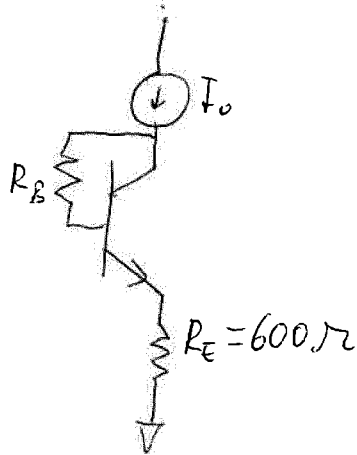


2- a) En DC:



$$* I_0 = I_C + I_B = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) = 3 \text{ mA} \cdot \left(1 + \frac{1}{90}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{I_0 = 3.03 \text{ mA}}$$

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

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

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 $V_C < 15 \text{ V}$. Calculemos V_C :

$$V_C = I_E \cdot R_E + V_{BE} + I_B \cdot R_B = \underbrace{I_C \left(\frac{1}{\beta_F} + 1\right) \cdot R_E}_{I_0 = 3 \text{ mA}} + V_{BE} + \frac{I_C}{\beta_F} \cdot R_B \Rightarrow$$

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

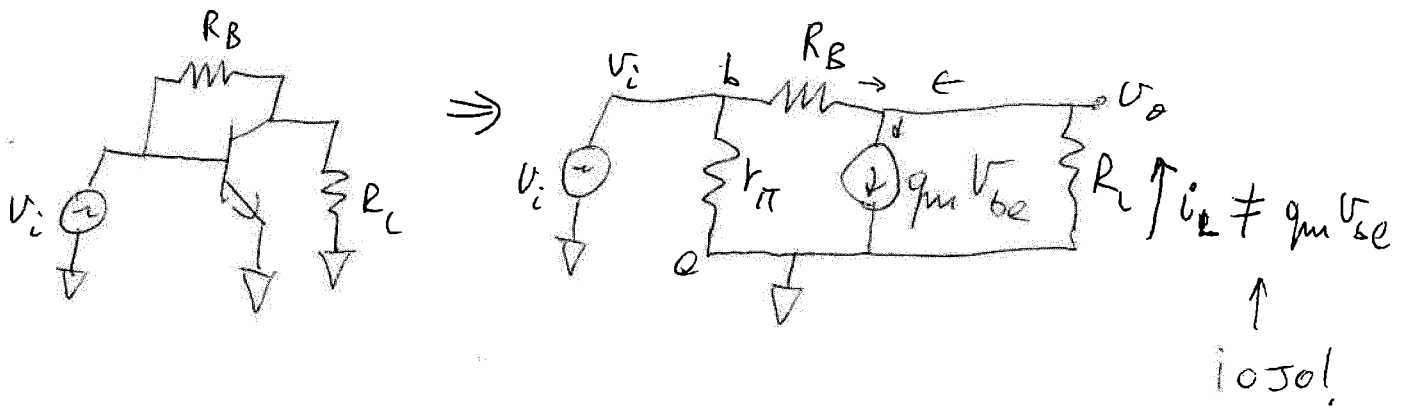
Solo nos falta I_C : $I_0 = I_C + I_B = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \Rightarrow \underline{\underline{I_C = 4.95 \text{ mA}}}$

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

(Valores mayores provocan tensiones $V_C > 15 \text{ V}$)

c) Circuito en pequeña señal:

(10)



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

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

Luego sustituyendo en (*) tenemos:

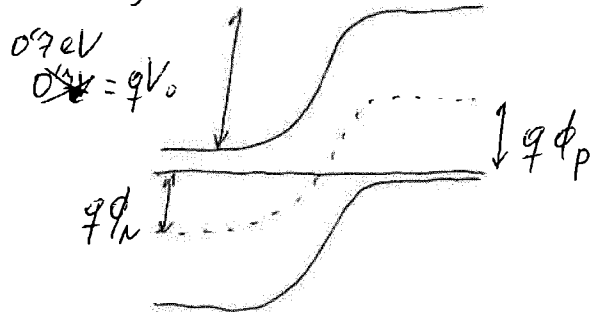
$$v_o = -R_L \cdot \left(g_m v_i + \frac{v_o - v_i}{R_B} \right) = -\frac{R_L}{R_B} v_o - R_L v_i \left(g_m - \frac{1}{R_B} \right)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m + \frac{1}{R_B}}{\left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_B} \right)} = \frac{-0.115 + 4.7 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-5} + 4.16 \times 10^{-5}} = -1865$$

Calculamos g_m :

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{3 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0.115 \text{ A/V}$$

(3) a)



$$qV_0 = q\phi_n + q\phi_p = kT \ln \frac{N_D}{n_i} + kT \ln \frac{N_A}{n_i} \Rightarrow$$

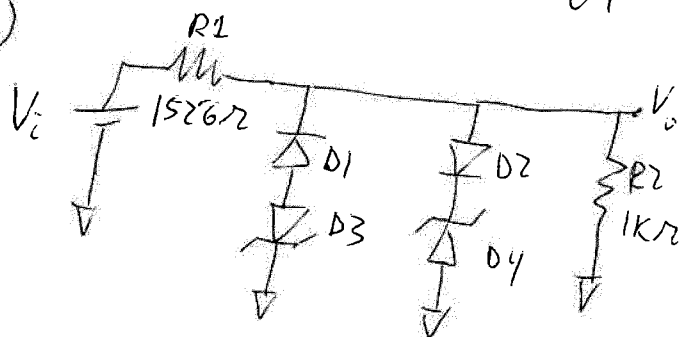
$$\Rightarrow qV_0 = kT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2}$$

$$N_D = N_A \Rightarrow 0.7 \text{ eV} = 25.8 \text{ meV} \ln \frac{N_D^2}{n_i^2} \Rightarrow \ln \frac{N_D}{n_i} = 13.56 \Rightarrow N_D = 1.13 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_A = 0.1 N_D \Rightarrow 0.7 \text{ eV} = 25.8 \text{ meV} \ln \left(\frac{0.1 N_D^2}{n_i^2} \right) \Rightarrow \ln \left(\frac{0.1 \times N_D^2}{n_i^2} \right) = 27.13 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_D^2 = e^{27.13} \times \frac{n_i^2}{0.1} \Rightarrow N_D = 3.57 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

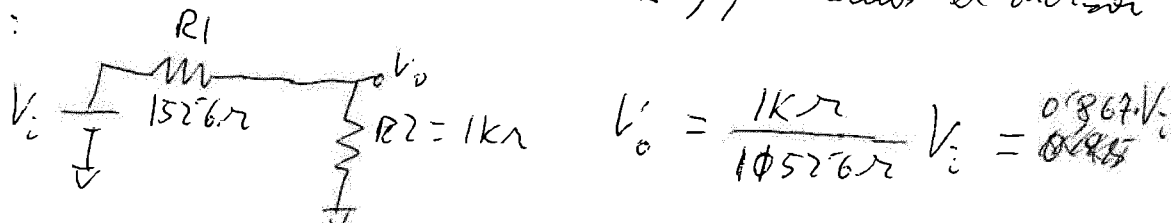
b)



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

la rama formada por D1 y D3 conduce cuando $V_o \leq -3\text{V}$
 " " " " D2 y D4 " " $V_o \geq 3\text{V}$

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



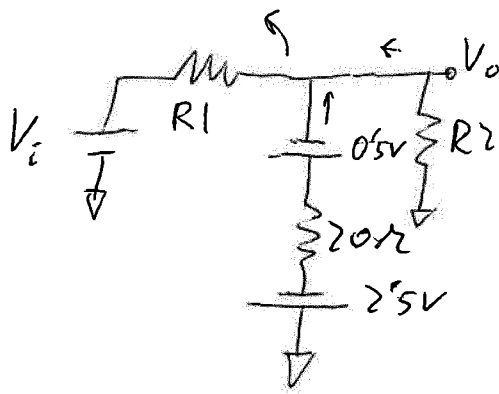
$$V_o = \frac{1 \text{ k}\Omega}{1 + 1526} V_i = 0.867 V_i$$

Por tanto, tenemos en la salida $V_o = \pm 3\text{V}$ cuando $V_i = 3.46\text{V}$

* $V_i \in [-3.46\text{V}, 3.46\text{V}] \Rightarrow V_o = 0.867 \cdot V_i$

* $V_i \leq -3.46\text{V} \Rightarrow D2, D4 \text{ OFF}, D1, D3 \text{ ON}$

Queda el siguiente circuito:



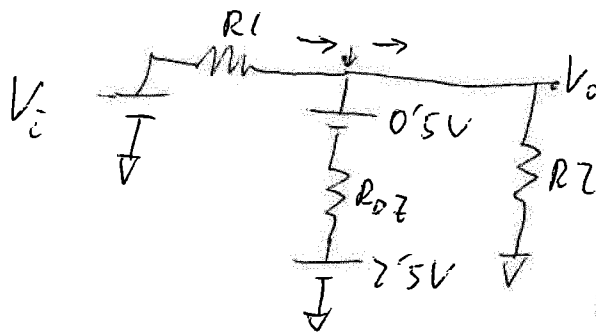
$$\frac{V_o - V_i}{R1} = \frac{-V_o}{R2} + \frac{-3V - V_o}{20k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o \left(\frac{1}{152.6k} + \frac{1}{1k} + \frac{1}{20} \right) = \frac{-3V}{20k} + \frac{V_i}{R1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = 0.113 V_i - 2.61V} \quad \left(V_o = \frac{R1 \parallel R2 \parallel R_{20}}{R1} V_i - \frac{3V}{R_{20}} \right)$$

(Comprobación $V_o(V_i = -3.46V) = -3V$)

* Análogamente, cuando $V_i \geq 3.46V$ tenemos D2, D4 ON y D1, D3 OFF:

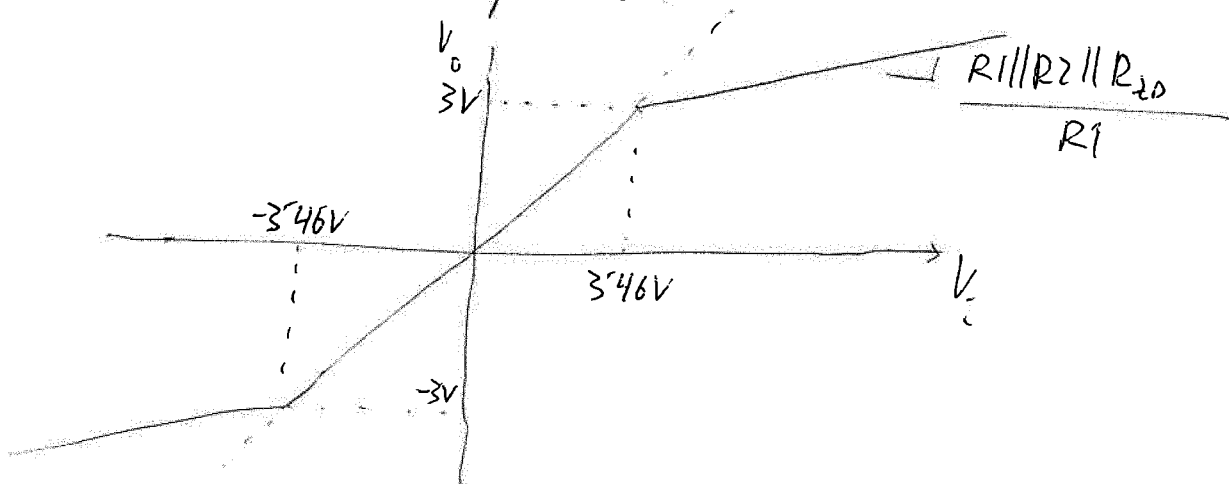


$$\frac{V_i - V_o}{R1} = \frac{V_o - 3V}{R_{02}} + \frac{V_o}{R2} \Rightarrow$$

$$V_o = \frac{R1 \parallel R2 \parallel R_{20}}{R1} V_i + \frac{3V}{R_{20}} \cdot \frac{R1 \parallel R2 \parallel R_{20}}{R1}$$

$$V_o = 0.113 V_i + 2.61V$$

* Característica de transferencia:



4. a) $V_T = V_{FB} + \underbrace{2\phi_F}_{\text{CANAL } n} + \gamma \sqrt{2\phi_F}$

$$\gamma = \frac{\sqrt{2\epsilon_{Si} q N_A}}{C_{ox}} = \frac{(2 \times 11.9 \times 8.85 \times 10^{-14} \frac{F}{cm} \times 1.6 \times 10^{-19} C \cdot 10^{16} cm^{-3})^{1/2}}{40 \frac{nF}{cm^2}} =$$

$$= \frac{1.16}{5.8} \frac{(F \cdot C)^{1/2}}{F} = \frac{1.16}{5.8} \frac{(\frac{C}{V} \cdot C)^{1/2}}{\frac{C}{V}} = \frac{1.16}{5.8} V^{1/2}$$

$5.8 \cdot 10^{-8} \rightarrow 58 nF$
 $5.8 \rightarrow 10 mF$

• Cálculo de ϕ_F :

E_c _____
 E_i
 E_F _____
 E_v _____

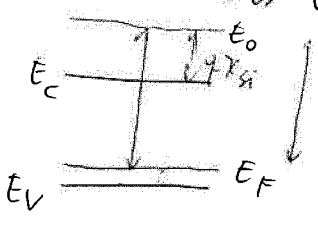
$\downarrow q\phi_F$; $p_0 \sim 10^{16} cm^{-3} = n_i e^{q\phi_F/KT} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \phi_F = \frac{KT}{q} \cdot \ln \frac{10^{16}}{1.45 \times 10^{10}} = 0.347 V$$

• Finalmente, V_{FB}

$$V_{FB} = \phi_M - \phi_S = \phi_M -$$

↓ Cálculo de ϕ_S



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

$$= 4.05 eV + 1.1 eV - 0.179 eV \Rightarrow \boxed{\phi_S = 4.971 V}$$

Yaque:

$$E_F - E_v = -KT \ln \frac{N_A}{N_v} = 0.179 eV$$

↑

Por tanto, tenemos:

$$V_T = 1V = \phi_M - \phi_S + 2\phi_F + \gamma \sqrt{2\phi_F}$$

↓

$$1V = \phi_M - 4.971V + (2 \times 0.347 + \frac{1.18}{5085.8} \sqrt{2 \times 0.347}) V =$$

$$= \phi_M - \frac{3.34}{0.55} V \Rightarrow \phi_M = \frac{14.74}{4.34} V \Rightarrow 0.44V \rightarrow 10nF$$

$$q\phi_M = \frac{4.34}{4.34} eV$$

$$0.44eV \rightarrow C_{ox} = 50nF$$

OBSERVACIÓN.- Esto funciona trabajo es demasiado bajo, se debe a que el dato de C_{ox} es erróneo (debería ser $50nF/cm^2$).

b) $I_D = 1mA$

$$V_D = 5V \Rightarrow R_D = \frac{5V}{1mA} = 5K\Omega$$

$$I = 1mA = \frac{\beta}{2} [V_{GS} - V_T]^2 \Rightarrow 1mA = \frac{200\mu A}{V^2} [V_{GS} - V_T]^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{GS} - V_T = \pm 2.23V \Rightarrow V_{GS} = 3.23V$$

↓
Assume

Si queremos $V_{DS} = 3V \Rightarrow V_S = 2 \Rightarrow V_{GS} = 5.23V$

¿Esto en saturación?

$$\begin{cases} V_{DS} = 3V \\ V_{GS} = 3.23V \end{cases} \left\{ V_{DS} > V_{GS} - V_T = 2.23V \right. \quad \underline{SI}$$

Sólo falta diseñar el divisor de tensión:

$$\frac{10 - 5.23}{R_{G1}} = 50\mu A \Rightarrow R_{G1} = 95.4K\Omega$$

$$\frac{5.23}{R_{G2}} = 50\mu A \Rightarrow R_{G2} = 104.6K\Omega$$

c) * $R_{G2} \uparrow \Rightarrow V_G \uparrow$. Mientras esté en saturación \Rightarrow
 $\Rightarrow V_{GS} = \text{cte}$ (porque I_D está fijada) $\Rightarrow V_S \uparrow \Rightarrow V_{DS} \downarrow$
 \Rightarrow puede salir de saturación.

Punto límite:

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T \Rightarrow 5V - V_S = V_G - V_S - V_T \Rightarrow$$

Aquí está fijada porque I_D y R_D están fijadas

$\Rightarrow \boxed{V_G = 6V}$ ¿Para qué valor de R_{G2} se obtiene esta tensión?

$$6V = 10V \cdot \frac{R_{G2}}{95.4K + R_{G2}} \Rightarrow \boxed{R_{G2} = 143.1 K\Omega}$$

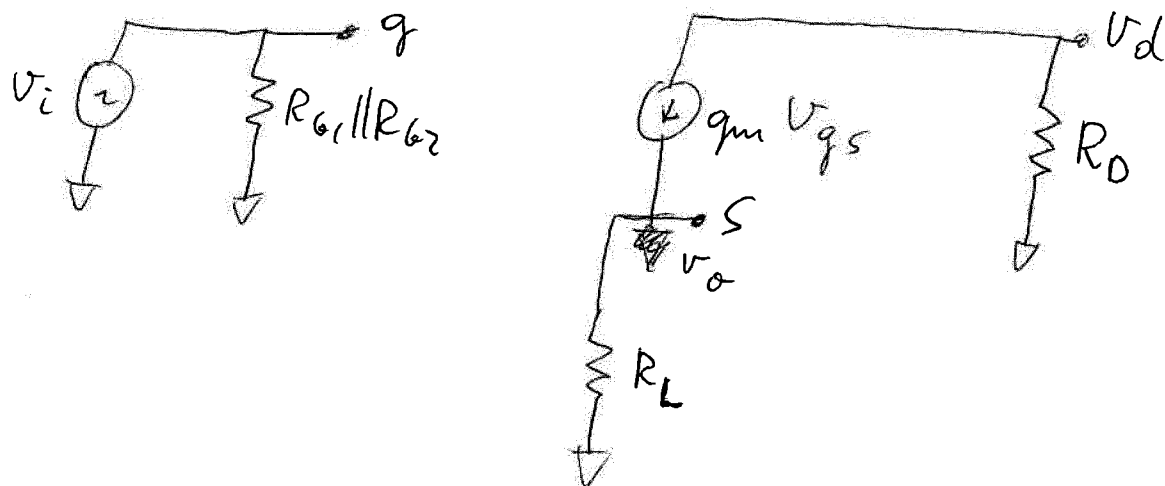
* $R_{G2} \downarrow \Rightarrow V_G \downarrow \Rightarrow V_S \downarrow$ (V_{GS} está fijada).- Si la fuente de corriente fuese ideal no habría limitación de tensión en V_S , pero este requiere al menos $V_S = 0.5 \Rightarrow V_G = 0.5 + V_{GS} = 0.5V + 3.23V = 3.73V$

\Rightarrow

$$3.73V = 10V \cdot \frac{R_{G2}}{95.4 + R_{G2}} \Rightarrow \boxed{R_{G2} = 56.75 K\Omega}$$

* luego $R_{G2} \in [56.75, 143.1] K\Omega$

d) Circuito pequena sinal:



$$v_o = g_m v_{gs} R_L = g_m R_L (v_i - v_o) \Rightarrow$$

$$(1 + g_m R_L) v_o = v_i g_m R_L \Rightarrow A_v = \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \sim \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m R_L}}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_T)} = \frac{2 \text{ mA}}{2.23 \text{ V}} = 0.9 \text{ mS}$$

$$R_L = \cancel{20 \text{ K}} 2 \text{ K}$$

$$\Rightarrow g_m R_L = \cancel{18} 1.8$$

$$\cancel{A_v = \frac{1.8}{1.8 + 1} = 0.64}$$

$$A_v \approx \frac{g_m R_L}{g_m R_L + 1} = \frac{1.8}{2.8} = 0.64$$