



PROBLEMA 1 PARTE A (45 minutos, 2 puntos)

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

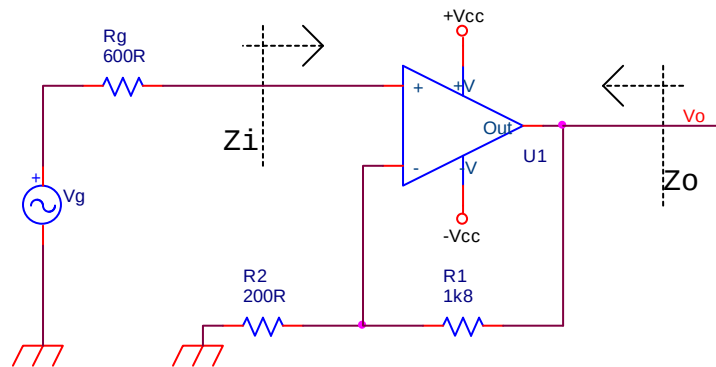


Figura 1

DATOS U1: $R_i=10^{12}\Omega$; $R_o=100\Omega$; $A_o=120\text{dB}$; $G_{\text{xBW}}=60\text{MHz}$;

Se pide que responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- 1) Dibuje el equivalente de pequeña señal para el circuito.
- 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 como modificaría el circuito para obtener un ganancia $G=V_o/V_g=1$ ¿Cómo afecta este cambio al ancho de banda?

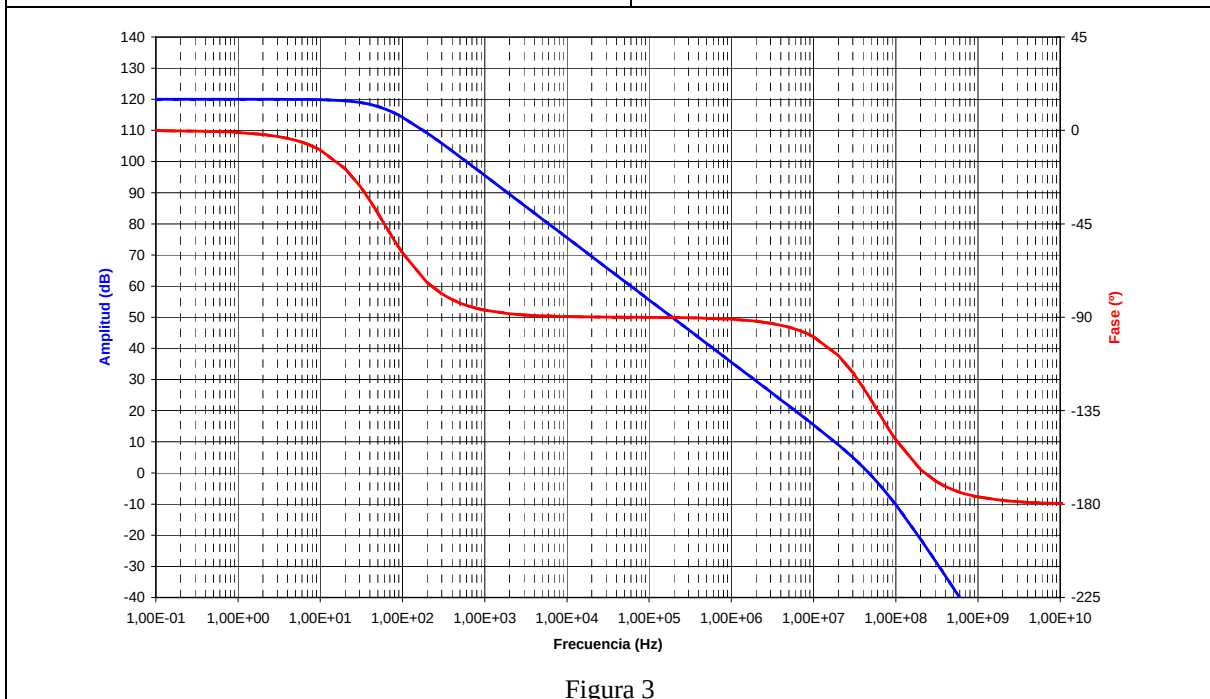
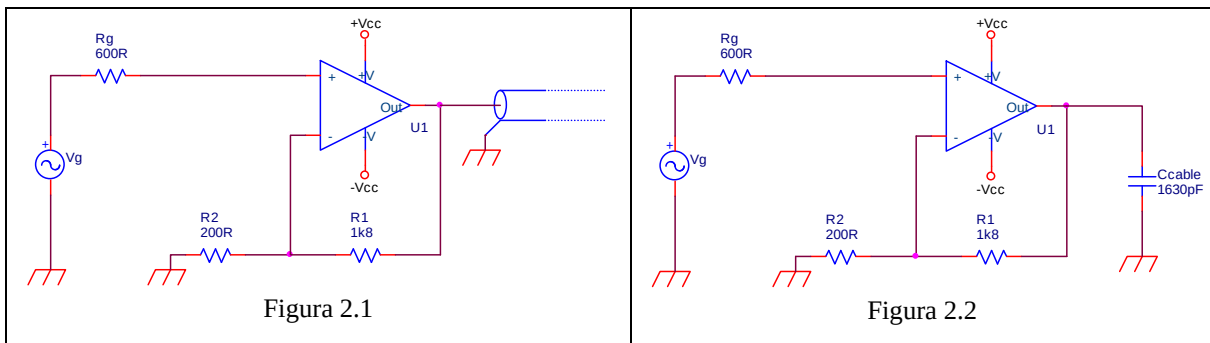


Universidad Carlos III de Madrid
INGENIERÍA INDUSTRIAL. 4^{or} CURSO
EXAMEN DE ELECTRÓNICA II

23-I-2010

PROBLEMA 1 PARTE B (45 minutos, 2 puntos)

El amplificador analizado en la parte A del problema se va a utilizar para transmitir la señal procedente de V_g por un cable coaxial (ver figura 2.1). A efectos de nuestro análisis, el cable se comporta como una capacidad, C_{cable} , que carga la salida del amplificador, tal como se muestra en la figura 2.2.



- 7) Dibuje el nuevo circuito equivalente para la red A' , considerando la capacidad parásita del cable, C_{cable} . Calcule el polo introducido en A' por la capacidad del cable.
- 8) A partir de este cálculo y teniendo en cuenta los dos polos del amplificador operacional, cuya respuesta en frecuencia en lazo abierto se da en la figura 3, obtenga la expresión completa de $A'(jf)$ y represéntela en el diagrama de Bode adjunto. Si no resolvió el apartado anterior, considere que el polo introducido en A' por C_{cable} está a una frecuencia de 1MHz.
- 9) Calcule el margen de fase con que opera el amplificador para $G=10$ y $G=1$. Comente los resultados.



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

23-I-2010

Se quiere mejorar el margen de fase con que opera el amplificador para $G=1$, para lo cual se introduce una resistencia R_c entre la salida del amplificador realimentado y el cable, tal como se muestra en la figura 4.

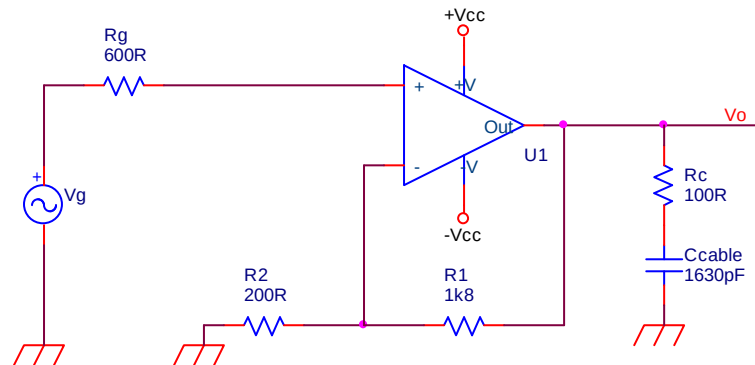


Figura 4

- 10) Calcule como se modifica la respuesta en frecuencia, $A_c'(jf)$ al introducir esta resistencia, dibujando el correspondiente diagrama de bode.
- 11) Obtenga el nuevo margen de fase para $G=1$, y calcule la frecuencia máxima que podremos transmitir por el cable.

Problema 2 (45 minutos, 2.5 puntos)

Para construir un inversor trifásico de bajo coste, que genere un sistema de corriente alterna trifásica a partir de unas baterías, se va a utilizar un inversor con modulación PWM trifásica. A tal efecto se necesita generar tres señales sinusoidales de 50 Hz desfasadas entre si 120°.

Dichas señales pueden generarse, de forma simple, mediante el oscilador trifásico de la figura P2.1.

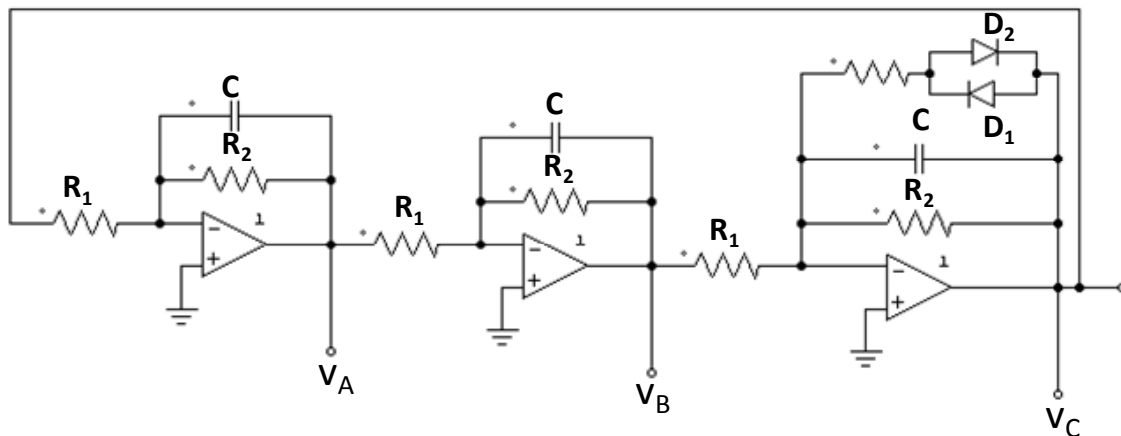


Figura P2.1

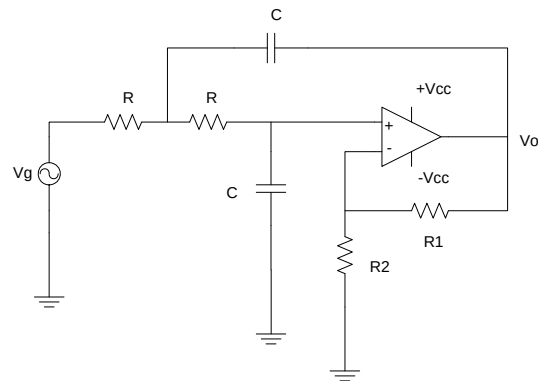
Se pide:

1. Calcular el valor de R_2 y C para que la frecuencia de las señales generadas sea 50Hz. Determinar primero la expresión teórica y después proponer un valor numérico razonable.
2. Calcular el valor de R_1 para que se pueda iniciar la oscilación. Determinar primero la expresión teórica y después proponer un valor numérico razonable.
3. Demostrar que el desfase entre las señales generadas, v_A , v_B , v_C , es 120°.
4. Justificar razonadamente para qué sirven los diodos D_1 y D_2 .



Problema 3 (45 minutos, 2.5 puntos)

En un circuito de adquisición de datos para instrumentación se ha detectado una interferencia senoidal de 1MHz. Queremos atenuar dicha interferencia de forma activa usando el filtro paso bajo de segundo orden tipo Sallen-Key de la figura P3.1.



$$H(s) = \frac{V_o}{V_g} = \frac{K \cdot \omega_o^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2} = \frac{K}{s^2 (RC)^2 + sRC(3-K) + 1}$$

Figura P3.1

Se pide:

1. Calcular la frecuencia de corte del filtro ω_o , su ganancia en continua K y su factor de calidad Q en función de los componentes pasivos del circuito R , C , R_1 y R_2 .
2. Determinar el factor de calidad del filtro y su ganancia en continua para amplificar 3dB a la frecuencia de corte.
3. Determinar la frecuencia de corte del filtro de forma que la potencia de entrada se vea atenuada 40dB a 1MHz.
4. Calcular C y R_1 suponiendo que $R_2=R=1k\Omega$.
5. Calcule cuál es el "Slew-Rate" en $V/\mu s$ mínimo que necesita el amplificador para obtener una onda senoidal sin distorsión a la salida del filtro cuando se aplica una onda senoidal de 1V de amplitud y 100KHz de frecuencia a la entrada del filtro. Para ello, tenga en cuenta el factor de ganancia en dicha frecuencia y use la siguiente aproximación:

$$\lim_{x \rightarrow 0} A \cdot \sin(x) \approx A \cdot x$$

6. Usando la ganancia en continua del filtro, determine el producto GBW mínimo que necesita su amplificador operacional. Si no ha calculado los apartados anteriores, suponga una ganancia en continua de 2 y la frecuencia de corte del filtro de 100kHz.



Cuestiones teóricas (30 minutos, 1 punto)

Q1. En el esquema de la Figura C1.1, la tensión V_d representa la tensión de desviación de un amplificador operacional real. La tensión de salida, V_o , dependerá por tanto no solo de la entrada, V_i , si no también de este efecto parásito del amplificador operacional. Calcule el valor de R_x que minimice el efecto de V_d sobre la tensión de salida, V_o .

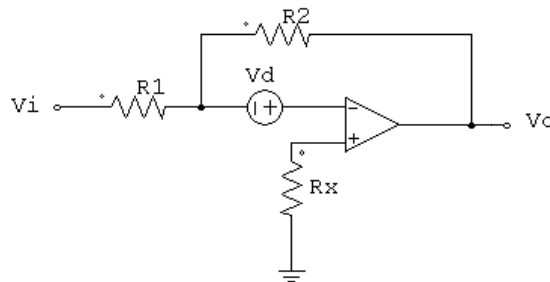


Figura C1.1

Q2. El amplificador operacional 1 tiene un condensador de compensación interno de valor $C_{\text{pequeño}}$ y el amplificador operacional 2 uno de valor C_{grande} , donde $C_{\text{pequeño}} < C_{\text{grande}}$.

- ¿Cuál tendrá un Slew Rate más rápido?
- ¿Cuál será más estable?

Justifica tus respuestas.

Q3. En un amplificador realimentado, ¿cuál es la ganancia de realimentación, β , más difícil de compensar? Justifica tu respuesta.

Q4. Considera un filtro con la siguiente función de transferencia:

$$T(s) = a_2 \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

- ¿Qué tipo de filtro representa?
- Determina su ganancia a baja frecuencia.
- Determina su ganancia a alta frecuencia.



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II

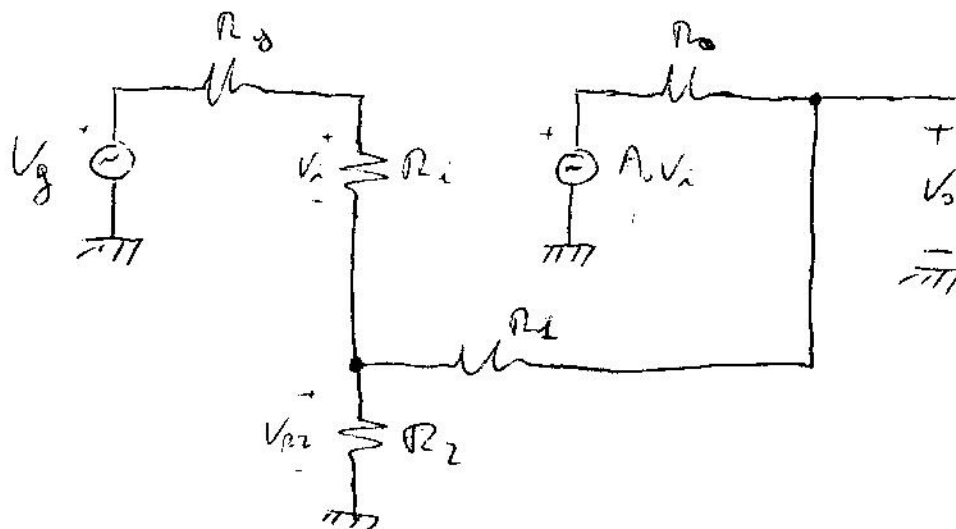
FECHA 23-01-10

APELLIDOS DEL ALUMNO SOL EXAMEN

NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-A

CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN INGENIERIA INDUSTRIAL

1) Equivalente de pequeña señal:



2)

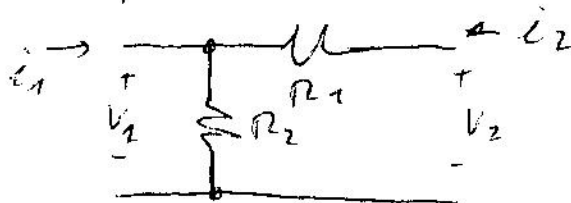
Real. Neg.: $V_o \uparrow \Rightarrow V_{R2} \uparrow \Rightarrow V_i \downarrow \Rightarrow A_v V_i \downarrow \Rightarrow V_o \downarrow$

Topología: PARALELO a la salida (muestra V)
SERIE a la entrada (entra V)

F. Transf.: TRANSFORMACION

P. Privilegiados: h

3) Red β :



E.C.E. $h_{11} = \frac{V_1}{i_1} \Big|_{V_2=0} = R_1 \parallel R_2$

E.C.S. $h_{22} = \frac{V_2}{i_2} \Big|_{i_1=0} = (R_1 + R_2)^{-1}$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

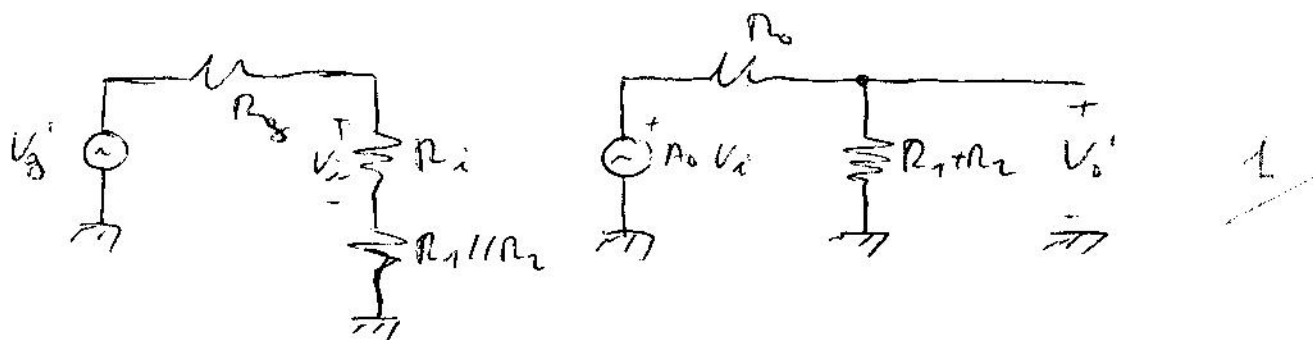
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-A

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

$\beta:$

$$h_{12} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{i_1=0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,1 \quad \underline{1}$$

Real A'



$$A'_v = \frac{V_o'}{V_g'}$$

$$V_o' = A_0 V_i \frac{R_1 + R_2}{R_0 + R_1 + R_2} \approx A_0 V_i \quad \underline{1}$$

$R_1 + R_2 = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_0 = 100 \Omega$

$A'_v \approx A_0 = 10^4 \text{ V/V}$ 1

$$V_i = V_g' \frac{R_i}{R_g + R_i + R_1 // R_2} \approx V_g' \quad \underline{1}$$

$R_g = 600 \Omega$
 $R_i = 10^{12} \Omega$
 $R_1 // R_2 = 180 \Omega$

$$Z_{in} = R_g + R_i + R_1 // R_2 \approx R_i = 10^{12} \Omega; \quad \underline{1}$$

$$Z_{out} = R_0 // (R_1 + R_2) \approx R_0 = 100 \Omega; \quad \underline{1}$$



SIGNATURA _____

FECHA _____

PELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-A

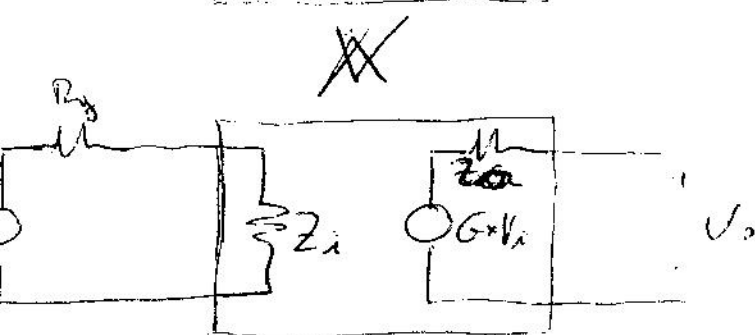
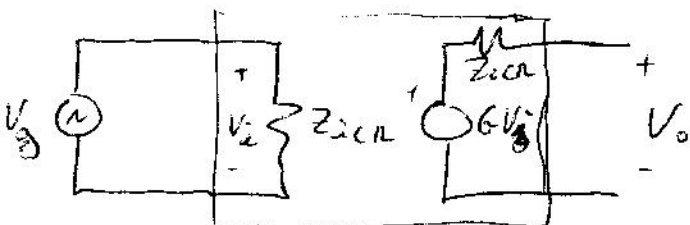
CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

1) $A_v \beta_v = 10^5 \gg 1$;

$$G_v = \frac{A_v}{1 + A_v \beta_v} \approx \frac{1}{\beta_v} = 10 ;$$

$$R_{icn} = Z_{in} (1 + A_v \beta_v) = 10^{11} \Omega ;$$

$$Z_{ocr} = Z_{os} / (1 + A_v \beta_v) = 1 \text{ m}\Omega ;$$



IDENTIFICANDO
TÉRMINOS:

$$Z_{icn} = R_g + Z_i$$

$$Z_{icn} \gg R_g \Rightarrow Z_i \approx Z_{icn} = 10^{11} \Omega$$

$$Z_{ocr} = Z_o = 1 \text{ m}\Omega$$

2) $G \times BW = 60 \text{ MHz}$;

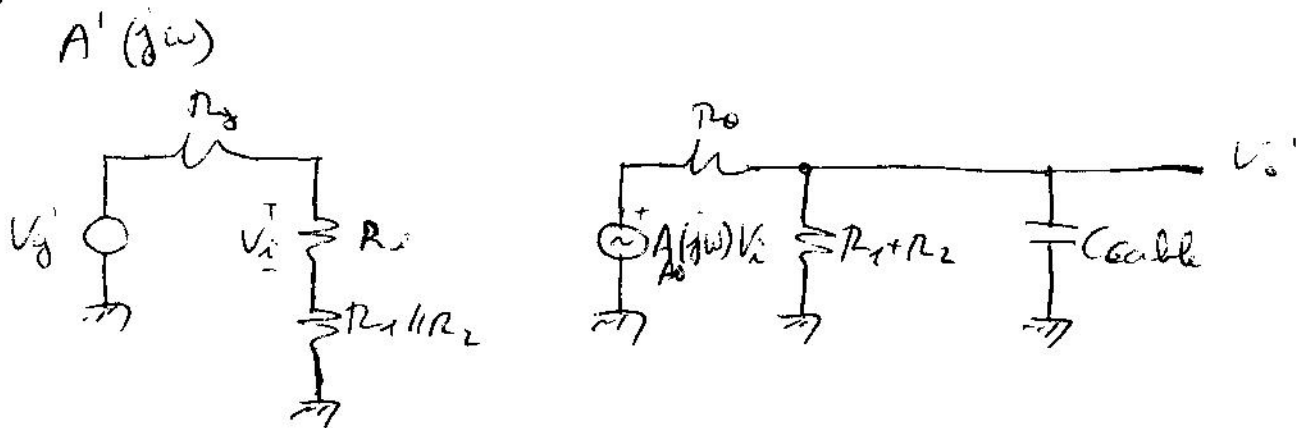
$$G = 10 \Rightarrow BW = 6 \text{ MHz} = \text{B.C.S.}$$

3) $G = 1 \Rightarrow \beta = 1 \Rightarrow R_1 = 0, R_2 = \infty$;

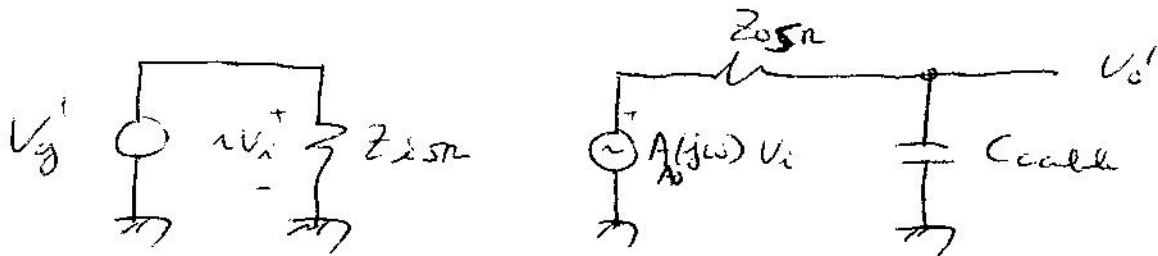


ASIGNATURA _____ FECHA _____
APELLIDOS DEL ALUMNO _____
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-B
CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

7)



De lo visto en el apdo 3, podemos simplificar este equivalente a:



$$(j\omega) \frac{V_0'}{V_{g'}} \approx A_0(j\omega) \cdot \frac{Z_{cable}}{Z_{0sn} + Z_{cable}} = A_0(j\omega) \frac{1/j\omega C_{cable}}{R_0 + 1/j\omega C_{cable}};$$

$$A'(j\omega) = A_0(j\omega) \frac{1}{1 + j\omega R_0 C_{cable}}$$

POLO INTRODUCIDO POR C_{cable} : $f_{PCABLE} = \frac{1}{2\pi R_0 C_{cable}}$



ASIGNATURA _____

FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-B

CURSO _____ GRUPO _____

TITULACIÓN _____

$$f_{p_{cable}} = 976 \text{ KHz} \approx 1 \text{ MHz}$$

8)

$$A'(jf) = A_{A0}(jf) \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_{p_{cable}}}}$$

$$A_{A0}(jf) = \frac{10^6}{\left(1 + j \frac{f}{60}\right) \left(1 + j \frac{f}{60 \cdot 10^6}\right)}$$

→ Gráficas en la figura 3

$$P_1 = 60 \text{ Hz (A.O.)}$$

$$P_2 = 1 \text{ MHz (p_{cable})}$$

$$P_3 = 60 \text{ MHz (A.O.)}$$

9)

$$\underline{G = 10} \Rightarrow \beta = 0,1$$

$$A'\beta = 0 \text{ dB} \Rightarrow A' = 20 \text{ dB} \Rightarrow \varphi_{A'=20\text{dB}} \approx -153^\circ \text{ (ver Bode)}$$

$$\varphi_{A'\beta} = \varphi_{A'} = -153^\circ \Rightarrow \text{M.F.} = 180 - 153 = 27^\circ$$

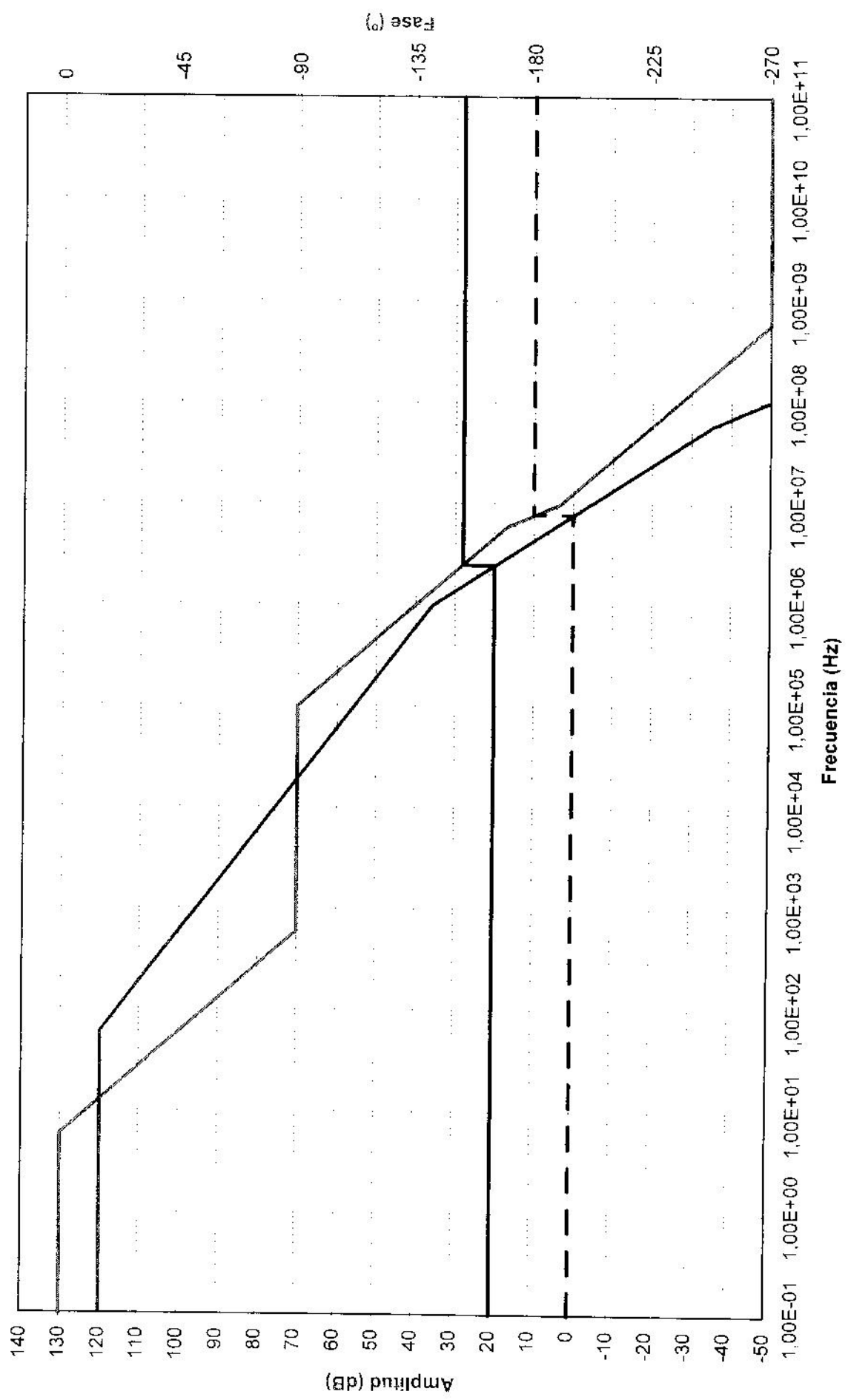
$$\underline{G = 1} \Rightarrow \beta = 1$$

$$A'\beta = 0 \text{ dB} \Rightarrow A' = 0 \text{ dB} \Rightarrow \varphi_{A'=0\text{dB}} \approx -180^\circ \text{ (ver Bode)}$$

$$\varphi_{A'\beta} = \varphi_{A'} = -180^\circ \Rightarrow \text{M.F.} = 0^\circ$$

Para $G = 10$, el amplificador es estable en M.F. = 27°

Para $G = 1$, el M.F. = $0^\circ \Rightarrow$ NO VALE.





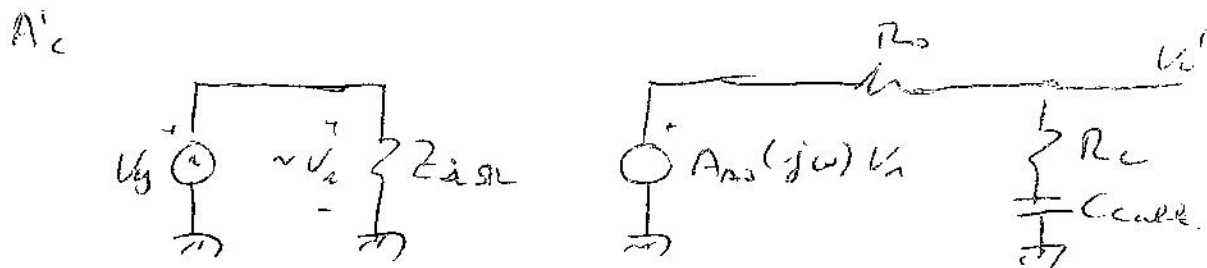
ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 1-B

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

10) Ahora, A'_c queda:



$$A'_c(j\omega) = \frac{V_s'}{V_g} = A_{A0}(j\omega) \frac{R_c + Z_{cable}}{R_o + R_c + Z_{cable}} =$$

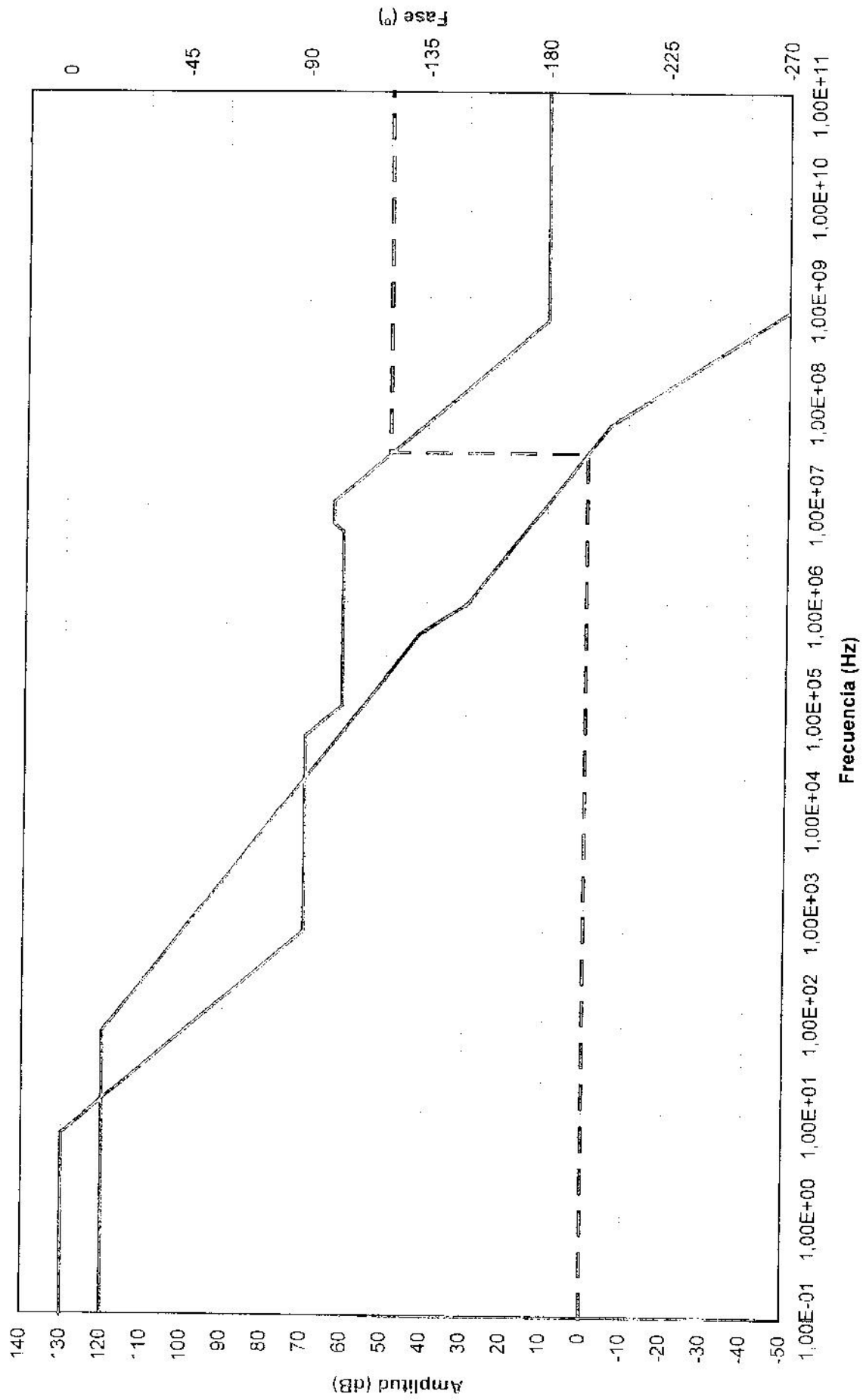
$$= A_{A0}(j\omega) \frac{R_c + \frac{1}{j\omega C_{cable}}}{R_o + R_c + \frac{1}{j\omega C_{cable}}} = \frac{1 + j\omega R_c C_{cable}}{1 + j\omega (R_o + R_c) C_{cable}} A_{A0}(j\omega)$$

$$A'_c(jf) = A_{A0}(jf) \frac{1 + j \frac{f}{f_{p2}}}{1 + j f / f_{p2}}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi (R_o + R_c) C_{cable}} \approx 0,5 \text{ MHz}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_c C_{cable}} \approx 1 \text{ MHz}$$

f_{p1} y f_{p3} a 60 Hz y 60 MHz , son los mismos de antes (los del A.O.)





ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

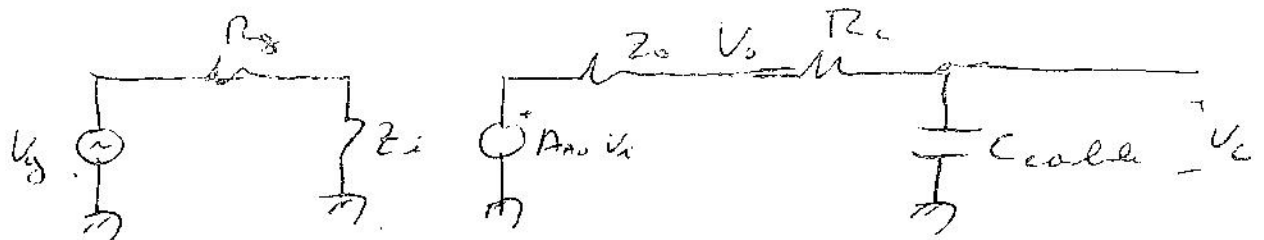
CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

11) $\underline{G = 1} \Rightarrow \beta = 1$

$$A'_c \beta = 0 \text{ dB} \Rightarrow A'_c = 0 \text{ dB} \Rightarrow \angle \varphi_{A'_c - 0 \text{ dB}} \approx -120^\circ$$

$$\varphi_{A'_c \beta} = -120 \text{ dB} \Rightarrow M.F. = 60^\circ$$

Ahora, el amplificador es estable en un margen de fase de 60° para $\beta=1$, pero el amplificador realimentado ya no es el factor que limita el ancho de banda:



El ancho de banda disponible en el cable (V_c) es aproximadamente:

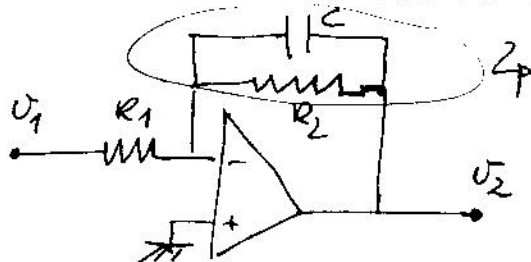
$$f_{c.s} = \frac{1}{2\pi R_c C_{cable}} \approx 1 \text{ MHz}$$



SOLUCIÓN PROBLEMA 2

Apartado 1

La función de transferencia de cada celda básica del oscilador se calcula a partir del siguiente circuito:



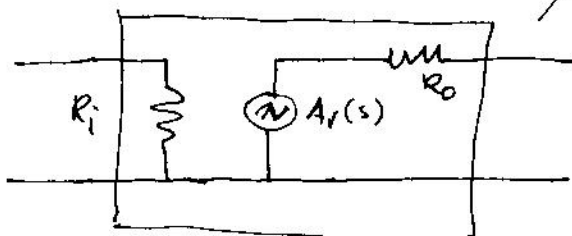
La impedancia paralelo Z_p que realimenta al A.Op. se calcula:

$$Z_p(s) = \frac{\frac{1}{C \cdot s} \cdot R_2}{\frac{1}{C \cdot s} + R_2} = \frac{R_2}{1 + R_2 C \cdot s}$$

La ganancia en bucle cerrado $\frac{U_2}{U_1} = A_v(s)$

$$\frac{U_2}{U_1}(s) = - \frac{Z_p(s)}{R_1} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + R_2 C s} = A_v(s)$$

Se puede considerar que cada celda en bucle cerrado se caracteriza por:



donde:

$$R_i \approx R_1 \neq 100k\Omega$$

$$R_o \approx 0 \leftarrow$$

$$A_v(s)$$

A.Op. con
realim. paralelo-paralelo



Escuela Politécnica Superior

Asignatura

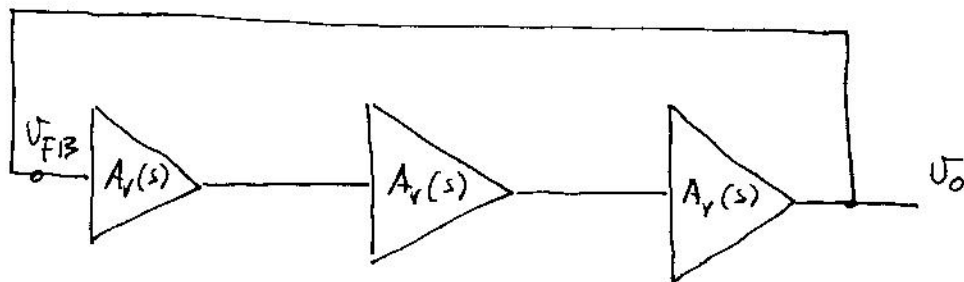
Nombre del Alumno

Fecha

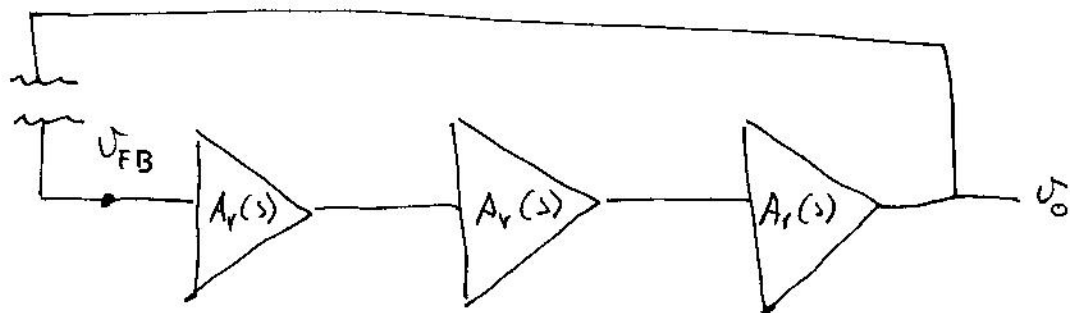
Curso

Grupo

Como $R_0 \approx 0$, la R_i de cada etapa no supone un efecto de carga para la anterior etapa, por tanto para el estudio de la ganancia del lazo se puede considerar:



y dado que no existen efectos de carga, se puede abrir el lazo tal como se muestra a continuación:



$$A \cdot \beta(s) = \frac{V_O(s)}{V_{FB}} = A_v(s) \cdot A_v(s) \cdot A_v(s) = [A_v(s)]^3$$

$$A \cdot \beta(s) = \left[-\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + R_2 C s} \right]^3$$

$$R_2 \cdot C = \frac{1}{\omega_p} = a$$



Escuela Politécnica Superior

Asignatura _____

Nombre del Alumno _____

Fecha _____ Curso _____ Grupo _____

Como valores numéricos:

$$R = 68 \text{ K}\Omega \Rightarrow C = \frac{\sqrt{3}}{2\pi \cdot 50 \cdot 68 \cdot 10^3} = \underline{\underline{81 \text{ nF}}}$$

Apartado 2

Para imponer la condición de arranque o inicio de la oscilación, se utiliza la condición de Barkhausen de módulo:

$$|A \cdot \beta(j\omega_0)| \geq 1$$

$$\begin{aligned} \left| -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \cdot \frac{1}{(1+j\omega_0)^3} \right| &= \left| -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \cdot \frac{1}{1-3a^2\omega_0^2 + j\underbrace{(3a\omega_0 - a^3\omega_0^3)}_0} \right| = \\ &= \left| -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \cdot \frac{1}{1-\underbrace{3a^2\omega_0^2}_3} \right| = \left| -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \cdot \frac{1}{1-3 \cdot 3} \right| = \\ &= \left| \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \cdot \frac{1}{8} \right| = \frac{1}{8} \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \geq 1 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\frac{R_2}{R_1} \geq 2}}$$



Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha

Curso

Grupo

Del apartado anterior : $R_2 = 68 \text{ K}\Omega$
por tanto sirve $R_1 = 30 \text{ K}\Omega$

Apartado 3

Se trata de calcular cual es la fase de cada una de las tres celdas que componen el oscilador:

$$A_v(j\omega_0) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+jR_2C\omega_0} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+ja\omega_0}$$

De la condición de fase se obtiene:

$$a^2\omega_0^2 = 3 \Rightarrow a\omega_0 = \sqrt{3}$$

por tanto:

$$1+ja\omega_0 = 1+j\sqrt{3} = 2 \cdot e^{j60^\circ} \text{ en polares o módulo y fase.}$$

La fase de A_v será por tanto:

$$\cancel{A_v(j\omega_0)} = \frac{R_2}{R_1} \cdot e^{j180} \cdot 2 \cdot e^{-j60} \Rightarrow \angle A_v(j\omega_0) = \underline{\underline{120^\circ}}$$



Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha

Curso

Grupo

Este resultado matemático, podría deducirse por simple simetría: si entre las tres celdas conectadas en cascada imponen una fase total de 360° , cada una de ellas aportará 120° al conjunto.

Apartado 4

Los diodos D_1 y D_2 junto con la resistencia que se conecta en serie con ellos, conforman la red que estabiliza la amplitud de la oscilación.

La resistencia no lineal de los diodos junto con la R_s (resistencia en serie con ellos) consigue que la ganancia de la celda de salida varíe en función de la amplitud de la oscilación,

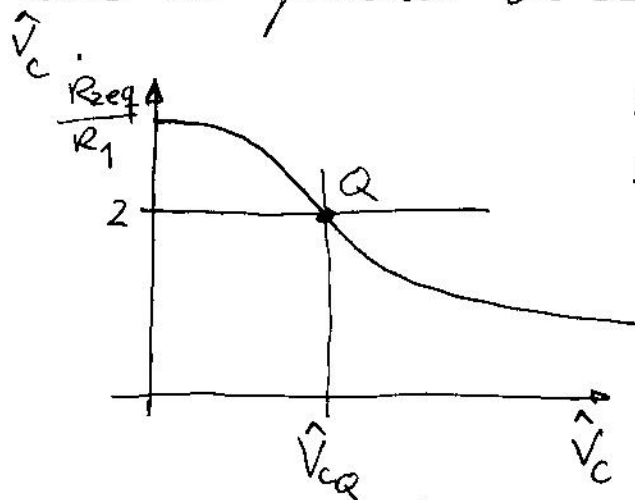


FIGURA 1

La ganancia de la celda de salida será:

$$A_{r_c} = \frac{R_{2eq}}{R_1}$$



Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

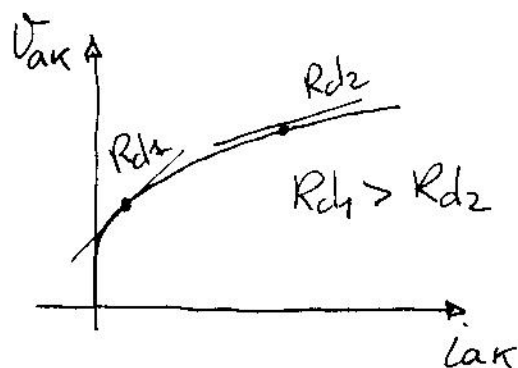
Fecha

Curso

Grupo

donde R_{2eq} será:

$$R_2 \parallel R_S + R_{diodo}$$



Dado que la ecuación característica de un diodo presenta una pendiente o resistencia dinámica decreciente en función de la corriente ánodo-cátodo (a mayor corriente, menor resistencia dinámica), si aumenta la amplitud de la oscilación, aumentará la corriente de los diodos (uno para cada semiciclo) y en consecuencia R_{2eq} disminuirá.

Por tanto la ganancia $A_v = \frac{R_{2eq}}{R_1}$ presenta una forma como la de la Figura 1.

En el arranque la oscilación será nula $\hat{V}_c = 0$ y A_v es > 2 . El oscilador arrancará y conforme $\hat{V}_c$ se incrementa la ganancia irá decreciendo hasta encontrar un equilibrio en el punto Q.

SOLUCION PROBLEMA 3 – ENERO 2010- ELECTRONICA II (4º ING. INDUSTRIAL)

1) Igualando términos:

$$\omega_0 = 1/(RC) \quad \text{y} \quad Q = 1/(3-K)$$

Y analizando el circuito en DC ($Z_C = 1/(j\omega) \rightarrow \infty$), todos los condensadores se comportan como un circuito abierto, obteniendo un amplificador no inversor:

$$V_g = V_o * R_2 / (R_1 + R_2) \Rightarrow K = V_o / V_g = 1 + R_1 / R_2$$

Y sustituyendo en Q:

$$Q = R_2 / (2 * R_2 - R_1)$$

$$2) 20 * \log_{10}(|H(j\omega_0)|) = 3\text{dB} \Rightarrow |H(j\omega_0)| = 10^{(3/20)} \text{ V/V}$$

$$|H(j\omega_0)| = |K * \omega_0^2 / ((j\omega_0)^2 + \omega_0 / Q * j\omega_0 + \omega_0^2)| = K * Q = K / (3 - K) = 10^{(3/20)}$$

$$\Rightarrow K = 3 * 10^{(3/20)} / (1 + 10^{(3/20)}) \Rightarrow K = 1.76$$

$$Q = 1/(3 - K) \Rightarrow Q = 0.8$$

3) Supongamos que $f_1 = 1\text{MHz} \gg f_0$, ya que el filtro atenúa 40dB, por lo que al menos estará una década por encima (un filtro de segundo orden atenúa 40dB/dec por encima de f_0)

$$20 * \log_{10}(|H(j\omega_1)|) = -40\text{dB} \Rightarrow |H(j\omega_1)| = 10^{(-40/20)} = 0.01 \text{ V/V}$$

$$|H(j\omega_1)| \approx |K * \omega_0^2 / (j\omega_1)^2| = K * \omega_0^2 / \omega_1^2 = 0.01 \Rightarrow \omega_0 = \omega_1 * (0.01/K)^{(0.5)}$$

$$\Rightarrow f_0 = 1\text{MHz} * (0.01/1.76)^{0.5} \Rightarrow f_0 = 75.4\text{KHz}$$

(También se puede calcular calculando el módulo completo, o usando el Bode asintótico)

$$4) f_0 = 1/(2 * \pi * R * C) \Rightarrow C = 2.1 \text{ nF}$$

$$K = 1 + R_1 / R_2 \Rightarrow R_1 = 760\Omega$$

$$5) \omega_2 = 2 * \pi * 100\text{KHz} \Rightarrow |H(j\omega_2)| = 0.96 \text{ V/V} \approx 1 \text{ V/V}$$

$$V_g = 1 * \sin(\omega_2 * t) \Rightarrow V_o = 1 * \sin(\omega_2 * t + \phi) \Rightarrow \lim_{t \rightarrow 0} V_o \approx \omega_2 * t + \phi \quad (\text{zona de pendiente máxima})$$

$$S_{Rmin} = dV_o / dt = \omega_2 \Rightarrow S_R > 0.63\text{V}/\mu\text{s}$$

6) Considerando la realimentación negativa del amplificador operacional, $GBW = K * f_0$ asegura una ganancia constante durante el ancho de banda del filtro. Si se desea mantener la característica de fase del filtro, sería recomendable situar el GBW una década por encima $GBW = 10 * K * f_0$. Con los datos suministrados en el problema, $GBW = 2\text{MHz}$, con los datos calculados en los apartados anteriores $GBW = 1.3\text{MHz}$

Solución cuestiones

Q1. En el esquema de la Figura C1.1, la tensión V_d representa la tensión de desviación de un amplificador operacional real. La tensión de salida, V_o , dependerá por tanto no solo de la entrada, V_i , si no también de este efecto parásito del amplificador operacional. Calcule el valor de R_x que minimice el efecto de V_d sobre la tensión de salida, V_o .

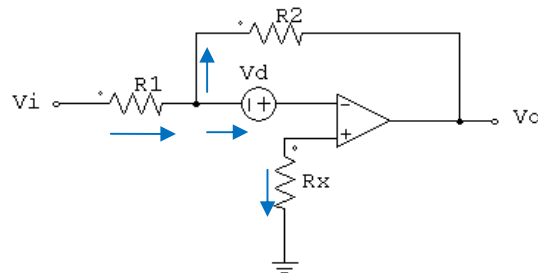


Figura C1.1

A1. Asumiendo que las corrientes de polarización de entrada son iguales para las entradas positiva y negativa del operacional, el efecto de V_d en la salida se puede calcular (poniendo la entrada a masa para evaluar exclusivamente el efecto parásito) como:

$$\frac{V_d}{R_x} = -\frac{V_d}{R_x} - \frac{V_d - V_o}{R_x}$$
$$V_o = -R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_x} \right) V_d$$

Por tanto, el efecto de V_d en la tensión de salida se puede minimizar haciendo:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_x = R_1 \parallel R_2$$

Q2. El amplificador operacional 1 tiene un condensador de compensación interno de valor $C_{c\text{pequeño}}$ y el amplificador operacional 2 uno de valor $C_{c\text{grande}}$, donde $C_{c\text{pequeño}} < C_{c\text{grande}}$.

- ¿Cuál tendrá un Slew Rate más rápido?
- ¿Cuál será más estable?

Justifica tus respuestas.

A2.

- El amplificador operacional 1 tendrá un slew rate más rápido. El slew rate es la máxima tasa de cambio que un amplificador operacional puede presentar a su salida. La velocidad de cambio que la segunda etapa de un amplificador operacional está limitada fundamentalmente por el

proceso de carga y descarga del condensador de compensación. Por tanto, cuanto menor sea C_c , más grande será el slew rate.

- b. El amplificador operacional 2 será más estable. Cuanto mayor sea el condensador de compensación más pequeña será la frecuencia del polo dominante $\Rightarrow$ el circuito será más estable (pagando una precio en velocidad).

Q3. In a feedback amplifier, what is the feedback gain β that is most difficult to compensate? Justify your answer.

A3. $\beta = 1$, que corresponde a la configuración de ganancia unidad. En ese caso, la curva de la ganancia de lazo $L(\omega)$ es igual a la respuesta en frecuencia en lazo abierto. Cuanto menor sea β mayor serán los márgenes de fase y ganancia ($L(\omega)$ cruzará los 0 dB en un punto en el que el retardo de fase será menor).

Q4. Considera un filtro con la siguiente función de transferencia:

$$T(s) = a_2 \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

- a. ¿Qué tipo de filtro representa?
- b. Determina su ganancia a baja frecuencia.
- c. Determina su ganancia a alta frecuencia.

A4.

- a. Es la función de transferencia de un filtro paso alto de segundo orden.
- b. $T(s)|_{s \rightarrow 0} = 0$
- c. $-T(s)|_{s \rightarrow \infty} = a_2$