

Examen de Electrónica Avanzada 1
03/08/2021

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin material** e **individual**.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1: (36 puntos)

Un diseñador tiene que diseñar el amplificador de la Figura para tener una ganancia v_o/v_s en banda pasante de valor G . A los efectos de obtener el mayor ancho de banda posible, desea que dicho ancho de banda esté fijado por la capacidad de carga C_L , por tanto asociada al nodo de salida. Suponer que V_{DD} es tal que todos los transistores operan en saturación y V_{BIAS} la tensión de continua necesaria para que circule I_{BIAS} por M_2 .

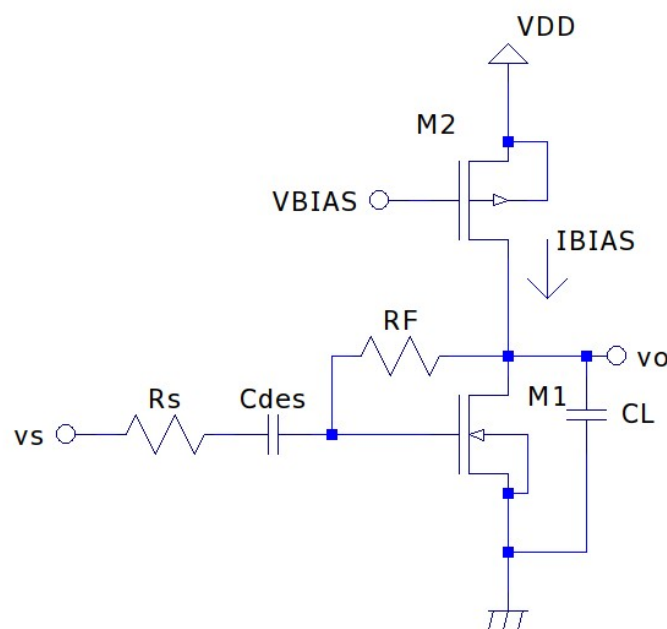
a) Dar una condición analítica (en función de los parámetros de pequeña señal y capacidades parásitas de los transistores) que sea suficiente para que se cumpla la condición deseada.

b) Determinar el ancho de M_1 (W_1) y la corriente I_{BIAS} para tener la ganancia deseada, de forma que se cumpla la condición hallada en a). Se podrá suponer, siempre que se verifique, que $C_L \gg C_{ovn}(W_1+W_2)$.

c) Determinar la frecuencia de corte superior del circuito en las condiciones halladas en la parte b).

Datos para todo el problema:

$G = -20 \text{ V/V}$, $C_L = 2 \text{ pF}$, $R_F = 10 \text{ M}\Omega$, $R_s = 50 \Omega$, $L_1 = L_2 = 0.25 \mu\text{m}$, $W_2 = 2 \mu\text{m}$, $\mu_p \cdot C_{oxp} = \mu_n \cdot C_{oxn} / 2.5 = 80 \mu\text{A/V}^2$, $C_{oxp} = C_{oxn} = 10 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$, $C_{ovp} = C_{ovn} = 0.15 \text{ fF}/\mu\text{m}$, $\text{deltan} = \text{deltap} = 0$, $V_{An} = V_{Ap} = 30 \text{ V}$.



Problema 2: (36 puntos)

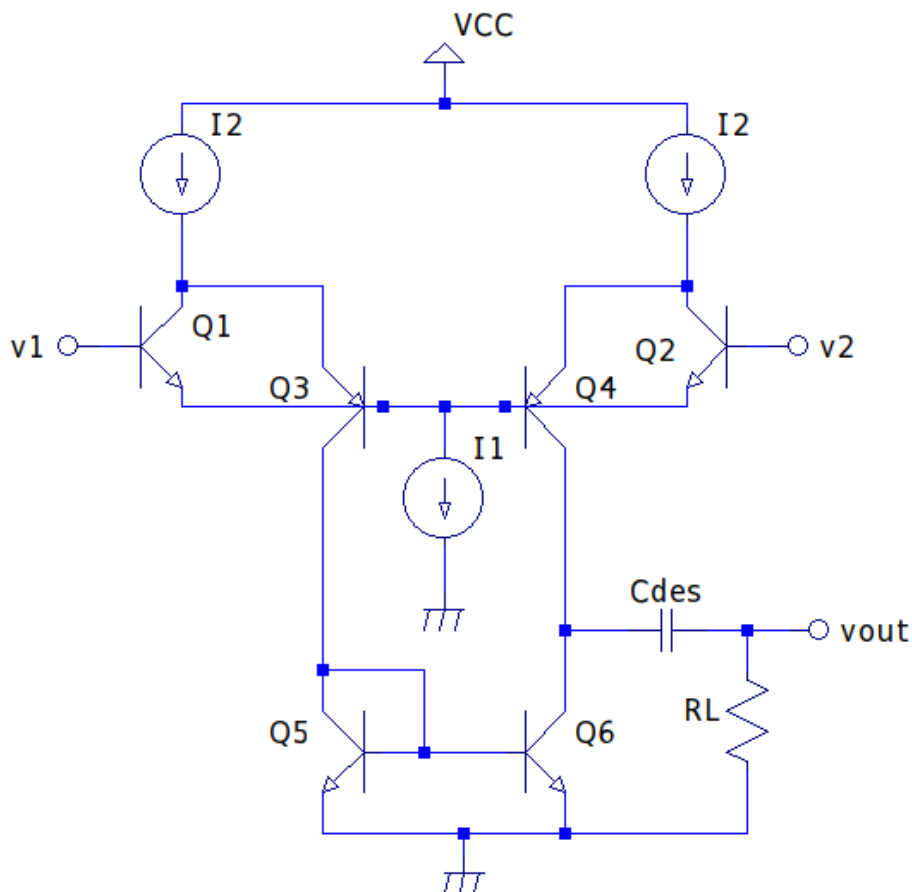
Para el circuito de la Figura:

- Identifique cual es la pata no inversora.
- Calcule la ganancia diferencial.
- Calcule la resistencia de entrada diferencial del circuito.
- Determine el rango de entrada en modo común.

Para las partes a), b) y c) suponer que las tensiones de continua y el modo común de v_1 y v_2 son tales que todos los transistores trabajan en zona activa

Datos:

Para todos los transistores $\beta = 200$, $V_{BE} = V_{EB} = 0,7 \text{ V}$, $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0,3 \text{ V}$, $V_A = \text{inf}$.
 $VCC = 10\text{V}$, $R_L = 5 \text{ k}\Omega$, $I_1 = 4\text{mA}$, $I_2 = 3\text{mA}$, C_{des} es un condensador de desacople.
 Ambas fuentes necesitan una tensión mínima de $V_I = 1 \text{ V}$ para funcionar correctamente.

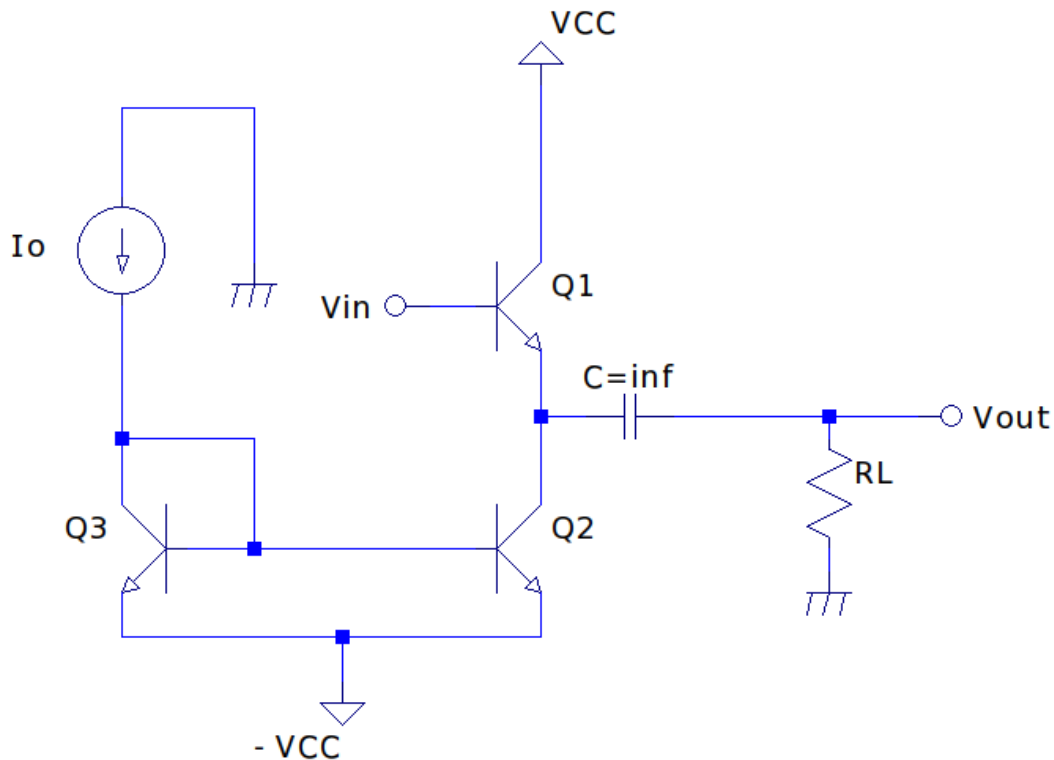


Pregunta : (28 puntos)

- Para la etapa de potencia de la figura, determinar la máxima eficiencia que sería posible alcanzar sin distorsión para una señal de entrada sinusoidal, indicando bajo que condiciones se alcanzaría esta eficiencia máxima.
- En el caso particular en que $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_o = 1\text{ A}$, $R_L = 4\ \Omega$, $V_{outp} = 3\text{ V}$ (voltaje de pico de V_{out}), determinar la potencia entregada a la carga, el rendimiento y la potencia media disipada por cada uno de los transistores Q1, Q2, Q3.
- Se implementa el circuito con transistores TIP 41 (se adjuntan datos). Se desea que el circuito opere con una temperatura ambiente máxima de 40°C cuando se está en las condiciones de la parte b).
 - Indicar para cada transistor si se requiere utilizar un disipador, explicando claramente por qué si o por qué no y qué datos de la hoja de datos utiliza para deducir esto.
 - Para los transistores que se requiera utilizar un disipador, se desea utilizar el mismo modelo para cada uno de los transistores. Determinar qué condición debe cumplir su resistencia térmica disipador – ambiente si se monta de modo que la resistencia térmica disipador – carcasa del dispositivo (“case”) es $1.2\ ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Datos:

- Todos los transistores son idénticos donde se puede considerar que $V_{BEon} = 0.8\text{ V}$ y $V_{CEsat} = 0$ para todos los transistores.
- En nivel de continua en V_{in} es $V_{inDC} = 0.8\text{ V}$



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/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ 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) $I_C = 2.5 \text{ A, L} = 20 \text{ mH, P.R.F.} = 10 \text{ Hz, } V_{CC} = 10 \text{ V, } R_{BE} = 100 \Omega$

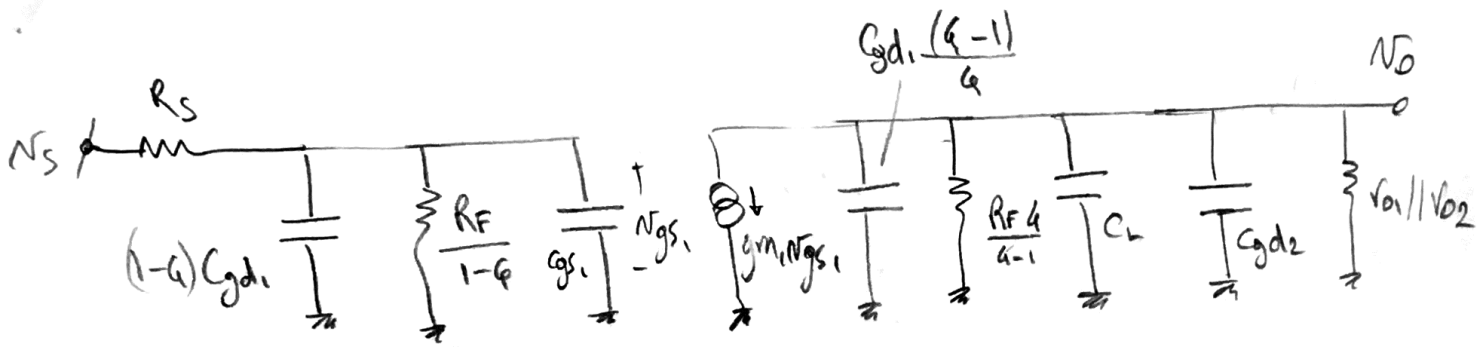
NPN
TIP41A
TIP41B*
TIP41C*
PNP
TIP42A
TIP42B*
TIP42C*

*Motorola Preferred Device

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



CASE 221A–06
 TO–220AB



$$C_{gd2} = C_{ovp} \cdot W_2$$

$$C_{gd1} = C_{ovn} \cdot W_1$$

$$C_{gs1} = C_{oxn} \cdot W_1 \cdot L_1 \cdot \frac{2}{3}$$

$$g_m = \sqrt{2 \beta_1 I_{bias}}$$

$$\beta_1 = \mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1}$$

$$N_{gs1} = N_S \cdot \frac{R_F}{(1-g)} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_F}{(1-g)} + R_S\right) \left(\frac{R_F}{(1-g)} \parallel R_S \cdot (C_{gs1} + C_{gd1}(1-g))s + 1\right)}$$

$$W_{p1} = \frac{1}{\left(\frac{R_F}{(1-g)} \parallel R_S\right) (C_{gs1} + C_{gd1}(1-g))} \approx \frac{1}{R_S (C_{gs1} + C_{gd1}(1-g))} \quad R_S \ll \frac{R_F}{1-g}$$

$$N_O = -g_{m1} \cdot N_{gs1} \cdot \left(\frac{R_F \cdot g}{(1-g)} \parallel (r_{o1} \parallel r_{o2}) \parallel \frac{1}{\left(C_L + C_{gd1} \frac{(g-1)}{g} + C_{gd2}\right)s} \right)$$

$$W_{p2} = \frac{1}{\left(\frac{R_F \cdot g}{(1-g)}\right) \parallel (r_{o1} \parallel r_{o2}) \cdot \left(C_L + C_{gd1} \frac{(g-1)}{g} + C_{gd2}\right)} \approx \frac{1}{\frac{r_{o1}}{2} (C_L + C_{gd1} + C_{gd2})} \quad R_F \gg r_{o1}, g \gg 1$$

$$G = - \frac{R_F/(1-g)}{\left(\frac{R_F}{(1-g)} + R_S\right)} \cdot g_{m1} \cdot (r_{o1} \parallel r_{o2}) \approx -g_{m1} \frac{r_{o1}}{2} \quad R_S \ll \frac{R_F}{1-g}$$

$$\omega_{p2} \ll \omega_{p1}$$

$$\frac{1}{\frac{r_{o1}}{2} (C_L + C_{gd1} + C_{gd2})} \ll \frac{1}{R_S \left(\frac{2}{3} C_{gs1} + C_{gd1} (1-g) \right)}$$

$$b) \quad A = -g_{m1} \frac{r_{o1}}{2} = g_{m1} \frac{V_A}{2 I_{Bias}} = -\sqrt{2 \mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1}} \frac{I_{Bias}}{2 I_{Bias}} \cdot \frac{V_A}{2 I_{Bias}}$$

$$= -\sqrt{\frac{\mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1}}{2 I_{Bias}}} \cdot V_A = -\sqrt{\frac{\mu_n C_{ox}}{2 L_1}} \cdot \sqrt{\frac{W_1}{I_{Bias}}} \cdot V_A$$

$$W_1 = I_{Bias} \cdot \left(\frac{g^2}{V_A^2} \cdot \frac{2 L_1}{\mu_n C_{ox}} \right) \quad (I)$$

$$K = 1.1 \times 10^{-3} \text{ mA}$$

Por parte 2)

$$\frac{2 I_{Bias}}{V_A (C_L + C_{ov}(W_1 + W_2))} \ll \frac{1}{R_S W_1 \left(\frac{2}{3} C_{oxn} L_1 + C_{ovn} (1-g) \right)}$$

$$\therefore C_L \gg C_{ov}(W_1 + W_2) \quad \text{A veriticez ! !}$$

$$\frac{2 I_{Bias}}{V_A C_L} \ll \frac{1}{R_S W_1 \left(\frac{2}{3} C_{oxn} L_1 + C_{ovn} (1-g) \right)}$$

$$I_{Bias} W_1 \ll \frac{V_A \cdot C_L}{2 R_S \left(\frac{2}{3} C_{oxn} L_1 + C_{ovn} (1-g) \right)}$$

$$I_{Bias}^2 \cdot K \ll 124,6 \times 10^{-6} \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{Bias} \ll 336 \mu\text{A} \rightarrow$$

$$I_{Bias} = 10 \mu\text{A} \xrightarrow{(I)} W_1 = 11 \mu\text{mm}$$

c)

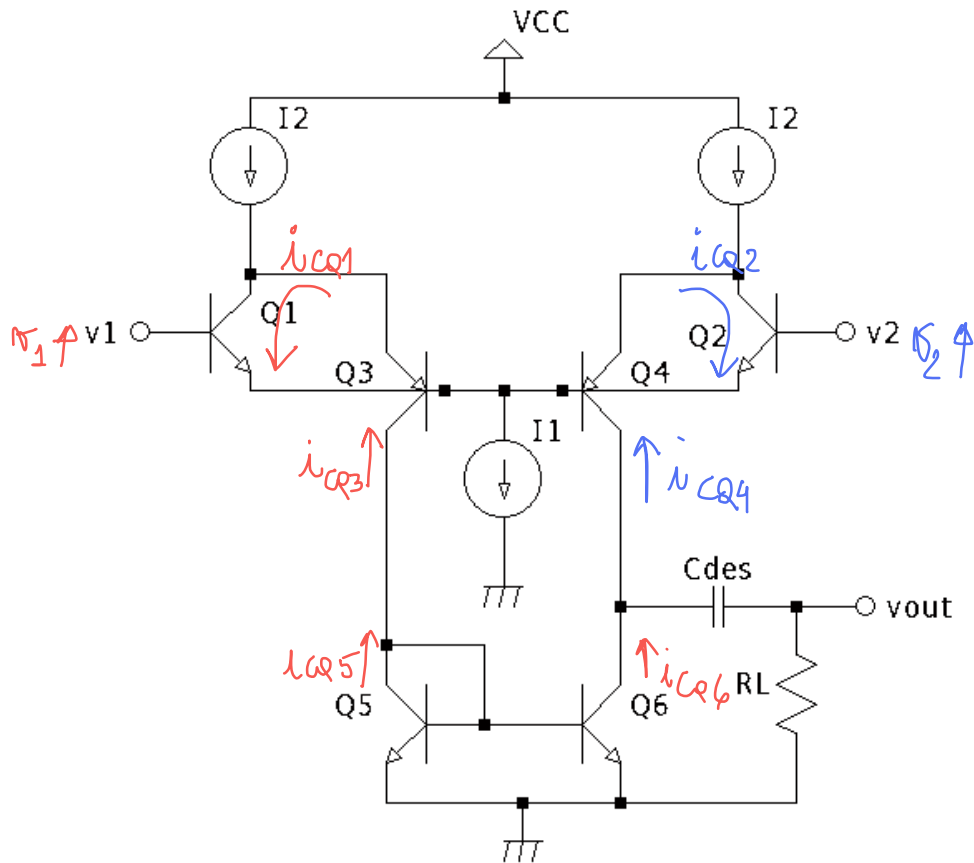
$$f_{-3dB} = \frac{\omega_{p2}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{r_{o1}}{2} (C_L + C_{gd1} + C_{gd2})} \approx \frac{1}{2\pi \cdot 1.5 \text{ nA} \cdot 2 \text{ pF}} = 53 \text{ MHz}$$

$$\frac{30 \text{ V}}{2 \cdot 10 \text{ mA}}$$

$$C_{ov} (w_1 + w_2)$$

$$0.15 \frac{\text{fF}}{\mu\text{m}} \cdot (1 \mu\text{m} + 2 \mu\text{m}) = 2.25 \text{ fF} \ll 2 \text{ pF}$$

$$C_{gd1} + C_{gd2} \ll C_L$$



(a) $K_1 \uparrow \Rightarrow i_{CQ1} \uparrow \Rightarrow i_{CQ3} \uparrow \Rightarrow i_{CQ5} \uparrow \Rightarrow i_{CQ6} \uparrow \Rightarrow N_{out} \uparrow \Rightarrow$
 \Rightarrow K_1 pata no inversora

Analogamente: $K_2 \uparrow \Rightarrow i_{CQ2} \uparrow \Rightarrow i_{CQ4} \uparrow \Rightarrow N_{out} \downarrow \Rightarrow N_2$ inversora

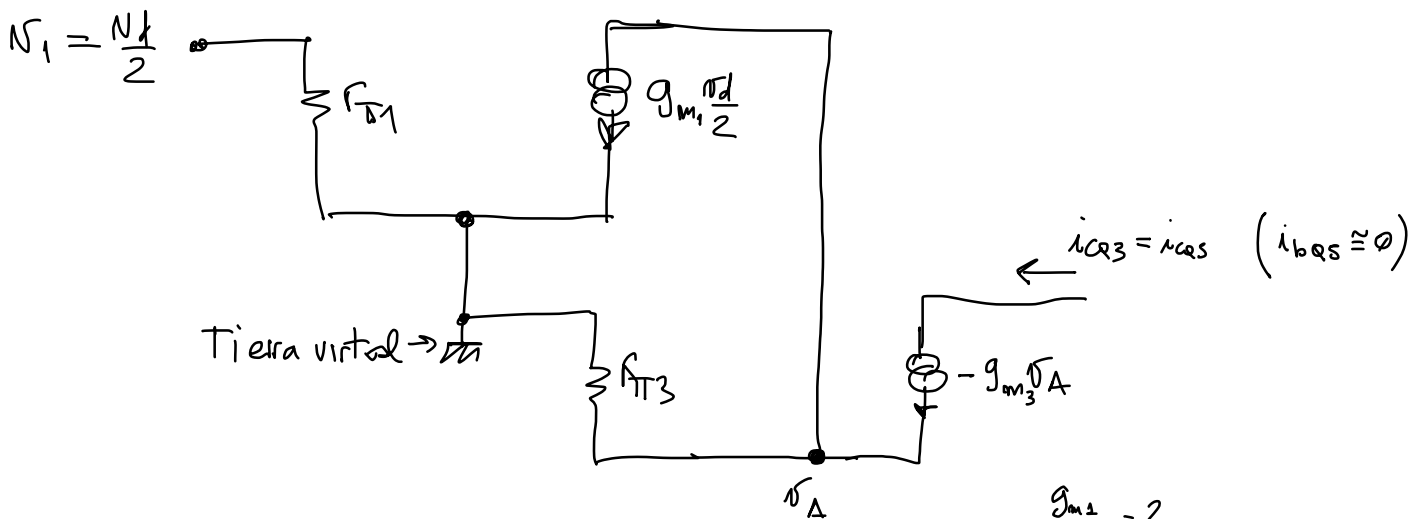
(b) $I_{CQ1} = I_{CQ2} = \frac{I_1}{2} = 2 \text{ mA} \quad (I_{BQ3} = I_{BQ4} \approx 0)$ } \Rightarrow
 $I_{CQ3} = I_{CQ4} = I_2 - \frac{I_1}{2} = 1 \text{ mA}$

$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} g_{m12} = 77 \text{ mS} \text{ y } r_{\pi 12} = 2,6 \text{ k}\Omega \\ g_{m34} = 38 \text{ mS} \text{ y } r_{\pi 34} = 5,2 \text{ k}\Omega \end{array} \right.$

b) (cont.)

Entrada diferencial, Circuito simétrico \Rightarrow tierra virtual
 en $v_{bq3} = v_{bq4} = v_{e q1} = v_{e q2} = 0$ (en señal) \Rightarrow

\Rightarrow Parto al medio:



$$i_{bq3} = i_{bq4} \approx 0 \Rightarrow g_{m1} \frac{v_d}{2} = -g_{m3} v_A \Rightarrow v_A = -N_d \quad \left(\frac{g_{m1}}{g_{m3}} = 2 \right)$$

Q5 y Q6 ESPEJO

$$i_{CQ3} = i_{CQ5} = \frac{1}{2} g_{m1} v_d \Rightarrow i_{CQ6} = \frac{1}{2} g_{m1} v_d$$

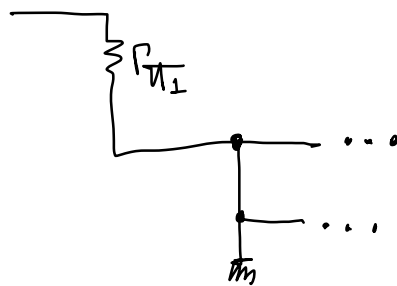
Análogamente: $i_{CQ4} = -\frac{1}{2} g_{m1} v_d$

Nodo salida: $i_{CQ6} - i_{CQ4} = \frac{N_{out}}{R_L} \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{N_{out}} = g_{m1} R_L = 385 \frac{V}{V}}$



C

$$v_{in} = \frac{v_d}{2}$$



$$R_V = 2r_{\pi 1} = 5,2 \text{ k}\Omega$$

D

$$N_1 = N_2 = N_{CM}$$

Hacia V_{CC} :

$$1) V_{CM} - V_{BE1} + V_{CESAT1} + V_{I2} \leq V_{CC} \Rightarrow V_{CM} < 9,4 \text{ V}$$

$$2) V_{CM} - V_{BE1} + V_{EB3} + V_{I2} < V_{CC} \Rightarrow \underline{\underline{V_{CM} < 9 \text{ V}}}$$

Hacia tierra:

$$1) V_{CM} - V_{BE1} - V_{I1} > 0 \Rightarrow \underline{\underline{V_{CM} > 1,7 \text{ V}}}$$

$$2) V_{CM} - V_{BE1} + V_{EB3} - V_{CESAT3} - V_{BE3} > 0 \Rightarrow V_{CM} > 1 \text{ V}$$

Por lo tanto:

$$\boxed{9 \text{ V} > V_{CM} > 1,7 \text{ V}}$$

Preguntas

a) $\eta_{claseA} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\hat{V}_o}{V_{cc}} \cdot \frac{\hat{V}_o}{R_L I}$

si $\begin{cases} V_{ce} = 0,8V \\ \hat{V}_o = \hat{V}_{in} = V_{cc} \\ R_L \cdot I = V_{cc} \end{cases} \Rightarrow$

$\Rightarrow \eta_{claseA \text{ max}} = 25\%$

si consideramos etapa de polarizacion:
 $\eta = \frac{\hat{V}_o^2 / 2R_L}{2V_{ce} \cdot I_o + V_{ce} \cdot I_o} \Rightarrow \eta_{\text{max}} \approx 17\%$

b) $P_L = \frac{V_o^2}{2R_L} = \frac{(3V)^2}{2 \cdot (4-2)} = 1,125 \text{ W}$

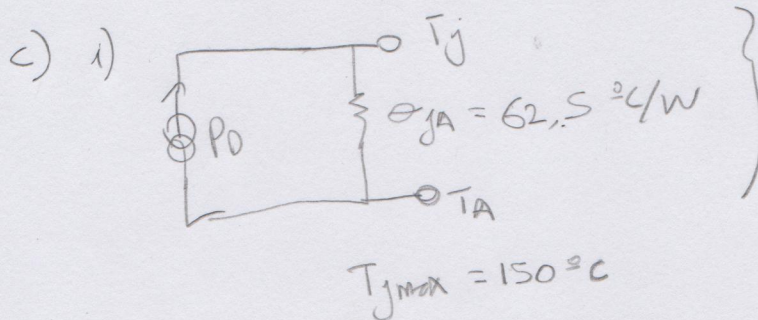
$\eta = \frac{1}{4} \frac{V_o^2}{V_{cc} \cdot R_L \cdot I_o} \approx 11\%$

si considero etapa de polarizacion:
 $\eta = 7,5\%$

$P_{DQ3} = V_{CEQ3} \cdot I_{CQ3} = V_{BEON} \cdot I_o = 0,8V \cdot 1A = 0,8 \text{ W}$

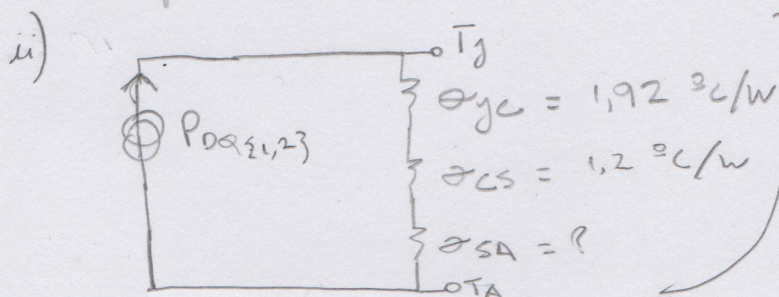
$P_{DQ2} = V_{CEQ2} \cdot I_{CQ2} = V_{ce} \cdot I_o = 5V \cdot 1A = 5 \text{ W}$

$P_{DQ1} = V_{CEQ1} \cdot I_{CQ1} = V_{ce} \cdot I_o - \frac{V_o^2}{2R_L} = 3,875 \text{ W}$



$\Rightarrow P_{D \text{ max}} = \frac{T_{j \text{ max}} - T_A}{\theta_{JA}} = 1,76 \text{ W}$

\Rightarrow Los transistores Q_1 y Q_2 requieren disipador por disipar mas que $P_{D \text{ max}}$.



$\Rightarrow P_{D(Q1,2,3)} = \frac{T_{j \text{ max}} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA \text{ max}}}$

Q_2 es el mas restrictivo

$\Rightarrow \theta_{SA \text{ max}} = 18,83 \text{ degC/W}$