

Examen de Electrónica 2
29/07/2016

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.

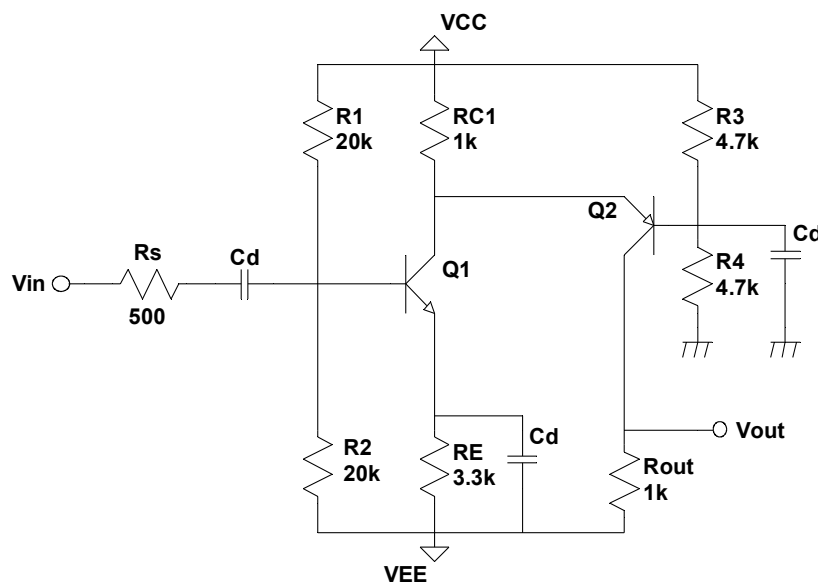
Problema 1: (35 puntos)

Para el circuito de la Figura calcule:

- Polarización de todos los transistores.
- Ganancia a frecuencias medias V_{out}/V_{in} .
- Frecuencia de corte superior.

Datos:

$Q1, Q2$: $C_{\mu}=4\text{pF}$, $C_{JE}=20\text{pF}$, $f_{T@10\text{mA}}=300\text{MHz}$, $\beta=200$, $V_{BEQ1} = V_{EBQ2} = 0.7\text{V}$, $V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{V}$, $V_A=\infty$, los capacitores C_d se podrán considerar infinitos.



Problema 2: (40 puntos)

En el oscilador de la figura, R_f es una resistencia de valor muy alto que permite polarizar el gate de $M1$ y que se supondrá infinita a los efectos de la señal. Los transistores se supondrán con tensión de Early infinita y la amplitud de la señal tal que el transistor opera en pequeña señal.

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

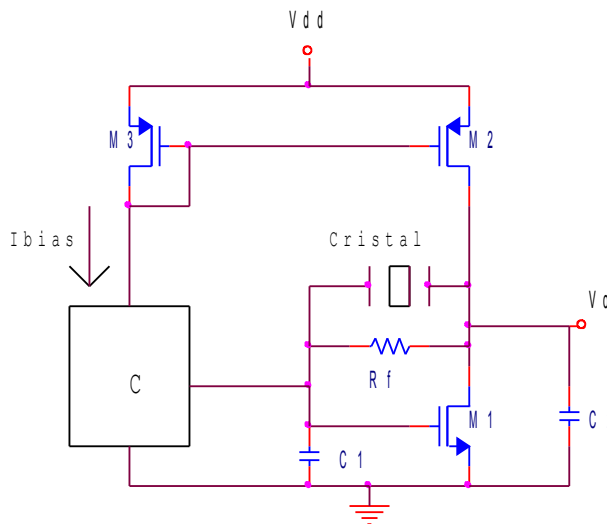
- Determinar la frecuencia y condición de oscilación en función de la salida del bloque de control I_{bias} .
- Si el cristal utilizado tiene el siguientes modelo: $r_{serie}=100\Omega$, $L=520\text{mHy}$, $C_{serie}=0.012\text{pF}$, $C_{paralelo} = 4\text{pF}$, indicar en que rango de frecuencias se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

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.



Pregunta : (25 puntos)

- a) Para la etapa de potencia de la Fig. 1, determinar la máxima eficiencia que sería posible alcanzar para una señal de entrada sinusoidal, indicando bajo que condiciones se alcanzaría esta eficiencia máxima.
- b) En el caso particular en que $V_{CC} = 5V$, $I_o = 1A$, $R_L = 4 \Omega$, $V_{opico} = 2V$, V_{BE} para todos los transistores es $0.8V$ y el nivel de continua en V_{IN} es $0.8V$, determinar, la potencia entregada a la carga, el rendimiento y la potencia disipada por cada uno de los transistores $Q1, Q2, Q3$.
- c) Se implementa el circuito con transistores TIP 41, de los que se adjuntan datos y se considerará que la tensión base-emisor es de $0.8V$. Se desea que el circuito opere con una temperatura ambiente máxima de $45^\circ C$ y se está en las condiciones de la parte b).
 - i) Indicar para cada transistor si se requiere utilizar un disipador, explicando claramente porqué si o porqué no y que datos de la hoja de datos utiliza para deducir esto.
 - ii) Para los transistores que se requiera utilizar un disipador, se desea utilizar el mismo para todos. Determinar que condición debe cumplir su resistencia térmica disipador – ambiente si se monta de modo que la resistencia térmica disipador – carcasa del dispositivo (“case”) es $0.5^\circ C/W$.

NOTA: Se despreciará en todo el problema la potencia disipada debido a las corrientes de base de los transistores.

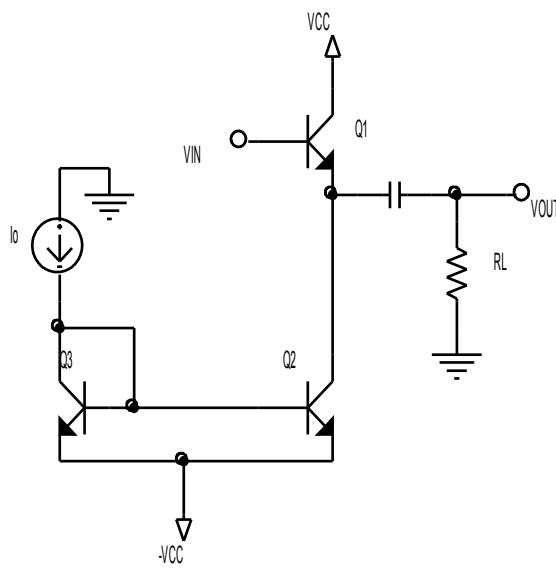


Fig. 1

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

... designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector–Emitter Saturation Voltage — $V_{CE(sat)} = 1.5 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 6.0 \text{ Adc}$
- Collector–Emitter Sustaining Voltage — $V_{CEO(sus)} = 60 \text{ Vdc (Min) — TIP41A, TIP42A}$
 $= 80 \text{ Vdc (Min) — TIP41B, TIP42B}$
 $= 100 \text{ Vdc (Min) — TIP41C, TIP42C}$
- High Current Gain — Bandwidth Product $f_T = 3.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO–220 AB Package

*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP41A TIP42A	TIP41B TIP42B	TIP41C TIP42C	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	I_C	6 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 $W/^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts $W/^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	62.5			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

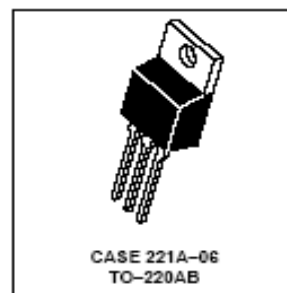
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$

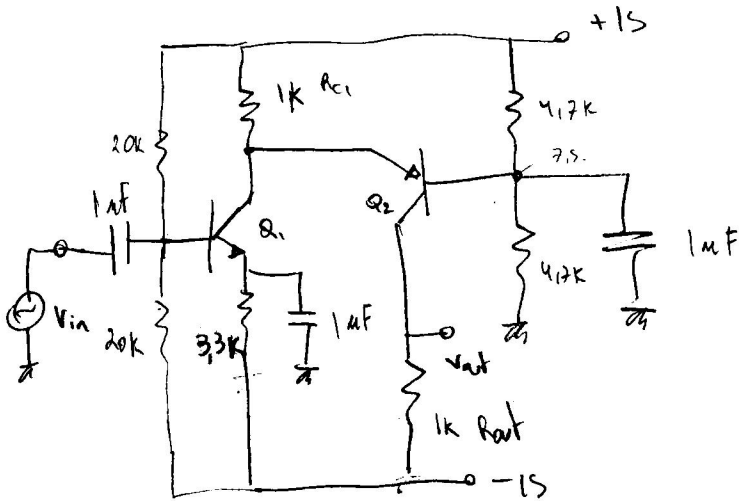
(1) $I_C = 2.5 \text{ A, L} = 20 \text{ mH, P.R.F.} = 10 \text{ Hz, } V_{CC} = 10 \text{ V, } R_{BE} = 100 \Omega$.

NPN
TIP41A
TIP41B*
TIP41C*
PNP
TIP42A
TIP42B*
TIP42C*

*Motorola Preferred Device

6 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60–80–100 VOLTS
65 WATTS





$$V_{BE} = 0.7$$

$$I_{CQ1} = \left(\frac{0 - V_{BE} - (-15)}{3.3k} \right) = 4.3 \text{ mA}$$

$$I_{Rc1} = \frac{15 - (V_{BE} + 7.5)}{1k} = 6.8 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{CQ2} = 2.5 \text{ mA}$$

$$\beta = 200$$

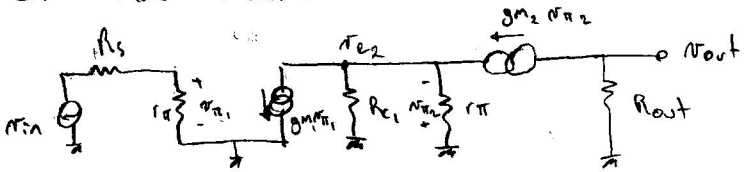
$$g_{m1} = \frac{I_{CQ1}}{26 \text{ mV}} = 166 \text{ mS}$$

$$r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_{m1}} = \frac{200}{166 \text{ mS}} = 1200 \Omega$$

$$g_{m2} = \frac{I_{CQ2}}{26 \text{ mV}} = 96 \text{ mS}$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta \cdot 26 \text{ mV}}{I_{CQ2}} = 2000 \Omega$$

En Banda Pasante

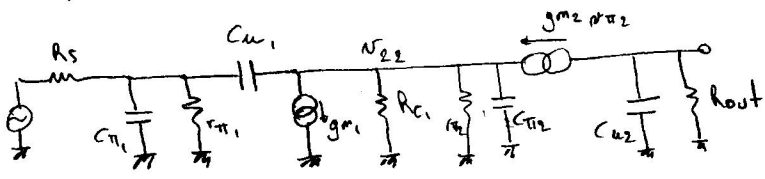


$$v_{\pi 1} = v_{in} \cdot \frac{r_{\pi 1}}{r_{\pi 1} + R_s} = 0,71 v_{in}$$

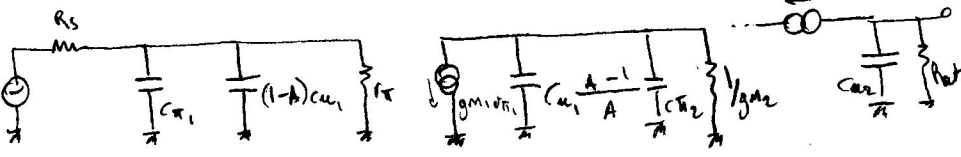
$$v_{\pi 2} = -g_{m1} v_{\pi 1} \cdot (1/g_{m2} \parallel 1k) = -\left(\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \cdot \frac{r_{\pi 1}}{r_{\pi 1} + R_s} \cdot v_{in}\right) = -1,22 v_{in}$$

$$v_{out} = v_{\pi 2} \cdot g_{m2} \cdot 1k = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \cdot \frac{r_{\pi 1}}{r_{\pi 1} + R_s} \cdot g_{m2} \cdot 1k \cdot v_{in}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -117$$



C_{μ1} seze por Miller



$$C_u = 4 \text{ pF}$$

$$C_{je} = 20 \text{ pF}$$

$$f_T = 300 \text{ MHz} \quad \text{②} \quad I_C = 10 \text{ mA}$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{\pi} + C_u)} \Rightarrow C_{\pi} + C_u = \frac{g_m}{2\pi f_T} = \frac{10 \text{ mA} / 20 \text{ mV}}{2 \cdot \pi \cdot 300 \times 10^6} = 204 \text{ pF}$$

$$C_{\pi} = 200 \text{ pF} = 20 + k \cdot 10 \text{ mA} \Rightarrow k = 18 \text{ pF/mA}$$

$$C_{\pi 1} = 20 \text{ pF} + 4,3 \text{ mA} \cdot 18 \text{ pF}/\text{mA} = 97,4 \text{ pF}$$

$$C_{\pi 2} = 20 \text{ pF} + 2,5 \text{ mA} \cdot 18 \text{ pF}/\text{mA} = 65 \text{ pF}$$

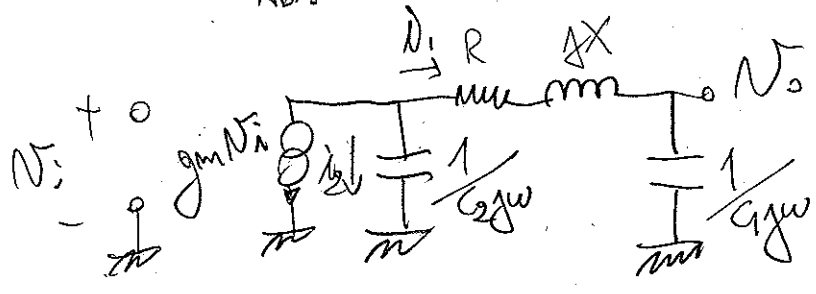
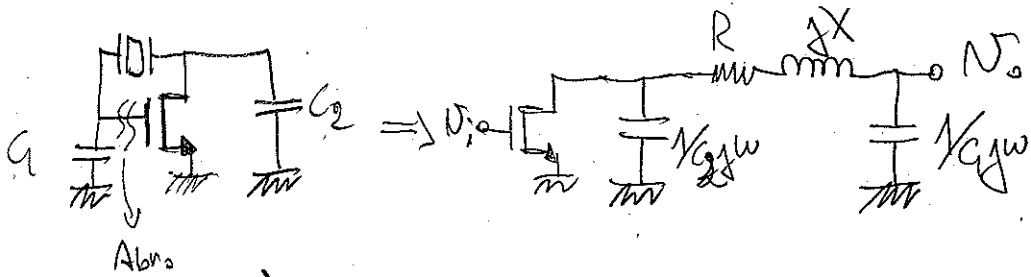
$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{s//r_{\pi}} \cdot (C_{\pi 1} + (1-A)C_u)} = \boxed{4,15 \text{ MHz}}$$

" 384 " 2,72

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{1}{g_{m2}} \cdot (C_{\pi 2} + \frac{A-1}{A} C_u)} = 214 \text{ MHz}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{out} \cdot C_{u2}} = 40 \text{ MHz}$$

a)



$$N_o = -\frac{N_i}{g_{m\omega}}$$

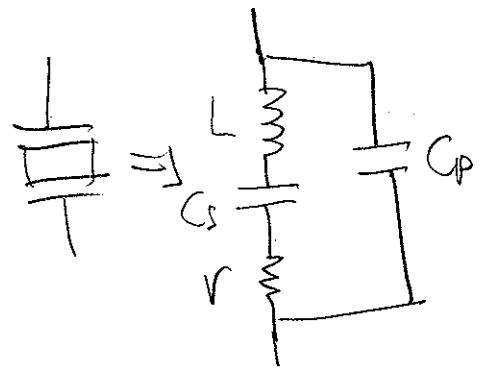
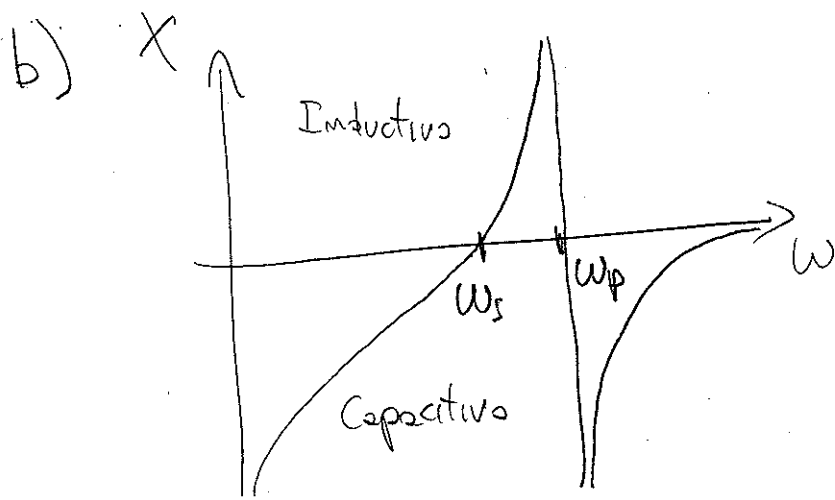
$$N_i = -g_m N_o \frac{1}{g_{m\omega}} = \frac{-g_m N_o}{C_2 R \omega - C_2 X \omega + \frac{C_2}{C_1} + 1}$$

$$\Rightarrow N_o = \frac{-g_m N_i}{g_{m\omega} (C_2 R \omega + 1 + \frac{C_2}{C_1} - C_2 X \omega)}$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{C_2}{C_1} - C_2 X \omega = 0 \Rightarrow C_2 X \omega = \frac{C_1 + C_2}{C_1}$$

$$\Rightarrow \omega_{osc} = \frac{1}{X \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} \Rightarrow \frac{N_o}{N_i} = \frac{g_m}{C_1 C_2 R \omega_{osc}^2}$$

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



Para que el circuito oscile X debe ser positivo (inductivo).

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

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

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

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

c) i)

$$A\beta(j\omega_{osc}) = \frac{\sqrt{2\beta I_{bias}} X^2 C_1 C_2}{R(C_1 + C_2)^2} = \frac{\sqrt{2\beta (k_1 V_{gp} + k_2)} X^2 C_1 C_2}{R(C_1 + C_2)^2} = 1$$

En el arranque $V_{gp} = 0 \Rightarrow$

$$A\beta(j\omega_{osc}) = \frac{\sqrt{2\beta k_2} X^2 C_1 C_2}{R(C_1 + C_2)^2} > 1 \Rightarrow$$

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

A medida que crece la amplitud (luego del arranque) $A\beta$ debe ir disminuyendo hasta que $A\beta = 1 \Rightarrow$

$$k_1 < 0$$

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

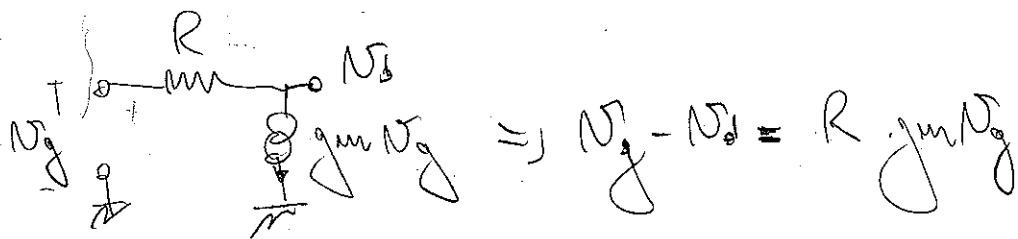
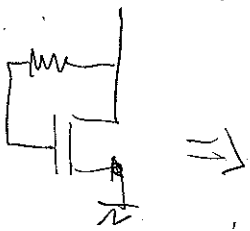
$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2\beta (k_2 - k_1 V_{gp})}}{x^2 C_1 C_2} = R (C_1 + C_2)^2 \Rightarrow 2\beta (k_2 - k_1 V_{gp}) = \frac{(C_1 + C_2)^4 R}{x^4 (C_1 C_2)^2}$$

$$k_2 - k_1 V_{gp} = \frac{(C_1 + C_2)^4 R}{2\beta x^4 (C_1 C_2)^2}$$

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

Para obtener la amplitud a la salida debo multiplicar V_{gp} por la ganancia entre gate y drain.

Debo que a la frecuencia de resonancia el circuito tanque tiene impedancias infinita \Rightarrow



$$\Rightarrow \frac{N_d}{N_g} = (1 - R \cdot g_m)$$

$$\Rightarrow V_{1P} = (1 - R \cdot g_m) V_{gp}$$

$$2) \quad \eta = \frac{P_L}{P_S}$$

$$P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}$$

$$\begin{aligned} P_S^- &= 2V_{CC} \cdot I \\ P_S^+ &= V_{CC} \cdot I \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad P_S = 3V_{CC} I$$

↑
promedio de I_C

$$\eta = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L \cdot 3V_{CC} I} \Rightarrow \eta_{\max} \text{ si: } \hat{V}_o \text{ max}$$

Disociando $V_{CC} \text{ en } \hat{V}_o \text{ pos} = V_{CC} \text{ y } \hat{V}_o \text{ neg} = R_L \cdot I$

$$\Rightarrow \eta_{\max} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L \cdot 3V_{CC} \cdot I} = \frac{V_{CC}^2}{6V_{CC}^2} = \frac{1}{6}$$

↑
Sup $\hat{V}_o \text{ pos} = \hat{V}_o \text{ neg}$

$$b) \quad P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2R_L} = \frac{4V^2}{2 \cdot 4\Omega} = 0,5 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{0,5 \text{ W}}{3 \text{ S.V. } 1\text{A}} = 0,033 = 3,3\%$$

$$P_{Q3} = V_{BE} \cdot I_0 = 0,8 \cdot 1\text{A} = 0,8 \text{ W}$$

$$P_{Q2} = \langle V_{CE2} \rangle I_0 = I_0 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CC}(1 + \sin\theta) d\theta = V_{CC} \frac{I_0 \cdot 2\pi}{2\pi} = V_{CC} \cdot I_0 = 5 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{Q1} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_{CC} - \hat{V}_o \sin\theta) \left(I_0 + \frac{\hat{V}_o}{R_L} \sin\theta \right) d\theta = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(V_{CC} I_0 + V_{CC} \frac{\hat{V}_o}{R_L} \sin\theta - \hat{V}_o I_0 \sin\theta - \frac{\hat{V}_o^2}{R_L} \sin^2\theta \right) d\theta = \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(2\pi V_{CC} I_0 - \pi \cdot \frac{\hat{V}_o^2}{R_L} \right) = 5 \text{ W} - 0,5 \text{ W} = 4,5 \text{ W} \end{aligned}$$

c) i) $T_{amb} = 45^\circ$

$$P_D = \frac{T_j - T_{amb}}{\theta_{jA}} \Rightarrow T_j = P_D \cdot \theta_{jA} + T_{amb} < T_{jmax} = 150^\circ C$$

$$T_{jQ1} = 4,5 W \cdot 62,5^\circ C/W + 45^\circ C = 326,25^\circ C > 150^\circ C$$

$$T_{jQ2} = 5 W \cdot 62,5^\circ C/W + 45^\circ C = 357,5^\circ C > 150^\circ C$$

$$T_{jQ3} = 0,8 W \cdot 62,5^\circ C/W + 45^\circ C = 95^\circ C < 150^\circ C$$

No requiere disip.

ii) Se diseña el disipador para el peor caso (Q_2)

$$T_j = P_D \theta_{jA} + T_{amb} < T_{jmax}$$

$$\Rightarrow \theta_{jA} < \frac{T_{jmax} - T_{amb}}{P_D} = \frac{150^\circ C - 45^\circ C}{5 W} = 21^\circ C/W$$

$$\theta_{jA} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sA} = 1,92^\circ C/W + 0,5^\circ C/W + \theta_{sA} < 21^\circ C/W$$

$$\Rightarrow \theta_{sA} < 21^\circ C/W - 2,42^\circ C/W = 18,58^\circ C/W$$