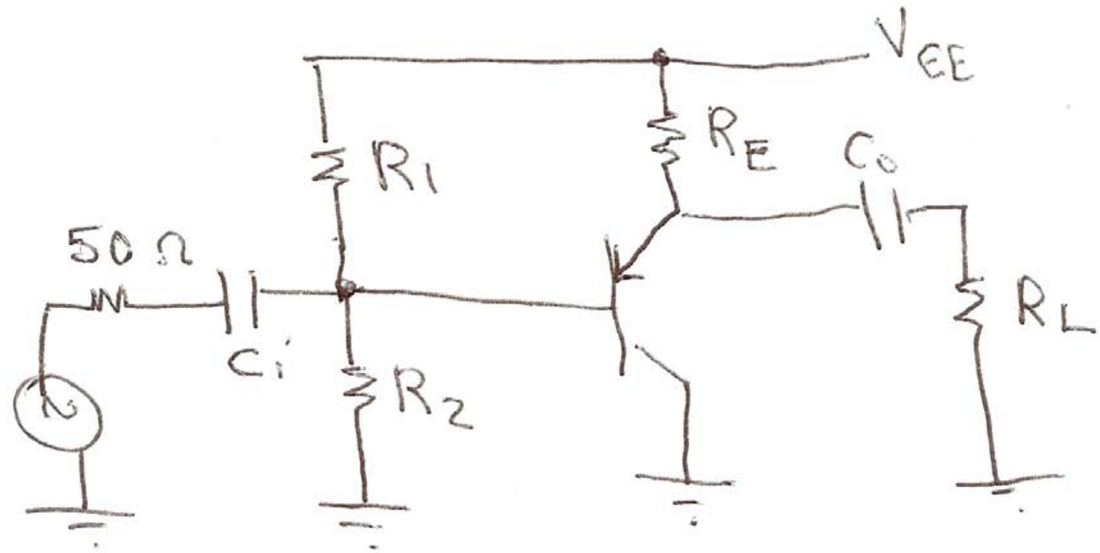
DISEÑO DE UN AMPLIFICADOR COLECTOR COMÚN CON PNP

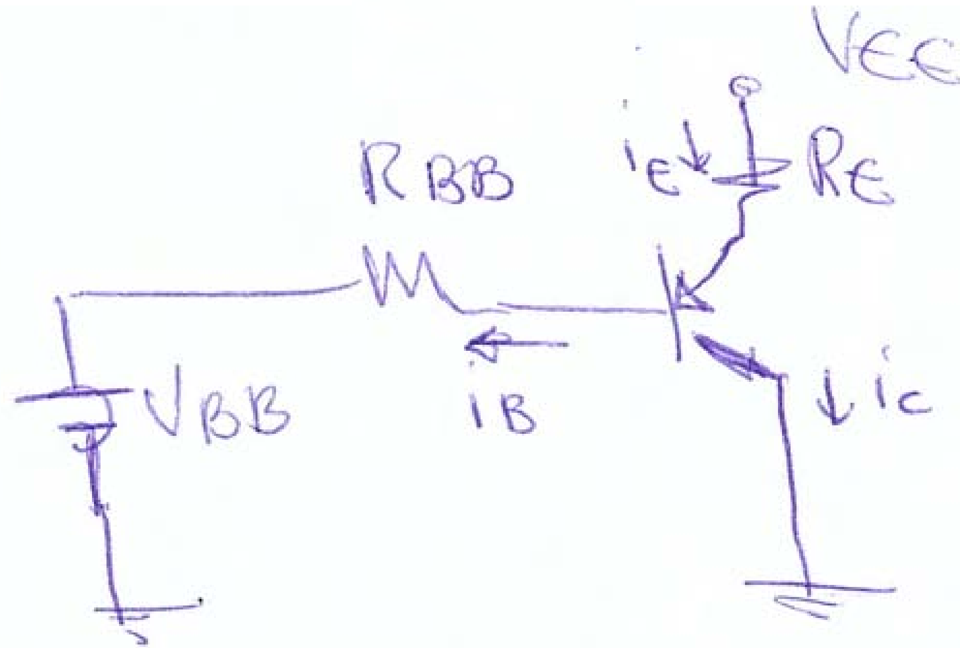


Diseñar un amplificador con la configuración dada, de forma que la ganancia sea igual o mayor que 0,9, la resistencia de entrada sea mayor que 3kΩ y presente una excursión del voltaje de salida de hasta 4 V con RL = 1 KΩ. Considere VBE = 0,7 V y β =100.

* 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

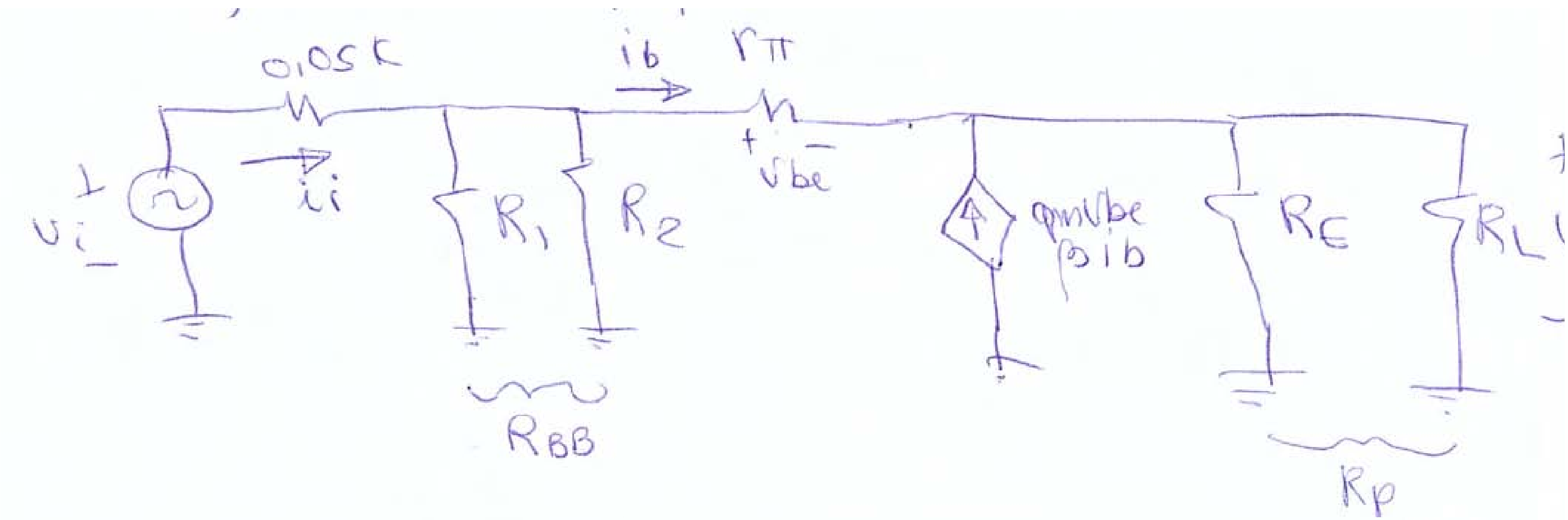
$$R_E(\beta+1) \gg R_{BB} = R_1 \parallel R_2$$

entonces

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

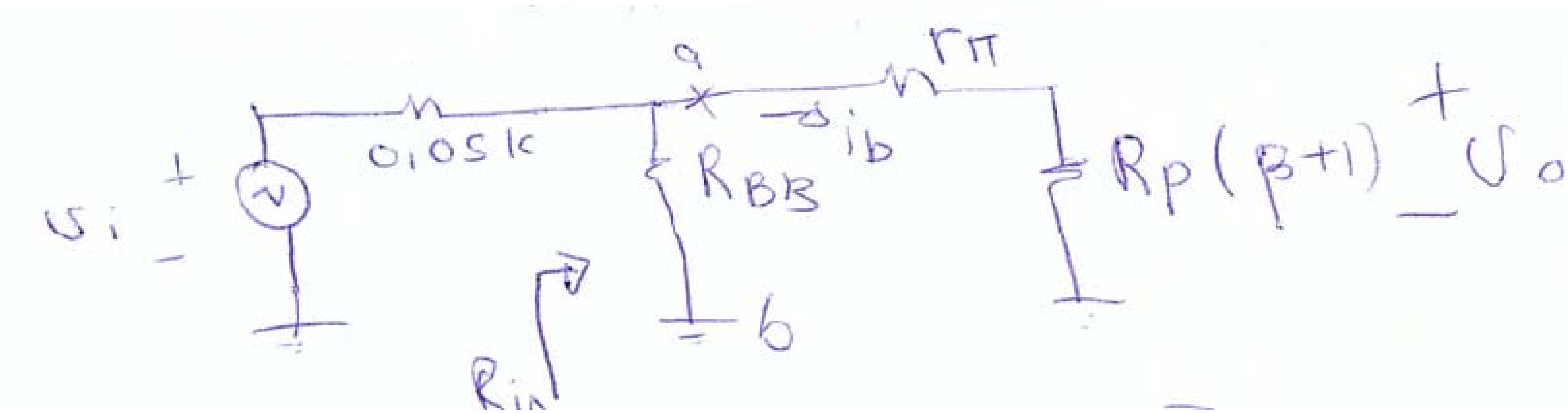
$$V_{EC} = V_{EE} - i_E R_E$$

* **Modelo de pequeña señal**



Simplificando :

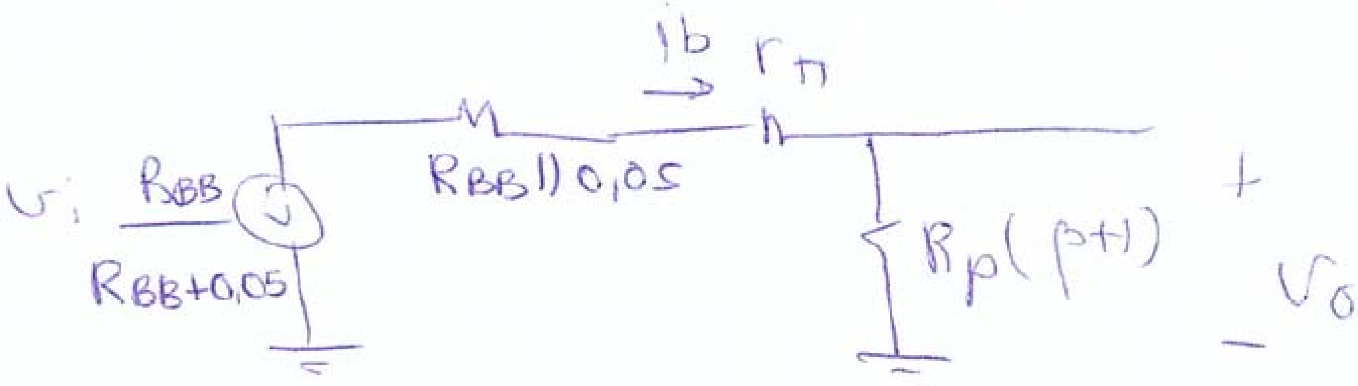
Reflejando hacia la base



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} >>0,05kΩ

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

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

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

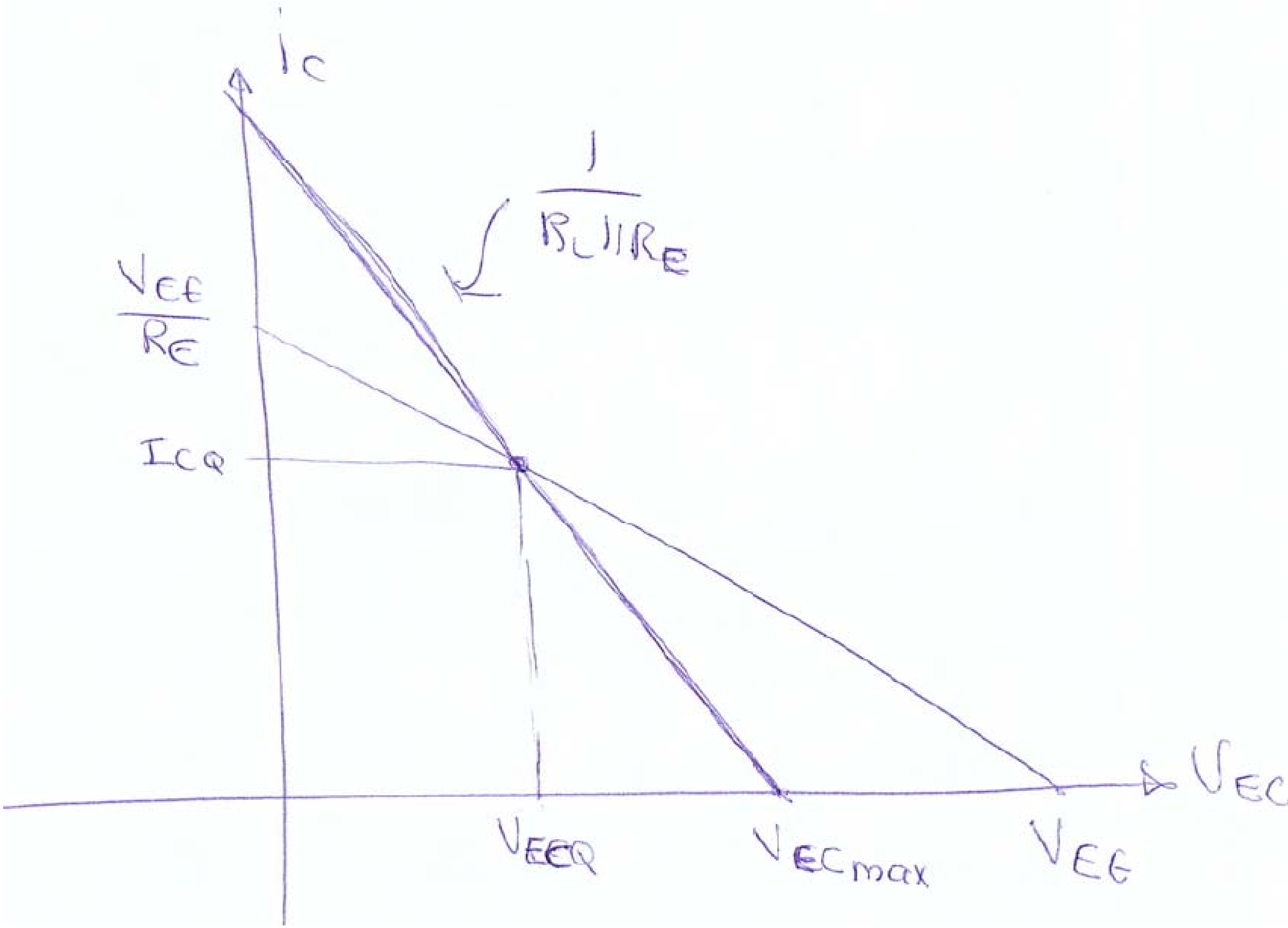
$$R_n \geq 0,9 R_m + 0,9 R_n$$

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

$$R_n \geq 9 R_m$$

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

* **Variación del voltaje de salida**



Ecuaciones para la excursión del voltaje de salida

$$\underline{V_{ECmax} - V_{ECQ}} > 4\,V \qquad \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{EC}} = \frac{1}{R_L \| R_E}$$

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

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

*** Asignación de valores**

Dado que R_L = 1kΩ se comienza con R_E = 1kΩ $R_L // R_E$ = 0,5kΩ

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

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

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

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

* **Parámetros para análisis AC**

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

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

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

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

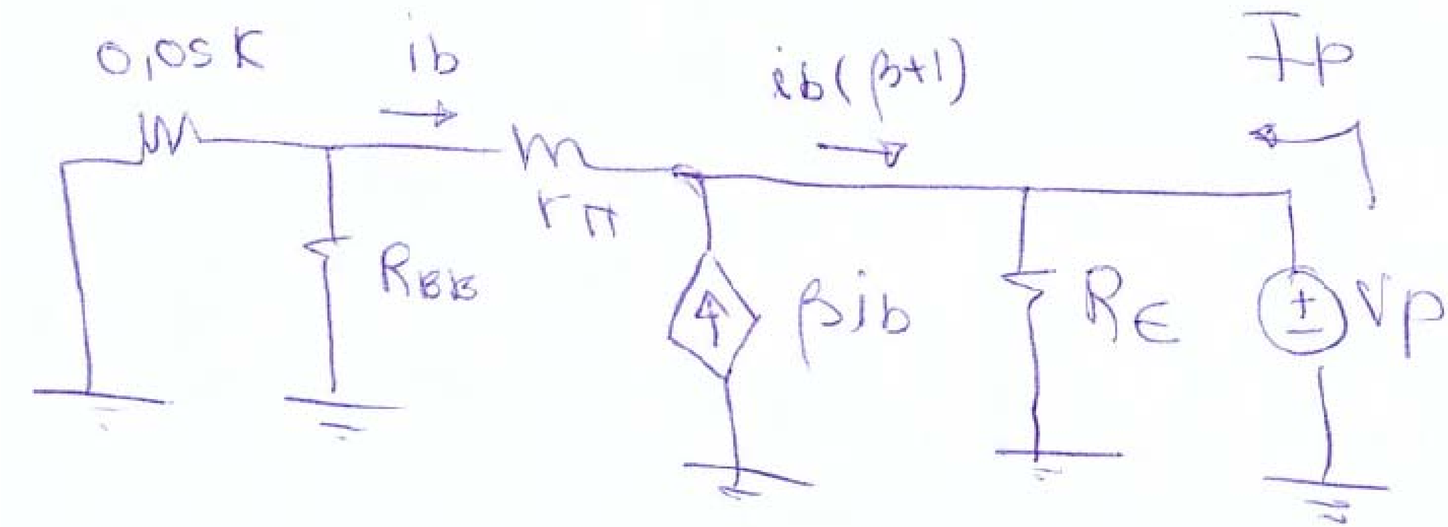
Sustituyendo en las ecuaciones

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

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

Se cumplen las condiciones pedidas

* Cálculo de Ro



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

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

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

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

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

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

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

*** 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

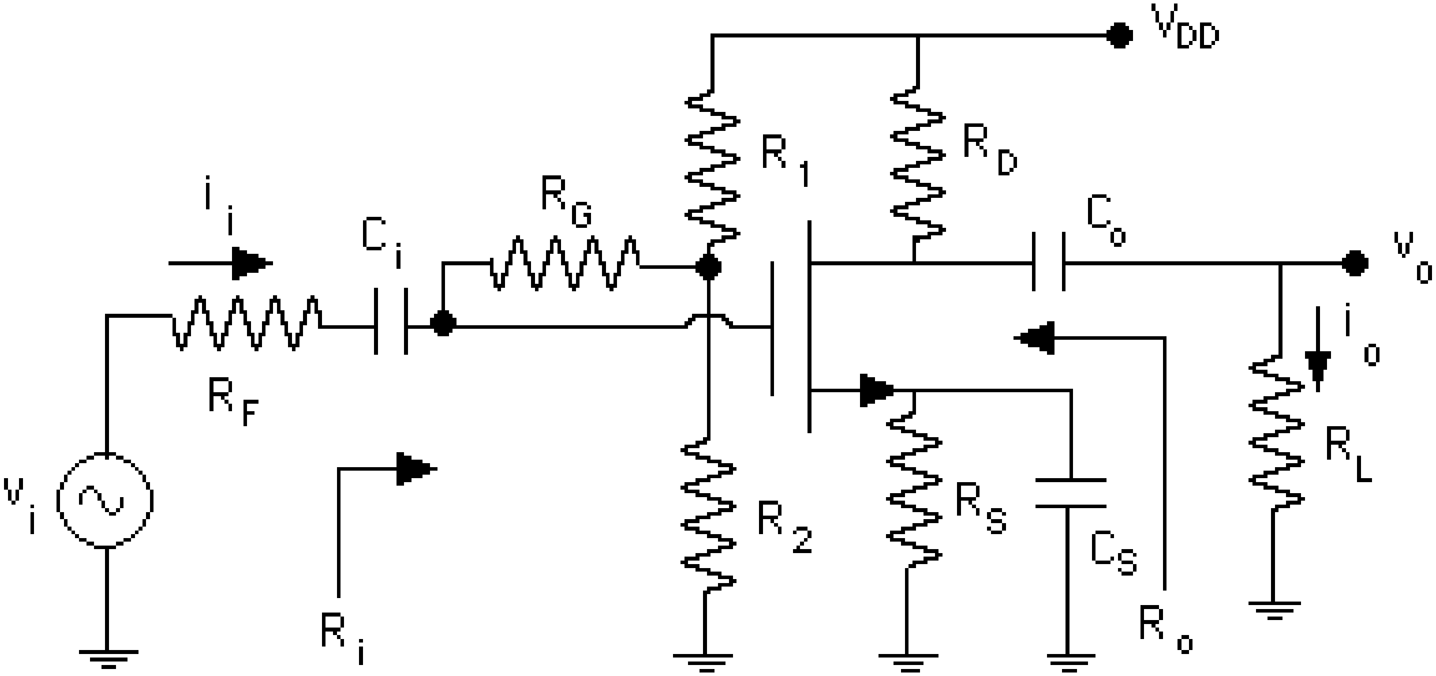
Co en serie con RL = 1kΩ

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

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

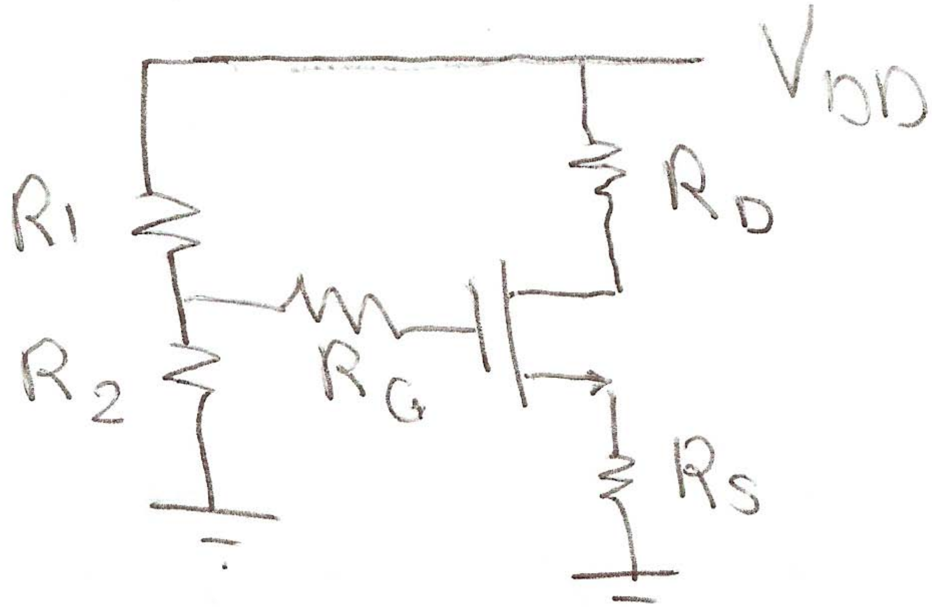
G_{FS}=100mmhos
a 500 mA =
100 mA/V

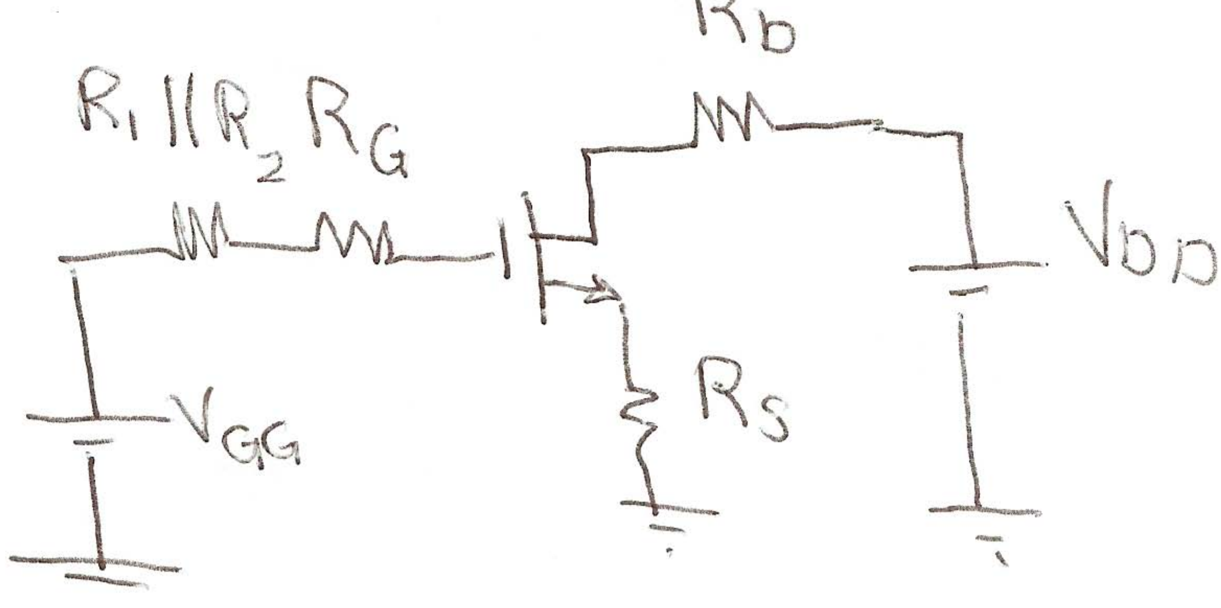
Se quiere un ΔV_{pp}=6V

Corriente I_D del orden de los mA

R_L = 10 kΩ

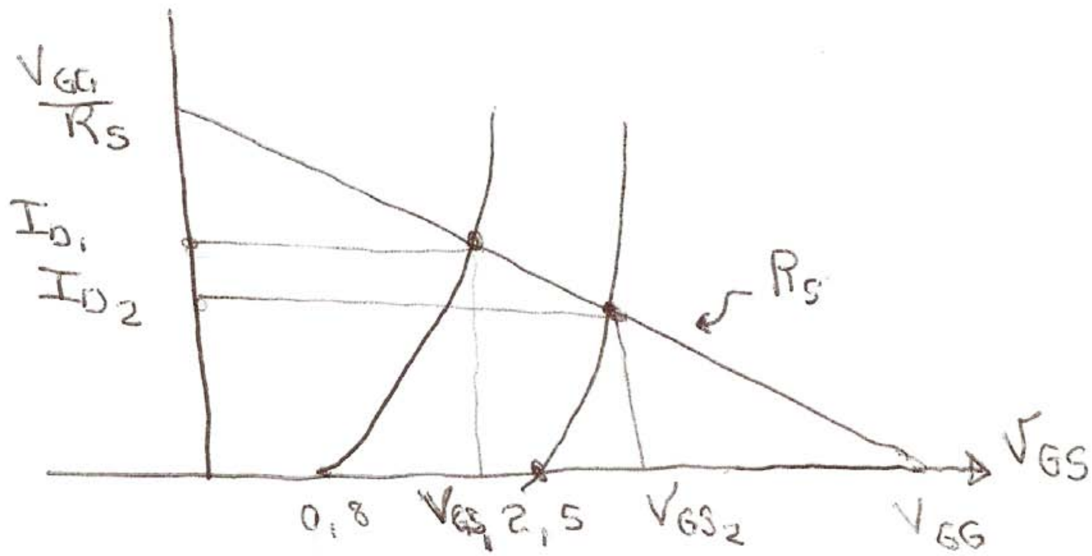
*** Polarización**





*** 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

$\underline{V_{GS_1}}$:

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

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

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

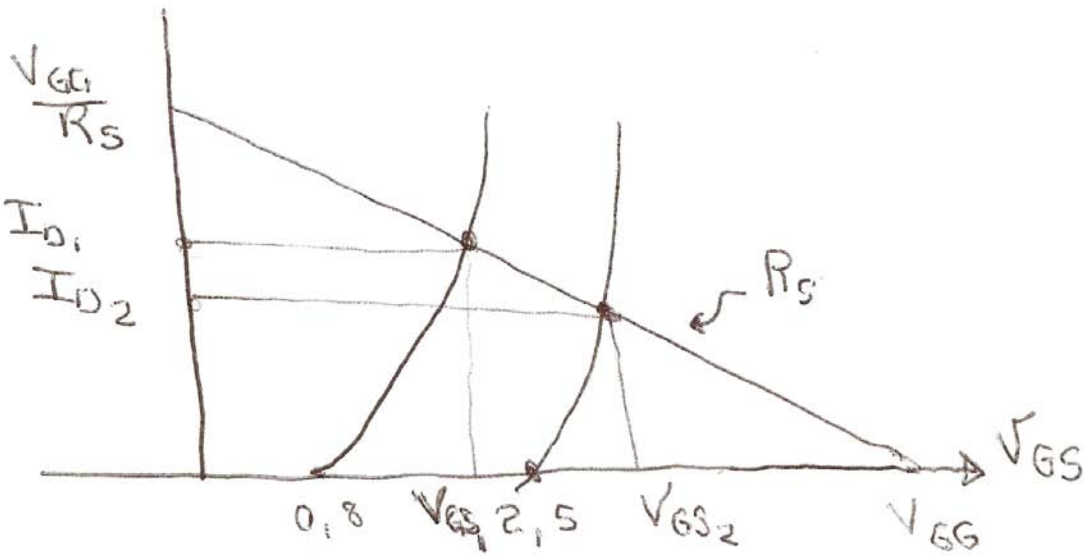
$\underline{V_{GS2}}$

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

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

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

En las características de transferencia



$I_{D1} = 1,6$ mA

$V_{GS1} = 1,37$ V

$I_{D2} = 1$ mA

$V_{GS2} = 2,95$V

Se calcula R_S

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

Se escoge $R_S = 2,7\ k\Omega$

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:

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

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

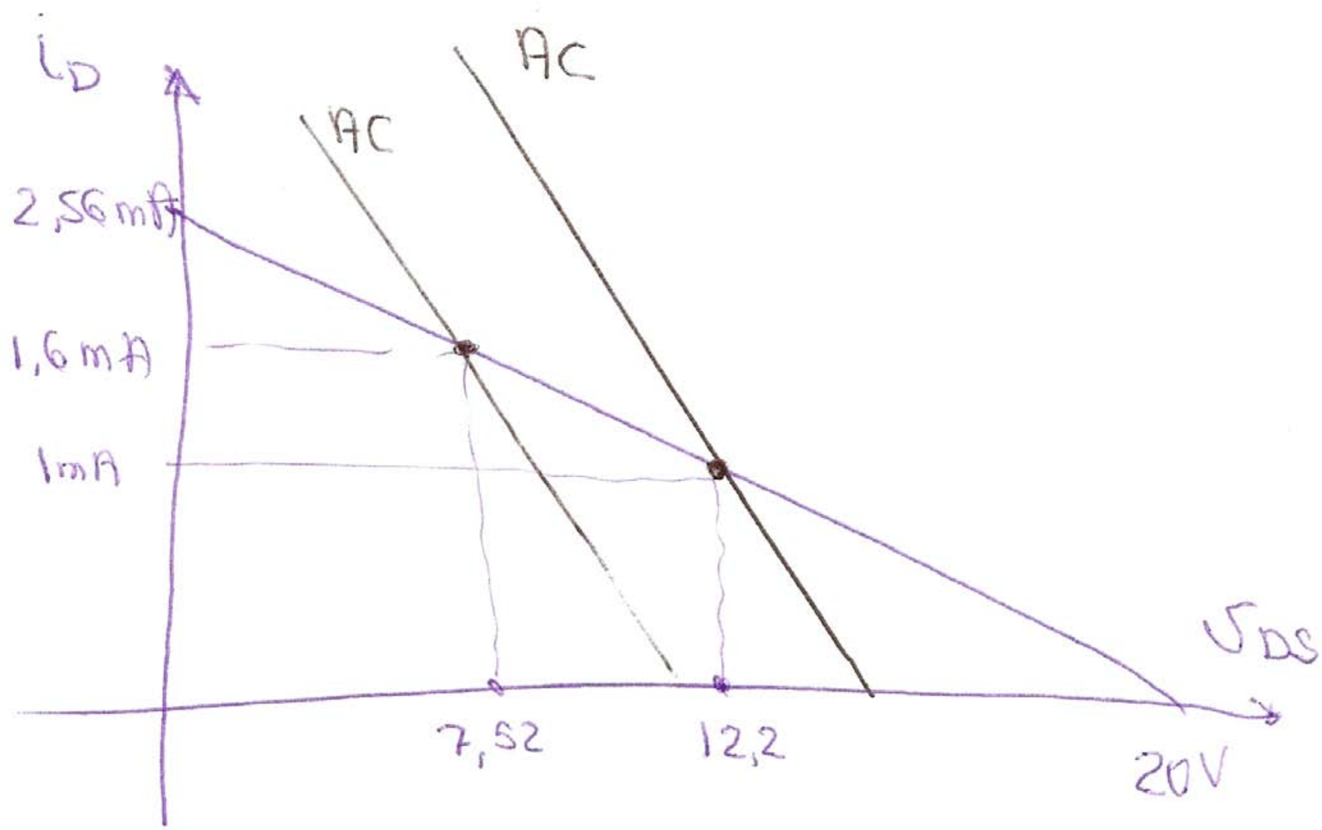
$$I_{D\,max} = \frac{20V}{(5{,}1 + 2{,}7)\,k\Omega} = 2{,}56\ mA$$

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

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

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

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

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

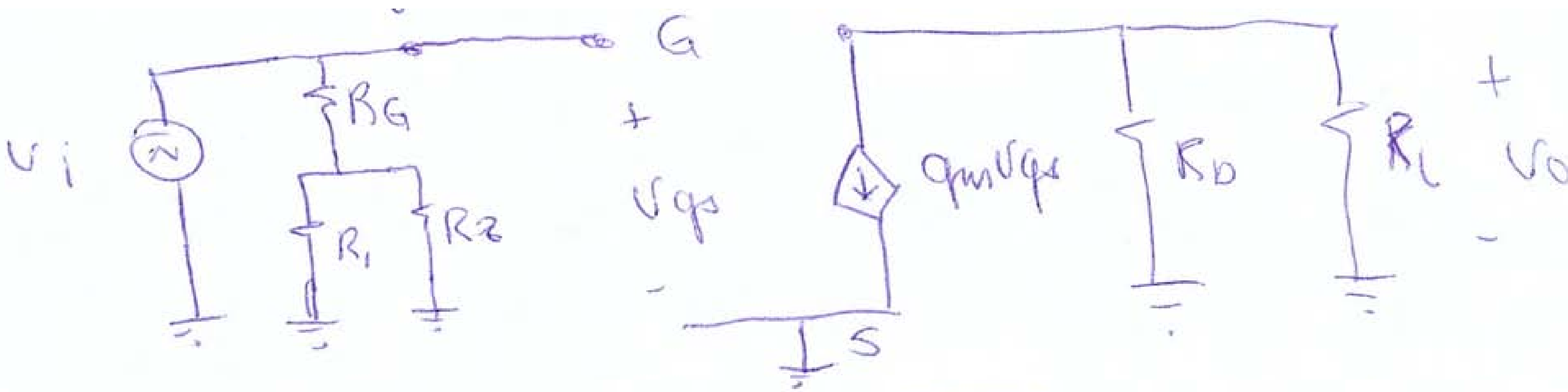
$$R_2 = 0,39R_1$$

Se escoge

R1 = 10kΩ

R2 = 3,9kΩ

Análisis AC



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

$$V_o = -g_m V_{gs} (R_D \| R_L)$$

$$V_{gs} = V_i$$

$$V_o = -g_m (R_D \| R_S) V_i$$

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