Examen de Electrónica 2
20/02/2006

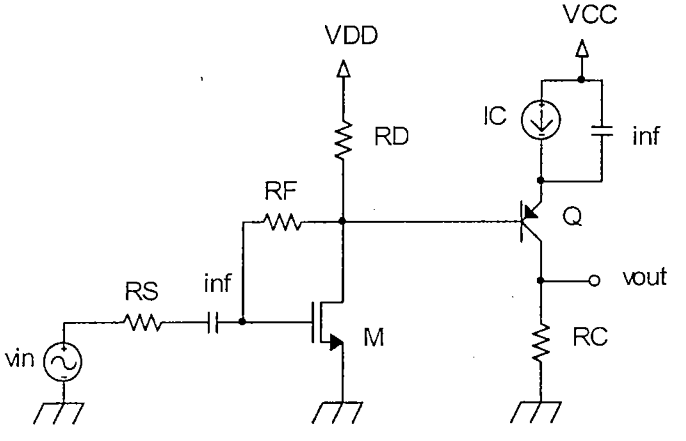
50709867

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 (37 ptos):

En el amplificador de la Figura determinar:

a) Ganancia a frecuencias medias
b) Frecuencia de corte superior



Datos:

VCC=VDD=3V IC=0.1mA

RC=6.8k RD=6.8k RF=10M RS=1k

M: VT=1V δ=0 $\mu Cox(W/L)=10\ mA/V^2$ Cgs=Cgd=1pF

Q: V_{EB}=0.7V β=200 Cμ=0.8pF Cje=5pF f_T@10mA=6GHz

Problema 2 (37 ptos):

Dado el amplificador de la figura 1:

a) ¿qué condición debe darse en el circuito para que los diodos D1 y D2 conduzcan? ¿Cuál es, entonces, la función de estos diodos?
b) dar las corrientes de polarización de los transistores Q8, Q9, Q12, Q13, Q16, Q17;
c) calcular la ganancia a bajas frecuencias;
d) determinar el fT

Datos:

VDD=VEE=18V
$V_{BE}=|V_{EB}|=V\gamma=0.7V$
$V_{CEsat}=0.2V$
Tensión de Early=∞, excepto en el transistor Q13 donde $V_A=30V$
$\beta=100$ excepto en Q_{14} y Q_{20} donde $\beta=50$.

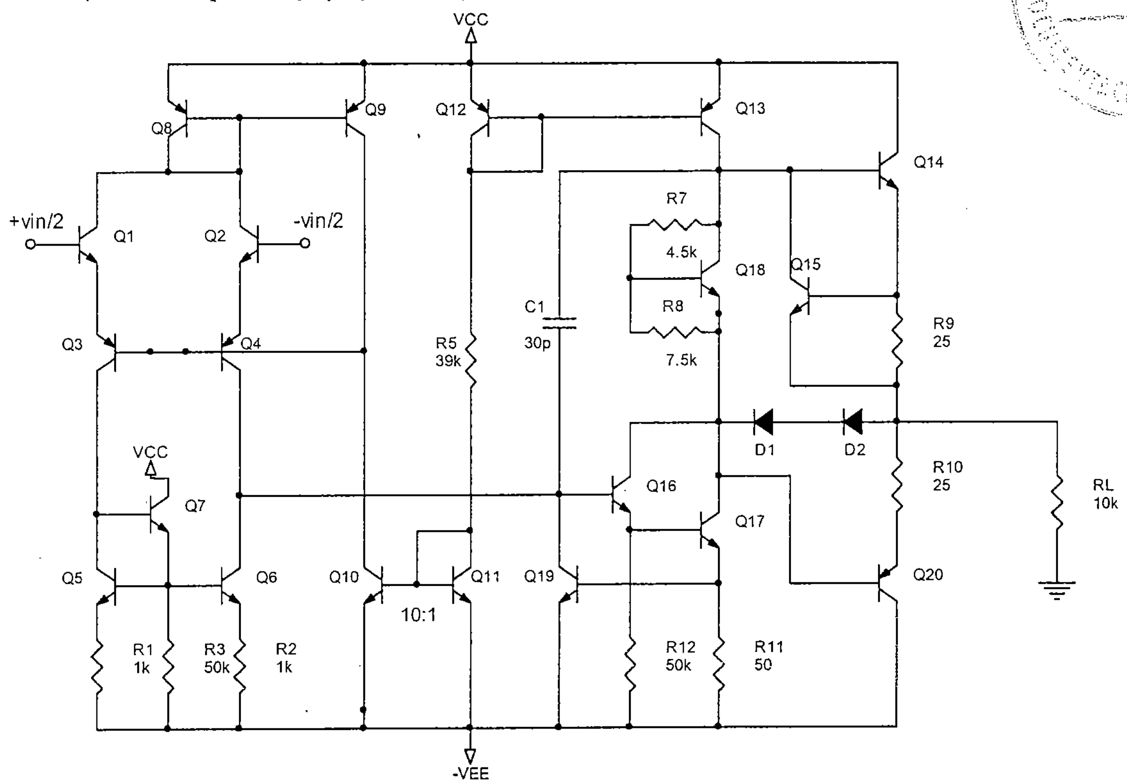


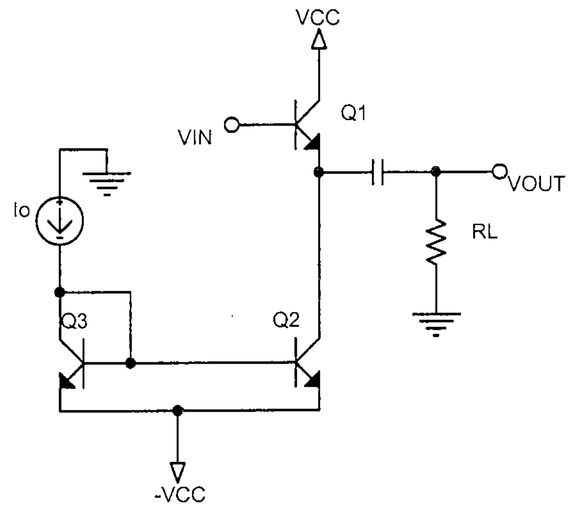
Fig.1

Pregunta (26 ptos):

a) Para la etapa de potencia de la figura, 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 VCC = 5V, Io=1A, RL = 4Ω, Vopico = 2V, VBE para todos los transistores es 0.8V y el nivel de continua en VIN es 0.8V, determinar, la potencia entregada a la carga, el rendimiento y la potencia disipada por cada uno de los transistores Q1, Q2 y 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°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 – carcaza del dispositivo ("case") es 0.5°C/W.

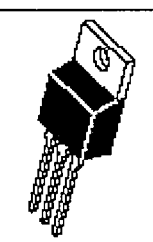
NOTA: Se despreciará en todo el problema la potencia disipada debido a las corrientes de base de los transistores.



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

*Motorola Preferred Device

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



CASE 221A–06
TO–220AB

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

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

- Collector–Emitter Saturation Voltage —
  $V_{CE(sat)}$ = 1.5 Vdc (Max) @ I_C = 6.0 Adc
- Collector–Emitter Sustaining Voltage —
  $V_{CEO(sus)}$ = 60 Vdc (Min) — TIP41A, TIP42A
  = 80 Vdc (Min) — TIP41B, TIP42B
  = 100 Vdc (Min) — TIP41C, TIP42C
- High Current Gain — Bandwidth Product
  f_T = 3.0 MHz (Min) @ I_C = 500 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°C Derate above 25°C	P_D	65 0.52			Watts W/°C
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	62.5			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

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

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

Examen Electrónica 2

20/2/06

Problema 1

a) Ganancia a frecuencias medias

DC:

- $I_{C_Q} = I_C = 0.1\,mA \rightarrow \begin{cases} g_{m_Q} = \frac{I_C}{V_T} = 3.8\,mS \\ r_\pi = 52\,K. \end{cases}$

- $I_{DM} = I_D = 0.5\,K \cdot (V_G - V_T)^2$ (1) $\quad V_S = 0, \quad K = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$

$I_D = \frac{V_{DD} - V_G}{R_D} \rightarrow V_G = V_{DD} - I_D R_D$ (2)

De (1) y (2): $0.5k \cdot R_D^2 \, I_D^2 - (1 + k(V_{DD} - V_T) \cdot R_D) \cdot I_D + 0.5k \cdot (V_{DD} - V_T)^2 =$

Hay 2 soluciones: $I_{D_1} = 0.33\,mA$

$I_{D_2} = 0.26\,mA$

$V_G = V_D$ porque por R_F no circula corriente en dc $\rightarrow$ necesariamente el transistor debe estar en saturación. $\rightarrow V_{GS} > V_T$.

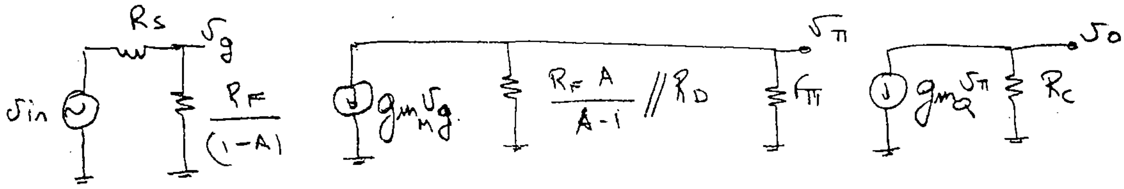
Para $\rightarrow I_{D_1} \rightarrow V_{G_1} = V_{DD} - I_D R_D = 0.75\,V < V_T$ ✗

$\quad\;\; \rightarrow I_{D_2} \rightarrow V_{G_2} = 1.2\,V > V_T$ ✓ $\leftarrow$ $\underline{I_D = 0.26\,mA}$

R. Fiorelli

5|13

A frecuencias medias:

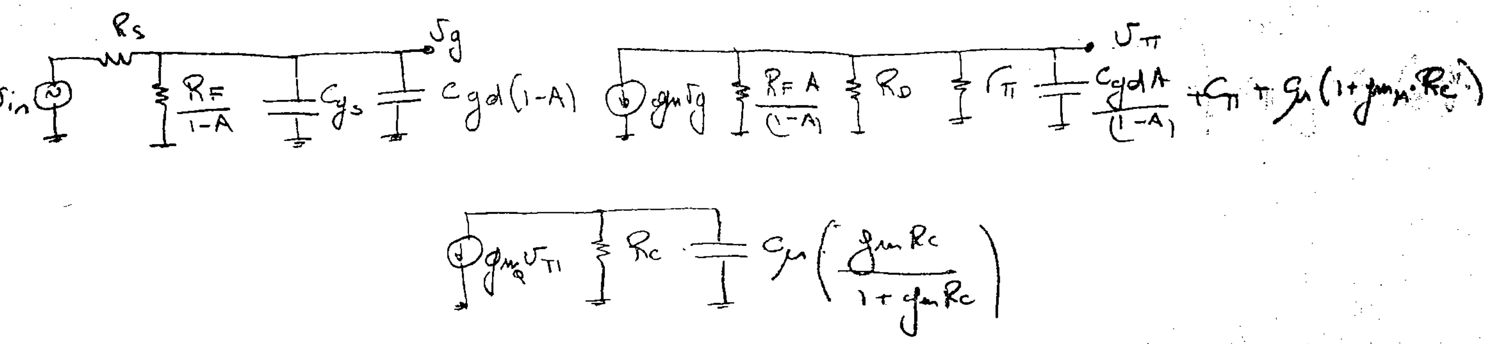


$$A = \frac{v_\pi}{v_g}$$

$$v_\pi \underset{\substack{\text{supongo} \\ A \gg 1}}{\approx} g_{m_M} \cdot r_\pi // R_F // R_D \, v_g \cong g_{m_M} \; r_\pi // R_D \; v_g \Rightarrow A = -13.$$

$$A_{Tot} = \frac{v_o}{v_g} = A \cdot \underbrace{\left(-g_{m_Q} R_C\right)}_{v_o/v_\pi = 26} = \underline{338 \; V/V}$$

b) <u>Frecuencia de corte superior</u>: Aplico Miller a C_{gd} y C_μ



$$f_1 \approx \frac{1}{2\pi \cdot R_s \cdot \left(C_{gs} + C_{gd} \cdot \underbrace{(1-A)}_{14}\right)} = 10{,}6 \text{ MHz}$$

$$f_2 \cong \frac{1}{2\pi \cdot R_D // r_\pi \cdot \left(C_{gd} + C_\pi + C_\mu \cdot (1 + g_{m_Q} R_C)\right)} = \boxed{0.95 \text{ MHz} = f_{-3dB}}$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi R_C C_\mu} = 29 \text{ MHz}$$

6/13

Cálculo de C_π:

$$f_{\pi_{@10mA}} = \frac{g_{m@10mA}}{2\pi(C_\pi + C_\mu)}$$

$g_{m@10mA} = 0,38\ S.$

$$2\pi(C_\pi + C_\mu) = \frac{g_{m@10mA}}{f_{T@10mA}} = 64\times10^{-12} \rightarrow C_{\pi_{@10mA}} = \frac{64\times10^{-2}}{2\pi} - C_\mu = 9,4\times10^{-12}$$

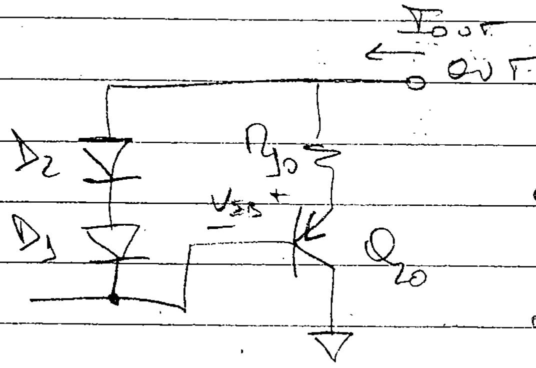
$$C_{\pi_{@10mA}} = C_{je} + \alpha\ \underset{10mA}{\underset{\parallel}{I_C}} \Rightarrow \alpha = 0.44\times10^{-9} \rightarrow \underline{C_{\pi_{@1mA}}} = C_{je} + \alpha \cdot 1mA \underline{= 5.44p}$$

R. Dorelli

EXAMEN ELECTRONICA 2 — 20/02/2006

(2)

(a)



- Cuando I_{OUT} entra $\Rightarrow Q_{20}$ está ON
- Inicialmente D_1 y D_2 están OFF

$$\Rightarrow 2V_\gamma = R_{10} I_{E_{20}} + V_{EB_{20}}$$ D_1 y D_2 pasan a ON

$$\Rightarrow \boxed{I_{E_{20}} = \frac{V_\gamma}{R_{10}} = 28\,mA} \quad \text{condición}$$

$V_\gamma = V_{EB}$

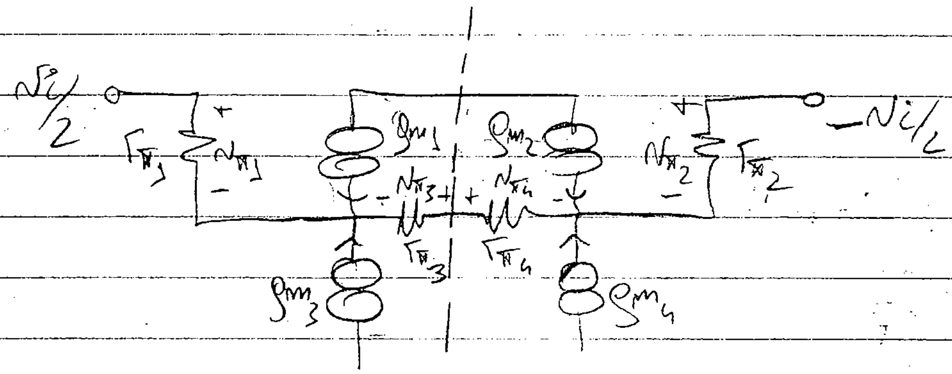
Tienen la función de proteger el amplificador contra cortocircuitos a la salida.
Mientras D_1 y D_2 están OFF $I_{OUT} = I_{E_{20}}$.
Cuando $I_{E_{20}} = V_\gamma / R_{10} = 28\,mA$, comienza a circular el exceso de I_{OUT} por los diodos hacia Q_{16} y Q_{17}, hasta que la tensión a bornes de R_{11} es igual a V_{BE}. Ahí Q_{19} se enciende y toma corriente de la base de Q_{16} $\Rightarrow V_{B_{16}} \downarrow \Rightarrow V_{C_{16}} = V_{C_{17}} \uparrow$
$\Rightarrow V_{B_{20}} \uparrow \Rightarrow V_{OUT} \uparrow \Rightarrow I_{OUT} \downarrow$

(b) $I_{C_{12}} = I_{C_{13}} = 10\, I_{C_{10}}$, $I_{C_{10}} = I_{C_9} = I_{C_8}$

$$I_{C_{12}} = \frac{V_{CC} + V_{EE} - 2V_{BE}}{R_5} = 0{,}89\,mA$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{C_{10}} = 89\,\mu A}$$

(c) Etapa de entrada:



es simétrico ($I_{C1} = I_{C2} = I_{C3} = I_{C4}$) y con entrada diferencial $\Rightarrow v_{\pi1} - v_{\pi3} = v_i/2$

Además $r_{\pi1} = r_{\pi3}$ y $g_{m1} = g_{m3}$

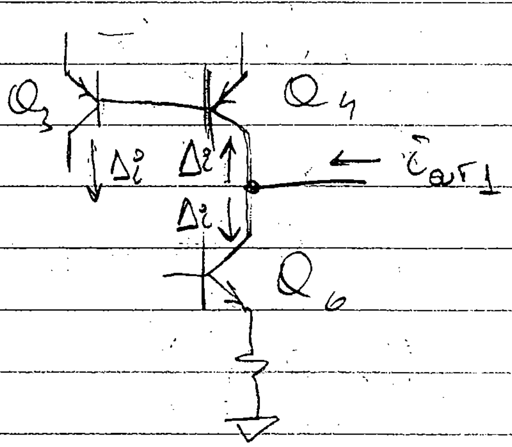
$$\Rightarrow v_{\pi3} = -r_{\pi3}\left(g_{m1}v_{\pi1} + g_{m3}v_{\pi3}\right)$$

$$\Rightarrow \underbrace{\left(1 + g_{m3}r_{\pi3}\right)}_{\beta+1} v_{\pi3} = -\underbrace{g_{m1}r_{\pi3}}_{\beta} v_{\pi1}$$

$$\Rightarrow v_{\pi3} = -v_{\pi1} \Rightarrow v_{\pi1} - v_{\pi3} = -2v_{\pi3} = v_i/2$$

$$\Rightarrow i_{c3} = g_m v_{\pi3} = -g_m v_i/4$$

Q_5, Q_6 y Q_7 son un espejo



$\Delta i = g_m v_i/4$

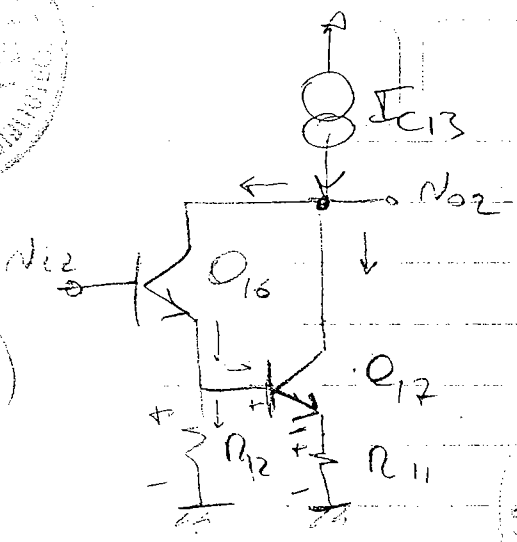
$\Rightarrow i_{OUT1} = g_m v_i/2 \Rightarrow \boxed{G_{m1} = g_m/2}$

$r_o = \infty \Rightarrow \boxed{R_{OUT1} = \infty}$

$\Rightarrow G_{m1} = \frac{1}{2}\left(\frac{I_{C10}}{2V_T}\right) \Rightarrow \boxed{G_{m1} = 0{,}86 \text{ mA/V}}$

Papirax

2da etapa



(Q_{19} OFF)

$$R_{i2} = r_{\pi 16} + \beta (R_{vB17} // R_{12})$$

$$R_{vB17} = r_{\pi 17} + \beta R_{11}$$

$$I_{C16} + I_{C17} = I_{C13} \quad \text{(desprecio } I_{B20}\text{)}$$

$$\left[I_{C16} - \frac{I_{C17}}{\beta}\right] R_{12} = V_{BE17} + I_{C17} R_{11} \quad \text{(No desprecio } I_{B17}\text{)}$$

$$I_{C13} R_{12} = V_{BE17} + I_{C17}\left(R_{11} + R_{12}\frac{\beta+1}{\beta}\right)$$

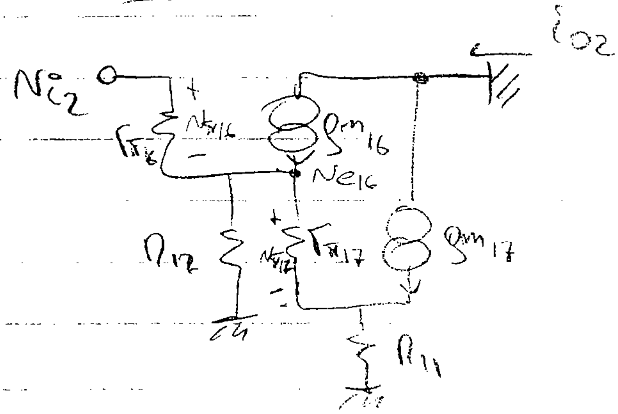
$$\Rightarrow I_{C17} = I_{C13}\frac{R_{12}}{R_{11}+R_{12}\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)} - \frac{V_{BE}}{R_{11}+\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)R_{12}}$$

$$\Rightarrow I_{C17} = 0{,}866 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{C16} = 24 \ \mu A \ \text{y} \ I_{B17} = 8{,}66 \ \mu A \ ✓$$

$$r_{\pi 16} = 108 \text{ k}\Omega$$
$$r_{\pi 17} = 3 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{vB17} = 8 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{i2} = 798 \text{ k}\Omega}$$



$$i_{o2} = g_{m16} v_{\pi 16} + g_{m17} v_{\pi 17}$$

$$v_{\pi 16} = \frac{r_{\pi 16}}{r_{\pi 16} + \beta (R_{vB17} // R_{12})} v_{i2}$$

$$v_{\pi 17} = \frac{r_{\pi 17}}{r_{\pi 17} + \beta R_{11}} \underbrace{(v_{i2} - v_{\pi 16})}_{v_{e16}}$$

$$v_{\pi 17} = \frac{r_{\pi 17}}{r_{\pi 17} + \beta R_{11}} \times \frac{\beta (R_{VB17} // R_{12})}{r_{\pi 16} + \beta (R_{VB17} // R_{12})} \, v_{i2}$$

$$\Rightarrow i_{out2} = \left[\frac{\beta}{r_{\pi 16} + \beta (R_{VB17} // R_{12})} + \frac{\beta^2 (R_{VB17} // R_{12})}{(r_{\pi 17} + \beta R_{11}) \left[r_{\pi 16} + \beta (//) \right]} \right] v_{i2}$$

$$i_{out2} = \underbrace{\frac{\beta \, v_{i2}}{r_{\pi 16} + \beta (R_{VB17} // R_{12})}}_{R_{i2}} \left[1 + \frac{\beta (R_{VB17} // R_{12})}{\underbrace{r_{\pi 17} + \beta R_{11}}_{R_{VB17}}} \right]$$

$$\Rightarrow i_{out2} = \frac{\beta}{R_{i2}} \left[1 + \frac{\beta R_{12}}{R_{VB17} + R_{12}} \right] v_{i2}$$

$$\boxed{\frac{i_{out2}}{v_{i2}} = G_{m2} = 10,9 \ mA/V}$$

$$\boxed{R_{o2} = r_{o13} = 33,7 \ k\Omega}$$ (desprecio R_V mult. de V_{BE})

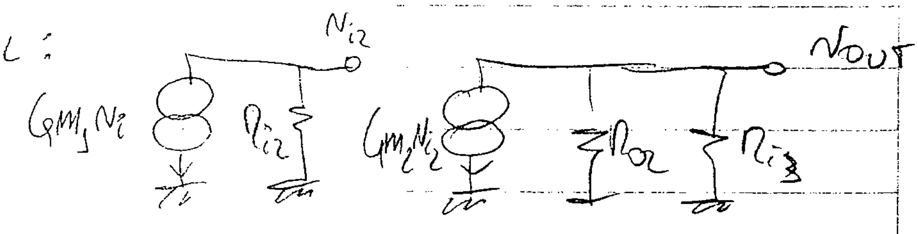
<u>3ª etapa</u> (sup. Q_{20} ON; con Q_{19} es idéntico)

$$R_{i3} = \beta_{20} (R_{10} + R_L) \approx \beta_{20} R_L = 500 \ k\Omega$$

$A_3 \approx 1$ siempre q' $g_{m20} R_L >> 1$ (seguidor)

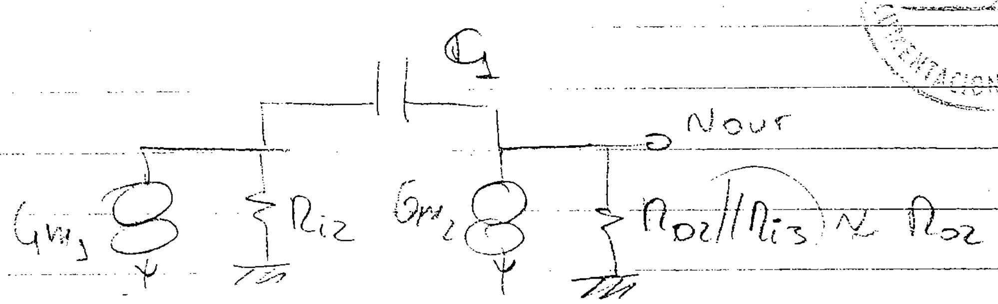
(esta condición se cumple $\Longleftrightarrow I_{C20} \geq \frac{10 V_T}{R_L} = 2,6 \mu A$)

$\Rightarrow$ Esquema Total:
(Baja Frec.)



$$\Rightarrow A_0 = G_{m1} R_{i2} G_{m2} (R_{o2} // R_{i3}) = \begin{cases} 250 \ kV/V \\ 108 \ dB \end{cases}$$

(d)



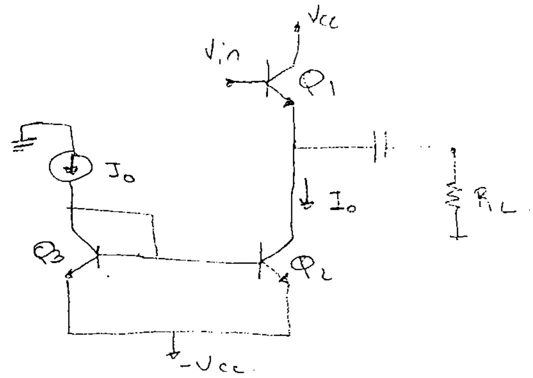
$$\omega_T = A_0 \, \omega_{3dB}$$

(x' Miller) $\omega_{3dB} = \dfrac{1}{R_{i2} C_1 G_{m2} R_{o2}}$ $\quad (G_{m2} R_{o2} >> 1)$

$$\Rightarrow \omega_T = \frac{G_{m1} R_{i2} G_{m2} R_{o2}}{R_{i2} C_1 G_{m2} R_{o2}} = \frac{G_{m1}}{C_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{f_T = 4{,}54 \, MHz}$$

Pregunta



a) $\eta = \frac{P_L}{P_S}$

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

$P_S^+ = V_{cc} \cdot I_o$

$P_S^- = 2V_{cc} I_o$

$\eta = \frac{\hat{V}_o^2}{6 \cdot V_{cc} I_o R_L} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\hat{V}_o}{V_{cc}} \cdot \frac{\hat{V}_o}{R_L I_o}$

La eficiencia máxima se alcanzará cuando $\hat{V}_o = V_{cc}$ y $R_L = \frac{V_{cc}}{I_o} = \hat{V}_o$

En este caso $\eta = 1/6$

b)

$V_{cc} = 5V$

$I_o = 1A$

$R_L = 4\Omega$

$\hat{V}_o = 2V$

$V_{BE} = 0.8$

$P_L = \frac{\hat{V}_o^2}{2 R_L} = 0.5W$

$\eta = \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{2}{4 \cdot 1} = 0{,}033 \rightarrow 3{,}3\%$

$P_D = P_{S+} + P_{S-} - P_L = 3 \cdot V_{cc} \cdot I_o - P_L = 14.5W$

$P_{DQ_3} = V_{BE} \cdot I_o = 0.8W$

$P_{DQ_2} = V_{cc} \cdot I_o = 5W$

$P_D^{Rama\,Q_1} = P_{S+} + P_{S-} - P_L = 9.5W$

$P_D^{rama\,Q_1} = P_{DQ_1} + P_{DQ_2}$

$P_{DQ_1} = 4.5W$

c)

$T_{amb} = 45°C$

a) $T_{amb} + R_{\theta JA} \cdot P_D = T_j$

Q_3: $45°C + 62{,}5\ °C/W \cdot 0{,}8W = 95°C < T_j^{máx} = 150°C$

↳ No es necesario

Q_1, Q_2: $45°C + 62{,}5\ °C/W \cdot 5W = 358°C > T_j^{máx}$

↳ Es necesario

De la hoja de datos se utilizan los sig. datos: $R_{\theta jA}$, T_j

b)

$T_{amb} + (R_{\theta jc} + R_{\theta cD} + R_{\theta DA}) \cdot P_D \leq T_j^{máx}$ — Tomo el transistor q' está más limitado: Q_2

$$R_{\theta DA} \leq \frac{(T_j^{máx} - T_{amb})}{P_D} - R_{\theta jc} - R_{\theta cD} = 18.6\ °C/W$$

R Tirelli