



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

Tiempo maximo: 3 horas y 45 minutos

PROBLEMA 1 PARTE A (45 minutos, 2 puntos)

En la figura 1, se muestra el esquema de un amplificador realimentado.

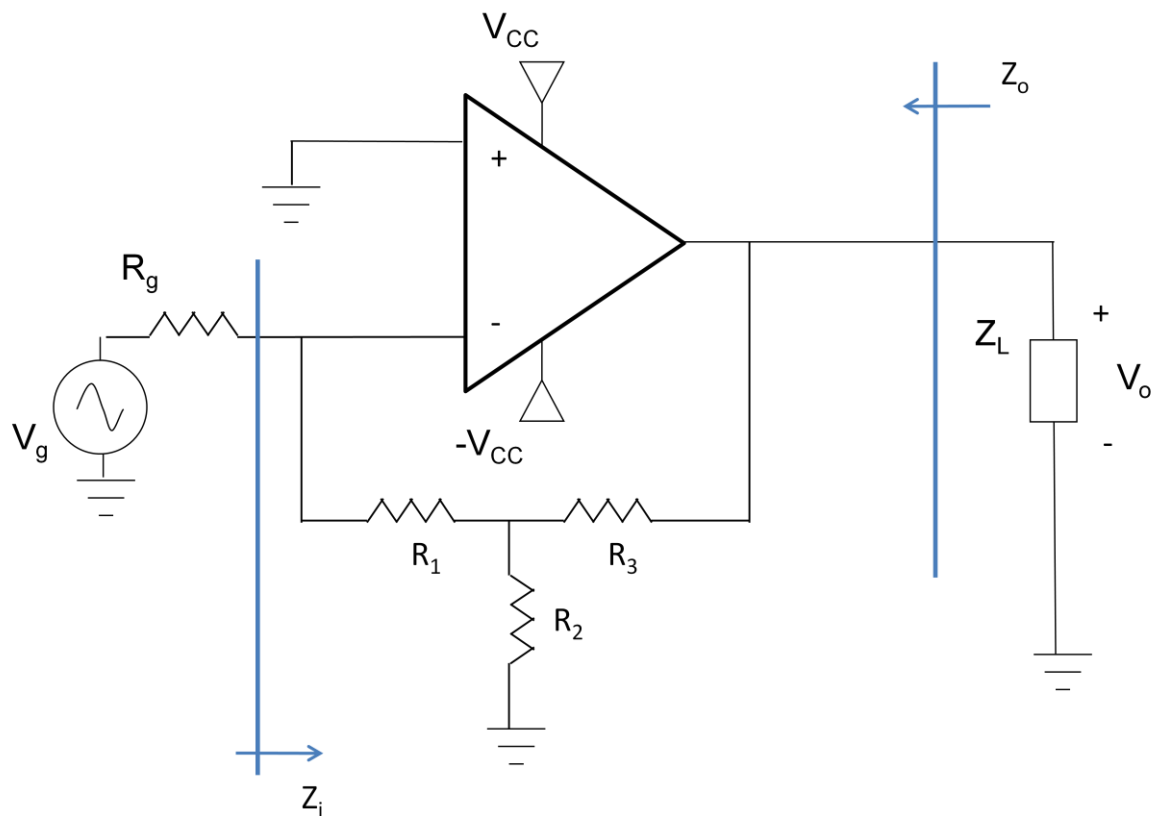


Figura 1

DATOS $R_g = 1\text{k}\Omega$; $R_1 = 1\text{k}\Omega$; $R_2 = 1\text{k}\Omega$; $R_3 = 100\text{k}\Omega$; $Z_L = 2\text{k}\Omega$; $A_0 = 10^4\text{V/V}$; $\text{BW} \times \text{G} = 60\text{MHz}$

Se pide que responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- 1) Dibuje el equivalente de pequeña señal para el circuito.



Universidad Carlos III de Madrid
INGENIERÍA INDUSTRIAL. 4^{or} CURSO
EXAMEN DE ELECTRÓNICA II

08-09-2010

- 2) Demuestre que hay realimentación negativa, identifique la topología de realimentación, la función de transferencia que estabiliza la realimentación y los parámetros privilegiados.
- 3) Calcule los parámetros de la red β . Dibuje el circuito equivalente de la red A' y calcule sus parámetros (impedancia de entrada, de salida y ganancia).
- 4) Calcule la ganancia, G y las impedancias de entrada y de salida del amplificador realimentado. A partir de estos resultados, calcule los valores de Z_i y Z_o mostrados en el esquema.
- 5) Calcule el ancho de banda del amplificador.
- 6) Indique la expresión de A'_z en función de la frecuencia.

PROBLEMA 1 PARTE B (45 minutos, 2 puntos)

Para hacer un estudio detallado sobre la respuesta en frecuencia del amplificador de la parte A, se considera el tipo de carga aplicado. Cuando la carga Z_L es capacitiva, la estabilidad del sistema no está asegurada. Considere $Z_L = C_L = 265 \text{ pF}$. Por otra parte, el amplificador operacional presenta un segundo polo en 6MHz, que en este caso sí hay que tener en cuenta.

- 7) Calcule el polo que introduce la carga capacitiva sobre la red A' .
- 8) Dibuje el diagrama de Bode de $A\beta$ para el amplificador realimentado (si no ha resuelto los apartados anteriores, suponga que la ganancia en continua de $A\beta$ es 27 dB y que el polo introducido por la carga capacitiva está en 600 kHz).
- 9) Estudie la estabilidad del circuito realimentado. Determine el margen de fase.
- 10) Determine el valor mínimo de β para el cual el sistema realimentado se vuelve inestable.
- 11) Indique la frecuencia máxima de la señal de entrada que se puede amplificar con este sistema.

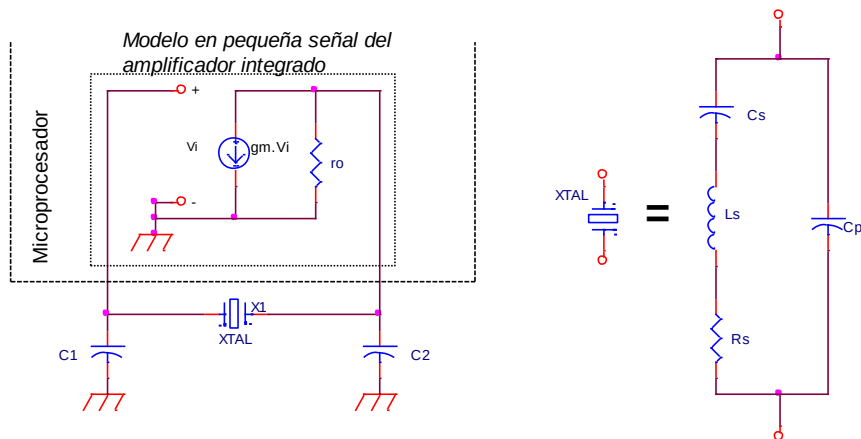


Universidad Carlos III de Madrid
INGENIERÍA INDUSTRIAL. 4^{or} CURSO
EXAMEN DE ELECTRÓNICA II

08-09-2010

PROBLEMA 2 (45 minutos, 2 puntos)

El oscilador de onda senoidal más usado en microprocesadores de muy bajo coste es el de tipo Pierce. En la figura se muestra el modelo equivalente simplificado en pequeña señal de un oscilador de este tipo.



DATOS: $g_m \cdot r_o = 3$, $C_1 = 10 \text{ pF}$, $C_2 = 33 \text{ pF}$

XTAL: $C_s = 0.005 \text{ pF}$, $L_s = 79.2 \text{ mH}$, $R_s = 40 \Omega$, $C_p = 3 \text{ pF}$

$f_s = 7.998 \text{ MHz}$, $f_p = 8.005 \text{ MHz}$

Responda a las siguientes preguntas:

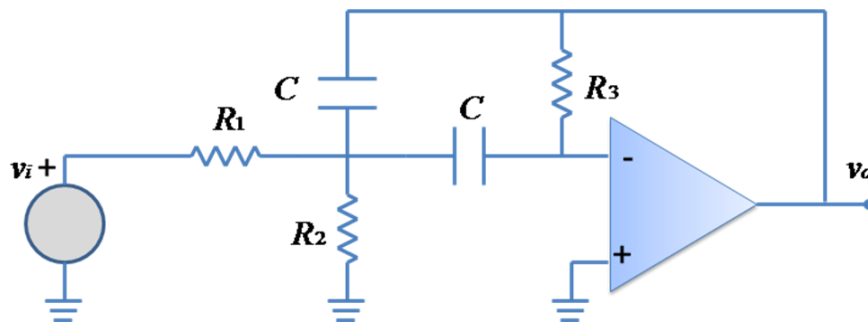
- 1) La impedancia compleja del cristal de cuarzo puede expresarse de forma aproximada por $Z_x = jX_x$. Calcule X_x usando el modelo eléctrico suministrado, expresándolo en función de la frecuencia angular ω , y de los componentes eléctricos del modelo, haciendo las simplificaciones que considere adecuadas.
- 2) Obtenga la expresión de la ganancia de lazo del circuito.
- 3) Obtenga la expresión de la frecuencia de oscilación de forma razonada.
- 4) Calcule el valor numérico de la frecuencia de oscilación. Usando el resultado obtenido en 1, ¿diría que el cristal está operando en su zona inductiva, o en su zona capacitiva?
- 5) Suponiendo que $C_1 = 10 \text{ pF}$, determine el valor de C_2 que garantiza el arranque del oscilador.



PROBLEMA 3 (45 minutos, 2 puntos)

Queremos seleccionar una señal sinusoidal de 2MHz usando un filtro paso banda. Recuerde que un BPF tiene las siguientes características:

Función de transferencia: $H(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$ Ganancia en ω_0 $A_0 = \frac{a_1 Q}{\omega_0}$



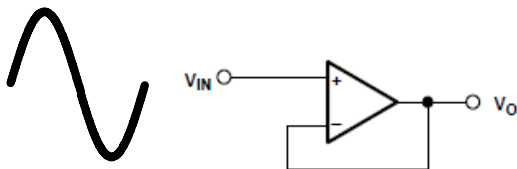
Responda a las siguientes cuestiones:

1. Encuentre la función de transferencia del circuito de la figura asumiendo que el amplificador operacional es ideal. ¿Puede usarse este circuito para realizar el filtrado paso banda que estamos buscando?
2. Calcule la frecuencia central del filtro ω_0 , su ganancia a la frecuencia central A_0 , y su factor de calidad Q en función de R_1 , R_2 , R_3 , and C .
3. Encuentre los valores de resistencias necesarios para que el filtro tenga $Q = 10$ y $A_0 = 50$ si $C = 100$ pF.
4. ¿Cuál será la atenuación en dB que este filtro proporcionará a la frecuencia del tercer armónico de la señal deseada?

Cuestiones teóricas (45 minutos, 2 puntos)

Cuestión 1

Se dispone de un amplificador operacional cuya respuesta en frecuencia se muestra en la Figura C1.1. Como dato adicional se conoce que dicho amplificador operacional presenta un "slew rate" de $16 \text{ V}/\mu\text{s}$. Se pretende utilizar dicho amplificador en la configuración de seguidor de tensión.



Se pide estimar justificadamente, cual puede ser la máxima frecuencia de una onda sinusoidal que aplicada en la entrada V_{IN} será amplificada sin presentar ningún tipo de distorsión o desfase con respecto a la onda de partida para dos casos:

- Amplitud $V_{in} = 50 \text{ mV}$
- Amplitud $V_{in} = 3 \text{ V}$.

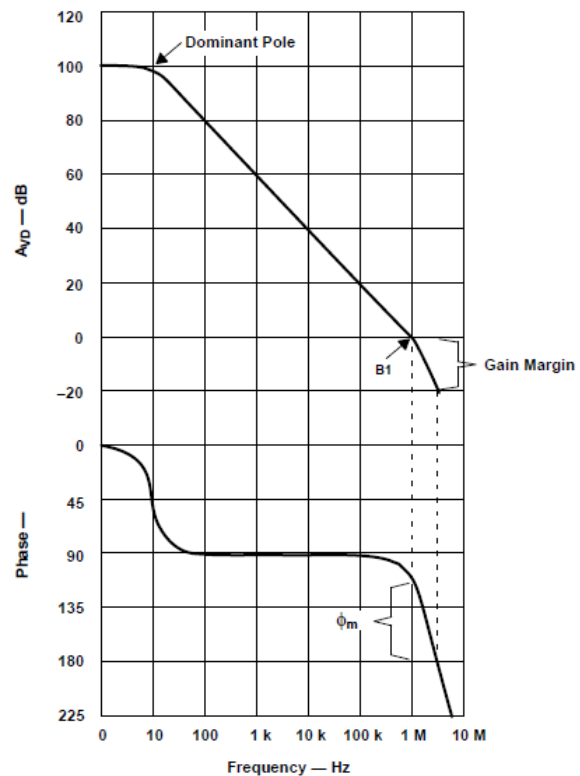


Figura C1.1

Cuestión 2

Se quiere realizar un integrador (Figura C2.1) mediante un amplificador operacional real, que presenta una tensión de desviación de $2 \mu\text{V}$. ¿Qué función cumple la resistencia R_2 ? ¿Cómo se calcularía su valor?

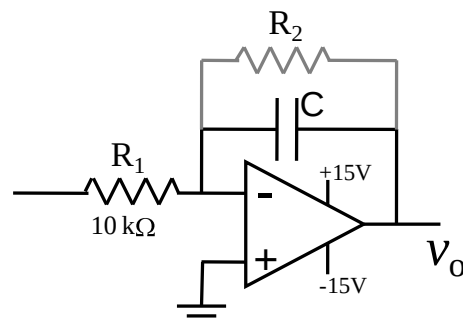
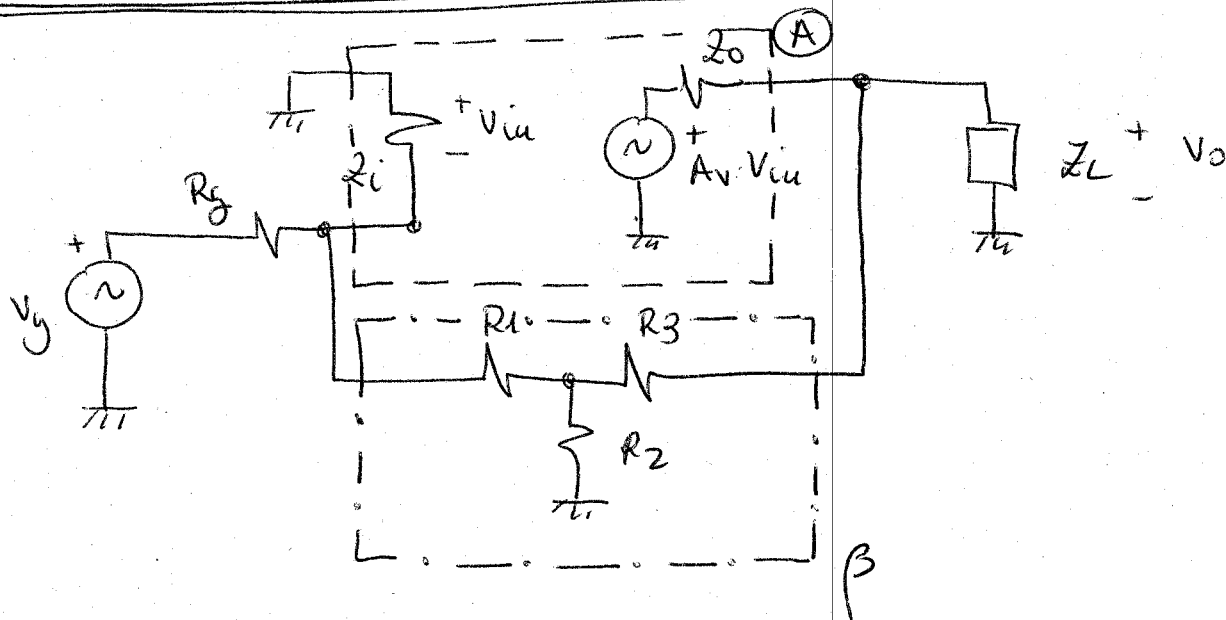


Figura C2.1

Examen extraordinario Septiembre 2010. Electronica II

①

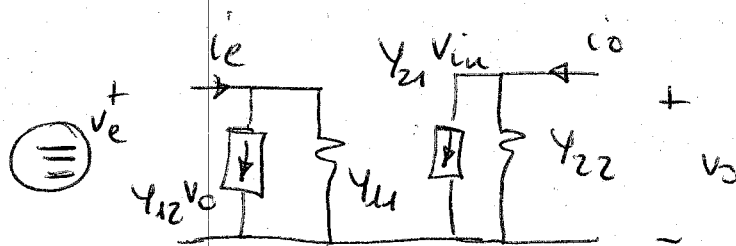
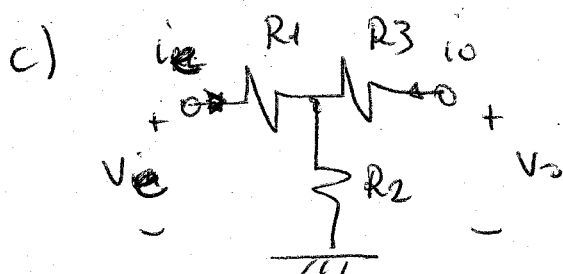


② a) $\uparrow v_o \Rightarrow \uparrow v_{R_2} \Rightarrow \uparrow v_{R_1} \Rightarrow \uparrow i_{R_1} \Rightarrow \downarrow i_{Z_i} \Rightarrow \downarrow v_{in}$

$\Rightarrow \downarrow A_v v_{in} \Rightarrow \downarrow v_o$

b) Realimentación paralelo-paralelo
Muestro tensión, realimento corriente

Parámetros privilegiados: $[Y]$



$$\begin{pmatrix} i_e \\ i_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_e \\ v_o \end{pmatrix}$$

$$Y_{11} = \frac{i_e}{v_e} \Big|_{v_o=0}$$

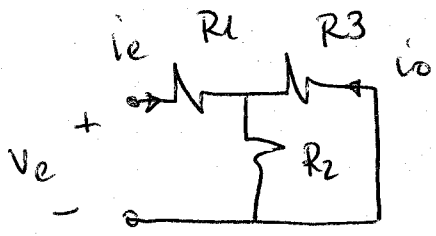
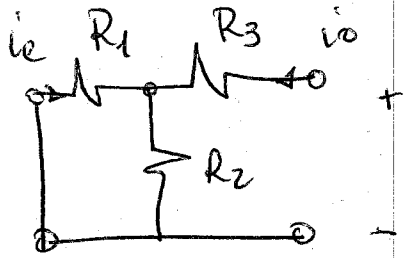
$$Y_{21} = \frac{i_o}{v_e} \Big|_{v_o=0}$$

$$Y_{12} = \frac{i_e}{v_o} \Big|_{v_e=0}$$

$$Y_{22} = \frac{i_o}{v_o} \Big|_{v_e=0}$$

③

β



$$\left. \frac{i_o}{v_o} \right|_{v_e=0} = Y_{22} = \frac{1}{R_3 + R_1 \parallel R_2}$$

$$Y_{12} = \left. \frac{i_e}{v_o} \right|_{v_e \infty} = -\frac{i_o}{v_o} = \frac{-1}{2[R_3 + R_1 \parallel R_2]}$$

$$Y_{21} = \left. \frac{i_o}{v_e} \right|_{v_o \infty} \approx 0 \quad [R_3 \gg R_2]$$

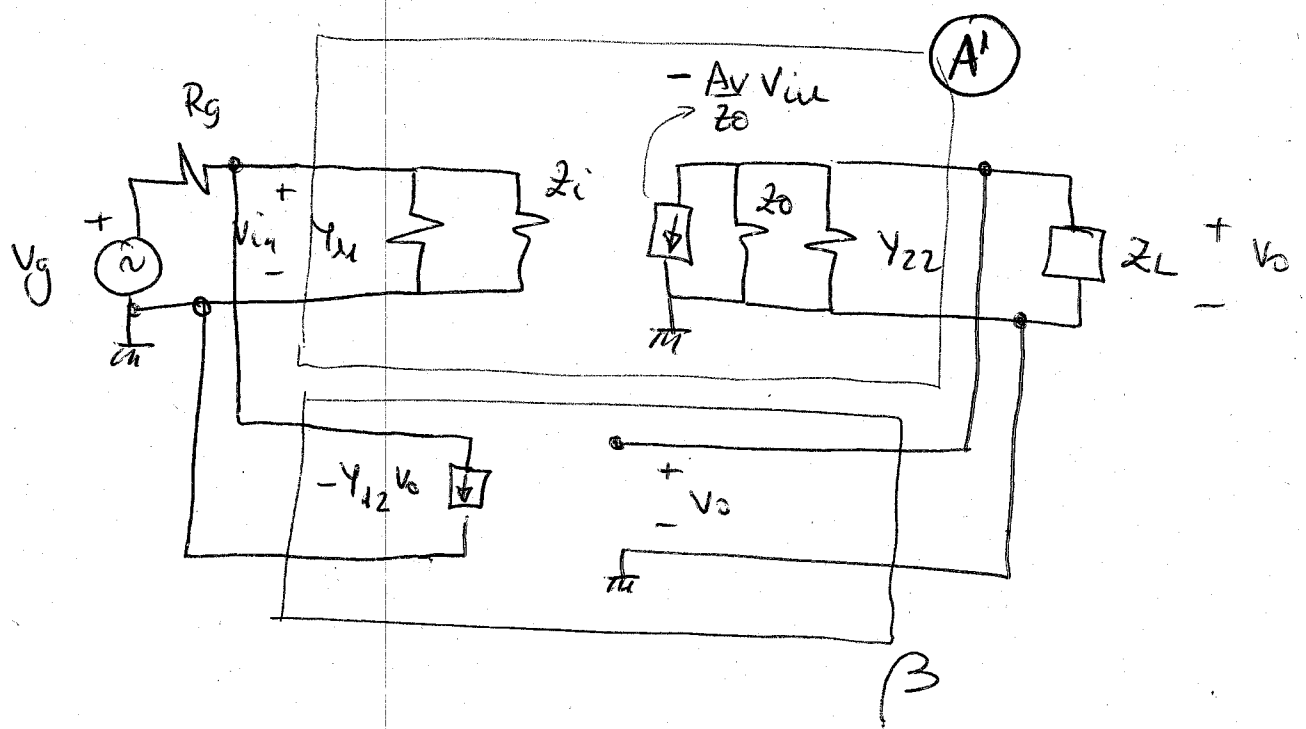
$$Y_{11} = \left. \frac{i_e}{v_e} \right|_{v_o \infty} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad [R_3 \gg R_2]$$

$$Y_\beta = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1 + R_2} & \frac{-1}{2(R_3 + R_1 \parallel R_2)} \\ 0 & \frac{1}{R_3 + R_1 \parallel R_2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 1k\Omega \\ R_3 &= 100k\Omega \end{aligned} \quad Y$$

$$Y_\beta = \begin{bmatrix} 0.5 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} & -4.97 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \\ \emptyset & 9.95 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \end{bmatrix}$$

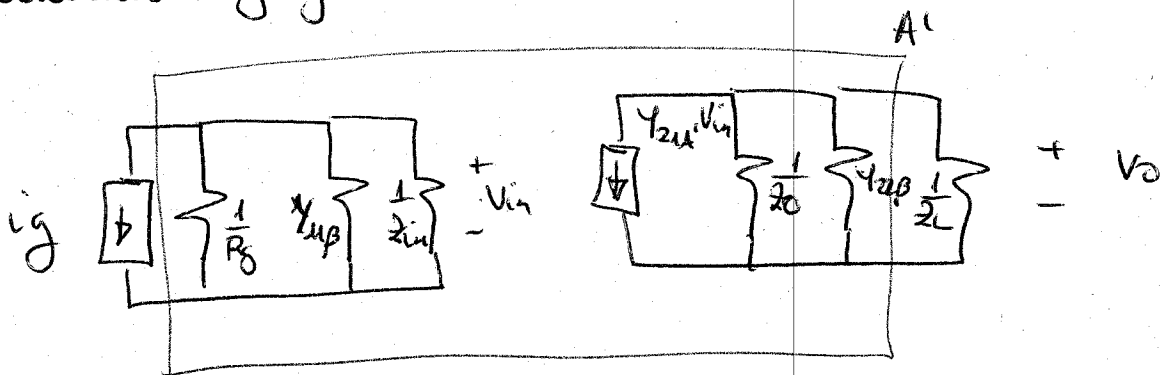
A'



$$Y_A = \begin{bmatrix} Y_{11A} & Y_{12A} \\ Y_{21A} & Y_{22A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{z_i} & \emptyset \\ -\frac{A_v}{z_o} & \frac{1}{z_o} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^{-5} \Omega^{-1} & \emptyset \\ -10 & 10^{-3} \Omega^{-1} \end{bmatrix}$$

$$Y_{A'} = \begin{bmatrix} Y_{11A} + Y_{11\beta} & \emptyset \\ Y_{21A} & Y_{22A} + Y_{22\beta} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 501 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1} & \emptyset \\ -10 & 10^{-3} \Omega^{-1} \end{bmatrix}$$

Si incluimos R_g y z_L :



$$Y_{A'} = \begin{bmatrix} Y_{11A} + Y_{11\beta} + Y_g & \emptyset \\ -\frac{A_v}{z_o} & Y_{22A} + Y_{22\beta} + Y_{zL} \end{bmatrix}$$

$$Y'_{A'} = \begin{bmatrix} 1'501 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} & \emptyset \\ -10 & 1'501 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \end{bmatrix}$$

$$Y_E = Y_g + Y_{in} + Y_{up} = 1501 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$Z_{EA'} = 666.2 \Omega$$

$$Y_0 = Y_{ZL} + Y_{22A} + Y_{22\beta} = 1501 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$Z_{0A'} = 666.2 \Omega$$

$$A'_2 = \frac{Y_{21A'}}{Y_0 Y_E} = \frac{-10}{(1501 \cdot 10^{-3})^2} = -4.44 \cdot 10^6 \frac{V}{A}$$

④

$$G_2 = \frac{A'_2}{1 + A'_2 \beta_Y} = 192.5 \cdot 10^3 \frac{V}{A}$$

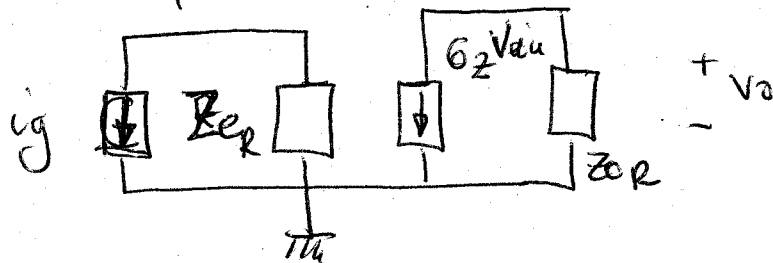
$$\beta_Y = -4.97 \cdot 10^{-6} \quad \left\{ \begin{array}{l} A'_2 \beta_Y = \underline{\underline{22.06}} \\ A'_2 = -4.44 \cdot 10^6 \end{array} \right.$$

$$Z_{E_{realin}} = \frac{Z_{EA'}}{1 + A'_2 \beta_Y} \approx 29 \Omega$$

$$Z_{0_{realin}} \approx 29 \Omega$$

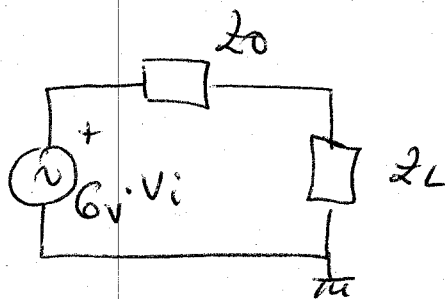
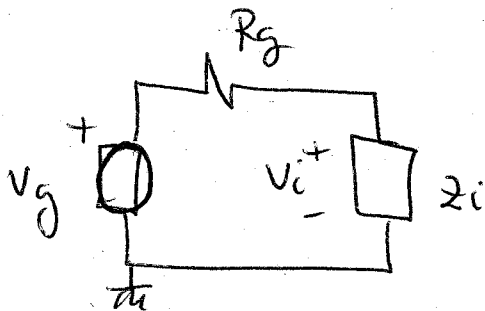
Z_i y Z_o indicados en el esquema del amplificador realimentado.

Esto es lo que tenemos:



Queremos Z_{ER} , Z_{OR} y 6_Z

Queremos saber Z_i y Z_o del esquema:



$$Z_{ER} = R_g \parallel Z_i \Rightarrow \boxed{Z_i = \frac{Z_{ER} R_g}{R_g - Z_{ER}} = 29'5 \Omega}$$

$$Z_{OR} = Z_o \parallel Z_L \Rightarrow \boxed{Z_o = \frac{Z_{OR} Z_L}{Z_L - Z_{OR}} = 29'1 \Omega}$$

⑤ Ancho de banda del amplificador

Amplificador operacional

$$BW \times G = 60 \text{ MHz}$$

$$BW \times A_0 = 60 \text{ MHz} \Rightarrow \boxed{BW} = \frac{60 \text{ MHz}}{10^4} = \boxed{6 \text{ kHz}}$$

Amplificador realimentado

$$\boxed{BW'} = BW (1 + A\beta) = 6 \text{ kHz} \times 23 = \boxed{138 \text{ kHz}}$$

⑥ $A'_z(\omega)$

Sin realimentar:

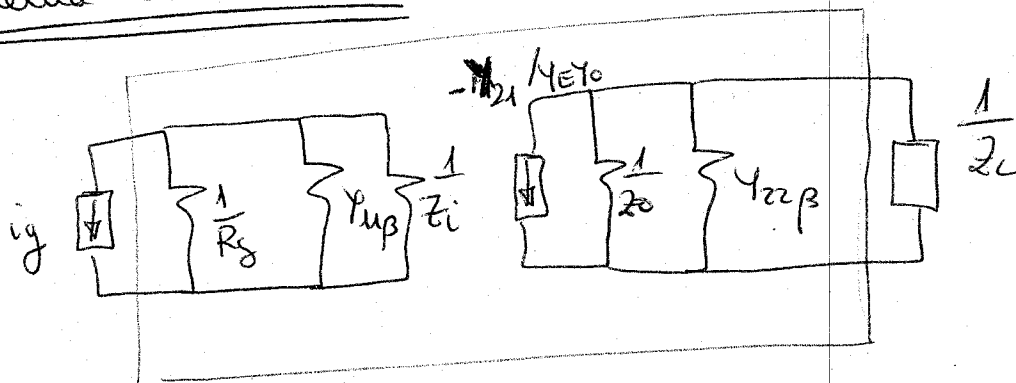
$$A_v = A_0 \frac{1}{(1 + j \frac{\omega}{\omega_p})}$$

Realimentado

$$A'_z(\omega) = \frac{-A_0}{10 \text{ k}\Omega} \frac{1}{(1 + j \frac{\omega}{\omega_p})}$$

Problema 1. Parte B

4



$$A'_z(\omega) = -\frac{A_o}{Y_E} \frac{1}{(1 + \frac{\omega}{\omega_{p1}})(1 + \frac{\omega}{\omega_{p2}})} \frac{1}{Y_o}$$

$$\frac{1}{Y_o} = \frac{1}{\frac{1}{Z_o} + Y_{22\beta} + \frac{1}{Z_L}} = \frac{1}{(\frac{1}{Z_o} + Y_{22\beta}) + j\omega C_L}$$

$$\frac{1}{Y_o} = \frac{1}{1 + j\omega C_L (Z_o \parallel \frac{1}{Y_{22\beta}})} = \boxed{\frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_{p3}}}}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_L \frac{Z_o \parallel \frac{1}{Y_{22\beta}}}{Z_o + \frac{1}{Y_{22\beta}}}} = \frac{1}{2\pi C_L \left[\frac{10^3 / 995 \cdot 10^{-6}}{10^3 + \frac{1}{995 \cdot 10^{-6}}} \right]}$$

$$f_{p3} \approx \frac{1}{2\pi C_L \cdot \omega^3} = \frac{1}{2\pi \cdot 265 \text{ pF} \cdot \omega^3} \approx 600 \text{ kHz}$$

Por tanto tenemos tres polos

$$P_1 = 6 \text{ KHz}, P_2 = 6 \text{ KHz} \quad (\text{por el } 10)$$

$$P_3 = 600 \text{ KHz} \quad \text{por la carga capacitiva}$$

$$y \quad A_2(\omega) \big|_{\omega=0} = 27 \text{ dB} = 20 \log(22.03)$$

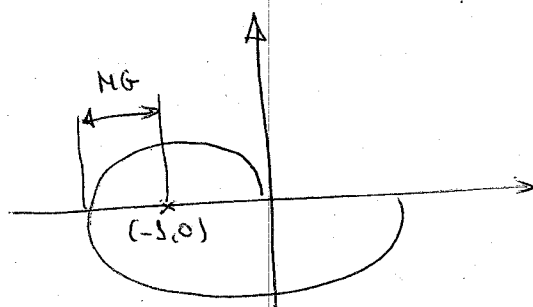
⑧ (Ver hoja Adjunta)

⑨ Margen de fase = Fase cuando $|A\beta| = 1$ (0 dB)

$$MF = 61.5^\circ \quad (\text{ver diagrama de Bode})$$

El sistema realimentado es estable. El polo en 6 KHz es dominante.

⑩ Para que el sistema se vuelva inestable el MG debe ser mayor que $\emptyset$.

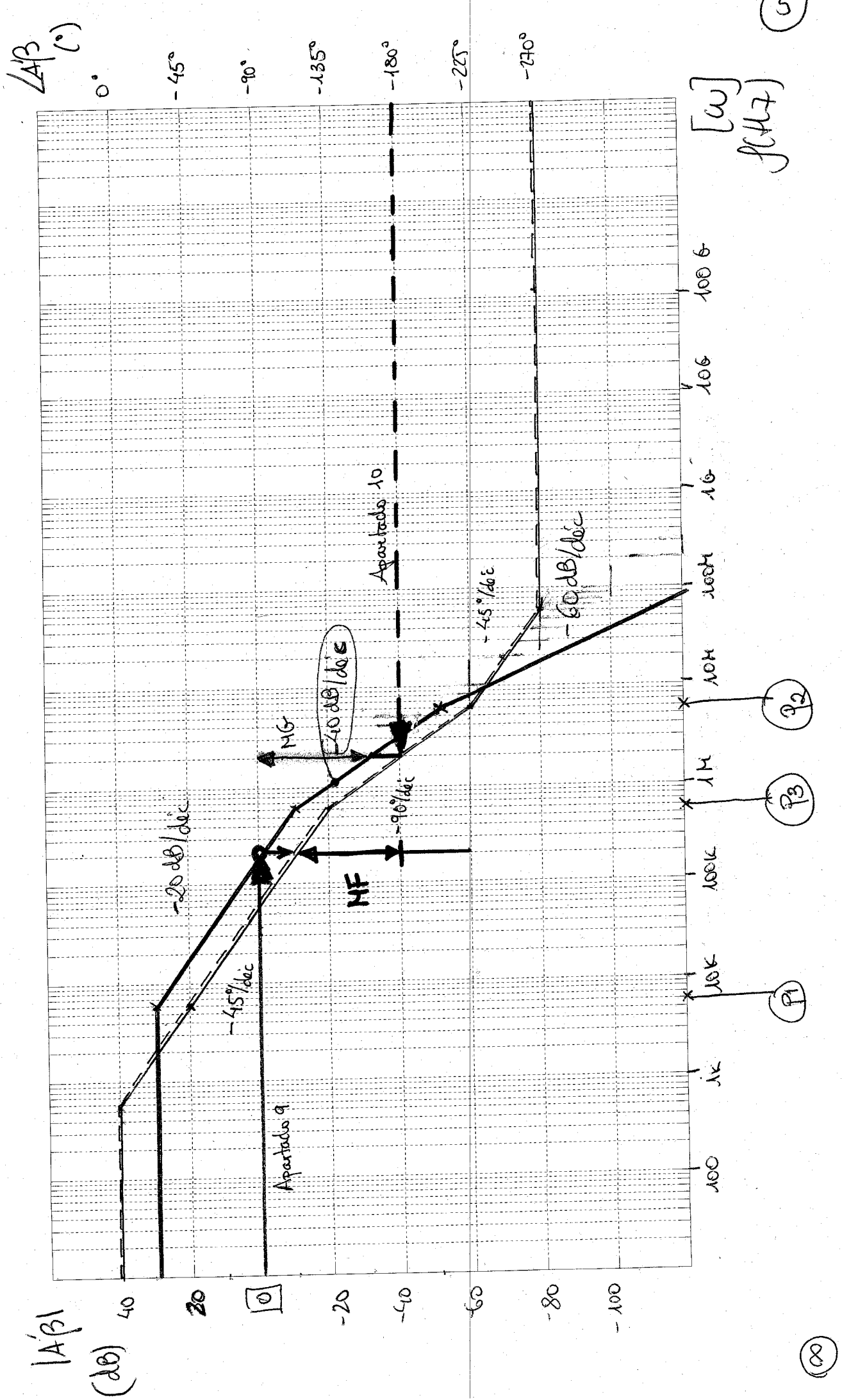


frecuencia (2 MHz)

$$\text{Ahora el } MG = 0 \text{ dB} + 33 \text{ dB} = 33 \text{ dB} > 0 \Rightarrow \text{ESTABLE}$$

$$\text{Teniendo en cuenta que } |\beta| = cte = 20 \log |-497 \cdot 10^{-6}| \approx -84 \text{ dB}$$

Para que $|A\beta|$ sea < 0 en 2 MHz



Ahora:

$$|A\beta|_{2MHz} = 33dB = |A| + |\beta| = |A| + (-84dB) \Rightarrow$$

$$|A| = 117dB$$

Si quiero $|A\beta|_{2MHz} < 0 \Rightarrow |A| + |\beta| < 0$

$$117dB + |\beta| < 0$$

$$\Rightarrow |\beta| < -117dB$$

$$|\beta| < 1.41 \cdot 10^{-6} \quad (\text{con fase negativa})$$

⑪ El ancho de banda del sistema realimentado es, como se dijo en el apartado 5, 138 KHz.

La frecuencia máxima de la señal de entrada que se puede amplificar será, por tanto, 138 KHz.

$$1) Z_x = Z_{cp} \parallel (Z_{cs} + Z_{ls} + Z_{rs})$$

$$\text{At } 8 \text{ MHz } |Z_{rs}| \ll |Z_{ls} + Z_{cs}|$$

$$Z_x \approx \frac{1}{\frac{1}{Z_{cp}} + \frac{1}{Z_{cs} + Z_{ls}}} = \frac{1}{\frac{1}{jX_{cp}} + \frac{1}{j(X_{cs} + X_{ls})}}$$

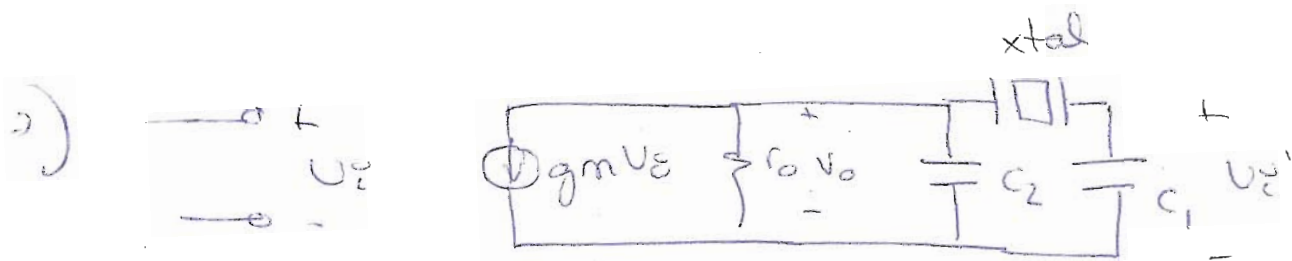
$$= \frac{jX_{cp}(X_{cs} + X_{ls})}{X_{cs} + X_{ls} + X_{cp}} \Rightarrow X_x = \frac{X_{cp}(X_{cs} + X_{ls})}{X_{cs} + X_{ls} + X_{cp}}$$

$$X_x = \frac{\frac{-1}{\omega C_p} \left(\frac{-1}{\omega C_s} + \omega L_s \right)}{\frac{-1}{\omega C_p} + \frac{-1}{\omega C_s} + \omega L_s} = \frac{\frac{1}{\omega^2 C_p C_s} - \frac{L_s}{C_p}}{\frac{-C_s - C_p + \omega^2 L_s C_s C_p}{\omega C_p C_s}} =$$

$$= \frac{\frac{1 - L_s C_s \omega^2}{\omega^2 C_p C_s}}{\frac{\omega^2 L_s C_s C_p - C_s - C_p}{\omega C_p C_s}} = \frac{-1}{\omega} \frac{\omega^2 L_s C_s - 1}{\omega^2 L_s C_s C_p - C_s - C_p} =$$

$$= \frac{-1}{\omega} \frac{L_s C_s (\omega^2 - 1/L_s C_s)}{L_s C_s C_p (\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s})}$$

$$X_x = \frac{-1}{\omega C_p} \frac{\omega^2 - 1/L_s C_s}{\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s}}$$



$$G = \frac{V_o'}{V_i} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_{C_1}}{Z_x + Z_{C_1}} (-g_m [r_o \parallel Z_{C_2} \parallel (Z_x + Z_{C_1})])$$

$$G = -g_m (r_o \parallel Z_{C_2} \parallel (Z_x + Z_{C_1})) \frac{Z_{C_1}}{Z_x + Z_{C_1}} =$$

$$= -g_m \frac{1}{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{Z_{C_2}} + \frac{1}{Z_x + Z_{C_1}}} \frac{Z_{C_1}}{Z_x + Z_{C_1}} =$$

$$= -g_m \frac{r_o Z_{C_2} (Z_x + Z_{C_1}) Z_{C_1}}{[Z_{C_2} (Z_x + Z_{C_1}) + r_o (Z_x + Z_{C_1}) + r_o Z_{C_2}] (Z_x + Z_{C_1})}$$

$$= \frac{-g_m r_o Z_{C_1} Z_{C_2}}{r_o (Z_{C_1} + Z_{C_2} + Z_x) + Z_{C_2} (Z_x + Z_{C_1})}$$

$$G = \frac{+g_m r_o X_{C_1} X_{C_2}}{j r_o (X_{C_1} + X_{C_2} + X_x) - X_{C_2} (X_x + X_{C_1})}$$

con

$$X_{C_1} = \frac{-1}{\omega C_1}, \quad X_{C_2} = \frac{-1}{\omega C_2}$$

$$X_x = \frac{-1}{\omega C_p} \frac{\omega^2 - 1/L_s C_s}{\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s}} \quad (\text{ap. 1})$$

3) Generac de zero = +1

$$\Rightarrow X_{C1} + X_{C2} + X_X = 0$$

$$\downarrow$$

$$\left[G = \frac{gm_{fo} X_{C1} X_{C2}}{-X_{C2} \cdot (-X_{C2})} = gm_{fo} \frac{X_{C1}}{X_{C2}} = \overbrace{gm_{fo} \frac{C_2}{C_1}}^{\times} \right]$$

for $\Rightarrow X_{C1} + X_{C2} + X_X = 0$

$$\frac{-1}{\cancel{\omega C_1}} + \frac{-1}{\cancel{\omega C_2}} + \frac{-1}{\omega C_p} \cdot \frac{\omega^2 - 1/L_s C_s}{\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s}} = 0$$

$$\Rightarrow \omega^2 - \frac{1}{L_s C_s} = \underbrace{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) C_p}_{\text{ca}} \left(\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s} \right)$$

$$\Rightarrow \omega^2 - \frac{1}{L_s C_s} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) C_p \omega^2 - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) C_p \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s}$$

$$\omega^2 \left(1 - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) C_p \right) = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \frac{(C_s + C_p)}{L_s} + \frac{1}{L_s C_s}$$

$$\omega^2 = \frac{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \frac{C_s + C_p}{C_s L_s} + \frac{1}{L_s C_s}}{1 - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) C_p}$$

$$= \frac{1}{L_s C_s} \frac{\underbrace{\left(\frac{(C_1 + C_2)(C_s + C_p) + C_1 C_2}{C_1 C_2} \right)}_{\text{ca}}}{\underbrace{C_1 C_2 + (C_1 + C_2) C_p}_{\text{ca}}} = \frac{1}{L_s C_s}$$

4)

$$\omega_{for} \approx 8 \text{ MHz}$$

$$4) \quad f_{osc} > f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_s C_s}} \quad (\text{del apar. 3})$$

$$f_{osc} < f_p$$

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_s C_s}} \sqrt{\frac{(C_1 + C_2)(C_s + C_p) + C_1 C_2}{(C_1 + C_2)(C_p + C_1 C_2)}} = 8 \text{ MHz}$$

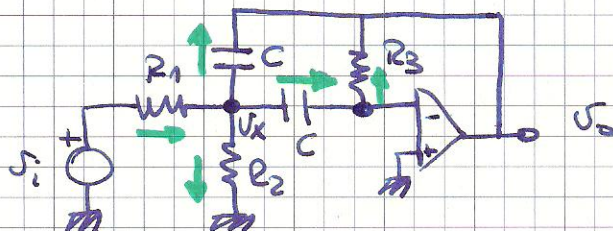
$\sqrt{\frac{1}{4}} \text{ pero } \geq 1$

De acuerdo al apar. 1:

$$Z_x \equiv jX_x = j \frac{-1}{\omega C_p} \frac{\left(\omega^2 - \frac{1}{L_s C_s} \right)^{>0}}{\left(\omega^2 - \frac{C_s + C_p}{C_s C_p} \frac{1}{L_s} \right)^{<0}} \Rightarrow |Z_x| > 0 \text{ a fase}$$

y trabaja en su zona inductiva.

$$5) \quad g_{mfo} \frac{C_2}{C_1} > 1 \Rightarrow C_2 > \frac{C_1}{g_{mfo}} = \frac{10 \text{ pF}}{3} = 3.3 \text{ pF}$$



$$\textcircled{1} \quad \left. \begin{aligned} \frac{U_i - U_x}{R_1} &= (U_x - U_o) sC + U_x sC + \frac{U_x}{R_2} \\ U_x sC &= -\frac{U_o}{R_3} \Rightarrow U_x = -\frac{U_o}{sC R_3} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{U_i}{R_1} + \frac{U_o}{sC R_1 R_3} &= -\left(U_o + \frac{U_o}{sC R_3}\right) sC - \frac{U_o}{R_3} - \frac{U_o}{sC R_2 R_3} \\ -U_o \left(\frac{1}{sC R_1 R_3} + sC + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{sC R_2 R_3} \right) &= \frac{U_i}{R_1} \end{aligned}$$

$$H(s) = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{sC R_2 R_3}{s^2 C^2 R_1 R_2 R_3 + 2sC R_1 R_2 + R_1 + R_2}$$

$$H(s) = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{s/R_1 C}{s^2 + 2s/C R_3 + \frac{R_1 + R_2}{C^2 R_1 R_2 R_3}}$$



② Identificando la términos de la función de transferencia obtenida con: / Comparing the terms of the derived transfer function with:

$$H(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad \Delta_0 = \frac{a_1 Q}{\omega_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{C^2 R_1 R_2 R_3}} = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{1}{R_3(R_1 + R_2)}}$$

$$Q = \frac{R_3}{\frac{R_1 + R_2}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_3(R_1 + R_2)}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R_1 + R_2}}$$

$$|\Delta_d| = \frac{a_1 Q}{\omega_0} = \left| -C \frac{R_3}{2} \frac{1}{R_1 C} \right| = \frac{R_3}{2 R_1}$$



③

$$Q = 20$$

$$\Delta_0 = 50$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ rad/s}$$

$$C = 100 \text{ pF}$$

$$|\Delta_0| = \frac{R_3}{2R_1} \Rightarrow R_3 = 100R_1$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}} \Rightarrow 20 = \sqrt{\frac{100R_1(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}}$$

$$400R_2 = 100R_1 + 100R_2 \Rightarrow R_1 = 3R_2$$

$$|Q_1| = \left| -\frac{1}{R_1 C} \right| = |\Delta_0| \frac{\omega_0}{Q} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{Q}{\Delta_0 \omega_0 C} = \frac{20}{50 \times 4\pi \cdot 10^6 \text{ rad/s} \times 100 \text{ pF}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = 159 \Omega \\ R_2 = 53 \Omega \\ R_3 = 15.9 \text{ k}\Omega \end{cases}$$



④ $\Delta_0 = 50 \Rightarrow \Delta_0 = 20 \log 50 = 34 \text{ dB}$

Filtro de 2º orden / 2nd order filter $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ Pendiente / slope -40 dB/dec for $f > 7f_0$

A la frecuencia del tercer armónico la función de transferencia habrá variado con respecto a Δ_0 :
At the frequency of the third harmonic, the transfer's function variation with respect to Δ_0 will be:

$$20 \log \frac{3}{20} = \Delta A - 40 \Rightarrow \Delta A = 29.55 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow |H(s)| = |H(j\omega)|_{\omega=3\omega_0} = 34 \text{ dB} - 29.55 \text{ dB} = 4.45 \text{ dB}$$

El filtro atenúa el tercer armónico de la señal (situado a $6\pi \text{ Hz}$) 29.55 dB con respecto a la ganancia a la frecuencia central.

The filter attenuates the third harmonic of the signal (located at $6\pi \text{ Hz}$) 29.55 dB with respect to the center frequency gain.

Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

Fecha _____

Curso _____

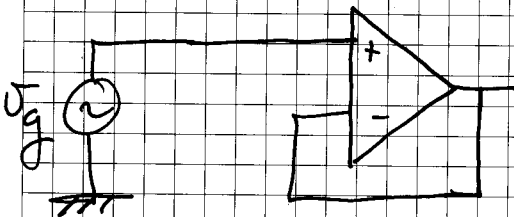
Grupo _____

CUESTIÓN 1

La definición del "slew rate" es:

$$SR = \left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max}$$

Para averiguar la frecuencia máxima para la que este parámetro no significará una limitación, se supone una tensión de entrada sinusoidal en la entrada del amplificador:



$$v_g = A \cdot \text{sen } \omega t$$

Por tanto:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} [A \cdot \text{sen } \omega t] = A \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max} = (A \cdot \omega)_{\max} = A \cdot \omega_{\max} = SR$$

Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

Fecha _____

Curso _____

Grupo _____

y de esta expresión se tiene:

$$A \cdot 2\pi f_{\max} = SR \rightarrow \boxed{f_{\max} = \frac{SR}{2\pi A}}$$

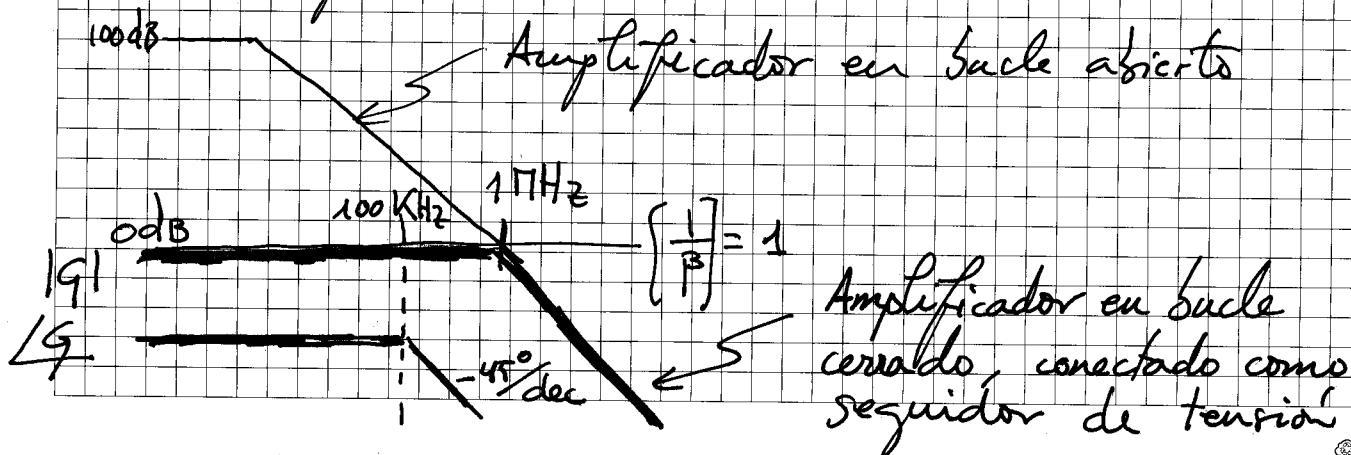
TENSIÓN DE GRAN SEÑAL : $\hat{V}_{in} = 3V$

$$f_{\max} = \frac{16 V/\mu s}{2\pi \cdot 3V} = 848 KHz$$

TENSIÓN DE PEQUEÑA SEÑAL

$$f_{\max} = \frac{16 V/\mu s}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 51 MHz$$

Por otro lado, el ancho de banda del amplificador operacional, también supone una limitación a la frecuencia máxima:





Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

Fecha _____

Curso _____

Grupo _____

Por tanto la frecuencia máxima que puede amplificar el seguidor de tensión sin que aparezca desfase en la salida son 100 KHz

	SR	f_{max}	ΔB
$\hat{V}_{in} = 3V$	848 KHz	100 KHz	
$\hat{V}_{in} = 50mV$	51 MHz	100 KHz	

CASO MAS DESFAVORABLE

$$f_{max} = 100 KHz$$

Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

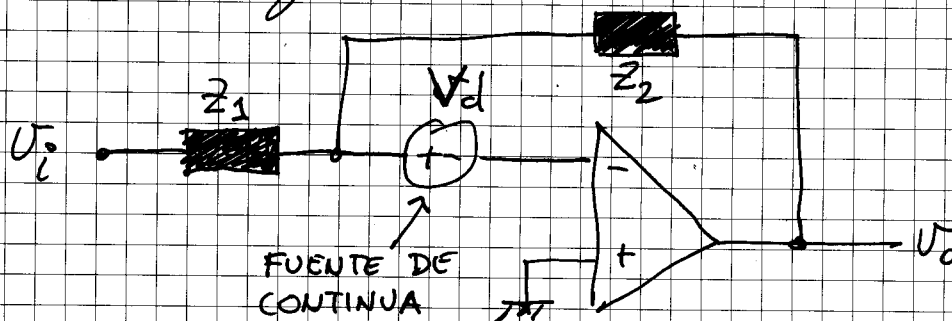
Fecha _____

Curso _____

Grupo _____

CUESTIÓN 2

El circuito de la figura C2.1 se modifica al tener en cuenta la tensión de desviación de la siguiente manera:

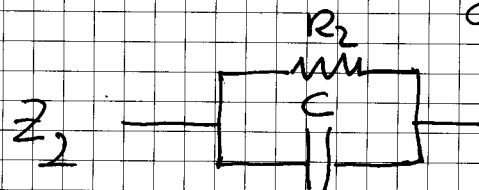


Este circuito responde a la expresión

$$V_o = -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot V_i + \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \cdot V_d$$

Ya que la tensión de desviación es continua, hay que analizar su efecto en continua y sin entrada: $V_i = 0$

Además en continua



se convierte en R_2



Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

Fecha _____

Curso _____

Grupo _____

Por tanto se tiene

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_d < \overset{V_{cc}}{15V} \text{ (tensión de alimentación)}$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} < \frac{V_{cc}}{V_d}$$

$$\frac{R_2}{R_1} < \frac{V_{cc}}{V_d} - 1$$

$$R_2 < R_1 \left[\frac{V_{cc}}{V_d} - 1 \right]$$

$$R_2 < 10 \text{ K}\Omega \left[\frac{15}{2 \cdot 10^{-6}} - 1 \right]$$

$$R_2 < 10 \text{ K}\Omega \cdot (7.5 \cdot 10^6)$$

R_2 sirve para que el operacional no se sature por el efecto de la tensión de derivación, dada la enorme ganancia en DC que presenta el integrador.