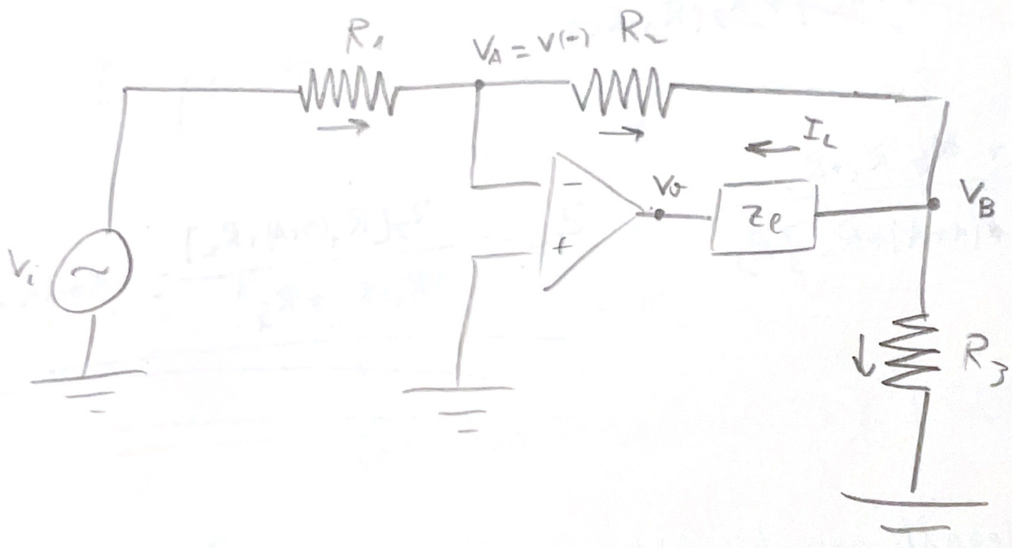
ENERO 2019

(1) ENERO 2023

En el convertidor V/I con carga flotante suponer $R_1 = 100\,k\Omega$, $R_2 = 99\,k\Omega$, $R_3 = 1\,k\Omega$. Si el A.O posee $r_d = \infty$, $A = 10^3\,V/V$, $r_o = 0$, calcula R_o vista por la carga.



Tenemos una ganancia finita por lo que no es A.O.I.:

$$V_o = A(\underbrace{V(+)}_{0} - V(-)) = -AV_A$$

$$V_B - V_o = V_L \;;\; V_L = V_B + AV_A$$

Sustituimos la fuente por una tierra y aplicamos continuidad corriente:

$$\cancel{AV_A = A\left(-\frac{V_A}{R_1} - \frac{V_A - V_B}{R_2}\right)} \qquad -\frac{V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_B}{R_2} \;;\; V_B = V_A\frac{R_1+R_2}{R_1} \;;\; V_A = V_B\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$V_L = V_B\left(1 + \frac{AR_1}{R_1+R_2}\right) \;;\; V_B = V_L\frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+AR_1}$$

$$\frac{V_A - V_B}{R_2} = \frac{V_L}{Z_L} + \frac{V_B - 0}{R_3} ; \cancel{V_B \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{1}{R_1+R_2} = \frac{V_L}{Z_L} + V_B \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}}$$

$$-\frac{V_A}{R_1} = \frac{V_L}{Z_L} + \frac{V_B}{R_3} ; \quad -\frac{V_L}{Z_L} = V_B\left(\frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_3}\right) ;$$

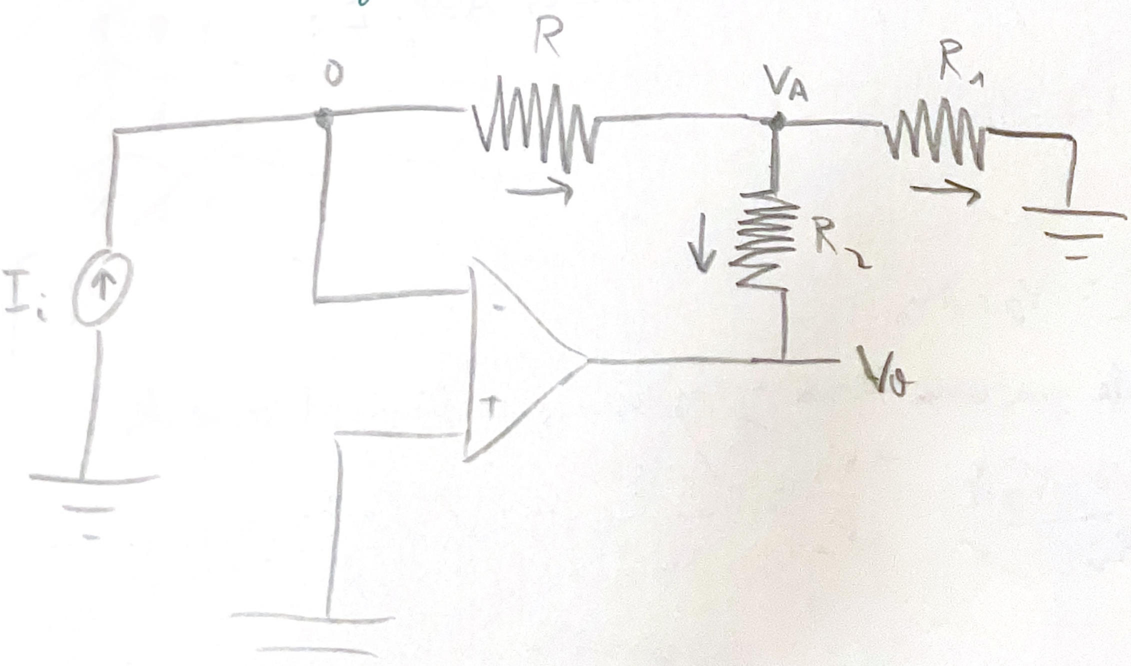
$$-\frac{\cancel{V_L}}{Z_L} = \cancel{V_L}\left(\frac{1}{R_1+R_2+AR_1} + \frac{R_1+R_2}{(R_1+R_2+AR_1)R_3}\right) ;$$

$$\cancel{Z_L = -\frac{R_3[R_1(1+A)+R_2]+R_3(R_1+R_2)}{}}$$

$$-\frac{1}{Z_L} = \frac{R_3 + R_1+R_2}{[R_1(1+A)+R_2]R_3} ; \quad Z_L = -\frac{R_3[R_1(1+A)+R_2]}{R_1+R_2+R_3} = -501 k\Omega$$

2) ENERO 2022 [el b) antes estaba mal hecho]

Convertidor I/V de alta sensibilidad sin necesidad de usar resistencias excesivamente grandes o irreales.



a) Considerando A.O.I, ¿tensión de salida y transimpedancia?

A.O.I: cortocircuito virtual ⇒ $V(+) = V(-) = 0$

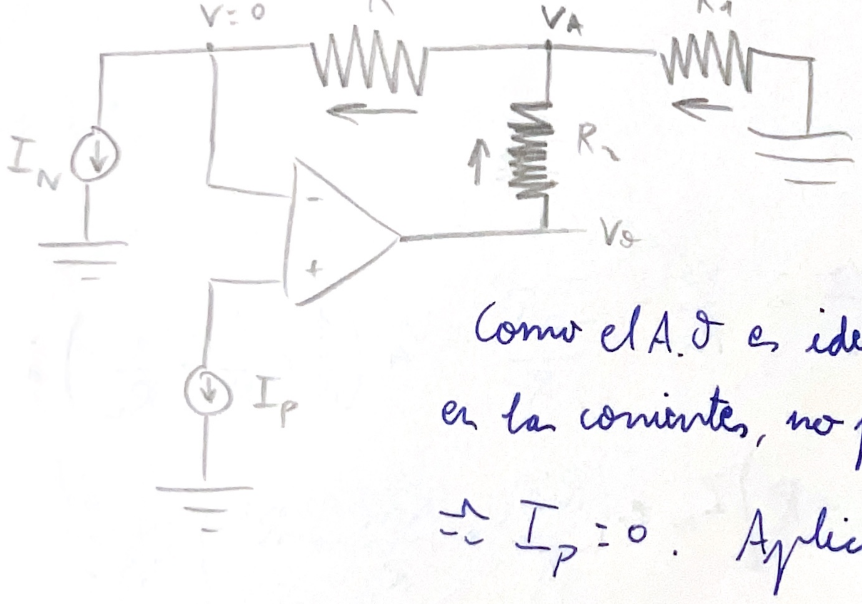
$$I_i = \frac{0 - V_A}{R} \; ; \; V_A = -RI_i$$

$$\frac{0 - V_A}{R} = \frac{V_A - V_o}{R_2} + \frac{V_A}{R_1} \; ; \; I_i = -RI_i \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} - \frac{V_o}{R_2} \; ;$$

$$I_i \left(1 + \frac{R(R_1+R_2)}{R_1 R_2}\right) = -\frac{V_o}{R_2} \; ; \; \underline{\underline{V_o = -I_i \frac{R_1 R_2 + R(R_1+R_2)}{R_1}}}$$

$$\underline{\underline{G = -\frac{R_1 R_2 + R(R_1+R_2)}{R_1}}} = R_m = \frac{V_o}{I_i}$$

b) ¿Cómo afecta al convertidor la existencia de corrientes de polarización en el A.O considerándolo ideal en todos los demás aspectos?



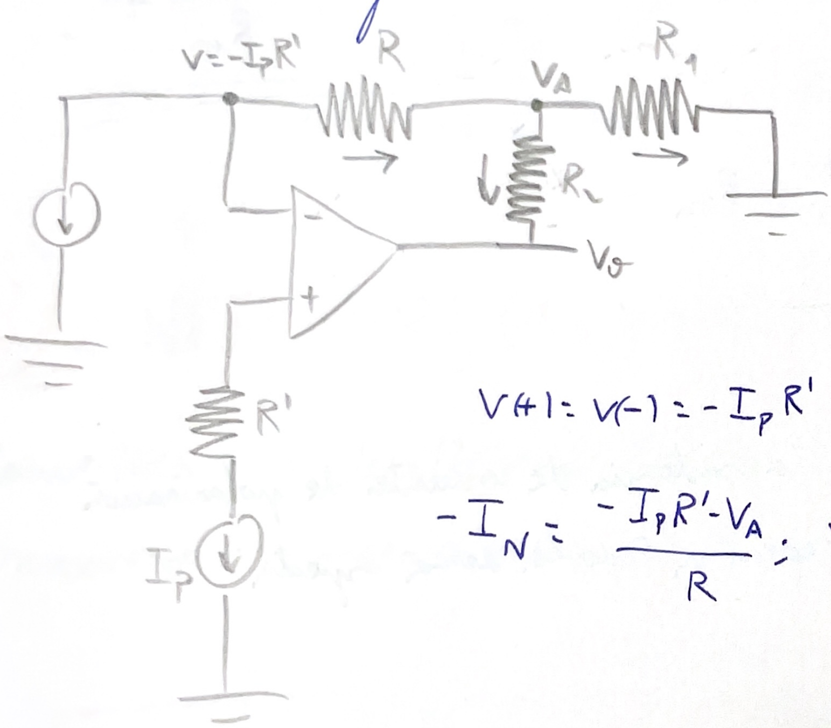
Como el A.O es ideal en todos los aspectos salvo en las corrientes, no puede entrar corriente al operacional ⇒ $I_p = 0$. Aplicando continuidad de corrientes para I_N: $\frac{V_A - 0}{R} = I_N$; $V_A = RI_N$

$$\frac{V_o - V_A}{R_2} + \frac{0 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - 0}{R} ; \quad \frac{V_o}{R_2} = V_A\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) ;$$

$$V_o = I_N\left(R_2 + \frac{RR_2}{R_1} + R\right) = I_N \frac{R_1R_2 + R(R_1+R_2)}{R_1} \Rightarrow I_N = -I_i$$

c) ¿Cómo podríamos minimizar su efecto? Obtener el nuevo término de error.

Para reducir su efecto añadimos una resistencia prueba:



$$V(+) = V(-) = -I_p R'$$

$$-I_N = \frac{-I_pR' - V_A}{R} ; \quad V_A = RI_N + R'I_p$$

$$\frac{-I_pR' - V_A}{R} = \frac{V_A - 0}{R_1} + \frac{V_A - V_o}{R_2} ; \quad \frac{V_o}{R_2} = \frac{I_pR'}{R} + V_A\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) ;$$

$$V_o = \frac{R'R_2}{R} I_p + \left(R_2 + \frac{RR_2}{R_1} + R\right)I_N - \left(\frac{R'R_2}{R} + \frac{R'R_2}{R_1} + R'\right)I_p ;$$

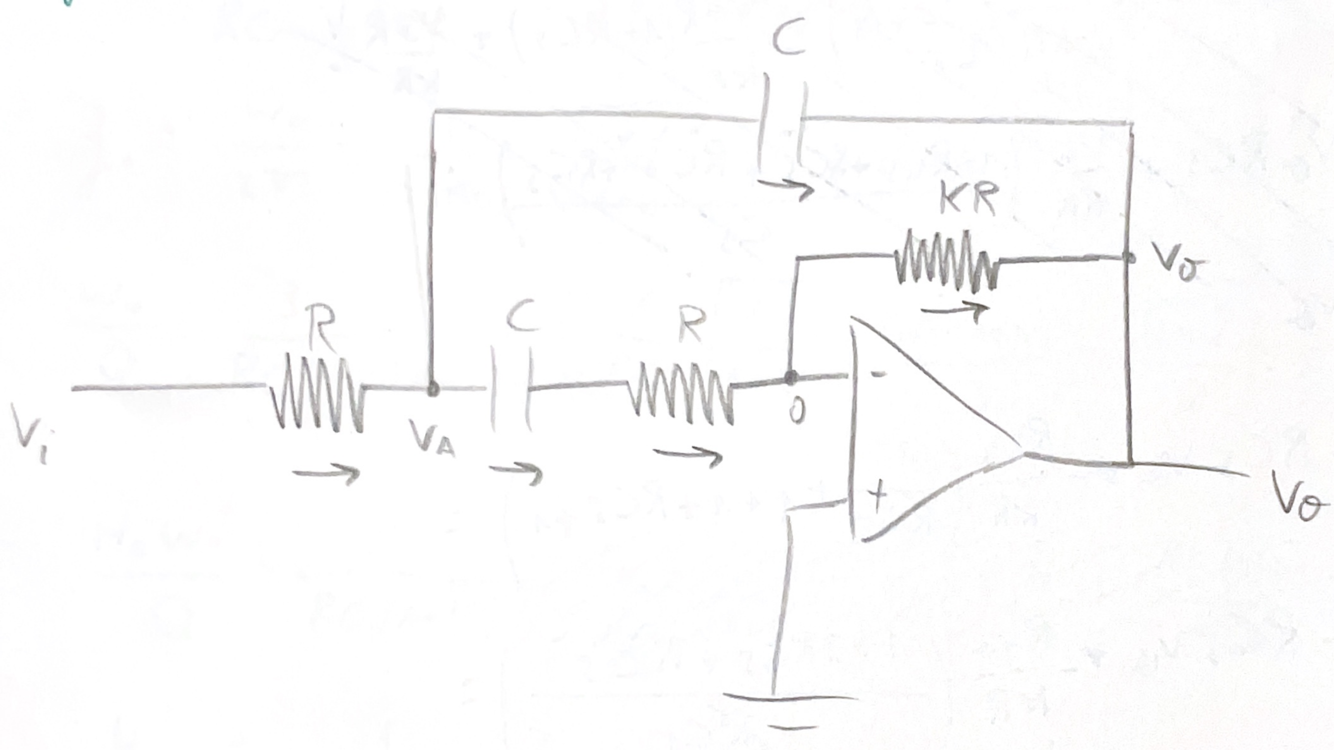
$$V_o = \frac{R_1R_2 + R(1+R_2)}{R_1} I_N - \frac{R'(R_1+R_2)}{R_1} I_p$$

$$\frac{R_1R_2 + R(1+R_2)}{R_1} - \frac{R'(R_1+R_2)}{R_1} = 0; \quad R' = \frac{R_1R_2 + R(1+R_2)}{R_1+R_2}$$

$$V_o = (I_N - I_P)\,\frac{R_1R_2 + R(1+R_2)}{R_1}$$

3

El siguiente circuito se conoce como "filtro -KRC" dado que el amplificador operacional opera como amplificador inversor con ganancia -K.



a) ¿Función transferencia? ¿Qué término implementa? Expresión de los términos H_0, w_0, f_0, Q

$$G(s) = \frac{V_o}{V_i}$$

$$\frac{V_i - V_A}{R} = \frac{V_A - V_o}{\frac{1}{Cs}} + \frac{V_A}{\frac{1}{Cs} + R}$$

$$\cancel{\frac{V_A - V_o}{\frac{1}{Cs}} = \frac{0 - V_o}{KR}; \quad V_A = \frac{1}{Cs} V_o\left(Cs - \frac{1}{KR}\right) =}$$

$$\frac{V_A - 0}{\frac{1}{Cs} + R} = \frac{0 - V_o}{KR} ; \quad V_A = -\frac{V_o}{KR}\left(\frac{1}{Cs} + R\right)$$

$$\frac{V_i - V_A}{R} = Cs\,(V_A - V_o) + \frac{V_A}{\frac{1}{Cs} + R}$$

$$\frac{V_i}{R} = -Cs\,V_o + V_A\left(\frac{1}{R} + Cs + \frac{1}{\frac{1}{Cs} + R}\right) ;$$

$$\cancel{V_i = -RCs\,V_o + \frac{V_o}{KR}\left(\frac{1}{Cs} + R\right) + \frac{V_o R}{KR}(1 + RCs) + \frac{V_o R}{KR}} ;$$

$$\cancel{V_i = -V_o RCs + \frac{V_o}{KR}\left(\frac{1 + RCs + RCs + R^2C^2s^2 + RCs}{Cs}\right)} ;$$

$$\cancel{V_i = V_o}$$

$$V_i = -RCs\,V_o - \frac{RV_o}{KR}\left(\frac{1}{RCs} + 1 + 1 + RCs + 1\right) =$$

$$= -RCs\,V_o - \frac{RV_o}{KR}\left(\frac{1 + 3RCs + R^2C^2s^2}{RCs}\right) =$$

$$= -V_o\left(\frac{KR^2C^2s^2 + 1 + 3RCs + R^2C^2s^2}{KRCs}\right) =$$

$$= -V_o\,\frac{1 + 3RCs + R^2C^2s^2(1+K)}{KRCs} ;$$

$$V_o = -V_i\,\frac{KRCs}{1 + 3RCs + R^2C^2s^2(1+K)}$$

$$G(s) = -\frac{KRCs}{1+3RCs+R^2C^2s^2(1+K)}$$

FILTRO PASA BANDA

$$G(s) = -\frac{\frac{K\cancel{R}\cancel{C}s}{R^{\cancel{2}}C^{\cancel{2}}(1+K)}}{s^2 + \frac{3\cancel{R}\cancel{C}s}{R^{\cancel{2}}C^{\cancel{2}}(1+K)} + \frac{1}{R^2C^2(1+K)}} = \frac{-\frac{K}{RC(1+K)}s}{s^2 + \frac{3}{RC(1+K)}s + \frac{1}{R^2C^2(1+K)}}$$

b) Diagrama Bode amplitudes con $R = 1'79\,k\Omega$, $C = 5'6\,nF$, $K = 224$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}\sqrt{\frac{1}{1+K}} = 6298'92\ rad/s$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}\sqrt{\frac{1}{1+K}} = 1002'49\ Hz$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{3}{RC(1+K)};\quad Q = \frac{1}{\cancel{RC}}\sqrt{\frac{1}{1+K}} \cdot \frac{\cancel{RC}(1+K)}{3} = \frac{\sqrt{1+K}}{3} = 5$$

$$\frac{H_0\omega_0}{Q} = -\frac{K}{RC(1+K)};\ \cancel{H_0 = \frac{3}{\sqrt{1+K}} \cdots K \quad H_0 = \frac{RC(1+K)}{3}}$$

$$H_0\ \frac{1}{\cancel{RC}} \cdot \frac{1}{\cancel{\sqrt{1+K}}} \cdot \frac{3}{\cancel{\sqrt{1+K}}} = -\frac{K}{\cancel{RC}\cancel{(1+K)}};\quad H = -\frac{K}{3} \simeq -75$$

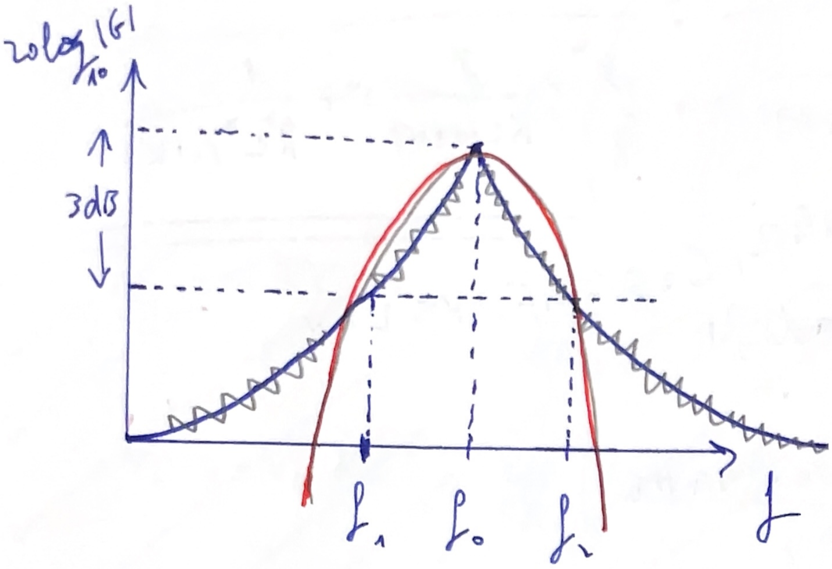
$$f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q} = 200'498 \qquad f_2 - \frac{f_0^2}{f_2} = 200'498;$$

$$f_2 f_1 = f_0^2;\ f_1 = \frac{f_0^2}{f_2} \qquad f_2^2 - 1\cdot 10^6 - 200'498 f_2 = 0;$$

$$f_2^2 - 200'498 f_2 - 10^6 = 0 ; \quad f_2 = \frac{200'498 \pm 2014'98}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_2 = 1107'74 \, Hz$$

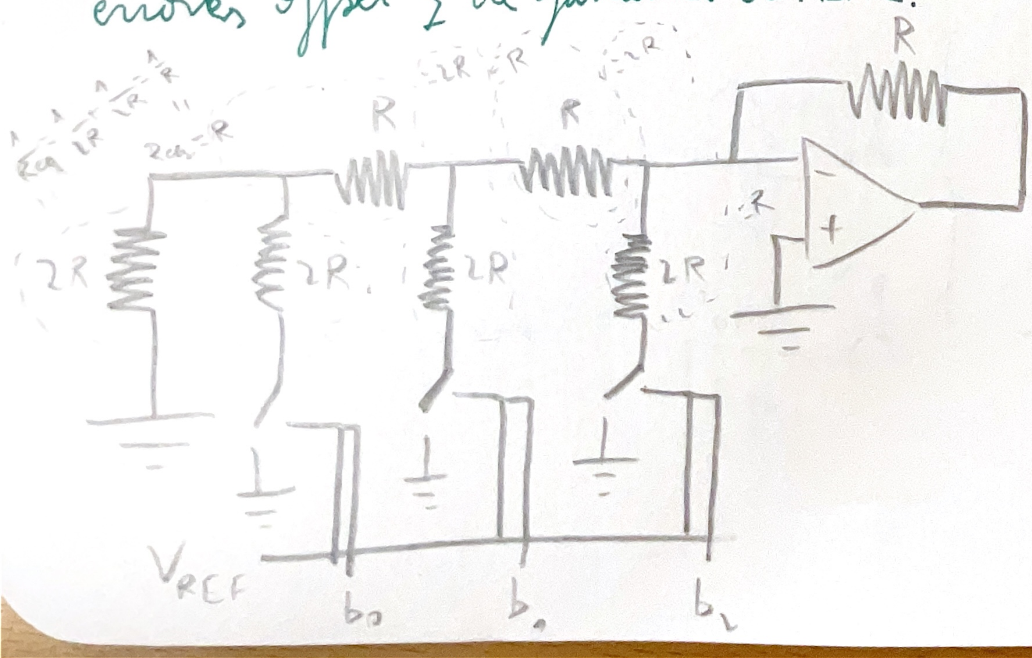
$$f_1 = \frac{10^6}{1107'74} = 907'24 \, Hz$$



La altura del pico es $20\log_{10} |H_0| = 37'5 \, dB$

(4)

Convertidor D/A de 3 bits que implementa una red R-2R con conmutación en tensión. Si el circuito se implementa con una $V_{REF} = -1V$ y con un amplificador operacional que posee tensión de offset de 7 mV y ganancia lazo abierto de 100 V/V, calcular errores offset y de ganancia del DAC.

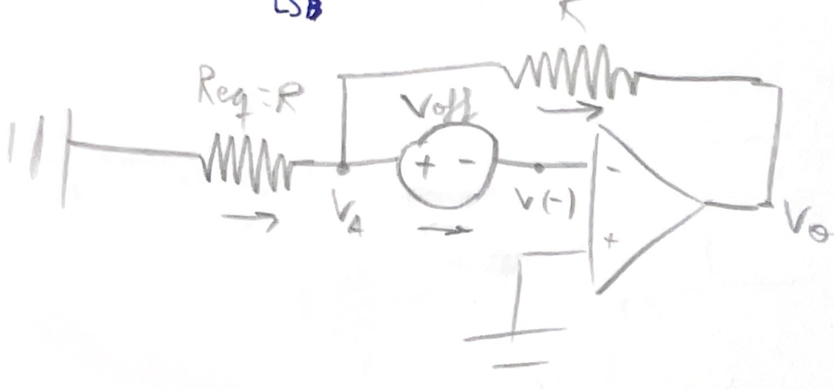


$n = 3$, $V_{REF} = -1V$, $V_{off} = 0'007V$, $A_d = 100\ V/V$

$$V_{LSB} = \frac{|V_{REF}|}{2^n} = \frac{|(-1)|}{8} = \frac{1}{8} = 0'125\ LSB$$

→ Error de offset: Modelamos la red R-2R como su eq thévenin visto desde el nodo inversor.

$$E_{off} = \frac{V_o|_{000}}{V_{LSB}}$$



$$V_o = (\underbrace{V(+)}_{0} - V(-))\,A_d = -V(-)\,A_d \;;\; V(-) = -\frac{V_o}{A_d}$$

$$V_A - V(-) = V_{off} \;;\; V_A = V(-) + V_{off}$$

$$\frac{0 - V_A}{R} = \frac{V_A - V_o}{R} \;;\; V_o = 2V_A = 2(V(-) + V_{off}) = 2V_{off} - 2\frac{V_o}{A_d} \;;$$

$$V_o\left(1 + \frac{2}{A_d}\right) = 2V_{off} \;;\; V_o = 2V_{off}\left(\frac{A_d}{A_d+2}\right) = 0'014V$$

$$\cancel{E_{off} = \frac{0'014}{0'125} = 0'11\ LSB}$$

$$V_o = 2 \cdot 0'007\left(\frac{100}{102}\right) = 0'0137V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o|_{000} = 13'7\ mV$$

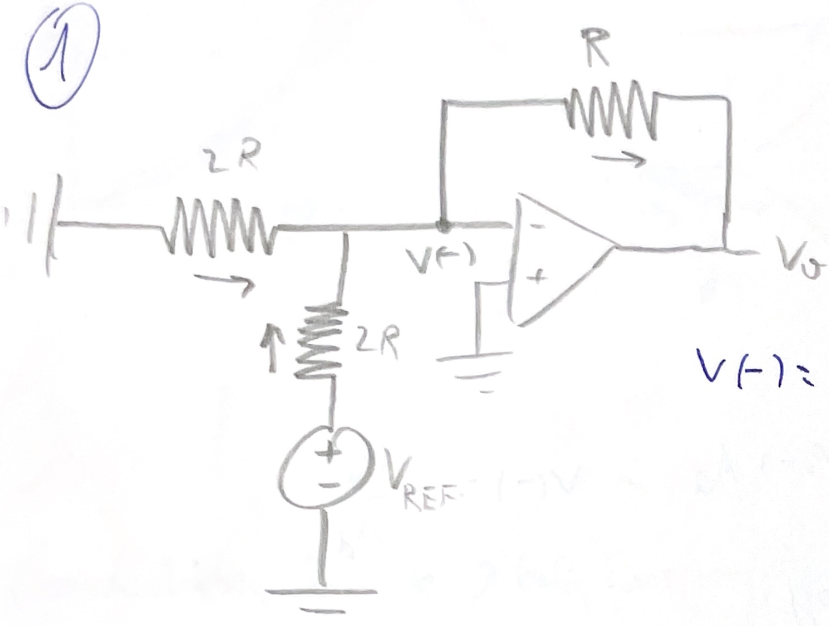
$$E_{off} = \frac{0'0137}{0'125} = 0'11\ LSB = \frac{V_o|_{000}}{V_{LSB}}$$

⇝ Error de ganancia:

$$E_g = \left(\frac{V_o|_{111} - V_o|_{000}}{V_{LSB}}\right) - (2^n-1)$$

$$V_o|_{111} = V_o|_{000} + \underbrace{V_o|_{100}}_{1} + \underbrace{V_o|_{010}}_{2} + \underbrace{V_o|_{001}}_{3}$$

1



$$V(-) = -\frac{V_o}{A_d}$$

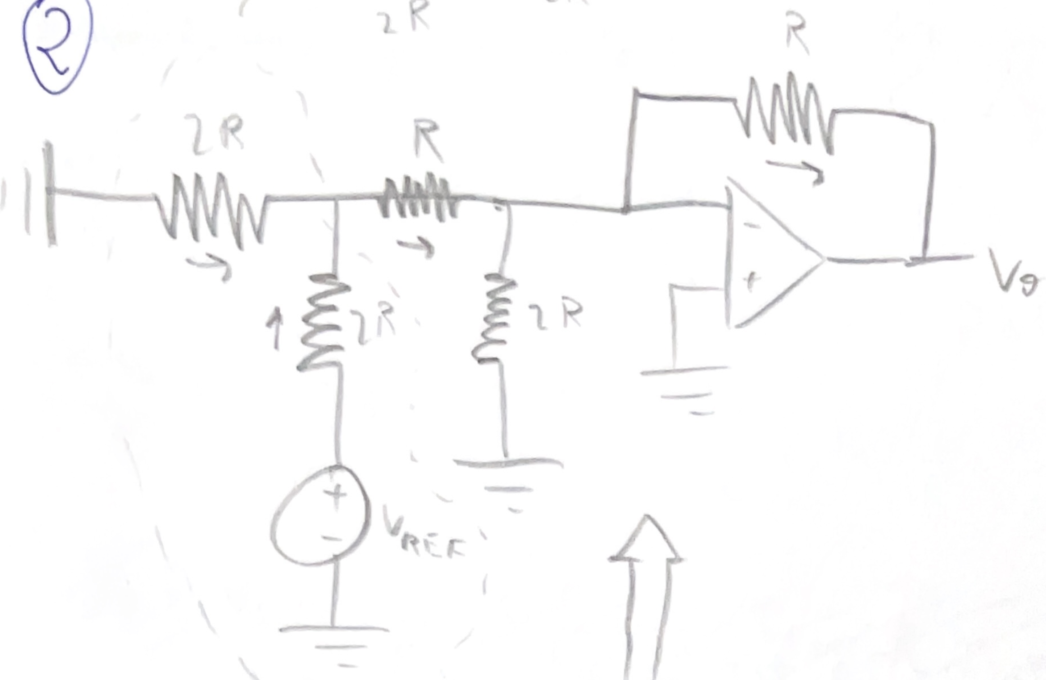
$$\frac{0+\frac{V_o}{A_d}}{2R} + \frac{V_{REF}+\frac{V_o}{A_d}}{2R} = \frac{-\frac{V_o}{A_d}-V_o}{R}; \quad \frac{V_{REF}}{2\cancel{R}} = -\frac{2V_o}{A_d}\cdot\frac{1}{\cancel{R}} - \frac{V_o}{\cancel{R}};$$

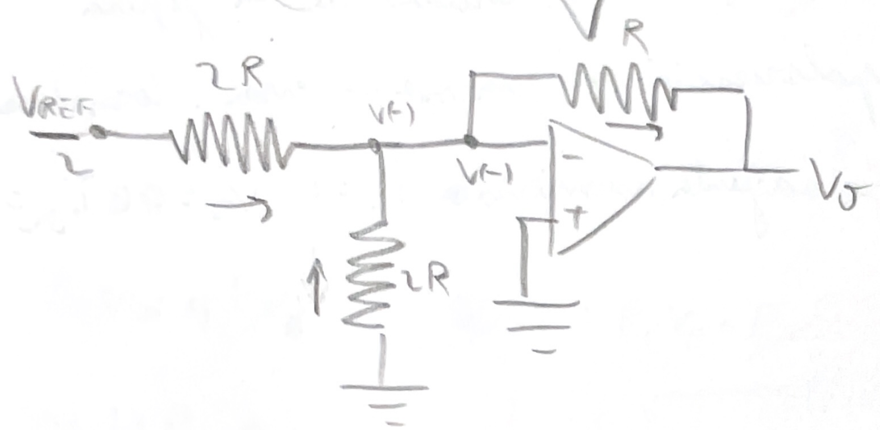
$$V_{REF} = -\frac{4V_o}{A_d} - 2V_o = -V_o\left(\frac{4}{A_d}+2\right);$$

$$V_o|_{100} = -\frac{V_{REF}\,A_d}{2(A_d+2)} = \frac{100}{2(100+2)} = +0'49\,V$$

$$\frac{V_{REF} - V_A}{2R} = \frac{V_A - 0}{2R} \Rightarrow V_A = \frac{V_{REF}}{2}$$

②



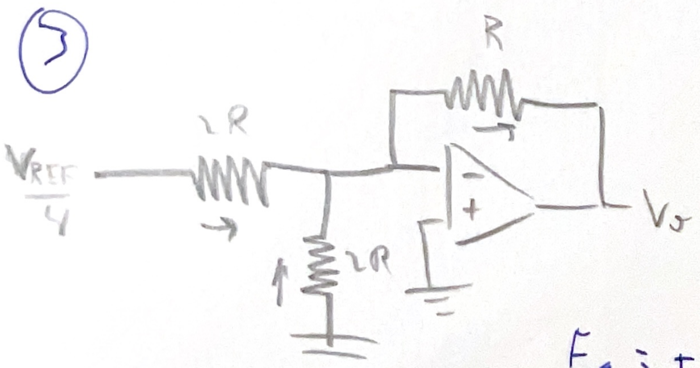


$$\frac{\frac{V_{REF}}{2} - V(-)}{2R} + \frac{0 - V(-)}{2R} = \frac{V(-) - V_o}{R} \;;$$

$$\frac{V_{REF}}{4R} = \frac{2V(-)}{R} - \frac{V_o}{R} = -\frac{2V_o}{A_d R} - \frac{V_o}{R} = -V_o\left(\frac{2}{A_d} + 1\right);$$

$$V_o\Big|_{010} = -\frac{V_{REF} A_d}{4(A_d+2)} = +0'245\,V$$

③



$$V_o\Big|_{001} = -\frac{V_{REF} A_d}{8(A_d+2)} = +0'1225\,V$$

$$E_g = \frac{+0'49 + 0'245 + 0'1225}{0'125} - 8 + 1 = -0'138\,LSB$$