

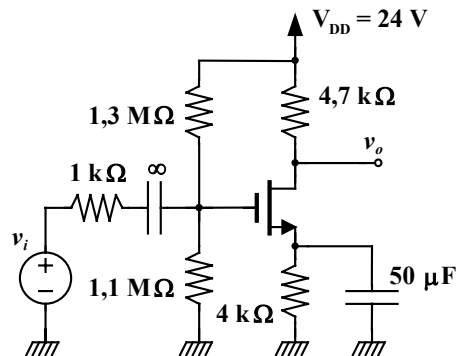


FEUP

1. Considere o seguinte circuito, onde:  $V_i = 2\text{ V}$ ,  $K = 2\text{ mA/V}^2$ ,  $\lambda = 0$ ,  $C_{gs} = 5\text{ pF}$  e  $C_{gd} = 1\text{ pF}$ .

- a) Verifique que  $I_D = 2\text{ mA}$ .
- b) Determine  $\omega_L$ ; justifique.
- c) Desenhe o esquema equivalente para sinais às médias/altas frequências e determine o ganho às médias frequências. Depois, sabendo que para determinar  $\omega_{Hi}$ , pode usar o método das constantes de tempo, determine, para o efeito, a constante de tempo associada a  $C_{gd}$ .

Soluções: b)  $85\text{ rad/s}$ ; c)  $\tau_{gd} = 24,5\text{ ns}$ .

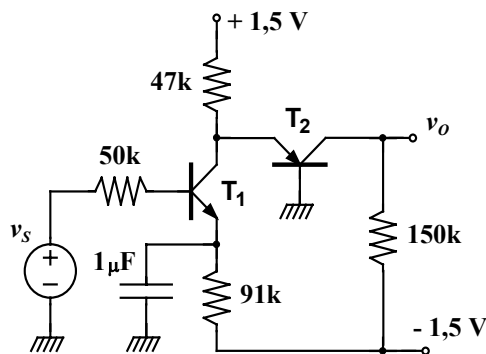


2. Considere o seguinte circuito, onde os transístores têm  $\beta_o = 100$ ,  $C_\pi = 50\text{ pF}$  e  $C_\mu = 1\text{ pF}$ . (Recorde:  $g_m = I_C / V_T$ ,  $r_\pi = \beta_o / g_m$  e  $r_o \cong 1 / g_{m^*}$ )

- a) Desprezando as correntes de base, determine o valor das correntes e tensões contínuas dos transístores.

**ATENÇÃO:** Independentemente dos valores obtidos, tome para as alíneas seguintes,  $g_{m1} = g_{m2} = 400\text{ }\mu\text{A/V}$ .

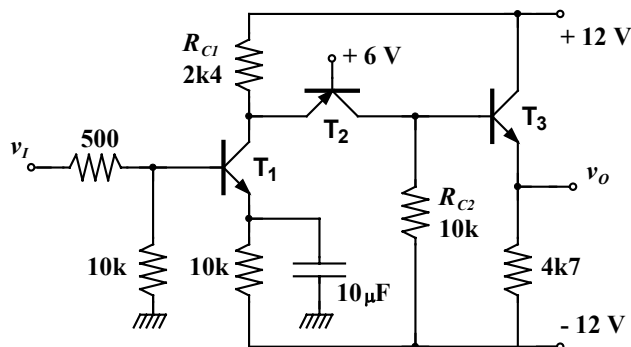
- b) Calcule o ganho de tensão  $v_o / v_s$  às médias frequências.
- c) Determine o valor de  $\omega_L$ , justificando. Esboce também o diagrama de Bode, devidamente cotado, do módulo do ganho  $A_v = v_o / v_s$ , às baixas frequências, i.e., desde  $\omega = 0\text{ rad/s}$  até às médias frequências.
- d) Determine a frequência  $\omega_H$  do amplificador, considerando apenas a contribuição de  $T_1$ , i.e., admitindo que a essa frequência ainda não se fazem sentir os efeitos capacitivos de  $T_2$ . Comente ainda a interacção dos dois transístores no seu comportamento às altas frequências e compare esta configuração com a que obteria se omitisse  $T_2$  e ligasse a resistência de  $150\text{ k}\Omega$  directamente ao colector de  $T_1$ .



Soluções: a)  $I_1 = 8,8\text{ }\mu\text{A}$ ,  $I_2 = 8,2\text{ }\mu\text{A}$ ,  $V_{B1} = 0$ ,  $V_{E1} = -0,7\text{ V}$ ,  $V_{B2} = 0$ ,  $V_{C1} = V_{E2} = 0,7\text{ V}$ ,  $V_{C2} = -0,3\text{ V}$ ; b)  $-47,5\text{ V/V}$ ; c)  $\omega_L = 348\text{ rad/s}$ ,  $\omega_2 = 11\text{ rad/s}$ ,  $\omega_p = 348\text{ rad/s}$ ,  $A_M = -47,5$ ,  $A_L = -1,5$ ; d)  $\omega_H = 462\text{ krad/s}$ .

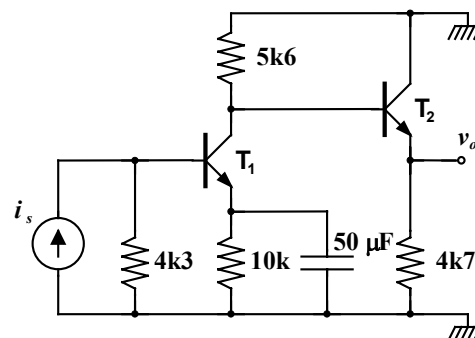
3. Considere o seguinte circuito, onde todos os transístores têm  $\beta_o = 100$ ,  $C_\pi = 50\text{ pF}$  e  $C_\mu = 1\text{ pF}$ .

- a) Calcule as polarizações do circuito.
- b) Explique o papel do par cascode constituído por  $T_1$  e  $T_2$ , com as resistências  $R_{C1}$  e  $R_{C2}$ , atendendo ao comportamento na frequência, aos desníveis de tensão contínua entre a entrada e a saída e ao ganho de tensão.
- c) Calcule o ganho de tensão  $v_o / v_i$  às baixas frequências, desde  $f = 0\text{ Hz}$  até às médias frequências e desenhe o respectivo diagrama de Bode de amplitude e fase.
- d) Admitindo que usa o método das constantes de tempo para o cálculo de  $\omega_H$  da resposta em frequência do ganho de tensão, determine a constante de tempo associada a  $C_\pi$  de  $T_3$ .



4. Considere o seguinte esquema equivalente para sinais de um amplificador, cujos transístores apresentam os seguintes parâmetros:  $\beta_o = 100$ ,  $C_\pi = 50 \text{ pF}$ ,  $C_\mu = 1 \text{ pF}$ ,  $g_{m1} = 50 \text{ mA/V}$  e  $g_{m2} = 100 \text{ mA/V}$ .

- Determine, às médias frequências, o valor do ganho  $R_{M0} = v_o / i_s$ .
- Determine o valor de  $\omega_L$ , justificando. Esboce também o diagrama de Bode, devidamente cotado, do módulo de  $R_M / R_{M0}$  ( $R_M = v_o / i_s$ ), às baixas frequências, i.e., desde  $\omega = 0 \text{ rad/s}$  até às médias frequências.
- Calcule a contribuição do transístor  $T_1$  para o 1º pólo da resposta em frequência do ganho às altas frequências. Concretamente, usando o Teorema de Miller, determine a frequência superior de corte  $\omega_H$  do amplificador, admitindo que é aquele transístor que determina essa frequência.
- A montagem em análise é uma cadeia amplificadora constituída por um emissor comum seguido de um colector comum. Diga, justificando, quais seriam as alterações do seu comportamento às altas frequências se se modificasse a configuração do circuito para uma cadeia de um colector comum seguido de um emissor comum.

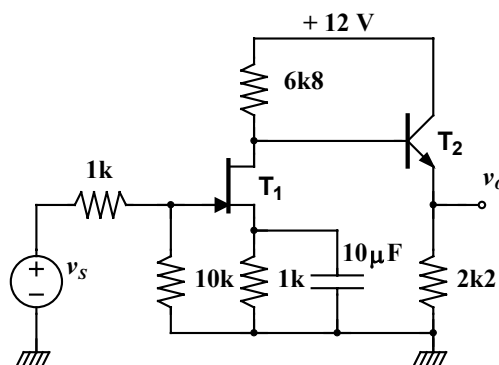


5. Considere o circuito ao lado figurado, em que:

$$T_1: \begin{matrix} K = 1 \text{ mA/V}^2 \\ V_t = -2 \text{ V} \\ C_{gd} = 5 \text{ pF} \\ C_{gs} = 20 \text{ pF} \end{matrix} \quad T_2: \begin{matrix} \beta_o = 100 \\ C_\pi = 100 \text{ pF} \\ C_\mu = 5 \text{ pF} \end{matrix}$$

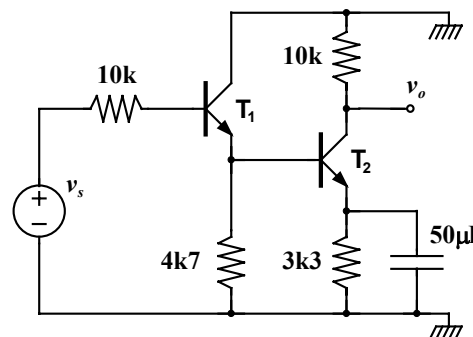
(*Recorde:  $g_m = I_C / V_T$ ;  $r_\pi = \beta_o / g_m$ ;  $I_D = K(V_{GS} - V_t)^2$* )

- Determine as polarizações, com  $v_s = 0$ .
- Determine, às BF (i.e., desde  $\omega = 0$  até às MF), os pólos e zeros de  $A_v = v_o / v_s$ , bem como o ganho para  $\omega = 0$  e para as MF.
- Determine a contribuição de  $T_1$  para o 1º pólo de AF, utilizando a aproximação do teorema de Miller com ganho às MF.
- Desenhe o diagrama de Bode da amplitude, desde as frequências próximas de zero até 4 vezes a frequência do 1º pólo às AF, considerando que este é o valor obtido em c), e indicando os valores relevantes, quer do ganho, quer das frequências dos pólos e zeros do circuito.
- Determine o zero introduzido por  $C_{gd}$ .



6. Considere o seguinte esquema equivalente para sinais de um amplificador, cujos transístores apresentam os seguintes parâmetros:  $\beta_o = 100$ ,  $C_\pi = 6 \text{ pF}$ ,  $C_\mu = 2 \text{ pF}$  e  $g_{m1} = g_{m2} = 20 \text{ mA/V}$ .

- Determine, às BF (i.e., desde  $\omega = 0$  até às MF), os pólos e zeros de  $A_v = v_o / v_s$ , bem como o ganho para  $\omega = 0$  e para as MF.
- Determine a contribuição de  $T_1$  para o 1º pólo de AF, utilizando o método das constantes de tempo.
- Determine a contribuição de  $T_2$  para o 1º pólo de AF, utilizando a aproximação do teorema de Miller com ganho às MF.
- A partir dos resultados obtidos nas alíneas anteriores, estime o valor do 1º pólo às AF. Desenhe, também, o diagrama de Bode da amplitude, desde as frequências próximas de zero até 2 vezes a frequência do 1º pólo às AF, e indicando os valores relevantes, quer do ganho, quer das frequências dos pólos e zeros do circuito. Se não tiver determinado os valores dos zeros e pólos, arbitre valores sensatos e desenhe, a partir deles, o diagrama de Bode.

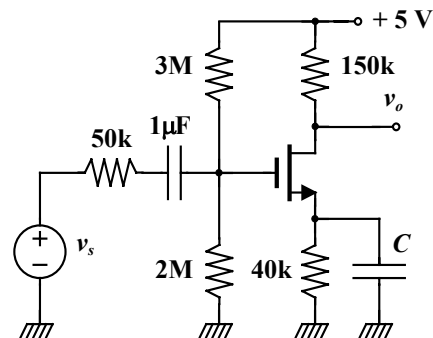


Soluções: a)  $\omega_z = 6,06 \text{ rad/s}$ ,  $\omega_p = 399 \text{ rad/s}$ ,  $A_M = -192$ ,  $A_L = -2,92$ ; b)  $\tau_{T1} = 20,6 \text{ ns}$ ; c)  $\tau_{T2} = 77,1 \text{ ns}$ ;

d)  $\omega_H = 10,2 \text{ Mrad/s}$ .

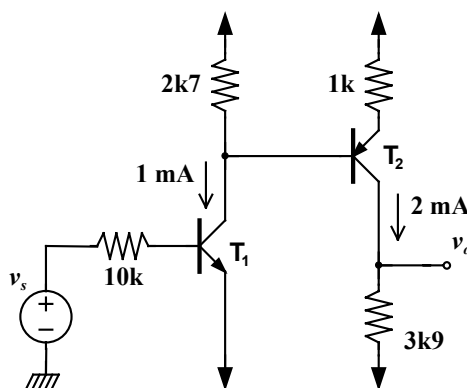
7. Considere o seguinte circuito amplificador, cujo transistor apresenta os seguintes parâmetros:  $K = 0,5 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_t = 1 \text{ V}$ ,  $C_{gs} = 5 \text{ pF}$  e  $C_{gd} = 1 \text{ pF}$ .

- Determine os valores das tensões e correntes do ponto de funcionamento estático do transistor e, ainda, o valor de  $g_m$ .
- Determine o valor da capacidade  $C$ , por forma que o zero que lhe está associado cancele o pólo do condensador de  $1 \mu\text{F}$ . Nessas condições, esboce o traçado, devidamente cotado, do diagrama de Bode da amplitude e fase do ganho  $A_v = v_o / v_s$ , desde  $\omega$  próximo de zero até às MF.
- Determine o valor da frequência  $\omega_H$ , usando a aproximação do teorema de ganho às MF.
- Determine os novos valores do ganho às MF e da frequência  $\omega_H$ , quando suprime o condensador  $C$ .



8. O circuito seguinte, cujos transistores têm  $\beta_o = 240$ ,  $C_\pi = 50 \text{ pF}$  e  $C_\mu = 1 \text{ pF}$ , representa o esquema, para sinais, em malha aberta de um amplificador realimentado.

- Só nesta alínea, admita que a resistência de  $1 \text{ k}\Omega$  é desacoplada por um condensador. Determine o valor que deverá ter a capacidade desse condensador por forma que a frequência inferior de corte a  $-3 \text{ dB}$  seja  $100 \text{ Hz}$ . Justifique.
- Determine a contribuição de  $T_1$  para o primeiro pólo, às altas frequências, usando o Teorema de Miller.
- Calcule a contribuição de  $T_2$  para o primeiro pólo, às altas frequências, usando o método das constantes de tempo.

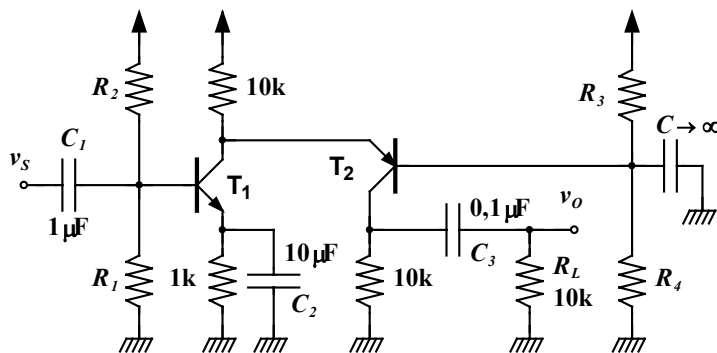


9. Considere o seguinte circuito amplificador para analisar às baixas e às altas frequências, em que a fonte de sinal tem uma resistência interna de  $1 \text{ k}\Omega$ , cujos transistores têm as características:

$$\begin{aligned} \beta_o &= 100 & V_A &\rightarrow \infty \\ I_C &= 1 \text{ mA} & f_T &= 100 \text{ MHz} \\ C_\mu &= 5 \text{ pF} \end{aligned}$$

e  $R_1 // R_2 = R_3 // R_4 = 50 \text{ k}\Omega$ , ( $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$ ).

- Determine o valor do ganho em tensão  $v_o / v_s$ , às médias frequências.
- Calcule uma estimativa da resposta às baixas frequências através da frequência inferior de corte,  $\omega_L$ , pelo método das constantes de tempo.
- Suponha que retira o transistor  $T_2$ , isto é, que liga o colector de  $T_1$  directamente à carga  $R_L$ . Determine a frequência superior de corte,  $\omega_H$ , do amplificador resultante. Para o amplificador completo, comente o efeito do segundo andar sobre a nova frequência superior de corte,  $\omega_H$ , justificando.



10. Considere o seguinte circuito, cujos transistores bipolares têm  $\beta_o = 200$  e o MOSFET tem  $K = 0,5 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_t = 1 \text{ V}$  e  $C_{gs} = C_{gd} = 2 \text{ pF}$ , sendo  $I_{D1} = 1,8 \text{ mA}$ ,  $I_{C2} = 1,4 \text{ mA}$  e  $I_{C3} = 12 \text{ mA}$ .

- Determine o valor do ganho em tensão  $v_o / v_i$ , às médias frequências.
- Admitindo que a resposta às BF é exclusivamente condicionada por  $C_2$ , esboce o traçado de Bode, devidamente cotado, da amplitude do ganho, na transição das BF para as MF, e indique o valor da frequência inferior de corte,  $\omega_L$ .
- Determine a contribuição de  $T_1$  para o primeiro pólo, às altas frequências.

