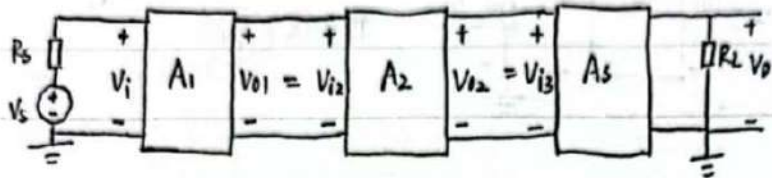
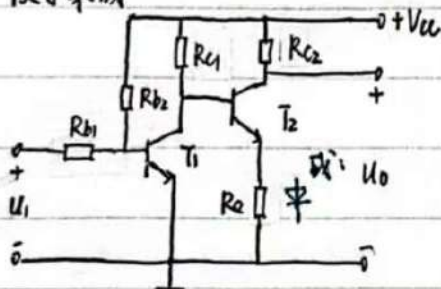


多级放大电路耦合方式分析

一. 直接耦合级联方式



- 低频特性
- 各级工作点互相影响
- 存在零点漂移
- 便于集成



R_{c1} 既是第一级集电极, 又是第二级基极

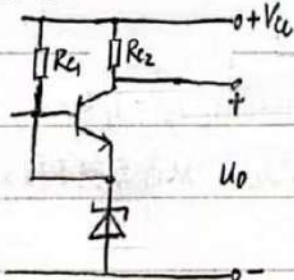
T_2 发射区若无 R_e/D , 则对 T_1 : $U_{CEQ1} = U_{CEQ2}$, 会饱和.

若加 R_e : \rightarrow 输入电阻 \uparrow , 放大倍数 \downarrow

第一、二级: 共射级.

若使用二极管抬高: 则若 U_{CEQ1} 更大一些, 电压差不够

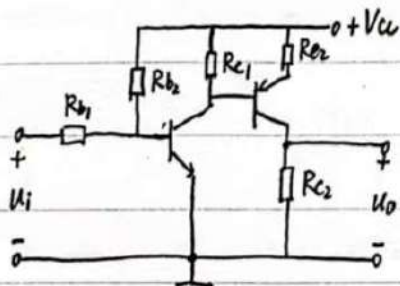
↓ 改进



稳压管交流阻抗不大, 且提高了电压, 动态电阻影响不大 (不影响放大倍数)

Δ 总结: U_{CEQ1} 大小 \rightarrow 加 R_e (A_{u2} 数值 \downarrow) \rightarrow 改用 D \rightarrow U_{CEQ1} 较大 \rightarrow 改用 R_e

NPN 和 PNP 混合使用



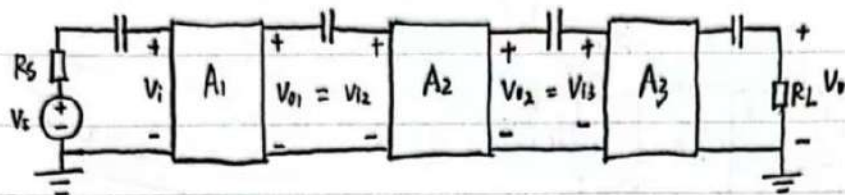
$$U_{CEQ1} = U_{BQ2} > U_{BQ1}$$

$$U_{CEQ2} < U_{CEQ1}$$

No.

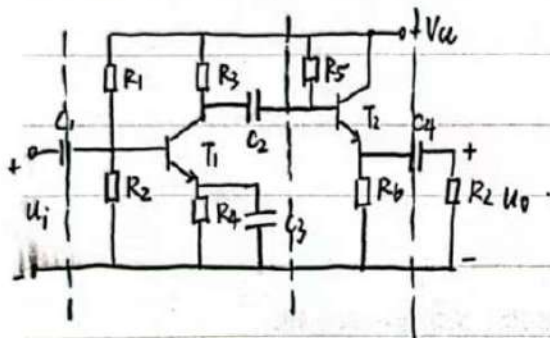
Date

二. 阻容耦合级联方式



各级工作点相互独立，
但不便于集成

电路实例：

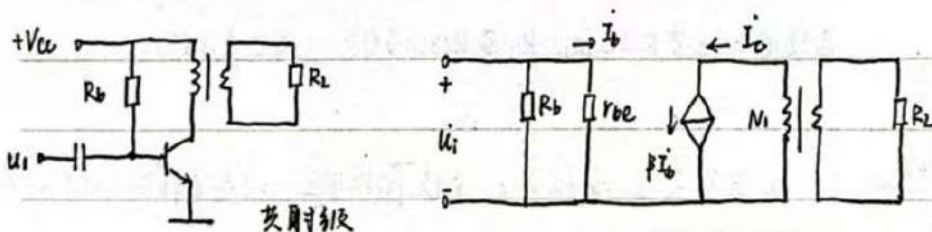


共射

共集

T1与T2的Q点相互独立。

三. 变压器耦合



共射级

变压器两端 $P_1 = P_2$ ， $\therefore I_C^2 R_L' = I_1^2 R_L$

$\therefore R_L' = \frac{I_1^2}{I_C^2} R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$ ，从而实现了阻抗变换

四. 光电耦合

五. 多级放大器分析方法

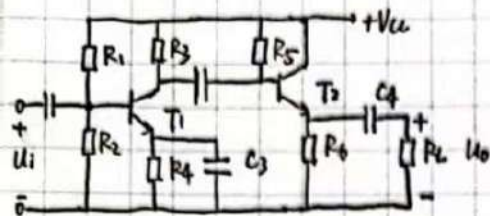
$$\text{法1 } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} \cdot \frac{V_{o2}}{V_{i2}} \cdot \frac{V_o}{V_{i3}} = A_{v1} A_{v2} A_{v3}$$

$$\text{法2 } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_i} \cdot \frac{i_1}{i_2} \cdot \frac{i_2}{i_1} \cdot \frac{i_3}{i_2} = \frac{R_L}{R_i} A_{i1} A_{i2} A_{i3}$$

R_i 大， R_o 小， A_v 数值大

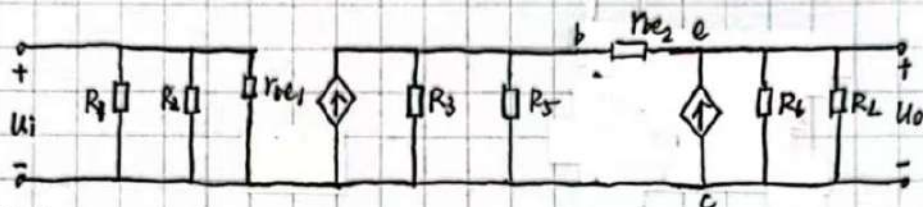
分析 A_1 考虑的是 A_2 的输入电阻。

分析举例:



step 1: 静态工作点

step 2: 小信号模型



放大:

$$\therefore A_{u1} = -\frac{\beta(R_3 // R_5)}{r_{be1}}$$

$$A_{u2} = \frac{(1 + \beta_2)(R_6 // R_L)}{(1 + \beta_2)(R_6 // R_L) + \beta_2 r_{be2}}$$

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}$$

输入电阻:

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

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

放大电路选用:

R_i	A_u
$1 \sim 2 k\Omega$	≥ 3000
$\geq 10 M\Omega$	≥ 300
$100 \sim 200 k\Omega$	≥ 150
$\geq 10 M\Omega$	≥ 10

$$R_o \leq 100$$

一级

共射

共源

共集

共源

二级

共射

共射

共射

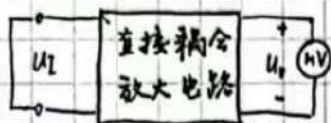
共集

MOSFET: R_i 更大

差分放大电路

一. 零点漂移现象

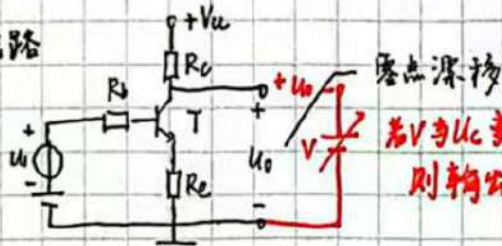
· 又称温漂, $\Delta U_i = 0, \Delta U_o \neq 0$



· 引入直流负反馈, \rightarrow 差分放大

二. 长尾式差分放大电路

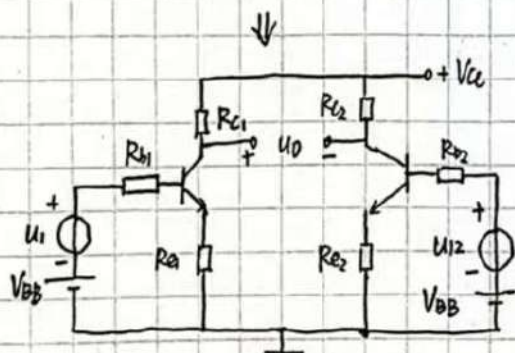
原电路



零点漂移

若 V 与 U_c 变化一样,

则输出电压没有漂移 (零输入, 零输出)

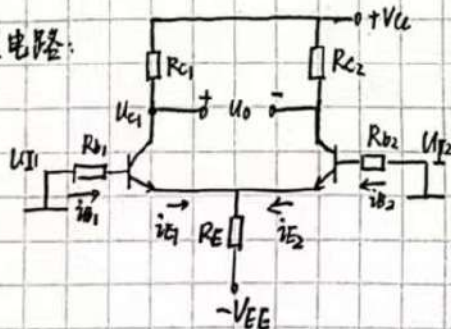


参数: $R_{b1} = R_{b2}, R_{c1} = R_{c2}, R_{e1} = R_{e2}$

T_1, T_2 在任何温度下特性相同

\rightarrow 理想对称

典型电路:



静态分析: 令 $U_{i1} = U_{i2} = 0$ (交流 $\rightarrow 0$).

$$I_{BQ1} = I_{BQ2} = I_{BQ}$$

$$I_{CQ1} = I_{CQ2} = I_{CQ}$$

$$I_{EQ1} = I_{EQ2} = I_{EQ}$$

$$U_{CQ1} = U_{CQ2} = U_{CQ}$$

$$U_o = U_{CQ1} - U_{CQ2} = 0$$

$$V_{EE} = I_{BQ} \cdot R_{b1} + U_{BEQ} + 2I_{EQ} \cdot R_e$$

$$\therefore I_{EQ} = \frac{V_{EE} - U_{BEQ}}{2R_e}$$

U_{BEQ} 基本不变, 故可通过调节 V_{EE} 和 R_e 来调节 $I_{EQ} \rightarrow I_{CQ}$. 偏置电流.

2. 抑制共模信号

共模信号: 即 $U_{i1} = U_{i2} = U_{ic}$ (噪声, 干扰, 上级...)

$$U_o = U_{C1} - U_{C2} = 0$$

共模放大倍数: $A_c = \frac{\Delta U_{oc}}{\Delta U_{ic}}$

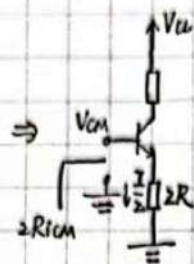
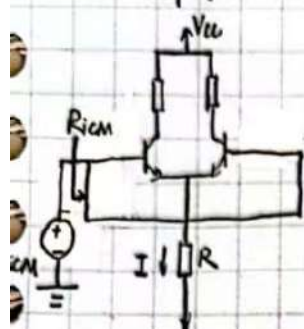
理想对称: $A_c = 0$.

R_e : 有效抑制共模信号, 进行负反馈

若 $T_1 \uparrow \rightarrow I_{C1} \uparrow, I_{E2} \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow U_{BE1} \uparrow \rightarrow U_{BE2} \uparrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{C1} \downarrow, I_{C2} \downarrow$, 从而抑制每支差分管的变化

3. 共模输入阻抗

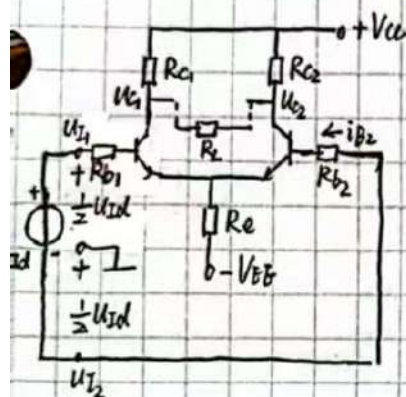
拆为:



$$2R_{icm} = r_{be} + (1+\beta)2R$$

$$R_{icm} = \frac{1}{2}r_{be} + (1+\beta)R$$

4. 放大差模信号 — 数值相等, 极性相反



$$\Delta i_{B1} = -\Delta i_{B2}$$

$$\Delta i_{C1} = -\Delta i_{C2}$$

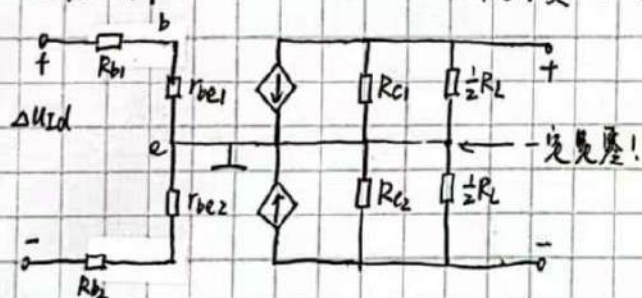
$$\Delta u_{C1} = -\Delta u_{C2}$$

$$\Delta u_o = 2\Delta u_{C1}$$

又: $\Delta i_{E1} = -\Delta i_{E2}$ $\therefore R_e$ 中电流不变, 即 R_e 对差模信号无反馈抵消

动态分析:

$\therefore R_e$ 不变 $\therefore \Delta i_e = 0$, 为交流地点, $u_{Ea} = 0$ [交流短路]



$$\text{差模放大倍数 } A_d = \frac{\Delta u_{od}}{\Delta u_{id}} = \frac{-\Delta i_c \cdot 2 \cdot (R_c // \frac{1}{2} R_L)}{\Delta i_B \cdot 2 \cdot (R_{b1} + r_{be})} = -\beta \cdot \frac{R_c // \frac{1}{2} R_L}{R_b + r_{be}}$$

$$R_i = 2(R_b + r_{be})$$

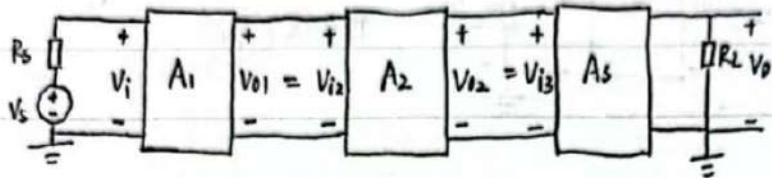
$$R_o = 2R_c$$

5. 动态参数

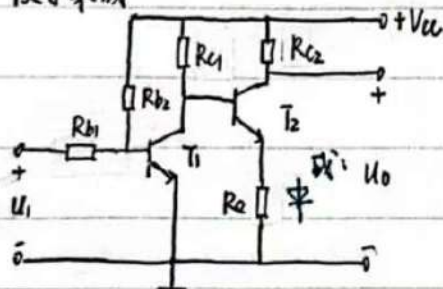
$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

多级放大电路耦合方式分析

一. 直接耦合级联方式



- 低频特性
- 各级工作点互相影响
- 存在零点漂移
- 便于集成



R_{c1} 既是第一级集电极，又是第二级基极

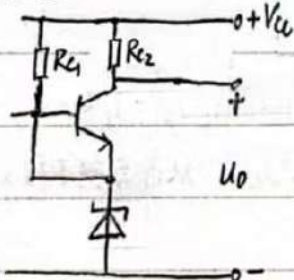
T_2 发射区若无 R_{e2} ，则对 T_1 : $U_{CEQ1} = U_{CEQ2}$ ，会饱和。

若加 R_{e2} : \rightarrow 输入电阻 \uparrow , 放大倍数 \downarrow

第一、二级: 共射级。

若使用二极管抬高: 则若 U_{CEQ1} 更大一些, 电压差不够

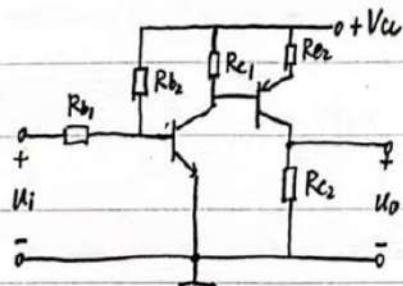
改进



稳压管交流阻抗不大, 且提高了电压, 动态电阻影响不大 (不影响放大倍数)

Δ 总结: U_{CEQ1} 大小 \rightarrow 加 R_{e2} (A_{u2} 数值 \downarrow) \rightarrow 改用 D \rightarrow U_{CEQ1} 较大 \rightarrow 改用 R_{e2}

NPN 和 PNP 混合使用



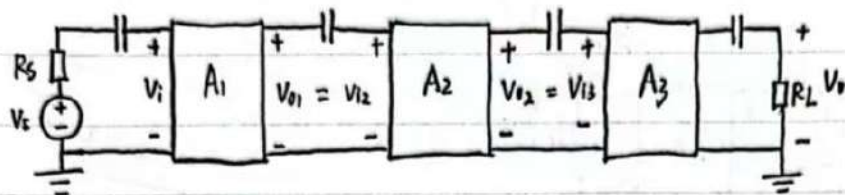
$$U_{CEQ1} = U_{BQ2} > U_{BQ1}$$

$$U_{CEQ2} < U_{CEQ1}$$

No.

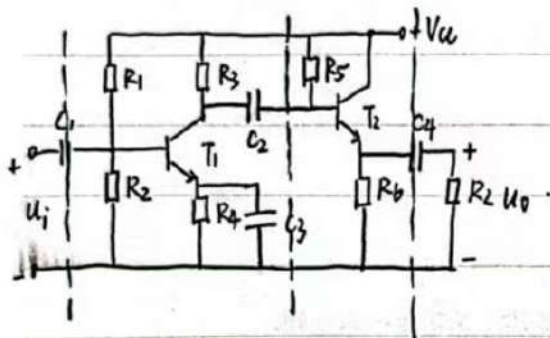
Date

二. 阻容耦合级联方式



各级工作点相互独立,
但不便于集成

电路实例:

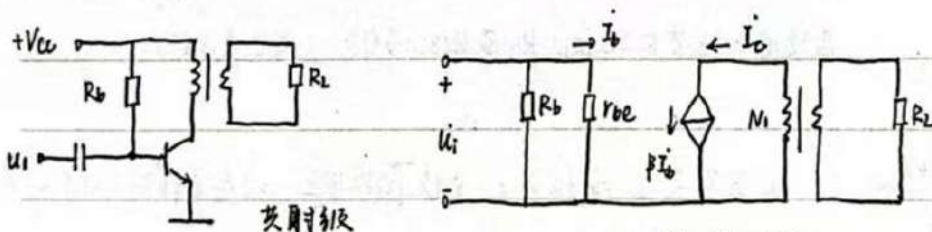


共射

共集

T_1 与 T_2 的Q点相互独立.

三. 变压器耦合



共射级

变压器两端 $P_1 = P_2$, $\therefore I_C^2 R_L' = I_1^2 R_L$

$\therefore R_L' = \frac{I_1^2}{I_C^2} R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$. 从而实现了阻抗变换

四. 电容耦合

五. 多级放大器分析方法

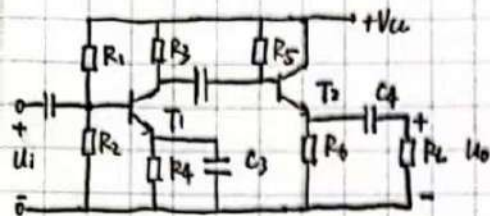
$$\text{法1 } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} \cdot \frac{V_{o2}}{V_{i2}} \cdot \frac{V_o}{V_{i3}} = A_{v1} A_{v2} A_{v3}$$

$$\text{法2 } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_i} \cdot \frac{i_1}{i_2} \cdot \frac{i_2}{i_1} \cdot \frac{i_2}{i_2} = \frac{R_L}{R_i} A_{i1} A_{i2} A_{i3}$$

R_i 大, R_o 小, A_v 数值大

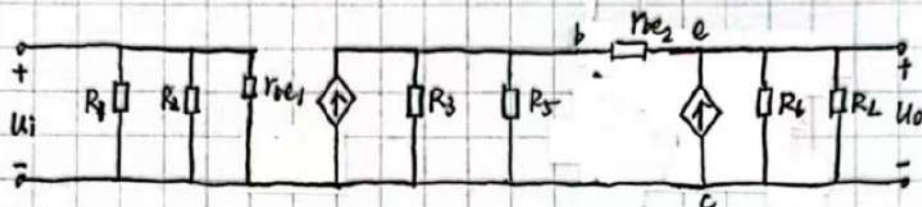
分析 A_1 考虑的是 A_2 的输入电阻.

分析举例:



step 1: 静态工作点

step 2: 小信号模型



放大:

$$\therefore A_{u1} = -\frac{\beta(R_3 // R_5)}{r_{be1}}$$

$$A_{u2} = \frac{(1 + \beta_2)(R_6 // R_L)}{(1 + \beta_2)(R_6 // R_L) + \beta_2 r_{be2}}$$

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2}$$

输入电阻:

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

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

放大电路选用:

R_i	A_u
$1 \sim 2 k\Omega$	≥ 3000
$\geq 10 M\Omega$	≥ 300
$100 \sim 200 k\Omega$	≥ 150
$\geq 10 M\Omega$	≥ 10

$$R_o \leq 100$$

一级

共射

共源

共集

共源

二级

共射

共射

共射

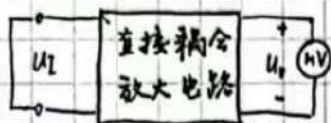
共集

MOSFET: R_i 更大

差分放大电路

一. 零点漂移现象

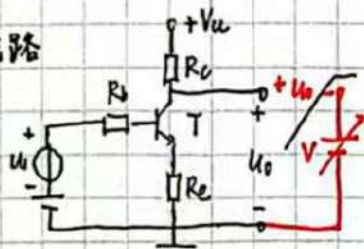
· 又称温漂, $\Delta U_i = 0, \Delta U_o \neq 0$



· 引入直流负反馈, \rightarrow 差分放大

二. 长尾式差分放大电路

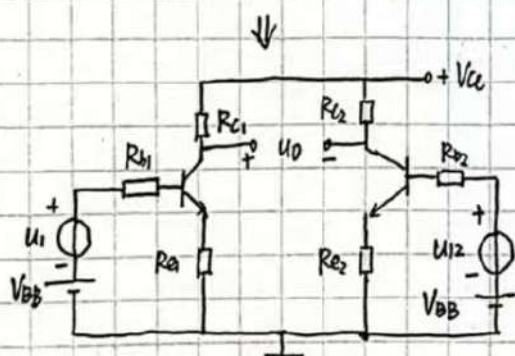
原电路



零点漂移

若 V 与 U_c 变化一样,

则输出电压没有漂移 (零输入, 零输出)

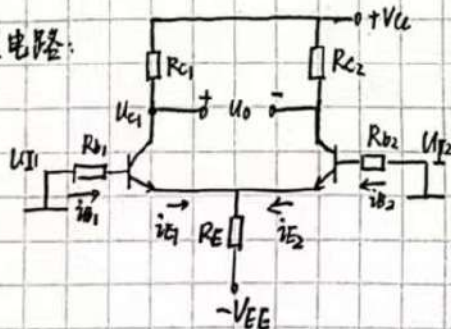


参数: $R_{B1} = R_{B2}, R_{C1} = R_{C2}, R_{E1} = R_{E2}$

T_1, T_2 在任何温度下特性相同

\rightarrow 理想对称

典型电路:



静态分析: 令 $U_{i1} = U_{i2} = 0$ (交流 $\rightarrow 0$).

$$I_{BQ1} = I_{BQ2} = I_{BQ}$$

$$I_{CQ1} = I_{CQ2} = I_{CQ}$$

$$I_{EQ1} = I_{EQ2} = I_{EQ}$$

$$U_{CQ1} = U_{CQ2} = U_{CQ}$$

$$U_o = U_{CQ1} - U_{CQ2} = 0$$

$$V_{EE} = I_{BQ} \cdot R_{B1} + U_{BEQ} + 2I_{EQ} \cdot R_E$$

$$\therefore I_{EQ} = \frac{V_{EE} - U_{BEQ}}{2R_E}$$

U_{BEQ} 基本不变, 故可通过调节 V_{EE} 和 R_E 来调节 $I_{EQ} \rightarrow I_{CQ}$. 偏置电流.

2. 抑制共模信号

共模信号: 即 $U_{i1} = U_{i2} = U_{ic}$ (噪声, 干扰, 上级...)

$$U_o = U_{C1} - U_{C2} = 0$$

$$\text{共模放大倍数: } A_c = \frac{\Delta U_{oc}}{\Delta U_{ic}}$$

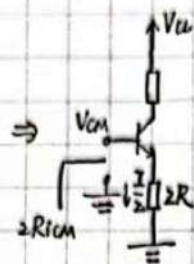
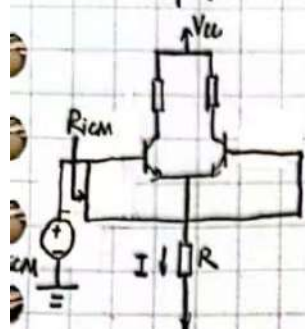
理想对称: $A_c = 0$.

R_E : 有效抑制共模信号, 进行负反馈

若 $T_1 \uparrow \rightarrow I_{C1} \uparrow, I_{E2} \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow U_{BE1} \uparrow \rightarrow U_{BE2} \uparrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{C1} \downarrow, I_{C2} \downarrow$, 从而抑制每支差分管的变化

3. 共模输入阻抗

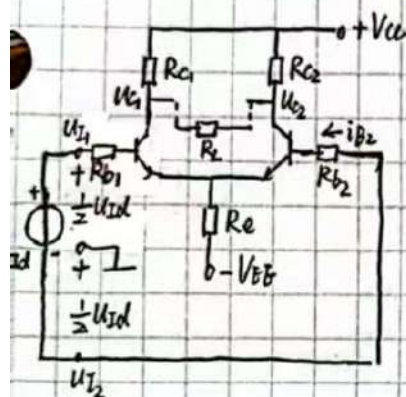
拆为:



$$2R_{icm} = r_{be} + (1+\beta)2R$$

$$R_{icm} = \frac{1}{2}r_{be} + (1+\beta)R$$

4. 放大差模信号 — 数值相等, 极性相反



$$\Delta i_{B1} = -\Delta i_{B2}$$

$$\Delta i_{C1} = -\Delta i_{C2}$$

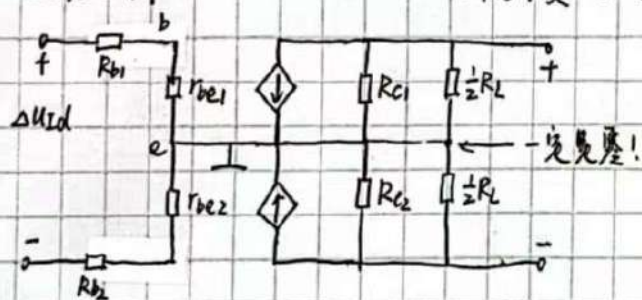
$$\Delta u_{C1} = -\Delta u_{C2}$$

$$\Delta u_o = 2\Delta u_{C1}$$

又: $\Delta i_{E1} = -\Delta i_{E2}$ $\therefore R_e$ 中电流不变, 即 R_e 对差模信号无反馈抵消

动态分析:

$\therefore R_e$ 不变 $\therefore \Delta i_e = 0$, 为交流地点, $u_{Ee} = 0$ [交流短路]



$$\text{差模放大倍数 } A_d = \frac{\Delta u_{od}}{\Delta u_{id}} = \frac{-\Delta i_c \cdot 2 \cdot (R_c // \frac{1}{2}R_L)}{\Delta i_B \cdot 2 \cdot (R_b + r_{be})} = -\beta \cdot \frac{R_c // \frac{1}{2}R_L}{R_b + r_{be}}$$

$$R_i = 2(R_b + r_{be})$$

$$R_o = 2R_c$$

5. 动态参数

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$