

**2do. PARCIAL DE ELECTRONICA 1**  
30/06/2017

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

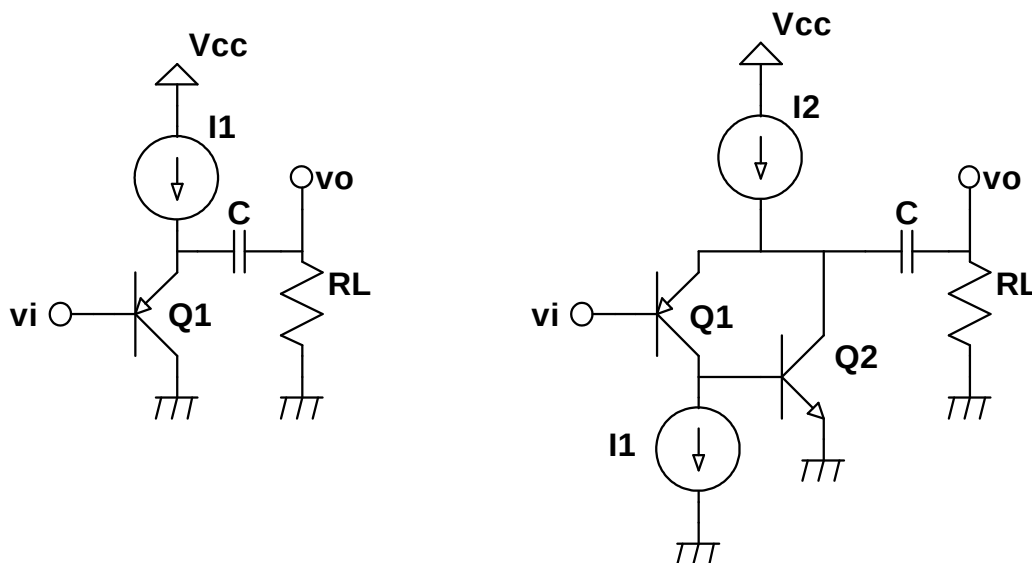
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

**PROBLEMA 1 (27 puntos)**

- El circuito de la Figura 1 es un seguidor emisor, exprese en función de los datos del problema que condición debe cumplir  $R_L$  para que la ganancia sea  $v_o/v_i \approx 1$  V/V.
- El circuito de la Figura 2 también es un seguidor emisor, exprese en función de los datos del problema cuál es la condición que debe cumplir  $R_L$  en este caso para que la ganancia sea  $v_o/v_i \approx 1$  V/V.
- Determine, en cada caso, en qué rango puede variar  $v_i$  para que el circuito opere de acuerdo a lo calculado en a) y b) respectivamente.

Datos:

- $V_{CC} = 5$  V
- $I_1 = 0.5$  mA,  $I_2 = 2$  mA. Ambas fuentes tienen una tensión mínima de funcionamiento  $V_{SAT} = 0.3$  V, y  $R_o = \text{inf}$ .
- Los condensadores  $C$  se supondrán infinitos.
- $Q_1, Q_2$ :  $V_{BE} = V_{EB} = 0.7$  V,  $\beta = 100$ ,  $V_{CEsat} = V_{ECsat} = 0.3$  V, tensión de Early infinita
- Partes a) y b): La componente DC de la señal  $v_i$  es tal que todos los transistores trabajan en Zona Activa y se respeta la tensión mínima de funcionamiento de las fuentes de corriente.



**PROBLEMA 2 (26 puntos)**

Parte de Ejercicio 8, práctico 6

El circuito de la figura es un amplificador de 3 etapas cuya polarización se fija a través de una realimentación en continua.

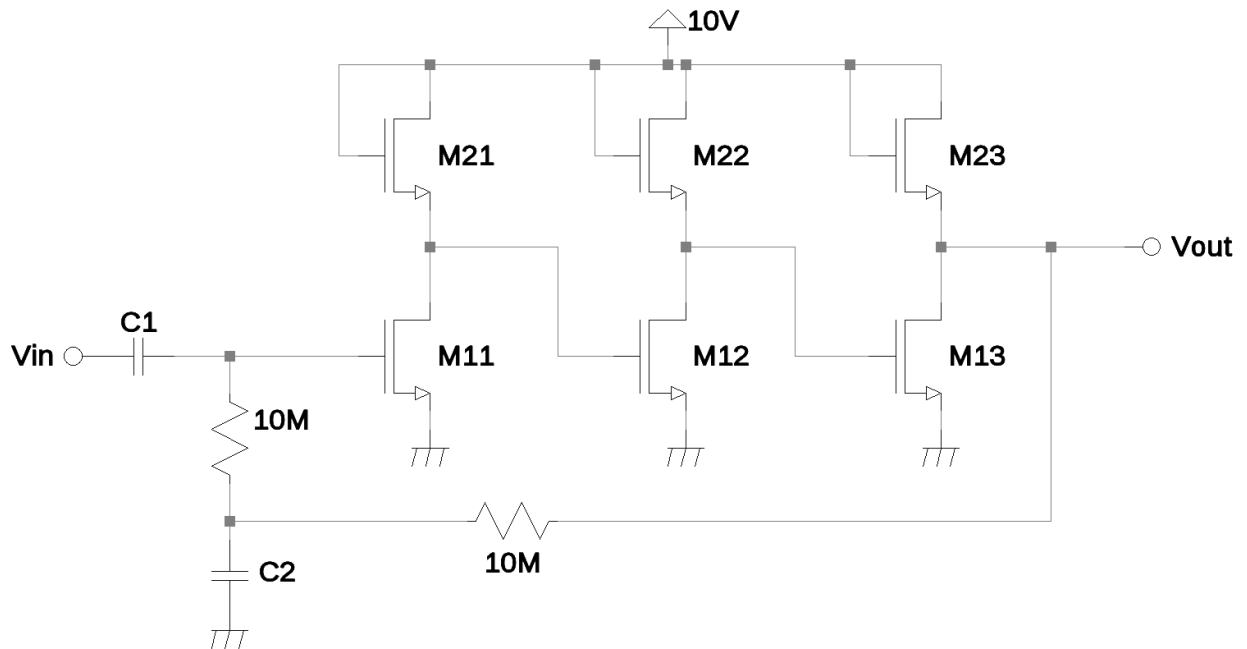
Los transistores de este amplificador cumplen que:

$V_{t0} = 2V$ ,  $\beta_{M1i} = 4\beta_{M2i} = 1 \mu A/V^2$ ,  $\delta_{M1i} = \delta_{M2i} = 0$ ,  $V_{AM1i} = V_{AM2i} = \infty$ , la tensión  $V_{SB}$  de todos los transistores es 0 V (tienen sus terminales source y bulk unidos).

Las capacidades C1 y C2 se consideran infinitas.

Calcular:

- La tensión DC de la salida.
- La ganancia  $V_{out}/V_{in}$ .



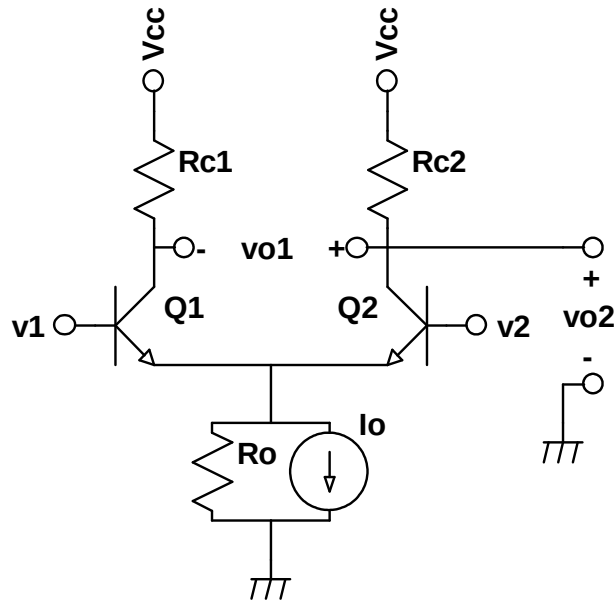
**PROBLEMA 3 (27 puntos)**

Para el par diferencial de la figura, justificando cada una de las respuestas se pide calcular las siguientes magnitudes. Excepto para la parte e), en el resto del problema se asumirá que  $R_{c1} = R_{c2} = R_c$ .

- Ganancia diferencial con salida single ended  $v_{o2}$
- Ganancia diferencial con salida diferencial  $v_{o1}$
- CMRR con salida single ended  $v_{o2}$
- CMRR con salida diferencial  $v_{o1}$
- CMRR con salida diferencial  $v_{o1}$  y  $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$  desapareadas ( $R_{c1} = R_c + \Delta R_c/2$ ,  $R_{c2} = R_c - \Delta R_c/2$ ).

Asuma  $Q1$  y  $Q2$  idénticos y trabajando siempre en zona activa. Se supondrá que se se puede despreciar el efecto Early en  $Q1$  y  $Q2$ .

$I_o$  es una fuente de corriente con resistencia de salida  $R_o$ .



**PREGUNTA (20 puntos)**

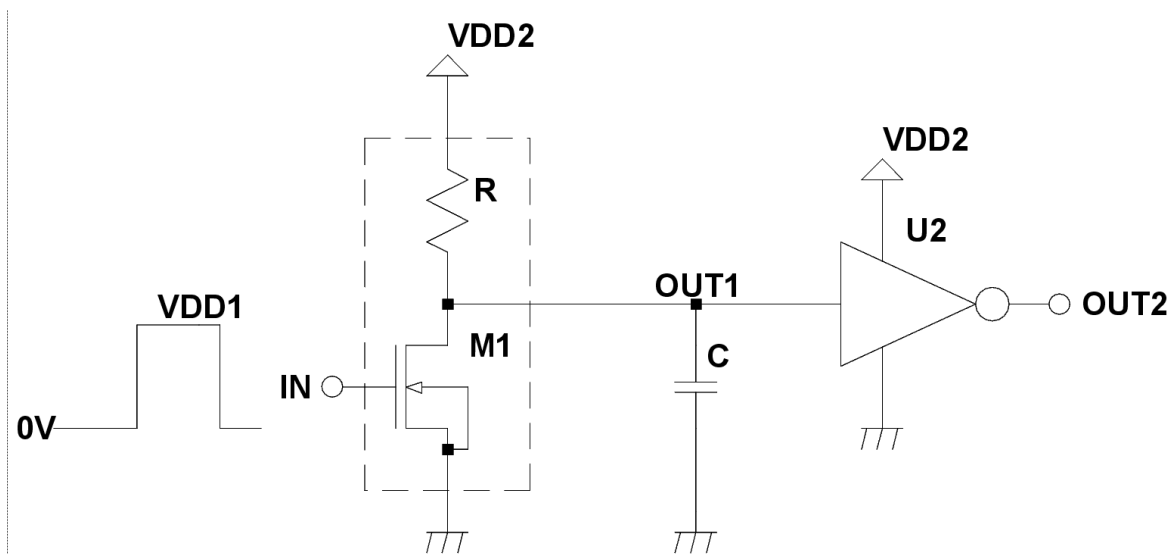
a) Indicar gráficamente en la característica estática de transferencia de tensión entrada-salida de un inversor ( $V_o = f(V_i)$ ) los valores de  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$ ,  $V_{IH}$ ,  $V_{IL}$ , margen de ruido en nivel alto (NMH) y margen de ruido en nivel bajo (NML).  
Explicar claramente cómo se definen los puntos  $V_{IH}$  y  $V_{IL}$  y porqué.

b) En el circuito de la Figura el bloque entre líneas punteadas (U1) actúa como compuerta lógica que ejecuta un cambio de niveles lógicos ("level shifter"). Recibe en la entrada una señal, como la mostrada entre 0 y  $V_{DD1}$  y da a su salida otros niveles lógicos. El inversor U2 tiene como niveles característicos  $V_{IL2}$ ,  $V_{IH2}$ ,  $V_{OL2}$ ,  $V_{OH2}$ , donde los nombres indican a que nivel refiere cada uno. C representa la capacidad parásita en la entrada de U2. Se pide:

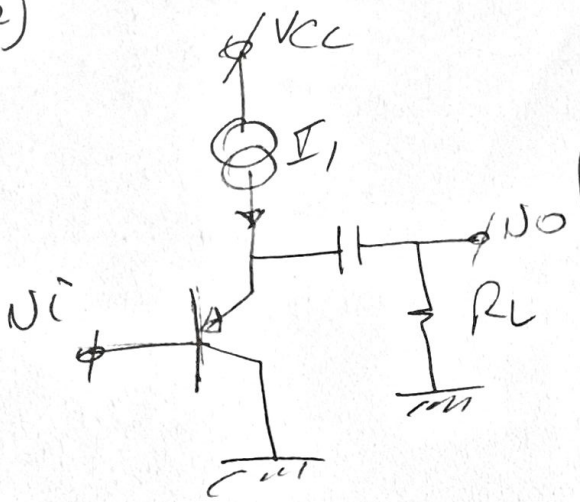
i) ¿ Cuánto valen  $V_{OL1}$  y  $V_{OH1}$  de la compuerta U1 y los márgenes de ruido a la entrada de U2 ?

ii) Determinar el retardo  $t_{pLH}$  de la compuerta U1, asumiendo que la entrada es una onda cuadrada como se muestra en la figura.

Datos numéricos para parte b):  $V_{DD1} = 1.2V$ ,  $V_{DD2} = 3.3V$ ,  $V_{IL2} = 1.1V$ ,  $V_{IH2} = 2.2V$ ,  $V_{OL2} = 0V$ ,  $V_{OH2} = 3.3V$ ,  $\beta_{M1} = 5.9mA/V^2$ ,  $V_{t0M1} = 0.35V$ ,  $\delta_{M1} = 0$ ,  $R = 10k$ ,  $C = 10pF$ .

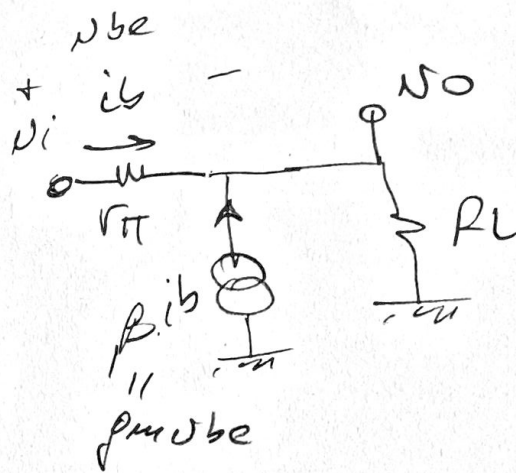


a)



$$I_{C1} \cong I_{E1} = I_1$$

Modelo de pep. señal:



$$\Rightarrow V_o \cong \frac{\beta \mu_{be} R_L}{1 + \beta \mu_{be}} V_i$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} \cong 1 \iff \beta \mu_{be} R_L \gg 1$$

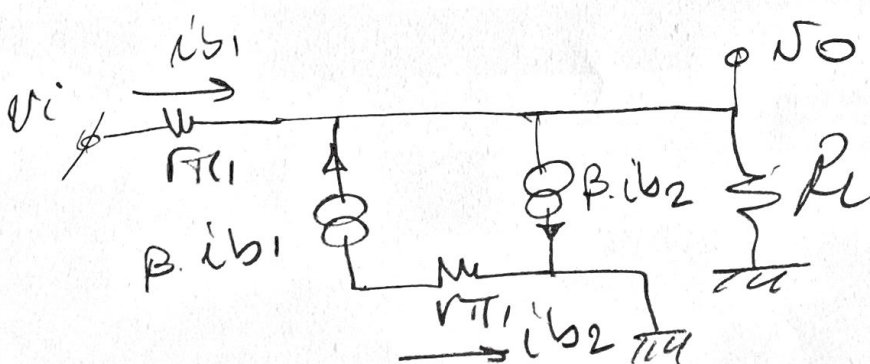
$$\iff \left[ \frac{I_1}{V_T} \cdot R_L \gg 1 \right]$$

b) DC:  $I_{B2} \ll I_1$

$$\Rightarrow I_{C1} = I_1, \quad I_{C2} = I_2 - I_1 = 0.5 \mu A$$

$$\Rightarrow I_{B2} = \frac{I_2 - I_1}{\beta} = \frac{1.5 \mu A}{100} \ll I_1 \quad \checkmark$$

Modelo en señal:



• Pudo en 50% Q2

$$\Rightarrow i_{b2} = -\beta \cdot i_{b1}$$

Pudo en 50%

$$V_o = R_L \left( (\beta+1) i_{b1} - \beta i_{b2} \right)$$

$$\Rightarrow V_o = R_L \left( (\beta+1) + \beta \cdot \beta \right) i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{V_i - V_o}{r_{\pi 1}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L \left( (\beta+1) + \beta^2 \right)}{r_{\pi 1} + R_L \left( (\beta+1) + \beta^2 \right)}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} \approx 1 \Leftrightarrow r_{\pi 1} \ll R_L \left( \beta^2 + (\beta+1) \right) \xrightarrow{\beta \gg 1}$$
  
$$\Leftrightarrow \left[ \frac{V_i}{V_T} \cdot R_L \gg \frac{\beta}{\beta^2 + (\beta+1)} \approx \frac{1}{\beta} \right]$$

a) Caso a):

Si mica / Q no sature

$$V_{EC} = V_i + V_{EB} > V_{ECSAT}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{V_i > V_{ECSAT} - V_{EB}} = -0.4V$$

Si mica /  $V_{FUENTE} > V_{SAT}$

$$\Rightarrow V_{FUENTE} = V_{CC} - (V_i + V_{EB}) > V_{SAT}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_i < V_{CC} - V_{EB} - V_{SAT}} = 4V$$

Caso b): Si mica:  $V_{E1} = V_{BE2} > V_{SAT}$   
 $\Rightarrow$  no influencia.

$\Rightarrow$  Si mica / mi Q, mi Q2 saturan

$$V_{EC1} = V_i + V_{EB} - V_{BE} = V_i > V_{ECSAT}$$

$$V_{CE2} = V_i + V_{EB} > V_{CESAT}$$

(3)

$$\rightarrow V_i > V_{CESAT} - V_{EB}$$

→ le más restrictivo es

$$V_i > V_{CESAT} = 0.3V$$

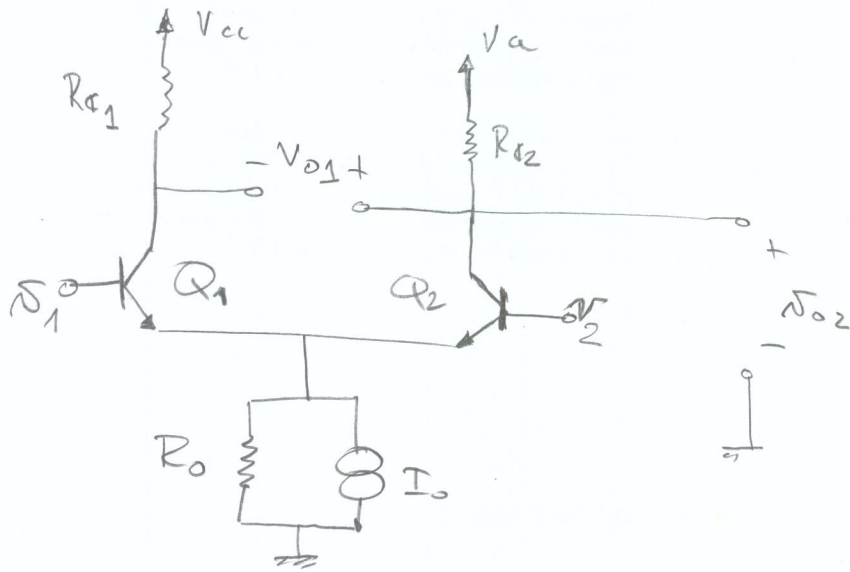
$$V_i \text{ max} / V_{E2} > V_{SAT}$$

$$V_{E2} = V_{CC} - (V_i + V_{EB}) > V_{SAT}$$

$$\rightarrow V_i < V_{CC} - V_{EB} - V_{SAT} = 4V$$

Problema 3 :

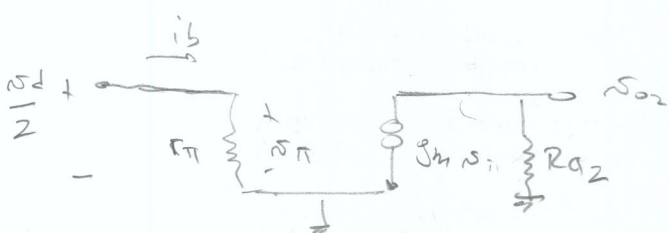
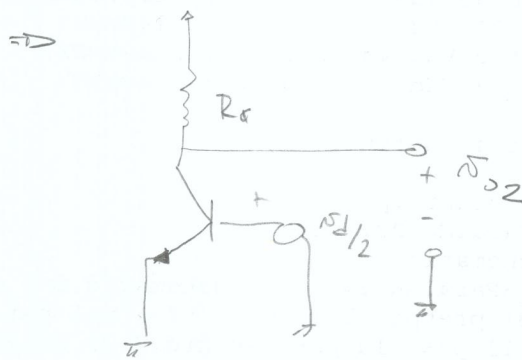
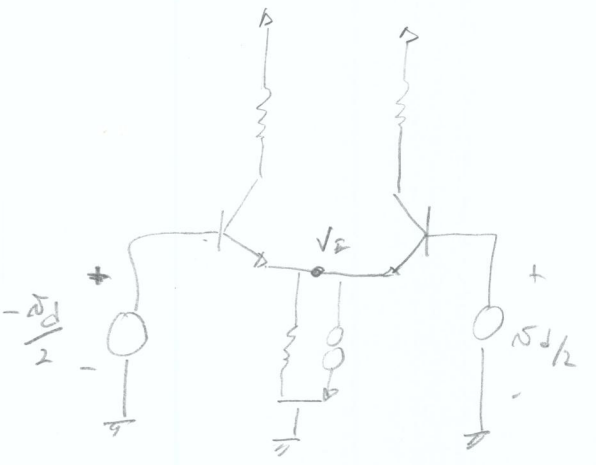
G.A



a) Ganancia diferencial con salida single ended  $v_{02}$ .

$$v_{02} - v_{01} = v_d$$

$V_E = 0$  en pequeña señal



$$v_{02} = -\frac{v_d}{2} \cdot g_m R_{C2}$$

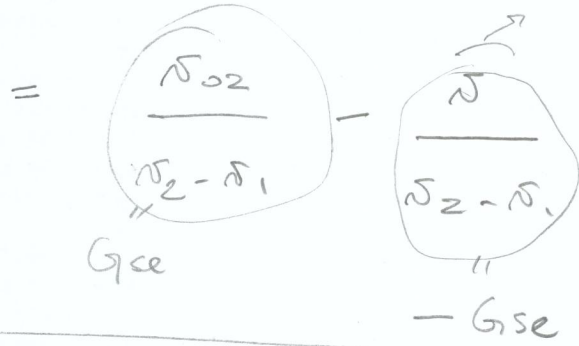
$$\Rightarrow \frac{v_{02}}{v_{02} - v_{01}} = \boxed{G_{se} = -\frac{g_m R_C}{2}}$$



b) Ganancia diferencial con salida diferencial G<sub>A</sub>

$$G_{diff} = \frac{v_{o2}}{v_{i2} - v_{i1}}$$

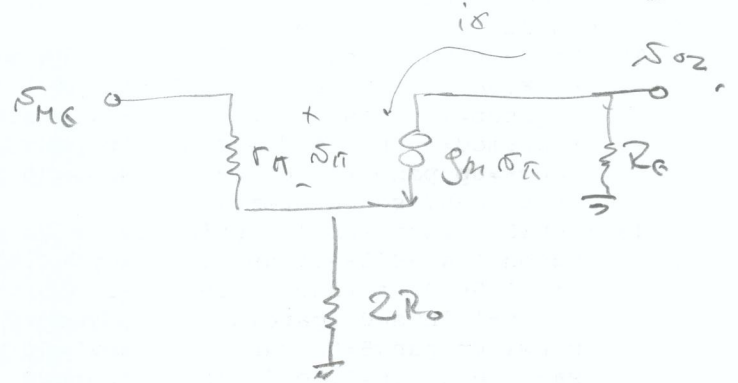
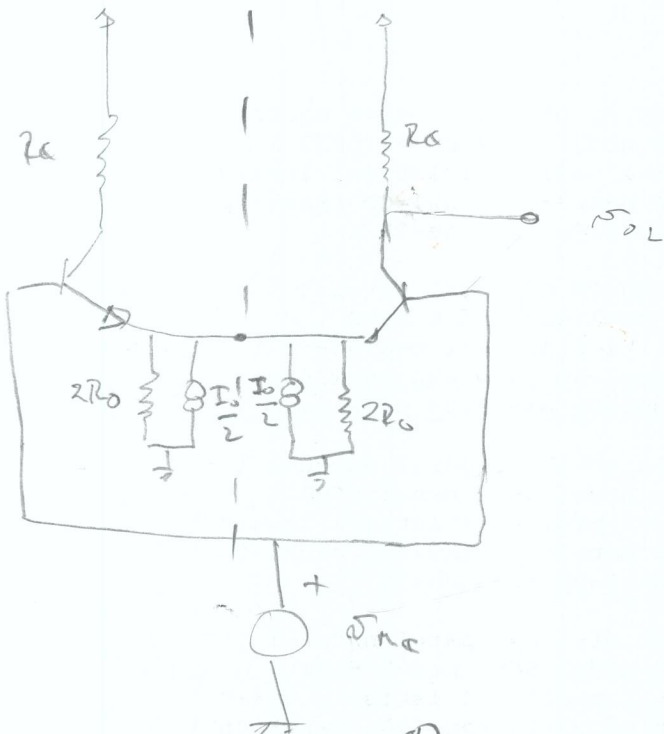
$$R_{e1} = R_{e2} = R_e$$



$$G_{diff} = 2 G_{se} = -g_m R_e$$

c) CMRR con salida single ended v<sub>o2</sub>

$$CMRR_{se} = \frac{G_{se}}{G_{MC_{se}}} = \frac{-\frac{g_m R_e}{2}}{\frac{1 + 2R_e g_m}{g_m}} = \frac{1 + 2R_e g_m}{2}$$



$$v_{MC} = i_b r_{\pi} + 2R_e (i_b + i_c)$$

$$v_{MC} = (\beta + 1) i_b \left[ \frac{r_{\pi}}{\beta + 1} + 2R_e \right]$$

$$\frac{v_{o2}}{v_{MC}} = -\frac{R_e}{\frac{1}{g_m} + 2R_e} = G_{MC}$$

$$v_{MC} = \frac{\beta + 1}{\beta} i_c \left[ \frac{r_{\pi}}{\beta + 1} + 2R_e \right]$$

d) CMRR con salida diferencial  $v_{o2}$  G.A

$$\Rightarrow \left[ \text{CMRR}_{\text{diff}} = \frac{G_{\text{diff}}}{G_{\text{MC}_{\text{diff}}}} = \infty \right]$$

Como  $R_{e1} = R_{e2} \Rightarrow \frac{v}{v_{MC}} = \frac{v_{o2}}{v_{MC}}$

$$\Rightarrow G_{\text{MC}_{\text{diff}}} = 0$$

e) CMRR con salida diferencial y  $R_{e1}, R_{e2}$  despareados

Ahora:

$$\left( R_{e1} = R_e + \frac{\Delta R_e}{2}, R_{e2} = R_e - \frac{\Delta R_e}{2} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{v}{v_{MC}} = - \frac{(R_e + \frac{\Delta R_e}{2})}{\frac{1}{g_m} + 2R_e}$$

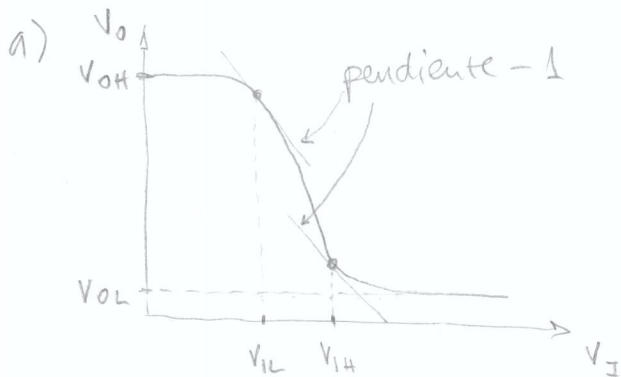
$$\frac{v_{o2}}{v_{MC}} = - \frac{(R_e - \frac{\Delta R_e}{2})}{\frac{1}{g_m} + 2R_e}$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow \left( G_{\text{MC}_{\text{diff}}} = \frac{v_{o2} - v}{v_{MC}} = \frac{\Delta R_e}{\frac{1}{g_m} + 2R_e} \right)$$

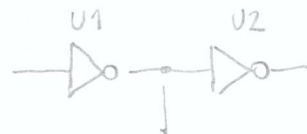
$$\Rightarrow \left[ \text{CMRR}_{\text{diff}} = \frac{g_m R_e}{\Delta R_e} \cdot \left( 1 + 2R_e g_m \right) \right]$$

Pregunta



$V_{IH}$  y  $V_{IL}$  definidos para pendiente -1 para garantizar propagación en cascada de compuertas (justificación completa en teóricos).

$NML = V_{IL} - V_{OL}$   
 $NMH = V_{OH} - V_{IH}$



$NMH \left\{ \begin{array}{l} V_{OH1} \\ V_{IH2} \end{array} \right.$

$NML \left\{ \begin{array}{l} V_{IL2} \\ V_{OL1} \end{array} \right.$

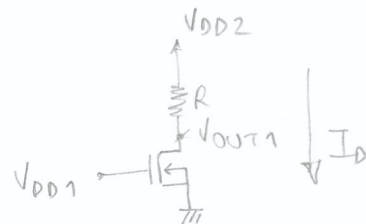
b) 1)  $V_{OUT1} (V_{IN} = 0V) = V_{DD2} \rightarrow V_{OH} = V_{DD2} = 3,3V$

Para  $V_{IN} = V_{DD1}$ :  $I_D = \beta (V_{DD1} - V_{T\phi}) \cdot V_{OUT1}$

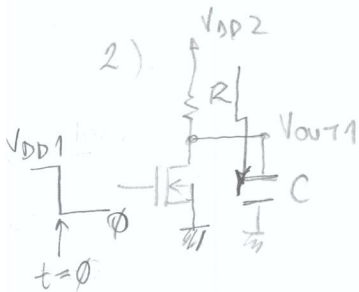
$V_{DD2} - RI_D = V_{OUT1}$

$\Rightarrow V_{OUT1} = \frac{3,3V}{1 + 10k\Omega \times \frac{5,9\mu A}{V^2} (1,2V - 0,35V)}$

$\Rightarrow V_{OUT1} = 64,5mV \rightarrow V_{OL} = 64,5mV$



- $V_{OH1} = 3,3V$  }  $\rightarrow NMH = 1,1V$
- $V_{IH2} = 2,2V$
- $V_{IL2} = 1,1V$  }  $\rightarrow NML = 1,04V$
- $V_{OL1} = 64,5mV$



En  $t=0^-$ :  $V_{OUT1} = 64,5mV$

Para  $0^+ < t < t_{PLH1}$ ,  $V_{IN} = 0V \Rightarrow$  transistor al corte  
 C se carga a través de R:  $V_{OUT1} = V_1 e^{-t/RC} + V_2$

$V_{OUT1P} = V_{OUT1}(t = t_{PLH1}) = \frac{V_{OL1} + V_{OH1}}{2} = 1,68V$

$t_{PLH1} = -RC \log \left( \frac{V_{OUT1P} - V_2}{V_1} \right)$

con  $V_2 = 3,3V$  (valor final)  
 $V_1 + V_2 = 64,5mV$  (valor inicial) }  $\rightarrow V_1 = -3,23V$

$R = 10k\Omega$ ;  $C = 10pF$ ;  $V_{OUT1P} = 1,68V$

$t_{PLH1} = 69ns$