

1^{er} Parcial de Electrónica 2
24/09/2016

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 (36 ptos):

Para el circuito de la figura calcule:

- 1) Impedancia de entrada en banda pasante.
- 2) Ganancia V_{out}/V_{in} en banda pasante.
- 3) Frecuencia de corte superior.
- 4) ¿Qué carga capacitiva debe manejar el amplificador operacional U1 en la banda pasante?

Datos:

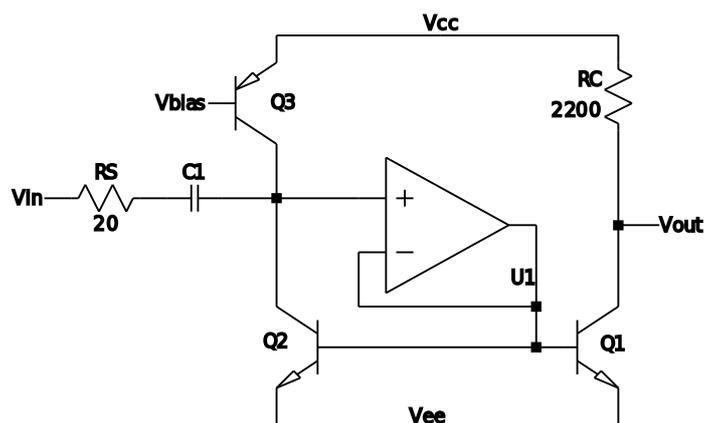
U1: amplificador operacional ideal

$C_1 = \infty$

Q1, Q2: $C_{\mu} = 2\text{pF}$, $C_{JE} = 1\text{pF}$, $f_{T@10\text{mA}} = 1.5\text{GHz}$, $\beta = 200$, $V_{BE} = 0.7\text{V}$, $V_A = \infty$

Q3: $C_{\mu} = 2\text{pF}$, $C_{JE} = 1\text{pF}$, $f_{T@10\text{mA}} = 1\text{GHz}$, $\beta = 200$, $V_{EB} = 0.7\text{V}$, $V_A = \infty$

Vbias es tal que $I_{CQ3} = 5\text{mA}$ (Corriente de colector de Q3 en DC), $V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{V}$



Figura

Problema 2 (36 ptos):

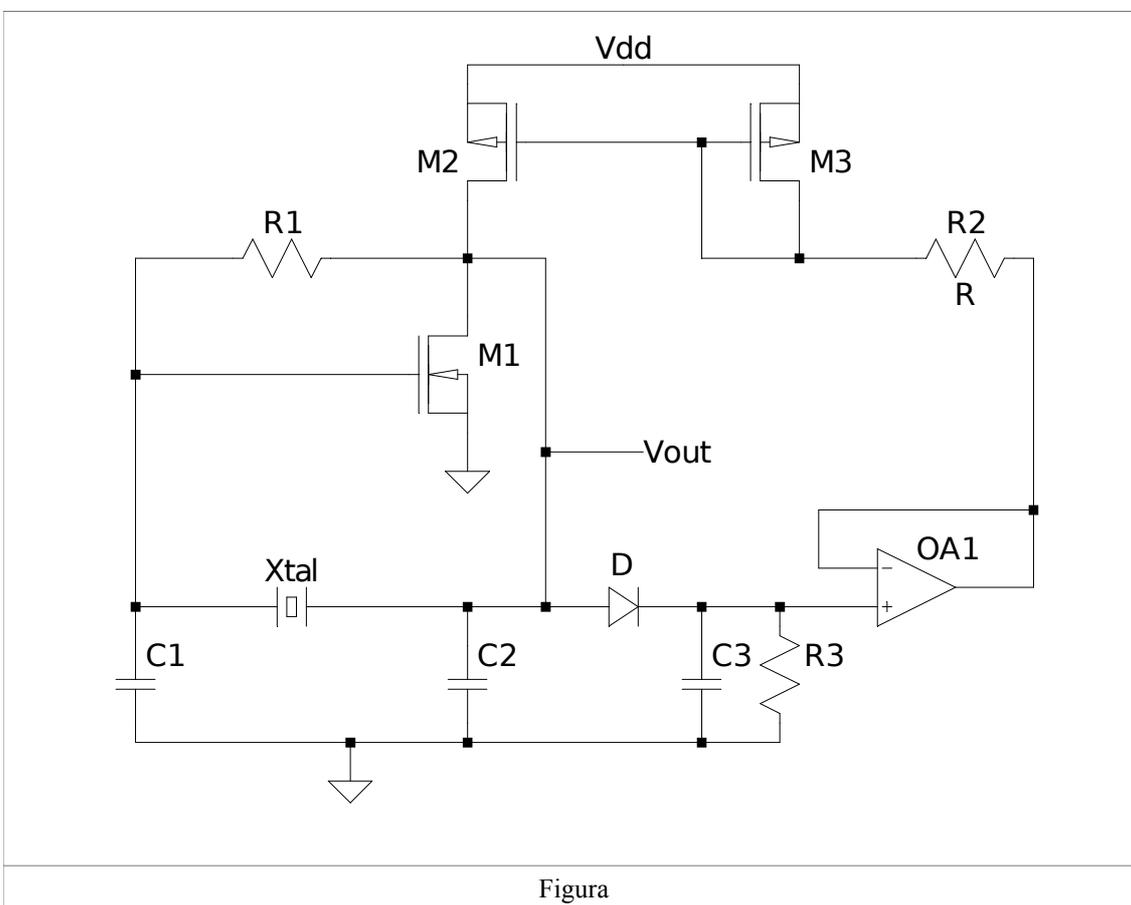
En el oscilador de la figura, R1 es una resistencia de valor muy alto que permite polarizar el gate de M1 y que se supondrá infinita a los efectos de la señal. La amplitud de la señal se supondrá tal que los transistores operan en pequeña señal y en saturación. El amplificador OA1 se considerará ideal. El cristal se modela con una impedancia $R+jX$. D1, C3 y R3 son tales que en bornes de R3 se tiene la amplitud de pico de V_{out} .

- a) Determinar la frecuencia, condición de oscilación y condición de arranque en función de la corriente de drain del transistor M2: I_{DM2} .
- b) Si el cristal utilizado tiene el siguiente modelo: $r_{serie}=100\text{ohm}$, $L=520\text{mHy}$, $C_{serie}=0.012\text{pF}$, $C_{paralelo} = 4\text{pF}$, indicar en que rango de frecuencias se encontrará la frecuencia de oscilación.
- c) Calcular la tensión en V_{out} cuando el oscilador no arrancó (amplitud de las oscilaciones es nula).
- d) Calcular la amplitud de pico de la oscilación en función de los parámetros R y X antes mencionados del cristal (suponer que los valores de los componentes son tales que se cumple la condición de arranque y de oscilación).

Datos:

Transistores: $\beta_n = (\mu C_{ox} W/L)_n = (\mu C_{ox} W/L)_p = \beta_p$, $V_{ton} = |V_{top}| = V_{to}$, $\delta_n = \delta_p = 0$, $V_{An} = V_{Ap} = \infty$.

Diodo: $V_\gamma = 0$



Figura

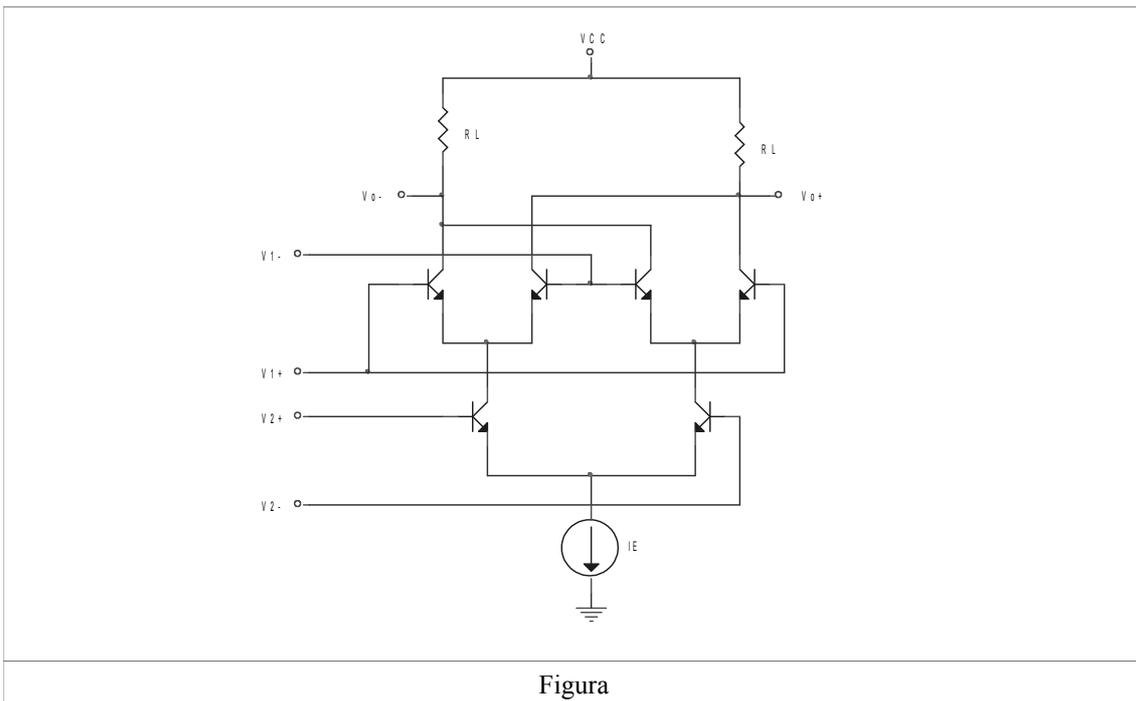
Problema 3 (28 ptos):

El circuito de la figura es un multiplicador de Gilbert. En lo que sigue $V_o = (V_{o+} - V_{o-})$, $V_1 = (V_{1+} - V_{1-})$, $V_2 = (V_{2+} - V_{2-})$.

- Hallar la relación $V_o = f(V_1, V_2)$ a baja frecuencia del circuito.
- Dimensionar R_L e I_E para que $V_o = 2000 \cdot V_1 \cdot V_2$.
- Para los valores calculados en b), hallar la condición que debe cumplir el modo común de las entradas para que todos los transistores trabajen en zona activa. Asumir que la fuente de corriente está construida con un transistor idéntico a los demás, la fuente de alimentación es $V_{CC} = 15V$ y $V_{CEsat} = 0.3V$

Datos:

- Todos los transistores son idénticos con $V_A = \infty$.



11TA Frecuencia -

G-D

Datos: $-V_{SS} = V_{DD} = 15V$

Q_1/Q_2 : $C_{M1} = 2pF$ $\beta = 200$ $V_A = \infty$

$C_{JE} = 1pF$ $V_{BE} = 0.7V$

$I_T = 1.5 \mu A @ 10mA$

Q_3 : $C_{M3} = 2pF$, $C_{JE} = 1pF$ $\beta = 2000$ $V_A = \infty$

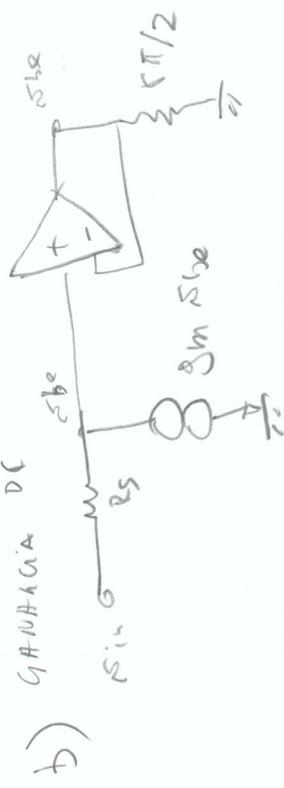
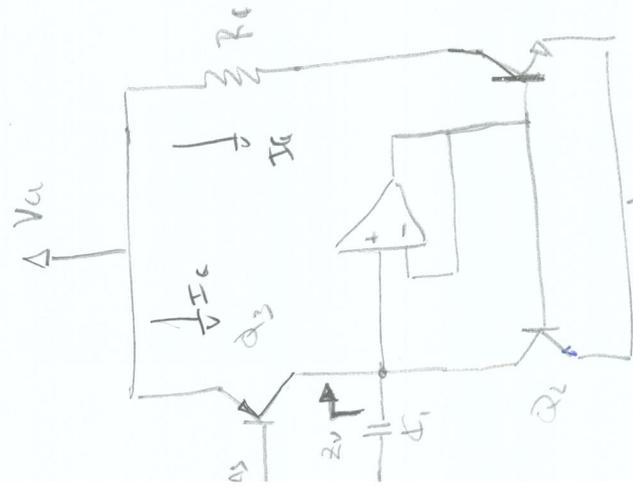
$I_T = 1 \mu A @ 10mA$

$V_{bits} / I_{EQ3} = 5mA$

$R_S = 20$ $R_C = 2.2 k\Omega$

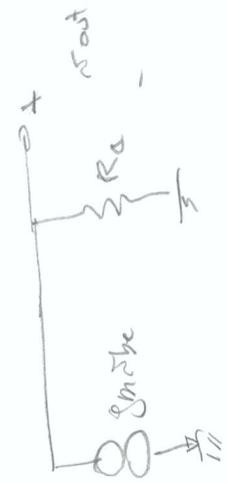
a) Z_V ?

$$Z_V = 1 / g_m \approx 5.2 \Omega \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 0.192$$



$$R_{out} = -R_C g_m r_{be}$$

$$R_{in} = \frac{r_{be}}{R_S} = g_m r_{be}$$

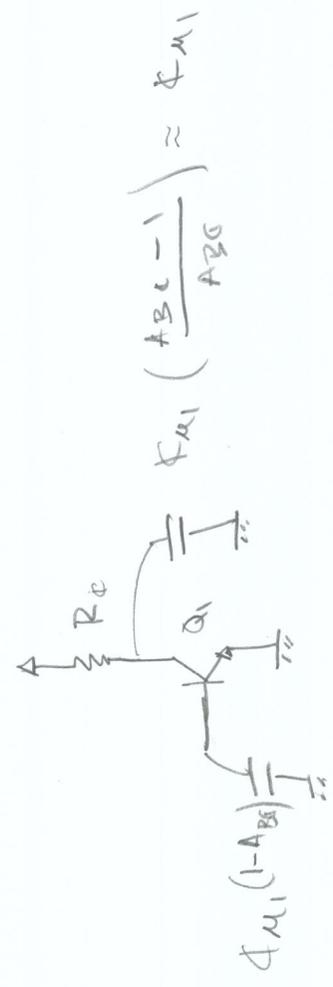


$$\frac{R_{out}}{R_{in}} = - \frac{R_C g_m}{1 + R_S g_m} = - \frac{R_C}{1/g_m + R_S} \approx -87.3\%$$

* Factor Miller

ABC : ganancia entre (B) y (C)

$$\frac{V_o}{V_{be}} = -R_c g_m \approx -423 \text{ V/V} \gg \gg 1$$



f) ¿Qué capacidad maneja V1?

$f_{\pi 3}$: No importa, que da entre tierra y tierra en REAL

$f_{\mu 3}$: que da en la entrada

$f_{\mu 2}$: No importa porque $V_A = V_B$ (seguido de voltaje)

$f_{\mu 1}$: Pasa X Miller a la salida y Pasa Multiplificada $\times (1-ABC)$ entre base Q1 y GND.

$$\Rightarrow f_T = f_{\pi 1} + f_{\pi 2} + f_{\mu 1}(1-ABC)$$

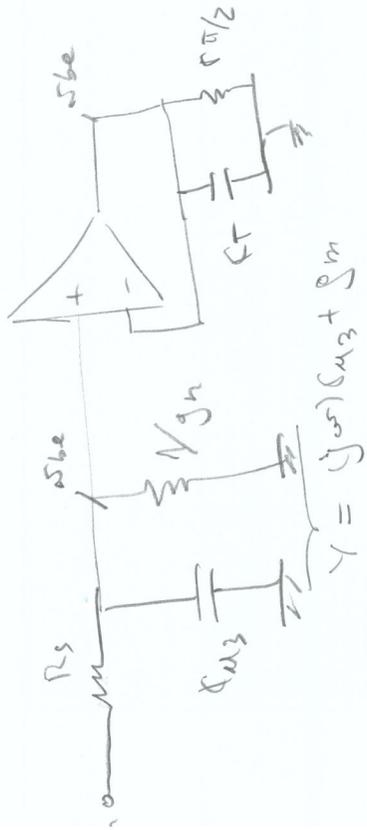
$f_{\pi 1,2} @ 10 \text{ mA}$:

$$f_{\pi @ 10 \text{ mA}} = \left\{ \begin{aligned} & f_{je} + k, 10 \text{ mA} \\ & \Rightarrow f_T = \frac{g_m @ 10 \text{ mA}}{f_{\pi} + C_{\mu}} \end{aligned} \right. = K = \underline{3,8 \frac{\text{MHz}}{\text{A}}}$$

$$\Rightarrow f_{\pi 1,2} @ 10 \text{ mA} = 20 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow f_T \approx 0,9 \text{ MHz}$$

Frecuencia de corte?



$$v_{be} = \frac{v_{in}}{Y} \cdot \frac{1}{\frac{1}{1} + R_s} = \frac{v_{in}}{1 + Y R_s}$$

$$\frac{v_{be}}{v_{in}} = \frac{1}{1 + g_m R_s + (j\omega)^2 C_{u3} R_s}$$

$$\hookrightarrow f_{p1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1 + g_m R_s}{R_s C_{u3}} \approx 19,3 \text{ GHz}$$



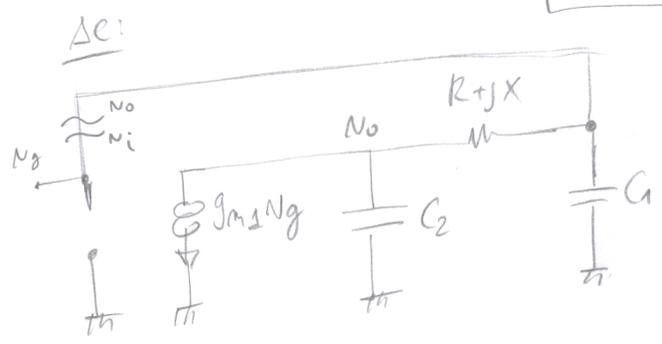
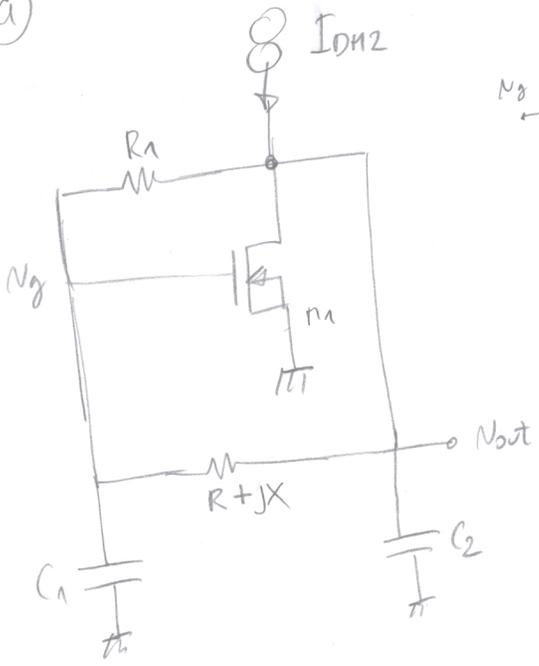
$$\frac{v_o}{v_{be}} = \frac{-g_m R_L}{g_m R_L + 1}$$

$$\Rightarrow f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_L C_{u1}}$$

\hookrightarrow Frec de corte superior

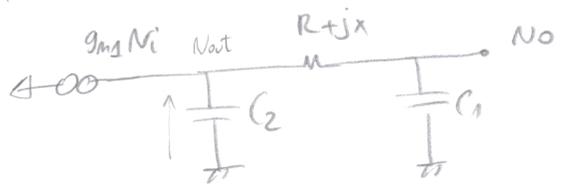
$$\approx 36,2 \text{ MHz}$$

(a)



ABro el lazo a No (V_o)

$$\beta_n = \beta_p = \beta$$



$$g_{m1} N_i = -j\omega C_2 V_{out} + \left(\frac{N_o - N_{out}}{R+jX} \right) = - \left(j\omega C_2 + \frac{1}{R+jX} \right) N_{out} + \frac{N_o}{R+jX} \Rightarrow$$

$$N_o = \frac{1/j\omega C_1}{1/j\omega C_1 + R+jX} \cdot N_{out} \Rightarrow N_{out} = (1 + j\omega C_1(R+jX)) N_o$$

$$\Rightarrow g_{m1} N_i = - \left(j\omega C_2 + \frac{1}{R+jX} \right) \cdot (1 + j\omega C_1(R+jX)) N_o + \frac{N_o}{R+jX} =$$

$$= -N_o \left[j\omega C_2 + \frac{1}{R+jX} - \omega^2 C_2 C_1 (R+jX) + j\omega C_1 - \frac{1}{R+jX} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -g_{m1} N_i = j\omega C_2 + j\omega C_1 - \omega^2 C_1 C_2 (R+jX) \Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = \frac{g_{m1}}{\omega^2 C_1 C_2 R - j(\omega C_1 + \omega C_2 - \omega^2 C_2 X)}$$

$$\text{Im} \left[\frac{N_o}{N_i} \right] = 0 \Leftrightarrow C_1 + C_2 = \omega C_1 C_2 X \Leftrightarrow \boxed{\omega = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 X}} \quad \text{frec. de oscilación}$$

$$\text{Re} \left[\frac{N_o}{N_i} \right] = 1 \Leftrightarrow \boxed{g_{m1} = \left[\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 X} \right]^2 C_1 C_2 R} \quad \text{Condición de oscilación}$$

donde $g_{m1} = \sqrt{2\beta I_{BQ}}$

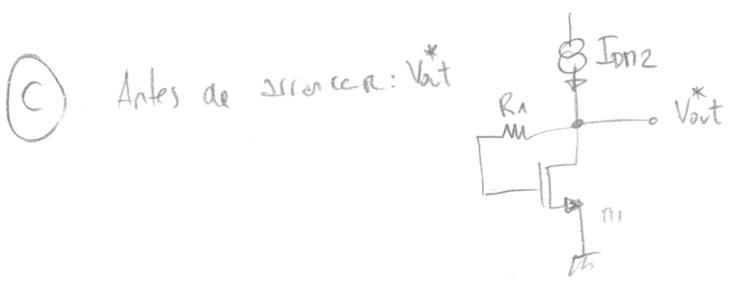
$$\text{Arranque: } \text{Re} \left[\frac{N_o}{N_i} \right] > 1 \Leftrightarrow \boxed{g_{m1} > \left[\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 X} \right]^2 C_1 C_2 R} \quad \text{Condición de arranque}$$

(b) free. de resonancia serie: $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L C_s}} \Rightarrow f_s = 2,015 \text{ MHz}$

free de resonancia paralelo: $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{sc}}{C+cp}}} \rightarrow f_p = 2,018 \text{ MHz}$

} \Rightarrow teorica

$\Rightarrow f_{osc} \in [2.015 \text{ MHz}, 2.018 \text{ MHz}]$

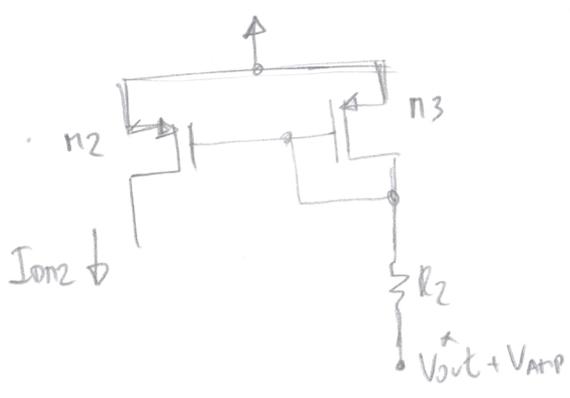


$V_{GS1} = V_{DS1} = V_{out}^*$

$I_{D12} = \frac{\beta}{2} (V_{out}^* - V_t)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{out}^* = V_t + \sqrt{\frac{2 I_{D12}}{\beta}}$

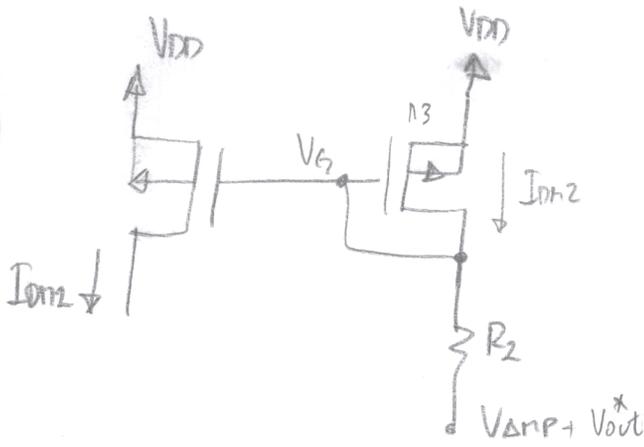
(d) R_3, C_3 y el diodo funcionan como rectificador de media onda. En la letra del ejercicio dice en bornes de R_3 se tiene V_{AMP} (amplitud de pico de la V_{out}). OAI es un seguidor. Por tanto a la salida del OAI tenemos $V_{out}^* + V_{AMP}$.



\rightarrow n_2, n_3 y R_2 funcionan como fuente de corriente donde I_{D12} depende de V_{AMP} . Logrando de este modo el control de amplitud del oscilador (si V_{AMP} sube $\Rightarrow I_{D12}$ baja, y si V_{AMP} baja $\Rightarrow I_{D12}$ sube)

f

(d)



$$g_{m1} = \left[\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 X} \right]^2 C_1 C_2 R$$

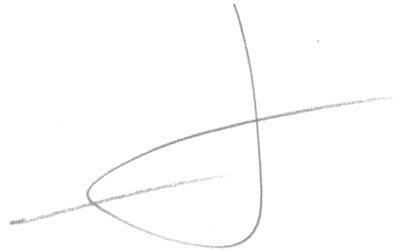
$$I_{D12} = \frac{g_{m1}^2}{2\beta}$$

$$V_{out}^* = V_t + \sqrt{\frac{2 I_{D12}}{\beta}}$$

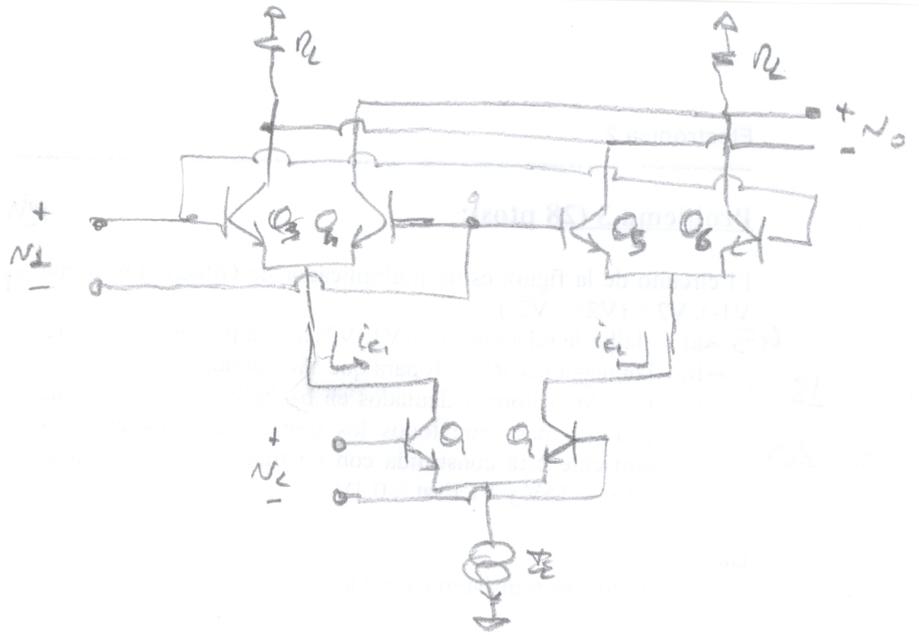
Especjo: $I_{D13} = I_{D12} = \frac{\beta}{2} (V_{DD} - V_G - V_t)^2 \Rightarrow V_G = -\sqrt{\frac{2 I_{D12}}{\beta}} + V_{DD} - V_t \quad \left. \vphantom{I_{D13}} \right\} \rightarrow$

$$I_{D12} = \frac{V_G - V_{AMP} - V_{out}^*}{R_2} \Rightarrow V_{AMP} = V_G - R_2 I_{D12} - V_t - \sqrt{\frac{2 I_{D12}}{\beta}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{AMP} = V_{DD} - 2\sqrt{\frac{2 I_{D12}}{\beta}} - 2V_t - R_2 I_{D12}}$$



MULTIPLICADORA X GILBERT



$$i_{c1} = I_E e^{\frac{N_1 - N_2}{V_T}}$$

$$i_{c2} = I_E e^{\frac{N_2 - N_1}{V_T}}$$

$$\Rightarrow \frac{i_{c1}}{i_{c2}} = e^{\frac{N_1 - N_2}{V_T}} \approx e^{\frac{N_2}{V_T}}$$

$$i_{c1} + i_{c2} = I_E \Rightarrow \begin{cases} i_{c1} = \frac{I_E}{1 + e^{-N_2/V_T}} \Rightarrow i_{c1} = I_E \frac{e^{\frac{N_2}{2V_T}}}{e^{\frac{N_2}{2V_T}} + e^{-\frac{N_2}{2V_T}}} \\ i_{c2} = \frac{I_E}{1 + e^{+N_2/V_T}} \Rightarrow i_{c2} = I_E \cdot \frac{e^{-\frac{N_2}{2V_T}}}{e^{\frac{N_2}{2V_T}} + e^{-\frac{N_2}{2V_T}}} \end{cases}$$

Análogamente

$$i_{c3} = \frac{i_{c1}}{1 + e^{-N_1/V_T}} = i_{c1} \frac{e^{\frac{N_1}{2V_T}}}{e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}$$

$$i_{c4} = i_{c1} \frac{e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}{e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}$$

$$i_{c6} = i_{c2} \frac{e^{\frac{N_1}{2V_T}}}{e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}$$

$$i_{c5} = i_{c2} \frac{e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}{e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_1}{2V_T}}}$$

$$N_0 = R_L (i_{c3} + i_{c5} - (i_{c4} + i_{c6}))$$

$$N_0 = R_L I_E \cdot \frac{e^{\frac{N_2}{2V_T}} \cdot e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_2}{2V_T}} \cdot e^{-\frac{N_1}{2V_T}} - e^{\frac{N_2}{2V_T}} \cdot e^{-\frac{N_1}{2V_T}} - e^{-\frac{N_2}{2V_T}} \cdot e^{\frac{N_1}{2V_T}}}{(e^{\frac{N_1}{2V_T}} + e^{-\frac{N_1}{2V_T}})(e^{\frac{N_2}{2V_T}} + e^{-\frac{N_2}{2V_T}})}$$

$$N_0 = R_L I_E \frac{(e^{\frac{N_2}{2V_T}} - e^{-\frac{N_2}{2V_T}})(e^{\frac{N_1}{2V_T}} - e^{-\frac{N_1}{2V_T}})}{(e^{\frac{N_2}{2V_T}} + e^{-\frac{N_2}{2V_T}})(e^{\frac{N_1}{2V_T}} - e^{-\frac{N_1}{2V_T}})}$$

$$N_0 = R_L I_E \tanh\left(\frac{N_2}{2V_T}\right) \tanh\left(\frac{N_1}{2V_T}\right)$$

Si $\begin{cases} N_1 \ll 2V_T \\ N_2 \ll 2V_T \end{cases} \Rightarrow N_0 = \frac{R_L I_E N_1 N_2}{4V_T^2}$