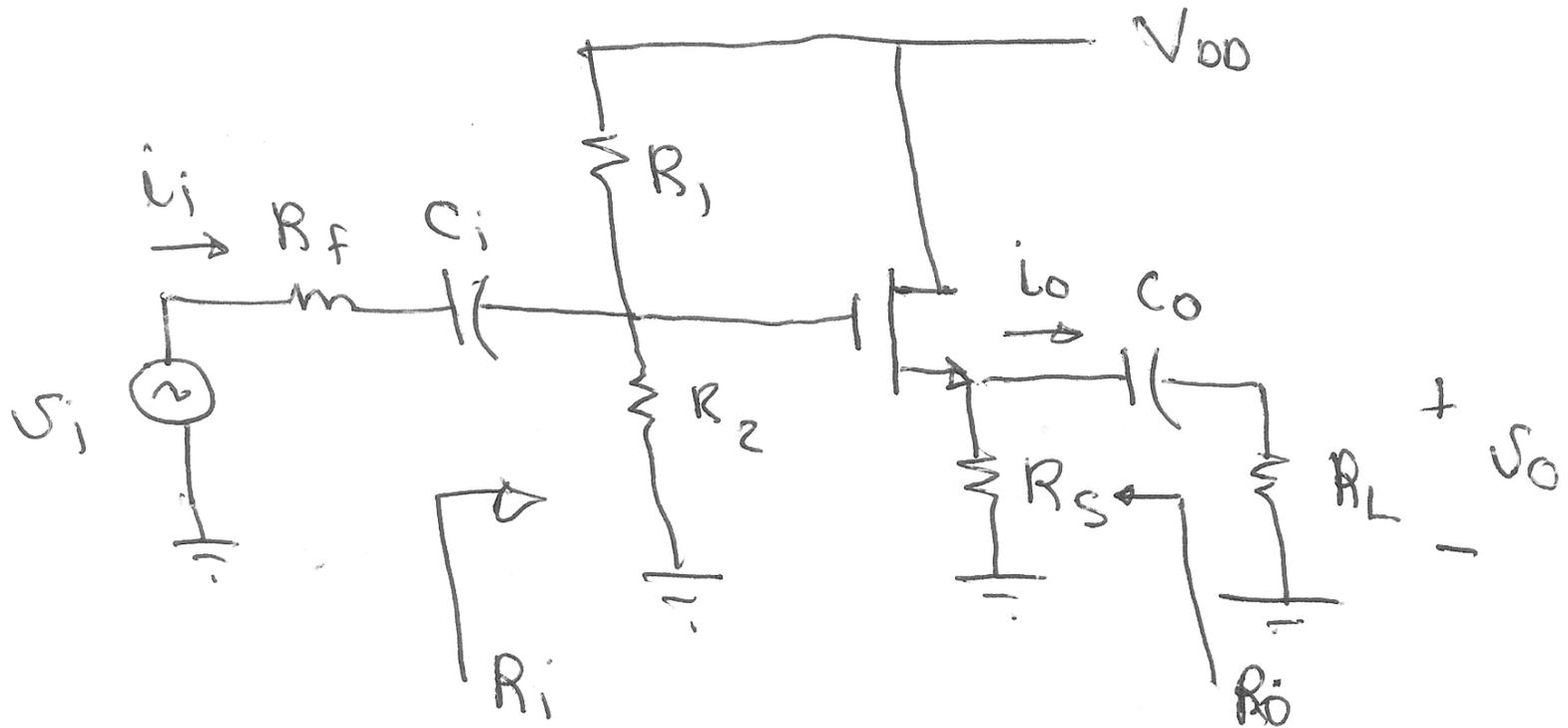
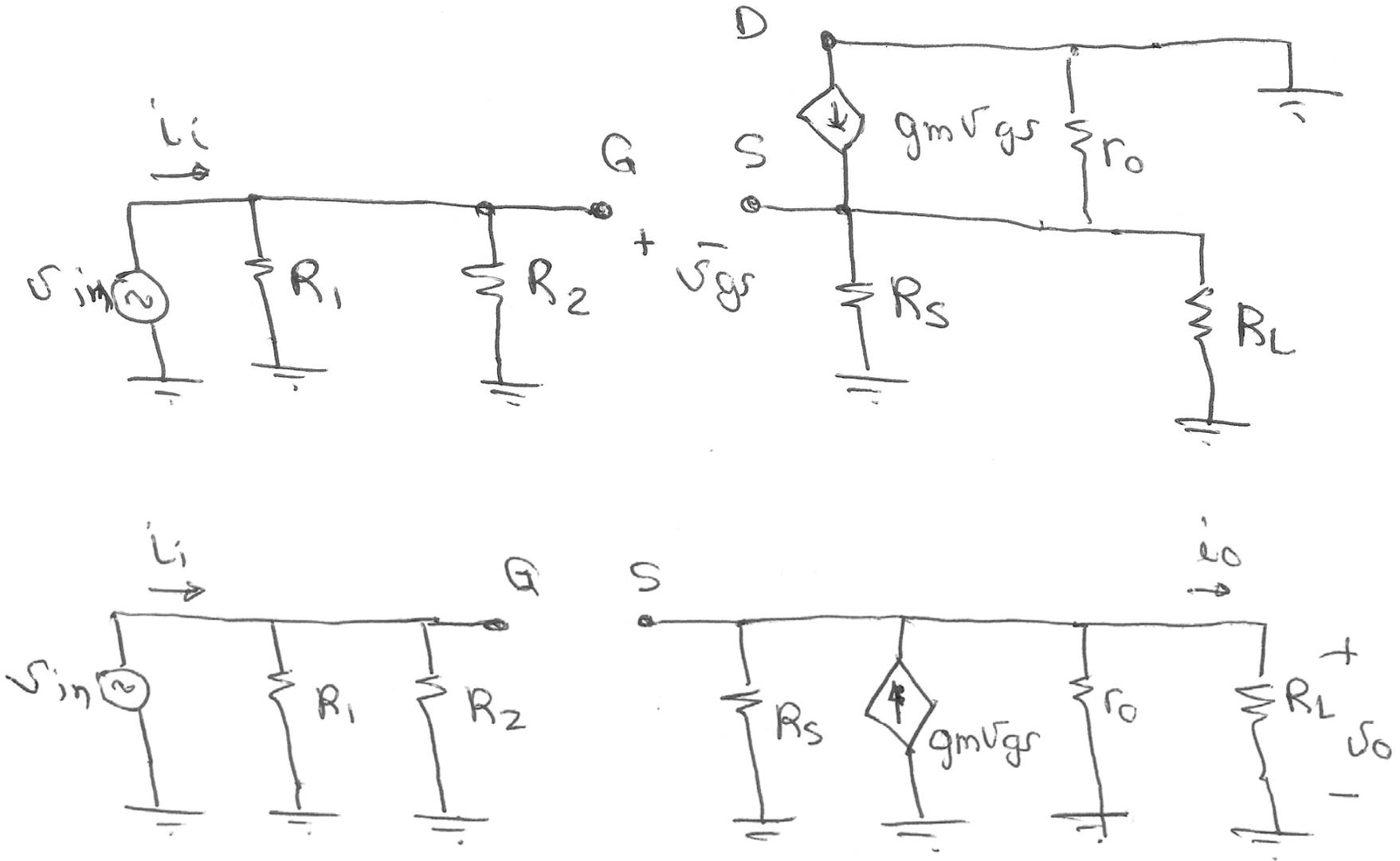


# AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN REPASO DEL DESARROLLO DE ECUACIONES



**\* Circuito equivalente con el modelo  $\pi$  incluyendo  $r_o$**



**\* Ganancia de voltaje**

**Se define  $R_p = R_C // R_L // r$**

$$v_o = g_m v_{gs} R_p \quad v_{in} = v_{gs} + v_o = v_{gs}(1 + g_m R_p)$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{g_m R_p}{1 + g_m R_p}$$

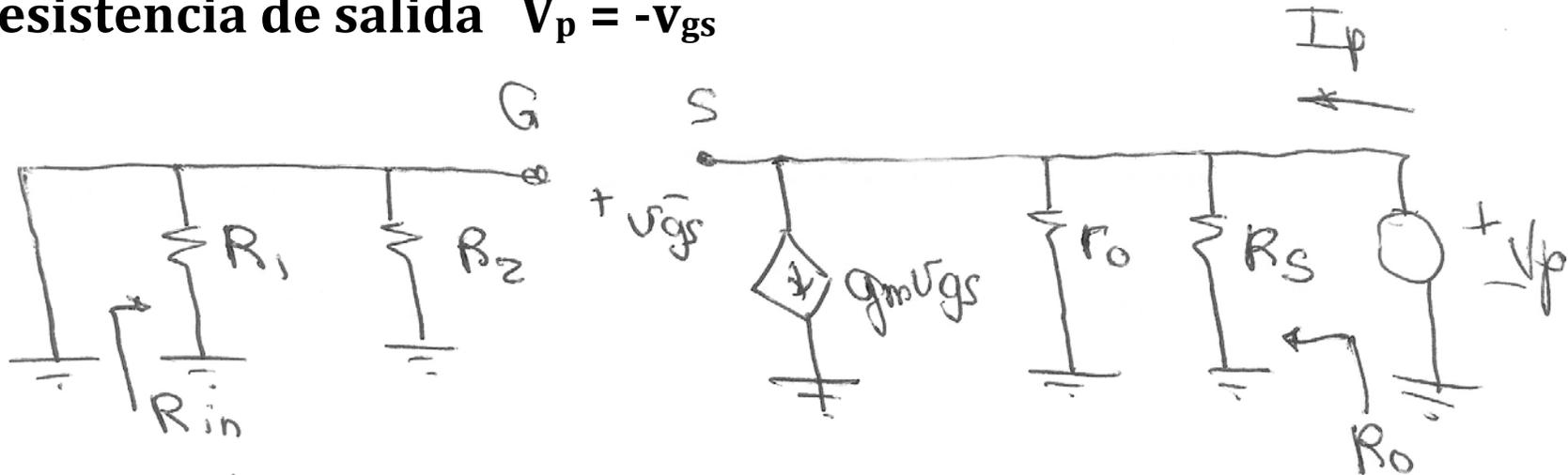
**Es menor que 1**

**La salida está en fase con la entrada**

## Resistencia de entrada

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_1 \parallel R_2$$

## Resistencia de salida $V_p = -V_{gs}$



$$R_o = \frac{V_p}{I_p} \quad I_p = \frac{V_p}{R_s} + \frac{V_p}{r_o} - g_m V_{gs}$$

$$I_p = \frac{V_p}{R_s} + \frac{V_p}{r_o} + V_p g_m = V_p \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_o} + g_m \right)$$

$$R_o = \frac{V_p}{I_p} = \frac{1}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_o} + g_m}$$

$$R_o = R_s \parallel r_o \parallel (1/g_m)$$

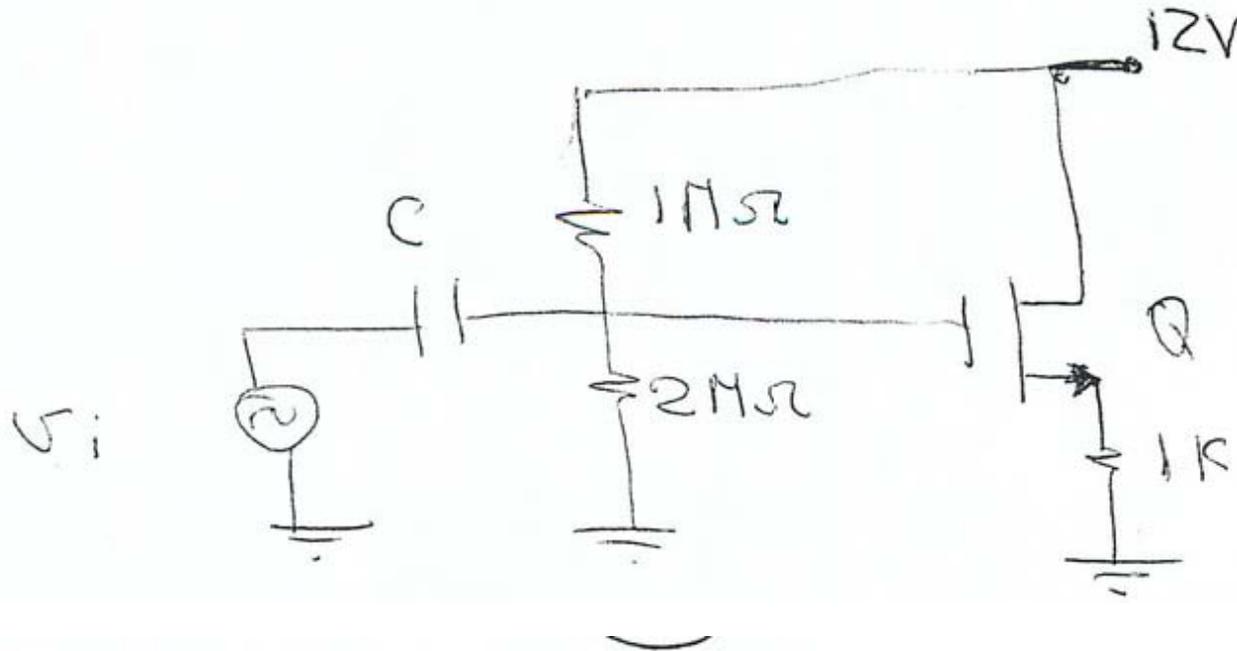
## Ganancia de corriente

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{R_{in}} \quad i_o = \frac{v_o}{R_L}$$

$$A_{in} = \frac{i_o}{i_{in}} = \frac{v_o}{R_L} \cdot \frac{R_{in}}{v_{in}} = \frac{g_m R_p}{g_m R_p + 1} \frac{R_{in}}{R_L}$$

Depende del valor de las resistencias de polarización

## EJERCICIO CON EL AMPLIFICADOR DRAIN COMÚN



$$V_N \approx 10 \text{ K}$$

$$V_E \approx 2 \text{ V}$$

$$G_m = 100 \frac{\text{mA}}{\text{V}} @ 500 \text{ mA} = I_D$$

Esto significa que para la ecuación de la región de saturación del MOSFET la constante total es

$$K = \frac{1}{2} k' \frac{W}{L} = 5 \text{ mA/V}^2$$

## \* Los parámetros del MOSFET

$$I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

En saturación:

En los manuales aparece  $G_{FS}$  "Forward Transconductance":  
Relación entre la variable de salida ( $I_D$ ) y la de entrada  $V_{GS}$  para una corriente  $I_D$  específica. Esta definición es similar al  $g_m$  para pequeña señal, aplicada a valores DC. Para el MOSFET VN10K:

$G_{FS}$	Forward transductance	100	-	-	mmho	$V_{DS} = 10V, I_D = 500mA$
----------	-----------------------	-----	---	---	------	-----------------------------

Para trabajar con las ecuaciones de polarización se define:

$$i_D = K(V_{GS} - V_{th})^2$$

$$K = \frac{1}{2} k' \frac{W}{L}$$

$$k' \frac{W}{L} = 2K$$

**Utilizando una de las ecuaciones para  $g_m$  y aplicándola a  $G_{FS}$  (identificada también como  $G_m$ ):**

$$g_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} \quad k' \frac{W}{L} = 2K$$

$$G_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}} = 2K \sqrt{\frac{2I_D}{2K}} = 2K \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2\sqrt{KI_D}$$

$$G_m = 2\sqrt{KI_D}$$

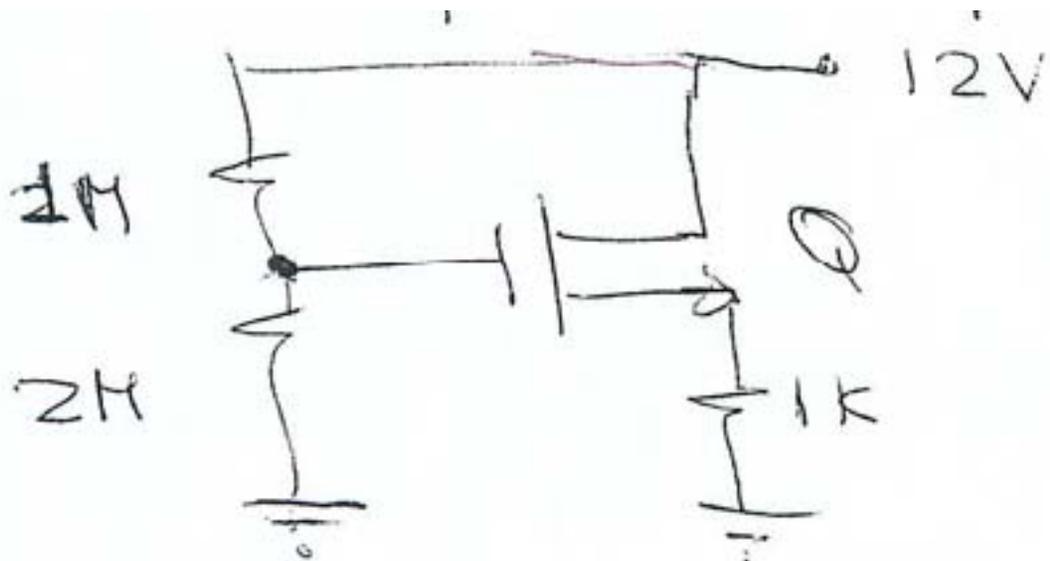
**Con los datos del ejercicio:**

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

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

$$i_D = 5 \frac{mA}{V^2} (V_{GS} - V_{th})^2$$

**\* Cálculo del punto de operación suponiendo saturación**



**Voltaje  $V_{GG}$ :**

$$V_{GG} = \frac{2M\Omega}{3M\Omega} 12V = 8V$$

**$V_t \approx 2V$**

$$i_D = K (V_{GS} - V_t)^2$$

$$12V = V_{DS} + i_D \times 1K$$

$$V_{GG} = 8V = V_{GS} + i_D \times 1K$$

$$V_{GS} = 8 - i_D \times 1K$$

$$i_D = K (8 - i_D - 2)^2 = K (6 - i_D)^2$$

\* **Determinación de la corriente  $I_D$ .**

$$i_D = 5(6 - i_D)^2$$

$$5i_D^2 - 61i_D + 180 = 0$$

$$i_D = \frac{61 \pm \sqrt{3721 - 3600}}{10}$$

$$\begin{aligned} \nearrow \frac{61 + 11}{10} &= 7,2 \text{ mA} \\ \searrow \frac{61 - 11}{10} &= 5 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$V_{GS} = 8 - 7,2 = 0,8 \text{ V No}$$

$$V_{GS} = 8 - 5 = 3 \text{ V Si}$$

**En saturación**

$$V_{DS} = 12 - i_D \times 1k = 12 - 5 = 7 \text{ V}$$

$$V_{DS} \stackrel{?}{\geq} V_{GS} - V_t = 3 - 2 = 1 \text{ Si}$$

$$V_{GS} = 3 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 7 \text{ V}$$

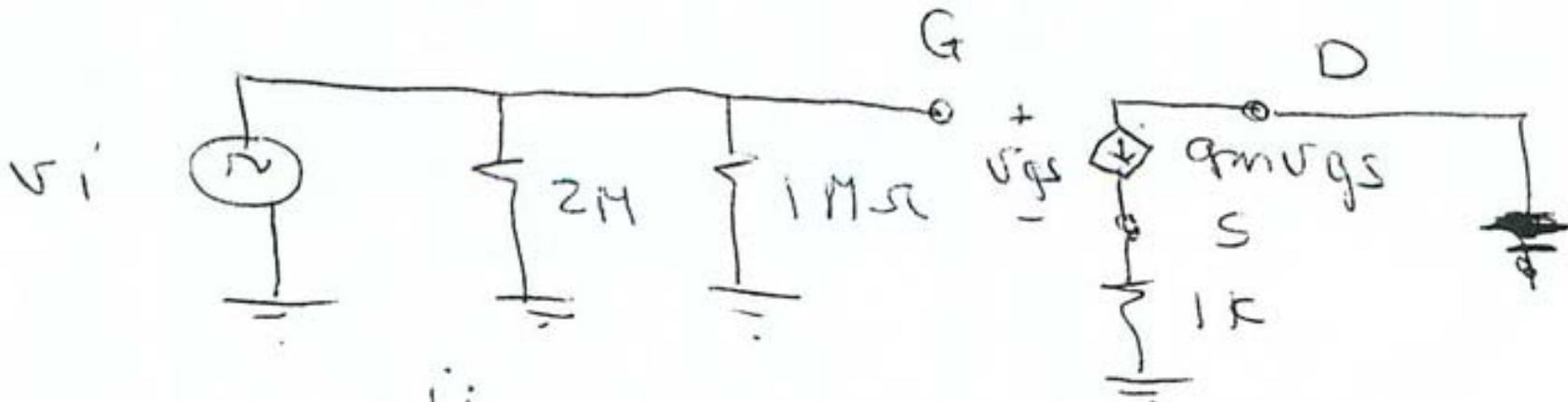
$$I_D = 5 \text{ mA}$$

## \* Análisis de pequeña señal. Parámetros

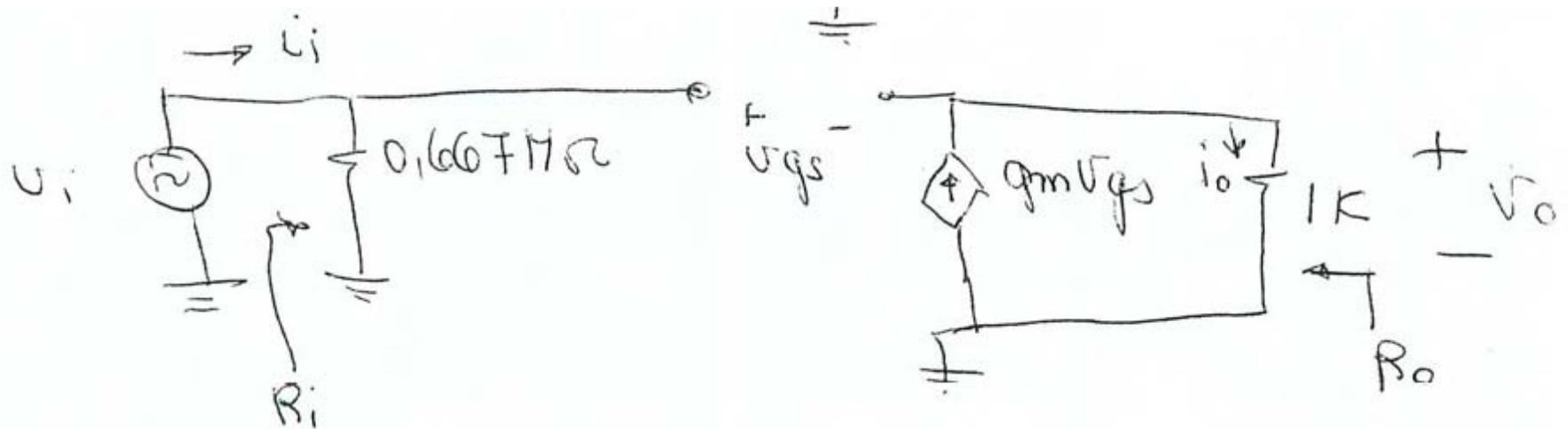
Cálculo parámetros AC

$$g_m = 2 \sqrt{k I_D} = 2 \sqrt{\frac{5 \text{ mA} \cdot 5 \text{ mA}}{1 \text{ V}^2}}$$
$$g_m = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \quad r_o \approx \infty$$

## \* Modelo de pequeña señal



**\* Modelo de pequeña señal arreglado**



**\* Ganancia de voltaje**

$$v_o = g_m v_{gs} 1 \text{ k} = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot v_{gs} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 10 v_{gs}$$

$$v_i = v_{gs} + v_o \Rightarrow v_{gs} = v_i - v_o$$

$$v_o = 10 v_{gs} = 10(v_i - v_o) = 10 v_i - 10 v_o$$

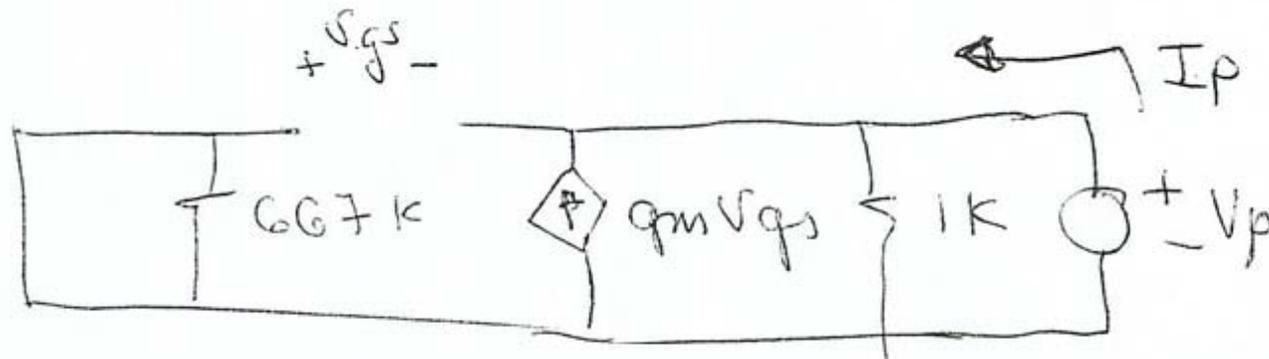
$$v_o(1+10) = 10 v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{10}{11} = 0,9$$

\* Resistencia de entrada

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = 0,667 \text{ M}\Omega$$

\* Resistencia de salida



$$I_p = \frac{V_p}{1\text{K}} + g_m V_{gs} \quad V_{gs} = -V_p$$

$$I_p = \frac{V_p}{1\text{K}} + V_p g_m = V_p \left( \frac{1}{1\text{K}} + 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right)$$

$$\frac{V_p}{I_p} = \frac{1}{11 \text{ mA}} = 0,0909 \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 0,909 \text{ k}\Omega = 90,9 \Omega$$

### \* Ganancia de corriente

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o}{115} \frac{0,667 \text{ M}\Omega}{v_i} = \frac{v_o}{v_i} \frac{667}{1} = 0,9 \times 667 = 600,3$$

### \* Parámetros del amplificador

Tiene ganancia de voltaje menor que 1

Resistencia de entrada muy elevada

Resistencia de salida baja

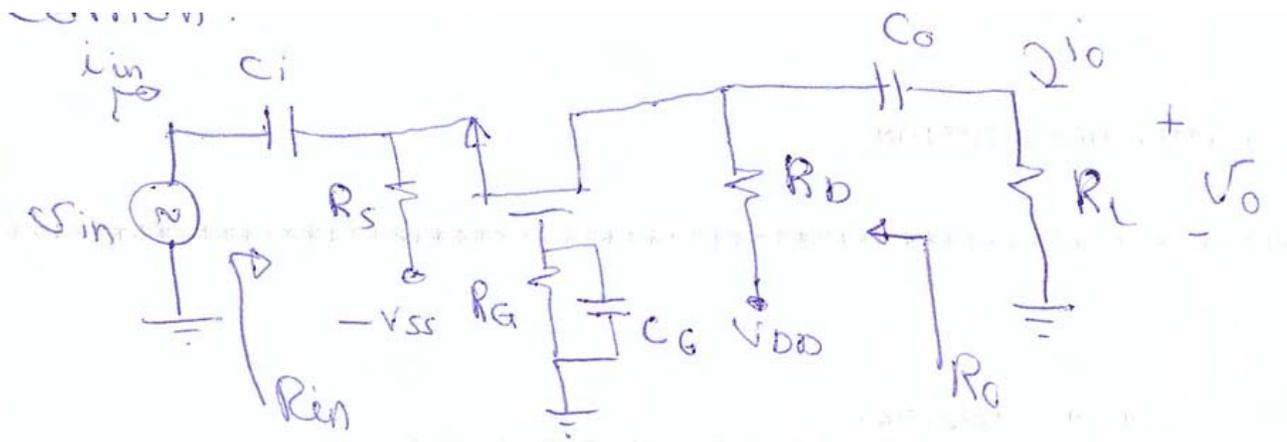
$$A_v = 0,9$$

$$A_i = 600,3$$

$$R_i = 667 \text{ k}\Omega$$

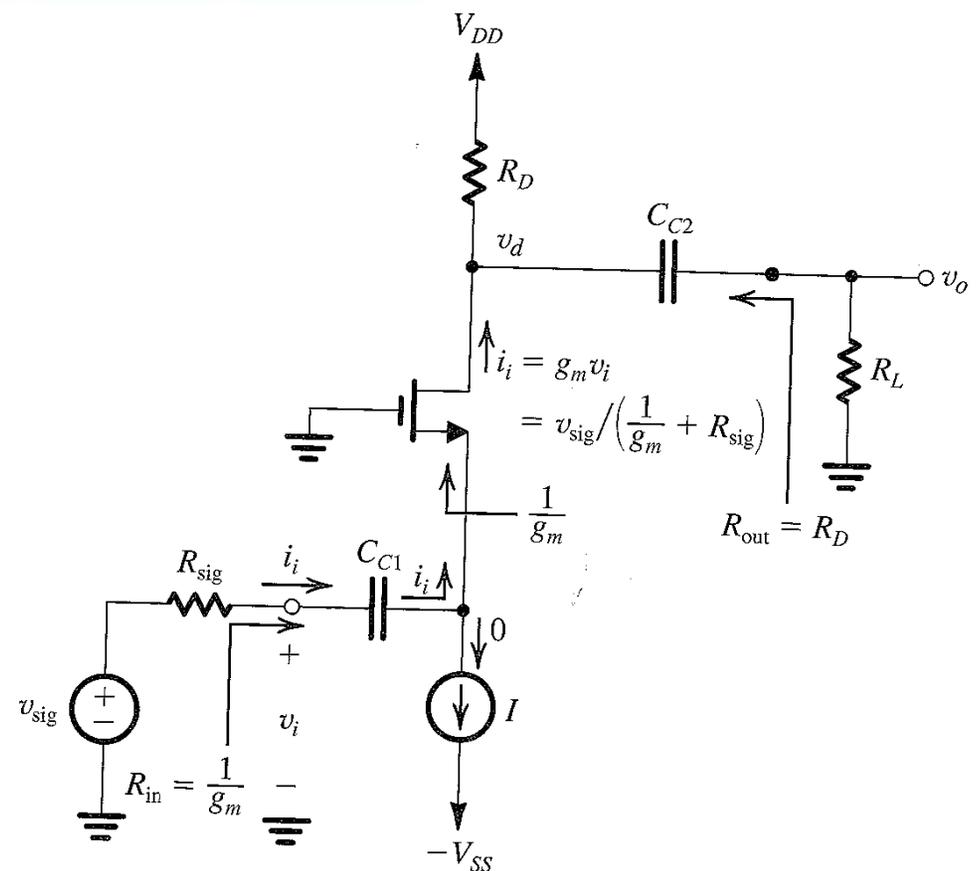
$$R_o = 98,9 \Omega$$

## AMPLIFICADOR GATE COMÚN



La resistencia  $R_G$  evita la acumulación de carga estática en Gate, y el condensador  $C_G$  asegura que Gate esté a tierra para el análisis de pequeña señal.

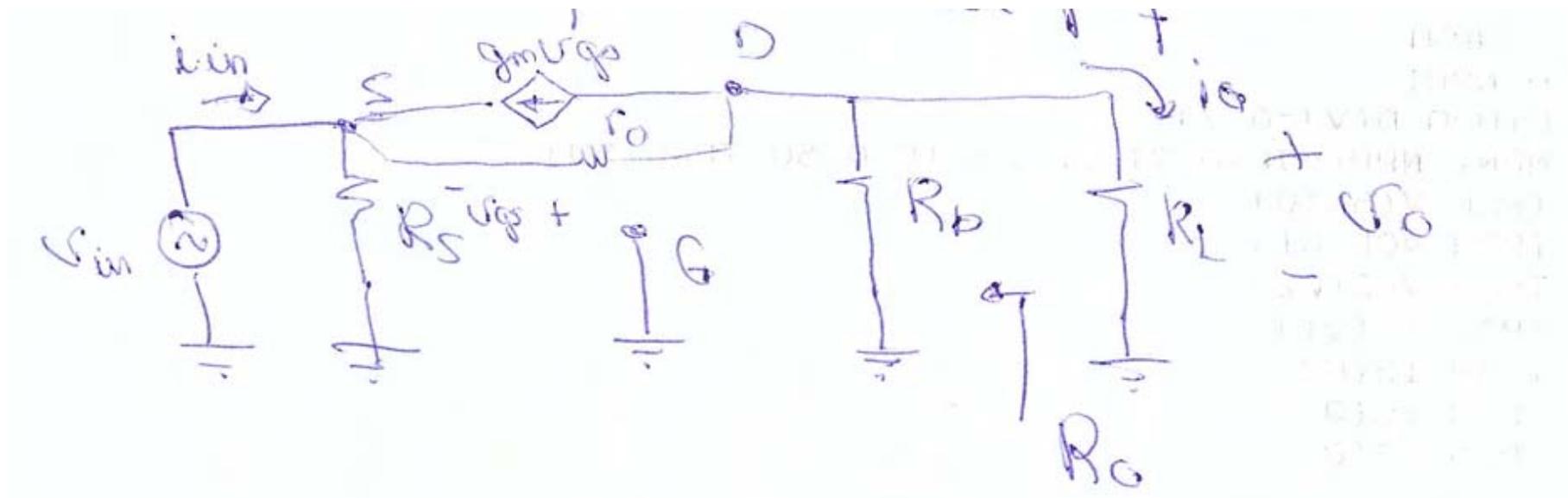
Hay que calcular el punto de operación y los parámetros del modelo de pequeña señal.



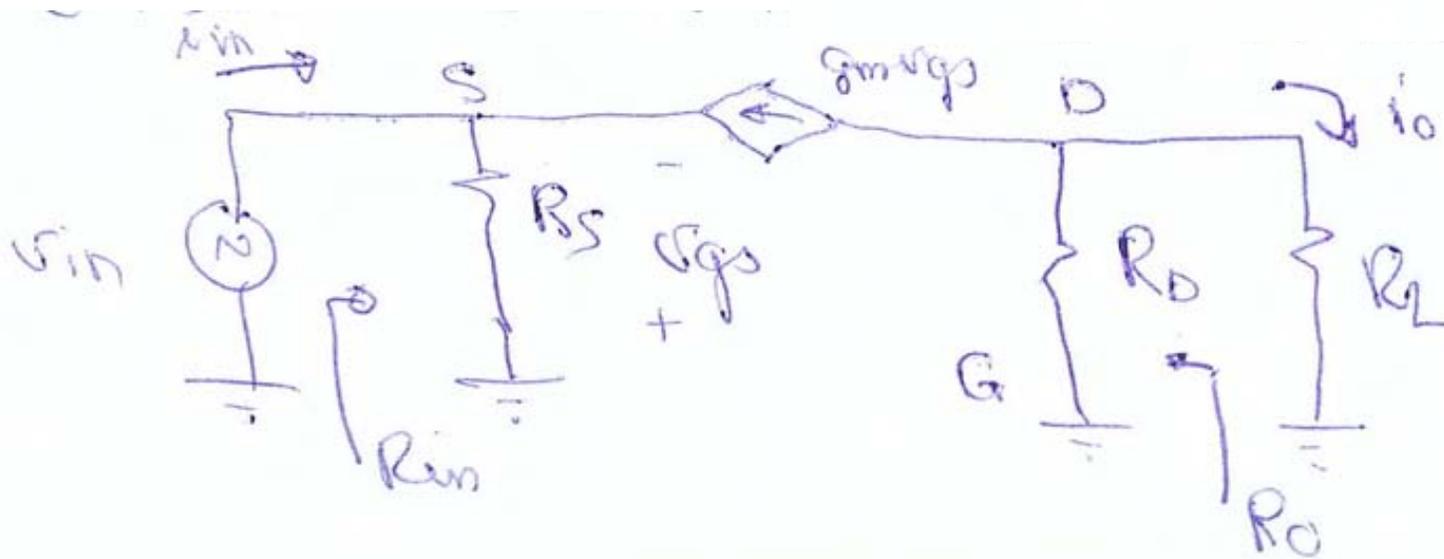
# EJERCICIO PARA LA CONFIGURACIÓN GATE COMÚN DESARROLLAR LAS ECUACIONES DEL MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL EN FORMA LITERAL

Con modelo  $\pi$

$r_o$  no se va a tomar en cuenta



**\* Del modelo  $\pi$  simplificado:**



**\* Ganancia de voltaje:**

$$V_o = -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L) = -g_m v_{gs} R_p$$

$$v_{gs} = -v_{in} \quad V_o = +g_m R_p v_{in}$$

$$A_v = g_m R_p$$

## Ganancia de corriente

$$i_{in} + g_m v_{gs} = -\frac{v_{gs}}{R_s}$$

$$i_o = \frac{R_D}{R_D + R_L} (-g_m v_{gs})$$

$$i_{in} = -v_{gs} \left( g_m + \frac{1}{R_s} \right)$$

$$v_{gs} = -\frac{i_{in}}{g_m + \frac{1}{R_s}}$$

$$i_o = \frac{R_D}{R_D + R_L} \left( g_m \frac{i_{in}}{g_m + \frac{1}{R_s}} \right)$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_{in}} = \frac{R_D}{R_D + R_L} \frac{g_m}{g_m + \frac{1}{R_s}}$$

Es menor que 1

## Resistencia de entrada

$$i_{in} + g_m v_{gs} = -\frac{v_{gs}}{R_s}$$

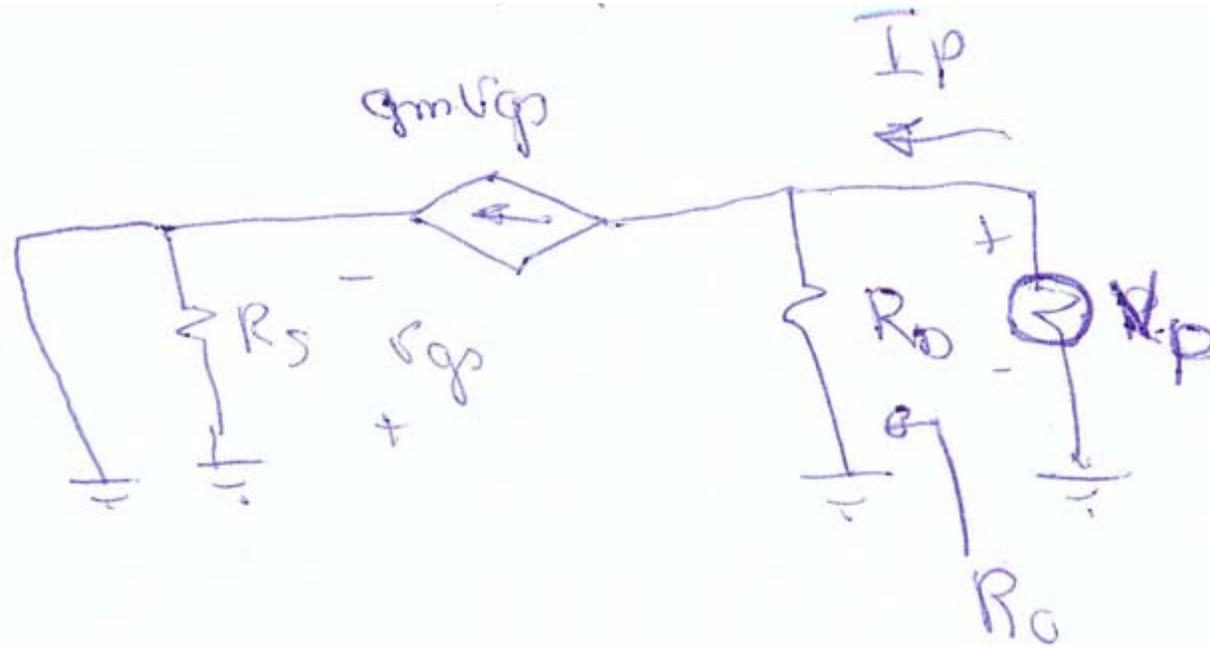
$$-v_{gs} = v_{in}$$

$$i_{in} = v_{in} \left( g_m + \frac{1}{R_s} \right)$$

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_s}}$$

Esta configuración tiene una baja resistencia de entrada.

## \* Resistencia de salida



$$V_{gs} = 0$$

$$R_o = R_D$$

## ESPEJO DE CORRIENTE CON MOSFET

Hallar los valores de los voltajes y corrientes en el circuito.

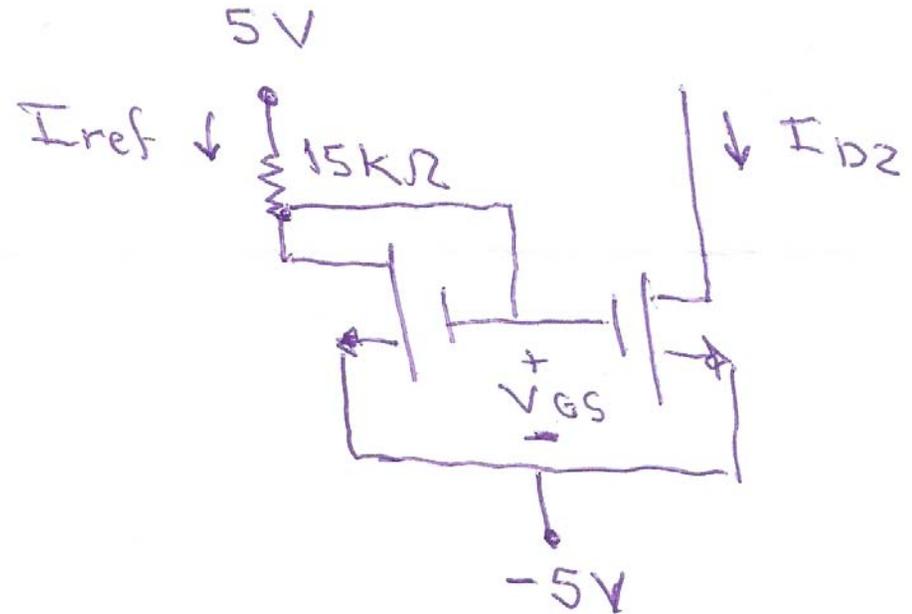
$$V_t = 2V$$

$$\mu_n C_{ox} = 20 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$L = 10 \mu m$$

$$W = 100 \mu m$$

$$\lambda = 0$$



$V_{GD} = 0 < V_t = 2$  Están en saturación

Ecuaciones en el circuito MOSFET de la izquierda  $I_{ref} = I_D$ :

$$5V = 15k \dot{I}_D + V_{GS} - 5V$$

$$\therefore 10V = 15I_D + V_{GS}$$

$$V_{GS} = 10V - 15I_D$$

Ecuación de la corriente en el MOSFET. Cálculo de  $I_D$

$$I_D = 0,1 (8 - 15 I_D)^2$$

$$I_D = 0,1 (64 - 240 I_D + 225 I_D^2)$$

$$I_D = 6,4 - 24 I_D + 22,5 I_D^2$$

---

$$22,5 I_D^2 - 25 I_D + 6,4 = 0$$

$$I_D = \frac{25 \pm \sqrt{625 - 576}}{22,5 \times 2} = \begin{matrix} \rightarrow 0,71 \text{ mA} \\ \rightarrow 0,4 \text{ mA} \end{matrix}$$

---

Para  $I_D = 0,71 \text{ mA}$  tenemos  $V_{GS} = 0,65 \text{ V}$  mientras que para  $I_D = 0,4 \text{ mA}$  tenemos  $V_{GS} = 4 \text{ V}$ .

La corriente  $I_{D2}$  es igual a  $I_D$  y constituye la fuente de corriente que puede utilizarse para polarizar otros amplificadores.