

# **Amplificadores con FETs**

(Repaso)

**Dr. José Ernesto Rayas Sánchez**

Algunas de las figuras de esta presentación fueron tomadas de la página de internet de los autores del texto:

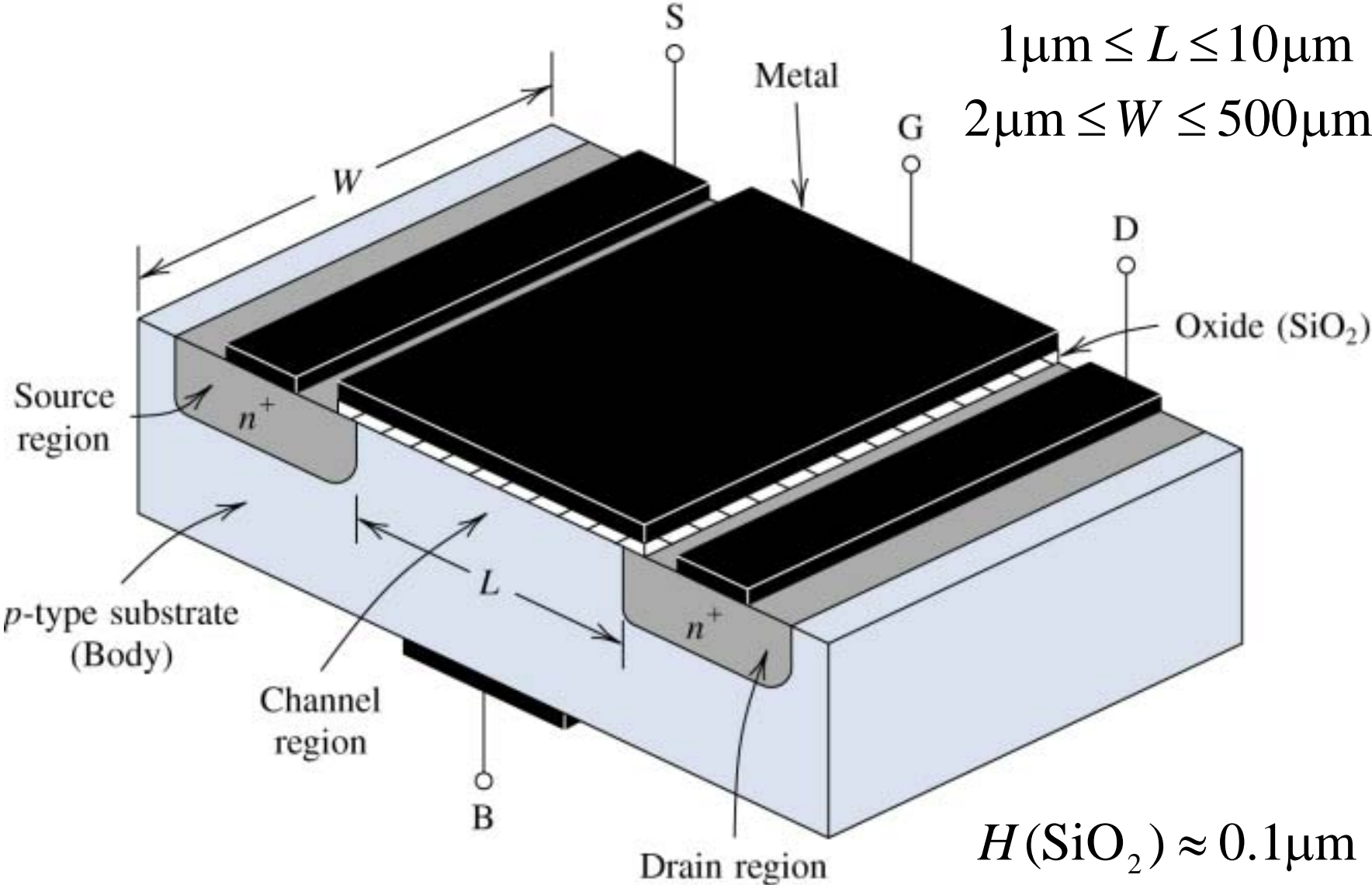
A.S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*. New York, NY: Oxford University Press, 1998.

# Introducción

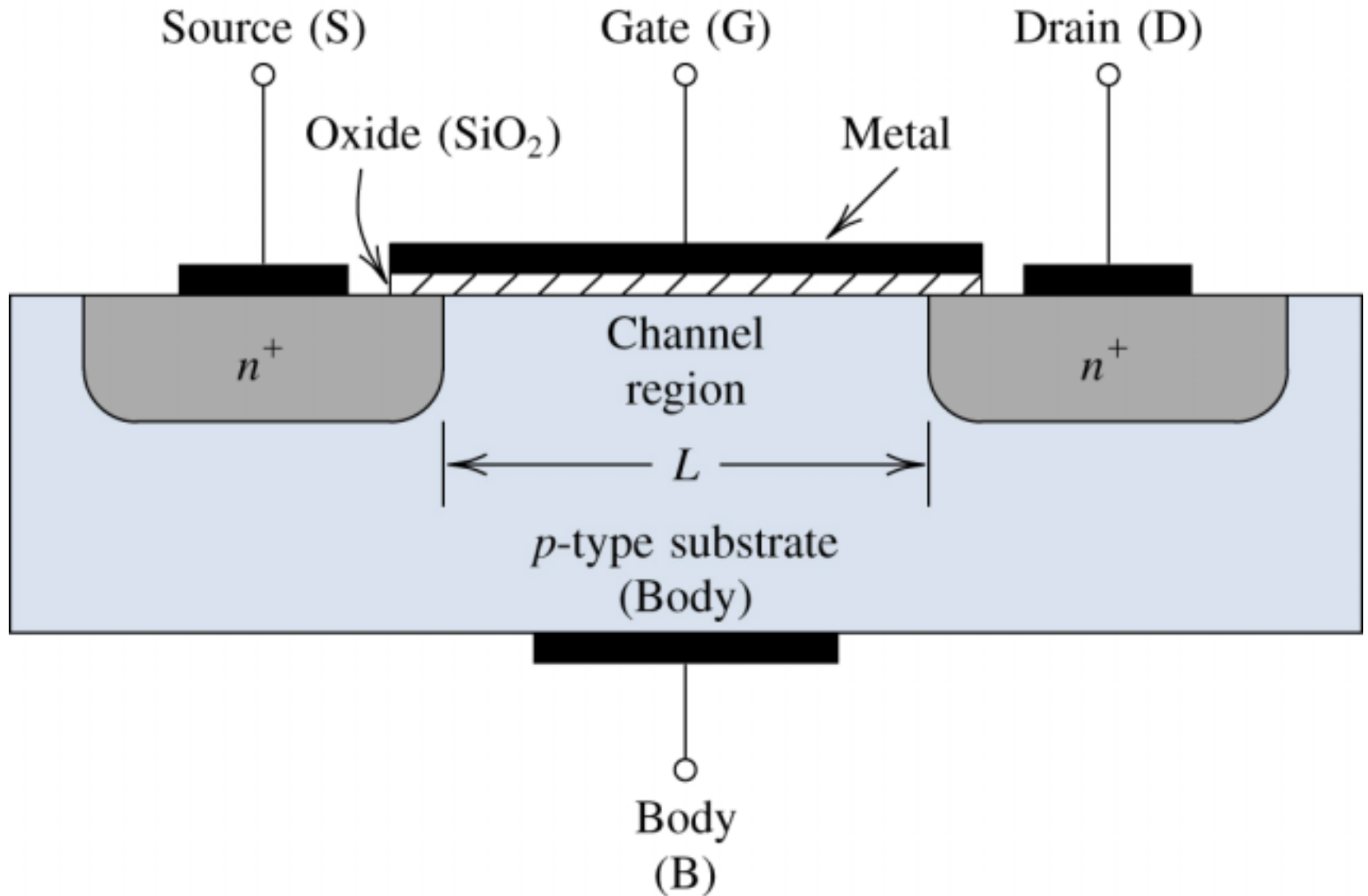
---

- En relación a los BJTs, los FETs son más fáciles de fabricar, y pueden hacerse más pequeños
- Existe una gran variedad de tecnologías FET: MOS, CMOS, DMOS, JFET, VMOS, etc.
- Funciones de lógica digital y memorias pueden fabricarse enteramente con MOSFETs
- La mayoría de los circuitos VLSI se implementan con tecnología MOS

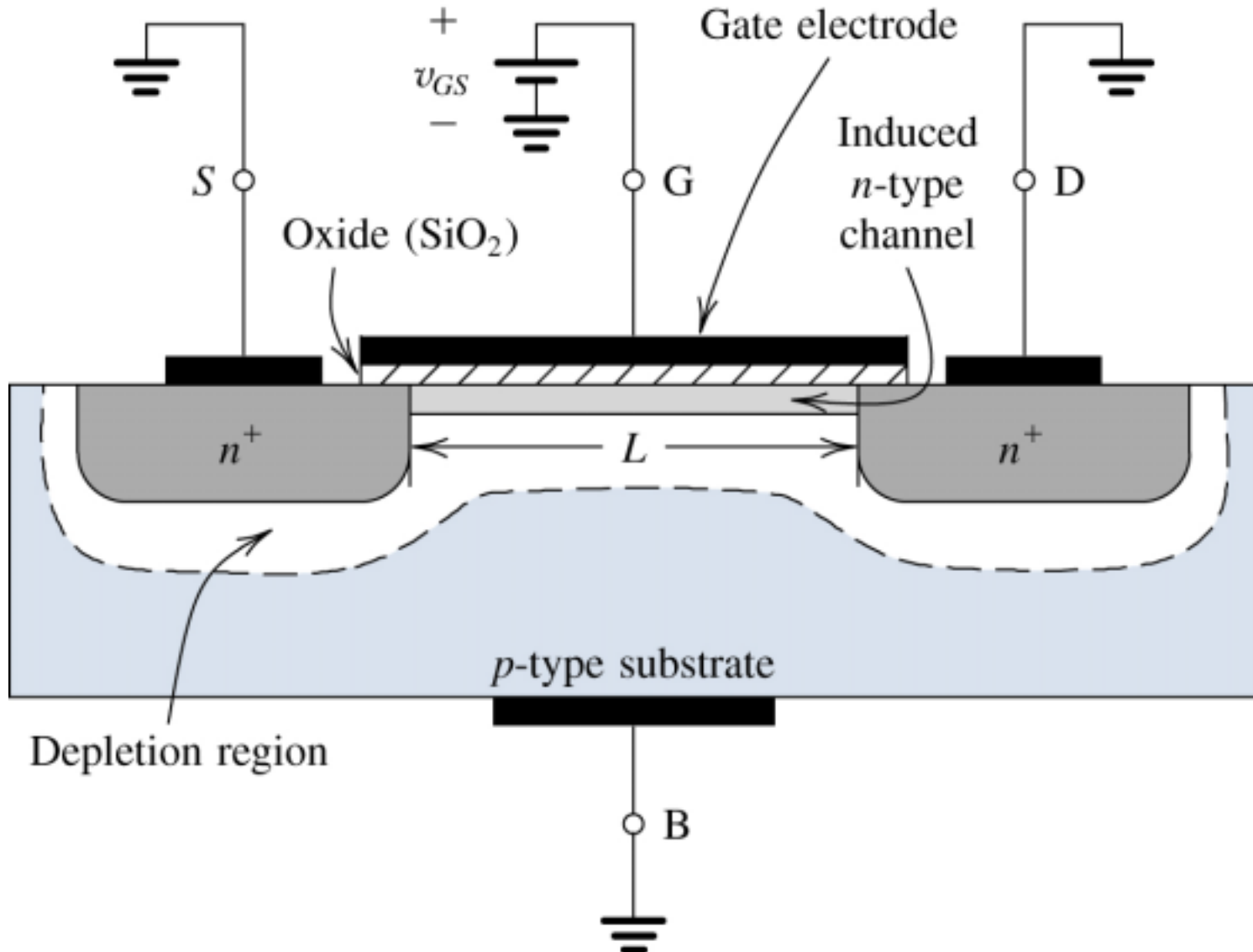
# Estructura Física del E-MOSFET



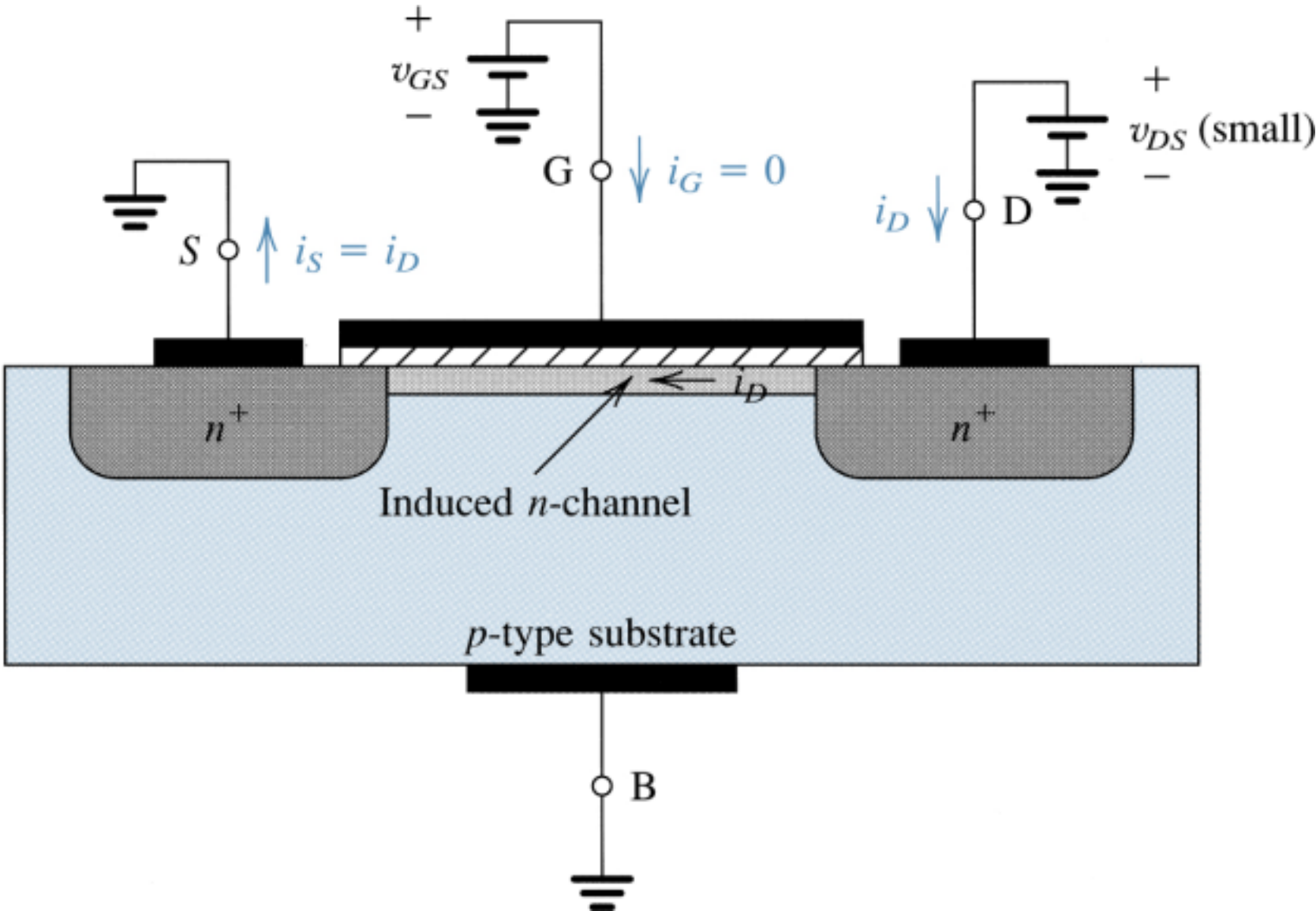
# Estructura Física del E-MOSFET (cont.)



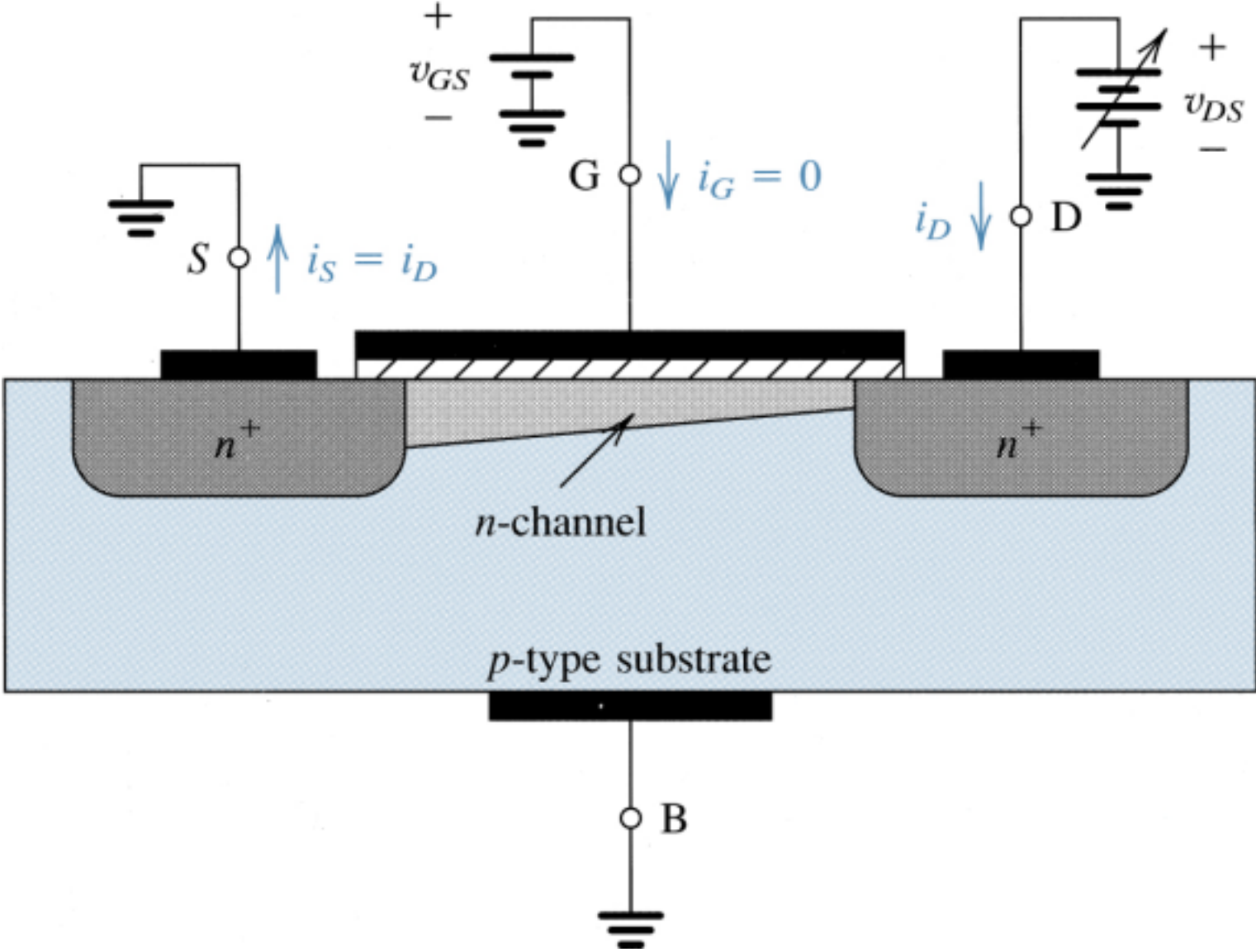
# Operación del E-MOSFET ( $v_{GS} > V_t$ , $v_{DS} = 0$ )



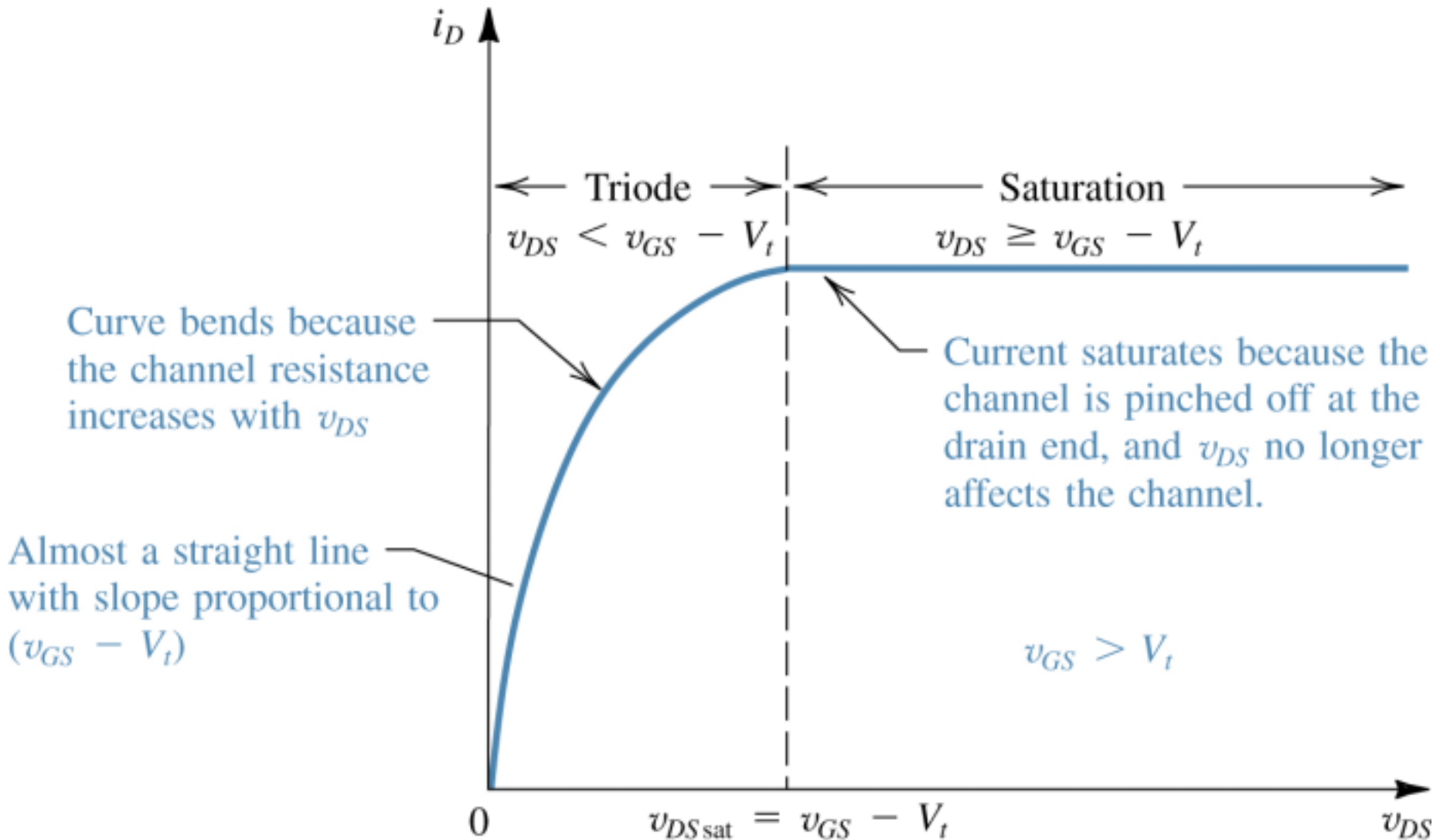
# Op. del E-MOSFET ( $v_{GS} > V_t$ , $v_{DS}$ pequeño)



# Op. del E-MOSFET ( $v_{GS} > V_t$ , $v_{DS}$ grande)

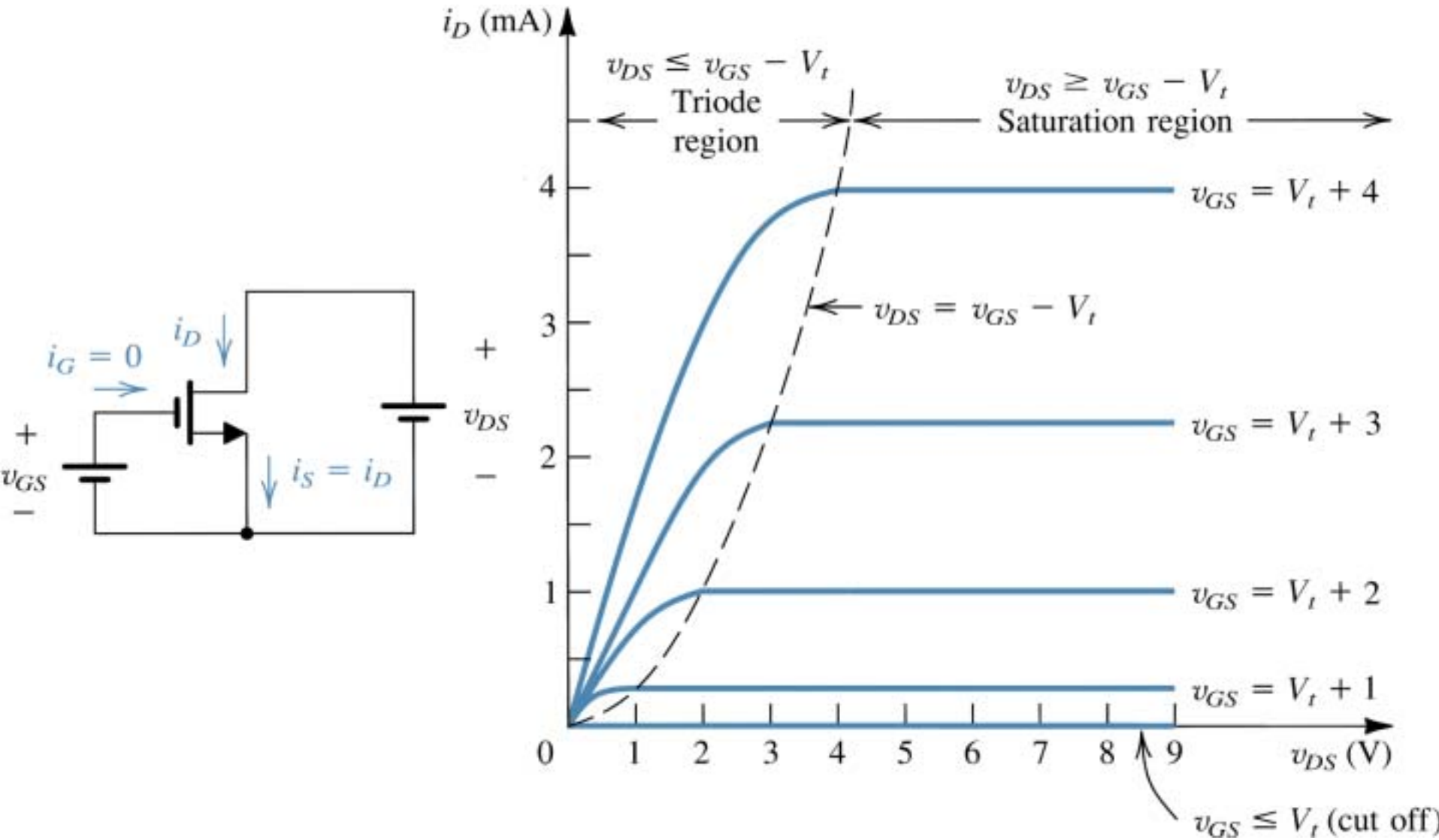


# Operación del E-MOSFET ( $v_{GS} > V_t$ )





# Curvas Características del E-MOSFET



# Ecuaciones del E-MOSFET

---

- En la región óhmica (triode region),  $v_{DS} < v_{GS} - V_t$

$$i_{DS} = K[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2] \quad K = \frac{1}{2}\mu_n C_{OX} \left(\frac{W}{L}\right)$$

$\mu_n$       movilidad de los electrones

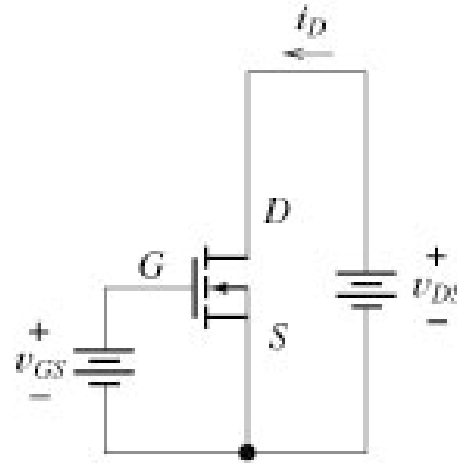
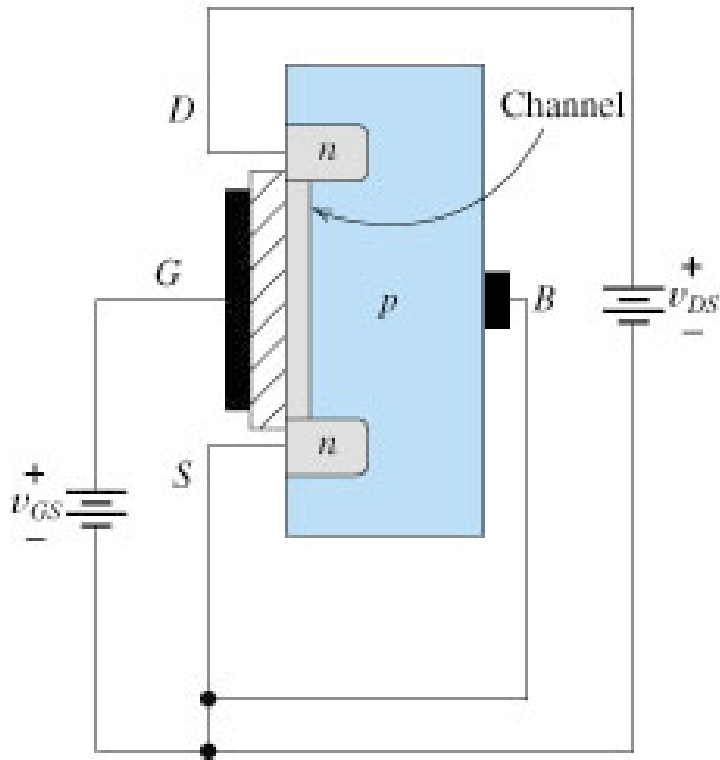
$C_{OX}$       capacitancia parásita de G-B por unidad de área

$$r_{DS} = \frac{v_{DS}}{i_{DS}} \approx [2K(v_{GS} - V_t)]^{-1} \quad \text{para } v_{DS} \text{ pequeño}$$

- En la región de saturación,  $v_{DS} \geq v_{GS} - V_t$

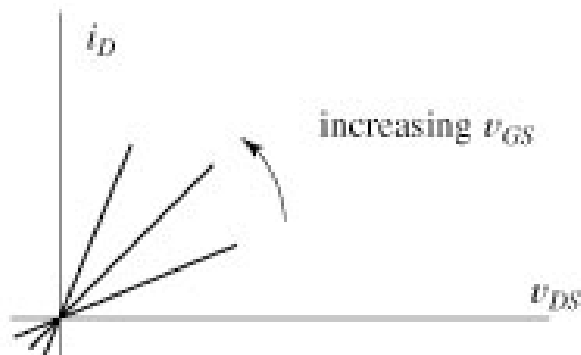
$$i_{DS} = K(v_{GS} - V_t)^2$$

# Región Óhmica del E-MOSFET

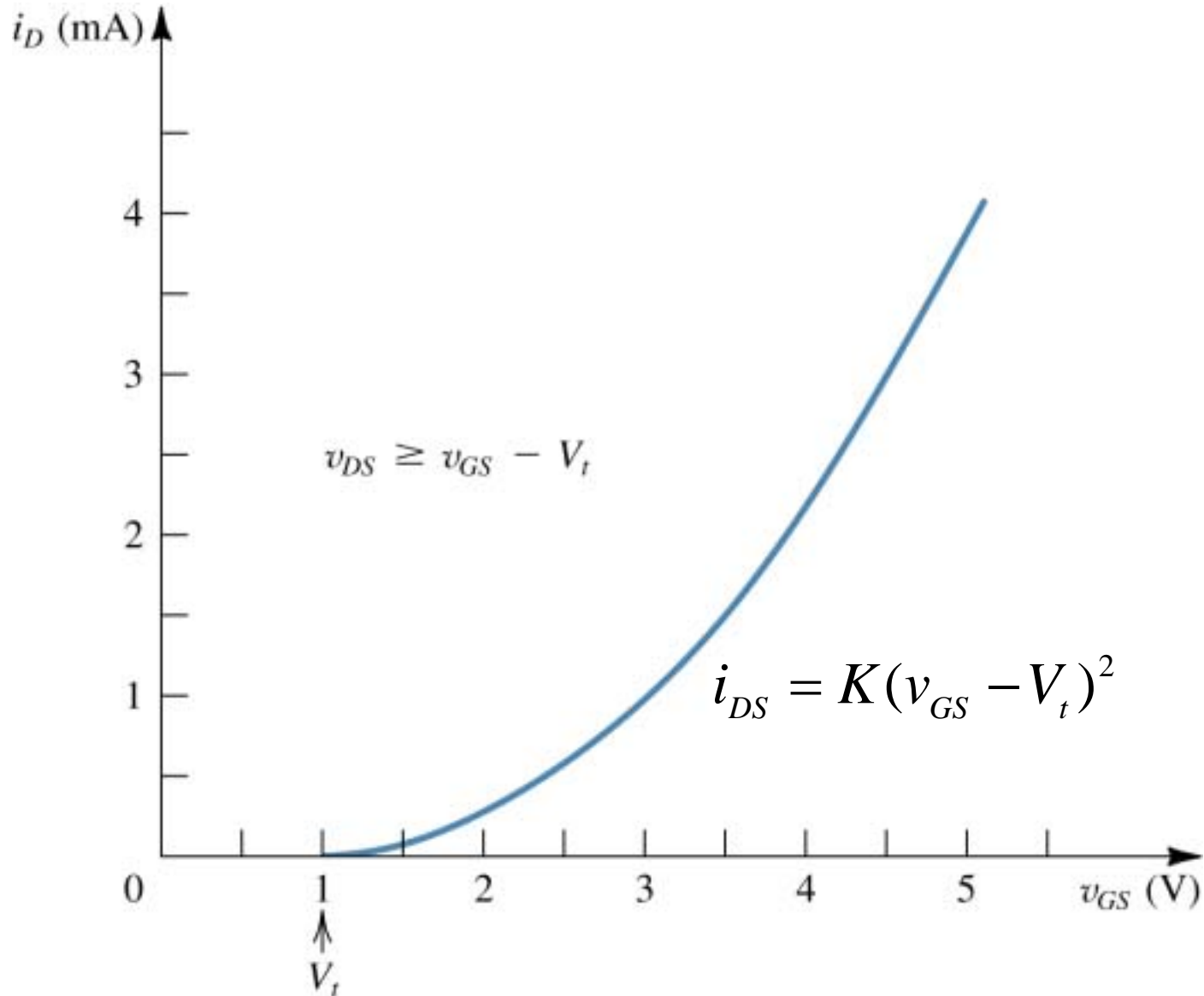


$$r_{DS} = \frac{v_{DS}}{i_{DS}} \approx [2K(v_{GS} - V_t)]^{-1}$$

para  $v_{DS}$  pequeño

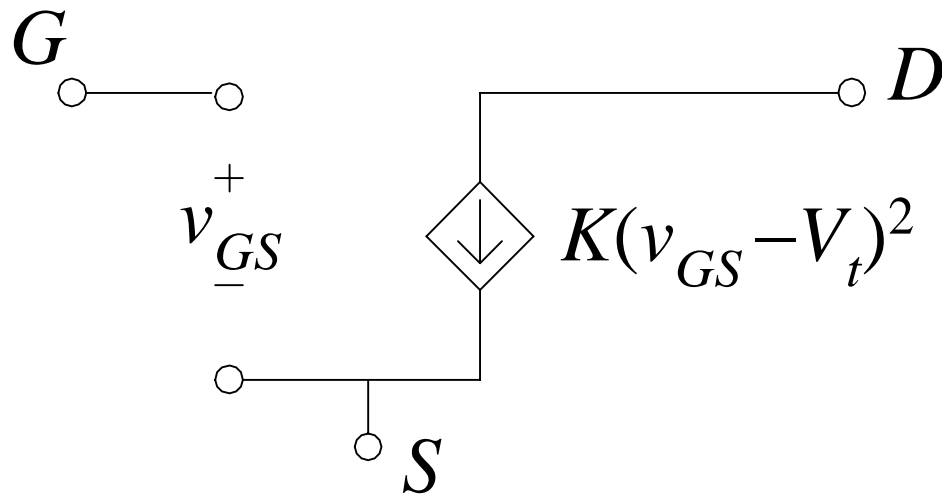


# Curva de Transconductancia del E-MOSFET

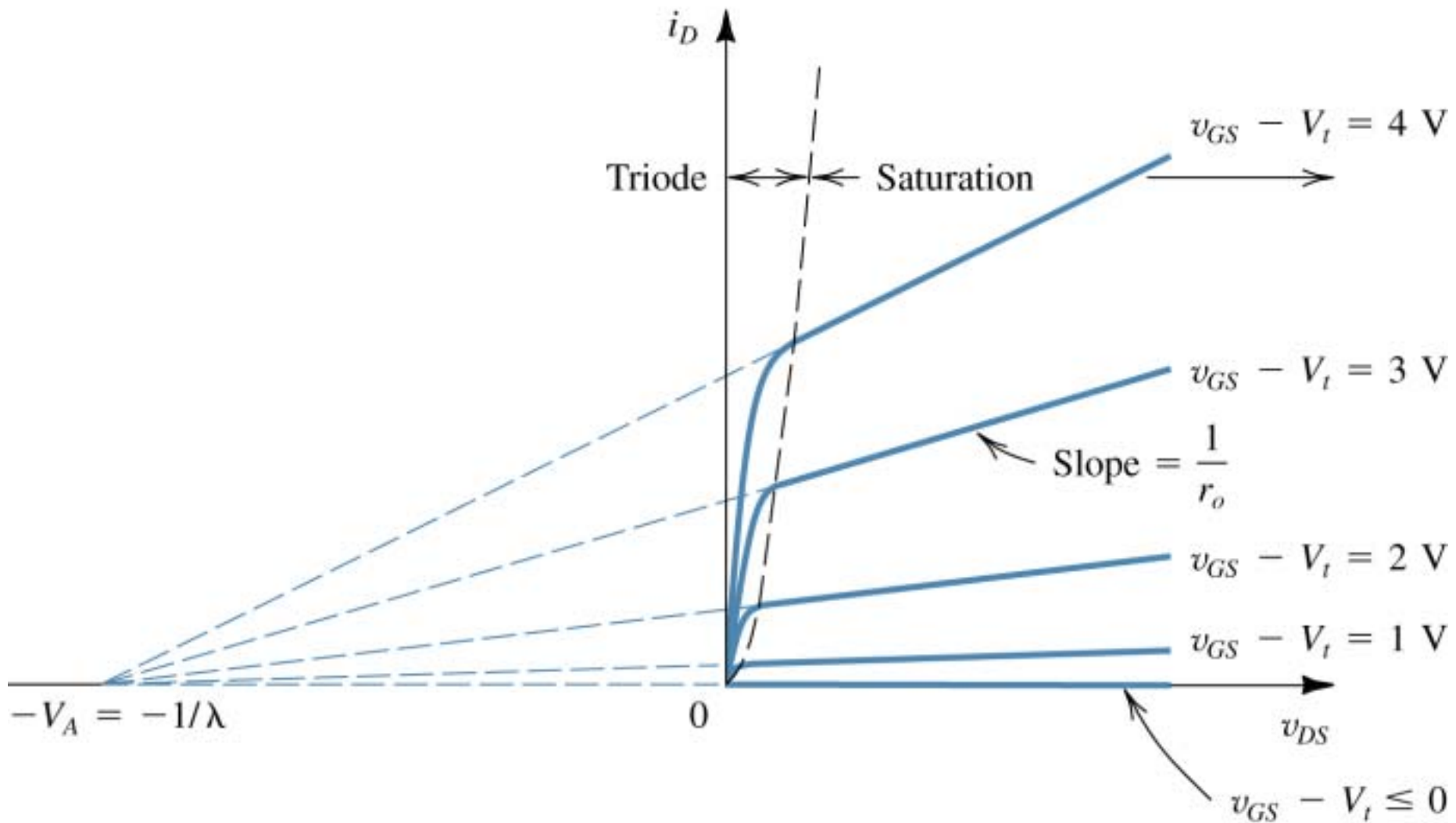


# Modelo para Señal Grande del E-MOSFET

---

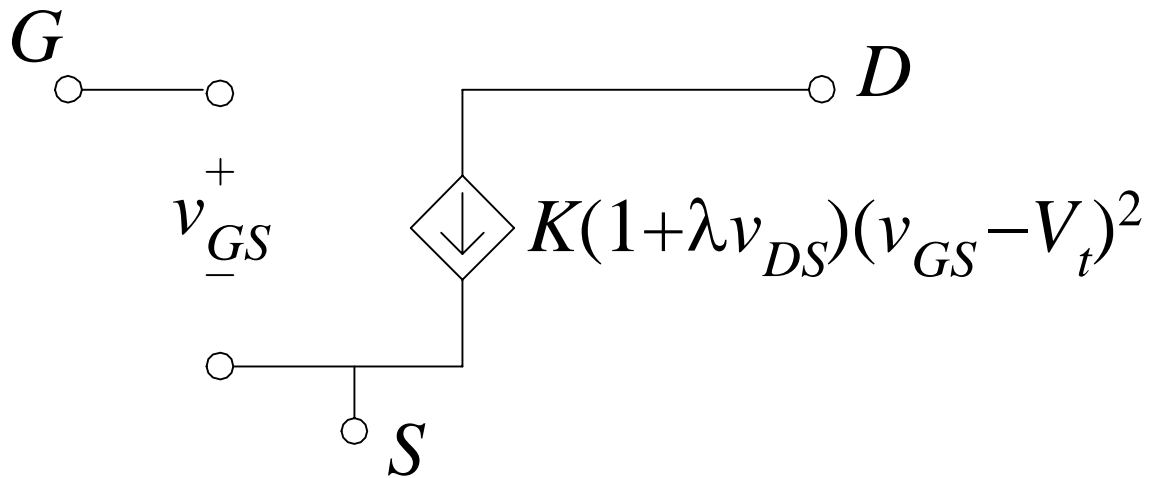


# Modulación de la Longitud del Canal



# Modelo del FET para Señal Grande (cont.)

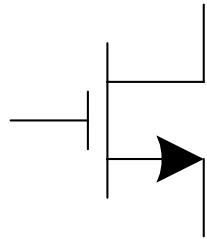
---



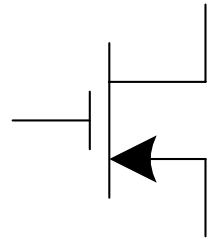
$\lambda$ : factor de modulación de la longitud del canal

# Símbolos de FETs

- E-MOSFET



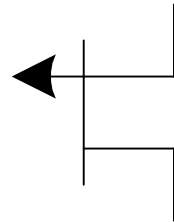
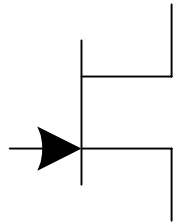
canal  $n$



canal  $p$

$$K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)$$

- JFET



$$K = I_{DSS} / V_P^2$$

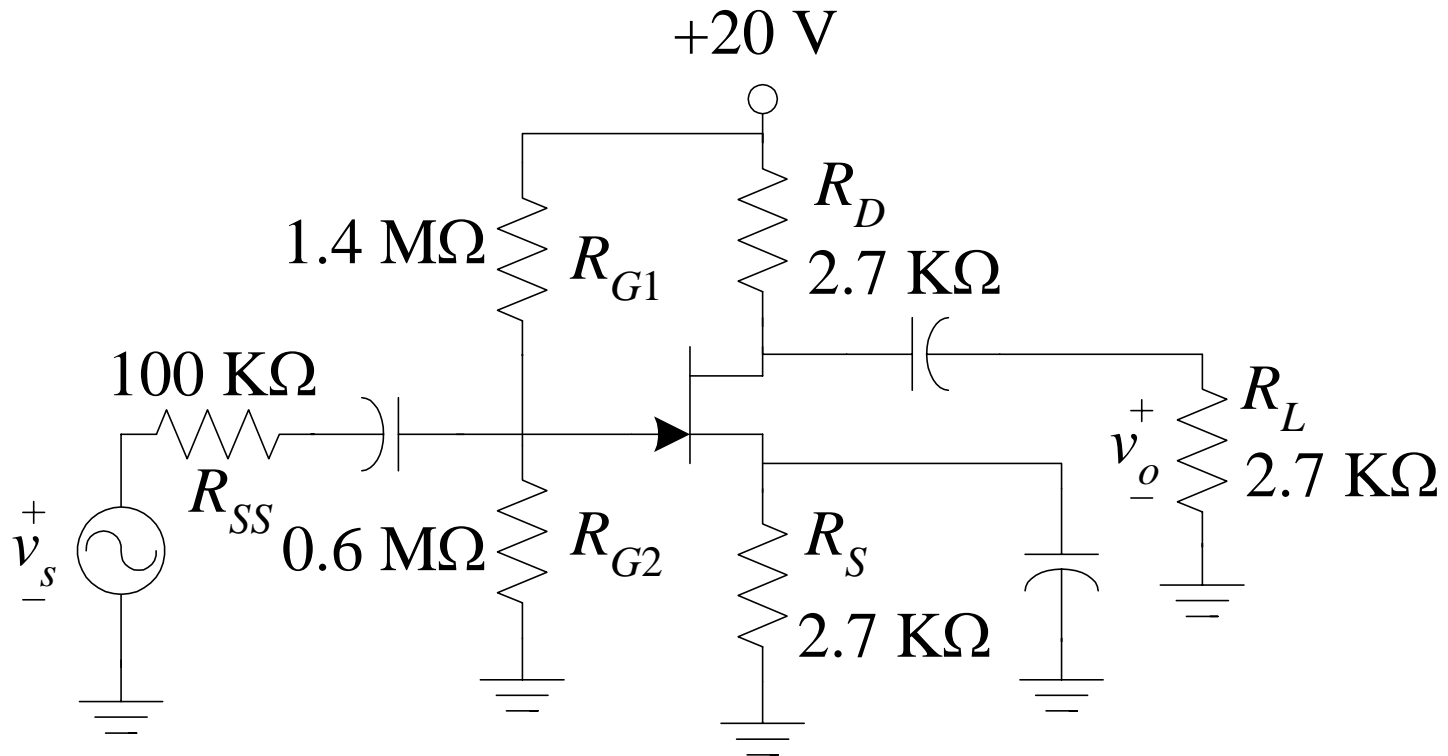
$$V_t = V_P$$



# Ejemplo

Calcular el punto de operación del JFET

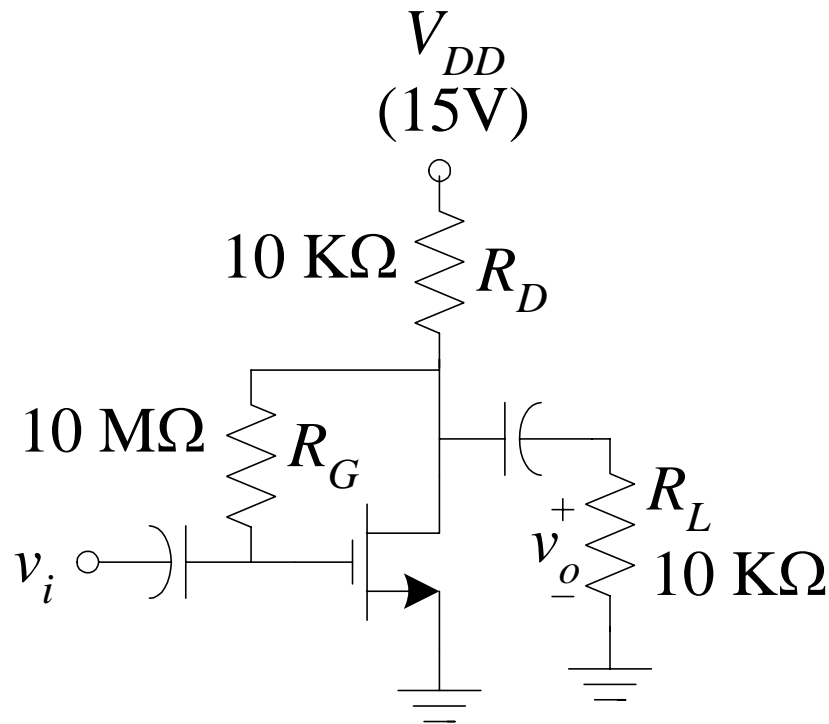
( $V_P = -4\text{V}$ ,  $I_{DSS} = 12\text{mA}$ )



# Problema

Calcular el punto de operación del MOSFET

( $V_t = 1.5 \text{ V}$ ,  $K = 0.125 \text{ mA/V}^2$ )

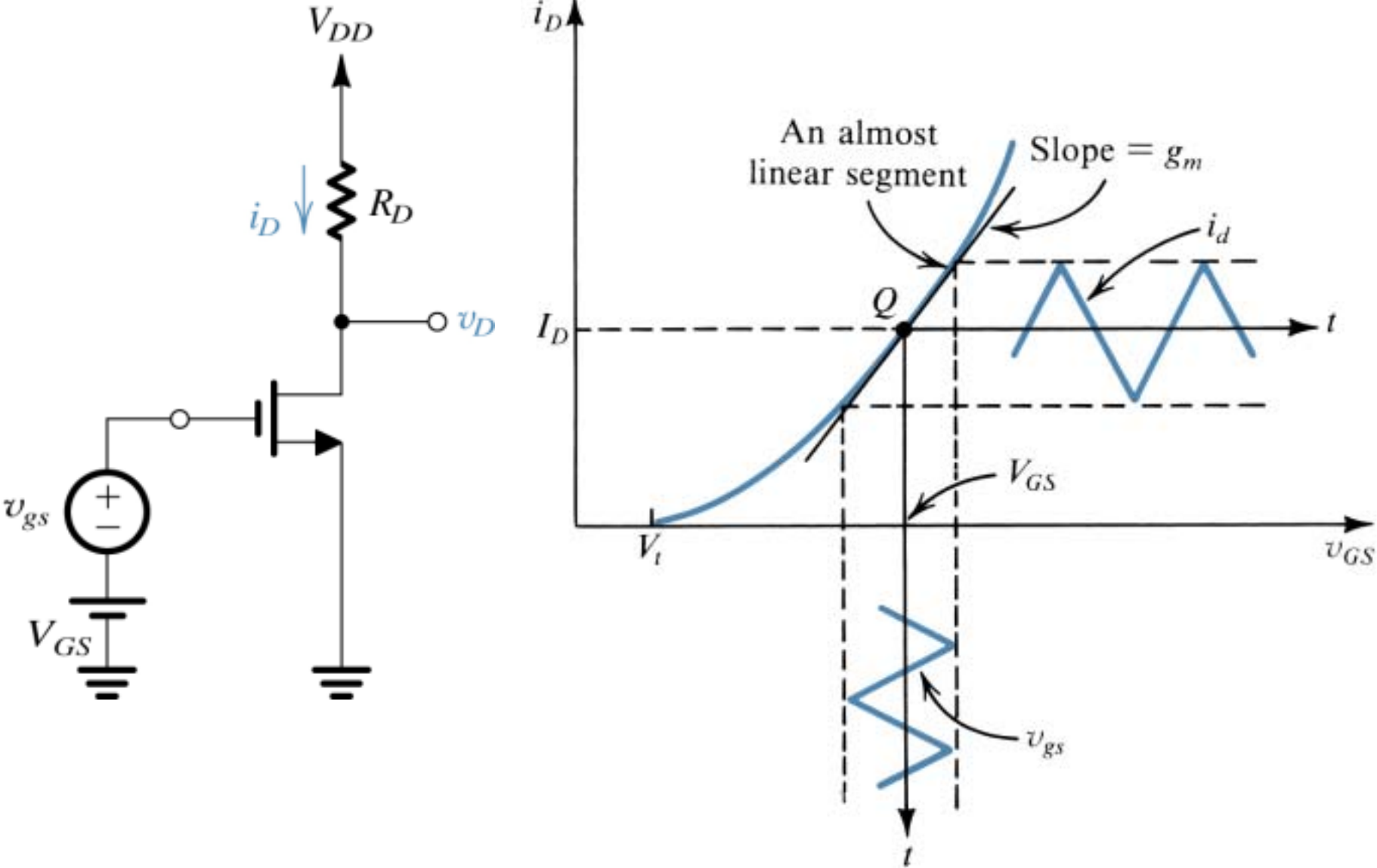


# Ejercicios de Tarea

---

Resolver problemas 5.34 y 5.42 del libro de texto

# El FET como Amplificador



# Transconductancia del FET, $g_m$

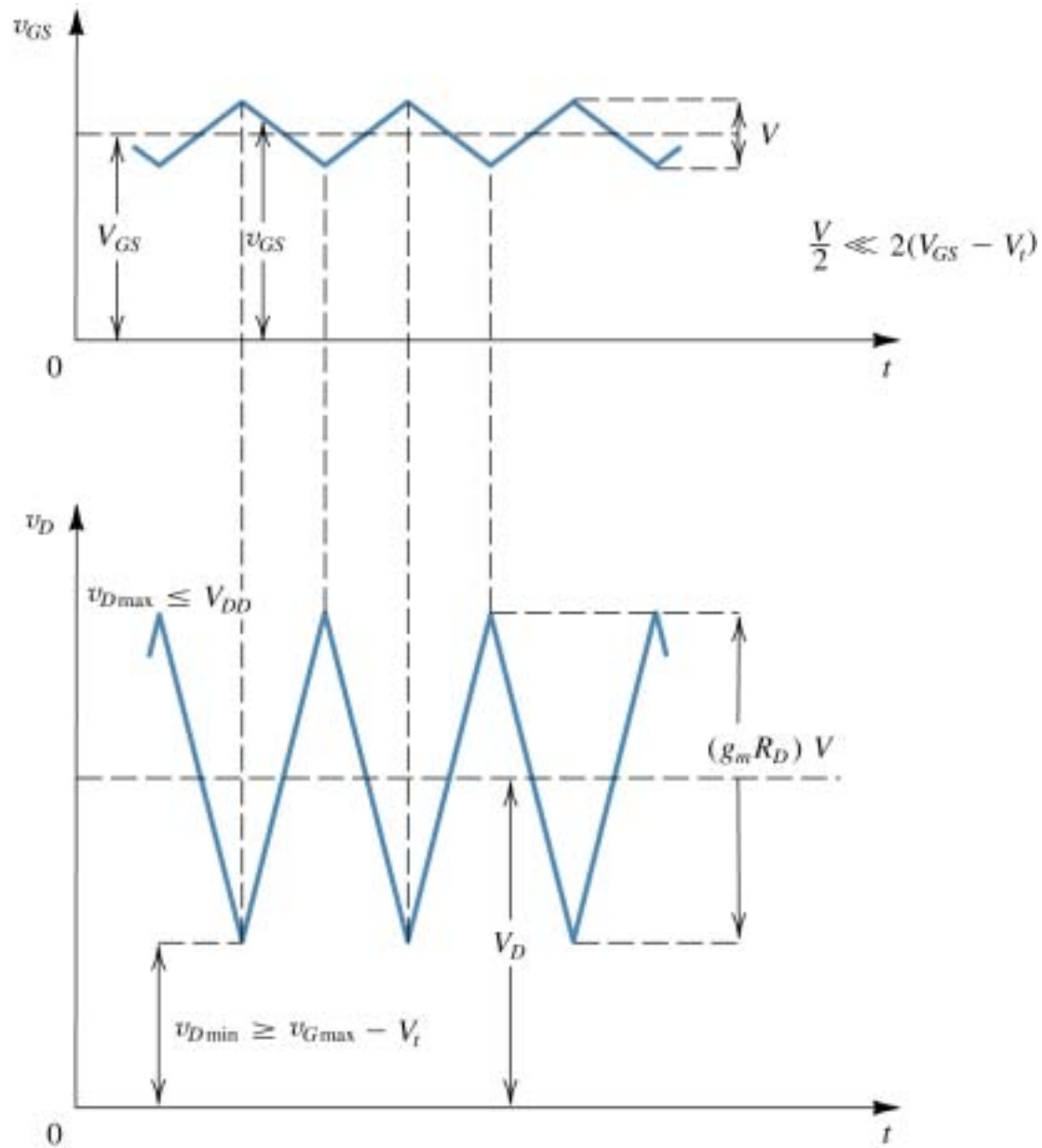
---

En la región de saturación,  $v_{DS} \geq v_{GS} - V_t$

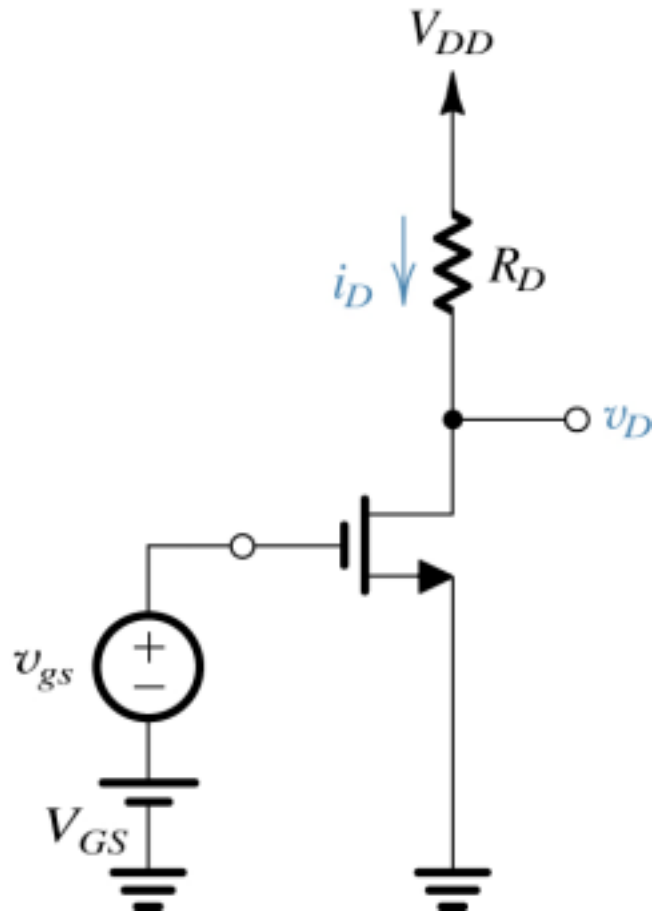
$$i_{DS} = K(v_{GS} - V_t)^2$$

$$g_m = \left. \frac{\partial i_{DS}}{\partial v_{GS}} \right|_{v_{GS}=V_{GS}} = 2K(V_{GS} - V_t)$$

# El FET como Amplificador (cont.)



# Señal Pequeña



$$v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$$

$$i_{DS} = K(v_{GS} - V_t)^2$$

$$i_{DS} = K(V_{GS} + v_{gs} - V_t)^2$$

$$i_{DS} = K(V_{GS} - V_t)^2 + 2K(V_{GS} - V_t)v_{gs} + Kv_{gs}^2$$

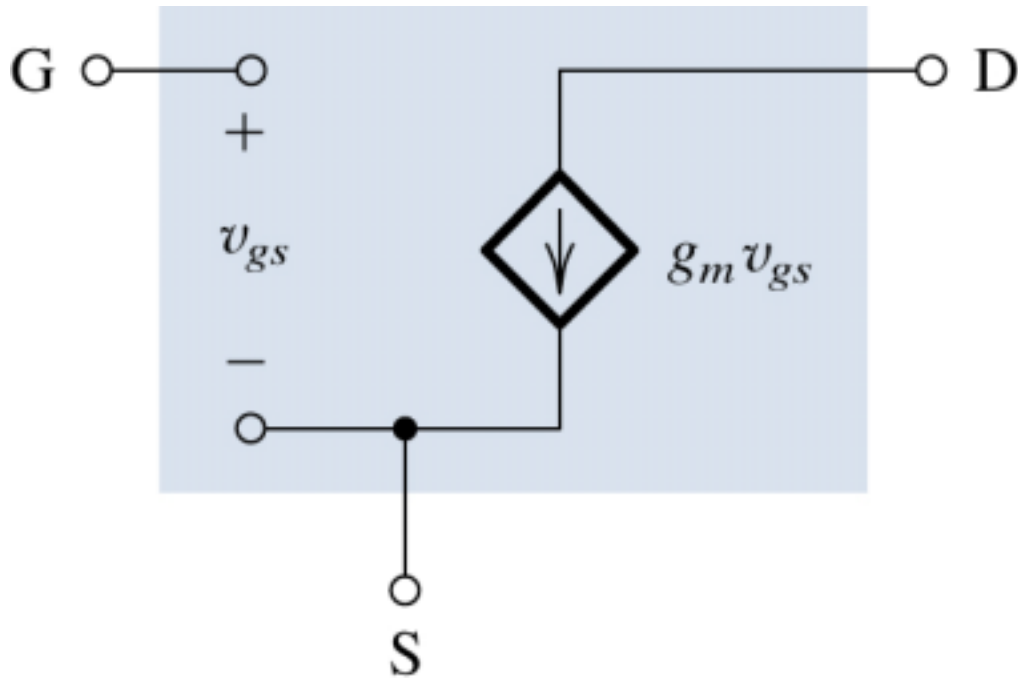
condición para señal pequeña,

$$v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_t)$$

$$i_{DS} = K(V_{GS} - V_t)^2 + 2K(V_{GS} - V_t)v_{gs}$$

$$i_{DS} = I_{DS} + g_m v_{gs} = I_{DS} + i_{ds}$$

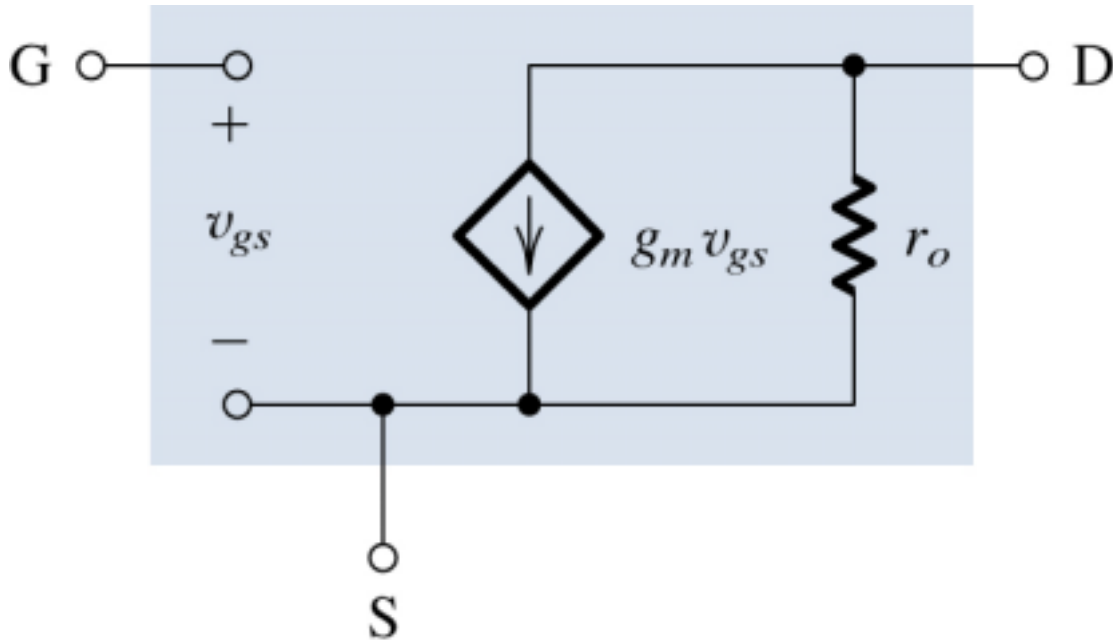
# Modelo del FET para Señal Pequeña



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



# Modelo del FET para Señal Pequeña (cont.)



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

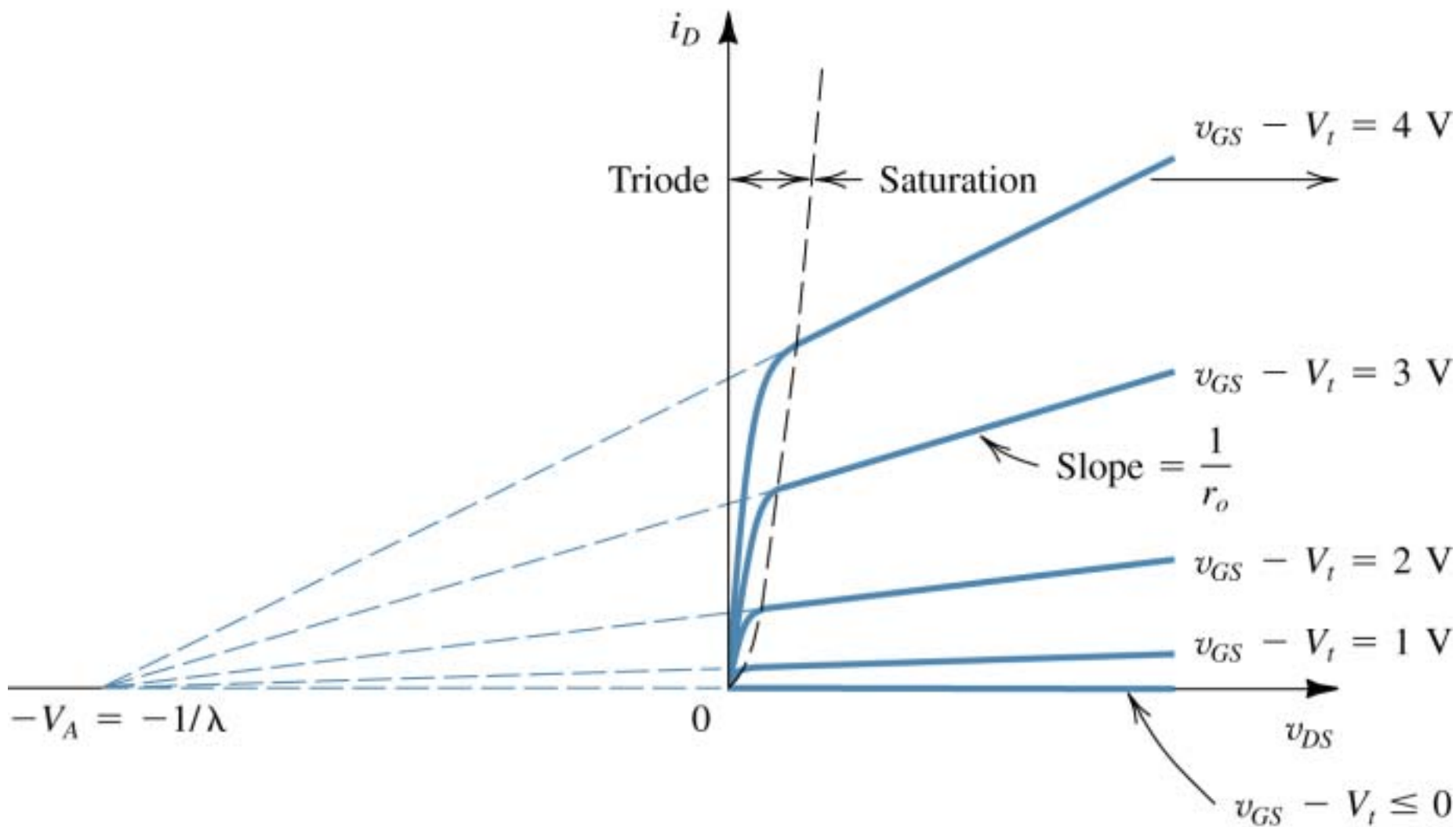
$$r_o = \frac{|V_A|}{I_{DS}}$$

$$V_A = 1/\lambda$$

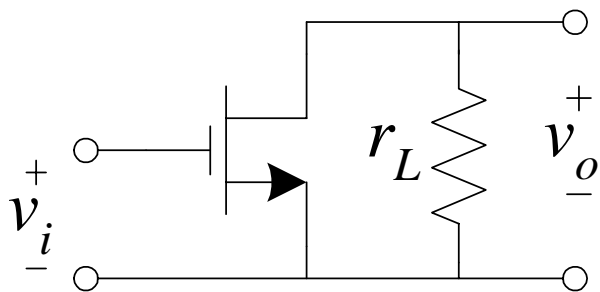
$\lambda$ : factor de modulación de la longitud del canal

tip.  $10\text{K}\Omega \leq r_o \leq 1\text{M}\Omega$

# Modulación de la Longitud del Canal

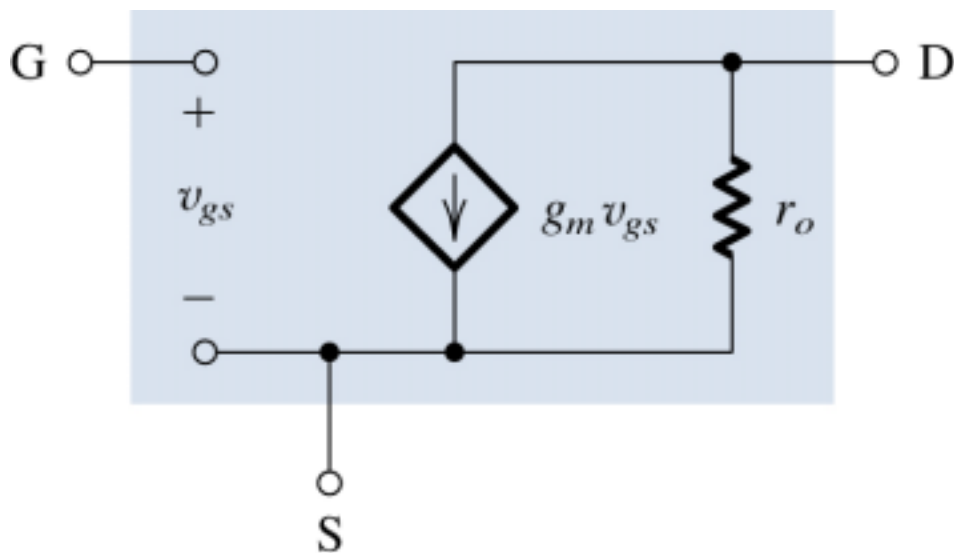


# Fuente Común



$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = ?$$

$$Z_{in} = ?$$



$$v_o = -g_m v_{gs} (r_o \parallel r_L)$$

$$v_i = v_{gs}$$

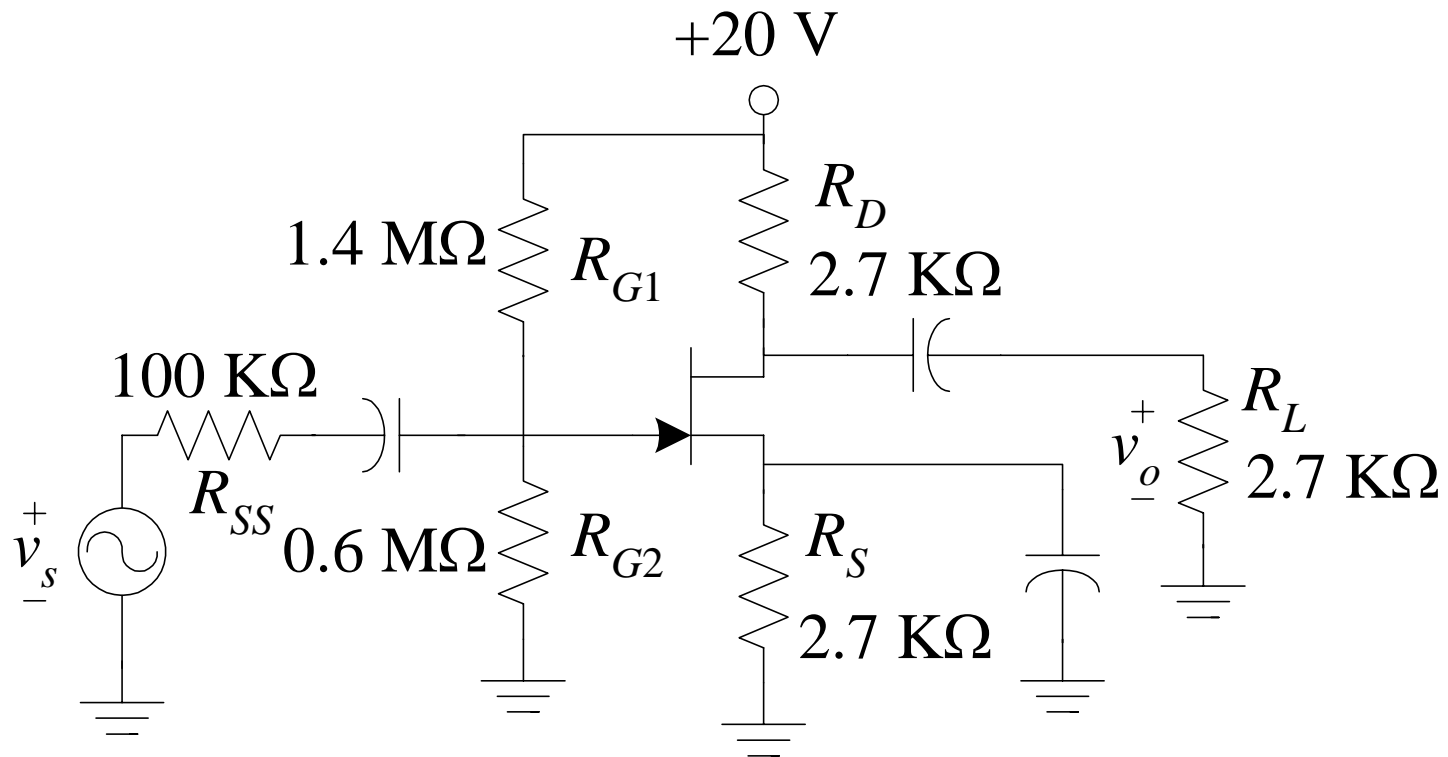
$$A_V = -g_m (r_o \parallel r_L) \approx -g_m r_L$$

$$Z_{in} = \infty$$

# Ejemplo

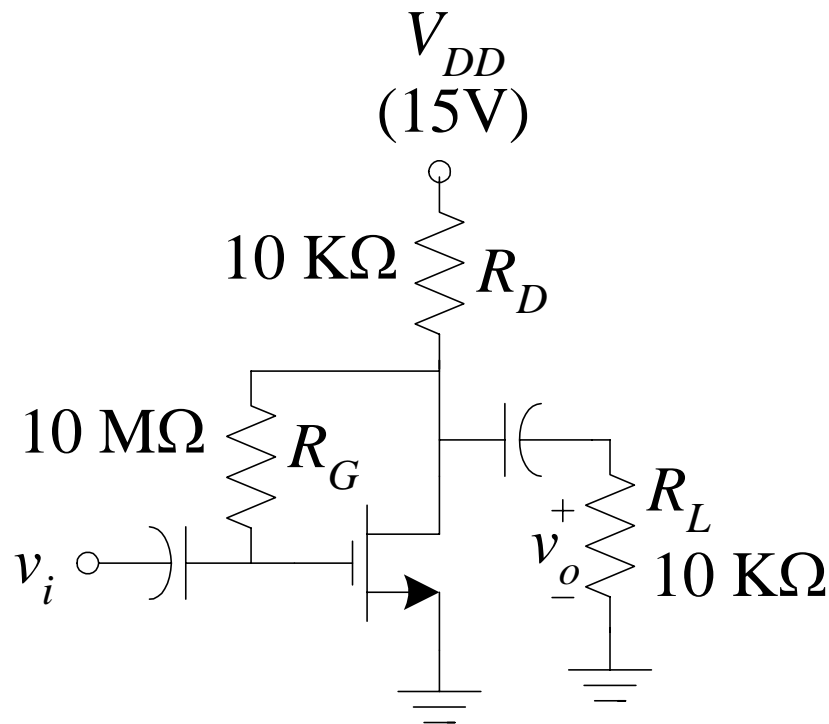
Calcular  $A_v$  y  $Z_{in}$  del siguiente amplificador JFET

( $V_P = -4\text{V}$ ,  $I_{DSS} = 12\text{mA}$ )



# Problema

Calcular  $A_v$  y  $Z_{in}$  del siguiente amplificador E-MOS  
( $V_t = 1.5 \text{ V}$ ,  $K = 0.125 \text{ mA/V}^2$ )



# Ejercicios de Tarea

---

Resolver problemas 5.48, 5.50, 5.52, 5.54 y 5.57 del libro de texto