

2^{er} Parcial de Electrónica 2
30/11/2015

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 (20 ptos):

Para el circuito de la Figura calcule:

- a) Determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida V_{out} . Para ello se podrá considerar que el amplificador operacional es ideal y el ruido aportado por R_2 es despreciable.
- b) Determinar la mínima señal de entrada V_i en V_{rms} (en la banda pasante) para que la misma supere el valor rms de ruido a la entrada en 40dB.

Datos:

$R_2=100k\Omega$, $R_1=10k\Omega$.

$4kT = 16 \cdot 10^{-21}$ Ws (a temperatura ambiente).

$$\int_0^{+\infty} \frac{dx}{1+x^2} = \frac{\pi}{2}$$

Puede ser útil el siguiente resultado:

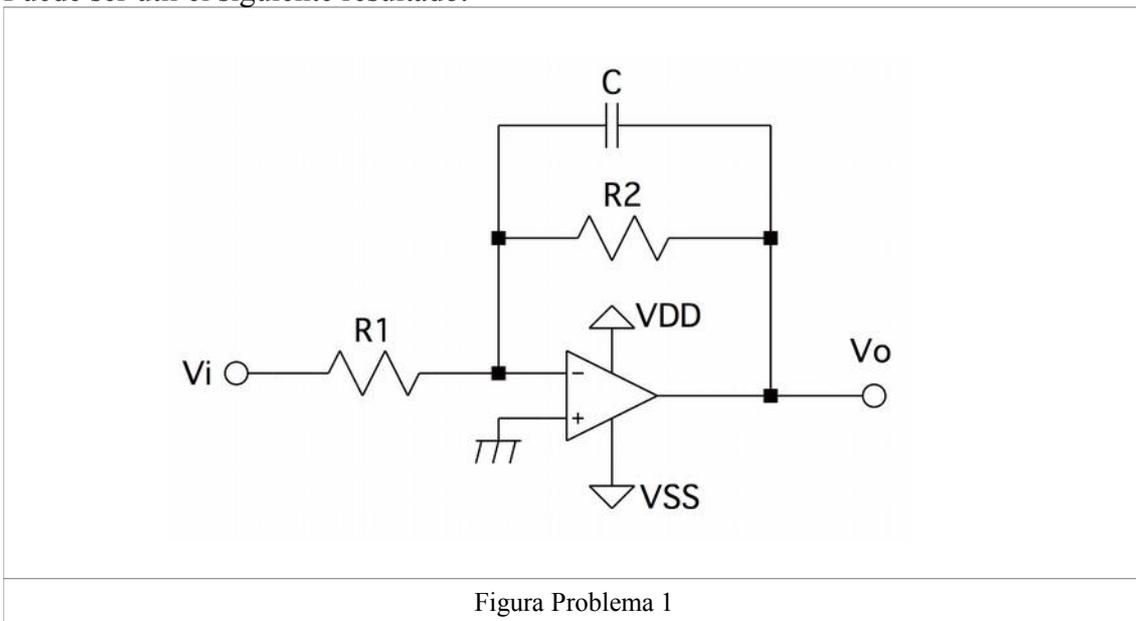


Figura Problema 1

Problema 2 (28 ptos):

El circuito de la Fig. 1 es una configuración Darlington de potencia (formada por Q_1 , Q_2 , R_1 y R_2) que incluye un circuito de protección por sobretensión y sobrecorriente.

Se supone que el transistor Q_s está montado sobre el mismo disipador y tiene la misma temperatura que Q_1 .

- a) Si la tensión base-emisor de Q_s varía a razón de $-2.5mV/oC$ y vale $600mV$ a temperatura ambiente ($27^\circ C$), indicar:
 1. ¿ para que elevación de temperatura respecto a la temperatura ambiente se dispara la protección ?

2. ¿cómo actúa la protección ? Indicar para cada estado de la protección (activa o no activa) que transistor está conduciendo y cuál no, el estado de D1 y el valor de la salida de U1.
- b) Si se considera el caso en que la protección por sobrettemperatura no está actuando, ¿cuánto debe valer la corriente por Q1 para que Q4 se prenda, activando la protección por sobrecorriente ?
- c) Se utiliza el circuito de la Fig. 1 en el circuito de la Fig. 2. A los efectos de los cálculos de potencia se despreciarán los V_{BE} , V_{CESAT} , caída y disipación en R1 y disipación en otros componentes que no sean Q1. Q1 se monta con un disipador con resistencia térmica de disipador a ambiente de 40C/W , de caja a disipador de 0.5 oC/W y se tiene una resistencia térmica de caja a juntura de 3oC/W .

En V_i se tiene una señal tal que en V_o se tiene un nivel de continua de $V_{CC}/2$ y una señal sinusoidal superpuesta con amplitud de $V_{CC}/2$.

Determinar:

1. ¿Qué potencia debe disipar Q1 para que actúe la protección por sobrettemperatura, si la temperatura ambiente es de 27oC ?
2. ¿Qué condición debe cumplir R_L para que esto no ocurra ?

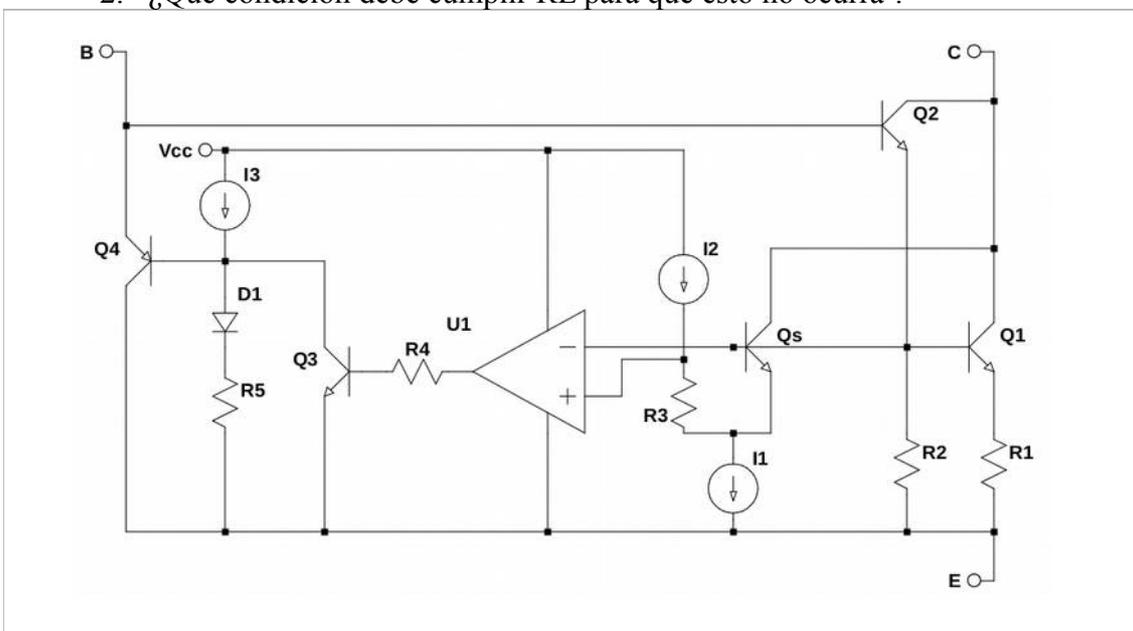


Figura 1 Problema 2

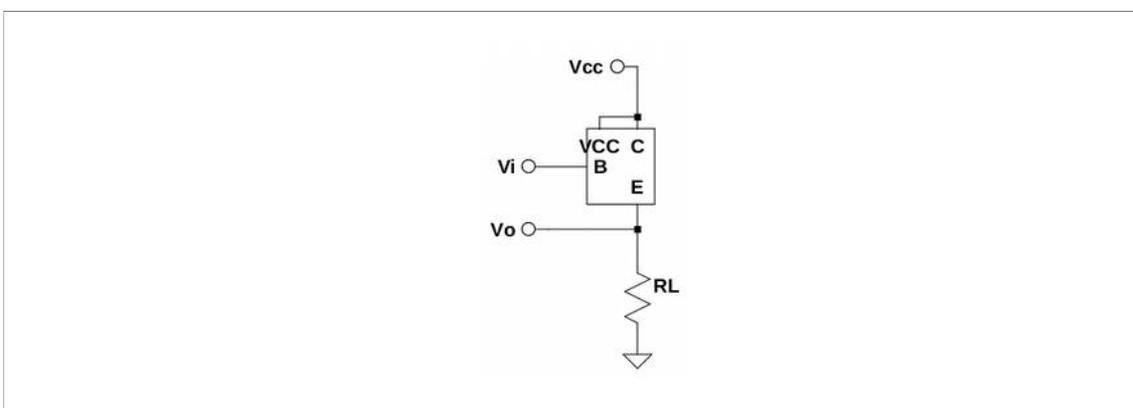


Figura 2 Problema 2

Datos:

- * V_{BE} para Q1, Q2, Q3 y Q4 y VD1 se tomará 0.6V cuando la protección por sobret temperatura no está actuando.
- * $\beta_{Q1} = 20$, β todos los otros transistores: 100
- * $V_{CESAT1} = 0.5V$, V_{CESAT} del resto de los transistores: 0.3V
- * $R_1 = 0.12 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 33 k\Omega$, $R_5 = 2.2 k\Omega$, $I_1 = 100 \mu A$, $I_2 = 10 \mu A$, $I_3 = 650 \mu A$.
- * R_4 es tal que Q3 está saturado cuando la salida de U1 está a VCC
- * $V_{CC} = 15 V$

Problema 3 (26 pts):

La figura muestra un amplificador con realimentación serie-shunt (no se detalla la polarización).

- a) Dibujar el circuito A y el circuito que determina β .
- b) Mostrar que si $A\beta$ es grande entonces la ganancia de tensión en lazo cerrado esta dada por la expresión aproximada: $A_f = V_o/V_i \approx (R_f + R_e)/R_e$
- c) Si R_e se elige de 50Ω , hallar R_f que resulta de una ganancia de lazo cerrado de $25V/V$.
- d) Si Q1 está polarizado con 1mA de I_c , Q2 con 2mA, y Q3 con 5mA, y asumiendo que los transistores tienen $\beta = 100$, hallar los valores aproximados de R_{c1} y R_{c2} para obtener ganancias del circuito A como siguen:
Ganancia en tensión en Q1 de -10 y en Q2 de -50 aprox.
- e) Para su diseño, ¿Cuál es la ganancia de lazo cerrado obtenida?
- f) Calcular las resistencias de entrada y salida del amplificador en lazo cerrado diseñado.

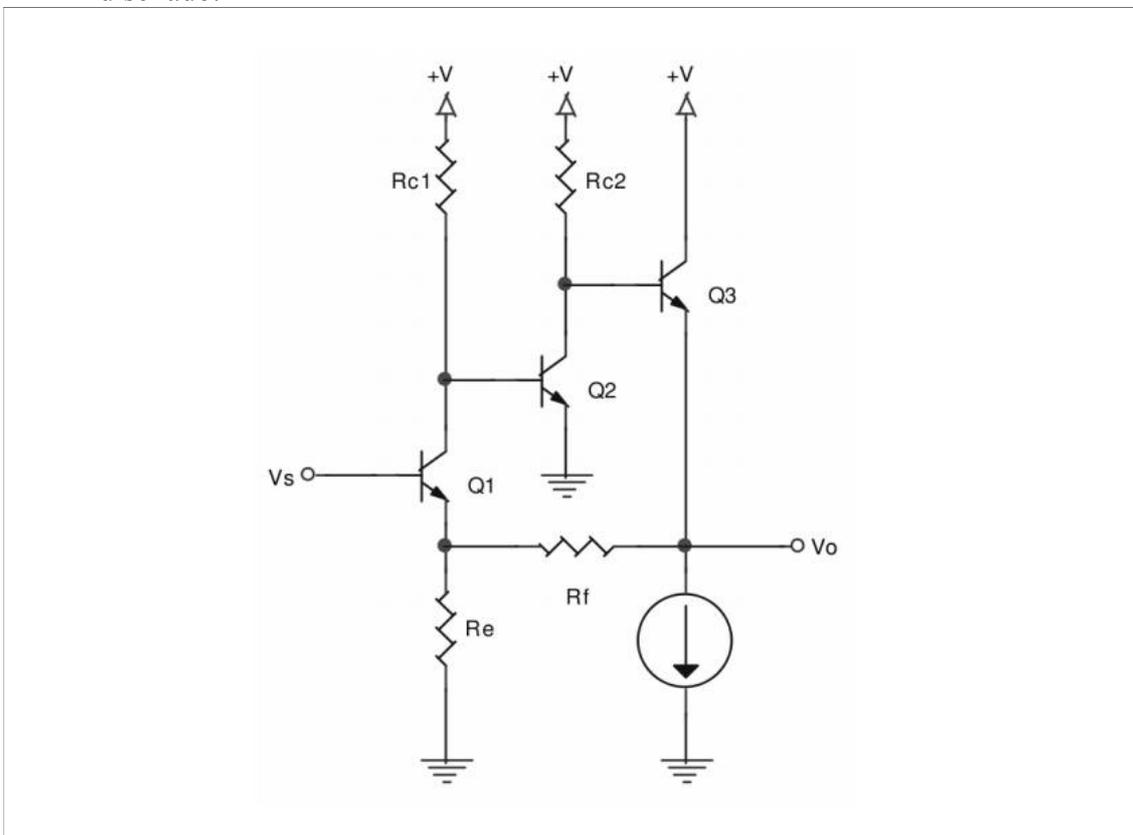


Figura Problema 3

Problema 4 (26 ptos):

Considere el amplificador operacional de la figura.

- a) Hallar la ganancia diferencial V_{out}/V_{in} a frecuencias medias.
- b) Calcular el f_T del amplificador.
- c) Calcular el SR del amplificador.

Datos:

Transistores: $\beta = 200$, $V_{BE} = V_{EB} = 0.7$ V, Tensión de Early se podrá considerar infinita.

D1, D2: $V_D = 0.7$ V

Puede asumir que todos los transistores y los diodos tienen el mismo I_s

$I_1 = 4 \mu A$, $I_2 = 2 \mu A$, $I_3 = 50 \mu A$

$R = 180$ k Ω , $R_1 = 47$ k Ω , $R_L = 10$ k Ω

$C_f = 6$ pF

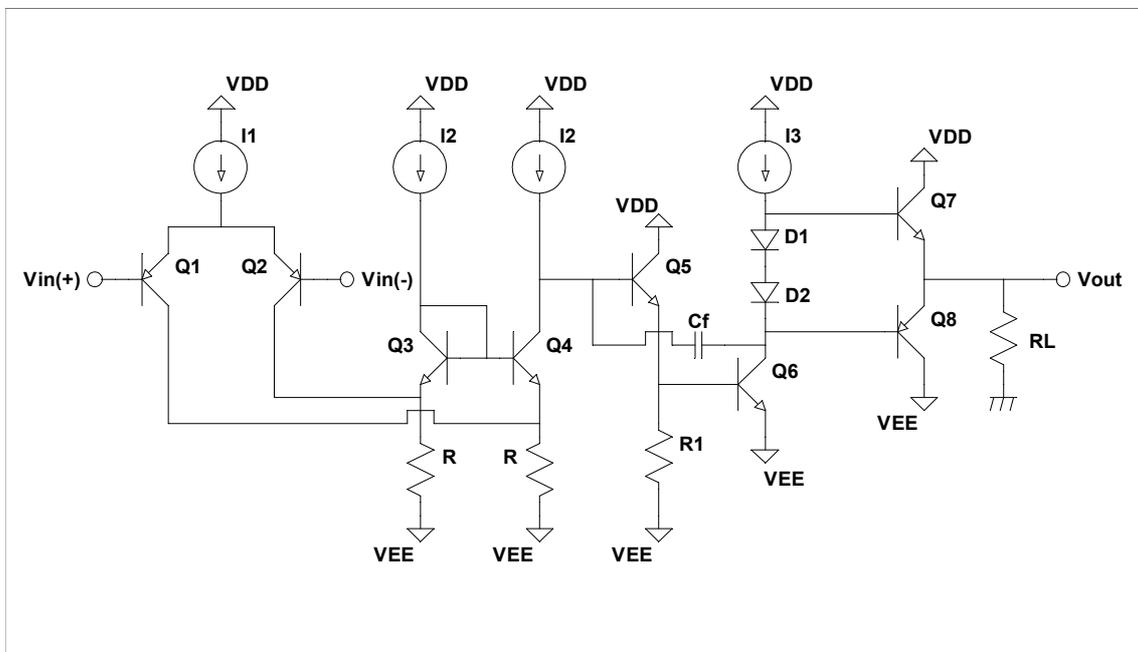
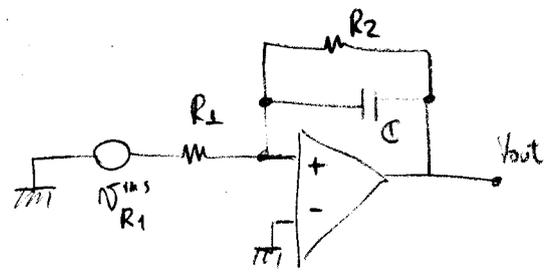


Figura Problema 4

1
a



$$S_{R1} = 4kTR_1$$

$$C = 10\text{pF}$$

$$H(s) = \frac{-R_2/R_1}{R_2Cs + 1}$$

$$(N_{\text{out}}^{\text{rms}})^2 = \int_0^{\infty} |H(s)|^2 S_{R1} = 4kTR_1 \int_0^{\infty} \left| \frac{-R_2/R_1}{R_2Cj\omega + 1} \right|^2 = \frac{4kTR_1 R_2^2}{R_1^2} \int_0^{\infty} \frac{d\omega}{R_2^2 C^2 \omega^2 + 1} \rightarrow$$

$$x = R_2 C \omega \Rightarrow dx = R_2 C d\omega = 2\pi R_2 C df$$

$$\Rightarrow (N_{\text{out}}^{\text{rms}})^2 = \frac{4kTR_2^2}{R_1} \cdot \frac{1}{2\pi R_2 C} \int_0^{\infty} \frac{dx}{x^2 + 1} = \frac{4kTR_2}{2\pi R_1 C} \cdot \arctan x \Big|_0^{\infty} = \frac{4kTR_2}{2\pi R_1 C} \cdot \frac{\pi}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_{\text{out}}^{\text{rms}} = \sqrt{\frac{kT}{C} \cdot \frac{R_2}{R_1}} \Rightarrow N_{\text{out}}^{\text{rms}} = 632 \mu\text{Vrms}$$

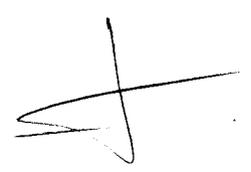
b

$$\text{SNR}_{\text{in}} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{\text{in}}^{\text{rms}}}{V_{\text{ruido}}^{\text{rms}}} \right) \geq 40 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$V_{\text{ruido}}^{\text{in}} = \frac{N_{\text{out}}^{\text{rms}}}{G_{\text{BP}}} \Rightarrow V_{\text{ruido}}^{\text{in}} = 632 \mu\text{Vrms}$$

$G_{\text{BP}} \rightarrow$ ganancia en banda pasa-banda $\rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 10$

$$\Rightarrow V_{\text{in}}^{\text{rms}} \geq V_{\text{ruido}}^{\text{in}} \cdot 10^2 \Rightarrow V_{\text{in}}^{\text{rms}} = 632 \mu\text{Vrms}$$



Problema 2

2) i) Actúa cuando $e^+ > e^- \Rightarrow V_{E_5} + R_3 I_2 > V_{B_5}$

$$\Rightarrow V_{B_{E_5}} < R_3 I_2 \Rightarrow V_{B_{E_5}} - k \cdot \Delta T < R_3 I_2$$

$$\Delta T > \frac{(V_{B_{E_5}} - R_3 I_2)}{k} \Rightarrow \Delta T > \frac{(600 - 330) \text{ mV}}{2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}}$$

$$\Rightarrow \Delta T > 108^\circ \Rightarrow \Delta T_{\text{MAX}} = 108^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_{\text{MAX}} = T_{\text{AMB}} + \Delta T_{\text{MAX}} \Rightarrow \boxed{T_{\text{MAX}} = 135^\circ\text{C}}$$

ii) Cuando no está actuando la protección térmica:

$$e^+ < e^- \Rightarrow V_{D1} = V_E \Rightarrow \boxed{Q_3 \text{ cortado}} \Rightarrow V_{B_{Q4}} = V_E + R_5 I_3 + V_{D1}$$

$$V_{B_E} = V_B - V_E = V_{B_{E_{Q_2}}} + V_{B_{E_{Q_1}}} \Rightarrow V_{B_E} = 2 V_{B_{E_{Q_1}}}$$

D_1 conduce

$$\Rightarrow V_{B_{Q4}} = V_B - V_{B_{Q4}} = V_B - (V_E + R_5 I_3 + V_{D1}) = V_{B_E} - R_5 I_3 - V_{D1}$$

$$\Rightarrow V_{B_{Q4}} = 2 V_{B_{E_{Q_1}}} - V_{D1} - R_5 I_3 = V_{B_{E_{Q_1}}} - R_5 I_3 = -0,83$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_4 \text{ cortado}}$$

2) iii) Cuando esté actuando la protección térmica:

$$e^+ > e^- \Rightarrow V_{ou1} = V_{cc} \Rightarrow \boxed{Q_3 \text{ saturada}} \Rightarrow V_{CEQ_3} = V_{CESAT} = 0,2V$$

$$\Rightarrow \boxed{D_1 \text{ cortada}} \Rightarrow \boxed{Q_4 \text{ en active}} \Rightarrow V_{BE} = V_{CESATQ_3} + V_{BEQ_4}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_1 \text{ se corta}}$$

b) La corriente por Q_1 debe ser tal que la caída de tensión en R_1 sea suficientemente alta como para lograr $V_{BEQ_4} = 0,6V$

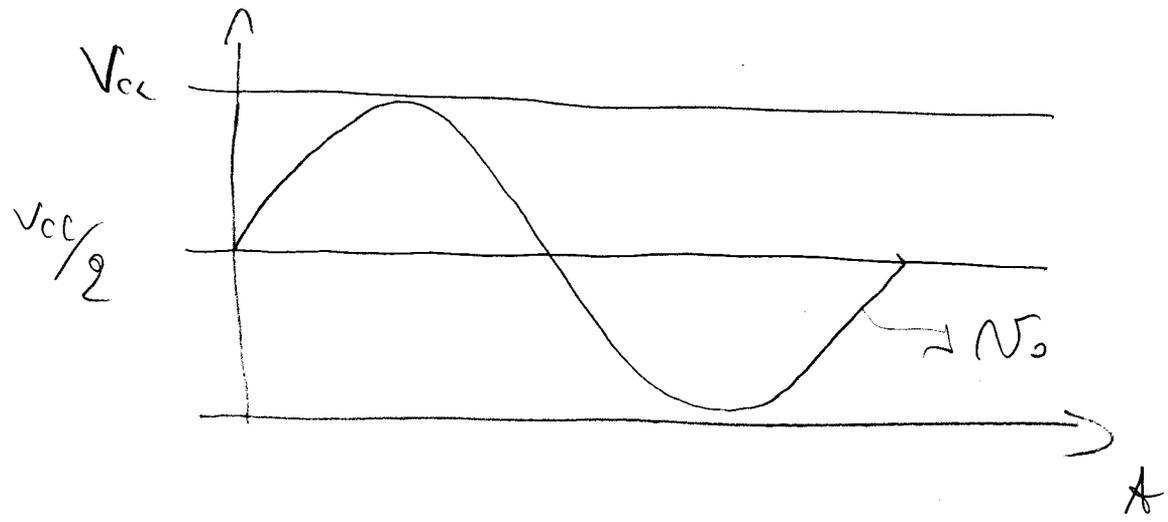
$$\left. \begin{aligned} V_{BEQ_4} &= V_B - (V_E + R_5 I_3 + V_{D1}) \\ V_E &= V_B - V_{BE2} - V_{BE1} - R_1 I_{Q1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$V_{BEQ_4} = V_B - (V_B - V_{BEQ_4} - R_1 I_{Q1} + R_5 I_3 + V_{D1})$$

$$V_{BEQ_4} = V_{BEQ_4} + R_1 I_{Q1} - R_5 I_3 = V_{BEQ_4}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{Q1} = \frac{R_5}{R_1} I_3} \Rightarrow \boxed{I_{Q1} = 11,9A}$$

c)



$$V_o = \frac{V_{cc}}{2} (1 + \sin(\omega t))$$

$$\bar{P}_L = \frac{\overline{V_o^2}}{R_L} = \frac{V_{cc}^2}{4R_L} \left(\underbrace{1}_{1/0} + \underbrace{2 \sin(\omega t)}_{1/2} + \underbrace{\sin^2(\omega t)}_{1/2} \right)$$

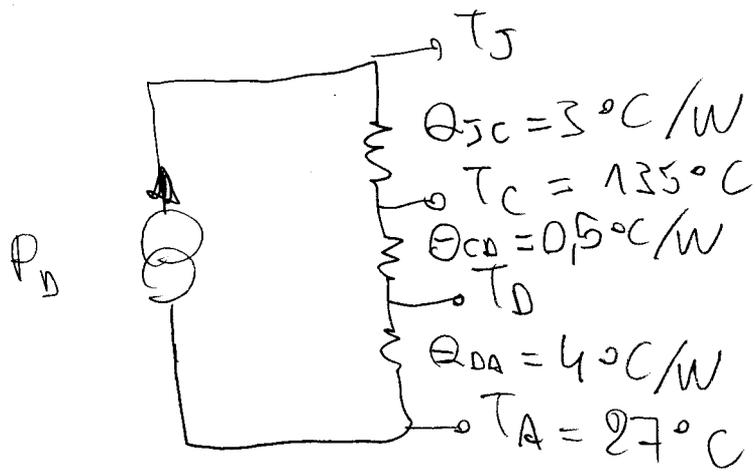
$$\bar{P}_L = \frac{V_{cc}^2}{4R_L} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \right) \Rightarrow \bar{P}_L = \frac{3V_{cc}^2}{8R_L}$$

$$\bar{P}_{V_{cc}} = V_{cc} \bar{I}_L = V_{cc} \frac{\bar{V}_o}{R_L} = \frac{V_{cc} V_{cc}}{R_L \cdot 2} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L}$$

$$\Rightarrow \bar{P}_{Q_1} = \bar{P}_{V_{cc}} - \bar{P}_L = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} - \frac{3}{8} \frac{V_{cc}^2}{R_L} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} \left(1 - \frac{3}{4} \right)$$

$$\bar{P}_{Q_1} = \frac{V_{cc}^2}{8R_L}$$

c)



$$\Rightarrow P_D (\theta_{cd} + \theta_{da}) = (T_c - T_A) \Rightarrow P_D = \frac{T_c - T_A}{(\theta_{cd} + \theta_{da})}$$

$$\Rightarrow P_D = 24 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{cc}^2}{2R_L} < 24 \Leftrightarrow R_L > \frac{V_{cc}^2}{24 \cdot 2}$$

$$R_L > 1,17 \Omega$$

4

(0) ANALISIS DC si $I_{B5} \ll I_2 \rightarrow (I_{B5} = 74 \mu A \ll I_2 \checkmark)$

$I_{C3} = I_{C4} = 2 \mu A, I_{C3} = I_{C4} = 2 \mu A$

$I_{C6} = 50 \mu A \Rightarrow V_{B6} = 0,7V \Rightarrow I_{C6} \approx 41,9 \mu A$
 ($I_{C5} \gg I_{B6} = 9,25 \mu A$)

Diodos tienen el mismo I_S q' Q_7, Q_8

$\Rightarrow I_{C7} = I_{C8} = I_D = 50 \mu A$

↑ a p'oso

Parámetros small

$g_{m3} = g_{m2} = 772 \mu A/V$

$g_{m3} = g_{m4} = 772 \mu A/V$

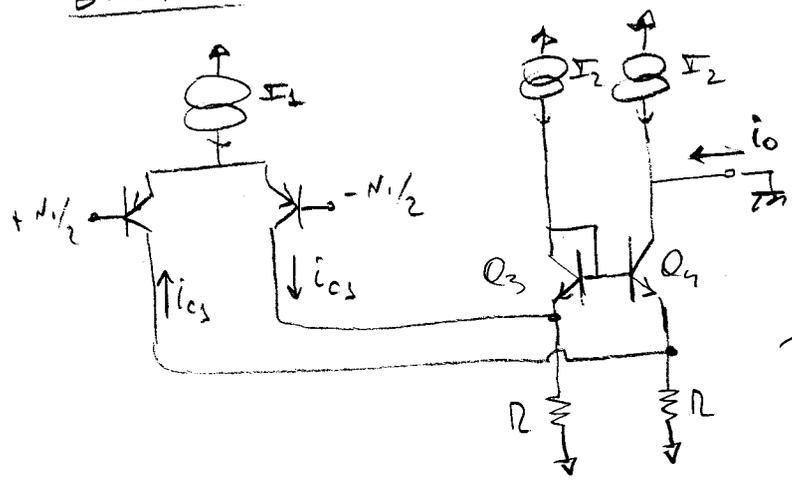
$r_{\pi3} = r_{\pi2} = 2,59 k\Omega$

$r_{\pi3} = r_{\pi4} = 2,59 k\Omega$

$g_{m5} = 575 \mu A/V, r_{\pi5} = 0,35 k\Omega$

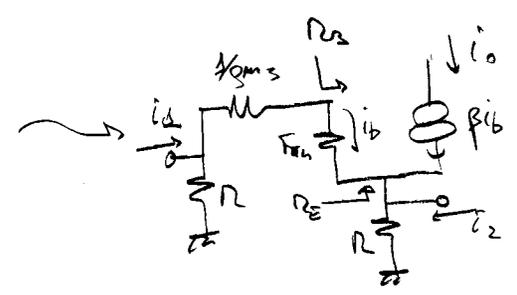
$g_{m6} = 1,93 mA/V, r_{\pi6} = 0,10 k\Omega$

BTADA 1



Debo calcular $G_{m1} = \frac{i_o}{N_i} |_{N_o=0}$

$i_{c3} = g_{m3} N_i / 2$



supra posición:

$i_1 \neq 0, i_2 = 0$:

$i_b = \frac{R}{R + (1/g_m + R_B)} i_1$

$R_B = r_{\pi4} + \beta R$

$\Rightarrow i_o = \beta i_b = \frac{\beta R}{R + 1/g_m + r_{\pi4} + \beta R} i_1$

$\Rightarrow i_o = \frac{\beta R}{r_{\pi3} + \beta R} i_1 \Rightarrow i_o = \frac{g_{m3} R}{g_{m3} R + 1} i_1$

$i_1 = 0, i_2 \neq 0$:

$i_e \approx i_o = -\frac{R}{R + R_E} i_2 \Rightarrow i_o \approx -\frac{\beta R}{\beta R + r_{\pi3} + R} i_2$

$\Rightarrow i_o \approx -\frac{g_{m3} R}{g_{m3} R + 1} i_2$

④ (2) $\Rightarrow \tilde{i}_b = \frac{g_{m3} R}{g_{m3} R + 1} (i_1 - i_2)$ $\left\{ \rightarrow G_{m1} = g_{m1} \cdot \frac{g_{m3} R}{g_{m3} R + 1} \right.$
 $i_1 = +g_{m1} v_i / 2, i_2 = -g_{m1} v_i / 2$

$R_{o3} = \infty$ (Fuente ideal + resistencia de salida = función)

ETAPA 2: $G_{m2} = \frac{i_{c2}}{v_{b5}} \Big|_{v_{c6} = 0}$

Q_5 : seguidor-emisor $\Rightarrow \frac{v_{e5}}{v_{b5}} = \frac{g_{m5} R_{ES}}{1 + g_{m5} R_{ES}}$

$R_{ES} = R_3 \parallel r_{\pi 6}$

Q_6 : emisor común $\rightarrow i_{c2} = g_{m6} \cdot v_{e5}$

$\Rightarrow G_{m2} = \frac{g_{m5} (R_3 \parallel r_{\pi 6})}{1 + g_{m5} (R_3 \parallel r_{\pi 6})} \cdot g_{m6}$

$R_{i2} = r_{\pi 5} + (\beta + 1) (R_3 \parallel r_{\pi 6})$

ETAPA SALIDA: CLASE AB

Para análisis de punto de funcionamiento a clase B

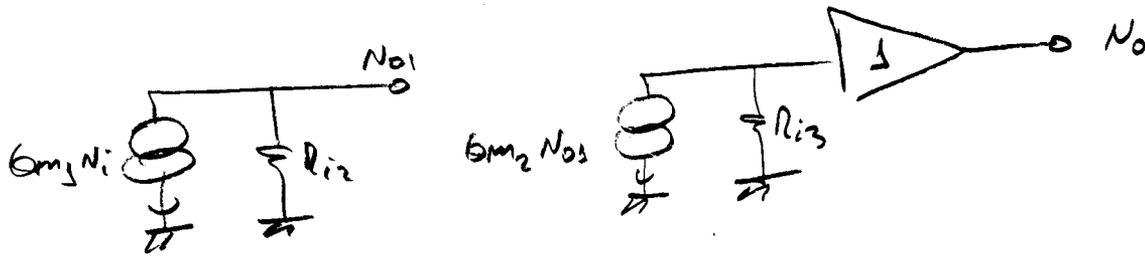
Q_7 y Q_8 se seguidores, ganancia $\downarrow \Leftrightarrow g_m \cdot R_L \gg 1$

Por lo que para g_{m7}, g_{m8} u ∞ con v_{ce} ref $\Rightarrow g_{m7} = g_{m8} = 1.9 \text{ mA/V}$

$g_{m8} \cdot R_L = 19 \gg 1 \rightarrow A_3 \approx 1 \%$

$R_{i3} = r_{\pi 8} + \beta R_L$, por lo que $r_{\pi 8} \ll \beta R_L \Rightarrow$ uso: $R_{i3} = \beta R_L$

(4) (a) CIRCUITOS EQUIVALENTES?



$$A_0 = G_{m1} \cdot R_{i2} \cdot G_{m2} \cdot R_{i3}$$

$$G_{m1} = 72,0 \text{ mA/V} \quad R_{i2} = 6,81 \text{ k}\Omega$$

$$G_{m2} = 1,83 \text{ mA/V} \quad R_{i3} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow A_0 = 1,80 \times 10^6 \text{ V/V}$$

$$A_0 = 125,1 \text{ dB}$$

$$(b) f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{G_{m1}}{C_f} = 1,91 \text{ MHz}$$

$$(c) \underline{SR} : SR = \frac{I_{o1}}{C_f} \quad (\text{TODAS LAS TENSIONES REFERIDAS A VEE})$$

* ESCALÓN POSITIVO: Q_1 OFF, Q_2 ON $\Rightarrow I_{c1} = 0, I_{c2} = 4 \mu\text{A}$ (I_3)

$$\Rightarrow V_{E3} = (I_2 + I_{c2}) \cdot R = V_{E4} \Rightarrow I_{c4} = I_2 + I_{c2}$$

$$\Rightarrow I_{o1} = I_{c2} = I_3 = 4 \mu\text{A} \Rightarrow \boxed{SR_{sub} = -0,67 \text{ V}/\mu\text{s}}$$

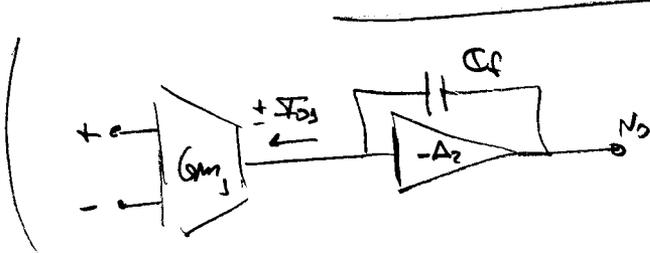
* ESCALÓN NEGATIVO: Q_1 ON, Q_2 OFF $\Rightarrow I_{c1} = 4 \mu\text{A}, I_{c2} = 0$

$$\Rightarrow V_{E3} = I_2 \cdot R = 360 \text{ mV} \Rightarrow V_{B3} = V_{B4} = 1,06 \text{ V}$$

ASUNTO Q_4 ON: $V_{E4} = 360 \text{ mV} \Rightarrow I_{c4} = \frac{V_{B4}}{R} - I_1 < 0$ X Falla (H)

ASUNTO Q_4 OFF: $I_{c4} = 0 \Rightarrow V_{E4} = 720 \text{ mV} \Rightarrow V_{BE4} = 0,34 \text{ V} < V_{BEON}$ ✓

$$\Rightarrow I_{o1} = +I_2 \Rightarrow \boxed{SR_{baj} = +0,33 \text{ V}/\mu\text{s}}$$



si $A_2 \gg 1$ ($G_{m2} R_{i3} = 3664 \text{ V/V}$)

$$\Rightarrow N_o(t) = \pm \frac{I_{o1}}{C_f} t \Rightarrow SR = \pm \frac{I_{o1}}{C_f}$$