

21

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
13/02/03

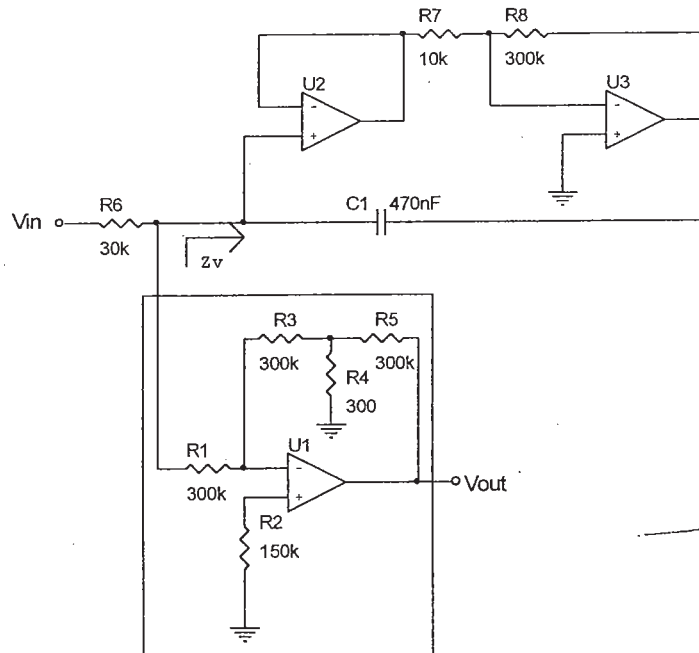
Resolver cada problema en hojas separadas.
Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.
La prueba es **sin** material.
Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.



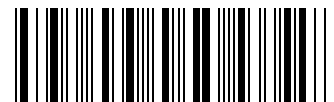
PROBLEMA 1 (37 puntos)

- a) Para el circuito de la Figura 1 calcular la impedancia vista Z_v y la transferencia V_{out}/V_{in} suponiendo que todos los amplificadores operacionales son ideales. ¿Qué función cumple el circuito formado por U2 y U3?
- b) Si el amplificador operacional U1 es un LF412A y los amplificadores operacionales U2 y U3 se pueden seguir suponiendo ideales, calcular la tensión de offset a la salida.
- c) Estando en las mismas condiciones que la parte b), ¿se podría haber implementado el bloque recuadrado con la topología estándar de amplificador inversor, manteniendo la ganancia y la resistencia de entrada de dicho bloque? Justifique su respuesta.
- d) Si los tres operacionales son iguales, ¿cuál de ellos determinará la máxima frecuencia de trabajo? En todos los casos en que se utilicen valores de los datos adjuntos del LF412A, indicar claramente el valor utilizado a qué parámetro corresponde (con el nombre que aparece en la hoja de datos adjunta) y fundamentar claramente porqué se eligió dicho valor, en caso contrario la respuesta no tendrá valor.

Nota: Para todos los casos se supondrá que los amplificadores operacionales están alimentados con $V_s = \pm 15$ V y trabajan a temperatura ambiente $T_A = 25^\circ\text{C}$.



Figural



50700346

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)	$T_I = 25^\circ\text{C}$	25	100	25	100		pA
			$T_I = 70^\circ\text{C}$			2			nA
			$T_I = 125^\circ\text{C}$		25		25		nA
I_B	Input Bias Current	$V_S = \pm 15\text{V}$ (Notes 7, 9)	$T_I = 25^\circ\text{C}$	50	200	50	200		pA
			$T_I = 70^\circ\text{C}$		4		4		nA
			$T_I = 125^\circ\text{C}$		50		50		nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_I = 25^\circ\text{C}$		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		± 18	$+19.5$		± 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
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(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)

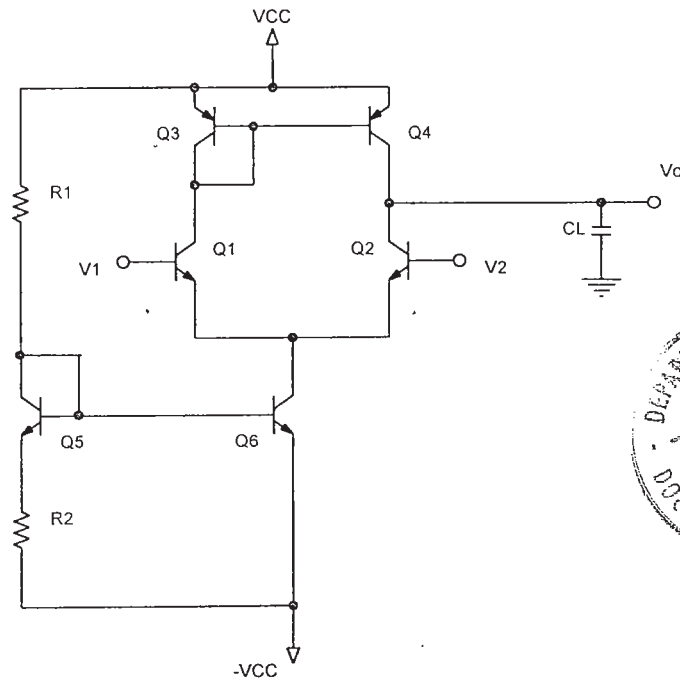
Symbol	Parameter	Conditions	LF412A			LF412			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	$T_A = 25^\circ\text{C}, f = 1\text{ Hz} - 20\text{ kHz}$ (Input Referred)		-120			-120		dB
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	15		8	15		V/ μs
GBW	Gain-Bandwidth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



PROBLEMA 2 (37 puntos)

Los transistores que componen el circuito de la figura tienen los siguientes parámetros: $\beta \approx 100$, $V_{be} \approx 0,7V$ y $V_A=150V$ (Voltaje de Early). La fuente de alimentación es $V_{cc} = 15V$ y $C_L = 0.5\mu F$.

- a) Si los valores de las resistencias R_1 y R_2 son $3k\Omega$ y 4Ω respectivamente, hallar las corrientes por Q_5 y Q_6 .
- b) Hallar la ganancia diferencial del circuito en baja frecuencia.
- c) ¿Cuál es la frecuencia de transición (f_T) del circuito?
- d) ¿Cuál es el Slew Rate?



PROBLEMA 3 (26 puntos)

Se tiene un inversor CMOS con una señal a la entrada con tiempo de subida no nulo t_r y una capacidad de carga C_L que se podrá considerar despreciable.

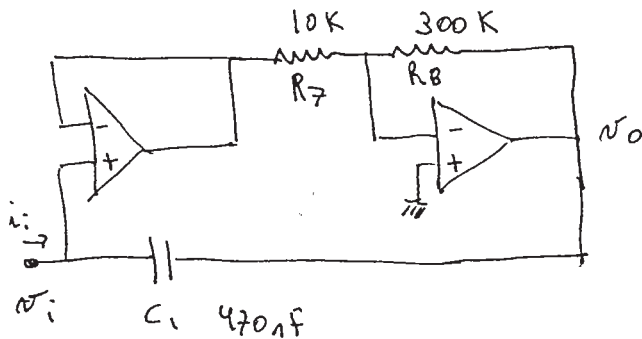
- i) Si los transistores del inversor tienen: $\beta_n = \beta_p = 200\mu A/V^2$, $V_{Ton} = |V_{Top}| = 0.7$ y la alimentación V_{DD} es $5V$, dar una estimación del máximo pico de corriente tomado de la fuente.
- ii) Si la señal de entrada tiene tiempos de subida y bajada de $0.1\mu s$ y una frecuencia de 1 MHz, estimar la potencia consumida por la corriente de camino directo, basándose en la estimación hecha en ii).

Nota: Observar que si la capacidad de carga es muy pequeña el inversor responde de acuerdo a su característica estática.

blema 1

4/9

2)



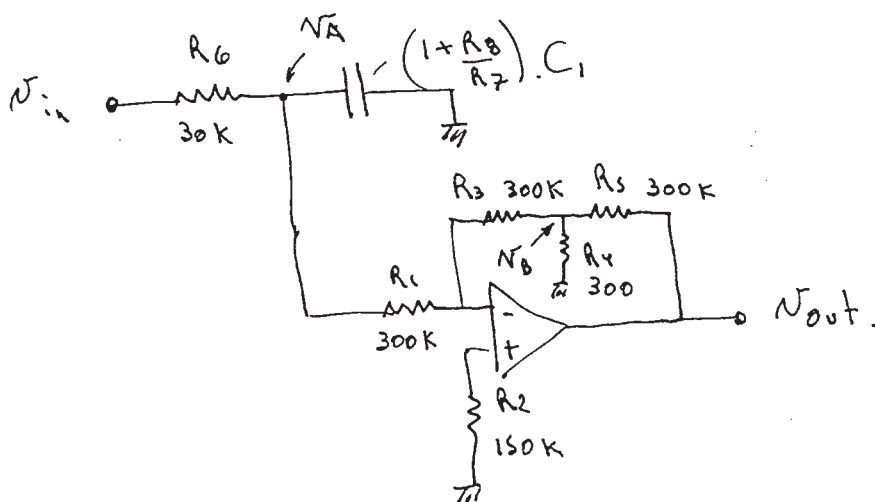
$$i_i = (v_i - v_0) C_1 s$$

$$\frac{v_i}{R_7} = -\frac{v_0}{R_8} \Rightarrow v_0 = -\frac{R_8}{R_7} v_i$$

$$i_i = v_i \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) C_1 s \Rightarrow Z_{in} = \frac{1}{\left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) C_1 s}$$



El circuito permite obtener un condensador variable a partir de uno fijo variando la relación entre dos resistencias. En particular permitiría obtener condensadores de capacidad muy alta.



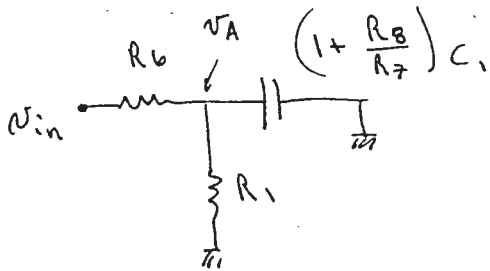
$$\frac{v_B}{R_3} = -\frac{v_A}{R_2} \Rightarrow v_B = -\frac{R_3}{R_2} v_A = -v_A$$

$$\frac{V_B}{R_3} = \frac{V_{out} - V_B}{R_5} - \frac{V_B}{R_4}$$

21

5/9

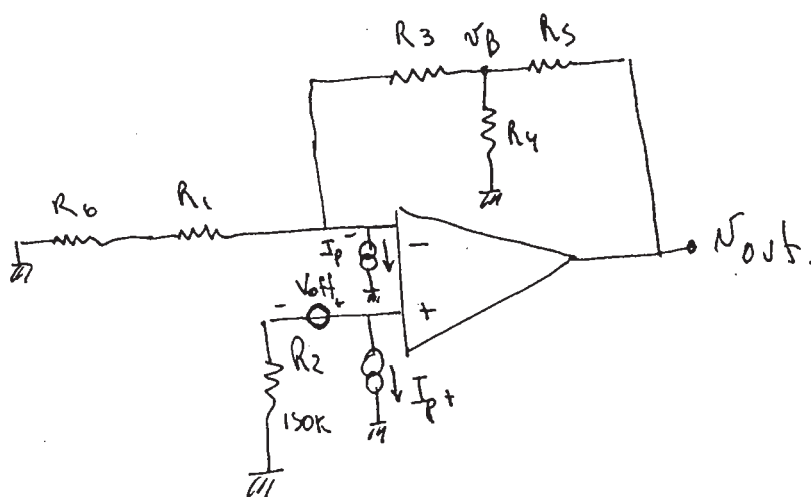
$$V_{out} = V_B \left(1 + \frac{R_5}{R_3} + \frac{R_5}{R_4} \right) = -V_A \cdot \left(1 + \frac{R_5}{R_3} + \frac{R_5}{R_4} \right) = -V_A \cdot \frac{R_5}{R_4}$$



$$V_A = \frac{V_{in} \cdot R_1 \parallel \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) C_1}{R_6 + R_1 \parallel \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) C_1} = \frac{V_{in} \cdot R_1}{(R_1 + R_6) \left(R_1 \parallel R_6 \cdot \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) C_1 s + 1 \right)}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_1 \left(\frac{R_5}{R_4} \right)}{(R_1 + R_6) \left(R_1 \parallel R_6 \left(1 + \frac{R_8}{R_7} \right) C_1 s + 1 \right)}$$

b)



$$= V_{off} - I_p^+ R_2$$

21

6/9

$$\frac{v_{out} - v_B}{R_5} = \frac{v_B}{R_4} + \frac{v_B - v^+}{R_3}$$

$$\frac{v_B - v^+}{R_3} = \frac{v^+}{R_1 + R_6} + I_p^-$$



$$v_B = v^+ \left(1 + \frac{R_3}{R_1 + R_6} \right) + R_3 I_p^- \approx 2v^+ + R_3 I_p^-$$

$$v_{out} = (2v^+ + R_3 I_p^-) \frac{R_5}{R_4} - v^+ \approx (2v^+ + R_3 I_p^-) \frac{R_5}{R_4} =$$

$$= \frac{R_5}{R_4} (2V_{off} - 2R_2 I_p^+ + R_3 I_p^-)$$


En el peor caso $v_{out} = \frac{R_5}{R_4} (2V_{off} + R_3 I_{off})$

Tomando $V_{off} = V_{os}$ (Input Offset Voltage) (Max) = 1mV
 $I_{off} = I_{os}$ (Input Offset Current) (Max, $T_j = 25^\circ C$) = 10

$$\Rightarrow v_{out} = 1 \times 10^3 (2mV + 30\mu V) = 2,03 V$$

c) Para mantener la ganancia y la resistencia de entrada la resistencia que realimenta entre la salida y la pata inversora debería ser de 300 M Ω , lo cual no es prácticamente implementable.

-1 que determina la máxima frecuencia de
trabajo es U_1 por estar realimentado con $127/9$
mayor ganancia.


LINDER REYES



21

8/3

Solución, Problema 2, Electrónica 1, 13/02/03

a)

$$V_{cc} - R_1 I_5 - V_{be} - R_2 I_5 = -V_{cc} \quad \text{Entonces: } I_5 = \frac{2V_{cc} - V_{be}}{R_1 + R_2} = \frac{30V - 0.6V}{3k\Omega + 4\Omega} \cong 10mA$$

Se cumple que:

$$I_5 = I_S e^{\frac{V_{be5}}{V_T}} \quad \text{e} \quad I_6 = I_S e^{\frac{V_{be6}}{V_T}}$$

$$\text{y que } V_{be5} + R_2 I_5 = V_{be6}$$

Dividiendo miembro a miembro las ecuaciones anteriores, y sustituyendo la diferencia entre las tensiones base – emisor de los transistores Q_5 y Q_6 , se obtiene que

$$I_6 = I_5 e^{\frac{R_2 I_5}{V_T}} = 10mA \left(e^{\frac{4\Omega \cdot 10mA}{26mV}} \right) \cong 46mA$$

b)

$$G = g_{m1,2} R_L \quad \text{con } R_L = r_{o4} // r_{o2} \quad \text{y} \quad g_{m1,2} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{23mA}{26mV} = 0.88\Omega^{-1}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{150V}{23mA} = 6.52k\Omega \Rightarrow r_{o4} // r_{o2} = 3.26k\Omega$$

$$G = 2868 \cong 69.2dB$$

c)

$$f_T = \frac{g_{m1,2}}{2\pi C_L} = \frac{0.88}{2\pi \cdot 0.5\mu F} = 280kHz$$

d)

$$SR = \frac{I_{max}}{C_L} = \frac{46mA}{0.5\mu F} = 0.092V/\mu s$$



F. SILVEIRA

21 9/9

Solución, Problema 3, Electrónica 1, 13/02/03

- i) Considerando que la capacidad de carga CL es despreciable y que por tanto la entrada y salida se relacionan de acuerdo a la característica estática, la máxima corriente ocurre cuando ambos transistores dejan pasar la máxima corriente, estando ambos en saturación. En este caso esto ocurre cuando $V_{in} = V_{DD}/2$ (pues el β y V_{T0} son iguales para el nMOS y el pMOS), y la corriente vale:

$$I_{cdpico} = (\beta/2) \cdot (V_{GS} - V_{T0})^2 = (200/2) \cdot (2.5 - 0.7)^2 = 324 \mu A.$$

- ii) Se considera, cómo se hizo en el curso, que la forma de onda de la corriente de camino directo se puede aproximar por triángulos de amplitud el valor I_{cdpico} calculado en ii) y duración t_r y t_f (se desprecia aquí el tiempo que demoran en empezar a conducir los MOS mientras la señal de entrada va de 0 a la tensión umbral). En este caso, como el valor I_{cdpico} es el mismo para subida y bajada pues el β y V_{T0} son iguales para el nMOS y el pMOS, se tiene que la potencia promedio consumida de la fuente de alimentación es:

$$\begin{aligned} P &= (1/2) (t_r + t_f) \cdot V_{DD} \cdot I_{cdpico} \cdot f = \\ &= (1/2) (0.1 \mu s + 0.1 \mu s) \cdot 5V \cdot 324 \mu A \cdot 1MHz = \\ &= 0.16mW \end{aligned}$$

F. S. SILVA
F. S. SILVA

