

Examen de Electrónica Avanzada 1
21/12/2022

Resolver cada problema en hojas separadas y utilizando solo una carilla de la hoja.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin material** e **individual**.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1: (38 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador con dos salidas (V_{o1} , V_{o2}) en el cual se puede controlar la relación entre las ganancias $(V_{o1}/V_{in})/(V_{o2}/V_{in})$ en función de la diferencia entre las tensiones de continua en las bases de Q1 y Q2 ($V_{BIAS1}-V_{BIAS2}$).

Para todo el problema, V_{BIAS1} y V_{BIAS2} son tales que la corriente total por Q1 es el doble de la que pasa por Q2, estando ambos transistores bipolares en zona activa y M1 saturado.

R_a es una resistencia de alto valor que permite que la tensión DC de gate de M1 se ajuste de acuerdo a la polarización deseada, despreciándose su efecto en la ganancia y en la respuesta en frecuencia del circuito.

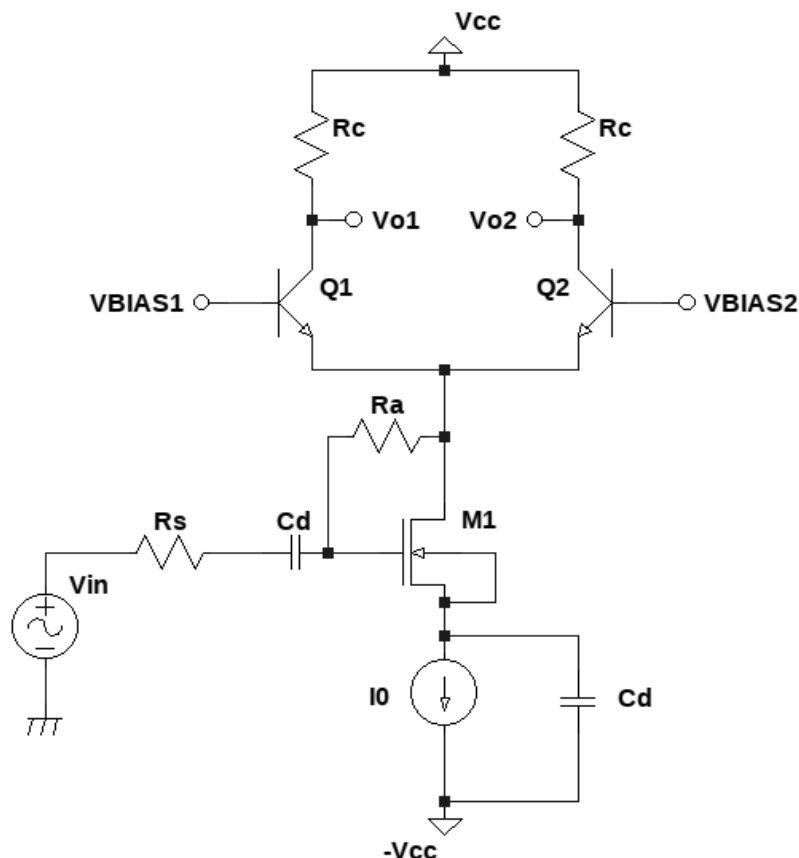
- Determinar las ganancias V_{o1}/V_{in} y V_{o2}/V_{in} .
- Determinar la frecuencia de caída de 3dB de la transferencia V_{o1}/V_{in} .
- ¿Como se compara la caída de 3dB de la transferencia V_{o2}/V_{in} respecto a la calculada en la parte anterior? Justificar.

Datos: Q1 y Q2: $C_{\mu} = 10$ pF, $C_{je} = 50$ pF, $f_T (@ 3 \text{ mA}) = 100$ MHz, $\beta = 200$,

M1: $\beta_M = 20 \text{ mA/V}^2$, $C_{ox} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ pF}/\mu\text{m}^2$, $W = 1000 \mu\text{m}$, $L = 5 \mu\text{m}$,

$C_{gs0v} = C_{gd0v} = 5 \times 10^{-3} \text{ pF}/\mu\text{m}$.

$R_s = 200 \Omega$, $R_c = 3.3 \text{ k}\Omega$, $I_o = 3 \text{ mA}$, $V_{cc} = 10\text{V}$, Cd condensadores de desacople.



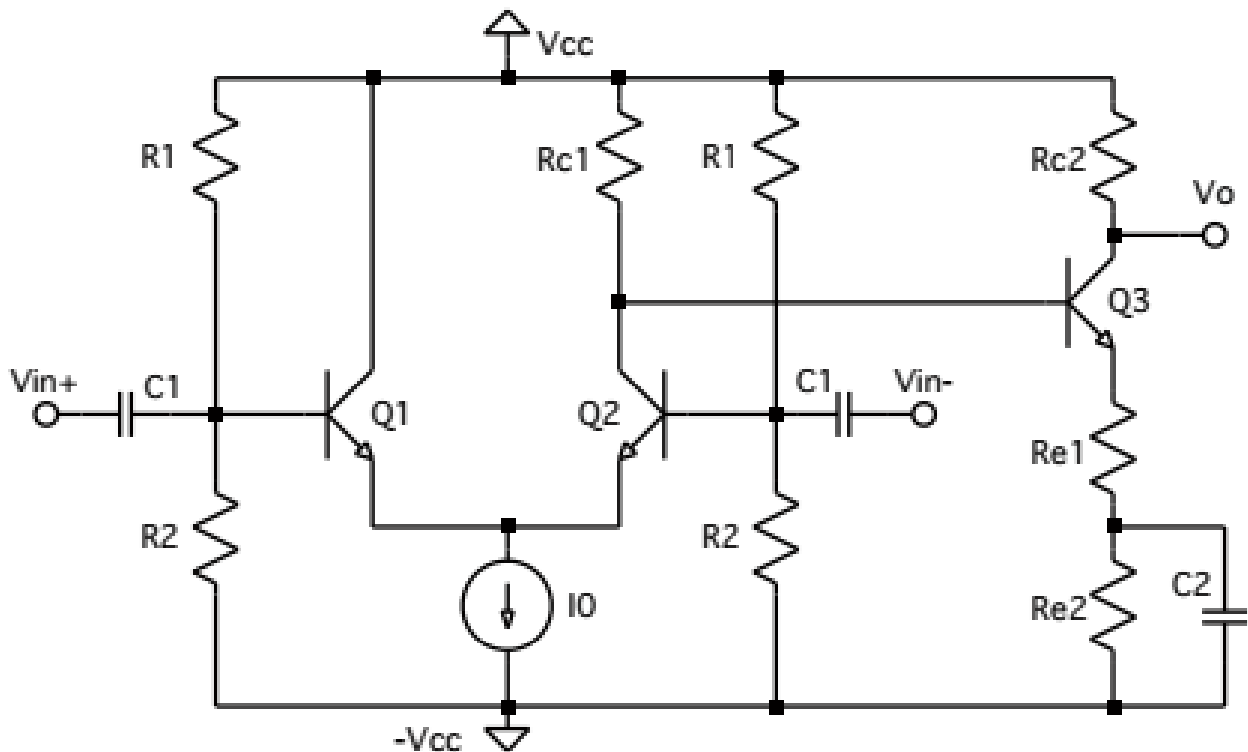
Problema 2: (36 puntos)

Considere el circuito de la figura cuyas entradas son V_{in+} y V_{in-}

- Calcular la resistencia de entrada diferencial en la banda pasante
- Calcular la ganancia diferencial $A_d = V_o / (V_{in+} - V_{in-})$ en la banda pasante
- Calcular la ganancia en modo común A_c y la relación de rechazo al modo común CMRR.
- Calcular los condensadores C_1 y C_2 para que la frecuencia de corte inferior sea de 200 Hz de modo tal que se minimice el valor de los condensadores.

Datos:

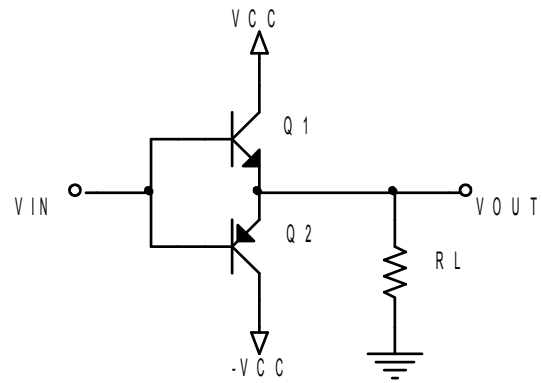
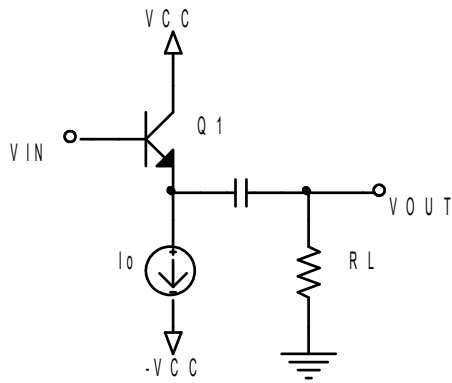
- Fuente de corriente: $I_o = 2 \text{ mA}$, resistencia de salida $R_o = 100 \text{ k}\Omega$
- Fuente de tensión: $V_{cc} = 10 \text{ V}$
- Q_1, Q_2, Q_3 idénticos: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $\beta = 100$, $V_{CEsat} = 0.3 \text{ V}$
- Resistencias: $R_1 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_{c1} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{c2} = 1.8 \text{ k}\Omega$, $R_{e1} = 120 \Omega$, $R_{e2} = 2.7 \text{ k}\Omega$



Pregunta : (26 puntos)

a) Para cada una de las etapas de potencia de la figura, determinar la máxima eficiencia que sería posible alcanzar en cada caso para una señal de entrada sinusoidal, indicando bajo que condiciones se alcanzaría esta eficiencia máxima. Suponer V_{BE} y $V_{CESAT} \ll V_{CC}$.

b) Bajo esas condiciones, determinar en ambos casos cómo se reparte la potencia de la fuente que no va a la carga (es decir en qué elementos se disipa y qué porcentaje se disipa en cada uno de ellos).



a) Análisis DC:

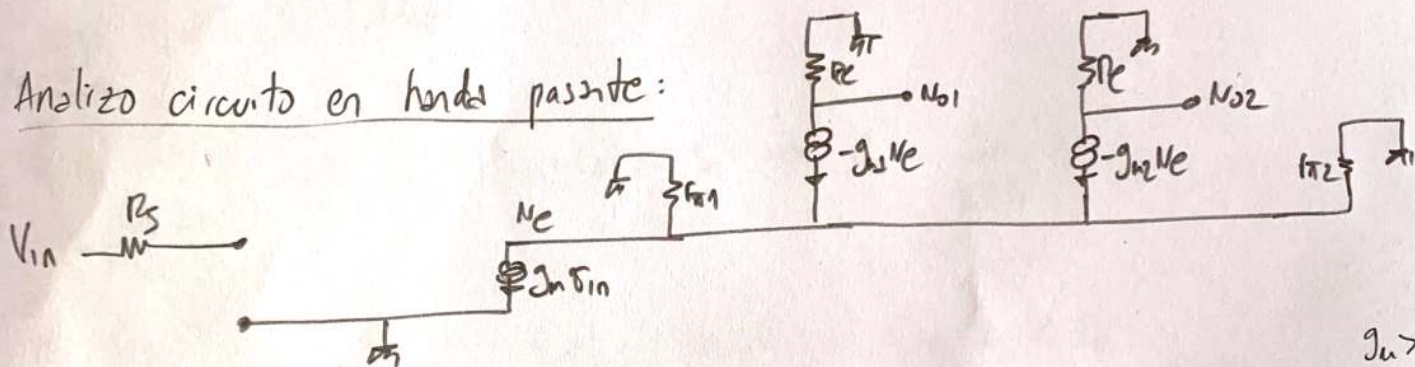
$$I_{D1} = I_0 = 3 \text{ mA} \Rightarrow g_m = \sqrt{2\beta_n I_0}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{CQ1} + I_{CQ2} = I_0 \\ \text{Por letra: } I_{CQ1} = 2 I_{CQ2} \end{array} \right\} \Rightarrow 3 I_{CQ2} = I_0 \Rightarrow I_{CQ2} = \frac{I_0}{3} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{CQ1} = \frac{2}{3} I_0 = 2 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow g_{m1} = \frac{2}{3} \frac{I_0}{V_T} \text{ y } g_{m2} = \frac{I_0}{3V_T}$$

Análisis circuito en ondas pasante:



$$g_m v_{in} = -\frac{v_{e1}}{r_{\pi 1}} - g_{m1} v_{e1} - \frac{v_{e2}}{r_{\pi 2}} - g_{m2} v_{e2} = -v_{e1} \left(\frac{1}{r_{\pi 1}} + g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 2}} + g_{m2} \right) =$$

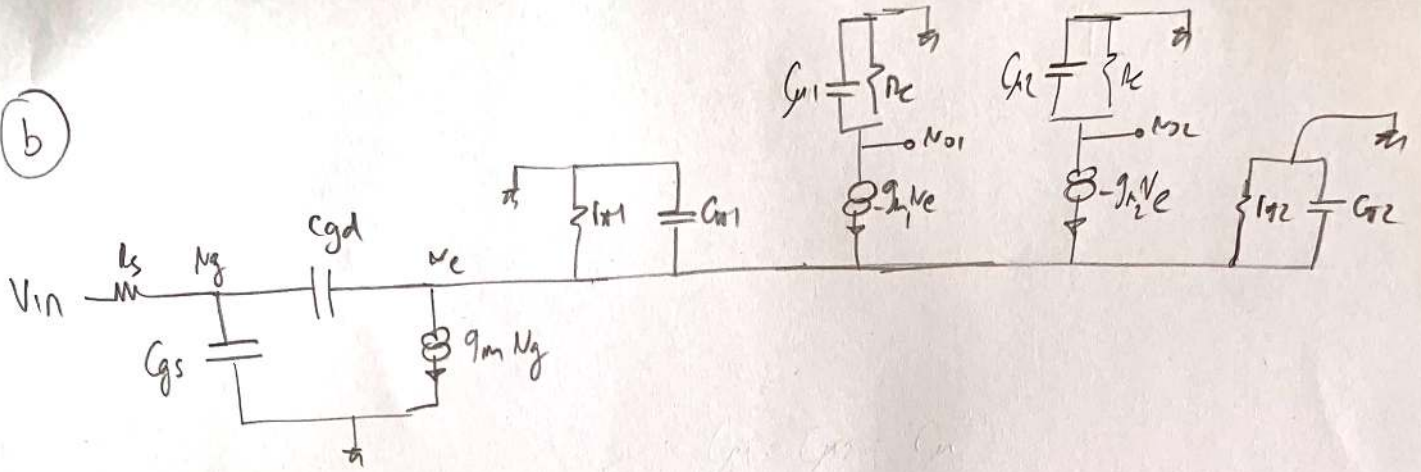
$$= -v_{e1} (g_{m1} + g_{m2}) \Rightarrow \frac{v_{e1}}{v_{in}} = \frac{-g_m}{g_{m1} + g_{m2}}$$

$$-g_{m1} v_{e1} = -\frac{v_{o1}}{R_C} \Rightarrow -\frac{v_{o1}}{R_C} = -g_{m1} v_{e1} \Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_{e1}} = \frac{-g_{m1} \cdot g_{m1} R_C}{g_{m1} + g_{m2}} = \frac{-\sqrt{2\beta_n I_0} \cdot \frac{2I_0}{3V_T} R_C}{I_0/V_T}$$

$$\Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_{e1}} = -\frac{2}{3} \sqrt{2\beta_n I_0} \cdot R_C \Rightarrow \boxed{\frac{v_{o1}}{v_{in}} = -24 \frac{V}{V}}$$

$$\text{Análisis logarítmico} = -\frac{v_{o1}}{v_{e1}} = -g_{m2} R_C \Rightarrow \frac{v_{o2}}{v_{e1}} = -\frac{1}{3} \sqrt{2\beta_n I_0} \cdot R_C \Rightarrow \boxed{\frac{v_{o2}}{v_{e1}} = -12 \frac{V}{V}}$$

b)



$$C_{gs} = C_{gs0} + \frac{2}{3} \omega L C_{ox} = 11,3 \text{ pF}$$

$$C_{gd} = C_{gd0} \cdot W = 5 \text{ pF}$$

$$C_{\mu 1} = C_{\mu 2} = C_{\mu} = 10 \text{ pF}$$

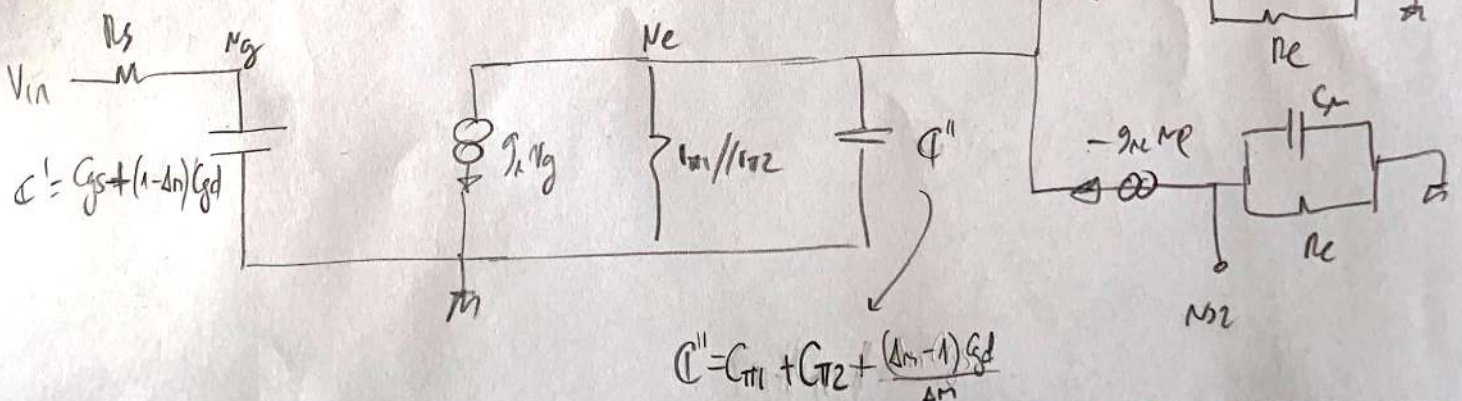
$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{gs} + C_{gd})} \Rightarrow 2\pi f_T (C_{gs} + C_{gd}) = g_m \Rightarrow C_T = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{gs} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_T |_{3\text{mA}} = \frac{3\text{mA}}{26\text{mV} \cdot 20\text{MHz}} - C_{gs} = 173 \text{ pF} = C_{je} + K I_{C} |_{3\text{mA}} \rightarrow$$

$$\Rightarrow K = 41,2 \text{ mF/A}$$

$$C_{T1} = C_T |_{2\text{mA}} = 132 \text{ pF} \quad \text{y} \quad C_{T2} = C_T |_{1\text{mA}} = 91 \text{ pF}$$

Aplica Miller a \$C_{gd}\$: $\Delta n = \frac{v_e}{v_{in}} = \frac{-g_m}{g_{m1} + g_{m2}} = \frac{\sqrt{2\beta I_{DQ}}}{I_{DQ}} \approx 0,1$



$$\textcircled{1} N_g = \frac{1/c's}{R_s + 1/c's} N_{in} = \frac{1/R_s c'}{s + 1/R_s c'} N_{in} \Rightarrow \frac{N_g}{N_{in}} = \frac{1/R_s c'}{s + 1/R_s c'} \quad \textcircled{I}$$

$$\textcircled{2} g_m N_g + \frac{N_e}{r_{\pi 1} // r_{\pi 2} // C''s} = -(g_{m1} + g_{m2}) N_e \Rightarrow$$

$$g_m N_g = -N_e \left(g_{m1} + g_{m2} + \frac{1}{r_{\pi 1} // r_{\pi 2}} + C''s \right) \approx -N_e (g_{m1} + g_{m2} + C''s)$$

$$\frac{N_e}{N_g} = \frac{-g_m s}{g_{m1} + g_{m2} + C''s} = \frac{-s/c''}{s + g_{m1} + g_{m2}/c''} \quad \textcircled{II}$$

$$\textcircled{3} -g_{m1} N_e = \frac{-N_{o1}}{R_e // C_{gs}} \Rightarrow \frac{N_{o1}}{N_e} = g_{m1} \cdot R_e // C_{gs} = g_{m1} \frac{R_e / C_{gs}}{R_e + 1/C_{gs}} =$$

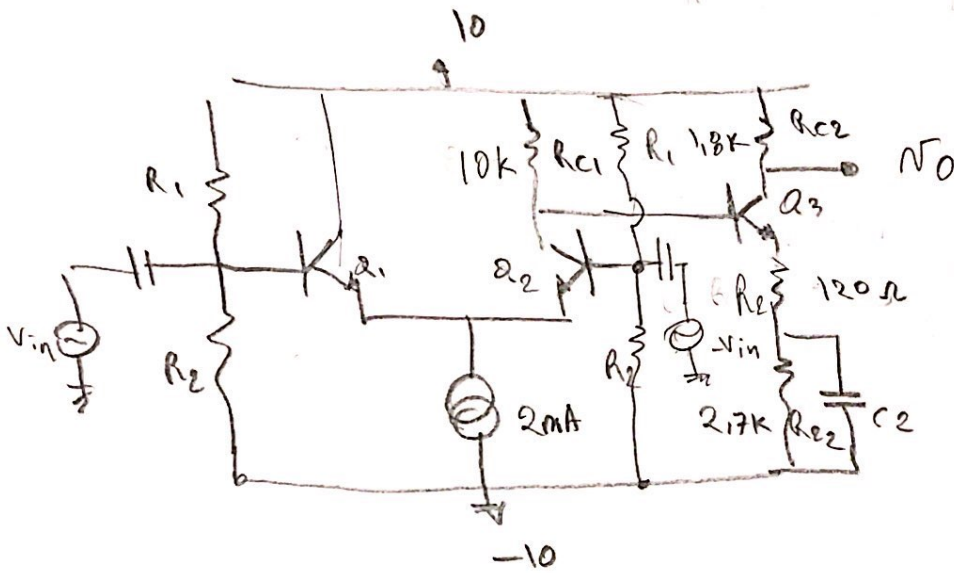
$$= g_{m1} \cdot \frac{1/C_{gs}}{s + 1/R_e C_{gs}} \Rightarrow \frac{N_{o1}}{N_e} = \frac{g_{m1}/C_{gs}}{s + 1/R_e C_{gs}} \quad \frac{N_{o2}}{N_e} = \frac{g_{m2}/C_{gs}}{s + 1/R_e C_{gs}} \quad \textcircled{III}$$

$$\textcircled{I} \Rightarrow f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_s c'} = \frac{1}{2\pi R_s (C_{gs} + (1-\Delta n) C_{gl})} = 37 \text{ kHz}$$

$$\textcircled{II} \Rightarrow f_{p2} = \frac{g_{m1} + g_{m2}}{2\pi (C_{\pi 1} + C_{\pi 2} + (\frac{\Delta n - 1}{\Delta n}) C_{gd})} = 65 \text{ kHz}$$

$$\textcircled{III} \Rightarrow f_{p3} = \frac{1}{2\pi R_e C_{gs}} = 4.3 \text{ kHz} \Rightarrow \boxed{f_p = 4.3 \text{ kHz}}$$

(d) La caída de 3dB para $\frac{V_{o2}}{V_{in}}$ no cambia respecto a $\frac{V_{o1}}{V_{in}}$ kg'
el polo vale lo mismo en ambos casos: $\frac{1}{2\pi R_e C_m}$



$$I_{C1} = I_{C2} = 1 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = 38 \text{ mS}, r_{\pi 1} = 2,6 \text{ k}\Omega$$

$$I_{C3} = \frac{V_{B3} - V_{BE} (-V_{CC})}{R_{ce1} + R_{ce2}} = \frac{9,3 \text{ V}}{2820 \Omega} = 3,3 \text{ mA}$$

$$g_{m3} = 127 \text{ mS}, r_{\pi 3} = 788 \Omega$$

$$a) \quad \hat{i}_i = \frac{\hat{v}_{in}}{R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi 1}} \Rightarrow \hat{v}_d = \frac{\hat{v}_d}{\hat{i}_i} = \frac{2 \hat{v}_{in}}{\hat{i}_i} = \underline{\underline{2(R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi 1})}} = \underline{\underline{2550}}$$

$$\hat{v}_d = \hat{v}_{in} - (-\hat{v}_{in}) = 2\hat{v}_{in} \Rightarrow \hat{v}_{in} = \frac{\hat{v}_d}{2}$$

$$b) \quad A_d = \frac{\hat{v}_o}{\hat{v}_{in} - \hat{v}_{in}} = \left(\frac{g_{m2}}{2} R_{ce1} \parallel R_{V_{B3}} \right) \left(\frac{-g_{m3} R_{ce2}}{1 + g_{m3} R_{ce1}} \right) = -1518$$

$$R_{V_{B3}} = r_{\pi 3} + \beta R_{ce1}$$

$$c) \quad A_c = \frac{\hat{v}_o}{\hat{v}_{cm}} = \frac{R_{ce1} \parallel R_{V_{B3}}}{2 R_o} \cdot \frac{-g_{m3} R_{ce2}}{1 + g_{m3} R_{ce1}} = -0,7$$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} = 66,7 \text{ dB}$$

$$d) f_{pc_1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_1 // R_2 // r_{\pi})}$$

1688

$$f_{pc_2} = \frac{1}{2\pi (R_{E1} // R_{E2}) \cdot C_2}$$

114Ω

Fijo el polo con C_2 de forma de obtener los capacitores más chicos

$$C_2 = \frac{1}{200 \text{ Hz} \cdot 2\pi \cdot R_{E1} // R_{E2}} = 6,9 \mu\text{F}$$

$$C_1 = \frac{1}{20 \text{ Hz} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1 // R_2 // r_{\pi}} = 6,2 \mu\text{F}$$