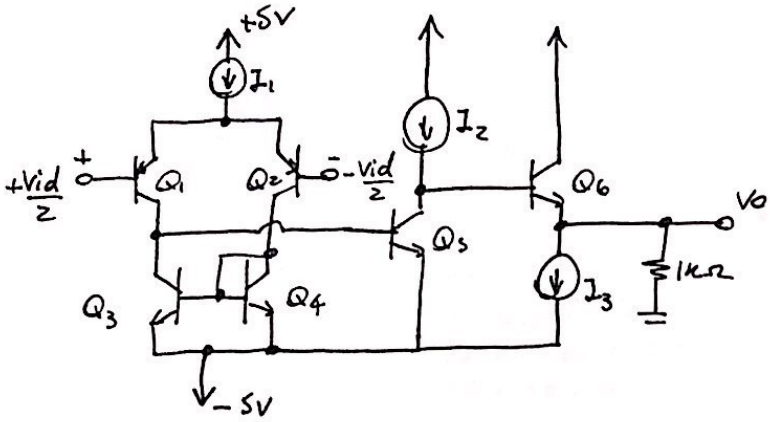
- Resolução de exercício proposto - Resposta em frequência de amplificadores multi-estágio



→ Transistores

PNP - BC557

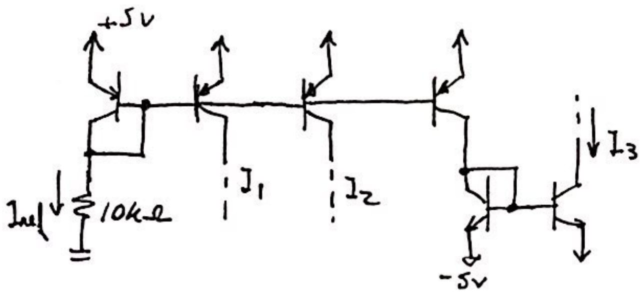
NPN - BC547

→ Dados extraídos do modelo SPICE/Datasheet

$\beta \cong 300$ $\quad C_\pi = 12pF$

$V_A \cong 26V$ $\quad C_\mu \cong 3pF$

→ Fontes de corrente:



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

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

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

→ Questão: Calcular a) Rin, Ro e Av em frequência média

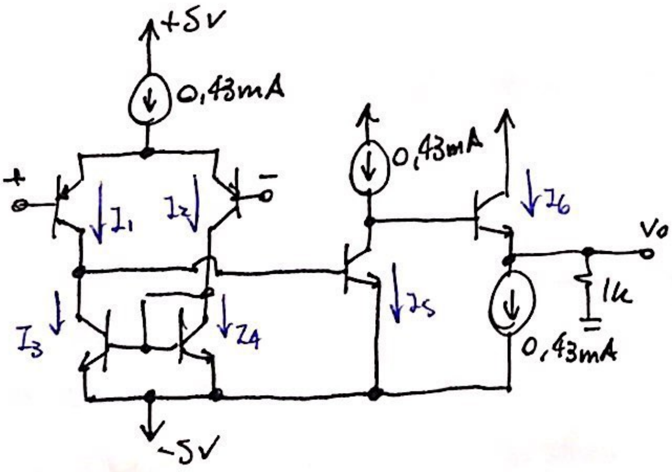
b) Estimar f_H

c) Simular o circuito e discutir diferenças.

---

a) → Calcular Polarização.

• Assumindo $\beta >> 1 \rightarrow I_B \cong 0$, assim:



- $V_o \cong 0V$
- $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = \frac{0{,}43mA}{2} = 0{,}215mA$
- $I_5 = I_6 = 0{,}43mA$

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

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

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

$r_{e1-4} = 116{,}3\Omega \rightarrow r_{\pi 1-4} = 58{,}3k\Omega$

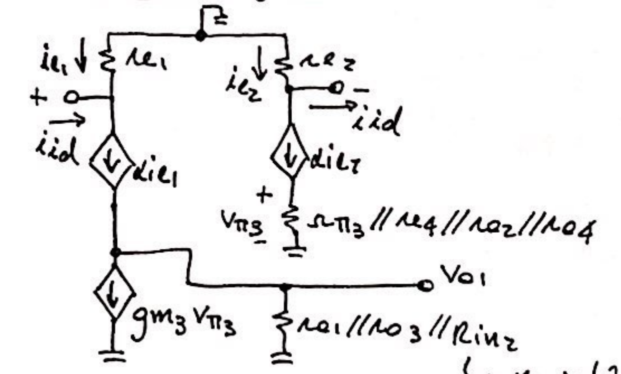
$r_{e5-6} = 58{,}1\Omega \rightarrow r_{\pi 5-6} = 29{,}1k\Omega$

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

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

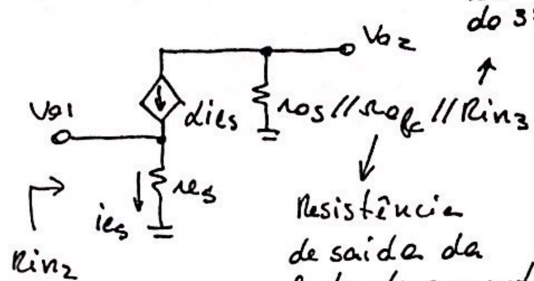
→ Desenhando o modelo de pequenos sinais

1º estágio



↳ resistência de entrada do 2º estágio

2º estágio

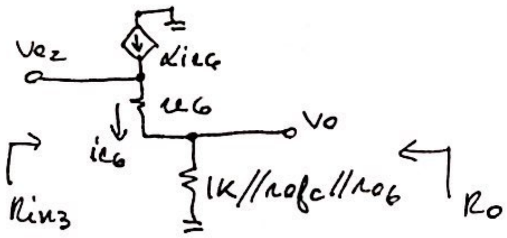


entrada do 3º estágio

Resistência de saída da fonte de corrente

$r_{ofc} \cong r_{o5-6}$

3º estágio



• $R_{in} = \dfrac{v_{id}}{i_{id}} = (\beta+1)(r_{e1}+r_{e2}) = 116{,}5\,k\Omega$

• $R_o = 1k // r_{ofc} // r_{o6} // \left[r_{e6} + (r_{o5}//r_{ofc})/(\beta+1)\right] = \cancel{}\,\Omega \;\; \underline{\underline{105{,}5\,\Omega}}$

– $R_{in2} = r_{e5}(\beta+1) = 29{,}1\,k\Omega$

– $R_{in3} = (\beta+1)\left[r_{e6} + R_{ofc}//r_{o6}//1k\right] = 514\,k\Omega$

→ Fazer a análise do ganho por estágio:

① → $A_{v1} = \dfrac{v_{o1}}{v_{id}}$ → $v_{o1} = \left[\alpha i_{e1} - g_{m3} v_{\pi 3}\right] \cdot r_{o1}//r_{o3}//R_{in2}$

$v_{\pi 3} = \alpha i_{e2} \cdot r_{\pi 3} // r_{e4} // r_{o2} // r_{o4}$

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

→ $v_{\pi 3} = 0{,}5\, v_{id}$

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

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

$i_{e5} = \dfrac{v_{o1}}{r_{e5}}$

$\boxed{A_{v2} = -491{,}7\ V/V}$ //

③ $v_o = v_{o2} \cdot \dfrac{1k // r_{ofc} // r_{o6}}{r_{e6} + 1k // r_{ofc} // r_{o6}}$ ⟶ $v_o = 0{,}94\, v_{o2}$

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

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

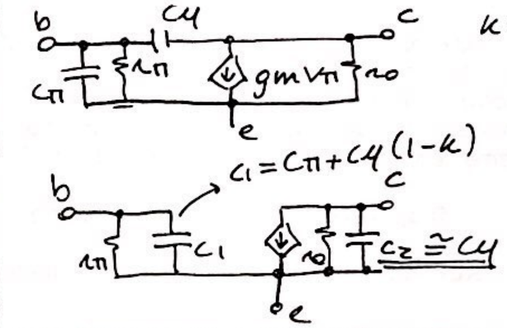
$\boxed{R_{in} = 116{,}5\,k\Omega}$ $\boxed{R_o = 105{,}5\,\Omega}$ //

b) A análise de alta frequência pode empregar algumas simplificações:

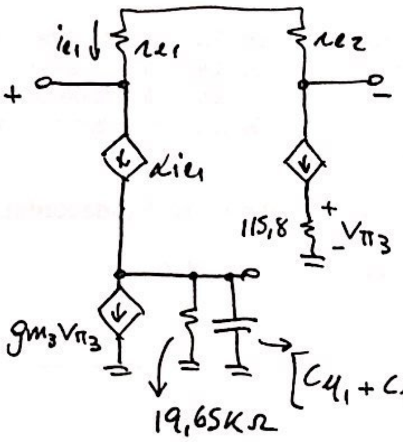
1. Como discutido em sala, um amplificador diferencial com carga ativa possui um pólo dominante em sua saída, logo, apenas as capacitâncias no terminal V_{o1} são de interesse;
2. O estágio coletor-comum possui pólos em uma frequência muito superior à exibida pelo emissor-comum, logo, o 3º estágio não será dominante e pode ser "desprezado".

→ Redesenhando os estágios com as capacitâncias de interesse:

→ obs: Pelo Teorema de Miller



1º

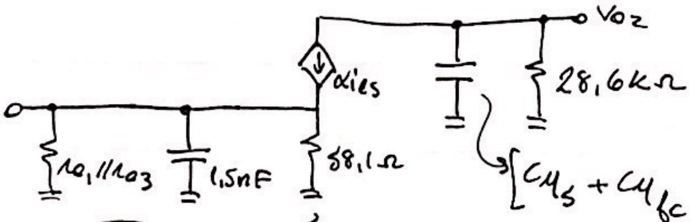


$$\left[C_{\mu 1} + C_{\mu 3} + C_{\pi 3} + C_{\mu 5}\left(1 - \frac{V_{o2}}{V_{o1}}\right)\right] \cong 1{,}5\,nF$$

$$\rightarrow \tau_{H1} = 19{,}65K \cdot 1{,}5nF = 29{,}47\mu s$$

$$f_{H1} = \frac{1}{2\pi\tau_{H1}} = 5{,}4\,kHz$$ [resposta em frequência do 1º estágio]

2º



$$\left[C_{\mu 5} + C_{\mu_{fc}} + C_{\mu 6} + C_{\pi 6}\left(1 - \frac{V_o}{V_{o2}}\right)\right] \cong 9{,}72pF$$

Justificativa na próxima página

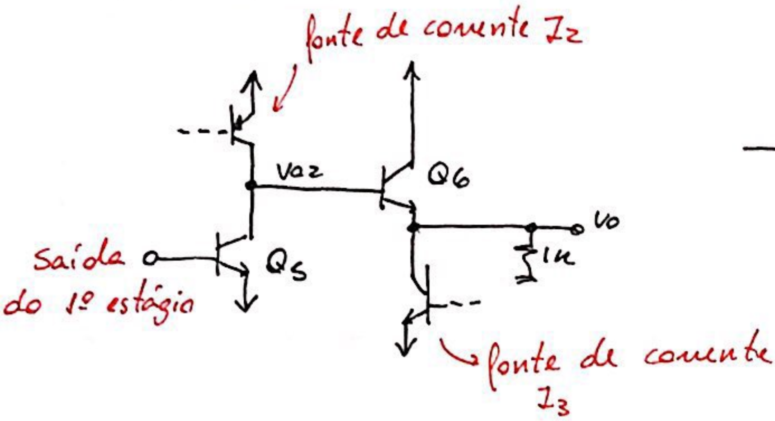
$$\tau_{H2} = 28{,}6k \cdot 9{,}72pF = 278\,ns \rightarrow f_{H2} = \frac{1}{2\pi\tau_{H2}} = 572\,kHz$$

→ A frequência de corte final pode ser aproximada por:

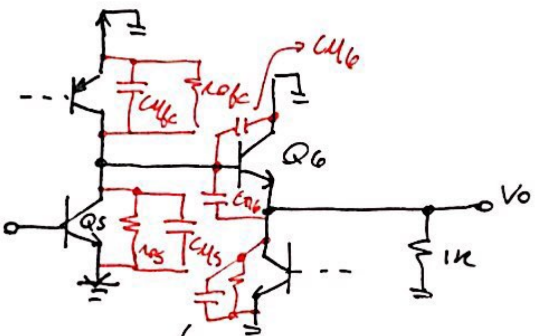
$$\boxed{f_H \cong \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\tau_{H1} + \tau_{H2}} = 5{,}35\,kHz}$$

Obs → Justificativa da contribuição do terceiro estágio na constituição da capacitância equivalente de ω_{H2}.

• Desenho do terceiro estágio:

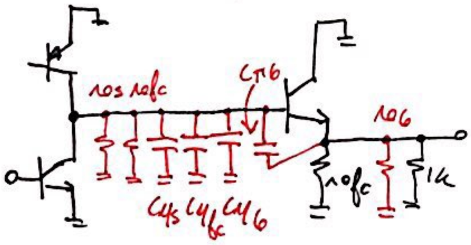


redesenhando com as resistências de saída e capacitâncias de interesse: "pequenos sinais"

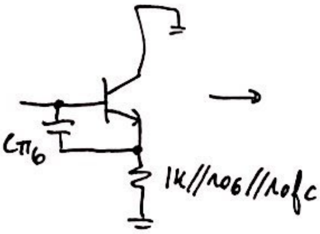


↳ esta capacitância, ao ser refletida para a base de Q_6 irá ser dividida por $(\beta+1)$, assumindo um valor extremamente pequeno e podendo ser desprezada.

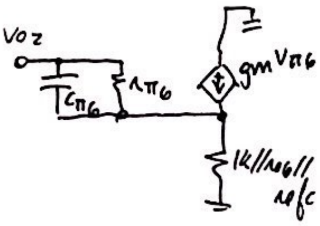
→ com isso, o nó V_{o2} se torna:



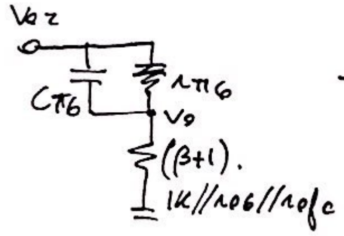
olhando Q_6 →



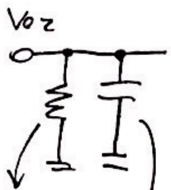
→



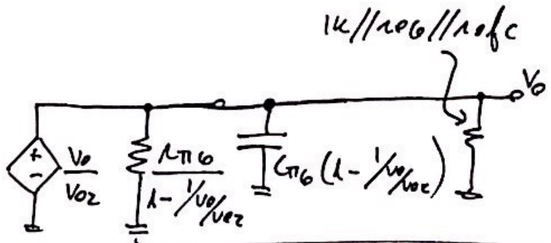
Refletindo p/ a base:



usando o teorema de Miller →



$\frac{r_{\pi6}}{1-\frac{V_o}{V_{o2}}}$ $C_{\pi6}(1-\frac{V_o}{V_{o2}})$ ⟹



Assim: $R_{H2} = r_{o5}//r_{ofc}//\frac{r_{\pi6}}{1-\frac{V_o}{V_{o2}}}$

$C_{H2} = C_{\mu5}+C_{\mu6}+C_{\mu fc}+C_{\pi6}(1-\frac{V_o}{V_{o2}})$

(1-Vo/Vo2)