a) $J_n = q D_n \frac{\partial n}{\partial x} = q D_n (-) \frac{n'(0) - n'(W)}{W} = -q \times 25 \frac{cm^2}{s} \cdot \frac{10^{10} cm^{-3}}{50 \times 10^{-4} cm} =$

$= -8 \frac{\mu A}{cm^2}$

Corriente total: $I = J_n \cdot A = -8 \frac{\mu A}{cm^2} \cdot 10^{-4} cm^2 = -800\, pA$

b) Por unidad de volumen se producen $R(x)$. Para tener en cuenta todos debemos integrar en el volumen:

$$\frac{\text{recombinaciones totales}}{s} \equiv \cancel{R} = \int_0^W A \cdot R(x) \cdot dx =$$

$$= A \int_0^W \frac{n'(x)}{\tau_n} dx = \frac{A}{\tau_n} \int_0^W \left[n'(0) - \left[\frac{n'(0) - n'(W)}{W} \right] x \right] dx =$$

$$= \frac{A}{\tau_n} \left[n'(0) \cdot W - \left[\frac{n'(0) - n'(W)}{W} \right] \frac{W^2}{2} \right] \approx$$

$$\approx \frac{A}{\tau_n} \left[\frac{n'(0) W}{2} \right] = \frac{10^{-4} cm^2}{100 \mu s} \frac{10^{10} cm^{-3} \cdot 50 \mu m}{2} = 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{s}$$

c) $n = n_i \cdot e^{\phi_{Fn}/V_T} \Rightarrow \phi_{FN} \equiv E_{Fn} - E_i = V_T \cdot \ln \frac{n}{n_i}$; $n = n_0 + \delta n$

$p = n_i \cdot e^{\phi_{Fp}/V_T} \Rightarrow \phi_{FP} \equiv E_i - E_{FP} = V_T \ln \frac{p}{n_i}$; $p = p_0 + \delta p$

* $x = 0 \Rightarrow n = n_0 + n'(0) = \frac{N_i^2}{N_A} + 10^{10} cm^{-3} \approx n'(0) = 10^{10} cm^{-3} \Rightarrow \boxed{\begin{matrix}\phi_{FN} = -9.6m \\ q\phi_{FN} = -9.6m\end{matrix}}$

$p \sim p_0 \sim N_A \Rightarrow \boxed{q\phi_{Fp} = 0.35\, eV}$

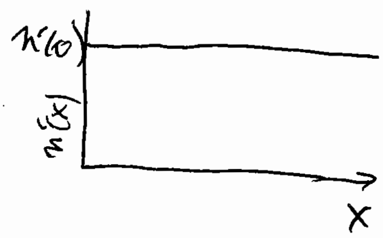
$* \; x = W$

$$n(W) = n_0 + n'(W) = \frac{n_i^2}{N_A} + n'(W) = (2.1\times10^4 + 10^2)\,cm^{-3} \simeq 2.1\times10^4\,cm^{-3}$$

$$p(W) \simeq p_0 \simeq N_A$$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{cases} q\phi_{Fn} = -0.347\,eV \\ q\phi_{Fp} = 0.35\,eV \;\; (\text{mismo que en } x=0) \end{cases}}$$

d) $W \to \infty \Rightarrow n' \to n'(0)$ para cualquier posición.



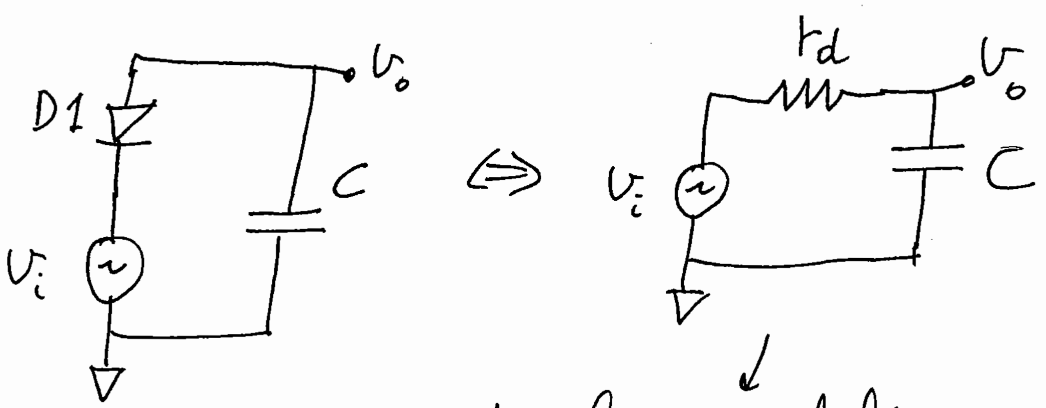
No hay gradiente de concentración $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ no hay corriente de difusión.

$J_n = 0$

2) (Ver examen junio 2005)

Pequeña señal:



Análoga a filtro RC de 1ª orden (paso baja)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_c}{r_d + Z_c} = \frac{1/j\omega C}{r_d + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega C r_d + 1}$$

Podemos definir $W_c = \frac{1}{C r_d}$ y, por tanto,:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{j\frac{W}{W_c} + 1} \quad ; \quad \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{W}{W_c}\right)^2}}$$

la ganancia cae 3dB a la frecuencia de corte W_c. Por tanto debe hacerse que:

$$(2\pi)^{-1} W_c = 10\,\text{KHz} \Rightarrow \frac{1}{C \cdot r_d} = 2\pi \cdot 10\,\text{KHz}$$

luego:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 10\,\text{KHz} \cdot r_d} = \underline{\underline{612\,nF}}$$

$$r_d = \frac{V_T}{I} = \frac{26\,mV}{1\,mA} = 26\,\Omega$$

F Si uno no recuerda e identifica ~~ko~~ con el filtro RC y w_c sólo hay que calcular

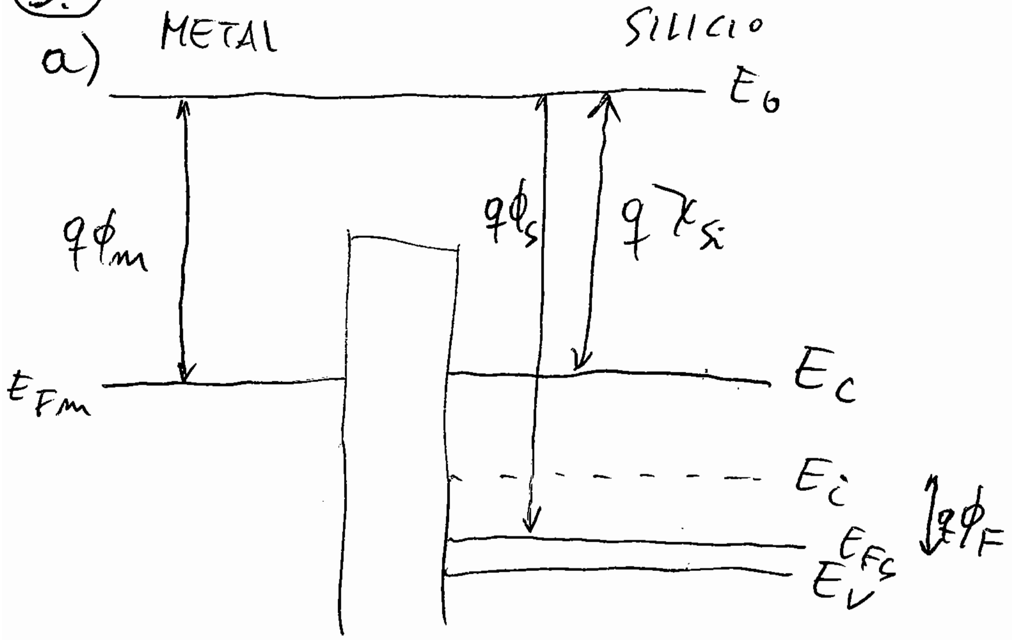
$$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| \text{ con } w=0 \Rightarrow \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 1$$

y $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ con $w = 2\pi \cdot 10KHz$. Se hace el cociente.

E

3.-

a)



$$V_T = \phi_m - \phi_s + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F} = 1V$$

* Calculemos ϕ_F y ϕ_s:

* $p_0 \simeq N_A = n_i \cdot e^{q\phi_F/KT} \Rightarrow \underline{\underline{\phi_F}} = \frac{KT}{q} \cdot \ln\frac{N_A}{n_i} = \underline{\underline{0.347V}}$

* $q\phi_s = q\chi_i + E_g - (E_{FS} - E_v)$ (Ver diagrama superior)

Calculamos $E_{FS} - E_v = -KT \ln\frac{N_A}{N_v} = 0.179eV$

Por tanto:

$$\phi_s = 4.05 + 1.12 - 0.179eV = 4.99V$$

* Por tanto:

$$1V = V_T = 4.05V - 4.99V + 2\times 0.347V + \gamma\sqrt{2\times 0.347V} =$$

$$= -0.246V + \gamma \cdot 0.83V^{1/2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{1.246V^{1/2}}{0.83} = 1.5V^{1/2}}$$

Ahora usamos la expresión de γ para obtener C_{ox}:

$$\underline{\underline{C_{ox}}} = \frac{\sqrt{2\varepsilon_{Si} q N_A}}{\gamma} = \frac{\sqrt{2\times 11.9\times 8.85\times 10^{-14}\frac{F}{cm}\times 1.6\times 10^{-19}C\times 10^{16}cm^{-3}}}{1.5\,V^{1/2}}$$

$$= 3.87\times 10^{-8}\cdot\left(\frac{F\cdot C}{cm^4\, V}\right)^{1/2} = \underline{\underline{3.87\times 10^{-8}\frac{F}{cm^2}}}$$

$$\frac{C}{V} = F$$

b) $I_{DS}(\text{triodo}) = \beta\left[(V_{GS}-V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}\right]$

~~$I_{DS} = 1mA \Rightarrow V_D = V_{DD} - I_{DS}R$~~

Veamos la tensión V_{GS} compatible con los requisitos:

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

$$\Rightarrow V_{GS}-V_T = 2.5V \Rightarrow \boxed{V_{GS} = 3.5V}$$

Como $V_G = 0V \Rightarrow \boxed{V_S = -3.5V}$

+ Por otro lado:

$$I_{DS} = I_S + I_{R3k} \Rightarrow I_S = I_{DS} - I_{R3k} = 1mA - \frac{-3.5V-(-5V)}{3k} =$$

$$\Rightarrow \boxed{\underline{I_S} = 1mA + (-0.5mA) = \underline{\underline{0.5mA}}}$$

+ Finalmente, el valor de R compatible con estos valores de I_{DS} y V_{DS}.-

$$V_D = V_S + V_{DS} = -3.5V + 1V = -2.5V \Rightarrow \boxed{R = \frac{V_{DD}-V_D}{1mA} = 7.5K\Omega}$$

¿Se cumple que efectivamente está en triodo?

$$\left.\begin{array}{l} V_{GS}-V_T = 2.5V \\ V_{DS} = 1V \end{array}\right\} \Rightarrow V_{DS} < V_{GS}-V_T \Rightarrow \text{TRIODO}$$

c) Ahora $I_{DS} = I_S$ porque no se deriva corriente hacia la resistencia de 3K $\Rightarrow I_{DS} = 0.5mA$.

Con esta I_{DS} y $R = 7.5K\Omega$ tenemos que $V_D = V_{DD} - I_{DS}\cdot R \Rightarrow$

$$\Rightarrow \underline{V_D} = 5V - 0.5mA \times 7.5K\Omega = \underline{1.25V}$$

Se ha incrementado notablemente respecto del aptdo. anterior. Por tanto, puede que nos salgamos de la región lineal. Comprobemos:

$$I_{DS} = \beta\left[(-V_S - V_T)\times(V_D - V_S) - \frac{(V_D-V_S)^2}{2}\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V^2 \times 2 = \cancel{-1.25V V_S} - 1.25V^2 + V_S^2 + 1V\cdot V_S - 0.78V^2 - 0.5V_S^2 + \cancel{1.25V\cdot V_S}$$

$$\Rightarrow 0.5V_S^2 + 1V_S - 4.03 = 0$$

$$V_S = \frac{-1 \pm \sqrt{1+8.06}}{1} \approx -1 \pm 3 \begin{cases} -4 \\ \cancel{2 > V_G} \end{cases}$$

$$V_S = -4 \Rightarrow \left.\begin{array}{l} V_{GS} - V_T = 3V \\ V_{DS} = 1.25V + 4V = 5.25 \end{array}\right\} \Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ **¡¡No está en reg. lineal!!**

Resolvemos asumiendo saturación:

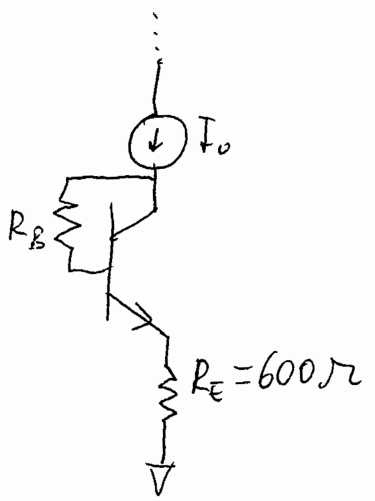
$$I_{DS} = 0.5\,mA = \frac{\beta}{2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow V_{GS} - V_T = 1.41V$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 2.41V \Rightarrow \boxed{V_S = -2.41V}$$

Como $V_D = 1.25V \Rightarrow \boxed{V_{DS} = 3.66V}$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow$$ Efectivamente, saturación.

4.- a) En DC:



$$* \; I_o = I_C + I_B = I_C\left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) = 3mA \cdot \left(1 + \frac{1}{90}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{I_o = 3.03mA}$$

$$* \; V_{CE} = V_{BE} + I_B \cdot R_B = 0.7V + \frac{3mA}{90} \cdot R_B \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{R_B}} = \frac{(1.5-0.7)V \cdot 90}{3mA} = \underline{\underline{24K}}$$

b) Con este circuito de polarización el transistor siempre está en activa (si conduce). En efecto, como $I_B > 0$ (entrante) entonces $V_C > V_B \Rightarrow$ activa.

Por tanto, el transistor estaría en activa para cualquier valor de R_B.

La única limitación viene impuesta no por el BJT sino por la fuente de corriente, que requiere $V_C < 15V$. Calculemos V_C:

$$V_C = I_E \cdot R_E + V_{BE} + I_B \cdot R_B = \underbrace{I_C(\beta_F^{-1}+1)}_{I_0 = 5mA} \cdot R_E + V_{BE} + \frac{I_C}{\beta_F} \cdot R_B \Rightarrow$$

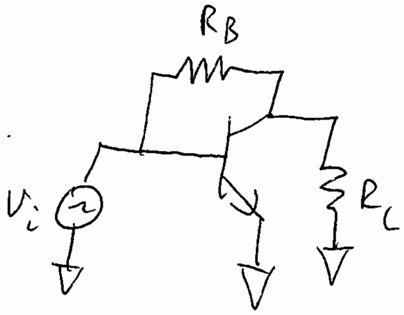
$$\Rightarrow R_B = \frac{V_C - V_{BE} - I_C(\beta_F^{-1}+1) \cdot R_E}{I_C/\beta_F} = \frac{15V - 0.7V - 3V}{55\mu A} = 205.5K\Omega$$

Sólo nos falta I_C: $I_0 = I_C + I_B = I_C\left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \Rightarrow \underline{\underline{I_C = 4.95mA}}$

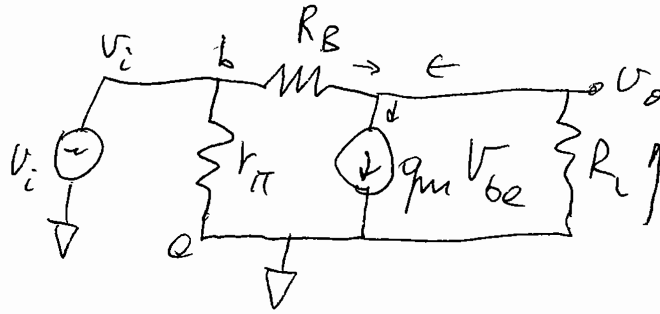
$$\boxed{R_B < 205.5K\Omega}$$

(Valores mayores provocan tensiones $V_C > 15V$)

c) Circuito en pequeña señal:



$\Rightarrow$



$i_L \neq g_m v_{be}$

¡ojo!

$$v_o = -R_L \cdot i_L \quad (*)$$

$$i_L + i_{R_B} = g_m v_{be} \Rightarrow i_L + \frac{v_i - v_o}{R_B} = g_m \underbrace{v_{be}}_{= v_i} \Rightarrow i_L = g_m \underbrace{v_{be}}_{= v_i} + \frac{v_o - v_i}{R_B}$$

Luego sustituyendo en (*) tenemos:

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

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m + \frac{1}{R_B}}{\left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_B}\right)} = \frac{-0.115 + 4.2\times10^{-5}}{2\times10^{-5} + 4.16\times10^{-5}} = 1865$$

Calculemos g_m:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{3\,mA}{26\,mV} = 0.115\,\Omega^{-1}$$