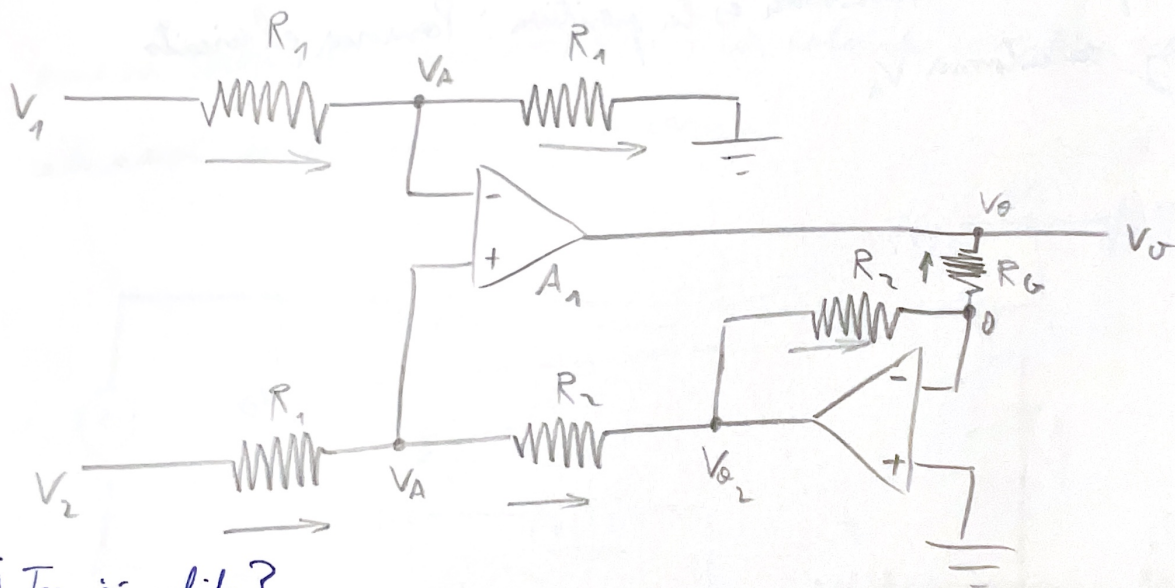


ENERO 2024

①

Amplificador diferencial. ¿ A_1 posee realimentación negativa?

Razonar la respuesta. Obtener la expresión de ~~la función~~ la función de transferencia de la red de realimentación \geq la expresión de la tensión de salida del circuito.



¿ Tensión salida?

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - 0}{R_1} ; V_1 = 2V_A ; V_A = \frac{V_1}{2}$$

$$\frac{V_2 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_{O2}}{R_2} ; V_{O2} = R_2 \left(-\frac{V_2}{R_1} + V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right) = -V_2 \frac{R_2}{R_1} + V_A \frac{R_1 + R_2}{R_1} =$$
$$= -V_2 \frac{R_2}{R_1} + \frac{V_1}{2} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

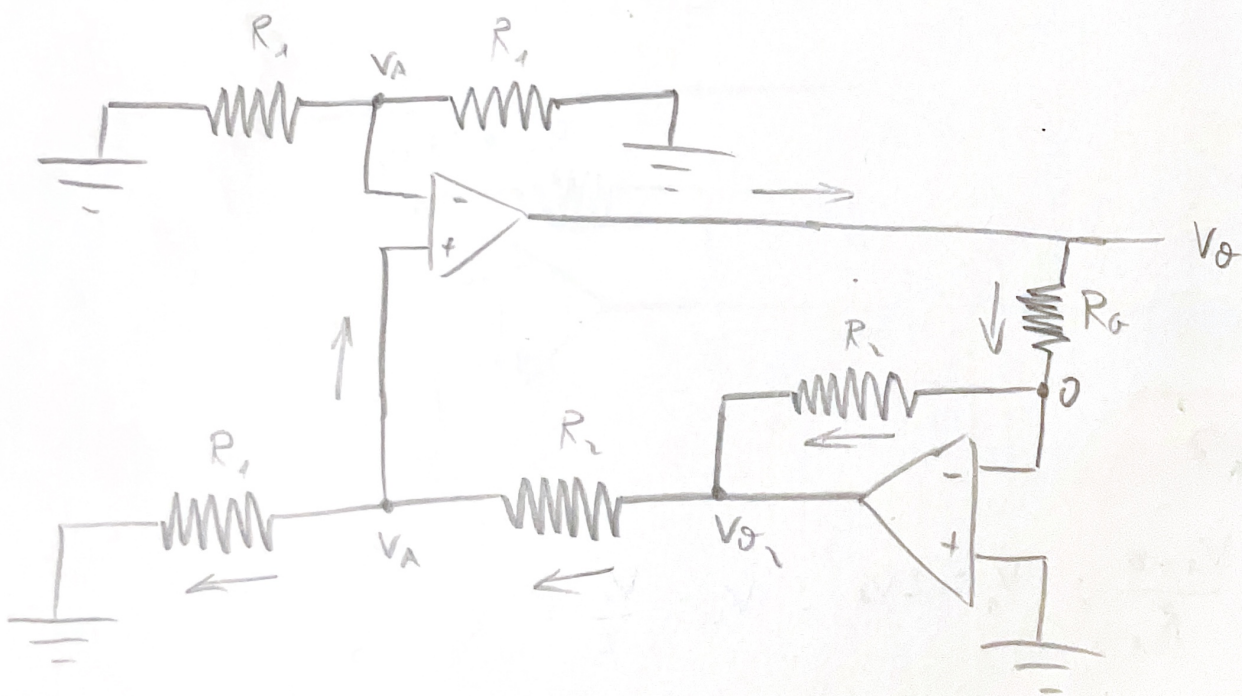
$$\frac{V_{o_2} - 0}{R_2} = \frac{0 - V_o}{R_G} ; V_{o_2} = -V_o \frac{R_G}{R_2}$$

$$V_o = +V_2 \frac{R_G}{R_2} \cdot \frac{R_1}{R_1} - V_1 \frac{R_G}{R_2} \frac{R_1 + R_2}{R_1} =$$

$$= \frac{R_G}{R_1} V_2 - \frac{R_G}{R_1} V_1 \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{R_G}{R_1} (V_2 - V_1) - \frac{R_G}{R_2} V_1$$

¿Realimentación negativa en A_1 ?

La única pata realimentada es la positiva. Ponemos el circuito a tierra y calculamos V_A



$$\frac{V_o - 0}{R_G} = \frac{0 - V_{o_2}}{R_2} ; V_{o_2} = -V_o \frac{R_2}{R_G}$$

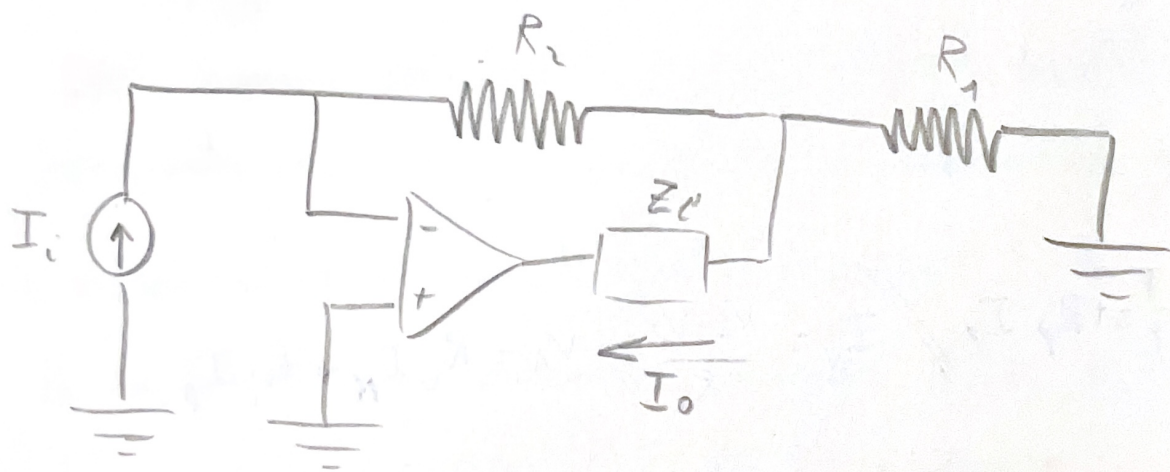
$$\frac{V_{o_2} - V_A}{R_2} = \frac{V_A - 0}{R_1} ; V_A \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = \frac{V_{o_2}}{R_2} = -\frac{V_o}{R_G} ;$$

$$V_A = - \frac{R_2}{R_6} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_0 \leftarrow \text{Función de transferencia de la red de realimentación}$$

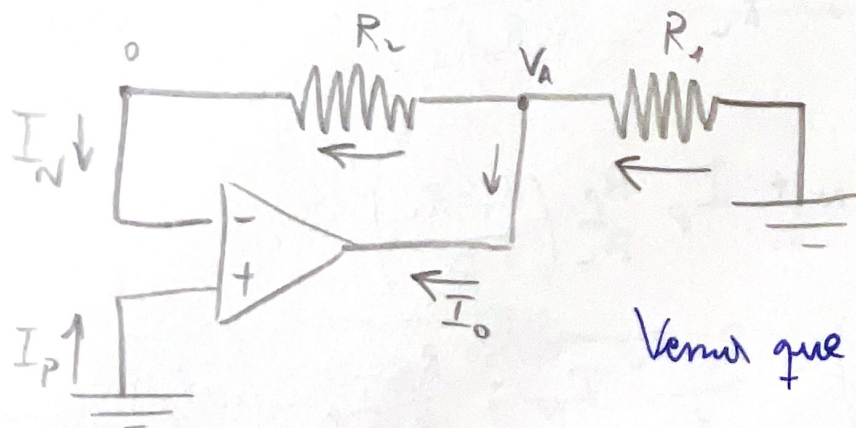
Como $V_A < 0$ y la pata + del A.O suma, la realimentación será negativa.

② ENERO 2016

Estudia el efecto de las corrientes de polarización y de offset del amplificador de corriente de la figura. ¿Cómo modificarías el circuito para minimizar el error de continua? Analiza la nueva propuesta. Para simplificar los cálculos, considera una situación de cortocircuito en la carga.



Cortocircuito I_i , introducimos I_N e I_P y $Z_L = 0$ (enunciado).



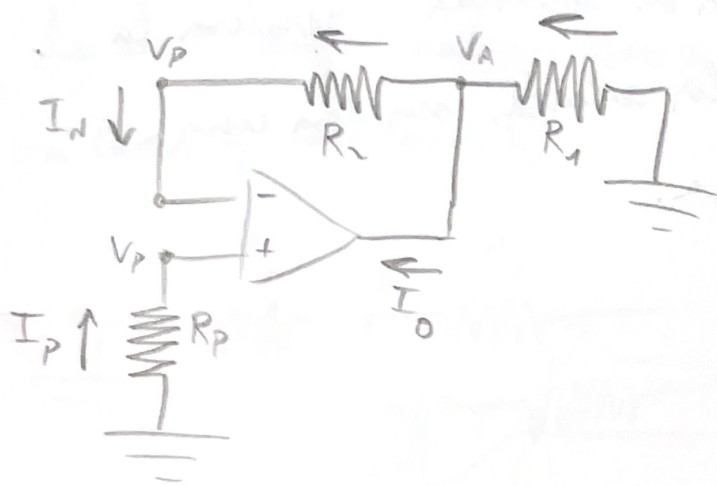
Veremos que I_P no aporta al circuito.

$$I_N = \frac{V_A - 0}{R_2} ; V_A = R_2 I_N$$

$$\frac{0 - V_A}{R_1} = I_0 + \frac{V_A}{R_2} ; I_0 = -V_A \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = -I_N \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \rightarrow \text{efecto de las corrientes}$$

→ Minimizar las corrientes:

Tenemos que hacer que I_p contribuya al circuito por lo que introducimos una resistencia prueba:



$$I_p = \frac{+V_p + 0}{R_p} ; V_p = +R_p I_p // I_N = \frac{V_A - V_p}{R_2} ; V_A = R_2 I_N + R_p I_p$$

$$\frac{0 - V_A}{R_1} = I_0 + \frac{V_A - V_p}{R_2} ; I_0 = -\left(\frac{R_2 + 1}{R_1}\right) I_N + \frac{R_p}{R_1} I_p$$

$$I_0 = -\frac{R_p}{R_1} I_p - \frac{R_2 + 1}{R_1} I_N + I_p \frac{R_p}{R_1} \left(\frac{R_2 + 1}{R_1} \right) =$$

$$I_0 = \frac{R_p}{R_1} I_p \left(1 + \frac{R_2 + 1}{R_1} \right) - \frac{R_2 + 1}{R_1} I_N = \frac{R_p}{R_1} I_p - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) I_N \Rightarrow$$

$$\frac{R_p}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad ; \quad R_p = R_1 + R_2$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{I_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (I_p - I_N)}}$$

3

Si el siguiente circuito se diseña cumpliendo la condición de que

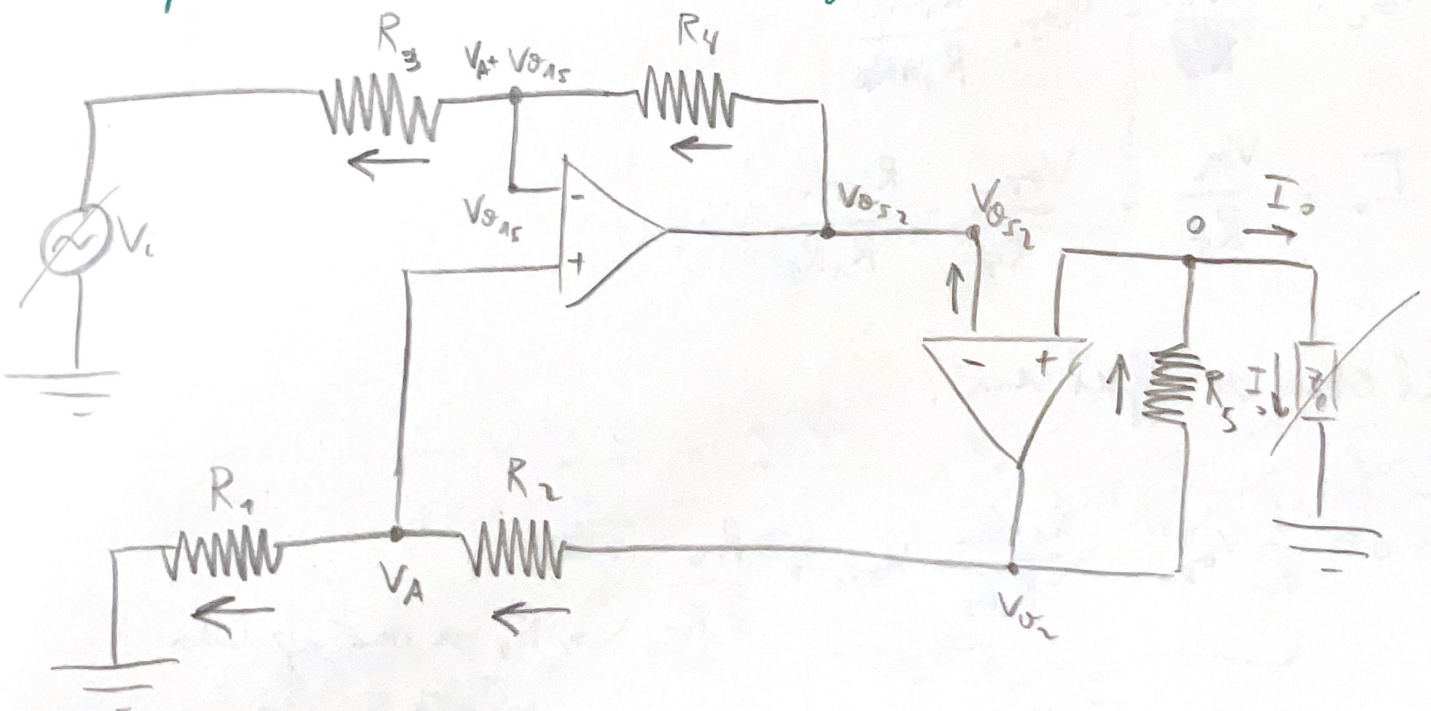
$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}, \text{ este se comporta como un convertidor } V/I_F \text{ con}$$

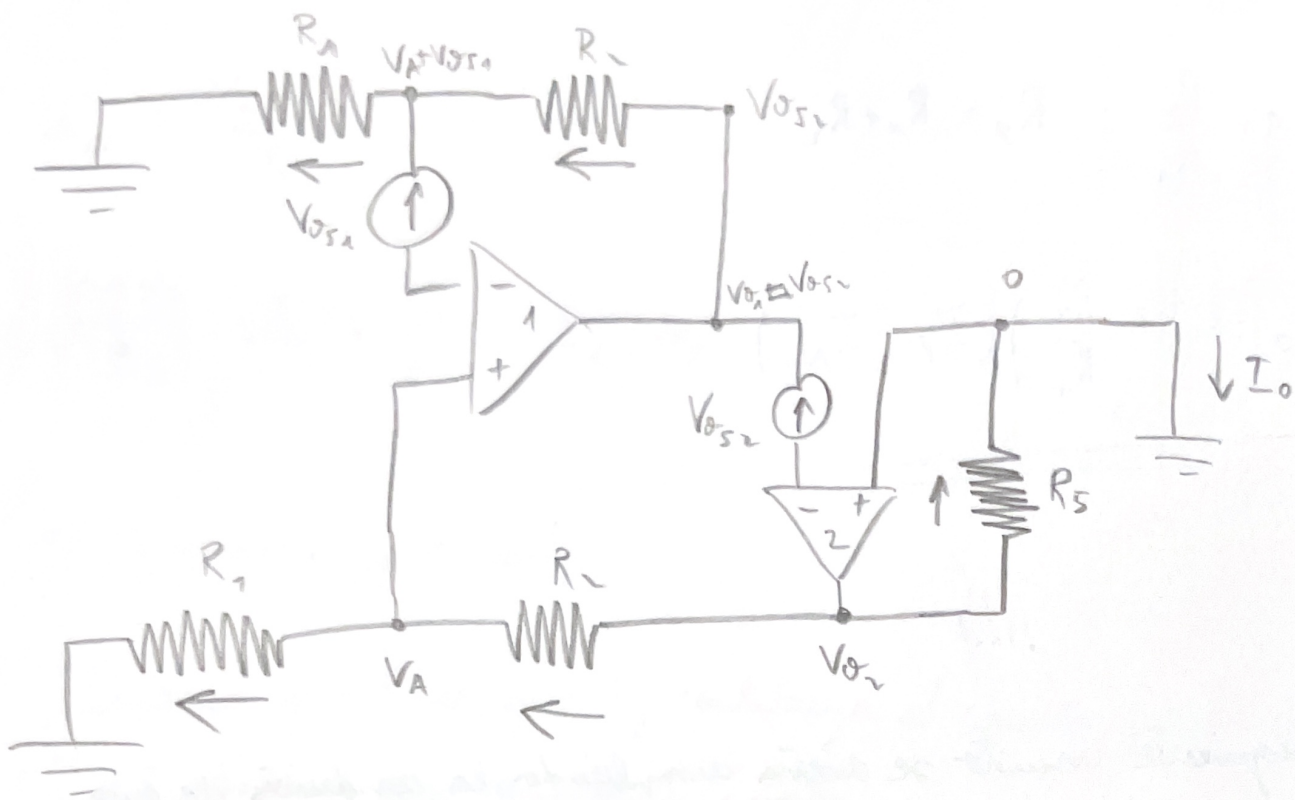
$$I_o = \frac{R_2}{R_1 R_5} V_i \quad ; \quad R_o = \infty. \text{ Si los amplificadores operacionales}$$

tienen tensiones de offset $V_{os1} \neq V_{os2}$ pero en todo lo demás se comportan como AO_{15} , ¿cuál será el término de error generado?

¿Afectarán esas tensiones de offset al valor de R_o ?

Por simplicidad asumir cortocircuito en la carga, $R_4 = R_2$, $R_3 = R_1$.





$$\frac{V_A + V_{OS1} - 0}{R_1} = \frac{V_{OS1} - V_A - V_{OS1}}{R_2} ; V_A \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = \frac{V_{OS1}}{R_2} - V_{OS1} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} ;$$

$$V_A = V_{OS1} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{OS1}$$

$$\frac{V_A - 0}{R_1} = \frac{V_{O2} - V_A}{R_2} ; V_{O2} = V_A \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} ;$$

$$V_{O2} = \frac{V_{OS1}}{R_2} - V_{OS1} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$I_0 = \frac{V_{O2}}{R_5} = \frac{V_{OS1}}{R_5} - \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_5} V_{OS1}$$

El error de offset será:

$$I_0 = \underbrace{\frac{1}{R_5} V_{OS1}}_{E_{off}} - \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_5} V_{OS1} + \underbrace{\frac{R_2}{R_1 R_5}}_{\text{término cancelado}} V_{OS1} \rightarrow R_0 \text{ se verá afectado por este término}$$

4

Obtener la función de transferencia del circuito de la figura.

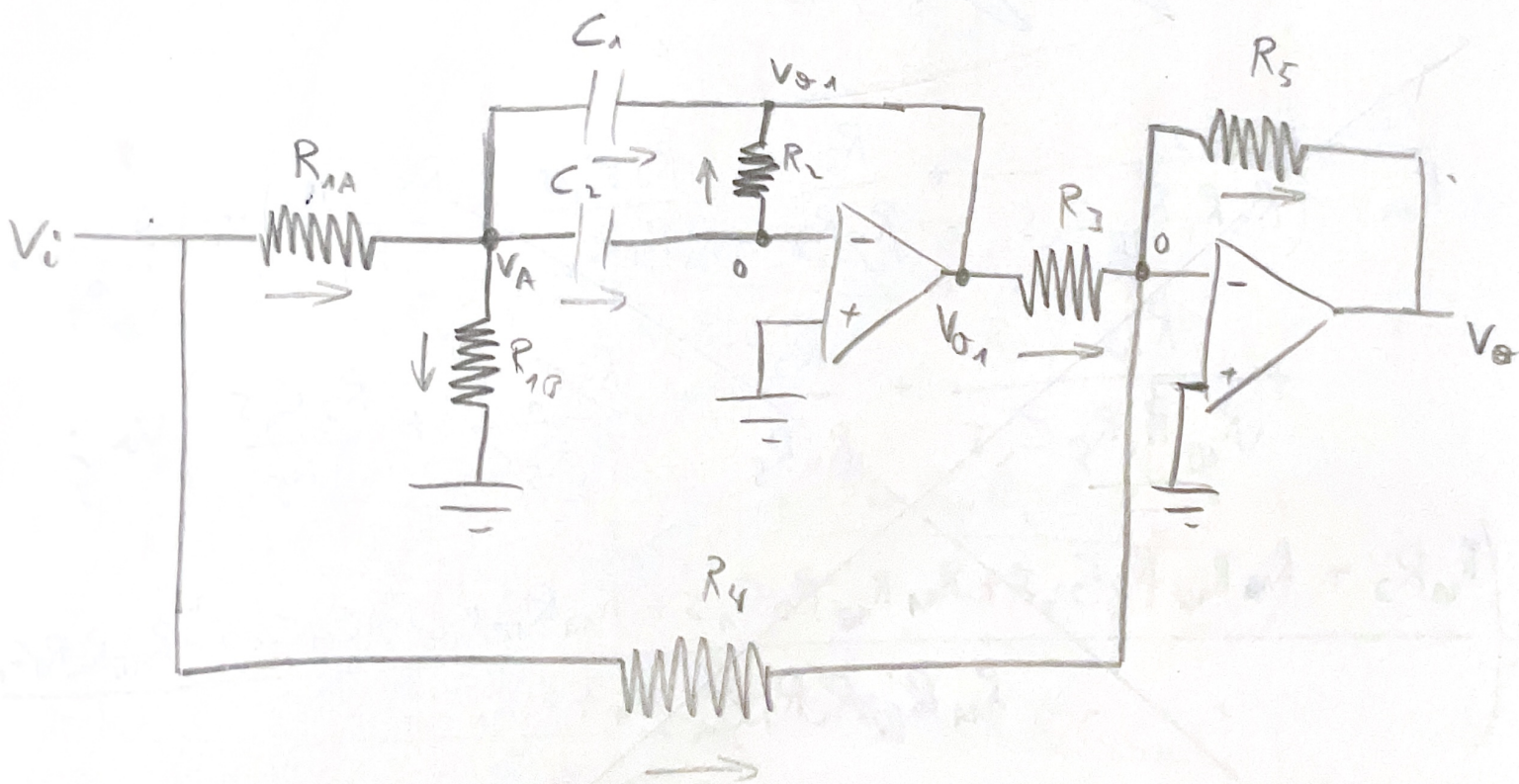
¿Que término se implementa si se cumple la condición:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right) ? \text{ ¿ De que naturaleza es? Obtener los$$

parámetros de dicho término cuadrático. Esbozar su diagrama de Bode de amplitudes para los siguientes valores de sus componentes:

$$C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}, R_2 = 315^3 \text{ k}\Omega, R_{1A} = 159^2 \text{ k}\Omega, R_{1B} = 799^4 \text{ k}\Omega,$$

$$R_3 = R_4 = R_5 = 10 \text{ k}\Omega$$



$$\frac{V_i - V_A}{R_{1A}} = \frac{V_A - 0}{R_{1B}} + \frac{V_A - 0}{\frac{1}{C_2}} + \frac{V_A - V_{01}}{\frac{1}{C_1}} \therefore \frac{V_i}{R_{1A}} = V_A \left(\frac{1}{R_{1B}} + C_2 + C_1 \right) - C_1 V_{01}$$

$$\frac{V_i}{R_{1A}} = V_A \left(\frac{1}{R_{1A}} + \frac{1}{R_{1B}} + C_1 + C_2 \right) - C_1 V_{01}$$

$$\frac{V_{O1}}{R_3} = \frac{V_i}{R_4} = \frac{-V_o}{R_5} \Rightarrow V_{O1} = -\left(V_i \frac{R_3}{R_4} + V_o \frac{R_3}{R_5} \right)$$

$$\frac{V_A}{\frac{1}{C_2 s}} = \frac{0 - V_{O1}}{R_2} \Rightarrow C_2 s V_A = -\frac{V_{O1}}{R_2} \Rightarrow V_A = -\frac{V_{O1}}{R_2 C_2 s}$$

$$V_A = \frac{R_3}{R_2 R_4 C_2 s} V_i + \frac{R_3}{R_2 R_5 C_2 s} V_o = \frac{1}{R_2 C_2 s} \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right)$$

~~$$\frac{V_i}{R_{11}} = \left(\frac{R_3}{R_2 R_4 C_2 s} V_i + \frac{R_3}{R_2 R_5 C_2 s} V_o \right) \left(\frac{1}{R_{10}} + C_2 s + C_1 s \right) + \left(V_i \frac{R_3}{R_4} + V_o \frac{R_3}{R_5} \right) C_1 s$$~~

~~$$\frac{V_i}{R_{11}} = \left(\frac{R_3}{R_2 R_4 R_{10} C_2 s} + \frac{R_3}{R_2 R_4} + \frac{R_3 C_1 s}{R_2 R_4 C_2} + \frac{R_3 C_1 C_2 s^2}{R_4} \right) V_i + \left(\frac{R_3}{R_{10} R_1 R_5 C_2 s} + \frac{R_3}{R_2 R_5} + \frac{R_3 C_1}{R_2 R_5 C_2} + \frac{R_3 C_1 s}{R_5} \right) V_o$$~~

~~$$\frac{R_{11} R_3 + R_{10} R_{10} R_3 C_2 s + R_{11} R_{10} R_2 C_1 s + R_{11} R_{10} R_2 R_3 C_1 C_2 s^2 - R_{10} R_2 R_3 C_2 s}{R_{11} R_{10} R_2 R_4 C_2 s} = -V_o \left(\frac{R_3 + R_{10} R_3 C_2 s + R_{10} R_3 C_1 s + R_{10} R_1 R_3 C_1 C_2 s^2}{R_{10} R_1 R_5 C_2 s} \right)$$~~

$$\frac{V_i}{R_{1A}} = \frac{1}{R_2 C_2 S} \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right) \left(\frac{1}{R_{1A}} + \frac{1}{R_{1B}} + C_1 S + C_2 S \right) + C_1 S \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right)$$

$$V_i = \frac{1}{R_2 C_2 S} \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right) \left(R_{1A} C_1 S + R_{1A} C_2 S + 1 + \frac{R_{1A}}{R_{1B}} \right) + R_{1A} C_1 S \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right)$$

$$V_i = \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right) \left[\frac{R_{1A} R_{1B} C_1 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} C_2 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right] =$$

$$= \left(\frac{R_3}{R_4} V_i + \frac{R_3}{R_5} V_o \right) \left[\underbrace{\frac{R_{1A}}{R_2} \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)}_{\frac{R_4}{R_3}} + \frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right]$$

$$- \left(\frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_4}{R_3} \right) \frac{R_3}{R_5} V_o =$$

$$= \frac{R_3}{R_4} V_i \left(\frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right) -$$

$$- V_o \frac{1}{R_5} \left(\frac{R_3 (R_{1A} + R_{1B}) + R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2 + R_{1A} R_{1B} R_2 R_3 C_1 C_2 S^2}{R_3 R_{1B} R_2 C_2 S} \right) =$$

$$= V_i \frac{R_3}{R_4} \left(\frac{R_{1A} + R_{1B} + R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_3 R_{1B} R_2 C_2 S} \right) -$$

$$V_o = -V_i \frac{R_5}{R_4} \left(\frac{R_3 R_{1A} R_{1B} R_2 C_2 s^2 + (R_{1A} + R_{1B}) R_3}{R_3 (R_{1A} + R_{1B}) + R_{1B} R_2 R_4 C_2 s + R_{1A} R_{1B} R_2 R_3 C_1 C_2 s^2} \right)$$

$$G(s) = - \frac{R_5}{R_4} \left(\frac{s^2 + \frac{R_{1A} + R_{1B}}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{R_4}{R_{1A} R_3 C_1} s + \frac{R_{1A} + R_{1B}}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2}} \right) \leftarrow \begin{array}{l} \text{FILTRO} \\ \text{BANDA} \\ \text{ELIMINADA} \end{array}$$

$$G(s) = \frac{H_o (s^2 + \omega_o^2)}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2}$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{R_{1A} + R_{1B}}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2}} = \underline{6252.77 \text{ rad/s}}$$

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \underline{999.94 \text{ Hz}}$$

$$\frac{\omega_o}{Q} = \frac{R_4}{R_{1A} R_3 C_1} ; Q = \sqrt{\frac{R_{1A} + R_{1B}}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2}} \cdot \frac{R_4}{R_{1A} R_3 C_1} = \underline{10}$$

$$\underline{H_o = -1}$$

→ Ancho de banda:

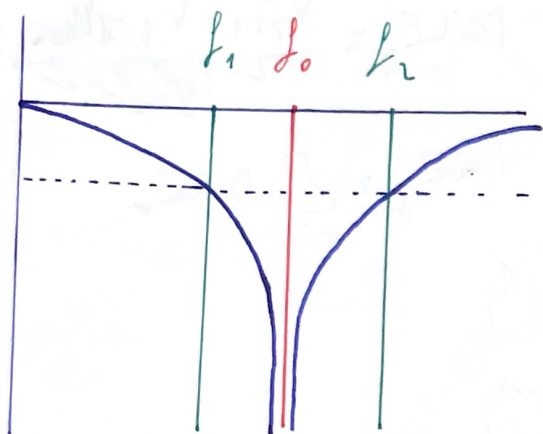
$$\left. \begin{array}{l} f_2 - f_1 = \frac{f_o}{Q} \\ f_2 f_1 = f_o^2 = f_a = \frac{f_o^2}{f_2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} f_2 - \frac{f_o^2}{f_2} = \frac{f_o}{Q} ; \\ f_2^2 - f_o^2 = 99.994 f_2 ; \\ f_2^2 - 99.994 f_2 - 999.98 \times 10^3 = 0 ; \end{array}$$

$$f_2 = \frac{99999 \pm \sqrt{99999^2 + 4 \cdot 99999 \cdot 10^3}}{2} = \cancel{40915 \text{ Hz}} = \underline{105122 \text{ Hz}}$$

$$\cancel{f_1 = \frac{99999}{100000} = 999.99 \text{ Hz}} \quad f_1 = \frac{99999}{105122} = \underline{951.165 \text{ Hz}}$$

$$20 \log_{10} |G(j\omega_0)| = 20 \log_{10} |H_0| = 20 \log_{10} (1) = \underline{0 \text{ dB}}$$

$$20 \log_{10} |G(j\omega_1)| = 20 \log_{10} |G(j\omega_c)| = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \underline{-3.01 \text{ dB}}$$



5) ENERO 2016

Un DAC de 3 bits diseñado para $V_{FSR} = 4V$ se secuencia para todas los códigos de entrada desde 000 a 111 y se encuentra que los valores de salida reales son: $V_o = \{-0.01, 0.52, 1.01, 1.48, 1.98, 2.51, 3.01, 3.55\}V$.

Encuentra el error de cero (offset), error de ganancia, DNLE y el INLE en fracciones de 1LSB.

$$V_{LSD} = \frac{V_{FSR}}{2^n} = \frac{4}{2^3} = 0.5 V_{LSD}$$

$$E_{off} = \frac{V_0|_{1000}}{V_{LSD}} = -\frac{0.01}{0.5} = -0.02 LSD$$

~~$$E_g = \frac{V_0|_{1111}}{V_{LSD}} - \frac{V_0|_{1000}}{V_{LSD}} = \frac{3.55}{0.5} + 0.02 =$$~~

$$E_g = \frac{V_0|_{1111}}{V_{LSD}} - \frac{V_0|_{1000}}{V_{LSD}} - (2^n - 1) = \frac{3.55}{0.5} + 0.02 - 7 = 0.12$$

$$V_0|_{compensado} = \frac{V_0}{V_{LSD}} - E_{off} - \frac{i E_g}{2^n - 1}$$

$$DNLE_j = \frac{V_{j+1} - V_j - V_{compensado}}{V_{LSD}}$$

$$INLE_j = \sum_{k=0}^j DNLE_k$$

	COMP	DNLE	INLE
0 0 0	0	0	0
0 0 1	1.043		
0 1 0	2.001		
1 0 0	2.929		
1 0 1	3.911		
1 1 0			
1 1 1			0

	COMP	DNLE	INLE
0 0 0	0	0	0
0 0 1	1.043	+0.043	0.043
0 1 0	2.001	-0.033	0.01
0 1 1	2.929	-0.081	-0.071
1 0 0	3.911	-0.018	-0.089
1 0 1	4.954	0.043	0.046
1 1 0	5.937	-0.017	-0.063
1 1 1	7.000	0.083	0