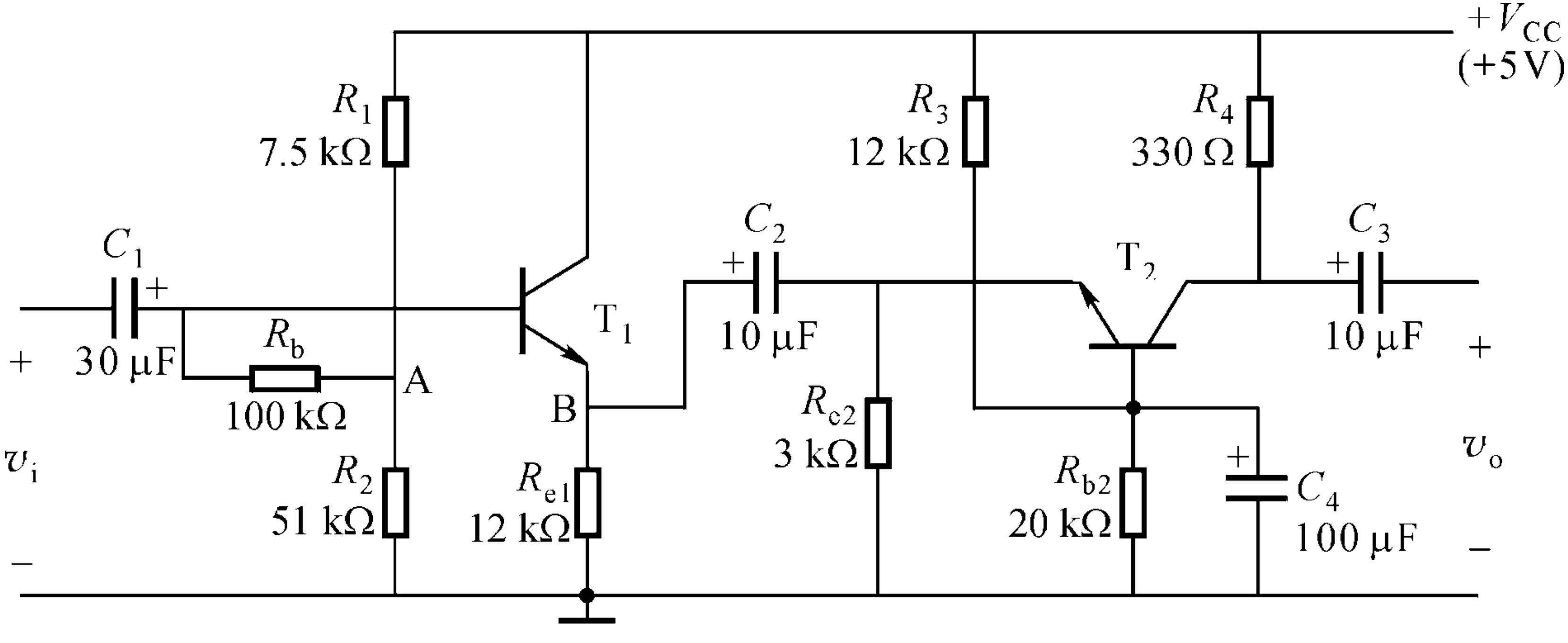
$$r_{be1} = r_{bb'} + (1+\beta)\frac{26}{I_{EQ_1}} = 300 + 51 \times \frac{26}{0.26} = 5.4\text{k}\Omega$$

静态电路计算

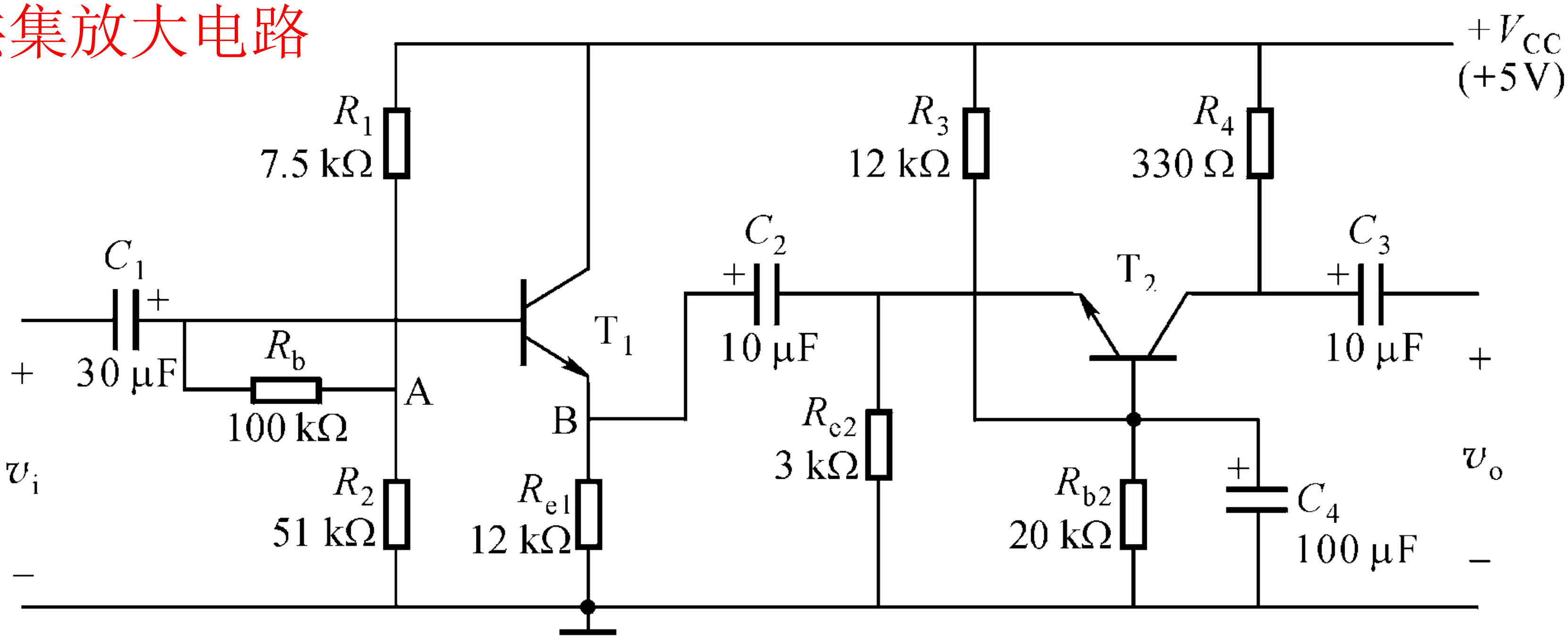
$$V_{B2} = 5 \times \frac{R_{b2}}{R_3 + R_{b2}} = 5 \times \frac{20}{12 + 20} = 3.125\text{V}$$

$$I_{EQ2} = \frac{3.125 - 0.7}{R_{e2}} = 0.81\text{mA}$$

$$r_{be2} = r_{bb'} + (1 + \beta)\frac{26}{0.81} = 300 + 51 \times \frac{26}{0.81} = 1.94\text{k}\Omega$$



共集放大电路



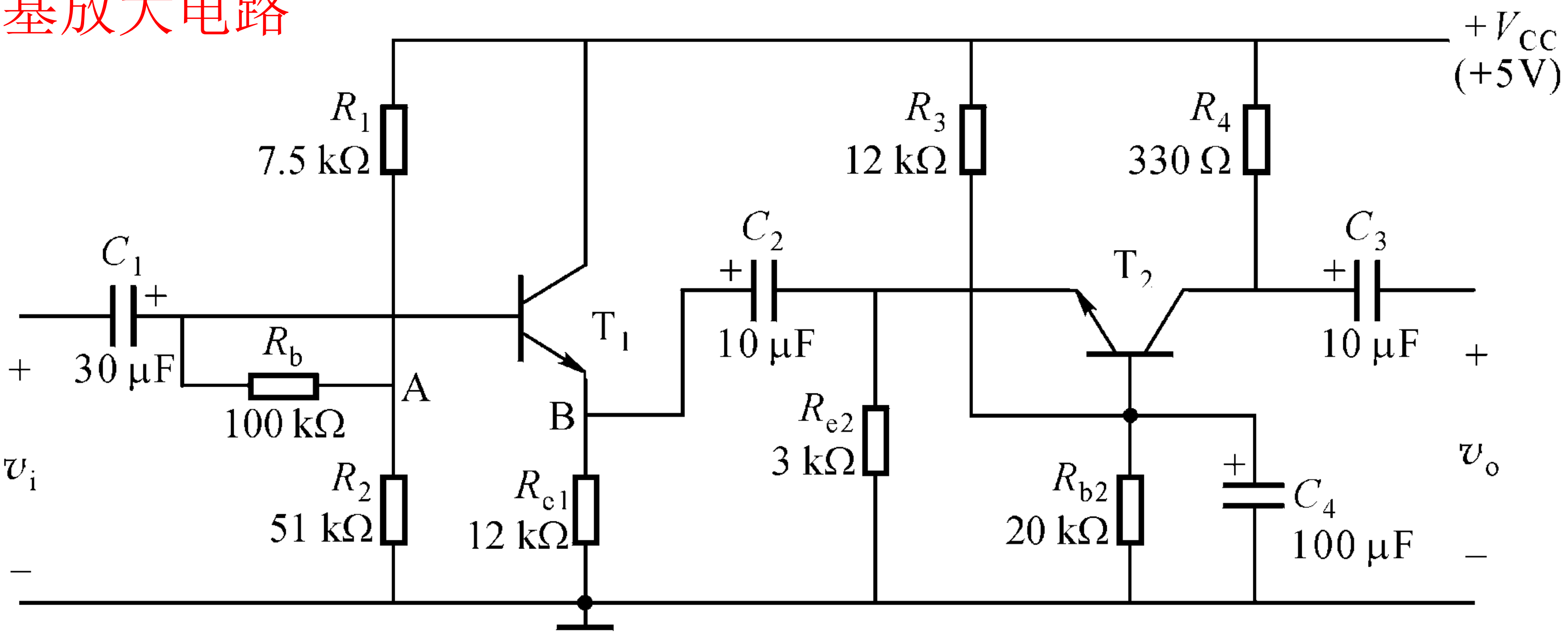
$$\boxed{A_{v1}=\frac{(1+\beta)R_{L1}^{'}}{r_{be1}+(1+\beta)R_{L1}^{'}}}$$

$$R_{i2}=R_{e2}\,//\,\frac{r_{be2}}{1+\beta}=3\,//\,\frac{1.94}{1+50}=0.038\ \text{k}\Omega$$

$$R_{L1}^{'}=R_{e1}\,//\,R_{i2}=12\,//\,0.038\doteq 0.038\ \text{k}\Omega$$

$$\therefore A_{v1}=\frac{(1+\beta)R_{L1}^{'}}{r_{be1}+(1+\beta)R_{L1}^{'}}=\frac{51\times 0.038}{5.361+51\times 0.038}\approx 0.265$$

共基放大电路



$$A_{v2} = \beta \frac{R'_{L2}}{r_{be2}} = 50 \times \frac{0.33}{1.94} = 8.505$$

$$A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} = 0.265 \times 8.505 = 2.254$$