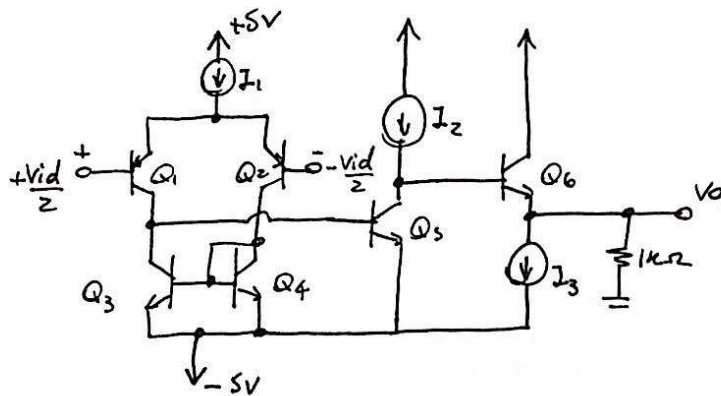


- Resolução de exercício proposto - Resposta em frequência de amplificadores multi-estágio



→ Transistores

PNP - BC557

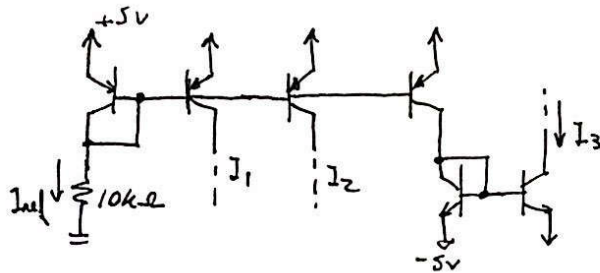
NPN - BC547

→ Dados extraídos do modelo SPICE/Datasheet

$\beta \approx 500$       $C_{\pi} = 12 \text{ pF}$

$V_A \approx 26 \text{ V}$       $C_{\mu} \approx 3 \text{ pF}$

→ Fontes de corrente:



$I_{ref} \approx \frac{5 - 0,7}{10 \text{ k}\Omega} = 0,43 \text{ mA}$

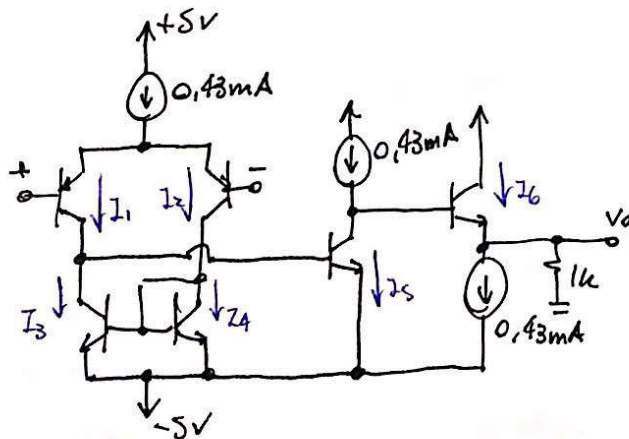
→ Assumindo  $\beta \gg 1$  e desprezando o efeito de  $r_o$

$I_1 = I_2 = I_3 = I_{ref}$

- Questão: Calcular a)  $R_{in}$ ,  $R_o$  e  $A_m$  em frequência média  
 b) Estimar  $f_H$   
 c) Simular o circuito e discutir diferenças.

a) → Calcular Polarização.

• Assumindo  $\beta \gg 1 \rightarrow I_B \approx 0$ , assim:



$-V_o \approx 0 \text{ V}$

$-I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = \frac{0,43 \text{ mA}}{2} = 0,215 \text{ mA}$

$-I_5 = I_6 = 0,43 \text{ mA}$

→ Com isso, os parâmetros de pequenos sinais se tornam:

$g_{m1-4} = 8,6 \text{ mA/V}$

$g_{m5-6} = 17,2 \text{ mA/V}$

$r_{e1-4} = 116,3 \Omega \rightarrow r_{\pi 1-4} = 38,3 \text{ k}\Omega$

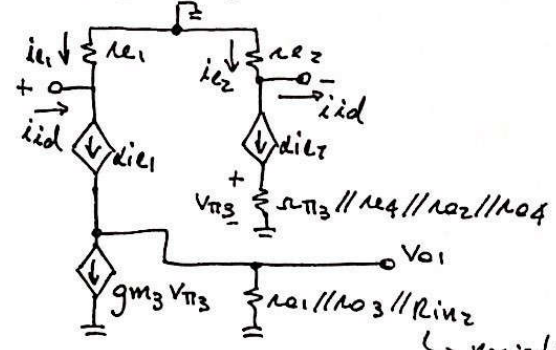
$r_{e5-6} = 58,1 \Omega \rightarrow r_{\pi 5-6} = 29,1 \text{ k}\Omega$

$r_{o1-4} = 120,9 \text{ k}\Omega$

$r_{o5-6} = 60,5 \text{ k}\Omega$

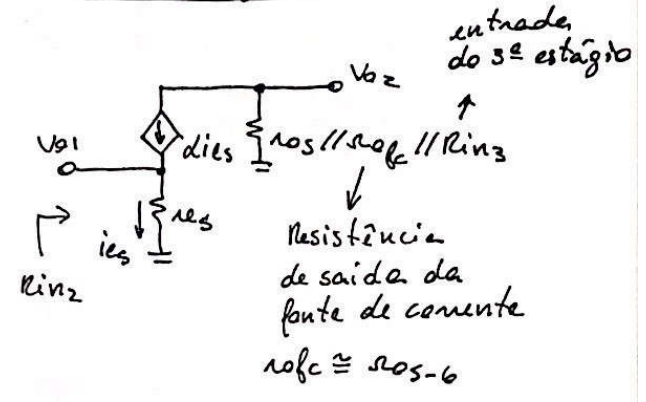
→ Desenhando o modelo de pequenas sinais

1º estágio



→ Resistência de entrada do 2º estágio

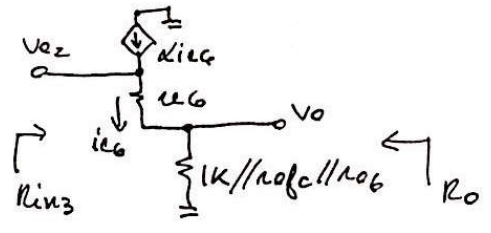
2º estágio



Entrada do 3º estágio

Resistência de saída da fonte de corrente  
 $r_{o5} \cong r_{o5-6}$

3º estágio



- $R_{in} = \frac{v_{id}}{i_{id}} = (\beta+1)(r_{e1} + r_{e2}) = 116,5 \text{ k}\Omega$
- $R_o = 1\text{k} // r_{o5} // r_{o6} = \underline{\underline{105,5 \Omega}}$
- $R_{in2} = r_{e5}(\beta+1) = 29,1 \text{ k}\Omega$
- $R_{in3} = (\beta+1)[r_{e6} + r_{o5} // r_{o6} // 1\text{k}] = 514 \text{ k}\Omega$

→ Fazer a análise do ganho por estágio:

①  $A_{v1} = \frac{v_{o1}}{v_{id}} \rightarrow v_{o1} = [\alpha i_{e1} - g_{m3} v_{\pi3}] \cdot r_{o1} // r_{o3} // R_{in2}$

$v_{\pi3} = \alpha i_{e2} \cdot r_{\pi3} // r_{e4} // r_{o2} // r_{o4}$

$i_{e1} = -\frac{v_{id}}{r_{e1} + r_{e2}} ; i_{e2} = \frac{v_{id}}{r_{e1} + r_{e2}} \Rightarrow i_{e1} = -i_{e2} = -4,3 \text{ mA/V} \cdot v_{id}$

→  $v_{\pi3} = 0,5 v_{id}$

$v_{o1} = -169 \cdot v_{id} \rightarrow \boxed{A_{v1} = -169 \text{ V/V}}$

②  $v_{o2} = -\alpha i_{e5} \cdot r_{o5} // r_{o6} // R_{in3} \rightarrow v_{o2} = -491,7 \cdot v_{o1}$

$i_{e5} = \frac{v_{o1}}{r_{e5}} \rightarrow \boxed{A_{v2} = -491,7 \text{ V/V}}$

③  $v_o = v_{o2} \cdot \frac{1\text{k} // r_{o5} // r_{o6}}{r_{e6} + 1\text{k} // r_{o5} // r_{o6}} \rightarrow v_o = 0,94 v_{o2}$

$\boxed{A_{v3} = 0,94 \text{ V/V}}$

• Assim:  $A_M = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot A_{v3} \rightarrow \boxed{A_M = 78,11 \text{ k}\Omega = 97,8 \text{ dB}}$

$\boxed{R_{in} = 116,5 \text{ k}\Omega \quad R_o = 105,5 \Omega}$