



Apunts

Apunts d'electrònica analògica

Tema 2. Transistors MOSFET

Jordi Zaragoza Bertomeu, Néstor Berbel Artal

Assignatura: Electrònica analògica

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

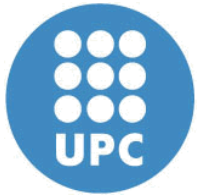
Curs: 3r

Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT)

Idioma: Català

2016





Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Enginyeria Electrònica



Tema 2

TRANSISTORS MOSFET

- **Conceptes bàsics**
- **MOSFET en continua**

Bibliografia:

- **Principios de Electrónica.** Alvert Paul Malvino. Ed. McGraw-Hill. Capítol 7.
- **Circuitos y dispositivos electrónicos. Fundamentos de electrónica.** Lluís Prat. Edicions UPC. Capítol 7.

□ Definició:

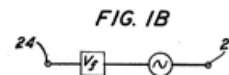
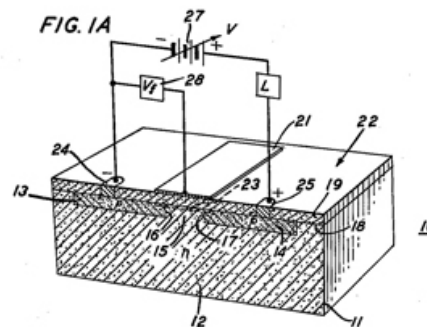
El transistor d'efecte o transistor MOSFET és un dispositiu electrònic que consta de 4 terminals: GATE o porta (G), DRAIN o drenador (D), SOURCE o surtidor (S) i el terminal de BULK o substrat (B).

El transistor MOSFET va ésser creat a 1959 per M. M. (John) Atalla i Dawon Kahng als laboratoris Bell.

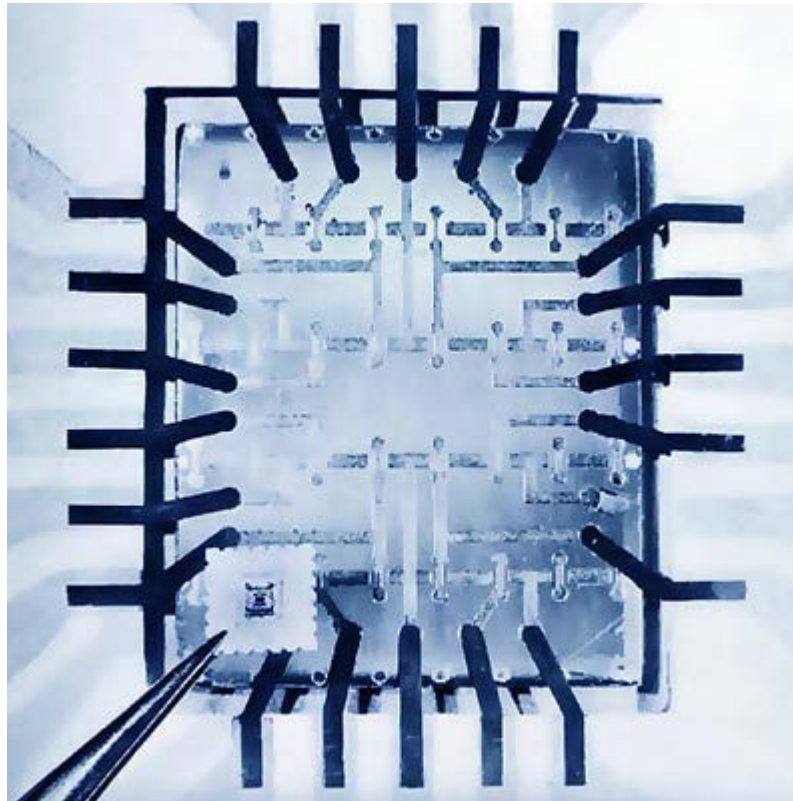
Aug. 27, 1963 DAWON KAHNG 3,102,230

ELECTRIC FIELD CONTROLLED SEMICONDUCTOR DEVICE

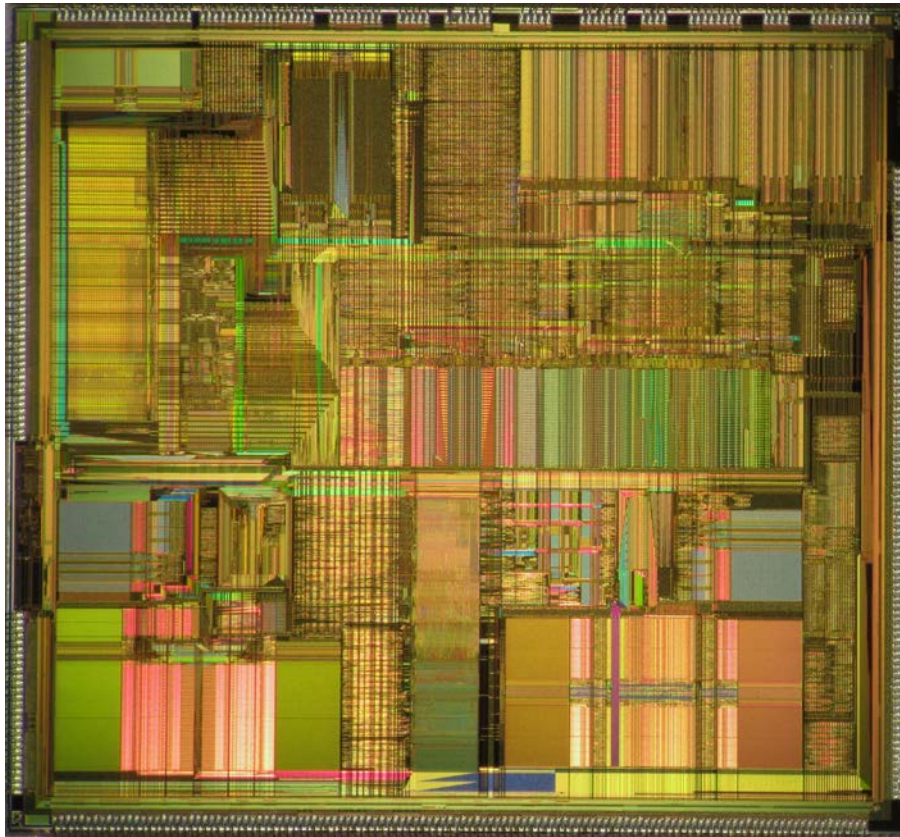
Filed May 31, 1960



RCA 16-transistor MOS integrated circuit held in front of enlarged image



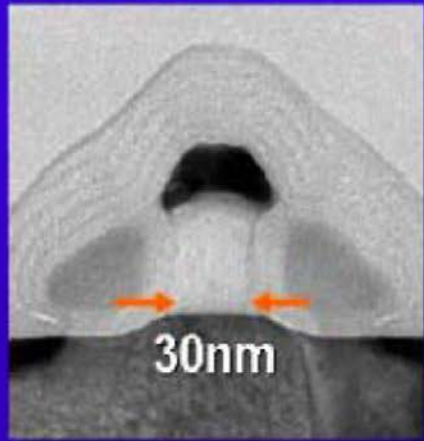
Microprocesador Pentium 1993



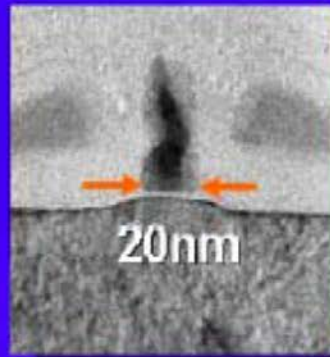
- 3,1 milions de transistors.
- Tecnologia utilitzada 0,31 μm .
- Àrea del dispositiu. 293,92 mm^2 (16.7 x 17.6 mm)
- Tensió d'alimentació: 5 V.
- Potència màxima consumida: 14,6 W
($I_{\text{MAX}}=2,92$ A)

Tamany dels transistors MOSFET

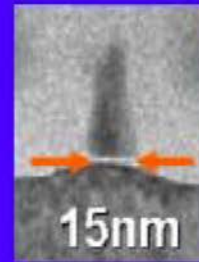
Experimental transistors for future process generations



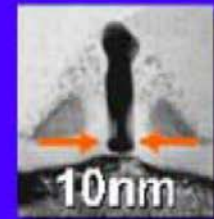
65nm process
2005 production



45nm process
2007 production



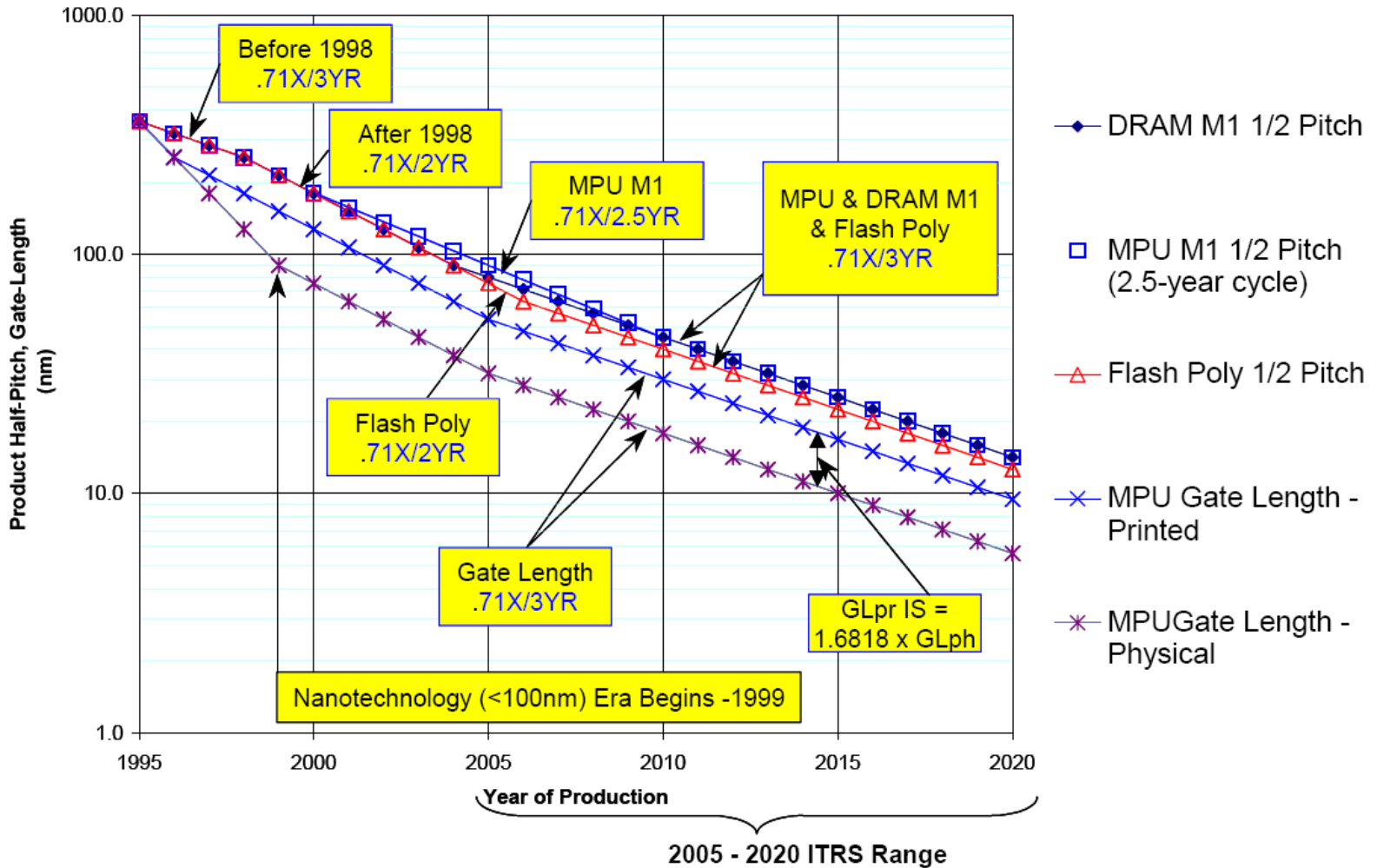
32nm process
2009 production



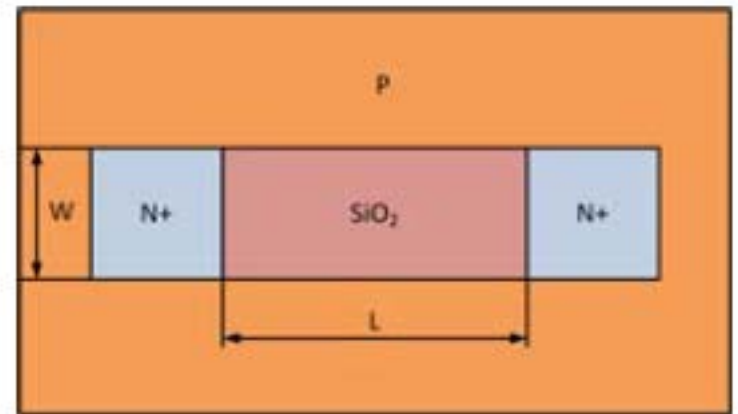
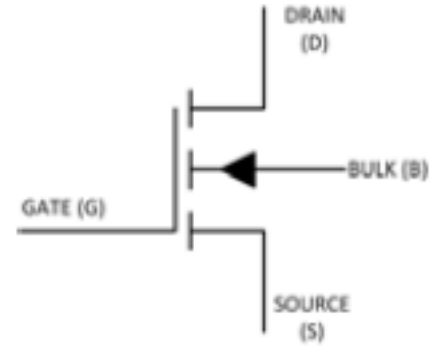
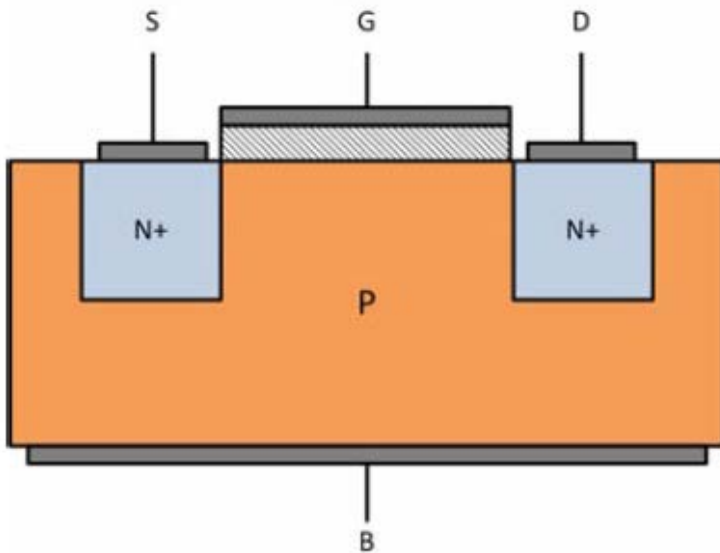
22nm process
2011 production

Llei de Moore (Moore's law)

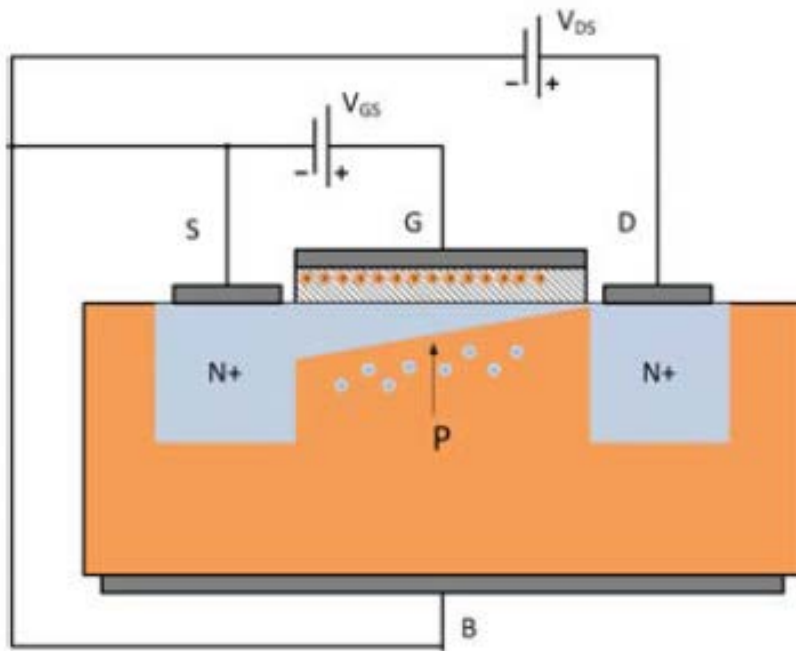
2005 ITRS Product Technology Trends - Half-Pitch, Gate-Length



Transistor MOSFET enriqueiment canal N



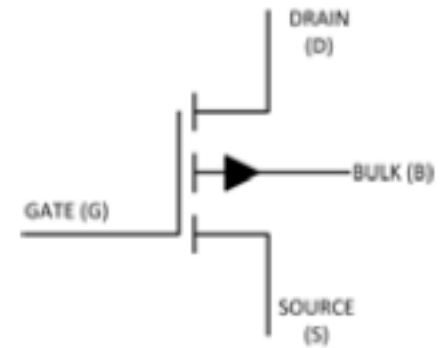
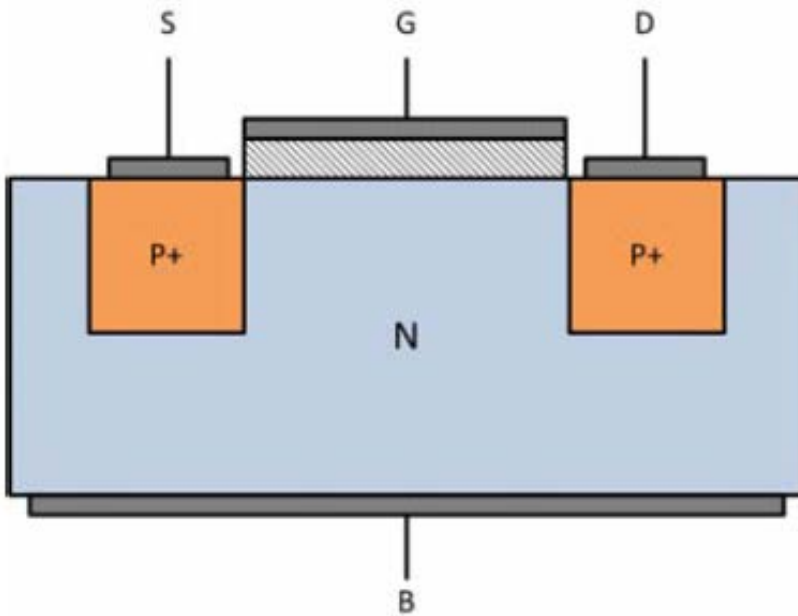
Transistor MOSFET enriquiment canal N. Formació del canal.



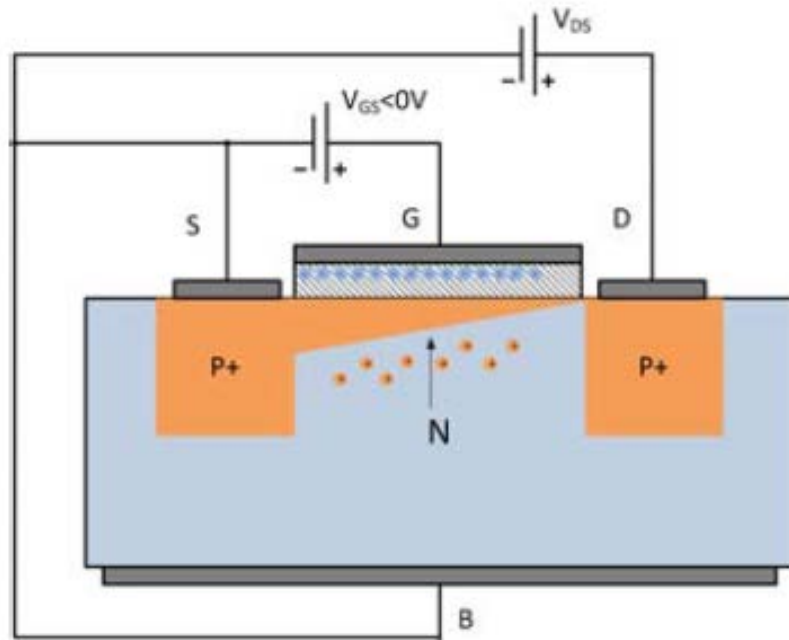
Si la tensió V_{GS} és 0 V, no es forma el canal.

A mesura que es va aplicant una tensió V_{GS} positiva es va formant el canal, ja que els electrons (e^-) es veuen atrets cap al terminal de porta i els forats (h^+) es veuen repel·lits del mateix terminal.

Transistor MOSFET enriquiment canal P.



Transistor MOSFET enriquiment canal P. Formació del canal.



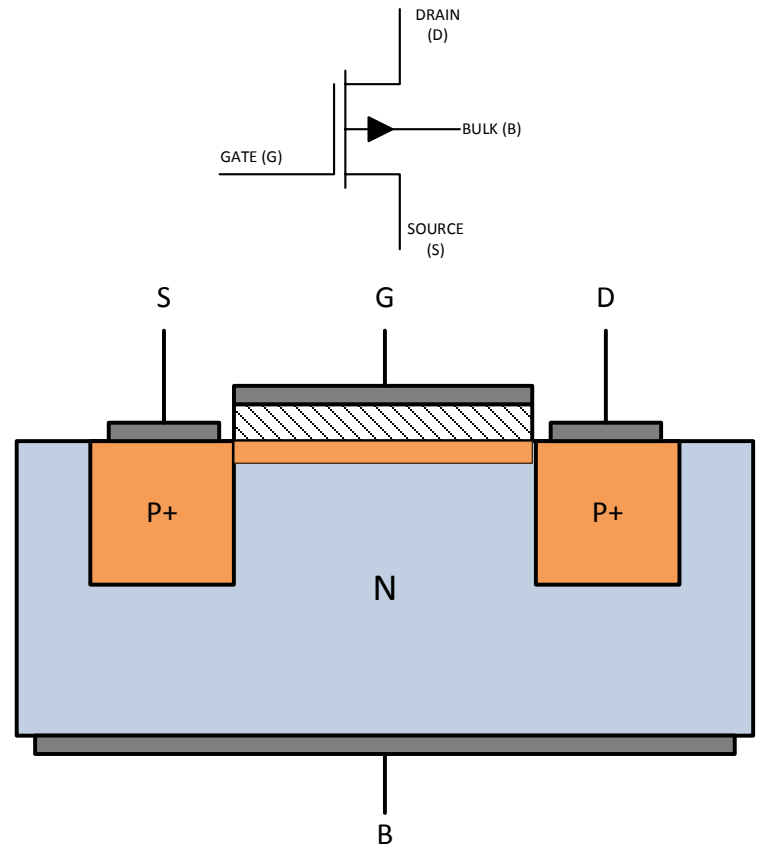
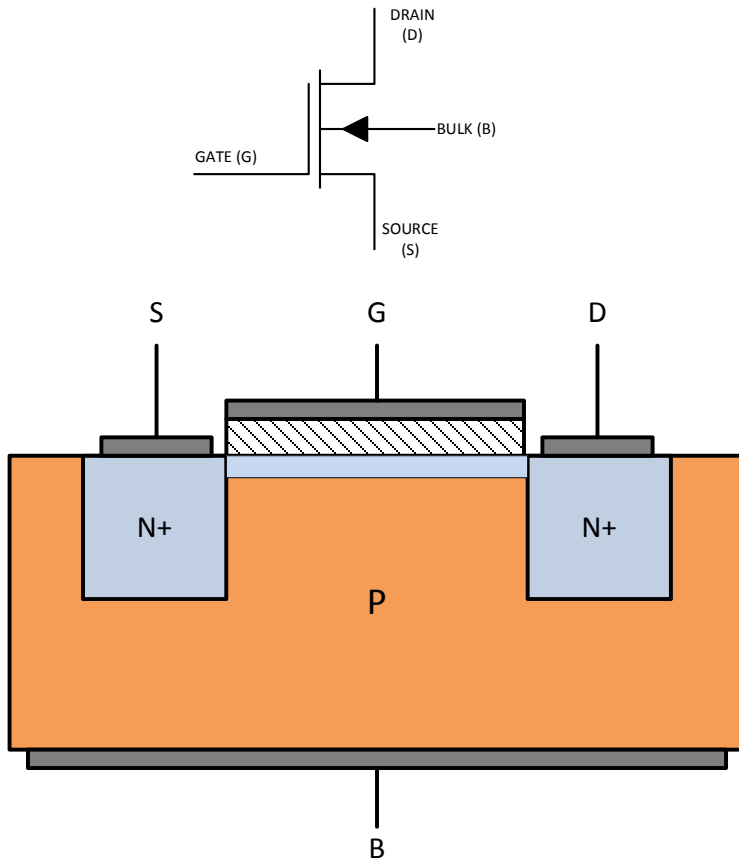
Si la tensió V_{GS} és 0 V, no es forma el canal.

A mesura que es va aplicant una tensió V_{GS} negativa es va formant el canal, ja que els forats (h^+) es veuen atrets cap al terminal de porta i els electrons (e^-) es veuen repel·lits del mateix terminal.

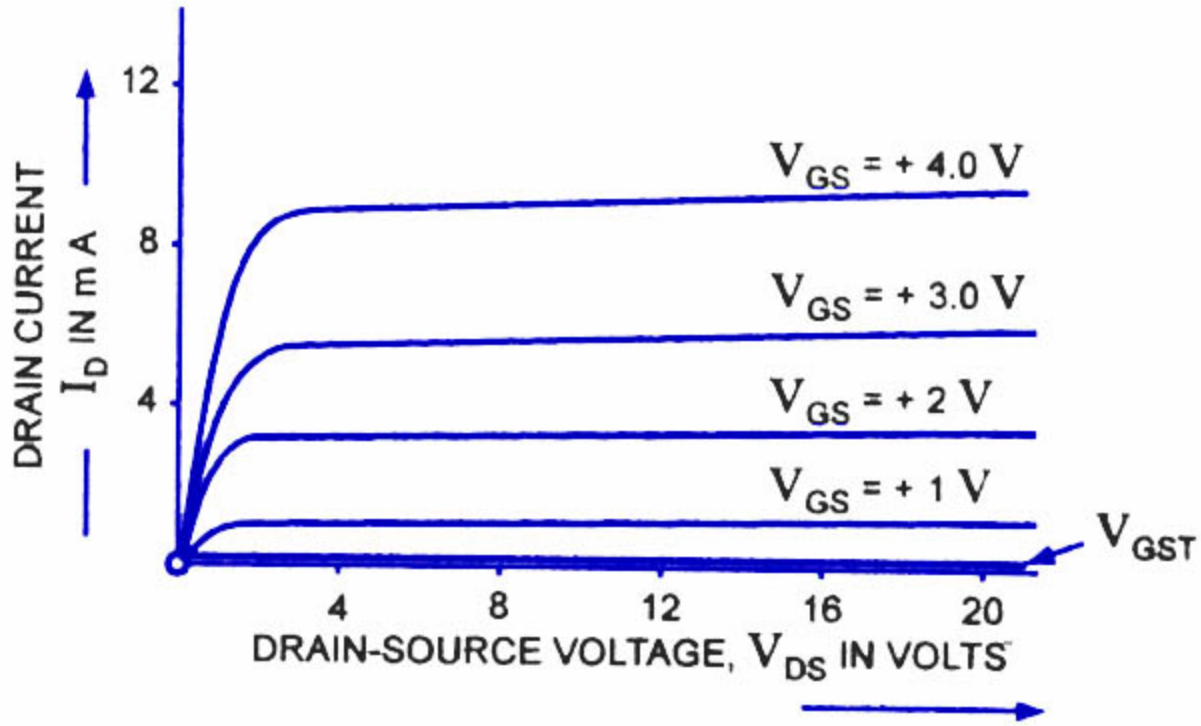
Transistor MOSFET empobriment

Transistor MOSFET empobriment canal N.

Transistor MOSFET empobriment canal P.

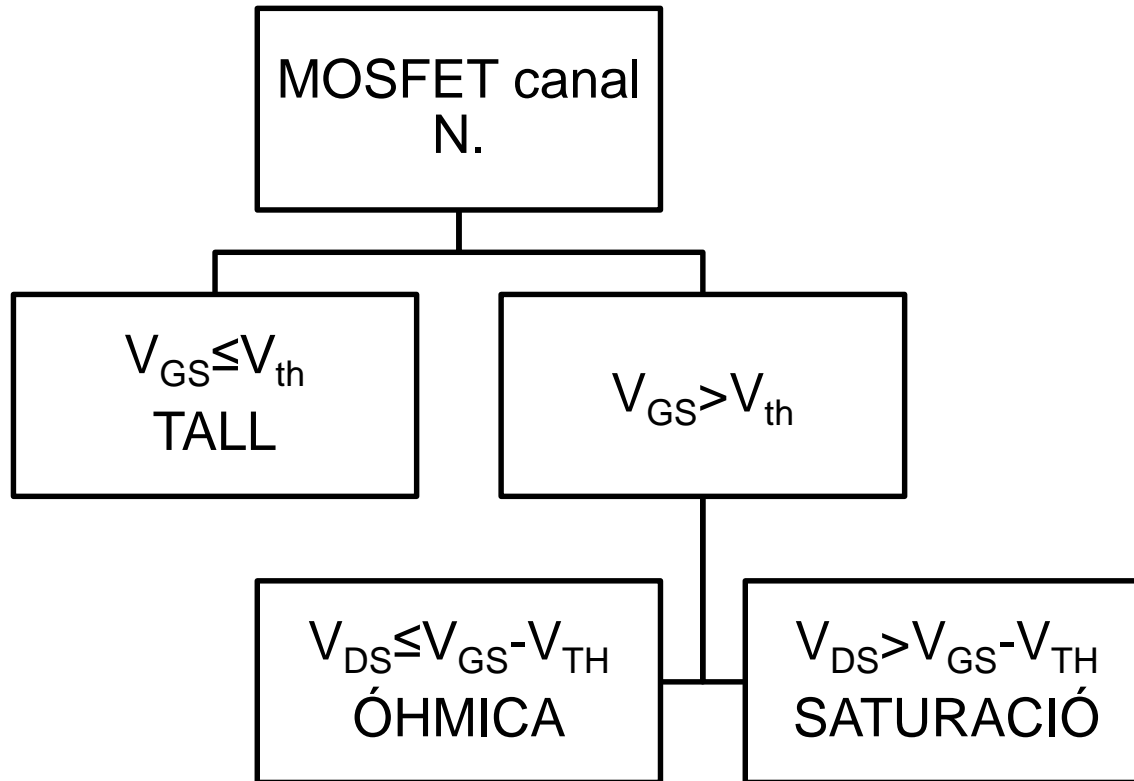


Característica I/V BJT



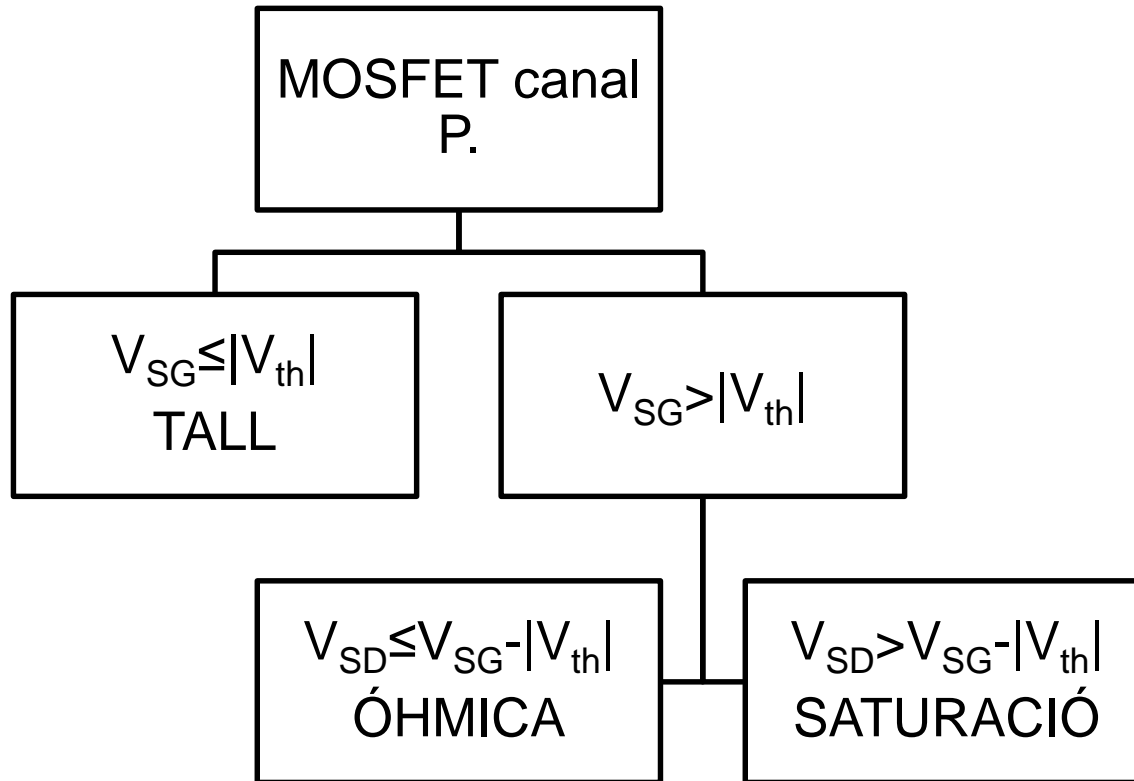
Drain Characteristics

Regions de funcionament



V_{TH} : “*threshold voltage*” o tensió llindar del transistor MOSFET.

Regions de funcionament



V_{TH} : “*threshold voltage*” o tensió llindar del transistor MOSFET.

Equacions del MOSFET. Canal N.

TALL

$$V_{GS} \leq V_{th}$$

$$I_D = 0A$$

ÓHMICA

$$V_{GS} > V_{th}$$

$$V_{DS} \leq V_{GS} - V_{th}$$

$$I_D = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th}) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS})$$

SATURACIÓ

$$V_{GS} > V_{th}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS})$$

Equacions del MOSFET. Canal P.

TALL

$$V_{SG} \leq |V_{th}|$$

$$I_D = 0A$$

ÓHMICA

$$V_{SG} > |V_{th}|$$

$$V_{SD} \leq V_{SG} - |V_{th}|$$

$$I_D = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \left[(V_{SG} - |V_{th}|) \cdot V_{SD} - \frac{V_{SD}^2}{2} \right] \cdot (1 + \lambda \cdot V_{SD})$$

SATURACIÓ

$$V_{SG} > |V_{th}|$$

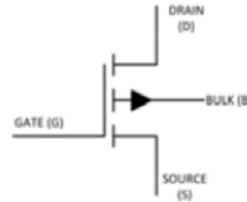
$$V_{SD} > V_{SG} - |V_{th}|$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} (V_{SG} - |V_{th}|)^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{SD})$$

Exercici 1

Donat el següent transistor: $V_S=4\text{ V}$, $V_G=2\text{ V}$, $V_D=1\text{ V}$, $V_{th}=-0,8\text{ V}$, $\lambda=0$, $K_P=100\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $W=10\text{ }\mu\text{m}$, $L=2\text{ }\mu\text{m}$. El terminal de Bulk i el de Surtidor están curtcircuitats.

Calcular el corrent de drenador.



$$V_{SD} = 4 - 1 = 3\text{ V}$$

$$V_{SG} = 4 - 2 = 2\text{ V}$$

$$3 > 2 - |-0,8| \Rightarrow \text{Saturació}$$

$$I_D = \frac{K_P}{2} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{SG} - |V_{th}|)^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{SD}) = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot (2 - |-0,8|)^2$$

$$I_D = 360\text{ }\mu\text{A}$$

Exercici 2

Donat el següent circuit: $V_{th} = -2\text{ V}$, $\lambda = 0$, $K_p = 8\ \mu\text{A/V}^2$, $L = 10\ \mu\text{m}$.
 Calcular l'amplada del canal i la resistència R per que la corrent de drenador sigui de $0,1\ \text{mA}$ i una tensió en el drenador de $2\ \text{V}$.

$$V_{SD} = 5 - 2 = 3\text{V}$$

$$V_{SG} = 5 - 2 = 3\text{V}$$

$$3 > 3 - |-2| \Rightarrow \text{Saturació}$$

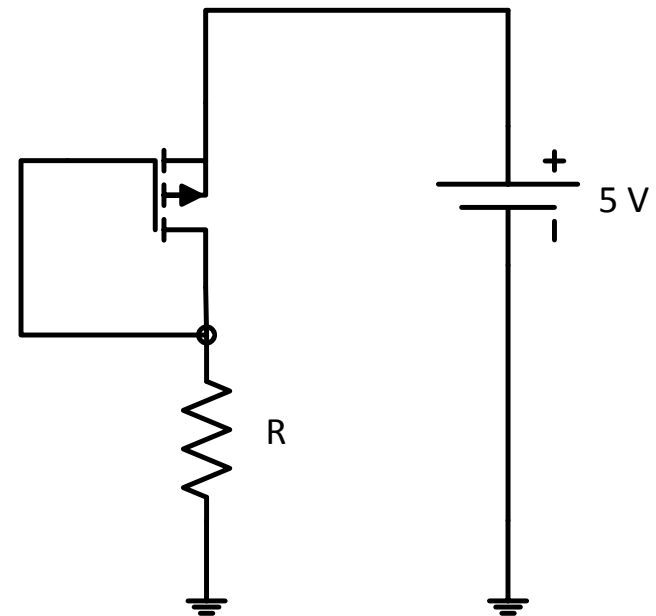
$$I_D = \frac{K_P}{2} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{SG} - |V_{th}|)^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{SD}) =$$

$$= \frac{8 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \frac{W}{10 \cdot 10^{-6}} \cdot (3 - |-2|)^2 = 0,1 \cdot 10^{-3}\ \text{A}$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_D}{R} = \frac{2}{R} = 0,1 \cdot 10^{-3}\ \text{A}$$

$$W = 250\ \mu\text{m}$$

$$R = 20\ \text{k}\Omega$$



Anàlisi de circuits amb MOSFET canal N.

Suposar que el transistor MOSFET es troba en la seva regió de saturació.

1.- Calcular la tensió V_{GS} .

Si la tensió V_{GS} és inferior a la tensió V_{th} , el transistor es troba a la regió de tall. Sino, es procedeix amb l'anàlisi del circuit.

2.- Calcular el corrent de drenador.

3.- Calcular la tensió V_{DS} del transistor MOSFET.

Comprobar que es compleix la condició $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$. Si no es compleix, refer l'anàlisi però suposant que el transistor es troba en la regió óhmica.

Anàlisi de circuits amb MOSFET canal P.

Suposar que el transistor MOSFET es troba en la seva regió de saturació.

1.- Calcular la tensió V_{SG} .

Si la tensió V_{SG} és inferior a la tensió $|V_{th}|$, el transistor es troba a la regió de tall. Sino, es procedeix amb l'anàlisi del circuit.

2.- Calcular el corrent de drenador.

3.- Calcular la tensió V_{SD} del transistor MOSFET.

Comprobar que es compleix la condició $V_{SD} > V_{SG} - |V_{th}|$. Si no es compleix, refer l'anàlisi però suposant que el transistor es troba en la regió òhmica.