

PERIDO DE EXÁMENES ORDINARIO, ENERO

CURSO ACADÉMICO 2008 – 2009

ELECTRÓNICA II

INGENIERÍA INDUSTRIAL, CUARTO CURSO

26 de Enero de 2009

Duración: cuatro horas

- Entregue cada problema en un juego de hojas separado
 - **Escriba su nombre en la hoja de Bode**
- Se permite el uso de calculadora científica y útiles de dibujo
- Los cinco problemas puntúan por igual (dos puntos cada uno).

PROBLEMA 1 (2 puntos)

Se pretende diseñar un filtro paso bajo, a partir del circuito de la figura 1, con entrada v_1 y salida v_2 , que responda a la expresión general:

$$T(s) = \frac{a_0}{s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

Se pide:

- 1) Obtenga la expresión de la ganancia en continua del filtro.
- 2) Obtenga la expresión de la función de transferencia del filtro, identificando los valores de a_0 , ω_0 y Q .
- 3) Se pretende que la frecuencia de corte del filtro sea de 1 kHz. Utilizando condensadores con $C = 4,7 \text{ nF}$, obtenga el valor de R necesario.
- 4) Indique si hay alguna condición que deban cumplir R_1 y R_2 para que el filtro funcione correctamente.

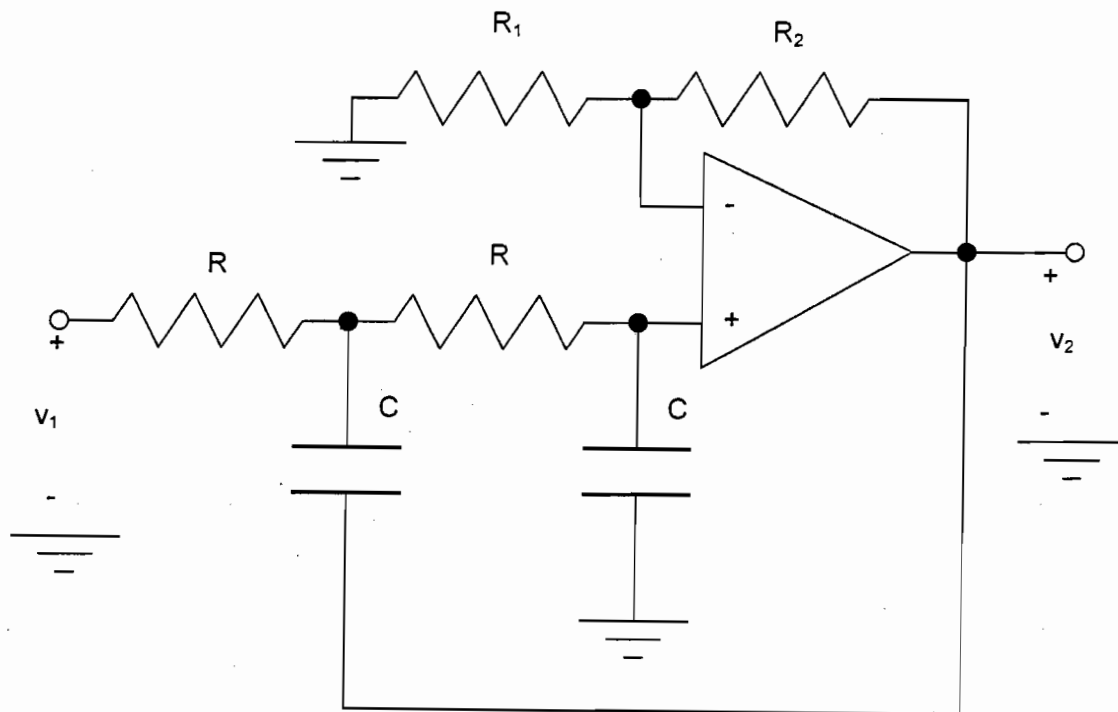


figura 1

PROBLEMA 2 (2 puntos)

En la figura 2 se muestra el esquema de un oscilador LC, diseñado para trabajar a frecuencias de alrededor de 6MHz.

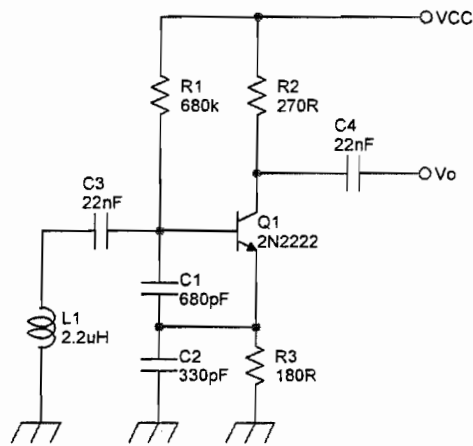


figura 2

DATOS: $V_{CC}=5V$; $Q1: I_{CQ}=0,75mA$, $V_{BE}=0,7V$, $h_{FE}=125$, $V_T=25mV$;

- 1) Dibuje el circuito equivalente de pequeña señal para el oscilador, haciendo de forma razonada las simplificaciones correspondientes al rango de frecuencias de oscilación previsto.
- 2) Obtenga la expresión de la ganancia de lazo del circuito.
- 3) Obtenga el valor de la frecuencia de oscilación.
- 4) Asumiendo que $R3$ tiene una tolerancia del 5%, determine su valor mínimo que garantiza el arranque del oscilador.

PROBLEMA 3 (2 puntos)

El esquema del circuito, figura 3, es un regulador de tensión de polaridad dual, para el que se pide que realice los siguientes cálculos:

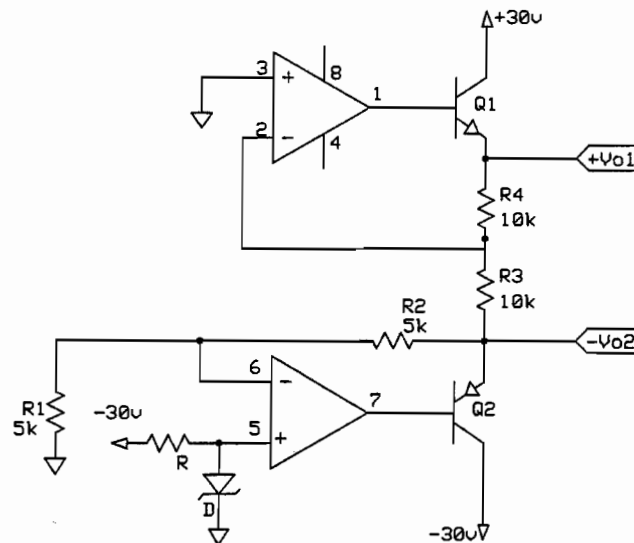
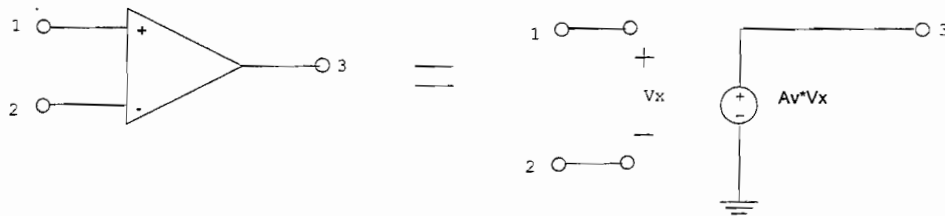


figura 3

- 1) Identifique sobre el esquema del circuito los diferentes bloques del mismo, esto es Tensión de Entrada, Referencia, Amplificador de Error y Elemento de Paso.
- 2) Obtenga las expresiones de las tensiones de salida del regulador, $+Vo1$ y $-Vo2$, en función de los componentes del circuito.
- 3) Cuál es el valor de estas tensiones si la tensión del zener es $V_z = 5V$. Calcule la potencia disipada por el regulador en el caso de que la resistencia de carga sea 100Ω .
- 4) Modifique el esquema proporcionado en la figura para incluir una protección frente a sobre-corrientes que limite la corriente de salida a $100mA$.

PROBLEMA 4 (2 puntos)

Se dispone de un amplificador operacional que se ha modelado según el siguiente esquema:



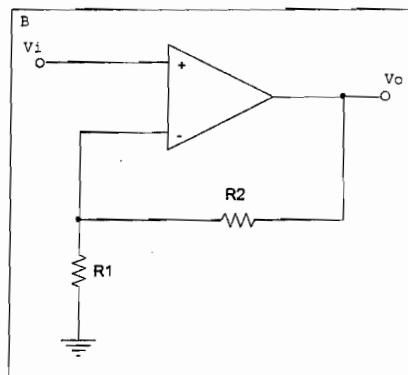
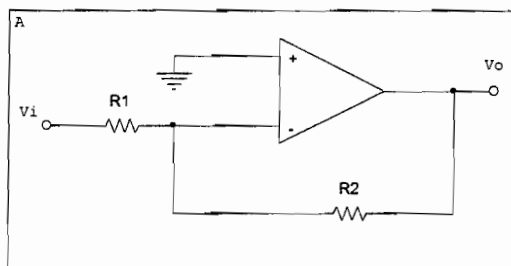
Donde A_v tiene la siguiente respuesta en frecuencia:

$$A_v(jf) = \frac{3150}{(jf + 1) \cdot (jf/20 + 1) \cdot (jf/400 + 1)}$$

Con f expresado en MHz

Responda a las siguientes preguntas:

- 1) Dibuje el diagrama de Bode en Módulo y Fase del amplificador modelado y determine su estabilidad
- 2) ¿Cuál de los siguientes esquemas sería adecuado para obtener un sistema realimentado estable, el A o el B? Justifique su respuesta a partir del diagrama de Bode obtenido y suponga que usa el amplificador con todos sus polos



- 3) Se desea usar el circuito A del apartado anterior con $R_1 = R_2 = 50\text{K}\Omega$ usando el amplificador compensado con un polo dominante. ¿Cuál es la frecuencia del polo dominante para obtener un margen de fase de 60° ? Obtenga dicha frecuencia usando el Bode dibujado.
- 4) Calcule el producto ganancia por ancho de banda GBW del amplificador compensado. Si no ha calculado el apartado anterior suponga que el polo dominante está en 50Hz. Si ahora hacemos $R_2 = 3 \cdot R_1 = 150\text{K}\Omega$ en el circuito B, ¿Cuál sería el ancho de banda del circuito realimentado?

PROBLEMA 5 (2 puntos)

Para el circuito de la figura 5, asumiendo que las etapas están correctamente polarizadas y despreciando el efecto de los condensadores de desacoplo se pide:

- 1) Tipo de realimentación y cuadripolo β expresado en sus parámetros privilegiados.
- 2) Calcular la ganancia en bucle cerrado, $\frac{v_o}{v_g}$
- 3) Calcular la impedancia de entrada, Z_i .
- 4) Calcular la impedancia de salida, Z_o .

DATOS: Corrientes de polarización de los transistores: $I_{C1} = 0,5 \text{ mA}$, $I_{C2} = 1 \text{ mA}$
Parámetros del transistor: $\beta_{O1} = \beta_{O2} = 150$; $r_{o1} = r_{o2} = \infty$

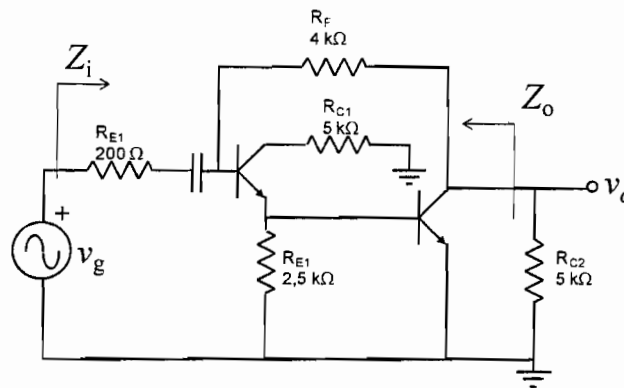
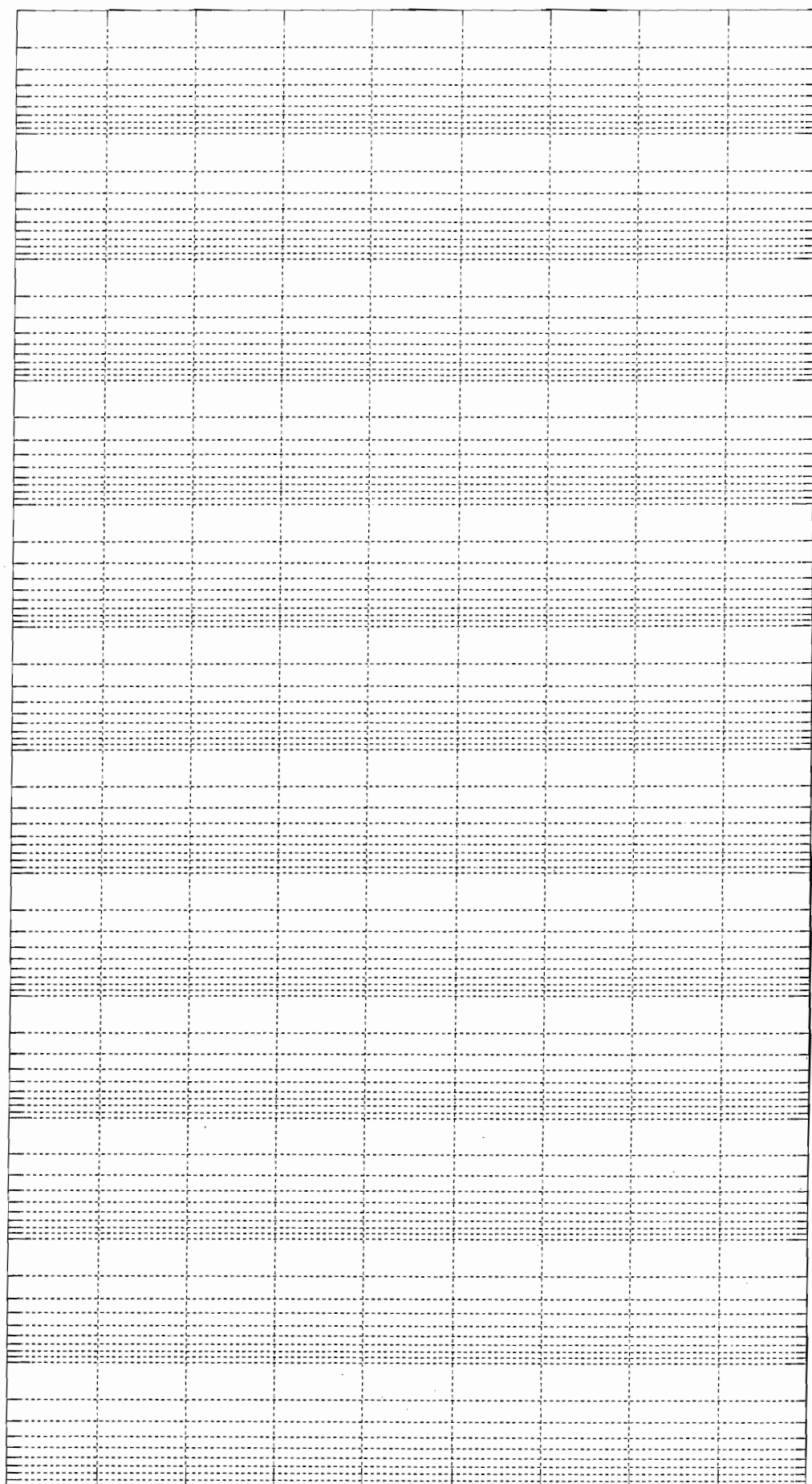


figura 5





ASIGNATURA

ELECTRÓNICA II

FECHA 26-I-2009

APELLIDOS DEL ALUMNO

NOMBRE DEL ALUMNO

CURSO

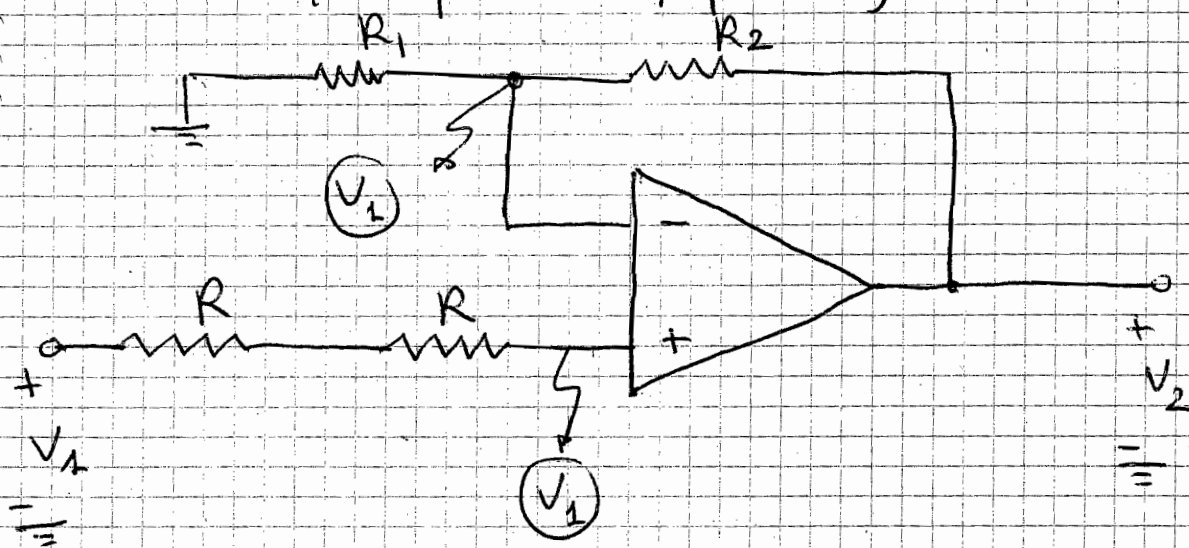
GRUPO

TITULACIÓN

INGENIERÍA INDUSTRIAL

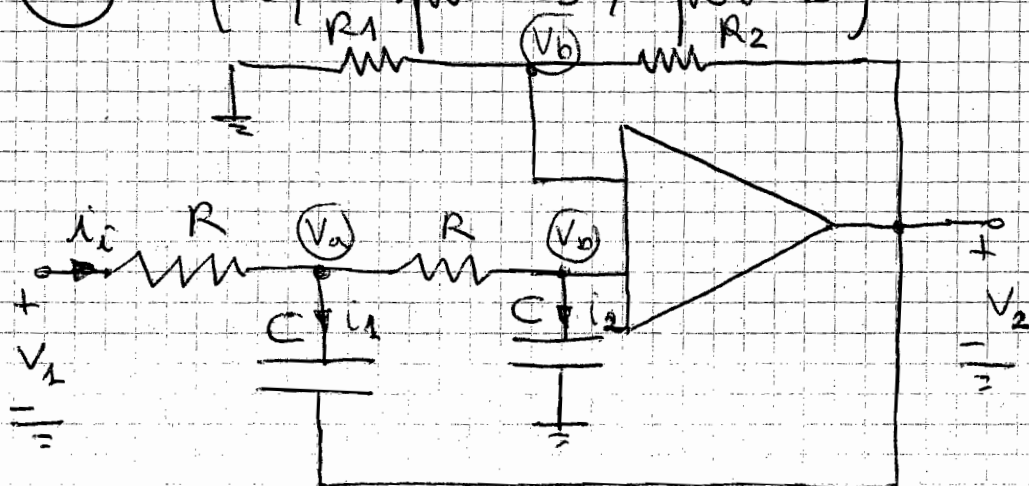
Problem. 1 (2 puntos / points)

① (0,4 puntos / points)



$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2 - V_1}{R_2}, \quad A_{voc} = \frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

② (0,8 puntos / points)





ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

$$V_2 = V_b \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1)$$

$$i_2 = \frac{V_b}{\frac{1}{sC}} = sC V_b = \frac{V_a - V_b}{R} \quad (2)$$

$$i_1 = \frac{V_a - V_2}{\frac{1}{sC}} = sC (V_a - V_2) \quad (3)$$

De (2), $V_a = V_b (1 + sRC)$ (4)

De (1), $V_b = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2$ (5)

$$i_i = i_1 + i_2 \Leftrightarrow \frac{V_1 - V_a}{R} = sC (V_a - V_2) + sC V_b \quad (6)$$

Combinando (4) y (5):

$$V_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (1 + sRC) V_2 \quad (7)$$

Combinando (6) y (7):

$$V_1 - V_a = sRC (V_a - V_2) + sRC V_b$$

$$V_1 = V_a (1 + sRC) + sRC V_b - sRC V_2 \quad (8)$$



ASIGNATURA _____

FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

Sustituyendo (5) y (7) en (8):

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (1 + sRC)^2 V_2 + sRC \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 - sRC V_2$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} = \frac{1}{A_{VDC}}$$

$$V_1 = \left(\frac{(1 + sRC)^2}{A_{VDC}} + \frac{sRC}{A_{VDC}} - sRC \right) V_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A_{VDC}}{(1 + sRC)^2 + sRC - sA_{VDC}RC}$$

$$= \frac{A_{VDC}}{s^2 R^2 C^2 + sRC(3 - A_{VDC}) + 1}$$

$$= \frac{\frac{A_{VDC}}{R^2 C^2}}{s^2 + s \frac{(3 - A_{VDC})}{RC} + \frac{1}{R^2 C^2}}$$



ASIGNATURA _____ FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

$$a_0 = \frac{A_{voc}}{R^2 C^2}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{voc}}$$

$$\textcircled{3} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1 \text{ kHz}$$

$$\text{con } C = 4,7 \text{ nF}, \quad R = \frac{1}{2\pi f_0 \cdot C} =$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 4,7 \cdot 10^{-9}} = 33,86 \text{ k}\Omega$$

(0,4 puntos / points)



ASIGNATURA _____

FECHA _____

APELLIDOS DEL ALUMNO _____

NOMBRE DEL ALUMNO _____

CURSO _____ GRUPO _____ TITULACIÓN _____

(0,4 puntos / points)

④ Condición de funcionamiento estable:
polos en el semiplano complejo, con
parte real negativa.

$$p_{1,2} = \frac{(A_{vdc} - 3)RC \pm \sqrt{\dots}}{2R^2C^2}$$

$$A_{vdc} - 3 < 0, \quad A_{vdc} < 3$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} < 3$$

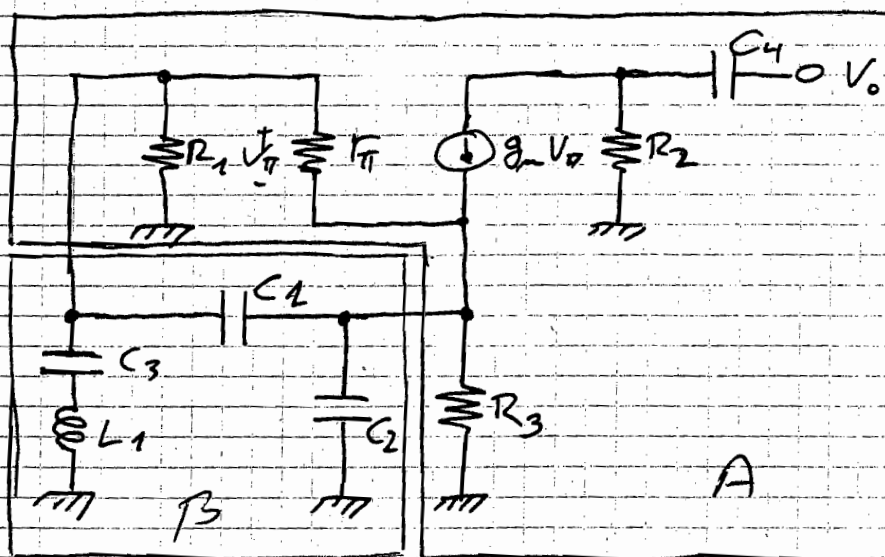
$$\frac{R_2}{R_1} < 2$$

$$\boxed{R_2 < 2R_1}$$



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA 26/01/09
APELLIDOS DEL ALUMNO SOL. EXAMEN
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 2
CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

1) El circuito equivalente de pequeña señal completo queda:



APROXIMACIONES @ $f \approx 6 \text{ MHz}$

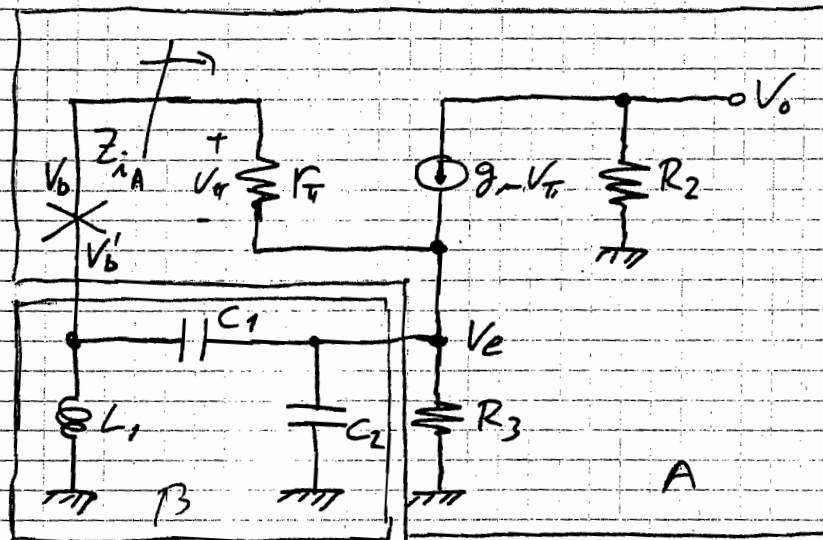
- $|Z_{C3}| \ll |Z_{L1}|$; $C3$ Actúa como condensador de acople, $Z_{C3} \rightarrow 0$ 1/
- $|Z_{C4}| \ll R_2$; $C4$ Actúa como condensador de acople, $Z_{C4} \rightarrow 0$ 1/

Además, $R_1 \gg r_{\pi} + h_{FE} \cdot R_3$ (independiente de f)

Con todo esto, el circuito queda:



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA 26/01/09
 APELLIDOS DEL ALUMNO SOL. EXAMEN
 NOMBRE DEL ALUMNO _____
 CURSO 4º GRUPO _____ TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL



$$Z_{iA} = r_{\pi} + h_{FE} R_E \gg Z_{L1} @ 6 \text{ MHz} \Rightarrow$$

$$Z_{iA} \rightarrow \infty \quad \text{1/}$$

2) Analizamos el circuito en la entrada:
(ver esquema arriba):

$$V_b' = \frac{Z_{L1}}{Z_{C1} + Z_{L1}} V_e \quad (1) \quad \text{1/}$$

$$V_e = V_{\pi} \left(\frac{1 + g_m}{r_{\pi}} \right) (R_E \parallel Z_{C2} \parallel (Z_{C1} + Z_{L1})) \approx g_m V_{\pi} (R_E \parallel Z_{C2} \parallel (Z_{C1} + Z_{L1})) \quad \text{1/}$$

$$V_b = V_{\pi} + V_e \Rightarrow V_{\pi} = V_b - V_e \quad \text{1/}$$

$$V_e (1 + g_m R_E \parallel Z_{C2} \parallel (Z_{C1} + Z_{L1})) = V_b g_m (R_E \parallel Z_{C2} \parallel (Z_{C1} + Z_{L1})) \Rightarrow$$



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA _____
APELLIDOS DEL ALUMNO SOL. EXAMEN
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 2
CURSO 4º GRUPO _____ TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

$$\Rightarrow V_e = V_b \frac{g_m (R_3 \parallel Z_{c2} \parallel (Z_{c1} + Z_{L1}))}{1 + g_m (R_3 \parallel Z_{c2} \parallel (Z_{c1} + Z_{L1}))}$$

Sustituyendo en (1) obtenemos la ganancia de lazo:

$$\begin{aligned} \frac{V_b'}{V_b} &= \frac{Z_{L1}}{Z_{c1} + Z_{L1}} \frac{g_m \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c1} + Z_{L1}}}}{1 + g_m \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c1} + Z_{L1}}}} \\ &= \frac{Z_{L1}}{Z_{c1} + Z_{L1}} \frac{g_m}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c1} + Z_{L1}} + g_m} \\ &= g_m R_3 \frac{Z_{L1} Z_{c2}}{Z_{c2} (Z_{c1} + Z_{L1}) + R_3 (Z_{c1} + Z_{L1}) + R_3 Z_{c2} + g_m R_3 Z_{c2} (Z_{c1} + Z_{L1})} \end{aligned}$$

Por último, agrupando la parte real e imaginaria en el denominador (el numerador ya es real):

$$\frac{V_b'}{V_b} = g_m R_3 \frac{Z_{L1} Z_{c2}}{\underbrace{(1 + g_m R_3) Z_{c2} (Z_{c1} + Z_{L1}) + R_3 (Z_{c1} + Z_{c2} + Z_{L1})}_{\text{Real}}}$$

2



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA 26/01/09
APELLIDOS DEL ALUMNO SOL. EXAMEN
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 2
CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

3) Condición de fase:

$$\angle \frac{V'_6}{V_6} = 0^\circ \Rightarrow Z_{C1} + Z_{C2} + Z_{L1} = 0 \Rightarrow 1$$

$$j\omega L_1 - j\left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2}\right) = 0 \Rightarrow \omega_0^2 L_1 = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \Rightarrow$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} ; f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} ; 1$$

Substituyendo: $L_1 = 2,2 \mu H$; $C_1 = 680 pF$; $C_2 = 330 pF$

$$f_0 = 7,2 MHz ; 1$$

4) Condición de ganancia:

$$\left| \frac{V'_6}{V_6} \right| \underset{\substack{\text{ARR.} \\ \text{MANT.}}}{\omega = \omega_0} \geq 1 \Rightarrow \frac{g_m R_3}{1 + g_m R_3} \frac{Z_{L1} Z_{C2}}{Z_{C2} (Z_{C1} + Z_{L1})} \geq 1$$

Substituyendo de 3) $Z_{L1} = -(Z_{C1} + Z_{C2})$; $Z_{C1} + Z_{L1} = -Z_{C2}$

$$\frac{g_m R_3}{1 + g_m R_3} \frac{Z_{C2} (Z_{C1} + Z_{C2})}{Z_{C2} Z_{C2}} \geq 1 \Rightarrow \frac{g_m R_3}{1 + g_m R_3} \left(1 + \frac{Z_{C1}}{Z_{C2}}\right) \geq 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{Z_{C1}}{Z_{C2}} \geq \frac{1 + g_m R_3}{g_m R_3} \Rightarrow \frac{Z_{C1}}{Z_{C2}} \geq \frac{1}{g_m R_3} \Rightarrow$$

$$g_m R_3 \geq \frac{Z_{C2}}{Z_{C1}} ; g_m R_3 \geq \frac{C_1}{C_2} ; 1$$



ASIGNATURA ELECTRÓNICA II FECHA 26/01/09
APELLIDOS DEL ALUMNO SOL. EXAMEN
NOMBRE DEL ALUMNO PROBLEMA 2
CURSO 4º GRUPO TITULACIÓN ING. INDUSTRIAL

$$R_3 \geq \frac{1}{g_m} \cdot \frac{C_1}{C_2} = \frac{25 \text{ mV}}{0,75 \text{ mA}} \cdot \frac{680 \text{ pF}}{330 \text{ pF}} = 68,7 \Omega \quad 1/$$

33 Ω

Por eso (valor mínimo de R_3):

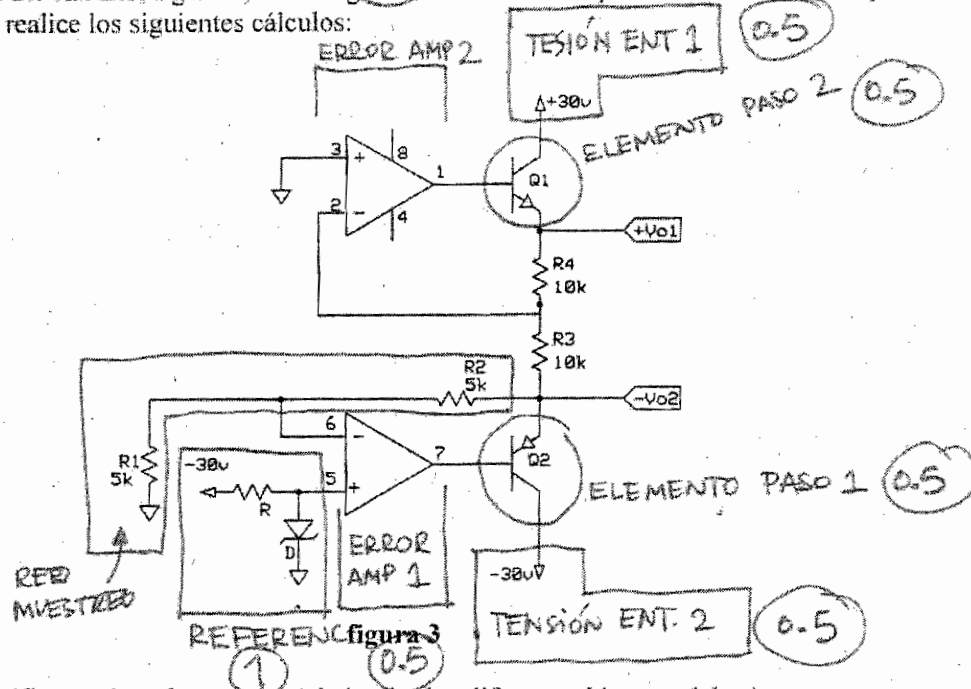
$$R_{3 \text{ Nom}} (1 - 0,05) \geq 68,7 \Omega \Rightarrow R_{3 \text{ Nom}} \geq 72,3 \Omega$$

Puede tomarse por ejemplo $R_{3 \text{ Nom}} = 75 \Omega \quad 1/$

12/12

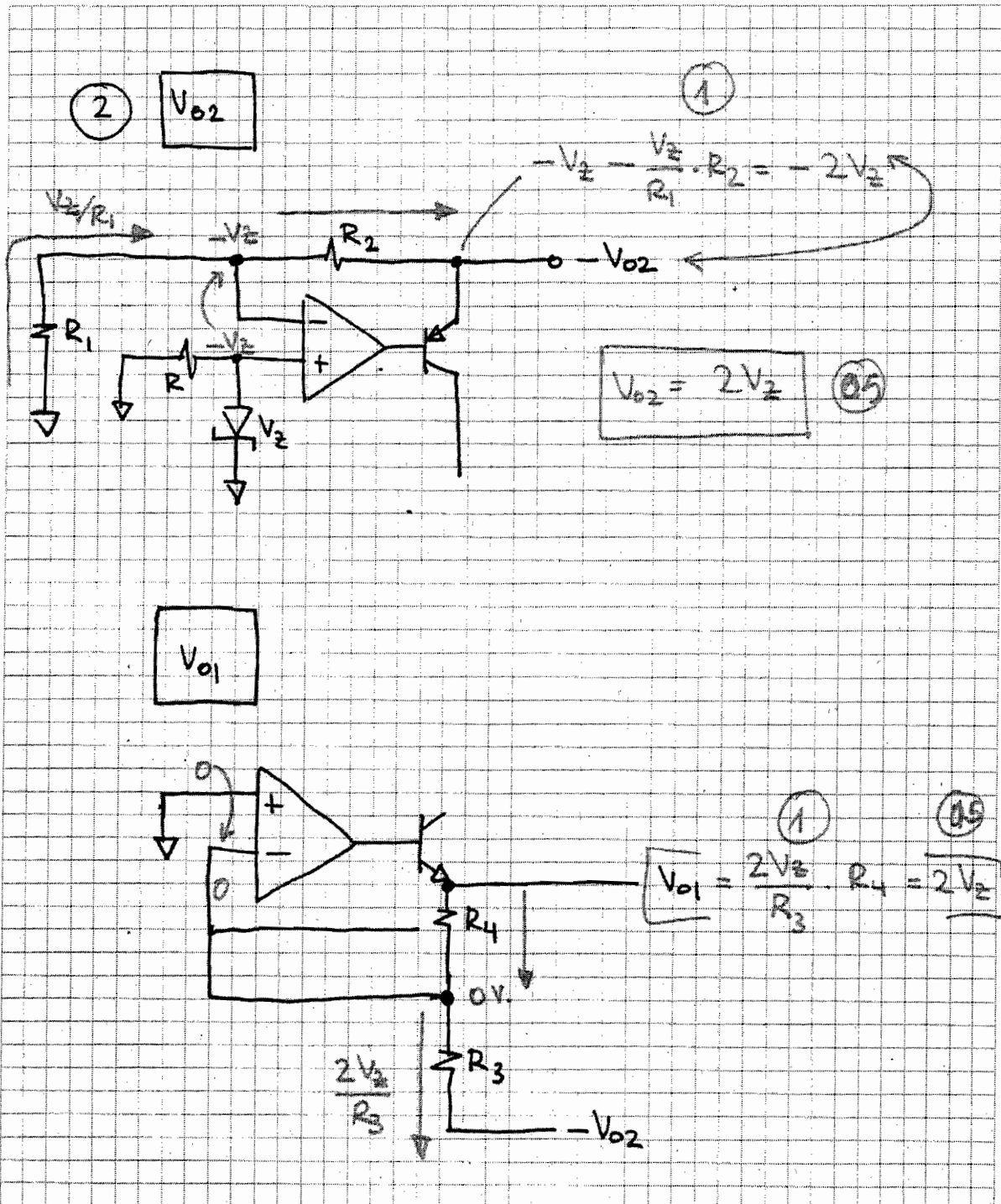
PROBLEMA 3 (2 puntos)

El esquema del circuito, figura 3, es un regulador de tensión de polaridad dual, para el que se pide que realice los siguientes cálculos:



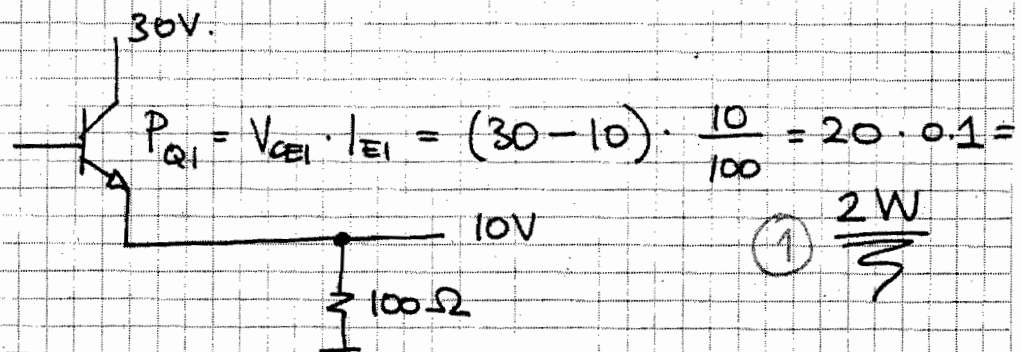
- 1) Identifique sobre el esquema del circuito los diferentes bloques del mismo, esto es Tensión de Entrada, Referencia, Amplificador de Error y Elemento de Paso.
- 2) Obtenga las expresiones de las tensiones de salida del regulador, +Vo1 y -Vo2, en función de los componentes del circuito.
- 3)Cuál es el valor de estas tensiones si la tensión del zener es $V_z = 5V$. Calcule la potencia disipada por el regulador en el caso de que la resistencia de carga sea 100Ω .
- 4) Modifique el esquema proporcionado en la figura para incluir una protección frente a sobre-corrientes que limite la corriente de salida a 100mA.

VISTO



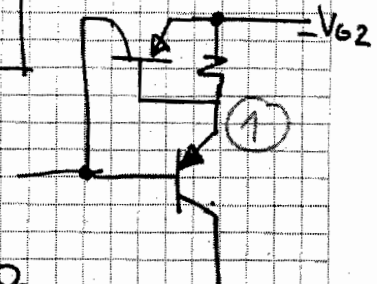
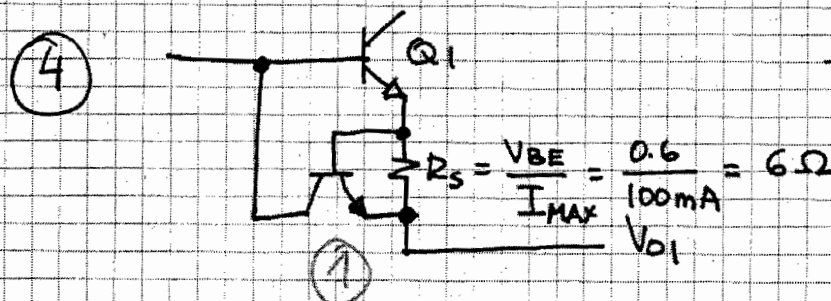


3 $V_2 = 5V \rightarrow V_{o1} = 10V$
 $V_{o2} = -10V$ ①



$P_{Q2} = V_{CE2} \cdot I_{E2} = (-30 - (-10)) \cdot \frac{10}{100} = 2W$ ①

①
Potencia total disipada = 4W



1

$$A_v(jf) = \frac{3150}{(jf+1)\left(\frac{jf}{20}+1\right)(j\sqrt{400}+1)} \quad f \text{ en MHz}$$

Poles:

$$P_1 = 1 \text{ MHz}$$

$$P_2 = 20 \text{ MHz}$$

$$P_3 = 400 \text{ MHz}$$

No hay ceros

$f \rightarrow 0$	$f \rightarrow \infty$
$ A_v = 3150$	$ A_v = 0$
$\angle A_v = 0^\circ$	$\angle A_v = -270^\circ$

$\rightarrow 20 \log 3150 \approx 70 \text{ dB}$

Módulo [dB/dec]

P.	0	-20	-20	-20
P ₁	0	-20	-20	-20
P ₂	0	0	-20	-20
P ₃	0	0	0	-20
TOTAL	0	-20	-40	-60

1 MHz 20 MHz 400 MHz

Fase [°/dec]

P.	0	-45	-45	-45	0	0	0	0	0	0
P ₁	0	-45	-45	-45	0	0	0	0	0	0
P ₂	0	0	0	-45	-45	-45	-45	0	0	0
P ₃	0	0	0	0	0	0	-45	-45	-45	0
TOTAL	0	-45	-45	-90	-45	-45	-90	-45	-45	0

0 MHz 1 MHz 2 MHz 10 MHz 20 MHz 40 MHz 200 MHz 400 MHz 4 GHz

Estabilidad: El amplificador tiene 3 polos en el semiplano negativo por lo que en lazo abierto es estable. Si realimentamos el amplificador con una ganancia $\beta = 1$ el sistema sería inestable ya

que $|A_v| \approx 20 \text{ dB}$ lo que da lugar a $\angle A_v = -180^\circ$

un margen de ganancia negativo $MG = -20 \text{ dB}$.

Si observamos el margen de fase también da negativo

2) En cualquiera de los dos casos se ha usado una red de ganancia β que depende de R_2 y R_1 . Mirando el Bode, observamos que el sistema es críticamente estable para

$$\beta_{critica} = 10^{-20/20} = 0.1 \text{ V/V}$$

En el circuito A, el sistema realimentado tiene una ganancia de:

$$G = - \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_o}{V_i}$$

(Según el modelo dado $A_v(0) \gg 1$ y tiene $Z_i \rightarrow \infty$, y $Z_o \rightarrow 0$, por tanto el amplificador se puede considerar ideal para el cálculo de la ganancia.)

En el circuito B, el sistema realimentado tiene una ganancia de:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_o}{V_i}$$

Por otro lado, sabemos que es un circuito redimentado:

$$G = \frac{A}{1+A\beta} \approx \frac{1}{\beta} \text{ si } A \gg 1.$$

Se ha usado criterio de redimentación negativa.
Ambos sistemas están redimentados negativamente.
El circuito A tiene una topología paralelo-paralelo
y el circuito B serie-paralelo. Se puede hacer un
análisis de estas topologías llegando al mismo resultado
si consideramos $|\beta|$:

$$\text{Circuito (A)} \quad |\beta| = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{Circuito (B)} \quad |\beta| = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{En el circuito (A)} \quad \frac{R_1}{R_2} < 0.1 \Rightarrow R_1 < 0.1 R_2$$

$$\Rightarrow R_2 > 10 R_1$$

$$\text{En el circuito (B)} \quad \frac{R_1}{R_1 + R_2} < 0.1 \Rightarrow 0.9 R_1 < 0.1 R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_2 > 9 R_1$$

El circuito (B) requiere una ganancia mayor (y un β menor)
por los mismos valores de resistencias por lo que seleccionamos
este circuito como preferente. No obstante, cualquiera
puede usarse con los valores adecuados de resistencias.

3) Circuito (A) $| \beta | = \frac{R_2}{R_1} = 1 \rightarrow 0 \text{ dB}$

Ubicando el Bode, observamos la frecuencia a la que el sistema converge de prescribir una fase de $-180^\circ + 60^\circ$. Esto es $\downarrow$ margen de fase

$$\phi = -180^\circ + 90^\circ + 60^\circ = -30^\circ$$

$\downarrow$ introducida por el polo extra

Dicha frecuencia se obtiene a 500 kHz . A partir de dicha frecuencia trazamos una pendiente de -20 dB/dec desde la línea de 0 dB y se obtiene

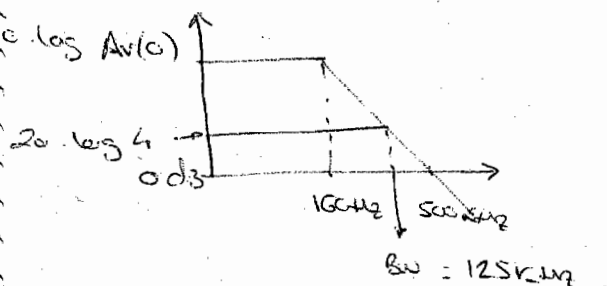
$$f_{PD} \approx 160 \text{ Hz}$$

Análiticamente, $\frac{500 \text{ kHz}}{3150} = 158.17 \text{ Hz}$.

4) $GBW = A_v(0) \cdot f_{PD} = 1 \cdot 500 \text{ kHz} = 500 \text{ kHz}$

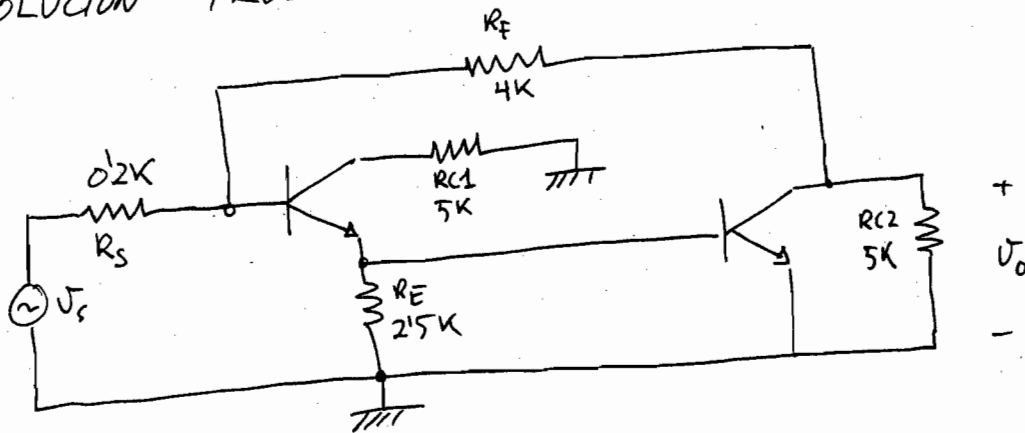
En el circuito (B) $G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 4 \Rightarrow BW = \frac{GBW}{G} = \frac{500 \text{ kHz}}{4} = 125 \text{ kHz}$

Se puede ver gráficamente en el Bode.

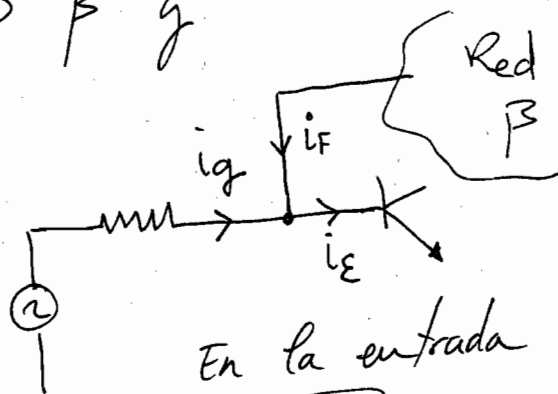


EXAMEN ENERO 2009

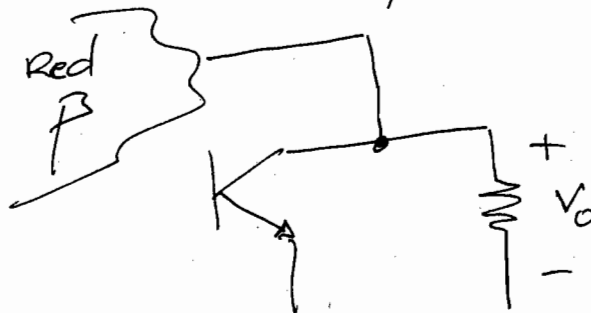
SOLUCIÓN PROBLEMA de REALIMENTACIÓN



1) RED β y TIPO DE REALIMENTACIÓN



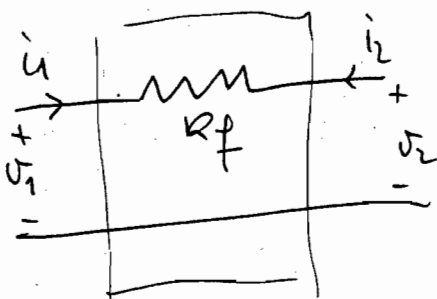
En la entrada comparo corrientes en paralelo



En la salida muestro tensión en paralelo

Tipo de realimentación $I \rightarrow V$ o paralelo-paralelo

Parámetros privilegiados: Y



$$y_{11} = \left. \frac{i_1}{u_1} \right|_{u_2=0} = \frac{1}{R_F}$$

$$y_{12} = \left. \frac{i_1}{u_2} \right|_{u_1=0} = -\frac{1}{R_F}$$

$$y_{22} = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{u_1=0} = \frac{1}{R_F}$$

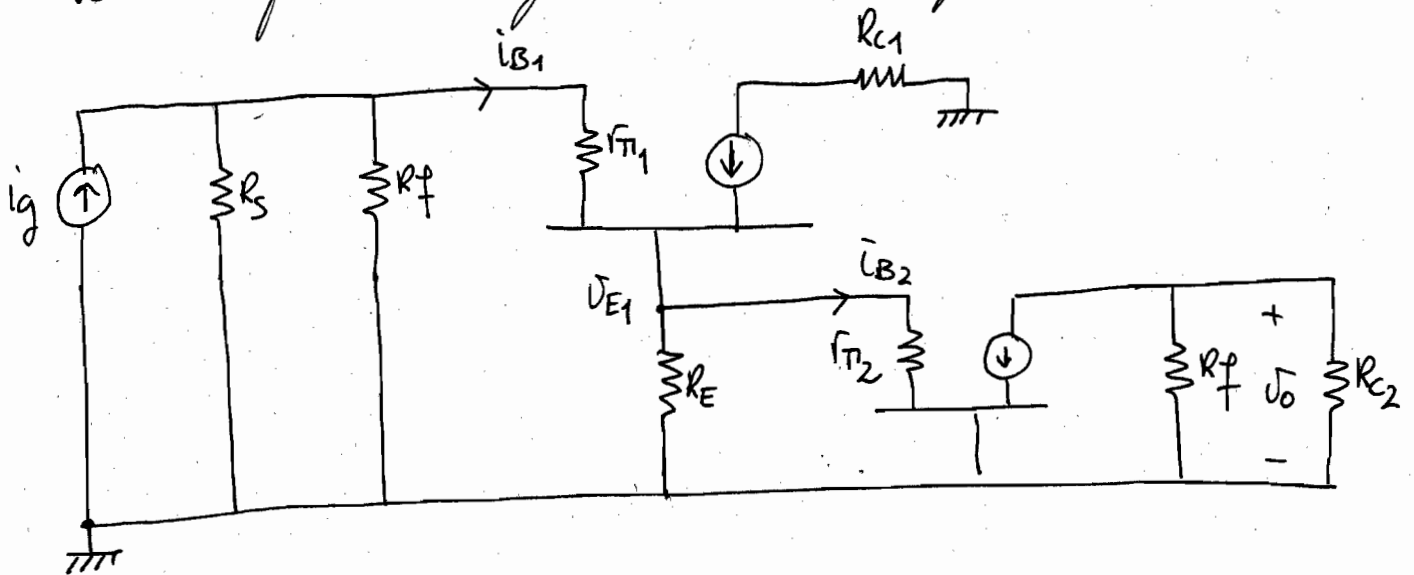
Los parámetros en pequeña señal de los transistores bipolares son según el enunciado:

P5-2

$$r_{\pi} = \frac{\beta_0 \cdot V_T}{I_{CQ}} \quad \begin{cases} r_{\pi 1} = \frac{\beta_0 \cdot 26 \text{ mV}}{I_{CQ1}} = 774 \text{ K}\Omega \\ r_{\pi 2} = \frac{\beta_0 \cdot 26 \text{ mV}}{I_{CQ2}} = 387 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

2) CÁLCULO DE A_z' y G_z . CÁLCULO DE G_v

Dado que la realimentación compara corriente a la entrada, se transforma el generador a su equivalente Norton:



$$A_z' = \frac{V_o}{i_g} = \frac{V_o}{V_{E1}} \cdot \frac{V_{E1}}{I_{B1}} \cdot \frac{I_{B1}}{i_g}$$

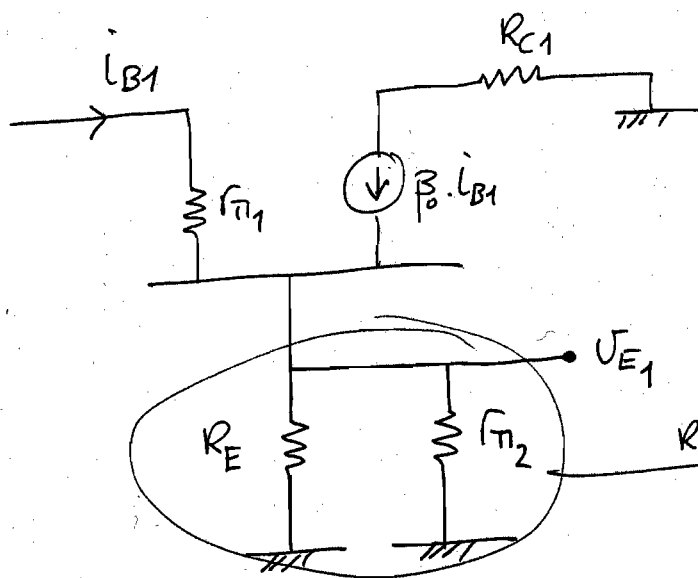
$$\boxed{\frac{V_o}{V_{E1}}}$$

$$I_{B2} = \frac{V_{E1}}{r_{\pi 2}}; \quad I_{C2} = \beta_0 \cdot I_{B2} = \beta_0 \cdot \frac{V_{E1}}{r_{\pi 2}}$$

$$V_o = -I_{C2} \cdot (R_F \parallel R_{C2}) = -\beta_0 \cdot \frac{V_{E1}}{r_{\pi 2}} (R_F \parallel R_{C2})$$

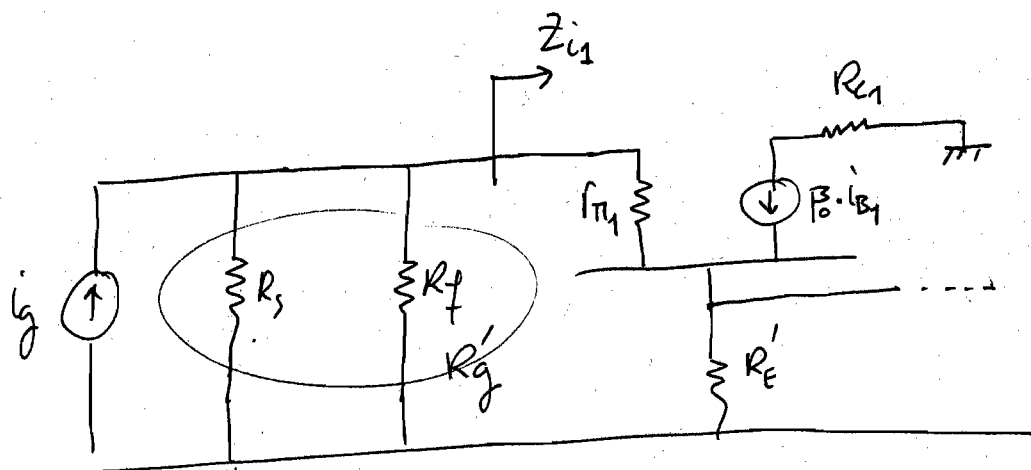
$$\frac{V_o}{V_{E1}} = - \frac{\beta_o}{r_{\pi 2}} \cdot (R_f \parallel R_{C2}) = \frac{-150}{3'87 \text{ K}} \cdot \frac{(4\text{K} \parallel 5\text{K})}{2'22 \text{ K}} = -86'13$$

$$\frac{V_{E1}}{i_{B1}}$$



$$V_{E1} = i_{B1} \cdot (\beta_o + 1) \cdot (R_E \parallel r_{\pi 2}); \quad \frac{V_{E1}}{i_{B1}} = (\beta_o + 1) (R_E \parallel r_{\pi 2}) = 151 \cdot 1'52 \text{ K} = \underline{\underline{229'5 \text{ K}}}$$

$$\frac{i_{B1}}{i_g}$$



$$Z_{i1} = R_E' \cdot (\beta_o + 1) + r_{\pi 1} = 229'5 \text{ K} + 7'74 \text{ K} \approx 237 \text{ K}\Omega$$

$$R_g' = R_S \parallel R_f = (0'2 \text{ K} \parallel 4 \text{ K}) = 0'19 \text{ K}\Omega$$

$$\frac{i_{B1}}{i_g} = \frac{R_g'}{R_g' + Z_{i1}} = \frac{0'19}{0'19 + 237} = 8 \cdot 10^{-4}$$

$$A'_2 = 8 \cdot 10^{-4} \cdot 229'34 \text{ K}\Omega \cdot (-86'13) = \underline{\underline{-15'86 \text{ K}\Omega}} \quad \text{P5-4}$$

La ganancia en bucle cerrado

$$G_z = \frac{A'_2}{1 + A'_2 \cdot \beta_f} = \frac{-15'86 \text{ K}}{1 + (-15'86 \text{ K}) \left(\frac{-1}{4 \text{ K}} \right)} = \underline{\underline{-3'2 \text{ K}\Omega}}$$

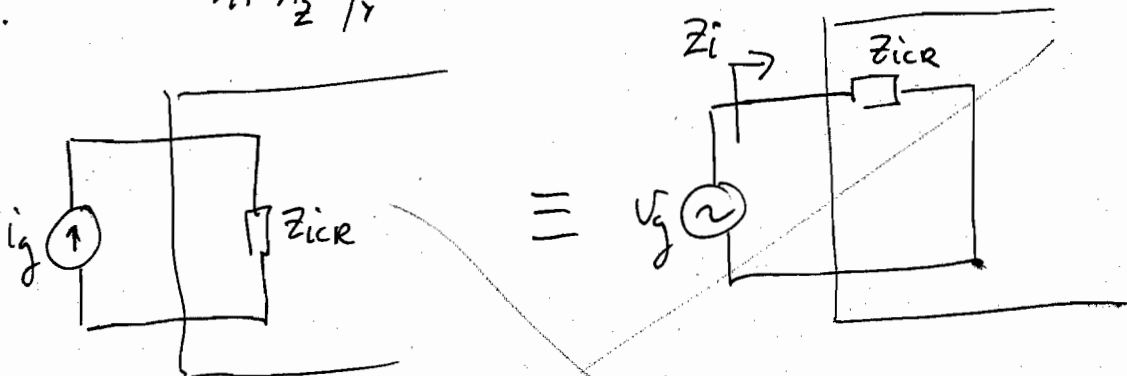
La ganancia en tensión

$$G_v = \frac{v_o}{v_g} = \frac{v_o}{i_g} \cdot \frac{i_g}{v_g} = G_z \cdot \frac{1}{R_s} = \frac{-3'2 \text{ K}}{0'2 \text{ K}} = \underline{\underline{-16}}$$

3) CÁLCULO de Z_i

$$Z_{isR} = R_s \parallel R_f \parallel Z_{icR} = 0'2 \text{ K} \parallel 4 \text{ K} \parallel 229 \text{ K} = 0'19 \text{ K}$$

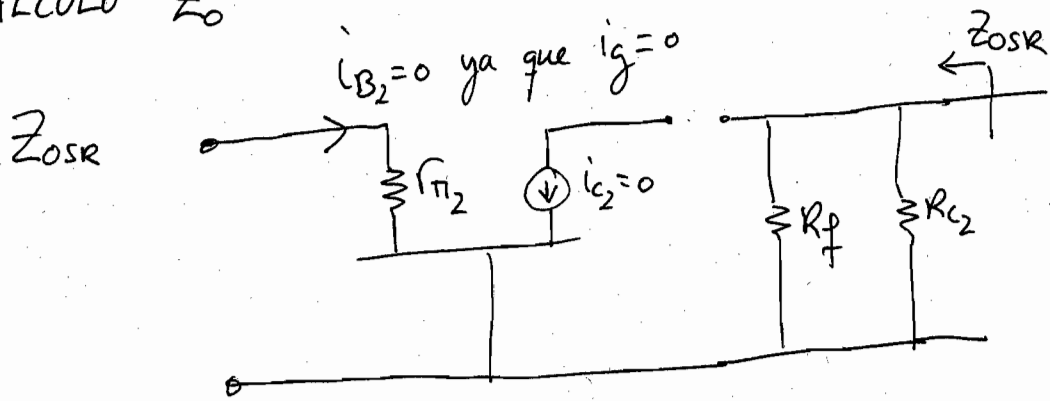
$$Z_{icR} = \frac{Z_{isR}}{1 + A'_2 \cdot \beta_f} = \frac{0'19 \text{ K}}{4'96} = \underline{\underline{38'26 \Omega}}$$



Por tanto $Z_i = Z_{icR} = \underline{\underline{38'26 \Omega}}$

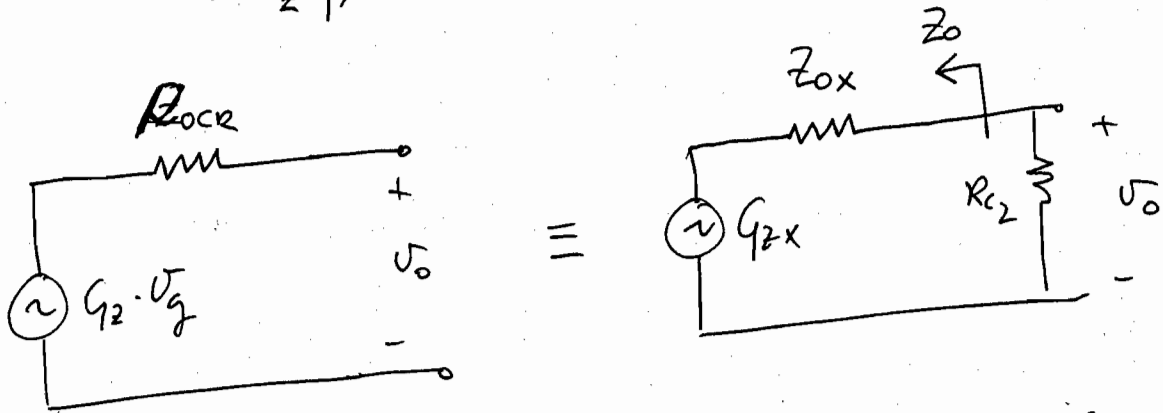
4) CÁLCULO Z_o

P5-5



$$Z_{osr} = R_{c2} \parallel R_p = 2.22 \text{ K}\Omega$$

$$Z_{ocr} = \frac{Z_{osr}}{1 + A'_2 \cdot \beta_f} = \frac{2.22 \text{ K}\Omega}{4.96} = 0.45 \text{ K}\Omega$$



$$R_{ocr} = Z_o \parallel R_{c2} \Rightarrow R_{ocr} = \frac{Z_o \cdot R_{c2}}{Z_o + R_{c2}} \Rightarrow Z_o = \frac{R_{ocr} \cdot R_{c2}}{R_{c2} - R_{ocr}}$$

$$Z_o = \frac{0.45 \text{ K} \cdot 5 \text{ K}}{5 \text{ K} - 0.45 \text{ K}} = \underline{\underline{0.5 \text{ K}\Omega}}$$