DEI - SEPTIEMBRE 2008

1.- a) $f(E) = 0.5 \Rightarrow E = E_F$

Ionización completa $\Rightarrow n_0 = N_D$ (no hay datos para hacerlo de otra forma).

$$n_0 = N_D = N_C \cdot e^{-\frac{E_c - E_F}{KT}} \Rightarrow \underline{E_c - E_F} = KT \ln \frac{N_C}{N_D} = \underline{0'205 eV}$$

b) $n = n_0 + \delta n = 10^{16} cm^{-3} + 10^{15} cm^{-3} = 11 \times 10^{15} cm^{-3}$

$p = p_0 + \delta p = \frac{N_D}{n_i^2} + 10^{15} cm^{-3} \simeq 10^{15} cm^{-3}$

Respecto E_i:

$$n = n_i e^{\frac{E_{Fn} - E_i}{KT}} \Rightarrow E_{F_n} - E_i = KT \ln \frac{n}{n_i} = 349 meV$$

$$p = n_i e^{\frac{E_i - E_{Fp}}{KT}} \Rightarrow E_{Fp} - E_i = -KT \ln \frac{p}{n_i} = -287 meV$$

⌈No hace falta, pero por comparar con a) calcularemos E_{Fn} respecto E_c:

$$E_c - E_{Fn} = KT \ln\left(\frac{n}{N_C}\right)^{-1} = KT \ln \frac{N_c}{n_0 + \delta n} = 0'202 eV$$

E_{Fn} ha subido un poco respecto del equilibrio térmico, pero apenas se ha modificado (los e^- son mayoritarios).⌋

c) → Eq. térmico:

$$\sigma_0 = q(\mu_n \cdot n_0 + \mu_p \cdot p_0) \sim q \mu_n n_0 = 1'6 \times 10^{-19} C \times 1200 \frac{cm^2}{V \cdot s} \times 10^{16} \frac{1}{cm^3} =$$

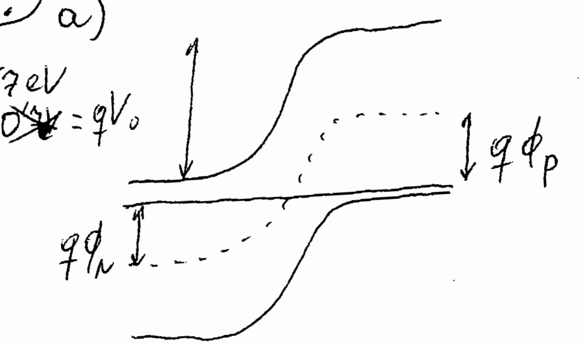
$$\sigma_0 = 1'92 \frac{C \nearrow^{A}}{V s cm} = \boxed{1'92 \frac{1}{\Omega \cdot cm} = \sigma_0}$$

→ Con iluminación:

$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p) = 1'6 \times 10^{-19} C \times (1200 \times 11 \times 10^{15} + 380 \times 10^{15}) \frac{cm^2}{Vs} \cdot \frac{1}{cm^3} =$$

$$\boxed{\sigma = 2'17 \cdot \frac{1}{\Omega cm}}$$

a)



$$qV_0 = q\phi_N + q\phi_p = KT \ln \frac{N_D}{n_i} + KT \ln \frac{N_A}{n_i} \Rightarrow$$

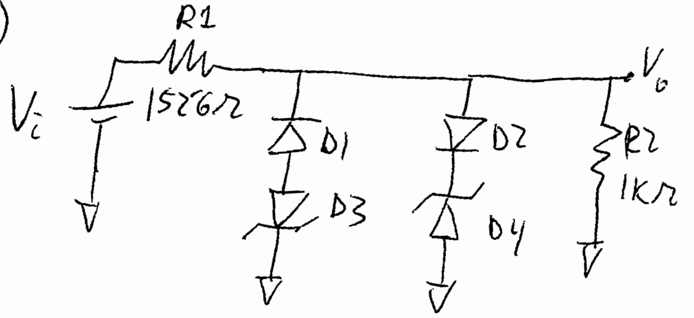
$$\Rightarrow \boxed{qV_0 = KT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2}}$$

$$N_D = N_A \Rightarrow \quad 0'7eV = 25'8meV \ln \frac{N_D^2}{n_i^2} \Rightarrow \ln \frac{N_D}{n_i} = 13'56 \Rightarrow \boxed{N_D = 1'13 \times 10^{16}\, cm^{-3}}$$

$$N_A = 0'1 N_D \Rightarrow 0'7eV = 25'8meV \ln\left(\frac{0'1 N_D^2}{n_i^2}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{0'1 \times N_D^2}{n_i^2}\right) = 27'13 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_D^2 = e^{27'13} \frac{\times n_i^2}{0'1} \Rightarrow \boxed{N_D = 3'57 \times 10^{16}\, cm^{-3}}$$

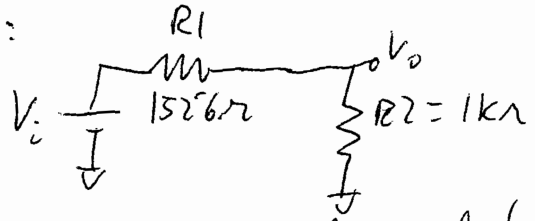
b)



En cada rama, los diodos están enfrentados. Por tanto, una rama con diodos sólo conducirá cuando el zener conduzca en inversa.

La rama formada por D1 y D3 conduce cuando $V_0 \leq -3V$
" " " " D2 y D4 " " $V_0 \geq 3V$

* Con los diodos cortados ($V_0 \in [-3, 3]V$), tenemos el divisor de tensión:



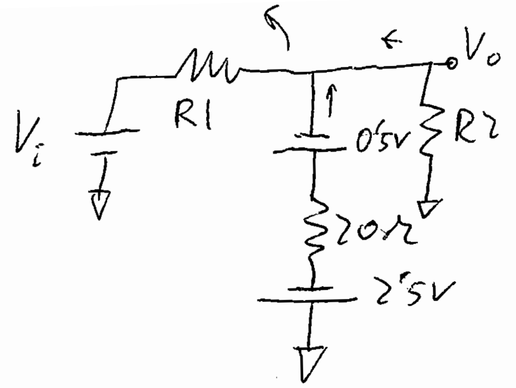
$$V_0 = \frac{1K\Omega}{1526\Omega} V_i = 0'867 \cdot V_i$$

Por tanto, tenemos en la salida $V_0 = \pm 3V$ cuando $V_i = 3'46V$

* $V_i \in [-3'46V, 3'46V] \Rightarrow V_0 = 0'867 \cdot V_i$

* $V_i \leq -3'46V \Rightarrow$ D2, D4 OFF, D1, D3 ON

Queda el siguiente circuito:



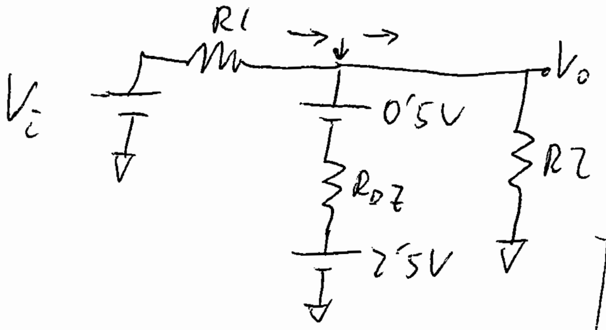
$$\frac{V_o - V_i}{R1} = \frac{-V_o}{R2} + \frac{-3V - V_o}{20\Omega} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o\left(\frac{1}{152'6\Omega} + \frac{1}{1K} + \frac{1}{20}\right) = \frac{-3V}{20\Omega} + \frac{V_i}{R1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = 0'113 V_i - 2'61V} \qquad \left(V_o = \frac{R1 \| R2 \| R_{ZD}}{R1} V_i - \frac{3V}{R_{ZD}} \cdot R1\|R2\|R_{ZD}\right)$$

(Comprobación $V_o(V_i = -3'46V) = -3V$)

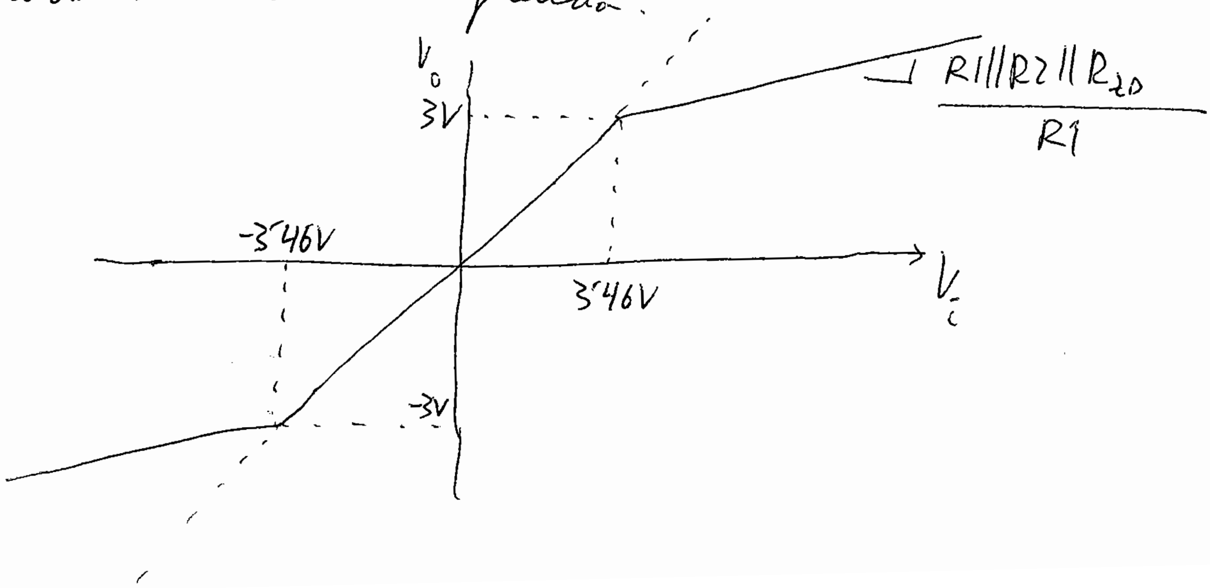
* Análogamente, cuando $V_i \geq 3'46V$ tenemos D2, D4 ON y D1, D3 OFF:



$$\frac{V_i - V_o}{R1} = \frac{V_o - 3V}{R_{DZ}} + \frac{V_o}{R2} \Rightarrow$$

$$\boxed{\begin{gathered} V_o = \frac{R1\|R2\|R_{ZD}}{R1} V_i + \frac{3V}{R_{ZD}} \cdot R1\|R2\|R_{ZD} \\ V_o = 0'113 V_i + 2'61V \end{gathered}}$$

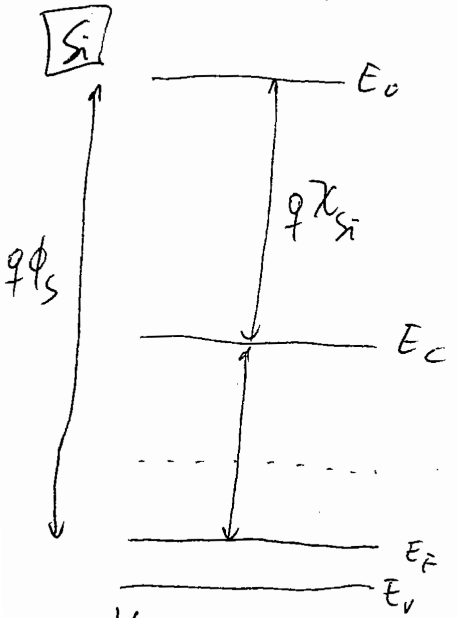
* Característica de transferencia:



③.-

a) NMOS $\Rightarrow V_T = V_{FB} + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F}$

* $V_{FB} = \phi_M - \phi_S = 4'8V - \phi_S$. Calculemos ϕ_S:



$$q\phi_S = q\chi_{Si} + E_g - (E_F - E_V)$$

$$E_F - E_V = KT \ln \frac{N_V}{N_A} = 25'8 meV \ln \frac{1'04 \times 10^{19}}{10^{16}} =$$

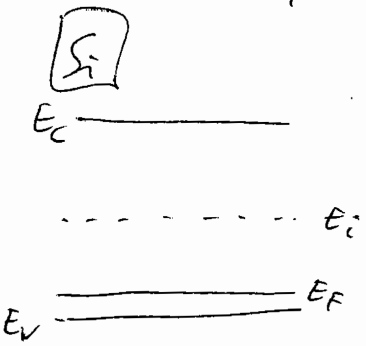
$$E_F - E_V = 0'179 eV$$

$$\Downarrow$$

$$q\phi_S = (4'05 + 1'12 - 0'179) eV = 4'99 eV$$

* $V_{FB} = 4'8V - 4'99V \Rightarrow \boxed{V_{FB} = -0'19V}$

* Calculemos ϕ_F:



$$q\phi_F = KT \ln \frac{N_A}{n_i} \Rightarrow \underline{\phi_F = 0'347V}$$

* $V_T = 2V = -0'19V + 0'694V + \gamma \cdot 0'83 V^{1/2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \gamma = 1'8 V^{1/2} = \frac{\sqrt{2\varepsilon_{Si} q N_A}}{C_{ox}} = \frac{5'8 \times 10^{-8}}{C_{ox}} \sqrt{\frac{F}{cm} \cdot C \cdot \frac{1}{cm^3}} = \frac{5'8 \times 10^{-8}}{C_{ox}} \frac{C \, V^{1/2}}{cm^2}$$

$$\Rightarrow \gamma = 1'8 V^{1/2} = \frac{5'8 \times 10^{-8}}{C_{ox}} \frac{C}{V^{1/2} cm^2} \Rightarrow C_{ox} = 3'22 \times 10^{-8} \frac{C}{V cm^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C_{ox} = 3'22 \times 10^{-8} \frac{F}{cm^2}}$$

b) * Como $V_o=0 \Rightarrow I_{R_L}=0 \Rightarrow$

$\Rightarrow I_{R_D}=I_{DS}=1mA \Rightarrow V_o=V_{DD}-I_{DS}\cdot R_D \Rightarrow R_D=\dfrac{V_{DD}}{I_{DS}}=\boxed{5K\Omega=R_D}$

* Como $V_G=0=V_D \Rightarrow V_{GS}=V_{DS} \Rightarrow$ transistor saturado

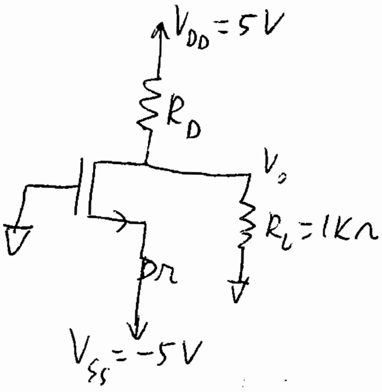
$$I_{DS}=\frac{\beta}{2}\left[V_{GS}-V_T\right]^2=\frac{500}{2}\frac{\mu A}{V^2}\left[-V_S-2\right]^2=1mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (V_S+2)^2=4V^2 \Rightarrow V_S+2=\pm 2V \begin{cases} V_S=-4V & (\Rightarrow V_{GS}=4>V_T) \\ \cancel{V_S=0} & (\Rightarrow \cancel{V_{GS}}<V_T) \end{cases}$$

Para conseguir esta tensión, el valor de R_S debe ser:

$$R_S=\frac{[-4-(-5)]V}{1mA} \Rightarrow \boxed{R_S=1K\Omega}$$

c)



$R_S=0 \Rightarrow V_{GS}=5V \Rightarrow I_{DS}$ fijada (si está en sat.)

$$I_{DS}=\frac{\beta}{2}\left[V_{GS}-V_T\right]^2=\frac{500}{2}\frac{\mu A}{V^2}\left[5-2\right]^2=2'25mA$$

Se cumple que está en saturación si:
$V_{DS}=V_o-(-5V)=V_o+5V>3V$;

Por otro lado, $V_{DS}=V_o-(-5V)=V_o+5V>3V$ (*)

Calculemos V_o:

$$V_o=I_{R_L}\cdot R_L=\left(\frac{V_{DD}-V_o}{R_D}-I_{DS}\right)\cdot R_L \Rightarrow$$

$I_{R_L}=I_{R_D}-I_{DS}$

$$\Rightarrow V_o\left(\frac{1}{R_L}+\frac{1}{R_D}\right)=\frac{V_{DD}}{R_D}-I_{DS} \Rightarrow V_o=\left(\frac{1}{R_L}+\frac{1}{R_D}\right)^{-1}\cdot\left(\frac{V_{DD}}{R_D}-I_{DS}\right)$$

Sustituyendo en (*)

$$\frac{\dfrac{V_{DD}}{R_D}-I_{DS}}{\dfrac{1}{R_L}+\dfrac{1}{R_D}}+2V>0 \Rightarrow \frac{V_{DD}}{R_D}-I_{DS}+\frac{2V}{R_L}+\frac{2V}{R_D}>0 \Rightarrow$$

$$V_{DD} - R_D \cdot I_{DS} + \frac{2V}{R_L} \cdot R_D + 2V > 0 \Rightarrow 7V + R_D(2mA - 2'25mA) > 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 7V + (-0'25mA) \cdot R_D > 0 \Rightarrow \underline{\underline{R_D}} < \frac{7V}{0'25mA} = \underline{\underline{28K\Omega}}$$

4.- a) $V_{CE} = 2V \Rightarrow ACTIVA$ ¿R_c, I_c?

$V_{BE(on)} = 0'8V$

$\rightarrow V_{CE} = 2V = V_C - V_E = V_{CC} - \underbrace{(I_C + I_B)}_{I_E} \cdot R_C - I_E \times R_E = V_{CC} - I_E (R_C + R_E) \Rightarrow$

Por otro lado:

$\rightarrow V_{CE} = 2V = V_{BE} + I_B \cdot R_B = 0'8V + \frac{I_E}{\beta_F + 1} \cdot R_B \Rightarrow \boxed{I_E = 1'21 mA}$

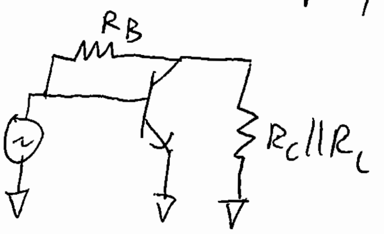
$\Downarrow$

$\boxed{I_C = I_E \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} = 1'19 mA}$

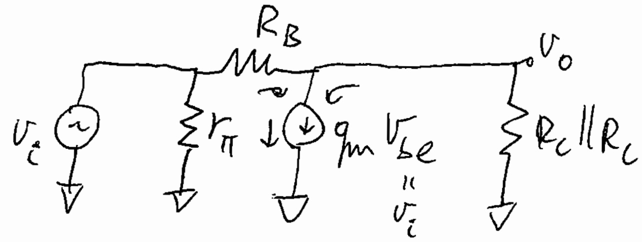
Usando la ecuación anterior:

$\boxed{R_C = 6'11 K\Omega}$

b) Circuito en pequeña señal:



$\Rightarrow$



$i_{R_B} + i_{R_C||R_L} = g_m v_{be}$

$\Downarrow$

$\frac{v_i - v_o}{R_B} + \frac{-v_o}{R_C||R_L} = g_m v_i \Rightarrow v_i \left(\frac{1}{R_B} - g_m \right) = v_o \cdot \frac{1}{R_C||R_L||R_B}$

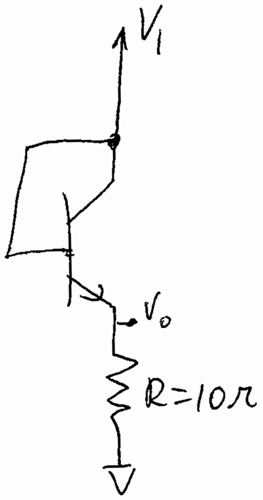
$\Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = R_C||R_L||R_B \times \left(\frac{1}{R_B} - g_m \right)$

$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 46 m\mho$

$R_C||R_L||R_B = 3'65 K\Omega$

$\Rightarrow \boxed{A_v = -168}$

c)



$$\left.\begin{array}{l} V_{BC}=0 \\ V_{CE}=V_{BE} \end{array}\right\} \Rightarrow$$ Transistor nunca estará saturado. (O en activa o en corte).

Para que esté en activa, debe haber al menos tensión suficiente para que caiga en la unión BE.

Por tanto:

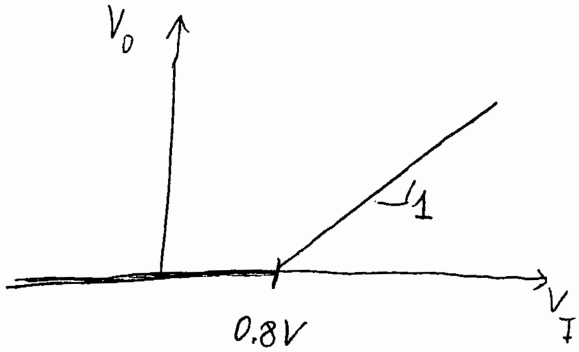
$$V_I < 0.8V \Rightarrow \text{Transistor en corte}$$

$$V_I > 0.8V \Rightarrow \text{Transistor en activa}$$

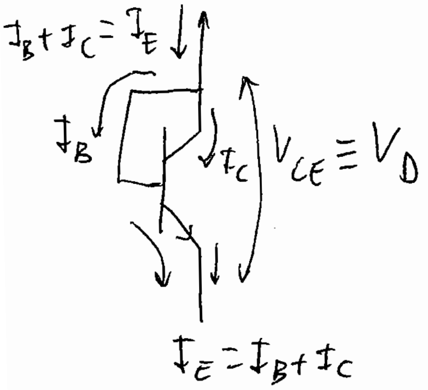
(No se puede dar activa inversa para las tensiones negativas porque la unión BC nunca estará polarizada en directa).

$$V_O = I_E \cdot R$$

$$V_o = V_I - V_{BE\_ON} = V_I - 0.8V$$



d) Diodo. La corriente entre los extremos del BJT así configurado es I_E y verifica la misma expresión que la corriente de un diodo:



$$\cancel{I_E = I_C + I_B = I_C\left(1+\frac{1}{\beta_F}\right) = \left(1+\frac{1}{\beta_F}\right)\cdot I}$$

$$I_E = I_{ES}\left(e^{V_{BE}/V_T}-1\right) - \alpha_R I_{CS}\left(e^{\overbrace{V_{BC}}^{=0}/V_T}-1\right)$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{I_E = I_{ES}\left(e^{V_{BE}/V_T}-1\right)}$$