# Parcial de Electrónica Avanzada 1
# 28/11/2019

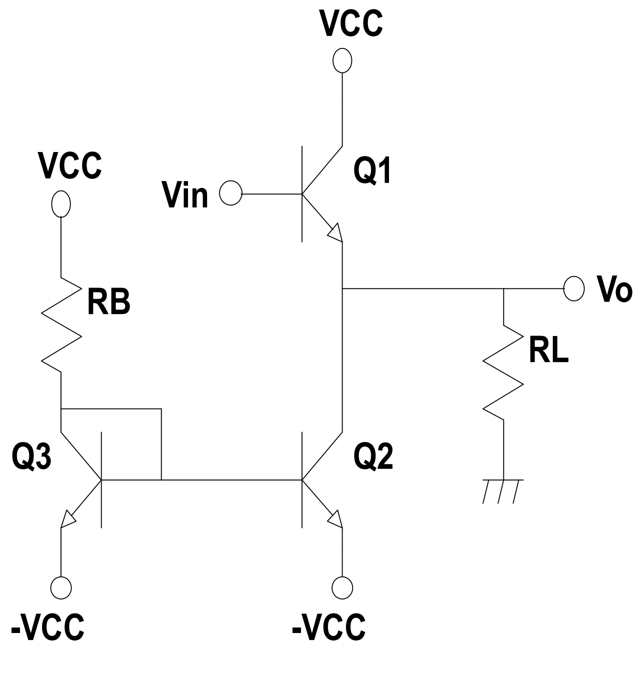
Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es **sin** material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

## Problema 1 (27 ptos):

El circuito de la Figura es una etapa de salida que trabaja en clase A.

a) Determinar la máxima excursión en Vo para que Q1 y Q2 estén en zona activa.
b) Determinar para esta máxima excursión la potencia que se puede entregar a la carga.
c)
  i) ¿Qué relación hay entre la corriente por Q3 y la corriente por Q2?
  ii) ¿Qué condición debe cumplir RB para que el circuito pueda efectivamente entregar la potencia calculada en b)?
  iii) Determine el valor de RB que da la máxima eficiencia entre los que cumplen la condición calculada en ii). Calcular la eficiencia en ese caso.
d) Para el caso de la máxima amplitud determinada en a) y el valor de RB determinado en c), calcule la potencia disipada en cada uno de los transistores Q1 y Q2.

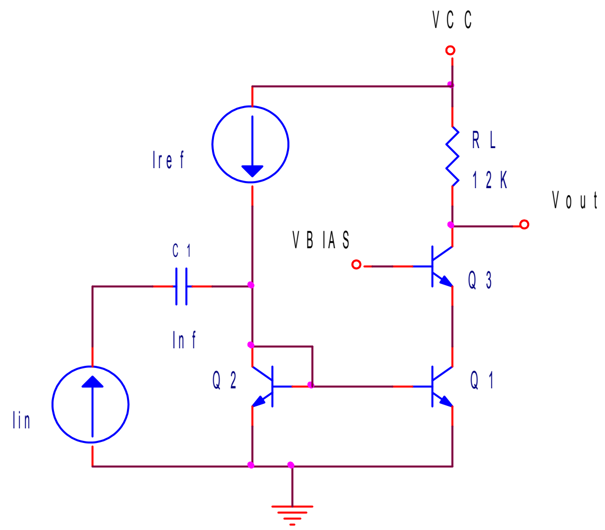
Datos: VCC = -VEE = 9 V, RL = 8 Ω.
Q1, Q2 y Q3 tienen tensión BE en directo $V_{BE}$ = 0.7 V y tensión de saturación $V_{CESAT}$ = 0.3 V y β = 100.
Q1 y Q2 son idénticos. La corriente de saturación ($I_S$) de Q3 es 20 veces menor que la de Q1 y Q2.



## Problema 2 (27 ptos):

En el circuito de la figura Iref es una fuente de corriente continua e Iin una fuente de corriente en señal. Si Iref = 1 mA , VCC = 18 V , RL = 12 kΩ, y todos los transistores son BC547A cuyos datos se adjuntan, calcular la frecuencia de corte superior del circuito de la figura. Incluir en el resultado un expresión analítica de esta frecuencia.

Datos: $f_T = 300$ MHz @ $I_C = 10$mA, $C_\mu = 1{,}7$ pF, $C_{je} = 20$ pF y $\beta = 300$.

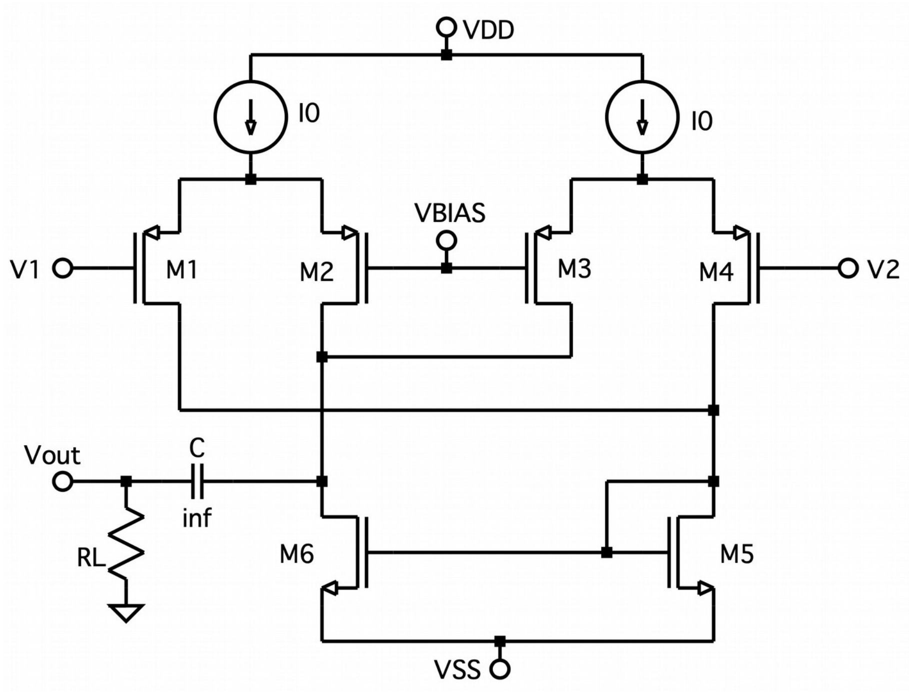



## Problema 3 (23 ptos):

En el circuito de la Figura las señales V1 y V2 tienen una componente diferencial en señal de valor vd y una componente en modo común de valor VBIAS + vcm, donde VBIAS es un valor DC y vcm es una señal con componente DC nula.

a) El circuito busca obtener una señal de salida Vout que dependa solamente de la señal vcm. Determine las ganancias $\left.\frac{vout}{vd}\right|_{vcm=0}$ y $\left.\frac{vout}{vcm}\right|_{vd=0}$ en función de Io, RL y de los parámetros de los transistores.
b) Determine el rango de valores de VBIAS para los cuales el circuito funciona correctamente en función de los parámetros de los transistores, de las fuentes de corrientes y las tensiones de alimentación. Para esta parte se pueden considerar de amplitud despreciable las componentes de señal vd y vcm en las entradas V1 y V2, por lo que en este análisis, V1 = V2 = VBIAS.

Datos:
nMOS: βn, Vton, δn = 0, VAn se puede considerar infinito.
pMOS: βp, Vtop, δp = 0, VAp se puede considerar infinito.
I0: ideal, salvo que se debe garantizar una tensión $V_{I0}$ en sus bornes para que opere correctamente.



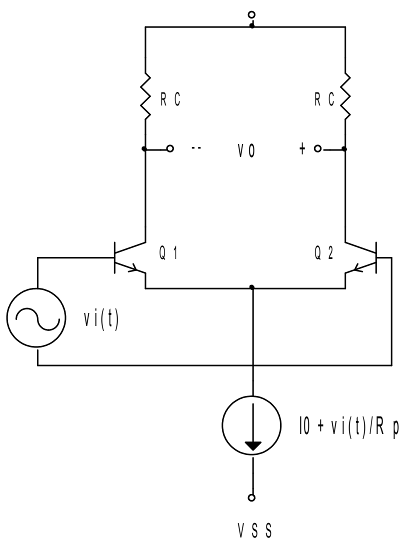

## Problema 4 (23 ptos):

Considere el par diferencial de la Figura. Acoplamientos parásitos entre la entrada de señal vi y el circuito de generación de la corriente I0, hacen que esta fuente de corriente tenga superpuesta una componente alterna que varía como la señal de entrada vi.

La señal de entrada vi es de la forma: $A.\cos(w_i t)$, con A << VT y la señal de alterna que aparece superpuesta a la corriente I0 es $(A/Rp).\cos(w_i t)$, siendo Rp tal que $(A/Rp)=(I0/10)$.

Si se observa el espectro de la señal a la salida vo, indicar:

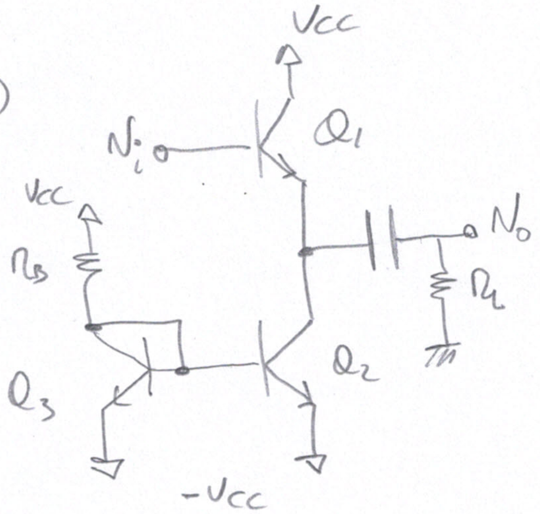
a) las componentes de frecuencia (incluyendo DC) que aparecen a la salida vo, fundamentar la respuesta.
b) el valor de cada una de estas componentes.



# PARCIAL DE ELECTRÓNICA AVANZADA 1 - 2019

Problema 1

(a)




Excursión a la salida

$$V_o^{MAX} = (V_{CC} - V_{CE_{SAT}})$$

$$V_o^{MIN} = -(V_{CC} - V_{CE_{SAT}})$$

(b) $P_L \;/\; \hat{V}_o = V_{CC} - V_{CE_{SAT}}$

$$P_L = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_L \cdot N_o \, d\theta = \frac{\hat{V}_o^2}{R_L}\left(\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \operatorname{sen}^2\theta \, d\theta\right) \Rightarrow P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_L = \frac{(V_{CC} - V_{CE_{SAT}})^2}{2R_L}}$$

(c) i) $I_{S2} = 20 I_{S3}$

$$V_{BE2} = V_{BE3} \Rightarrow V_T \, L\left(\frac{I_{C3}}{I_{S3}}\right) = V_T \, L\left(\frac{I_{C2}}{I_{S2}}\right)$$

$$\Rightarrow I_{C2} = \frac{I_{S2}}{I_{S3}} I_{C3} \Rightarrow \boxed{I_{C2} = 20 I_{C3}}$$

ii) $I_{C3} = \dfrac{2V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow I_{C2} = \dfrac{20(2V_{CC} - V_{BE})}{R_B}$

Para llegar a $P_L$ calculada en (b), $I_{C2}$ es tal q' $R_L I_{C2} \geq V_{CC} - V_{CE_{SAT}} = \hat{V}_o^{MAX}$

$$\left.\begin{aligned} \eta &= \frac{P_L}{P_S} \\ P_S &= 2V_{CC} I_{C2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \eta = \frac{\hat{V}_o^2}{4 V_{CC} R_L I_{C2}} \Rightarrow \eta^{MAX} \Leftrightarrow I_{C2}^{MIN}$$

$$\Rightarrow I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{R_L} = 1{,}09 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{4 V_{CC}} = 24{,}2\%$$

$$\Rightarrow R_B = \frac{20(2V_{CC} - V_{BE})}{I_{C2}} = 318{,}2 \ \Omega$$

# PARCIAL ELECTRÓNICA AVANZADA 1 - 2019

(d) $P_{DQ2} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} I_{C2}\, v_{CE_2}\, d\theta$

$v_{CE_2} = (\hat{V}_0 \operatorname{se}\theta + V_{CC})$

$\Rightarrow P_{DQ_2} = \frac{I_{C2}\hat{V}_0}{2\pi}\cancel{\int_0^{2\pi}\operatorname{se}\theta\, d\theta} + I_{C2} V_{CC}$

0

$\Rightarrow \boxed{P_{DQ_2} = I_{C2} V_{CC} = 9{,}79\ W}$

$P_{DQ_1} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{C1}\cdot v_{CE_1}\, d\theta$

$i_{C1} = I_{C2} + \frac{\hat{V}_0}{R_L}\operatorname{se}\theta$

$v_{CE_1} = V_{CC} - \hat{V}_0 \operatorname{se}\theta$

$\Rightarrow P_{DQ_1} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left[I_{C2} V_{CC} + \left(\frac{V_{CC}\hat{V}_0}{R_L} - I_{C2}\hat{V}_0\right)\operatorname{se}\theta - I_{C2}\hat{V}_0 \operatorname{se}^2\theta\right] d\theta$

$\Rightarrow P_{DQ_1} = I_{C2} V_{CC} + \frac{1}{2\pi}\cancel{\int_0^{2\pi}\left(\frac{V_{CC}\hat{V}_0}{R_L} - I_{C2}\hat{V}_0\right)\operatorname{se}\theta\, d\theta} - \frac{I_{C2}\hat{V}_0}{2\pi}\int_0^{2\pi}\operatorname{se}^2\theta\, d\theta$

$\pi$

0

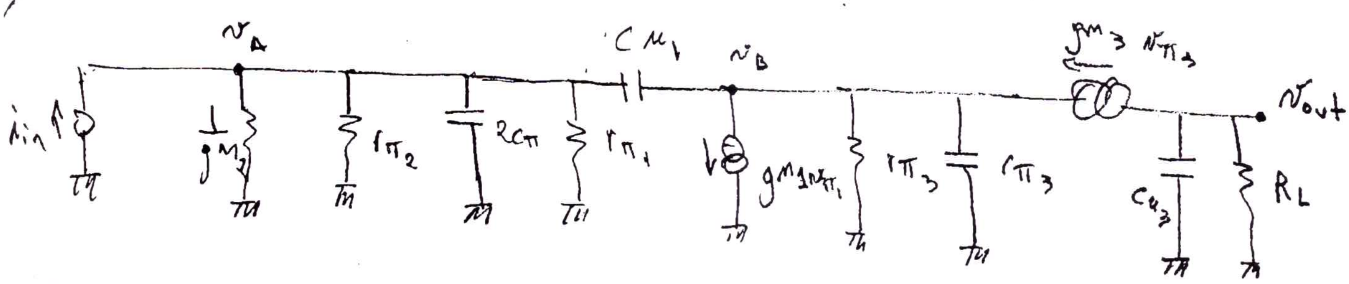
$\Rightarrow P_{DQ_1} = I_{C2}\left(V_{CC} - \frac{\hat{V}_0}{2}\right)$

$\hat{V}_0 = V_{CC} - V_{CE_{SAT}}$

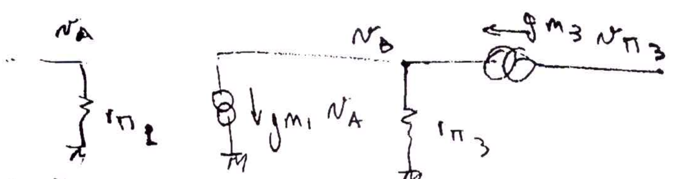
$\Rightarrow \boxed{P_{DQ_1} = \frac{I_{C2}}{2}\left(V_{CC} + V_{CE_{SAT}}\right)}$

$\boxed{P_{DQ_1} = 5{,}06\ W}$

# Problema 2

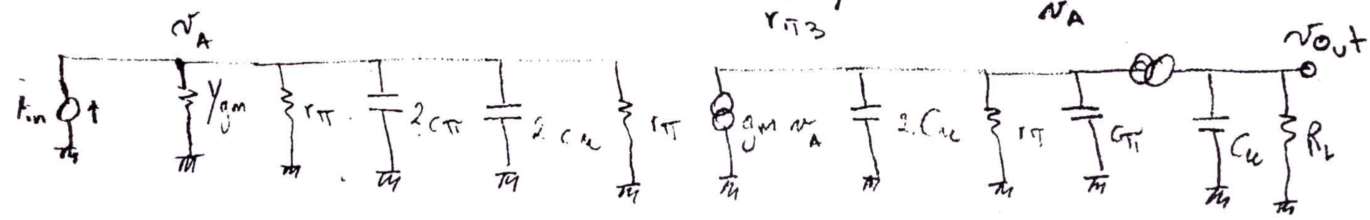



Se pasa $C_{\mu 1}$ por Miller con $A = \frac{v_B}{v_A}$ en baja frecuencia




$v_{\pi 3} = -v_B$

$$g_m v_A = -\left(g_m v_B + \frac{v_B}{r_{\pi 3}}\right) \Rightarrow A = \frac{v_B}{v_A} = -1$$




$$v_A = i_{in}\left(\frac{1}{g_m} \| \frac{1}{2(C_\pi + C_\mu)s}\right) = \frac{i_{in}\ 1/g_m}{\frac{2}{g_m}(C_\pi + C_\mu)s + 1}$$

$$g_m v_A = -v_B\left(r_\pi \| \frac{1}{(C_\pi + 2C_\mu)s} + g_m\right) \Rightarrow \frac{v_B}{v_A} = \frac{-1}{\frac{1}{g_m}(C_\pi + 2C_\mu)s + 1}$$

$$v_{out} = g_m v_B \cdot R_L \| \frac{1}{C_\mu s}$$

$$\frac{v_{out}}{i_{in}} = \frac{R_L}{\left(\frac{2}{g_m}(C_\pi + C_\mu)s + 1\right)\left(\frac{1}{g_m}(C_\pi + 2C_\mu)s + 1\right)\left(R_L C_\mu s + 1\right)}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{\frac{2}{g_m}(C_\pi + C_\mu)} \qquad \omega_{p3} = \frac{1}{R_L C_\mu}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{1/g_m (C_\pi + 2C_\mu)}$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)}$$ $f_T = 300\ MHz$ @ $I_C = 10mA$

$$\frac{10mA/26mV}{2\pi(C_\pi + C_\mu)} = 300\ MHz$$

$\Rightarrow C_\pi + \underbrace{C_\mu}_{C_{obo}} = 204\ pF \Rightarrow C_\pi = 204\ pF - 1{,}7\ pF = 202{,}3\ pF$

$C_\pi = C_{je} + \alpha I$

$C_{je} \approx 2\,\underbrace{C_{jo}}_{C_{ibo}} = 2 \cdot 10\ pF = 20\ pF$

$202{,}3 = 20pF + \alpha \cdot 10mA \Rightarrow \alpha = 18{,}23\ pF/mA$

$I_C = 1mA \Rightarrow C_\pi = 20\ pF + 18{,}23\ pF/mA \cdot 1mA = 38{,}23\ pF$

$g_m = \frac{1mA}{26mV} \Rightarrow \frac{1}{g_m} = 26\ \Omega$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{2 \cdot 26\Omega\,(38{,}23\ pF + 1{,}7\ pF)} = 76\ MHz.$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{26\Omega(38{,}23\ pF + 3{,}4\ pF)} = 147\ MHz$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{12k\Omega \cdot 1{,}7\ pF} = \boxed{7{,}8\ MHz}$$

$\uparrow$

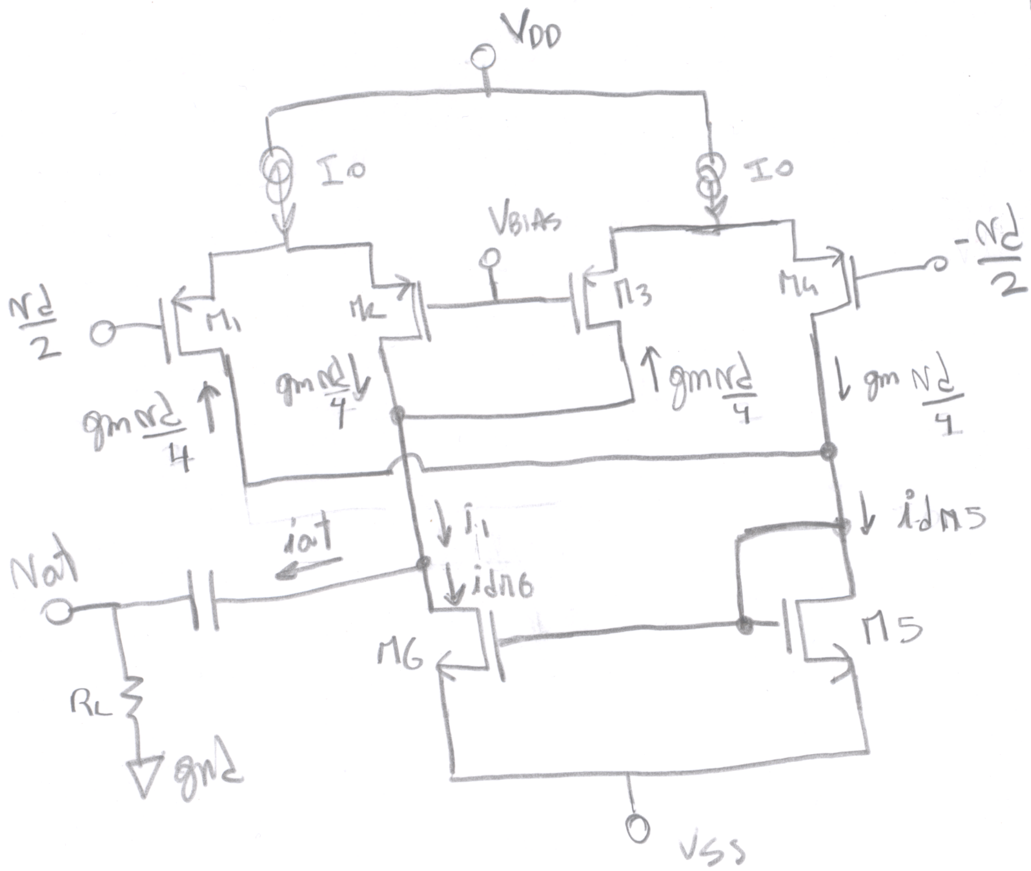
polo dominante

$\Rightarrow$ (frec corte sup = 7,8 MHz)

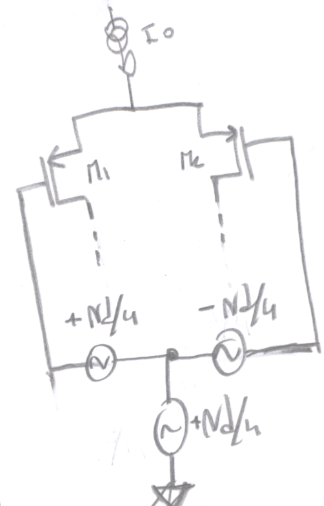
LINDER REYES.

a)

¿ $\left.\dfrac{v_{out}}{v_d}\right|_{v_{CM}=0}$ ?




Entrada por M1-M2:
(análogo para M3-M4)




Entrada en modo común vd/4 no genera variación de corriente, ya que Io es ideal.
Entrada diferencial vd/2 si afecta corrientes de drain.

$$I_{DM1} = I_{DM2} = I_{DM3} = I_{DM4} = I_o/2 \Rightarrow g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = g_{m4} = g_m$$

$$i_1 = i_{dM2} + i_{dM3} = g_m\frac{v_d}{2} - g_m\frac{v_d}{2} = 0$$

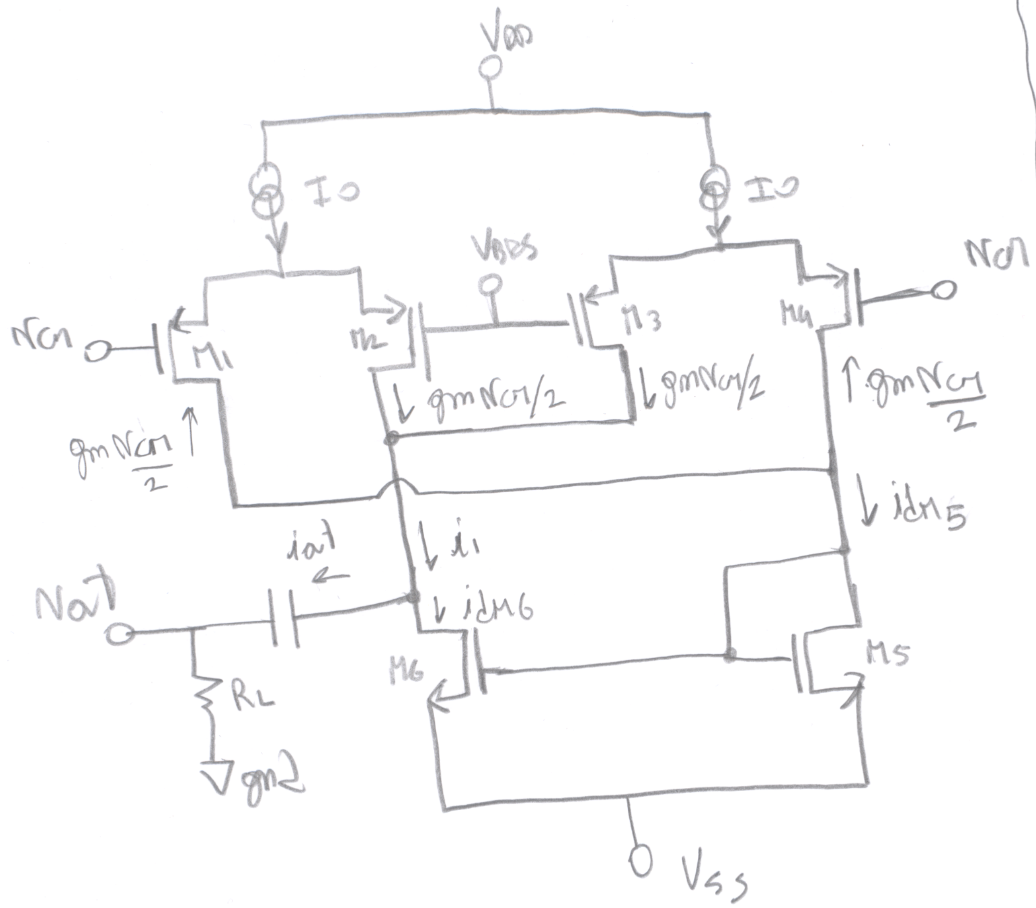
$$i_{dM6} \underset{\text{espejo}}{=} i_{dM5} = i_{dM1} + i_{dM4} = -g_m\frac{v_d}{2} + g_m\frac{v_d}{2} = 0$$

$$i_{out} = i_1 - i_{dM6}$$

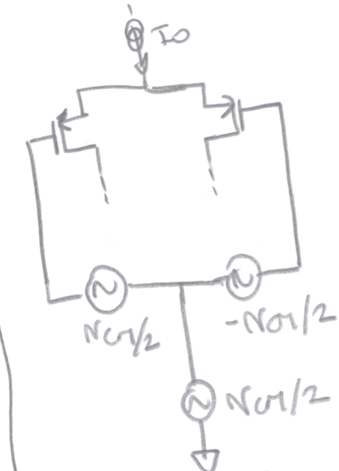
$\Rightarrow i_{out} = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_{out} = 0 \Rightarrow \left.\frac{v_{out}}{v_d}\right|_{v_{CM}=0} = 0$$

a) ¿ $\left.\dfrac{v_{out}}{v_{CM}}\right|_{v_d=0}$ ?




Entrada por M1-M2:
(análogo para M3-M4)




Entrada en modo común vCM/2 no genera variación de corriente de drain ya que Io es ideal. La entrada diferencial vCM sí.

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= g_m v_{CM} \\ i_{dM6} &= i_{dM5} = -g_m v_{CM} \\ i_{out} &= i_1 - i_{dM6} \end{aligned}\right\} \Rightarrow i_{out} = 2 g_m v_{CM} \Rightarrow$$

$$v_{out} = 2 g_m R_L v_{CM} \Rightarrow \boxed{\left.\frac{v_{out}}{v_{CM}}\right|_{v_d=0} = 2 g_m R_L}$$

rp

(b) condición para no saturar fuentes de corriente:

$$\underbrace{V_{DD} - \left(V_{B123} + V_{SGM2}\right)}_{\text{tensión en bornes de fuente } I_0} > V_{I_0}$$

(*) $$\frac{I_0}{2} = I_{DM2} = \frac{\beta_p}{2}\left(V_{SGM2} - V_{top}\right)^2 \Rightarrow V_{SGM2} = V_{top} + \sqrt{\frac{2 I_0/2}{\beta_p}}$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow \quad V_{B123} < V_{DD} - V_{I_0} - V_{top} - \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}}$$

condición I

condición para no salir de saturación a $M_1$ y $M_4$

$$\overbrace{V_{B123} + V_{SGM1}}^{V_{S1}} - \overbrace{\left(V_{SS} + V_{GSM5}\right)}^{V_{D1}} > V_{SDsatM1}$$

(*) $$\Rightarrow V_{SGM1} = V_{top} + \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}}$$

usando (*) y que $\delta = 0$

$$V_{SDsatM1} = \frac{V_{SGM1} - V_{tp}}{1+\delta} = \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}}$$

$$I_0 = I_{DM5} = \frac{\beta_n}{2}\left(V_{GSM5} - V_{ton}\right)^2 \Rightarrow V_{GSM5} = V_{ton} + \sqrt{\frac{2 I_0}{\beta_n}}$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow \quad V_{B23} > \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}} + V_{ton} + \sqrt{\frac{2 I_0}{\beta_n}} + V_{SS} - \left(V_{top} + \sqrt{\frac{I_0}{\beta_p}}\right)$$

$$V_{B123} > \sqrt{\frac{2 I_0}{\beta_n}} + V_{SS} + V_{ton} - V_{top}$$

la condición sobre $M_2$, $M_3$ y $M_6$ es menos restrictiva que la calculada para $M_1$ y $M_4$.

PP

## Problema 4

$$v_o = R_c\, g_m v_i = R_c \frac{(I_o + v_i/R_p)}{2V_T} \cdot v_i$$

$$v_o = \frac{R_c}{2V_T}\left[ I_o A \cos w_1 t + \frac{I_o A}{10} \cos^2 w_1 t \right]$$

$$\cos^2 w_1 t = \frac{1 + \cos 2w_1 t}{2}$$

$$v_o = \frac{R_c}{2V_T} A I_o \left[ \cos w_1 t + \frac{1}{20} + \frac{\cos 2w_1 t}{20} \right]$$

Debido a que el par diferencial actua como un amplificador a la salida ademas de la frecuencia de entrada se tiene la frecuencia doble y una componente de continua, con las amplitudes que se muestran en la expresion anterior