TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

Transistores de efecto de campo de juntura

JFET - MESFET

Transistores de Efecto de Campo de Compuerta Aislada

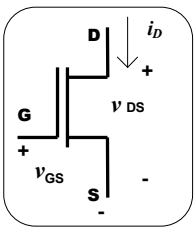
IGFET o MOSFET

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

Dispositivos unipolares y **simétricos**

canal N
canal P

El campo eléctrico generado por la tensión aplicada al terminal de puerta controla la corriente drenaje - fuente

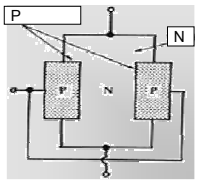


La diferencia entre drenaje y fuente está determinada por el sentido de circulación de corriente (el drenaje es el terminal por donde ingresa la corriente)

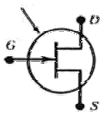
Funcionamiento asimilable al de una **fuente de corriente controlada por tensión**

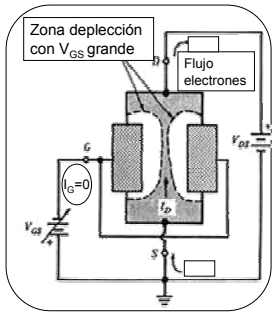
La tensión puerta fuente (v_{GS}) modula el ancho del canal y controla la conducción entre drenaje y fuente

El terminal de **control** (puerta) **no maneja corriente** salvo pequeñas corrientes de fuga **($I_G \approx 0$)**



N J F E T

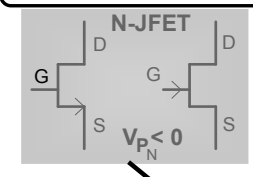


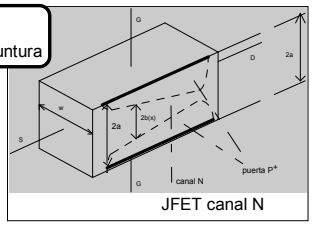


Opera con la juntura puerta canal polarizada inversamente.

v_{GS} controla conducción drenaje fuente

JFET
transistor de efecto de campo de juntura





JFET canal N

$V_P < 0$

tensión de contracción del canal o de pinch-off

JFET canal N $\Rightarrow v_{GS} \leq 0$

Si $|v_{GS}| > |V_P| \Rightarrow i_D = 0$

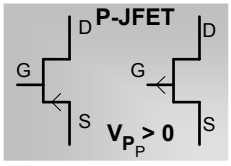
Si $|v_{GS}| < |V_P|$

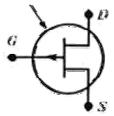
$i_D = f(v_{GS}, v_{DS}) > 0$

PJFET

JFET canal P $\Rightarrow V_P \geq 0$

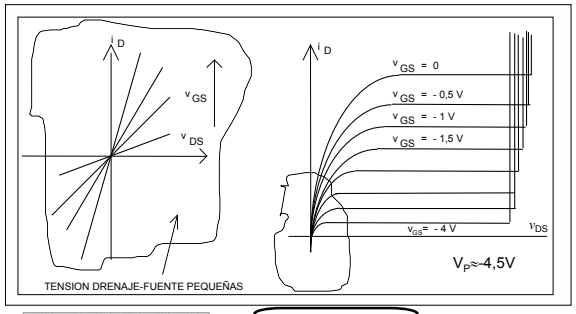
Puerta polarizada inversamente $\Rightarrow v_{GS} \geq 0$





Si $v_{GS} > V_P \Rightarrow i_D = 0$

Si $0 < v_{GS} < V_P$ $\quad i_D = f(v_{GS}, v_{DS}) < 0$



$v_{GS} < V_P \Rightarrow i_D = 0$ — **zona de corte**

$V_P < v_{GS} < 0$ — **zona resistiva u óhmica**
zona de estrangulación o saturación del canal

zona resistiva u óhmica

$V_P < v_{GS} < 0$

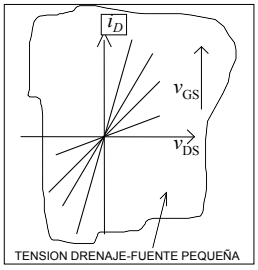
$v_{DS} \le v_{GS} - V_P > 0$

$$i_D = I_{DSS}\left[2\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)\frac{v_{DS}}{-V_P}-\left(\frac{v_{DS}}{V_P}\right)^2\right]$$

Si $v_{DS} << |v_{GS} - V_P|$

$$i_D \approx 2I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)\frac{v_{DS}}{-V_P}$$

$$r_{D(ON)} = \frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D} = \frac{1}{2}|V_P| I_{DSS}^{-1}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^{-1}$$

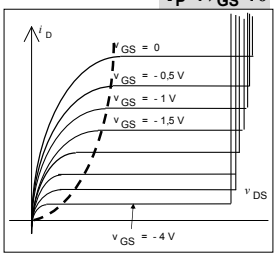


zona de estrangulación o saturación del canal o de corriente constante $V_P < v_{GS} < 0$

$$i_D = I_{DSS}\left[2\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)\frac{v_{DS}}{-V_P}-\left(\frac{v_{DS}}{V_P}\right)^2\right]$$

$$i_D\big|_{v_{GS}=v_{DS}} = I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$v_{DS} \ge v_{GS} - V_P > 0$



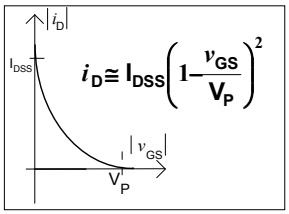
$$i_D = I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2\cancel{(1+\lambda v_{DS})} \quad (1+\lambda v_{DS}) \approx 1 \quad \lambda \le 0{,}05/V$$

$$\Rightarrow r_{DS} = \frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D}\Big|_{V_{GS}\,cte.} = \frac{1+\lambda v_{DS}}{i_D \lambda}$$

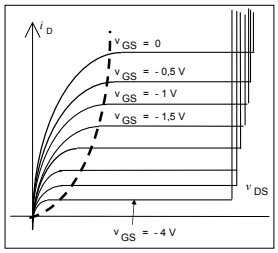
$V_P < v_{GS} < 0$ $v_{DS} \ge v_{GS} - V_P > 0$

zona de estrangulación o saturación del canal o de corriente constante

$$i_D\big|_{v_{GS}=v_{DS}} \approx I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$$



$$i_D \cong I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$$



$$g_m = \frac{\delta i_D}{\delta v_{GS}} = \frac{2I_{DSS}}{V_P}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)$$

$$r_{DS} = \frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D}\Big|_{V_{GS}\,cte.} = \frac{1+\lambda v_{DS}}{i_D \lambda}$$

NJFET

Límite continuo entre zona resistiva y zona de saturación del canal.

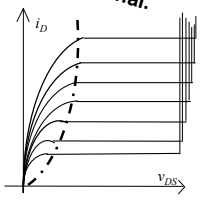
$V_P < v_{GS} < 0$ $v_{DS} \le v_{GS} - V_P > 0$

$V_P < v_{GS} < 0$ $v_{DS} \ge v_{GS} - V_P > 0$

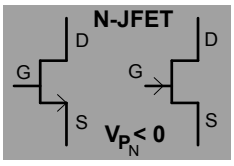
Si $|v_{DS}| = |v_{GS} - V_P|$

$$\Rightarrow i_D = \frac{I_{DSS}}{V_P^2} v_{DS}^2$$

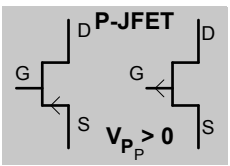
Corregir en apunte



Tensiones de ruptura
La máxima tensión que se puede aplicar entre dos terminales:
tensión que provoca ruptura por avalancha en la juntura



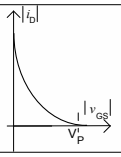
corte $|v_{GS}| > |V_P|$ $i_D = 0$



Si $V_{P_N} < v_{GS_N} < 0$ ← **conducción** → Si $0 < v_{GS_P} < V_{P_P}$

$|v_{DS}| << |v_{GS} - V_P|$ $|i_D| \approx 2I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)\frac{v_{DS}}{|V_P|}$ $r_{D(ON)}$

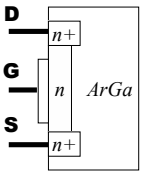
$|v_{DS}| \ge |v_{GS} - V_P|$ $|i_D| \cong I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$



$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right) \qquad r_{DS} = \frac{1+\lambda v_{DS}}{i_D \lambda}$$

MESFET
transistor de efecto de campo de juntura metal-semiconductor

Electrones con alta movilidad



Canal:
semiconductor compuesto (ArGa)
Puerta: metal
Interfase puerta canal:
unión Schottky

Dispositivos de alta velocidad

Funcionamiento similar a JFET

Conduce con $v_{GS}=0$ **V_T entre –3V y –0,3V**

Transistores de Efecto de Campo de Compuerta Aislada

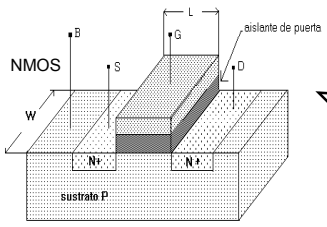
IGFET o MOSFET

empobrecimiento

normalmente en conducción

enriquecimiento

normalmente abiertos

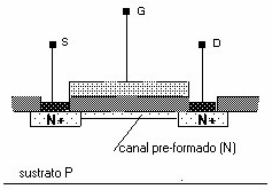


MOS de enriquecimiento

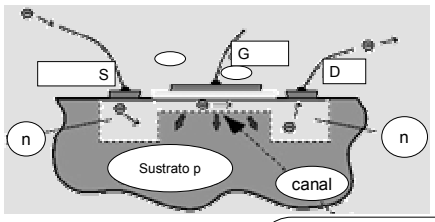
Normalmente cortado

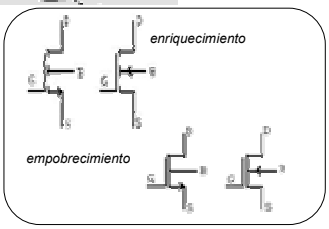
Canal preformado
Normalmente en conducción

MOSFET de empobrecimiento



N M O S



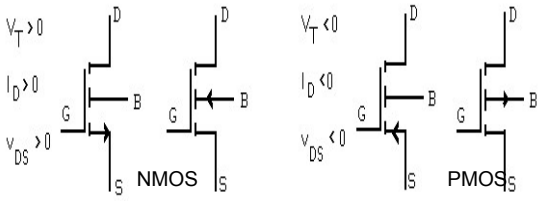


MOSFET enriquecimiento

Normalmente cortado

NMOS $\Rightarrow$ $V_T > 0$

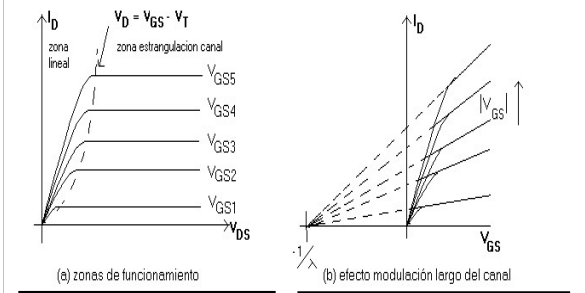
PMOS $\Rightarrow$ $V_T < 0$



enriquecimiento

NMOS $\Rightarrow$ $V_T > 0$

PMOS $\Rightarrow$ $V_T < 0$



$|v_{GS}| < |V_T| \Rightarrow i_D = 0$

$|v_{GS}| > |V_T| \Rightarrow i_D = f(v_{GS}, v_{DS})$

NMOS $\Rightarrow V_T > 0$

enriquecimiento

zona resistiva u óhmica

$v_{GS} > V_T$ $\quad v_{DS} < v_{GS} - V_T$

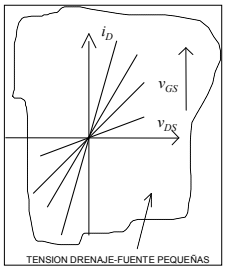
$$i_D = 2\mu_N C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)\left[(v_{GS} - V_T)v_{DS} - \frac{1}{2}v_{DS}^2\right]$$

$$i_D = 2K\left[(v_{GS} - V_T)v_{DS} - \frac{1}{2}v_{DS}^2\right]$$

$v_{DS} << v_{GS} - V_T$

$$i_D \cong 2K(v_{GS} - V_T)v_{DS}$$

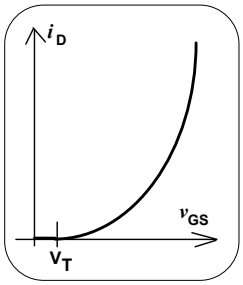
$$r_{ON} = \left.\frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D}\right|_{v_{GS}\,cte.} = [2K(v_{GS} - V_T)]^{-1}$$



zona de estrangulación o saturación del canal o de corriente constante

enriquecimiento

$|v_{GS}| > |V_T| \qquad |v_{DS}| > |v_{GS} - V_T|$



$$i_D = K(v_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda v_{DS})$$

$$g_m = \frac{\delta i_D}{\delta v_{GS}} = 2K(v_{GS} - V_T)$$

$$r_{DS} = \left.\frac{\delta v_{DS}}{\delta i_D}\right|_{v_{GS}\,cte.} = \frac{1 + \lambda v_{DS}}{i_D \lambda}$$

NMOS

Si $v_{GS} > V_T$

conducción

si $v_{DS} < v_{GS} - V_T$

$$i_D = 2K[(v_{GS} - V_T)v_{DS}]$$

si $v_{DS} > v_{GS} - V_T$

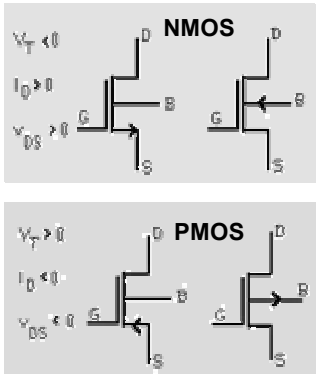
$$i_D \cong K(v_{GS} - V_T)^2$$

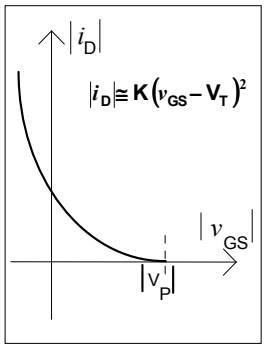
depende de la geometría

$$K = \mu_N C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)$$

depende de la tecnología

MOSFET empobrecimiento





Dependencia de la Temperatura

movilidad de portadores

$$\mu_{(T)} = \mu_{(T_R)}\left(\frac{T_R}{T}\right)^{1,5} \Rightarrow i_D \downarrow 0{,}7\%_C$$

V_P disminuye si aumenta T

V_P varía $\approx -2{,}2\,mV/^oC$

$i_D \rightarrow$ disminuye

$i_D \rightarrow$ aumenta

Si $\Delta i_D = g_m \Delta v_{GS}$ deriva nula

Compensación de efectos

Limitaciones de potencia

Potencia = $i_D v_{DS} \leq P_{MAX}$

Tensiones de Ruptura

JFET: tensión pico inverso juntura

$BV_{GSO} = BV_{GDO}$ (30 a 50V)

MOSFET: tensión de ruptura del aislante

$BV_{GSO} = BV_{GDO}$ (100V o más)

BV_{DSO}

JFET (20 a 40V)

MOSFET (≥30)

Datos fabricante

JFET: I_{DSS}, V_P; $P_{MÁX}$; B_{VGSO}, B_{VDSO}

MOSFET: V_T, K (i_D@v_{GS}); $P_{MÁX}$; B_{VGSO}, B_{VDSO}