2^{do} Parcial de Electrónica 2
28/11/2014

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: (25 puntos)

En el circuito de la figura:

a) Determine R_2 y el mínimo β para los transistores QN y QP que aseguren poder suministrar 10W de potencia a la carga y una tensión de 1.5V entre las bases de QN y QP.

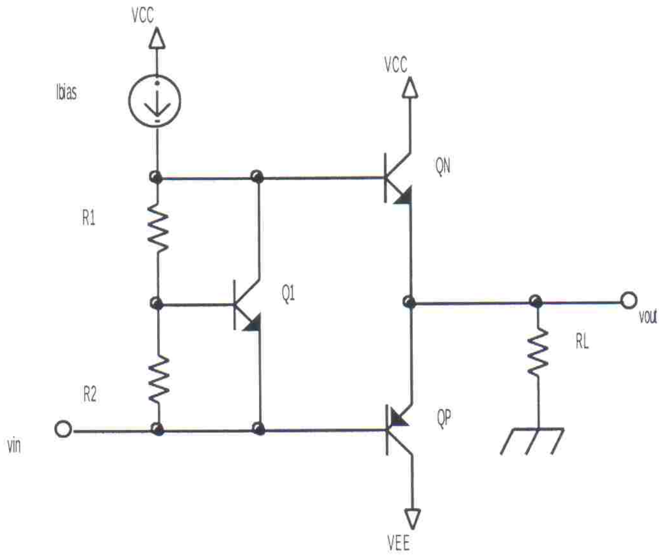
b) Determine la eficiencia de la etapa de salida cuando se suministran 6W a la carga.

c) Determine la máxima potencia que deben disipar los transistores Q_N y Q_P para cualquier potencia entregada entre 0 y 10W.

d) Determine cual es la máxima temperatura ambiente (T_{AMB}) a la que puede funcionar el circuito.

e) A cada transistor Q_N y Q_P se le coloca un disipador capaz de disipar 3mW/ºC por cada cm^2 de superficie. El disipador se supondrá acoplado a través de una resistencia térmica Θ_{CS}=0.5ºC/W. ¿Qué superficie debe tener cada disipador para que el circuito pueda funcionar a una temperatura ambiente máxima T_{AMB}=80ºC ?.

Datos:
$V_{CC}=-V_{EE}=10$ V;
Ibias = 40 mA;
$R_L=4\ \Omega$;
Q_1: $V_{BE}=0.6$ V si $I_C > 2$ mA, $\beta >> 1$;
$R_1=180\ \Omega$;
Q_N, Q_P: $V_{BE}=0.75$V, $T_{jMAX}=150$ ºC, $\Theta_{JC}=2$ ºC/W, $\Theta_{CA}=55$ ºC/W.

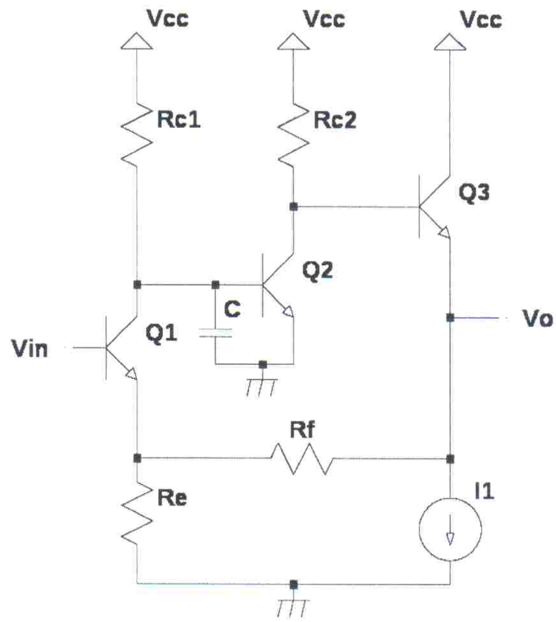


Problema 2 (25 puntos):

Para el circuito de la Figura:

a) Calcule la ganancia del circuito Vo/Vin
b) Calcule el polo de alta frecuencia (fp) del mismo.
c) Calcule la impedancia de entrada (vista desde Vin)

Datos:
Q1 esta polarizado con 1mA de Ic, Q2 con 2mA, y Q3 con 5mA.
β=100 para todos los transistores.
Rc1=Rc2=Rf=1,2kΩ Re=50Ω. C=20nF

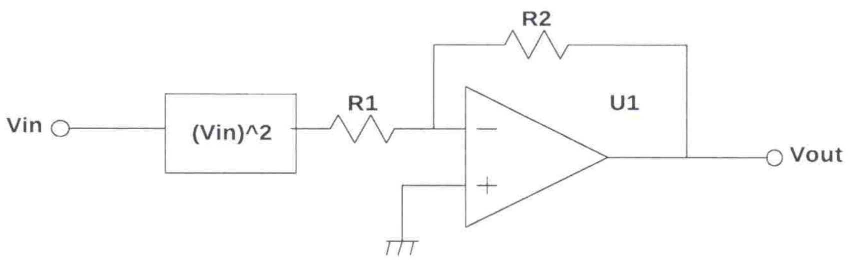


Problema 3: (20 puntos)

Para el circuito de la figura:

a) Determinar el voltaje rms de ruido equivalente en la salida Vout.
Para ello se deberá considerar el ruido aportado por las resistencias y el amplificador. El amplificador operacional OA1 tiene un voltaje de ruido equivalente a la entrada Vn=20nV/√Hz y un producto de ganancia por ancho de banda igual a f_T=1MHz, R2=100kΩ, R1=1kΩ y 4kT@290K=16.10e-21 W.s

b) Determinar la mínima señal de entrada Vin_{rms} para obtener a la salida una SNR de 20dB (SNR=10log(V_{rms}^2/$Vruido_{rms}$^2)).



Nota: El bloque de entrada (Vin)^2 es un circuito no lineal que tiene como salida el cuadrado de su entrada.

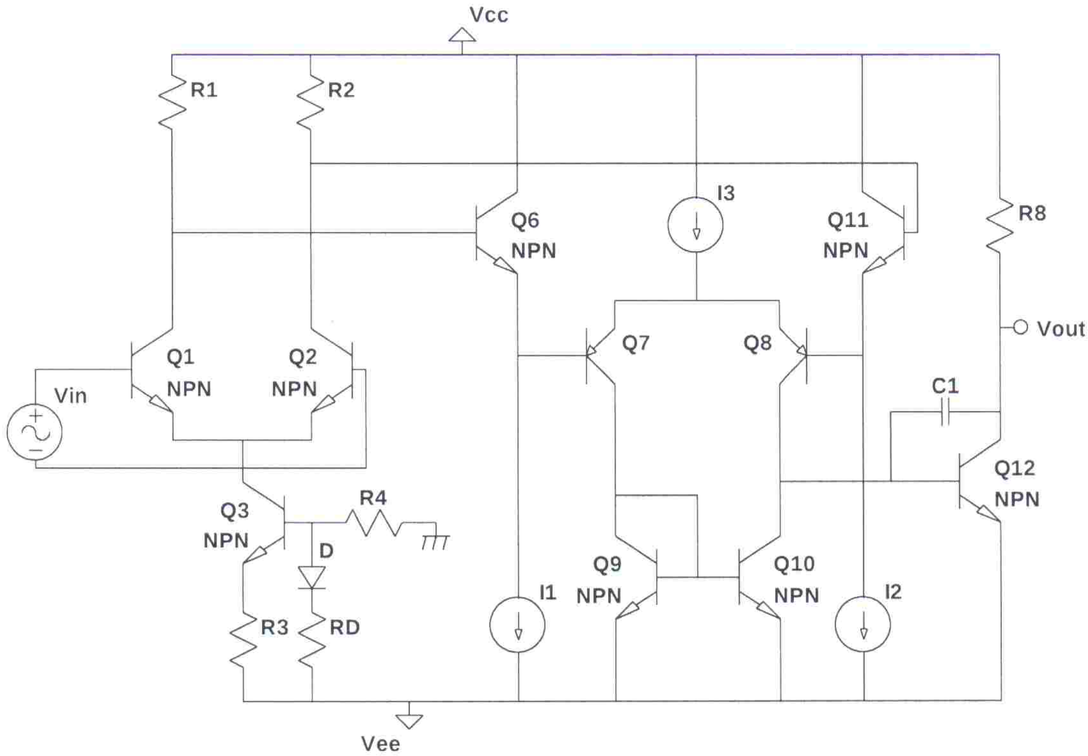
Problema 4: (30 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador operacional. Se pide:

a) Determinar cuál es la entrada no-inversora.
b) Calcular la corriente de polarización de todos los transistores.
c) Calcular la resistencia de entrada diferencial.
d) Calcular la ganancia en banda pasante Vout/Vin.
e) Calcular el f_T del amplificador.
f) Hallar la máxima tensión de entrada diferencial y de modo común para que el amplificador funcione linealmente.

Datos:

- Vcc = - Vee = 15 V
- R1=R2=680Ω, R3=1kΩ, R4=39kΩ, R8=15kΩ, Rd=10kΩ, I1=I2=I3=1mA, C1 = 1.3nF
- Todos los transistores: VBE = 0.7 V, VCESAT=0.3V, β = 200, VA = inf
- El diodo D está hecho con un transistor idéntico a los demás.



Problema 1

(a)

$$P = \frac{I_p^2 \cdot R_L}{2} \Rightarrow I_p = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{R_L}} \cong 2{,}24\ A$$

$$V_{BB} \cdot \frac{R_L}{R_1 + R_2} = V_{BEon} \Rightarrow \boxed{R_2 = 120\,\Omega}$$

$$I_{bias} = \frac{V_{BEon}}{R_2} + I_{CQ_{1min}} + \frac{I_p}{\beta_{min}} = \frac{0{,}6V}{120\,\Omega} + 2mA + \frac{2{,}24}{\beta_{min}} = 40mA$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta_{min} = 68}$$

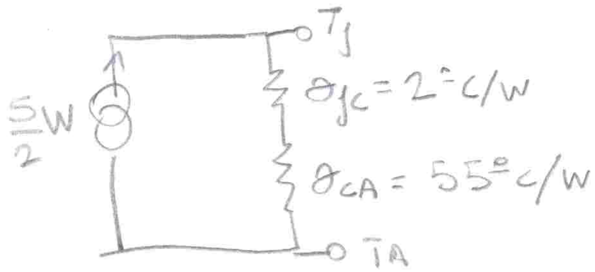
(b)

$$\left.\begin{aligned} \eta &= \frac{V_{op}\,\pi}{4 V_{cc}} \\ \frac{V_{op}^2}{2R_L} &= P \Rightarrow V_{op} = \sqrt{2R_L P} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \eta = \frac{\sqrt{2R_L P}\,\pi}{4V_{cc}} = \boxed{54\%}$$

(c)

$$P_{Dmax} = \frac{2V_{cc}^2}{\pi^2 R_L} = \boxed{5W}$$

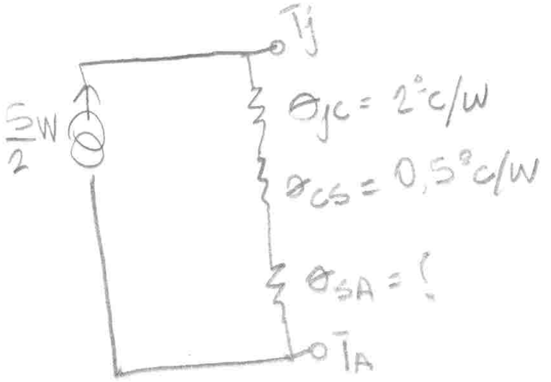
(d)



$$\overset{150°C}{\overset{\shortparallel}{T_{j_{max}}}} - T_{A_{max}} = 2{,}5 \cdot (2 + 55)\ °C \Rightarrow$$

$$\boxed{T_{A_{max}} = 7{,}5\ °C}$$

(e)



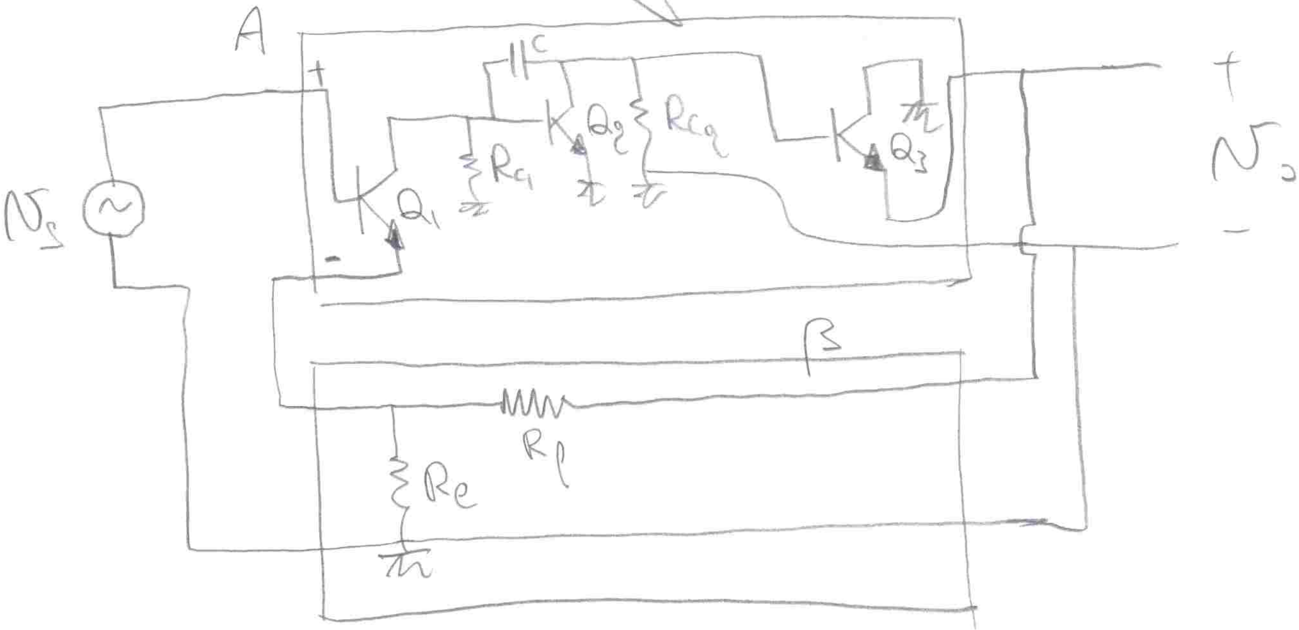
$$\frac{T_{jmax} - T_{amb}}{\theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{SA}} = 2{,}5\ W \Rightarrow \theta_{SA} = 25{,}5°C/W$$

$$\theta_{SA} = \frac{1}{A \cdot 3 \frac{mW}{°C \cdot cm^2}} \Rightarrow \boxed{A = 13\ cm^2}$$

PP

Problema 2

Identifico los bloques A y β



Calculo los parámetros h del bloque β:

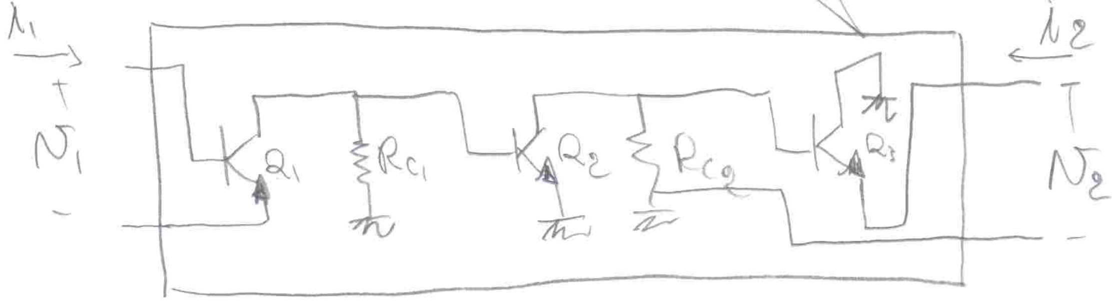
$$h_{11\beta} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0} \Rightarrow h_{11\beta} = R_e \| R_f$$

$$h_{12\beta} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=\emptyset} \Rightarrow h_{12\beta} = \frac{R_e}{R_f+R_e} = \boxed{\beta = 0{,}04}$$

$$h_{21\beta} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=\emptyset} \Rightarrow h_{21\beta} = \frac{-R_e}{R_f+R_e}$$

$$h_{22\beta} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=\emptyset} \Rightarrow h_{22\beta} = \frac{1}{R_e+R_f}$$

Calculo los parámetros h del bloque A:



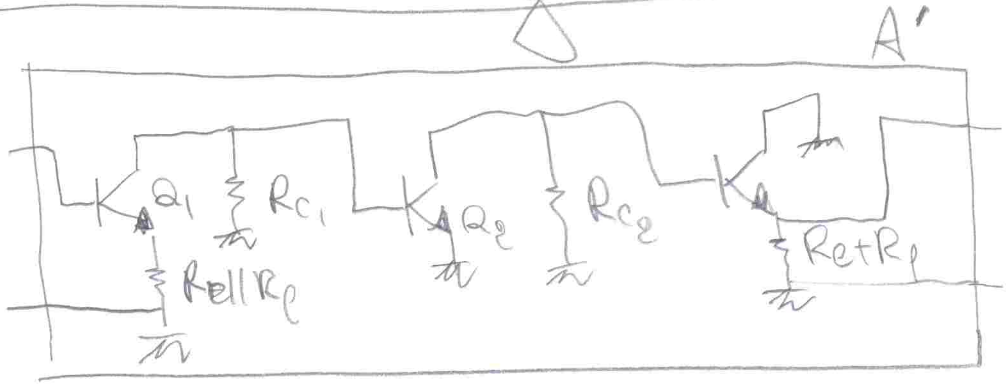
$$h_{12A} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=\emptyset} \Rightarrow h_{12A} = \emptyset$$

$$h_{21A} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=\emptyset} \Rightarrow i_2 = i_1\beta_1 \cdot \frac{R_{C1}}{R_{C1}+r_{\pi_2}} \cdot \beta_2 \cdot \frac{R_{C2}}{R_{C2}+r_{\pi_3}} \beta_3$$

$$\Rightarrow h_{21A} = \frac{\beta^3 R_{C1} R_{C2}}{(R_{C1}+r_{\pi_2})(R_{C2}+r_{\pi_3})}$$

$$\Rightarrow |h_{12\beta}| >> |h_{12A}| \quad y \quad |h_{21A}| >> |h_{21\beta}| \quad \checkmark$$

Hallo el nuevo bloque A'



$$A' = \left(-\frac{g_{m1}(R_{C1} \| r_{\pi_2})}{1+g_{m1}(R_e \| R_f)}\right)\left(-g_{m2}(R_{C2} \| r_{\pi_3}+(\beta+1)(R_e+R_f))\right)$$

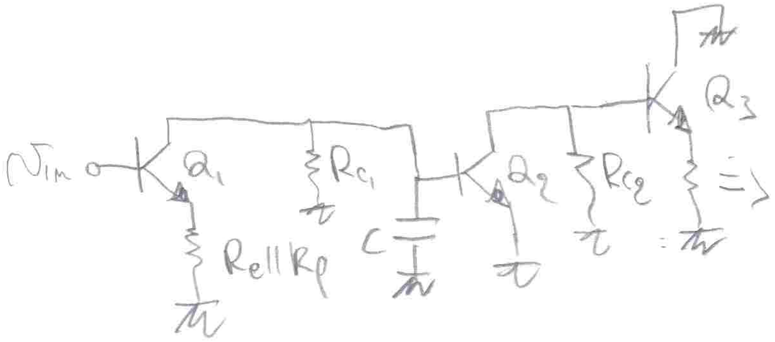
$$\Rightarrow \boxed{A' = 771}$$

3

a) $A'\beta = 30 \Rightarrow A_{CL} \simeq \frac{1}{\beta} \Rightarrow \boxed{A_{CL} = 25}$

b) Calculo el polo del lazo abierto

$\Rightarrow$



$\Rightarrow f_{P_{OL}} = \frac{1}{2\pi (R_{C1} \| r_{\pi_2}) C}$

$\Rightarrow f_T = f_{P_{OL}} \cdot A' = f_{P_{CL}} A_{CL} \Rightarrow f_{P_{CL}} = f_{P_{OL}} \frac{A'}{A_{CL}}$

$\Rightarrow \boxed{f_{P_{CL}} = 393 \text{ kHz}}$

c) $R_{in_{OL}} = r_{\pi_1} + (\beta + 1)(R_e \| R_f) = 7{,}55 \text{ k}\Omega$

$\Rightarrow R_{in_{CL}} = R_{in_{OL}} (1 + A'\beta) \Rightarrow \boxed{R_{in_{CL}} = 237 \text{ k}\Omega}$

Problema 3

(a) Por superposición voy calculando los aportes a la salida

$$S_{no,R2} = 4kTR_2 \Rightarrow V^2_{no,R2} = 4kTR_2 \Delta f$$

$$S_{no,R1} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)^2 4kTR_1 \rightarrow V^2_{no,R1} = 4kT\frac{R_2^2}{R_1}\Delta f$$

$$S_{no,OA} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)^2 S_{n,OA} \Rightarrow V^2_{no,OA} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \cdot V_n^2 \cdot \Delta f$$

$\Rightarrow$

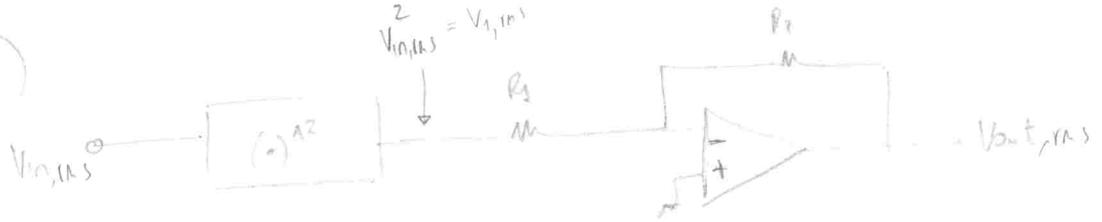
$$\underset{\substack{\uparrow \\ \text{sist. de 1er orden}}}{\Delta f} = \frac{\pi}{2}\cdot f_{-3db} = \frac{\pi}{2}\cdot\frac{f_T}{G} = \frac{\pi}{2}\cdot\frac{f_T}{1+\frac{R_2}{R_1}}$$

$R_2 \gg R_1$

$$\Rightarrow V^2_{no,rms} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)V_n^2\cdot\frac{\pi}{2}f_T + 4kTR_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\frac{\pi}{2}\cdot\frac{f_T}{1+R_2/R_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V^2_{no,rms} = \frac{R_2}{R_1}V_n^2\cdot\frac{\pi}{2}f_T + 4kTR_2\frac{\pi}{2}f_T \Rightarrow \boxed{V_{no,rms} = 256\,\mu V_{rms}}$$

(b)



Observar que el problema no puede estudiarse en la entrada debido a la presencia de un bloque no lineal, pero puede estudiarse a la salida: $V_{out,rms} = \frac{R_2}{R_1}V^2_{in,rms} = 100\, V^2_{in,rms}$

$$SNR = 10\log\left(\frac{V^2_{out,rms}}{V^2_{ruido,rms}}\right) = 10\log\left(\frac{V^2_{out,rms}}{V^2_{no,rms}}\right) = 10\log\left(\frac{100^2\cdot V^4_{in,rms}}{V^2_{no,rms}}\right) \geq 20 \iff$$

$$\iff 100^2\cdot V^4_{in,rms} \geq 100\cdot V^2_{no,rms} \iff V_{in,rms} \geq \sqrt{\frac{V_{no,rms}}{10}} \iff \boxed{V_{in,rms} \geq 5\,mV_{rms}}$$

Problema 4

2do Parcial Electrónica 2

28/11/2014

a) $v_{BQ_1} \uparrow \rightarrow v_{CQ_1} \downarrow \rightarrow v_{CQ_6} \downarrow \rightarrow i_{CQ_7} \uparrow \rightarrow i_{BQ_{12}} \downarrow \Rightarrow i_{CQ_{12}} \downarrow \rightarrow V_{out} \uparrow$

$\Rightarrow$ Base Q_1 Entrada no inversora

b) $$I_{CQ_3} = \frac{V_{BQ_3} - V_{BE} - V_{EE}}{R_3} = \frac{-11,4 - 0,7 + 15}{1\,k\Omega} = 2,9\,mA.$$

$$V_{BQ_3} = V_{EE} + R_D \cdot I_{R_D} + V_{BE} = -15 + 2,9 + 0,7 = -11,4$$

$$I_{R_D} = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_4 + R_D} = \frac{15 - 0,7}{39\,k\Omega + 10\,k\Omega} = 0,29\,mA.$$

$$I_{CQ_1} = I_{CQ_2} = \frac{I_{CQ_3}}{2} = 1,45\,mA.$$

$$I_{CQ_6} = I_{CQ_{11}} = 1\,mA.$$

$$I_{CQ_7} = I_{CQ_8} = 0,5\,mA. = I_{CQ_9} + I_{BQ_9} + I_{BQ_{10}} = I_{CQ_9}\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

$$\Rightarrow I_{CQ_9} = I_{CQ_{10}} = \frac{\beta}{\beta + 2} \cdot I_{CQ_7}$$

$$I_{BQ_{12}} = I_{CQ_8} - I_{CQ_{10}} = I_{CQ_8}\left(1 - \frac{\beta}{\beta + 2}\right) = \frac{2}{\beta + 2} \cdot I_{CQ_8}$$

$$I_{CQ_{12}} = \frac{\beta \cdot 2}{\beta + 2} I_{CQ_8} \simeq 2\, I_{CQ_8} = 1\,mA$$

c) $$R_{in} = 2 r_\pi = \frac{2\beta}{g_{m_{1,2}}} = 7,2\,k\Omega$$

$$g_{m_{1,2}} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1,45\,mA}{26\,mV} = 0,056\,\Omega^{-1}$$

d) $$R_1, R_2 << R_{V_{Q_6 \cdot Q_{11}}} \Rightarrow G_1 = \frac{v_{B7} - v_{B8}}{v_{in}} = -g_{m_{1,2}} \cdot R_{1,2}$$

$$R_{V_{Q_6, Q_{11}}} = r_{\pi_{6,11}} + \beta\, r_{\pi_{7,8}} \cong 523\,k\Omega$$

$\beta \cdot 26$ $\quad$ $100 \cdot \beta \cdot \frac{26}{0,5}$

d) Q_6, Q_{11} Seguidores $\qquad g_{m_6} R_{V_{Q_7,Q_8}} >> 1$

$$g_{m_6} \cdot r_{\pi_{7,8}} = \frac{1mA}{26\,mV} \cdot \beta \cdot \frac{26mV}{0,5} = 2\beta = 200 >> 1$$

$$i_{C_{12}} = \beta \cdot i_{B_{12}} = \beta \cdot g_{m_{7,8}} \cdot (v_{B_7} - v_{B_8})$$

$$v_{out} = -i_{C_{12}} \cdot R_8 = -\beta \cdot g_{m_{7,8}} \cdot (-g_{m_{1,2}} \cdot R_{1,2} \cdot v_{in}) \cdot R_8$$

$$\Rightarrow \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} = \beta \cdot g_{m_{7,8}} \cdot g_{m_{1,2}} \cdot R_1 \cdot R_8 = 1,1 \times 10^6 = 121 \quad dB \right.$$

e) $$f_T = \frac{g_m^*}{2\pi C_1}$$

g_m^* es la transconductancia desde la entrada hasta la base de Q_{12}

$$g_m^* = \frac{i_{B_{12}}}{v_{in}} = g_{m_{7,8}} \cdot g_{m_{1,2}} \cdot R_{1,2} = 1,066$$

$$f_T = \frac{1,066}{2 \cdot \pi \cdot 1,3 \times 10^{-9}} = 130\ MHz$$

f) Para el par Q_1, Q_2 $\ v_{in_{dif}} < 2V_T$

Para el par Q_7, Q_8 $(v_{B_7} - v_{B_8}) < 2V_T$

Para el caso de Q_{12} $\ v_{B_{12}} < V_T$ (Tomando V_T como limite rango lineal de la exp. $I_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$)

$$v_{B_{12}} = v_{in} \cdot g_{m_{1,2}} \cdot R_1 \cdot g_{m_{7,8}} \cdot r_{\pi_{12}} < V_T$$

$$v_{in} < \frac{V_T}{g_{m_{1,2}} \cdot R_1 \cdot g_{m_{7,8}} \cdot r_{\pi_{12}}} = \frac{26mV}{0,056 \cdot 680 \cdot \frac{0,5mA}{26mV} \cdot \beta \cdot \frac{26mV}{1mA}} = \frac{26mV}{0,056 \cdot 680 \cdot 0,5 \cdot \beta} = 7\mu V.$$

f)

$$v_{in_{CM}} > V_{BE_{1,2}} + V_{CESAT\,3} + V_{E_3} = 0{,}7 + 0{,}3 - 12{,}1 = -11{,}1\ V$$

$$V_{CE_{Q_1,Q_2}} > V_{CESAT} \qquad V_{CC} - I_{C_{1,2}} \cdot R_1 - (v_{in} - V_{BE}) > V_{CESAT}$$

$$v_{in} < V_{CC} - I_{C_{1,2}} \cdot R_1 + V_{BE} - V_{CESAT} = 14{,}4\ V$$