

2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1
01/07/08

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 (30 puntos)

En el amplificador de la Figura 1.1 V_1 y V_2 tienen tensiones DC tales que T_1 y T_2 están en zona activa. Todos los transistores tienen $\beta \gg 1$.

1. Calcular la corriente de polarización por cada transistor si $V_1 = V_2$.
2. Calcular la ganancia $V_o / (V_1 - V_2)$ y el CMRR del amplificador si las fuentes de corriente tienen resistencia de salida no infinita, pues están implementadas con transistores que tienen tensión de Early $V_A = 50$. Para T_1, T_2, T_3, T_4 se supondrá $V_A = \infty$.

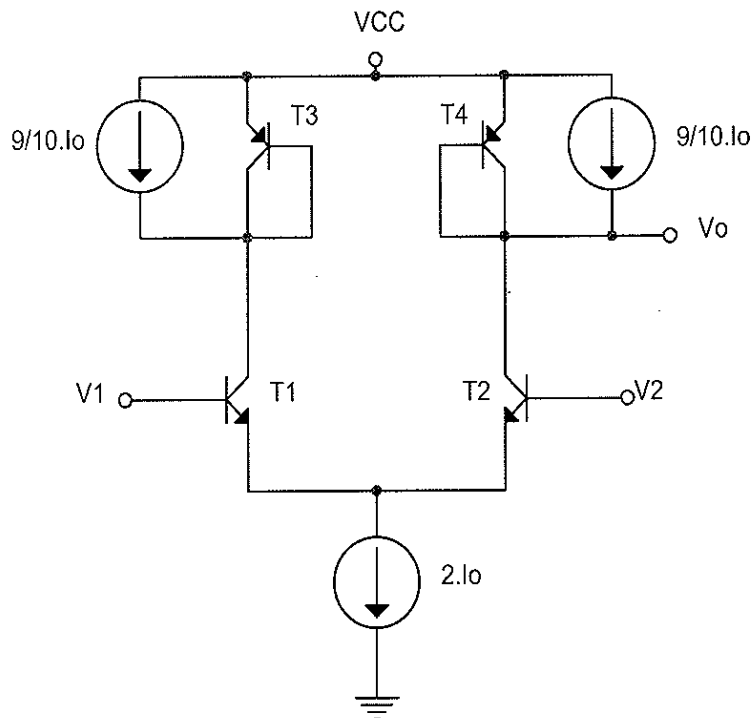


Figura 1.1

PROBLEMA 2 (30 puntos)

Para el circuito de la Figura 2.1 calcular:

1. la corriente I_D y el voltaje de salida en continua V_{ODC} .
2. la ganancia $\frac{V_s}{V_i}$ a frecuencias medias.
3. la ganancia $\frac{V_o}{V_i}$ a frecuencias medias.
4. la resistencia de entrada R_{in}
5. la máxima excursión a la salida

Datos:

$R_D = 6.8k\Omega$, $R_1 = 270k\Omega$, $R_2 = 180k\Omega$, $R_{S1} = 2.2k\Omega$, $R_{S2} = 680\Omega$, $C_i = C_s = \infty$.

$V_{DD} = 9.0V$, $V_{to} = 1V$; $V_A = \infty$, $\delta = 0.2$; $\beta_n = 500\mu A/V^2$

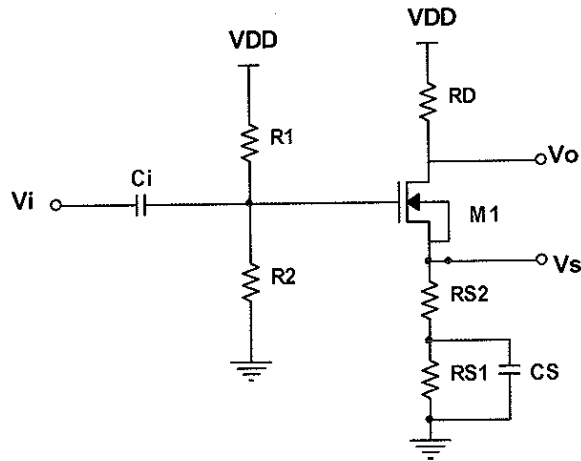


Figura 2.1

PROBLEMA 3 (20 puntos)

En el circuito de la Figura 3.1 el transistor T1 se encuentra en zona activa y conduce francamente. Determine $V_o = f(V_i)$ si el transistor T1 tiene una corriente de saturación I_{S1} y el transistor T2 se representa con el modelo de la Figura 3.2, en la que: el diodo BC tiene una corriente de saturación I_{SC} y el diodo BE tiene una corriente de saturación I_{SE} .

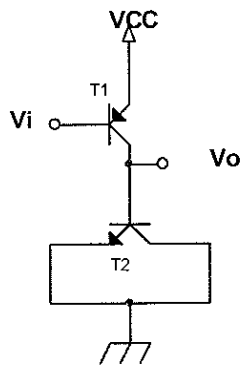


Figura 3.1

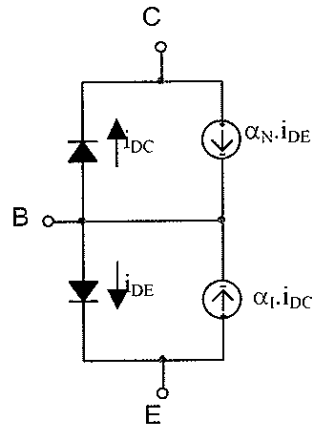


Figura 3.2

PROBLEMA 4 (20 puntos)

En el circuito de la Figura 4.1, C1 y C2 son componentes de una misma familia lógica, pero C1 está alimentada de 5V y C2 de V_{DD} .

- a) Determinar R_B y R_{LED} para que T opere en todos los casos en corte y saturación y el LED tenga, cuando esté encendido, una corriente de 5mA.
- b) Determinar que condición debe cumplir V_{DD} para que los márgenes de ruido sean mayores a 0.5V en todos los casos.
- c) Cuando V_{DD} cumpla las condiciones de b). Determinar el máximo consumo dinámico de C2 si la entrada conmuta a frecuencia f y se consideran los datos en su caso típico.

DATOS: T: $V_{BE} = 0.7V$
 $V_{CESAT} = 0.4V$
 $\beta = 100$;
 D_{LED} : $V_F = 1.2V$
 C1, C2: para una tensión de alimentación V_{SUP} :

	Min	Tip	Max
V_{IL}	$V_{SUP}/3 - 0.7V$	$V_{SUP}/3$	-
V_{IH}	-	$2V_{SUP}/3$	$2V_{SUP}/3 + 0.7V$
V_{OL}	-	0	0.3V
V_{OH}	$V_{SUP} - 0.3V$	V_{SUP}	-

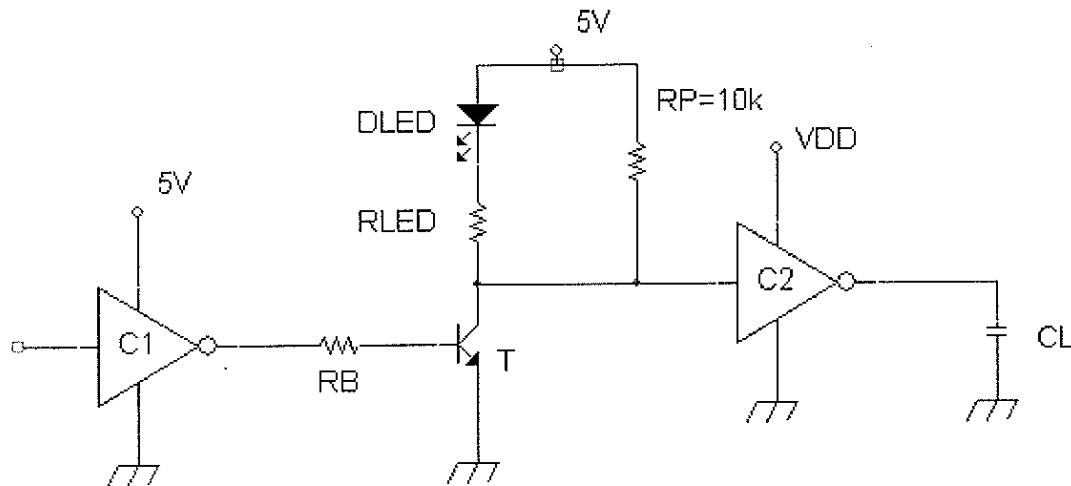


Figura4.1

Problema 1

1) Por simetria $I_1 = I_2 \Rightarrow I_1 = I_2 = I_0$
 $I_1 + I_2 = 2I_0$

Por simetria $I_3 = I_4$

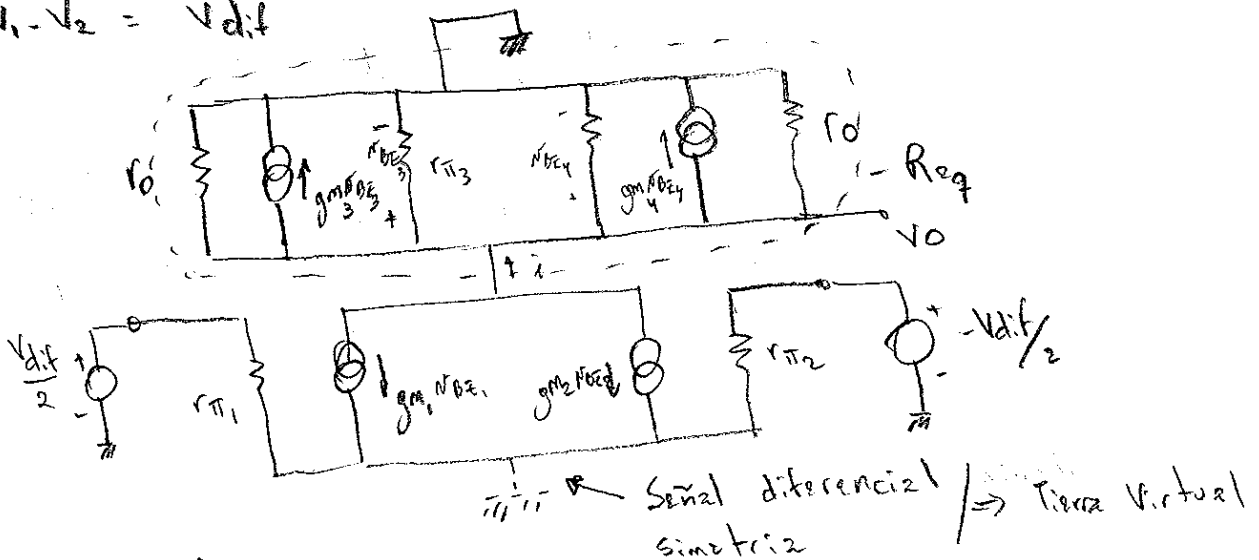
$I_3 + I_4 + 2 \cdot \frac{9}{10} I_0 = I_1 + I_2 = 2I_0$

$I_3 = I_4 = 2(I_0 - \frac{9}{10} I_0) = \frac{I_0}{10}$

$I_3 = I_4 = \frac{I_0}{10}$

2)

$V_1 - V_2 = V_{dif}$



$V_0 = i \cdot R_{eq}$

$-i = i_1 + i_2 = gm \frac{V_{dif}}{2} - gm \frac{V_{dif}}{2} = 0 \Rightarrow A_{dif} = \frac{V_0}{V_1 - V_2} = 0$

$\frac{1}{R_{eq}} = gm_3 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + gm_4 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \frac{2}{r_0} \approx 2gm_{3,4} + \frac{2}{r_0}$

$R_{eq} = \frac{r_0}{2(gm_{3,4} r_0 + 1)} \approx \frac{1}{2gm_{3,4}} = \frac{10V_T}{2I_0} = 5 \frac{V_T}{I_0}$

$r_0 = r_{ce} \text{ de } Q_{3,4} \text{ fuente } \frac{9}{10} I_0 = \frac{V_A}{\frac{9}{10} I_0} = \frac{10V_A}{9I_0}, gm_{3,4} = \frac{I_0}{10V_T}$

2.)

Para

 A_c

$$-i = \frac{V_c}{r_{o_{Fuente}} + 2I_0} = \frac{V_c}{\frac{V_A}{2I_0}} \Rightarrow V_o = i \cdot R_{eq}$$

$$\frac{V_o}{V_c} = - \frac{V_c \cdot 2I_0}{V_A} \cdot R_{eq} \Rightarrow A_c = \frac{V_o}{V_c} = - \frac{2 \cdot I_0}{V_A} \cdot 5 \cdot \frac{V_T}{I_0} =$$

$$= - \frac{10 V_T}{V_A} = \frac{0,26 V}{50 V} = \boxed{5 \times 10^{-3}}$$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} = \phi$$

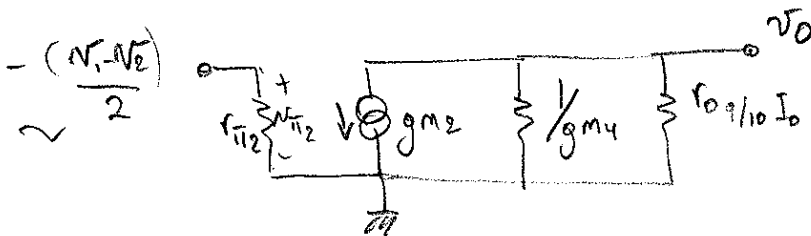
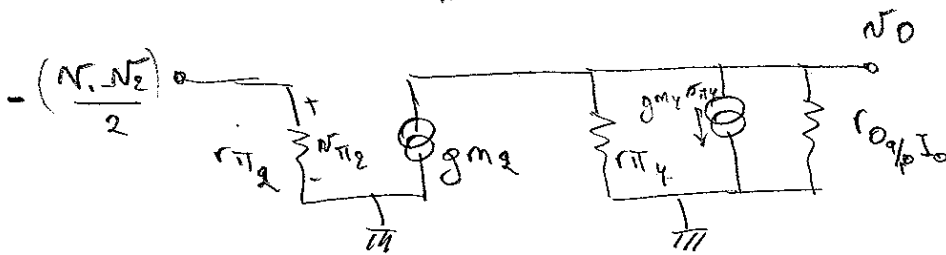
1) $V_1 = V_2 \Rightarrow \boxed{I_{C1} = I_{C2} = I_0}$
 por simetriz

$$I_{C3} = I_{C4} = I_0 - 9/10 I_0 = \boxed{\frac{I_0}{10}}$$

2) Se analiza una mitad

$$r_{O2} I_0 = \frac{V_A}{2 I_0}$$

$$r_{O4} 9/10 I_0 = \frac{V_A}{9/10 I_0}$$

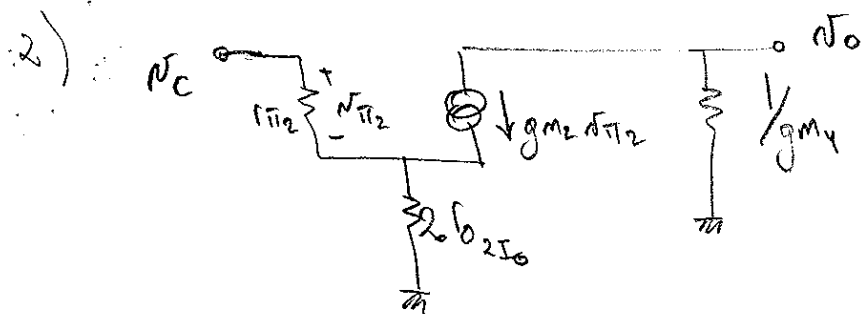


$$v_O = g_{m2} \cdot \frac{(N_1 - N_2)}{2} \cdot \left(\frac{1}{g_{m4}} \parallel r_{O4} I_0 \right) =$$

$$= \frac{N_1 - N_2}{2} \cdot \frac{I_0}{V_T} \left(\frac{V_T I_0}{I_0} \parallel \frac{V_A I_0}{9 I_0} \right) = \frac{N_1 - N_2}{2} \cdot \frac{I_0}{V_T} \cdot \frac{10 V_T}{I_0} =$$

$$10 V_T \ll \frac{10 V_A}{9} \quad ?? \quad \frac{10 V_T}{I_0}$$

$$= 5 (N_1 - N_2) \Rightarrow \boxed{A_d = \frac{v_O}{v_{i,dm}} = 5}$$

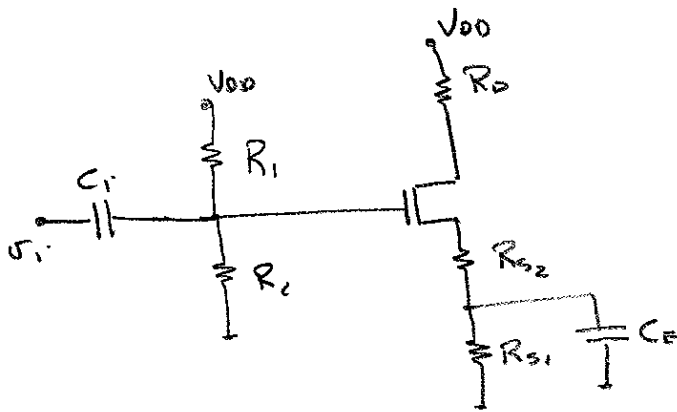


$$A_c = \frac{v_o}{v_c} = \frac{\beta \cdot \frac{1}{g_{m4}}}{r_{\pi 2} + \beta \cdot 2 r_{o 2} I_o} = \frac{\beta \cdot \frac{10 \cdot V_T}{I_o}}{\frac{\beta V_T}{I_o} + \beta \cdot 2 \cdot \frac{V_A}{2 I_o}} =$$

$$\approx \frac{\frac{10 V_T}{I_o}}{\frac{V_A}{I_o}} = \frac{10 V_T}{V_A}$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = \frac{A_D}{A_c} = \frac{5 V_A}{10 V_T} = \frac{250 V}{260 \text{ mV}} = 961 \approx 60 \text{ dB}$$

Problema 2



a) I_D , V_{ov}

$$K_n = \frac{\beta}{2(1+\theta)}$$

$$I_D = K_n \cdot (V_{GS} - V_{th})^2 \rightarrow \frac{I_D}{K_n} = V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{th} + V_{th}^2$$

$$\left. \begin{aligned} V_S &= I_D \cdot (R_{S1} + R_{S2}) \\ V_G &= \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD} = 3.6V \end{aligned} \right\} V_{GS} = (V_G - V_S) = \left(3.6V - 2.88K\Omega I_D \right)$$

$$\rightarrow 0 = -\frac{I_D}{K_n} + V_G^2 - 2V_G \cdot 2.88K\Omega \cdot I_D + 2.88K\Omega^2 \cdot I_D^2 - 2V_{th} \cdot (V_G - 2.88K\Omega \cdot I_D) + V_{th}^2$$

$$0 = 2.88K\Omega I_D^2 + I_D \left(-\frac{1}{K_n} - 2V_G \cdot 2.88K\Omega + 2V_{th} \cdot 2.88K\Omega \right) + V_G^2 + V_{th}^2 - 2V_{th}V_G$$

$$0 = I_D^2 + I_D \cdot \left(\frac{2(V_{th} - V_G)}{2.88K} - \frac{1}{K_n \cdot (2.88K)^2} \right) + \frac{(V_G - V_{th})^2}{(2.88K)^2}$$

$-2.37e^{-3} \qquad \qquad \qquad 0.815e^{-6}$

$$\rightarrow \boxed{I_{D1} = 0.91 \text{ mA}} \rightarrow V_{GS} = 1.18V > V_{th} \checkmark$$

$$\boxed{I_{D2} = 1.97 \text{ mA}} \rightarrow V_{GS} = -2.06V < V_{th} \rightarrow \text{no solution}$$

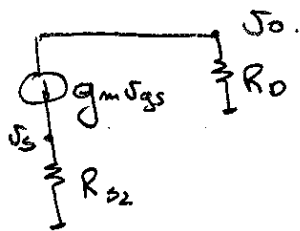
$$V_{ov} = V_{GS} - V_{th} = 6.2V$$

$$g_m = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\theta} \cdot I_{D1}} = 0.59 \text{ mS}$$

$$V_S = I_D (R_{S1} + R_{S2}) = 1.18V$$

b) v_o/v_i

$v_i = v_g$



$$v_s = R_s g_m v_{gs} \Rightarrow \frac{v_g}{v_i} = \frac{v_s (1 + R_s g_m)}{R_s g_m} \Rightarrow \boxed{\frac{v_s}{v_i} = \frac{R_s g_m}{1 + R_s g_m}}$$

Con los valores del ejercicio: $\boxed{A_s = \frac{v_s}{v_i} = 0.28}$

c) v_o/v_i

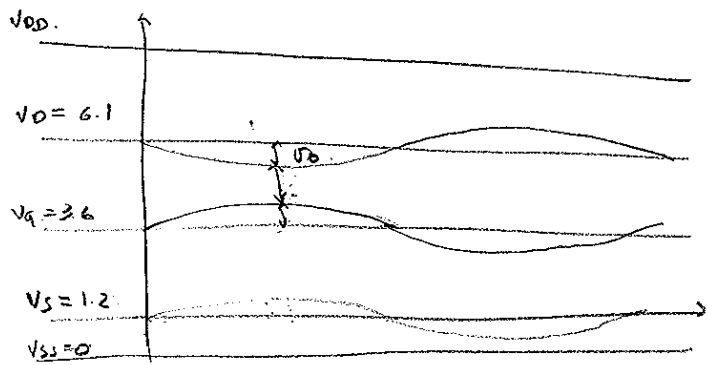
$$v_o = -R_o g_m v_{gs} = -R_o g_m v_g \left(1 - \frac{R_s g_m}{1 + R_s g_m} \right) = R_o g_m \overset{0.72}{\underbrace{0.28}} \overset{2.8}{=} v_g = R_o g_m \cdot 0.22 v_g$$

$\rightarrow \boxed{A_o = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{g_m R_o}{1 + g_m R_s} = -2.8}$

$$\frac{A_o}{A_s} = \frac{v_o/v_i}{v_s/v_i} \Rightarrow \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o/v_i}{v_s/v_i} \approx 10 \text{ V/V}$$

d) $R_{in} = R_1 // R_2 = 108 \text{ k}\Omega$

Excursión a la salida



$$1) \quad v_{DS} \gg v_{DS}^{sat} = \frac{v_{QS} - v_t}{(1+d)}$$

$$v_D - v_{O_p} - \left(v_S + \frac{v_{O_p}}{A_0/A_S} \right) \gg v_Q + \frac{v_{O_p}}{A_0} - \left(v_S + \frac{v_{O_p}}{(A_0/A_S)} - v_t \right) \cdot \frac{1}{(1+d)}$$

$$\underbrace{v_D - \frac{v_Q}{1+d} + \frac{v_{T_0}}{1+d} - v_S \left(1 - \frac{1}{1+d} \right)}_{3.73 \text{ V}} \gg \underbrace{v_{O_p} \left(1 + \frac{A_S}{A_0} \left(1 - \frac{1}{1+d} \right) + \frac{1}{(1+d)A_0} \right)}_{1.31}$$

$$\boxed{v_{O_p} \leq 2.8}$$

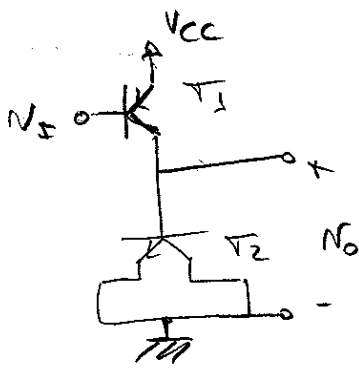
$$2) \quad v_{QS} \gg v_t:$$

$$v_Q + \frac{v_{O_p}}{A_0} - \left(v_S + \frac{v_{O_p}}{A_0/A_S} \right) \gg v_{T_0}$$

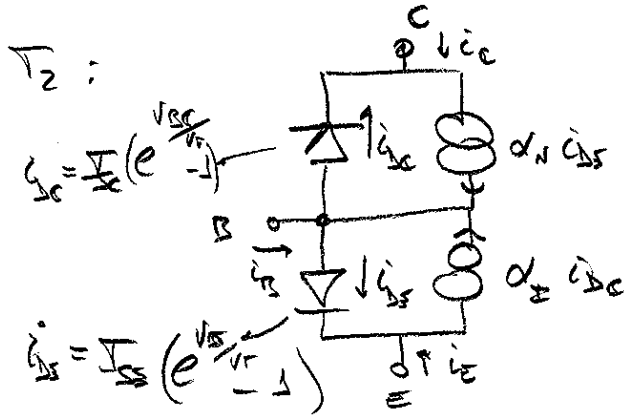
$$\underbrace{v_Q - v_S - v_{T_0}}_{1.4 \text{ V}} \gg \underbrace{v_{O_p} \left(-\frac{1}{A_0} + \frac{A_S}{A_0} \right)}_{-0.25} \Rightarrow -v_{O_p} \leq 5.6$$

$$v_{O_p} \gg -5.6 \checkmark$$

$$3) \quad v_{DD} \gg v_D + v_{O_p} \Rightarrow v_{O_p} \leq 2.9 \text{ V}$$



$$i_{C1} \equiv I_{S1} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = I_{S1} e^{\frac{V_{CC} - N_0}{V_T}} = i_{B2}$$



$$\begin{cases} i_C = -i_{BC} + \alpha_N i_{BE} \\ i_E = -i_{BE} + \alpha_I i_{BC} \end{cases}, V_{BC} = V_{BE} = N_0, i_B = -(i_E + i_C)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} i_C = (\alpha_N I_{S2} - I_{S1}) (e^{N_0/V_T} - 1) \\ i_E = (\alpha_I I_{S1} - I_{S2}) (e^{N_0/V_T} - 1) \end{cases}$$

$$\alpha_N I_{S2} = \alpha_I I_{S1} = I_{S2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} i_C = (1 - \frac{1}{\alpha_I}) I_{S2} (e^{N_0/V_T} - 1) \\ i_E = (1 - \frac{1}{\alpha_N}) I_{S2} (e^{N_0/V_T} - 1) \end{cases} \left(\begin{array}{l} \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N} = \beta_N \\ \frac{\alpha_I}{1 - \alpha_I} = \beta_I \end{array} \right) \beta_N \gg \beta_I$$

$$i_C + i_E = -\left(\frac{1}{\beta_N} + \frac{1}{\beta_I}\right) I_{S2} (e^{N_0/V_T} - 1) \Rightarrow i_B \equiv \frac{I_{S2}}{\beta_I} (e^{N_0/V_T} - 1)$$

$$\Rightarrow N_0 = V_T L \left(1 + \frac{i_B}{\frac{I_{S1}}{\beta_I}} \right) = V_T L \left(1 + \beta_I \frac{I_{S1}}{I_{S2}} e^{\frac{V_{CC} - N_0}{V_T}} \right)$$

$$\text{ASUMO } \beta_I \frac{I_{S1}}{I_{S2}} e^{\frac{V_{CC} - N_0}{V_T}} \gg 1 \Rightarrow N_0 = V_{CC} - N_0 + V_T L \left(\beta_I \frac{I_{S1}}{I_{S2}} \right)$$

(log'o lo mismo:
ASUMO $e^{N_0/V_T} \gg 1$)

ESTO VALE MIENTRAS V_1
SE MANTIENE E BJT
ACTIVA

Problema 4 :

a) T saturado para el peor caso $V_{OH\min}$

$$V_{OH\min} = V_{sup} - 0,3V = 4,7V.$$

$$I_B = \frac{4,7V - 0,7V}{R_B} \gg \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow R_B \ll \frac{4V \cdot \beta}{I_C}$$

$$I_{LED} = \frac{5V - V_F - V_{CE\text{SAT}}}{R_{LED}} = 5\text{mA} \Rightarrow R_{LED} = \frac{5 - 1,2 - 0,4}{5\text{mA}} = 680\Omega$$

$$I_C = I_{LED} + I_{RP} = 5\text{mA} + \frac{5 - 0,4}{10K} = 5,5\text{mA}$$

$$R_B \ll \frac{400}{5,5\text{mA}} = 72,7K \Rightarrow R_B \leq 7,2K$$

b)

$$N_{C\text{Low}} < V_{iL\min} - 0,5 \Rightarrow \frac{V_{DD}}{3} - 0,7 - 0,5 > 0,4 \Rightarrow V_{DD} > 4,8V$$

$$N_{C\text{High}} > V_{iH\max} + 0,5 \Rightarrow \frac{2V_{DD}}{3} + 0,7 + 0,5 < 5 \Rightarrow V_{DD} < 5,7V$$

$$4,8V < V_{DD} < 5,7V$$

c)

$$P_{\max} = k \cdot f \cdot V_{DD\max}^2 \cdot C_L$$