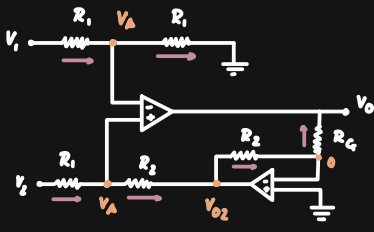


INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA (ENERO 2024)

1. Amplificador diferencial ¿Al peso realimentación negativa? Razonar la respuesta. Obtener la expresión de la función de transferencia de la red de realimentación y la expresión de la tensión de salida del circuito. (15p)

Tensión de salida?



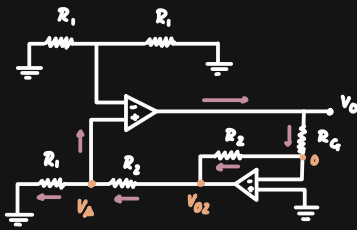
Planteamos nuestras ecuaciones:

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - 0}{R_1} \rightarrow V_1 = 2V_A \quad (1)$$

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

$$\frac{V_{O2} - 0}{R_2} = \frac{0 - V_O}{R_G} \rightarrow V_O = -\frac{R_G}{R_2} \cdot V_{O2} = -\frac{R_G}{R_2} \left(\frac{R_2}{R_1} V_1 - \frac{1}{2} V_1 - \frac{R_2}{R_1} V_2 \right) = \frac{R_G}{R_1} (V_2 - V_1) - \frac{R_G}{2R_2} V_1$$

Realimentación negativa en el A01?



La única pata realimentada es la positiva.

Ponemos el circuito a tierra y calculamos V_A como función de V_O .

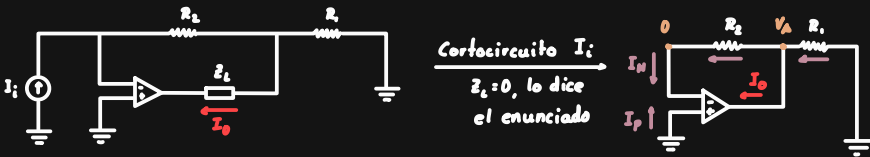
$$\frac{V_O - 0}{R_G} = \frac{0 - V_{O2}}{R_2} \rightarrow V_{O2} = -\frac{R_2}{R_G} V_O \quad (1)$$

$$\frac{V_A - 0}{R_1} = \frac{V_{O2} - V_A}{R_2} \rightarrow V_A \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_{O2} \xrightarrow{(1)} V_A = -\frac{R_2}{R_G} \left(\frac{R_1}{R_2 + R_1} \right) V_O \rightarrow \text{Función de transferencia de la red de realimentación.}$$

Como $V_A < 0$ y la pata + del A0 suma, la realimentación será negativa.

2. Estudiar 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? Analizar la nueva propuesta. Para simplificar los cálculos, considerar una situación de cortocircuito en la carga. (15p)

Análisis de las corrientes de polarización:



Cortocircuito I_i
 $z_L = 0$, lo dice el enunciado

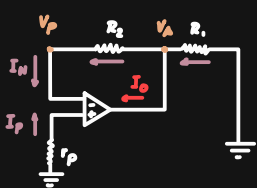
I_P no aporta al circuito.

$$I_N = \frac{V_A - 0}{R_2} \rightarrow V_A = R_2 I_N \quad (1)$$

$$\frac{0 - V_A}{R_1} = I_0 + \frac{V_A - 0}{R_2} \rightarrow I_0 = -V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -I_N \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \rightarrow \text{Efecto de las corrientes.}$$

Minimizar las corrientes?

Tenemos que hacer que I_P contribuya al circuito, para ello:



$$V_P = I_P r_P \quad (1)$$

$$I_N = \frac{V_A - V_P}{R_2} \rightarrow V_A = R_2 I_N - r_P I_P \quad (2)$$

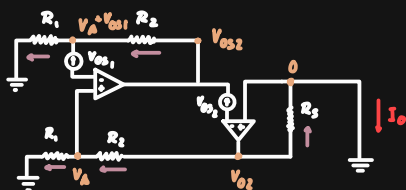
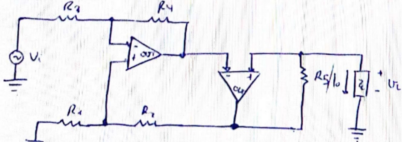
$$\frac{0 - V_A}{R_1} = I_0 + \frac{V_A - V_P}{R_2} \rightarrow I_0 = \frac{V_P}{R_2} - V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -\frac{r_P I_P}{R_2} - I_N \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + r_P I_P \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

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

$$\rightarrow \frac{r_P}{R_2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \rightarrow r_P = R_2 + R_2 \frac{R_1}{R_1}$$

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

3. Si el circuito de la figura se diseña cumpliendo la condición de que $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$, éste se comporta como un convertidor V/I con $b = \frac{R_2}{R_1 R_5} V_i$ y $R_0 = \infty$. Si los amplificadores operacionales A_1 y A_2 poseen tensiones de offset V_{os1} y V_{os2} respectivamente, pero en todo lo demás se comportan como A_{oi} , ¿cuál será el término de error generado? ¿afectarán esas tensiones de offset al valor de b ? Por simplicidad, asumir situación de cortocircuito en la carga y que $R_4 = R_2$ y $R_3 = R_1$. (1'5p)



$$\frac{V_A + V_{os1} - 0}{R_1} = \frac{V_{os2} - V_A - V_{os1}}{R_2} \rightarrow V_A \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) = \frac{V_{os2}}{R_2} - V_{os1} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) \rightarrow V_A = V_{os2} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) - V_{os1}$$

$$\frac{V_A - 0}{R_1} = \frac{V_{os2} - V_A}{R_2} \rightarrow V_{os2} = V_A \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_{os2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{os1} = V_{os2} - \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{os1}$$

$$I_0 = \frac{V_{os2} - 0}{R_5}$$

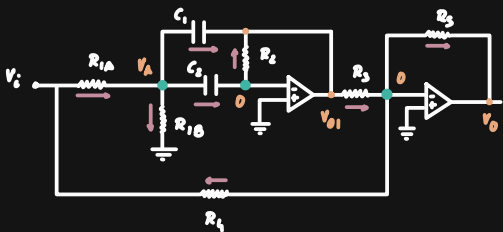
$$I_0 = \frac{1}{R_5} V_{os2} - \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_5} V_{os1}$$

El error de offset será entonces:

$$I_0 = \frac{1}{R_5} V_{os2} - \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_5} V_{os1} \rightarrow R_0 \text{ se verá afectado por este término.}$$

Err

4. Obtener la función de transferencia del circuito de la figura. ¿Qué término se implementa si se cumple la siguiente condición: $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_{10}}{R_1}$ (1 + $\frac{R_2}{R_3}$)? ¿De qué naturaleza es? Obtener los parámetros de dicho término cuadrático. Escribir un diagrama de Bode de amplitud para los siguientes valores de componentes: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$, $R_1 = 818'3\text{k}\Omega$, $R_{10} = 159'2\text{k}\Omega$, $R_{10} = 797'8\Omega$, $R_3 = R_4 = R_5 = 10\text{V}\Omega$



Planteamos las ecuaciones de los nodos: (en verde los nodos usados)

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

$$\frac{V_{01} - 0}{R_3} = \frac{0 - V_0}{R_5} + \frac{0 - V_i}{R_4} \rightarrow V_{01} = - \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right) \quad (1)$$

$$\frac{V_A - 0}{\frac{1}{C_2 S}} = \frac{0 - V_{01}}{R_2} \rightarrow V_A = - V_{01} \cdot \frac{1}{R_2 C_2 S} = \frac{1}{R_2 C_2 S} \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right)$$

Juntamos (1) y (2) en la expresión de V_i :

$$(1) \rightarrow V_A \left(R_1 C_1 S + R_1 C_2 S + 1 + \frac{R_{1A}}{R_{1B}} \right) = \frac{1}{R_2 C_2 S} \left(R_1 C_1 S + R_1 C_2 S + 1 + \frac{R_{1A}}{R_{1B}} \right) \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right) = \left[\frac{R_{1A} R_{1B} C_1 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} C_2 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right] \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right)$$

$$(2) \rightarrow R_{1A} C_1 S V_{01} = - R_{1A} C_1 S \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right)$$

Es decir:

$$V_i = \left[\frac{R_{1A} R_{1B} C_1 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} C_2 S}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right] \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right) = \left[\frac{R_4}{R_3} + \frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right] \left(\frac{R_5}{R_3} V_0 + \frac{R_5}{R_4} V_i \right)$$

$$= \frac{R_{1A}}{R_2} \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right) = \frac{R_4}{R_3}$$

$$- \left(\frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_4}{R_3} \right) \frac{R_5}{R_3} V_0 = \frac{R_5}{R_4} V_i \left(\frac{R_{1B}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A}}{R_{1B} R_2 C_2 S} + \frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_1 C_2 S^2}{R_{1B} R_2 C_2 S} \right)$$

$$-V_0 \frac{1}{R_5} \left(\frac{R_2(R_{10}+R_0) + R_4 R_2 R_0 C_2 S + R_3 R_{1A} R_{1B} R_2 C_2 S^2}{R_2 R_2 R_0 C_2 S} \right) = V_i \frac{1}{R_4} \left(\frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2 S^2 + (R_{10}+R_0)}{R_2 R_0 C_2 S} \right)$$

$$V_0 = -V_i \frac{R_5}{R_4} \left(\frac{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2 S^2 + (R_{10}+R_0)}{R_2(R_{10}+R_0) + R_4 R_2 R_0 C_2 S + R_3 R_{1A} R_{1B} R_2 C_2 S^2} \right)$$

$$G(s) = -\frac{R_5}{R_4} \left(\frac{s^2 + \frac{(R_{10}+R_0)}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2}}{s^2 + \frac{R_4}{R_3 R_{1A} C_1} s + \frac{(R_{10}+R_0)}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2}} \right) \longrightarrow \text{Filtro banda eliminada. } G(s) = \frac{H_0(s^2 + \omega_0^2)}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

Diagrama de Bode y características:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{(R_{10}+R_0)}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2}} = 6282,78 \text{ rad/s} \longrightarrow f_0 = 999,94 \text{ Hz}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{R_4}{R_3 R_{1A} C_1} \longrightarrow Q = \frac{R_3 R_{1A} C_1}{R_4} \sqrt{\frac{(R_{10}+R_0)}{R_{1A} R_{1B} R_2 C_2}} = 10$$

$$H_0 = -\frac{R_5}{R_4} = -1$$

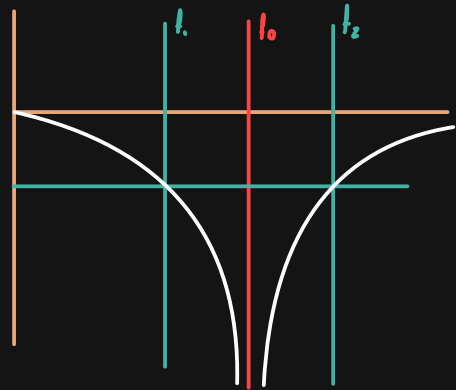
→ Ancho de banda:

$$\left. \begin{aligned} f_2 - f_1 &= \frac{f_0}{Q} \\ f_2 f_1 &= f_0^2 \end{aligned} \right\} f_1 = \frac{f_0^2}{f_2} \longrightarrow f_2^2 - \frac{f_0}{Q} f_2 - f_0^2 = 0 \longrightarrow f_2 = 1051,25$$

$$f_1 = 951,25$$

$$20 \log |G(j\omega_0)| = 20 \log 0 = -\infty$$

$$20 \log |G(j\omega_1)| = 20 \log |G(j\omega_2)| = -3 \text{ dB}$$



5 Un DAC de 3 bits diseñado para $V_{FSR} = 4V$ se sucesión para todos los códigos de entrada desde 000 hasta 111 y se encuentra que los valores de salida reales son $V_0 = 20,01, 0,52, 1,04, 1,48, 1,95, 2,54, 3,04, 3,55$ (V). Encuentra el error de cada error de ganancia, el DNLE y el INLE en fracción de 1LSB

$$V_{LSB} = \frac{V_{FSR}}{2^n} = 0,5 \frac{V}{LSB}$$

$$E_{off} = -\frac{0,01}{0,5} LSB = -0,02 LSB$$

$$E_g = \frac{3,55}{V_{LSB}} - \frac{0,01}{V_{LSB}} - (2^n - 1) = 0,12$$

$$\text{Errores compensados. } \frac{V_i}{V_{LSB}} - E_{off} - \frac{h \cdot E_g}{2^n - 1}$$

| | COMP. | DNLE | INLE |
|-----|-------|--------|--------|
| 000 | 0 | 0 | 0 |
| 001 | 1,043 | 0,043 | 0,043 |
| 010 | 2,001 | -0,042 | 0,001 |
| 011 | 2,923 | -0,078 | -0,077 |
| 100 | 3,911 | -0,012 | -0,089 |
| 101 | 4,954 | 0,043 | -0,046 |
| 110 | 5,937 | -0,017 | -0,063 |
| 111 | 7,000 | 0,063 | 0 |