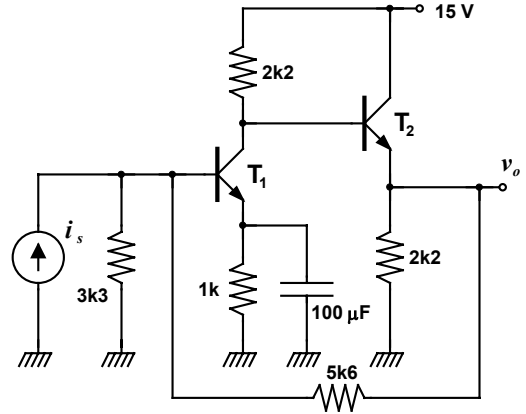


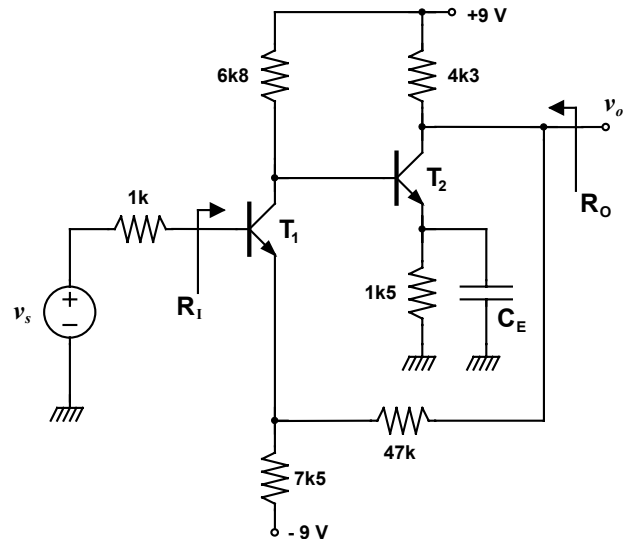
1. Considere o circuito representado, sendo para os ambos os transístores $\beta_o = 100$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF.

- Calcule as correntes e tensões contínuas no circuito, desprezando as correntes de base.
- Determine qual a topologia de realimentação e calcule o β do circuito, e desenhe o circuito em malha aberta, tendo em linha de conta a carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não precisa de substituir os transístores pelos seus modelos.)
- Determine a resposta do amplificador em malha aberta (v_o / i_s) às baixas frequências.
- Determine a contribuição para o primeiro pólo às altas frequências, em malha aberta, de T_1 , usando o Teorema de Miller.
- Considere agora a contribuição de T_2 para o primeiro pólo, em malha aberta, usando o método das constantes de tempo.
- Considere agora o circuito em malha fechada e às médias frequências e calcule R_i e R_{if} , R_o e R_{of} e R_M e R_{Mf} .
- Se substituir i_s e $R_s = 3k3$ pelo seu equivalente Thévenin, calcule o valor de $A_v = v_o / v_s$, em malha aberta, e desenhe o correspondente diagrama de Bode desde as baixas frequências até ao primeiro pólo.



2. Considere o seguinte amplificador com realimentação de tensão-série, sendo para os ambos os transístores $\beta_o = 200$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF.

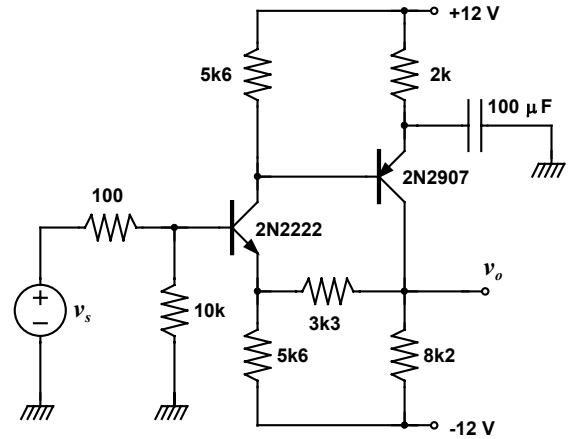
- Calcule as correntes e tensões contínuas no circuito, desprezando as correntes de base. (Se não resolver esta alínea, considere para as alíneas seguintes $g_{m1} = g_{m2} = g_m = 40$ mA/V).
- Calcule o factor de realimentação β do circuito, e desenhe o circuito em malha aberta, para sinais de baixas frequências, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não precisa de substituir os transístores pelos seus modelos.)
- Determine o valor da capacidade C_E , por forma que a frequência inferior de corte a -3 dB seja $f_L = 100$ Hz, em malha aberta.
- Determine a contribuição de T_1 para o primeiro pólo, às altas frequências, em malha aberta, usando o método das constantes de tempo.
- Calcule a contribuição de T_2 para o primeiro pólo, às altas frequências, em malha aberta, usando o Teorema de Miller.
- Esboce o traçado do diagrama de Bode desde as baixas frequências até ao primeiro pólo, em malha aberta.
- Considere agora o circuito em malha fechada e às médias frequências e calcule v_o / v_s , R_i e R_o (ver figura).



3. Considere que, no circuito seguinte, ambos os transístores têm $\beta_o = 100$, $C_\pi = 50$ pF, $C_\mu = 1$ pF e $V_A = 100$ V.

- Calcule as correntes e tensões contínuas em todos os ramos e nós do circuito, desprezando as correntes de base.
- Identifique a topologia de realimentação, calcule o respectivo factor β e desenhe o circuito equivalente para sinais, em malha aberta, tendo em conta o efeito de carga da malha de realimentação.

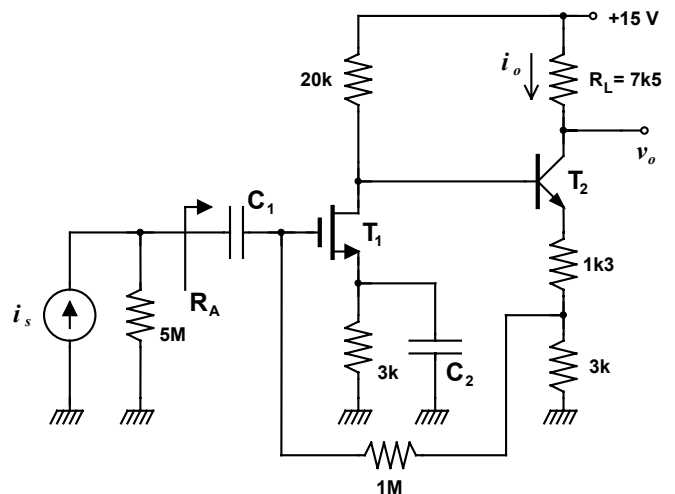
ATENÇÃO: Independentemente dos valores obtidos nas alíneas anteriores, tome para as alíneas seguintes $g_{m1} = 50$ mA/V, $g_{m2} = 100$ mA/V e para o factor de realimentação o valor numérico de 0,5).



- Calcule, em malha aberta, o ganho às baixas frequências, isto é, desde $f = 0$ Hz até às médias frequências.
- Calcule, também em malha aberta, a contribuição para o primeiro pólo, às altas frequências, do transístor 2N2222.
- Calcule, ainda em malha aberta, a contribuição para o primeiro pólo, às altas frequências, do transístor 2N2907.
- Desenhe o diagrama de Bode de amplitude e fase, devidamente cotado, do ganho em malha aberta $A_V = v_o / v_s$, desde as baixas frequências ($f \cong 0$ Hz) até ao primeiro pólo às altas frequências.
- Calcule, às médias frequências, primeiro em malha aberta e depois em malha fechada, a resistência de entrada vista da base do transístor 2N2222 e a resistência de saída vista do colector do transístor 2N2907.

4. Considere o seguinte amplificador, cujo MOSFET tem $C_{gd} = C_{gs} = 1$ pF, $V_A = 50$ V, $V_i = 1$ V e $K = 2$ mA/V², e o BJT tem $\beta_o = 200$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF. (Recorde que para um MOSFET, $i_D = K (v_{GS} - V_i)^2$ na região de saturação.)

- Calcule as correntes e tensões contínuas no circuito, desprezando a corrente de base de T_2 . (Considere para as alíneas seguintes $g_{m1} = 2$ mA/V e $g_{m2} = 40$ mA/V).
- Identifique a topologia da realimentação, calcule o factor de realimentação β e desenhe o esquema equivalente do circuito em malha aberta, para pequenos sinais de baixas frequências, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação.



- Determine o valor das capacidades C_1 e C_2 , por forma que o pólo de C_1 cancele o zero de C_2 e que a frequência inferior de corte a -3 dB seja $f_L = 10$ Hz, em malha aberta.
- Determine a contribuição de T_1 para o primeiro pólo, às altas frequências, em malha aberta, usando o Teorema de Miller. (Se não resolver esta alínea, considere para as alíneas seguintes relevantes, para a constante de tempo da entrada $\tau_i = 30$ µs e para a de saída $\tau_o = 15$ ns.)
- Calcule a contribuição de T_2 para o primeiro pólo, às altas frequências, em malha aberta, usando o método das constantes de tempo. (Se não resolver esta alínea, considere para as alíneas seguintes relevantes, $\tau_\pi = 6$ ns e $\tau_\mu = 50$ ns.)
- Com base nos resultados obtidos nas duas alíneas anteriores, indique, justificando devidamente, o valor aproximado da frequência superior de corte a -3 dB, em malha aberta. Esboce também o traçado do diagrama de Bode, devidamente cotado, do módulo do ganho V_o / V_s , desde as baixas frequências até ao primeiro pólo às altas frequências. (Nota: v_s é a tensão da fonte do equivalente Thévenin do conjunto i_s e $R_s = 5$ MΩ.)
- Considere agora o circuito em malha fechada e às médias frequências e calcule i_o / i_s , e R_A (ver figura).

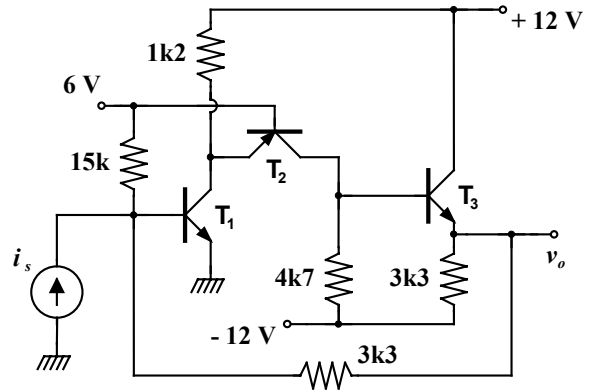
Soluções: a) $I_D = 0,5$ mA; $I_C = 1$ mA; $V_G = 3$ V; $V_S = 1,5$ V; $V_D = V_B = 5$ V; $V_E = 4,3$ V; $V_C = 7,5$ V; b) corrente-paralelo; $\beta = -3$ mA/A; $R_{i\beta} = 1$ MΩ; $R_{o\beta} = 3$ kΩ; c) $C_1 = 18,6$ nF; $C_2 = 37$ µF; d) $\tau_1 \cong 28,9$ µs; e) $\tau_2 = 57,9$ ns; f) $\omega_H \cong 34,5$ krad/s; $A_{VM} \cong 10$; g) $A_{VF} = -465$; $R_A \cong 59$ kΩ.

5. Considere o seguinte amplificador, cujos transístores têm $\beta_o = 200$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF.

- Determine as correntes e tensões contínuas no circuito, desprezando as correntes de base.
- Identifique a topologia da realimentação, calcule o factor de realimentação β e desenhe o esquema equivalente do circuito em malha aberta, para pequenos sinais, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não substitua os transístores pelos seus modelos.)

ATENÇÃO: Independentemente dos valores obtidos, tome para as alíneas seguintes, $g_{m1} = 70$ mA/V, $g_{m2} = 100$ mA/V e $g_{m3} = 125$ mA/V e para o factor de realimentação o valor numérico de 3×10^{-4} .

- Calcule o ganho v_o / i_s , em malha aberta e em malha fechada, às baixas/médias frequências.
- Determine a contribuição do par $T_1 - T_2$ para o comportamento do amplificador, em malha aberta às altas frequências. Comente, ainda, a interação dos dois transístores no seu comportamento às altas frequências.
- Determine agora a contribuição de T_3 para o comportamento do amplificador, em malha aberta às altas frequências, compare-a com o valor obtido na alínea anterior e faça os comentários que lhe pareçam adequados.



6. Considere o amplificador a seguir representado, cujos transístores têm $\beta_o = 150$, $C_\pi = 50$ pF, $C_\mu = 1$ pF, $g_{m1} = 50$ mA/V e $g_{m2} = g_{m3} = 30$ mA/V.

- Identifique a topologia da realimentação, calcule o factor de realimentação β e desenhe o esquema equivalente do circuito em malha aberta, para pequenos sinais de baixas frequências, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não substitua os transístores pelos seus modelos.)

ATENÇÃO: Independentemente do valor obtido, tome para as alíneas seguintes relevantes para o factor de realimentação o valor numérico de 2×10^3 .

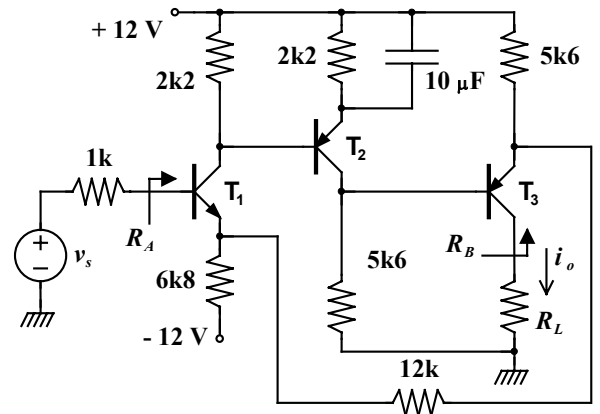
- Esboce o traçado do diagrama de Bode, devidamente cotado, do módulo de G_M / G_{M0} ($G_M = i_o / v_s$, sendo G_{M0} o valor às médias), em malha aberta, às baixas frequências, i.e., desde $\omega = 0$ rad/s até às médias frequências.
- Calcule, em malha fechada e às médias frequências, o valor do ganho $G_{Mf} = i_o / v_s$ e as resistências R_A e R_B (ver figura). (Nota: para o cálculo de R_B , admita que $R_L = 1$ k Ω e que T_3 tem $r_{o3} = 70$ k Ω .)
- Suponha agora que da análise às altas frequências se concluiu que o ganho em malha aberta pode ser descrito pela seguinte função

$$G_M(j\omega) = \frac{-10^{-2}}{(1 + j\omega / 3 \times 10^6)(1 + j\omega / 12 \times 10^6)(1 + j\omega / 2 \times 10^8)} \quad (\omega \text{ em rad/s})$$

Calcule a margem de fase e comente a estabilidade do amplificador. Caracterize também a qualidade da resposta temporal.

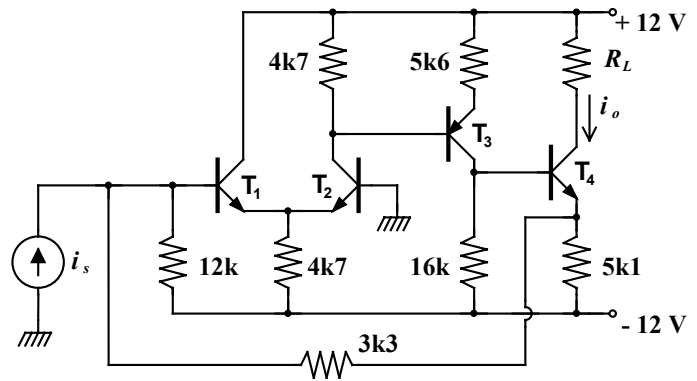
- A fim de melhorar a qualidade da resposta do amplificador, ligou-se um condensador C entre a base e o colector de T_2 , supostamente responsável pelo 1º pólo. Admitindo que esta compensação apenas altera o 1º pólo, mantendo-se inalteráveis os restantes, determine o valor da capacidade C por forma que a margem de fase se torne superior a 60° .

Soluções: a) corrente-série; $\beta = -1,56$ V/mA; $R_{i\beta} = 4,9$ k Ω ; $R_{o\beta} = 4,31$ k Ω ; b) $G_{M0} = -11,8$ mA/V; $\omega_0 = 45,5$ rad/s; $\omega_p = 2,14$ krad/s; $G_{MB} = -0,25$ mA/V; c) $G_{Mf} = -0,48$ mA/V; $R_A = 18,3$ M Ω ; $R_B = 9,63$ M Ω ; d) $\beta G_{M0} = 20$; $\omega_T = 26,8$ Mrad/s; $\phi(\omega_T) = -157,2^\circ$; $\phi_M = 22,8^\circ$; $\omega'_T = 6,93$ Mrad/s; $\omega'_1 = 346$ krad/s; $C \geq 10$ pF.



7. Considere o seguinte amplificador, cujos transístores têm $\beta_o = 200$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF.

- Determine as correntes e tensões contínuas no circuito, desprezando as correntes de base.
- Identifique a topologia da realimentação, calcule o factor de realimentação β e desenhe o esquema equivalente do circuito em malha aberta, para pequenos sinais, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não substitua os transístores pelos seus modelos.)



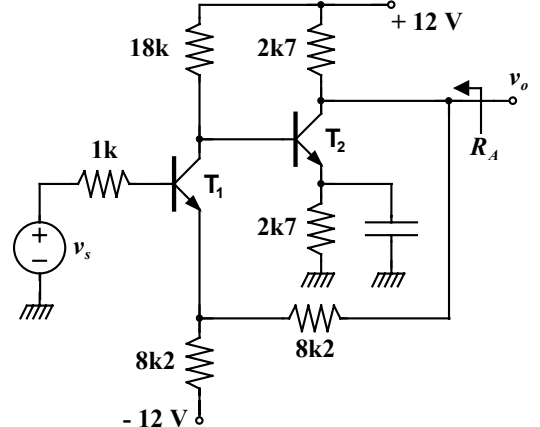
ATENÇÃO: Independentemente dos valores obtidos, tome para as alíneas seguintes,

$g_{m1} = 40$ mA/V, $g_{m2} = 50$ mA/V, $g_{m3} = 40$ mA/V e $g_{m4} = 150$ mA/V e para o factor de realimentação o valor numérico absoluto de 0,5.

- Suponha que liga um condensador entre o emissor de T_3 e a massa. Diga, justificando, quais as consequências que isso teria no valor do ganho, em malha aberta, às médias frequências e calcule o valor da capacidade desse condensador para que a frequência inferior de corte a -3 dB seja 200 Hz.
- Com referência ao comportamento do circuito às altas frequências, determine as constantes de tempo associadas às capacidades intrínsecas do modelo do par $T_1 - T_2$. Calcule também o valor da frequência superior de corte ω_H do amplificador, admitindo que é aquele par de transístores que determina essa frequência.
- Considere agora como saída a tensão do emissor de T_4 . Suponha as duas entradas do par diferencial $T_1 - T_2$ ligadas à massa. Note que, nestas condições, o amplificador fica em malha aberta. Calcule a tensão de desvio (V_{os}) à entrada do par diferencial. (Nota: tome para T_1 e T_2 : $r_e = (r_{e1} + r_{e2}) / 2$)

8. Considere o amplificador a seguir representado, cujos transístores têm $\beta_o = 200$, $C_\pi = 50$ pF e $C_\mu = 1$ pF.

- Verifique que a corrente de colector de T_2 é aproximadamente 1 mA e, a partir daí, deduza os restantes valores dos parâmetros do modelo em π -híbrido dos dois transístores.
- Identifique a topologia da realimentação, calcule o factor de realimentação β e desenhe o esquema equivalente do circuito em malha aberta, para pequenos sinais de médias frequências, considerando o efeito de carga (na entrada e na saída) da malha de realimentação. (Nota: não substitua os transístores pelos seus modelos.)



ATENÇÃO: Independentemente dos valores obtidos, tome para as alíneas seguintes para o factor de realimentação o valor numérico absoluto de 0,6.

- Determine, às médias frequências, o ganho em malha aberta, o ganho em malha fechada, a resistência vista pela fonte v_s e a resistência R_A . Justifique.
- Suponha agora que o circuito em malha aberta tem um ganho às médias frequências dado numericamente por 100, com pólos a frequências de 0,3, 10 e 60 MHz, e ainda um pólo e dois zeros a frequências muito superiores. Analise a estabilidade do amplificador realimentado, calculando a margem de fase e esboce a resposta a um degrau de 1 V, justificando.
- Calcule a capacidade de um condensador a ligar entre o colector de T_1 e a massa para realizar uma compensação de frequência que garanta uma margem de fase $\geq 45^\circ$. Justifique ainda a razão pela qual é o transístor T_2 o principal responsável pelo 1º pólo da resposta em frequência do ganho em malha aberta.

Soluções: a) $I_1 \cong 0,5$ mA; $g_{m1} = 20$ mA/V; $g_{m2} = 40$ mA/V; $r_{\pi 1} = 10$ k Ω ; $r_{\pi 2} = 5$ k Ω ; b) tensão-série; $\beta = 0,5$ V/V; $R_{i\beta} = 4,1$ k Ω ; $R_{o\beta} = 16,4$ k Ω ; c) $A_V = 87,4$; $A_{Vf} = 1,64$; $R_{if} = 44,6$ M Ω ; $R_A = R_{of} = 43$ Ω ; d) $\phi_M = 25,4^\circ$; estável, boa margem de segurança, má qualidade da resposta temporal; saída: degrau de 1,64 V, $t_r = 19$ ns, "overshoot" > 20%; e) nova $f_T = 7,75$ MHz; novo $f_{p1} = 129$ kHz; $C \cong 171$ pF; T_2 tem grande efeito de Miller e a resistência associada não é baixa, T_1 tem pequeno efeito de Miller, pois tem R no emissor, a capacidade de saída do T_1 não é relevante.