

1^{er} Parcial de Electrónica 2
30/09/2009

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 : (38 puntos)

Se desea evaluar en que condiciones el circuito de la figura puede llegar a oscilar.

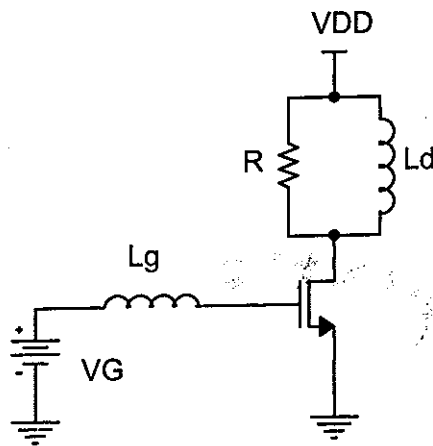
El transistor tiene capacidades C_{gs} , C_{db} y capacidad de overlap drain-gate C_{gd0} , la capacidad de overlap C_{gs0} se considera incluida dentro de C_{gs} .

Se asumirá que a las frecuencias en que el circuito puede oscilar se cumple que:

- la impedancia de L_g es mucho menor que la de C_{gs} .
- R es mucho menor que la impedancia de la serie de C_{gd0} y L_g y que la conductancia de salida (r_o) del transistor.

Se asumirá en todo el problema que la amplitud de la señal que aparece en el gate del transistor es tal que vale el modelo de pequeña señal.

- a)
- i) Determinar la frecuencia de oscilación y que condición tiene que cumplir la transconductancia del transistor para que las oscilaciones arranquen y para qué valor de g_m se tiene una oscilación de amplitud constante.
 - ii) Que condición tiene que cumplir L_g para que la oscilación sea posible.
- b) Si se tiene un bloque que fija la tensión V_G en función de la amplitud de pico de las oscilaciones en drain ($v_{d_{pico}}$) de la siguiente forma: $V_G = V_{G0} + k \cdot v_{d_{pico}}$, indicar:
- i) ¿Qué signo tiene que tener k para que este bloque controle adecuadamente la amplitud de las oscilaciones? Justifique.
 - ii) Si el transistor tiene parámetros β , V_{T0} y $\delta=0$, determinar que condición debe cumplir V_{G0} para que la oscilación arranque.



Problema 2 : (34 puntos)

Para el circuito de la Figura 1 calcule:

- a) Ganancia a frecuencias medias.
- b) Frecuencia de corte superior.
- c) Se plantea el circuito de la Figura 2 como alternativa. Repita las partes a) y b) para este circuito.
- d) ¿Cuál tiene mayor ancho de banda? ¿Por qué?
- e) ¿Cuál tiene mayor ganancia? ¿Por qué?

Datos:

Q1: $C_{\mu} = 1 \text{ pF}$, $C_{je} = 1 \text{ pF}$, $f_T@25\text{mA} = 5 \text{ GHz}$, $\beta = 200$, $V_A = \infty$
 $R_s = 250 \Omega$, $R_L = 2.2 \text{ k}\Omega$, $I_1 = 1 \text{ mA}$, $R_f = 100 \text{ k}\Omega$.

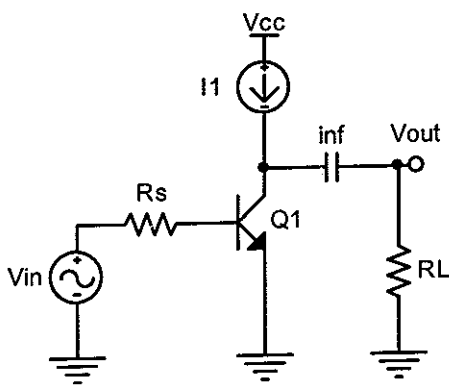


Figura 1

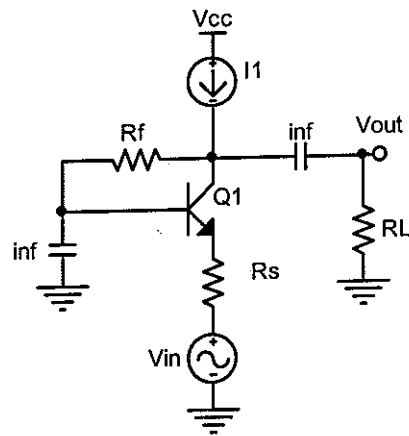


Figura 2

Problema 3 : (28 puntos)

En el circuito de la Figura 1 se muestra un circuito multiplicador de cuatro cuadrantes.

- Indique la forma en que se deben conectar los colectores de los transistores Q3 a Q6 para que el circuito cumpla la función deseada.
- Si se conecta la salida vo1 del circuito de la Figura 2 a la entrada vif del multiplicador de la parte a) hallar la función que vincula vout con vs y vrf.

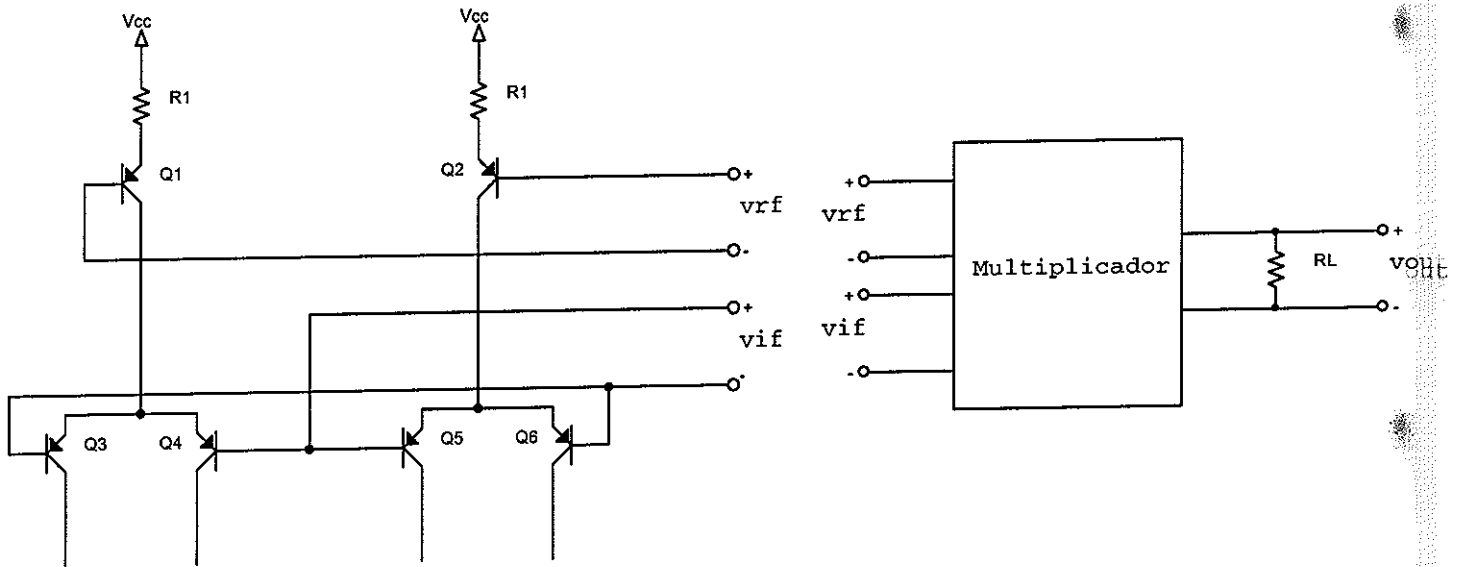


Figura 1

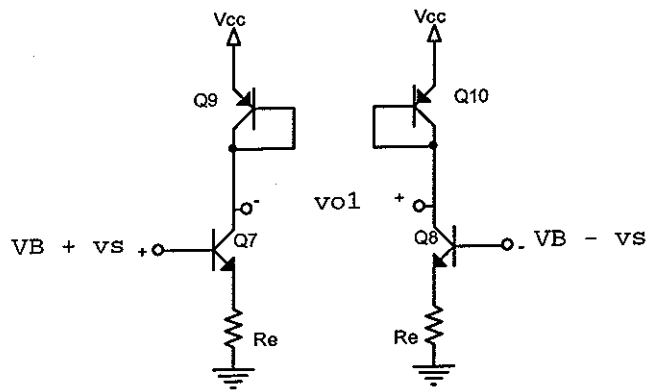
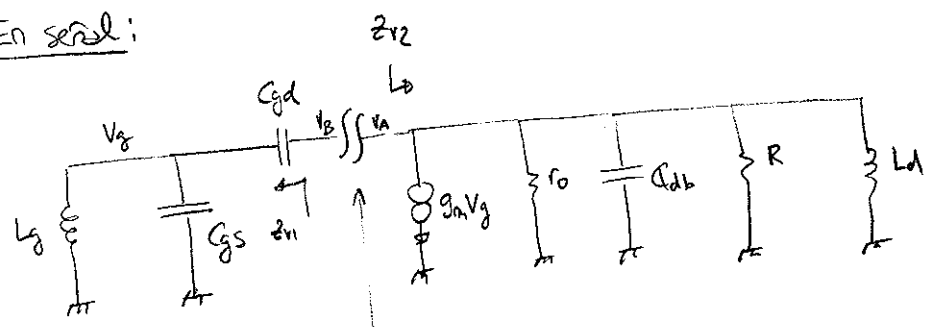


Figura 2

a) i) iii)

En serie:



Abro el lazo aquí:
$$z_{v1} = \frac{1}{C_{gd} \cdot s} + L_g \cdot s \parallel \frac{1}{C_{gs} \cdot s} \approx \frac{1}{C_{gd} \cdot s} + L_g \cdot s \quad \Rightarrow z_{v2} \ll z_{v1}$$

$$z_{v2} = R \parallel \frac{1}{C_{db} \cdot s} \parallel L_d < R$$

$$L_g \cdot s \ll \frac{1}{C_{gs}} \Rightarrow V_g = \frac{L_g \cdot s}{L_g \cdot s + \frac{1}{C_{gd} \cdot s}} V_B \Rightarrow \frac{V_g}{V_B} = \frac{L_g \cdot C_{gd} \cdot s^2}{1 + L_g C_{gd} s^2}$$

$$g_m \cdot V_g = \frac{-V_A}{R \parallel C_{db} \parallel L_d} \Rightarrow \frac{V_A}{V_g} = -g_m \cdot R \parallel C_{db} \parallel L_d$$

$$R \parallel C_{db} \parallel L_d = \frac{R \cdot L_d \cdot s}{R + L_d \cdot s + R L_d C_{db} s^2}$$

$$\Rightarrow A_{ol}(s) = \frac{-g_m R L_d L_g C_{gd} s^3}{(1 + L_g C_{gd} s^2)(R + L_d s + R L_d C_{db} s^2)} \Rightarrow A_{ol}(j\omega) = \frac{g_m \cdot R \cdot L_d \cdot L_g \cdot C_{gd} \cdot \omega^3 \cdot j}{(1 - L_g C_{gd} \omega^2) [R(1 - L_d C_{db} \omega^2) + L_d \cdot j\omega]}$$

Para oscilar la fase de $A_{ol}(j\omega)$ debe ser 0 $\rightarrow 1 - L_d \cdot C_{db} \cdot \omega^2 = 0 \Rightarrow \omega_{osc} = \frac{1}{\sqrt{L_d \cdot C_{db}}}$

frecuencia de oscilación

$$\rightarrow 1 - L_g \cdot C_{gd} \cdot \omega^2 > 0 \Rightarrow L_d \cdot C_{db} > L_g \cdot C_{gd}$$

condición sobre L_g

Para que el circuito oscile: $|A_{ol}(j\omega_{osc})| = 1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{g_m \cdot R \cdot L_d \cdot L_g \cdot C_{gd} \cdot \omega_{osc}^2}{(1 - L_g C_{gd} \omega_{osc}^2) \cdot L_d \cdot \omega_{osc}} = 1 \Rightarrow \boxed{g_m = \frac{1}{R} \cdot \frac{L_d \cdot C_{db} - L_g \cdot C_{gd}}{L_g \cdot C_{gd}}} \Rightarrow$$

condición sobre g_m

$$\Rightarrow \boxed{g_m > \frac{1}{R} \cdot \frac{L_d C_{db} - L_g C_{gd}}{L_g C_{gd}}}$$

Condición de arranque

b) i) $g_m = \beta (V_G - V_{to})$

Al inicio es necesario un g_m que cumpla la condición de arranque. Después, la amplitud de la oscilación empezará a crecer y g_m deberá decrecer hasta llegar a $g_m = \frac{1}{R} \cdot \frac{L_d C_{db} - L_g C_{gd}}{L_g C_{gd}}$ donde la amplitud de la oscilación permanecerá constante.

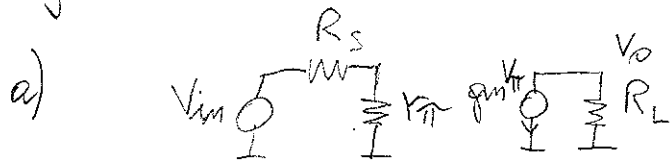
Como $g_m \propto V_G$ y $V_G = V_{G0} + k V_{D,pico} \Rightarrow \boxed{k < 0}$

ii) $\hat{g}_m = \beta (V_G - V_{to}) = \beta (V_{G0} + \overset{=0}{k V_{D,pico}} - V_{to}) = \beta (V_{G0} - V_{to}) > \frac{1}{R} \cdot \frac{L_d C_{db} - L_g C_{gd}}{L_g C_{gd}} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{V_{G0} > V_{to} + \frac{L_d C_{db} - L_g C_{gd}}{\beta R L_g C_{gd}}}$$

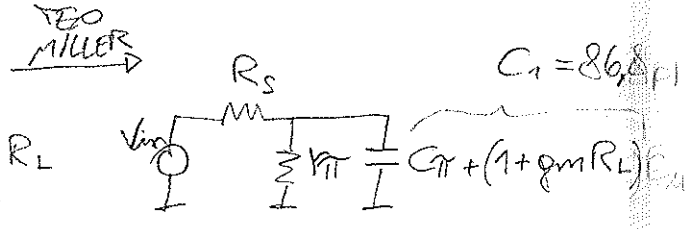
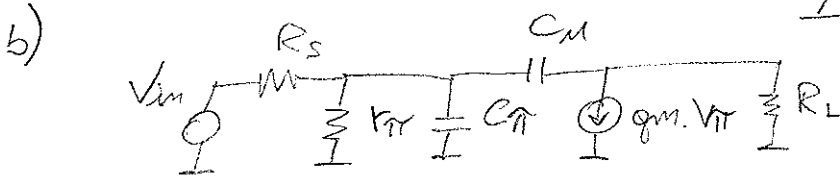
J.

Ej. HF

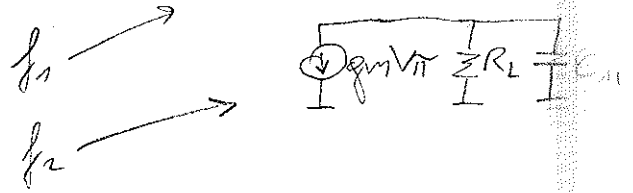


$$\frac{V_o}{V_{in}} = -g_m R_L \cdot \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_s} \approx -g_m R_L \cdot \frac{1}{1} \approx -84,5$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \quad g_m = \frac{I_c}{V_T} = 38,4 \text{ mS} \quad r_{\pi} = 5,2 \text{ k}\Omega$$



$$f_1: \frac{V_{\pi}}{V_s} = \frac{r_{\pi} / (R_s + r_{\pi})}{j\omega \left(C_{\pi} R_s r_{\pi} \right) / (R_s + r_{\pi}) + 1}$$



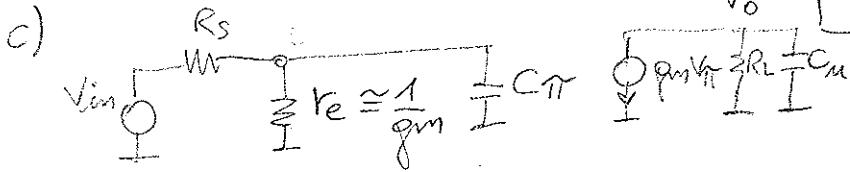
$$f_1 = \frac{R_s + r_{\pi}}{2\pi C_{\pi} R_s r_{\pi}} = 7,7 \text{ MHz} \quad \text{FREC. SUPERIOR}$$

$$C_{\pi}: C_{de@25\text{mA}} = \frac{g_m@25\text{mA}}{2\pi f_T@25\text{mA}} - C_{je} = 2,2 \text{ pF}$$

$$C_{de@1\text{mA}} = C_{de@25\text{mA}} \cdot \frac{1}{25}$$

$$C_{\pi} = C_{je} + C_{de@1\text{mA}} = 2,2 \text{ pF}$$

$$f_2: f_2 = \frac{1}{2\pi R_L C_M} = 72 \text{ MHz}$$



$$f_1' = \frac{R_s + r_e}{2\pi C_{\pi} R_s r_e} = 3,1 \text{ GHz}$$

$$f_2' = \frac{1}{2\pi R_L C_M} = 72 \text{ MHz} \quad \text{FREC. SUP.}$$

d) ② TIENE MAYOR ANCHO DE BANDA: POR TENER CM A TIERRA. (NO ACTUA EFECTO MILLER)

e) ② TIENE MEJOR GANANCIA QUE ① POR $r_e = \frac{r_{\pi}}{\beta} \ll R_s$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = +g_m R_L \left(\frac{r_e}{r_e + R_s} \right) \approx 8$$

0,094

B

P3

$$(a) \quad i_{c1} = I_0 + G_1 \frac{V_{Tf}}{2} \quad / \quad I_0 = \frac{V_{CC} - V_{DS} - V_{BS}}{R_D}$$

$$G_1 = \frac{g_{m1}}{1 + g_{m1} R_1} \quad , \quad g_{m1} = \frac{I_0}{V_T}$$

$$\Rightarrow i_{c1} = I_0 \left(1 + \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right)$$

analogamente: $i_{c2} = I_0 \left(1 - \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right)$

$$i_{c3} = \frac{i_{c1}}{2} + g_{m3} \frac{N_{Tf}}{2} \quad / \quad g_{m3} = \frac{i_{c1}}{2 V_T}$$

$$\Rightarrow i_{c3} = \frac{I_0}{2} \left(1 + \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right) \left(1 + \frac{N_{Tf}}{2 V_T} \right)$$

analogamente: $i_{c4} = \frac{I_0}{2} \left(1 + \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right) \left(1 - \frac{N_{Tf}}{2 V_T} \right)$

$$i_{c5} = \frac{I_0}{2} \left(1 - \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right) \left(1 - \frac{N_{Tf}}{2 V_T} \right)$$

$$i_{c6} = \frac{I_0}{2} \left(1 - \frac{G_1}{2 I_0} N_{Tf} \right) \left(1 + \frac{N_{Tf}}{2 V_T} \right)$$

$$\Rightarrow N_{out} = R_L \Delta i \quad / \quad \Delta i = (i_{c3} + i_{c5}) - (i_{c4} + i_{c6}) = \frac{G_1}{2 V_T} N_{Tf} N_{Tf}$$

$$(b) \quad N_{D1} = (V_{CC} - N_{DS1}) - (V_{CC} - N_{BS1}) = V_T L \left(\frac{i_{c2}}{I_0} \right)$$

$$i_{c2} = I_1 + \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_e} N_s \quad / \quad I_1 = \frac{V_B - V_{BS}}{R_e}, \quad g_{m2} = \frac{I_1}{V_T}$$

analogamente: $i_{c8} = I_1 - \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_e} N_s = I_1 - k N_s$

$$\Rightarrow N_{D1} = V_T L \left(\frac{1+x}{1-x} \right) \quad / \quad x = \frac{k}{I_1} N_s \Rightarrow N_{D1} = 2 V_T \tanh^{-1} \left(\frac{k N_s}{I_1} \right)$$

$$\Rightarrow N_{out} = R_L \frac{G_1}{2} N_{Tf} = \tanh \left(\tanh^{-1} \left(\frac{k N_s}{I_1} \right) \right) = \frac{g_{m1} R_L}{1 + g_{m1} R_1} \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_e} \frac{N_{Tf} N_s}{I_1}$$