

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
29/07/2008

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)

Para el circuito de la Fig. 1, los transistores Q1 a Q4 se suponen idénticos con β mucho mayor a 1 y tensión de Early infinita. Las tensiones en el circuito son tales que Q1 a Q4 operan en zona activa.

- Considerando que la entrada es totalmente diferencial (la componente en modo común es 0), dibujar el circuito equivalente que es posible considerar para la mitad del circuito.
- Calcular la ganancia $\frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}}$ a frecuencias medias.
- Calcular el ancho de banda.
- Considerando la Tabla 1, donde las fuentes de corriente se consideran reales o ideales según el caso, indicar en la siguiente tabla para cada caso si la ganancia en modo común es 0 o distinta de 0. Fundamente las respuestas para los casos (1) y (2).

Tabla 1

	Salida single-ended	Salida diferencial
(1) I_{o1} ideal, I_{o2} real		
(2) I_{o1} real, I_{o2} ideal		
(3) I_{o1} real, I_{o2} real		

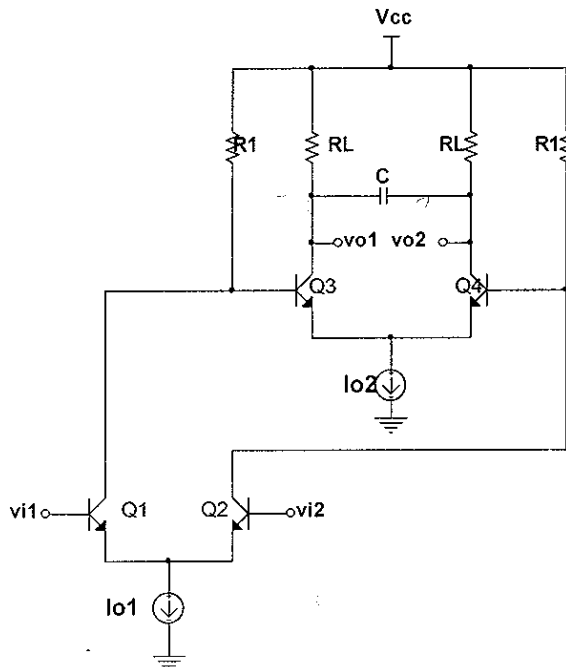


Fig. 1

PROBLEMA 2 (40 puntos)

En el circuito de la Fig. 2 calcular:

- a) tensión de continua de todos los nodos de los transistores M_1 y M_2 ;
- b) resistencia de salida R_{out} ;
- c) ganancia en señal v_{out}/v_{in} , expresada literal y numéricamente,
- d) excursión a la salida

Datos:

$V_{DD}=V_{SS}=5V$, $V_{ton}=|V_{top}|=0.8V$, $I_{bias}=0.25mA$.

$R_S=2.7k\Omega$, $R_D=8.2k\Omega$, $R_G=100M\Omega$

MOSn: $\beta_n=300\mu A/V^2$, $\delta_n=0.1$, $V_{An}=50$

MOSp: $\beta_p=200\mu A/V^2$, $\delta_p=0$, $V_{Ap}=50$

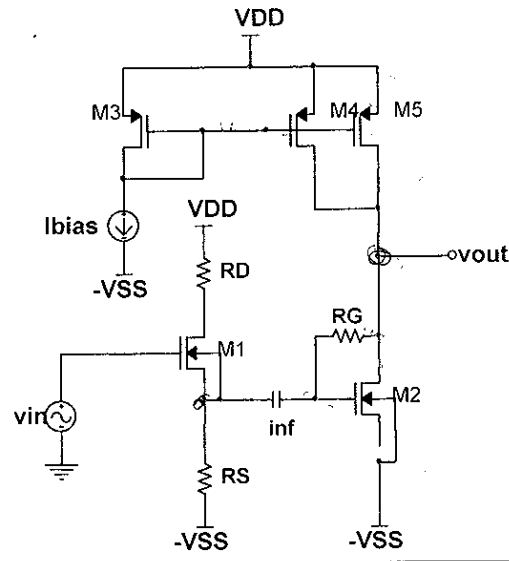


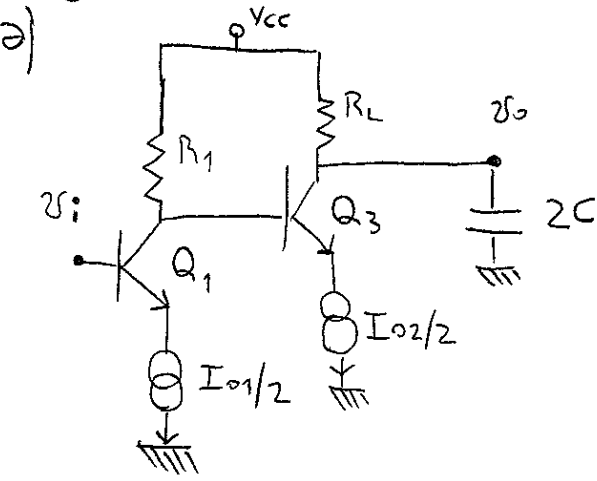
Fig.2

PREGUNTA (20 puntos)

En la figura se muestra un diodo de Silicio.

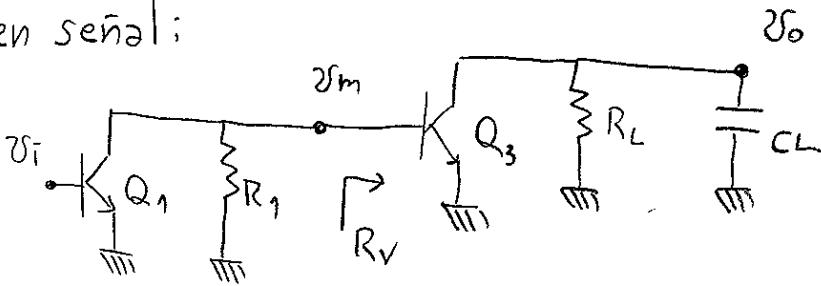
- a) ¿Qué lado de la juntura se dopó con boro (siendo Boro una impureza aceptora)? Justifique claramente
- b) Suponga que la juntura p-n está conectada en directo a un fuente V:
 - i. ¿A qué lado de la juntura se le conecta el borne positivo de la fuente V?
 - ii. Graficar cómo es la distribución de portadores minoritarios a lo largo del diodo dada esta configuración. Indicar en la gráfica las cantidades: n_{po} , p_{no} , $n_p(x=0)$, $p_n(x=0)$. Supongo el caso que $N_A > N_D$
 - iii. Para dos corrientes I_1 e I_2 , con $I_2 > I_1$ mostrar cómo varía la distribución de portadores minoritarios graficada en ii).
 - iv. ¿Cómo varían las componentes de la corriente de difusión y de arrastre (drift) a través de la juntura si disminuye el voltaje aplicado entre los bornes?

Ejercicio 1



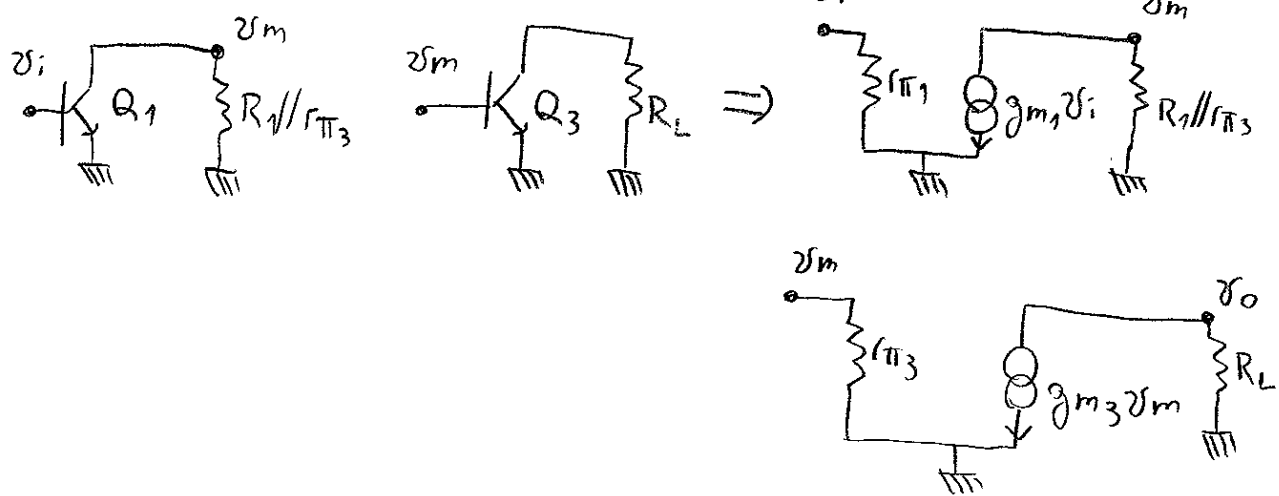
B9

b) en señal:



$$R_V = r_{\pi 3}$$

el modelo a frecuencias medias es:



por lo que:

$$\left. \begin{aligned} v_m &= -g_{m1} (R_1 // r_{\pi 3}) v_i \\ v_o &= -g_{m3} R_L v_m \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_o = g_{m1} g_{m3} R_L (R_1 // r_{\pi 3}) v_i$$

$$\Rightarrow \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}} = g_{m1} g_{m3} R_L (R_1 // r_{\pi 3})$$

c) La frecuencia de corte viene dada por R_L y el condensador $2C_L$ de la siguiente forma: $f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_L \cdot 2C_L}$

d)

(1) Si I_{O1} es ideal, entonces las tensiones en las bases de Q_3 y Q_4 son ambas nulas pues la entrada es en modo común, por lo tanto luego las salidas v_{O1} y v_{O2} serán nulas, y la salida $v_{O1} - v_{O2}$ resultará también nula.

(2) Ahora es I_{O1} real, por lo que las tensiones en las bases de Q_3 y Q_4 serán iguales para una entrada v_1, v_2 en modo común. A la entrada del par conformado por Q_3 y Q_4 hay entonces una señal en modo común, por lo tanto, ya que la fuente I_{O2} es ideal, las salidas v_{O1} y v_{O2} serán nulas, y $v_{O1} - v_{O2}$ resultará también nula.

(3) Ahora las dos fuentes de corriente son reales, por lo tanto la ganancia single ended vendrá dada por:

$$A_{cse} = \frac{R_1 \parallel (\beta R_3 + (\beta + 1) \cdot 2R_{O2}) \cdot R_L}{2R_{O1} \cdot 2R_{O2}}$$

$R_{O2} \rightarrow$ resistencia de la fuente I_{O2}
 $R_{O1} \rightarrow$ de I_{O1}

(en cada emisor hay colgada una resistencia de valor $2R_{O1}$ por la simetría)

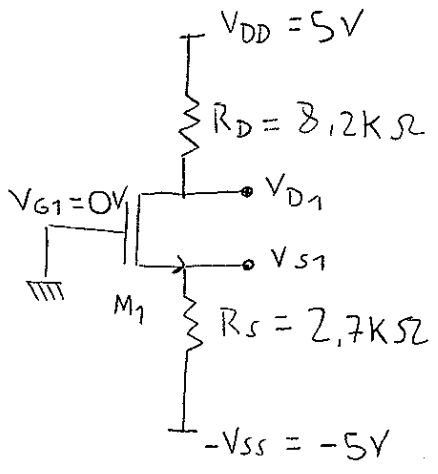
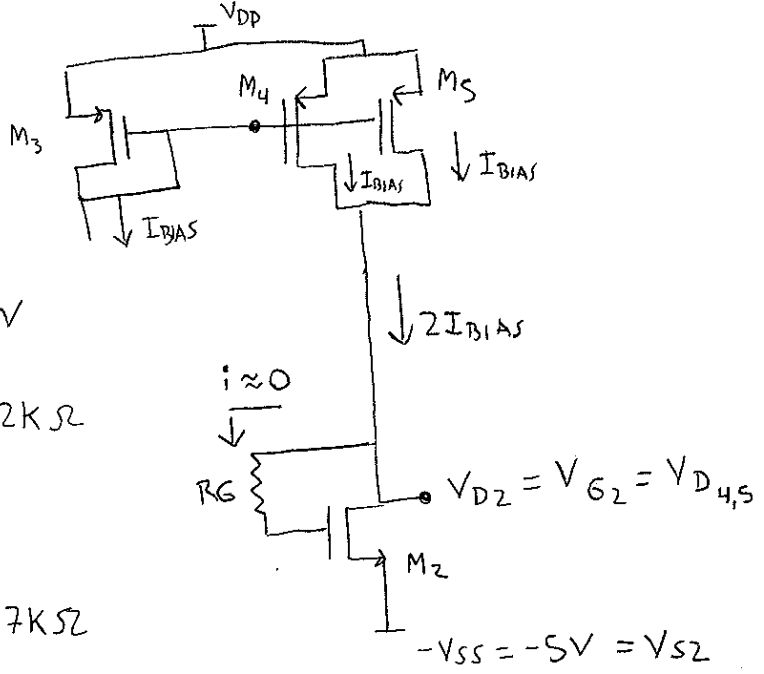
La ganancia diferencial volverá a ser nula, ya que ambas salidas (v_{O1} y v_{O2}) resultan iguales.

	salida single ended	salida diferencial
(1)	0	0
(2)	0	0
(3)	$\neq 0$	0

B9

Ejercicio 2:

a) En DC:



$$M_1: I_D = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{GS} - V_{t0})^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{V_S + V_{SS}}{R_S} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_S + V_{t0})^2$$

$$I_D = \frac{V_S - (-V_{SS})}{R_S} \quad ; \quad V_{GS} = V_G - V_S = 0V - V_S = -V_S$$

$$\Rightarrow \frac{V_S + 5V}{2.7k\Omega} = \frac{300\mu A/V^2}{2 \times 1.1} (V_S + 0.8V)^2 \Rightarrow V_S = 4.1982V$$

$$V_S = -3.0822V$$

$$V_{GS} \gg V_t = V_{t0} = 0.8V \Rightarrow -V_S \gg 0.8V \Rightarrow \underline{\underline{V_{S1} = -3.08V}}$$

$$\frac{V_{DD} - V_{D1}}{R_D} = I_{D1} = 0.7103mA \Rightarrow \underline{\underline{V_{D1} = -0.8244V}}$$

$$M_2: 2I_{BIAS} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{GS} - V_{t0})^2 \Rightarrow 0.5mA = \frac{300\mu}{2 \times 1.1} (V_{G2} + 5V - 0.8V)^2$$

$$\Rightarrow (V_{G2} + 4.2V)^2 = 2.2 \times \frac{0.5}{0.3} = 3.6667V^2 \Rightarrow V_{G2} = -6.11V$$

$$V_{G2} = -2.28V$$

$$V_{GS} \gg V_t = V_{t0} = 0.8V \Rightarrow V_G + 5V \gg 0.8V \Rightarrow V_G \gg -4.2V$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{V_{G2} = -2.28V}}$$

b) Resistencia de salida.

$$r_{o3} = r_{o4} = \frac{V_{AP}}{I_{DP}} = \frac{50}{0.25 \text{ mA}} = 200 \text{ k} \Rightarrow r_{o3} \parallel r_{o4} = 100 \text{ k}.$$

$$r_{o2} = \frac{V_{an}}{2I_{DP}} = \frac{50}{0.5 \text{ mA}} = 100 \text{ k}.$$

$$r_{oef} = r_{o2} \parallel (r_{o4} \parallel r_{o3}) = 50 \text{ k}.$$

$$r_o = r_{oef} = 50 \text{ k}$$

$$r_{oef} \ll (R_G + R_S \parallel \frac{1}{g_{m1}}) \approx 100 \text{ M} \Omega.$$

c) Considerando que R_G es un circuito abierto a señal:

$$\frac{v_{s1}}{v_{in}} = \frac{R_S g_{m1}}{1 + R_S g_{m1}}$$

$$\frac{v_{s1}}{v_{in}} = 0,62 \text{ V/V}.$$

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2\beta \cdot I_{D1}}{1+\lambda}} = 0,62 \text{ mS}.$$

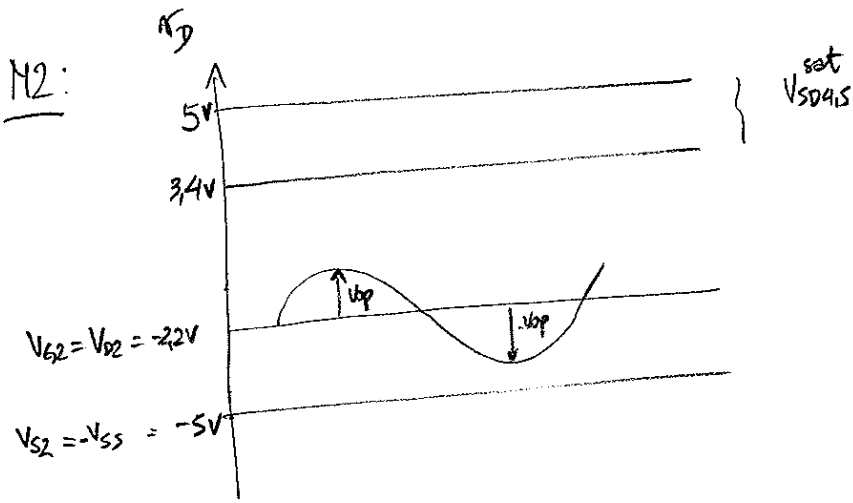
$$\frac{v_{D2} = v_{out}}{v_{s1}} = g_{m2} \cdot r_o$$

$$\frac{v_{out}}{v_{s1}} = -26,0 \text{ V/V}.$$

$$g_{m2} = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\lambda} I_{D2}} = 0,52 \text{ mS}.$$

$$G = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_{out}}{v_{s1}} \cdot \frac{v_{s1}}{v_{in}} \approx 16,3 \text{ V/V}.$$

d)



La máxima excursión en este caso se obtiene garantizando que:

- ① $V_{DS} \geq V_{DS,sat,2}$ (por abajo)
- ② $V_{op} \leq V_{DD} - V_{DS,sat,1,5}$ (por arriba) (que el espejo siga copiando)

① $V_{DS} \geq V_{DS,SAT2}$ (M2 esté en saturación)

Una primera opción sería considerar $V_{DS,SAT2}$ en continua \Rightarrow

$$\Rightarrow V_{DS,SAT2} = \frac{V_{GS} - V_t}{1 + \gamma} = \frac{V_{G2} + V_{SS} - V_t}{1 + \gamma} = 1,8V$$

$$V_{DS} \geq 1,8V \Leftrightarrow V_{D2} - V_{op} - (-V_{SS}) \geq 1,8V \Leftrightarrow \boxed{V_{op} \leq 1V}$$

Una segunda opción sería considerar que V_G se "mueve" en señal y utilizar la ganancia de pequeña señal ($G=26$) calculada en la parte anterior para modelar este fenómeno:

$$V_{DS} \geq \frac{V_{GS} - V_t}{1 + \gamma} \Leftrightarrow V_{D2} - V_{op} + V_{SS} \geq \frac{V_{D2} + \frac{V_{op}}{G} + V_{SS} - V_t}{1 + \gamma} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (V_{D2} + V_{SS})(1 + \gamma) - V_{D2} - V_{SS} + V_t \geq V_{op} \left(1 + \gamma + \frac{1}{G} \right) \Leftrightarrow V_{op} \leq \frac{\gamma(V_{D2} + V_{SS}) + V_t}{1 + \gamma + \frac{1}{G}}$$

$\Leftrightarrow \boxed{V_{op} \leq 0,95V}$ \rightarrow Este valor sería más preciso, aunque dan casi lo mismo. Ambas formas de resultado se consideran correctas.

J

$$\textcircled{2} \quad V_D \leq V_{DD} - V_{SD, \text{sat } 4,5}$$

$$I_{D, \text{M3}} = \frac{\beta_P}{2(1+\delta)} \cdot (V_{SG} - V_t)^2 \quad \delta=0 \Rightarrow V_{SG} - V_t = \pm \sqrt{\frac{2}{\beta_P} I_{\text{bias}}} \Rightarrow V_{SG} - V_t = 1,58V$$

$$V_{SD, \text{sat } 4,5} = \frac{V_{SG} - V_t}{1+\delta} = 1,58V \quad (\text{observa que en este caso } V_G \text{ no se "mueve" y por tanto no se generan las opciones presentadas en } \textcircled{1})$$

$$V_D = V_D + V_{op} \leq 3,42V \Rightarrow \boxed{V_{op} \leq 5,6V}$$

Resumen: $\textcircled{1} \quad V_{op} \leq 1V$

$\textcircled{2} \quad V_{op} \leq 5,6V$

\Rightarrow La condición más restrictiva es $V_{op} \leq 1V$