ENERO 2025

1

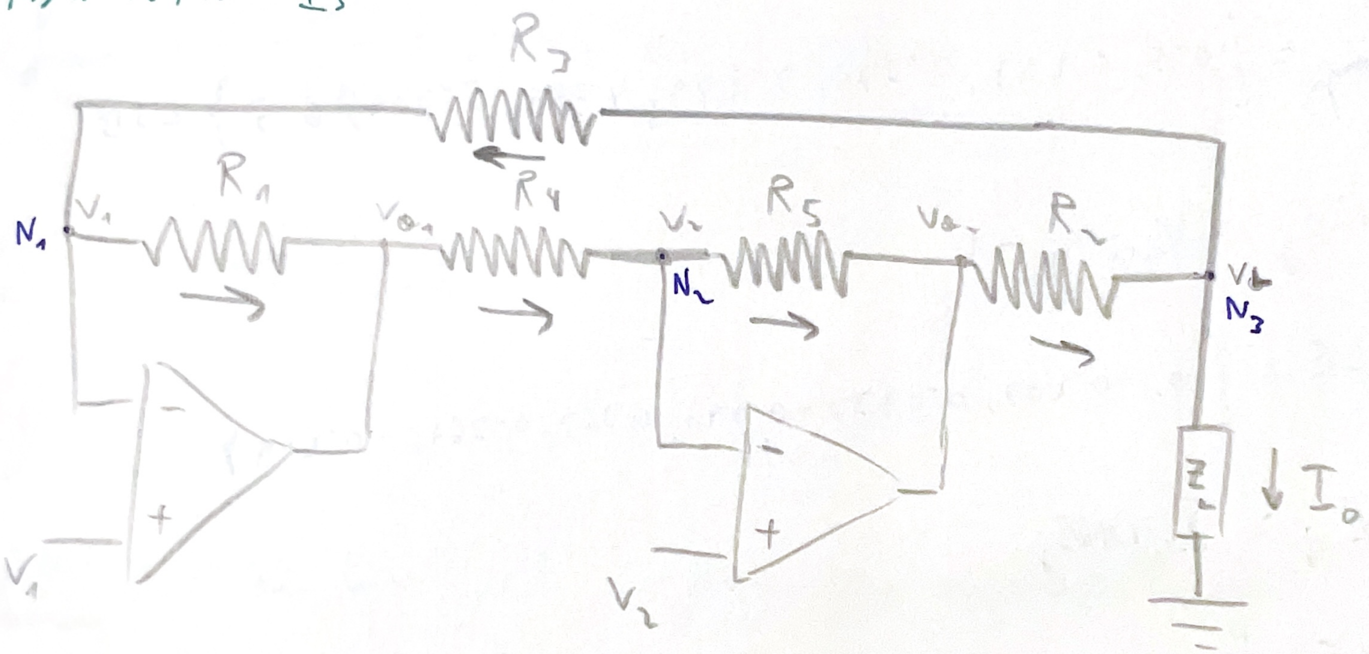
Amplificador instrumentación con salida en corriente.

¿Corriente en la carga y establece condición impedancia de salida ∞?

Bajo esa situación de $R_o = \infty$, obtener expresión de función de transferencia del amplificador a transductancia resultante.

Diseñar el circuito para obtener transconductancia de $1\,mV/A$.

Asumir A.O. I_S



(1): $\dfrac{V_L - V_1}{R_3} = \dfrac{V_1 - V_{o1}}{R_1}$; $V_{o1} = -\left(\dfrac{V_L - V_1}{R_3} + \dfrac{V_1}{R_1}\right) R_1 = \left[V_1 \dfrac{R_1 + R_3}{R_1 R_3} - \dfrac{V_L}{R_3}\right] R_1$;

$$V_{o1} = V_1 \frac{R_1 + R_3}{R_3} - V_L \frac{R_1}{R_3}$$

(2): $\dfrac{V_{o1} - V_2}{R_4} = \dfrac{V_2 - V_{o2}}{R_5}$

(3): $\dfrac{V_{o2} - V_L}{R_2} = I_o + \dfrac{V_L - V_1}{R_3}$

$\rightarrow$ Buscamos: $I_o = A_{v1} \cdot V_1 + A_{v2} \cdot V_2 - \dfrac{V_L}{R_o}$

$$\frac{V_{o1}}{R_4} = V_2 \frac{R_4+R_5}{R_4R_5} - \frac{V_{o2}}{R_5} \ ;$$

$$\frac{V_{o2}}{R_5} = V_2 \frac{R_4+R_5}{R_4R_5} - V_1 \frac{R_1+R_3}{R_3R_4} + V_2 \frac{R_1}{R_3R_4} \ ;$$

$$V_{o2} = V_2 \frac{R_4+R_5}{R_4} - V_1 \frac{R_5(R_1+R_3)}{R_3R_4} + V_2 \frac{R_1R_5}{R_3R_4}$$

$$V_2 \frac{R_4+R_5}{R_2R_4} - V_1 \frac{R_5(R_1+R_3)}{R_2R_3R_4} + V_2 \frac{R_1R_5}{R_2R_3R_4} = I_o + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_2}{R_3} - \frac{V_1}{R_3} \ ;$$

$$I_o = -V_1 \left(\frac{R_5(R_1+R_3)}{R_2R_4} - 1 \right) \frac{1}{R_3} + V_2 \frac{R_4+R_5}{R_2R_4} + V_2 \left(\frac{R_1R_5}{R_2R_3R_4} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{V_2}{R_o} = V_2 \left(\frac{R_1R_5}{R_2R_3R_4} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) ; \quad R_o = \frac{1}{\frac{R_1R_5}{R_2R_3R_4} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}} \ ;$$

$$R_o = \frac{R_2R_3R_4}{R_1R_5 - R_3R_4 - R_2R_4} = \infty \Rightarrow \underline{R_1R_5 = R_4(R_2+R_3)} = R_2R_4 + R_3R_4$$

⟶ Función de transferencia ;

$$I_o = V_2 \frac{R_4+R_5}{R_2R_4} - V_1 \left(\frac{R_5(R_1+R_3)}{R_2R_4R_3} - 1 \right) \stackrel{*}{=} \frac{R_4+R_5}{R_2R_4}(V_2 - V_1) = A_d V_d$$

$$* \quad \frac{R_5R_1}{R_2R_4R_3} + \frac{R_5R_3}{R_2R_4R_3} - \frac{1}{R_3} = \frac{R_5R_1 + R_5R_3 - R_2R_4}{R_2R_4R_3} = \frac{\cancel{R_4R_2} + R_4R_3 + R_5R_3 - \cancel{R_2R_4}}{R_2R_4R_3} =$$

$$= \frac{\cancel{R_3}(R_4+R_5)}{R_2\cancel{R_3}R_4} = \frac{R_4+R_5}{R_2R_4}$$

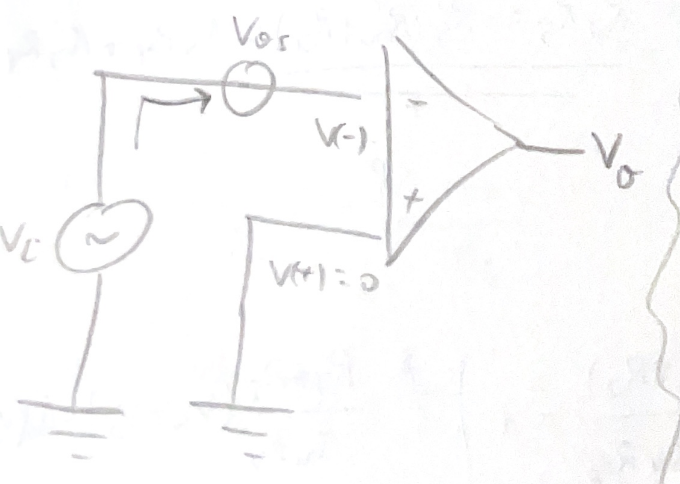
$$A_d = \frac{1\,mA}{V} = \frac{1}{1000}\cdot\frac{A}{V} = \frac{R_4+R_5}{R_2R_4} : R_2R_4 = 1000(R_4+R_5) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left.\begin{array}{l} R_2 = 10\,k\Omega \\ R_4 = 20\,k\Omega \end{array}\right\} R_5 = \frac{R_2R_4 - 1000R_4}{1000} = \underline{180\,k\Omega}$$

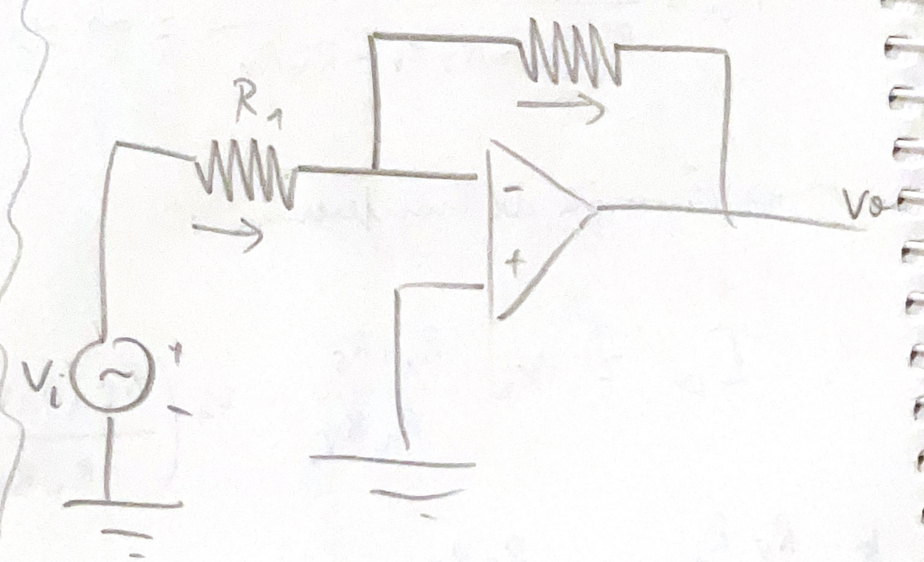
2

El A.O de los dos circuitos posee una frecuencia en lazo abierto $A_{vo} = 200\,V/V$ y una tensión de offset $V_{os} = -5\,mV$, siendo ideal en todos los demás parámetros. Suponiendo que en ambos circuitos el A.O está alimentado a $\pm 15V$ y que su salida satura a $\pm 14V$, obtener la expresión de la tensión de salida y dibuja correctamente dimensionadas las curvas de calibración (función de transferencia en estática) de ambos circuitos.

1º CIRCUITO LAZO ABIERTO



2º CIRCUITO



LAZO ABIERTO:

Resolvemos AOR con ganancia infinita y tensión de offset y todo lo demás A.O.I : $V_o = A_{OL} \cdot [V(+) - V(-)]$

$$V_o = A_{OL}(0 - V_i + V_{os}) = -200(V_i + 0'005)$$

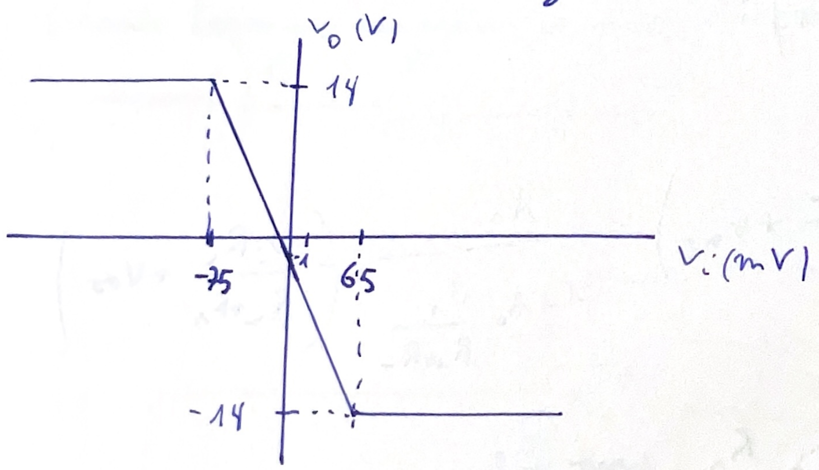
Ahora evaluamos la salida $V_o = \pm 14V$:

$$\left\{\begin{array}{l} +14V: \; V_o = -200(V_i + 0'005) = 14; \; V_i = -0'075V \\ -14V: \; V_o = -200(V_i + 0'005) = -14; \; V_i = 0'065V \end{array}\right\} \Rightarrow$$

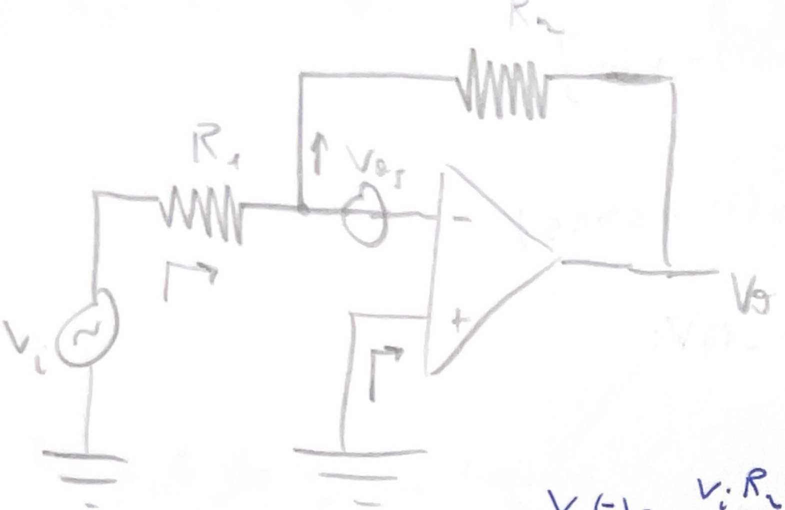
$\Rightarrow$ Cuando V_i supera $-0'075V$ y $0'065V$ satura y V_o = cte

Si $V_i = 0 \Rightarrow V_o = -1V$

$V_o = -200V_i - 1 \rightarrow$ Lineal $y = ax + 1$



INVERSOR:



$$\frac{V_i - V(-)}{R_1} = \frac{V(-) - V_o}{R_2} \;;$$

$$V(-) = \left(\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2}\right) \cdot \frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2} \;;$$

$$V(-) = \frac{V_i R_2 + V_o R_1}{R_2 + R_1}$$

$$V_o = A_{ov}\left(0 - \frac{V_i R_2 + V_o R_1}{R_2 + R_1} + V_{os}\right)$$, y despejamos V_o:

$$V_o - A_o \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_o = A_{ov}\left(-\frac{V_i R_2}{R_2 + R_1} + V_{os}\right) \;;\; V_o\left(1 + \frac{A_o R_1}{R_2 + R_1}\right) = A_o\left(-\frac{V_i R_2}{R_2 + R_1} + V_{os}\right) \;;$$

$$V_o = \frac{A_o (R_2 + R_1)}{R_2 + R_1 + A_o R_1} \cdot \left(-\frac{V_i R_2}{R_2 + R_1} + V_{os}\right) =$$

$$= \frac{A_o}{\frac{R_2 + R_1}{R_2 + R_1} + \frac{A_o R_1}{R_2 + R_1}} \left(-\frac{V_i R_2}{R_2 + R_1} + V_{os}\right) = \frac{A_o}{1 + A_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \left(-\frac{V_i R_2}{R_2 + R_1} + V_{os}\right)$$

No tenemos valores de R_1 y R_2 pero sabemos que la ganancia lazo cerrado INVERSORA es: $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$,

hacemos $R_1 = R_2$:

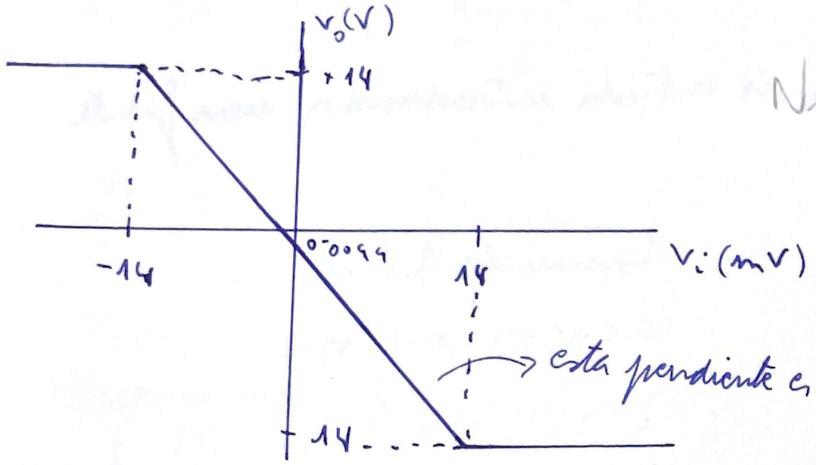
$$V_o = \frac{A_o}{1 + A_o \frac{R}{2R}} \left(-V_i \frac{R}{2R} + V_{os}\right) = \frac{A_o}{1 + \frac{A_o}{2}} \left(-\frac{V_i}{2} + V_{os}\right)$$

$$V_o = \frac{200}{1+100}\left(-\frac{V_i}{2}\cdot 0'005\right) \simeq 0'99\,(-V_i \cdot 0'010)$$

$14: \; V_o = -0'99V_i - 0'0099 = 14; \; V_i = -14'15\,V$

$-14: \; V_o = -0'99V_i - 0'0099 = -14; \; V_i = 14'13\,V$

$V_i = 0 \Rightarrow V_o = 0'0099V$

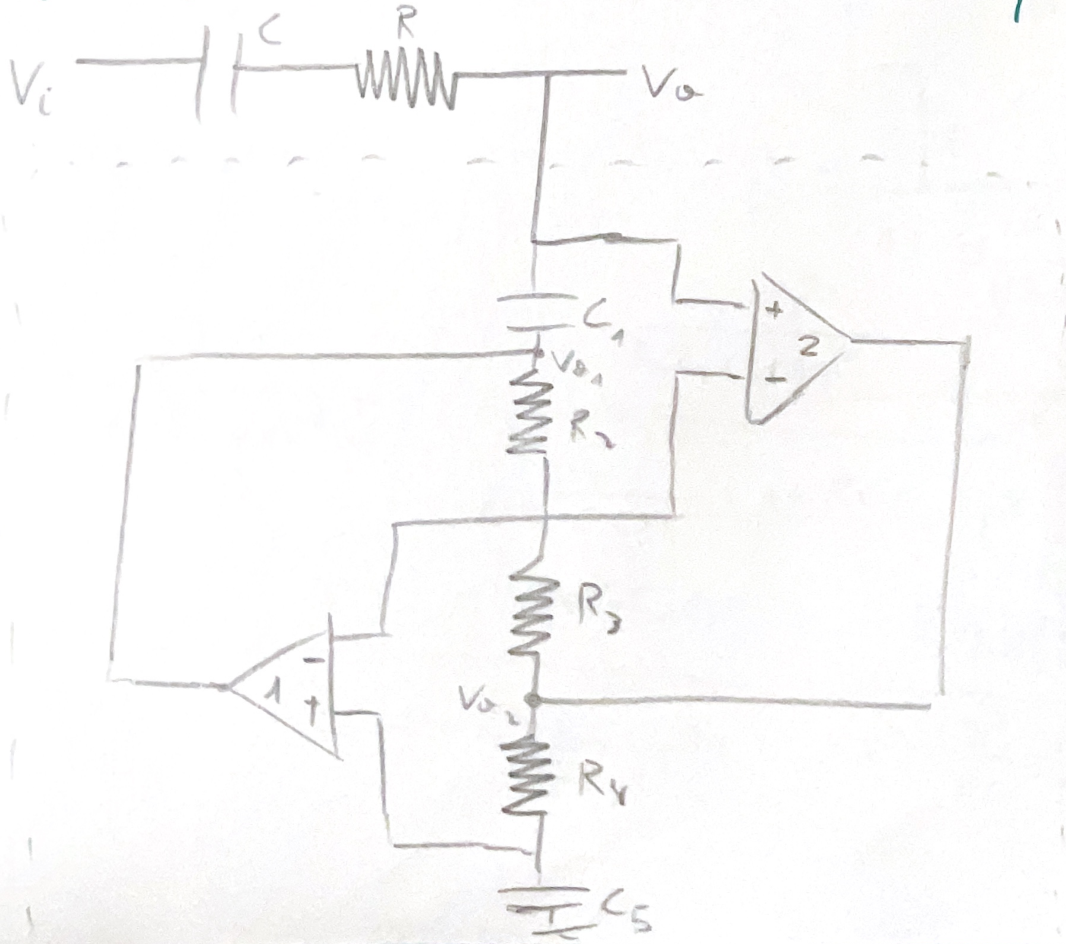


esta pendiente es -1 para $-\frac{R_2}{R_1}$

Ninguna de las líneas pasa por (0,0) por la acción de la corriente de offset

3

Circuito término cuadrático usando convertido de impedancia generalizado.



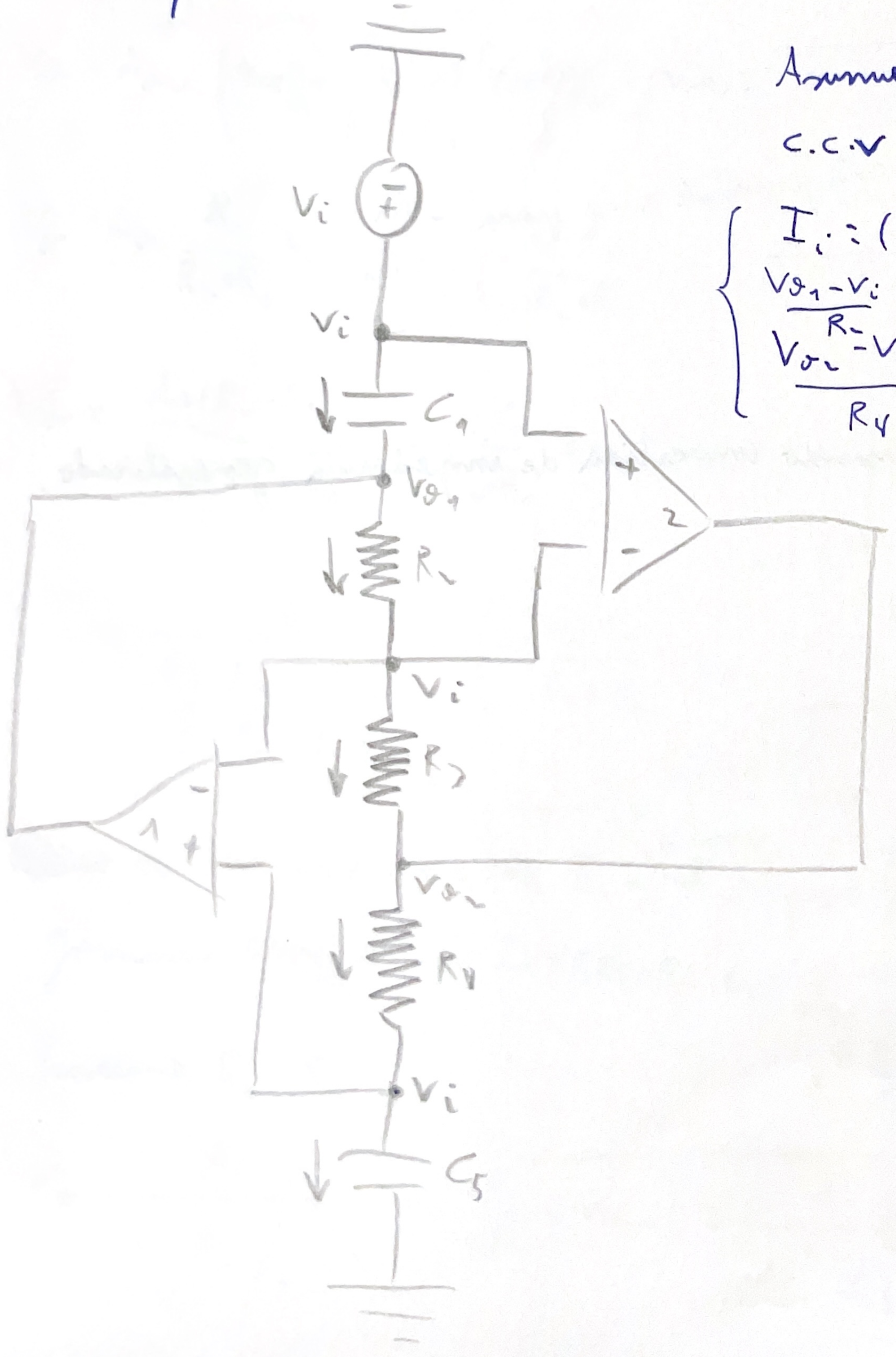
a) Suponer A.O.I, ¿función transferencia y que término implementa?

¿H_0, f_0, Q?

b) ¿Diagrama Bode? $C = 0'1\mu F$, $R = 8'06\,k\Omega$, $C_1 = C_5 = 10\,nF$, $R_2 = R_3 = R_4 = 31'6\,k\Omega$

Sugerencia: obtener la impedancia de entrada del circuito enmarcado por el rectángulo y sustituirlo por dicha expresión para analizar después el circuito global.

a) Para obtener la impedancia de entrada introducimos una fuente de prueba:



Asumiendo A.O.I

C.C.V $\Rightarrow V(+) = V(-)$

$$\begin{cases} I_i = (V_i - V_{o1})\,C_1 s & (1) \\ \dfrac{V_{o1} - V_i}{R_2} = \dfrac{V_i - V_{o2}}{R_3} & (2) \\ \dfrac{V_{o2} - V_i}{R_4} = V_i\,(C_5 s) & (3) \end{cases}$$

$$V_{o2} = V_i\,(1 + R_4 C_5 s)$$

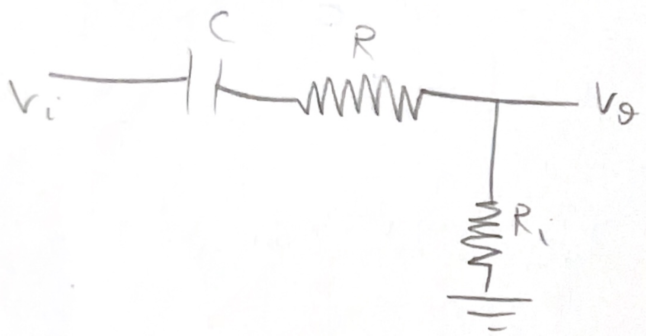
$$\frac{V_{o1}}{R_2} = V_i\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) - \frac{V_i(1 + R_4 C_5 s)}{R_3} = V_i\left(\frac{1}{R_2} - \frac{R_4 C_5 s}{R_3}\right) ;$$

$$V_{o1} = V_i\left(1 - \frac{R_2 R_4 C_5 s}{R_3}\right)$$

$$I_i = \left[\cancel{V_i} - V_i\left(\cancel{1} - \frac{R_2 R_4 C_5 s}{R_3}\right)\right] C_1 s = V_i\,\frac{R_2 R_4 C_1 C_5 s^2}{R_3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_i = \frac{R_3}{R_2 R_4 C_1 C_5 s^2}$$

Hacemos la sustitución en el circuito:



$$\frac{V_i - V_o}{\frac{1}{Cs} + R} = \frac{V_o}{R_i} ; \quad \frac{V_i}{\frac{1}{Cs} + R} = \frac{V_o}{\frac{1}{Cs} + R} + \frac{V_o}{R_i} ;$$

$$V_i = V_o\left(1 + \frac{\frac{1}{Cs} + R}{R_i}\right) \Rightarrow G(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{\frac{1}{Cs} + R}{R_i}} = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{Cs} + R} =$$

$$= \frac{R_i C s}{R_i C s + 1 + RCs} = \frac{\frac{R_3 C s}{R_2 R_4 C_1 C_5 s^2}}{\frac{R_3 C}{R_2 R_4 C_1 C_5 s} + 1 + RCs} = \cancel{\frac{\frac{R_3 C}{R_2 R_4 C_1 C_5 s}}{R_3 C + R_2 R_4 C_1 C_5 s}}$$

$$= \frac{\frac{R_3 C}{\cancel{R_2 R_4 C_1 C_5 s}} \cdot \cancel{R_2 R_4 C_1 C_5 s}}{R_3 C + R_2 R_4 C_1 C_5 s + R R_2 R_4 C C_1 C_5 s^2} = \frac{\frac{R_3}{R R_2 R_4 C_1 C_5}}{s^2 + \frac{1}{RC} s + \frac{R_3}{R R_2 R_4 C_1 C_5}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow G(s) = \frac{\dfrac{R_3}{RR_2R_4C_1C_5}}{s^2 + \dfrac{1}{RC}s + \dfrac{R_3}{RR_2R_4C_1C_5}} \Rightarrow \text{FILTRO PASA BAJA}$$

$$\frac{H_0\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{R_3}{RR_2R_4C_1C_5}} = \sqrt{\frac{1}{RR_2C_1^2}} = 6265'98 \text{ rad/s}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 997'26 \text{ Hz}$$

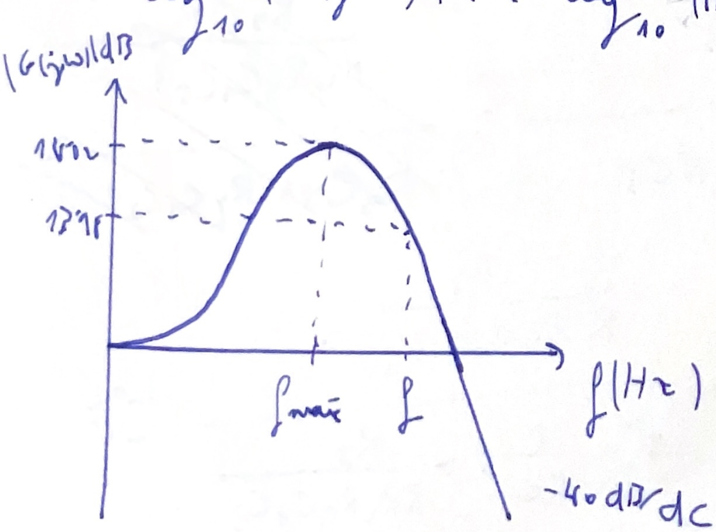
$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{RC} \; ; \; Q = \omega_0 RC = \cancel{\frac{1}{C}\sqrt{\frac{R}{R_2C_1^2}} = \frac{1}{CC_1}\sqrt{\frac{R}{R_2}}} = 5'05 \simeq 5$$

$$H_0\omega_0^2 = \frac{R_3}{RR_2R_4C_1C_5} = \frac{1}{RR_2C_1^2} \; ; \; H_0 = \frac{1}{RR_2C_1^2}\cdot\frac{1}{\omega_0^2} = 1$$

$$\omega_{max} = \omega_0\sqrt{1-\frac{1}{2Q^2}} = 6203 \text{ rad/s} \Rightarrow f_{max} = 987'23 \text{ Hz}$$

$$|G(j\omega_{max})| = \frac{H_0Q}{\sqrt{1-\frac{1}{4Q^2}}} = 5'025 \Rightarrow \text{Pto máximo: } 20\log_{10}|G(j\omega_{max})| = 14'02 \text{ dB}$$

$$20\log_{10}|G(j\omega_0)| = 20\log_{10}|H_0Q| = 13'98 \text{ dB}$$

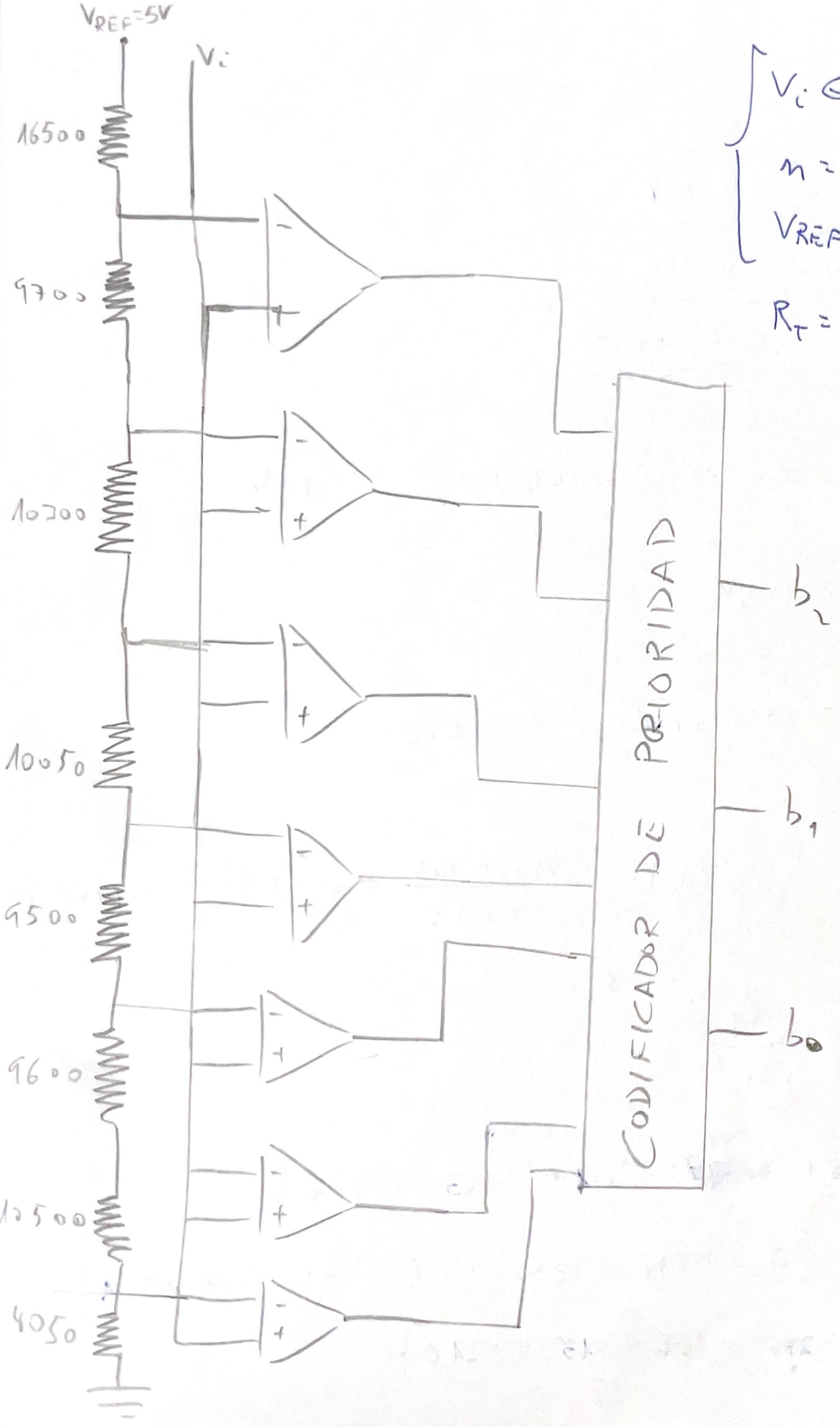


$$\begin{cases} \dfrac{\omega}{\omega_0} \gg 1 \Rightarrow |G(j\omega)|_{dB} \simeq -40\log\dfrac{\omega}{\omega_0} \\ \dfrac{\omega}{\omega_0} \ll 1 \Rightarrow |G(j\omega)|_{dB} \to 0 \end{cases}$$

ENERO 2015

4

Obtener errores de cero, de ganancia y de no linealidad diferencial e integral del conversor A/D "flash" de 3 Bits de la figura. Asumir que los comparadores tienen comportamiento ideal. Los valores de las resistencias están en Ω y V_i toma valores entre 0V y 5V.



$V_i \in [0,5]V$

$n = 3$

$V_{REF} = 5V$

$R_T = \sum R_n = 80200\,\Omega$

Obtenemos la lista de tensiones (de abajo a arriba) en LSB:

Nodo	Resist. eq	V_n
0	4050	$V_{REF} \cdot \frac{R}{R_T} = 0'252$
1	$4050+10500=14550$	$0'907$
2	$14550+9600=24150$	$1'506$
3	$[...]+9500=33650$	$2'098$
4	$[...]+10050=43700$	$2'724$
5	$[...]+10300=54000$	$3'366$
6	$[...]+9700=63700$	$3'971$

$$V_n = \{0'252, 0'907, 1'506, 2'098, 2'724, 3'366, 3'971\} V$$

$$V_{LSB} = \frac{V_{REF}}{2^n} = \frac{5}{8} = 0'625 V$$

$$E_{off} = \frac{V_0|_{000}}{V_{LSB}} - \frac{1}{2} = -0'0968 LSB \simeq -0'1 LSB$$

$$E_g = \frac{V_0|_{111} - V_0|_{000}}{V_{LSB}} - (2^n - 2) = \frac{3'971 - 0'252}{0'625} - (8-2) = -0'0496 LSB$$

$$V_i|_{comp} = \frac{V_i}{V_{LSB}} - E_{off} - \frac{i \cdot E_g}{2^n - 2}$$

"-0'008"

$$V_i|_{comp} = \{0'502, 1'580, 2'53, 3'484, 4'490, 5'523, 6'502\}$$

$$DNLE = V_{j+1} - V_j - 1 = \{0, 0'057, -0'035, -0'049, 0'009, 0'034, -0'021\}$$

$$INLE = \{0, 0'057, 0'027, -0'022, -0'013, 0'021, 0\}$$