

2^{do} Parcial de Electrónica 2
29/11/2007

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

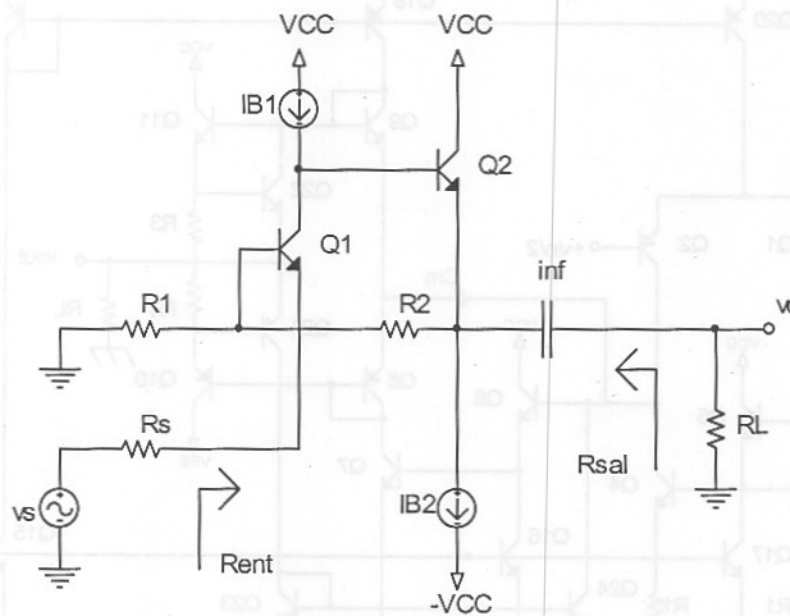
La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 : (26 puntos)

En el amplificador de la Figura, los transistores tienen tensión base-emisor V_{BE} , $\beta \gg 1$ y tensión de Early que se podrá suponer infinita.

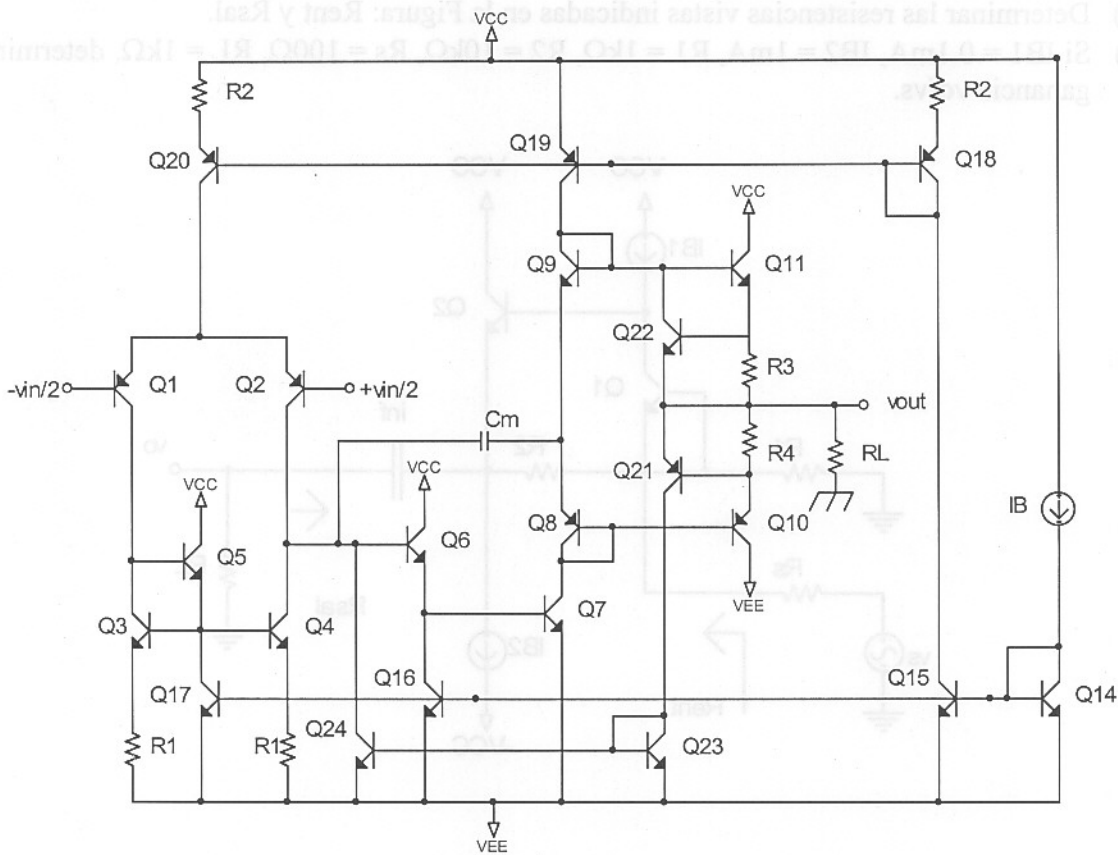
- Determine en función de los componentes y los parámetros de pequeña señal de Q1 (g_{m1} , $r_{\pi1}$) y Q2 (g_{m2} , $r_{\pi2}$) los valores de A y β que permiten representar al amplificador en un diagrama de bloques de sistema realimentado.
- Determinar las resistencias vistas indicadas en la Figura: R_{ent} y R_{sal} .
- Si $I_{B1} = 0.1\text{mA}$, $I_{B2} = 1\text{mA}$, $R1 = 1\text{k}\Omega$, $R2 = 10\text{k}\Omega$, $R_s = 100\Omega$, $R_L = 1\text{k}\Omega$, determinar la ganancia v_o/v_s .



Problema 2 : (26 puntos)

El amplificador de la Figura tiene los siguientes datos:

- Todos los transistores tienen:
 - $V_A = \infty$, excepto Q7 y Q19 que tienen $V_A = 20V$
 - $\beta = 200$, excepto Q11 y Q10 que tienen $\beta_{out} = 50$
 - $V_{BE} = |V_{EB}| = 0.6 V$
 - $V_{DD} = -V_{EE} = 10V$, $I_B = 3.3\mu A$
 - $R_3 = R_4 = 10\Omega$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$
- a) Si se cumple que las áreas de emisor de Q10 y Q11 son 5 veces más grandes que las áreas de emisor de Q8 y Q9 respectivamente, determine la corriente I_C por Q19 para que la corriente en reposo por Q10 y Q11 sea 1mA.
 - b) Determine R_2 para cumplir con el valor de corriente hallado en la parte a).
 - c) Determine la ganancia v_{out}/v_{in} a bajas frecuencias del amplificador.
 - d) Determine el valor de C_m para tener un producto ganancia por ancho de banda (GBW) igual a 1MHz.
 - e) Explique la finalidad de los transistores Q21 a Q24. Detalle su funcionamiento incluyendo las condiciones para que comiencen a operar.



Problema 3: (22 puntos)

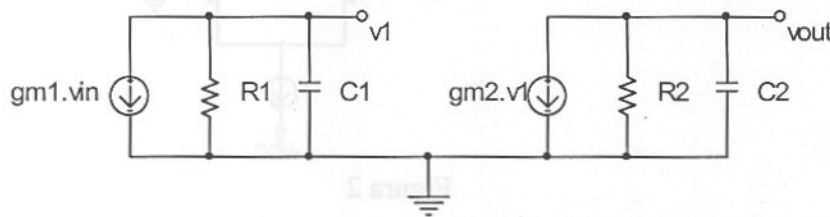
Se tienen dos versiones de valores de componentes para el circuito equivalente de un amplificador mostrado en la Figura.

- a) Indicar para cada versión, fundamentando claramente las razones, si el margen de fase será mayor o menor a 45°.
- b) En el caso que sea menor a 45°, indicar donde conectaría una capacidad de compensación de Miller (Cm) para compensarlo, y determinar el valor de esta capacidad para tener un margen de fase aceptable.

Recordar que en la compensación de Miller, la transferencia de loop abierto está dada aproximadamente por:

$$A(\omega) = \frac{gm_1 gm_2 R_1 R_2 (1 - j\omega/\omega_z)}{(1 + j\omega/\omega_{p1})(1 + j\omega/\omega_{p2})}$$

donde $\omega_{p1} = \frac{1}{gm_2 C_m R_1 R_2}$ $\omega_{p2} = \frac{gm_2 C_m}{C_1 C_2 + C_m (C_1 + C_2)}$ $\omega_z = \frac{gm_2}{C_m}$



Componente	Versión 1	Versión 2
gm1	0.38 mS	0.38 mS
R1	80 KΩ	800 KΩ
C1	20 pF	2 pF
gm2	3.8 mS	3.8 mS
R2	870Ω	8.7KΩ
C2	9 pF	18 pF

Problema 4: (26 puntos)

a) Para el circuito de la Fig.1 hallar la frecuencia y condición de oscilación.

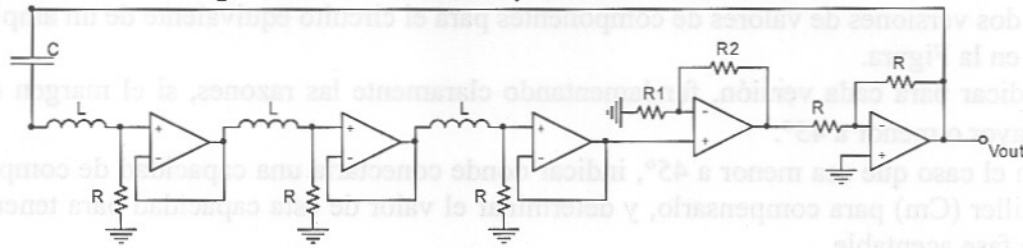


Figura 1

b) La resistencia R1 se implementa con el circuito de la Fig.2. Expresar esta resistencia en función de la corriente I y de los parámetros del transistor, asumiendo, de aquí en más, que la amplitud de pico en Vin es tal que el par diferencial opera en su zona lineal.

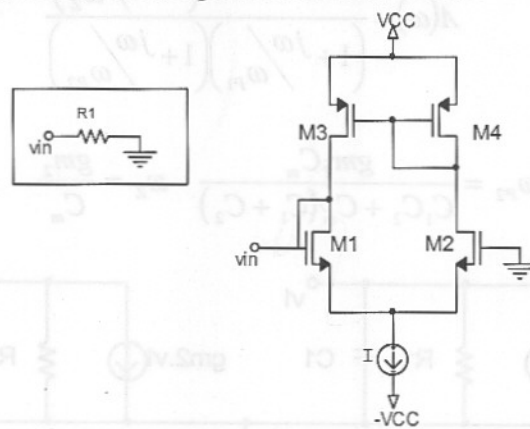


Figura 2

c) La fuente de corriente se puede implementar según la Fig.3.

- i) indicar cuál de las opciones (a) ó (b) se puede utilizar para controlar adecuadamente la amplitud de señal a la salida del oscilador. Justifique claramente la respuesta.
- ii) Dar la amplitud de pico a la salida (Vout de la Figura 1) en función de Ra y los otros parámetros relevantes del circuito.

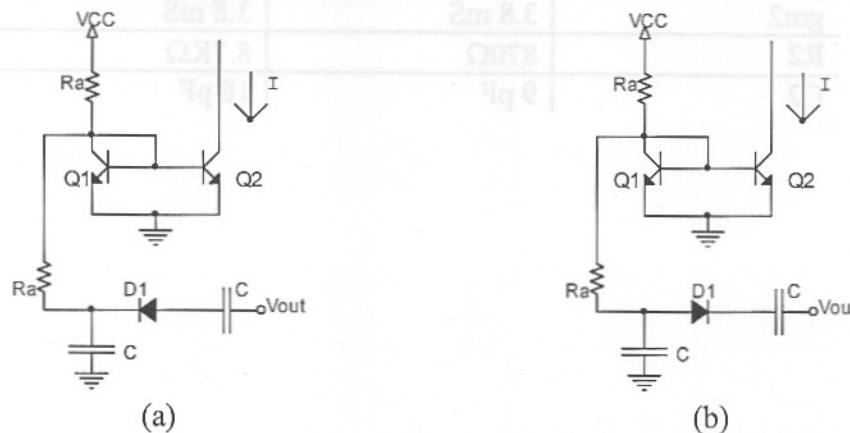
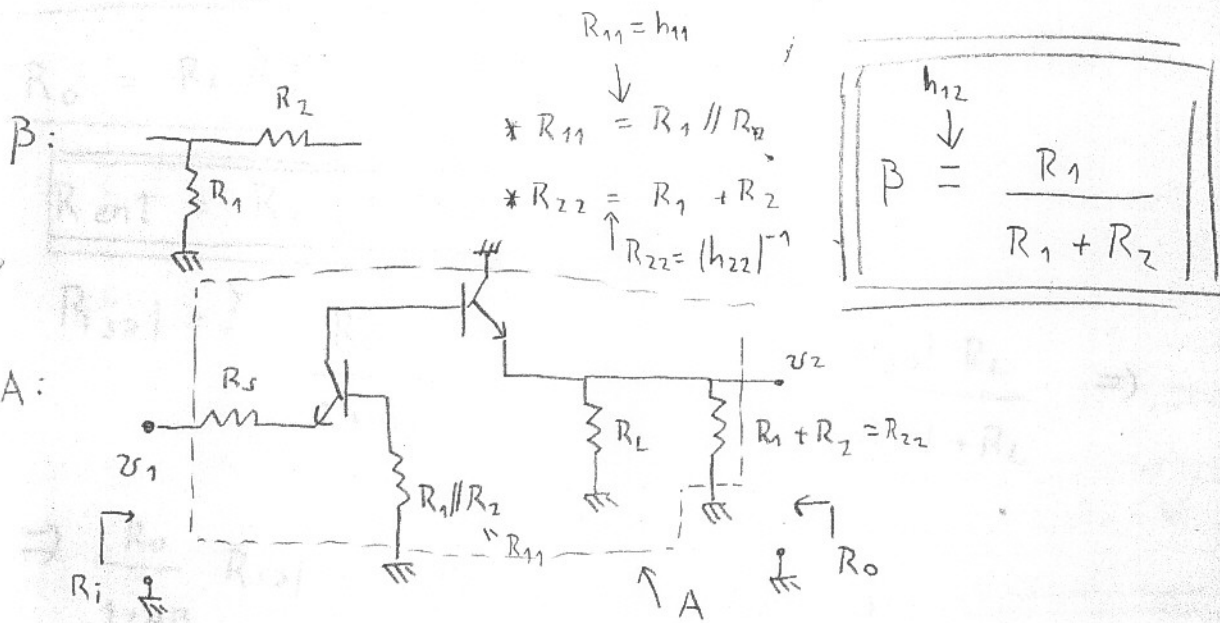
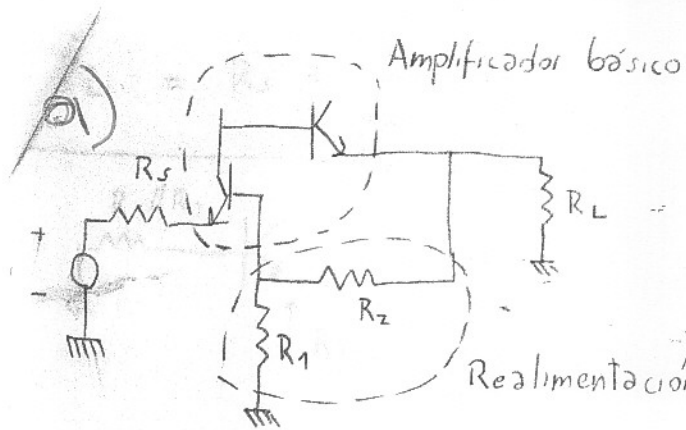
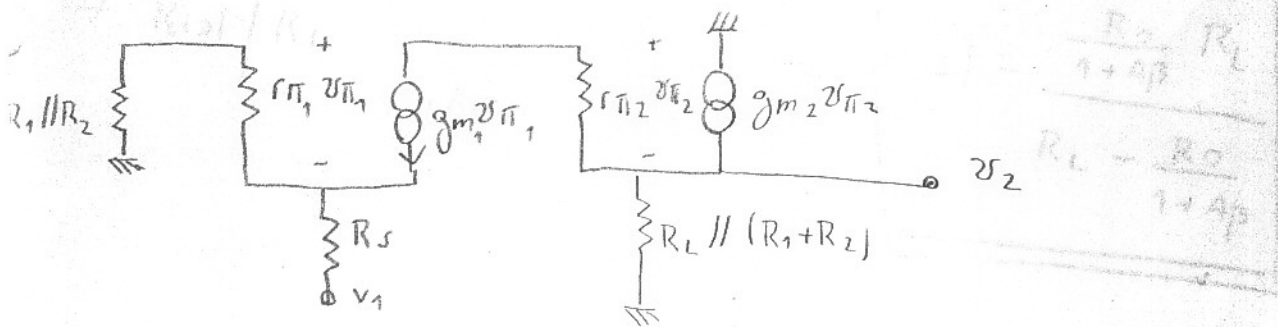


Figura 3

Datos: Los condensadores C se considerarán infinitos; Tensión umbral de D1: $V_{\gamma}=0$; Todos los transistores de un mismo tipo (npn o pnp) se suponen iguales con $\beta \gg 2$, y tensión base emisor V_{BE} . Los amplificadores operacionales se supondrán ideales. Los transistores MOS tienen $\beta_n = \beta_p = \beta_{MOS}$, $V_{Tn} = |V_{Tp}| = V_{Th}$, $\delta_n = \delta_p = 0$.



en pequeña señal:

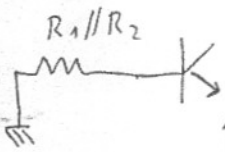


$$\frac{v_{\pi 1}}{v_1} = \frac{-1}{1 + \frac{R_1 \parallel R_2}{r_{\pi 1}} + R_s \left[g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right]}$$

$$\frac{v_o}{v_{\pi 1}} = - \left(g_{m1} + g_{m1} g_{m2} r_{\pi 2} \right) \times R_L \parallel (R_1 + R_2)$$

$$A = \frac{v_o}{v_{\pi 1}} \times \frac{v_{\pi 1}}{v_1} = g_{m1} \beta \left(R_L \parallel (R_1 + R_2) \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_1 \parallel R_2}{r_{\pi 1}} + R_s \left[g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right]}$$

$$b) \boxed{R_i = R_s + \frac{1}{g_{m1}} + \frac{R_1 // R_2}{\beta + 1}}$$



$$\uparrow R_{i1} = \frac{1}{g_{m1}} + \frac{R_1 // R_2}{\beta + 1}$$

$$R_i = R_s + R_{i1}$$

$$\boxed{R_o = R_L // (R_1 + R_2)}$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{ent} = R_i (1 + A\beta) - R_s}$$

$$R_{s2} = ? \quad \frac{R_o}{1 + A\beta} = R_{s2} // R_L = \frac{R_{s2} R_L}{R_{s2} + R_L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R_o}{1 + A\beta} R_{s2} = -\frac{R_o}{1 + A\beta} R_L + R_{s2} R_L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{s2} \left(R_L - \frac{R_o}{1 + A\beta} \right) = \frac{R_o R_L}{1 + A\beta} \Rightarrow$$

$$\boxed{R_{s2} = \frac{\frac{R_o R_L}{1 + A\beta}}{R_L - \frac{R_o}{1 + A\beta}}}$$

$$c) A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

en DC: $I_{C1} = I_{B1}$

$$V_{B1} \approx 0.7V$$

$$I_1 = 0.7mA$$

$$I_{R2} = I_1 = 0.7mA \quad (\text{puer } \tau_1 \gg I_{C1}/\beta)$$

$$I_{Q2} = I_{B2} + I_1 = 1.7mA$$

$$\Rightarrow g_{m1} = \frac{0.1mA}{26mV} = 0.0038$$

$$A \approx 247V/V$$

$$\beta \approx 0.1$$

$$\Rightarrow \boxed{A_f \approx \frac{1}{\beta} \approx 10V/V}$$

Problema 2 :

$$a) I_{S_{10,11}} = 5 I_{S_{8,9}}$$

$$\Rightarrow I_{C_{10,11}} = 5 I_{C_{8,9}} = 5 I_{C_{19}} = 1 \text{ mA}$$

↑
como $V_{BE9} + V_{EB8} = V_{DE11} + V_{EB10}$

$$\Rightarrow I_{C_{19}} = 200 \mu\text{A}$$

$$b) I_{C_{14}} = I_{C_{15}} = I_{C_{18}} = 3,3 \mu\text{A}$$

$$V_{EB,19} = V_{EB,18} + R_2 I_{C_{18}}$$

$$V_{EB,19} - V_{EB,18} = R_2 I_{C_{18}}$$

$$\frac{I_{C_{19}}}{I_{C_{18}}} = \frac{\frac{I_{S_{19}} e^{V_{EB,19}/V_T}}{I_{S_{18}} e^{V_{EB,18}/V_T}}}{\frac{I_{S_{18}} e^{V_{EB,18}/V_T}}{I_{S_{18}} e^{V_{EB,18}/V_T}}} = e^{\frac{V_{EB,19} - V_{EB,18}}{V_T}} = e^{\frac{R_2 I_{C_{18}}}{V_T}} = \frac{200 \mu\text{A}}{3,3 \mu\text{A}} = 60,6$$

$$R_2 I_{C_{18}} = V_T \ln 60,6 \Rightarrow R_2 = \frac{V_T \ln 60,6}{I_{C_{18}}} = 32,3 \text{ k}\Omega$$

$$c) g_1 = g_{m,2} \cdot (r_{\pi 6} + \beta_6 \cdot r_{\pi 7}) \quad (\text{ganancia desde la entrada a la base de } Q_6)$$

$$g_2 = g_{m7} \left(r_{o2} // r_{o19} // \left(\beta_{10,11} \cdot R_L + r_{\pi 10,11} \right) \right) \quad (\text{ganancia desde la base de } Q_6 \text{ al colector de } Q_7)$$

$$g_3 = 1 \quad (\text{ganancia desde el colector de } Q_7 \text{ a } v_{out})$$

$$g_{m,2} = \frac{I_{C_{1,2}}}{V_T} = \frac{I_{C_{20}/2}}{V_T} = \frac{3,3 \mu\text{A}/2}{26 \text{ mV}} = 0,063 \text{ mS}$$

$$r_{\pi 6} = \frac{\beta_6}{g_{m6}} = \frac{\beta_6 \cdot V_T}{I_{C_6}} = \frac{200 \cdot 26 \text{ mV}}{3,3 \mu\text{A}} = 1,6 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 7} = \frac{\beta_7}{g_{m7}} = \frac{\beta_7 \cdot V_T}{I_{C_7}} = \frac{200 \cdot 26 \text{ mV}}{200 \mu\text{A}} = 26 \text{ k}\Omega$$

$$r_{D7} = r_{O19} = \frac{V_A}{I_{C7,19}} = \frac{20}{200 \mu A} = 100 \text{ k}\Omega.$$

$$r_{\pi 10,11} = \frac{\beta_{10,11}}{g_{m10,11}} = \frac{50 \cdot 26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 1,3 \text{ k}\Omega$$

$$G_1 = 0,063 \times 10^{-3} \text{ S} (1,6 \text{ k}\Omega + 200 \cdot 26 \text{ k}\Omega) = 428$$

$$G_2 = 7,7 \times 10^{-3} \text{ S} \left(50 \text{ k}\Omega \parallel \left(50 \cdot 1 \text{ k}\Omega + 1,3 \text{ k}\Omega \right) \right) = 195$$

$25,3 \text{ k}\Omega$

$$G_3 = 1$$

$$G = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 = 83,5 \times 10^3 \quad , \quad 98 \text{ dB}$$

d)

$$f_{BW} = f_T = \frac{g_{m1 \text{er etapa}}}{2 \cdot \pi \cdot C_m} = \frac{0,063 \times 10^{-3} \text{ S}}{2 \cdot \pi \cdot C_m} = 1 \text{ MHz} \Rightarrow C_m = 10 \text{ pF}$$

e) Completa la función de protección de los transistores de salida Q_{10} , Q_{11} frente a sobrecorrientes, por ejemplo frente a un cortocircuito a la salida.

Q_{22} protege a Q_{11} . Cuando la corriente de colector por Q_{11} es tal que la caída en $R_3 = V_{BE} \Rightarrow Q_{22}$ se enciende disminuyendo la corriente de base de Q_{11} y bajando entonces su corriente de colector a valores admisibles.

Q_{21} , Q_{23} , Q_{24} protegen a Q_{10} . Cuando la corriente de colector por Q_{10} es tal que la caída en $R_4 = V_{BE} \Rightarrow Q_{21}$ se enciende tomando corriente de la carga, dicha corriente entra a Q_{23} y se copia en Q_{24} disminuyendo la corriente de base de Q_{10} y por ende la de Q_7 y Q_{10} bajando entonces su corriente de colector a valores admisibles.

Problema 3 :

$$z) \frac{N_o}{N_{in}} = \frac{g_{m2} \cdot g_{m1} \cdot R_1 \cdot R_2}{(1 + R_2 C_2 s)(1 + R_1 C_1 s)}$$

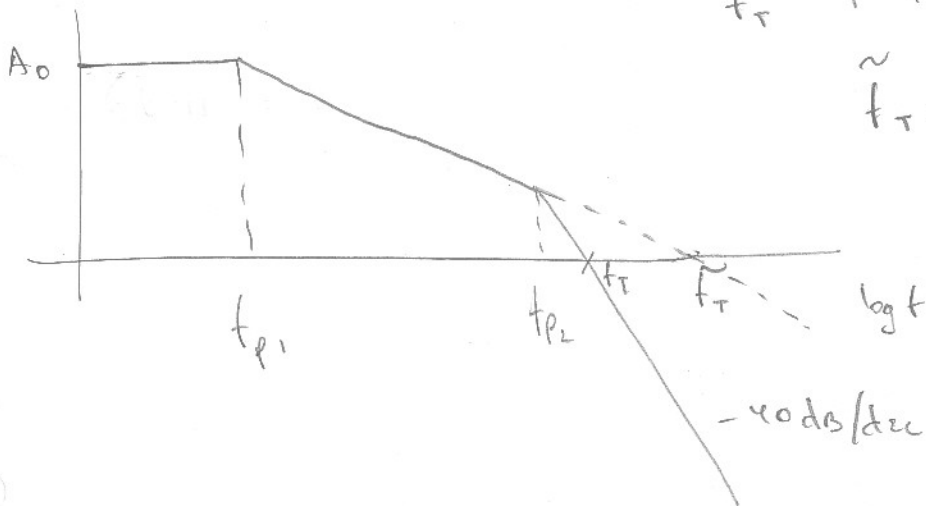
$$\omega_{p1} = \frac{1}{R_1 C_1}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{R_2 C_2}$$

$$A_o = g_{m2} \cdot g_{m1} \cdot R_1 \cdot R_2$$

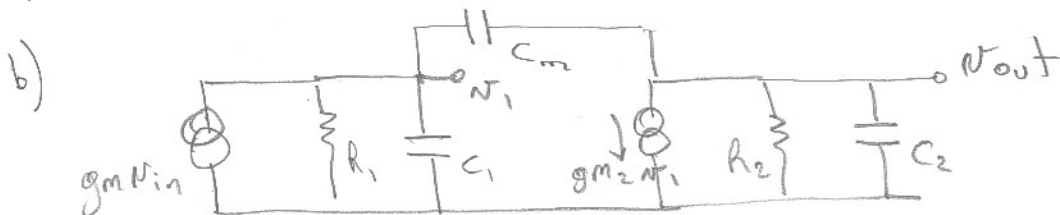
	Versión 1	Versión 2
f_{p1}	100 kHz	100 kHz
f_{p2}	20 MHz	1 MHz
A_o	100	10000
	(40 dB)	(80 dB)
\tilde{f}_T	10 MHz	1 GHz

$$\tilde{f}_T = A_o \cdot f_{p1}$$



f_{p2} |2 versión 1, $f_{p2} > \tilde{f}_T \Rightarrow PM > 45^\circ$

f_{p2} |2 versión 2, $f_{p2} < \tilde{f}_T \Rightarrow PM < 45^\circ$



Tomo $f_{p2} = 2,2 \tilde{f}_T$ de forma de que $PM \approx 60^\circ$

$$\underbrace{\frac{g_{m2} \cdot C_m}{C_1 \cdot C_2 + C_m(C_1 + C_2)}}_{\omega_{p2}} = 2,2 \cdot \underbrace{A_0}_{g_{m1} \cdot g_{m2} \cdot R_1 \cdot R_2} \cdot \underbrace{\frac{1}{g_{m2} C_m R_1 R_2}}_{\omega_{p1}}$$

$$\Rightarrow \frac{g_{m2} \cdot C_m}{C_1 \cdot C_2 + C_m(C_1 + C_2)} = 2,2 \cdot \frac{g_{m1}}{C_f}$$

$$\frac{g_{m2}}{2,2 g_{m1}} \cdot C_m^2 - C_m(C_1 + C_2) - C_1 \cdot C_2 = 0$$

$$C_m = \frac{(C_1 + C_2) \pm \sqrt{(C_1 + C_2)^2 + 4 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{g_{m2}}{2,2 g_{m1}}}}{2 \cdot \frac{g_{m2}}{2,2 g_{m1}}}$$

400 pF^2 (above the square root)
 654 pS pF^2 (below the square root)

$$= \frac{20 \text{ pF} \pm 32,4}{9,1} = \boxed{5,8 \text{ pF}}$$

~~-1,36~~

Para este valor $f_T = \frac{g_{m1}}{2 \cdot \pi \cdot C_m} = \frac{0,38 \times 10^{-3} \text{ S}^{-1}}{2 \cdot \pi \cdot 5,8 \times 10^{-12}} \approx 110 \text{ kHz}$

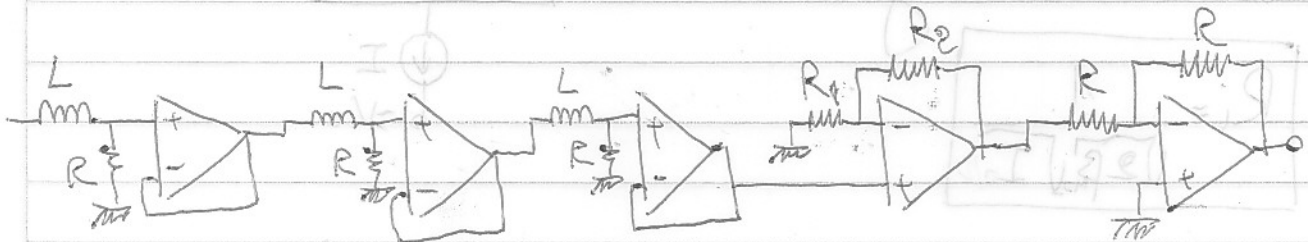
$$f_{p1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot g_{m2} \cdot C_m \cdot R_1 \cdot R_2} \approx 1 \text{ kHz}$$

$$f_z = \frac{g_{m2}}{2 \cdot \pi \cdot C_m} \approx 100 \text{ kHz} \gg f_T \Rightarrow \text{no influye en el margen de fase.}$$

Problema 4

a) Aplico criterio de Barkhausen: $A\beta(j\omega) = 1$

Abro el loop en la salida de un operacional por tener $R_0 = 0$



$$A\beta(\omega) = \left(\frac{R}{L\omega + R}\right)^3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (-1) \Rightarrow A\beta(j\omega) = \left(\frac{R}{Lj\omega + R}\right)^3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (-1)$$

$$\Rightarrow A\beta(j\omega) = \frac{-1}{\left(1 + \frac{j\omega L}{R} - \frac{3\omega^2 L^2}{R^2} - \frac{j\omega^3 L^3}{R^3}\right)} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Para que $A\beta(j\omega)$ se iguale a 1, tiene que ser real \Rightarrow igualo parte

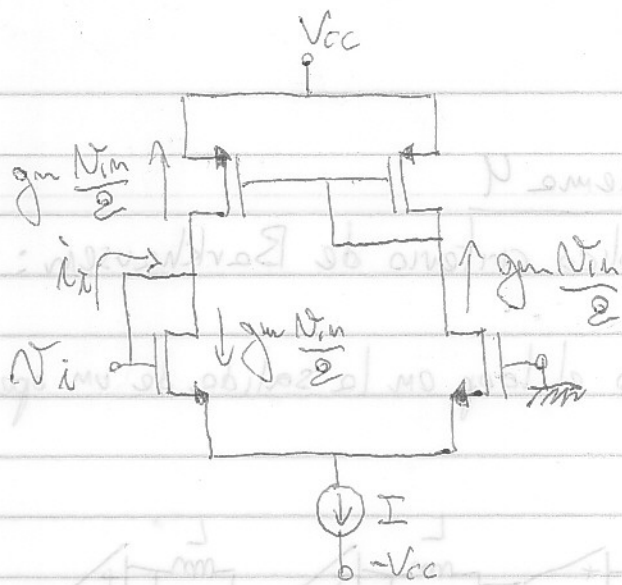
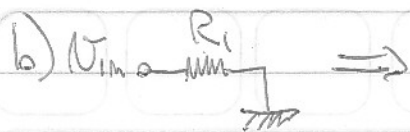
$$\text{imaginaria a cero.} \Rightarrow \frac{j\omega L}{R} - \frac{\omega^3 L^3}{R^3} = 0 \Rightarrow \boxed{\omega_{res} = \sqrt[3]{\frac{R}{L}}}$$

Ahora sustituyo ω_{res} e igualo a uno

$$A\beta(\omega_{res}) = \frac{-1}{\left(1 - \frac{3\omega_{res}^2 L^2}{R^2}\right)} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{1}{8} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow \boxed{R_2 = 7R_1}$$

\Rightarrow si se cumple que $R_2 = 7R_1$, \Rightarrow se cumple el criterio de

Barkhausen a la frecuencia ω_{res} .



$$i_i = g_m V_{in} \Rightarrow R_i = \frac{1}{g_m}$$

$$R_i = \frac{1}{\sqrt{2} \beta_{mos} I}$$

c) i) $A\beta(j\omega_{res}) = \frac{1}{8} \left(1 + \frac{R_e}{R_i} \right) = \frac{1}{8} \left(1 + R_e \sqrt{2} \beta_{mos} I \right) = 1$

Si elegimos la opción 3b) \Rightarrow en el condensador conectado entre el ánodo de D1 y tierra se almacena $-|V_{op}|$

$$\Rightarrow \text{Si } |V_{op}| \uparrow \Rightarrow I \downarrow \Rightarrow A\beta(j\omega_{res}) \downarrow \Rightarrow |V_{op}| \downarrow$$

$$\text{Si } |V_{op}| \downarrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow A\beta(j\omega_{res}) \uparrow \Rightarrow |V_{op}| \uparrow$$

\Rightarrow esta es la opción correcta.

ii) $I = \frac{V_{cc} - V_{SE}}{R_e} - \frac{V_{SE} + |V_{op}|}{R_e} \Rightarrow$ sustituyo I en $A\beta(j\omega_{res})$

e igualo a uno.

$$\frac{1}{8} \left(1 + R_e \sqrt{2} \beta_{mos} \left| \frac{V_{cc} - 2V_{SE} - |V_{op}|}{R_e} \right| \right) = 1$$

$$|V_{op}| = V_{cc} - 2V_{SE} - \frac{49 R_e}{2 R_e \beta_{mos}}$$