



50709906

**1er PARCIAL DE ELECTRONICA 1**  
**16/05/06**

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 pts.)**

En los circuitos de las Figuras considere que los transistores tienen  $\beta \gg 1$  y tensión de Early  $V_A = \infty$ .

- a) En el circuito de la Figura 1 determine la condición necesaria para que  $V_{out}/V_{in} \cong 1$
- b) Considere ahora el circuito de la Figura 2, determine la ganancia del circuito en la banda pasante. Si realiza aproximaciones, defina claramente las condiciones de validez de las mismas.

Datos para las partes c) y d):

$V_{CC} = 15V$ ,  $R_1 = 22k\Omega$ ,  $R_2 = 6.8k\Omega$ ,  $R_{E1} = 2.7k\Omega$ ,  $R_{E2a} = 330\Omega$ ,  $R_{E2b} = 1.8k\Omega$ ,  $R_C = 5.6k\Omega$

Q1 y Q2:  $\beta = 100$ ,  $V_{BE} = 0.7V$ ,  $V_{CESAT} = 0.3V$

- c) Dimensione  $C_i$  para que la frecuencia de corte inferior sea 100Hz
- d) Determine la excursión a la salida del circuito.

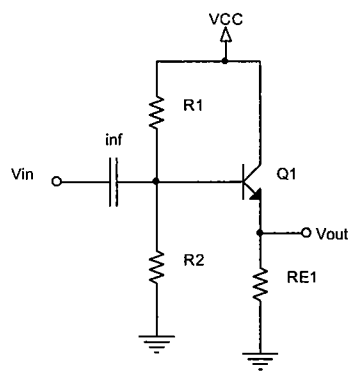


Figura 1

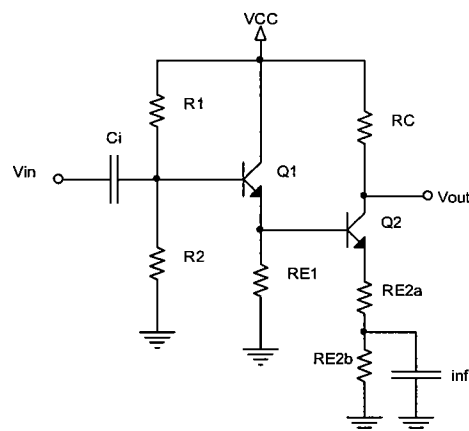


Figura 2

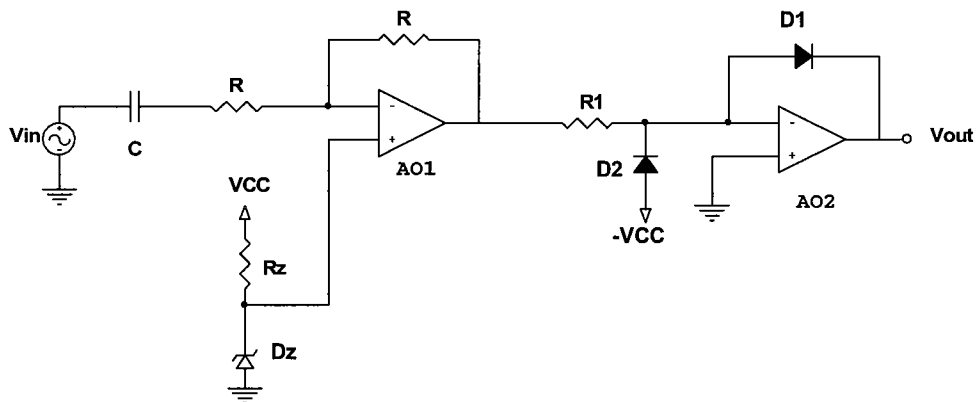
**PROBLEMA 2 (25 pts.)**

En el circuito de la figura los dos amplificadores operacionales están alimentados entre  $V_{CC}$  y  $-V_{CC}$ . Llamaremos  $V_{in}$  y  $V_{out}$  a las tensiones de señal existentes en la entrada y salida del circuito

- Obtener  $V_{out}$  en función de  $V_{in}$  cuando D1 está en directo.
- ¿Cuál debe ser la condición que debe cumplir  $V_{in}$  para que el circuito funcione de acuerdo a lo establecido en a). ?
- Calcular el rango de variación de RZ para que el diodo DZ funcione correctamente.
- Considere una señal  $V_{in} = A \cos(\omega t)$ . Si ahora el amplificador operacional AO1 tiene un producto de ganancia por ancho de banda igual a  $\omega_T$  y un slew rate igual a SR. Determine el ancho de banda del bloque implementado por el amplificador AO1 y la amplitud A máxima de la señal  $V_{in}$  para que el bloque funcione correctamente en todo su ancho de banda.

Los resultados se expresarán en función de los parámetros del circuito que se asumen conocidos para todo el problema:

- Los diodos D1 y D2 son idénticos con los parámetros usuales. Se desprecia la componente debido a fugas en su corriente inversa.
- Para el diodo DZ:  $V_Z$ ,  $I_{ZT}$ , máxima potencia admisible  $P_{MAX}$
- El condensador C se supondrá infinito



**PROBLEMA 3 ( 25 pts.)**

El circuito de la Figura 1 monitorea la corriente por la carga RL.

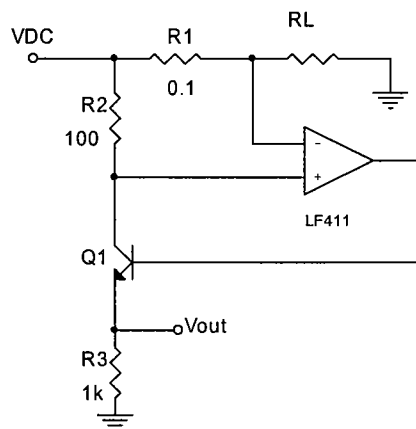
- a) Calcular Vout en función de la corriente  $i_L$  por la carga RL suponiendo que el amplificador es ideal y que Q1 está en zona activa.
- b) Si el amplificador es un LF411 ¿Cuál es el  $i_L$  mínimo, para que el error debido al efecto de las corrientes de polarización y la tensión de offset sea menor a 5%? Considere siempre el peor caso a temperatura ambiente.
- c) Si el amplificador está alimentado con  $\pm 15\text{ V}$  e  $i_L$  es 1A ¿cual es, en el peor caso, el rango de la tensión VDC que permite que el circuito funcione correctamente?
- d) En las condiciones de la parte c) y si  $\beta_{\text{MIN}}=50$  ¿cual es el error que se comete en Vout?

**Obs.:** Indique claramente que datos usa de la hoja de datos.

**Datos:** Para Q1:  $\beta \gg 1$ ,  $V_{\text{CESat}}=0.3\text{V}$  y  $V_{\text{BE}} = 0.7\text{V}$ .

Para el amplificador LF411:

DC Electrical Characteristics (Note 5)									
Symbol	Parameter	Conditions	LF411A			LF411			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{\text{OS}}$	Input Offset Voltage	$R_{\text{IP}}=10\text{ k}\Omega$ , $T_A=25^\circ\text{C}$	0.3	0.5	0.5	0.8	2.0	2.0	mV
$\Delta V_{\text{OS}}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_{\text{IP}}=10\text{ k}\Omega$ (Note 6)		7	10		7	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{\text{OS}}$	Input Offset Current	$V_{\text{IP}}=\pm 15\text{V}$ (Notes 5, 7)	$T_P=25^\circ\text{C}$	25	100	25	100	100	pA
			$T_P=70^\circ\text{C}$			2		2	nA
			$T_P=125^\circ\text{C}$			25		25	nA
$I_{\text{B}}$	Input Bias Current	$V_{\text{IP}}=\pm 15\text{V}$ (Notes 5, 7)	$T_P=25^\circ\text{C}$	50	200	50	200	200	pA
			$T_P=70^\circ\text{C}$			4		4	nA
			$T_P=125^\circ\text{C}$			50		50	nA
$R_{\text{IN}}$	Input Resistance	$T_P=25^\circ\text{C}$		$10^{12}$		$10^{12}$		$\Omega$	
$A_{\text{VCL}}$	Large Signal Voltage Gain	$V_{\text{IP}}=\pm 15\text{V}$ , $V_{\text{O}}=\pm 10\text{V}$ , $R_{\text{L}}=2\text{k}$ , $T_A=25^\circ\text{C}$	50	200		25	200		V/mV
		Over Temperature	25	200		15	200		V/mV
$V_{\text{O}}$	Output Voltage Swing	$V_{\text{IP}}=\pm 15\text{V}$ , $R_{\text{L}}=10\text{k}$	$\pm 12$	$\pm 13.5$		$\pm 12$	$\pm 13.5$		V
$V_{\text{CM}}$	Input Common-Mode Voltage Range		$\pm 16$	+19.5		$\pm 11$	+14.5		V
				-16.5			-11.5		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_{\text{IP}} \leq 10\text{k}$	80	100		70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 8)	80	100		70	100		dB
$I_{\text{Q}}$	Supply Current		1.8	2.8		1.8	3.4		mA



Figural

**PREGUNTA (25 pts.)**

a) Para una juntura p-n, con  $N_A > N_D$ , indicar en la Tabla 1 la relación entre las variable indicadas, colocando en los casilleros de la tabla un signo de mayor (>), menor (<) o igual según corresponda.

Magnitud 1	Relación (<, > o =)	Magnitud 2	Nota
Ancho de la zona de deplexión, juntura en <b>inverso</b>		Ancho de la zona de deplexión, juntura en <b>directo</b>	
Ancho de la zona de deplexión del <b>lado n</b>		Ancho de la zona de deplexión del <b>lado p</b>	*
Carga en la zona de deplexión del <b>lado n</b>		Carga en la zona de deplexión del <b>lado p</b>	*
Corriente de <b>drift</b> , juntura en <b>cortocircuito</b>		Corriente de <b>difusión</b> , juntura en <b>cortocircuito</b>	
Corriente de <b>drift</b> , juntura en <b>directo</b>		Corriente de <b>difusión</b> , juntura en <b>directo</b>	
Corriente de <b>drift</b> , juntura en <b>inverso</b>		Corriente de <b>difusión</b> , juntura en <b>inverso</b>	
Corriente de <b>difusión</b> , juntura en <b>cortocircuito</b>		Corriente de <b>difusión</b> , juntura en <b>directo</b>	

b) Justificar la respuesta dada en los casos marcados como \* en la tabla.

c) Se tiene una barra de semiconductor tipo p no uniformemente dopado en circuito abierto. Determinar como se relaciona la concentración de huecos en dos puntos de la barra con la diferencia de potencial en estos puntos.

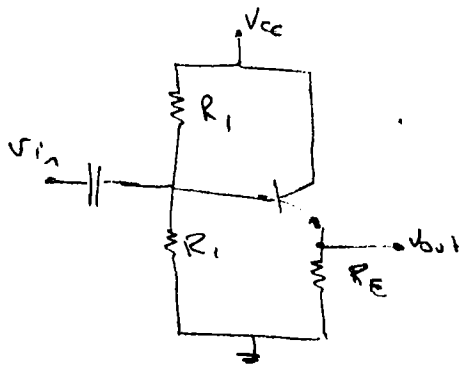
Recordar que:

- la densidad de corriente de drift de huecos está dada por  $q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$ .
  - la densidad de corriente de difusión de huecos está dada por  $-q \cdot D_p \cdot (dp/dx)$
- donde se usa la nomenclatura usual aplicada en el curso.

Problema 1

# Solución 1ª Parcial

## Electrónica 1 2006



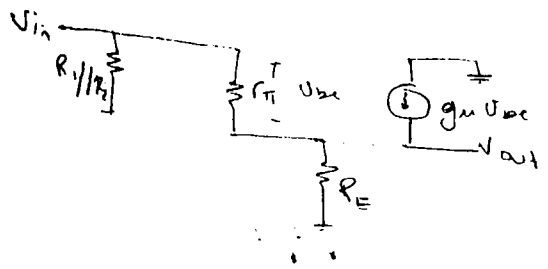
1) En DC

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} \quad \text{si } I_B \ll \frac{V_{BB}}{R_2}$$

$$V_E = V_{BB} - V_{BE} \Rightarrow I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

$$\Rightarrow I_C \approx I_E = \left( \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE} \right) \cdot \frac{1}{R_E}$$

Planteo el modelo a pequeña señal



$$V_{out} = V_{in} - V_{be}$$

$$\frac{V_{be}}{r_{\pi}} + g_m V_{be} = \frac{V_{out}}{R_E} \Rightarrow V_{be} \left( \frac{1}{r_{\pi}} + g_m \right) = \frac{V_{out}}{R_E}$$

$$V_{be} = V_{out} \cdot \frac{1}{R_E} \left( \frac{r_{\pi}}{1 + \beta} \right) \approx \frac{1}{g_m} V_{out}$$

$$\Rightarrow V_{out} = V_{in} - V_{out} \left( \frac{1}{g_m R_E} \right) \Rightarrow V_{in} = V_{out} \left( \frac{g_m R_E + 1}{g_m R_E} \right)$$

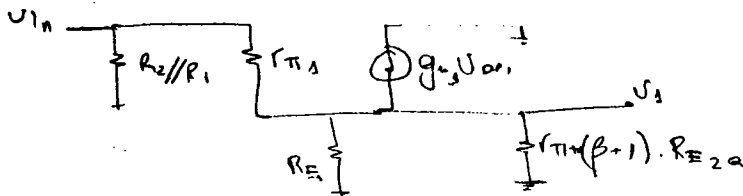
$$\Rightarrow V_{out} = V_{in} \left( \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \right)$$

$$\Rightarrow \text{si } g_m R_E \gg 1 \rightarrow V_{out} \approx V_{in}$$

b) Ganancia en banda pasante.

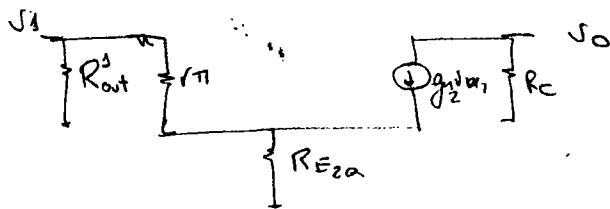
Divido en 2 etapas:

La primera etapa:



$$\text{Si } g_{m1} \cdot R_{E1} \parallel (r_{\pi 1}(\beta+1) R_{E2a}) \gg 1 \rightarrow \frac{v_1}{v_{in}} \approx 1 \quad \textcircled{1}$$

La segunda etapa:



$$\begin{cases} g_{m2} v_{be2} + \frac{v_{be2}}{r_{\pi}} = \frac{v_{be2}}{R_{E2a}} \\ v_{be2} = v_1 - v_{ce} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} g_{m2} v_{be2} + \frac{v_{be2}}{r_{\pi}} = \frac{v_1 - v_{ce}}{R_{E2a}} \\ v_{be2} \left( g_{m2} + \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{R_{E2a}} \right) = \frac{v_1}{R_{E2a}} \end{cases}$$

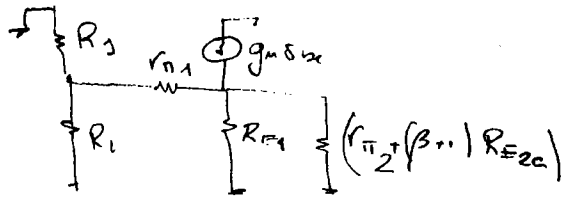
$$v_o = -g_{m2} v_{be2} R_c = -g_{m2} R_c \cdot v_1 \frac{1}{g_{m2} R_{E2a} + 1}$$

$$\text{Si } g_{m2} R_{E2a} \gg 1 \Rightarrow \frac{v_o}{v_1} = -\frac{R_c}{R_{E2a}} \quad \textcircled{2}$$

De (1) y (2)

$$\Rightarrow \left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = \frac{R_c}{R_{E2a}}$$

Resistor untuk hana  $\phi_1$



$$\Rightarrow R_v = R_1 // R_2 // \left[ r_{\pi 1} + (\beta + 1) \left( R_{E1} // \left( r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{E2a} \right) \right) \right]$$

Calulo  $r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_{c1}} = 2,4 \text{ k}\Omega$

$I_{c1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{cc} - V_{BE} \right) \frac{1}{R_{E1}} = \frac{2,8}{2,7 \text{ k}} = 1,1 \text{ mA}$

Calulo  $r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m2}} = \frac{\beta V_T}{I_{c2}} = 2,6 \text{ k}\Omega$

$I_{c2} = \frac{V_{E2}}{(R_{E2a} + R_{E2b})} = \frac{V_{E1} - V_{BE}}{(R_{E1a} + R_{E2b})} = 0,98 \text{ mA}$

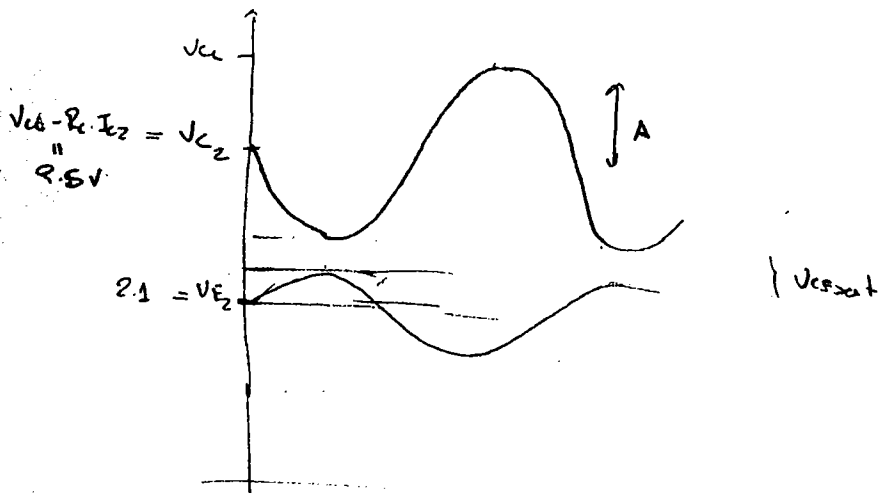
Entonces:  $R_v = R_1 // R_2 // \left( \underbrace{r_{\pi 1}}_{2,4 \text{ k}} + (\beta + 1) \left( \underbrace{R_{E1}}_{2,7 \text{ k}} // \left( \underbrace{r_{\pi 2}}_{2,6 \text{ k}} + (\beta + 1) \underbrace{R_{E2a}}_{33 \text{ k}} \right) \right) \right) \approx R_1 // R_2$

$\approx 2,7 \text{ k}$

$R_v = 5,2 \text{ k}$

$\Rightarrow P_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R_v \cdot C_i} \Rightarrow C_i \approx \frac{1}{2\pi \cdot R_v \cdot P_1} = 312 \text{ nF}$

d) Excesión a la salida:



Condición de saturación:

$$V_{ce2} - A - V_{cesat} - \frac{A}{\beta} = V_{ce2}$$

$$A = \frac{V_{ce2} - V_{e2} - V_{cesat}}{\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)}$$

$$G = \frac{R_c}{R_{E2}} = 17$$

$$A = \frac{9.5 - 2.1 - 0.3}{1 + \frac{1}{17}} = 7.4$$

Condición de corte:

sin embargo:

$$V_{cc} - V_{ce} = \underline{\underline{5.5V}}$$

$$\rightarrow A = 5.5V$$

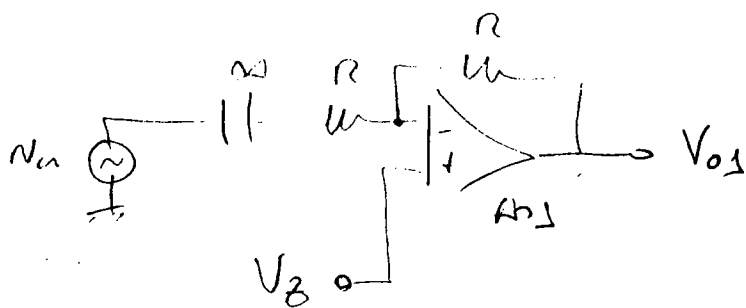
" "

Esta limitación es crítica

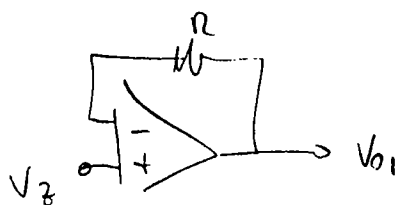


Problema 2

(e)

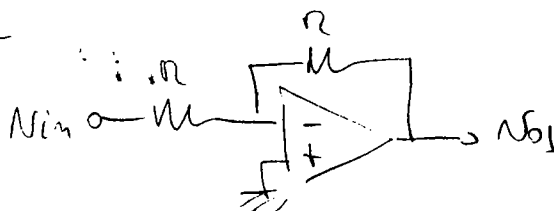


e. DC



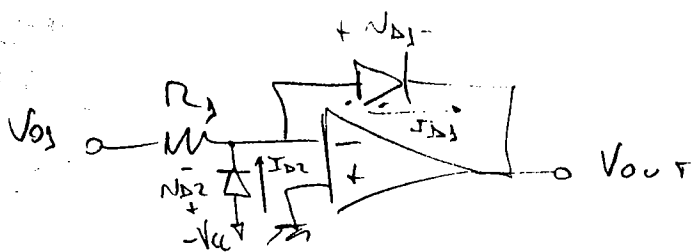
$\rightarrow V_{01}|_{DC} = V_3$

e. SEÑAL



$\rightarrow N_{01} = -N_{cin}$

$\rightarrow V_{01} = V_3 - N_{cin}$



$N_{D2} = -V_{CC} \ll V_T$

$\rightarrow I_{D2} \approx -I_S$

$\bullet \frac{V_3 - N_{cin}}{R_1} = I_{D1} - I_{D2} = I_S (e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1) + I_S = I_S e^{\frac{V_{D1}}{V_T}}$

$\bullet V_{D1} = -V_{out}$

$\rightarrow \left| V_{out} = -V_T \ln \left( \frac{V_3 - N_{cin}}{R_1 I_S} \right) \right|$

CONDICIÓN

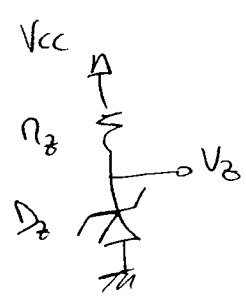
$D_1$  en Directo :

$\frac{V_3 - N_{cin}}{R_1} \geq 0$

$\rightarrow$

$N_{cin} \geq V_3$

(b)



1<sup>st</sup> criterion:  $I_{R_z} > I_{ZT}$

2<sup>nd</sup> criterion:  $P_D = I_{R_z} V_z < P_{max}$

$$\Rightarrow I_{R_z} = \frac{V_{CC} - V_z}{R_z} > I_{ZT} \Rightarrow$$

$$R_z < \frac{V_{CC} - V_z}{I_{ZT}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{CC} - V_z}{R_z} \times V_z < P_{max} \Rightarrow$$

$$R_z > \frac{(V_{CC} - V_z) V_z}{P_{max}}$$

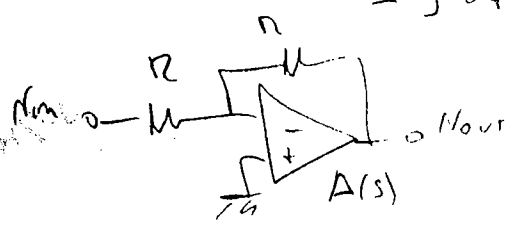
(c)  $N_{in} = A \cos(\omega t)$

Ass:  $\Rightarrow V_{in} = V_z - A \cos(\omega t)$

$$\frac{dV_{oi}}{dt} = A \omega \sin(\omega t) \rightarrow \left| \frac{dV_{oi}}{dt} \right|_{max} = A \omega < S_R$$

$$\omega_{max} = \frac{S_R}{A_{max}}$$

BW:  $A(s) = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_T}}$



$$\frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{R/R}{1 + j \frac{\omega}{\omega_T} (1 + R/R)} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_T} (2 + R/R)}$$

$$\Rightarrow \omega_{3dB} = \frac{\omega_T}{2}$$

$$\Rightarrow A_{max} = \frac{2 S_R}{\omega_T}$$

# Problema 3

a)

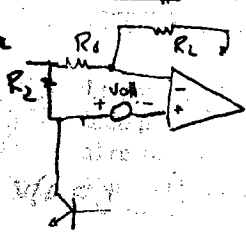
$$V_a - R_1 I_L = V_a - R_2 I_c \rightarrow I_c = \frac{R_1}{R_2} I_L$$

Si considero que  $I_c \approx I_L \rightarrow V_{out} = R_3 \cdot I_c \rightarrow \boxed{V_{out} = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot I_L}$

b)

Aplico superposición:

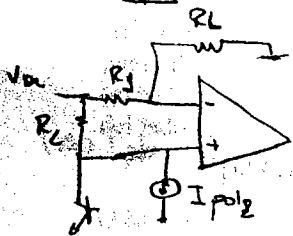
$V_{off}$ :



$$R_2 \cdot I_c + \frac{V_{off}}{R_2} = R_3 \cdot I_L \rightarrow I_c = \frac{R_1}{R_2} I_L - \frac{V_{off}}{R_2}$$

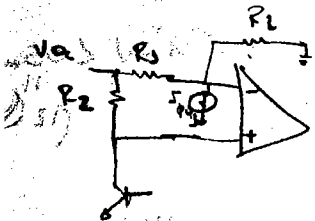
$$V_o = R_3 \cdot \left( \frac{R_1}{R_2} I_L - \frac{V_{off}}{R_2} \right)$$

$I_{pol}$



$$R_1 \cdot I_L = R_2 \cdot I_{R2} \rightarrow I_c = I_{R2} - I_{pol2}$$

$$V_o = R_3 \left( \frac{R_1}{R_2} I_L - I_{pol} \right)$$



$$R_1 I_{R1} = R_2 \cdot I_c$$

$$I_{R1} = I_L + I_{pol1}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_1 I_{R1} = R_2 \cdot I_c \\ I_{R1} = I_L + I_{pol1} \end{array} \right\} V_o = R_3 \left( \frac{R_1}{R_2} (I_L + I_{pol1}) \right)$$

$$V_o^{tot} = R_3 \left( \frac{R_1}{R_2} I_L - \frac{V_{off}}{R_2} - I_{pol} + \frac{R_1}{R_2} I_{pol1} \right)$$

$$\text{error} = \left| \frac{V_{out} - V_o^{tot}}{V_{out}} \right| = \left| \frac{-\frac{V_{off}}{R_2} - I_{pol} + \frac{R_1}{R_2} I_{pol1}}{\frac{R_3 R_1}{R_2} I_L} \right| < 0,05$$

$$\approx \left| \frac{2mV/100 - 2nA}{0,05} \right| < I_L$$

$$\Rightarrow \boxed{I_L > 0,4 mA}$$

$$I_{pol1,2} = I_B \pm \frac{I_{off}}{2} \approx 2nA$$

$$V_{off} = 0$$

c) El transistor debe funcionar en zona activa.

$$V_{DC} - R_3 I_L - \left( R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2} \right) I_L \geq V_{CEsat}$$

$$V_{DC} \geq V_{CEsat} + R_1 I_L + 1.2 I_L \Rightarrow V_{DC} \geq (0.3 + 0.4 + 1)V$$

$$\boxed{V_{DC} \geq 1.4V}$$

2) ICMR:

$$V_+ = V_{DC} - I_C R_2$$

$$V_- = V_{DC} - I_L R_1$$

$$ICMR = \frac{V_+ + V_-}{2} = \frac{2V_{DC} - I_C R_2 - I_L R_1}{2}$$

$$V_{DC} - I_L R_1 \leq ICMR_{min}$$

$$V_{DC} \leq ICMR_{min} + I_L R_1 = (11 + 0.1)V$$

$$\boxed{V_{DC} \leq 11.1V}$$

3) OS (chequeo que la salida del operacional este por debajo del OS)

$$V_{out}^{op} + V_{BE} = V_{out} = R_3 I_C = I_L 1.2 \Rightarrow V_{out}^{op} = 1 + 0.7 = 1.7V$$

d)

$$I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} I_C$$

$$V_{out}^{\beta=10} = R_3 I_E$$

$$V_{out}^{\beta=\infty} = R_3 I_C$$

$$error = \left| \frac{R_3 I_E - R_3 I_C}{R_3 I_C} \right| = \left| \frac{\beta + 1}{\beta} - 1 \right| = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{10} = 10\%$$

$$\boxed{error = 2\%}$$

**PREGUNTA (25 pts.)**

a) Para una juntura p-n, con  $N_A > N_D$ , indicar en la Tabla 1 la relación entre las variable indicadas, colocando en los casilleros de la tabla un signo de mayor (>), menor (<) o igual según corresponda.

Magnitud 1	Relación (<, > o =)	Magnitud 2	Nota
Ancho de la zona de deplexión, juntura en <b>inverso</b>	>	Ancho de la zona de deplexión, juntura en <b>directo</b>	
Ancho de la zona de deplexión del lado n	>	Ancho de la zona de deplexión del lado p	*
Carga en la zona de deplexión del lado n	=	Carga en la zona de deplexión del lado p	*
Corriente de drift, juntura en <b>cortocircuito</b>	=	Corriente de difusión, juntura en <b>cortocircuito</b>	
Corriente de drift, juntura en <b>directo</b>	<	Corriente de difusión, juntura en <b>directo</b>	
Corriente de drift, juntura en <b>inverso</b>	>	Corriente de difusión, juntura en <b>inverso</b>	
Corriente de difusión, juntura en <b>cortocircuito</b>	<	Corriente de difusión, juntura en <b>directo</b>	

b) Justificar la respuesta dada en los casos marcados como \* en la tabla.

La zona de deplexión en torno a la unión de las zonas n y p se genera por recombinación de huecos del lado p con electrones del lado n, por tanto la carga "descubierta" (átomos fijos que quedan sin neutralizar al recombinarse los electrones y los huecos) se encuentran en igual cantidad a ambos lados pues cada átomo no neutralizado, cargado positivamente, de la zona de deplexión del lado n se debe a que el electrón que lo neutralizaba se recombino con un hueco de la zona p, el cuál a su vez dejó un átomo fijo cargado negativamente no neutralizado. Por tanto la carga es igual a ambos lados de la zona de deplexión.

Al ser la carga la misma, el ancho será mayor del lado en que la concentración de impurezas sea menor, pues allí la misma carga se tiene en un volumen mayor. Como el lado menos dopado es el n ( $N_D$  donadores, que donan electrones) es menor que  $N_A$ , entonces el ancho de la zona de deplexión es mayor del lado n.

c) Se tiene una barra de semiconductor tipo p no uniformemente dopado en circuito abierto. Determinar como se relaciona la concentración de huecos en dos puntos de la barra con la diferencia de potencial en estos puntos.

Recordar que:

- la densidad de corriente de drift de huecos está dada por  $q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$ .
- la densidad de corriente de difusión de huecos está dada por  $-q \cdot D_p \cdot (dp/dx)$  donde se usa la nomenclatura usual aplicada en el curso.

La condición de equilibrio para que la corriente total sea 0, al estar el semiconductor en circuito abierto, es que las componentes de corriente de drift y difusión sean iguales y opuestas o lo que es lo mismo que su suma sea nula. Por tanto:

$$q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E - q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx} = 0$$

$$\Rightarrow E = \underbrace{\frac{D_p}{\mu_p}}_{V_T} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dx}$$

usando que:

$$E = -\frac{dV}{dx}$$

$$\frac{dV}{dx} = -V_T \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dx}$$

haciendo un cambio de variable a la variable p(x)

$$\frac{dV}{dp} = -V_T \cdot \frac{1}{p}$$

$$\Rightarrow p_1 = p_2 \cdot e^{V_{21}/V_T}$$