

# Transistores MOSFET

## Dispositivos Electrónicos

Ing. Luis A. Guanuco

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Córdoba

9 de septiembre de 2024

# Tabla de contenidos

- 1 Introducción
- 2 Características
- 3 Polarización

# Sección 1

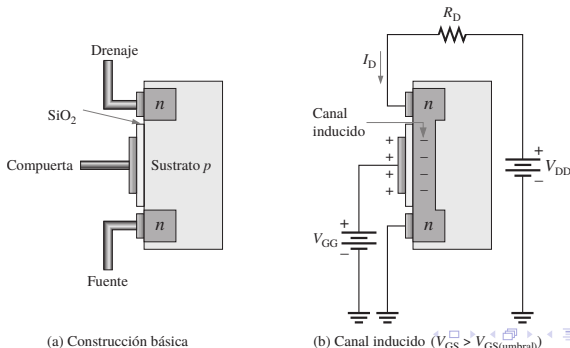
## Introducción

# Introducción

El MOSFET (transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico) es otro tipo de transistor FET. El MOSFET, diferente del JFET, no tiene una estructura de unión *pn*; en cambio, la compuerta del MOSFET está aislada del canal mediante una capa de bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Existe dos tipos básicos de MOSFET: de enriquecimiento (E) y de empobrecimiento (D). De estos dos tipos, el MOSFET de enriquecimiento es el más utilizado.

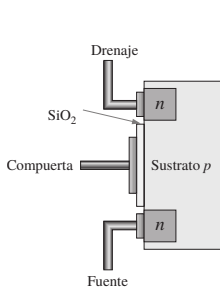
# MOSFET de enriquecimiento (E-MOSFET)

El E-MOSFET opera *sólo* en el modo de enriquecimiento y no tiene modo de empobrecimiento. Difiere en cuanto a construcción del D-MOSFET en que no tiene ningún canal estructural. Para un dispositivo canal  $n$ , un voltaje positivo en la compuerta por encima de un valor umbral *induce* un canal al crear una delgada capa de cargas negativas en la región del sustrato adyacente a la capa de  $\text{SiO}_2$ .

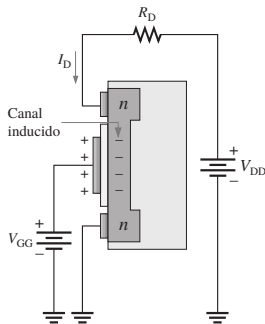


## MOSFET de enriquecimiento (E-MOSFET)

La conductividad del canal se incrementa al incrementarse el voltaje de compuerta a fuente y, por lo tanto, atrae más electrones hacia el área del canal. Con cualquier voltaje en la compuerta por debajo del valor de umbral, no existe ningún canal.



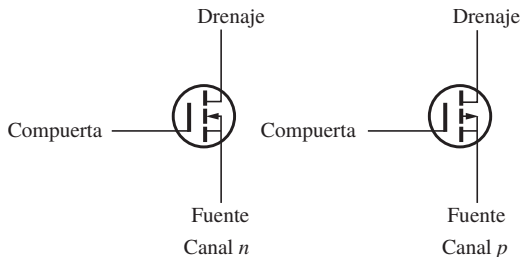
(a) Construcción básica



(b) Canal inducido ( $V_{GS} > V_{GS(umbral)}$ )

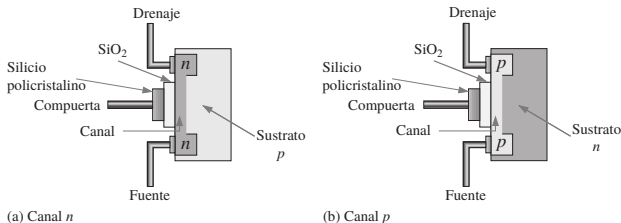
# MOSFET de enriquecimiento (E-MOSFET)

En los símbolos, las líneas quebradas simbolizan la ausencia de un canal físico. Una flecha en el sustrato que apunta hacia dentro indica un canal  $n$  y una flecha que apunta hacia fuera indica un canal  $p$ .



# MOSFET de empobrecimiento (D-MOSFET)

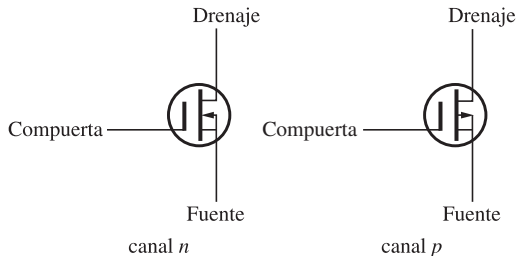
En este MOSFET el drenaje y la fuente se difunden en el material del sustrato y luego se conectan mediante un canal angosto adyacente a la compuerta aislada. El D-MOSFET puede ser operado en cualquiera de los dos modos: el modo de empobrecimiento y el modo enriquecimiento. Como la compuerta está aislada del canal, se puede aplicar en ella un voltaje positivo o negativo.





# MOSFET de empobrecimiento (D-MOSFET)

En este MOSFET el drenaje y la fuente se difunden en el material del sustrato y luego se conectan mediante un canal angosto adyacente a la compuerta aislada. El D-MOSFET puede ser operado en cualquiera de los dos modos: el modo de empobrecimiento y el modo enriquecimiento. Como la compuerta está aislada del canal, se puede aplicar en ella un voltaje positivo o negativo.



# Tabla de contenidos

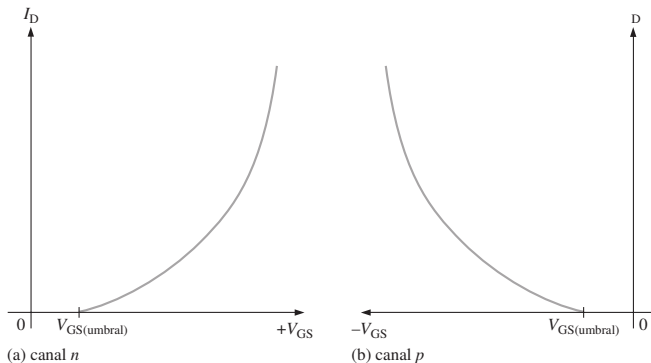
- 1 Introducción
- 2 Características**
- 3 Polarización

# Sección 2

## Características

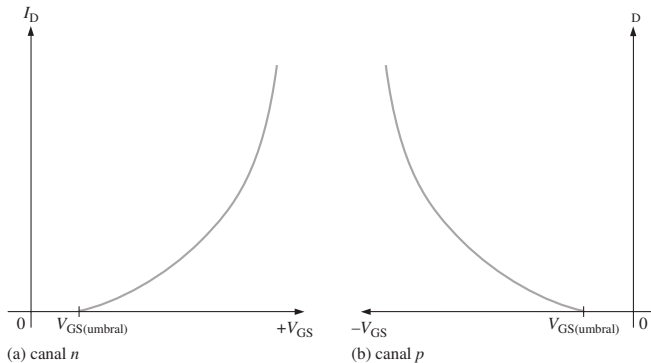
# Características de transferencia del E-MOSFET

El E-MOSFET utiliza sólo enriquecimiento del canal. Por lo tanto, un dispositivo de canal  $n$  requiere un voltaje positivo de compuerta a fuente y un dispositivo de canal  $p$  requiere un voltaje negativo de compuerta a fuente.



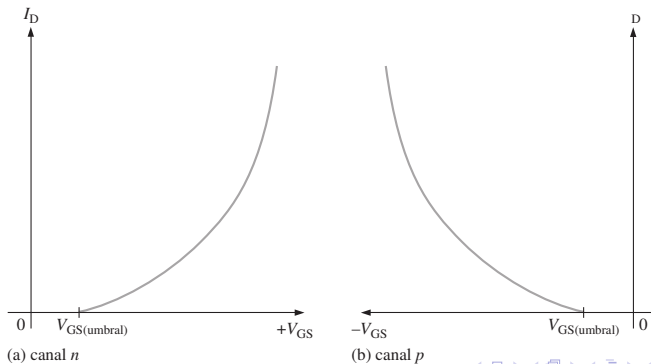
# Características de transferencia del E-MOSFET

¿Qué relación encuentra con las curvas del JFET?



# Características de transferencia del E-MOSFET

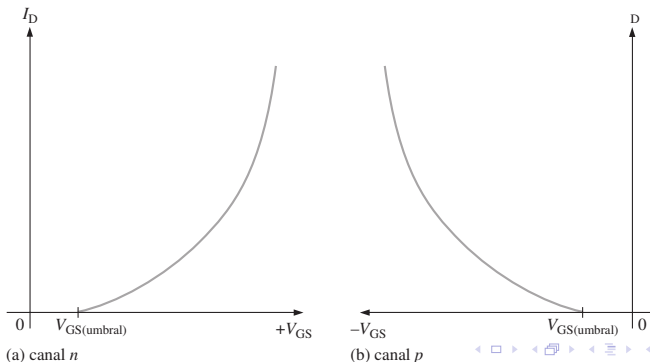
Como se puede ver, no hay corrientes en el drenaje cuando  $V_{GS} = 0V$ . Por consiguiente, el E-MOSFET no tiene un parámetro  $I_{DSS}$  significativo como el JFET o el D-MOSFET. Observe también que idealmente no hay corriente en el drenaje hasta que  $V_{GS}$  alcanza un cierto valor no cero llamado *voltaje umbral*,  $V_{GS(umbral)}$ .



# Características de transferencia del E-MOSFET

La ecuación para la curva característica de transferencia del E-MOSFET difiere del JFET y del D-MOSFET porque la curva inicia en  $V_{GS(umbral)}$  en lugar de  $V_{GS(corte)}$  sobre el eje horizontal y nunca corta el eje vertical. La ecuación para la curva es:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(umbral)})^2 \quad (1)$$



## Ejercicio con E-MOSFET

Considere el E-MOSFET 2N7002 que tiene una  $I_{D(\text{encendido})} = 500\text{mA}$  a  $V_{GS} = 10\text{V}$  y  $V_{GS(\text{umbral})} = 1\text{V}$ . Determine la corriente de drenaje para  $V_{GS} = 5\text{V}$ .



## Ejercicio con E-MOSFET

Considere el E-MOSFET 2N7002 que tiene una  $I_{D(\text{encendido})} = 500\text{mA}$  a  $V_{GS} = 10\text{V}$  y  $V_{GS(\text{umbral})} = 1\text{V}$ . Determine la corriente de drenaje para  $V_{GS} = 5\text{V}$ .

Encontrar el parámetro  $K$  utilizando la ecuación vista anteriormente,

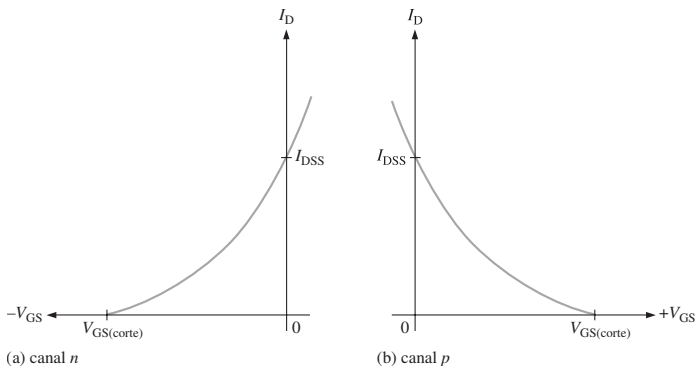
$$K = \frac{I_{D(\text{encendido})}}{(V_{GS} - V_{GS(\text{umbral})})^2} = \frac{500\text{mA}}{(10\text{V} - 1\text{V})^2} = 6,17\text{mA/V}^2 \quad (2)$$

Con el parámetro  $K$ , podemos valuar  $I_D$  con la tensión de compuerta fuente especificado,

$$\begin{aligned} I_D &= K(V_{GS} - V_{GS(\text{umbral})})^2 \\ I_D &= (6,17\text{mA/V}^2)(5\text{V} - 1\text{V})^2 = 98,7\text{mA} \end{aligned} \quad (3)$$

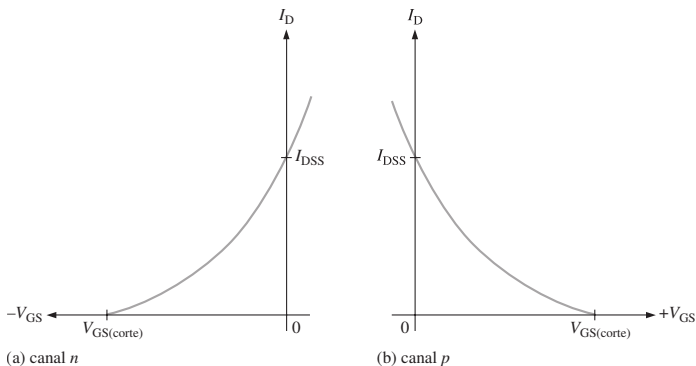
# Características de transferencia del D-MOSFET

D-MOSFET puede operar con voltajes positivos y negativos en la compuerta. Esto se indica en las curvas características de transferencia generales que se muestran a continuación.



# Características de transferencia del D-MOSFET

El punto en las curvas donde  $V_{GS} = 0V$  corresponde a  $I_{DSS}$ . El punto donde  $I_D = 0A$  corresponde a  $V_{GS(\text{apagado})}$ . La ecuación utilizada para los JFET también es válida para los D-MOSFET.



## Ejemplo con D-MOSFET

Considere un D-MOSFET con  $I_{DSS} = 10\text{mA}$  y  $V_{GS(\text{apagado})} = -8\text{V}$ .  
Determine la corriente  $I_D$  para  $V_{GS} = -3\text{V}$  y  $V_{GS} = +3\text{V}$ .

## Ejemplo con D-MOSFET

Considere un D-MOSFET con  $I_{DSS} = 10mA$  y  $V_{GS(\text{apagado})} = -8V$ . Determine la corriente  $I_D$  para  $V_{GS} = -3V$  y  $V_{GS} = +3V$ . Aquí se utilizará la ecuación vista en los JFET que se aplica a los D-MOSFET,

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(\text{apagado})}} \right)^2 \quad (4)$$

$$I_D = 10mA \left( 1 - \frac{-3V}{-8V} \right)^2 \quad (5)$$

$$I_D = 3,91mA$$

$$I_D = 10mA \left( 1 - \frac{3V}{-8V} \right)^2 \quad (6)$$

$$I_D = 18,9mA$$

# Tabla de contenidos

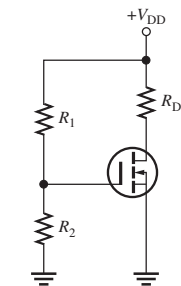
- 1 Introducción
- 2 Características
- 3 Polarización**

## Sección 3

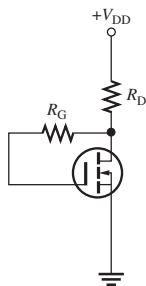
# Polarización

# Polarización de un E-MOSFET

Debido a que los E-MOSFET deben tener una  $V_{GS}$  mayor que el valor umbral,  $V_{GS(umbral)}$ , no se puede utilizar la polarización en cero.



(a) Polarización mediante divisor de voltaje



(b) Polarización mediante realimentación del drenaje



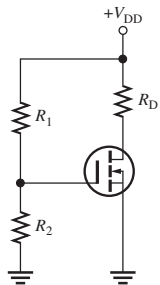
# Polarización de un E-MOSFET

El objetivo es hacer el voltaje en la compuerta más positivo que el de la fuente en una cantidad que exceda  $V_{GS(\text{umbral})}$ . Las ecuaciones para el análisis de la polarización mediante divisor de voltaje son:

$$V_{GS} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(\text{umbral})})^2$$



# Ejercicio

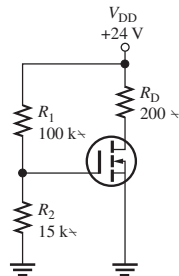
Determine  $V_{GS}$  y  $V_{DS}$  para el circuito E-MOSFET de la siguiente figura. Considere que el MOSFET tiene  $I_{D(\text{encendido})} = 200\text{mA}$  con  $V_{GS} = 4\text{V}$  y  $V_{GS(\text{umbral})} = 2\text{V}$ .

$$V_{GS} = ?$$

$$K = ?$$

$$I_D = ?$$

$$V_{DS} = ?$$

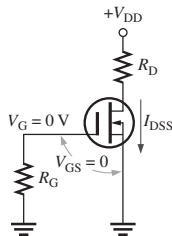


# Polarización de un D-MOSFET

Recuerde que los D-MOSFET puede ser operados con valores positivos y negativos de  $V_{GS}$ . Un método de polarización simple es hacer  $V_{GS} = 0V$ .

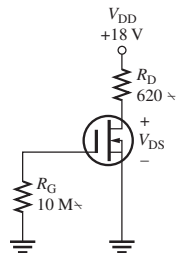
Como  $V_{GS} = 0V$  entonces  $I_D = I_{DSS}$ . El voltaje de drenaje a fuente se expresa:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS}R_D$$



# Ejercicio

Determine el voltaje de drenaje a fuente  $V_{DS}$  para el siguiente circuito. Considere que el MOSFET tiene  $V_{GS(\text{apagado})} = -8V$  con  $I_{DSS} = 12mA$ .



# Ejercicio

Determine el voltaje de drenaje a fuente  $V_{DS}$  para el siguiente circuito. Considere que el MOSFET tiene  $V_{GS(\text{apagado})} = -8V$  con  $I_{DSS} = 12mA$ .

Como  $I_D = I_{DSS}$ ,

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS} R_D$$

$$V_{DS} = 18V - 12mA \times 620\Omega = 10,6V$$

