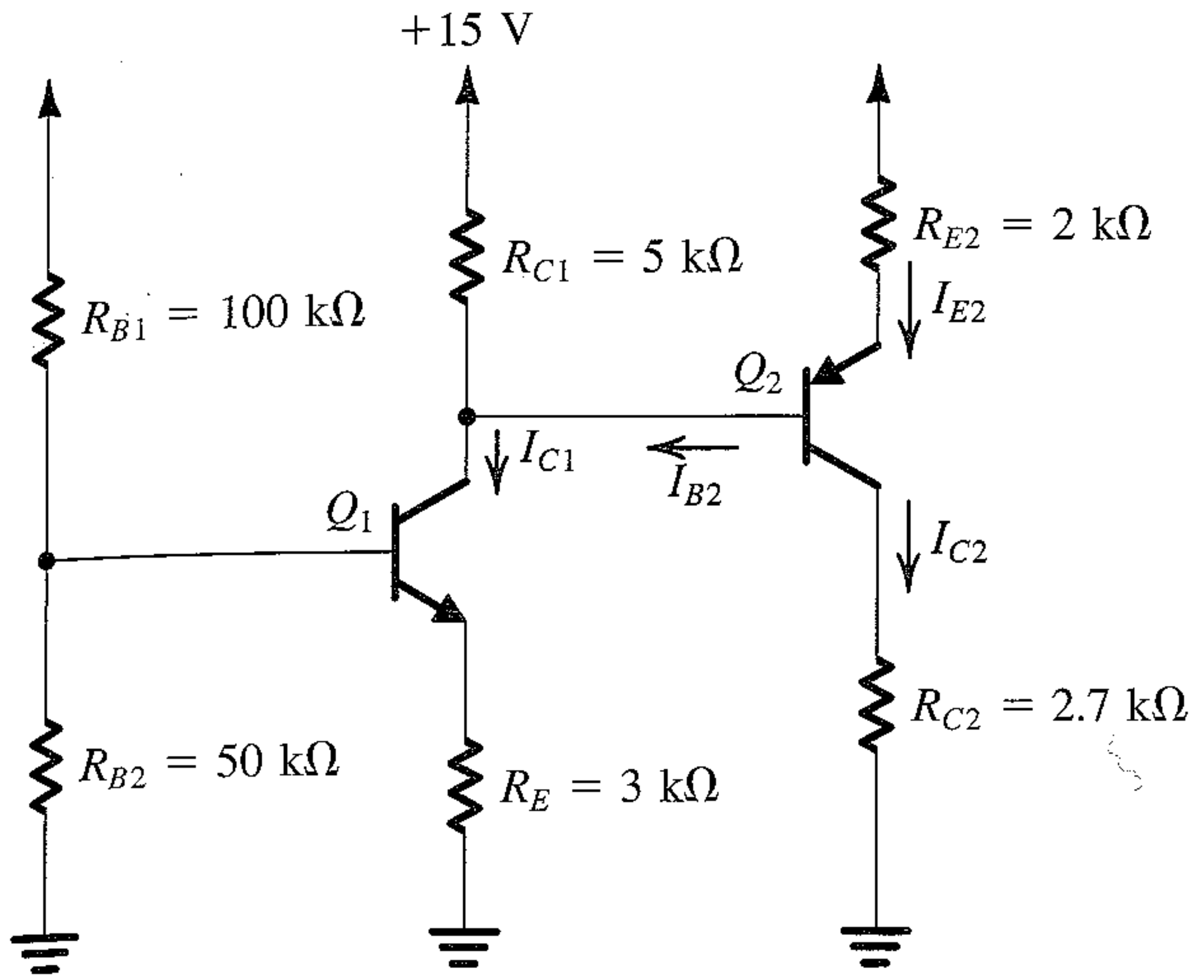
DOS TRANSISTORES

AMPLIFICADOR CON UN TRANSISTOR NPN Y OTRO PNP.

a) Polarización. β = 100 y Vbe 0 0,7V.

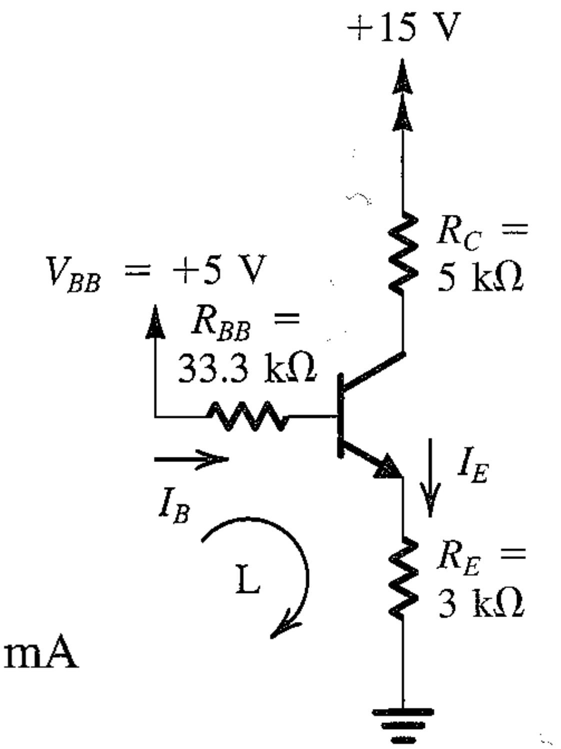


En primer lugar se calcula el Thevenin equivalente del circuito de base de Q_1 y todas las variables relacionadas

$$V_{BB} = +15\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}} = 15\frac{50}{100+50} = +5\text{ V}$$

$$R_{BB} = (R_{B1} \,//\, R_{B2}) = (100 \,//\, 50) = 33.3\text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E \qquad I_E = \frac{V_{BB}-V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta+1)]}$$



$$I_E = \frac{5-0.7}{3+(33.3/101)} = 1.29\text{ mA} \qquad I_B = \frac{1.29}{101} = 0.0128\text{ mA}$$

$$V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + 1.29\times 3 = 4.57\text{ V}$$

$$I_C = \alpha I_E = 0.99\times 1.29 = 1.28\text{ mA}$$

En Q1 hay que tener en cuenta que por R_{C1} no circula I_{C1} sino I_{C1}-I_{B2}

Las ecuaciones que se pueden escribir ahora son:

$$15V = 2k\Omega x I_{E2} + V_{EB} + V_{C1} \qquad V_{C1} = 15V - \left(I_{C1} - I_{B2}\right) x 5k\Omega$$

$$15V = 2k\Omega x I_{E2} + 0,7V + 15V - \left(I_{C1} - \frac{I_{E2}}{101}\right) x 5k\Omega$$

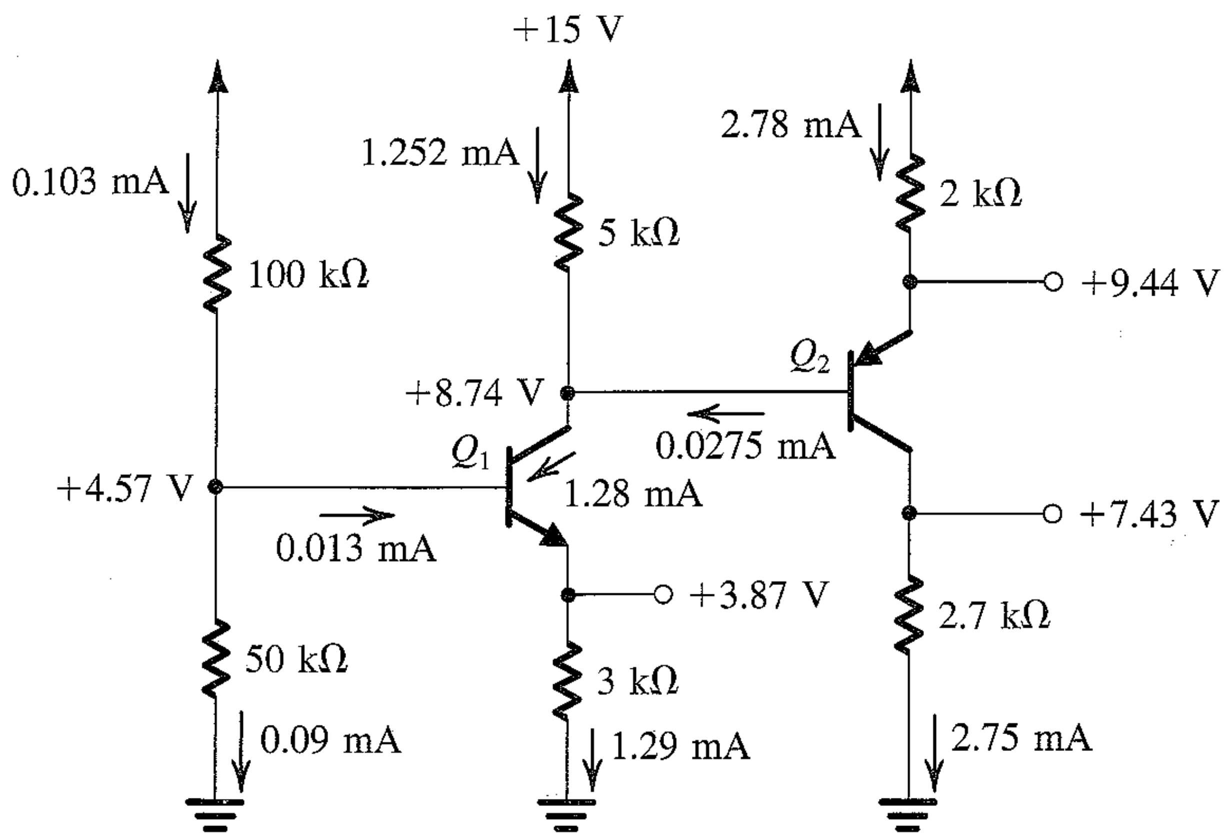
$$I_{E2}\left(2k\Omega - \frac{5k\Omega}{101}\right) = 1,28mAx5k\Omega - 0,7V = 5,7V \qquad I_{E2} = 2,78mA$$

$$I_{B2} = \frac{2,78mA}{101} = 0,0275mA \qquad I_{RC1} = I_{C1} - I_{B2} = 1,252mA$$

$$V_{C1} = 15V - 5k\Omega x 1,252mA = 8,74V \qquad V_{E2} = 8,74V + 0,7 = 9,44V$$

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = 100x0,0275 = 2,75mA \qquad V_{C2} = 2,7k\Omega x I_{C2} = 7,43V$$

En la gráfica están todos los voltajes y corrientes, incluyendo las corrientes que circulan por las resistencias del circuito de base del primer transistor.



b) Análisis de pequeña señal

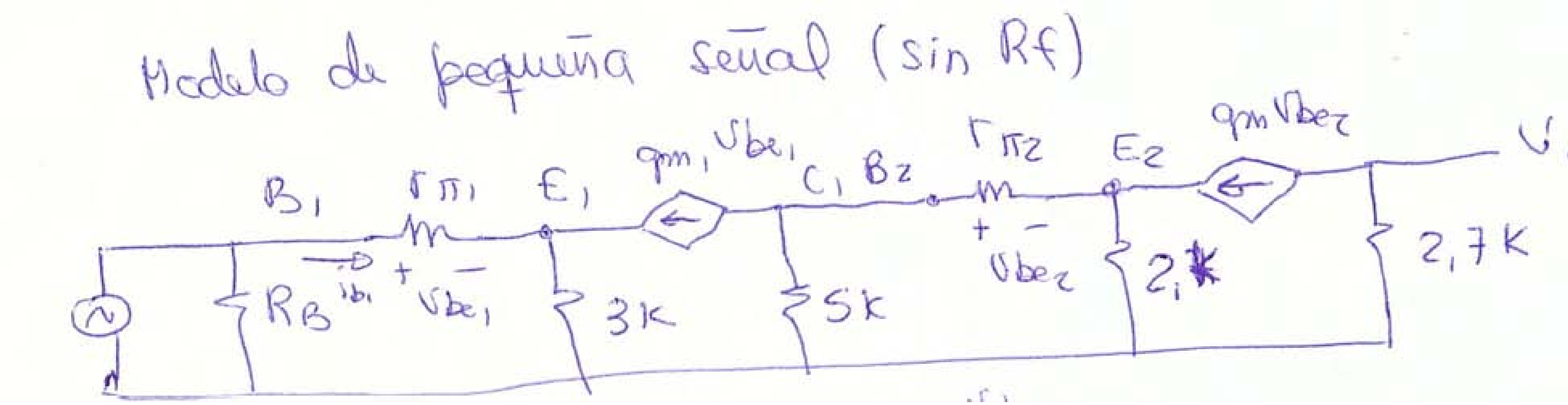
$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{1{,}28\,mA}{25\,mV} = 51{,}2\ \frac{mA}{V}$$

$$r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{51{,}2\,\frac{mA}{V}} = 1{,}95\ k\Omega$$

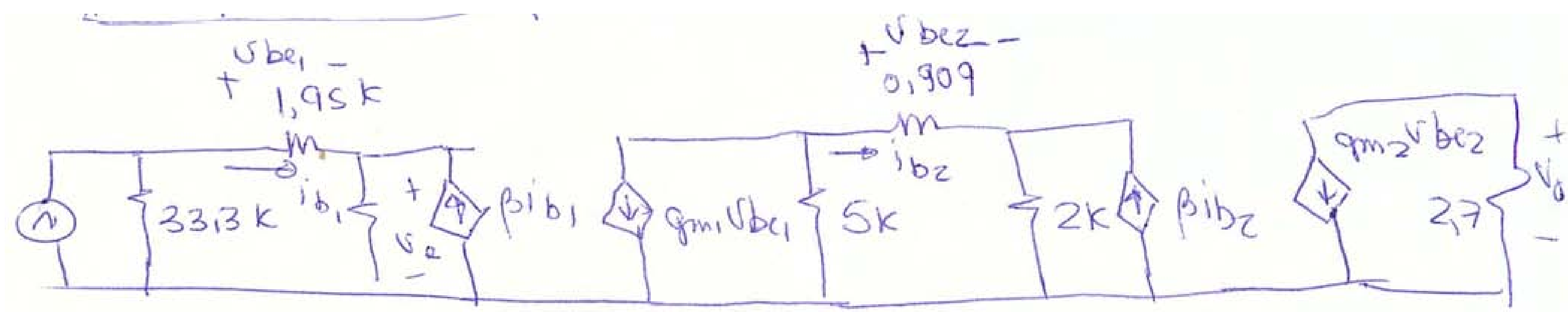
$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = \frac{2{,}753\,mA}{25\,mV} = 110\ \frac{mA}{V}$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_m} = 0{,}909\ k$$

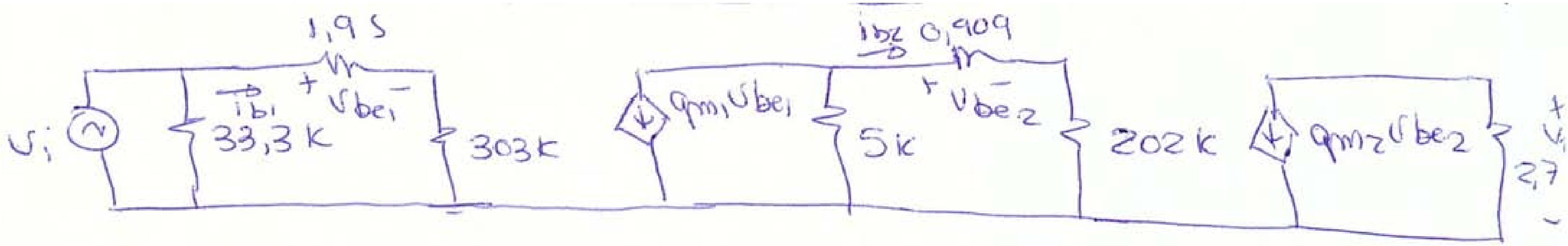
Análisis AC usando el modelo π



Reflejando las resistencias de emisor hacia las bases



Al calcular valores:



$$v_o = -g_{m2}\, 2{,}7\, v_{be2}$$

$$v_{be2} = 0{,}909\, i_{b2}$$

$$i_{b2} = \frac{5}{5+0{,}909+202}\left(-g_{m1} v_{be1}\right)$$

$$v_{be1} = 1{,}95\, i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_i}{1{,}95+303}$$

Resultados:

$$v_o = 2{,}7\,(110)\,0{,}909\,\frac{5}{5+0{,}909+200}\,(51{,}2)\,1{,}95\,\frac{v_i}{1{,}95+303} = 2{,}14\,v_i$$

$$\boxed{A_v = \frac{v_o}{v_i} = 2{,}14}$$

$$\boxed{R_i = 304{,}95\,K \,\|\, 33\,K = 29{,}7\,K}$$

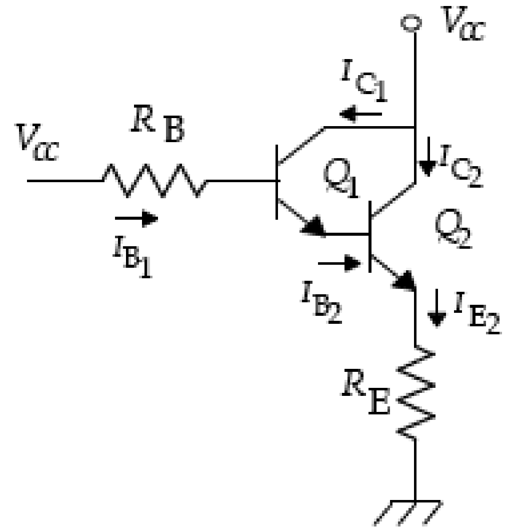
$$\boxed{R_o = 2{,}7\,K}$$

PAR DARLINGTON CON DOS BJT

* Está constituido por dos etapas seguidores de emisor.

* Alta impedancia de entrada

* Efecto multiplicativo sobre la corriente



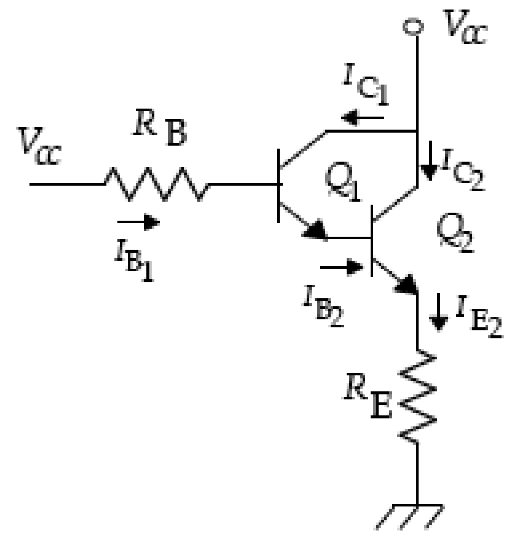
Análisis en DC

$$V_{CC} = I_{B_1} R_B + V_{BE_1} + V_{BE_2} + I_{E_2} R_E$$

$$I_{B_1} + I_{C_1} = I_{B_2} = (\beta_1 + 1)\, I_{B_1}$$

$$I_{E_2} = (\beta_2 + 1)\, I_{B_2} \qquad V_{BE_1} = V_{BE_2} = V_{BE}$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R_B + (\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1)\, R_{E_2}}$$



Cálculo de la corriente de colector total:

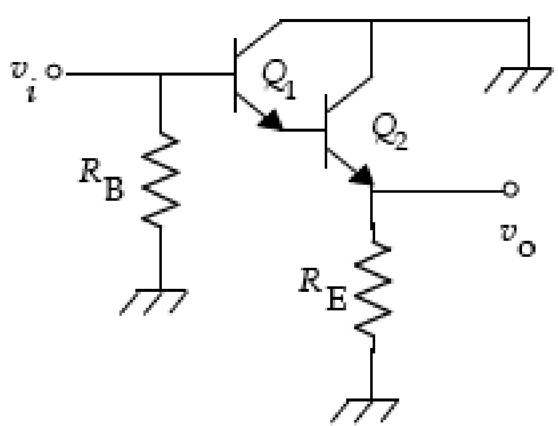
$I_{E2} = (\beta_2 + 1)\, I_{B2}$ $\quad$ $I_{B2} = \quad I_{E1} = (\beta_1 + 1)\, I_{B1}$

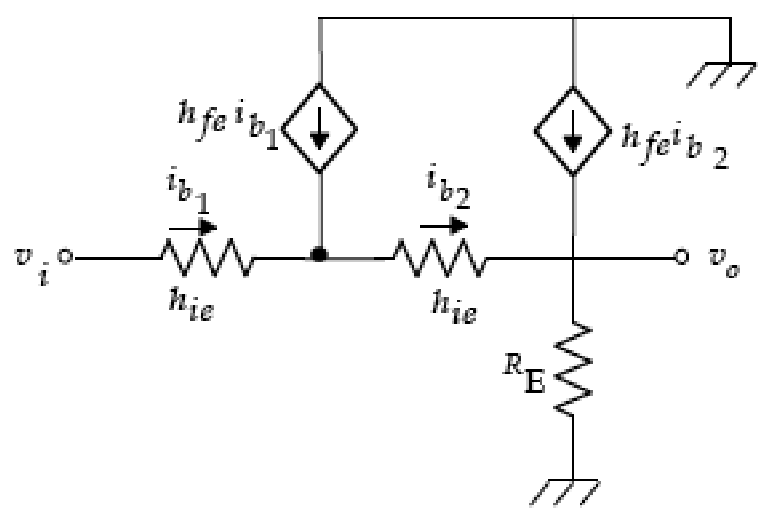
$$I_{E_2} = (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)\, I_{B_1}$$

$$I_{C_2} \frac{(\beta_2 + 1)}{\beta_2} = (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)\, I_{B_1} \qquad I_{C_2} = \beta_2 (\beta_1 + 1)\, I_{B_1}$$

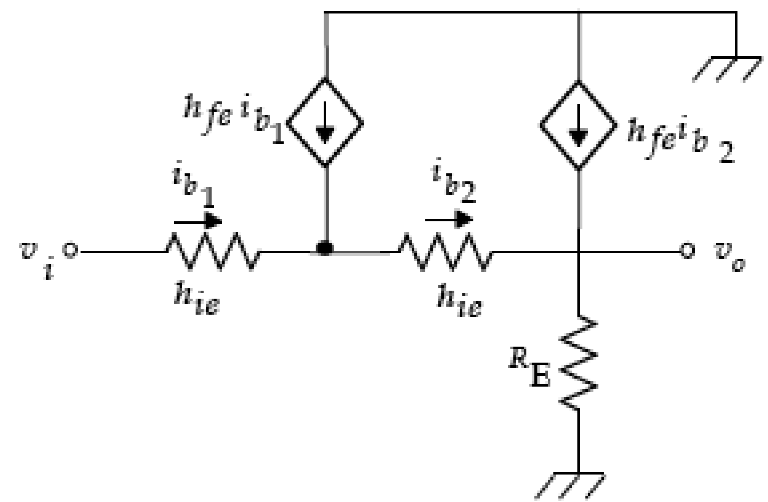
Este es el efecto multiplicativo de la corriente

Análisis AC con el modelo de parámetros híbridos





Cálculo de la ganancia de voltaje



$$v_i = i_{b_1} h_{ie1} + i_{b_2} h_{ie_2} + v_o$$

$$v_o = i_{b_2}\left(1 + h_{fe_2}\right) R_E$$

$$i_{b2} = \left(h_{fe_1} + 1\right) i_{b_1}$$

$$v_i = i_{b_1} h_{ie_1} + i_{b_1}\left(h_{fe_1} + 1\right) h_{ie_2} + v_o$$

$$v_o = i_{b_1}\left(h_{fe_1} + 1\right)\left(1 + h_{fe_2}\right) R_E$$

$$v_o = \left(\frac{v_i - v_o}{h_{ie_1} + \left(h_{fe_1} + 1\right) h_{ie_2}}\right)\left(h_{fe_1} + 1\right)\left(1 + h_{fe_2}\right) R_E$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{\left(h_{fe_1} + 1\right)\left(1 + h_{fe_2}\right) R_E}{h_{ie_1} + \left(h_{fe_1} + 1\right) h_{ie_2} + \left(h_{fe_1} + 1\right)\left(1 + h_{fe_2}\right) R_E}$$

Si $h_{fe_1}, h_{fe_2} >> 1$, se comporta como seguidor de emisor.

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E}{\frac{h_{ie1} + (h_{fe1}+1) h_{ie2}}{(h_{fe1}+1)(1+h_{fe2})} + R_E} \cong 1$$

Cálculo de la impedancia de entrada. De las ecuaciones:

$$v_i = i_{b_1} h_{ie_1} + i_{b_1}(h_{fe_1}+1)\,h_{ie_2} + v_o$$
$$v_o = i_{b_1}(h_{fe_1}+1)(1+h_{fe_2})\,R_E$$

$$v_i = i_{b_1}\left\{h_{ie_1} + (h_{fe_1}+1)\,h_{ie_2} + (h_{fe_1}+1)(1+h_{fe_2})\,R_E\right\}$$

$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_{b_1}} \qquad Z_{in} = h_{ie_1} + (h_{fe_1}+1)\left(h_{ie_2} + (1+h_{fe_2})\,R_E\right)$$

Tiene un valor elevado si $h_{fe_1}, h_{fe_2} >> 1$.

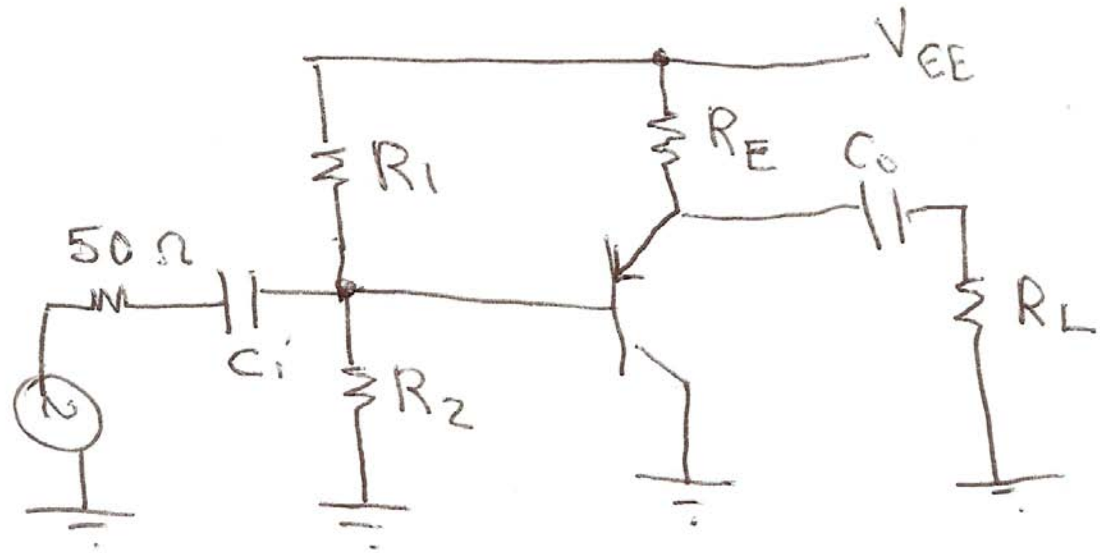
Cálculo de la ganancia de corriente

$i_o = i_{b_2}(1+h_{fe_2})$ e $i_{b_2} = i_{b_1}(1+h_{fe_1})$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_{b_2}(1+h_{fe_2})}{i_{b_1}} = \frac{i_{b_1}(1+h_{fe_1})(1+h_{fe_2})}{i_{b_1}}$$

$$A_i = (1+h_{fe_1})(1+h_{fe_2})$$

DISEÑO DE UN AMPLIFICADOR COLECTOR COMÚN CON PNP

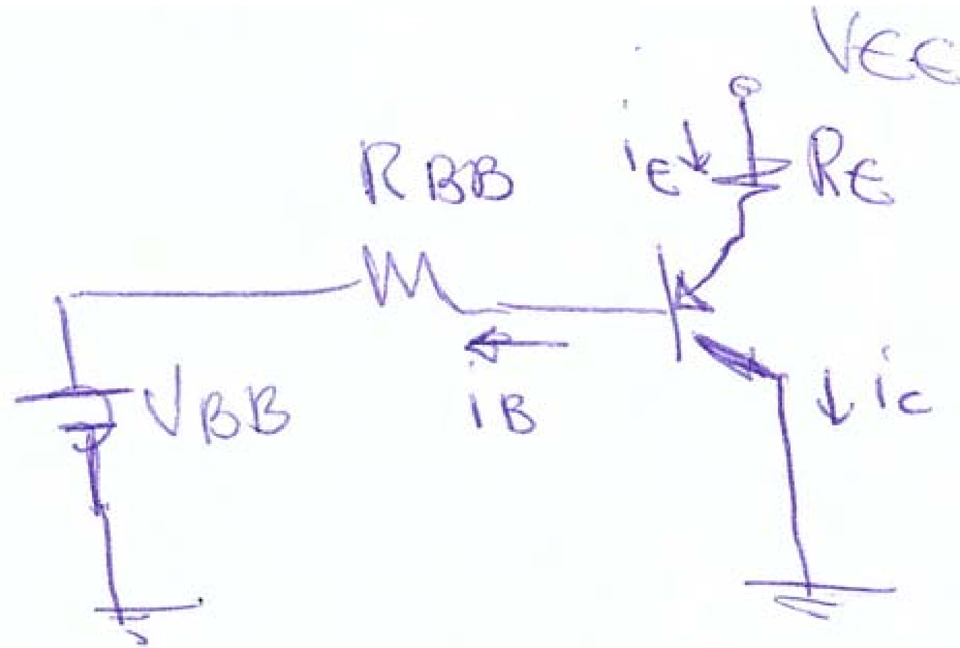


Diseñar un amplificador con la configuración dada, de forma que la ganancia sea igual o mayor que 0,9, la resistencia de entrada sea mayor que 3kΩ y presente una excursión del voltaje de salida de hasta 4 V con RL = 1 KΩ. Considere VBE = 0,7 V y β =100.

*** Polarización**

$$R_{BB} = R_1 \parallel R_2$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{EE}$$



$$V_{EE} = R_E i_E + R_{BB} i_B + V_{EB} + V_{BB}$$

$$i_E = (\beta+1) i_B$$

$$i_B = \frac{V_{EE} - V_{BB} - V_{EB}}{R_E(\beta+1) + R_{BB}}$$

Si se cumple

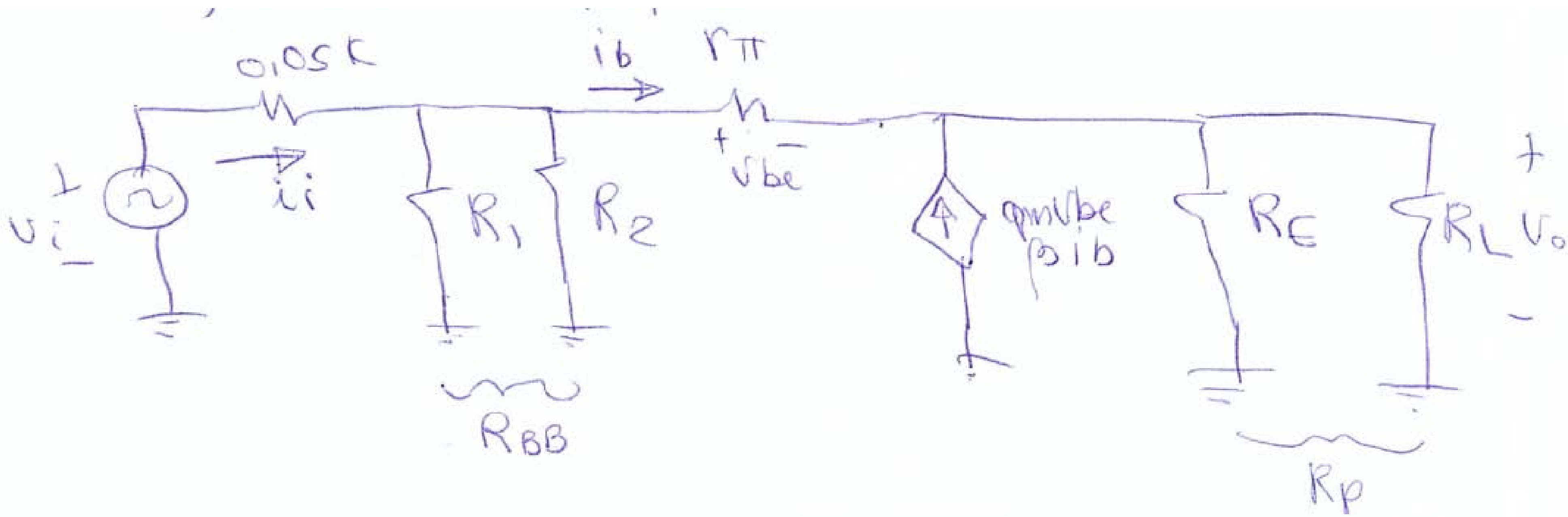
$$R_E(\beta+1) \gg R_{BB} = R_1 \parallel R_2$$

entonces

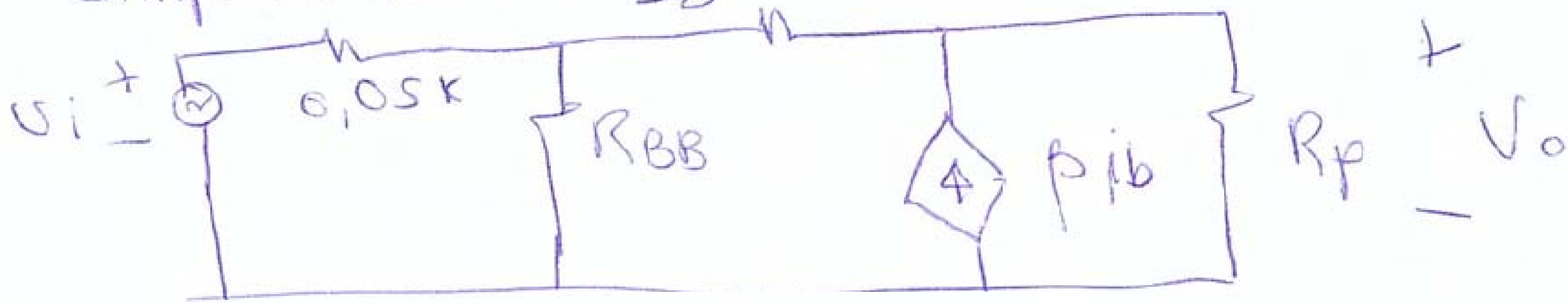
$$\boxed{i_E = (\beta+1)\, i_B \simeq \frac{V_{EE} - V_{BB} - V_{EB}}{R_E}}$$

$$\boxed{V_{EC} = V_{EE} - i_E R_C}$$

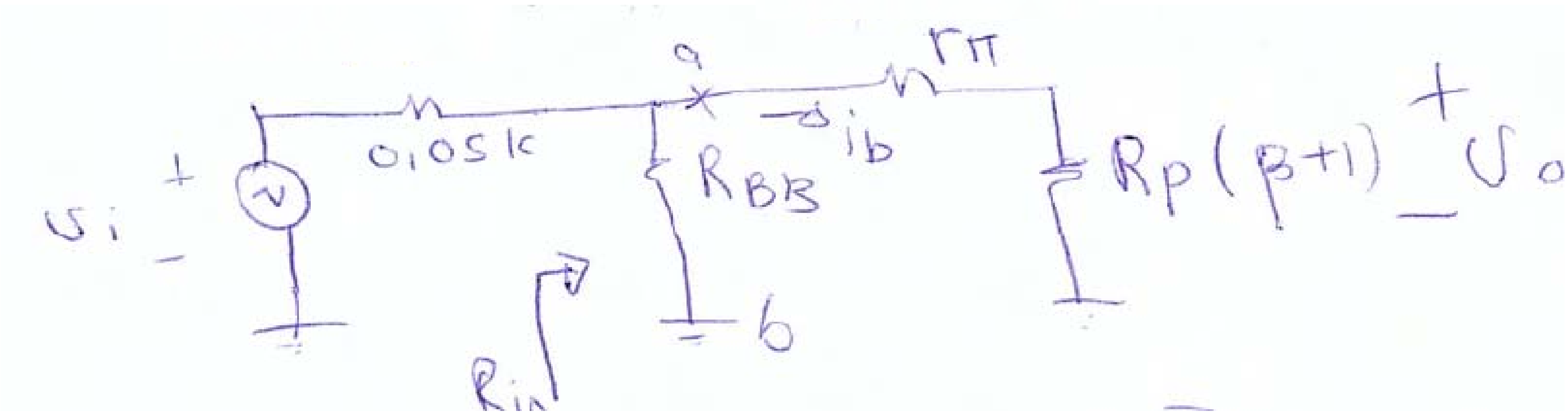
* Modelo de pequeña señal



Simplificando :



Reflejando hacia la base

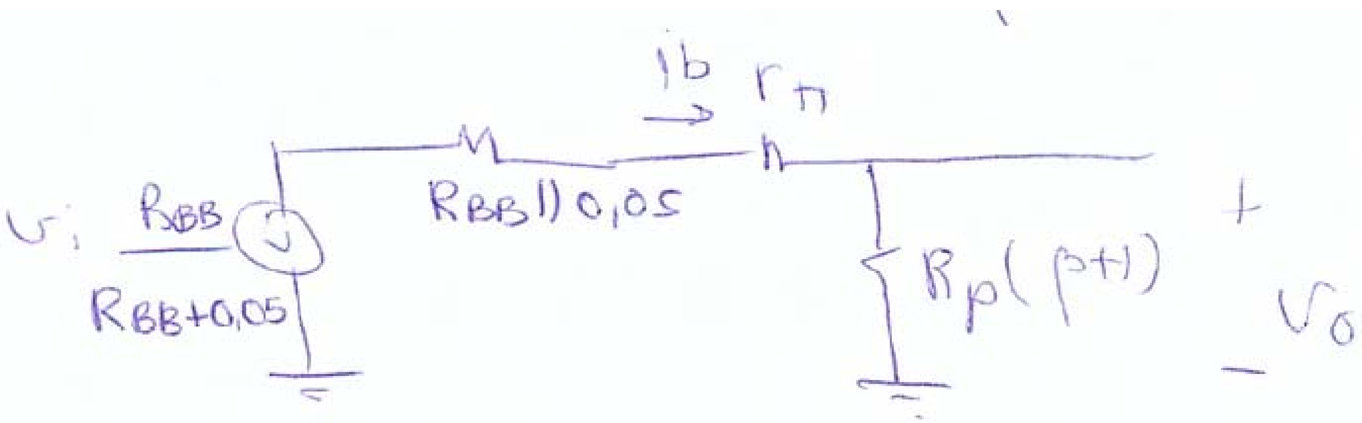


Condición

$$R_{in} = (R_{BB}) \,||\, (r_\pi + R_p(\beta+1)] =$$

$$= (R_1||R_2) \,||\, [r_\pi + (R_L||R_E)(\beta+1)] > 3\,k\Omega$$

Thevenin entre a y b:



$$i_b = \frac{\dfrac{v_i R_{BB}}{R_{BB}+0{,}05}}{(R_{BB}\|0{,}05) + r_\pi + R_p(\beta+1)}$$

$$v_o = R_p(\beta+1)\, i_b = \frac{R_p R_{BB} (\beta+1)\, v_i}{(R_{BB}+0{,}05)\left[R_{BB}\|0{,}05 + r_\pi + R_p(\beta+1)\right]}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(\beta+1)(R_E\|R_L)\, R_{BB}}{(R_{BB}+0{,}05)\left[(R_{BB}\|0{,}05) + r_\pi + R_p(\beta+1)\right]}$$

Si $R_{BB} >> 0{,}05 k\Omega$

$$A_v \simeq \frac{(\beta+1)(R_E \| R_L)}{[0{,}05 + r_\pi + (R_E \| R_L)(\beta+1)]} \geq 0{,}9$$

Haciendo $R_m = 0{,}05 + r_\pi$ y $R_n = (R_E // R_L)(\beta + 1)$

$$A_v = \frac{R_n}{R_m + R_n} \geq 0{,}9$$

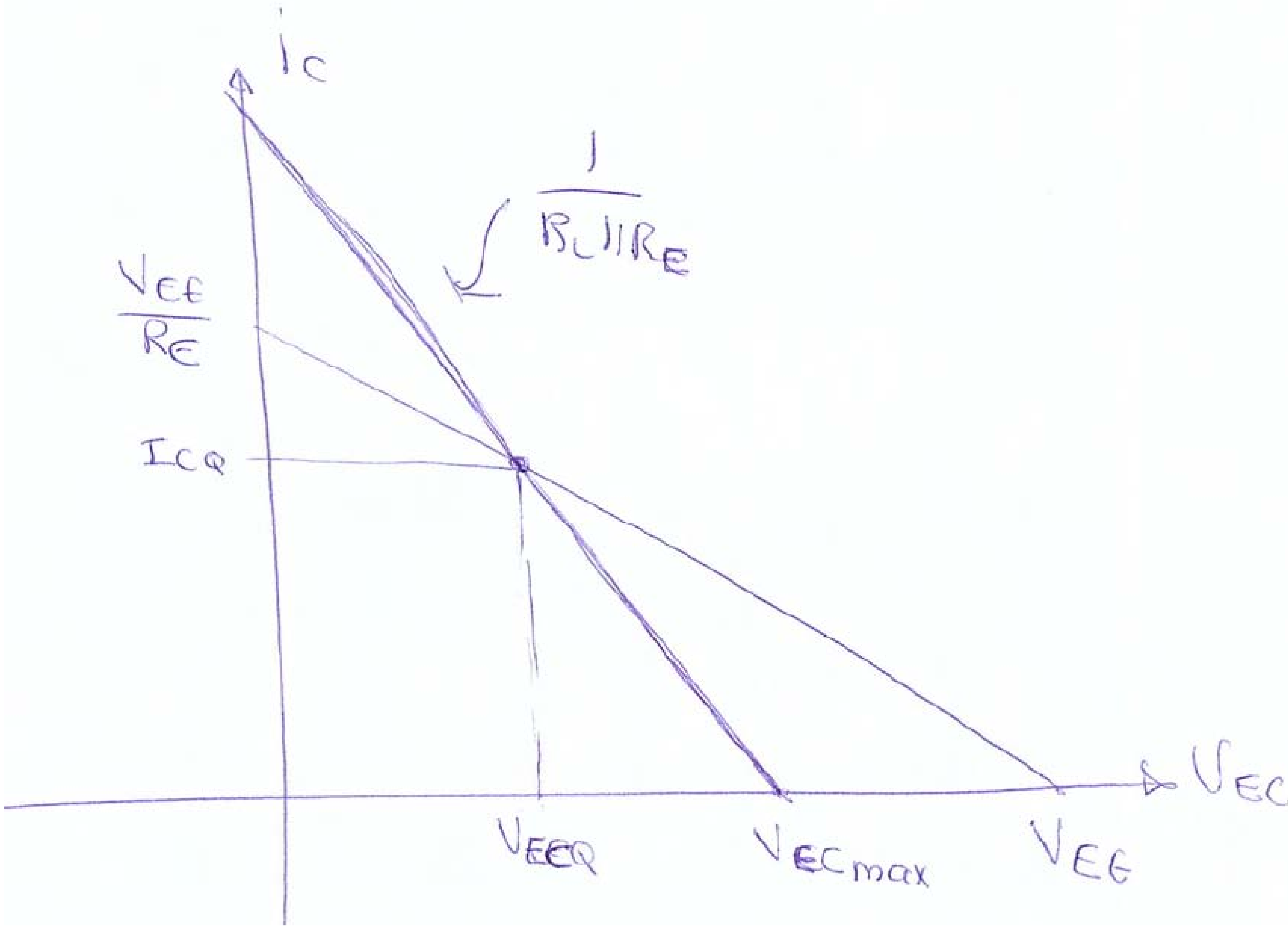
$$R_n \geq 0{,}9 R_m + 0{,}9 R_n$$

$$0{,}1 R_n \geq 0{,}9 R_m$$

$$R_n \geq 9 R_m$$

$$\boxed{(R_E \| R_L)(\beta+1) \geq 9[0{,}05 + r_\pi]}$$

* **Variación del voltaje de salida**



Ecuaciones para la excursión del voltaje de salida

$$\underline{V_{ECmax} - V_{ECQ}} > 4\,V$$

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{EC}} = \frac{1}{R_L \| R_E}$$

$$\Delta V_{EC} = V_{ECmax} - V_{ECQ} = \frac{\Delta I_C}{\frac{1}{R_L \| R_E}} = \Delta I_C (R_L \| R_E)$$

$$\Delta V_{EC} = I_{CQ} (R_L \| R_E)$$

*** Asignación de valores**

Dado que $R_L = 1k\Omega$ se comienza con $R_E = 1k\Omega$ $\quad$ $R_L // R_E = 0{,}5k\Omega$

$$\Delta V_{EC} > 4V \quad \text{Tomemos} \quad \Delta V_{EC} = 6V$$

$$I_{CQ} = \frac{\Delta V_{EC}}{R_L \| R_E} = \frac{6V}{0{,}5k} = 12\,mA$$

Haciendo $I_E \approx I_C$ y sustituyendo valores en la ecuación de I_E

$$V_{ECQ} = 20V - 12mA \times 1k = 8V$$

*** Cálculo de las resistencias considerando $I_C \approx I_E$**

$$I_E \simeq \frac{V_{EE} - V_{BB} - V_{EB}}{R_E}$$

$$V_{BB} = V_{EE} - V_{EB} - I_E R_E = 20V - 0{,}7V - 12V =$$
$$= 7{,}3V$$

Para que haya estabilidad debe cumplirse que:

$$R_E(\beta+1) \gg R_1 // R_2$$
$$R_E(\beta+1) = 101\,k \gg R_1 // R_2$$

Se selecciona R1//R2 = 5kΩ (R_{in}> 3kΩ)

Se resuelve el sistema de ecuaciones

$$\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = 5k \qquad R_1 = \frac{20V}{7,3k} \times 5k = 13,69\ k$$

$$\frac{R_2\, 20V}{R_1+R_2} = 7,3V \qquad R_2 = 7,87\ k$$

Se seleccionan valores comerciales

$$R_1 = 15\,k\Omega \qquad R_1 \parallel R_2 = 5,3\ k$$

$$R_2 = 8,2\,k$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1+R_2} 20V = 7,06\,V$$

El punto de operación queda:

$$i_E = \frac{20 - 7{,}06 - 0{,}7}{1K} = 12{,}23\,mA \qquad I_C = 12{,}1\ mA.$$

Variación de voltaje

$$\Delta V_{EC} = 12{,}1mA * 0{,}5K = 6{,}05\ V$$

*** Parámetros para análisis AC**

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{12\,mA}{25\,mV} = 480\,\frac{mA}{V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{480\,\frac{mA}{V}} = 0{,}21\,\frac{V}{mA} = 210\,\Omega$$

$$A_v \simeq \frac{(\beta+1)(R_E \| R_L)}{\left[R_{BBS} + r_\pi + (R_E \| R_L)(\beta+1)\right]}$$

$$R_{in} = (R_{BB}) \,\|\, \left(r_\pi + R_p(\beta+1)\right] =$$
$$= (R_1 \| R_2) \,\|\, \left[r_\pi + (R_L \| R_E)(\beta+1)\right]$$

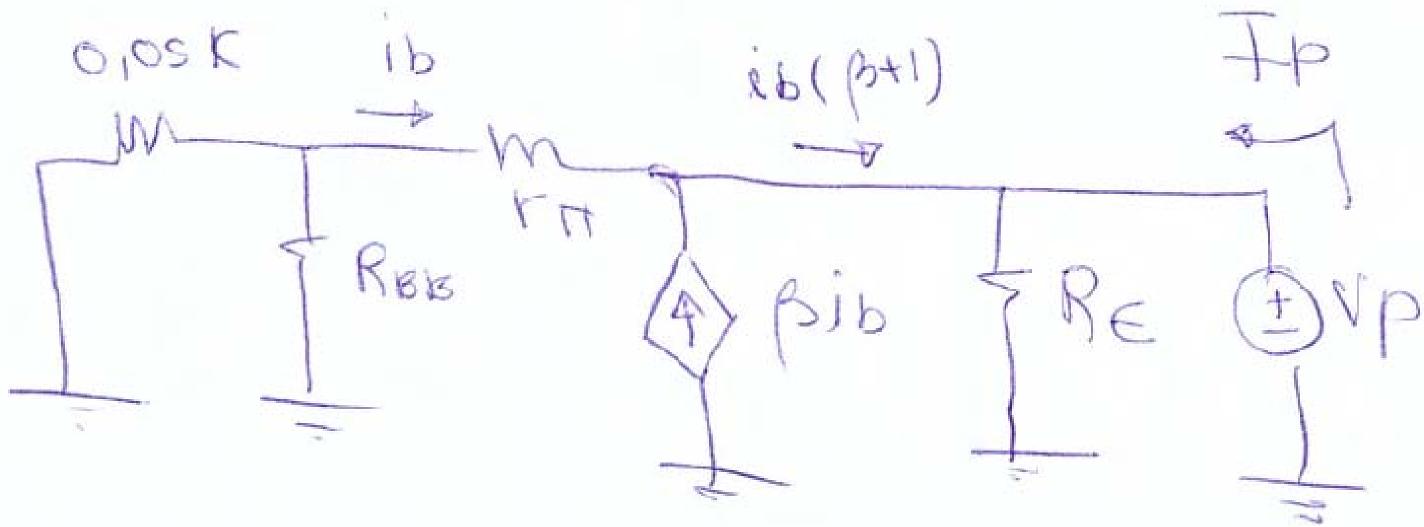
Sustituyendo en las ecuaciones

$$A_v = \frac{(101)(0{,}5k)}{(0{,}05 + 0{,}21) + 0{,}5(101)} = 0{,}9948$$

$$R_i = (R_1 \| R_2) \| [0{,}21 + 0{,}5(101)] = 4{,}79\,k$$

Se cumplen las condiciones pedidas

* Cálculo de Ro



$$V_p = R_E\left[I_p + i_b(\beta+1)\right]$$

$$V_p = (r_\pi + R_{BB} \parallel 0{,}05k)\ i_b \simeq (r_\pi + 0{,}05)\ i_b$$

$$i_b = \frac{V_p}{r_\pi + 0{,}05}$$

$$\frac{V_p}{R_E} = I_p + \frac{V_p}{r_\pi + 0{,}05}(\beta+1)$$

$$V_p\left[\frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{r_\pi + 0{,}05}{(\beta+1)}}\right] = I_p$$

$$R_o = \frac{V_p}{I_p} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{r_\pi + 0{,}05}{\beta+1}}} = R_E \parallel \frac{(r_\pi + 0{,}05)}{(\beta+1)}$$

$$R_o \simeq 2{,}6\,\Omega$$

*** Cálculo del valor de los condensadores**

Hay que calcular el valor de los condensadores para que sus impedancias sean mucho menores que las resistencias asociadas con ellos en el rango de frecuencias medias. Se va a considerar que se desea que la condición se cumpla a partir de 500 Hz.

Ci en serie con Rin = 4,79kΩ

Se escoge que la impedancia sea 100 veces menor que el valor de la resistencia a 500Hz.

$$\frac{1}{\omega C_i} = 48\,\Omega$$

Resulta Ci = 6,63 µF. Se escoge 10µF

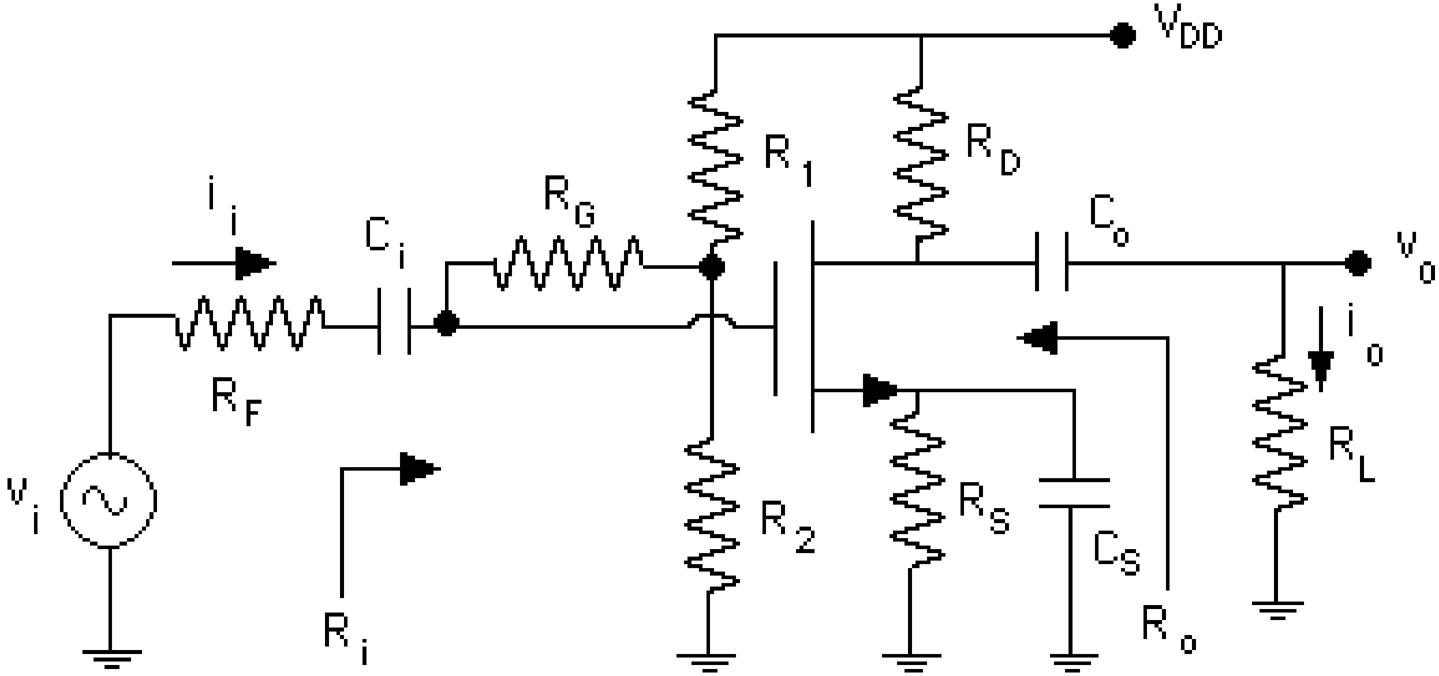
Co en serie con RL = 1kΩ

$$\frac{1}{\omega C_o} = 10\,\Omega$$

Resulta Co=31,83µF. Se escoge 47µF

Otra posibilidad es colocar los dos condensadores de 100 µF.

DISEÑO DE UN AMPLIFICADOR SOURCE COMÚN CON MOSFET



VN10K

Vthmin= 0,8V

Vthmax= 2,5V

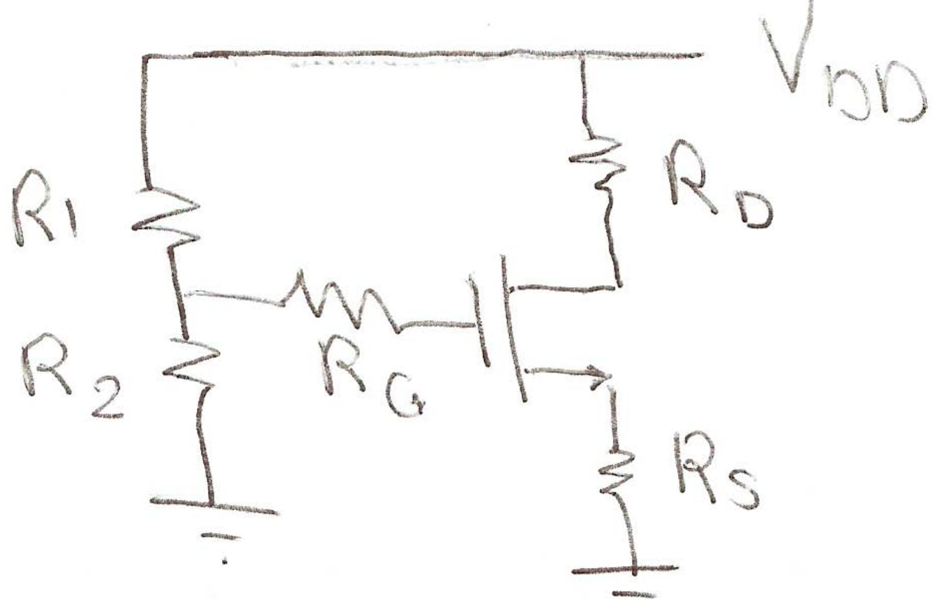
G_{FS}=100mmhos a 500 mA = 100 mA/V

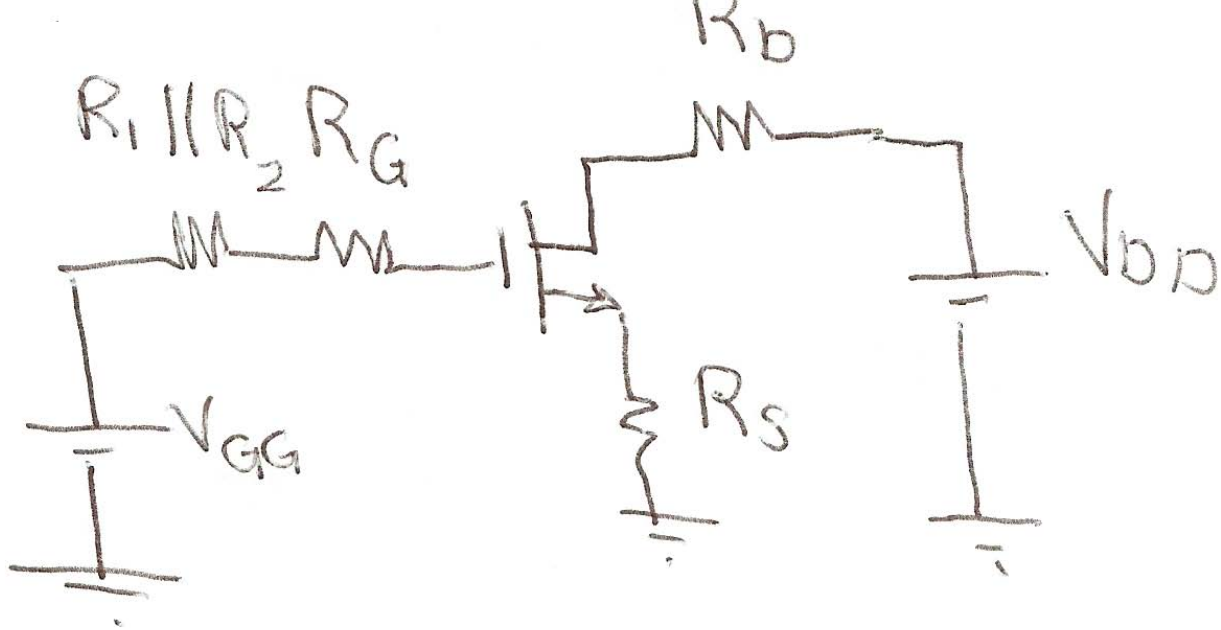
Se quiere un ΔV_{pp}=6V

Corriente I_D del orden de los mA

R_L = 10 kΩ

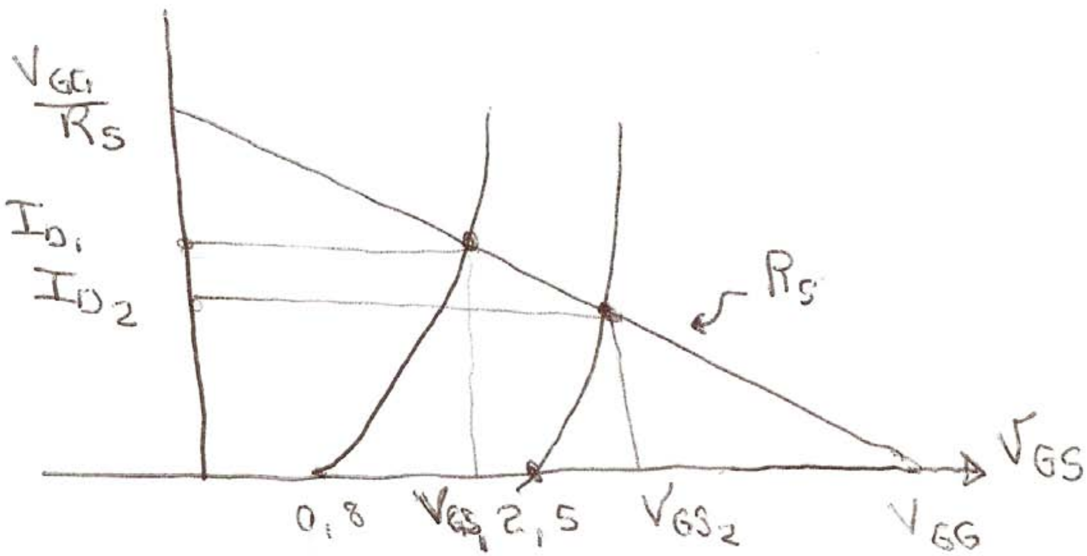
*** Polarización**





*** Características de transferencia**

Hay que diseñar para el mayor rango de valores de V_{GS}



En la gráfica está el valor mínimo y el valor máximo de V_{GS} con sus correspondientes I_{D1} e I_{D2}.

Se va a calcular Rs de forma que corte los dos posibles puntos.

La corriente I_D en saturación se quiere expresar como:

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \qquad K = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L}$$

Para poder calcular K hay que recurrir a la definición de g_m, ya que el fabricante solo ofrece un parámetro de transconductancia en DC identificado en las especificaciones como G_{FS}.

Se tiene:

$$g_m \equiv \frac{i_d}{v_{gs}} = k_n' \frac{W}{L}(V_{GS} - V_t)$$

Otras expresiones para g_m

$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \qquad V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{2 I_D}{k_n' (W/L)}}$$

Sustituyendo en la expresión de g_m

$$g_m = k_n' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2 I_D}{k_n' (W/L)}} = \sqrt{2 k_n' \frac{W}{L} I_D}$$

Ahora bien:

$$g_m = \sqrt{2 k_n' \frac{W}{L} I_D} \qquad K = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L}$$

$$k_n' \frac{W}{L} = 2K \qquad g_m = 2\sqrt{K I_D}$$

Entonces, para los parámetros DC:

$$g_m = 2\sqrt{K I_D}$$

$$100\,\frac{mA}{V} = 2\sqrt{K \times 500\,mA}$$

$$10000\,\frac{mA^2}{V^2} = 4\,K\,500 = 2000\,K\,mA$$

$$\frac{10000}{2000}\,\frac{mA^2}{V^2\,mA} = K = 5\,\frac{mA}{V^2}$$

El parámetro K calculado es el único valor que hay que colocar en la ecuación de la corriente I_D, considerando saturación.

Se asigna I_{D1} = 1,6 mA e I_{D2} = 1 mA

Entonces

$\underline{V_{GS_1}}$: $1{,}6\,mA = K(V_{GS_1} - 0{,}8)^2 = 5\,\frac{mA}{V^2}(V_{GS_1} - 0{,}8)^2$

$0{,}32\,V^2 = (V_{GS_1} - 0{,}8)^2$

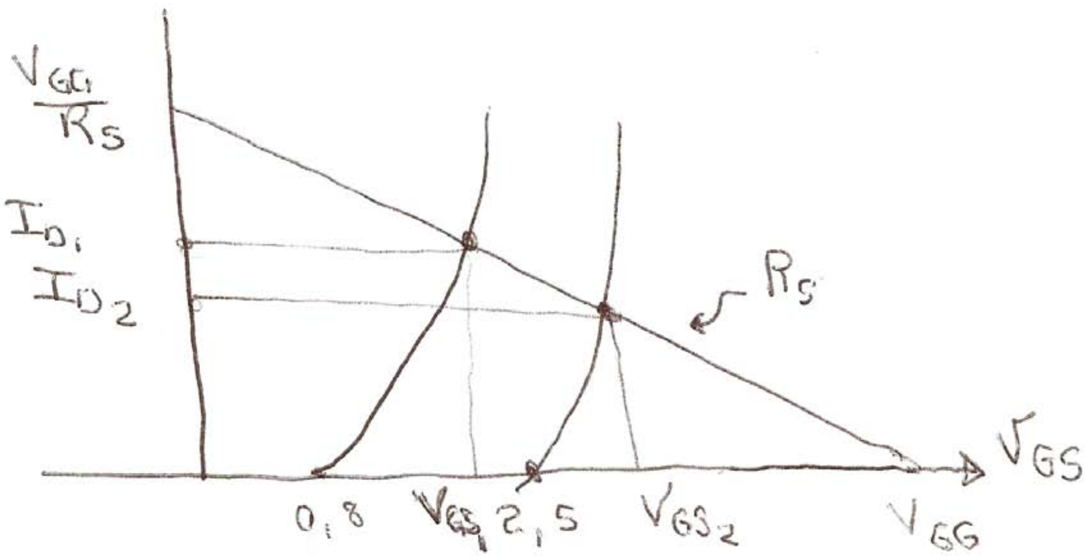
$0{,}5656\,V = V_{GS_1} - 0{,}8 \Rightarrow \boxed{V_{GS_1} = 1{,}37\,V}$

$\underline{V_{GS2}}$ $1\,mA = K(V_{GS_2} - 2{,}5)^2 = 5\,\frac{mA}{V^2}(V_{GS_2} - 2{,}5)^2$

$0{,}2\,V^2 = (V_{GS_2} - 2{,}5)^2$

$0{,}447 = V_{GS_2} - 2{,}5 \Rightarrow \boxed{V_{GS_2} = 2{,}95\,V}$

En las características de transferencia



I_{D1} = 1,6 mA

V_{GS1} = 1,37 V

I_{D2} = 1 mA

V_{GS2} = 2,95V

Se calcula R_S

$$R_S = \frac{(2,95 - 1,37)\,V}{(1,6 - 1)\,mA} = 2,633\,K$$

Se escoge R_S = 2,7 kΩ

En el último triángulo

$$\frac{V_{GG} - 2{,}95}{1mA} = R_S$$

$$V_{GG} = 1mA \times R_S + 2{,}95 = 5{,}65V$$

$$V_{GG} = 5{,}65 mA$$

Pto. corte eje Y

$$i_{D\,sup} = \frac{V_{GG}}{2{,}7k} = 2{,}09\ mA$$

Circuito de Drain:

$$V_{DD} = (R_S + R_D)\, i_D + V_{DS}$$

Se quiere una excursión pico a pico de 6V.

Se escoge un voltaje de V_{DS} de 7 V para la corriente de 1,6 mA.

Se calcula R_D:

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{i_D} - R_S = \frac{20-7}{1{,}6} - 2{,}7 = 5{,}425\ k$$

Se escoge $R_D = 5,1\ k\Omega$

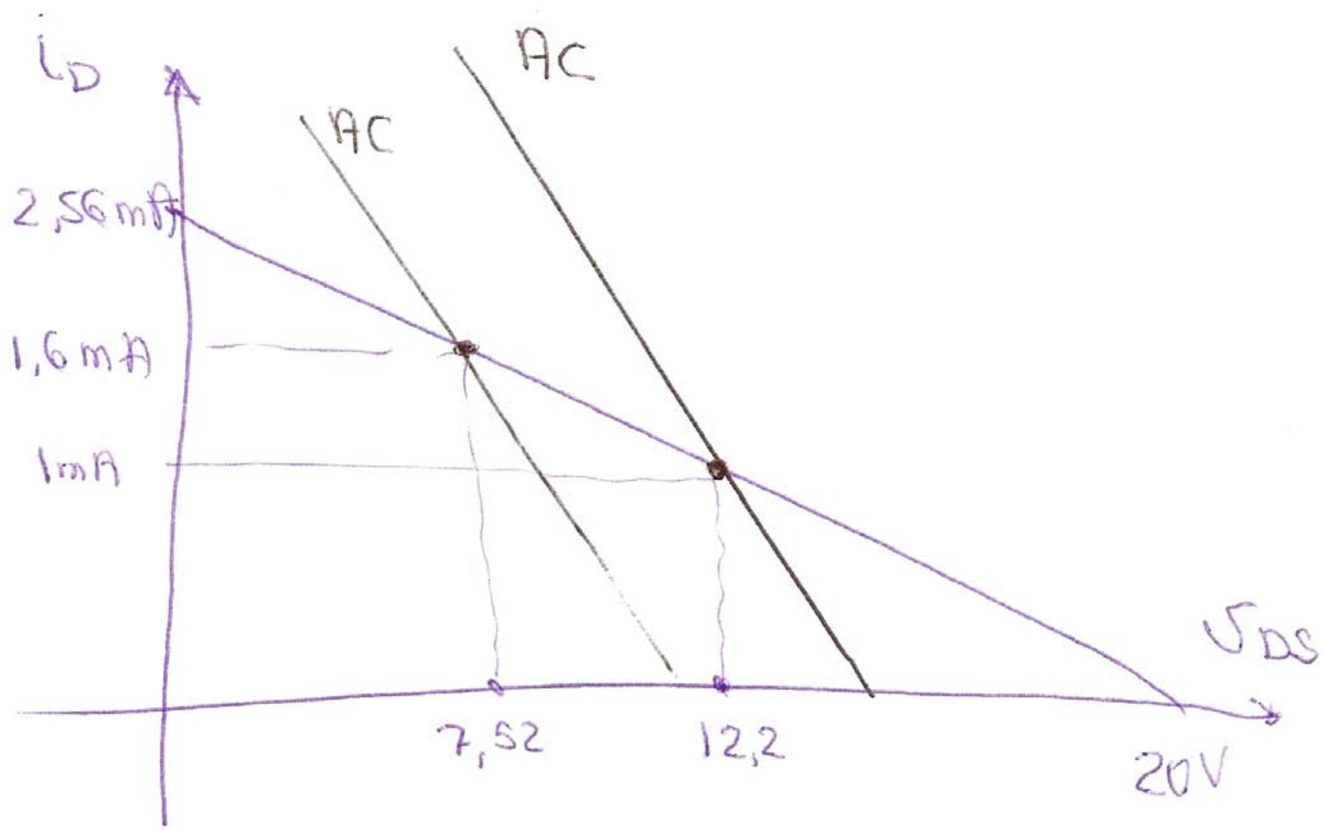
$$I_{D\,max} = \frac{20V}{(5{,}1 + 2{,}7)\,k\Omega} = 2{,}56\ mA$$

Características de salida

Se calcula el valor de la resistencia que define la pendiente de la recta de carga AC: R_D // R_L = 5,1kΩ//10kΩ = 3,38 kΩ

Si I_D = 1 mA V_{DS} = 20 V − 7,5 K × 1mA = 12,2 V

Si I_D = 1,6 mA V_{DS} = 20 V − 7,5 kΩ × 1,6 mA = 7.52 V



Excursión del voltaje de salida.

Se quiere ΔV_{pp}=6V

en 1mA : $\Delta V = 3{,}38k \times 1mA = 3{,}38V$

en 1,6mA : $\Delta V = 3{,}38k \times 1{,}6mA = 5{,}4V$.

Es posible que para 1 mA no exista la excursión requerida

Si se quiere mejorar el diseño hay que volver a asignar valores desde el principio.

Cálculo de las resistencias de polarización

Se tiene que VGG = 5,65 V. Entonces

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} \times 20V = 5{,}65V.$$

$$20 R_2 = 5{,}65 R_1 + 5{,}65 R_2$$

$$(20 - 5{,}65) R_2 = 5{,}65 R_1$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{5{,}65}{20 - 5{,}65} = 0{,}39$$

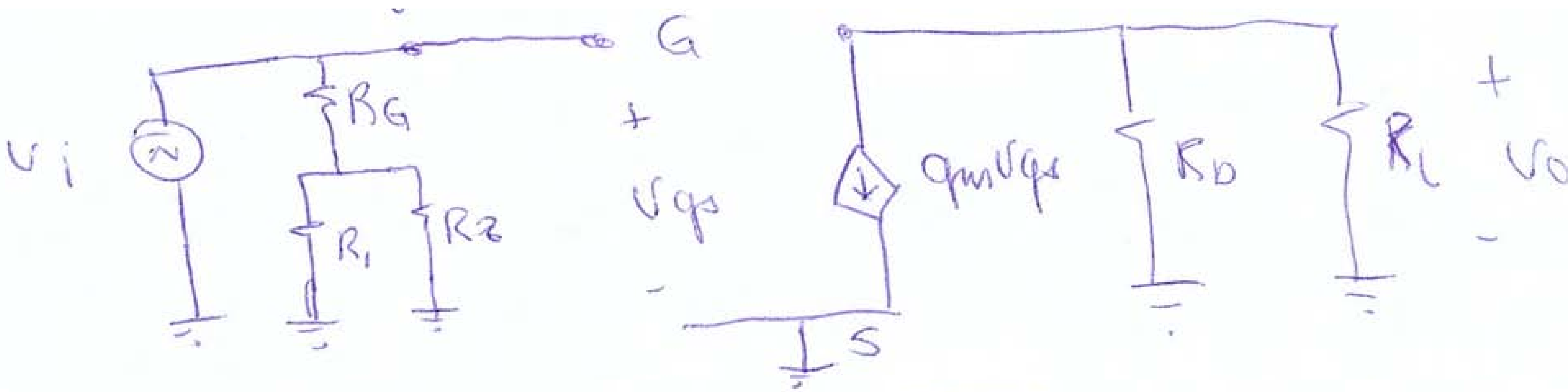
$$R_2 = 0{,}39 R_1$$

Se escoge

R1 = 10kΩ

R2 = 3,9kΩ

Análisis AC



$$g_m = 2\sqrt{K I_D} = 2\sqrt{5 \times 1} = 4{,}47\ \frac{mA}{V}$$

$$v_o = -g_m v_{gs} (R_D \| R_L)$$

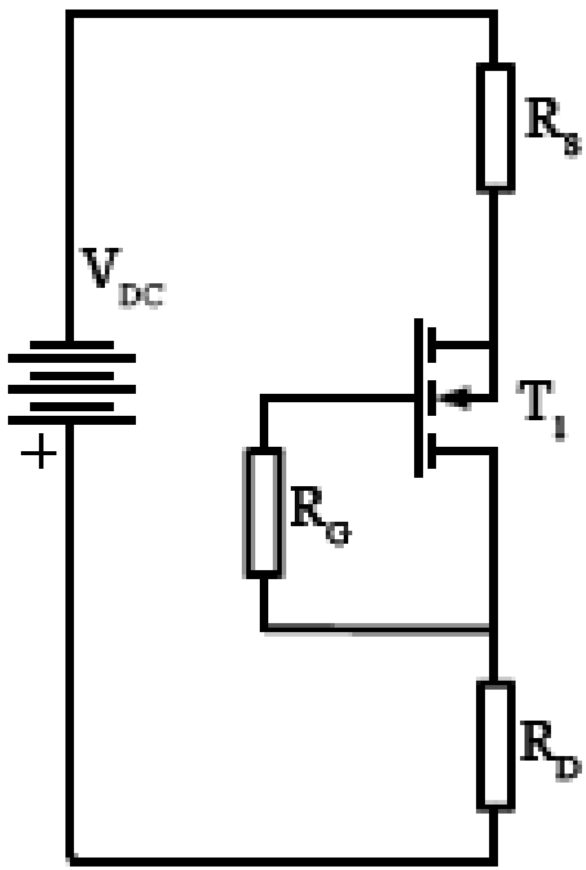
$$v_{gs} = v_i$$

$$v_o = -g_m (R_D \| R_S)\, v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -4{,}47 \frac{mA}{V} \times 3{,}38\,k\Omega = -15{,}1$$

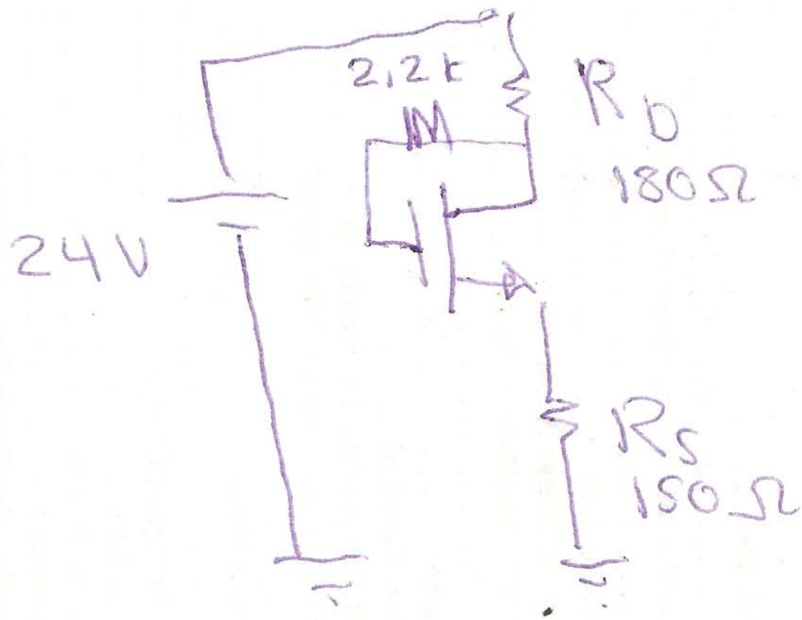
PROBLEMA 1

Para el circuito mostrado, calcule I_D y V_{DS}.



$|Vth| = 3{,}4V$

$k = 20mA/V^2$



$V_t = 3{,}4V$

$K = 20 \frac{mA}{V^2}$

$I_D = 20(V_{GS} - V_t)^2$

$V_{GS} = V_{DS}$

$$24 = (0{,}18 + 0{,}15)\, I_D + V_{DS}$$

$$V_{GS} = V_{DS} = 24 - 0{,}33\, I_D$$

$$I_D = 20(24 - 0{,}33\, I_D - 3{,}4)^2$$

$$I_D = 20(20{,}6 - 0{,}33\, I_D)^2$$

$$I_D = 20(424{,}36 - 13{,}596\, I_D + 0{,}1089\, I_D^2)$$

$$0{,}05\, I_D = 424{,}36 - 13{,}596\, I_D + 0{,}1089\, I_D^2$$

$$0 = 424{,}36 - 13{,}646\, I_D + 0{,}1089\, I_D^2$$

$$I_D = \frac{13{,}646 \pm \sqrt{186{,}213 - 184{,}85}}{2 \times 0{,}1089} \begin{array}{l} \nearrow 57{,}29\ \text{mA} \\ \searrow 68{,}01\ \text{mA} \end{array}$$

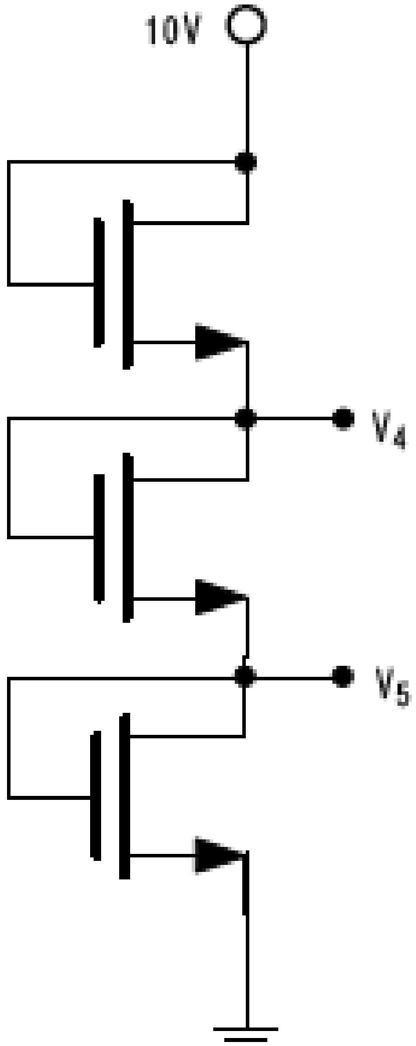
$$V_{GS} = 24 - 0{,}33 I_D$$

$$V_{GS_1} = 24 - 22{,}4 = 1{,}55 \quad \text{No}$$

$$V_{GS_2} = 24 - 18{,}9 = 5{,}1 \quad \text{Si}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} I_D = 57{,}29\ mA \\ V_{DS} = V_{GS} = 5{,}1\ V \end{array}}$$

PROBLEMA 2



Vth = 1V

K = 0,5 mA/V^2

Hallar V_4 y V_5

$I_{D1} = I_{D2} = I_{D3}$

$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS3}$

$V_{DS1} = V_{GS1}$

$V_{DS2} = V_{GS2}$

$V_{DS3} = V_{GS3}$

$10\,V = V_{DS1} + V_{DS2} + V_{DS3}$

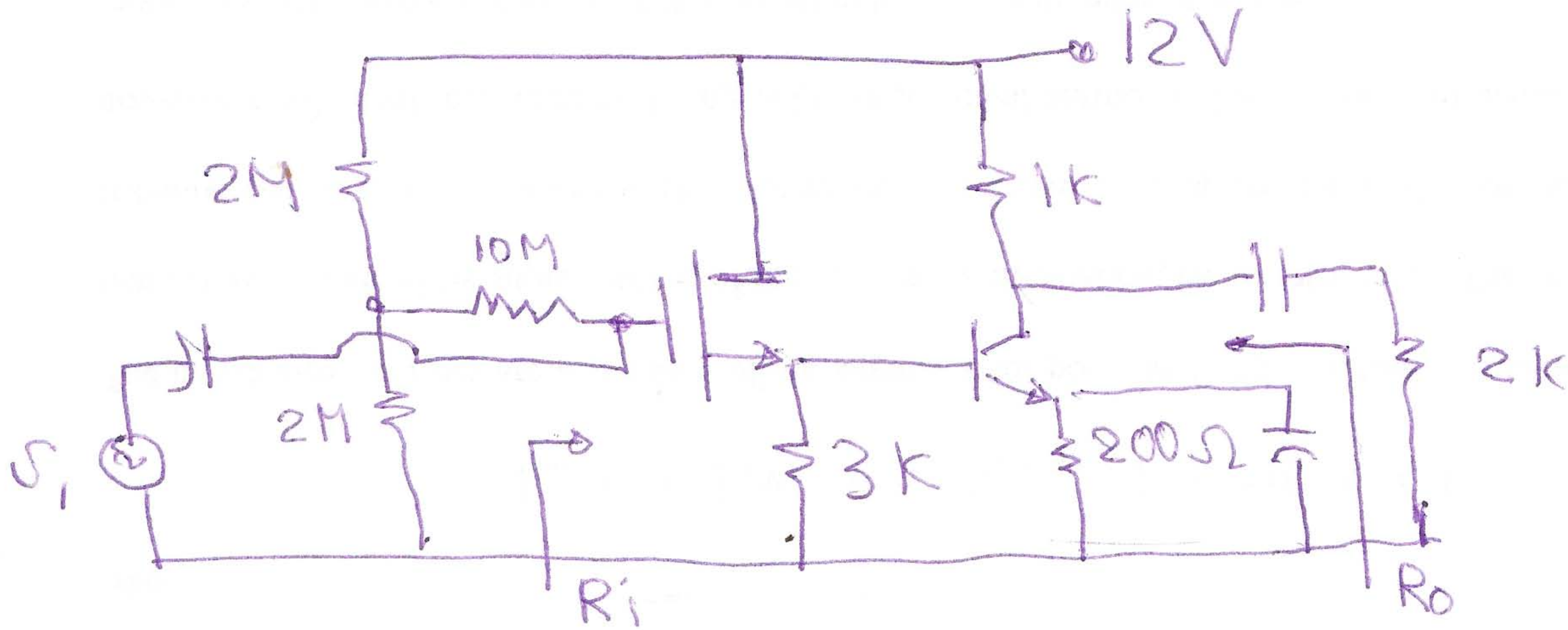
$10\,V = 3\,V_{DS1}$

$V_{DS1} = \frac{10}{3} = 3{,}33\,V$

$V_4 = (10 - 3{,}33)\,V = 6{,}67\,V$

$V_5 = (10\,V - 2 \times 3{,}33\,V) = 3{,}34\,V$

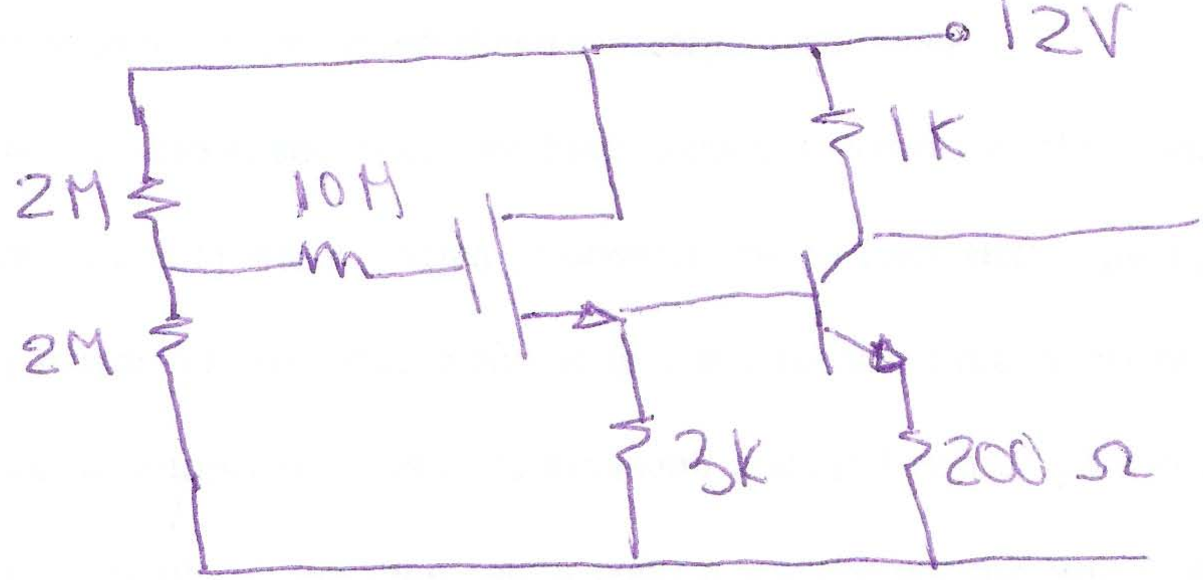
PROBLEMA 3

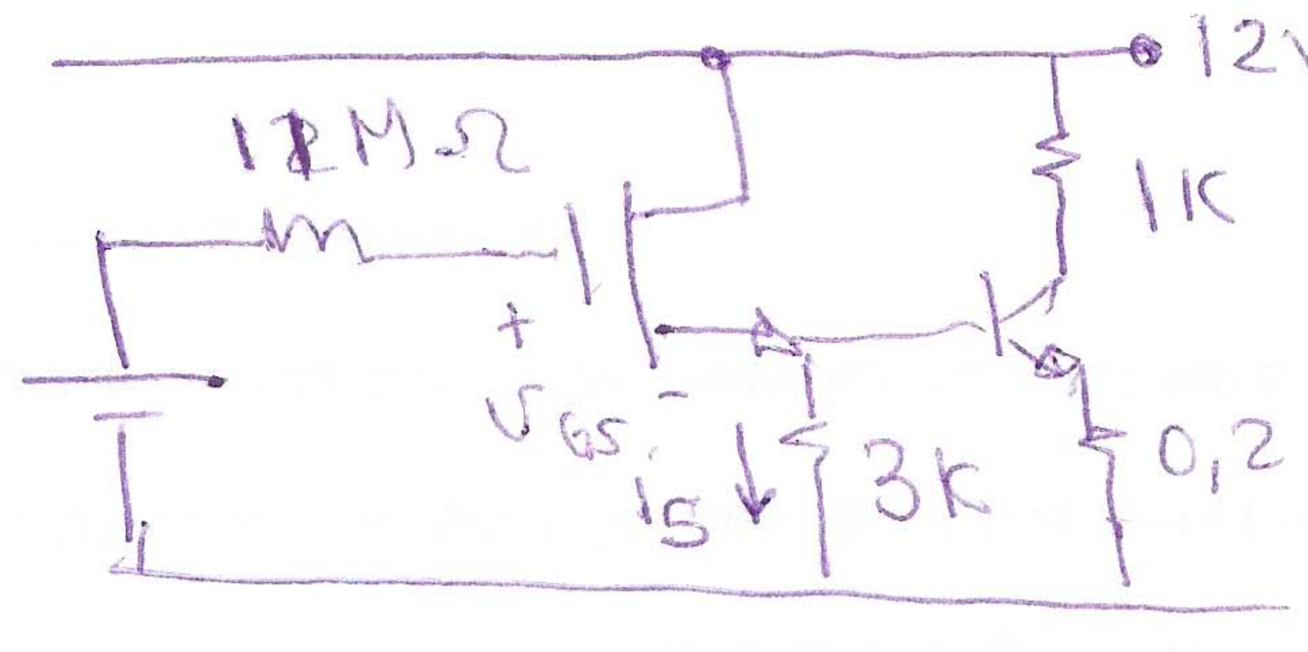


$V_t = 2V$ $V_{BE} = 0{,}7V$

$K = 0{,}2 \frac{mA}{V^2}$ $\beta = 200$

Hallar Av, Ri, Ro


12V
1K
2M
10M
2M
3k
200 Ω


12V
1~~2~~MΩ
1K
+
6V
v_{GS}
-
i_S
3k
0,2

$$6V = v_{GS} + i_D \, 3K$$

$$v_{GS} = 6V - 3i_D$$

$$I_D = 0{,}2\left(v_{GS} - V_t\right)^2$$

$$I_D = 0{,}2\left(6 - 3I_D - 2\right)^2$$

$$I_D = 0{,}2\left(4 - 3I_D\right)^2$$

$$I_D = 0{,}2(16 - 24 I_D + 9 I_D^2)$$

$$I_D = 3{,}2 - 4{,}8 I_D + 1{,}8 I_D^2$$

$$0 = 3{,}2 - 5{,}8 I_D + 1{,}8 I_D^2$$

$$I_D = \frac{5{,}8 \pm \sqrt{33{,}64 - 23{,}04}}{2 \times 1{,}8} = \begin{cases} 2{,}5 \text{ mA} \\ 0{,}7 \text{ mA} \end{cases}$$

$V_{GS} = 6 - 3 \times 2{,}5 = -1{,}5$ No

$V_{GS} = 6 - 3 \times 0{,}7 = 3{,}9V$

$V_{DS} = 12 - 3 I_D = 9{,}9V$

Se cumple $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$

Transistor en saturación

$$V_B = V_{BE} + i_E\, 0{,}2k$$

$$i_E = \frac{V_B - V_{BE}}{0{,}2} = \frac{2{,}1 - 0{,}7}{0{,}2} = 7\,mA$$

$$i_C \simeq i_E = 7\,mA$$

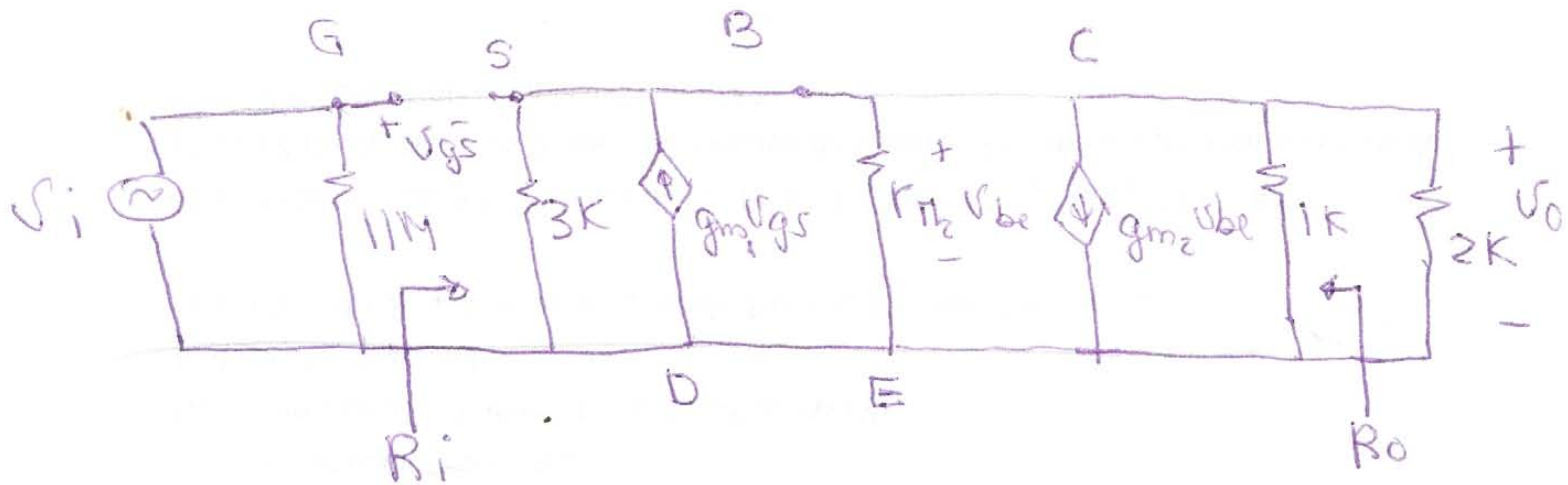
$$i_B = \frac{i_C}{200} = 0{,}035\,mA$$

$$v_{CE} = 12V - (1 + 0{,}2)\,7 = 3{,}6\,V$$

$$g_{m_2} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{7\,mA}{0{,}025\,V} = 280\,\frac{mA}{V}$$

$$r_{\pi_2} = \frac{\beta}{280}\,\frac{V}{mA} = 0{,}714\,k\Omega$$

$$g_{m_1} = 2\sqrt{KI_D} = 2\sqrt{0{,}2 \times 0{,}7} = 0{,}75\ \frac{mA}{V}$$



$$v_o = -g_{m_2}\,(1K \parallel 2K)\,v_{be}$$

$$v_{be} = (3K \parallel r_\pi)\,g_{m_1} v_{gs} = 0{,}433\,v_{gs}$$

$$v_{gs} = \frac{1}{0{,}433} v_{be} = 2{,}31\,v_{be}$$

$$v_i = v_{gs} + v_{be} = (2{,}31 + 1)\, v_{be}$$

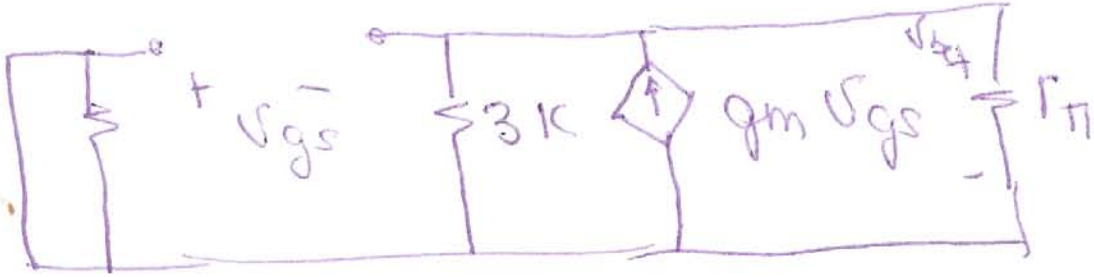
$$v_{be} = \frac{v_i}{3{,}31} = 0{,}3\, v_i$$

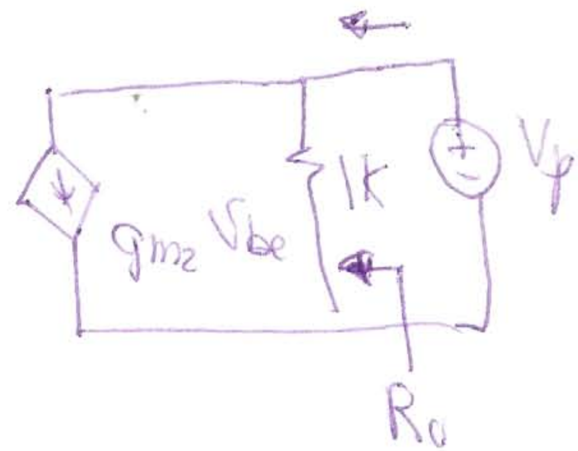
$$v_o = -186{,}6 \times 0{,}3\, v_i$$

$$\boxed{A_v = \frac{v_o}{v_i} = -56}$$

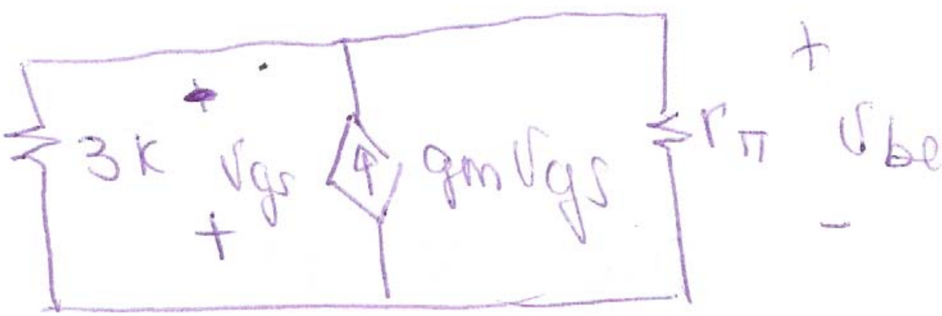
$$R_i = \infty$$

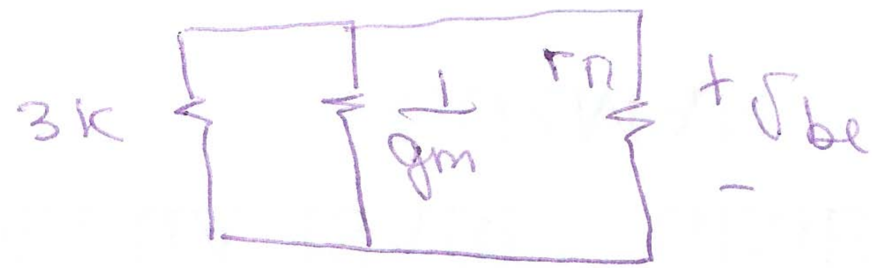
Cálculo R_o





$$I_p = \frac{V_p}{1} + g_{m2} V_{be}$$





$V_{be} = 0$

$$\boxed{R_o = 1\,k\Omega}$$