

EXAMEN DE ELECTRONICA 1

02/08/05



50708140

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 (37 puntos)

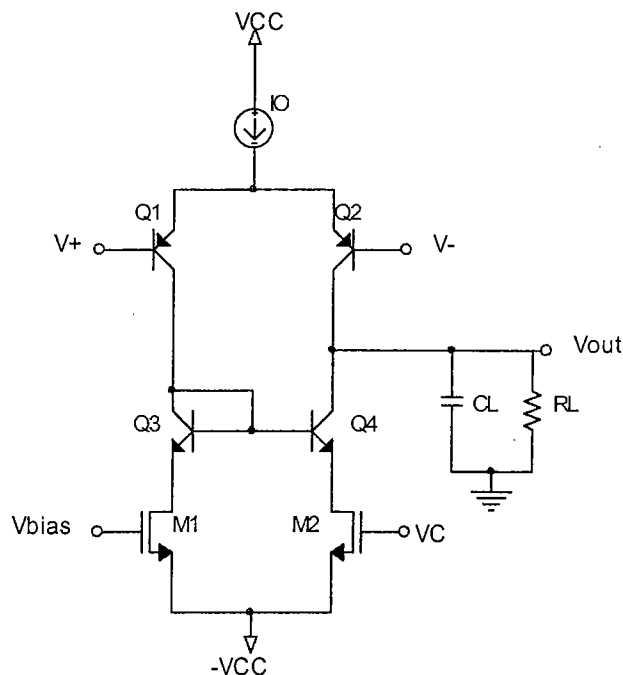
En el circuito de la figura 1, $Q1 \equiv Q2$, $Q3 \equiv Q4$ y $M1 \equiv M2$, además $V_{bias} = V_C = cte$ tal que **M1** y **M2** se encuentran en zona lineal.

- Calcule la ganancia diferencial $V_{out}/(V+ - V-)$ a baja frecuencia.
- Calcule el ancho de banda, la frecuencia de transición y el slew rate del amplificador.
- De aquí en más se considera que **Q1** y **Q2** están desapareados de manera tal que el área de emisor de **Q1** es 1.1 veces el área de emisor de **Q2**. Determine como se reparte en este caso la corriente I_O entre **Q1** y **Q2**.
- Calcule la tensión de offset a la salida debido a el desapareo de los transistores **Q1** y **Q2**. ¿Cuál es la tensión de offset equivalente a la entrada del circuito?
- Determine que $V_C \neq V_{bias}$ anula la tensión de offset calculada en d)

Datos:

Tr.Bipolar: $\beta \gg 1$, $V_A = \infty$

Tr.MOS: β_n , V_{Ton} , $\delta = 0$, $V_A = \infty$

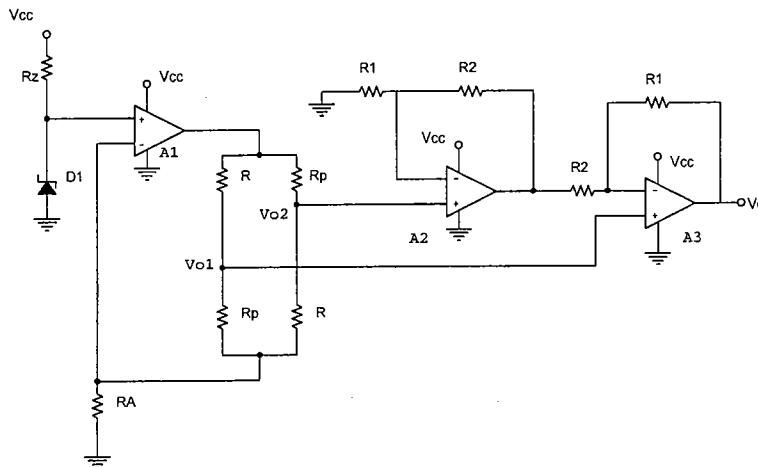


PROBLEMA 2 (37 puntos)

El circuito de la figura amplifica la señal de un transductor de presión el cual varía las resistencias R_p indicadas en la figura en función de la presión según la ley: $R_p=R(1+K.p)$, donde p es la presión a la que está sometido el transductor (medida en atmósferas) y $K=0.4 \text{ atm}^{-1}$

- Calcular el rango de valores de R_z para que **D1** esté polarizado adecuadamente. **D1** está implementado con un **1N4728A** cuyas especificaciones se adjuntan.
- Considerando los operacionales ideales, calcular V_o en función de p
- Determinar la máxima presión p que el circuito puede medir si los amplificadores operacionales son todos iguales con rango de entrada en modo común entre 0 y $V_{cc}-1V$ y excursión de salida ("output swing") entre $0.3V$ y $V_{cc}-0.3V$. Se deberá indicar cuál restricción y en que operacional es la más limitante, mostrando porqué las otras son menos limitantes.
- Determinar el máximo error en la salida respecto al resultado de la parte b) debido al efecto de la tensión de offset de los operacionales, si los tres operacionales son de un mismo modelo que tiene tensión de offset máxima V_{os} .

Datos: $V_{cc}= 15V$, $R_1/R_2=20$, $R_A/R=10$



Especificaciones para D1

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Power Dissipation @ $T_A = 50^\circ C$ Derate above $50^\circ C$	P_D	1 0.07	Watt mW/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ C$

*ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted) $V_F = 1.2 V$ Max, $I_F = 200 mA$ for all types.

JEDEC Type No. (Note 1)	Nominal Zener Voltage $V_Z @ I_{ZT}$ Volts (Notes 2 and 3)	Test Current I_{ZT} mA	Maximum Zener Impedance (Note 4)			Leakage Current		Surge Current @ $T_A = 25^\circ C$ $I_R - mA$ (Note 5)
			$Z_{ZT} @ I_{ZT}$ Ohms	$Z_{ZK} @ I_{ZK}$ Ohms	I_{ZK} mA	I_R μA Max	V_R Volts	
1N4728A	3.3	70	10	400	1	100	1	1350
1N4729A	3.6	60	10	400	1	100	1	1200
1N4730A	3.9	64	9	400	1	50	1	1190
1N4731A	4.3	58	9	400	1	10	1	1070
1N4732A	4.7	53	8	500	1	10	1	970

3/8

PREGUNTA (26 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) Calcular V_{IH} y NMH para un inversor CMOS con tensión de alimentación V_{DD} y con los siguientes datos para los transistores n y p: $\beta_n = \beta_p$, $V_{tn} = |V_{tp}|$, $\delta_n = \delta_p = 0$. Se despreciará el efecto Early.
- c) Determinar los valores de V_{IH} y NMH determinados en b) para el caso de una tecnología con tensión umbral $V_{tn} = |V_{tp}| = 0.7V$ y tensión de alimentación $V_{DD} = 3.3V$.

Problem 1

(a)

$$I_{Q1} = I_{Q2} = I_{Q3} = I_{Q4} = I_0/2$$

$$I_{D11} = I_{D12} = I_0/2$$

$$R_{ov1} = \frac{1}{\beta_m} \frac{1}{(V_{GS} - V_{TH})} = R_{ov2}$$

Como $R_{ov1} = R_{ov2} \Rightarrow Q_3, Q_4, R_{ov1} \sim R_{ov2}$
 forman un espejo

$$i_{out} = g_{m_{1,2}} (V_+ - V_-) = g_m N_{in}$$

$$g_m = \frac{2V_T}{V_0}$$

$$N_{out} = g_m \frac{R_L}{n_{GS} + 1} N_{in}$$

GAIN a bajas freq. $A_0 = g_m R_L$

(b) $\boxed{\omega_{3dB} = \frac{1}{R_L C_L}} \Rightarrow \omega_T = A_0 \omega_{3dB}$

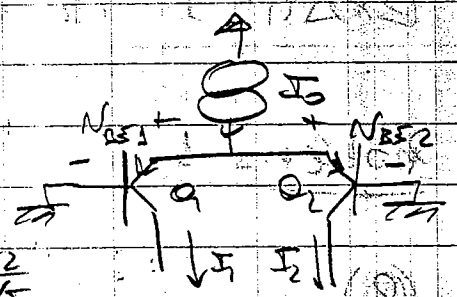
$\Rightarrow \boxed{\omega_T = \frac{g_m}{C_L}}$

Cuando la señal de entrada desborda en el par diferencial la corriente máxima a la salida es: I_0

$\Rightarrow \boxed{SR = \frac{I_0}{C_L}}$

$$(c) \quad I_{S1} = 1,1 I_{S2}$$

$$I_1 = I_{S1} e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}, \quad I_2 = I_{S2} e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}$$



$$I_{BE1} = I_{BE2} \Rightarrow I_1 = 1,1 I_2$$

$$I_0 = I_1 + I_2 \Rightarrow I_0 = 2,1 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{I_0}{2,1}$$

Analogamente $I_1 = \frac{1,1 I_0}{2,1}$

(d) I_1 e I_2 de la parte (c) los potencias

escribir $\frac{I_0}{2} \pm \frac{\Delta I}{2}$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I}{2} = I_1 - \frac{I_0}{2} = \frac{I_0}{2,1} \left(\frac{1,1}{2,1} - \frac{1}{2} \right) = \frac{I_0}{4,2}$$

$$\Rightarrow \Delta I = \frac{I_0}{2,1} \quad (\text{Por } I_2 \text{ es lo mismo})$$

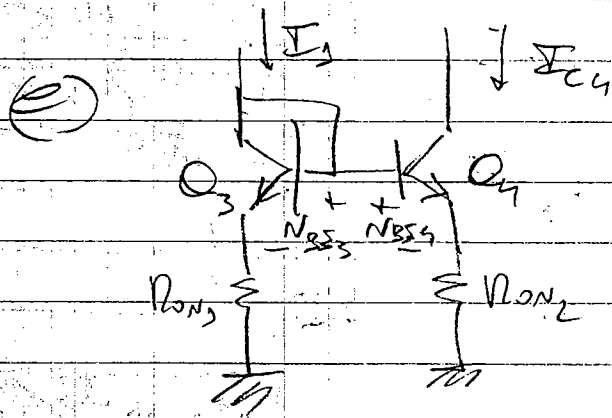
$$I_{out} = \Delta I \Rightarrow V_{os} = \Delta I R_L \quad (\text{era } V_o)$$

$$\Rightarrow V_{os} = \frac{I_0 R_L}{2,1}$$

El offset equivale a la salida o V_{os}

$$\Rightarrow V_{os} = \frac{I_0}{2,1} R_L = \frac{24 \mu A}{2,1} \cdot 21 \Omega = \frac{24 \mu V}{2,1}$$

$$V_{os} = 2,48 \text{ mV}$$



Por simetría el offset debe ser 0

$$I_{C3} = I_{C4}$$

$$\Rightarrow I_{OUT} = 0$$

$$\Rightarrow V_{OS} = 0$$

Solución algebraica:

$$I_{C3} = I_{S3} e^{\frac{V_{BS3}}{V_T}} \approx I_1$$

$$I_{S3} \equiv I_{S4} = I_S \quad I_{C4} = I_{S4} e^{\frac{V_{BS4}}{V_T}} = I_2$$

$$\text{Kalla: } R_{ON1} \times I_{C3} + V_{BS3} = V_{BS4} + R_{ON2} \times I_{C4}$$

$$\Rightarrow R_{ON1} I_1 + V_T L \left(\frac{I_1}{I_S} \right) = V_T L \left(\frac{I_2}{I_S} \right) + R_{ON2} I_2$$

$$R_{ON2} = \frac{I_1}{I_2} R_{ON1} + \frac{V_T}{I_2} L \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1,1 I_0}{2,1 I_0} \quad I_2 = \frac{I_0}{2,1} \quad \Rightarrow \left| \frac{I_1}{I_2} \right| = 1,1$$

$$\Rightarrow R_{ON2} = 1,1 R_{ON1} + \frac{2,1 V_T}{I_0} L(1,1)$$

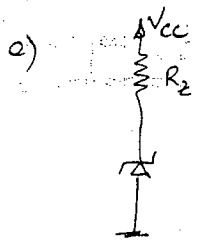
$$\Rightarrow V_C = V_{com} + \frac{1}{\beta_M \left(1,1 R_{ON2} + \frac{2,1 V_T}{I_0} L(1,1) \right)}$$

[Signature]
Papirus

PROBLEMA 2

7/4

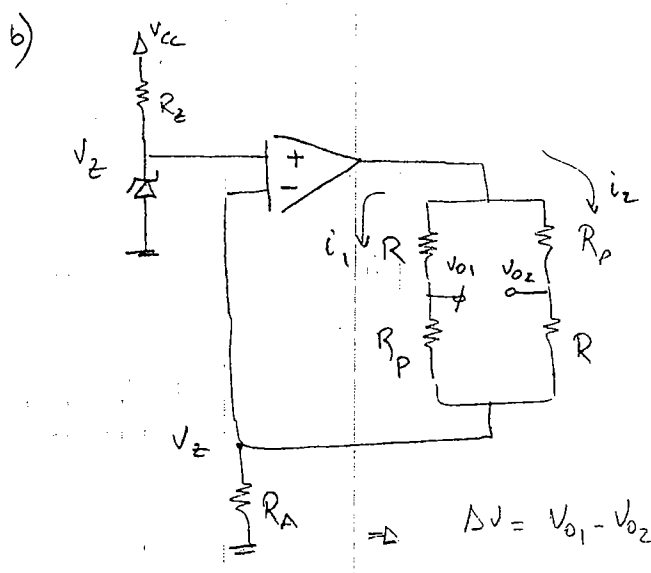
(1)



$$1) \frac{V_{cc} - V_Z}{R_2} > I_{ZT} \Rightarrow \frac{15V - 3.3V}{76mA} > R_2 \Rightarrow R_2 < 154 \Omega$$

$$2) P_2 = \left(\frac{V_{cc} - V_Z}{R_2} \right)^2 V_Z < 1W \Rightarrow R_2 > \frac{(V_{cc} - V_Z) V_Z}{1W} = 38.6 \Omega$$

Rango para R_2 $38.6 \Omega < R_2 < 154 \Omega$



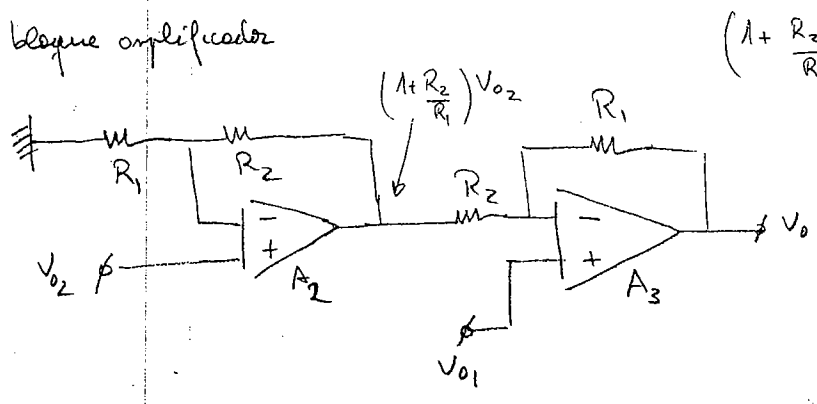
$$i_1 = i_2 = \frac{V_Z}{2R_A}$$

Así que:

$$\begin{cases} V_{o1} = V_Z + R_P \frac{V_Z}{2R_A} \\ V_{o2} = V_Z + R \frac{V_Z}{2R_A} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Delta V = V_{o1} - V_{o2} = \frac{R_P - R}{2R_A} V_Z = \underline{\underline{k_p \cdot \frac{V_Z}{20}}}$$

Para el otro bloque amplificador



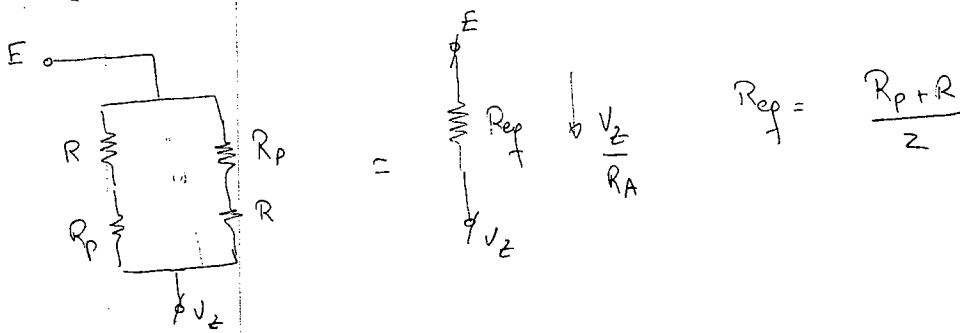
$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{o2} - V_{o1} = \frac{R_2}{R_1} (V_{o1} - V_{o2})$$

$$\Rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Delta V$$

Luego

$$V_o = \frac{21}{20} V_Z K_p$$

Limites para A1 , solo OSW



$$\Rightarrow E = V_{z1} + \frac{R_p + R}{2} \cdot \frac{V_{z1}}{R_A} = \left(1 + \frac{(2 + k_p)}{20} \right) V_{z1} < 15V - 0,3V$$

$$\Rightarrow 2 + k_p < \frac{(14,7 - 1) \cdot 20}{V_{z1}} \Rightarrow \underline{p < 167,73 \text{ atm}}$$

Limites para A2 : OSW
ICMR

$$\text{OSW : } \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{o2} = \left(1 + \frac{1}{20} \right) \cdot \left[V_{z1} + \frac{V_{z1}}{20} \right] = 2 \left(1 + \frac{1}{20} \right) \cdot V_{z1} < 15 - 0,3 = 14,7$$

6,83V < 14,7V ✓ } independente de p

$$\text{ICMR : } V_{o2} = V_{z1} + \frac{V_{z1} \cdot R}{2R_A} = V_{z1} \left(1 + \frac{1}{20} \right) < 15V - 1V = 14V \checkmark$$

Limites para A3 :

$$\text{OSW : } V_o = \frac{21}{20} V_{z1} k_p < 15 - 0,3V = 14,7V \Rightarrow p < \frac{14,7V \cdot 20}{21 \cdot V_{z1} k}$$

$$p < \underline{10,62 \text{ atm}}$$

$$\text{ICMR : } V_{oL} = V_{z1} + R_p \frac{V_{z1}}{2R_A} < 15V - 1V = 14V$$

$$\left(1 + \frac{1 + k_p}{20} \right) V_{z1} < 14V \Rightarrow k_p < \left(\frac{14V}{V_{z1}} - 1 \right) \cdot 20 - 1$$

$$p < \underline{159,62 \text{ atm}}$$

→ La limitación la impone el A3, por el OSW y

$$P < 10,6 \text{ atm}$$

d) Para A2 el efecto cambia $V_2 \rightarrow V_2 + V_{off1}$

$$\Delta V = \frac{k_p}{20} (V_2 + V_{off1})$$

Para los otros operacionales

$$V_{01} \rightarrow V_{01} + V_{off3}$$

$$V_{02} \rightarrow V_{02} + V_{off2}$$

$$\Rightarrow \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (V_{02} + V_{off2}) - (V_{01} + V_{off3}) = \frac{R_2}{R_1} (-V_0 + V_{01} + V_{off3})$$

$$\underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (V_{02} - V_{01})}_{-\Delta V} = -\frac{R_2}{R_1} V_0 + \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) V_{off3} - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{off2}$$

$$\Rightarrow V_0 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \Delta V + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (V_{off3} - V_{off2})$$

$$\Rightarrow V_0 = \underbrace{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{k_p}{20} V_2}_{\text{relato sin offset}} + \underbrace{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) [V_{off3} - V_{off2} + \frac{k_p}{20} V_{off1}]}_{\epsilon}$$

relato sin offset

ϵ

para caso $V_{off3} = V_{05}$

$$V_{off2} = -V_{05}$$

$$V_{off1} = V_{05}$$

$$\epsilon = 21 \left[2V_{05} + \frac{k_p}{20} V_{05} \right]$$

Monomólio Barbosa