

**1er PARCIAL DE ELECTRONICA 1**  
04/05/09

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 (25 puntos)**

- a) En el circuito de la Figura 1:
  - i. determinar  $v_o$  en función de  $v_i$ , para  $v_i > 0$ .
  - ii. ¿Qué función cumple  $D_2$  en el circuito ?
- b) En el circuito de la Figura 2 los bloques indicados como Fig.1 corresponden al circuito de la Fig.1. Determinar  $v_o$  en función de  $v_1$ ,  $v_2$  y  $v_3$  si los valores de las entradas son siempre tales que  $v_{o1}$  es negativo.

Para todo el problema se supone que: todos los diodos son idénticos,  $V_{CC}$  es tal que los diodos  $D_2$  y  $D_B$  trabajan fuertemente en inverso y los amplificadores operacionales se supondrán ideales.

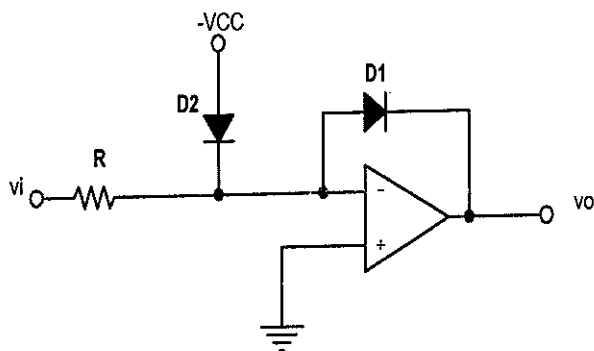


Figura 1

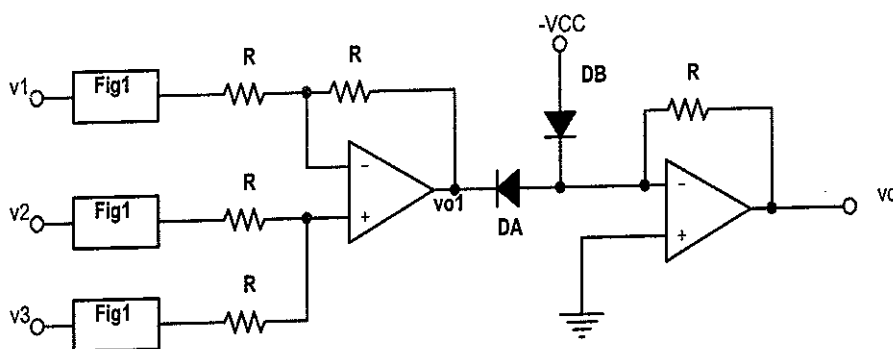


Figura 2

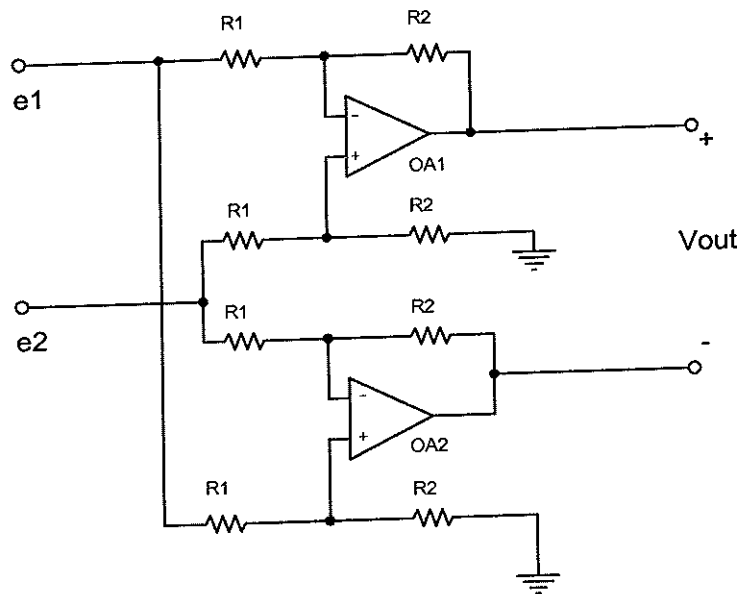
**PROBLEMA 2 (30 puntos)**

El circuito de la figura implementa un amplificador diferencial con salida diferencial.  
 Los amplificadores operacionales AO1 y AO2 son idénticos y tienen las siguientes características para una alimentación de 15V:

- Input Offset Voltage (Max):  $V_{offset} = 5 \text{ mV}$
- Input Offset Current (Max):  $I_{offset} = 200 \text{ nA}$
- Input Bias Current (Max):  $I_{bias} = 500 \text{ nA}$
- Bandwidth (typ):  $f_T = 1,5 \text{ MHz}$
- Slew Rate (typ):  $SR = 0,5 \text{ V}/\mu\text{S}$
- Input Voltage Range (typ):  $ICMR = [-12 \text{ V}, 12 \text{ V}]$
- Output Voltage Swing (typ):  $OSW = [-14 \text{ V}, 14 \text{ V}]$

Para el circuito de la figura se pide:

- Calcular la ganancia  $V_{out} / (e_1 - e_2)$  suponiendo que los amplificadores operacionales son ideales.
- ¿Cuál es el ancho de banda del circuito?
- Calcular la máxima tensión DC a la salida en función de las corrientes de offset y bias, y de la tensión de offset para  $e_1=e_2=0$ . Considere el peor caso.
- Calcular el rango en modo común que pueden variar las entradas  $e_1$  y  $e_2$  para que los amplificadores operacionales operen correctamente.
- Considere una señal  $(e_1 - e_2) = \text{Acoss}(wt)$ . ¿Cuál la máxima amplitud de pico a la salida que es posible manejar en la banda pasante para que no sufra distorsión? (No considerar efectos de offset e  $I_{bias}$  para esta parte).



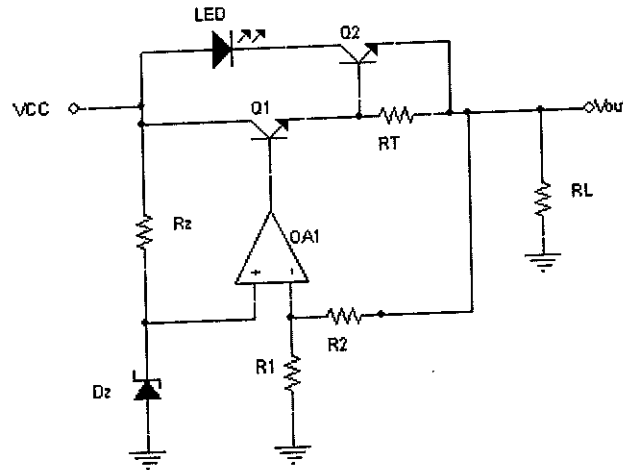
**PROBLEMA 3 (25 puntos)**

El circuito de la Figura implementa un regulador de tensión, e incluye un indicador de sobrecorriente.

Datos:  $R_1 = 6.8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 3.3 \text{ k}\Omega$ ; ambos transistores tienen  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ,  $V_{CEsat} = 0.3 \text{ V}$  y  $\beta = 100$ ; el LED enciende para cualquier corriente  $I_D > 0$  y Dz tiene los siguientes datos:  $V_Z = 6.8 \text{ V}$ ,  $I_{ZT} = 50 \text{ mA}$  y  $P_{Dmax} = 2 \text{ W}$

- Suponiendo que Dz está en zona zener, Q1 está en zona activa y Q2 esta cortado, determine el valor de  $V_{out}$ . 20

- b) Si  $V_{CC} = 15\text{ V} \pm 1\text{ V}$ , ¿qué condiciones debe cumplir  $R_z$  para que  $D_z$  esté siempre en zona zener?
- c) Determine  $R_T$  para que el LED se encienda cuando la corriente por  $R_L$  es mayor a 1 A. ¿Cuál es la máxima corriente de salida del operacional mientras no se encienda el LED?
- d) Con  $R_z = 47\ \Omega$  y  $R_L = 16\ \Omega$ , determine el mínimo  $V_{CC}$  que asegure que  $D_z$  esté en zona Zener y Q1 este en zona activa.



### PREGUNTA (20 puntos)

Se tiene un diodo p-n con dopajes  $N_A$  y  $N_D$  a ambos lados de la juntura y tensión de polarización inversa  $V_R$ .

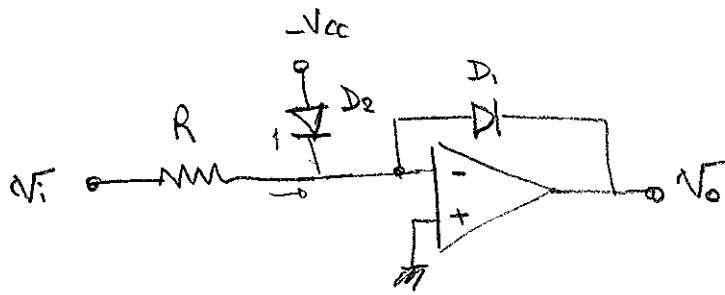
- Deducir la relación entre el ancho de la zona de deplexión a ambos lados de la juntura ( $x_p$  y  $x_n$ ), fundamentando las ecuaciones utilizadas.
- ¿Cómo se define la capacidad de deplexión  $C_j$ ?
- Considerando que el ancho total de la zona de deplexión  $W_{depl}$  está dado por la siguiente expresión, deducir la relación entre  $C_j$  y  $W_{depl}$ .

$$W_{depl} = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_s}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_O + V_R)}$$

# Problema 1

04/05/09

a)  
i)



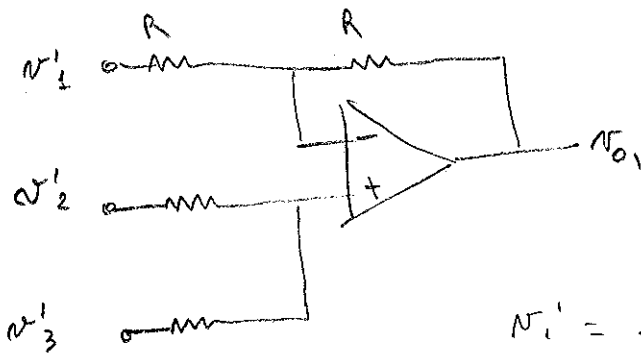
$$\frac{V_i}{R} = I_s + I_s \left( e^{V_{D1}/V_T} - 1 \right)$$

$$e^{V_{D1}/V_T} = \frac{V_i}{R I_s} \Rightarrow V_{D1} = V_T \ln \frac{V_i}{R I_s}$$

$$V_{D1} = -V_o \Rightarrow \boxed{V_o = -V_T \ln \frac{V_i}{R I_s}}$$

ii) De cumple la función de zócalo su corriente inversa para cancelar la de  $D_1$  y de esa forma obtener una salida  $V_o$  proporcional al logaritmo de  $V_i/R I_s$

b)



$$V_{o1} = -V_T \ln \frac{V_1'}{R I_s} + V_T \ln \frac{V_2'}{R I_s} + V_T \ln \frac{V_3'}{R I_s}$$

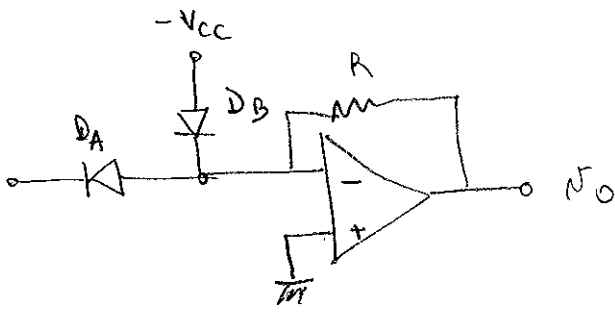
$$= -V_T \ln \frac{V_1'}{R I_s} + V_T \ln \frac{V_2' V_3'}{R I_s}$$

$$V_1' = -V_T \ln \frac{V_1'}{R I_s}$$

$$V_2' = V_T \ln \frac{V_2'}{R I_s}$$

$$V_3' = V_T \ln \frac{V_3'}{R I_s}$$

$$V_{o1} = V_T \left( \ln \frac{V_1'}{R I_s} - \ln \frac{V_2'}{R I_s} - \ln \frac{V_3'}{R I_s} \right) = V_T \ln \frac{V_1' R I_s}{V_2' V_3'}$$



$$\frac{V_O}{R} = I_S + I_S \left( e^{V_{DA}/V_T} - 1 \right) = I_S e^{V_{DA}/V_T}$$

$$V_{DA} = -V_{O1}$$

$$V_O = R I_S \cdot e^{-V_{O1}/V_T} = R I_S e^{\frac{\ln(V_2 \cdot V_3)}{V_1 \cdot R I_S}} =$$

$$= \cancel{R} \cdot \cancel{I_S} \cdot \frac{V_2 \cdot V_3}{V_1 \cdot \cancel{R} \cdot \cancel{I_S}} = \boxed{\frac{V_2 \cdot V_3}{V_1}}$$

## Problema 2

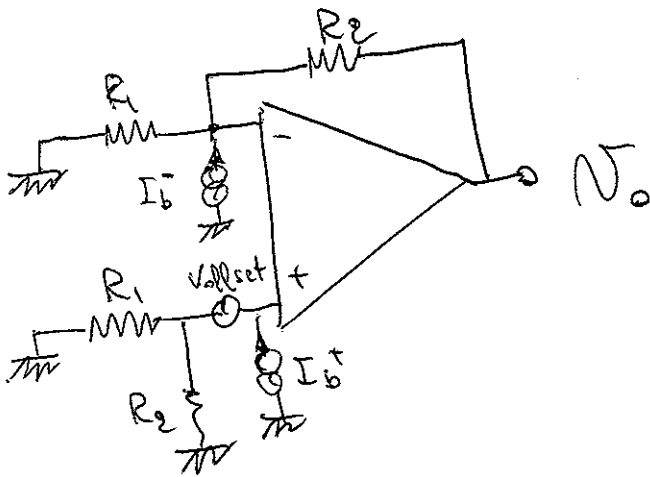
$$a) \left. \begin{aligned} N_o^+ &= \frac{R_2(l_2 - l_1)}{R_1} \\ N_o^- &= \frac{R_2(l_1 - l_2)}{R_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_o = N_o^+ - N_o^- = \frac{2R_2(l_2 - l_1)}{R_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{N_o = \frac{2R_2(l_2 - l_1)}{R_1}}$$

b) Dado que el amplificador es una combinación de configuraciones inversoras y no inversoras  $\Rightarrow$

$$\boxed{f_{-3dB} = \frac{f_T}{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}}$$

c) Para un amplificador solo se tiene que:



$$\Rightarrow N_o = V_{\text{offset}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 I_{\text{offset}}$$

Aplicando este resultado

$$\Rightarrow N_o^+ = V_{\text{offset}}^{A01} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 I_{\text{offset}}^{A01}$$

$$N_o^- = V_{\text{offset}}^{A02} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 I_{\text{offset}}^{A02}$$

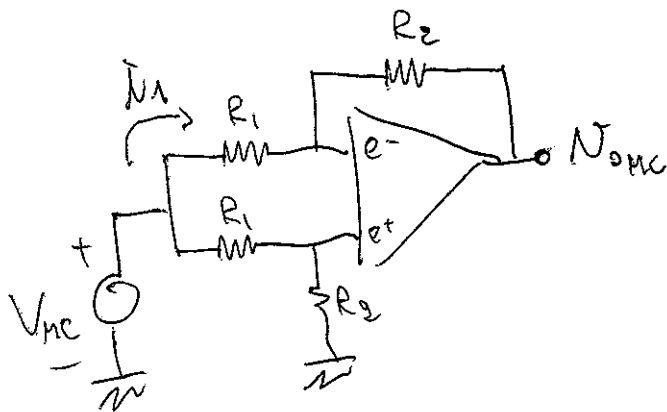
$$\Rightarrow N_o = N_o^+ - N_o^- = \left(V_{\text{offset}}^{A01} - V_{\text{offset}}^{A02}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + R_2 \left(I_{\text{offset}}^{A01} - I_{\text{offset}}^{A02}\right)$$

c) (continuación)

Dado que la polaridad de  $V_{\text{offset}}$  varía de un operacional a otro y que sucede lo mismo con la corriente de offset

$$\Rightarrow V_{\text{off}}^{\text{max}} = 2 \left( V_{\text{offset}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 I_{\text{offset}} \right)$$

d) Para esta parte alcanza con hacer el análisis para uno de los amplificadores  $\Rightarrow$



$$V_{\text{inc}} = e^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{cm}} \Rightarrow -12 < \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{cm}} < 12$$

$$\Rightarrow \left| -12 \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) < V_{\text{cm}} < 12 \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \right|$$

$$N_{\text{omc}} = e^- - R_2 i_1$$

$$e^- = e^+$$

$$i_1 = \frac{1}{R_1} \left( V_{\text{inc}} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{inc}} \right) = \frac{V_{\text{inc}}}{R_1} \left( \frac{R_1 + R_2 - R_2}{R_1 + R_2} \right) = \frac{V_{\text{inc}}}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow N_{\text{omc}} = \frac{V_{\text{inc}} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_2 V_{\text{inc}}}{R_1 + R_2}$$

$\Rightarrow N_{\text{omc}} = \phi$  (lo cual es coherente porque el amplificador tiene entrada diferencial)

d) (continuación)

$$\Rightarrow -12 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) < V_{cm} < 12 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

e) si  $e_1 - e_2 = A \cos(\omega t) \Rightarrow N_o = A_o \cos(\omega t)$

$$\Rightarrow \dot{N}_o = -A_o \omega \sin(\omega t) \Rightarrow |\dot{N}_o|_{\max} = A_o \omega$$

Para que no distorsione en todo el ancho de banda  
tomo el peor caso que es cuando  $\omega = \omega_{-3dB} = \frac{\omega_T}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$

$$\Rightarrow A_o \frac{2\pi f_T}{1 + \frac{R_2}{R_1}} < SR \Rightarrow A_o < \frac{(R_1 + R_2) SR}{2\pi f_T R_1}$$



3

a)  $V^+ = V_Z \Rightarrow V^- = V_Z$

$I_{R1} = \frac{V^-}{R1} = \frac{V_Z}{R1}$

$I_{R1} = I_{R2} = I_{R1,2} = \frac{V_{out}}{R1 + R2}$

$\Rightarrow V_{out} = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) V_Z = 10,1V$

b)  $I_Z = I_{RZ} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_Z} \in [I_{Zmin}, I_{Zmax}] \Rightarrow \frac{V_{CC} - V_Z}{I_{Zmax}} < R_Z < \frac{V_{CC} - V_Z}{I_{Zmin}}$   
(( ((  
31,3 Ω 144 Ω

$I_{Zmax} = \frac{P_{max}}{V_Z} = \frac{2W}{6,8V} = 0,294A$

$I_{Zmin} = I_{ZT} = 50mA$

c) LED encendido  $\Rightarrow Q2$  en zona activo  $\Rightarrow$  caída en  $R_T$  es  $V_{BE}$

suponemos justo en el momento en que se enciende, la corriente por  $Q2$  y el LED es muy baja.

$\frac{V_{BE}}{R_T} = \frac{V_Z}{R1} + I_{RL}^{1A} \Rightarrow R_T = \frac{V_{BE}}{\frac{V_Z}{R1} + I_{RL}} \approx 0,7 \Omega$

mientras no se enciende el LED,  $Q2$  en corte  $\Rightarrow$

$I_{A0}^{max} = I_{BQ1}^{max} = \frac{I_{CQ1}^{max}}{\beta} = \frac{I_{RL}^{max} + \frac{V_Z}{R1}}{\beta} \approx 10mA$

Justo antes de encender el LED, es la máxima corriente ( $I_{RL} \approx 1A$ )

d)  $R2 = 47\Omega, R_L = 16\Omega$

- Zener en zona Zener:  $I_Z^{min} R_Z + V_Z < V_{CC} < I_Z^{max} R_Z + V_Z$   
|| ||  
9.15V 20.62V

-  $Q1$  en zona activa:

\* LED apagado:  $V_{CEQ1} = V_{CC} - (R_T \cdot I_{RL} + V_{out}) > V_{CESAT} \Rightarrow V_{CC} > 10,8V$

Como para este valor de  $R_L, I_{RL} = 0,63A$   
en realidad el LED está apagado, se podría alimentar hasta en 10,8V de tensión mínima.