Examen de Electrónica 2
19/12/2016

Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es **sin** material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1: (40 puntos)

Calcular la capacidad vista desde el gate y la frecuencia a la que la ganancia en corriente (id/ig) vale 1 para:

a) El circuito de la Fig. a)
b) El circuito de la Fig. b) Se sugiere observar que Vgs1=Vgs2.
c) Explique cualitativamente porqué se tiene la relación hallada (mayor, menor o igual) en lo que refiere a los resultados de un circuito respecto al otro.

Datos: Todos los transistores son iguales con los datos siguientes: μ, Cox, W, L, Vt0, δ=0, VA=∞. VD, VGA y VGB son tales que los transistores operan en saturación.

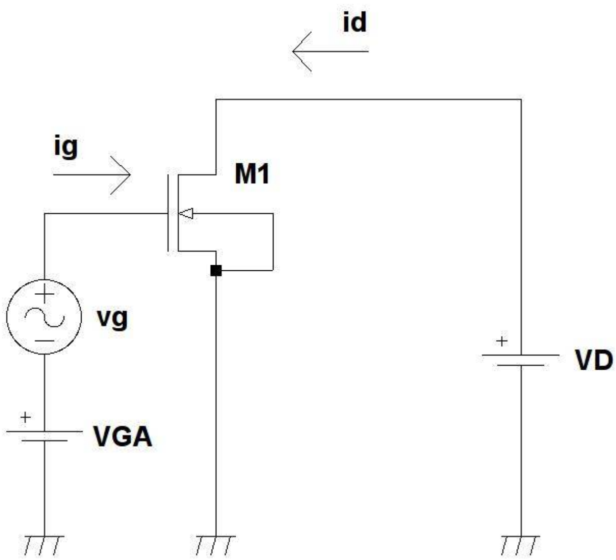


Figura a

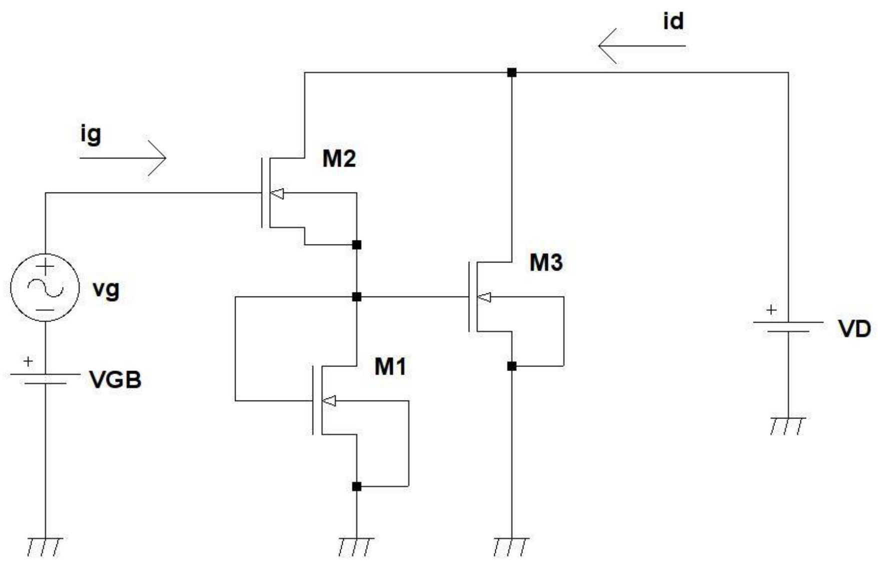
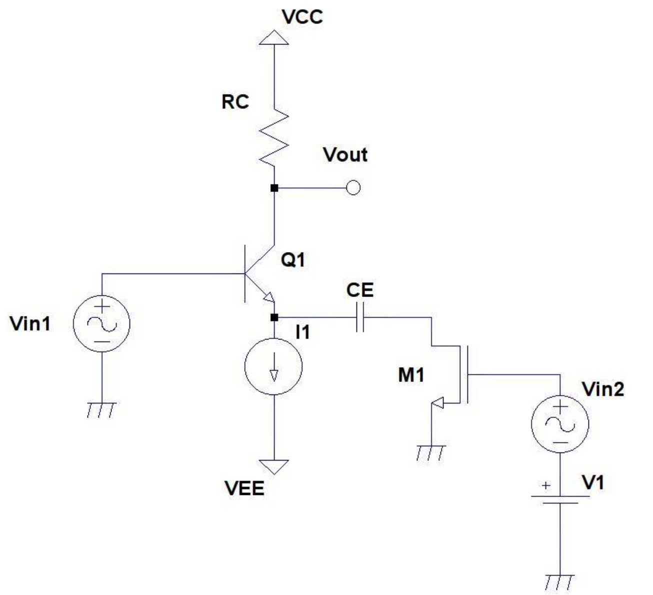


Figura b

Problema 2: (36 puntos)

En el circuito de la Figura:
a) Calcular las componentes en frecuencia que aparecen en la salida Vout y su amplitud en función de los parametros del circuito. Mostrar que M1 trabaja en zona lineal.
b) Estimar aproximadamente el mínimo valor de I1 para que el rango lineal para la entrada Vin1 sea adecuado para la amplitud A1 dada.

Datos:
Vin1 es una sinusoide de frecuencia f1 y amplitud A1 = 200mV y Vin2 es una sinusoide de frecuencia f2 y amplitud A2 = 500mV.
Q1: β_{BJT} = 200, VBE = 0,7 V, VA=∞.
M1:β_{MOS} = 5mA/V^2, V_{T0} = 1V, δ=0, VA=∞.
V1= 2V, I1= 2 mA, VCC = -VEE = 5 V, CE = ∞, RC = 2kΩ.

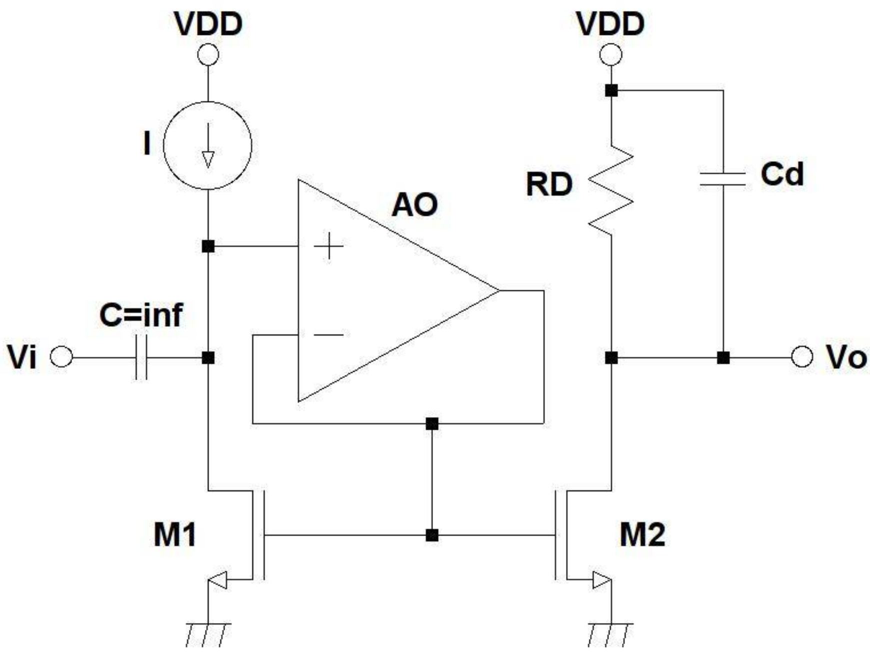


Pregunta : (24 puntos)

Considere el circuito de la Figura, donde A0 es ideal salvo que presenta voltaje y corriente de ruido equivalente a la entrada (Vni e Ini) y se puede despreciar el ruido que aportan M1 y M2.

1) Determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida Vo

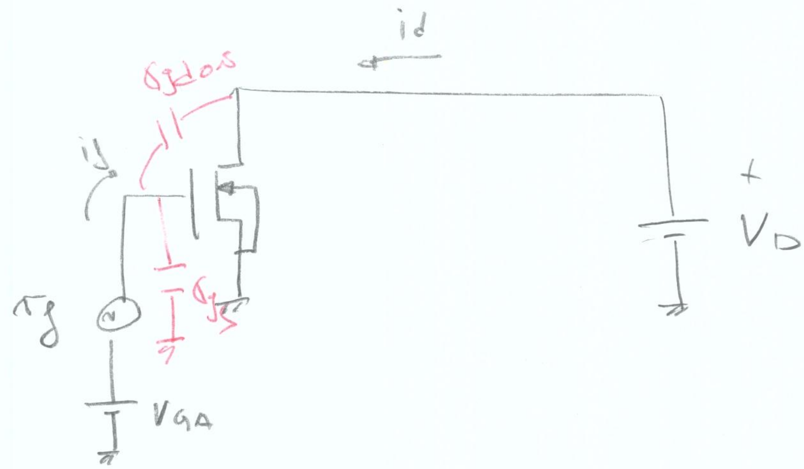
2) Cuál es la mínima señal de entrada admisible si se quiere que el ruido que introduce el circuito sea 10 veces menor que la señal de entrada.



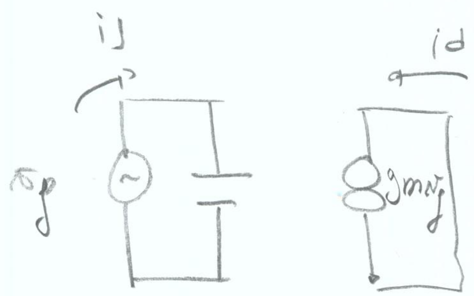
Problema 1

G. A

a)



$C_{gd\,ov} = 0$ (Hp: $L_{ov} = 0$)



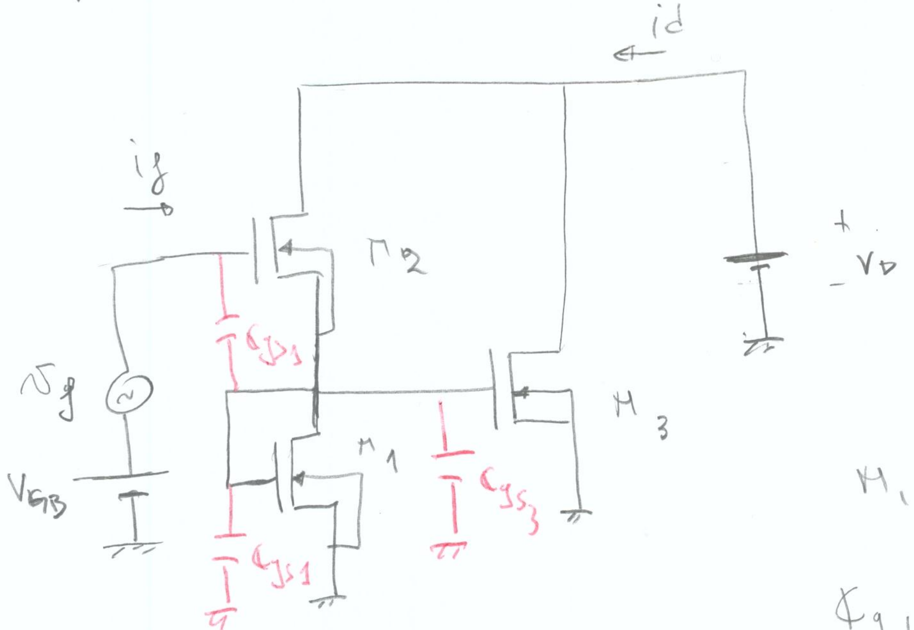
$$\underline{C_{vista\,A} = C_{gs1}}$$

$$i_d = g_m v_g \quad , \quad i_g = s\, C_{gs}\, v_g$$

$$\Rightarrow \quad \frac{i_d}{i_g}(j\omega) = \frac{g_m}{(j\omega)\, C_{gs}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{f_{T_A} = \frac{g_m}{2\pi\, C_{gs}}}$$

b)

9. A

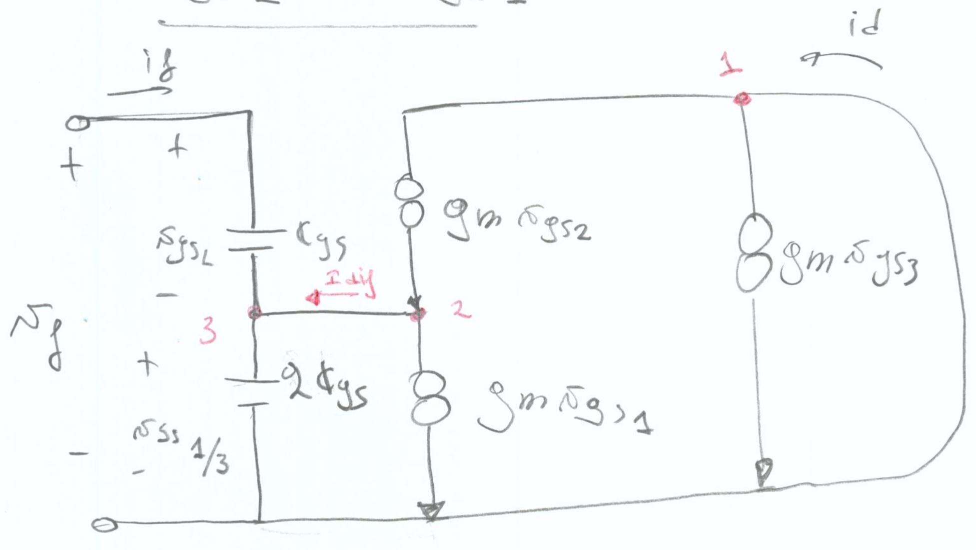


M_1, M_2 y M_3 iguales

$$C_{gdi_{TOTAL}} = \underbrace{C_{gd}}_{\substack{= \\ 0 \\ \text{(saturación)}}} + \underbrace{C_{gd\,ov}}_{\substack{\downarrow \\ L_{ov} = 0 \\ \text{(Aprox)}}}$$

Primera solución:

$\Rightarrow$ Sin utilizar simplificación "$v_{gs2} = v_{gs1}$"



$$i_g = v_{gs2}\, C_{gs}\, s$$

$$id = gm\, v_{gs3} + gm\, v_{gs2} = gm\, v_g \quad (1)$$

$$\left.\begin{array}{l} gm\, v_{gs2} = gm\, v_{gs1} + I_{dif} \quad (2) \\ v_{gs2}\, C_{gs}\, s + I_{dif} = 2 C_{gs}\, v_{gs3} \quad (3) \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad v_{gs_3} = v_{gs_2} \cdot \frac{g_m + C_{gs}\, s}{g_m + 2 C_{gs}\, s}$$

$$\Rightarrow \quad v_g = v_{gs_2} \left(\frac{2 g_m + 3 C_{gs}\, s}{g_m + 2 C_{gs}\, s} \right)$$

$$v_{gs2} = \frac{i_g}{s C_{gs}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{i_d}{i_g} = \frac{g_m}{s\, C_{gs}\, \cancel{v_{gs_2}}} \cdot v_{gs_2} \left(\frac{2 g_m + 3 C_{gs}\, s}{g_m + 2 C_{gs}\, s} \right)$$

$$\frac{i_d}{i_g}(j\omega) = \frac{g_m}{(j\omega)\, C_{gs}} \left(\frac{2 g_m + 3 C_{gs} (j\omega)}{g_m + 2 C_{gs} (j\omega)} \right)$$

$$\overline{\overline{Z}}_{C_{vista}} = \frac{v_g}{i_g}(j\omega) = \frac{1}{(j\omega)\, C_{gs}} \cdot \underbrace{\left(\frac{2 g_m + 3 C_{gs} (j\omega)}{g_m + 2 C_{gs} (j\omega)} \right)}_{H(j\omega)}$$

$$H(j\omega) = \frac{\left(2 g_m + 3 C_{gs} (j\omega) \right) \left(g_m - 2 C_{gs} (j\omega) \right)}{|H(j\omega)|}$$

$$\left.\begin{aligned} H(j\omega) &= \frac{2 g_m^2 + 6 C_{gs}^2 \omega^2}{|H|} - \frac{g_m C_{gs} (j\omega)}{|H|} \\ |H| &= g_m^2 + 4 C_{gs}^2 \omega^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

G. A

$$\mathrm{Im}\,(Z_{vista}) = \frac{1}{(j\omega)\,C_{gs}} \left(\frac{2\,g_m^2 + 6\cdot C_{gs}^2\,\omega^2}{g_m^2 + 4\,C_{gs}^2\,\omega^2} \right) \xrightarrow[\text{Alta frec}]{}$$

$$\longrightarrow \frac{1}{j\omega\,C_{gs}\cdot\frac{2}{3}} \Rightarrow \boxed{C_{vista} = \frac{2}{3}\,C_{gs}}$$

(se aproxima)

Análogamente,

$$\frac{i_d}{i_f}(j\omega) \cong \frac{g_m}{(j\omega)\,C_{gs}} \cdot \frac{3}{2} \Rightarrow \boxed{f_{T_b} \cong \frac{3}{2}\,\frac{g_m}{2\pi\,C_{gs}}}$$

Ahora supomiendo $v_{gs1} = v_{gs2}$

$\Rightarrow$ 1º camino:

$$g_m\,v_{gs2} = g_m\,v_{gs1}$$

$$\Rightarrow I_{dif} \equiv 0$$

$$\Rightarrow \boxed{C_{vista} = \frac{C_{gs} \times 2\,C_{gs}}{2\,C_{gs} + C_{gs}} = \frac{2}{3}\,C_{gs}.}$$

$$\left.\begin{aligned} i_f &= v_f\cdot\frac{2}{3}\,C_{gs}\,s \\ i_d &= g_m\,v_f \end{aligned}\right\} \frac{i_d}{i_f} = \frac{3}{2}\,\frac{g_m}{s\,C_{gs}} \Rightarrow$$

$$\boxed{f_{T_b} \cong \frac{3}{2} \frac{g_m}{2\pi C_{gs}}}$$

<u>2do Camino:</u>

$$v_{gs_2} = \frac{v_g}{2} \Rightarrow i_g = \frac{v_g}{2} C_{gs}(j\omega)$$

$$\Rightarrow \boxed{C_{vista_A} = \frac{C_{gs}}{2}}$$

$$\frac{i_d}{i_g} = \frac{2 g_m}{s C_{gs}} \Rightarrow \boxed{f_{T_b} = \frac{\cancel{2} g_m}{\cancel{2}\pi C_{gs}}}$$

c) AL estar M_1 y M_2 en serie se reduce la capacidad vistA y con M_3 se logra mantener el mismo g_m, eso explica el aumento de f_T. $(f_{T_b} > f_{T_a})$

ELECTRÓNICA 2 - EXAMEN 12/2016

(a) En DC $I_{DM1} = 0$ y $V_{GS} = V_1 = 2V \Rightarrow$ M1 en zona lineal y $V_{DS} = 0$

Si Q_1 seguidor : $r_{\pi 1} \ll \beta_B R_{M1}$ (H1) $\Rightarrow$

$$\Rightarrow i_{DM1} = \beta_M \left[(v_{GS} - V_{to}) v_{in1} - \frac{v_{in1}^2}{2} \right] \Bigg\} \Rightarrow$$

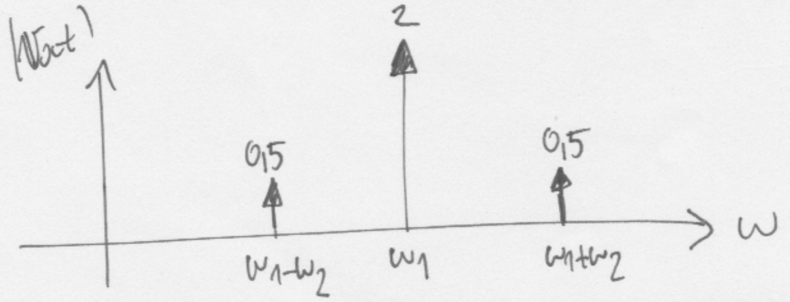
Si $\dfrac{v_{in1}^2}{2} \ll (v_{GS} - V_{to}) v_{in1}$ (H2)

$$\Rightarrow R_{M1} = \frac{1}{\beta_M (v_{GS} - V_{to})} = \frac{1}{\beta_M (v_{in2} + V_1 - V_{to})}$$

Por (H1): $\dfrac{v_{out}}{v_{in1}} = -\dfrac{R_C}{R_{M1}} = -R_C \beta_M (v_{in2} + V_1 - V_{to}) \Rightarrow$

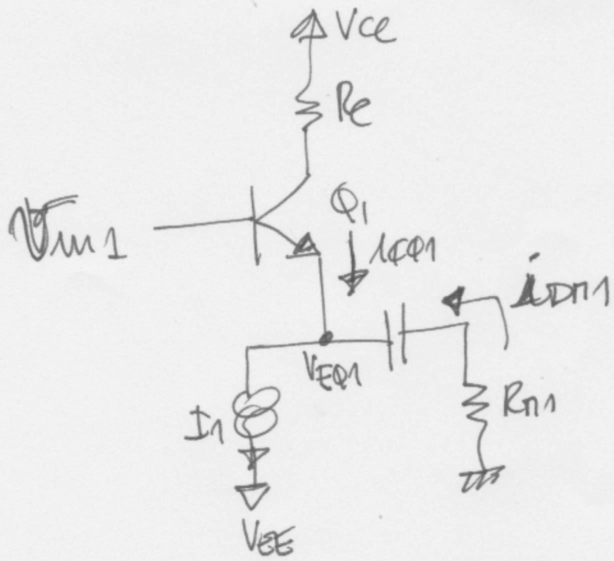
$$\Rightarrow v_{out} = -R_C \beta_M (V_1 - V_{to}) v_{in1} - R_C \beta_M v_{in1} \cdot v_{in2}$$ $\rightarrow$ MULTIPLICADOR!

$$\Rightarrow v_{out} = -R_C \beta_M (V_1 - V_{to}) \Delta_1 \operatorname{sen}(\omega_1 t) - R_C \beta_M \Delta_1 \Delta_2 \underbrace{\operatorname{sen}(\omega_1 t) \operatorname{sen}(\omega_2 t)}_{= \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] - \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 + \omega_2)t]}$$



J.

(b)



Para que el circuito funcione correctamente: $i_{CQ1} > 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow i_{CQ1} = I_1 + i_{Dm1} > 0 \Rightarrow I_1 > i_{Dm1} \quad (*)$$

$$\left.\begin{array}{l} R_{m1} = \dfrac{1}{\beta_n(v_{in2} + V_1 - V_{t0})} \\ -0{,}5 \leq v_{in2} \leq 0{,}5\,V \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} 133\,\Omega \leq R_{m1} \leq 400\,\Omega \\ V_{EQ1} = -0{,}7\,V, \ |i_{Dm1}| = \left|\dfrac{V_{EQ1}}{R_{m1}}\right| \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow 1{,}75\,mA \leq |i_{Dm1}| \leq 5\,mA \Rightarrow$ el peor caso: $i_{Dm1} \geq 1{,}75\,mA$

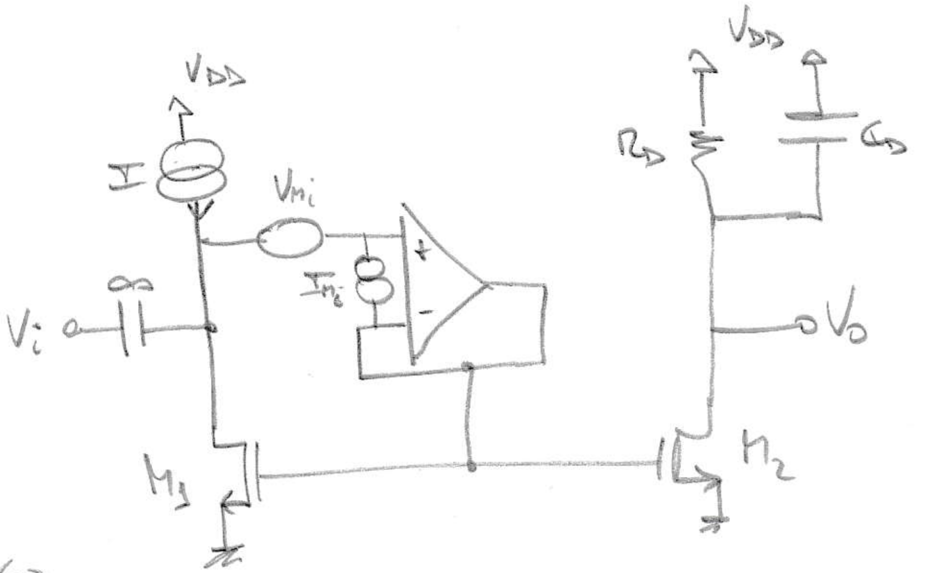
$(*)\ I_1 > i_{Dm1} \Rightarrow \boxed{I_1 > 1{,}75\,mA}$

Además:

(H1) $r_{\pi 1} \ll \beta_B R_{m1} \Leftrightarrow 1/g_{mQ1} \ll R_{m1} \Leftrightarrow 15\,\Omega \ll 400\,\Omega$ ✓ se cumple

(H2) $\dfrac{v_{in1}^2}{2} \ll (v_{GS} - V_{t0})\,v_{in1} \Leftrightarrow v_{in2} \ll 2\,(v_{GS} - V_{t0}) = 2$ se cumple pues $v_{in2}^{max} = 200\,mV$

EXAMEN ELECTRÓNICA 2 DIC/2016



Transferencia

$V_o(s) = -g_{m_2} Z_D V_i(s)$

$Z_D(s) = \dfrac{R_D}{1 + R_D C_D s}$

$H(s) = -\dfrac{g_{m_2} R_D}{1 + s/\omega_p}$: LPF $\Downarrow$ $\left(B = \frac{\pi}{2} f_p\right)$

$\omega_p = \dfrac{1}{R_D C_D}$

$\Rightarrow \boxed{B = \dfrac{1}{4 R_D C_D}}$

Ancho de banda equivalente de ruido

(a)

Uso superposición:

V_{n_i} : $S_{n_o} = S_{V_{n_i}} |H(s)|^2$

I_{n_i} : $S_{n_o} = S_{I_{n_i}} |Z_D(s)|^2$ (espejo M1 → M2)

$\Rightarrow S_{n_o} = S_{V_{n_i}} |H(s)|^2 + S_{I_{n_i}} |Z_D(s)|^2$

$$\left.\begin{aligned} |H(0)|^2 &= g_{m_2}^2 R_D^2 \\ Z_D(s) &= \frac{H(s)}{g_{m_2}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow S_{n_o} = \underbrace{|H(s)|^2}_{\text{LPF}} \overbrace{\left(S_{V_{n_i}} + S_{I_{n_i}}/g_{m_2}^2\right)}^{\text{cte a frec}} \qquad V_{n_o}^2 = \int_0^\infty S_{n_o}\, df$$

$$\Rightarrow V_{n_o}^2 = |H(0)|^2 \left(S_{V_{n_i}} + \frac{S_{I_{n_i}}}{g_{m_2}^2}\right) \cdot B$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{n_o} = \sqrt{\frac{g_{m_2}^2 R_D}{4 C_D} \left(S_{V_{n_i}} + \frac{S_{I_{n_i}}}{g_{m_2}^2}\right)}}$$

(b) $V_{n_{i\,rms}}^2 = \dfrac{V_{n_o}^2}{|H(0)|^2} \Rightarrow V_i > 10\, V_{n_{i\,rms}}$

$$\Rightarrow \boxed{V_i > 10 \sqrt{\frac{S_{n_i} + S_{I_{n_i}}/g_{m_2}^2}{4 R_D C_D}}}$$