

EXAMEN CONVOCATORIA ORDINARIA, FEBRERO

Duración del examen: 4 **horas**

ELECTRÓNICA II, 4º

INGENIERÍA INDUSTRIAL

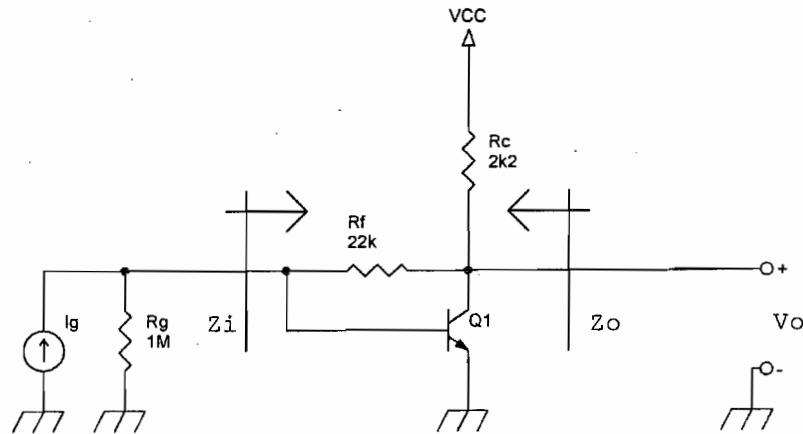
CURSO 2006 – 2007

14 de febrero de 2007

- ENTREGUE CADA UNO DE LOS SEIS EJERCICIOS EN JUEGOS DE HOJAS SEPARADAS
- ENTREGUE TAMBIÉN LAS PÁGINAS 4, 6 y 9 DE ESTE CUADERNILLO PONIENDO SU NOMBRE Y APELLIDOS EN CADA UNA DE ELLAS

PROBLEMA 1.-

En el amplificador realimentado de la figura, se pretende obtener un ancho de banda de 10MHz.



DATOS: $V_{CC}=3,3V$; $h_{FE}=100$; $V_T=25mV$; V_A (tensión de Early)=100V; $V_{BE}=0,7V$; $C_{\mu}=2,5pF$

Se pide que responda razonadamente a las siguientes cuestiones:

- 1) Calcule el punto de trabajo (I_{CQ} , V_{CEQ}) del transistor Q1.

Si no resolvió el apartado anterior, en lo que sigue suponga $I_{CQ1}=1mA$.

- 2) Represente el circuito equivalente de pequeña señal a frecuencias medias del amplificador. Demuestre que hay realimentación negativa. Identifique la topología e indique qué función de transferencia estabiliza y cuáles son los parámetros privilegiados.
- 3) Obtenga los circuitos equivalentes de las redes A' y β .
- 4) Calcule los valores de V_o/i_g , Z_o y Z_i .
- 5) Calcule el ancho de banda del amplificador.
- 6) Indique cómo modificaría el circuito para alcanzar el ancho de banda necesario de 10MHz. Calcule los valores de los componentes que modifique o añada.

PROBLEMA 2.-

Considérese un amplificador operacional, cuya respuesta en frecuencia en bucle abierto ($|A|_{dB}, \angle A$) se muestra en la figura 1. Para dicho amplificador se pide:

1. Determinar la frecuencia del polo dominante con el que se debería compensar el amplificador, de forma que para cualquier red de realimentación, β , que pudiera considerarse, se obtenga al menos un margen de fase : $M_F = 60^\circ$. (Dibújense los resultados sobre la figura 1).
2. Determinar la frecuencia del polo dominante con el que se debería compensar el amplificador, de forma que para cualquier red de realimentación, β , que pudiera considerarse, se obtenga al menos un margen de ganancia: $M_G = 20$ dB. (Dibújense los resultados sobre la figura 2).
3. Para el nuevo amplificador compensado según lo especificado en el apartado 2, determinar el valor de la red de realimentación, β , de manera que la ganancia en bucle cerrado del amplificador realimentado sea de 40 dB. Dibujar el diagrama de Bode asintótico de la respuesta en frecuencia en bucle cerrado del nuevo amplificador. (Dibújense los resultados sobre la figura 2).
4. Determinar las frecuencias del par polo - cero, que permiten que el amplificador resulte incondicionalmente estable con un margen de fase mínimo de: $M_F = 60^\circ$. ¿Cuánto se ha incrementado el ancho de banda respecto del caso descrito en el apartado 1? En caso afirmativo, ¿se relaciona este incremento con las características del amplificador de partida? (Dibújense los resultados sobre la figura 3)

Problema 2.- Apellidos:

Nombre:

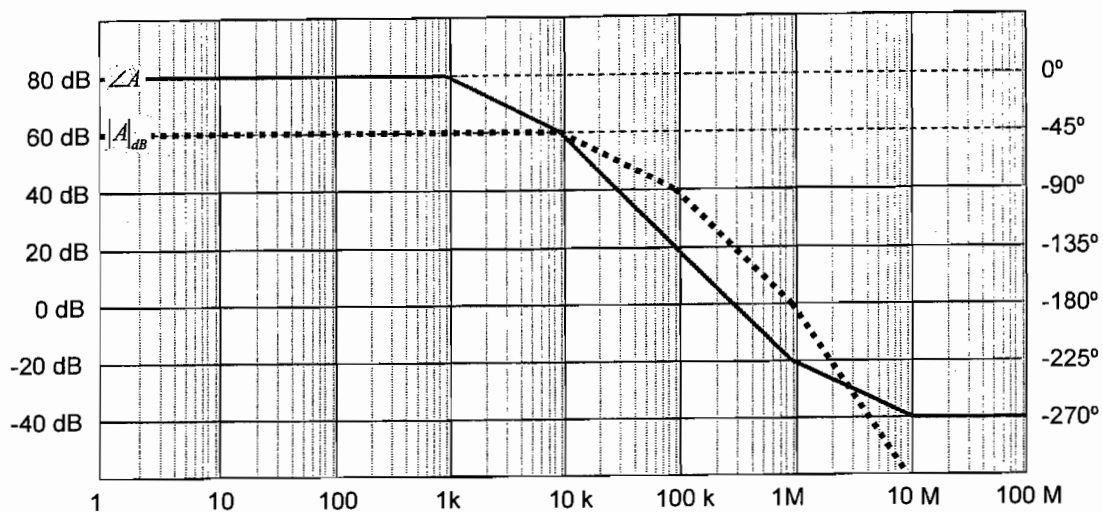


Figura 1

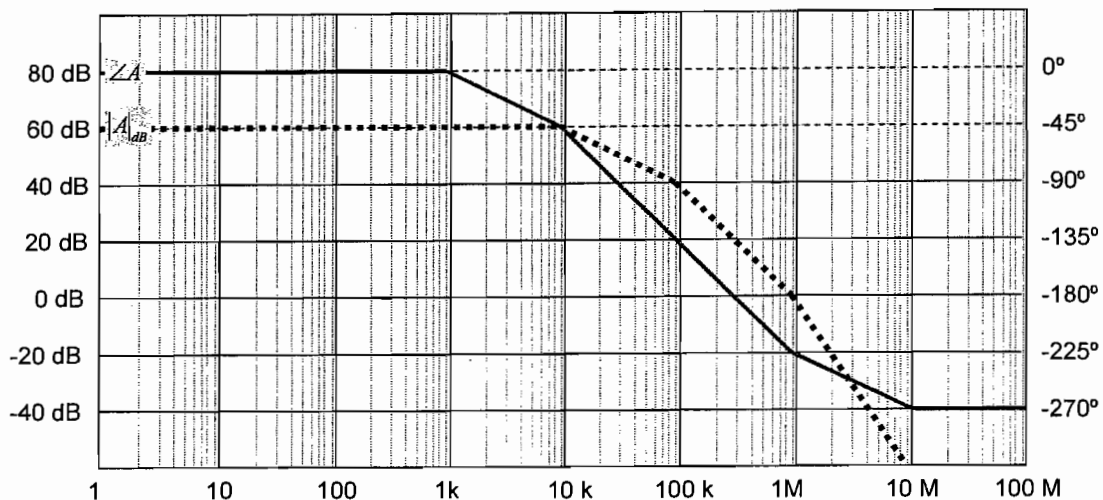


Figura 2

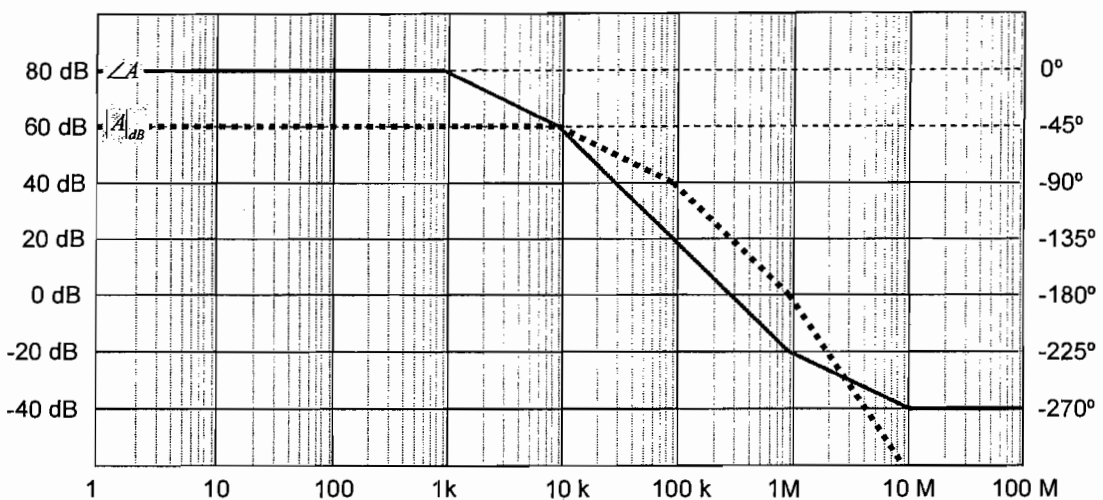
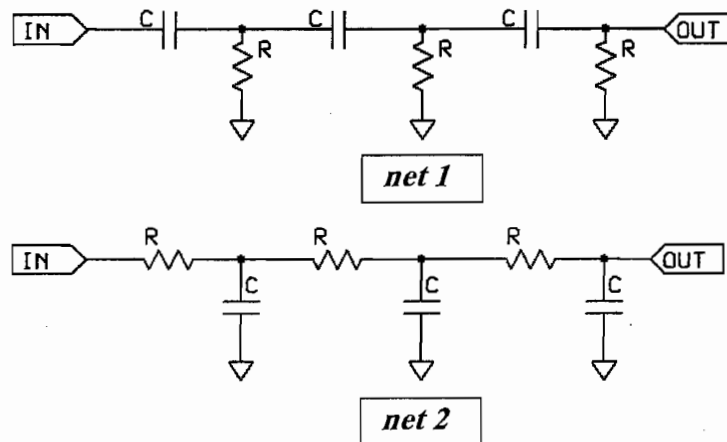


Figura 3

PROBLEMA 3.-

Estamos intentando construir un oscilador RC por desplazamiento de fase. No recordamos muy bien la estructura de la red de realimentación del oscilador, pero sabemos que esta compuesto por tres resistencias y tres condensadores. Se nos ha ocurrido que hay dos formas de conectarlos, pero no tenemos idea de qué opción nos vale y cual no. Estas dos alternativas son las siguientes:



Responda a las siguientes cuestiones:

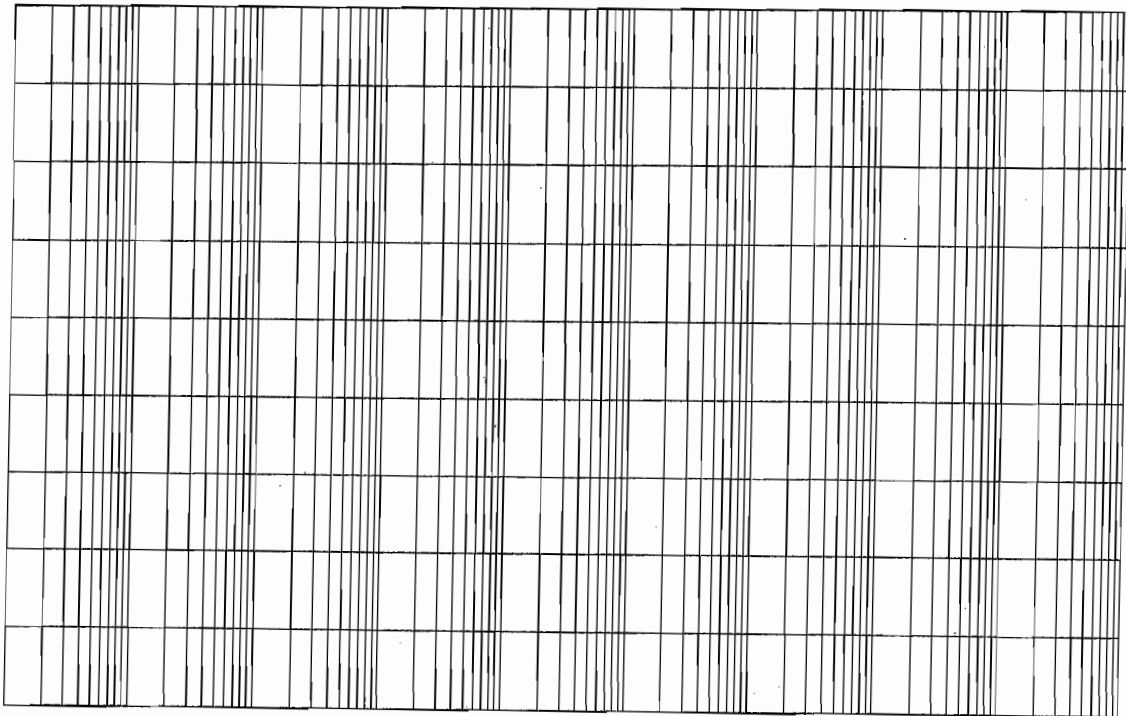
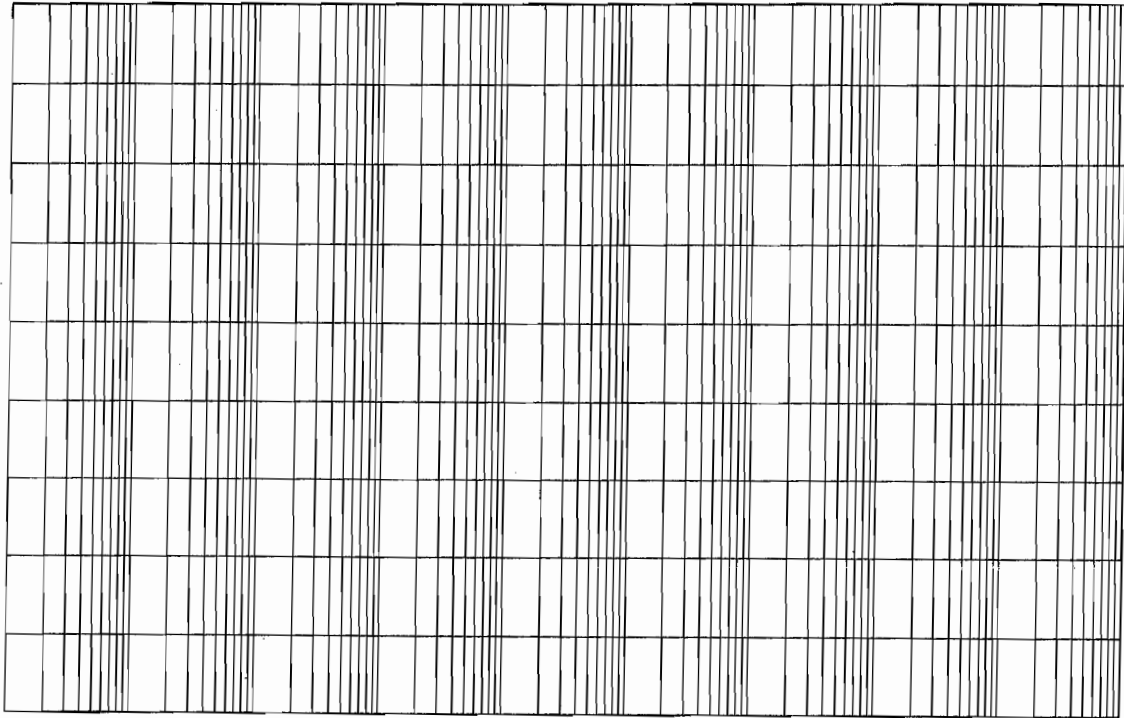
1. Analice ambas redes, calculando su función de transferencia, y justifique cuál de ellas puede utilizarse como red de realimentación en un oscilador. Justifique la frecuencia de oscilación que establece.
2. Para las redes que puede utilizarse como red de realimentación en un oscilador, dibuje el diagrama de bode.
3. Utilizando un Amplificador Operacional, diseñe el circuito amplificador para las redes de realimentación analizadas en el apartado anterior. Justifique la elección realizada, así como la ganancia necesaria.

NOTA: En una red RC en escalera en las que las tres R son iguales, y en la que los tres C son también iguales, puede utilizar la expresión:

$$\frac{V_e(s)}{V_o} = \frac{1}{\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right)^3 + 5\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right)^2 + 6\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right) + 1}$$

Problema 3.- Apellidos:

Nombre:



PROBLEMA 4.-

En un sistema de recepción de ondas de radio se requiere la obtención de la componente fundamental de la señal periódica recibida. Dicha señal presenta un armónico principal en 100 kHz. Se plantea la necesidad de realizar un filtro pasa-banda activo, con banda estrecha (ancho de banda inferior a 2 kHz). La señal filtrada deberá amplificarse en 100 veces. Después de consultar la documentación se obtienen tres posibilidades que incluyen el circuito a montar y la función de transferencia del mismo, Figura 1.

	$H(s) = \frac{(1 + \frac{R_b}{R_a})}{R^2 C^2 s^2 + s \left[2RC - RC \frac{R_b}{R_a} \right] + 1}$
	$H(s) = \frac{(1 + \frac{R_b}{R_a}) s^2 R^2 C^2}{R^2 C^2 s^2 + s \left[2RC - RC \frac{R_b}{R_a} \right] + 1}$
	$H(s) = \frac{-(1 + \frac{R_a}{R_b}) s RC}{R^2 C^2 s^2 + s \left[2RC - RC \frac{R_a}{R_b} \right] + 1}$

Figura 1

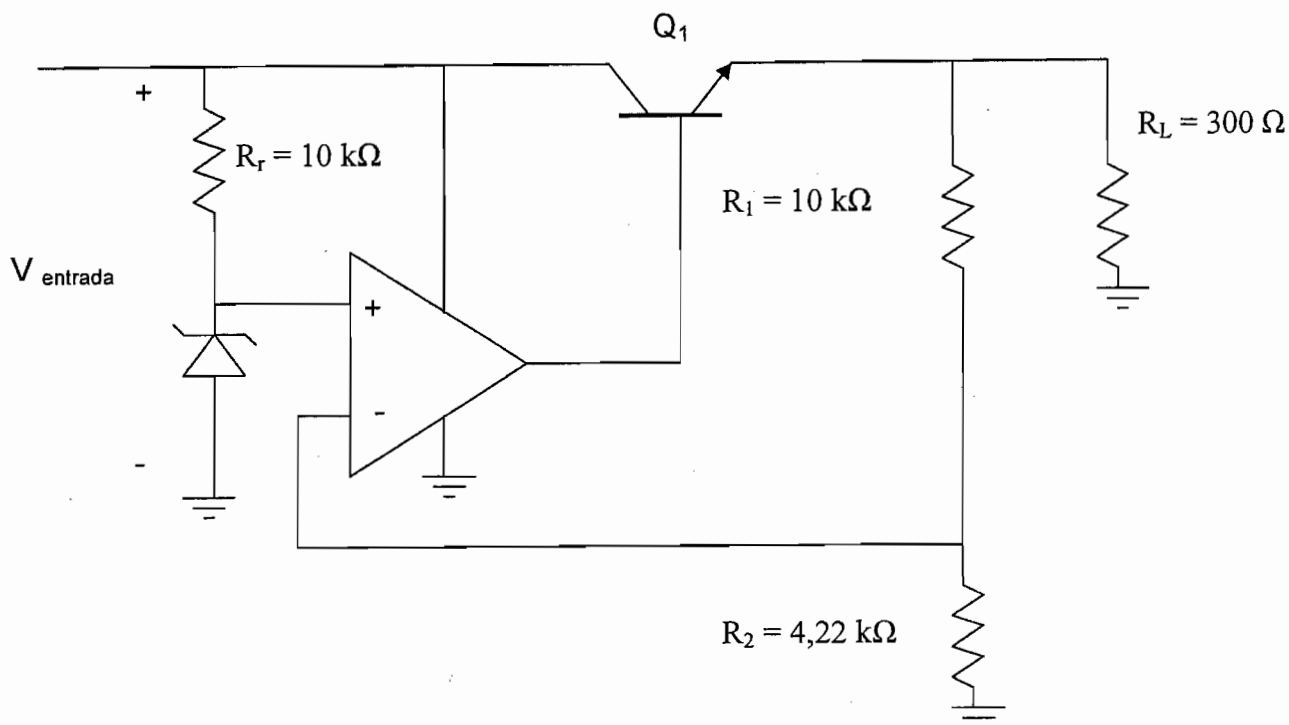
Se pide

- Seleccione uno de los filtros mostrados en la Figura 1. Justifique su elección en un máximo de tres líneas.
- Indique el orden del filtro elegido. Calcule los polos y los ceros de la función de transferencia y dibuje el lugar de las raíces.
- Calcular la expresión de la frecuencia de resonancia (f_0)
- Determine la expresión de los parámetros del filtro: ganancia en la banda pasante, ancho de banda y factor Q^1 en función de R , C , R_a y R_b
- Determine el valor de R , C , R_a y R_b para conseguir los objetivos propuestos en el enunciado.

¹ Si no conoce la expresión de Q , tome $Q = f_0/(f_2 - f_1)$

PROBLEMA 5.-

El circuito de la figura representa una fuente de alimentación lineal.



Considerando la siguiente información:

- La tensión de entrada, V_{entrada} , tiene un rizado triangular de 100 Hz, con una tensión pico a pico de 2 V y un valor medio de 20 V.
- El diodo zéner presenta una tensión de ruptura de 4,4 V.

Se pide:

- 1.- Explique brevemente el tipo de realimentación que se utiliza en este circuito (**máximo** 10 líneas de texto), justificando su respuesta.
- 2.- Dibuje la tensión de entrada.

Sólo en el caso de que no consiga dibujar la tensión de entrada, considere un valor constante de 20 V para los siguientes apartados.

- 3.- Calcule y dibuje la tensión de salida, medida sobre la resistencia R_L .
- 4.- Calcule las tensiones máxima y mínima entre colector y emisor que soporta el transistor Q_1 .
- 5.- Obtenga la corriente de emisor del transistor Q_1 .
- 6.- Calcule las potencias disipadas por el transistor Q_1 :
Máxima,
Mínima y
Media.
- 7.- Obtenga la potencia disipada en la carga.
- 8.- Utilizando valores medios de la corriente y de la tensión en todos los cálculos obtenga el rendimiento del convertidor expresado como el cociente entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

NOTA: Realice las aproximaciones que considere adecuadas.

Apellidos:

Nombre:

PROBLEMA 6.-

1. Conecte la fuente de alimentación, el generador y el osciloscopio de manera adecuada al amplificador no inversor de la figura 1 para alimentar el circuito y medir experimentalmente el Slew-rate y el ancho de banda.

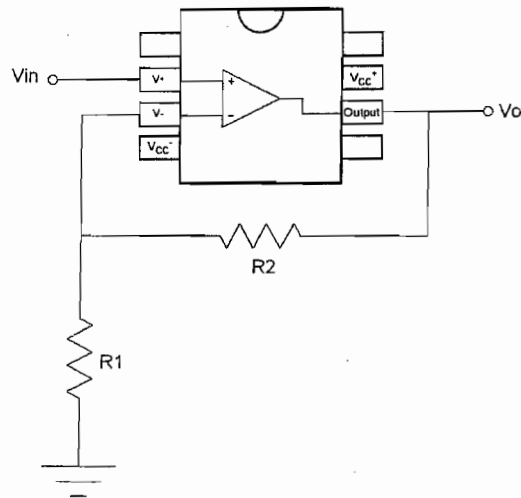
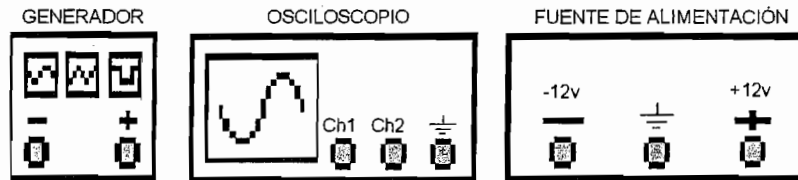


Figura 1

2. Explique en el siguiente espacio como medir experimentalmente el ancho de banda (indique que forma de onda utilizaría en el generador).
3. Explique en el siguiente espacio como medir experimentalmente el Slew-rate (indique que forma de onda utilizaría en el generador).



35
35

ASIGNATURA ELECTRÓNICA II

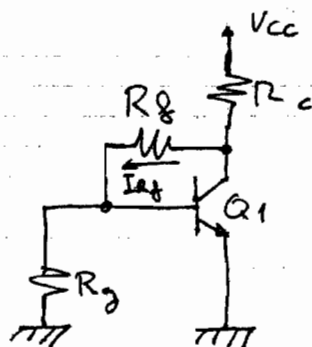
FECHA FEB 2007

APELLIDOS DEL ALUMNO

NOMBRE DEL ALUMNO SOLUCIÓN PROBLEMA 1

CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

1) PUNTO DE TRABAJO DE Q1:



$$\frac{V_{CC} - V_{CEQ1}}{R_C} = I_{CQ1} + I_{R_2}$$

$$I_{R_2} = I_{BQ1} + \frac{V_{BEQ1}}{R_2}$$

Dado $I_{BQ1} = I_{CQ1} / h_{FE}$ y $R_2 = 1M\Omega$,
asumo:

$$I_{CQ1} + I_{R_2} \approx I_{CQ1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_{CC} - V_{BEQ1}}{R_C} \approx I_{CQ1} \quad (1)$$

Por otro lado:

$$V_{CEQ1} = V_{BEQ1} + I_{R_2} \cdot R_2 = V_{BEQ1} + R_2 \left(\frac{I_{CQ1}}{h_{FE}} + V_{BE1} \frac{R_2}{R_2} \right)$$

$$V_{CEQ1} = V_{BEQ1} \left(1 + \frac{R_2}{R_2} \right) + I_{CQ1} \frac{R_2}{h_{FE}} \approx 1$$

Substituyendo en (1):

$$I_{CQ1} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ1}}{R_C + \frac{R_2}{h_{FE}}} = 1,07 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ1} = V_{BEQ1} + I_{CQ1} \frac{R_2}{h_{FE}} = 0,94 \text{ V}$$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

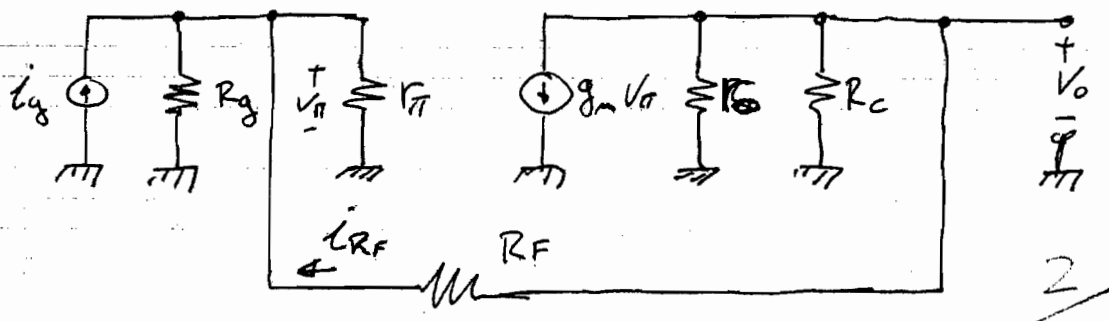
NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

Comprobar que en efecto R_D

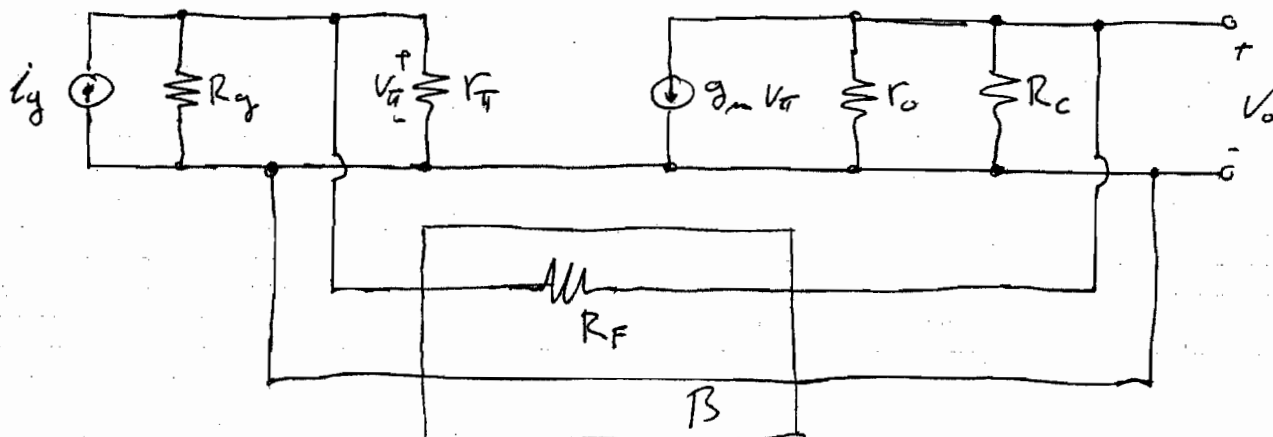
$$\frac{V_{BEQ1}}{R_g} = 0,7 \mu A \ll I_{CQ1}$$

2) Cto. EQ. PEQUEÑA SEÑAL:



$$V_o \uparrow \Rightarrow V_{\pi} \uparrow \Rightarrow g_m V_{\pi} \uparrow \Rightarrow V_o \downarrow \Rightarrow \exists \text{ REAL. NEG.}$$

La topología es paralelo - paralelo,
para verlo más fácil podemos ~~redibujar~~
polar el circuito como:





ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

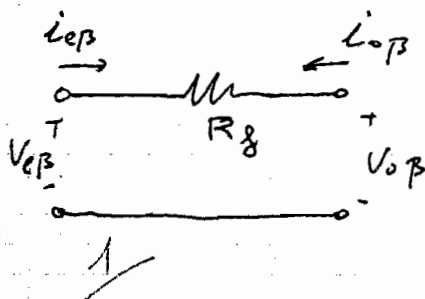
1/ TOPOLOGÍA: PARALELO A LA SALIDA (MUESTREO V)
PARALELO A LA ENTRADA (REAL. i)

1/ FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: TRANSIMPEDANZA

1/ PARÁMETROS PRIVILEGIADOS: PARÁMETROS Y , ya que son los que representan los cuadripolos A y B como elementos en II .

3)

RED β :



$$1/ y_{11} = \left. \frac{i_{e\beta}}{V_{e\beta}} \right|_{V_{o\beta}=0} = \frac{1}{R_g}; \quad \text{EFECTO DE CARGA A LA ENTRADA}$$

$$1/ y_{22} = \left. \frac{i_{o\beta}}{V_{o\beta}} \right|_{V_{e\beta}=0} = \frac{1}{R_g}; \quad \text{EFECTO DE CARGA A LA SALIDA}$$

$$1/ y_{12} = \left. \frac{i_{e\beta}}{V_{o\beta}} \right|_{V_{e\beta}=0} = -\frac{1}{R_g} = \underline{\underline{\beta_y}}$$

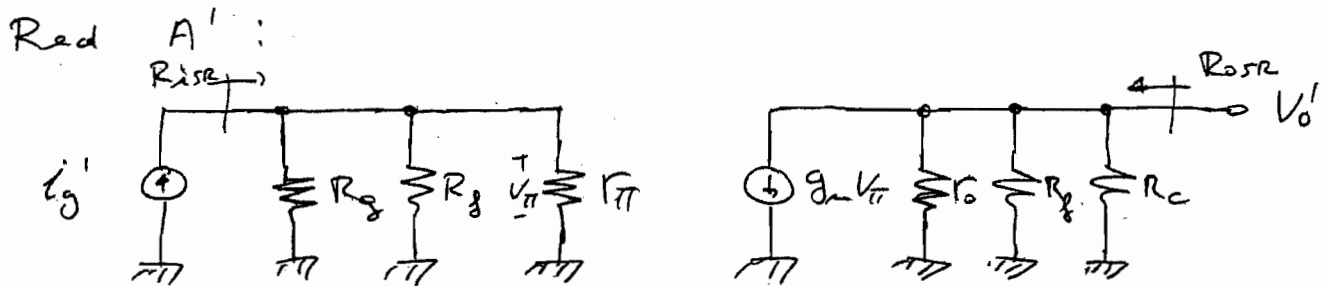


ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____



$$A'_2 = \frac{V_o'}{I_{g'}}$$

$$V_o' = -g_m V_{\pi} (r_o \parallel R_g \parallel R_c);$$

$$V_{\pi} = I_{g'} \cdot (R_g \parallel R_g \parallel r_{\pi});$$

$$A'_2 = -g_m (r_o \parallel R_g \parallel R_c) \cdot (R_g \parallel R_g \parallel r_{\pi})$$

$$g_m = \frac{I_{CQ1}}{V_T} = 42,8 \text{ mA/V};$$

$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ1}} = \frac{V_T \cdot h_{FE}}{I_{CQ1}} = 2,34 \text{ k}\Omega;$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_{CQ1}} = 93,5 \text{ k}\Omega;$$

$$r_o \parallel R_g \parallel R_c \approx R_g \parallel R_c = 2 \text{ k}\Omega;$$

$$R_g \parallel R_g \parallel r_{\pi} \approx R_g \parallel r_{\pi} = 2,1 \text{ k}\Omega;$$

$$A'_2 = -181 \text{ k}\Omega$$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

$$R_{isR} = R_g \parallel R_f \parallel r_{\pi} \approx R_g \parallel r_{\pi} = 2,1 \text{ k}\Omega$$

1/

$$R_{osR} = r_o \parallel R_c \parallel R_f \approx R_c \parallel R_f = 2,0 \text{ k}\Omega$$

1/

4)

PARA EL AMPLIFICADOR REALIMENTADO:

$$G_z = \frac{V_o}{i_g} = \frac{A'_z}{1 + A'_z \beta_f} = -19,6 \text{ k}\Omega$$

1/

$$1 + A'_z \beta_f = 1 + \frac{A'_z}{R_g} = 9,2$$

1/

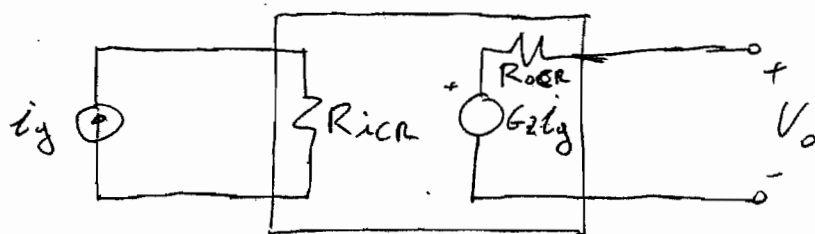
$$R_{icR} = \frac{R_{isR}}{1 + A'_z \beta_f} \approx 230 \Omega;$$

1/

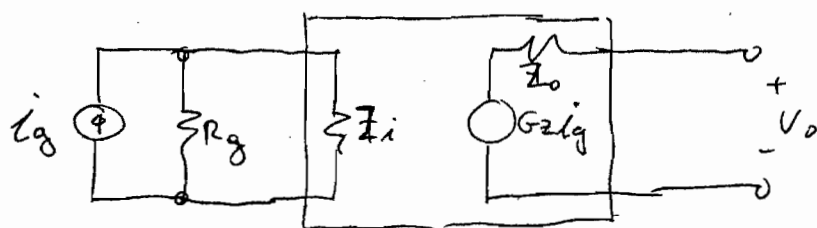
$$R_{ocR} = \frac{R_{osR}}{1 + A'_z \beta_f} \approx 220 \Omega;$$

1/

He calculado esto:



Las impedancias que me piden son:





ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

Por inspección:

$$\boxed{Z_o = R_{OCR} = 220 \Omega} \quad 1/$$

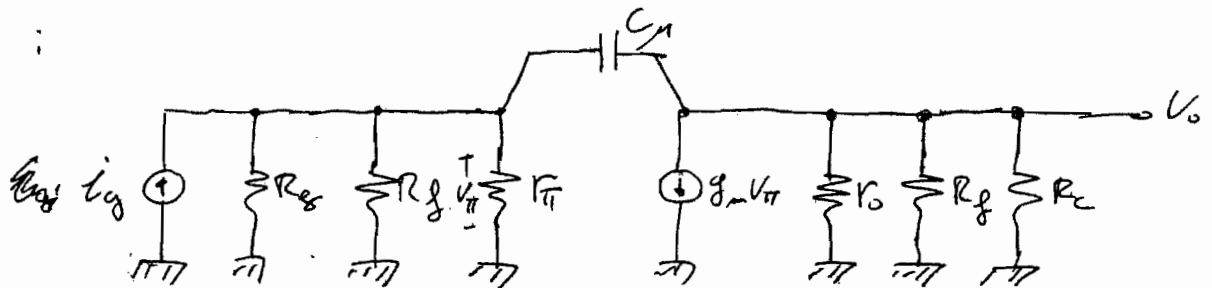
$$\left. \begin{array}{l} R_g // Z_i = R_{OCR} \\ R_g = 1 M\Omega ; \\ R_{OCR} = 230 \Omega \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{Z_i \approx R_{OCR} = 230 \Omega} \quad 2/$$

5)

El circuito está acoplado a DC, luego

$$f_{ci} = 0 ;$$

f_{cs} vendrá dada por C_M en la red A' :



Calculamos la constante de tiempo a circuito abierto asociada a C_M anulando el generador independiente de la entrada y calculando la impedancia que ve C_M .

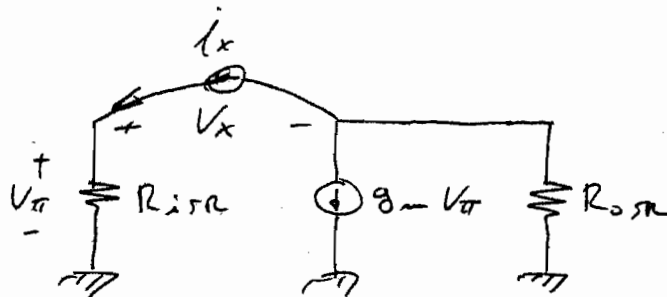


ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____



$$R_{po} = \frac{V_x}{i_x};$$

$$V_x = V_{pi} - (- (g_m V_{pi} + i_x) R_{osn}) = V_{pi} (1 + g_m R_{osn}) + i_x R_{osn}$$

$$i_x R_{ism} = V_{pi};$$

$$R_{po} = R_{osn} + R_{ism} (1 + g_m R_{osn}) = A'_2 + R_{ism} + R_{osn};$$

$$R_{po} \approx 185 \text{ K}\Omega$$

$$f'_{c.s.} = \frac{1}{2\pi R_{po} C_n} \approx 344 \text{ KHz};$$

Ésta es la frecuencia de corte superior de la red A'_2 (sin realimentación). Al realimentar:

$$f_{c.s.} = f'_{c.s.} (1 + A'_2 \beta_f) \approx 3,2 \text{ MHz}$$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

6) Modificar el circuito para obtener $f_{c.s.} = 10 \text{ MHz}$.

Según sabemos, la realimentación negativa en amplificadores con un polo dominante nos permite intercambiar ancho de banda y ganancia modificando 1 el valor de β :

$$f_{c.s.} = (1 + A'_z \beta_y) f'_{c.s.} \Rightarrow 1 + A'_z \beta_y = \frac{f_{c.s.}}{f'_{c.s.}} = 29 \Rightarrow$$

$$A'_z \beta_y = 28 \Rightarrow \beta_y = \frac{28}{A'_z} \text{ i } \underline{1}$$

Para conseguir el ancho de banda necesario, tengo que modificar β_y , esto es, R_f :

$$\boxed{R'_f = -\frac{1}{\beta_y} = \frac{-A'_z}{28} = \frac{181 \text{ K}\Omega}{28} = \underline{6,5 \text{ K}\Omega}} \underline{2}$$

Nota: esta solución es aproximada, ya que presupone que el cambio en la red β_y tiene un efecto despreciable en A'_z y $f'_{c.s.}$. En rigor, debería comprobar que esto es así (no se pedía en el examen, pero lo incluimos aquí para dar una solución completa)



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

COMPROBACIÓN:

$$R_g' = 6,5 \text{ k}\Omega \Rightarrow$$

$$R_{in} \approx 1,7 \text{ k}\Omega ;$$

$$R_{os} \approx 1,7 \text{ k}\Omega ;$$

$$A_z' \approx -121 \text{ k}\Omega$$

$$1 + A_z' \beta_T = 1 + \frac{121}{6,5} = 18,6$$

$$\text{Además, } f_{cs}' = 510 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow f_{c.s.} \approx 10 \text{ MHz}$$

Al disminuir R_g , el efecto de carga de β sobre A es mayor y A_z' disminuye, con lo que el valor de A/β obtenido es menor que el teóricamente esperado. (19,6 frente a 29).

No obstante, al disminuir A_z' también disminuye el valor de R_{po} , de modo que f_{cs}' es mayor (510 kHz frente a 344).

SOLUCIÓN PROBLEMA 2

Apartado 1

El caso más desfavorable es $\beta = 1$.

Si se quiere que $M_F = 60^\circ$:

$$\angle A_{\text{COMPENSADO}} \cdot \beta|_{f=f_{\text{SOL}}} = -180^\circ + M_F \Rightarrow \angle A \cdot \beta|_{f=f_{\text{SOL}}} - 90^\circ = -180^\circ + M_F \Rightarrow$$

$$\angle A|_{f=f_{\text{SOL}}} = -90^\circ + M_F \Rightarrow \angle A|_{f=f_{\text{SOL}}} = 30^\circ$$

De aquí se determina f_{SOL} , que además ha de ser la frecuencia para la que el amplificador compensado alcanza los 0dB.

Para frecuencias inferiores a f_{SOL} , aplicando la condición $G \times \Delta B = \text{cte.}$ se tiene:

$$f_{\text{SOL}} \times 1 = f_{\text{PD}} \times 1000$$

Por tanto la frecuencia del polo dominante resulta: $f_{\text{PD}} = 4\text{Hz}$

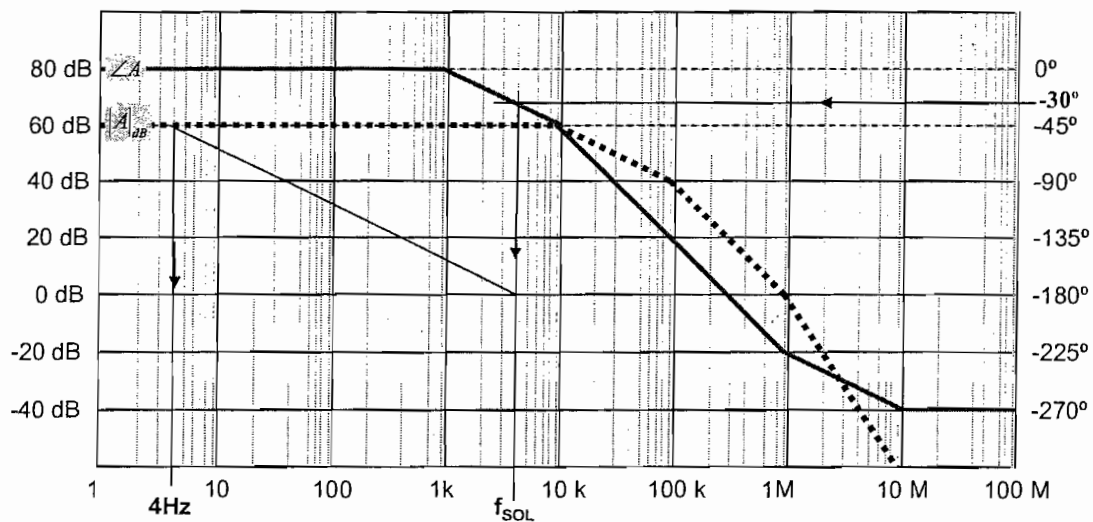


Figura 1

Apartado 2

El caso más desfavorable es $\beta = 1$.

Si se quiere que $M_G = 20\text{ dB}$:

$$\angle A_{\text{COMPENSADO}} \cdot \beta|_{f=f_{\text{SOL}}} = -180^\circ \Rightarrow \angle A \cdot \beta|_{f=f_{\text{SOL}}} - 90^\circ = -180^\circ \Rightarrow$$

$$\angle A|_{f=f_{\text{SOL}}} = -90^\circ$$

De aquí se determina f_{SOL} . Para esta frecuencia se sabe que:

$$|A_{\text{COMPENSADO}} \cdot \beta| = -M_G$$

en el caso del enunciado:

$$|A_{\text{COMPENSADO}} \cdot \beta| = -20\text{dB}$$

Por tanto, para frecuencias inferiores a f_{SOL} el Bode de amplitud de $A_{\text{COMPENSADO}}$ presenta dos polos: el polo dominante y el primero polo (f_{p1}). De esta forma, partiendo del punto (f_{SOL} , -20dB), para frecuencias inferiores a f_{SOL} , el trazado del diagrama de Bode vendrá dado por una pendiente de -40dB/dec entre f_{p1} y f_{SOL} y por una pendiente de -20 dB/dec entre f_{p1} y f_{PD} . (frecuencia del polo dominante).

Por tanto la frecuencia del polo dominante resulta: $f_{\text{PD}} = 10\text{Hz}$.

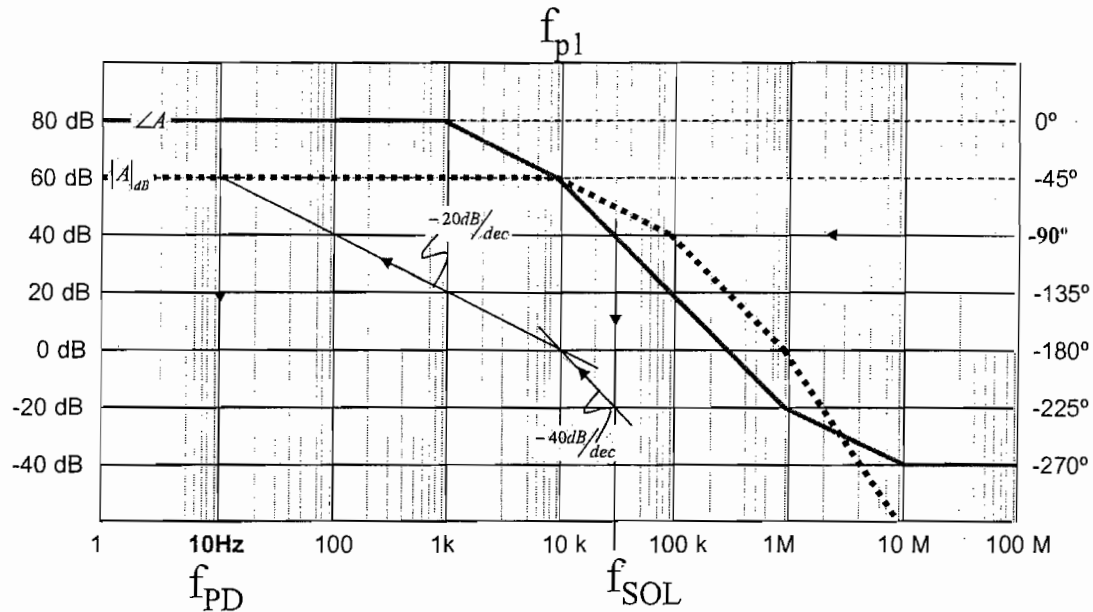


Figura 2

Apartado 3

Para cualquier amplificador realimentado y en general para cualquier sistema realimentado, se cumple que la ganancia en bucle cerrado, G , cumple:

$$G = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \begin{cases} \text{Si } A \gg \frac{1}{\beta} \Rightarrow A \cdot \beta \gg 1 \Rightarrow G \approx \frac{1}{\beta} \\ \text{Si } A \ll \frac{1}{\beta} \Rightarrow A \cdot \beta \ll 1 \Rightarrow G \approx A \end{cases}$$

Por tanto el trazado del diagrama de Bode asintótico para la respuesta en frecuencia del amplificador en lazo cerrado, vendrá dada por $(1/\beta)_{dB}$ hasta que $(1/\beta)_{dB} = A_{dB}$ y a partir de esta frecuencia (f_C) por A_{dB} . La fase en bucle cerrado, comenzará a caer a partir de $0,1 \times f_C$.

Para los datos del problema, a frecuencias inferiores a f_C , se tiene:

$$G_{dB} = (1/\beta)_{dB} = 40dB \Rightarrow G = 100 \Rightarrow \beta = 0,01$$

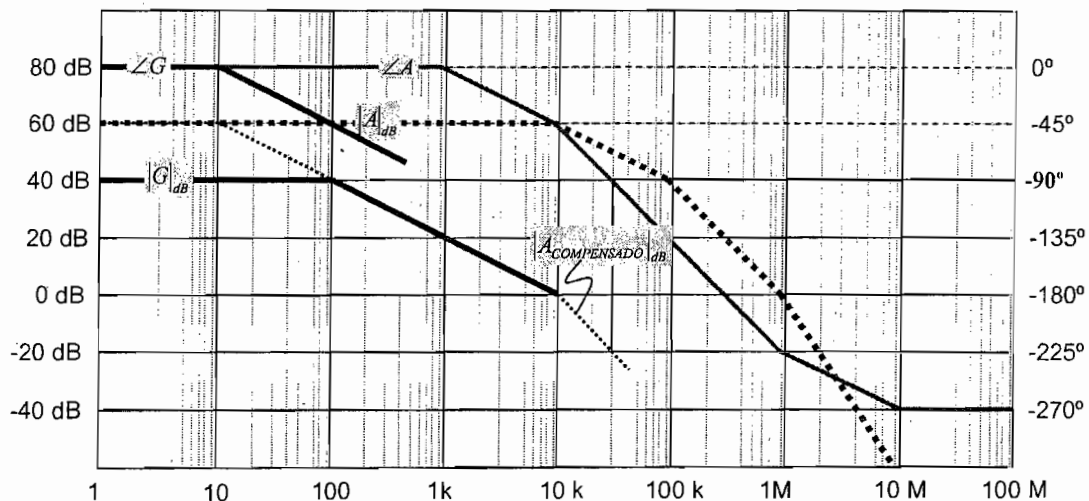


Figura 3

Apartado 4

La compensación polo-cero anula el primer polo con un cero. Además, el polo que se añade hace las veces de polo dominante. En la figura 4 se ha trazado el diagrama de Bode del amplificador compensado. Aplicando, sobre este nuevo diagrama de Bode, la técnica descrita en el apartado 2, se llega a: $f_{PD} = 40\text{Hz}$.

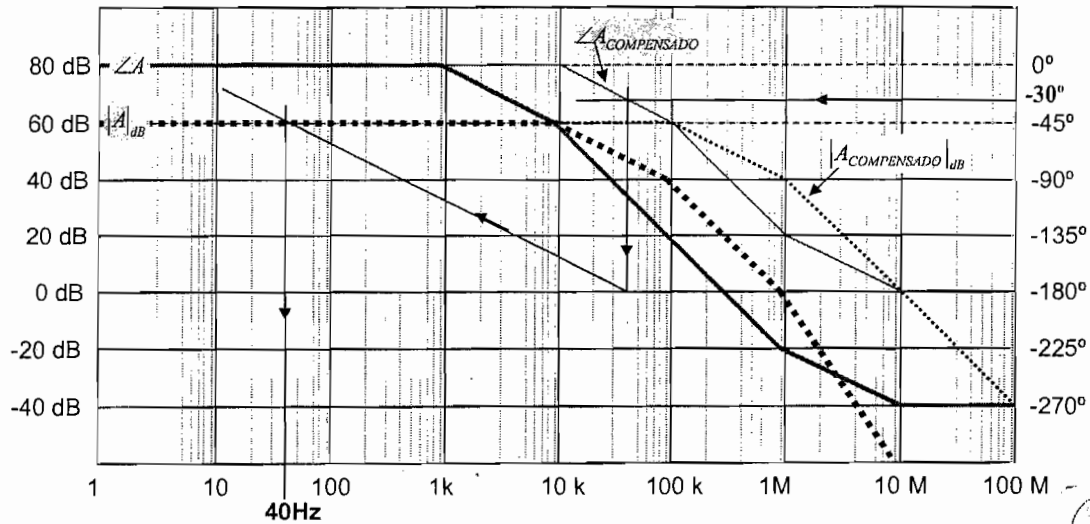


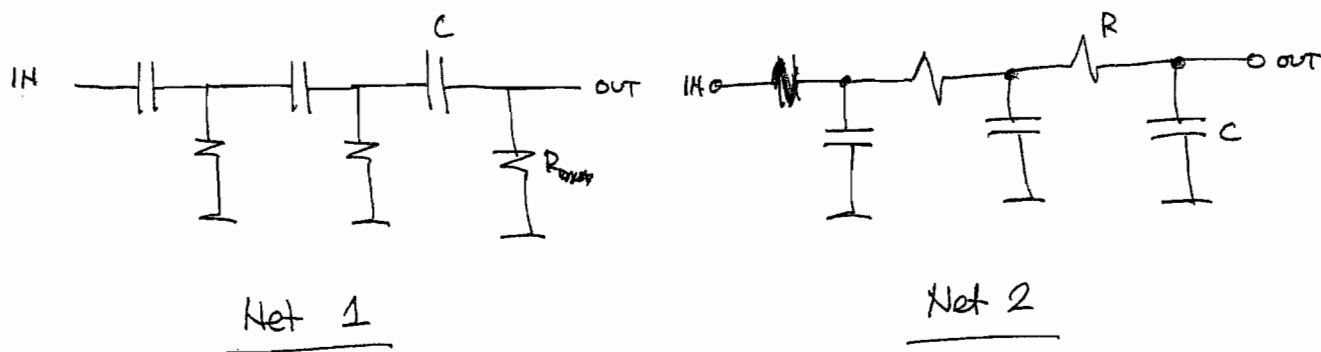
Figura 4

Se ha ganado un ancho de banda de una década, que era la cantidad que separaba a los dos primeros polos del amplificador de origen.

1/

10/10

PROBLEMA 3



Usando la formula en las dos versiones

$$\textcircled{A} \left. \begin{array}{l} z_1 = R \\ z_2 = \frac{1}{sC} \end{array} \right\} \text{NET 2}$$

$$\frac{V_e}{V_o}(s) = \frac{1}{\left(\frac{R}{\frac{1}{sC}}\right)^3 + 5\left(\frac{R}{\frac{1}{sC}}\right)^2 + 6\left(\frac{R}{\frac{1}{sC}}\right) + 1}$$

$$\textcircled{1} = \frac{1}{(sCR)^3 + 5(sCR)^2 + 6(sCR) + 1}$$

$$\textcircled{B} \left. \begin{array}{l} z_1 = \frac{1}{sC} \\ z_2 = R \end{array} \right\} \text{NET 1}$$

$$\frac{V_e}{V_o}(s) = \frac{1}{\left(\frac{1}{sC}\right)^3 + 5\left(\frac{1}{sC}\right)^2 + 6\left(\frac{1}{sC}\right) + 1}$$

$$\textcircled{1} = \frac{(sCR)^3}{1 + 5(sCR) + 6(sCR)^2 + (sCR)^3}$$

Tenemos que $\textcircled{B} \rightarrow \text{net 1}$ (Filtro Paso Alto)
 $\textcircled{A} \rightarrow \text{net 2}$ (Filtro Paso Bajo)

3) pasamos a dominio de Fourier ($s = j\omega$) y planteamos
Barkhausen,

net 1

$$-j\omega^3 R^3 C^3$$

$$A_1 = 1$$

$$1 + j\omega 5RC - \omega^2 6R^2 C^2 + j\omega^3 R^3 C^3$$

1

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6} RC}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{6R^2 C^2}$$

net 1, 1

Condition for

Condition ganancia

net 1, 3

$$A_1 = \cancel{j\omega 5RC} - \cancel{j\omega^3 R^3 C^3}$$

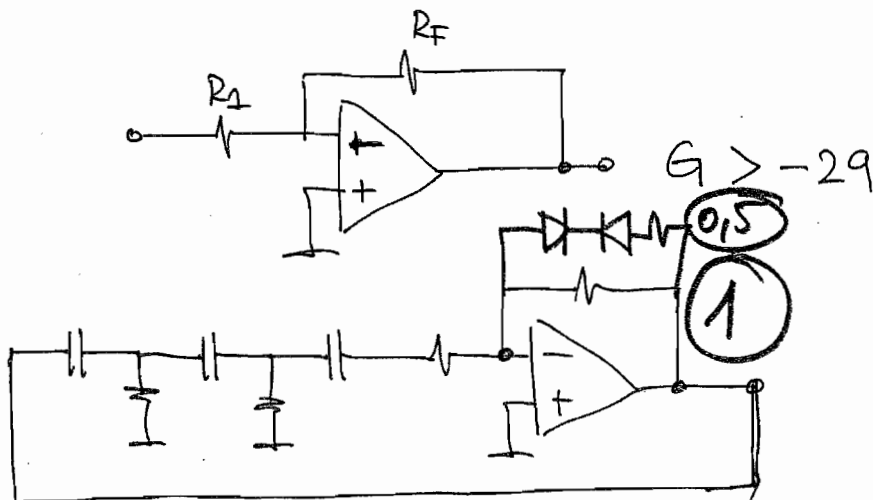
$$- \omega^2 R^2 C^2 A_1 = 5 - \omega^2 R^2 C^2$$

$$- \frac{A_1}{6} = 5 - \frac{1}{6}$$

1

$$A_1 = -30 + 1 = -29$$

necesita un OP AMP inversor (0,5)



net 2

$$\frac{1}{-j\omega^3 R^3 C^3 + 5\omega^2 R^2 C^2 + 6j\omega RC + 1} A_2 = 1$$

net 2,1 Condición de fase

$$-\omega^3 R^3 C^3 + 6\omega RC = 0$$

$$\omega^2 R^2 C^2 = 6$$

$$\omega = \frac{\sqrt{6}}{RC} \quad (1)$$

net 2,3

$$\frac{1}{-5\omega^2 R^2 C^2 + 1} A_2 = 1$$

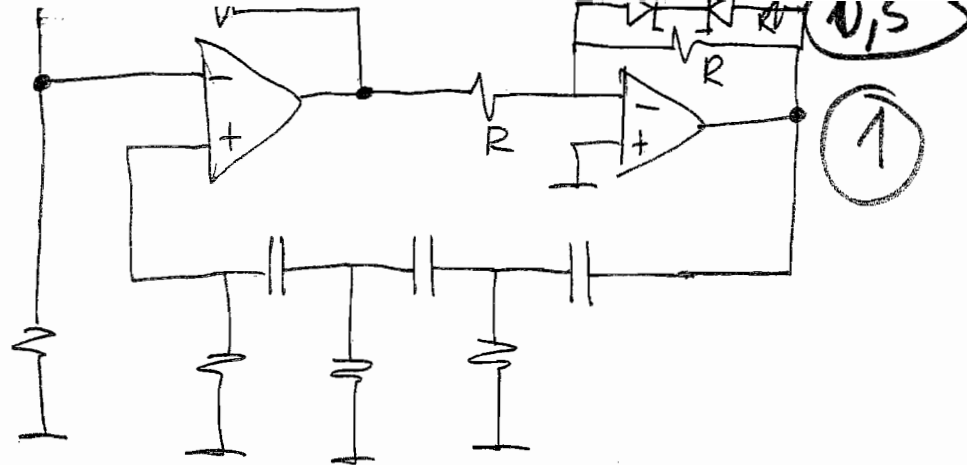
$$A_2 = (1 - 5\omega^2 R^2 C^2)$$

$$A_2 = (1 - 5 \frac{6}{\cancel{R^2 C^2}} \cancel{R^2 C^2})$$

$$A_2 = -29 \quad (1)$$

necesita un op amp inversor

$$0,5$$



$$(sCR)^3 + 5(sCR)^2 + 6(sCR) + 1 = 0$$

Problema 4 FILTROS

Armónico fundamental : 100 kHz

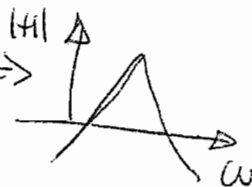
Pasa-banda activo (≤ 2 kHz) Banda estrecha

Amplificación banda pasante 100 veces

Selección filtro

Circuito 3 (Pasa banda activo 2º orden Sallen & Key)

Los circuitos 1 y 2 son respectivamente filtros paso bajo y paso alto (2º orden Sallen & Key). El circuito 3 tiende a ∞ en $\omega=0$ y $\omega=\infty$, cero en origen y 2 polos $\Rightarrow$



b) El filtro es de 2º orden (orden del denominador)

Zero $S_Z = \emptyset$

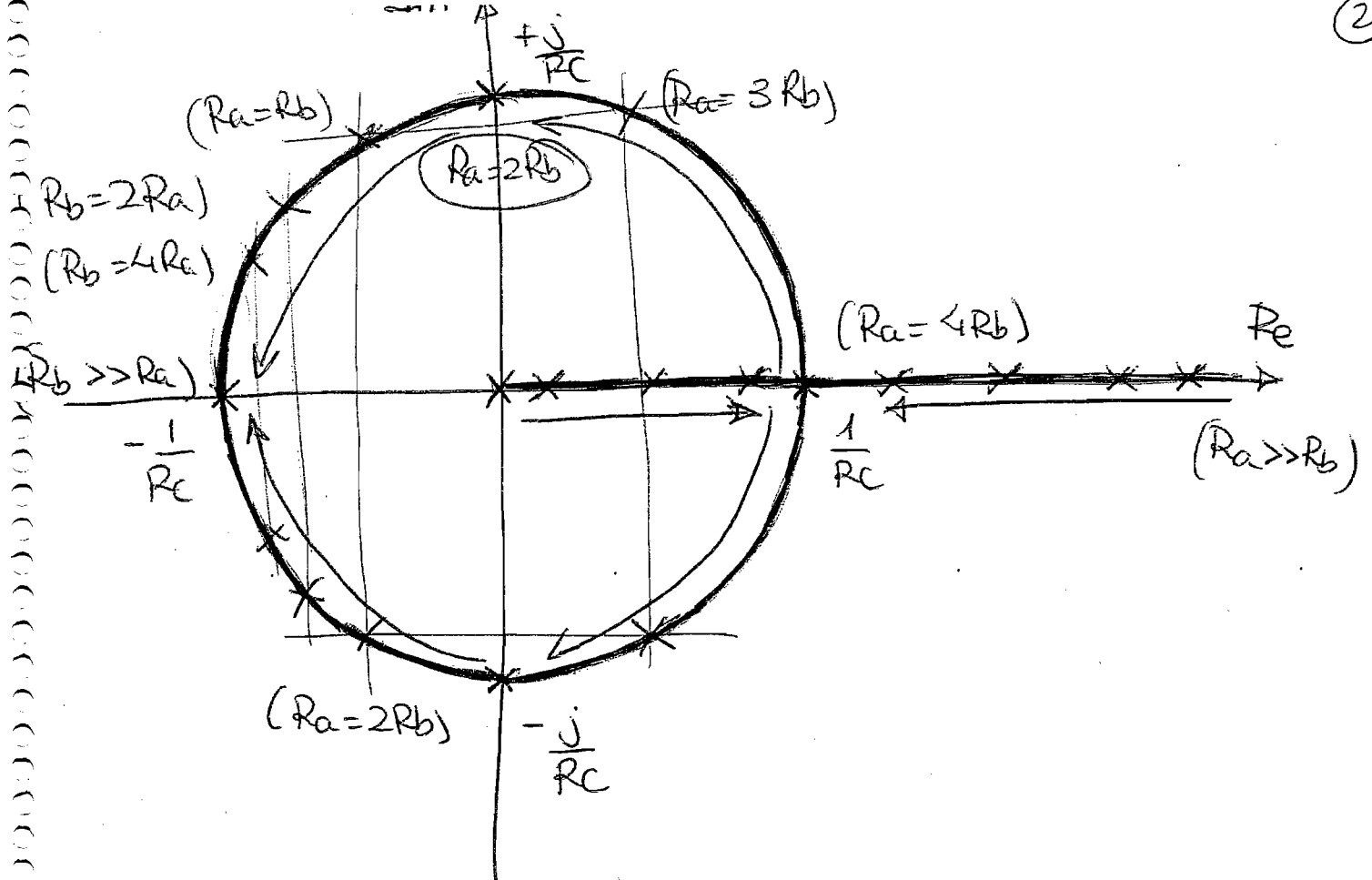
Polos S_p
$$R^2 C^2 s^2 + s (2RC - RC \frac{R_a}{R_b}) + 1 = 0$$

$$S_p = \frac{-RC (2 - \frac{R_a}{R_b}) \pm \sqrt{R^2 C^2 [(2 - \frac{R_a}{R_b})^2 - 4]}}{2R^2 C^2}$$

$$= \frac{1}{2RC} \left[-\left(2 - \frac{R_a}{R_b}\right) \pm \sqrt{\left(2 - \frac{R_a}{R_b}\right)^2 - 4} \right] =$$

$$S_p = \frac{1}{2RC R_b} \left[-(2R_b - R_a) \pm \sqrt{R_a(R_a - 4R_b)} \right]$$

(2)



c) Frecuencia central de la banda pasante

1°) Despejando de la ecuación característica de un filtro pasa-banda de 2° orden

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

$$\text{(tenemos } H(s) = \frac{-(1 + \frac{R_a}{R_b}) RC \cdot s}{R^2 C^2 s + s (2RC - RC \frac{R_a}{R_b}) + 1} \text{)}$$

$$a_1 = - \frac{1 + \frac{R_a}{R_b}}{RC}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R^2 C^2}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{(2 - \frac{R_a}{R_b})}{RC}$$

Por tanto,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

2º) Si no se conoce la ecuación característica del filtro, se aplica el concepto general de filtro y resonancia. La frecuencia a la que no atenúa el filtro es la de resonancia y eso ocurre cuando $H(j\omega)$ sólo tiene parte real. Por tanto

$$H(j\omega) = \frac{kj\omega}{-\omega^2 + \frac{\omega_0}{Q}j\omega + \omega_0^2}$$

$$\text{Im}(H(j\omega)) = 0 \Leftrightarrow \omega - \omega_0^2 = 0 \quad \boxed{\omega = \omega_0^2}$$

En la ecuación que nos proporcionan:

$$H(s) = \frac{-(1 + \frac{R_a}{R_b})RC s}{s^2 R^2 C^2 + s (2RC - RC \frac{R_a}{R_b}) + 1}$$

$$H(j\omega) = \frac{-(1 + \frac{R_a}{R_b}) \frac{j\omega}{RC}}{-\omega^2 + j\omega (\frac{2}{RC} - \frac{R_a}{R_b RC}) + \frac{1}{R^2 C^2}}$$

$$\text{Im}(H(j\omega)) = 0 \Leftrightarrow \omega^2 = \frac{1}{R^2 C^2} \quad \boxed{\omega_0 = \frac{1}{RC}}$$

$$\boxed{f_0 = \frac{1}{2\pi RC}}$$

d) Parámetros del filtro

① Ganancia en la banda pasante

$$a) |H(\omega_0)| \Rightarrow H(j\omega) = \frac{-(1 + \frac{R_a}{R_b}) \frac{j\omega}{RC}}{(\omega_0^2 - \omega^2) + j\omega(\frac{2}{RC} - \frac{R_a}{R_b RC})}$$

$$H(j\omega_0) = \frac{-\frac{1}{RC}(1 + \frac{R_a}{R_b})}{\frac{2}{RC} - \frac{R_a}{R_b RC}} \Rightarrow \frac{+(R_a + R_b)}{2R_b - R_a} \equiv |H(\omega_0)| = T$$

b) Por los parámetros del filtro

$$T = \frac{Q a_1}{\omega_0}$$

$$a_1 = -\frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)$$

② Ancho de banda

El ancho de la banda pasante se considera $(f_2 - f_1)$
Siendo f_1 y f_2 las frecuencias de los polos de $H(s)$

En el enunciado se indica que debe ser menor o igual que 2kHz. No hay más datos que permitan realizar el cálculo

$$\boxed{BW = \frac{\omega_0}{2\pi Q}} = \frac{2R_b - R_a}{2\pi R_b RC}$$

3) Q

1) Despejando Q de la ecuación característica

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{2}{RC} - \frac{R_a}{R_b RC} \Rightarrow \frac{1}{Q} = 2 - \frac{R_a}{R_b} = \frac{2R_b - R_a}{R_b}$$

$$Q = \frac{R_b}{2R_b - R_a}$$

2) utilizando la expresión indicada

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{1}{2\pi RC} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^3}$$

e) Determine R, C, R_a y R_b para conseguir los objetivos del enunciado.

$$f_0 = 100 \text{ KHz} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$T_{\text{meix}} = \frac{Q |a_1|}{\omega_0} = \frac{R_b}{2R_b - R_a} \cdot \cancel{RC} \cdot \frac{+1}{\cancel{RC}} \left(\frac{R_a + R_b}{R_b} \right) = \frac{R_a + R_b}{2R_b - R_a} = 10$$

$$f_2 - f_1 \geq 2 \text{ KHz} \leq \frac{f_0}{Q} = \frac{f_0}{R_b} \cdot (2R_b - R_a) = \frac{1}{2\pi RC R_b} (2R_b - R_a)$$

Además del lugar de las raíces dibujado, sabemos que se debe cumplir $R_a \leq 2R_b$

a) Tomamos $R = 10 \text{ k}\Omega \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^5} = 0.16 \text{ nF}$

b) $\frac{2R_b - R_a}{R_b} f_0 \geq 2 \text{ kHz}$
 $\underbrace{100 \text{ kHz}}$

$$\frac{2R_b - R_a}{R_b} \geq \frac{1}{50}$$

$$100R_b - 50R_a \geq R_b$$

$$99R_b \geq 50R_a$$

$$R_a \leq \frac{99}{50} R_b$$

La +
restricci3n
 $R_a \leq \frac{99}{50} R_b$

Teniamos otra condici3n $R_a \leq 2R_b$

c)

$$\frac{R_a + R_b}{2R_b - R_a} = 100 \Rightarrow 199R_b = 101R_a$$

$$R_a = \frac{199}{101} R_b = 1.97 R_b$$

$$R_b = 1 \text{ k}\Omega ; R_a = 1.97 \text{ k}\Omega$$

Debe
ser
 $R_a \leq 2R_b$
 (Lugar de
las raices)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R_a + R_b}{2R_b - R_a} = 100 \quad 101R_a = 199R_b \\ \cancel{\frac{R_a + R_b}{R_a - 2R_b} = 100} \quad \cancel{99R_a = 201R_b} \end{array} \right.$$



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA FEB 2007
NOMBRE DEL ALUMNO SOLUCIÓN PROBLEMA 5
CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

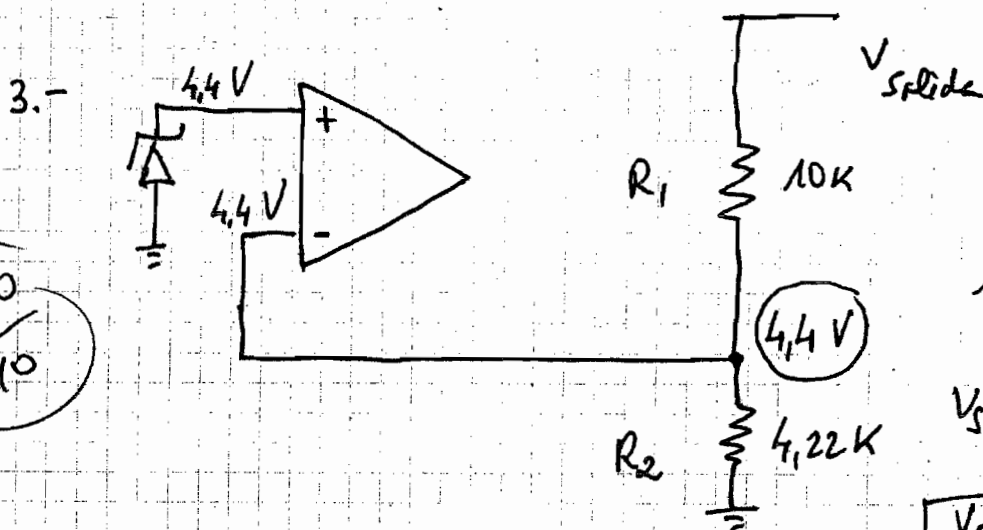
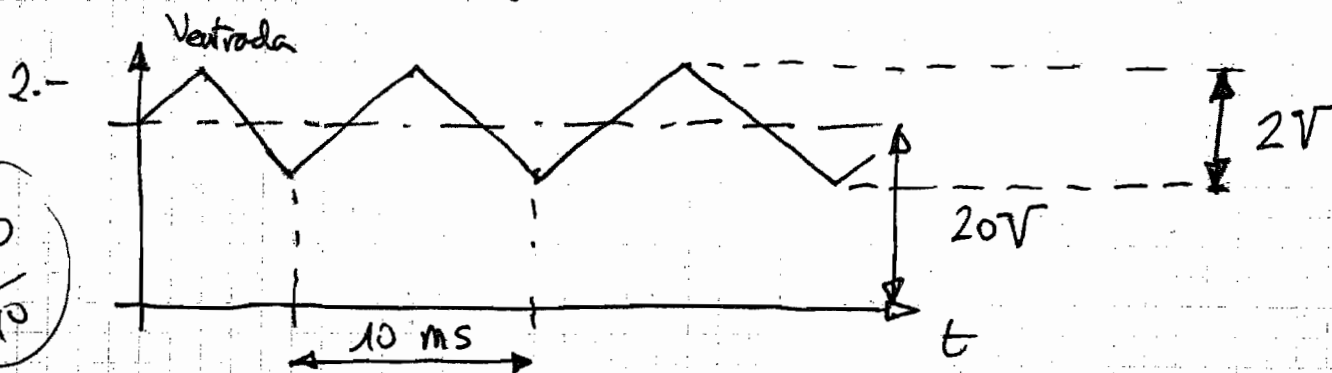
80/80

1.- Se trata de un regulador de tensión lineal, en el que se muestra la tensión de salida. El A.O. tiene en su entrada no inversora una tensión de referencia, fijada por el gener. de realimentación activa sobre la corriente de base del transistor, ajustándose, de forma que se mantenga constante la tensión de salida, V_o .

Si $V_o \uparrow \Rightarrow V_- \uparrow \Rightarrow V_{BQ1} \downarrow \Rightarrow I_{BQ1} \downarrow \Rightarrow V_{EQ1} \downarrow \Rightarrow V_o \downarrow$

Si $V_o \downarrow \Rightarrow V_- \downarrow \Rightarrow V_{BQ1} \uparrow \Rightarrow I_{BQ1} \uparrow \Rightarrow V_{EQ1} \uparrow \Rightarrow V_o \uparrow$

Realimentación negativa: SERIE-PARALELO.



$$\frac{V_{salida}}{10 + 4.22} = \frac{4.4}{4.22}$$

$$V_{salida} = \frac{4.4 \cdot 14.22}{4.22}$$

$$V_{salida} = 14.83 V$$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

4.- $V_{CEQ, \max} = 21 - 14,83 = 6,17 \text{ V}$

$V_{CEQ, \min} = 19 - 14,83 = 4,17 \text{ V}$

$\frac{10}{10}$

5.- $I_{EQ_1} = \frac{V_0}{R_L} + \frac{V_0}{R_1 + R_2} = \frac{14,83}{300} + \frac{14,83}{14,22 \times 10^3}$

$= 49,43 + 1,04 \text{ mA} \approx 50 \text{ mA}$

$\frac{10}{10}$

6.- $P_{\max Q_1} = V_{CEQ, \max} \cdot I_E = 6,17 \times 0,05 = 0,31 \text{ W}$

$P_{\min Q_1} = V_{CEQ, \min} \cdot I_E = 4,17 \times 0,05 = 0,21 \text{ W}$

$P_{\text{med } Q_1} = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} = \frac{0,31 + 0,21}{2} = 0,26 \text{ W}$

$\frac{10}{10}$

7.- $P_{\text{CARGA}} = \frac{V_{\text{carga}}^2}{R_L} = \frac{14,83^2}{300} = 0,73 \text{ W}$

$\frac{10}{10}$

8.- $P_{\text{entrada}} = V_{\text{entrada}} \times I_{\text{entrada}}$

$I_{\text{entrada}} = \frac{V_{\text{entrada}} - 4,4}{10 \text{ k}} + I_{EQ_1} = \frac{20 - 4,4}{10 \text{ k}} + 50 \text{ mA} = 1,56 \text{ mA} + 50 \text{ mA}$

dependiente.



ASIGNATURA _____ FECHA _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

$$P_{\text{entrega}} = 20 \times 51,56 = 1,03 \text{ W.}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrega}}} = \frac{0,73}{1,03} \approx 70,8 \%$$

10/10

PROBLEMA 6.- SOLUCIÓN.

1. Conecte la fuente de alimentación, el generador y el osciloscopio de manera adecuada al amplificador no inversor de la figura 1 para alimentar el circuito y medir experimentalmente el Slew-rate y el ancho de banda.

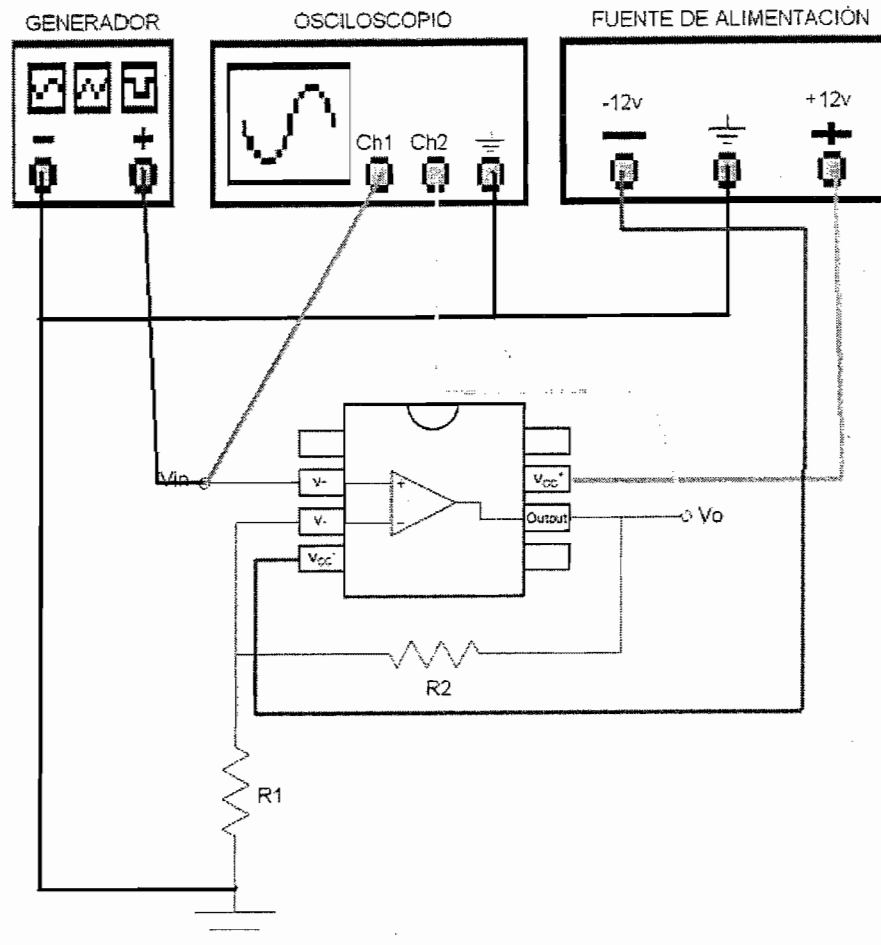


Figura 1

2. Explique en el siguiente espacio como medir experimentalmente el ancho de banda (indique que forma de onda utilizaría en el generador).

Se aplica una señal sinusoidal en pequeña señal a la entrada del amplificador, y para un rango de frecuencias se observa una tensión constante a la salida del amplificador. Cuando aumentamos la frecuencia llega un punto en que la ganancia cae 3 dB y se mide entonces la frecuencia

3. Explique en el siguiente espacio como medir experimentalmente el Slew-rate (indique que forma de onda utilizaría en el generador).

Se aplica una señal cuadrada a la entrada del amplificador en el rango de frecuencias medias. La señal de salida no puede seguir a la entrada y aparece una pendiente en los flancos de subida y de bajada. Para calcular el slew rate se mide la tensión de la señal amplificada y el tiempo de subida de la pendiente. El cociente entre ambas medidas será el slew rate (V/s) de nuestro dispositivo.