

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL

Resolver cada **problema en hojas separadas** y **escribiendo de un solo lado de la hoja**.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

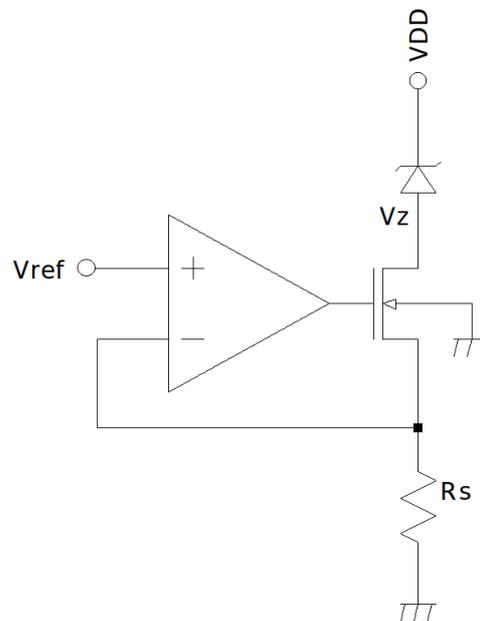
En todas las partes se deberá fundamentar claramente la deducción que conduce al resultado para que el mismo sea considerado.

La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (40 puntos)

El circuito de la figura busca implementar una fuente de corriente a los efectos de caracterizar el zener Dz en condiciones conocidas.



- Si el amplificador operacional (AO) se considera ideal, determinar la corriente por Dz. ¿En qué zona opera el transistor?
- Si el AO tiene tensión de offset máxima $V_{offsetmax}$ de 10 mV, determinar el rango de variación de la corriente por Dz.
- Si se desea variar la corriente por Dz variando la resistencia R_S , manteniendo V_{ref} constante en 0.5 V, y se sabe que el AO tiene excursión de salida entre 0.3 V y 8.8 V, i) ¿Cuál es la corriente máxima que se puede hacer circular por Dz ? ii) ¿ Qué valor de R_S debe usarse para obtenerla ?
- Si se desea variar la corriente por Dz variando la tensión V_{ref} , manteniendo R_S constante en 500 Ohms, y se sabe que el AO tiene excursión de salida entre 0.3 V y 8.8 V, i) ¿Cuál es la corriente máxima que se puede hacer circular por Dz ? ii) ¿ Qué valor de V_{ref} debe usarse para obtenerla ? iii) ¿Qué condición debe cumplir el rango de entrada de modo común del AO para que el circuito pueda funcionar con V_{ref} entre 0.5 V y el valor de V_{ref} hallado en d) ii) que nos da la corriente máxima?

Datos:

$V_{DD} = 9 \text{ V}$

$V_{ref} = 0.5 \text{ V}$, salvo donde se indique lo contrario

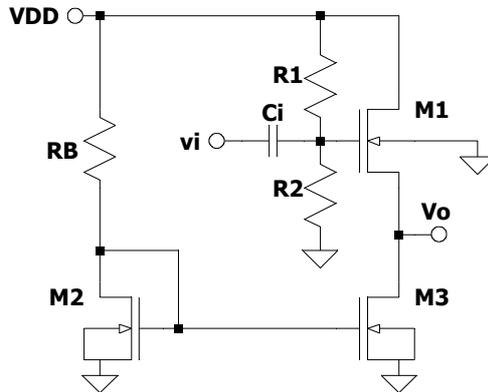
$R_S = 500 \text{ Ohm}$, salvo donde se indique lo contrario

Dz: $V_z = 2.7 \text{ V}$, $r_z = 0$, $I_{zt} = 0.5 \text{ mA}$

MOS: $V_{t0} = 1 \text{ V}$, $\beta = 2 \text{ mA/V}^2$, $\delta = 0.3$, $V_A = \infty$

PROBLEMA 2 (40 puntos)

Para el circuito de la figura calcule:



- a) Corriente de polarización de los tres transistores.
- b) Tensión de continua en la salida Vo.
- c) Ganancia vo/vi en banda pasante.
- d) Si se desea que la frecuencia de corte inferior sean 200 Hz, qué valor tiene que tener Ci.

Datos:

VDD = 15V, RB = 1 kΩ, R1 = 5 kΩ, R2 = 10 kΩ, Ci = ∞ (salvo donde se indique lo contrario)
 M1, M2, M3: β = 10 mA/V², Vt0 = 1V, VA = 100V, δ = 0.3

PREGUNTA (20 puntos)

El circuito de la Figura 1 se utiliza para conectar y desconectar la resistencia RL a una fuente de alimentación VDD1. Las fuentes de alimentación VDD1 y VDD2 son del mismo valor pero independientes.

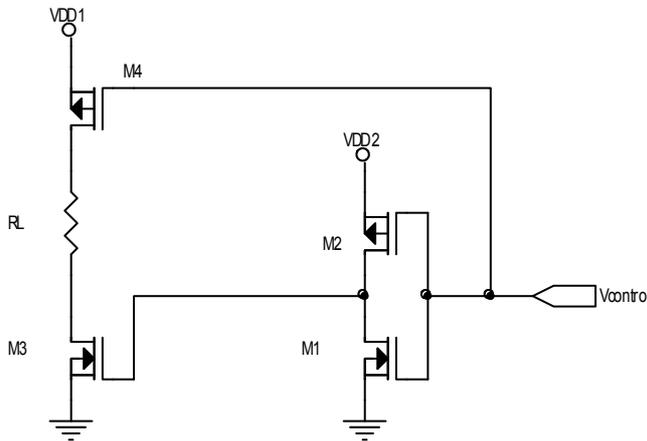


Figura 1

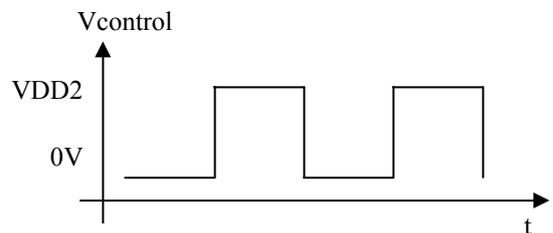


Figura 2

- a) Indicar cuál es la mínima resistencia RL que se puede manejar si se desea que la tensión aplicada a RL cuando esta está conectada difiera de VDD en menos de un 1%.
- b) Si RL se conecta y desconecta cíclicamente (ver Figura 2), permaneciendo 0.3ms conectada y 0.7ms desconectada, estimar la potencia consumida de la fuente de alimentación VDD2.

Datos:

M1, M2, M3, M4: Vt0n=|Vt0p|=0.7V, βn=βp=12 mA/V², δn=δp=0, Capacidad gate-source: 30pF
 VDD1 = VDD2 = 5V.

2) AO realimentado negativamente $\Rightarrow V_s = V_{ref}$ $\Rightarrow I_D = \frac{V_s}{R_s} = \frac{0,5V}{500\Omega} = 1mA$

Asumo zona saturación:

$$I_D = \frac{\beta}{2(1+\beta)} (V_G - V_{to} - (1+\beta)V_s)^2 \Rightarrow \sqrt{\frac{2(1+\beta)I_D}{\beta}} + (1+\beta)V_s = V_G - V_{to} \Rightarrow$$

$$\sqrt{\frac{2I_D}{\beta(1+\beta)}} + V_s = \frac{V_G - V_{to}}{1+\beta} = V_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 1mA}{2mA/V^2 \cdot (1+0,3)}} + 0,5 = 1,38V$$

$\Rightarrow V_p = 1,38V$
 $V_D = V_{DD} - V_E = 9V - 2,7V = 6,3V$
 $V_s = 0,5V$

$\Rightarrow V_D > V_p$ ✓
 $V_s < V_p$ ✓
 verifico zona saturación

b) $V_s = V_{ref} \pm 10mV \Rightarrow I_s = \frac{V_{ref} \pm 10mV}{R_s} = [0,98; 1,02] mA$

I_s tiene un variación de $\pm 2\%$

c) tanto en zona lineal como en zona de saturación, la corriente máxima se alcanza con V_G máxima. $\Rightarrow V_G = 8,8V$

$$V_p = \frac{V_G - V_{to}}{1+\beta} = \frac{8,8V - 1V}{1,3} = 6V$$

por parte 2) $V_D = 6,3$
 $V_s = 0,5$

$\Rightarrow V_p \leq V_D$
 $V_p > V_s$
 \Rightarrow zona de saturación

$$\Rightarrow I_D = \frac{\beta}{2(1+\beta)} (V_G - V_{to} - (1+\beta)V_s)^2 = 39,3mA$$

$$R_s = \frac{V_s}{I_D} = \frac{0,5V}{39,3\mu A} = 12,7\Omega$$

d) i) La máxima corriente se da 2 $V_G = V_{Gmax} = 8,8V \Rightarrow V_P = 6V$ como en c)

suma zona de solución:

$$I_D = \frac{\beta}{2(1+s)} (V_G - V_{to} - (1+s) I_D R_S)^2$$

$$\Rightarrow \frac{2(1+s) I_D}{\beta} = (V_G - V_{to})^2 + ((1+s) I_D R_S)^2 - 2(V_G - V_{to})(1+s) I_D R_S$$

$$I_D^2 \cdot \underbrace{[(1+s) R_S]^2}_{422500} - I_D \cdot \underbrace{\left[\frac{2(1+s)}{\beta} + 2(V_G - V_{to})(1+s) R_S \right]}_{11440} + \underbrace{(V_G - V_{to})^2}_{60,84}$$

$$I = 19,8 \text{ mA} \quad \times \leftarrow V_S = 500 \Omega \times 19,8 \text{ mA} = 9,9V > V_P = 6V \quad \times$$

$$I = 7,27 \text{ mA} \quad \rightarrow \quad V_S = 3,6V < V_P = 6V \quad \checkmark$$

$$V_D = V_{DD} - V_E = 9V - 2,7V = 6,3V \geq V_P \quad \checkmark$$

ii) $V_{ref} = V_S = R_S \cdot I_D = 500 \Omega \cdot 7,2 \text{ mA} = 3,6V$

iii) el ICMR debe incluir el rango $[0,5; 3,6]V$

$$\Rightarrow [0,5; 3,6]V \subset \text{ICMR}$$

ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL - EXAMEN 12/2024

PROBLEMA

a) ASUMO M2 SATURADO: $I_{D2} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{G23} - V_{to})^2 = \frac{V_{DD} - V_{G23}}{R_B}$

$\Rightarrow V_{G23}^2 - (1,74 \text{ V}) V_{G23} - (2,9 \text{ V}^2) = 0$

$V_{G23} = \frac{(1,74 \text{ V}) \pm (3,82 \text{ V})}{2} = \begin{cases} -1,04 \text{ V} \\ 2,78 \text{ V} \end{cases}$ NO CUMPLE NO CORTE DE M2 $V_{G23} = 2,78 \text{ V}$

$\Rightarrow I_{D2} = \frac{(15 \text{ V}) - (2,78 \text{ V})}{(1 \text{ k}\Omega)}$ $I_{D2} = 12,2 \text{ mA}$

POR ESPEJO DE CORRIENTE (ASUMO M3 SATURADO):

$I_{D3} = I_{D2} = 12,2 \text{ mA}$

COMO M1 Y M2 ESTÁN EN SERIE: $I_{D1} = I_{D3} = I_{D2} = 12,2 \text{ mA}$

b) ASUMO M1 SATURADO: $I_{D1} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} (V_{G1} - V_{to} - (1+\delta)V_o)^2$

$V_{G1} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{DD} = 10 \text{ V}$

$V_o = \frac{V_{G1} - V_{to} - \sqrt{\frac{2I_{D1}(1+\delta)}{\beta}}}{1+\delta} = 5,55 \text{ V} \Rightarrow \text{V}_o = 5,55 \text{ V}$

VERIFICO:

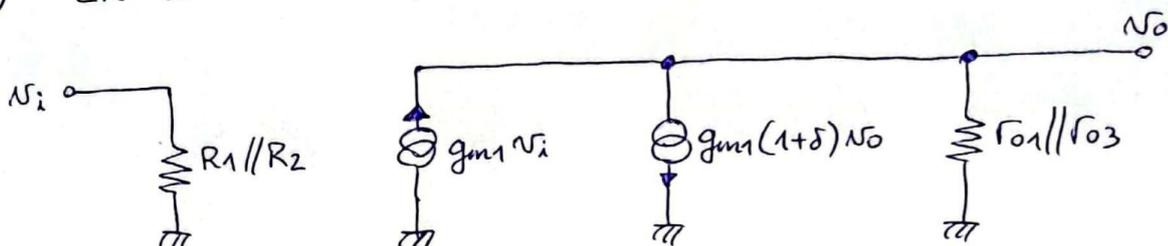
M1: $\begin{cases} V_{SB} = V_o = 5,55 \text{ V} \\ V_P = \frac{V_{GB} - V_{to}}{1+\delta} = \frac{V_{G1} - V_{to}}{1+\delta} = 6,92 \text{ V} \\ V_D = V_{DD} = 15 \text{ V} \end{cases}$

M2: $\begin{cases} V_{SB} = 0 \text{ V} \\ V_P = \frac{V_{GB} - V_{to}}{1+\delta} = \frac{V_{G23} - V_{to}}{1+\delta} = 1,37 \text{ V} \\ V_D = V_{DD} - R_B I_{D2} = 2,8 \text{ V} \end{cases}$

M3: $\begin{cases} V_{SB} = 0 \text{ V} \\ V_P = \frac{V_{GB} - V_{to}}{1+\delta} = \frac{V_{G23} - V_{to}}{1+\delta} = 1,37 \text{ V} \\ V_D = V_o = 5,55 \text{ V} \end{cases}$

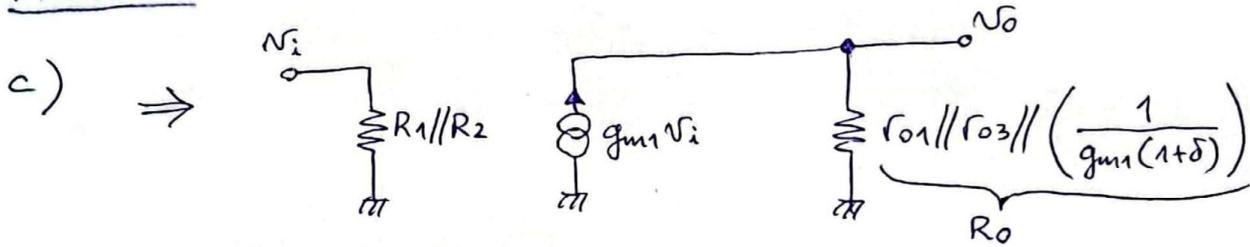
$V_{SB} < V_P < V_{DB}$

c) EN BANDA PASANTE $C_i \equiv$ CORTOCIRCUITO



ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL - EXAMEN 12/2024

PROBLEMA



$$G = \frac{N_o}{N_i} = g_{m1} R_o$$

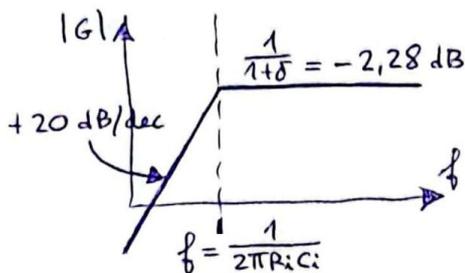
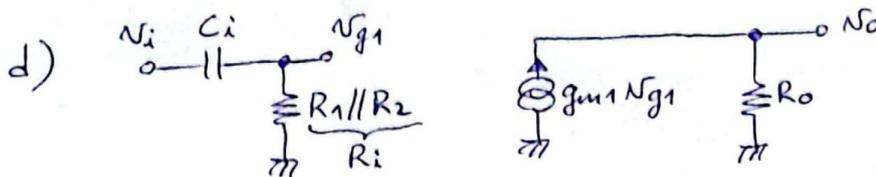
$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2I_{D1}\beta}{1+\delta}} = 13,7 \text{ mS}$$

$$\left. \begin{aligned} r_{o1} &= \frac{V_A}{I_{D1}} = 8,20 \text{ k}\Omega \\ r_{o2} &= \frac{V_A}{I_{D2}} = 8,20 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\} r_{o1} // r_{o2} = 4,10 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{1}{g_{m1}(1+\delta)} = 56,1 \Omega \Rightarrow \frac{1}{g_{m1}(1+\delta)} \ll r_{o1} // r_{o2} \Rightarrow R_o \approx \frac{1}{g_{m1}(1+\delta)}$$

$$\Rightarrow G = \frac{g_{m1}}{g_{m1}(1+\delta)} = \frac{1}{1+\delta} = 0,77 \text{ V/V}$$

$$\boxed{G = 0,77 \text{ V/V}}$$



$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi R_i C_i}$$

$$\Rightarrow C_i = \frac{1}{2\pi (200 \text{ Hz}) (R_i // R_2)}$$

$$\boxed{C_i = 239 \text{ nF}}$$