CUESTIONES

1.-

a) $n_o = N_c \, e^{-\frac{E_c - E_F}{KT}}$; $p_o = N_v \, e^{\frac{E_v - E_F}{KT}}$

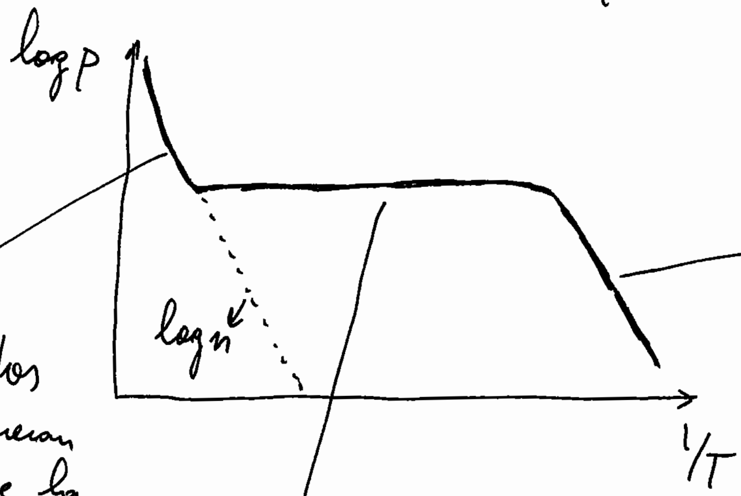
$$n_i^2 = n_o \cdot p_o = N_c N_v \, e^{-\frac{E_c - E_F}{KT}} \cdot e^{\frac{E_v - E_F}{KT}} =$$

$$= N_c N_v \, e^{-\frac{(E_c - E_v)}{KT}}$$

$$E_c - E_v = E_g$$

$$\Rightarrow \boxed{n_i = \sqrt{N_c N_v} \, e^{-\frac{E_g}{2KT}}}$$

b)



zona intrínseca. los uecos se generan or saltos de la V a la BC.

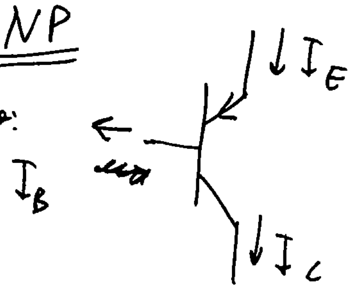
Al aumentar la T^a las impurezas se van ionizando (atrapando e^- de la banda de valencia) y generando huecos.

~~zona~~ rango de t^{as} para el cual todas las impurezas están ionizadas. Todos los huecos han sido generados por la ionización de las impurezas aceptadoras y casi ninguno por saltos a la BC $\Rightarrow$

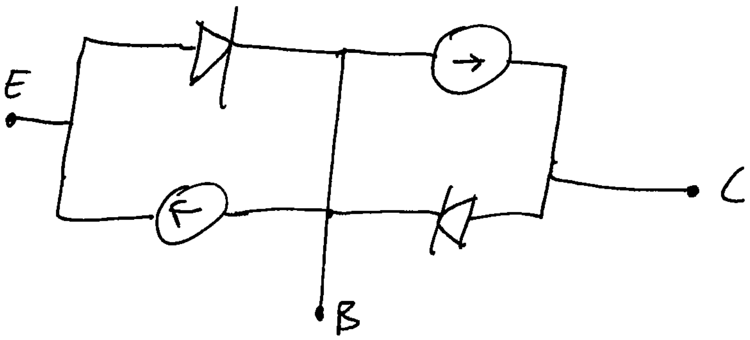
$\Rightarrow$ $p \neq p(T)$ en esta zona

2.- PNP

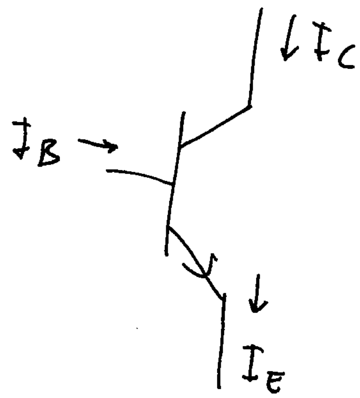
Convenio:



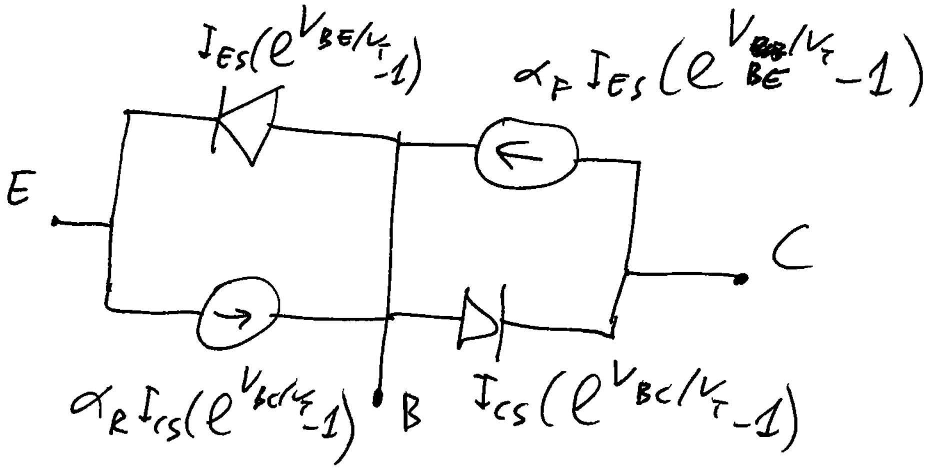
$$\begin{cases} I_E = I_{ES}\left[e^{V_{EB}/V_T}-1\right]-\alpha_R I_{ES}\left[e^{\frac{V_{CB}}{V_T}}-1\right] \\ I_C = \alpha_F I_{ES}\left[e^{V_{EB}/V_T}-1\right]-I_{CS}\left[e^{\frac{V_{CB}}{V_T}}-1\right] \\ I_B = I_E - I_C \end{cases}$$



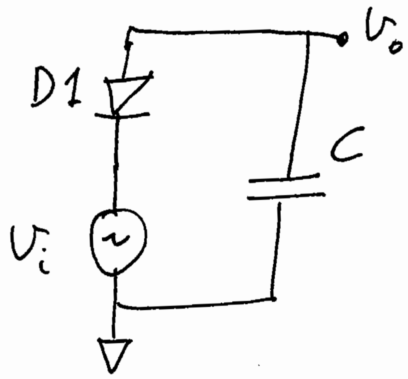
NPN



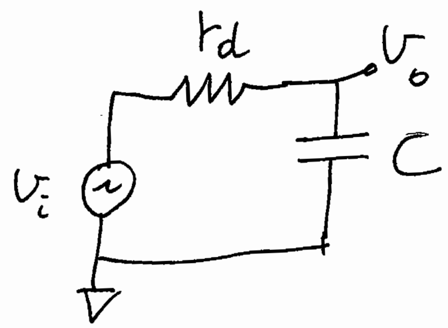
$$\begin{cases} I_E = I_{ES}\left(e^{V_{BE}/V_T}-1\right)-\alpha_R I_{CS}\left(e^{\frac{V_{BC}}{V_T}}-1\right) \\ I_C = \alpha_F I_{ES}\left(e^{V_{BE}/V_T}-1\right)-I_{CS}\left(e^{\frac{V_{BC}}{V_T}}-1\right) \\ I_B = I_E - I_C \end{cases}$$



3.-) Pequeña señal:



$\Leftrightarrow$



$\downarrow$

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 $\omega_c = \frac{1}{C r_d}$ y, por tanto:

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

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

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

luego:

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

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

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

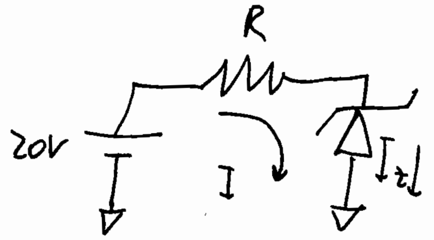
$$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| \text{ con } w=0 \Rightarrow \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 1$$

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

E

PROBLEMAS

1.- a) Si $R_L \to \infty \Rightarrow$

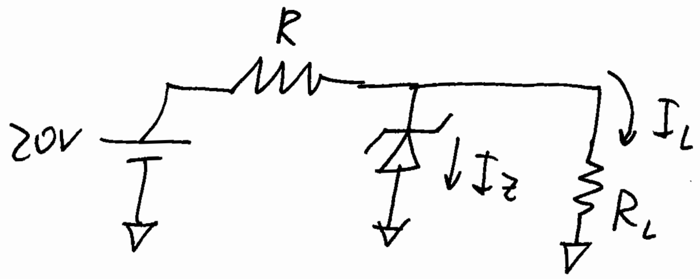


$\Rightarrow I = \dfrac{20V - 4V}{R}$

En este caso la corriente que circula por el zener será la misma:

$$I_Z = I = \frac{20V - 4V}{R} = \frac{16V}{R}$$

Al colocar una resistencia de carga, la corriente por R sigue siendo la misma, pero luego se divide por las dos ramas (la del zener y la de R_L):



Por tanto, la corriente que circula por el zéner es:

$$I_z = \frac{16V}{R} - \frac{4V}{R_L} = \frac{16V}{R} - I_L$$

a)

→ Máxima corriente por la carga ⇒ mínima por el zéner. La mínima para que funcione correctamente es 1 mA ⇒

$$1mA = \frac{16V}{R} - I_{L\,MÁX} \Rightarrow \boxed{I_{L\,MÁX} = \frac{16V}{R} - 1mA}$$

→ ~~M~~ Por otro lado, $I_L = \frac{4V}{R_L} \Rightarrow I_{L\,MÁX} = \frac{4V}{R_{L\,MÍN}}$

luego:

$$\frac{4V}{R_{L\,MÍN}} = \frac{16V}{R} - 1mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{L\,mín} = \frac{4V}{\frac{16V}{R} - 1mA}}$$

→ Cuando $R_L \to \infty$, $I_z = I_{Z\,MÁX} = \frac{16V}{R} = 5mA \Rightarrow \boxed{R = 3.2K}$

b) Fijado R_L:

$$I_z = \frac{V_i - 4V}{R} - \frac{4V}{R_L} = \frac{V_i - 4V}{R} - \frac{4V}{2K}$$

→ Corriente por R_L fijada (mientras haya regulación)

→ Máxima I_z cuando $V_i = 30V \Rightarrow 5mA = \frac{26V}{R} - \frac{4V}{2K} \Rightarrow \boxed{R = 3.71K}$

Si R fuese menor, I_z sería > 5 mA. Por tanto, es valor ~~máximo~~ mínimo

→ mínima I_Z con $V_i = 16V$:

$$1mA = \frac{16V-4V}{R} - \frac{4V}{2k} = \frac{12V}{R} - 2mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{máx} = 4K\Omega}$$

Si $R > R_{máx}$, I_Z sería menor que $1mA$ con $V_i = 16V$

c)

$$R = \frac{4K + 3.71K}{2} = 3.86\,K\Omega$$

$$I_Z(V_i = 16V) = \frac{16V-4V}{3.86k} - \frac{4V}{2k} = 1.1mA$$

$$I_Z(V_i = 30V) = \frac{30V-4V}{3.86k} - \frac{4V}{2k} = 4.73mA$$

Observación: $I_Z = -I_D$

2.- a) Primero calculamos tensión en la puerta:

Como $I_G = 0 \Rightarrow V_G = V_{GS} = \frac{2.2M\Omega}{2.2M\Omega + 5.6M\Omega} \cdot 12V = 3.38V$

Por tanto, M1 ON seguro.

→ Máxima corriente ($\beta = 380 \frac{\mu A}{V^2}$ y $V_T = 1.3V$). Suponemos transistor saturado:

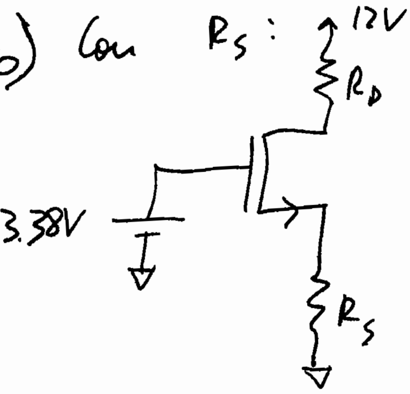
$$I_D = \frac{\beta}{2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow \boxed{I_{DMÁX} = 0.82mA}$$

$V_{DS} = 12V - I_D \cdot R_D = 7.9V > V_{GS} - V_T$ → SÍ ESTÁ SATURADO

→ <u>Mínima corriente</u> ($\beta = 220 \frac{\mu A}{V^2}$ y $V_T = 2.4V$)

$$I_D = \frac{\beta}{2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow \boxed{I_{DMIN} = 0.11mA}$$

b) Con R_S:



Ahora $V_{GS} \neq V_G$.

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D \cdot R_S$$

Valor máximo con

$$\beta = 380 \frac{\mu A}{V^2} \text{ y } V_T = 1.3V$$

$$I_{DMAX} = \frac{\beta_{max}}{2}\left[V_G - I_D \cdot R_S - V_{Tmin}\right]^2 = 0.15mA \Rightarrow$$

$$0.15mA = \frac{380}{2}\frac{\mu A}{V^2}\Big[\underbrace{3.38V - 0.15mA \cdot R_S - 1.3V}_{\parallel\; X^2}\Big]^2$$

$$\rightarrow \quad X^2 = 0.789\,V^2 \Rightarrow X = \pm 0.888V \Rightarrow R_S \begin{cases} 7.9K\Omega \\ 19.78K\Omega \end{cases}$$

Supongamos $R_S = 19.78K\Omega \Rightarrow V_S = 0.15mA \cdot 19.78K\Omega = 2.97V$

$\Rightarrow V_{GS} = 3.38V - 2.97V = 0.43V < V_T$ ¡ABSURDO!

$$\Rightarrow \boxed{R_S = 7.9K\Omega}$$

c) Veamos si está con $R_S = 7.9K$ OK y en saturación:

$$V_{GS} = 3.38V - 0.15mA \cdot 7.9K = 2.195V > V_T$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = (\cancel{12}\,12 - 0.15m \cdot 5K) - 0.15m \cdot 7.9K =$$

$$= 11.25V - 1.18V = 10.1\,V > V_{GS} - V_T .$$

Sí está saturado.

c) Corriente máxima es la calculada en b)

$$I_{DMAX} = 0.15\,mA$$

Mínima con $\beta = 220\,\frac{\mu A}{V^2}$ y $V_T = 2.4V$

$$I_D = \frac{\beta}{2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 = \frac{\beta}{2}\left[V_G - I_D \cdot R_S - V_T\right]^2$$

Despejamos I_D:

$$I_D = \frac{\beta}{2}\left[(V_G - V_T)^2 + I_D^2 R_S^2 - 2(V_G - V_T)\cdot I_D \cdot R_S\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad I_D^2 - \frac{\left(2(V_G - V_T)\cdot R_S + \frac{2}{\beta}\right)}{R_S^2}\cdot I_D + \frac{(V_G - V_T)^2}{R_S^2} = 0$$

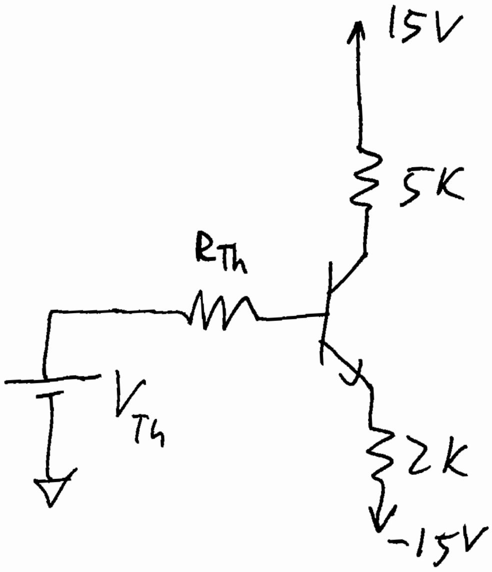
$$\Rightarrow \quad I_D^2 - 3.94\cdot 10^{-4}\cdot I_D + 1.53\cdot 10^{-8} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad I_D = \left[\frac{3.94\cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(3.94\cdot 10^{-4})^2 - 4\cdot 1.53\cdot 10^{-8}}}{2}\right] A \;\begin{cases} \cancel{0.35\,mA} \\ \underline{\underline{43.6\,\mu A}} \end{cases}$$

La solución $I_D = 0.35\,mA$ es errónea porque es mayor que I_{DMAX}. Además, con esta solución:

$$V_{GS} = 3.38V - I_D \cdot R_S = 0.615 < V_T$$

a) El circuito de polarización de la base lo sustituimos por su equivalente Thévenin:



Donde:

(1) $R_{Th} = R_{B_1} \| R_{B_2}$

(2) $V_{Th} = -15V + \frac{R_{B2}}{R_{B_1}+R_{B2}} \cdot 30V$

Como piden $V_C = 0V \Rightarrow V_{RC} = 15V \Rightarrow I_C = \frac{15V}{5K} = 3mA$

Si $I_C = 3mA \Rightarrow I_E \sim 3mA$ y $V_B = I_E \cdot R_E + V_{BE} - 15V \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{V_B = -8.3V}$

Debemos fijar esta tensión en la base:

$$V_B = -8.3V = V_{Th} - I_B \cdot R_{Th} = V_{Th} - \frac{I_C}{\beta_F} \cdot R_{Th}$$

Tenemos una ecuación y dos incógnitas.

Hacemos, por ejemplo, $\boxed{R_{Th} = 100K} \Rightarrow \boxed{V_{Th} = -7.3V}$

~~De (1) y (2) despejamos los valores de R_{B_1} y R_{B2}.~~
~~Por ejemplo, de (2)~~ $\cancel{\Rightarrow R_{B_1} = \frac{-15V + (30V - V_{Th})R_{B2}}{V_{Th}} =}$

$\cancel{= R_{B_1} = 2.05}$

De (1) y (2) despejamos los valores de R_{B1} y R_{B2}.
Por ejemplo:

De (2) ⇒ $$R_{B1} = \frac{[30V - (15V + V_{Th})]R_{B2}}{15 + V_{Th}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{B1} = 2.89\, R_{B2}}$$ (Para los valores elegidos (de R_{Th}))

Como:

$$\frac{1}{100K} = \frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{R_{B1}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{100K} = \frac{2.89}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B1}} = \frac{1}{R_{B1}} 3.89 \Rightarrow \cancel{R_{B1} = 389K}$$

$$\boxed{R_{B1} = 389K}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{R_{B2} = 134K}$$

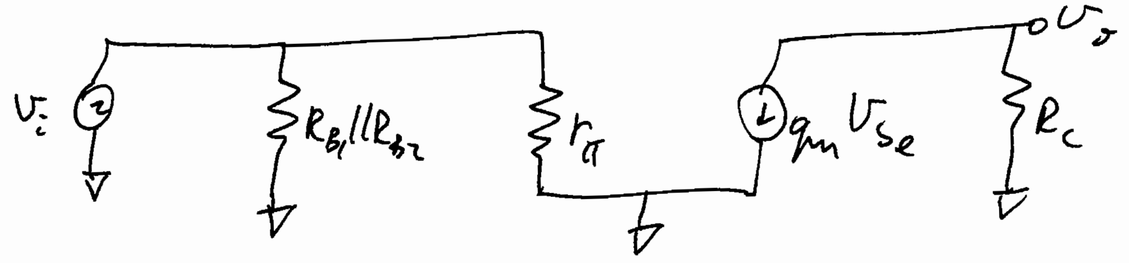
b) Como $V_B = -8.3V$, la mínima tensión en el colector (límite con saturación) es:

$$V_C = V_B - V_{BE} + V_{CE(sat)} = -8.3V - 0.7V + 0.2V =$$
$$= -8.8\,V.$$

Como no hay efecto Early, I_C es independiente de V_C y R_C.

$$V_C = -8.8V \Rightarrow (15 + 8.8)V = I_C \cdot R_C \Rightarrow \boxed{R_{C_{MÁX}} = \frac{23.8V}{3mA} = 7.93K\Omega}$$

c)



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

$$r_\pi^{-1} = \frac{I_C}{V_T \beta_F} = \frac{g_m}{\beta_F} \Rightarrow r_\pi = 2.6\,k\Omega$$

Como no hay resistencia en la fuente de señal, $\Rightarrow$

$$v_{be} = v_i \Rightarrow \cancel{v_o = -g_m \cdot v_i \cdot R_C = [illegible]}$$

$$v_o = -g_m \cdot R_c \cdot v_i$$

$$v_o = -575 \cdot v_i = -575 \cdot 5\,mV\ \text{sen}(2\pi \cdot 20\,kHz\,t) =$$

$$= -2.87 \cdot \text{sen}(2\pi\, 20\,kHz \cdot t)\ V$$

NOTA: si en a) no se quiere hacer thevenin, basta con plantear la ecuación siguiente (balance corrientes en base):

$$\frac{15V - V_B}{R_{B1}} = \frac{V_B + 15V}{R_{B2}} + I_B$$

Como $V_B = -8.3V$, queda una relación entre R_{B1} y R_{B2}