PROBLEMA 1 (2 puntos)

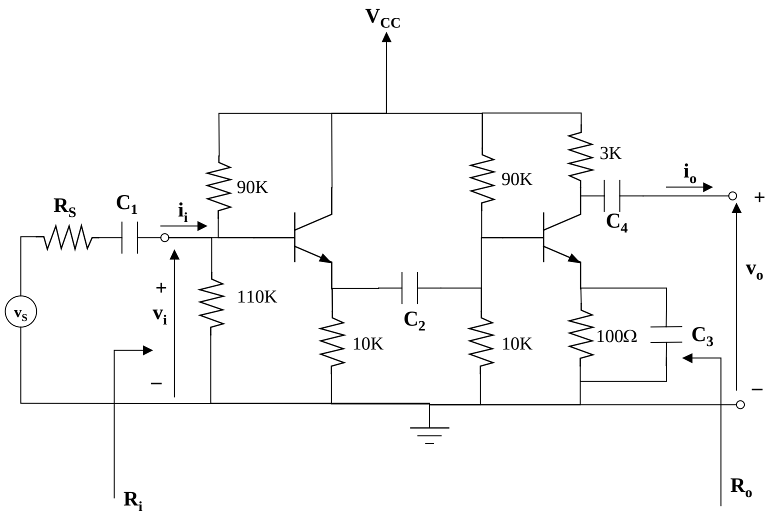
Dado el circuito de la figura, calcular los siguientes valores:

a) La ganancia de tensión ($A_V = v_o/v_i$), ganancia de corriente ($A_I = i_o/i_i$), resistencia de entrada y resistencia de salida a frecuencias medias. (1 punto)

b) La frecuencia de corte inferior. (1 punto)

Datos: $C_1 = 47\ \mu F$ $C_2 = 1\ \mu F$ $C_3 \to \infty$ $C_4 = 47\ \mu F$ $R_S = 5\ k\Omega$

Transistores idénticos: $h_{fe} = 100$ $h_{ie} = 3\ k\Omega$



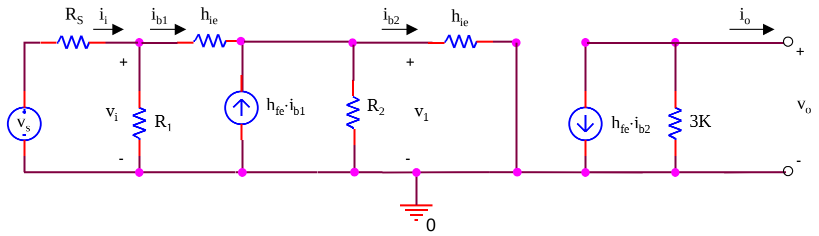
Solución apartado a)

A_V	A_I	R_i	R_o
-98,4	0	39,17 kΩ	3 kΩ

Solución apartado b)

f_L
68,6 Hz

a) El circuito equivalente a frecuencias medias es el siguiente:



$$R_1 = 110K // 90K = \frac{110 \cdot 90}{110+90} K = 49{,}5K \qquad R_2 = 10K // 10K // 90K = 5K // 90K = \frac{5 \cdot 90}{5+90} K = 4{,}73K$$

$$A_{V1} = \frac{v_1}{v_i}$$

$$v_1 = (1+h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie}); \qquad v_i = i_{b1} \cdot h_{ie} + v_1 = i_{b1} \cdot h_{ie} + (1+h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie})$$

$$A_{V1} = \frac{(1+h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie})}{i_{b1} \cdot h_{ie} + (1+h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie})} = \frac{(1+h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}{h_{ie} + (1+h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}$$

$$R_2 // h_{ie} = \frac{4{,}73 \cdot 3}{4{,}73+3} K = 1{,}83K$$

$$A_{V1} = \frac{(1+100) \cdot 1{,}83K}{3K + (1+100) \cdot 1{,}83K} = 0{,}984$$

$$A_{V2} = \frac{v_o}{v_1}; \qquad v_o = -h_{fe} \cdot i_{b2} \cdot 3K; \qquad v_1 = i_{b2} \cdot h_{ie}; \qquad A_{V2} = \frac{-h_{fe} \cdot i_{b2} \cdot 3K}{i_{b2} \cdot h_{ie}} = -\frac{h_{fe} \cdot 3K}{h_{ie}} = -100$$

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_i} = A_{V2} \cdot A_{V1} = -100 \cdot 0{,}984 = -98{,}4$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_i}; \qquad i_o = 0 \Rightarrow A_I = 0$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}; \qquad v_i = i_{b1} \cdot h_{ie} + v_1 = i_{b1} \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie})$$

$$i_i = \frac{v_i}{R_1} + i_{b1} = i_{b1} \cdot \frac{h_{ie}}{R_1} + i_{b1} \cdot \frac{(1 + h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}{R_1} + i_{b1}$$

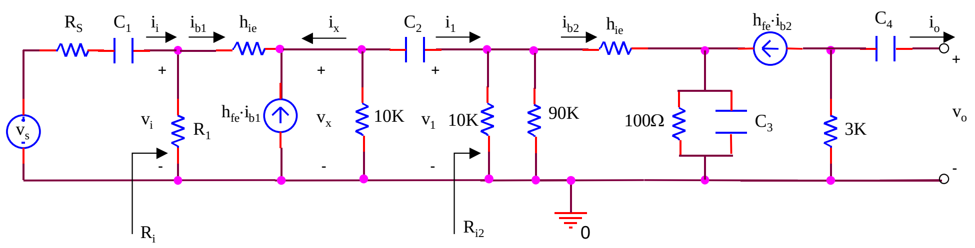
$$R_i = \frac{i_{b1} \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot i_{b1} \cdot (R_2 // h_{ie})}{i_{b1} \cdot \frac{h_{ie}}{R_1} + i_{b1} \cdot \frac{(1 + h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}{R_1} + i_{b1}} = \frac{h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}{\frac{h_{ie}}{R_1} + \frac{(1 + h_{fe}) \cdot (R_2 // h_{ie})}{R_1} + 1} = \frac{3K + (1 + 100) \cdot 1{,}83K}{\frac{3K}{49{,}5K} + \frac{(1 + 100) \cdot 1{,}83K}{49{,}5K} + 1} = 39{,}17K$$

$$R_o = 3K$$

b) A bajas frecuencias los condensadores C_3 y C_4 no imponen ningún límite a la frecuencia de corte inferior ya que al ser C_3 muy elevada y C_4 ver entre sus terminales una resistencia infinita entonces la frecuencia del polo que introducirían sería cero.

Los condensadores que van a limitar la respuesta a bajas frecuencias son C_1 y C_2. Ambos introducen un cero en el origen y un polo a una frecuencia que hay que calcular utilizando el método del polo dominante.

Por lo tanto, el circuito equivalente a bajas frecuencias sería el siguiente:



Se calcula la resistencia que ve el condensador C_1 desde sus terminales considerando el resto de condensadores cortocircuitos:

$$R_{C1} = R_S + R_i = 5K + 39{,}17K = 44{,}17K$$

Ahora se hace lo mismo con C_2:

$$R_{C2} = R_{i2} + (10K // R_x); \qquad R_{i2} = \frac{v_1}{i_1} = 10K // 90K // h_{ie} = 9K // 3K = 2{,}25K$$

$$R_x = \frac{v_x}{i_x}; \qquad i_x = -(1 + h_{fe}) \cdot i_{b1}; \qquad v_x = -i_{b1} \cdot h_{ie} - i_{b1} \cdot (R_S // R_1)$$

$$R_x = \frac{h_{ie} + (R_S // R_1)}{(1 + h_{fe})}; \qquad R_S // R_1 = \frac{5K \cdot 49{,}5K}{5K + 49{,}5K} = 4{,}54K; \qquad R_x = \frac{3K + 4{,}54K}{(1 + 100)} = 0{,}0746K$$

$$10K // R_x = \frac{10K \cdot 0{,}0746K}{10K + 0{,}0746K} = 0{,}07404K; \qquad R_{C2} = 2{,}25K + 0{,}07404K = 2{,}32K$$

Por último se calculan los polos de cada uno de los condensadores:

$$f_{p1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{C1} \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 44{,}17 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^{-6}} = 7{,}666 \cdot 10^{-2}\,Hz = 76{,}66mHz$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{C2} \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2{,}32 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 0{,}0686 \cdot 10^3\,Hz = 68{,}6Hz$$

Por lo tanto el polo del condensador C_2 es el dominante y es el que marca la frecuencia de corte inferior.