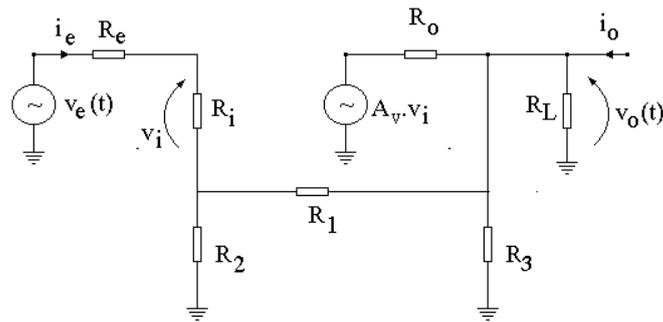


PSI2306 – ELETRÔNICA – 1º. Semestre 2013
Gabarito da 3ª. Lista de Exercícios

1º Exercício – (Prova de 2003): Dado o circuito equivalente de pequenos sinais de um amplificador realimentado conforme mostrado na figura abaixo:

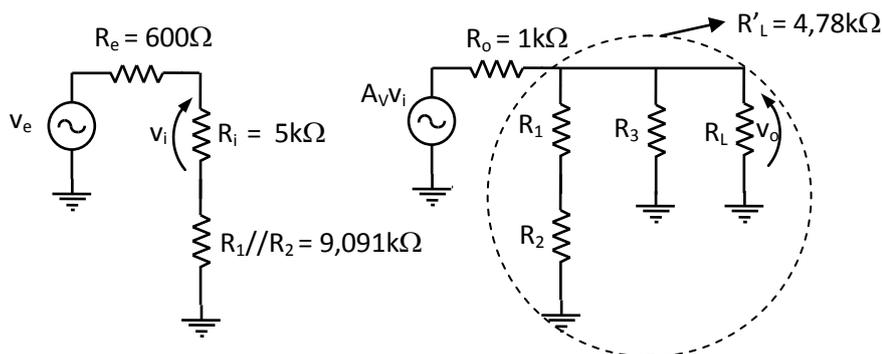
- Determine o valor de “ β ”
- Determine o ganho total realimentado ($A_f \equiv v_o/v_e$)
- Determine a resistência de entrada do circuito equivalente ($R_{if} \equiv v_e/i_e$)
- Determine a resistência de saída do circuito equivalente ($R_{of} \equiv v_o/i_o$ para $v_e=0$)

Dados: $R_1=100k\Omega$, $R_2=10k\Omega$, $R_3=10k\Omega$, $R_i=5k\Omega$, $R_e=600\Omega$, $R_o=1k\Omega$, $R_L=10k\Omega$ e $A_v=150$.



a)
$$\beta = \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{10k}{100k+10k} = 0,0909$$

b) O circuito “A” se apresenta como abaixo:



$$v_i = \frac{5k}{0,6k + 5k + 9,091k} v_e = 0,34v_e$$

$$v_o = A_v v_i \frac{R'_L}{R_o + R'_L} = 150 \times 0,34 v_e \frac{4,78k}{4,78k + 1k}$$

$$A = \frac{v_o}{v_e} = 42,176 \rightarrow A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{42,176}{1 + 0,0909 \times 42,176} \cong 8,7$$

$$A_f = 8,7$$

c) $R'_i = R_e + R_i + \frac{R_1}{R_2} = 0,6k + 5k + 9,091k \cong 14,7k\Omega$

$$R_{if} = R'_i(1 + \beta A) = 14,7k(1 + 0,0909 \times 42,176) \cong 71,1k\Omega$$

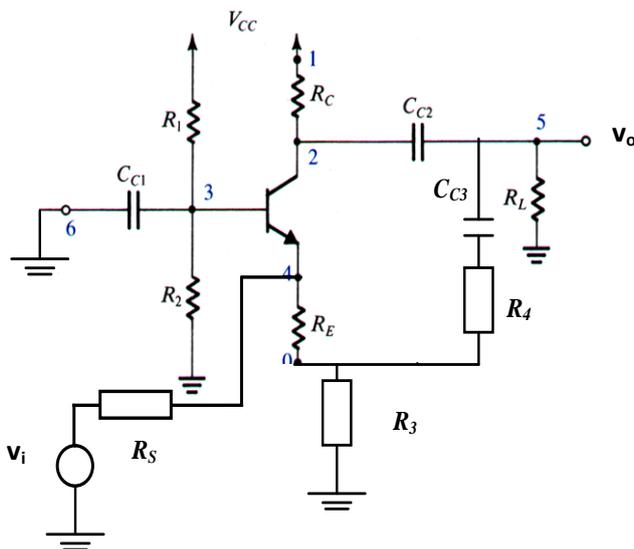
$$R_{if} = 71,1k\Omega$$

d) $R'_o = R_o // (R_1 + R_2) // R_3 // R_L = 0,83k\Omega$

$$R_{of} = \frac{R'_o}{1 + \beta A} = \frac{0,83k}{1 + 0,0909 \times 42,176} \cong 172\Omega$$

$$R_{of} = 172\Omega$$

2º Exercício – (Prova de 2006): Dado o circuito realimentado conforme mostrado na figura abaixo:



$$I_C = 2 \text{ mA}, R_E = 1900\Omega, C_{\pi} = 10 \text{ pF}$$

$$R_S = 12,5\Omega, R_1 = R_2 = 500 \text{ k}\Omega, C_{\mu} = (100/95) \text{ pF}$$

$$g_m = I_C/V_T, R_C = R_L = 38 \text{ k}\Omega, r_{\pi} = 5000\Omega$$

$$V_T = 25 \text{ mV}, R_3 = 1000\Omega, r_o = \infty$$

$$\beta = g_m \cdot r_{\pi}, R_4 = 18000\Omega, r_{\mu} = \infty$$

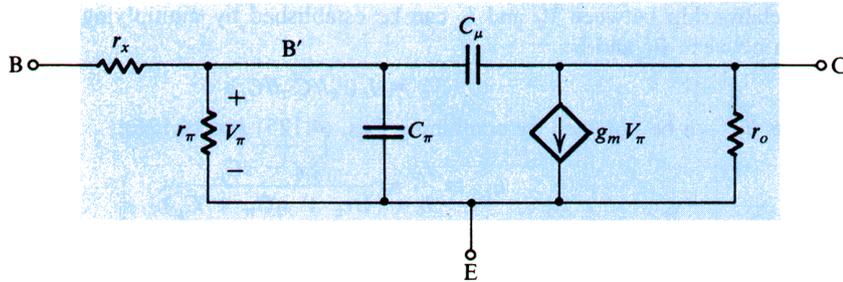
$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}, 1000\Omega // 18000\Omega = 950\Omega$$

$$r_x = 0$$

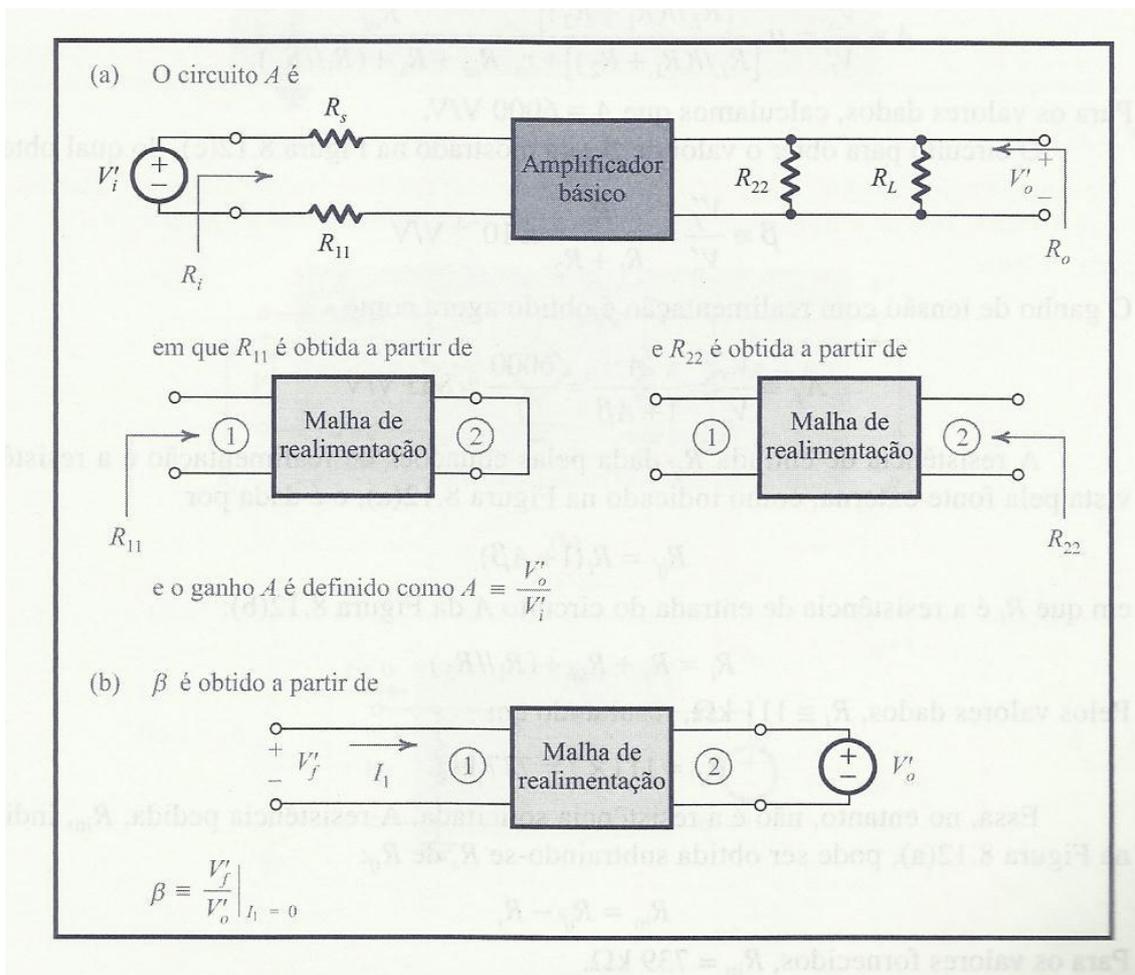
Equações fundamentais:

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A}, \quad R_{if} = R_i(1 + \beta A), \quad R_{of} = \frac{R_o}{(1+\beta A)}, \quad \omega_{Hf} = \omega_H(1 + \beta A)$$

Modelo π - híbrido

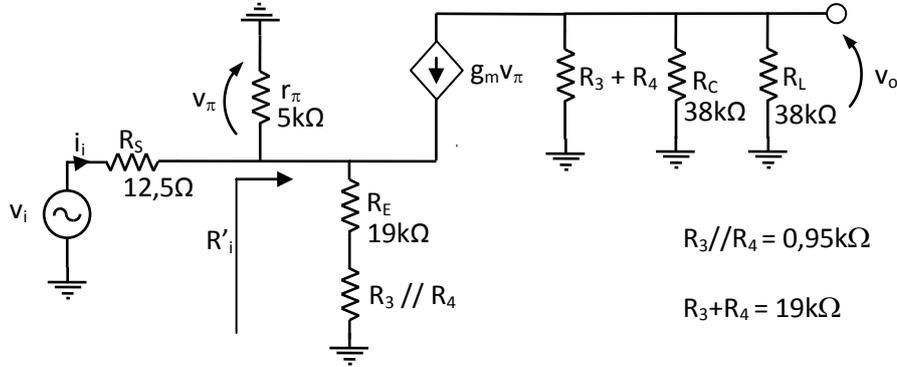


Resumo de Realimentação :



Em frequências médias, pede-se:

(a) Baseado no circuito realimentado, desenhe o circuito equivalente “A” sob efeito das cargas da malha de realimentação “ β ” substituindo adequadamente o modelo π -híbrido.



$$R'_L = 19k\Omega // 38k\Omega // 38k\Omega = 9,5k\Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$$

$$R'_i = (R_E + R_3 // R_4) // r_{\pi} // (1/g_m) = 19,95k\Omega // 5k\Omega // 12,5\Omega \cong 12,5\Omega$$

(b) Utilizando o circuito equivalente “A” sob efeito das cargas da malha de realimentação “ β ”, determine o ganho, resistência de entrada e resistência de saída (A , R_i e R_o)

$$v_o = -g_m v_{\pi} \cdot R'_L, \quad v_{\pi} = -\frac{R_i}{R_i + R_S} v_i \quad e \quad A \equiv \frac{v_o}{v_i}$$

$$A = \frac{g_m R'_L \cdot R'_i}{R'_i + R_S} = \frac{80m \cdot 9,5k \cdot 12,5}{12,5 + 12,5} = 380$$

$$R_i \equiv \frac{v_i}{i_i} = R_S + R'_i = 25\Omega$$

$$R_o \equiv \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_i=0} = R'_L = 9,5k\Omega$$

$$A = 380, \quad R_i = 25\Omega \quad e \quad R_o = 9,5k\Omega$$

(c) Determine o ganho total realimentado ($A_f = v_o/v_s$).

$$\beta = \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 18k\Omega} = 1/19$$

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{380}{1 + 380 \cdot \frac{1}{19}} = \frac{380}{21} \cong 18,1$$

$A_f = 18,1$

(d) Determine as resistências de entrada e de saída do circuito realimentado (R_{if} e R_{of}).

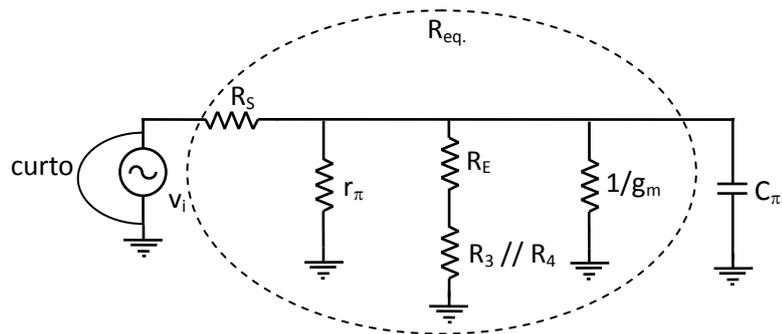
$$R_{if} = R_i \cdot (1 + \beta A) = 25 \times 21 = 525\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A} = \frac{9,5k}{21} \cong 452,4\Omega$$

Em altas frequências, pede-se:

(e) Determine a frequência de corte superior (em “rad/s”) do circuito equivalente “A” sob efeito das cargas da malha de realimentação “ β ”.

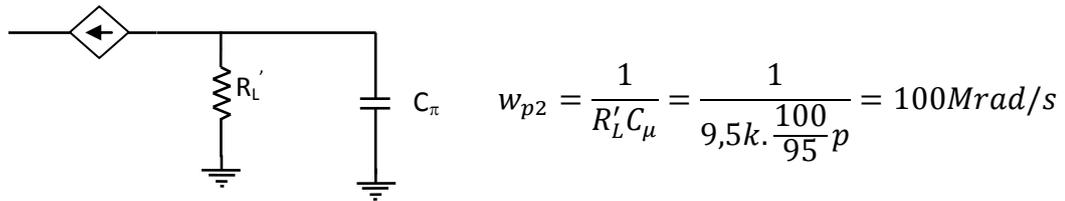
O circuito de entrada será:



$$R_{eq.} = R_s // r_{\pi} // (R_E + R_3 // R_4) // (1/g_m) \cong 6,25\Omega$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{R_{eq.} C_{\pi}} = \frac{1}{6,25 \times 10^{-11}} = 16 \text{ Grad/s}$$

O circuito de saída será

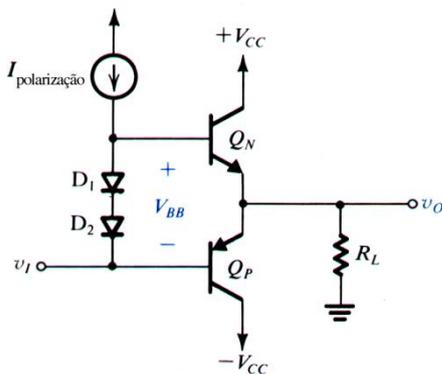


$$w_H \cong w_{p2} = 100 Mrad/s$$

(f) Determine a frequência de corte superior (em “rad/s”) do circuito realimentado.

$$w_{Hf} = w_H(1 + \beta A) = 100M \cdot 21 = 2,1 Grad/s$$

3º. Exercício (Prova 2005): Dado o estágio de saída classe AB utilizando uma malha de polarização com dois diodos conforme mostrado na figura abaixo. Sabendo-se que os diodos tem a mesma área de junção dos transistores de saída , $V_{CC} = 10V$, $R_L = 100 \Omega$, $\beta_N = 20$ e $V_{CEsatNPN} = V_{ECsatPNP} = 0$, pede-se:



(a) Para $I_{polarização} = 1,0 \text{ mA}$, qual o valor da corrente quiescente I_Q de polarização dos transistores Q_N e Q_P ? (Considere adequadamente as correntes de base)

$$I_{polar.} = I_D + I_{BN} = I_D + \frac{nI_D}{\beta_N + 1}$$

Para áreas de junção iguais (diodos e transistores), $n=1$, daí:

$$I_{QN} = I_{QP} = I_D = \frac{I_{polar.}}{1 + \frac{1}{\beta_N + 1}} \cong 0,95mA$$

(b) Sabendo-se que é necessário assegurar ao menos uma corrente de 0,4 mA nos diodos e considerando que $I_{polarização}$ foi mudado para 0,8 mA, quais os valores máximos possíveis positivo ($v_{0máx}$) e negativo (v_{0min}), dos níveis de sinal de saída ?

O máximo valor positivo na saída é limitado pela máxima corrente de base do transistor NPN ($I_{BNmáx}$).

$$I_{BNmáx} = I_{polar.} - I_{Dmin} = 0,8mA - 0,4mA = 0,4mA$$

$$I_{ENmáx} = (\beta_N + 1)I_{BNmáx} = 21 \times 0,4 = 8,4mA$$

$$v_{0máx} = I_{ENmáx}R_L = 8,4m \times 100 = 0,84V$$

O máximo valor negativo na saída é limitado pela saturação do transistor PNP.

$$v_{0min} = -V_{CC} + V_{ECsatPNP} = -10 + 0 = -10V$$

(c) Para obter um nível de pico de sinal de saída positivo igual a 10 V e assegurar uma corrente pelo menos 0,4 mA nos diodos, que valor mínimo de $I_{polarização}$ é necessário se β_N for mudado para 10 ? Para esse valor obtido, qual o valor da corrente quiescente I_Q ?

Para um valor máximo de saída igual a 10V, a corrente máxima de emissor (NPN) será:

$$I_{ENmáx} = \frac{10}{R_L} = \frac{10}{100} = 0,1A \rightarrow I_{BNmáx} = \frac{I_{Emáx}}{\beta_N + 1} = \frac{0,1}{11} \cong 9,1mA$$

$$I_{polar.min} = I_{BNmáx} + I_{Dmin} \cong 9,1m + 0,4m \cong 9,5mA$$

Neste caso a corrente quiescente I_Q será:

$$I_{polar.} = I_D + I_{BN} = I_D + \frac{nI_D}{\beta_N + 1}, \quad \text{com } n = 1$$

$$I_Q = I_D = \frac{I_{polar.}}{1 + \frac{1}{\beta_N + 1}} \cong 8,7mA$$

(d) Determine a potência máxima fornecida pela fonte de alimentação (P_S) do circuito e determine o rendimento máximo (η_{\max}) (Deduza as equações da potência e do rendimento)

Desprezando-se a potência quiescente ($2V_{CC}I_Q \cong 0$) tem-se:

$$P_S = 2V_{CC} \cdot I_{\text{médio}} = 2V_{CC} \frac{I_{o \text{ pico}}}{\pi} = 2V_{CC} \frac{V_{o \text{ pico}}}{\pi R_L}$$

Para $V_{o \text{ pico}} = V_{CC}$ tem-se $P_{S\max}$

$$P_{S\max} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} = \frac{2 \times 10^2}{\pi \cdot 100} \cong 0,64W$$

A potência de saída será:

$$P_L = \frac{V_{o \text{ pico}}^2}{2R_L} \rightarrow P_{L\max} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = \frac{10^2}{2 \times 100} = 0,5W$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_{L\max}}{P_{S\max}} = 0,785 \rightarrow \eta_{\max} (\%) = 78,5\%$$

(e) Determine a potência máxima dissipada em cada transistor ($P_{D\max/\text{transistor}}$). (Deduz a expressão da potência máxima).

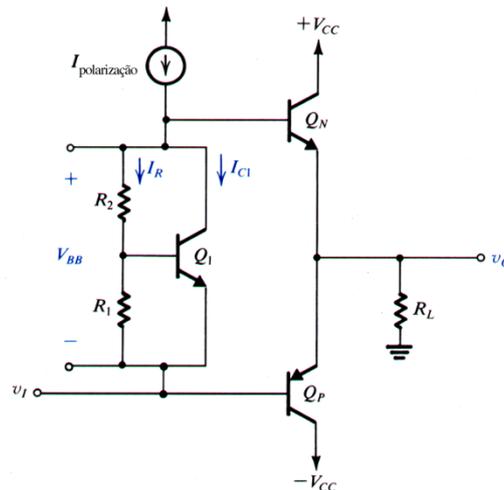
$$P_{D/\text{transistor}} = \frac{P_S}{2} - \frac{P_L}{2} = 2V_{CC} \frac{V_{o \text{ pico}}}{2\pi R_L} - \frac{V_{o \text{ pico}}^2}{4R_L}$$

$$P_D \text{ será máxima para: } \frac{\partial P_D}{\partial V_{o \text{ pico}}} = 0 \rightarrow \frac{V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{V_{o \text{ pico}}}{2R_L} = 0 \rightarrow V_{o \text{ pico}} = \frac{2V_{CC}}{\pi}$$

substituindo – se na equação de Potência, vem:

$$P_{D\max/\text{transistor}} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = \frac{100}{\pi^2 \cdot 100} \cong 0,1W$$

4º Exercício (Prova REC 2005): Dado o estágio de saída classe AB utilizando uma malha de polarização com circuito multiplicador de V_{BE} conforme mostrado na figura abaixo. Sabendo-se que $I_{SQ1} = 1,1 \times 10^{-15}$ A e $I_{SQN} = I_{SQP} = 2,1 \times 10^{-13}$ A e também sendo dados $V_{CC} = 30V$, $R_L = 10 \Omega$, $R_2 = 5k\Omega$, $R_1 = 7k\Omega$, $\beta_N = 20$ $V_{CEsatNPN} = V_{ECsatPNP} = 0$, $I_C \approx I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$, $V_T = 25$ mV, pede-se



(a) Para $V_{BB} = 1,2$ V, qual o valor da corrente de polarização ($I_{polarização}$.) do circuito? (Considere adequadamente as correntes de coletor de Q_1 , de base de Q_N e dos resistores R_1 e R_2 . Despreze a corrente de base de Q_1).

$$I_{polarização} = I_{BQN} + I_{C1} + I_R$$

$$I_R = \frac{V_{BB}}{R_1 + R_2} = \frac{1,2}{12k} = 0,1mA$$

$$V_{BE} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{BB} = \frac{7k}{12k} \cdot 1,2 = 0,7V$$

$$I_{C1} = I_{SQ1} \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = 1,1 \times 10^{-15} \cdot e^{\frac{0,7}{0,025}} = 1,59mA$$

$$I_{BQN} = \frac{I_Q}{\beta + 1} = \frac{I_{SQN}}{\alpha} \cdot e^{\frac{V_{BB}}{2V_T}} = \frac{I_{SQN}}{\beta} \cdot e^{\frac{V_{BB}}{2V_T}} = \frac{2,1 \times 10^{-13} \cdot e^{\frac{0,6}{0,025}}}{20} = 0,278mA$$

$$I_{polarização} = 0,278m + 1,59m + 0,1m = 1,97mA$$

(b) Determine a potência máxima fornecida pela fonte de alimentação (P_S) do circuito e a potência máxima dissipada em cada transistor ($P_{Dmáx/transistor}$).

$$P_S = 2V_{CC}I_{médio} = 2V_{CC} \frac{V_{CC}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 30^2}{\pi \cdot 10} = 57,3W$$

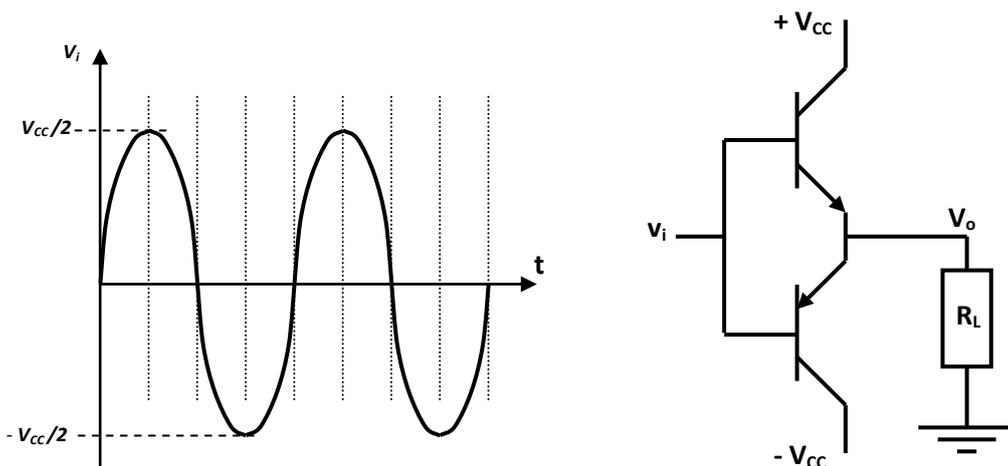
$$P_{D/transistor} = \frac{1}{2}P_D = \frac{1}{2} \left(\frac{2V_{CC} \cdot V_{o\ pico}}{\pi R_L} - \frac{1}{2} \frac{V_{o\ pico}^2}{R_L} \right)$$

$$P_{Dmáx/transistor} = P_{\frac{D}{transistor}} \left(V_{o\ pico} = \frac{2V_{CC}}{\pi} \right) = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = \frac{30^2}{\pi^2 \cdot 10} = 9,1W$$

5º. Exercício (Prova SUB 2006) - Estágio de saída de um Amplificador de Potência.

O seguinte circuito implementa o estágio de saída de um amplificador (classe B). Sabendo-se que a corrente média sobre uma carga R_L num semiciclo de senóide de amplitude $V_{o\ pico}$ é dada por $I_m = \frac{V_{o\ pico}}{\pi R_L}$, que a potência média num ciclo é dada por

$P_L = \frac{V_{o\ pico}^2}{2R_L}$ e ainda o sinal de entrada fornecido na figura abaixo, pede-se:



(a) Calcule a potência média fornecida por cada uma das duas fontes (P_{S+} e P_{S-}). Calcule também a potência média fornecida para a carga (P_L).

$$P_{S+} = P_{S-} = I_m V_{CC} = \left[\left(\frac{V_{CC}}{2} \right) / (\pi R_L) \right] \cdot V_{CC} + P_{S+} = P_{S-} = V_{CC}^2 / 2\pi R_L$$

$$P_S = P_{S+} + P_{S-} = V_{CC}^2 / \pi R_L$$

$$P_L = \frac{V_o^2}{2R_L} = \left[\left(\frac{V_{CC}}{2} \right)^2 / (2R_L) \right] = \frac{V_{CC}^2}{8R_L}$$

(b) Calcule a potência média dissipada por cada transistor e o rendimento do sistema ($\eta = P_L/P_S$).

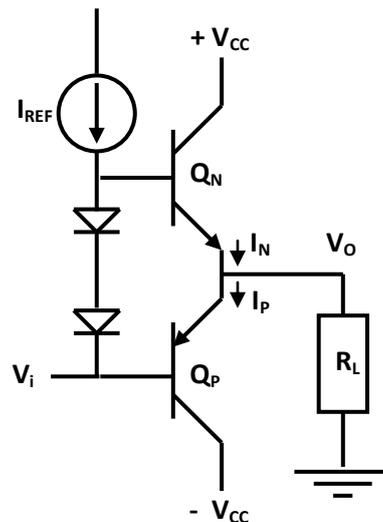
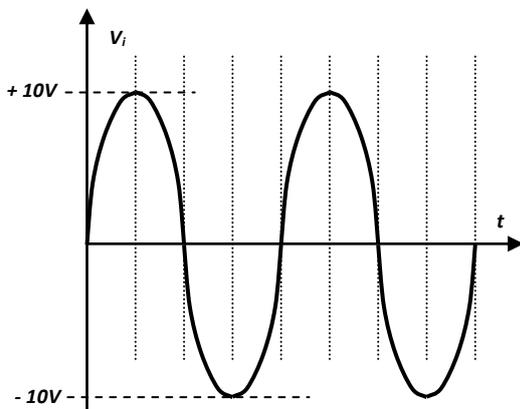
$$P_{D \text{ méd/transistor}} = 1/2(P_S - P_L) = (1/2)[V_{CC}^2/(\pi R_L) - V_{CC}^2/(8R_L)] = \frac{V_{CC}^2}{(\pi R_L)} \left(\frac{1}{\pi} - \frac{1}{8} \right)$$

$$\frac{V_{CC}^2/(8R_L)}{V_{CC}^2/(\pi R_L)} = \frac{\pi}{8} \cong 0,4 \rightarrow \eta \cong 40\%$$

(c) Qual a vantagem desta configuração (classe B) quando comparada à classe A?

A configuração classe B apresenta um rendimento de transferência de potência substancialmente maior.

Considere agora que o circuito foi modificado, passando a ser classe AB, conforme indicado na figura.



$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$I_Q^2 = I_N \cdot I_P$ onde I_N e I_P são respectivamente as correntes dos emissores de Q_N e Q_P .

São dados: $I_{REF} = 5mA$, $R_L = 100\Omega$ e $V_{BB} = 1,3V$

(d) Observe que quando $V_o = 0$ temos a condição quiescente, na qual há uma pequena corrente (comparada à máxima corrente que pode circular por estes transistores de potência) circulando pelos dois transistores. Nesta situação os dois tem a mesma tensão $V_{BE} = 0,65V$ aplicadas às suas junções base-emissor. Escolha um transistor, ou seja calcule sua corrente de fundo de escala I_{ST} , de modo que a corrente nesta situação (quiescente) seja $I_C = \alpha I_Q = 1mA$. Calcule então a relação entre I_{SD} e I_{ST} , ou seja a relação das áreas de junção base-emissor destes dois dispositivos necessária para suportar a correta operação deste circuito.

Na condição quiescente, I_D é praticamente a totalidade de I_{REF} pois I_B é desprezível nesta condição.

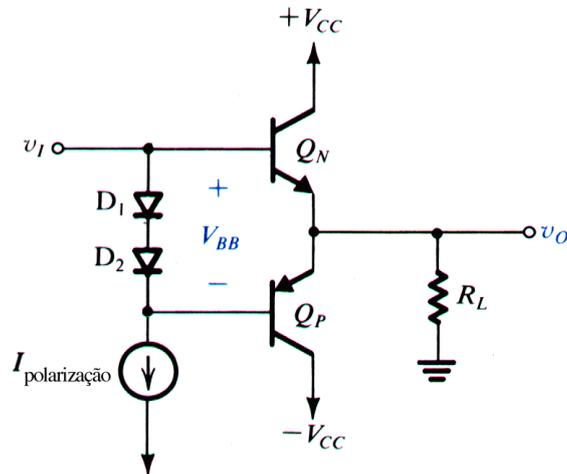
nos transistores tem-se: $I_{CQ} = I_{ST} \cdot e^{V_{BE}/V_T} = 1mA$

nos diodos tem-se: $I_{DQ} = I_{SD} \cdot e^{V_{BE}/V_T} = 5mA$

como diodos e transistores tem o mesmo $V_{BE} = 0,65V$, então a relação de áreas será:

$$\frac{A_D}{A_T} = \frac{I_{SD}}{I_{ST}} = 5$$

6º. Exercício (Prova 2007): Dado o estágio de saída classe AB utilizando uma malha de polarização com dois diodos conforme mostrado na figura abaixo. Sabendo-se que os diodos tem a mesma área de junção dos transistores de saída, $V_{CC} = 10V$, $R_L = 100 \Omega$, $\beta_N = \beta_P = 19$ e $V_{CEsatNPN} = V_{ECsatPNP} = 0$, pede-se:



(a) Para $I_{polarização} = 10 \text{ mA}$, qual o valor da corrente quiescente I_Q de polarização dos transistores Q_N e Q_P ? (Considere adequadamente as correntes de base).

Na ausência de sinal, tem-se: $v_i = 0 \rightarrow I_{EN} = I_{EP} = I_Q$

$$I_D = I_{polarização} - I_{BP} = I_{polarização} - \frac{I_Q}{\beta + 1}$$

Como diodos e transistores apresentam a mesma área:

$$I_D = I_Q = I_{polarização} - \frac{I_Q}{20} \rightarrow I_Q \left(1 + \frac{1}{20} \right) = I_{polarização}$$

$$I_Q = \frac{I_{polarização}}{1 + \frac{1}{20}} = \frac{10m}{1,05} = 9,5mA$$

(b) Sabendo-se que é necessário assegurar ao menos uma corrente de 4 mA nos diodos e considerando que $I_{polarização}$ foi mudado para 8 mA, quais os valores máximos possíveis positivo (V+) e negativo (V-) para os níveis de sinal de saída

$$V_+ = V_{CC} - V_{CEsatNPN} = 10V$$

No caso do valor máximo para V_- :

$$I_{BPm\acute{a}x} = 4mA \text{ (para assegurar 4mA nos diodos)}$$

$$I_{EPm\acute{a}x} = (\beta + 1) \cdot I_{BPm\acute{a}x} = 20 \times 4m = 80mA$$

$$V_- = -R_L \cdot I_{EPm\acute{a}x} \text{ (} Q_N \text{ cortado)} = -100 \times 80m = -8V$$

(c) Determine a potência fornecida pela fonte de alimentação (P_S) do circuito e determine o rendimento de transferência de potência (η) para um sinal de saída senoidal limitado em $\pm 8V$. (Expresse o resultado final como função do número π . Sabe-se que a corrente média associada à meia senoide que cada transistor conduz é I_{pico}/π).

$$I_{o\ pico} = \frac{V_{o\ pico}}{R_L} = \frac{8}{100} = 80mA$$

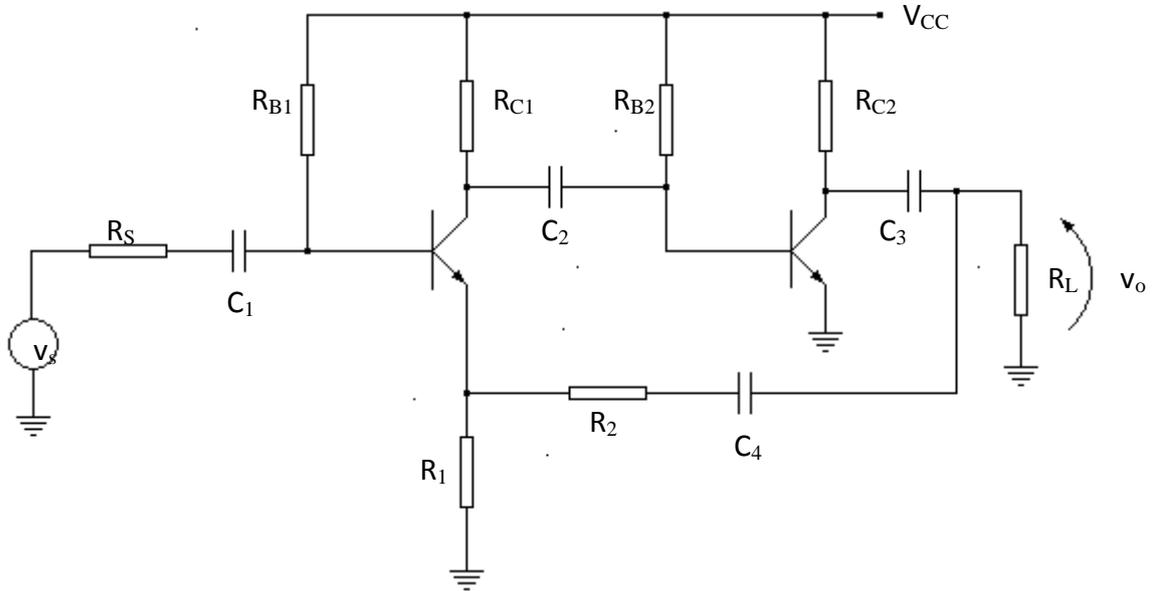
$$I_{m\acute{e}dio} = \frac{I_{pico}}{\pi} = A$$

$$P_S = 2V_{CC} I_{m\acute{e}dio} = 2 \times 10 \times \frac{0,08}{\pi} = \frac{1,6}{\pi} W$$

$$P_L = \frac{V_{o\ pico}^2}{2R_L} = \frac{8^2}{2 \times 100} = 0,32W$$

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{0,32}{1,6/\pi} = \frac{\pi}{5}$$

7º. Exercício (Prova 2008): Dado o circuito realimentado conforme mostrado na figura abaixo:



$$I_E = I_{E1} = I_{E2} = 1 \text{ mA}, R_C = R_{C1} = R_{C2} = 10 \text{ k}\Omega, R_B = R_{B1} = R_{B2} = 500 \text{ k}\Omega,$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = \infty,$$

$$R_1 = 100\Omega, R_2 = 9900\Omega, R_L = 500 \text{ k}\Omega \text{ e } R_S = 12500\Omega.$$

$$g_m = I_C / V_T, V_T = 25 \text{ mV}, \beta_{cc} = I_C / I_B = 99, \alpha \cong 1, 100\Omega || 9900\Omega \cong 100\Omega,$$

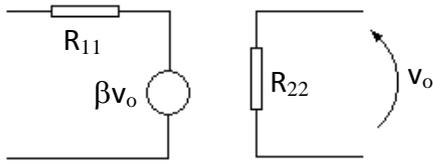
$$5\text{k}\Omega || 500\text{k}\Omega \cong 5\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega || 500\text{k}\Omega \cong 10\text{k}\Omega, 12,5\text{k}\Omega || 500\text{k}\Omega \cong 12,5\text{k}\Omega$$

Equações fundamentais:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}, R_{if} = R_i (1 + \beta A),$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A}, \omega_{HR} = \omega_H (1 + \beta A)$$

Malha de realimentação “ β ”:

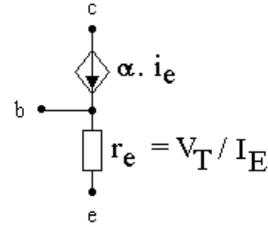


$$R_{11} = R_1 \parallel R_2$$

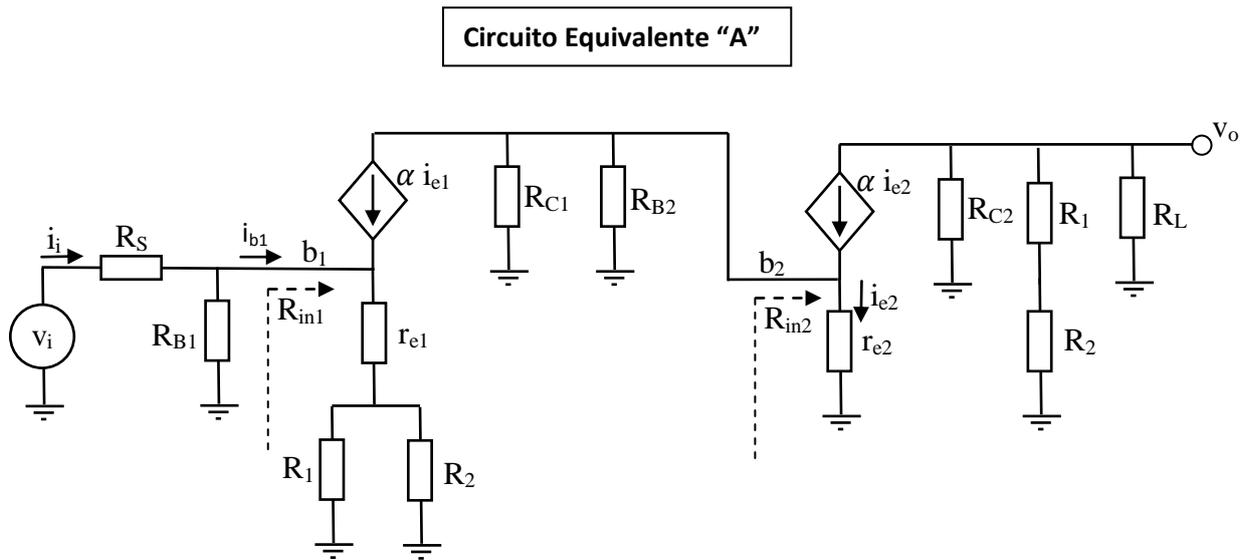
$$R_{22} = R_1 + R_2$$

$$\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$$

Modelo T:



- (a) Baseado no circuito realimentado, desenhe o circuito equivalente “A” sob efeito das cargas da malha de realimentação “ β ” substituindo adequadamente o modelo T em frequências médias.



- (b) Utilizando o circuito equivalente “A” sob efeito das cargas da malha de realimentação “ β ”, determine o ganho, resistência de entrada e resistência de saída (A, R_i e R_o).

$$R_1 \parallel R_2 = 100 \parallel 9900 \cong 100\Omega \text{ (como sugerido no enunciado)}$$

$$R_1 + R_2 = 100 + 9900 = 10k\Omega, \quad r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25m}{1m} = 25\Omega$$

$$R_{in1} = \frac{v_{b1}}{i_{b1}} = (\beta + 1)(r_{e1} + R_1 // R_2) = (99 + 1)(25 + 100) = 12,5k\Omega$$

$$R_{in1} // R_{B1} = 12,5k\Omega // 500k\Omega \cong 12,5k\Omega \quad (\text{ver enunciado})$$

$$R_{in2} = (\beta + 1)r_{e2} = 2,5k\Omega$$

$$R_{in2} // R_{B2} // R_{C1} = 2,5k\Omega // 500k\Omega // 10k\Omega \cong 2,0k\Omega$$

$$R_L // R_{C2} // (R_1 + R_2) = 10k // 10k\Omega // 500k\Omega \cong 5k\Omega$$

Considerando-se as associações de resistores tem-se:

$$v_{b1} = \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_S} v_i = \frac{12,5k}{12,5k + 12,5k} v_i = \frac{v_i}{2}$$

$$v_{b2} = -\alpha i_{e1} (R_{C1} // R_{B2} // R_{in2}) = -\alpha \left(\frac{v_{b1}}{r_{e1} + R_1 // R_2} \right) (R_{C1} // R_{B2} // R_{in2}) = -16v_{b1}$$

$$v_o = -\alpha i_{e2} (R_L // R_{C2} // (R_1 + R_2)) = -\alpha \frac{v_{b2}}{r_{e2}} (R_L // R_{C2} // (R_1 + R_2)) = -200v_{b2}$$

O ganho será:

$$A = \frac{v_{b1}}{v_i} \cdot \frac{v_{b2}}{v_{b1}} \cdot \frac{v_o}{v_{b2}} = \frac{1}{2} (-16) (-200) = 1600$$

A resistência de entrada será:

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_S + R_{B1} // R_{in1} = 12,5k + 12,5k = 25k\Omega$$

A resistência de saída será:

$$R_o = \frac{v_x}{i_x} (\text{para } v_i = 0) = R_L // R_{C2} // (R_1 + R_2) = 5k\Omega$$

(c) Determine o ganho total realimentado ($A_f = v_o/v_s$) e as resistências de entrada e de saída do circuito realimentado (R_{if} e R_{of}).

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{100}{100 + 9900} = 0,01$$

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{1600}{1 + 0,01 \times 1600} \cong 94$$

$$R_{if} = (1 + \beta A)R_i = 17 \times 25k = 425k\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A} = \frac{5k}{17} \cong 294\Omega$$

8º. Exercício : Um transistor de potência para o qual $T_{j\text{máx}} = 180^\circ\text{C}$ é capaz de dissipar 50W quando a temperatura do encapsulamento é igual a 50°C . Este transistor é montado em um dissipador de calor fazendo-se uso de uma arruela isolante cuja resistência térmica é $0,6^\circ\text{C/W}$, nestas condições:

(a) Qual a máxima temperatura que o dissipador de calor pode atingir de forma a permitir uma operação segura com o transistor dissipando 30W?

A resistência térmica entre a junção e o encapsulamento será:

$$\theta_{JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D} = \frac{180 - 50}{50} = 2,6^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{JC} + \theta_{CS} = \frac{T_J - T_S}{P_D} \rightarrow T_S = T_J - P_D(\theta_{JC} + \theta_{CS}) = 180 - 30(2,6 + 0,6) = 84^\circ\text{C}$$

(b) Para uma temperatura ambiente de 39°C qual deve ser a resistência térmica do dissipador de calor?

$$T_S - T_A = \theta_{SA} P_D \quad \rightarrow \quad \theta_{SA} = \frac{T_S - T_A}{P_D} = \frac{84 - 39}{30} = 1,5^\circ C/W$$

(c) Se utilizarmos como dissipador de calor um perfil de alumínio com uma resistência térmica de 4,5 °C/W/cm de comprimento, quão longo deverá ser este perfil?

$$L(\text{comprimento do dissipador}) = \frac{4,5^\circ C/W/cm}{1,5^\circ C/W} = 3\text{cm}$$