

EL42A - Circuitos Electrónicos

Clase No. 10: Transistores FET

Patricio Parada

pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

28 de agosto de 2008

Resumen de la última clase

- Dos grandes familias:
JFETs: juntura en la compuerta.
MOSFETs: compuerta aislada.
- Tres modos de operación del MOSFET:

Corte $v_{GS} < V_t$

Tríodo $v_{GS} \geq V_t$ y $v_{DS} < v_{GS} - V_t$

Saturación $v_{GS} \geq V_t$ y $v_{DS} \geq v_{GS} - V_t$

- Característica i_D vs. v_{DS}

$$i_D = \begin{cases} k'_n \frac{W}{L} \left[(v_{GS} - V_t)v_{DS} - \frac{1}{2}v_{DS}^2 \right] & v_{DS} < v_{GS} - V_t \\ \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)^2 & v_{DS} \geq v_{GS} - V_t \end{cases}$$

- Efecto Early: introduce corrección en la corriente i_D en la región de saturación.

Ejemplo

Objetivo: determinar la corriente I_D en un NMOS cuando $V_{GS} = 2V_t$ y el transistor está saturado.

Consideremos un NMOS de tipo mejorado con los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{lll} V_t = 0,75 \text{ [V]} & W = 40\mu\text{m} & L = 4\mu\text{m} \\ \mu_n = 650 \text{ cm}^2/\text{Vs} & t_{ox} = 450\text{\AA} & \epsilon_{ox} = 3,9 \times 8,85 \times 10^{-14} \text{ F/cm} \end{array}$$

Solution

$$k'_n = \frac{\mu_n \epsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

Por otro lado

$$k'_n \frac{W}{L} = \frac{(650)(3,9)(8,85 \times 10^{-14})}{(450 \times 10^{-8})} \frac{40 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow I_D = 0,249(1,5 - 0,75)^2 = 0,140 \text{ mA}$$

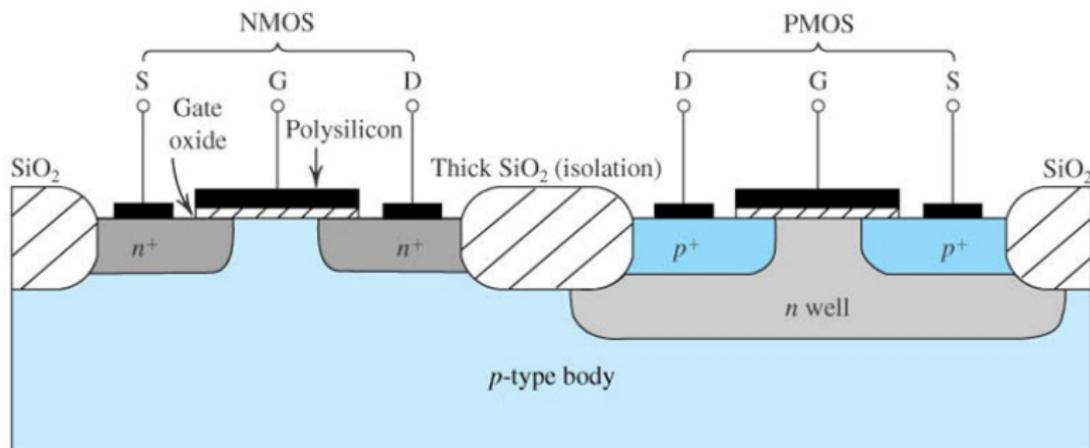
MOSFET mejorado de canal- p o PMOS mejorado

- Corresponde aun caso simétrico respecto del NMOS mejorado.
- Se debe aplicar un voltaje compuerta-a-fuente negativo para crear una capa de inversión o canal por el que circulan huecos.
- Al igual que con NMOS, existe un voltaje umbral $V_{tp} < 0$ bajo el cual comienza la conducción.
- Dado que el flujo de huecos es de fuente a drenaje, la corriente se asume que entra en el terminal de fuente.
- La corriente i_D es

$$i_D = \begin{cases} k'_p \frac{W}{L} \left[(v_{SG} + V_{tp})v_{SD} - \frac{1}{2}v_{SD}^2 \right] & v_{SD} < v_{SG} + V_{tp} \\ \frac{1}{2}k'_p \frac{W}{L} (v_{SG} + V_{tp})^2 & v_{SD} \geq v_{SG} + V_{tp} \end{cases}$$

MOSFET de tipo complementario

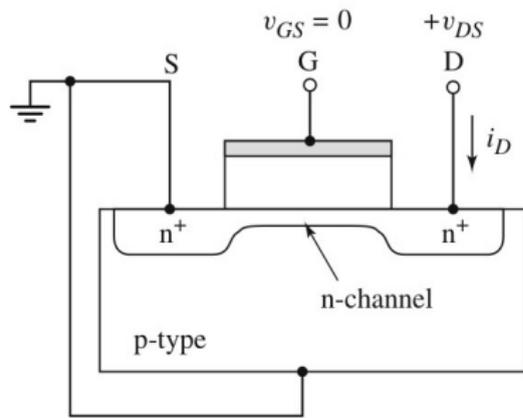
- a.k.a. CMOS



- Principales características: $V_{tn} = -V_{tp}$ y $k'_n \left(\frac{W}{L}\right)_n = k'_p \left(\frac{W}{L}\right)_p$. Esto se llama **ajuste de transistores**.

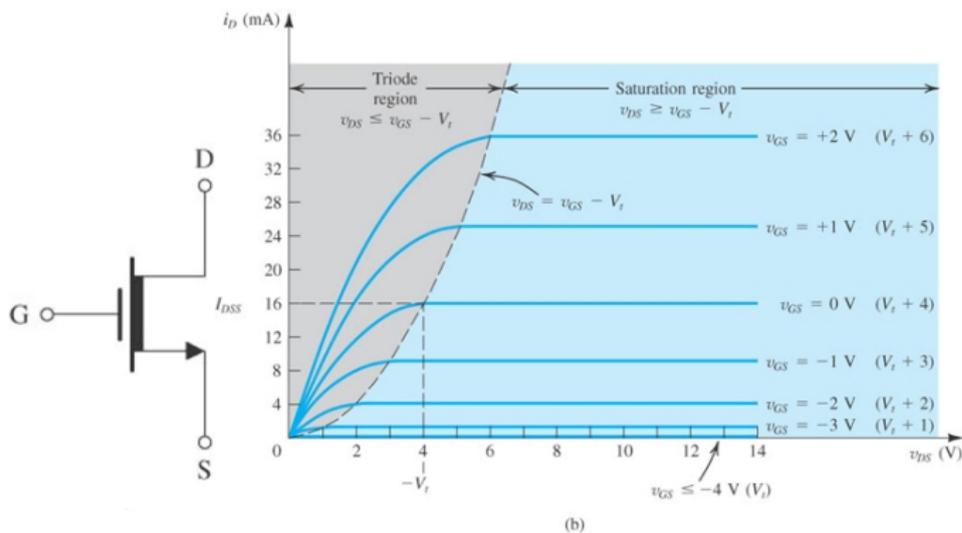
MOSFET de tipo empobrecido

- a.k.a. depletion MOSFETs
- Principal característica: existe un canal de conducción construido en el dispositivo (se intrucen impurezas durante fabricación).
- Se debe utilizar un voltaje negativo (NMOS) para llevar el dispositivo a corte.



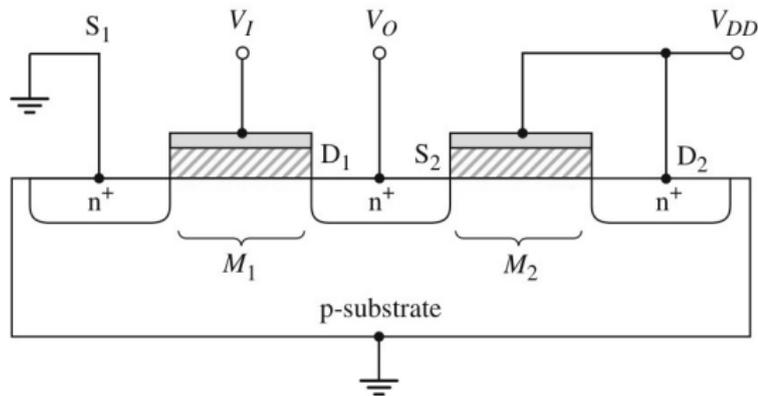
MOSFET de tipo empobrecido

- $V_{TN} < 0$ para NMOS depletion y $V_{TP} > 0$ para PMOS depletion.
- Aunque MOSFETs de tipo mejorado y de tipo empobrecido se pueden describir utilizando las mismas ecuaciones, se utiliza un símbolo diferente:



Degradación del desempeño de un MOSFET

- Efecto Early: resistencia finita en el modo de saturación.
- Body effect: el efecto del sustrato.
 - ▶ Importante en circuitos integrados.
 - ▶ Múltiples MOS anclados a la misma referencia de voltaje.
 - ▶ Ejemplo: 2 NMOS en serie en la misma oblea:



- ▶ Fuente de M_2 y el Drenaje de M_1 .
- ▶ Aparece una diferencia de potencial entre la fuente (M_2) y el sustrato p que cambia el voltaje umbral del transistor.

Degradación del desempeño de un MOSFET

- Body Effect (cont'd)

- ▶ Modelo del cambio del voltaje umbral:

$$V_t = V_{t0} + \gamma(\sqrt{2\phi_f + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_f})$$

donde V_{t0} es el voltaje umbral cuando $V_{SB} = 0$, γ es el parámetro de body effect, y

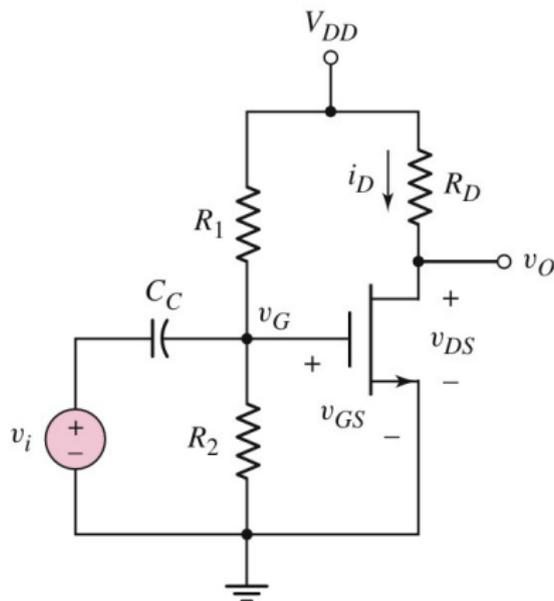
$$\phi_f = \frac{kT}{q} \log \frac{N}{\eta}$$

es el potencial de Fermi. Usualmente $\phi_f \approx 0,3$ [V] y $\gamma \approx 0,5\sqrt{V}$.

- Efectos de Temperatura

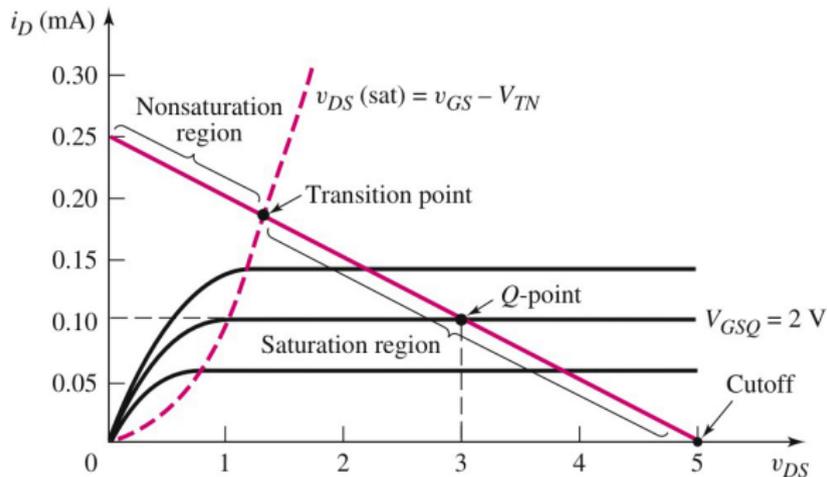
- ▶ V_t y k' dependen de la temperatura: se contraponen dos efectos: si $T \uparrow \Rightarrow V_t \downarrow$ (2 mV por cada grado C). Ello implica un aumento en la corriente i_D .
- ▶ Por otro lado si $T \uparrow k' \uparrow$, lo que implica que i_D disminuye. Este efecto es dominante, lo que implica una disminución en la corriente total i_D con el aumento de la temperatura.

MOSFETs en DC



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc.
Permission required for reproduction or display.

Curva de Carga de un MOSFET



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc.
Permission required for reproduction or display.