

Examen de Electrónica 2
10/02/2020

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.

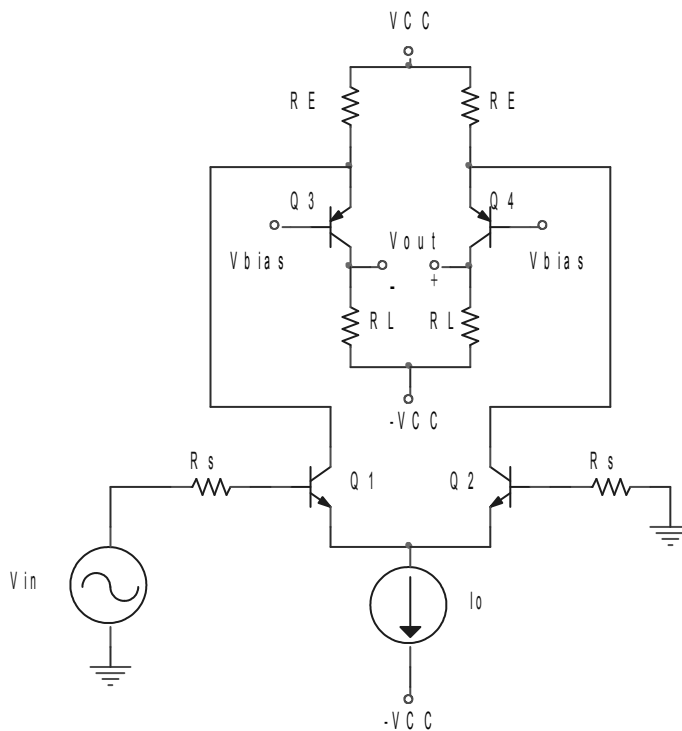
Problema 1 : (38 puntos)

En el circuito de la figura, los valores de los componentes son tales que:

- Calcular la ganancia V_{out}/V_{in} en baja frecuencia.
- Calcular la frecuencia de corte superior.
- Calcular el margen de fase del circuito.

Datos: $I_o = 10 \text{ mA}$, $R_L = 50 \Omega$, $R_E = 120 \Omega$, $R_s = 250 \Omega$, $V_{CC} = |-V_{CC}| = 2,5 \text{ V}$, $V_{bias} = 0,8 \text{ V}$.

Q1 a Q4 tienen $f_T = 600 \text{ MHz}$ @ $I_c = 10 \text{ mA}$, $c_{\mu} = 7 \text{ pF}$, $c_{je} = 35 \text{ pF}$, $\beta = 300$, $V_{BE} = V_{EB} = 0,7 \text{ V}$.



Problema 2 (38 pts):

En el oscilador de la Figura 1, R_f es una resistencia de valor muy alto que permite polarizar el gate de M1 y M2 y que se supondrá infinita a los efectos de la señal. El capacitor C_c también se supondrá infinito a los efectos de la señal.

Los transistores tienen los siguientes datos: $\beta_n = (\mu C_{ox} W/L)_n = (\mu C_{ox} W/L)_p = \beta_p$, $V_{ton} = |V_{top}| = V_{to}$, $\delta_n = \delta_p = 0$, $V_{An} = V_{Ap} = \infty$. La amplitud de la señal es tal que los transistores operan en pequeña señal y en saturación.

El bloque C implementa el control de amplitud del oscilador y se supondrá no toma corriente. El cristal se modela con una impedancia $R + jX$.

- a) Determinar la frecuencia y condición de oscilación en función de la salida del bloque de control I_{bias} .
- b) Si el cristal utilizado tiene el siguientes modelo: $r_{serie}=100\Omega$, $L=520mH$, $C_{serie}=0.012pF$, $C_{paralelo}=4pF$, indicar en qué rango de frecuencias se encontrará la frecuencia de oscilación.

El bloque de control C genera una corriente I_{bias} a su salida igual a:

$I_{bias} = K1 \cdot V_{gp} + K2$, siendo V_{gp} la amplitud de pico de la componente de señal en el gate de los transistores M1 y M2.

- c) ¿Qué signo debe tener K1 y que condición debe cumplir K2 para que el oscilador arranque y el control de amplitud funcione correctamente? Fundamente.
- d) Determine la amplitud de la oscilación V_{1p} que tendrá el oscilador en función del resto de los parámetros del sistema.

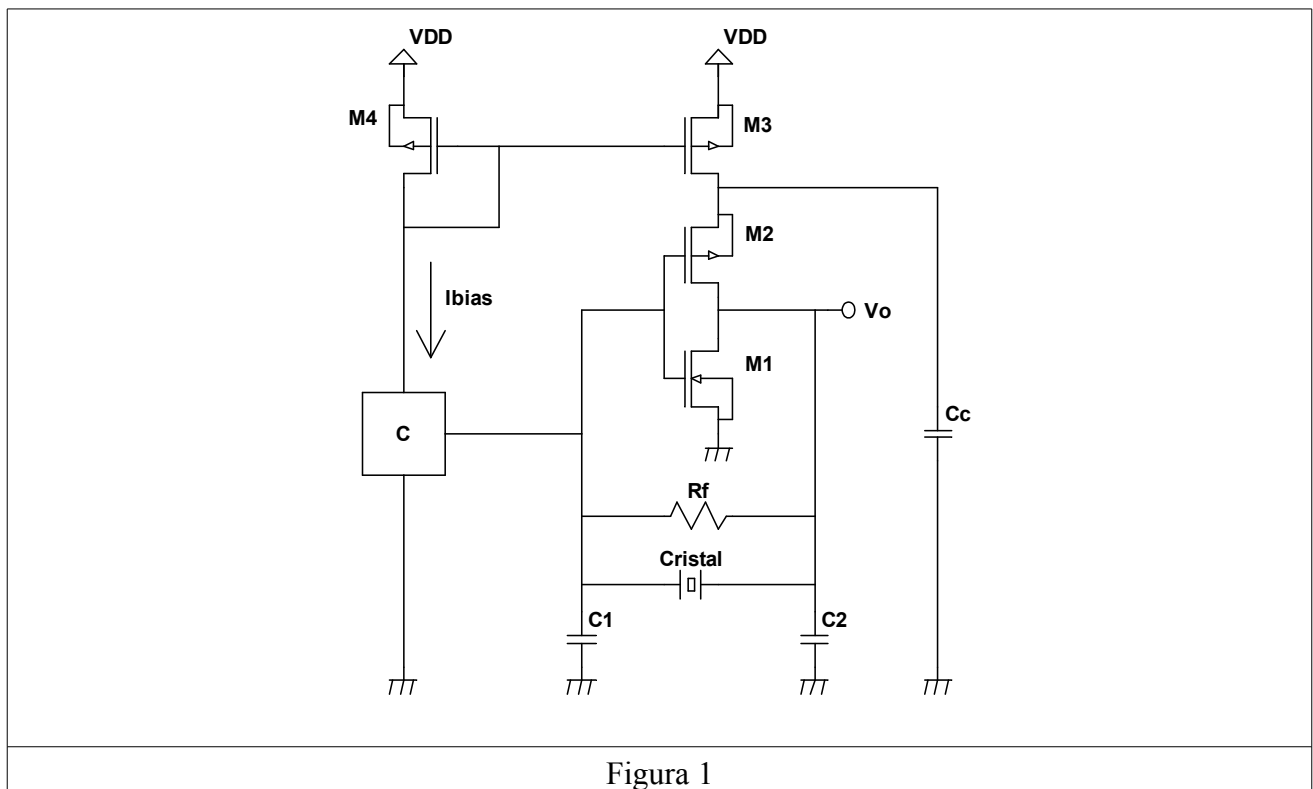


Figura 1

Pregunta: (24 puntos)

En la Figura 1 se tiene una variación de una etapa de potencia tipo clase AB. El transistor Q4 está implementado con un pnp tipo TIP42 y el Q3 con un npn tipo TIP41, cuya hoja de datos se da en la Figura 2.

Se pide:

- Si se quiere una potencia máxima por la carga de 16W, ¿cuál es el voltaje de la fuente necesario?
- Consideramos ahora amplitudes a la salida entre 0 y la que da la potencia de 16W a la salida. ¿Cuál es la máxima potencia disipada por cada uno de los transistores Q3 y Q4 para entradas en este rango? ¿Cuánto vale en este caso la eficiencia del circuito, despreciando la potencia disipada en las etapas de Q1 y Q2?
- En caso de usar un disipador cuya resistencia térmica con el ambiente es de $2.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y la resistencia del encapsulado con el disipador es de $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$, ¿cuál es la máxima potencia que puede disipar cada transistor y la temperatura de la juntura en ese caso?

Datos: $R_L=2\Omega$, $V_{CC}=V_{EE} \gg V_{BE}$, V_{CEsat}

Nota: Se supondrá que I_{bias} es suficientemente grande para no limitar la potencia que se puede entregar a la carga.

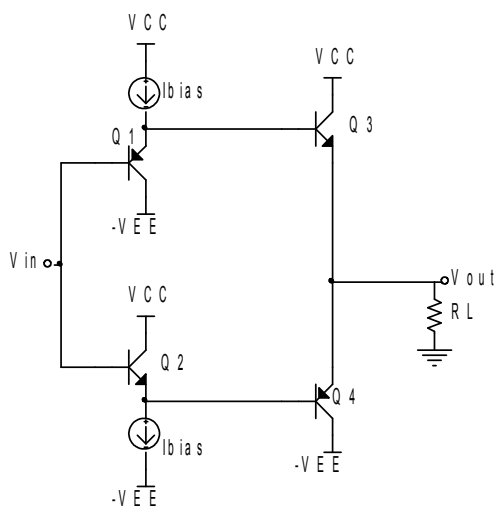


Figura 1

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CEO}	40 60 80 100	Vdc
Collector-Base Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CB}	40 60 80 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current- Continuous Peak	I_C	6.0 10	Adc
Base Current	I_B	2.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52	Watts $\text{W}/^{\circ}\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	Watts $\text{W}/^{\circ}\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	62.5	mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

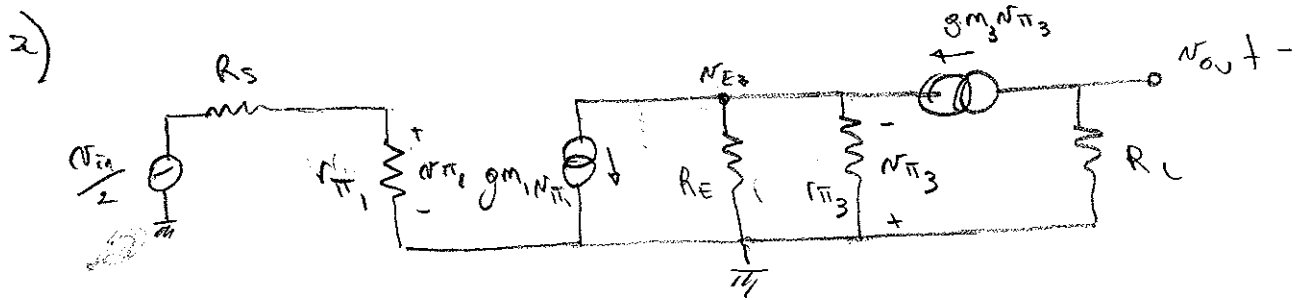
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.67	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	57	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

1. $I_C = 2.5 \text{ A}$, $L = 20 \text{ mH}$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_{BE} = 100 \Omega$.
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

Figura 2

Problema 1 :



$$I_0 = 10 \text{ mA} \Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = 5 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = g_{m2} = \frac{5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,19 \text{ } \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m1,2}} = 1560 \text{ } \Omega$$

$$I_{R_E} = \frac{V_{CC} - (V_{CE2} + V_{EB})}{R_E} = \frac{2,5 - (0,8 + 0,7)}{R_E}$$

$$= \frac{1}{120 \text{ } \Omega} = 8,33 \text{ mA}$$

$$I_{C1} + I_{C3} = I_{R_E} \Rightarrow I_{C3} = I_{R_E} - I_{C1} = 8,33 \text{ mA} - 5 \text{ mA} = 3,33 \text{ mA}$$

$$g_{m3} = \frac{3,33 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,13 \text{ } \Omega^{-1}, \quad r_{\pi 3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 2340 \text{ } \Omega$$

$$v_{E3} = -g_{m1} \cdot v_{\pi 1} \cdot \left(R_E \parallel r_{\pi 3} \parallel \frac{1}{g_{m3}} \right) \approx -g_{m1} \cdot v_{\pi 1} \cdot \frac{1}{g_{m3}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} v_{\pi 1} = -1,5 v_{\pi 1}$$

$$v_{\pi 1} = \frac{v_{in}}{2} \cdot \frac{r_{\pi 1}}{R_s + r_{\pi 1}} \approx \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86 \Rightarrow v_{E3} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} \cdot \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86$$

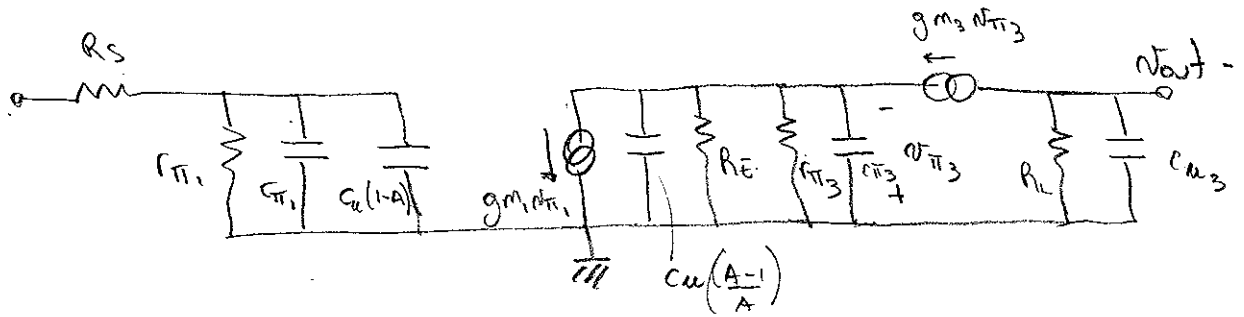
$$v_{out}^- = -g_{m3} v_{\pi 3} \cdot R_L = -g_{m3} \cdot (-v_{E3}) \cdot R_L = -\cancel{g_{m3}} \cdot \frac{g_{m1}}{\cancel{g_{m3}}} R_L \cdot v_{\pi 1} =$$

$$= -g_{m1} R_L \cdot \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86 \approx 4,1 \cdot v_{in} \Rightarrow \frac{v_{out}^-}{v_{in}} = -4,1$$

Por simetria. $v_{out}^+ = 4,1 \cdot v_{in} \Rightarrow v_{out} = v_{out}^+ - v_{out}^- = 8,2 v_{in}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = 8,2}$$

b)



$$A = -1,5$$

$$f_T = \frac{g_m}{2 \cdot \pi \cdot (C_{\pi} + C_u)} \Rightarrow C_{\pi} + C_u = \frac{g_m}{2 \cdot \pi \cdot f_T} = \frac{10 \text{ mA}}{2 \cdot \pi \cdot 600 \times 10^6} = 102 \text{ pF}$$

$$C_{\pi} = 95 \text{ pF} = 35 \text{ pF} + K \cdot 10 \text{ mA} \Rightarrow K = 6 \text{ pF/mA}$$

$$C_{\pi_1} = C_{\pi} @ 5 \text{ mA} = 35 \text{ pF} + K \cdot 5 \text{ mA} = 65 \text{ pF}$$

$$C_{\pi_3} = C_{\pi} @ 3,3 \text{ mA} = 35 \text{ pF} + K \cdot 3,3 \text{ mA} = 55 \text{ pF}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_s \parallel r_{\pi_1} \cdot (C_{\pi_1} + (1 + 1,5) \cdot C_u)} = 9,0 \text{ MHz}$$

$$f_{p2} = \frac{g_{m3}}{2 \cdot \pi \cdot (C_{\pi_3} + \frac{1 + 1,5}{1,5} \cdot C_u)} = 305 \text{ MHz}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_L \cdot C_{u3}} = 454 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow f_{-3\text{dB}} = 9,0 \text{ MHz}$$

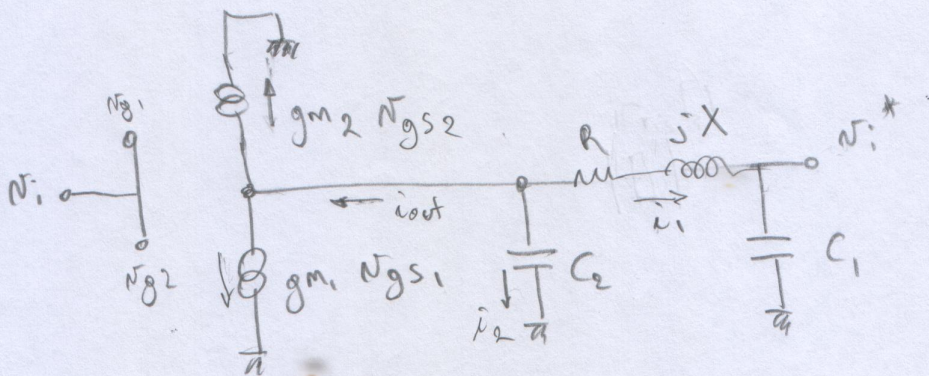
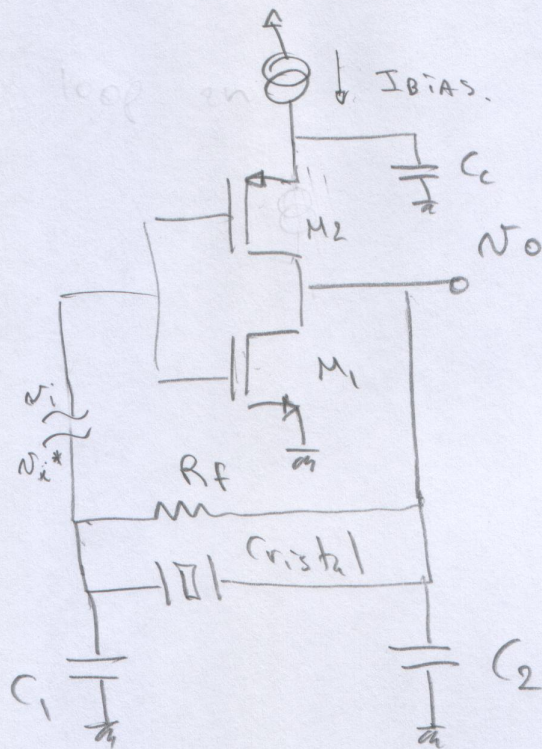
$$c) f_T = G \cdot \text{BW} = 8,2 \cdot 9,0 \text{ MHz} = 73,8 \text{ MHz} \Rightarrow f_T = 73,8 \text{ MHz}$$

$$\text{MF} = 180 - 90 - \text{tg}^{-1} \left(\frac{f_T}{f_{p2}} \right) - \text{tg}^{-1} \left(\frac{f_T}{f_{p3}} \right) =$$

$$= 90 - 13,6 - 9,2 = 67,2 \Rightarrow \text{MF} = 67,2^\circ$$

Problema 2.

a) Abrir el bucle en



$$i_{out} = gm_1 V_{gs1} + gm_2 V_{gs2} = 2 gm V_i$$

$$V_{gs1} = V_{gs2} = V_i$$

$$gm_1 = gm_2 = gm$$

$$V_i^* = \frac{i_1}{jC_1 \omega}$$

$$i_1 = -2 gm V_i \left(\frac{1}{j\omega C_2} \right) \left(R + jX + \frac{1}{j\omega C_1} \right) \cdot \frac{1}{\left(R + jX + \frac{1}{j\omega C_1} \right)}$$

$$\Rightarrow N_i^* = \frac{-2g_m N_i}{C_1 j\omega \left(C_2 R_j \omega + 1 + \frac{C_2}{C_1} - C_2 X_w \right)} \quad \left| \frac{N_i^*}{N_i} \right| = A\beta$$

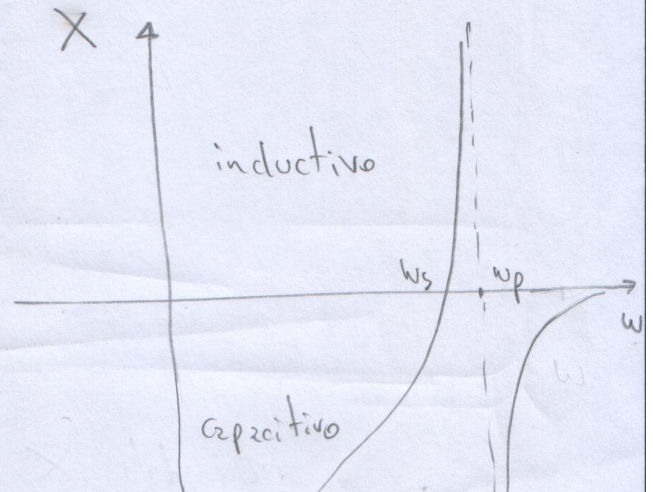
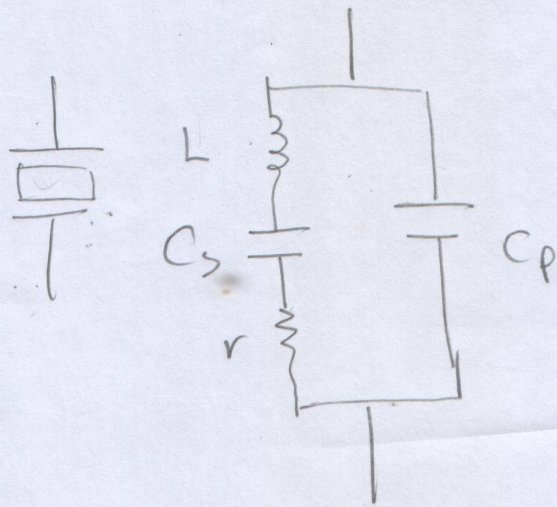
$$\text{Im}(A\beta) = 0 \Rightarrow 1 + \frac{C_2}{C_1} - C_2 X_w = 0 \Rightarrow C_2 X_w = \frac{C_2 + C_1}{C_1}$$

$$\omega_{osc} = \frac{1}{X \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

$$\text{Re}(A\beta) = 1 \Rightarrow \frac{-2g_m}{-C_1 C_2 \omega_{osc}^2 R} = 1 \Rightarrow \frac{2g_m}{C_1 C_2 \omega_{osc}^2 R} = 1$$

$$g_m = \sqrt{2\beta I_{bias}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{2 \sqrt{2\beta I_{bias}} (C_1 C_2)^2 X^2}{(C_1 + C_2)^2 R C_1 C_2} = 1$$

b)



para que el circuito oscile X debe ser positivo (inductiva)

$$\rightarrow \omega_s < \omega_{osc} < \omega_p$$

$$\omega_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_s}}$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_s}} = 2,0148 \text{ MHz}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_s C_p}{C_s + C_p}}} = 2,0178 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow 2,0148 \text{ MHz} < f_{osc} < 2,0178 \text{ MHz}$$

c) i) En el arranque $V_{gp} = \phi \rightarrow I_{bias} = k_2$

$$A_\beta(\omega_{osc}) > 1$$

$$\Rightarrow \frac{2 \sqrt{2\beta k_2} \cdot C_1 C_2 X^2}{R (C_1 + C_2)^2} > 1$$

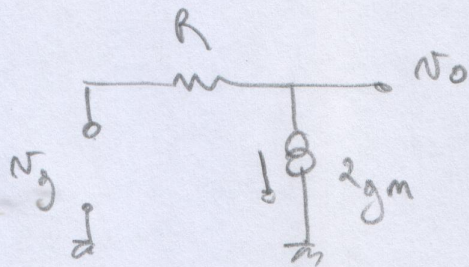
$$k_2 > \frac{R^2 (C_1 + C_2)^4}{\beta X^4 (C_1 C_2)^2}$$

A medida que crece la amplitud A_β debe ir disminuyendo hasta que $A_\beta = 1 \Rightarrow k_1 < \phi$

$$\text{ii) } A_\beta(j\omega_{osc}) = \frac{2 \sqrt{2\beta (k_2 - k_1 V_{gp})} X^2 C_1 C_2}{R (C_1 + C_2)^2} = 1$$

$$\Rightarrow V_{gp} = \frac{1}{k_1} \left[k_2 - \frac{(C_1 + C_2)^4 R^2}{\beta X^4 (C_1 C_2)^2} \right]$$

En resonancia el circuito tanque tiene impedancia infinita solo queda $1/2 R$



$$\frac{v_g - v_o}{R} = 2g_m v_g \Rightarrow \frac{v_o}{v_g} = (1 - R \cdot 2g_m)$$

$$\Rightarrow v_o = v_{gr} (1 - Rg_m)$$

Pregunta

a) $P_L^{m\acute{o}s} = 16 \text{ W}$

$$P_L^{m\acute{o}s} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} \Rightarrow V_{cc} = \sqrt{P_L^{m\acute{o}s} \cdot 2R_L} = 8$$

$\hat{V}_o = V_{cc}$

b) $P_{dis. \text{ c/trans}} = \frac{P_S - P_L}{2} = \frac{V_{cc} \hat{V}_o}{\pi R_L} - \frac{\hat{V}_o^2}{4R_L} \Big|_{\hat{V}_o = \frac{2V_{cc}}{\pi}} = \frac{V_{cc}^2}{\pi^2 R_L} = \underline{\underline{3.24 \text{ W}}}$

$$\eta = \frac{\frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}}{2V_{cc} \cdot \frac{\hat{V}_o}{\pi R_L}} \Big|_{\hat{V}_o = \frac{2V_{cc}}{\pi}} = \frac{\frac{2V_{cc}}{2R_L \pi}}{\frac{2V_{cc}}{R_L \pi}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{\eta = 50\%}$$

c) Con un diodo pndor: $\theta_{jA} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{SA}$

$$\theta_{jA} = 1.67 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 2.5 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 2 \text{ } ^\circ\text{C/W} = 6.17 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$



$$P_{m\acute{o}s}^{c/trans} = \frac{T_{j,m\acute{o}s} - T_A}{\theta_{jA}} = \frac{150^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{6.17 \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 17.8 \text{ W}$$

En la parte (b) vimos que la máxima potencia que puede disipar c/transistor con las especificaciones dadas es 3.24 W.
Con el disipador podemos alcanzar esa potencia máxima.

$$\text{Por tanto } T_j = P_{m\acute{o}s}^{c/trans} \theta_{jA} + T_A = 3.24 \cdot 6.17 + 40 = \underline{\underline{60 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$