

CMOS Small Signal- Ayudantia 1

Resumen de regiones de operacion

Se podria dividir en zonas de operacion dependiendo de V_{ds} y V_{gs}

Para V_{ds} :

- Zona activa o de saturacion $V_{ds} > V_{gs} - V_t$
 - El MOS actua como fuente de corriente. I_d no depende de V_{ds} .
 - Valor de fuente de corriente esta modulado por V_{gs} .
- Zona triodo $V_{ds} < V_{gs} - V_t$
 - Valor de resistencia puede ser modulado por V_{gs} .
 - Si se quiere usar el MOS como switch, debe operarse en zona lineal, y buscar la menor resistencia de encendido.

Note

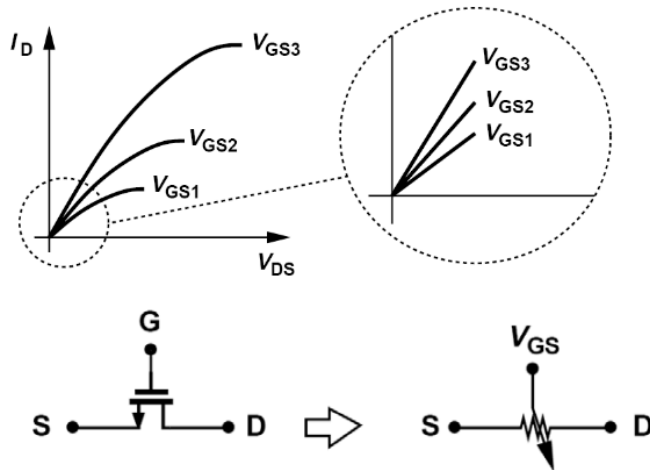
Mientras mas grande W y V_{gs} , menor la resistencia de encendido, es decir se tendran menores perdidas de encendido. A cambio se obtienen transistores que ocupan mayor area que pueden entregar mayor corriente

Características I/V del MOS

Región Triodo

Para valores de V_{DS} “muy pequeños”:

$$I_D \approx \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} \quad (11)$$



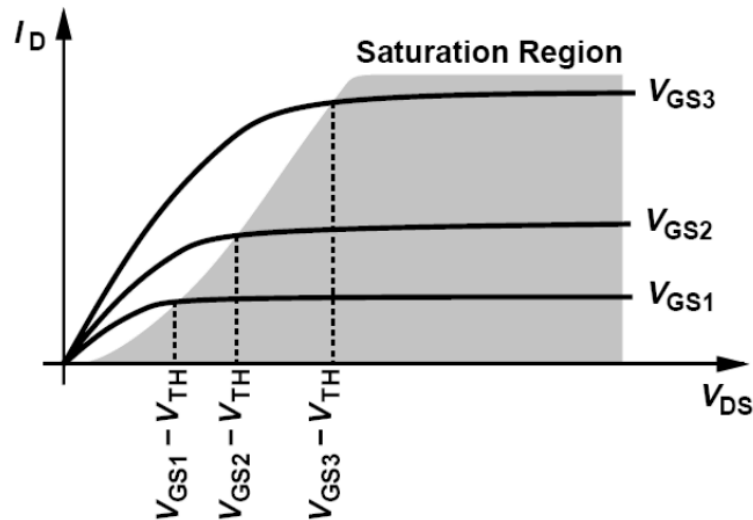
El MOS como Resistor:

$$R_{on} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \quad (12)$$

- Un dispositivo MOS se comporta como un resistor controlado por la tensión V_{GS} , siempre que $V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$
- El dispositivo puede estar *encendido* y sin circulación de corriente sólo si $V_{DS} = 0$.

Características I/V del MOS

¿Qué sucede si $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$?



¿Qué sucede si $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$?

- Si $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$, I_D se vuelve relativamente constante.
- El MOS entra en “**Región de Saturación**” (*pinch-off*).
- I_D NO depende de V_{DS} .

22

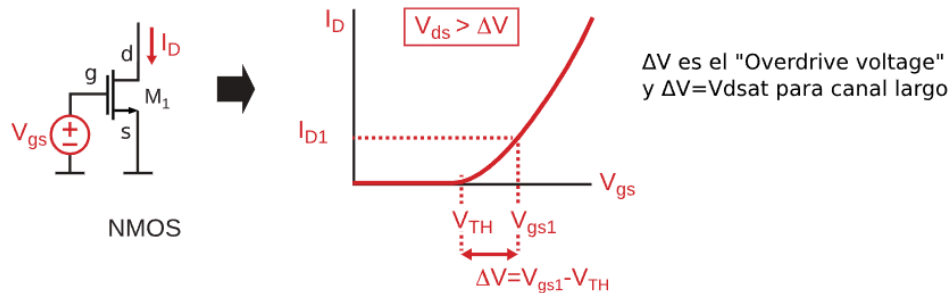
Para V_{gs} cuando se esta en zona de saturacion:

- Inversion debil-curva exponencial-corriente de difusion
- Inversion fuerte-curva cuadratica- drift current
- Velocity saturation-curva lineal-colision de electrones

Características I/V del MOS

Región de Saturación: $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$

Curva I_D vs. V_{GS} :

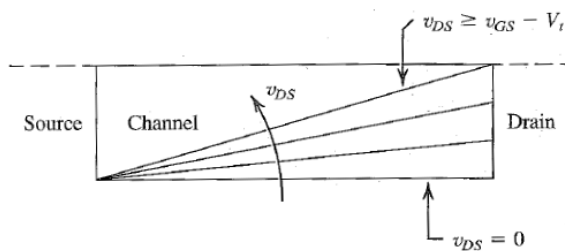


- Si $V_{GS} < V_{TH}$, el MOS se considera "apagado" (región sub-umbral)
- Se define a $\Delta V = (V_{GS} - V_{TH})$ como *overdrive* y equivale a $V_{DS,sat}$ o $V_{pinchoff}$ en "canal largo".

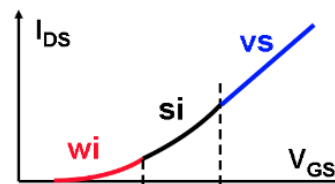
Región de Saturación:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

MOSFET "square-law" (SL) equation: saturation region



$$i_D = \frac{1}{2} K_P \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)^2$$



(Saturation region)

$$I_{DS} \sim (V_{GS} - V_T)$$

$$I_{DS} = K'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$K' = \frac{K_P}{2n}$$

$$I_{DS} \sim \exp \frac{V_{GS}}{nkT/q}$$

- 3 distinctive regions:
 - **weak inversion (exponential) region** → **diffusion current**
 - **strong inversion (square law) region** → **drift current**
 - **velocity saturation (linear) region** → **electron collision**

Corriente de difusión (diffusion)

Corriente resultado de un gradiente de de concentración de portadores de carga.

Una forma intuitiva de verlo es como si hubiera un recipiente de de agua, en un extremo se ponen gotas de tinta, y estas de a poco van a moverse a la zona de menor concentración. En un inicio hay

una zona con alta concentracion, y otra sin nada, pero despues de un rato esta se va desplazando sin presencia de un campo electrico.

Corriente de deriva (drift)

Corriente producto de un campo electrico. Similar a como el viento haria que en un campo las hojas se muevan en una direccion particular.

Resumen de efectos de segundo orden

Los efectos de segundo orden son consideraciones que se agregan al modelo ideal para describir el comportamiento de los transistores bajo distintos fenomenos y condiciones de operacion. Es importante considerarlos para poder hacer un diseño mas preciso.

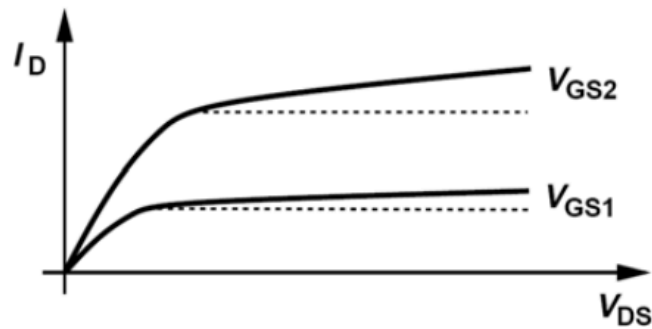
Estos son:

- Modulacion de longitud de canal
- Conduccion sub-umbral (subthreshold)
- Efecto body
- Temperatura

Modulacion de longitud de canal

Efectos de Segundo Orden

Modulación de Longitud del Canal



- A medida que aumenta V_{DS} el ancho de la región de depleción entre la capa de inversión y el drenador aumenta.
- El ancho de canal efectivo (L') disminuye e I_D sube.
- Si consideramos, $L' = L - \Delta L$, i.e. $1/L' \approx (1 + \Delta L/L)/L$, entonces si asumimos una relación lineal tal como $\Delta L/L = \lambda V_{DS}$, nos queda:

$$I_D \approx \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (18)$$

- **RECORDAR:** $\lambda \propto 1/L$

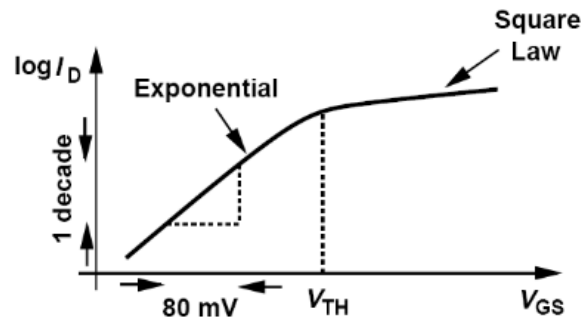
Note

En terminos sencillos, al tener L pequeños, el transistor en region de saturación presenta cambios en su corriente en función de V_{ds} , por lo que es una mala fuente de corriente. Al aumentar el largo se disminuye λ por lo que se va asemejando mas a una fuente de corriente ideal.

Conduccion sub-umbral

Conducción Sub-UmbraI del MOS (*subthreshold*)

- Para V_{GS} cercano al V_{TH} , I_D muestra una dependencia exponencial respecto a V_{GS} (para $V_{DS} > 200mV$).



$$I_D = I_{D0} \frac{W}{L} \exp \frac{V_{GS}}{\zeta V_T} \quad (19)$$

donde:

- $V_T = kT/q \approx 26mV$.
- I_{D0} depende del proceso, por ejemplo, entre 5 a 50nA.
- $\zeta > 1$ es un factor de corrección.

Note

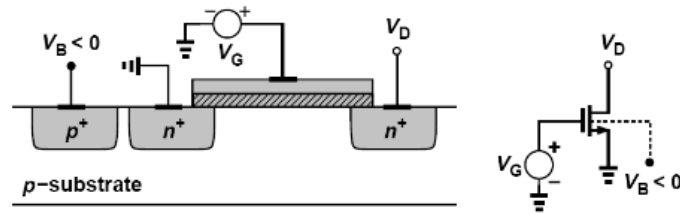
El transistor realmente no esta apagado al tener un V_{gs} cercano al threshold, por lo que presenta corrientes de fuga bajo ciertas condiciones. Su crecimiento es exponencial. Este efecto se puede aprovechar para ciertas aplicaciones, pero para otras es indeseado. El voltaje de threshold depende de la tecnologia, y se puede manipular para que sea mayor o menor. A veces se tienen dispositivos con distintos tipos de threshold segun su aplicacion.

- La conducción *subthreshold* se considera en circuitos digitales de gran escala, (e.g., memorias, DSP) debido a que la corriente de *stand-by* no es despreciable.
- La operación sub-umbral se denomina también modo de inversión débil (*weak inversion*).
- La polarización de circuitos en *weak inversion* es muy utilizada para el diseño en ultra bajo consumo tanto en circuitos analógicos como digitales.
- La operación sub-umbral permite obtener mayor transconductancia g_m por cada unidad de corriente I_D utilizada.
- La operación sub-umbral NO se utiliza en circuitos de alta velocidad, ya que no permite obtener el máximo ancho de banda del MOS.

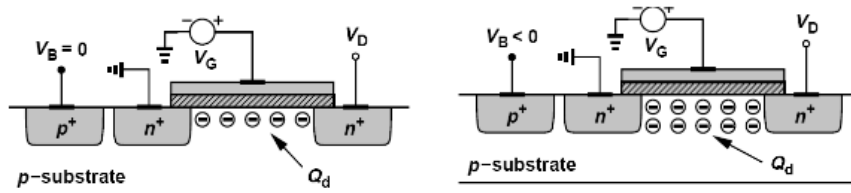
Efecto Body

Efecto *Body*

- Supongamos que la tensión del sustrato/*bulk* no está a “cero” junto al surtidor.



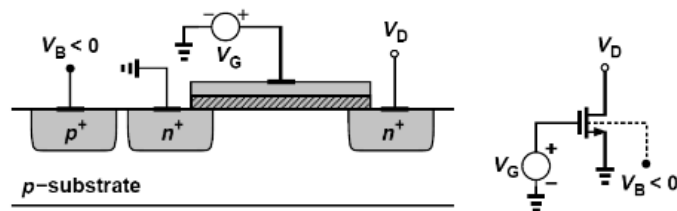
- ¿Qué sucede debajo de la compuerta si $V_B < 0$?



- A medida que la tensión de *bulk* V_B (sustrato) se vuelve más negativa, más agujeros pueden desprenderse de los átomos bajo el área de compuerta dejando más iones detrás.
- \Rightarrow la región de deplexión contribuye más cargas Q_d
- \Rightarrow la tensión de compuerta V_G debe ser mayor para formar la capa de inversión.
- \Rightarrow **El umbral V_{TH} aumenta!!!**

Efecto *Body*

- Supongamos que la tensión del sustrato/*bulk* no está a “cero” junto al surtidor.



- ¿Cuánto sube el umbral V_{TH} por efecto de la tensión de *bulk* - surtidor V_{SB} ?

$$V_{TH} = V_{TH0} + \gamma(\sqrt{2\phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_F}) \quad (20)$$

donde:

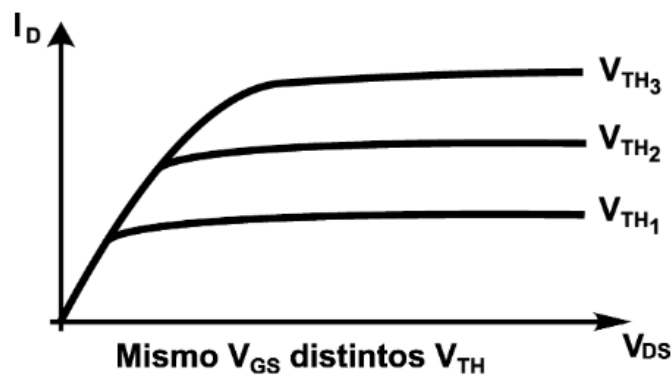
- V_{SB} es la tensión surtidor-bulk,
- V_{TH0} es el umbral para $V_{SB} = 0$ dado por (1),
- y $\gamma = \sqrt{2q\epsilon_{Si}N_{sub}/C_{ox}}$ es el coeficiente de efecto *body* (típicamente entre 0.3 y 0.4 $V^{1/2}$).

El efecto body genera un aumento en V_{th} , por lo que para dispositivos con las mismas dimensiones de W y L y mismo V_{gs} , la region de saturación se alcanza antes, y por ende se reduce la corriente que puede entregar al funcionar como fuente de corriente.

🔥 Para estar en saturacion

$$V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$$

Características del MOS: ¿Cual es la V_{th} mas alta y cual es la mas baja?



Respuesta:

$$V_{TH3} < V_{TH2} < V_{TH1}$$

Temperatura

La temperatura afecta a parametros como la movilidad de los portadores $\mu_{n,p}$ como al V_{th} .

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

Para tecnologia de Silicio (Si), en general:

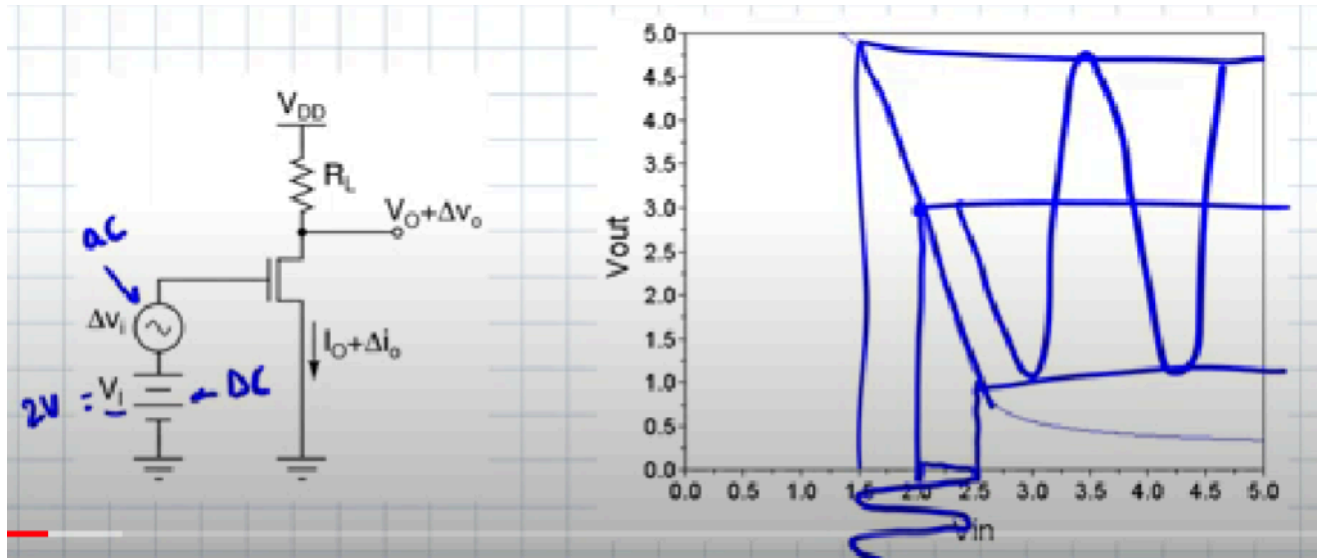
- Al aumentar T disminuye la movilidad \rightarrow Se obtiene menos corriente para las mismas dimensiones y voltajes de polarizacion, se vuelve mas lento. efecto dominante
- Disminuye ligeramnete el V_{th} , \rightarrow mayor corriente de fuga.

En tecnologias como Silicon Carbide :

- El aumento de temperatura aumenta la movilidad , por lo que los dispositivos funcionan mas rapido y entregan mas corriente a altas temperaturas.
- V_{th} disminuye.

Polarizacion o bias

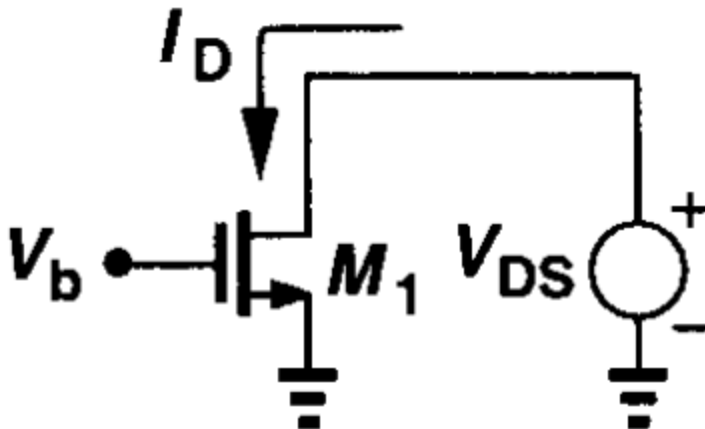
- Se necesita un punto de operación en DC que lleve al voltaje de entrada a una region de operacion util.
- Se define $V_{ov} = V_i - V_t$ como "Overdrive (sobreexcitacion de compuerta)"
 - $V_{ov} = V_{GS} - V_t$ cuando no hay señal de entrada.



Modelo a pequeña señal

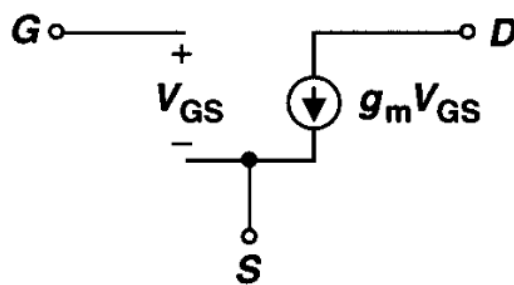
- [Razavi Electronics 1, Lec 34, MOS Small-Signal Model, PMOS Device](#)

Para analizar el comportamiento del circuito ante pequeñas variaciones de voltaje en la entrada, se hace analisis del circuito a pequeña señal. Para hacer esto se linealiza el circuito en torno al punto de operación o bias.

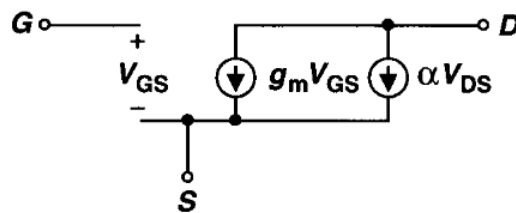


Pasos para linealizar un circuito:

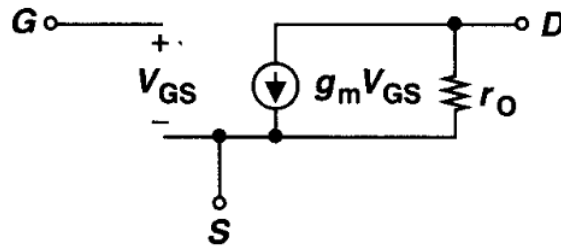
1. Definir punto de polarización y encontrar parametros importantes ej: g_m .
 2. Incrementar la diferencia de voltaje entre dos terminales.
 1. Si una fuente de voltaje no presenta cambios, su equivalente es un cortocircuito.
 3. Determinar los incrementos de corriente resultantes.
 1. Si una fuente de corriente no presenta cambios, su equivalente es un circuito abierto.
 4. Modelar estos cambios por dispositivos electricos adecuados.
 1. Simplificar el circuito lo mas posible.
- Si consideramos pequeñas variaciones de tensión entre compuerta-surtidor V_{GS} y medimos el consecuente cambio de corriente I_D , obtenemos:



- Modelo básico y principal de transferencia *Gate-Drain*
- Si consideramos pequeñas variaciones de tensión entre drenador-surtidor V_{DS} y medimos el consecuente cambio de corriente I_D , resulta:



- El efecto de modulación de longitud del canal (pendiente $\neq 0$ en la curva de I_D vs. V_{DS}).
- Una fuente de corriente dependiente de la tensión entre sus terminales es una resistencia.



- Impedancia r_o :

$$r_o = \frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \quad (21)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \lambda} \quad (22)$$

$$\approx \frac{1}{\lambda I_D} \quad (23)$$

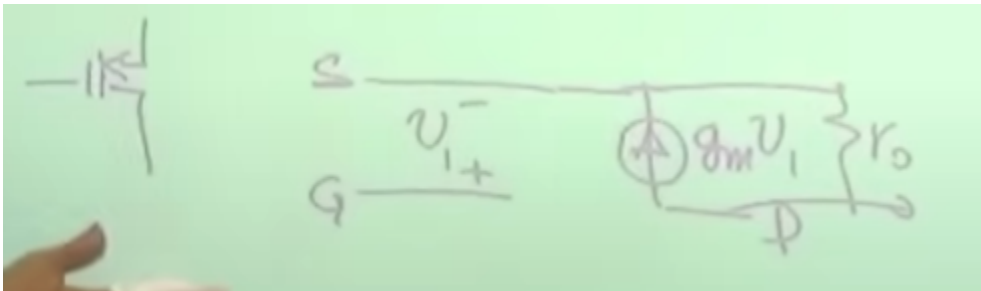
- r_o es la impedancia de salida del MOS, y es fundamental en la determinación del valor de ganancia de tensión de los amplificadores.

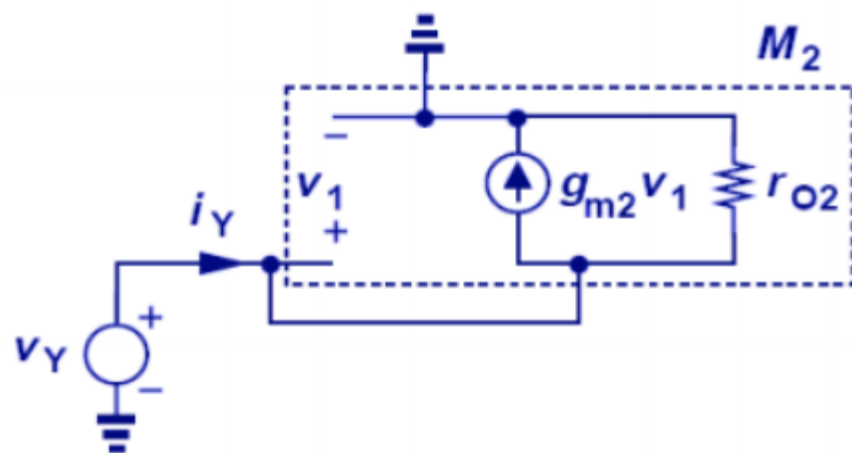
● RECORDAR: $\lambda \propto 1/L$

Tip

El largo es proporcional a la resistencia de encendido.

- Para dispositivos PMOS, es exactamente el mismo, sin embargo el drain y source están invertidos. Además la dirección de la fuente de corriente es en sentido contrario.





•

•