

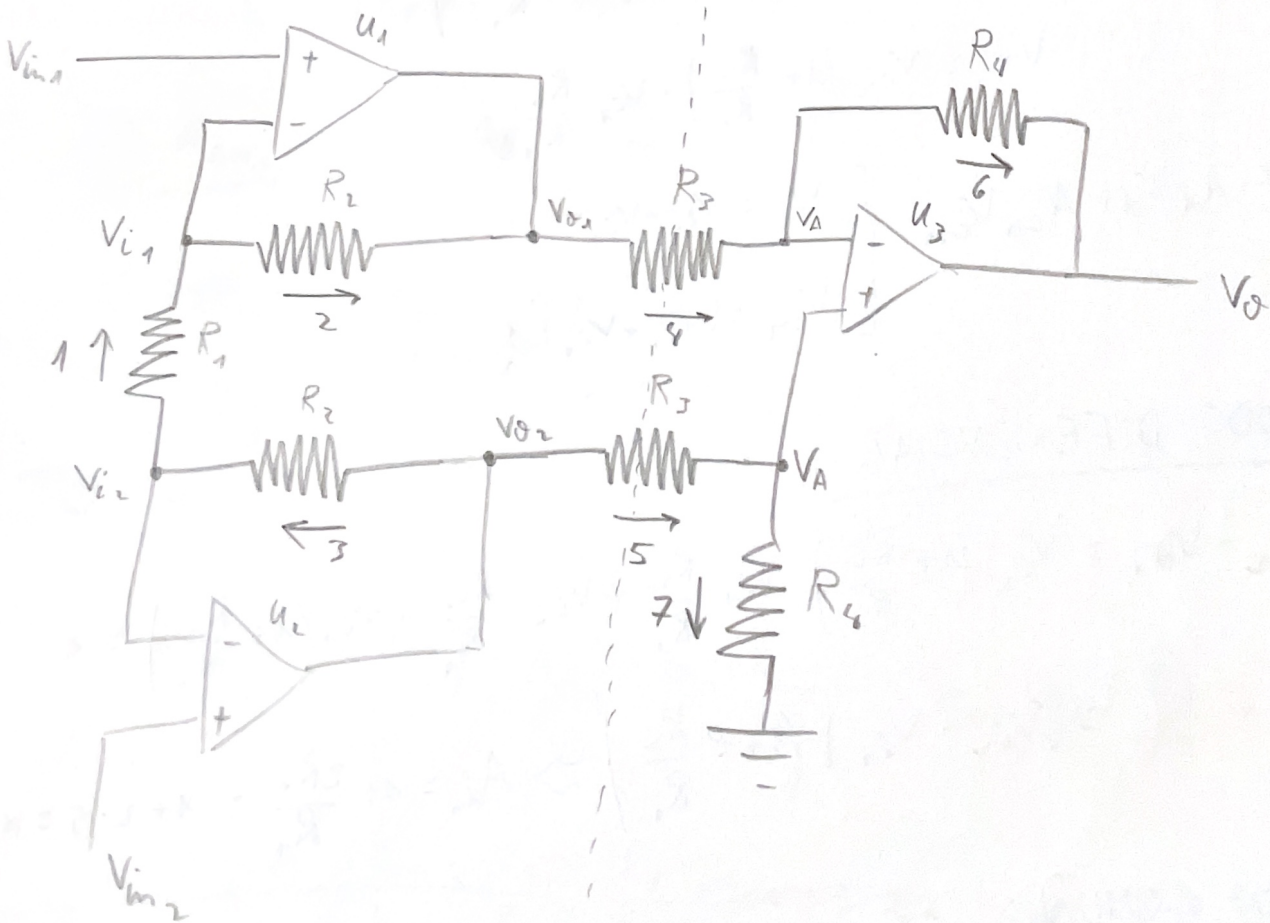
ENERO 2021

①

¿ Ganancia en tensión en modo común, ganancia en tensión en modo diferencial y factor de rechazo de la salida de la 1ª etapa?

Calcular la tensión de salida ( $V_o$ ) y factor de rechazo del modo común total. A.O.I y resistencias apareadas.

$$V_{in1} = 2.5V, V_{in2} = 2.25V, R_1 = 30k\Omega = R_4, R_2 = 150k\Omega, R_3 = 15k\Omega$$



1ª ETAPA

2ª ETAPA

1ª ETAPA:

A.O. I  $\Rightarrow$  c.c. virtual  $v(+)=v(-)$

$$I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{V_{i2} - V_{i1}}{R_1} = \frac{V_{i1} - V_{o1}}{R_2} ; \frac{V_{o1}}{R_2} = -\frac{V_{i2}}{R_1} + \frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i1}}{R_2} ;$$

$$V_{o1} = R_2 \left( \frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i1}}{R_2} - \frac{V_{i2}}{R_1} \right) = V_{i1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{i2} \frac{R_2}{R_1}$$

$$I_1 = I_3 \Rightarrow \frac{V_{i2} - V_{i1}}{R_1} = \frac{V_{o2} - V_{i2}}{R_2} ;$$

$$V_{o2} = R_2 \left( \frac{V_{i2}}{R_1} + \frac{V_{i2}}{R_2} - \frac{V_{i1}}{R_1} \right) ;$$

$$V_{o2} = V_{i2} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{i1} \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_o = A_d V_d + A_{cm} V_{cm} \begin{cases} V_d = V_{i2} - V_{i1} \\ V_{cm} = (V_{i2} + V_{i1}) \frac{1}{2} \end{cases}$$

$\rightarrow$  MODULO DIFERENCIAL

$$V_{o2} - V_{o1} = V_{i2} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{i1} \frac{R_2}{R_1} + V_{i2} \frac{R_2}{R_1} - V_{i1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) =$$

$$= (V_{i2} - V_{i1}) \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow A_{d1} = 1 + \frac{2R_2}{R_1} = 1 + 2 \cdot 5 = 11 V/V$$

$\rightarrow$  MODULO COMUN:

$$\frac{V_{o2} + V_{o1}}{2} = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} \Rightarrow A_{cm1} = 1 V/V$$

$$CMRR_1 = 20 \log_{10} \frac{A_{d1}}{A_{cm1}} = 20 \log_{10} 11 = \underline{20.83 \text{ dB}}$$

2° ETAPA:

$$I_4 = I_6 \Rightarrow \frac{V_{o1} - V_A}{R_2} = \frac{V_A - V_o}{R_4} ; V_o = R_4 \left[ V_A \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - V_{o1} \frac{1}{R_3} \right]$$

$$I_5 = I_7 \Rightarrow \frac{V_{o2} - V_A}{R_3} = \frac{V_A - 0}{R_4} ; V_A = \frac{V_{o2}}{R_3} \cdot \left( \frac{1}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3}} \right) = V_{o2} \frac{R_4}{R_4 + R_3}$$

$$V_o = R_4 \left[ V_{o2} \left( \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) \left( \frac{R_4 + R_3}{R_3 R_4} \right) - \frac{V_{o1}}{R_3} \right] = (V_{o2} - V_{o1}) \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow \checkmark$$

$$\Rightarrow \underline{A_{cm2} = 0}, \underline{A_{d2} = \frac{R_4}{R_3} = 2 \text{ V/V}}$$

$$\underline{CMRR_2 = 20 \log_{10} \left( \frac{2}{0} \right) = \infty}$$

TOTAL:

$$V_o = A_{cm2} \left( \frac{V_{i2} + V_{i1}}{2} \right) + A_{d2} (V_{i2} - V_{i1}) = (V_{i2} - V_{i1}) \frac{R_4}{R_3} =$$

$$= (V_{i2} - V_{i1}) \left( 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3} = \underline{\underline{22 \text{ V/V}}} \Rightarrow$$

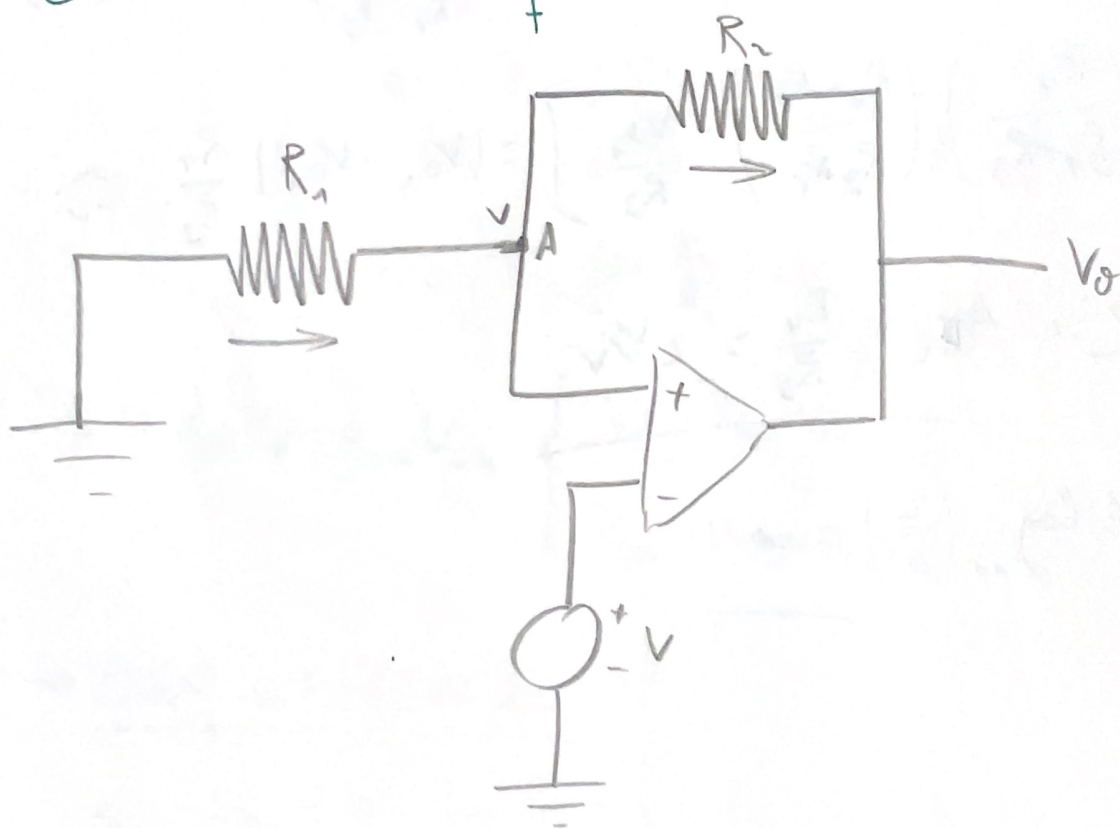
$$\Rightarrow \underline{A_{cm} = 0}, \underline{A_d = 11.2 = 22 \text{ V/V}}, \underline{CMRR = \infty}$$

$$\underline{V_o = (2.25 - 2.5) \cdot 22 = -5.5 \text{ V}}$$

Amplificadora operacional alimentada a  $\pm 15V$  (conf. no inversora)  
 con ganancia  $10V/V$ . Asumamos que posee un ancho de banda  
 de ganancia unidad  $f_T = 1.5\text{ MHz}$ , una velocidad de respuesta  
 $s = 0.5\text{ V}/\mu\text{s}$  y la saturación aparece para tensiones de salida de  $\pm 14V$ .

a) Entrada sinusoidal con amplitud  $V_{in} = 0.6V$

¿ Frecuencia antes de que se distorsione la salida?



$$\textcircled{A} \quad I_{R_1} = I_{R_2} : \quad \frac{0 - V}{R_1} = \frac{V - V_o}{R_2} : \quad V_o = R_2 V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = V \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)$$

SR  $\rightarrow$  máxima pendiente del cambio posible para la salida.

$$SR = \left. \frac{dV_o}{dt} \right|_{\text{máx}} = V_{\text{máx}} \cdot \omega \quad \begin{matrix} \nearrow \text{ancho de banda} \\ \nearrow \text{en potencia} \end{matrix}$$

Ancho de banda  $\Rightarrow BW = f_T \beta$ ,  $\beta = \frac{1}{\text{ganancia ideal}}$

$$\beta = \frac{1}{10} \Rightarrow BW = 1.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{10} = 150 \text{ kHz}$$

$$V_o = V_i A_v = 10 \cdot 0.6 = 6 \text{ V}$$

$V_o < V_{o \text{ max}}$   $\Rightarrow$  No supera la tensión de saturación

$$SR = \omega V_{\text{max}} = V_{\text{max}} 2\pi f \quad ; \quad f = \frac{SR}{2\pi V_{\text{max}}}$$

$$f = \frac{0.8 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 6} = \underline{\underline{21.22 \text{ kHz}}} \Rightarrow f < BW \Rightarrow \text{NO supera el ancho de banda (aún no se distorsiona la salida)}$$

b) Frecuencia de la señal es  $f = 10 \text{ kHz}$ . ¿Valor máximo de  $V_{in}$  antes de que se distorsione?

$$f = \frac{SR}{2\pi V_{\text{max}}} \quad ; \quad \cancel{V_{\text{max}} = \frac{2\pi f}{SR}} \quad ; \quad V_{\text{max}} = \frac{SR}{2\pi f} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3} = 12.73 \text{ V}$$

$$V_{\text{max}} = 12.73 \text{ V} < V_{o \text{ max}}$$

$$\text{Valor máximo de } V_o \Rightarrow \underline{\underline{V_{in \text{ max}} = \frac{12.73}{10} \text{ V}}}$$

c)  $V_{in} = 50 \text{ mV}$ . ¿Rango útil de frecuencia de operación?

$$V_o = 10 \cdot V_{in} = 10 \cdot 0.05 = 0.5 = \frac{1}{2} \text{ V} < V_o$$

$$f = \frac{SR}{2\pi V_{max}} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{2\pi \cdot \frac{1}{2}} = 254.647 \text{ kHz} > BW \Rightarrow \text{Mayor que el ancho de banda, BW es el rango útil}$$

d)  $f = 5 \text{ kHz}$  ¿Rango de amplitud de operación para la señal de entrada?

$$V_{max} = \frac{SR}{2\pi f} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^3} = 25 \text{ V} > V_{max}$$

$$V_o = \pm 15 \text{ V} = V_i \cdot AV$$

$$V_i = \frac{15}{10} = 1.5 \text{ V}$$

Rango útil  $\Rightarrow 0 \rightarrow 1.5 \text{ V}$

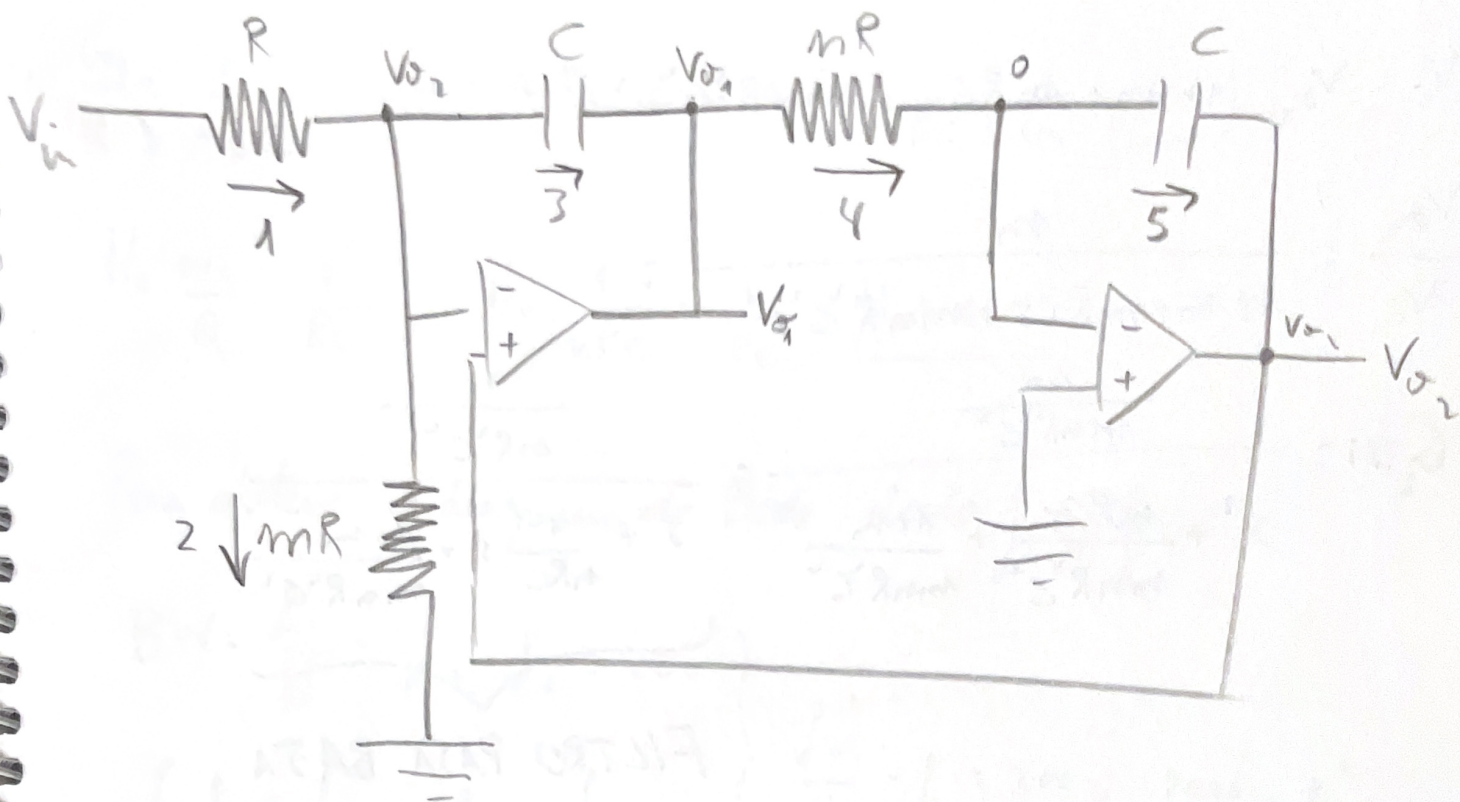
③ DICIEMBRE 2016

Circuito finito de variable de estado

a) Obtener función de transferencia en cada salida

b) Valores  $m = \infty$ ,  $n = 100$ ,  $C = 1 \text{ nF}$ ,  $R = 7.957 \text{ k}\Omega$ .

Diagrama de Bode de amplitud.



$$a) I_1 = I_2 + I_3 : \frac{V_i - V_{02}}{R} = \frac{V_{02} - 0}{mR} + \frac{V_{01} - V_{02}}{\frac{1}{C_s}} \quad (1)$$

$$I_4 = I_5 : \frac{V_{01} - 0}{mR} = \frac{0 - V_{02}}{\frac{1}{C_s}} : \frac{V_{01}}{mR} = -V_{02} C_s ;$$

$$V_{01} = -mR C_s V_{02} \quad (2)$$

$$V_{02} = -\frac{V_{01}}{mR C_s} \quad (3)$$

Sustituyo (2) en (1):

$$\frac{V_i - V_{02}}{R} = \frac{V_{02}}{mR} + C_s V_{02} + mR C_s^2 V_{02} ;$$

$$V_i m : V_{02} + m \frac{V_{02}}{m} + mR C_s V_{02} + m^2 R C_s^2 V_{02} ;$$

$$m V_i = V_{02} \left( 1 + 1 + \frac{mR C_s}{m} + \frac{m^2 R C_s^2}{m} \right)$$

$$mV_i = V_{o_2} (1 + m + mRCs + mnR^2C^2s^2) ;$$

$$\frac{V_{o_2}}{V_i} = \frac{m}{1 + m + mRCs + mnR^2C^2s^2} ;$$

$$G_2(s) = \frac{\frac{m}{mnR^2C^2}}{s^2 + \frac{mRCs}{mnR^2C^2} + \frac{1+m}{mnR^2C^2}} = \frac{\frac{1}{nR^2C^2}}{s^2 + \frac{1}{nRC}s + \frac{1+m}{mnR^2C^2}}$$

FILTRO PASA BAJA

Para  $V_{o_1}$  tomamos (3):

$$\frac{V_{o_2}}{V_i} = -\frac{1}{V_i} \cdot \frac{V_{o_1}}{nRCs} = G_2(s) ; \quad \frac{V_{o_1}}{V_i} = -nRCs G_2(s) = G_1(s) ;$$

$$G_1(s) = -\frac{\frac{1}{RC}s}{s^2 + \frac{1}{nRC}s + \frac{1+m}{mnR^2C^2}} \Rightarrow \text{FILTRO PASA BANDA}$$

b)  $\Rightarrow G_1(s)$ : FILTRO PASA BANDA

$$G(s) = \frac{H_0 \frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1+m}{mnR^2C^2}} = \sqrt{\frac{1}{nR^2C^2}} = \underline{12567 \text{ Hz}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \underline{2000 \text{ Hz}}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{nRC} ; Q = nRC\omega_0 = nRC \frac{1}{RC} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = \underline{10}$$

$$H_0 \frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{RC} ; H_0 \frac{1}{nRC} = \frac{1}{RC} ; \underline{H_0 = n = 100}$$

Para obtener el diagrama de Bode calculo  $f_1$  y  $f_2$ :

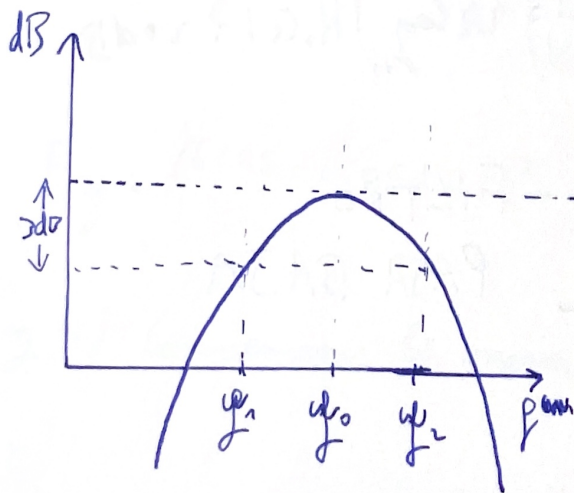
$$BW = \frac{f_0}{Q} = f_2 - f_1 = 200$$

$$f_1 f_2 = f_0^2 = f_2 = \frac{f_0^2}{f_1}$$

$$\left. \begin{array}{l} BW = \frac{f_0}{Q} = f_2 - f_1 = 200 \\ f_1 f_2 = f_0^2 = f_2 = \frac{f_0^2}{f_1} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{f_0^2}{f_1} - f_1 = 200 ; 2000^2 - f_1^2 = 200 f_1 \\ \Rightarrow f_1^2 + 200 f_1 - 4 \cdot 10^6 = 0 \end{array}$$

$$f_1^2 + 200 f_1 - 4 \cdot 10^6 = 0 ; f_1 = \frac{-200 \pm \sqrt{200^2 + 4 \cdot 4 \cdot 10^6}}{2} = \frac{-200 \pm 4005}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{f_1 = 1902 \text{ Hz}} \quad \Rightarrow \underline{f_2 = \frac{2000^2}{1902} = 2102 \text{ Hz}}$$



FILTRO  
PASA BANDA

→  $G_2(s)$ : FILTRO PASA BAJA

$$G(s) = \frac{H_0 \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

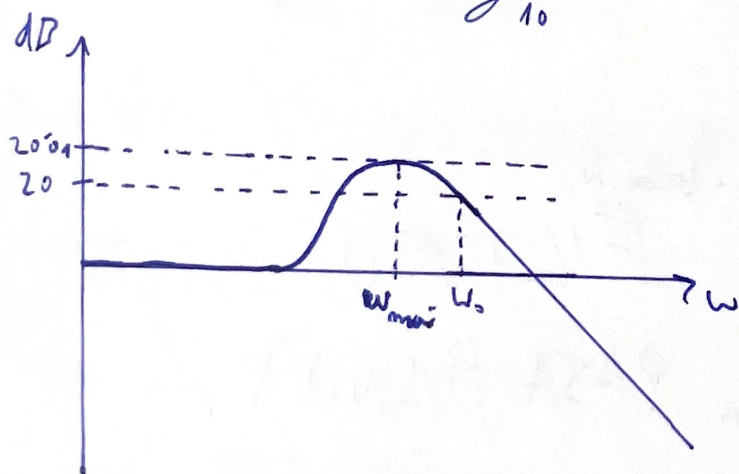
$\omega_0, f_0, Q$  iguales

$$H_0 \omega_0^2 = \frac{1}{nRC^2} = H_0 \frac{1}{nRC^2} \Rightarrow \underline{H_0 = 1}$$

$$\omega_{max} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} = \underline{12535 \text{ Hz}}$$

$$\text{Pto máxima} \Rightarrow 20 \log_{10} |G(\omega_{max})| = 20 \log_{10} \left| \frac{H_0 Q}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}} \right| = 20.01 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10} |G(\omega_0)| = 20 \log_{10} |H_0 Q| = 20 \text{ dB}$$



FILTRO  
PASA BAJA

4

Convertidor D.A de 3 bits  $V_{FSR} = 8V$  se sucesión para todos los códigos 000 hasta 111 se encuentran valores de salida

$$V_o = \{0.05, 1.05, 2.07, 2.94, 3.95, 5.04, 6.00, 6.95\} V.$$

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

$$1) \text{ Error de offset: } E_{off} = \frac{V_o|_{000}}{V_{LSB}} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} E_{off} = \frac{0.05}{1} = 0.05 \text{ LSB}$$
$$V_{LSB} = \frac{V_{FSR}}{2^n} = \frac{8}{2^3} = 1$$

$$2) \text{ Error de ganancia: } E_g = \left( \frac{V_o}{V_{LSB}} \Big|_{111} - \frac{V_o}{V_{LSB}} \Big|_{000} \right) - (2^n - 1)$$

$$E_g = (6.95 - 0.05) - (2^3 - 1) = -0.1$$

3 y 4) Compensamos los errores para calcular DNLE y INLE

$$V_o|_{\text{compensado}} = \frac{V_o}{V_{LSB}} - E_{off} - \frac{i E_g}{2^n - 1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 8$$

$$V_o|_{\text{compensado}} = \{0, 1.01, 2.01, 2.93, 3.96, 5.07, 6.05, 7.01\} \text{ LSB}$$

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

SIEMPRE EMPIEZA POR 0 (se acepta y no se calcula)

$$DNLE = \{0, 0.01, 0, -0.08, 0.03, 0.10, -0.02, -0.04\}$$

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

$$INLE = \{0, 0.01, 0.01, -0.07, -0.04, 0.06, 0.04, 0\}$$

Si empieza por 0 y acaba por 0 está bien ✓