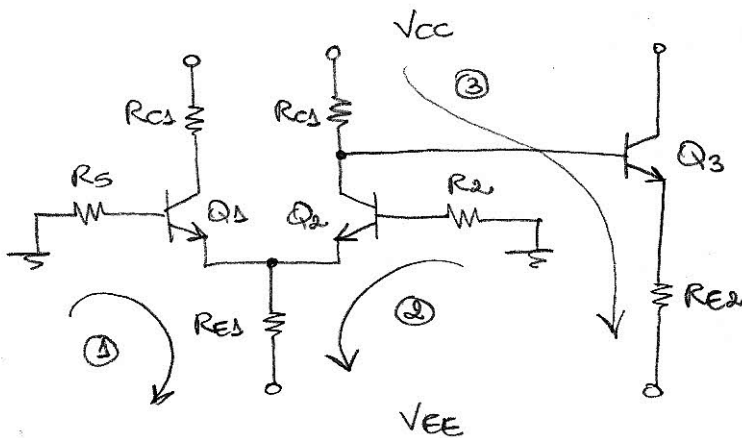


1 (a) Polarização DC:



$$\textcircled{1} - R_S I_{B1} - 0,6 -$$

$$- R_{E1} (I_{E1} + I_{E2}) = V_{EE}$$

$$- R_S I_{B1} - 0,6 -$$

$$- R_{E1} (\beta + 1) (I_{B1} + I_{B2}) = V_{EE}$$

$$I_{B1} (R_S + R_{E1} (\beta + 1)) + I_{B2} (R_{E1} (\beta + 1)) = -V_{EE} - 0,6$$

$$\textcircled{2} - R_E I_{B2} - 0,6 - R_{E1} (I_{E1} + I_{E2}) = V_{EE}$$

$$R_E I_{B2} + 0,6 + R_{E1} (\beta + 1) (I_{B1} + I_{B2}) = -V_{EE}$$

$$I_{B1} (R_{E1} (\beta + 1)) + I_{B2} (R_E + R_{E1} (\beta + 1)) = -V_{EE} - 0,6$$

Então:

$$\begin{cases} I_{B1} (R_S + R_{E1} (\beta + 1)) + I_{B2} (R_{E1} (\beta + 1)) = -V_{EE} - 0,6 \\ I_{B1} (R_{E1} (\beta + 1)) + I_{B2} (R_E + R_{E1} (\beta + 1)) = -V_{EE} - 0,6 \end{cases}$$

$$R_S I_{B1} - R_E I_{B2} = 0$$

$$I_{B1} = \frac{R_E}{R_S} I_{B2} \rightarrow I_{B1} = I_{B2} \quad (\text{pois } R_E = R_S = 1 \text{ k}\Omega)$$

Assim:

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{-V_{EE} - 0,6}{R_S + 2 R_{E1} (\beta + 1)} = 9,88 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \beta I_B = 0,988 \text{ mA}$$

$$\textcircled{3} V_{CC} - R_{C1} (I_{C1} + I_{B3}) - 0,6 - R_{E2} (\beta + 1) I_{B3} = V_{EE}$$

$$I_{B3} = \frac{V_{CC} - V_{EE} - 0,6 - R_{C1} I_{C1}}{R_{C1} + R_{E2} (\beta + 1)} = 9,91 \mu\text{A}$$

$$I_{C3} = \beta I_{B3} = 0,991 \text{ mA}$$

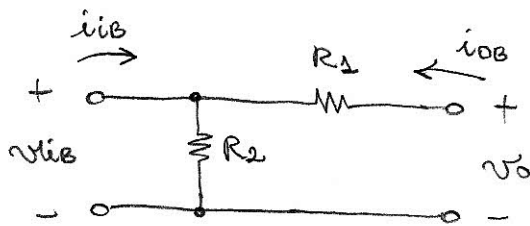
Finalmente:

$$\begin{cases} g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = 39,52 \text{ mA/V} \\ V_{\pi1} = V_{\pi2} = \frac{\beta}{g_m} = 0,53 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} g_{m3} = \frac{I_{C3}}{V_T} = 39,64 \text{ mA/V} \\ V_{\pi3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 0,52 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

Análise de pequenos sinais → realimentação com amostragem de tensão e comparação de tensão.

REDE DE REALIMENTAÇÃO:



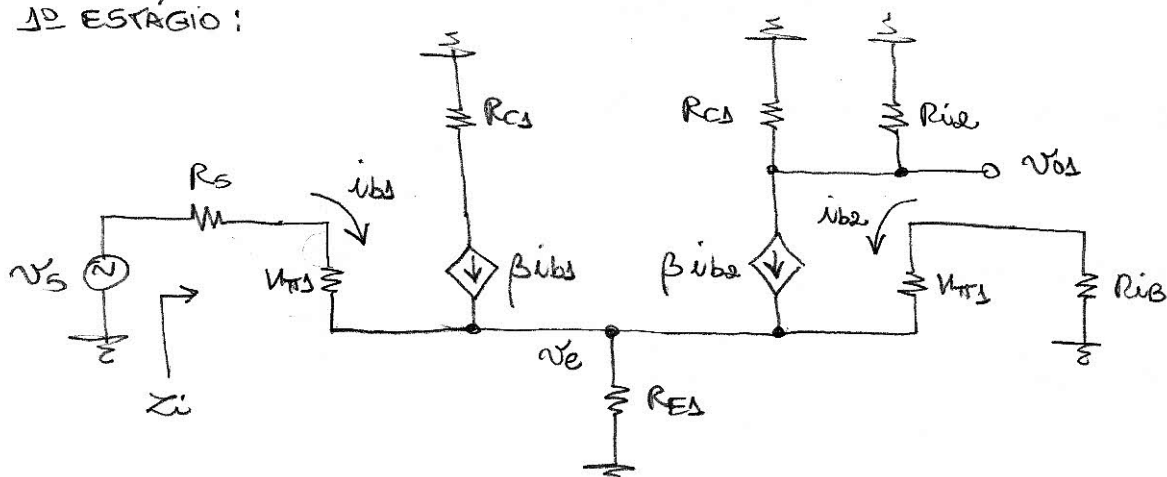
$$R_{iB} = \left. \frac{v_{iB}}{i_{iB}} \right|_{v_o=0} = R_1 // R_2 = 667 \Omega$$

$$R_{oB} = \left. \frac{v_o}{i_{oB}} \right|_{i_{iB}=0} = R_1 + R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$B = \left. \frac{v_{iB}}{v_o} \right|_{i_{iB}=0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,33 \text{ V/V}$$

AMPLIFICADOR EM MALHA ABERTA

1º ESTÁGIO:



$$v_e = \frac{\left[R_{E1} \parallel \left(\frac{V_{\pi1} + R_{iB}}{\beta + 1} \right) \right] (\beta + 1)}{R_S + V_{\pi1} + \left[R_{E1} \parallel \left(\frac{V_{\pi1} + R_{iB}}{\beta + 1} \right) \right] (\beta + 1)} \cdot v_s$$

$$v_e = \frac{(R_{E1}(\beta + 1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}{R_S + V_{\pi1} + (R_{E1}(\beta + 1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})} \cdot v_s$$

Além disso:

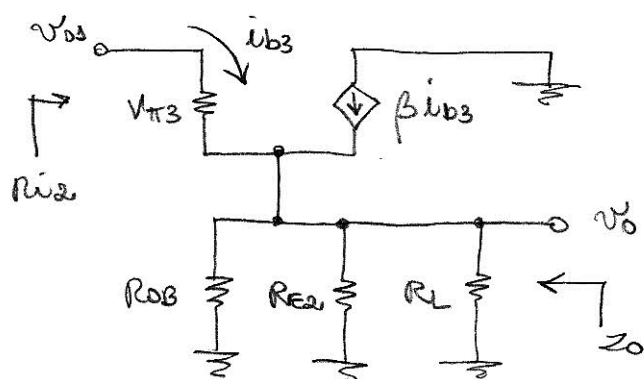
$$i_{be} = - \frac{v_e}{V_{\pi1} + R_{iB}} \quad \text{e} \quad v_{o1} = - \beta i_{be} \cdot R_{C1} \parallel R_{i2}$$

$$v_{o1} = \beta \frac{R_{C1} \parallel R_{i2}}{V_{\pi1} + R_{iB}} \cdot v_e$$

Então:

$$\frac{v_{o1}}{v_s} = \beta \frac{R_{C1} \parallel R_{i2}}{V_{\pi1} + R_{iB}} \cdot \frac{(R_{E1}(\beta + 1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}{R_S + V_{\pi1} + (R_{E1}(\beta + 1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}$$

2º ESTÁGIO:



$$R_{i2} = V_{\pi3} + (R_{O2} \parallel R_{E2} \parallel R_L)(\beta + 1)$$

$$v_o = \frac{(R_{O2} \parallel R_{E2} \parallel R_L)(\beta + 1)}{V_{\pi3} + (R_{O2} \parallel R_{E2} \parallel R_L)(\beta + 1)} \cdot v_{o1}$$

$$\frac{v_o}{v_{o1}} = \frac{(R_{O2} \parallel R_{E2} \parallel R_L)(\beta + 1)}{V_{\pi3} + (R_{O2} \parallel R_{E2} \parallel R_L)(\beta + 1)}$$

Então, o ganho em malha aberta será:

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_{o1}}{v_s} \cdot \frac{v_o}{v_{o1}} = 28,8 \text{ V/V}$$

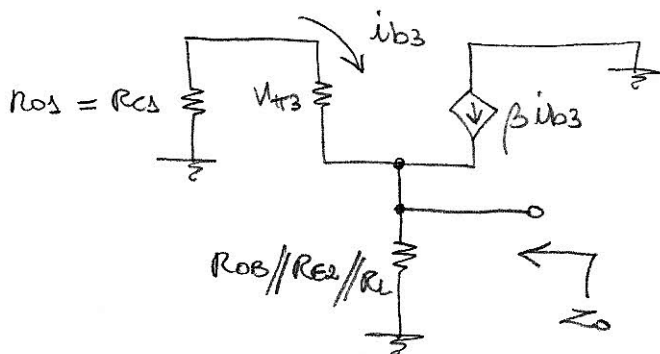
do 1º estágio, temos que a impedância de entrada em malha aberta Z_i será:

$$Z_i = R_s + V_{\pi 1} + \left(R_{E1} \parallel \left(\frac{V_{\pi 1} + R_{iB}}{\beta + 1} \right) \right) (\beta + 1)$$

$$Z_i = R_s + V_{\pi 1} + (R_{E1} (\beta + 1)) \parallel (V_{\pi 1} + R_{iB})$$

$$Z_i = 6,68 \text{ k}\Omega$$

do 2º estágio, temos que a impedância de saída em malha aberta Z_o será:



$$Z_o = R_{C3} \parallel R_{E2} \parallel R_L \parallel \left(\frac{V_{\pi 3} + R_{C3}}{\beta + 1} \right)$$

$$Z_o = 43,7 \Omega$$

AMPLIFICADOR EM MALHA FECHADA

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + B A_v} = 2,72 \text{ V/V}$$

$$Z_{if} = Z_i (1 + B A_v) = 170,8 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{(1 + B A_v)} = 4,32 \Omega$$

CÁLCULOS COMPLEMENTARES

$$A_f = \frac{v_o}{v_s} = A_{vf} = 2,72 \text{ V/V}$$

Para a impedância de entrada:

$$Z_{if} = R_S + Z_{in} \quad \therefore \quad Z_{in} = Z_{if} - R_S$$

$$Z_{in} = 69,8 \text{ k}\Omega$$

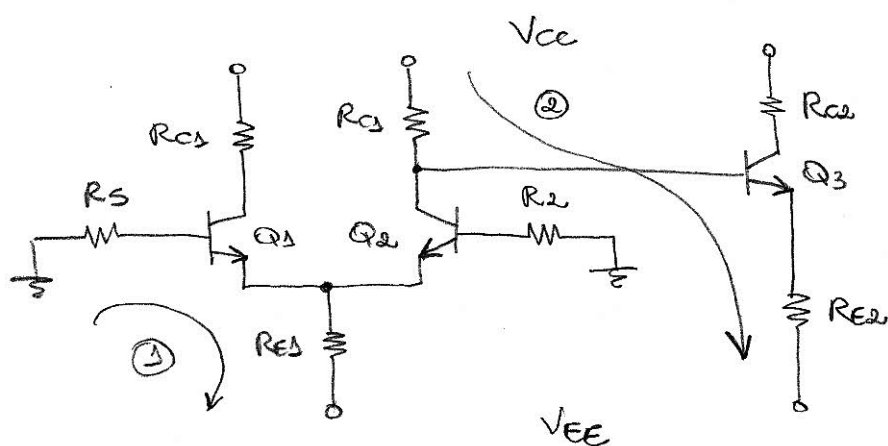
Para a impedância de saída:

$$Z_{of} = Z_{out} // R_L \quad \therefore \quad \frac{1}{Z_{of}} = \frac{1}{Z_{out}} + \frac{1}{R_L}$$

$$\frac{1}{Z_{out}} = \frac{1}{Z_{of}} - \frac{1}{R_L}$$

$$Z_{out} \approx 4,12 \Omega$$

(b) POLARIZAÇÃO DC:



Como $R_S = R_2$, teremos que $I_{C1} = I_{C2}$. Assim:

$$\textcircled{1} \quad -R_S I_{B1} - 0,6 - R_{E1} (2 I_{B1} (\beta + 1)) = V_{EE}$$

$$I_{B1} = \frac{-V_{EE} - 0,6}{R_S + 2 R_{E1} (\beta + 1)} = 9,88 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 0,988 \text{ mA} = I_{C2}$$

$$\textcircled{2} \quad V_{CC} - R_{C1} (I_{C2} + I_{B3}) - 0,6 - R_{E2} (\beta + 1) I_{B3} = V_{EE}$$

$$I_{B3} = \frac{V_{CC} - V_{EE} - 0,6 - R_{C1} I_{C2}}{R_{C1} + R_{E2} (\beta + 1)} = 9,95 \mu\text{A}$$

$$I_{C3} = \beta I_{B3} = 0,995 \text{ mA}$$

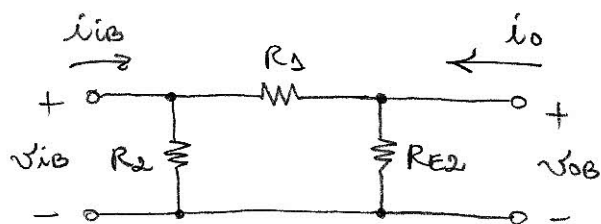
Finalmente:

$$\begin{cases} g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = 39,52 \text{ mA/V} \\ V_{\pi1} = V_{\pi2} = \frac{\beta}{g_m} = 2,53 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} g_{m3} = \frac{I_{C3}}{V_T} = 39,64 \text{ mA/V} \\ V_{\pi3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 2,52 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

ANÁLISE DE PEQUENOS SINAIS → Realimentação com amostragem de corrente e comparação de tensão.

REDE DE REALIMENTAÇÃO



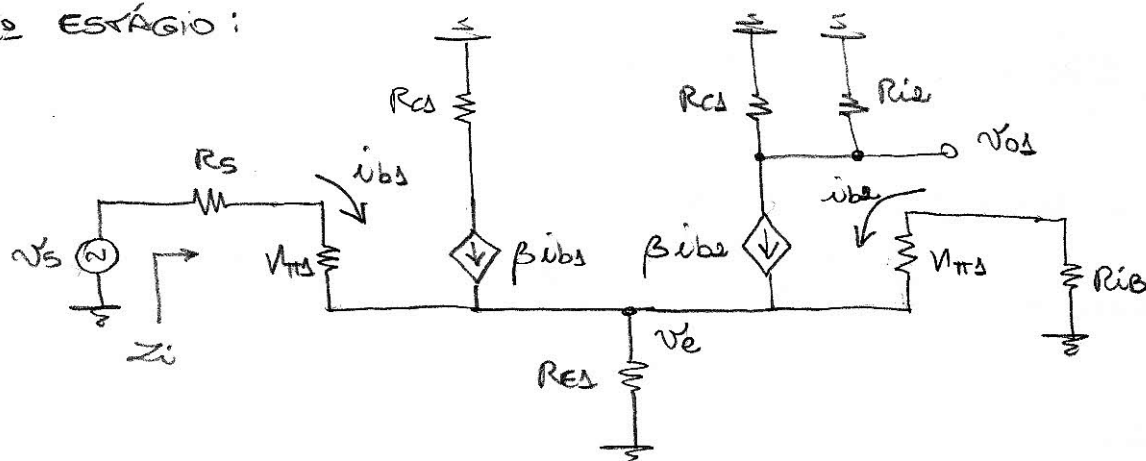
$$R_{iB} = \left. \frac{V_{iB}}{i_{iB}} \right|_{i_o=0} = R_2 \parallel (R_1 + R_{E2}) = 904 \Omega$$

$$R_{oB} = \left. \frac{V_{oB}}{i_o} \right|_{i_{iB}=0} = R_{E2} \parallel (R_1 + R_2) = 2,46 \text{ k}\Omega$$

$$B = \left. \frac{V_{iB}}{i_o} \right|_{i_{iB}=0} = \frac{R_{E2} R_2}{R_1 + R_2 + R_{E2}} = 0,635 \text{ kV/A}$$

AMPLIFICADOR EM MALHA ABERTA

1º ESTÁGIO:



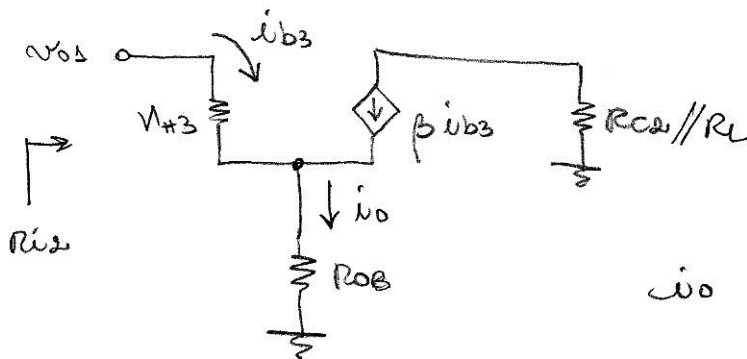
$$V_e = \frac{(R_{E1}(\beta+1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}{R_S + V_{\pi1} + (R_{E1}(\beta+1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})} \cdot V_S$$

A tensão na saída V_{o1} será:

$$V_{o1} = -\beta i_{B2} \cdot R_{C2} \parallel R_{i2} = -\beta R_{C2} \parallel R_{i2} \cdot \left(-\frac{V_e}{V_{\pi1} + R_{iB}} \right)$$

$$\frac{V_{o1}}{V_S} = \beta \cdot \frac{R_{C2} \parallel R_{i2}}{V_{\pi1} + R_{iB}} \cdot \frac{(R_{E1}(\beta+1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}{R_S + V_{\pi1} + (R_{E1}(\beta+1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB})}$$

2º ESTÁGIO:



$$R_{i2} = V_{\pi3} + R_{E3}(\beta+1)$$

$$\begin{aligned} i_O &= (\beta+1) i_{B3} = \\ &= (\beta+1) \frac{V_{o1}}{V_{\pi3} + R_{E3}(\beta+1)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{i_O}{V_{o1}} = \frac{\beta+1}{V_{\pi3} + R_{E3}(\beta+1)}$$

Assim, o ganho de transcondutância em malha aberta será:

$$A_g = \frac{i_O}{V_S} = \frac{V_{o1}}{V_S} \cdot \frac{i_O}{V_{o1}} = 11,37 \text{ mA/V}$$

Do primeiro estágio, obtemos a impedância de entrada em malha aberta:

$$Z_i = R_S + V_{\pi1} + (R_{E1}(\beta+1)) \parallel (V_{\pi1} + R_{iB}) = 6,91 \text{ k}\Omega$$

AMPLIFICADOR REALIMENTADO

$$A_{gf} = \frac{A_g}{1 + B A_g} = 1,42 \text{ mA/V}$$

$$Z_{if} = Z_i (1 + B A_g) = 55,3 \text{ k}\Omega$$

CÁLCULOS COMPLEMENTARES

Gainho de tensão:

$$A_f = \frac{v_o}{v_s} = - \frac{\alpha \cdot R_{c2} // R_L \cdot i_o}{v_s} = - \alpha R_{c2} // R_L \cdot A_{gf}$$

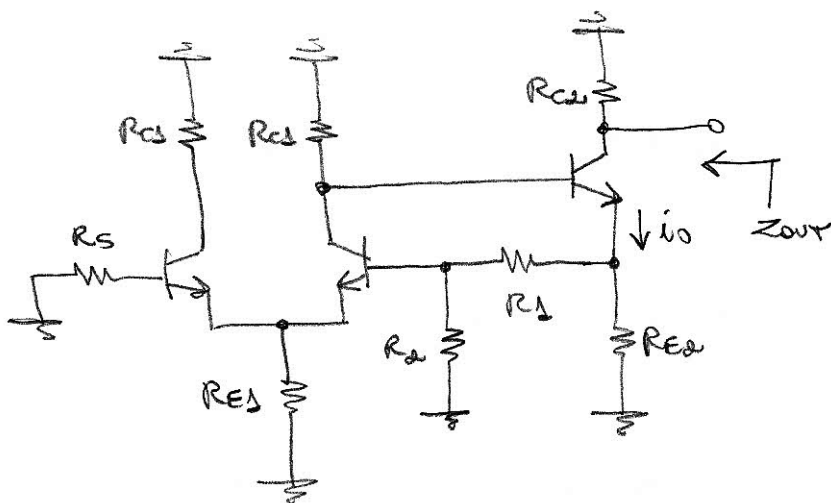
$$A_f = - 1,83 \text{ V/V}$$

Impedância de entrada:

$$Z_{if} = R_s + Z_{in} \quad \therefore \quad Z_{in} = Z_{if} - R_s = 54,3 \text{ k}\Omega$$

Impedância de saída:

Para pequenos sinais:



Por inspeção do circuito:

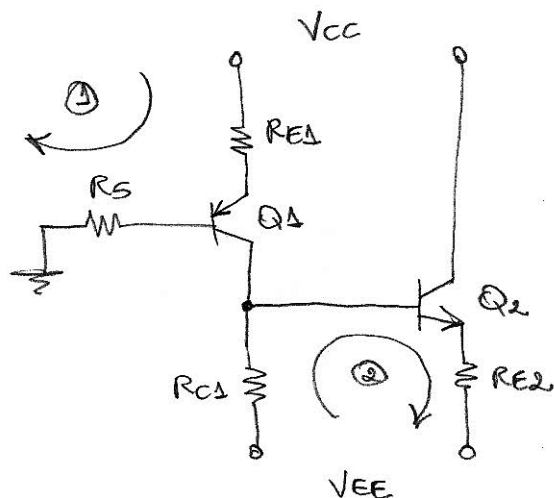
$$i_o = 0$$

Então:

$$Z_{out} = R_{C2} = 15 \text{ k}\Omega$$

(C) POLARIZAÇÃO DC:

(5)



$$\textcircled{1} \quad V_{CC} - R_{E1}(\beta+1)I_{B1} - 0,6 - R_S I_{B1} = 0$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - 0,6}{R_S + R_{E1}(\beta+1)} = 19,7 \mu A$$

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 1,97 \text{ mA}$$

$$\textcircled{2} \quad V_{EE} + R_{C1}(I_{C1} - I_{B2}) - 0,6 - R_{E1}(\beta+1)I_{B2} = V_{EE}$$

$$I_{B2} = \frac{R_{C1}I_{C1} - 0,6}{R_{C1} + R_{E2}(\beta+1)} = 9,7 \mu A$$

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = 0,97 \text{ mA}$$

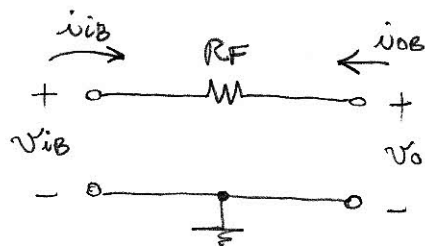
Finalmente:

$$\begin{cases} g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 78,8 \text{ mA/V} \\ r_{\pi1} = \frac{\beta}{g_{m1}} = 1,27 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 38,8 \text{ mA/V} \\ r_{\pi2} = \frac{\beta}{g_{m2}} = 2,58 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

ANÁLISE DE PEQUENOS SINAIS $\rightarrow$ Realimentação com amostragem de tensão e comparação de corrente.

REDE DE REALIMENTAÇÃO:



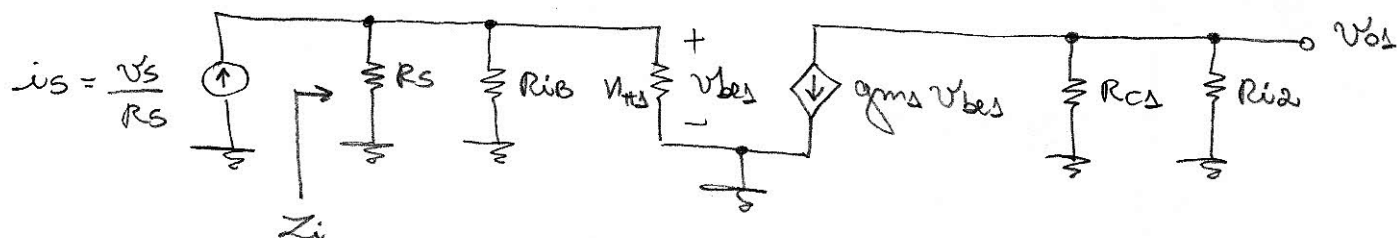
$$r_{ib} = \frac{v_{ib}}{i_{ib}} \Big|_{v_o=0} = R_F = 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{ob} = \frac{v_o}{i_{ob}} \Big|_{v_{ib}=0} = R_F = 5 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = \frac{i_{ib}}{v_o} \Big|_{v_{ib}=0} = -\frac{1}{R_F} = -0,2 \text{ mA/V}$$

AMPLIFICADOR EM MALHA ABERTA

1º ESTÁGIO:

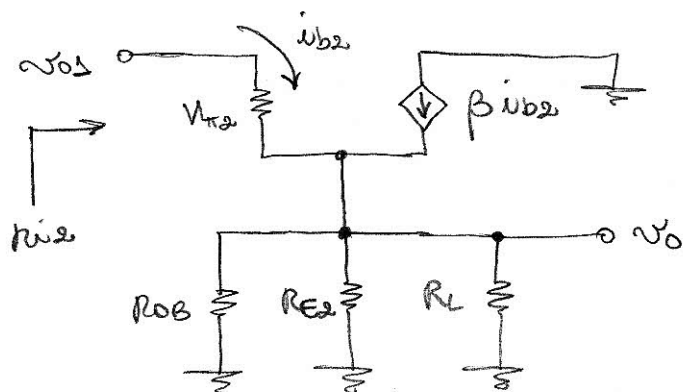


$$v_{o1} = -g_{m1} v_{be1} \cdot R_{c1} // R_{i2} =$$

$$= -g_{m1} \left(i_s \cdot R_s // R_{iB} // V_{T1} \right) R_{c1} // R_{i2}$$

$$\frac{v_{o1}}{i_s} = -g_{m1} \cdot R_s // R_{iB} // V_{T1} \cdot R_{c1} // R_{i2}$$

2º ESTÁGIO:



$$R_{i2} = V_{T2} + (R_{o1} // R_{e2} // R_L) (\beta + 1)$$

$$v_o = \frac{(R_{o1} // R_{e2} // R_L) (\beta + 1) v_{o1}}{V_{T2} + (R_{o1} // R_{e2} // R_L) (\beta + 1)}$$

$$\frac{v_o}{v_{o1}} = \frac{(R_{o1} // R_{e2} // R_L) (\beta + 1)}{V_{T2} + (R_{o1} // R_{e2} // R_L) (\beta + 1)}$$

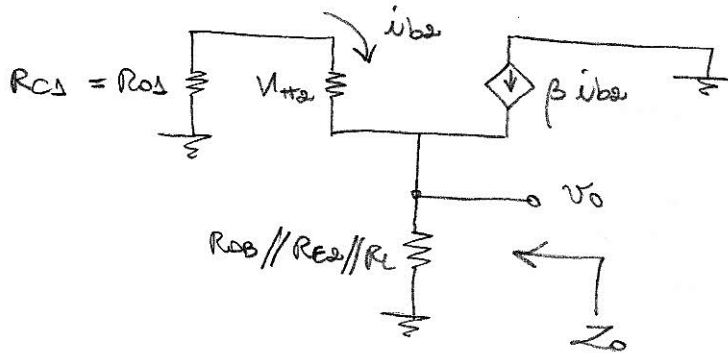
ganho de transresistência em malha aberta:

$$A_r = \frac{v_o}{i_s} = \frac{v_{o1}}{i_s} \cdot \frac{v_o}{v_{o1}} = -57,8 \text{ kV/A}$$

A impedância de entrada Z_i é dada pelo 1º estágio:

$$Z_i = R_S // R_{iB} // V_{\pi 1} = 503 \Omega$$

A impedância de saída é dada por:



$$Z_o = R_{O2} // R_{E2} // R_L // \left(\frac{V_{\pi 2} + R_{S1}}{\beta + 1} \right)$$

$$Z_o = 39,3 \Omega$$

AMPLIFICADOR REALIMENTADO

$$A_{rf} = \frac{A_R}{1 + B A_R} = -4,6 \text{ kV/A}$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{1 + B A_R} = 40 \Omega$$

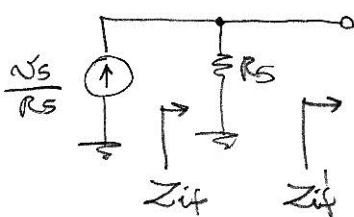
$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1 + B A_R} = 3,1 \Omega$$

CÁLCULOS COMPLEMENTARES

Gainho de tensão:

$$A_f = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{R_S i_S} = \frac{1}{R_S} \cdot A_{rf} = -4,6 \text{ V/V}$$

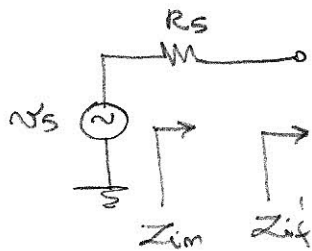
Impedância de entrada:



$$\frac{1}{Z_{if}} = \frac{1}{R_S} + \frac{1}{Z_{if}'}$$

$$\frac{1}{Z_{if}'} = \frac{1}{Z_{if}} - \frac{1}{R_S}$$

$$Z_{if}' = 41,7 \Omega$$



$$Z_{in} = Z_{if}' + R_s$$

$$Z_{in} = 1,04 \text{ k}\Omega$$

Finalmente, para a impedância de saída:

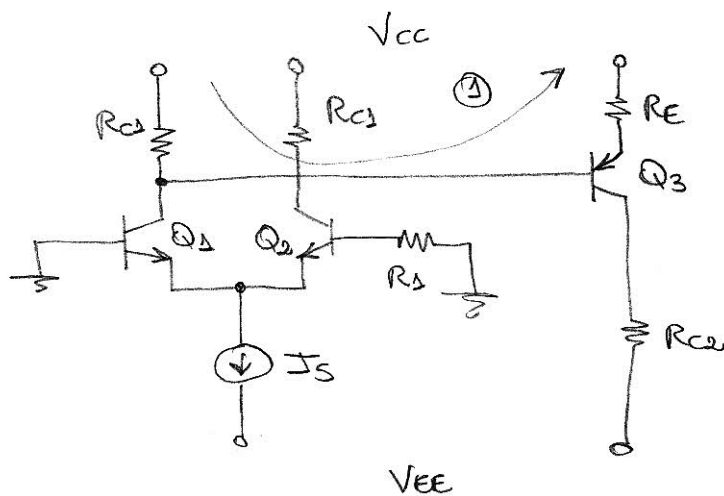
$$Z_{of} = R_L // Z_{out}$$

$$\frac{1}{Z_{out}} = \frac{1}{Z_{of}} - \frac{1}{R_L}$$

$$\frac{1}{Z_{of}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{Z_{out}}$$

$$Z_{out} \approx 3,1 \Omega$$

(d) POLARIZAÇÃO DC



Desprezando a queda de tensão em R_S por ser muito pequena:

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_S}{2} = 1 \text{ mA}$$

Então:

$$I_{C1} = I_{C2} = \alpha I_E = 0,99 \text{ mA}$$

$$\textcircled{1} \quad V_{CC} - R_{C1}(I_{C1} - I_{B3}) + 0,6 + R_E(\beta+1)I_{B3} = V_{CC}$$

$$I_{B3} = \frac{R_{C1}I_{C1} - 0,6}{R_{C1} + R_E(\beta+1)} = 19 \mu\text{A}$$

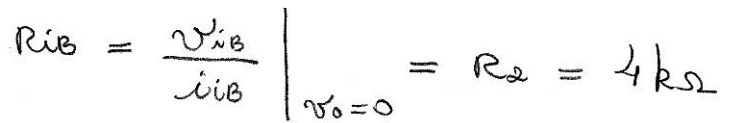
$$I_{C3} = \beta I_{B3} = 1,9 \text{ mA}$$

Finalmente:

$$\begin{cases} g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = 39,6 \text{ mA/V} \\ V_{T1} = V_{T2} = \frac{\beta}{g_m} = 2,52 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

④

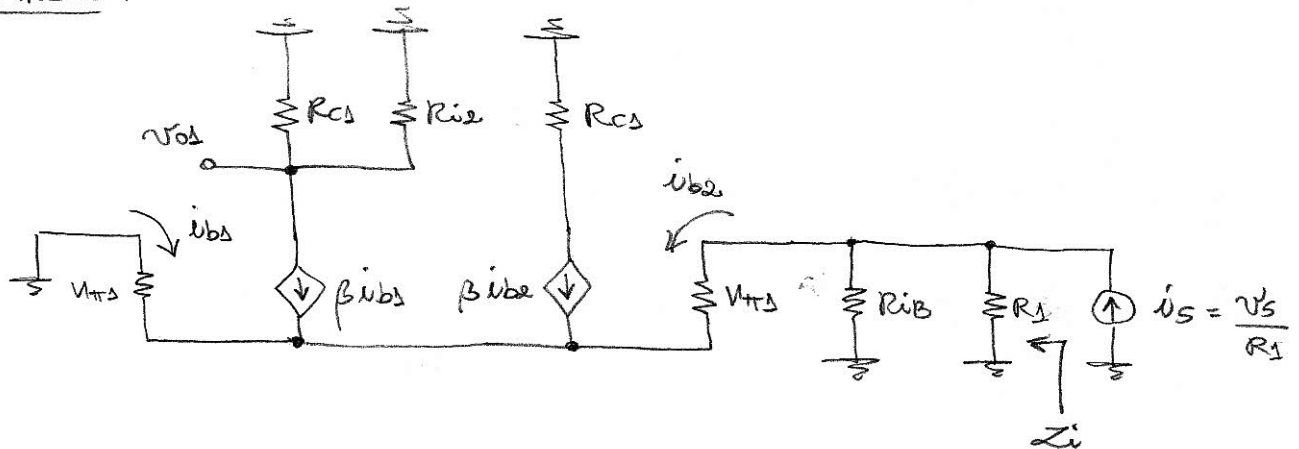
REDE DE REALIMENTAÇÃO



$$R_{OB} = \frac{v_o}{i_{OB}} \Big|_{v_{iB} = 0} = R_d = 4k\Omega$$

ANÁLISE DO AMPLIFICADOR EM MALHA ABERTA

1º ESTÁGIO :



Eq. model:

$$\dot{u}_{b1} + \beta \dot{u}_{b2} + \dot{u}_{b2} + \beta \dot{u}_{b1} = 0$$

$$\dot{u}_{b1} = -\dot{u}_{b2}$$

Pelo divisor de corrente:

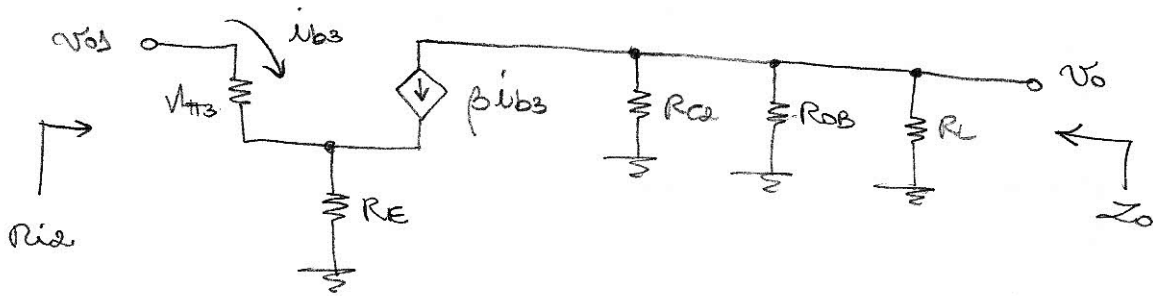
$$\omega_{be} = \frac{R_A \parallel R_{iB} \parallel (2V_{T_A})}{2V_{T_A}} \cdot i_S$$

Assim:

$$v_{o3} = -\beta i_{b3} \cdot R_{C3} // R_{i2} = -\beta \cdot \left(-\frac{R_D // R_{iB} // (2V_{T13})}{2V_{T13}} i_s \right) R_{C3} // R_{i2}$$

$$\frac{v_{o3}}{i_s} = \beta \cdot \frac{R_D // R_{iB} // (2V_{T13})}{2V_{T13}} \cdot R_{C3} // R_{i2}$$

2º ESTÁGIO



$$R_{i2} = V_{T13} + R_E (\beta + 1)$$

$$v_o = -\beta i_{b3} \cdot R_{C2} // R_{i2} // R_L = -\frac{\beta R_{C2} // R_{i2} // R_L}{V_{T13} + R_E (\beta + 1)} \cdot v_{o3}$$

$$\frac{v_o}{v_{o3}} = -\frac{\beta \cdot R_{C2} // R_{i2} // R_L}{V_{T13} + R_E (\beta + 1)}$$

Ganho de transresistência em malha aberta:

$$A_R = \frac{v_o}{i_s} = \frac{v_{o3}}{i_s} \cdot \frac{v_o}{v_{o3}} = -38,52 \text{ kV/A}$$

A impedância de entrada é determinada pelo 1º estágio:

$$Z_i = R_D // R_{iB} // (2V_{T13}) = 690 \Omega$$

A impedância de saída é determinada pelo 2º estágio:

$$Z_o = R_{C2} // R_{i2} // R_L = 1,18 \text{ k}\Omega$$

AMPLIFICADOR REALIMENTADO

(8)

$$A_{rf} = \frac{A_r}{1 + B A_r} = -3,62 \text{ kV/A}$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{1 + B A_r} = 64,9 \Omega$$

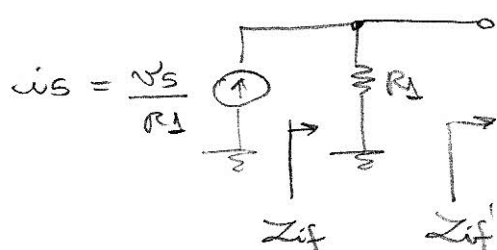
$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1 + B A_r} = 111 \Omega$$

CÁLCULOS COMPLEMENTARES

Ganho de tensão:

$$A_f = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{R_s i_s} = \frac{1}{R_s} \cdot A_{rf} = -3,62 \text{ V/V}$$

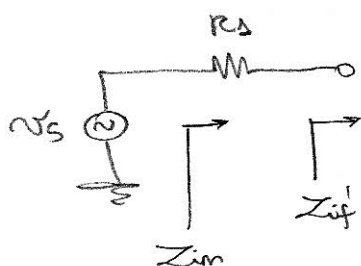
Impedância de entrada:



$$\frac{1}{Z_{if}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{Z_{if}'}$$

$$\frac{1}{Z_{if}'} = \frac{1}{Z_{if}} - \frac{1}{R_s}$$

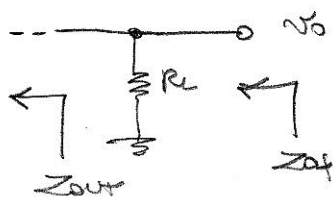
$$Z_{if}' = 69,4 \Omega$$



$$Z_{in} = R_s + Z_{if}'$$

$$Z_{in} = 1,069 \text{ k}\Omega$$

Impedância de saída:

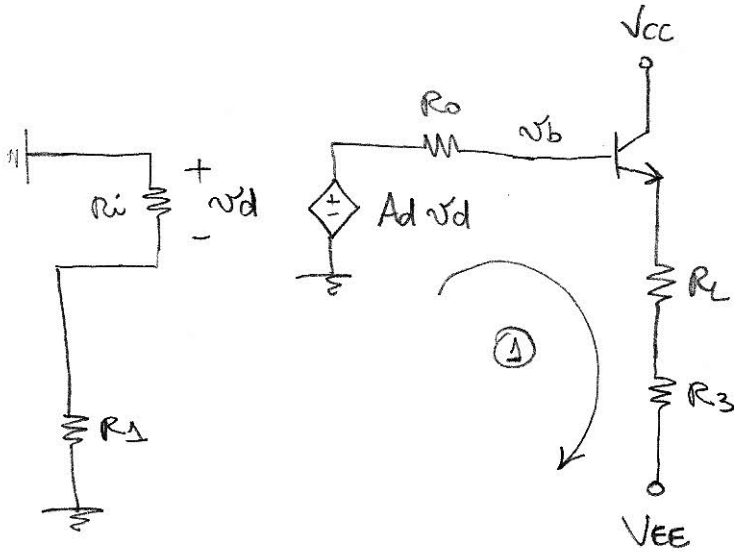


$$\frac{1}{Z_{of}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{Z_{out}}$$

$$\frac{1}{Z_{out}} = \frac{1}{Z_{of}} - \frac{1}{R_L}$$

$$Z_{out} = 112 \Omega$$

② (a) Na polarização:



$$V_d = 0$$

Então:

$$0 - R_o I_B - 0,6 -$$

$$-(R_L + R_3) I_E = V_{EE}$$

$$- R_o \frac{I_E}{\beta + 1} - 0,6 -$$

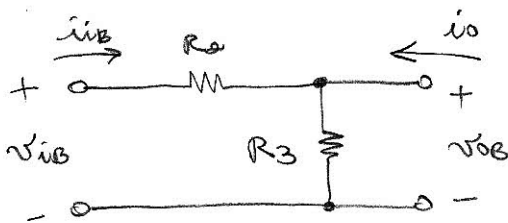
$$- R_L I_E - V_{EE} = R_3 I_E$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{-V_{EE} - 0,6 - \frac{R_o}{\beta + 1} I_E - R_L I_E}{I_E}$$

$$R_3 \approx 4,4 \text{ k}\Omega$$

GANHO IDEAL

Veja-se de um amplificador com amostragem de corrente e comparação de corrente. Cujas rede de realimentação é:

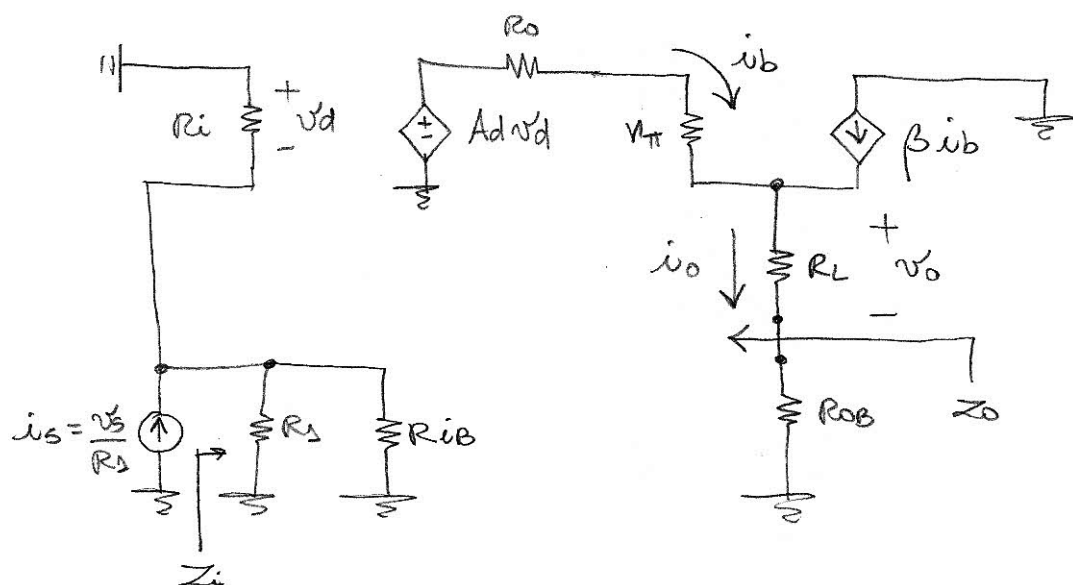


$$R_{iB} = \left. \frac{V_{iB}}{i_{iB}} \right|_{i_o=0} = R_2 + R_3$$

$$R_{oB} = \left. \frac{V_{oB}}{i_o} \right|_{V_{iB}=0} = R_2 // R_3$$

$$B = \left. \frac{i_{iB}}{i_o} \right|_{V_{iB}=0} = - \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Portanto, a versão do amplificador em malha aberta ficará:



$A_I = \frac{i_o}{i_s}$ será infinito se $A_d \rightarrow \infty$. Portanto,

o ganho de corrente realimentado ideal será:

$$A_{If} = \frac{A_I}{1 + \beta A_I} \rightarrow \frac{1}{\beta} = -\frac{R_2 + R_3}{R_3} = -\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

Assim, o ganho de tensão ideal será:

$$A_f = \frac{v_o}{v_s} = \frac{i_o R_L}{i_s R_3} = \frac{R_L}{R_3} \cdot A_{If} = -\frac{R_L}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

$$-\frac{R_L}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) = -6$$

$$\frac{5}{1} \left(1 + \frac{R_2}{4,4}\right) = 6$$

$$R_2 = 880 \, \Omega$$

(b) O ganho de corrente em malha aberta será:

$$v_d = -i_s \cdot R_3 // R_{iB} // R_i$$

$$i_o = (\beta + 1) i_b = (\beta + 1) \frac{A_d v_d}{R_o + R_{\pi} + (R_L + R_{oB})(\beta + 1)}$$

$$i_o = \frac{(\beta+1) \cdot A_d \cdot (-i_s \cdot R_D // R_{iB} // R_i)}{R_o + r_{\pi} + (R_L + R_{oB})(\beta+1)}$$

$$A_{\pi} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{(\beta+1) \cdot R_D // R_{iB} // R_i}{R_o + r_{\pi} + (R_L + R_{oB})(\beta+1)} \cdot A_d$$

Lembrando que $I_C = \alpha I_E = \alpha \cdot 1 = 0,99 \text{ mA}$, temos:

$$\begin{cases} g_m = \frac{I_C}{v_T} = 39,6 \text{ mA/V} \\ r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 2,52 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

Assim:

$$A_{\pi} = 0,143 A_d$$

desseje-se um ganho real $A_f = 0,95 \cdot (-6) = -5,7 \text{ V/V}$.

Assim:

$$A_f = -5,7$$

$$-\frac{R_L}{R_D} \cdot A_{\pi f} = -5,7$$

$$(-5) \cdot \frac{A_{\pi}}{1 + B A_{\pi}} = (-5,7)$$

$$\frac{A_{\pi}}{1 + B A_{\pi}} = 1,14$$

$$A_{\pi} = 1,14 + 0,95 A_{\pi}$$

$$A_{\pi} (1 - 0,95) = 1,14$$

$$A_{\pi} = 22,8 \text{ A/A}$$

Então:

$$A_{\pi} = 0,143 A_d \quad \therefore \quad A_d = \frac{22,8}{0,143} \cong 159,4 \text{ V/V}$$

(c) Para o amplificador em malha aberta:

10

$$A_T = 22,8 \text{ A/A}$$

$$Z_i = R_D // R_{iB} // R_i = 827 \Omega$$

$$Z_o = R_L + R_{oB} + \left(\frac{V_{\pi} + R_o}{\beta + 1} \right) = 5,77 \text{ k}\Omega$$

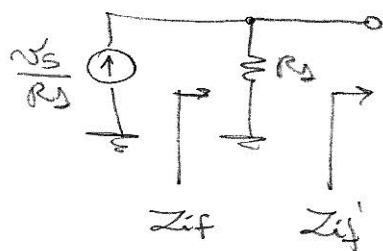
Para o amplificador em malha fechada:

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{1 + \beta A_T} = 43,35 \Omega$$

$$Z_{of} = Z_o (1 + \beta A_T) = 115 \text{ k}\Omega$$

Cálculos complementares:

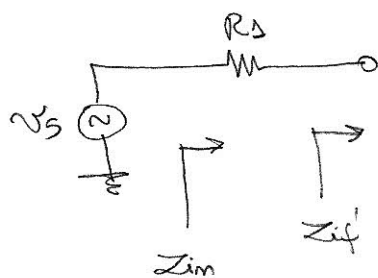
• Impedância de entrada:



$$\frac{1}{Z_{if}} = \frac{1}{R_S} + \frac{1}{Z_{if}'}$$

$$\frac{1}{Z_{if}'} = \frac{1}{Z_{if}} - \frac{1}{R_S}$$

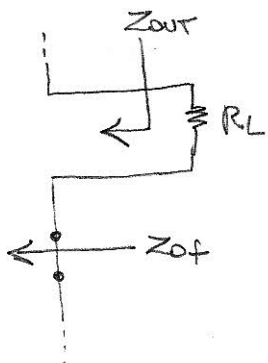
$$Z_{if}' = 43,13 \Omega$$



$$Z_{in} = R_S + Z_{if}'$$

$$Z_{in} \cong 1,04 \text{ k}\Omega$$

• Impedância de saída:



$$Z_{of} = R_L + Z_{out}$$

$$Z_{out} = Z_{of} - R_L$$

$$Z_{out} = 110 \text{ k}\Omega$$