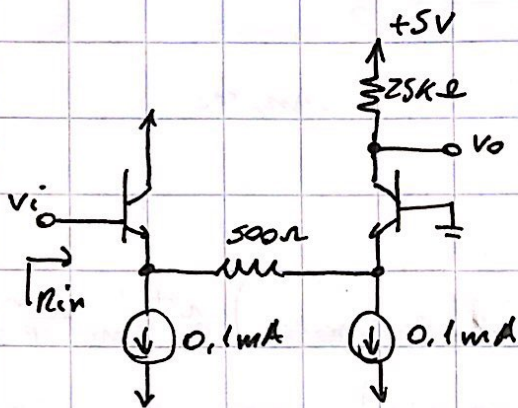


→ Exercício Proposto em Sala:

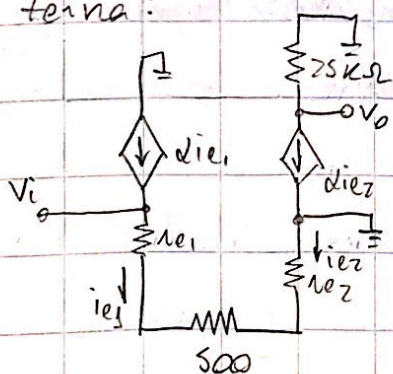
9.53 Encontrar a resistência de entrada e o ganho de tensão do amplificador a seguir, assumindo  $\beta = 100$ .



→ Polarização C.C. → Como  $v_i$  é um pequeno sinal: O sub-circuito c.c. se encontra equilibrado, de modo que as correntes em ambos os transistores serão igual a 0,1mA, ou seja, a corrente no resistor de 500Ω será nula.

→ Análise de Pequenos sinais:

Como a tensão de early não foi informada, não será desconsiderado. Assim, o circuito de pequenos sinais se torna:



$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{0,1\text{mA}} = 250\Omega$$

⊕ A resistência de entrada é definida como:

$$R_{in} = (\beta + 1) [r_{e1} + r_{e2} + 500]$$

$$R_{in} = 501\text{k}\Omega$$

Ⓛ

$$v_o = -\alpha i_{e2} \cdot 25\text{k}\Omega$$

$$i_{e2} = -\frac{v_i}{r_{e1} + r_{e2} + 500} = -3\text{mA/V} \cdot v_i$$

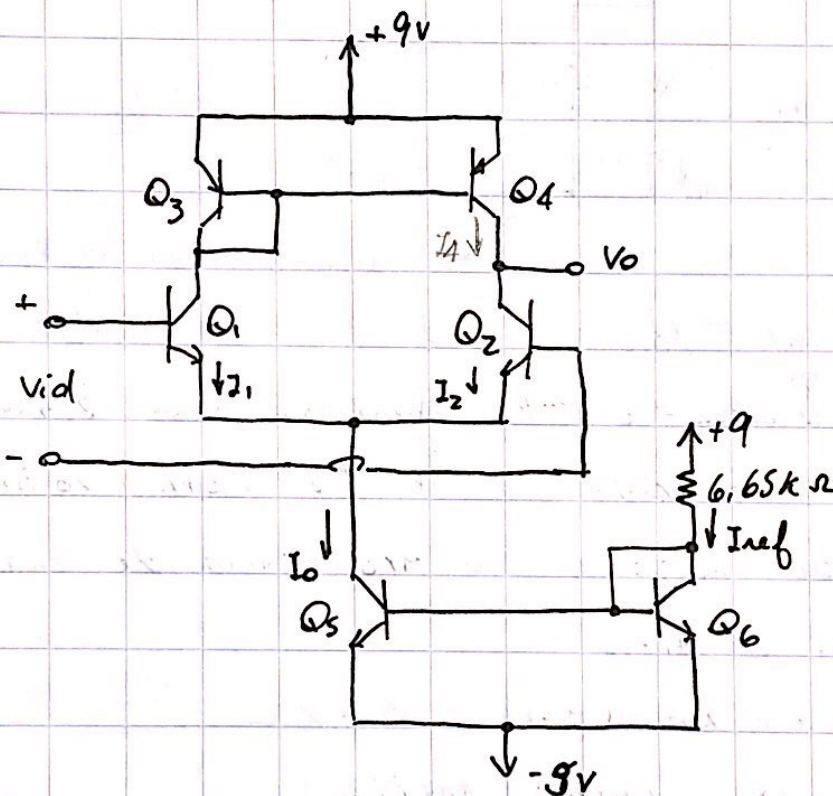
$$v_o = +0,99 \cdot 3\text{mA/V} \cdot 25\text{k} \cdot v_i$$

$$A_{v0} = \frac{v_o}{v_i} = 24,75 \text{ V/V}$$

9.111) Para o circuito abaixo, encontre:

- Resistência de entrada diferencial
- Ganho  $A_d$
- CMRR

→ Assuma  $\beta = 100$ ,  $|V_{BE}| = 0,7V$  e  $|V_A| = 60V$ .



1 - Polarização → Primeiramente devemos calcular as correntes de polarização do circuito. Iniciando pelo espelho de corrente formado por  $Q_5$  e  $Q_6$ , a corrente  $I_{ref}$  pode ser definida como:

$$I_{ref} = \frac{9 - 0,7 - (-5V)}{6,65k} = 2mA$$

$$I_0 = I_{C5} = I_{C6} \rightarrow I_{ref} = I_{C6} + I_{B6} + I_{B5} = I_{C6} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) + \frac{I_{C5}}{\beta}$$

$$I_{ref} = I_0 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \Rightarrow \boxed{I_0 = 1,96mA}$$

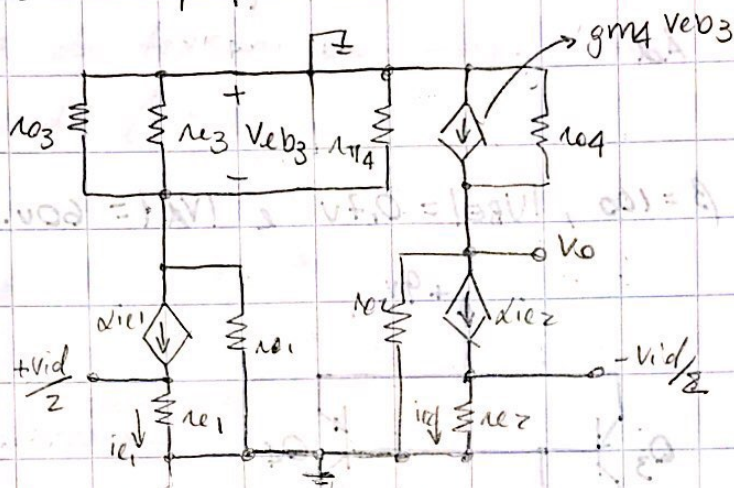
• Como o par diferencial é casado,  $I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} = 0,98mA$

• Seguindo a mesma análise do espelho de corrente,

$$I_A = \frac{\alpha I_1}{1 + \frac{2}{\beta}} = 0,95mA$$



- Com isso, pode-se levantar o modelo de pequenas sinais do amplificador:



uma - virtual  $\rightarrow$  Per equilibrado.

$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{0,98 \text{ mA}} = 26,3 \Omega$$

$$r_{o3} = r_{o4} = \frac{|V_A|}{0,98 \text{ mA}} = 63,15 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi4} = \frac{|V_A|}{\beta \cdot 0,98 \text{ mA}} = 2,63 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \frac{0,98 \text{ mA}}{V_T} = 38 \text{ mA/V}$$

$$r_{e3} = \frac{V_T}{0,98 \text{ mA}} = 26,3 \Omega$$

a) Assumindo  $r_o \gg r_e$ , a resistência de entrada diferencial se torna:

$$r_{id} = (r_{e1} + r_{e2})(\beta + 1) = 5,15 \text{ k}\Omega$$

$$b) v_o = (g_m v_{e3} - \alpha i_{e2})(r_{o2} \parallel r_{o4})$$

$$i_{e2} \approx -\frac{v_{id}}{r_{e1} + r_{e2}} = -19,6 \text{ mA/V} \cdot v_{id}$$

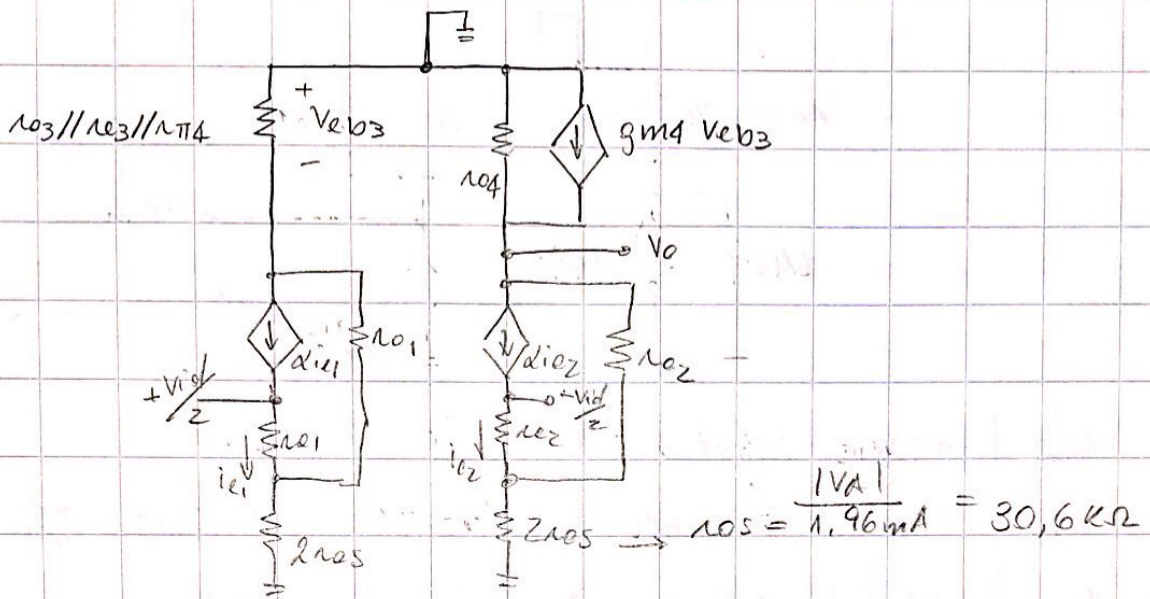
$$v_{e3} \approx \alpha i_{e1} \cdot (r_{o1} \parallel r_{o3} \parallel r_{e3} \parallel r_{\pi4}) = 0,505 \cdot v_{id}$$

$$\text{logo. } v_o = (g_m \cdot 0,505 + \alpha \cdot 19,6 \text{ mA/V})(r_{o2} \parallel r_{o4}) \cdot v_{id}$$

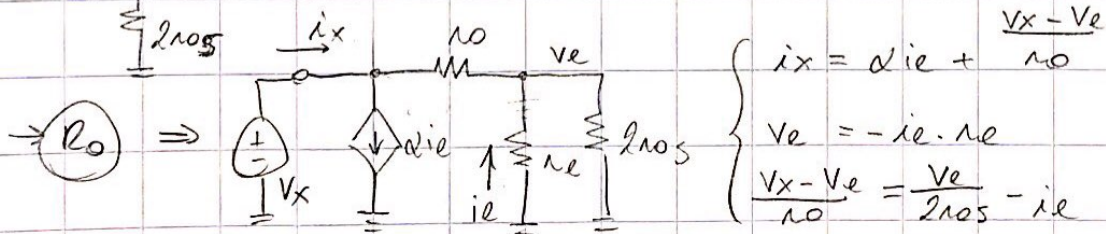
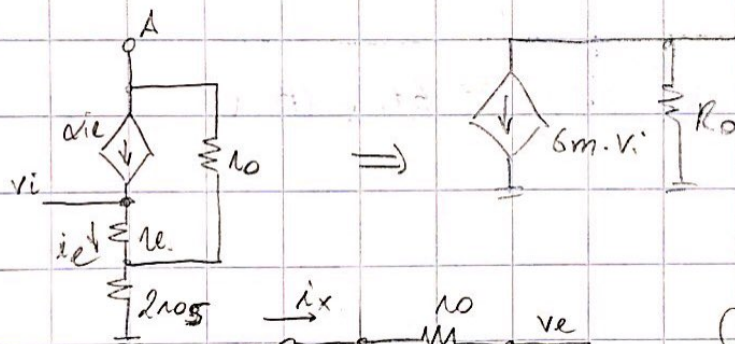
$$A_d = \frac{v_o}{v_{id}} = 1205,9 \text{ V/V}$$

c) Para analisar o CMRR é necessário desenhar o circuito de modo - comum





→ Defindo o modelo Norton :



$$i_x = \alpha \cdot \left(-\frac{v_e}{r_e}\right) + \frac{v_x - v_e}{r_o} - \frac{v_e}{r_{nos}}$$

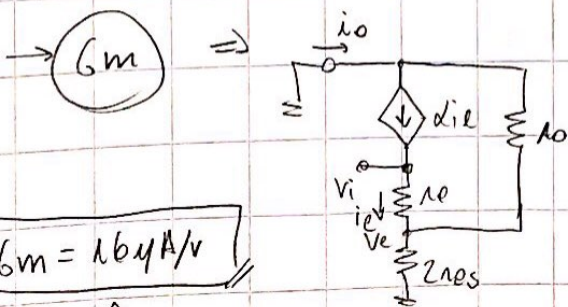
$$\frac{v_x - v_e}{r_o} = v_e \left(\frac{1}{2r_{nos}} + \frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_e}\right)$$

$$v_e = v_x \left(\frac{r_o}{2r_{nos}} + 1 + \frac{r_o}{r_e}\right)^{-1}$$

$$i_x = v_x \left(\frac{1}{r_o} - \frac{\alpha}{r_e k} - \frac{1}{r_{os} k}\right)$$

$$i_x = v_x \cdot 0,1667 \mu S$$

$R_o = \frac{v_x}{i_x} = 6M\Omega$



$G_m = 16 \mu A/V$

$$i_o = 16 \mu A/V \cdot v_i$$

$$i_o = \alpha i_e + \frac{0 - v_e}{r_o}$$

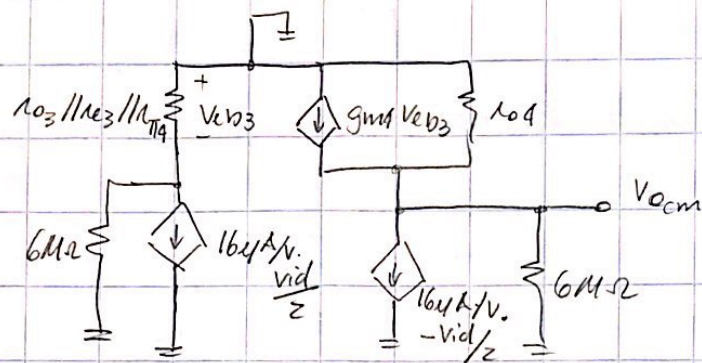
$$i_e + \frac{0 - v_e}{r_o} = \frac{v_e}{2r_{nos}} \Rightarrow i_e = v_e \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{2r_{nos}}\right)$$

$$i_e = \frac{v_i - v_e}{r_e} \Rightarrow \frac{v_i}{r_e} = v_e \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{2r_{nos}} + \frac{1}{r_e}\right)$$

$$v_e = v_i \cdot \frac{r_o // 2r_{nos} // r_e}{r_e}$$

$$i_o = \frac{\alpha v_e}{r_o // 2r_{nos}} - \frac{v_e}{r_o} = v_i \frac{r_o // 2r_{nos} // r_e}{r_e} \left(\frac{\alpha}{r_o // 2r_{nos}} - \frac{1}{r_o}\right)$$

→ Assim:



$$V_{cm} = [g_{m1} V_{eb3} - (164 \text{ A/V} \cdot -\frac{v_{id}}{2})] \cdot (104 // 6 \text{ M}\Omega)$$

$$V_{eb3} = 164 \text{ A/V} \cdot \frac{v_{id}}{2} \cdot (6 \text{ M} // 103 // 1e3 // 104) = 0,208 \text{ mV/V} \cdot v_{id}$$

$$V_{cm} = [g_{m1} \cdot 0,208 \text{ mV/V} + 8 \text{ A/V}] \cdot 62,5 \text{ k}\Omega \cdot v_{id}$$

$$V_{cm} = 0,994 \cdot v_{id}$$

Assim:

$$CMRR = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{1205,9}{0,994} \right) = 61,7 \text{ dB}$$