

2^{do} Parcial de Electrónica 2
20/11/2018

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.

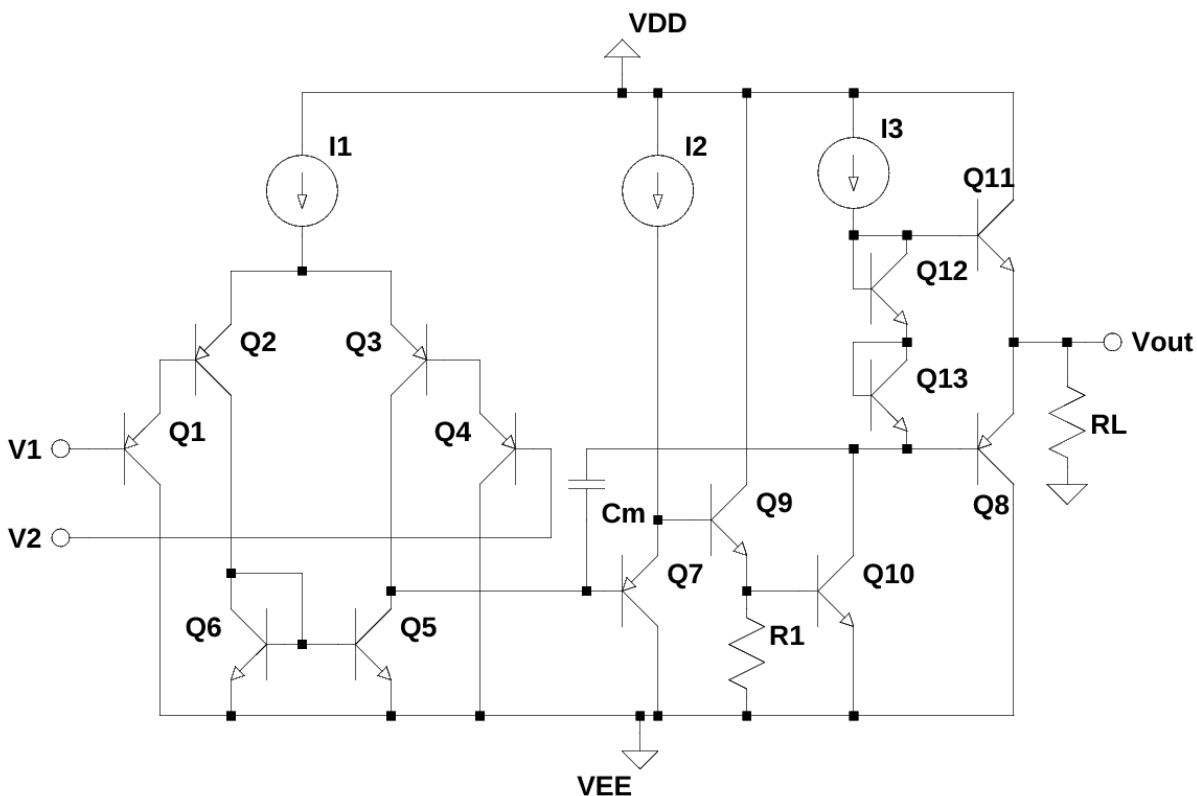
Problema 1 (27 ptos):

Para el circuito de la figura:

- a) Indicar cual es la pata no inversora.
- b) Hallar el rango de las tensiones de modo común admisibles a la entrada.
- c) ¿ Se puede considerar que Q1 y Q4 son un seguidor con ganancia unitaria ? Fundamente su respuesta.
- d) Calcular la resistencia de entrada diferencial R_{in} , la ganancia $V_{out}/(V_1-V_2)$, el f_T y el Slew Rate.

Datos:

* Para todos los transistores $V_{BE_NPN} = V_{EB_PNP} = V_{CEsat_NPN} = V_{ECsat_PNP} = 0.7\text{ V}$, $\beta=100$, tensión de Early $V_A=50\text{ V}$, $I_{S\ 11,8} = 4 \cdot I_{S\ 12,13}$.
* $R_1 = 35\text{k}\Omega$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, $C_m = 10\text{pF}$, $V_{DD} = |V_{EE}| = 10\text{ V}$, $I_1 = 6\ \mu\text{A}$, $I_2 = 4\ \mu\text{A}$, $I_3=50\ \mu\text{A}$, la tensión en bornes mínima para el correcto funcionamiento de las fuentes de corriente es $V_{Imin} = 0,7\text{ V}$ y su resistencia interna se podrá considerar infinita.



Problema 2 (Ejercicio 12 practico 5) (23 pts):

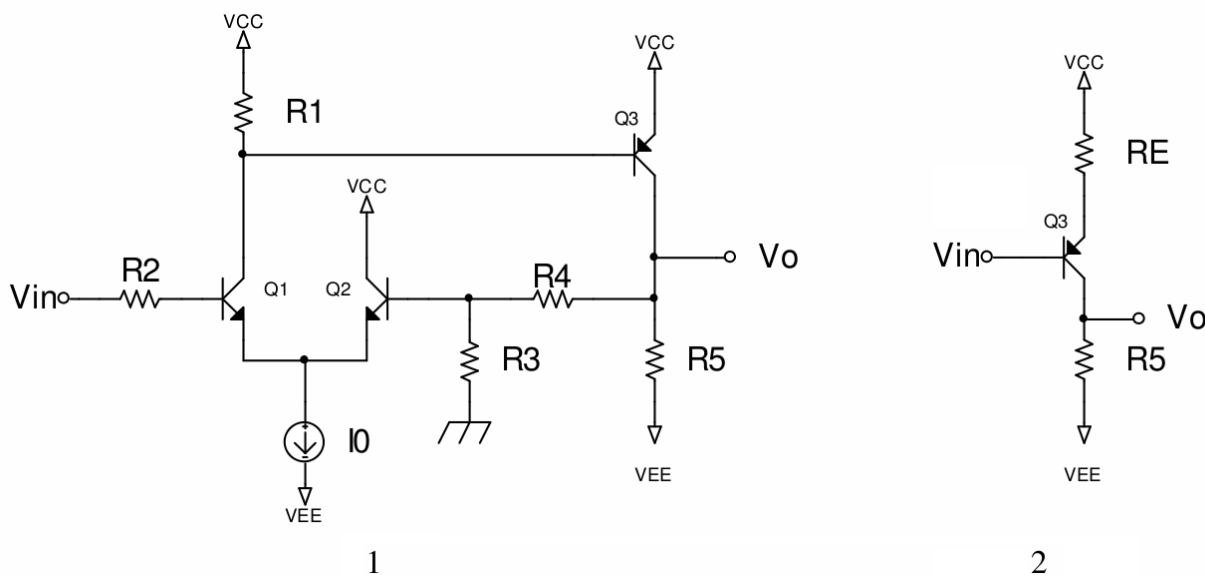
En el amplificador de la figura, el nivel de continua en la entrada V_{in} se supone 0.

a) Se desea fijar la ganancia con precisión, usando para ello algunas resistencias al 1%
 ¿Qué resistencias deben tomarse al 1 % y bajo qué condición la ganancia está determinada sólo por estas resistencias?

En lo que sigue se considerarán los siguiente valores de los componentes $R1 = 1.25k\Omega$, $R2 = R3/R4$, $R3 = 1k\Omega$, $R4 = 10k\Omega$, $R5 = 6k\Omega$, $V_{CC} = -V_{EE} = 10\text{ V}$, $I_0 = 2V_{BE}/R1$.

- b) Muestre que la componente de continua a la salida es aproximadamente 0 y determine la corriente de continua a la que operan todos los transistores.
- c) Calcular la ganancia V_o/V_{in} , la resistencia de entrada y la resistencia de salida del amplificador.
- d) ¿Qué ventaja tiene la arquitectura propuesta, desde el punto de vista de la variación de la ganancia con la resistencia de carga, respecto a implementar un amplificador de la misma ganancia con una etapa en emisor común con resistencia de emisor como se muestra en la Fig.2? Fundamentar.

En todo el problema se considerarán los siguientes datos para los transistores:
 $V_A = \infty$, $\beta = 200$, $V_{BE\ 1,2} = V_{EB\ 3} = 0.7\text{V}$.



Problema 3 (27 ptos):

El circuito de la Figura implementa un regulador de tensión dc que entrega a la carga R_L una tensión de 5V limitando la corriente por la carga a una corriente máxima I_{Lmax} .

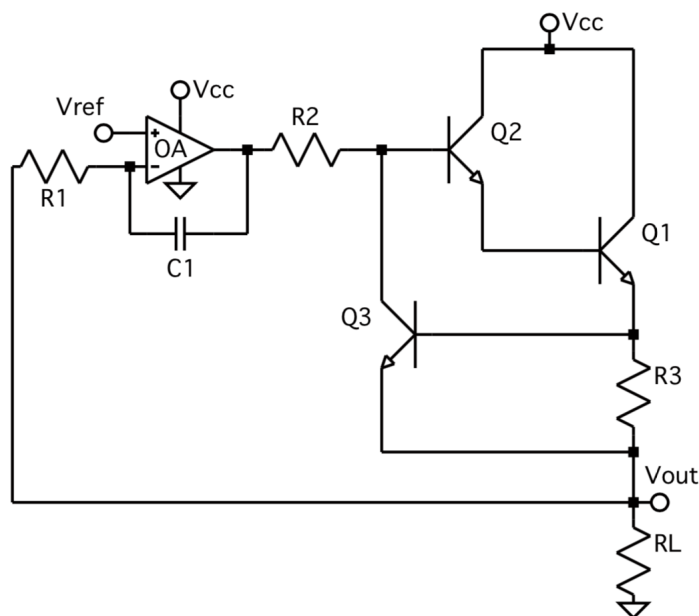
- Determinar I_{Lmax} , considerando el peor caso en que se tiene un cortocircuito en la carga ($R_L=0$). Fundamente su respuesta. La corriente que circula por R_1 se podrá considerar despreciable.
- ¿Cuál es la eficiencia del circuito cuando entrega $I_{Lmax}/2$ a la carga?

Si se desea que el circuito opere sin dañarse, incluso frente a un cortocircuito permanente en R_L , a una temperatura ambiente que puede variar entre $-10^\circ C$ y $50^\circ C$, indicar:

- Si Q_1 precisa o no precisa un disipador. Fundamente su respuesta. En caso afirmativo calcular la superficie de disipador necesaria del disipador disponible cuyos datos se indican.
- Si Q_2 precisa o no precisa un disipador. Fundamente su respuesta. En caso afirmativo calcular la superficie de disipador necesaria del disipador disponible cuyos datos se indican.
- Si Q_3 precisa o no precisa un disipador. Fundamente su respuesta. En caso afirmativo calcular la superficie de disipador necesaria del disipador disponible cuyos datos se indican.

Datos:

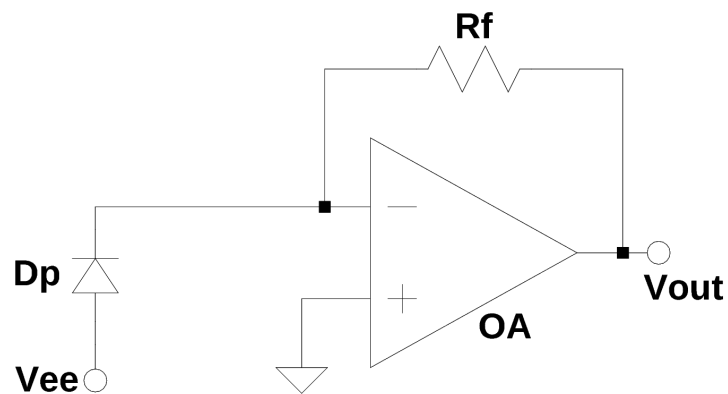
- * $V_{cc}=10V$, $V_{ref}=5V$, $R_2=1k\Omega$, $R_3=0.35\Omega$.
- * El amplificador operacional OA, que se supondrá ideal, está alimentado como se indica en la Figura.
- * Q_1 : TIP41. $V_{BEON} = 0.8V$, $\beta=50$, $\theta_{jc}=1.67^\circ C/W$, $\theta_{ja} = 57^\circ C/W$, $T_{jmax}=150^\circ C$
- * Q_2, Q_3 : BD139. $V_{BEON}=0.7V$, $\beta=100$, $\theta_{jc}=10^\circ C/W$, $\theta_{ja}=100^\circ C/W$, $T_{jmax}=150^\circ C$.
- * Disipador: disipa $4\text{ mW}/^\circ C$ por cada cm^2 de superficie, $\theta_{cs} = 0.5^\circ C/W$.



Problema 4 (23 ptos):

Considere el circuito de la figura donde se trabaja sobre un ancho de banda ideal de B Hz y V_{ee} es una tensión dc negativa.

- Determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida V_{out} debido a R_f .
- Determinar el voltaje rms de ruido equivalente total en la salida V_{out} . A los efectos de considerar el ruido del fotodiodo D_p , el mismo se puede sustituir por una fuente de corriente cuya densidad espectral de potencia (corriente de ruido) es constante e igual a i_{pn} , cuyas unidades son $A/\sqrt{\text{Hz}}$. Asimismo, considere el ruido aportado por el amplificador operacional despreciable.
- ¿Qué condición debe cumplir R_f para que el ruido a la salida que aporta el fotodiodo sea despreciable frente al ruido que aporta R_f ?



1

- (e) $V_{I_1} \uparrow \Rightarrow V_{B2} \uparrow \Rightarrow i_{C2} \downarrow, i_{C3} \uparrow \Rightarrow V_{B7} \uparrow \Rightarrow V_{B9} \uparrow$
 $\Rightarrow V_{B30} \uparrow \Rightarrow V_{C10} \downarrow \Rightarrow V_{out} \downarrow$
 $\Rightarrow V_{I_1}$: βI_2 INVERSION
 V_{I_2} : βI_2 NO - INVERSION

(b) ICMR:

- $V_{DD} - 2V_{BE_{PNP}} - V_{ICM} > V_{I_{min}}$
 $\Rightarrow V_{ICM} < V_{DD} - 2V_{BE_{PNP}} - V_{I_{min}}$ $V_{ICM} < 7.9V$
- $V_{ICM} + 2V_{BE_{PNP}} - V_{BE_{NPN}} - V_{EE} > V_{EC_{SAT}}$
 $\Rightarrow V_{ICM} > V_{EE} + V_{EC_{SAT}} - V_{BE}$ $V_{ICM} > -10V$

(a) (d) ANÁLISIS DC:

$$I_{C2} = I_{C3} = I_3 = I_{C6} = I_3/2 = 3\mu A$$

$$I_{C1} = I_{C4} = I_{C7}/\beta = 30\mu A$$

$$I_{C7} = I_2 = 4\mu A \quad (I_{B9} \ll I_{C7}) \checkmark$$

$$I_{I_1} = V_{BE}/R_{I_1} \approx I_{C9} \quad (I_{B30} \ll I_{C9}) \checkmark$$

$$\Rightarrow I_{C9} = 20\mu A \Rightarrow I_{B9} = 200\mu A \ll I_{C7} \checkmark$$

$$I_{C10} \approx I_3 = 50\mu A \quad (I_{B30} - I_{B8} \ll I_3) \checkmark$$

$$\Rightarrow I_{B30} = 500\mu A \ll I_{C9} \checkmark$$

$$\underline{\text{CASE AB}}: V_{BB} = V_{BE12} + V_{BE13} = 2V_T L \left(\frac{I_3}{I_{S11,12}} \right) = V_T L \left(\frac{I_Q}{I_{S11}} \right) + V_T L \left(\frac{I_Q}{I_{S8}} \right)$$

$$(4I_{S11,12} = I_{S8,11}) \Rightarrow I_Q = 4I_3 = 200\mu A$$

$$(I_{B30} = I_{B3} = 2\mu A \ll I_3) \checkmark$$

Ⓟ (sigue)

(c) y (d) ANÁLISIS AC

$$r_{\pi 1} = \frac{\beta V_T}{I_{B1}} = \frac{\beta V_T}{I_{C2}}$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta V_T}{I_{C2}}$$



ETAPA 1

R_{in}: $R_{in} = 2(r_{\pi 1} + (\beta + 1)r_{\pi 2})$
 (diferencial) $\Rightarrow R_{in} \approx 2 \cdot \frac{\beta^2 V_T}{I_{C2}} = 1746 \text{ m}\Omega$

396,7 m Ω

Ratio al medio

Q₁: Seguidor-emisor

Q₂: Emisor común

G_{m1}: $i_{C2} = g_{m2} v_{\pi 2}$

$$v_{\pi 2} = \frac{g_{m1} r_{\pi 2}}{1 + g_{m1} r_{\pi 2}} \cdot v_1$$

$$g_{m1} r_{\pi 2} = \frac{I_{C1}}{V_T} \times \frac{\beta V_T}{I_{C2}} = \beta \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \beta = 1 \Rightarrow v_{\pi 2} = v_1 / 2$$

$$\Rightarrow i_{C2} = g_{m2} v_1 / 2$$

analogamente $i_{C3} = g_{m3} v_2 / 2$

$$g_{m2} = g_{m3} = \frac{I_{C1}}{2V_T} = 116 \text{ }\mu\text{A/V}$$

$$\Rightarrow i_{C3} = -i_{C2} = \frac{g_{m2}}{2} v_1 / 2$$

$$\Rightarrow \underline{G_{m1} = \frac{g_{m2}}{2} = 58 \text{ }\mu\text{A/V}}$$

R_{o1}: $R_{o1} = r_{o5} \parallel r_{o3} \Rightarrow \underline{R_{o1} = 8,33 \text{ k}\Omega}$

$$r_{o5} = r_{o3} = \frac{V_A}{I_{C3}} = 16,7 \text{ k}\Omega$$

↓ (segue)

(d) Etapa 2 : $\left\{ \begin{array}{l} Q_7 : \text{seguinte estágio} \\ Q_9 : \text{seguinte estágio} \\ Q_{10} : \text{estágio comum} \end{array} \right.$

$$R_{i2} = r_{\pi 7} + (\beta + 1) R_{E7} \approx \beta R_{E7} = 221 \text{ k}\Omega$$

$$R_{E7} = r_{\pi 9} + (\beta + 1) (R_D // r_{\pi 10}) \approx 2,22 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 7} = \frac{\beta V_T}{I_{C7}} = 647,5 \text{ k}\Omega \quad 20,94 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 9} = \frac{\beta V_T}{I_{C9}} = 129,5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi 10} = \frac{\beta V_T}{I_{C10}} = 51,8 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{G_{m2}} : i_{C10} = g_{m10} v_{\pi 10}$$

$$v_{\pi 10} = \frac{g_{m7} R_{E7}}{1 + g_{m7} R_{E7}} \cdot \frac{g_{m9} (R_D // r_{\pi 10})}{1 + g_{m9} (R_D // r_{\pi 10})} \approx 1$$

$$g_{m7} = 154 \text{ mA/V}$$

$$g_{m9} = 0,77 \text{ mA/V}$$

$$g_{m10} = 1,93 \text{ mA/V}$$

$$g_{m7} R_{E7} \gg 1$$

$$g_{m9} (R_D // r_{\pi 10}) = 16,1 \gg 1$$

$$\rightarrow \boxed{G_{m2} = g_{m10} = 1,93 \text{ mA/V}}$$

$$\underline{R_{o2}} : \boxed{R_{o2} = r_{o10} = 1 \text{ k}\Omega}$$

1 (segue)

(d) Etapa 3

R_{i3} : $R_{i3} \cong \beta R_L$ $\left(\begin{array}{l} \rightarrow R_{v_{thres}} = \frac{2}{g_m} = 1,04 k\Omega \\ \rightarrow R_{o_{E3}} \rightarrow +\infty \end{array} \right)$
 $R_{i3} = 200 k\Omega$

A_3 : $A_3 = \frac{g_{m_{3,11}} R_L}{1 + g_{m_{2,11}} R_L} \cong 1$

ASUMO: $I_{B,11} \cong 5 m A$

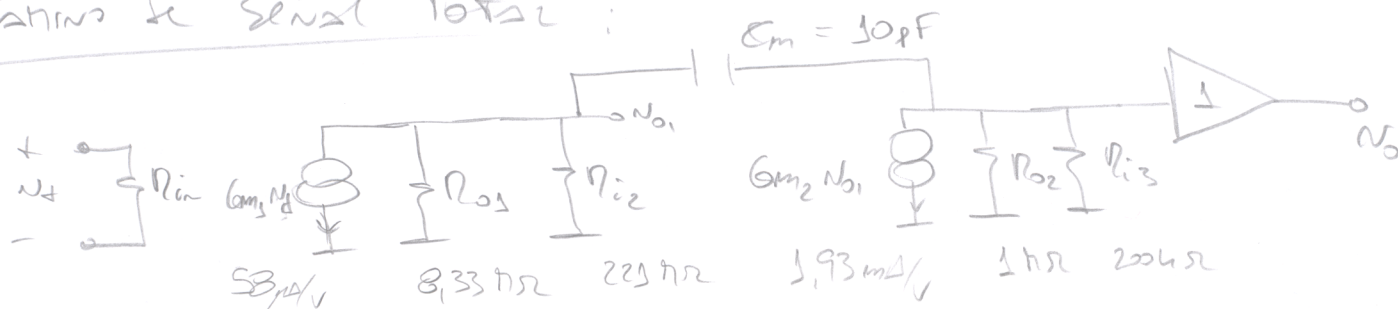
$\Rightarrow g_{m_{3,11}} = 193 mA/V$

$\Rightarrow g_{m_{3,11}} R_L = 386 \gg 1$

(ca $I_{B,11} = I_Q$ $g_{m_{3,11}} R_L = 15,4 \gg 1$)

R_{o3} : $\forall \Delta$ considere R_L , no precisa calcular R_o

Catino de Sinal Total:



$\Rightarrow A_D = g_{m1} \cdot (R_{L1} // R_{i2}) \cdot g_{m2} (R_{L2} // R_{i3})$

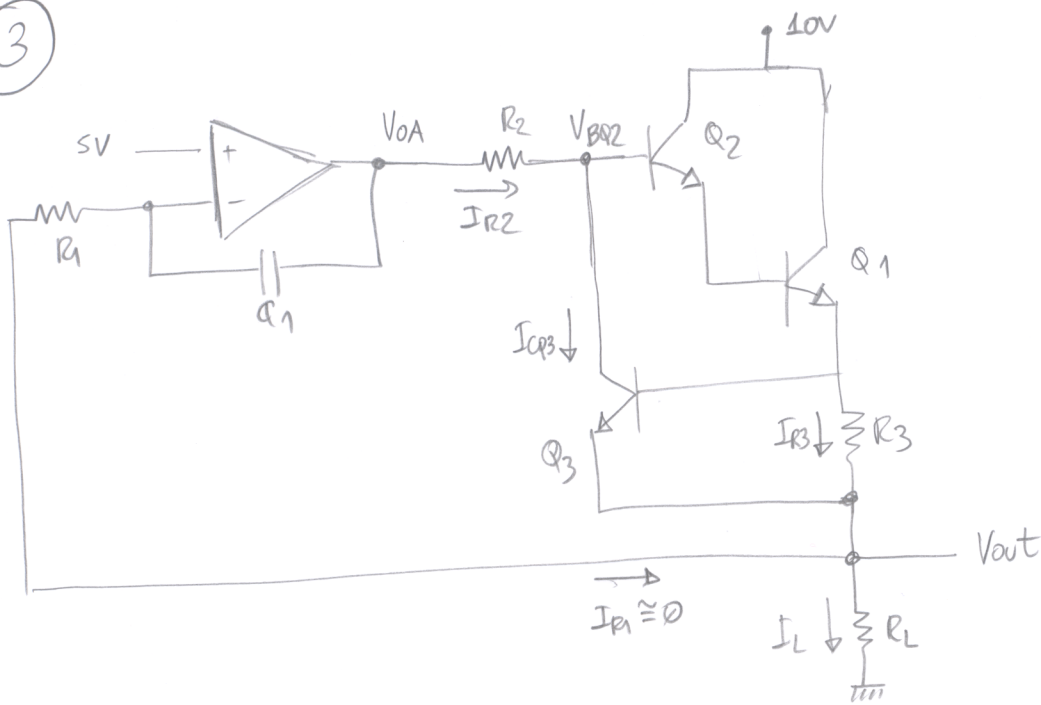
$\Rightarrow A_D = (483 \%) \cdot (321,7 \%) = 155,4 \times 10^3 \%$

$\Rightarrow \boxed{A_D = 103,8 \text{ dB}}$

$f_T = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{g_{m1}}{C_m} = 0,92 \text{ MHz}$

$S_R = \frac{I_L}{C_m} = 0,16 V/\mu s$

3



Mientras $I_{R3} < \frac{V_{BEQ3}}{R_3} = 2A$, Q_3 permanecerá cortado (R_3 y Q_3 circuito limitador)

En este caso el lazo de realimentación garantiza que $V_{out} = 5V$ (por traza virtual en OA) independiente del valor R_L .

Cuando actúa la protección, $V_{out} \neq 5V$ porque I_L está limitada, entonces el integrador satura ($V_{OA} = 10V$) y $V_{out} = R_L \cdot I_{Lmax} < 5V$.

a) $R_L = \infty$, $I_{Lmax} = I_{R3} + I_{CQ3} + I_{RL}$ donde $I_{R3} = \frac{V_{BEQ3}}{R_3} = 2A$

$$V_{BEQ2} = V_{BEQ3} + V_{BEQ1} + V_{BEQ2} = 2.2V$$

$$I_{R2} = \frac{V_{OA} - V_{BEQ2}}{R_2} = \frac{10V - 2.2V}{1k\Omega} = 7.8mA$$

$$I_{BEQ2} = \frac{I_{R3}}{\beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2}} = \frac{V_{BEQ3}/R_3}{\beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2}} = 0.4mA$$

(*) desprecia I_{CQ3}

$$I_{CQ3} = I_{R2} - I_{BEQ2} = 7.4mA, \quad I_{Lmax} = \overbrace{I_{R3}}^{2A} + \overbrace{I_{CQ3}}^{7.4mA} + \overbrace{I_{RL}}^{0 + RL} = \underline{\underline{I_{Lmax} = 2A}}$$

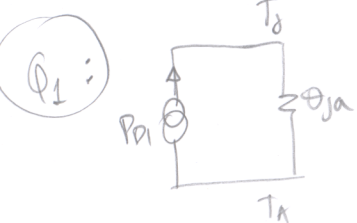
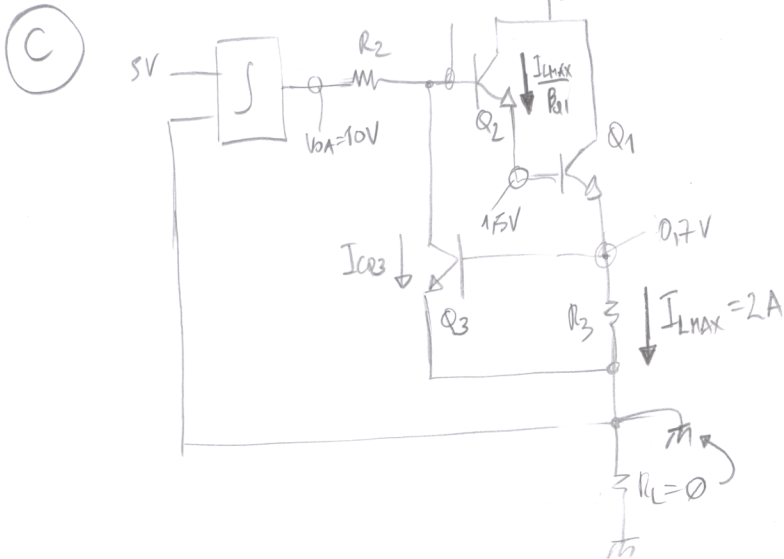
3) cont

2do parcial E2-2018

(b) Q_3 cortado $v_{q'} I_L < I_{Lmax}$

$$\eta = \frac{P_s}{P_F} = \frac{\overbrace{V_{out}}^{=V_{DD}/2} \cdot \frac{I_{Lmax}}{2}}{V_{DD} \cdot \frac{I_{Lmax}}{2} + \frac{V_{DD} I_{Lmax}}{2\beta_{Q1}}} = \frac{1/2}{1 + 1/\beta_{Q1}} \Rightarrow \boxed{\eta = 50\%}$$

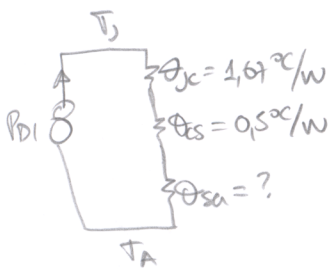
$\beta_{Q1} \gg 1$



$$P_{D1} = (10V - 0.7V) \cdot I_{Lmax} = 18.6W$$

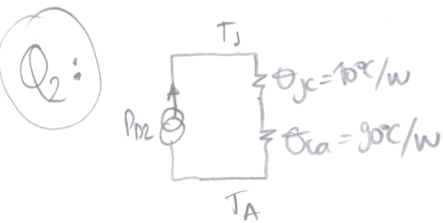
$$P_{D1} = \frac{T_j - T_A}{\theta_{JA}} \Rightarrow T_j = T_A + P_{D1} \theta_{JA} \Rightarrow T_j |_{T_A=50^\circ C} = 1352^\circ C \Rightarrow \text{peor caso}$$

\Rightarrow Q1 precisa disipador ($T_j > T_{jmax} = 150^\circ C$)



$$P_{D1} = \frac{T_{jmax} - T_A}{\theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa}} \Rightarrow \theta_{sa} = \frac{T_{jmax} - T_A}{P_{D1}} - (\theta_{jc} + \theta_{cs}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta_{sa} |_{T_A=50^\circ C} = 3.2^\circ C/W, \theta_{sa} = \frac{1}{A \cdot 4mW/^\circ C} \Rightarrow \boxed{A = 78cm^2}$$



$$P_{D2} = (10V - 1.5V) \cdot \frac{I_{Lmax}}{\beta_{Q1}} = 340mW$$

$$T_j |_{T_A=50^\circ C} = 84^\circ C \Rightarrow \underline{Q2 \text{ no precisa disipador}}$$

(c) $P_{D3} = (2.2V - 0V) \cdot \frac{I_{ces3}}{7.4mW} = 16.3mW, T_j |_{T_A=50^\circ C} = 54.6^\circ C \Rightarrow \underline{Q3 \text{ no precisa disipador}}$