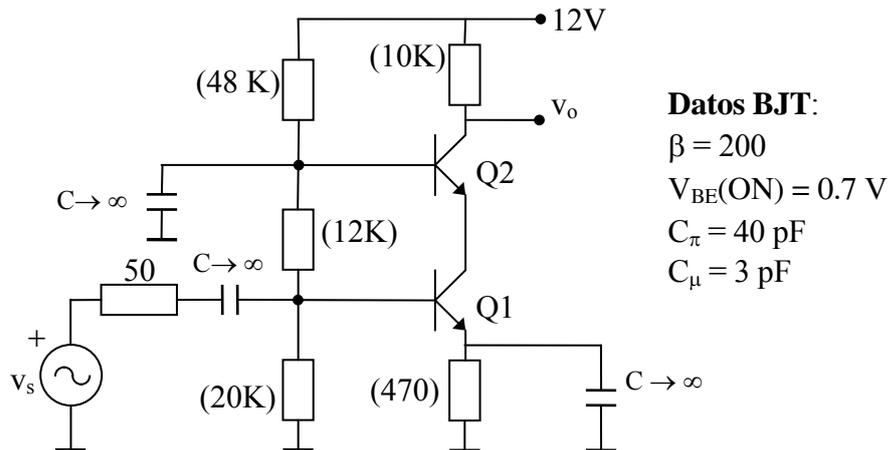


### 3. AMPLIFICADORES Y MEZCLADORES

1. En el circuito de la figura:

- Determinar el punto de trabajo de ambos BJT.
- Representar el circuito en pequeña señal indicando los valores de cada elemento.
- Hallar la ganancia a frecuencias medias,  $A_v = v_o/v_s$
- Estimar la frecuencia de corte superior de  $A_v$

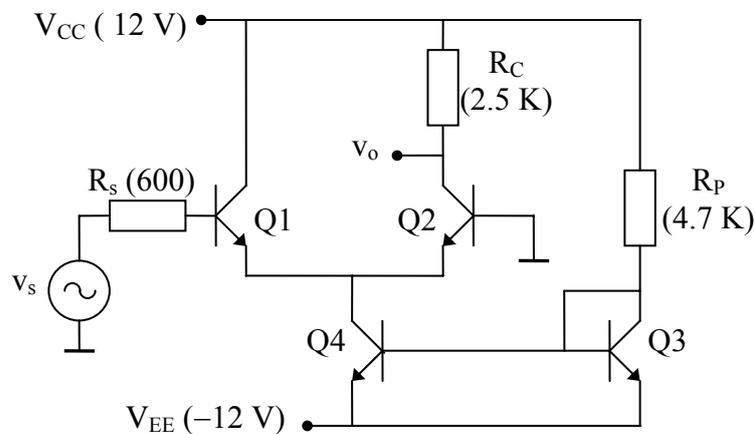


**Sol.** (a)  $I_{DQ} = 5 \text{ mA}$  (b)  $g_m = 200 \text{ mA/V}$  (c)  $A_v = -190$  (d)  $f_c = 53 \text{ MHz}$

2. En el circuito de la figura:

- Determinar el punto de trabajo de los transistores.
- Representar el circuito en pequeña señal indicando los valores de cada elemento.
- Hallar la ganancia a frecuencias medias,  $A_v = v_o/v_s$
- Estimar la frecuencia de corte superior de  $A_v$  (Tomar  $C_{\pi} = 40 \text{ pF}$ ,  $C_{\mu} = 3 \text{ pF}$ )

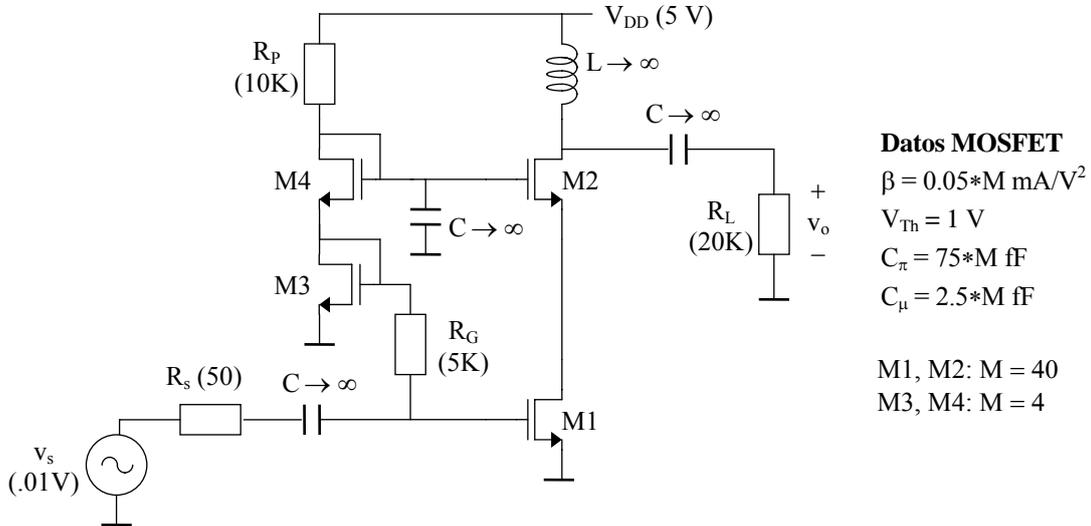
**Datos:**  $\beta = 200$ ,  $V_{BE(ON)} = 0.7 \text{ V}$ ,  $v_T = 25 \text{ mV}$



**Sol.** (a)  $I_{CQ1} = I_{CQ2} = 2.5 \text{ mA}$  (c)  $A_v = 123.4$  (d)  $f_c = 21.2 \text{ MHz}$

3. En el circuito de la figura:

- Determinar el punto de trabajo de ambos MOSFET.
- Representar el circuito en pequeña señal indicando los valores de cada elemento.
- Hallar la ganancia a frecuencias medias,  $A_v = v_o/v_s$
- Estimar la frecuencia de corte superior de  $A_v$

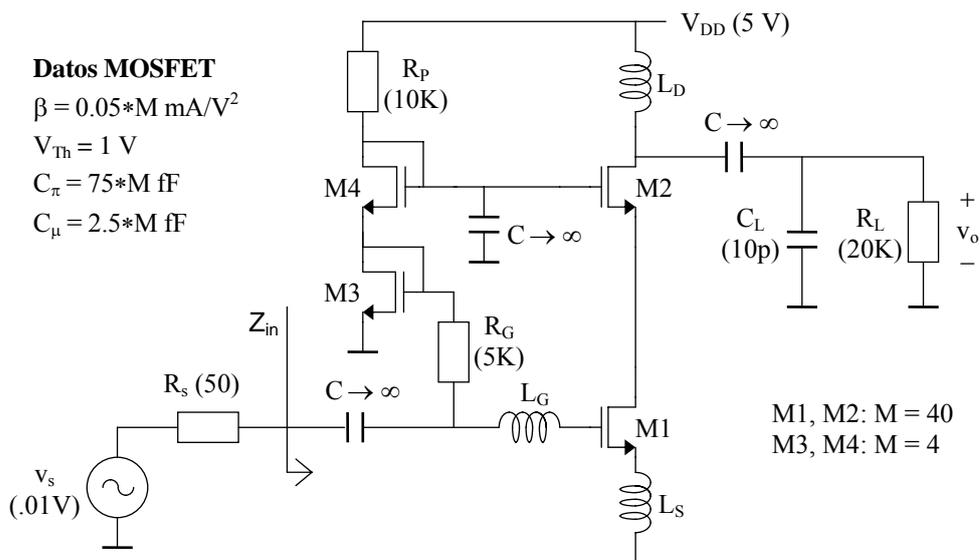


Sol. (a)  $I_{D1} = I_{D2} = 1 \text{ mA}$  (c)  $A_v = -40$  (d)  $f_c = 79.5 \text{ MHz}$

(Sep.05)

4. El LNA de la figura se quiere emplear para amplificar una señal RF con  $f_c = 100 \text{ MHz}$

- Determinar el valor de  $L_D$  para que el circuito LC de salida esté sintonizado a  $f_c$ .
- Calcular la impedancia de entrada (despreciar  $R_G$  y  $C_\mu$ ).
- Si  $I_{D1} = I_{D2} = 1 \text{ mA}$ , determinar el valor de  $L_S$  para que  $\text{Re}[Z_{in}] = 50 \Omega$ .
- Calcular el valor de  $L_G$  para que  $Z_{in}$  sea real (parte imaginaria nula) a  $f_c$ .
- Calcular la ganancia del LNA a  $f_c$ .



Sol. (a)  $L_D = 0.25 \mu\text{H}$  (c)  $L_D = 75 \text{ nH}$  (d)  $L_G = 0.77 \mu\text{H}$  (e)  $|A_v| = 212.2$

(Sep.94)

5. a) Dibujar el circuito de un mezclador doblemente balanceado a diodos que elimina, a la salida, las frecuencias de entrada  $\omega_L$  y  $\omega_i$
- b) Explicar el funcionamiento del circuito utilizando circuitos equivalentes que reemplacen a los diodos por sus modelos simplificados según su estado de conducción.
- c) Encontrar la expresión de  $v_o(t)$  considerando las siguientes entradas al modulador:
- $v_i = V_i \text{ sen } \omega_i t$
- $v_L = P(t)$  es una serie de pulsos rectangulares, de altura  $V_L \gg V_i$  y frecuencia  $\omega_L$ .
- d) Calcular las pérdidas de conversión del circuito si filtramos la salida para dejar únicamente las frecuencias  $\omega_0 = \omega_L \pm \omega_i$ , cuando  $R_S = R_L$  y  $r_d(\text{diodo ON}) \ll R_L$ .

**Nota:** Recordar que un tren de pulsos de amplitud 1 puede escribirse como:

$$P(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\text{sen}(2n+1)\omega_L t}{2n+1}$$

**Sol.** (c)  $v_o = \frac{V_i}{\pi} [\cos(\omega_L + \omega_i)t - \cos(\omega_L - \omega_i)t]$  (d) 0.9 dB

(Jun.95)

6. En el mezclador de la figura, D1 y D2 se suponen ideales ( $V_{ON} = 0$ ) y  $V_L$  es una señal cuadrada de frecuencia  $\omega_L$  y amplitud  $\pm A$ .

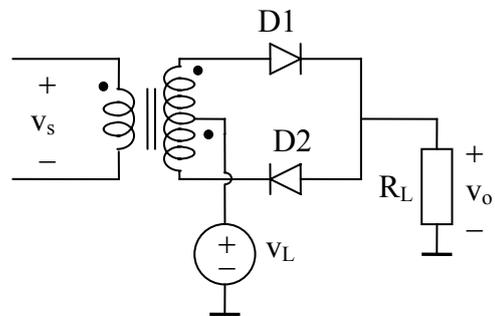
- a) Si  $v_s$  es senoidal de frecuencia  $\omega_s$  y amplitud B, mucho menores que  $\omega_L$  y A respectivamente, dibujar la tensión de salida.

- b) Sabiendo que una señal cuadrada, de frecuencia  $\omega_L$  y amplitud  $\pm 1$ , puede desarrollarse en serie de Fourier como

$$x(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\text{sen}(2n+1)\omega_L t}{2n+1}$$

Indicar el espectro de la salida.

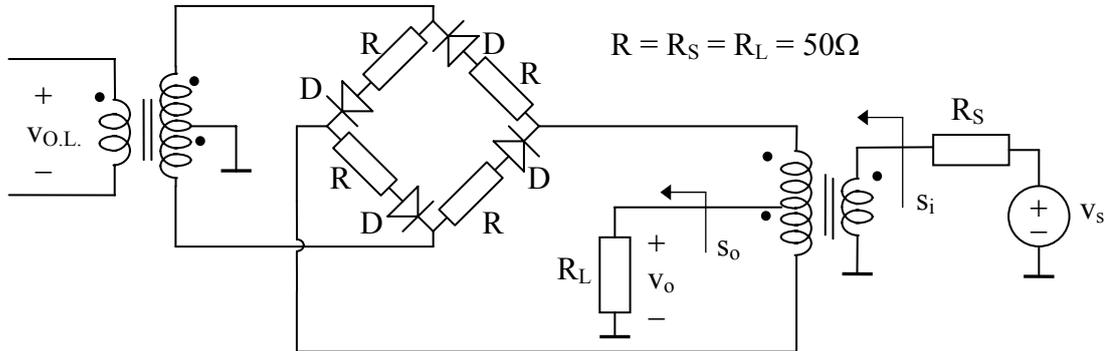
- c) Si filtramos paso bajo para eliminar los armónicos de  $\omega_L$ , indicar como sería la salida ¿A que tipo de modulación corresponde?



**Sol.** (b)  $v_o = \frac{4}{\pi} [A + B \text{sen}(\omega_s t)] \sum_0^{\infty} \frac{\text{sen}(2n+1)\omega_L t}{2n+1}$  (c)  $v_o = \frac{4}{\pi} [A + B \text{sen}(\omega_s t)] \text{sen}(\omega_L t)$

(Sep.97)

7. El circuito de la figura es un mezclador a diodos doble balanceado.  $v_s = 1 \cos \omega_s t$ , y  $v_{O.L.}$  es una señal cuadrada de frecuencia  $\omega_{OL}$  (mayor que  $\omega_s$ ) y amplitud  $\pm 5$  V.



a) Dibujar el circuito equivalente simplificado para cada uno de los dos valores que puede tomar  $v_{O.L.}$  (los diodos se comportan como interruptores ideales)

b) Hallar la expresión de  $v_o$

c) Indicar el espectro de la salida sabiendo que la señal signo de  $\cos(\omega t)$  se puede escribir

$$\text{sgn}[\cos(\omega t)] = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\cos(2n+1)\omega t}{2n+1}$$

d) Si filtramos paso bajo para eliminar los armónicos de  $\omega_{OL}$ , indicar como sería la salida ¿A que tipo de modulación corresponde?

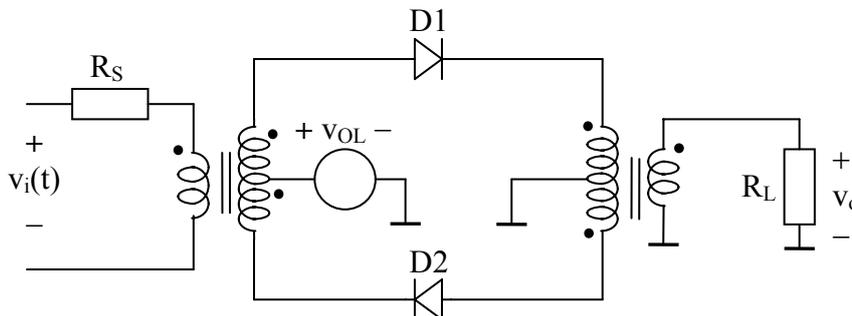
e) Calcular las pérdidas de conversión del circuito ( $s_i/s_o$ ).

**Sol.** (b)  $v_o = \frac{v_s}{2.5} \text{sgn}[\cos(\omega_{OL} t)]$  (d)  $v_o = \frac{1.6}{\pi} \cos(\omega_s t) \cos(\omega_{OL} t)$  (e) 2.85 dB

(Sep.06)

8. Del siguiente circuito mezclador, donde

$$v_i = g(t) \cdot \cos \omega_s t ; \quad v_{OL} = V \cdot \text{sign}[\cos \omega_{OL} t] \quad \text{con } V \gg |g(t)| ; \quad f_{FI} = f_{OL} - f_s$$

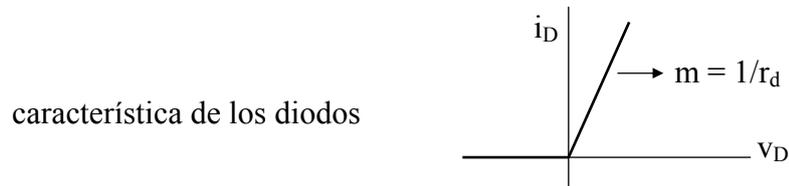


a) Dibuje el circuito equivalente y las expresiones de  $v_o$  para cada uno de los casos posibles de conducción de los diodos.

b) Escriba la expresión general de  $v_o$ . Si filtramos los armónicos dejando pasar únicamente  $f_{FI}$  ¿Cuál será la expresión de  $v_o$  a la salida de dicho filtro?

- c) Hallar la ganancia de conversión del circuito, entendiendo como tal el cociente entre la potencia de señal de FI a la salida (sobre  $R_L$ ) y la potencia de RF a la salida (sobre  $R_L$  sin el mezclador).
- d) Sin consideramos el diodo ideal ( $r_d = 0$ ) ¿Cuánto valdrá, en dB, la ganancia de conversión anterior?

Datos: 
$$\text{sign}[\cos \omega_{OL} t] = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\cos[(2n+1)\omega_{OL} t]}{2n+1}$$



**Sol.** (c)  $v_o = \frac{4}{\pi^2} \left( \frac{R_S + R_L}{R_S r_d + R_L} \right)^2$  (d)  $G_C = -4 \text{ dB}$

9. El circuito de la figura actúa como mezclador.

- a) Calcular la expresión de  $V_{FI}$  en función de las corrientes de drenador en M1 y M2
- b) Determinar  $C_L$  para que la expresión anterior entre en resonancia a 455 kHz.
- c) Calcular la corriente total en el drenador de M3 en función de  $v_{RF}$ . Aplicar superposición
- d) Si  $v_s = A \cos(2\pi \cdot 10^6 t)$  y  $v_{OL}$  es una señal cuadrada de frecuencia 1.455 MHz y amplitud suficiente para que M1 y M2 estén alternativamente en corte, calcular la expresión de  $v_{FI}$ . Suponer que el circuito sintonizado a la salida es ideal.
- e) Determinar la ganancia de conversión ( $S_{FI}/S_{RF}$ )

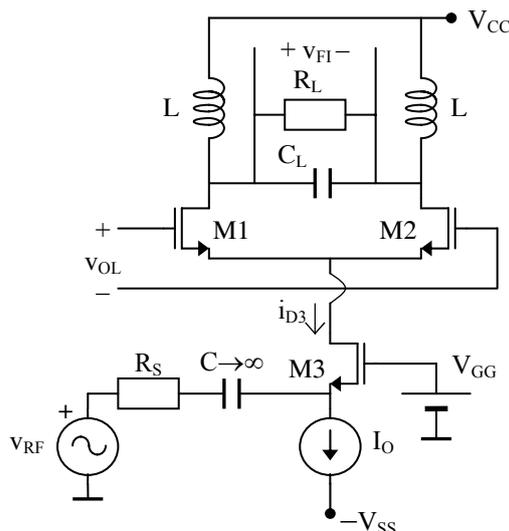
**FET:**  $\beta = 40 \text{ mA/V}^2$

$I_O = 5 \text{ mA}$

$R_S = 50 \Omega$

$R_L = 1 \text{ K}\Omega$

$L = 3 \mu\text{H}$



**Sol.** (b)  $C_L = 20 \text{ nF}$  (c)  $i_{D3} = 5 - 10v_{RF} \text{ mA}$  (d)  $\frac{10}{\pi} \text{ A} \cos(2\pi \cdot 455 \cdot 10^3 t)$  (e)  $S_{FI}/S_{RF} = 10.5 \text{ dB}$

(Sep.04)

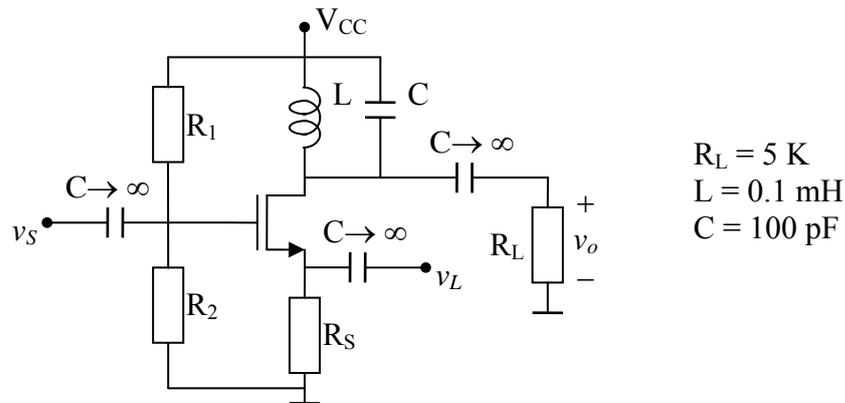
10. El circuito de la figura representa un mezclador. El MOSFET se halla en saturación con  $V_{GSQ} = 3V$ , por consiguiente su característica I-V viene dada por la ecuación:

$$i_D = \frac{\beta}{2}(v_{GS} - V_{Th})^2$$

donde  $\beta = 2mA/V^2$ ,  $V_{Th} = 1V$ .

Las señales de entrada son:  $v_S = 1\cos(90 \cdot 10^6 t)$  y  $v_L = 1\cos(100 \cdot 10^6 t)$ . Determinar:

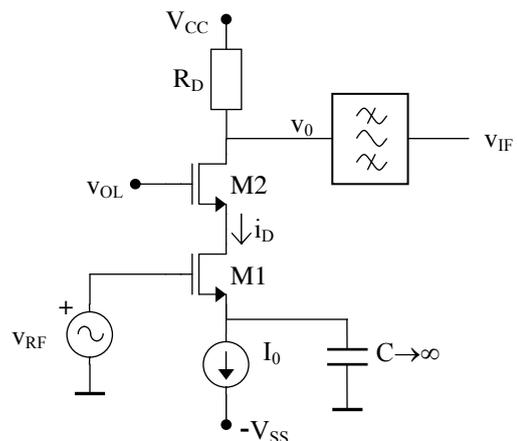
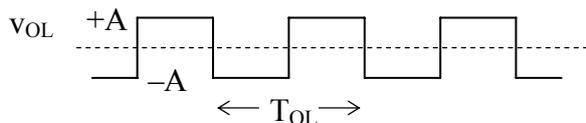
- Corriente del MOSFET, indicando explícitamente sus componentes a cada una de las frecuencias.
- Tensión de salida,  $v_o$ , considerando que el filtro LC actúa como un filtro sintonizado ideal.
- La relación entre la potencia útil de salida y la potencia de la componente (no deseada) con la misma frecuencia de  $v_L$  presente a la salida.



**Sol.** (a)  $i_D = 5 - \cos(10 \cdot 10^6 t) + 4\cos(90 \cdot 10^6 t) - 4\cos(100 \cdot 10^6 t) + 0.5\cos(180 \cdot 10^6 t) - \cos(190 \cdot 10^6 t) + 0.5\cos(200 \cdot 10^6 t)$   
 (b)  $v_o = 5\cos(10 \cdot 10^6 t)$  (c)  $s_o(\text{útil})/s_o(\text{f. de } v_L) = 21.8\text{dB}$

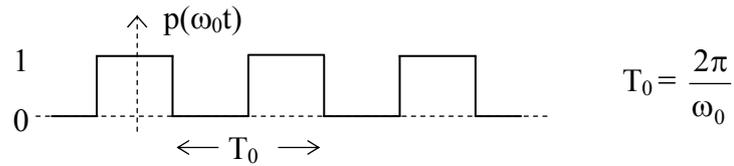
(Sep.06)

11. Se quiere emplear el circuito de la figura para construir un mezclador. La señal R.F. es de la forma  $v_{RF} = x(t) \cdot \cos \omega_{RF} t$ , mientras que la del oscilador local,  $v_{OL}$ , es una señal cuadrada de amplitud suficiente para que el transistor M2 esté alternativamente en corte y conducción.



a) Cuando M2 está conducción, M1 se halla en saturación.  $i_D(t) = I_{DQ} + i_d(t)$ , donde  $I_{DQ}$  es la componente continua e  $i_d(t)$  la de c.a. en pequeña señal. Halle  $i_D(t)$

b) Halle la expresión de  $v_0$ . empleando la función  $p(\omega_0 t)$



c) Sabiendo que  $p(\omega_0 t)$  se puede escribir como  $p(\omega_0 t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\cos(2n+1)\omega_0 t}{2n+1}$ , y que el filtro de salida elimina todos los términos excepto el de frecuencia inferior indique como sería la salida  $v_{IF}$ . Calcule la ganancia en amplitud ( $v_{IF}/v_{RF}$ ).

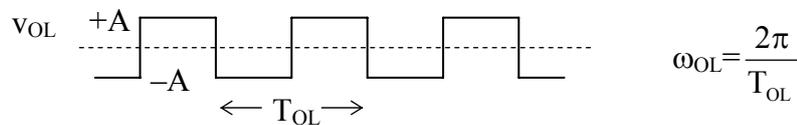
d) ¿A que tipo pertenece este mezclador?

**Datos:**  $I_0 = 5 \text{ mA}$ ,  $R_D = 1\text{K}$ ,  $g_m = 10\text{mA/V}$

**Sol.** (a)  $i_D = (5 + 10 \cdot v_{RF}) \text{ mA}$       (b)  $v_0 = V_{CC} - (i_D R_D) \cdot p(\omega_0 t)$   
 (c)  $G_C = 5 \text{ dB}$       (d) mezclador activo y no equilibrado

(Feb. 05)

12. Se quiere emplear el circuito de la figura para realizar un mezclador. La señal R.F. es de la forma  $v_{RF} = x(t) \cdot \cos \omega_{RF} t$ , mientras que la del oscilador local,  $v_{OL}$ , es una señal cuadrada de amplitud suficiente para que los dos transistores M2 y M3 estén alternativamente en corte.



a) En el transistor M1  $i_D(t) = I_{DQ} + i_d(t)$ , donde  $I_{DQ} = 2\text{mA}$  e  $i_d(t)$  es la componente de c.a. en pequeña señal. Calcule esta última componente en función de  $v_{RF}$  (M1 siempre está en saturación).

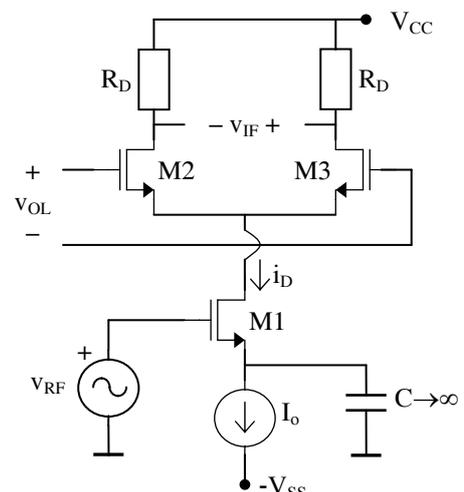
b) Calcule la expresión de  $v_{IF}$  en función de  $v_{RF}$  y  $v_{OL}$ , asumiendo que M2 y M3 pasan alternativamente a corte.

c) Indique el espectro de  $v_{IF}$  sabiendo que la señal  $\text{sgn}(\cos \omega t)$  se puede escribir

$$\text{sgn}[\cos(\omega t)] = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\cos(2n+1)\omega t}{2n+1}$$

¿A que tipo pertenece este mezclador?

d) Si, posteriormente, un filtro elimina todos los armónicos dejando pasar únicamente el término en  $\omega_{RF} - \omega_{OL}$ , indique como sería la salida. Calcule la ganancia de conversión, en amplitud ( $v_{IF}/v_{RF}$ ).

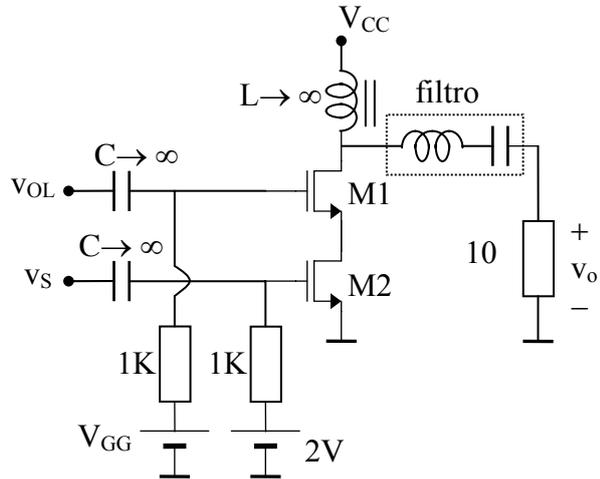


Datos:  $R_D = 2K$ ,  $g_m = 10mA/V$

- Sol.** (a)  $i_D = (2 + 10 \cdot v_{RF}) \text{ mA}$       (b)  $v_{IF} = (i_D R_D) \cdot \text{sgn}(v_{OL})$   
 (c) mezclador equilibrado      (d)  $v_{IF} = G \cdot x(t) \cdot \cos(\omega_{RF} - \omega_{OL}) \cdot t$ ,  $G = 12.7$

(Feb.01)

**13.** El siguiente circuito es un mezclador con un MOSFET de doble puerta. M2 está polarizado en la zona lineal, con  $V_{DS} \ll V_{GS} - V_{Th}$ , y funciona como una resistencia lineal controlada por tensión, mientras que M1 se halla polarizado en saturación.



- a) Hallar la expresión de la resistencia equivalente de M2 entre D y S (R), en función de su tensión de puerta.  
 b) Representar el circuito equivalente en pequeña señal del mezclador, sustituyendo M1 por su circuito equivalente y M2 por la resistencia lineal equivalente entre D y S calculada en el apartado anterior. Hallar la expresión de la ganancia del circuito ( $v_o / v_{OL}$ ) y simplificarla teniendo en cuenta que  $g_m R \gg 1$ .  
 c) Hallar la expresión de la tensión de salida del mezclador para c.a. en función de las tensiones  $v_S$  y  $v_{OL}$ , empleando el resultado del apartado anterior

$$v_S = g(t) \cdot \cos \omega_S t \quad \text{y} \quad v_{OL} = 2 \cdot \cos \omega_{OL} t$$

- d) Calcular la ganancia de conversión del circuito ( $s_o / s_i$ ) en el caso anterior, si el filtro deja pasar únicamente el término de frecuencia intermedia ( $\omega_{FI} = \omega_{OL} - \omega_S$ ).

Datos del MOSFET:  $\beta = 1mA/V^2$ ,  $V_{Th} = 1V$

- Sol.** (b)  $\frac{v_o}{v_{OL}} = -\frac{10}{R}$       (d)  $\frac{s_o}{s_i} = 10$