

EXAMEN DE ELECTRONICA 1**26/07/17**

Resolver cada problema en hojas separadas.

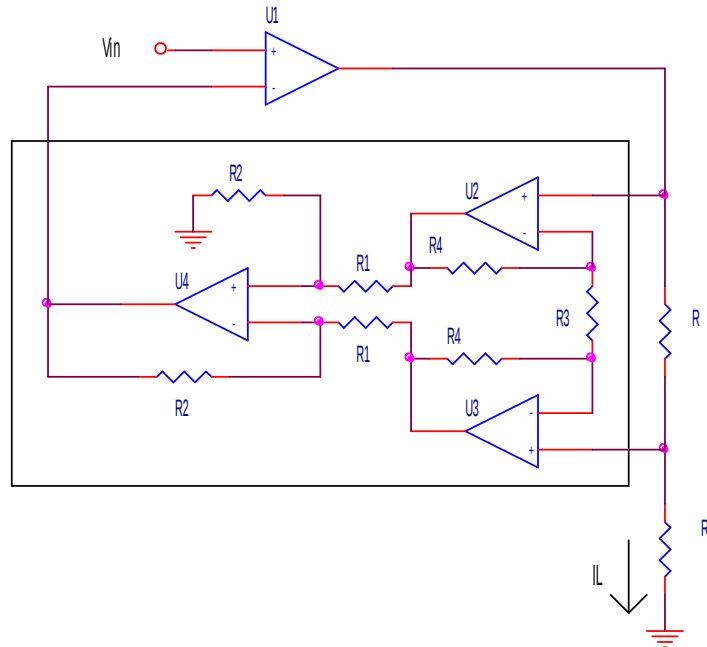
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (37 puntos)

- Determinar I_L si todos los amplificadores operacionales son ideales. ¿ I_L depende de R_L ? ¿Qué función cumple el circuito?
- Determinar en función de V_{in} el nivel de modo común a la entrada de $U1$, $U2$ y $U3$ y la tensión a la salida de $U1$, $U2$ y $U3$.
- Si $R1=R3=R4=R2/30$, $R_L = 150R$, $U4$ se considera ideal y los amplificadores operacionales $U1$, $U2$ y $U3$ son LF 412, cuya hoja de datos se adjunta, alimentados de $\pm 15V$, considerando los valores típicos, ¿en que rango de tensiones V_{in} el circuito funciona correctamente?
- Si el bloque recuadrado no es ideal, presentando una relación de rechazo al modo común de valor CMRR, ¿Cómo cambia el resultado de la parte a)?



DC Electrical Characteristics									
(Note 7)									
Symbol	Parameter	Conditions	LF412A			LF412			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5	1.0		1.0	3.0	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$ (Note 8)		7	10		7	20	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{OS}	Input Offset Current	$V_S = \pm 15\text{V}$ (Notes 7, 9)	$T_J = 25^\circ\text{C}$	25	100		25	100	pA
			$T_J = 70^\circ\text{C}$			2		2	nA
			$T_J = 125^\circ\text{C}$			25		25	nA
I_B	Input Bias Current	$V_S = \pm 15\text{V}$ (Notes 7, 9)	$T_J = 25^\circ\text{C}$	50	200		50	200	pA
			$T_J = 70^\circ\text{C}$			4		4	nA
			$T_J = 125^\circ\text{C}$			50		50	nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$		10^{12}		10^{12}			Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}, R_L = 2\text{k}, T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		25	200		V/mV
		Over Temperature	25	200		15	200		V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{k}$	± 12	± 13.5		± 12	± 13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range		± 16	+19.5		± 11	+14.5		V
				-16.5			-11.5		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{k}$	80	100		70	100		dB
		(Note 10)	80	100		70	100		dB
I_S	Supply Current	$V_O = 0\text{V}, R_L = \infty$		3.6	5.6		3.6	6.5	mA

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

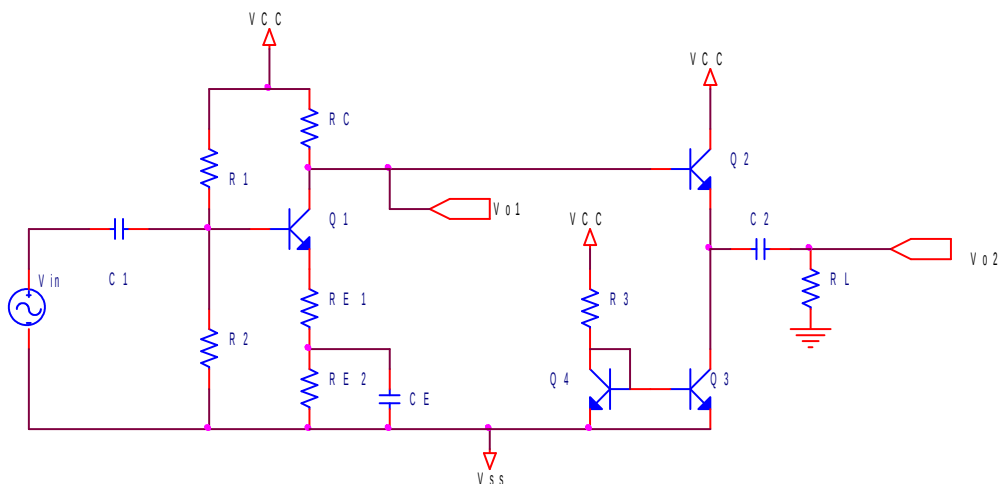
AC Electrical Characteristics									
(Note 7)									
Symbol	Parameter	Conditions	LF412A			LF412			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	$T_A = 25^\circ\text{C}, f = 1\text{ Hz} - 20\text{ kHz}$ (Input Referred)		-120			-120		dB
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	15		8	15		V/ μs
GBW	Gain-Bandwidth Product	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	3	4		2.7	4		MHz

PROBLEMA 2 (37 puntos)

- a) Determinar la corriente DC por todos los transistores y la ganancia V_{o2}/V_{in} a frecuencias medias.
- b) Determinar la máxima excursión en V_{o1} .
- c) Determinar la frecuencia de corte inferior.

Datos: $R_1=33\text{K}$, $R_2=4\text{K}$, $R_3=3\text{K}$, $R_C=8\text{K}$, $R_{E1}=150\Omega$, $R_{E2}=1\text{K}$ y $R_L=1\text{K}$
 $C_1=47\mu\text{F}$, $C_E=47\mu\text{F}$ y $C_2=\infty$

Todos los transistores son iguales con $V_A=150\text{ V}$, $\beta=100$ $V_{CEsat}=0,3\text{ V}$, $V_{BEon}=0.7\text{ V}$,
 $V_{cc}=9\text{V}$ y $V_{ss}=-9\text{V}$



PREGUNTA (26 puntos)

Dado el circuito de la figura, donde el inversor es un MC74HCT04 (se adjunta parte de la hoja de datos). V_{in} es una señal digital que puede tomar los valores 0V y 2V según se indica en la figura.

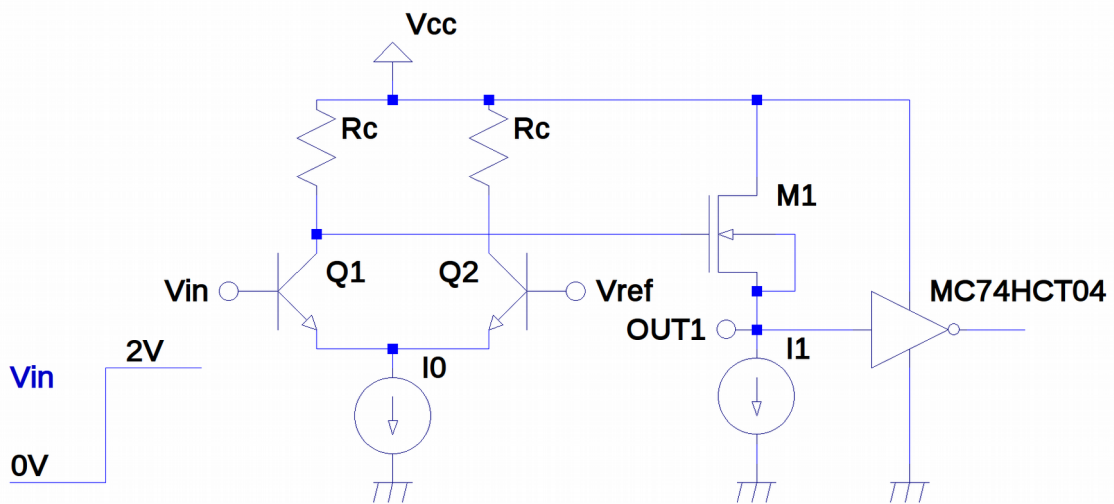
- a) Calcular V_{OL} y V_{OH} en la salida OUT1.
- b) Calcular los márgenes de ruido NM_L y NM_H en OUT1.
- c) Si la entrada V_{in} ahora varía entre $(1V - V_{amp}/2)$ y $(1V + V_{amp}/2)$, ¿Cual debe ser el mínimo valor de V_{amp} para que el circuito tenga aproximadamente el mismo comportamiento de las partes a) y b) en OUT1?

Datos:

$R_c = 1.5k\Omega$, $V_{cc} = 5V$, $V_{ref} = 1V$, $I_0 = I_1 = 2mA$.

Q1 Q2 : $\beta = 400$, $V_{BE} = 0.7V$, tensión de Early infinita.

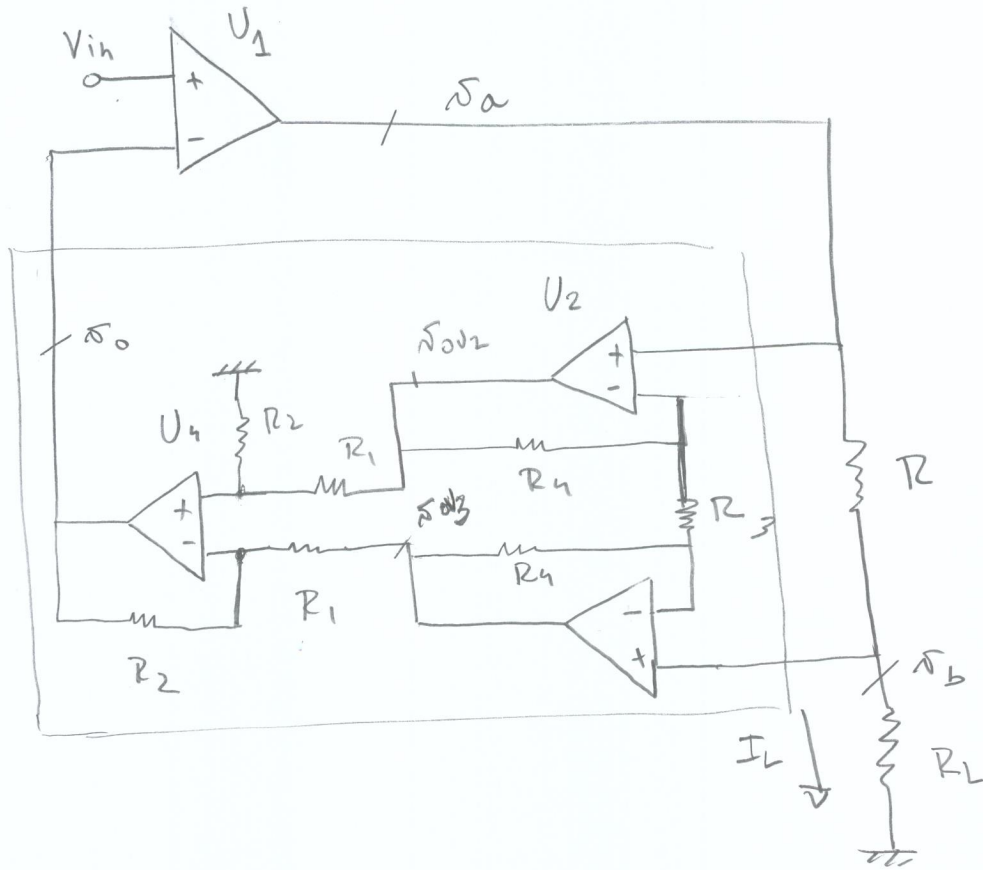
M1: $V_{t0} = 0.7V$ $\beta = 5mA/V^2$, $\delta = 0$, tensión de Early infinita.



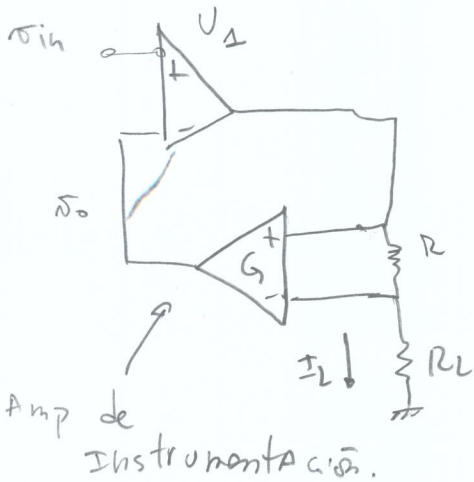
Electrical Characteristics (@ $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{cc}	$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		Unit
				Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	High-Level Input Voltage		4.5V to 5.5V	2.0		2.0	—	V
V_{IL}	Low-Level Input Voltage		4.5V to 5.5V	—	0.8	—	0.8	V
V_{OH}	High-Level Output Voltage	$I_{OH} = -20\mu A$	4.5V	4.4	—	4.4	—	V
		$I_{OH} = -4mA$	4.5V	3.80	—	3.70	—	
V_{OL}	Low-Level Output Voltage	$I_{OL} = 20\mu A$	4.5V	—	0.1	—	0.1	V
		$I_{OL} = 5.2mA$	6.0V	—	0.33	—	0.4	
I_i	Input Current	$V_i = GND$ to 6.0V	6.0V	—	± 1	—	± 1	μA
I_{CC}	Supply Current	$V_i = GND$ or V_{cc} , $I_o = 0$	6.0V	—	20	—	40	μA
ΔI_{CC}	Additional Supply Current	One input at $V_{cc} - 2.1V$ Other pins at V_{cc} or GND	4.5V to 5.5V	—	675	—	735	μA

Problema 1



a) Hallar I_L , depende de R_L ? que función cumple el circuito?



$$V_0 = (V_a - V_b) G \Rightarrow \frac{V_0}{G} = V_a - V_b$$

$$I_L = \frac{V_a - V_b}{R}$$

U_1 realimentado negativamente

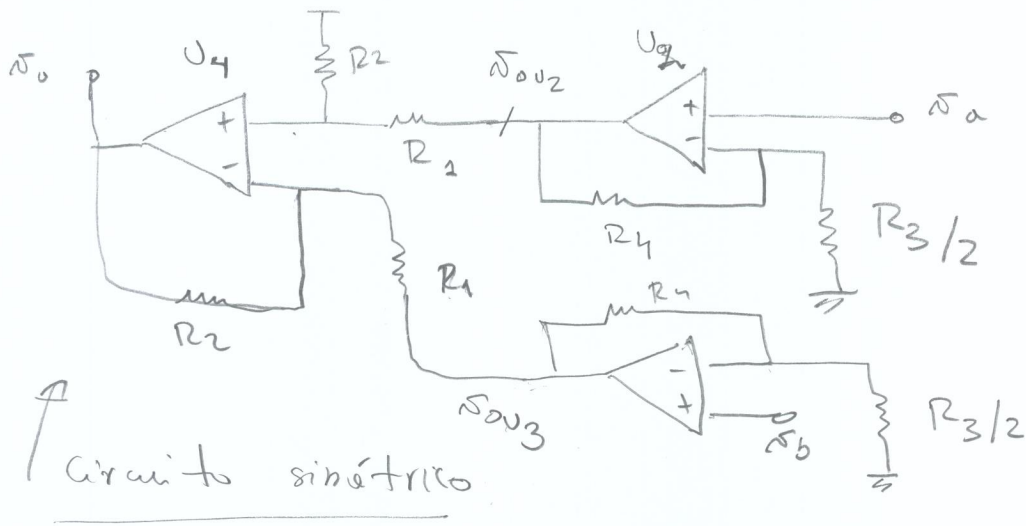
\Rightarrow Zona lineal.

$$\Rightarrow V_0 = V_{in}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_L = \frac{V_{in}}{R} \cdot \frac{1}{G}}$$

El circuito es una fuente de corriente.

G: Generador Amp instrumentais.



Circuito simétrico

$$v_{ou2} = \left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right) v_a$$

Análogamente,

$$v_{ou1} = \left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right) v_b$$

$$v_0 = v_{ou2} \frac{R_2}{R_2 + R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + v_{ou3} \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$$

" $\frac{R_2 + R_1}{R_1}$

$$v_0 = \frac{R_2}{R_1} \left(v_{ou2} - v_{ou3}\right) = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right) (v_a - v_b)$$

$$\frac{v_0}{v_a - v_b} = \boxed{G = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left| I_L = \frac{v_{in}}{R} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right)} \right|$$

b) Determinar en función de V_{cm} el nivel de MC a la entrada de cada OP amp y Tensión de salida.

$$\underline{U_1}: \quad \left[v_{OU1} = v_a = I_L (R+R_L) = \frac{R+R_L}{R} \cdot \frac{1}{G} v_{in} \right]$$

\Rightarrow ASUMO para nivel MC $\pm V_{cm}$
y para output swing $\pm V_{osw}$

$$\Rightarrow I_{CMR} \quad \left| \frac{-V_{cm} < v_{in} < +V_{cm}}{} \right|$$

$$OSW \quad \left| \frac{-V_{osw} < v_{OU1} < +V_{osw}}{} \right|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{-V_{osw} \cdot G \cdot \frac{R}{R+R_L} < v_{in} < \frac{G \cdot R}{R+R_L} \cdot V_{osw}}{} \right|$$

U₂:

$$I_{CMR} \quad \left| \frac{-V_{cm} < v_a < +V_{cm}}{} \right|$$

$$\Rightarrow \left| \frac{-V_{cm} \frac{G \cdot R}{R+R_L} < v_{in} < V_{cm} \frac{G \cdot R}{R+R_L}}{} \right|$$

$$OSW \quad \left| \frac{-V_{osw} < v_{OU2} < +V_{osw}}{} \right| \quad \text{(*)} \Rightarrow$$

$$v_{OU2} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) v_a - \frac{R_3}{R_4} v_b$$

$$\left[v_{OU2} = v_a + \frac{R_4}{R_3} (v_a - v_b) = \frac{v_{in}}{G} \left(1 + \frac{R_L}{R} + \frac{R_4}{R_3} \right) \right]$$

$$\Rightarrow \text{(*)} \quad \left| \frac{-V_{osw} \cdot G}{1 + \frac{R_L}{R} + \frac{R_4}{R_3}} < v_{in} < \frac{V_{osw} \cdot G}{1 + \frac{R_L}{R} + \frac{R_4}{R_3}} \right|$$

U_3 :

$$v_b = \frac{v_a \cdot R_L}{R + R_L} = \frac{R_L}{R} \cdot \frac{1}{G} v_{in}$$

$$v_{out3} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) v_b - \frac{R_4}{R_3} v_a$$

$$v_{out3} = v_b - \underbrace{(v_a - v_b)}_{\frac{v_{in}}{G}} \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

$$v_{out3} = \frac{v_{in}}{G} \left(\frac{R_L}{R} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

OSW : $-V_{osw} < v_{out3} < V_{osw}$

$$\left| \begin{array}{c} -V_{osw} G < v_{in} < V_{osw} G \\ \frac{R_L}{R} - \frac{R_4}{R_3} \end{array} \right|$$

ICM : $\left| \begin{array}{c} -V_{cm} G \cdot \frac{R}{R_L} < v_{in} < V_{cm} G \cdot \frac{R}{R_L} \end{array} \right|$

c) $R_1 = R_3 = R_4 = \frac{R_2}{30}$

$U_1 = U_2 = U_3 = LF412$

U_4 ~~1202~~

$\Rightarrow V_{cm} = \begin{cases} +11,5V \\ -11,5V \end{cases}$

$V_{osw} = \pm 13,5V$

$G = 90$, $\frac{R_L}{R} = 150$

⇒ EVALUO condiciones

$$U_1: \quad OSW: \quad -8,1V < v_{in} < 8,1V$$

$$ICH R \quad -11,5V < v_{in} < 14,5V$$

$$U_2: \quad OSW: \quad -8,0V < v_{in} < 8,0V$$

$$ICH R: \quad -6,9V < v_{in} < 8,7V$$

$U_3:$

$$\frac{R_L}{R} - \frac{R_4}{R_1} = 149$$

$$\Rightarrow OSW: \quad -8,15V < v_{in} < 8,15V$$

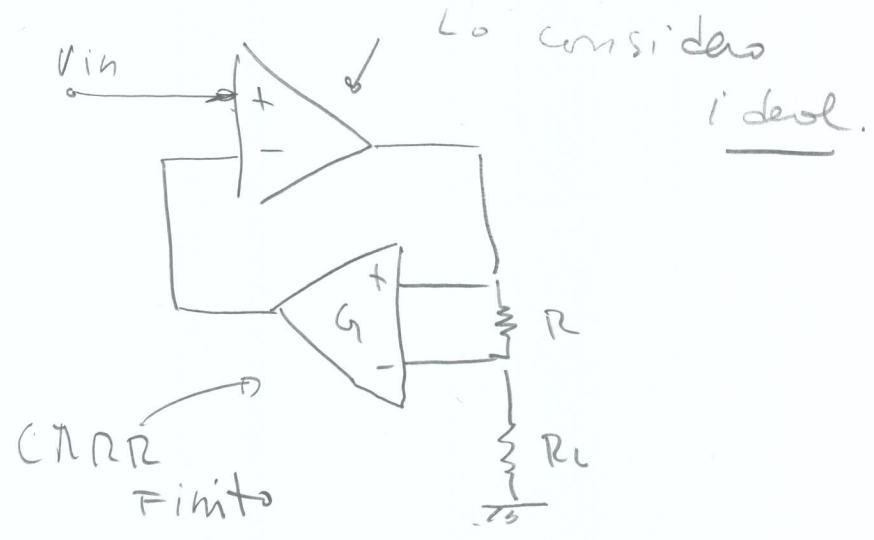
ICH R:

$$-6,9V < v_{in} < 8,7V$$

⇒ PARA que funcione todo

$$\boxed{-6,9V < v_{in} < 8,0V}$$

d)



$$\Rightarrow CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \Rightarrow A_c = \frac{A_d}{CMRR}, \quad \underline{A_d = G}$$

$$V_o = V_{in} = \underbrace{(V_a - V_b)}_{R I_L} G + \frac{(V_a + V_b)}{2} \frac{G}{CMRR}$$

$$\left. \begin{aligned} V_a &= (R + R_L) I_L \\ V_b &= R_L I_L \end{aligned} \right) \Rightarrow \frac{V_a + V_b}{2} = \frac{(R + 2R_L) I_L}{2}$$

$$V_{in} = I_L \left(R G + \frac{(R + 2R_L) G}{2 CMRR} \right)$$

$$I_L = \frac{V_{in} / G}{R + \frac{(R + 2R_L)}{2 CMRR}}$$

Si $CMRR \rightarrow \infty \Rightarrow I_L \rightarrow \frac{V_{in}}{GR} \checkmark$

PROBLEMA 2

a) Supongo todos los transistores en zona activa: $V_{BE} = V_{BEON} = 0,7V$

• ESPEC $Q3:Q4 \rightarrow I_{C3} = I_{C4}$; $V_{CC} = R_3 I_{C3} + V_{BEON} + V_{SS} \Rightarrow I_{C3} = \frac{18V - 0,7V}{3,3k\Omega} = 5,24mA$

• $I_{C2} = I_{C3} = 5,24mA$

• Si $I_{R2} \gg I_{B1} \Rightarrow V_{B1} = V_{SS} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (V_{CC} - V_{SS}) = -9V + \frac{4,7k\Omega \cdot 18V}{33k\Omega + 4,7k\Omega} = -6,76V \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{E1} = -7,46V$

• $I_{C1} = \frac{V_{E1} - V_{SS}}{R_{E1} + R_{E2}} \approx \frac{V_{E1} - V_{SS}}{R_{E2}} \Rightarrow I_{C1} = 1\mu A$

VERIFICACION $I_{R2} \gg I_{B1}$:
 $I_{R2} = \frac{V_{B1} - V_{SS}}{R_2} = \frac{-6,76V + 9V}{4,7k\Omega} = 477\mu A$
 $I_{B1} = I_{C1} / \beta = 10\mu A \ll 477\mu A$ ✓

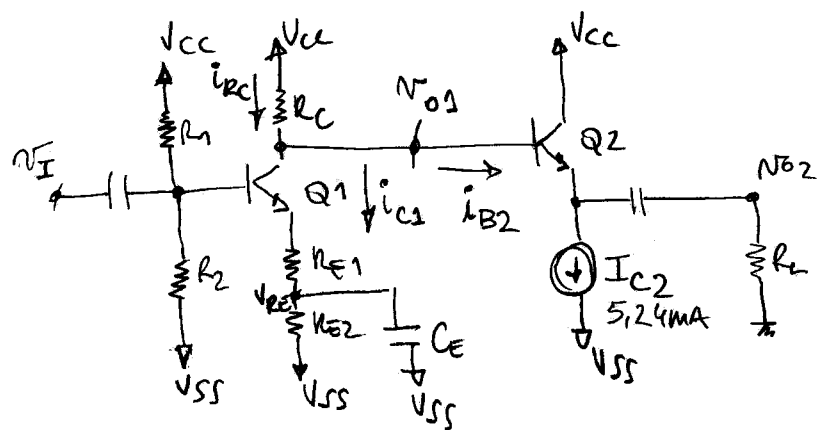
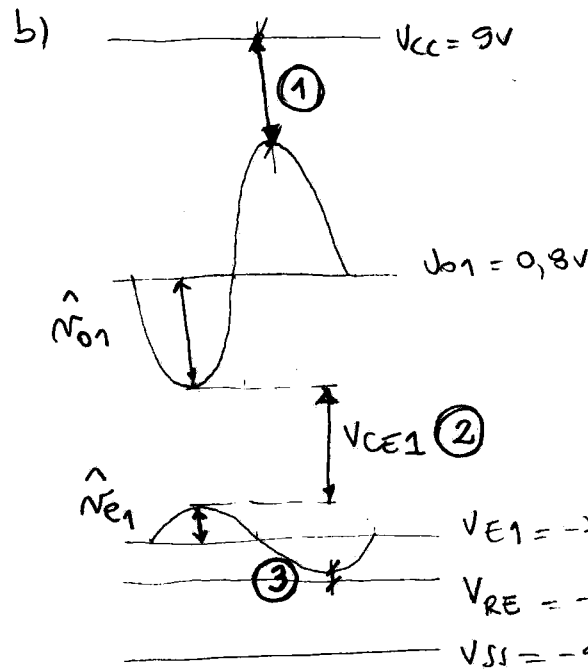
$\frac{v_{o1}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} R_{eqc}}{1 + g_{m1} R_{E1}}$; $R_{eqc} = R_C \parallel \left[r_{\pi 2} + \beta (R_E \parallel r_{o3} \parallel r_{o2}) \right] \parallel r_{o1}$; $\frac{v_{o2}}{v_{o1}} = \frac{g_{m2} R_L}{1 + g_{m2} R_L}$

$r_{o1} = \frac{V_A}{I_{C1}} = 150k\Omega$; $r_{o3} = r_{o2} = \frac{V_A}{I_{C2}} = 28,6k\Omega \Rightarrow r_{o3} \parallel r_{o2} = 14,3k\Omega$
 $r_{\pi 2} = \beta \frac{V_T}{I_{C2}} = \frac{100 \times 26mV}{5,24mA} = 496\Omega$; $g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{1\mu A}{26mV} = 38mS$; $g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 202mS$

$R_{eqc} = 8,2k\Omega \parallel \left[496\Omega + 100 \times (1,5k\Omega \parallel 14,3k\Omega) \right] \parallel 150k\Omega \approx 8,2k\Omega \parallel 136k\Omega \parallel 150k\Omega = 7,4k\Omega$
 $136k\Omega \gg 496\Omega$

$\frac{v_{o2}}{v_{in}} = \frac{v_{o2}}{v_{o1}} \cdot \frac{v_{o1}}{v_{in}}$; $\frac{v_{o2}}{v_{o1}} \approx 1$ porque $g_{m2} R_L = 412mS \cdot 1,5k\Omega \gg 1 \Rightarrow \frac{v_{o2}}{v_{in}} = \frac{v_{o1}}{v_{in}}$

$\frac{v_{o2}}{v_{in}} = \frac{-38mS \times 7,4k\Omega}{1 + 38mS \times 150\Omega} = -42 \frac{V}{V} \rightarrow |G_{frec. media}| = -42 \frac{V}{V}$



$V_{RE} = V_{E1} - R_{E1} \cdot I_{C1} = -7,61V$

$V_{O1} = V_{CC} - I_{C1} R_C = 9V - 1mA \cdot 8,2k\Omega = 0,8V$

$V_{E2} = V_{O1} - V_{BEON} = 0,1V$

No saturación (2) : $V_{CE1} > V_{CESAT}$

$V_{O1} - V_{E1} = V_{CESAT} + \hat{v}_{O1}^* + \frac{\hat{v}_{O1}^*}{|G|} = V_{CESAT} + \hat{v}_{O1}^* \Rightarrow \hat{v}_{O1}^* = 0,8V + 7,46V - 0,3V = 7,96V$

$|G| = 42V/V \gg 1$

$\hat{v}_{O1} < 7,96V$

No corte : para verificar $i_{C1} > 0$ en gran señal, no basta con ver (1), que $v_{C1} = \hat{v}_{O1} + V_{O1} < V_{CC}$ porque $i_{RC} \neq i_{C1}$ debido a $i_{B2} \neq i_{C1}$. Entonces hay dos maneras de verificar el no corte.

(a) $V_{E1} - \hat{v}_{E1} > V_{RE}$ (3), donde $\hat{v}_{E1} = \hat{v}_{in} \cdot \frac{g_m R_{E1}}{1 + g_m R_{E1}} = \hat{v}_{in} \cdot 0,85 \frac{V}{V}$

Además $\hat{v}_{in} = \frac{\hat{v}_{O1}}{|G|} \Rightarrow \hat{v}_{E1} = \frac{\hat{v}_{O1}}{|G|} \times 0,85V/V = \hat{v}_{O1} / 49,4V/V \Rightarrow$

(3) $\Rightarrow -7,46V - \hat{v}_{O1} / 49,4V/V > -7,61V \rightarrow \hat{v}_{O1} < 7,4V$

$v_{O1}^{max} = \min\{7,4V, 7,96V\} = 7,4V$

OBTENEMOS MISMO RESULTADO

(b) $i_{RC} = i_{C1} + i_{B2} \rightarrow i_{RC} - i_{B2} > 0$ (gran señal)

$i_{RC} = I_{C1} - \frac{\hat{v}_{O1}}{R_C \parallel R_{O1}}$

$i_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} + \frac{\hat{v}_{O1}}{R_{VB2}}$

$\Rightarrow I_{C1} - \frac{\hat{v}_{O1}}{R_C \parallel R_{O1}} - \frac{I_{C2}}{\beta} - \frac{\hat{v}_{O1}}{R_{VB2}} > 0$

$\hat{v}_{O1} < \left(I_{C1} - \frac{I_{C2}}{\beta} \right) \cdot (R_C \parallel R_{O1} \parallel R_{VB2}) = R_{eqC} = 7,4V$

$I_{C1} \gg \frac{I_{C2}}{\beta}$

$I_{C1} = 1mA$

$\frac{I_{C2}}{\beta} = 7,4\mu A$

c) Supongo polo dominante determinado por C_1 . Entonces para frecuencias cercanas al polo dominante, C_E es un circuito abierto.

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_{eq1} C_1}; R_{eq1} = \underbrace{R_1 \parallel R_2}_{4,1k\Omega} \parallel \left[\underbrace{r_{\pi 1}}_{2,6k\Omega} + \underbrace{\beta(R_{E1} + R_{E2})}_{22 \cdot 150k\Omega} \right] \cong 4,1k\Omega$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_{eq2} C_E}; R_{eq2} = R_{E2} \parallel \left[R_{E1} + \frac{r_{\pi 1} + R_1 \parallel R_2}{\beta} \right] = 1,5k\Omega \parallel \left(150\Omega + \frac{6,1k\Omega}{100} \right) = 190\Omega$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_{E2} C_E}; R_{E2} = 1,5k\Omega$$

Como $C_1 = C_E$ y $R_{E2}, R_{eq1} \gg R_{eq2} \Rightarrow$ se verifica hipótesis del polo dominante

$$f_c = f_{p2} = \frac{1}{2\pi \times 190\Omega \times 47\mu F} \Rightarrow \boxed{f_c = 17,8 Hz} \text{ frecuencia de corte inferior.}$$