

# Transistors

## MOSFET

© 2013 Quim Trullàs

Aquestes transparències es poden utilitzar amb fins educatius no comercials, sempre que s'indiqui l'autoria  
These transparencies may be used for educational non-commercial purposes so long as the source is attributed

### Transistors d'Efecte Camp (FET)

Tenen 3 terminals: **porta** (*Gate*), **font** (*Source*) i **drenador** (*Drain*)

Només circula el **corrent**  $I_D$ , de D a S en els de **canal n**, i en els de **canal p** de S a D

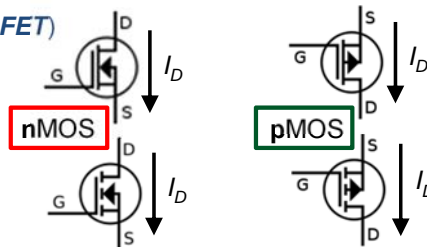
N'hi de diferents tipus:

- FET d'unió o **JFET** (*Junction FET*)

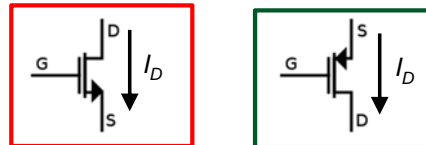


- MOSFET** (*Metal Oxide Semiconductor FET*)

- MOS d'empobriment  
(buidament, *depletion*)



- MOS d'enriquiment  
(acumulació, *enhancement*)



## Transistors

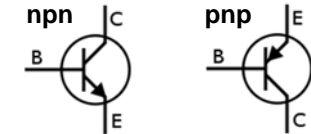
Components electrònics semiconductors, amb tres terminals, que s'utilitzen com a amplificador o com a commutador.

N'hi ha de molts tipus:

- Transistors Bipolars d'Unió o **BJT** (*Bipolar Junction Transistors*)

**Unió:** doble unió de semiconductors

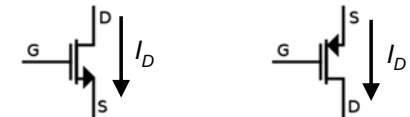
**Bipolar:** corrent degut a electrons i forats



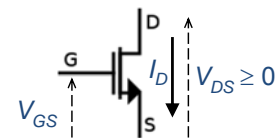
Inventat per Bardeen, Brattain i Shokley, l'any 1947 (premi Nòbel 1956)

- Transistors d'Efecte Camp o **FET** (*Field Effect Transistors*)

unipolars: el corrent només és d'electrons (FET de **canal n**) o forats (FET de **canal p**)



### nMOS d'enriquiment



$$V_{GS} = V_G - V_S ; V_{DS} = V_D - V_S$$

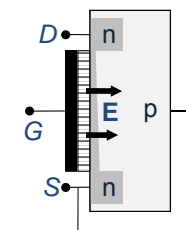
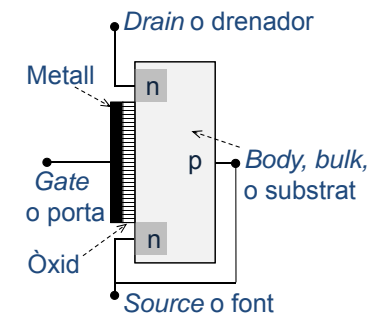
L'òxid és aïllant i no deixa passar corrent per G

El substrat connectat a S, amb  $V_{DS} \geq 0$ , garanteix que les unions p-n estan en inversa

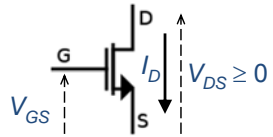
Si  $V_{GS} < V_T \rightarrow I_D = 0$  ;  $V_T \equiv$  Threshold Voltatge (tensió llindar)

Si  $V_{GS} > V_T \rightarrow I_D > 0$  (si  $V_{DS} > 0$ )

Amb  $V_{GS} > 0$  es crea un camp elèctric  $E$  de G a p que repel·leix forats de p i atrau  $e^-$  minoritaris de p i, quan  $V_{GS} > V_T$ , apareix un canal n (enriquit amb  $e^-$ ) i, si  $V_{DS} > 0$ , passa corrent de D a S



## nMOS d'enriquiment



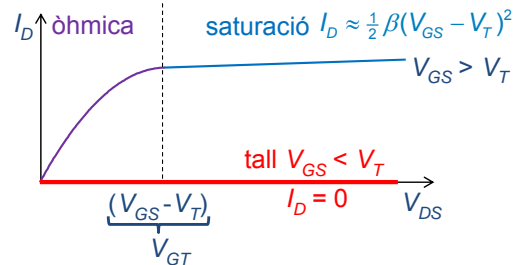
$$V_{GS} = V_G - V_S ; V_{DS} = V_D - V_S$$

Per a cada valor de  $V_{GS}$   
hi ha una corba característica  $I_D(V_{DS})$

### Característiques

$V_T \equiv$  Threshold Voltage (tensió llindar)

$\beta \equiv$  Constant característica



Si  $V_{GS} < V_T$  tall  $I_D = 0$

Si  $V_{GS} \geq V_T$  i  $V_{DS} \geq V_{GT}$  saturació  $I_D = \frac{1}{2} \beta V_{GT}^2$

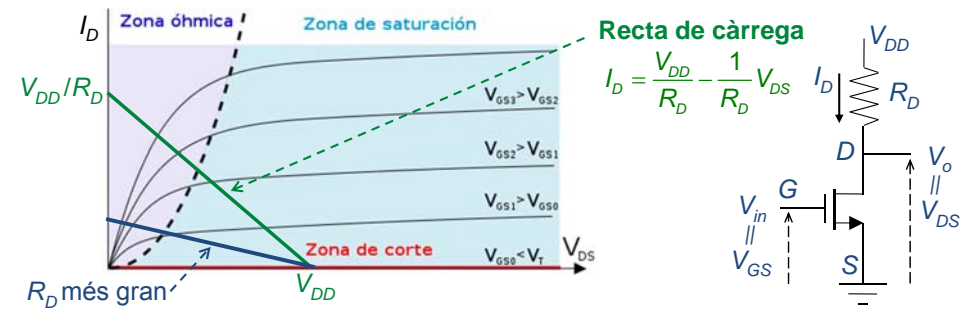
o  $V_{DS} \leq V_{GT}$  ohmica  $I_D = \beta (V_{GT} V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2)$

### Model d'un nMOS d'enriquiment

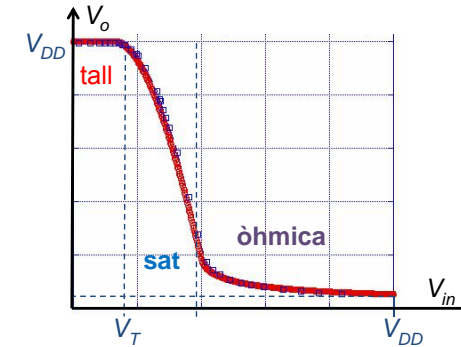
<http://www-g.eng.cam.ac.uk/mmg/teaching/linearcircuits/mosfet.html>

© 2013 Quim Trullàs

5



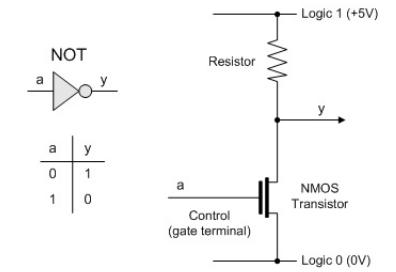
### Corba de transferència $V_o(V_{in})$



### Inversor (porta NOT):

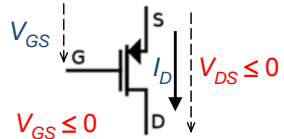
$V_{in} = 0$  (tall)  $V_o = V_{DD}$

$V_{in} = V_{DD}$  tq ohmica i  $V_o \approx 0$

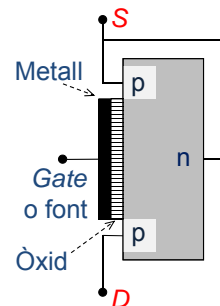


6

## pMOS d'enriquiment



$$V_{GS} \leq 0$$



És com un nMOS d'enriquiment però intercanviant n i p.

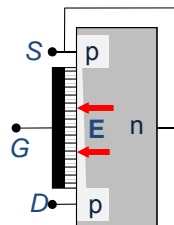
I funciona al revés:  $I_D$  va de S a D,  $V_{GS}$  i  $V_{DS}$  han de ser negatius, i  $V_T < 0$

Amb  $V_{GS} < 0$  es crea un camp elèctric  $E$  de n a G

que repel·leix  $e^-$  de n i atrau forats minoritaris de n

i, quan  $V_{GS} < V_T$ , apareix un canal p (enriquit amb forats)

i, si  $V_{DS} < 0$ , passa corrent de S a D



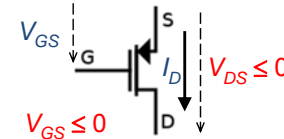
Si  $V_{GS} > V_T$  (menys negatiu)  $\rightarrow I_D = 0$

Si  $V_{GS} < V_T$  (més negatiu)  $\rightarrow I_D > 0$  (si  $V_{DS} < 0$ )

© 2013 Quim Trullàs

7

## pMOS d'enriquiment



$$V_{GS} \leq 0$$

És com un nMOS d'enriquiment,

però funciona al revés:

$I_D$  va de S a D

$V_T < 0$

$V_{GS}$  i  $V_{DS}$  han de ser negatius

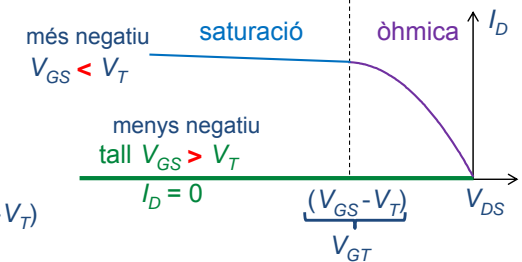
Per a cada valor de  $V_{GS}$  (o  $V_{GT} = V_{GS} - V_T$ )

hi ha una corba característica  $I_D(V_{DS})$

### Característiques

$V_T \equiv$  Threshold Voltage (és negativa)

$\beta \equiv$  Constant característica



Si  $V_{GS} > V_T$  tall  $I_D = 0$

Si  $V_{GS} \leq V_T$  i  $V_{DS} \leq V_{GT}$  saturació  $I_D = \frac{1}{2} \beta V_{GT}^2$

o  $V_{DS} \geq V_{GT}$  ohmica  $I_D = \beta (V_{GT} V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2)$

### Model d'un pMOS d'enriquiment

© 2013 Quim Trullàs

8