

TEMA 4. TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO DE POTENCIA

4.1. INTRODUCCIÓN

4.1.1. Transistor de Efecto de Campo de Señal

4.2. TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

4.2.1. Transistor VMOS

4.2.2. Transistor D-MOS

4.2.3. Transistor Trenched-MOS

4.2.4. Evolución del Transistor MOS

4.3. FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO DE POTENCIA

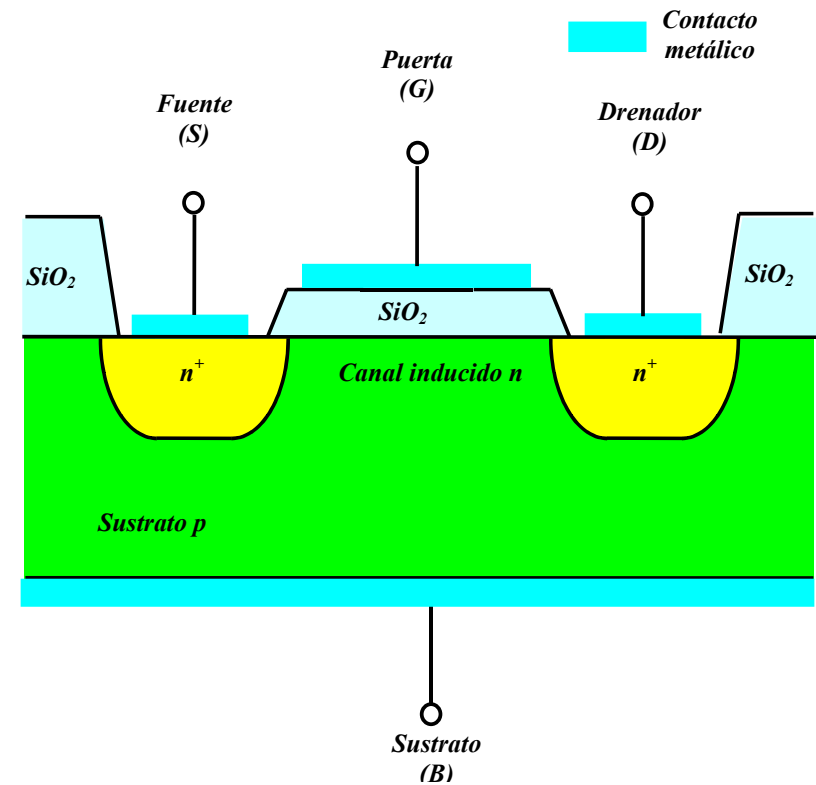
4.4. DIODO EN ANTIPARALELO

4.4.1. Conmutación en una Rama de un Puente

4.5. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS, DINÁMICAS Y TÉRMICAS

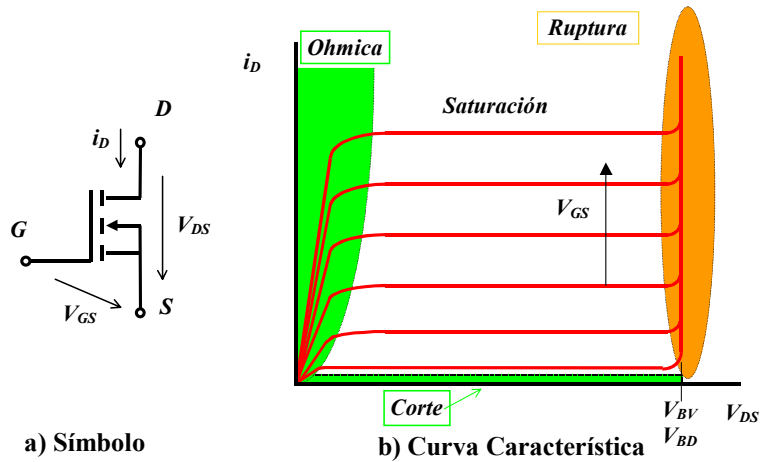
4.6. ÁREA DE OPERACIÓN SEGURA

INTRODUCCIÓN. Transistor de Efecto de Campo de Señal



Transistor de Señal MOSFET de Enriquecimiento, Canal n

INTRODUCCIÓN. Transistor de Efecto de Campo de Señal



a) Símbolo

b) Curva Característica

Transistor MOS Canal N de Enriquecimiento

Zonas de funcionamiento del transistor MOS:

Zona de corte. $V_{GS} < V_T$, $i_D \cong 0$; el transistor se considera un **interruptor abierto**.

Zona de saturación. $V_{GS} - V_T < V_{DS}$, $i_D \cong \text{constante}$ (independiente de V_{DS}):

$$i_D = \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right) \cdot (V_{GS} - V_T)^2, \text{ el límite de esta zona con la siguiente, se obtiene al}$$

$$\text{sustituir } V_{GS} - V_T = V_{DS}, \text{ en la fórmula anterior, es decir: } i_D = \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right) \cdot (V_{DS})^2,$$

(=parábola)

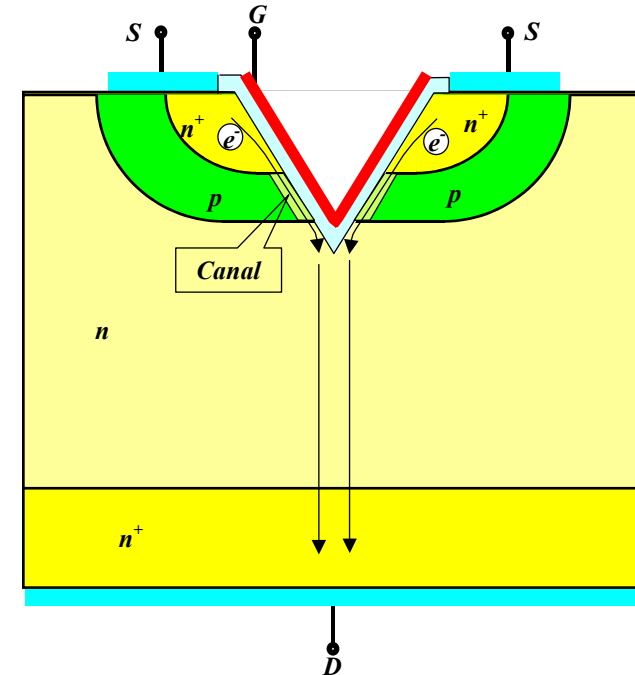
Zona óhmica. $V_{GS} - V_T > V_{DS}$, $i_D = k \cdot \left(\frac{W}{L}\right) \cdot \left((V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right)$, en esta

zona el transistor se considera un **interruptor cerrado**, con una resistencia (para valores muy pequeños de V_{DS}):

$$R_{DS(ON)} = \frac{1}{k \cdot \left(\frac{W}{L}\right) (V_{GS} - V_T)}$$

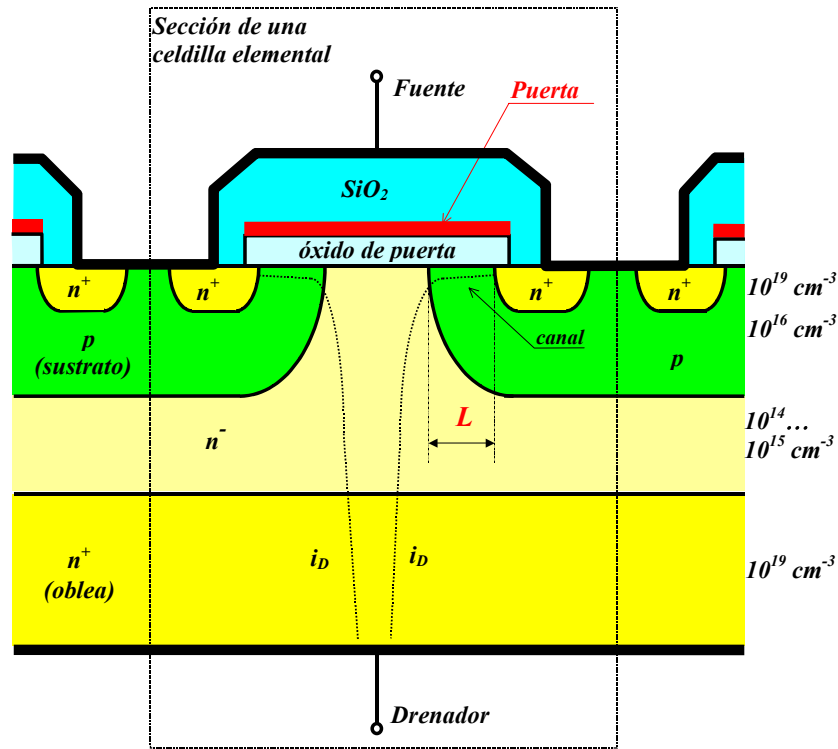
Zona de ruptura. $V_{DS} > V_{BD}$.

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN. Transistor VMOS (Siliconix-1976)



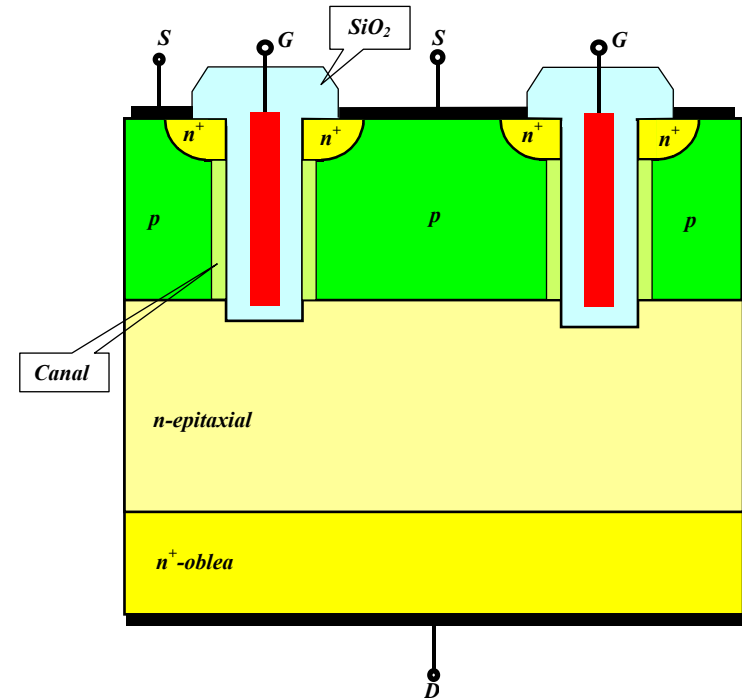
Primeros transistores MOS de potencia: Transistor en V. Derivó rápidamente a U-MOS.

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN. Transistor DMOS



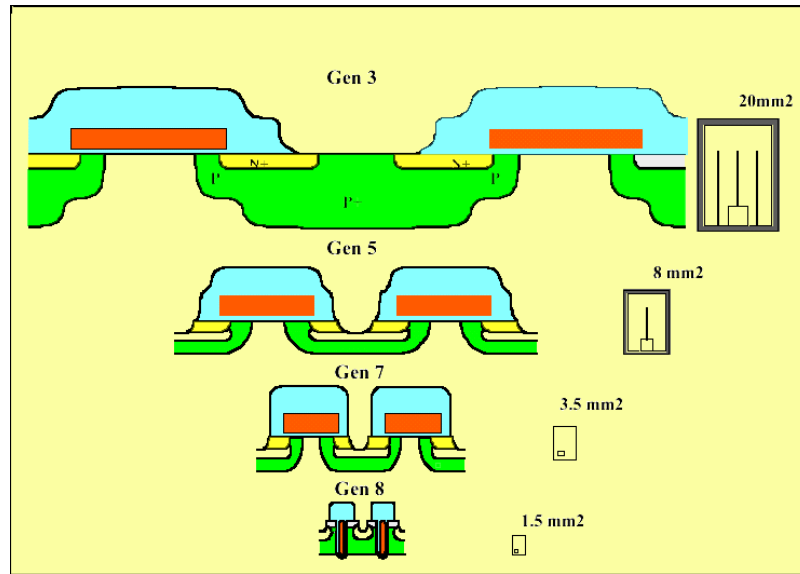
Sección de un Transistor DMOS de Enriquecimiento Canal n

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN. Transistor Trenched-MOS



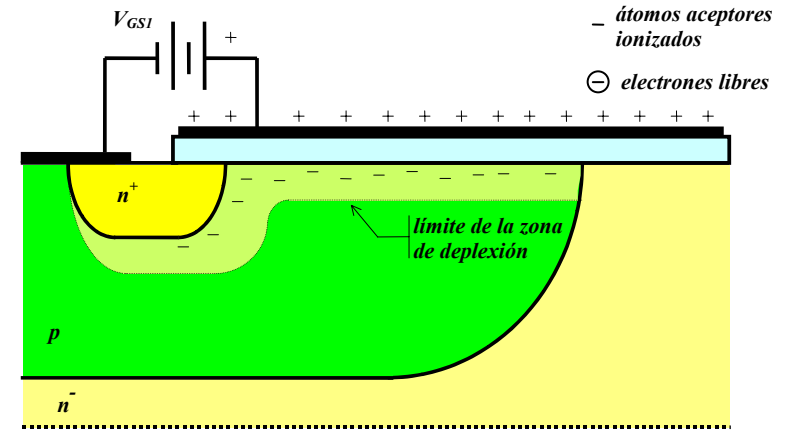
Transistores MOS de potencia modernos: "Transistores con Trinchera"

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN. Evolución del Transistor MOS

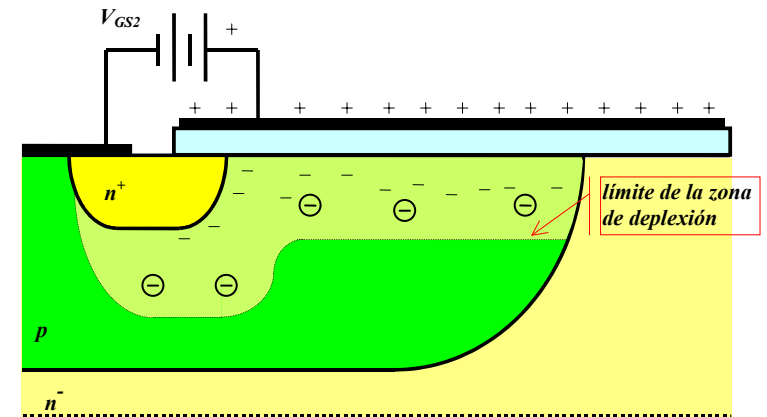


Evolución en el tiempo de las generaciones de transistores MOS a partir de DMOS hasta los transistores con trinchera.

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR D-MOS

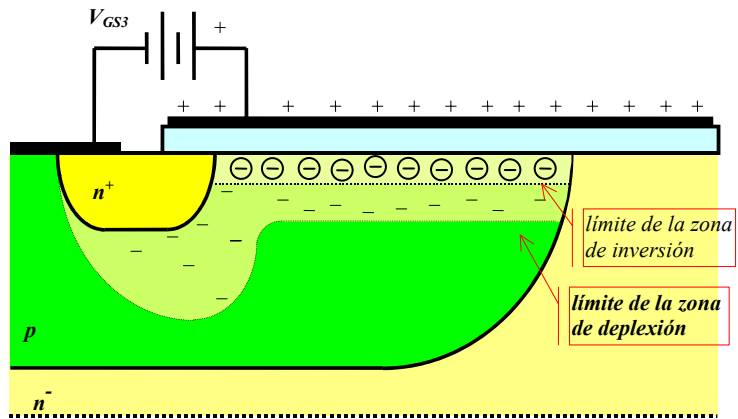


a) Para valores bajos de V_{GS} y V_{DS}

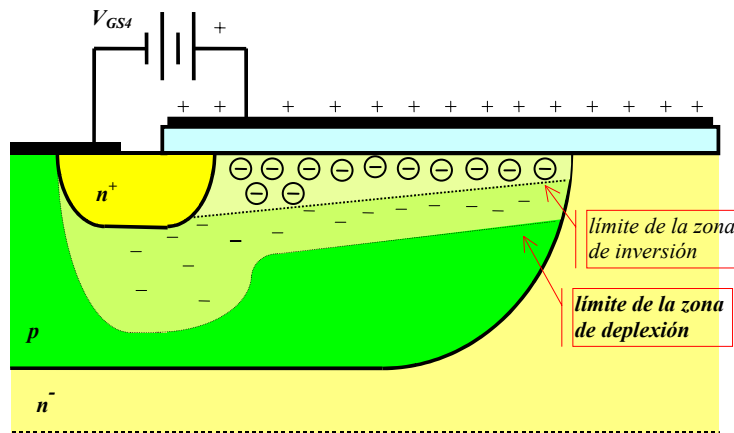


b) Para valores bajos de V_{DS} ($V_{GS1} > V_{GS2}$, $V_{GS2} < V_T$)

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR D-MOS

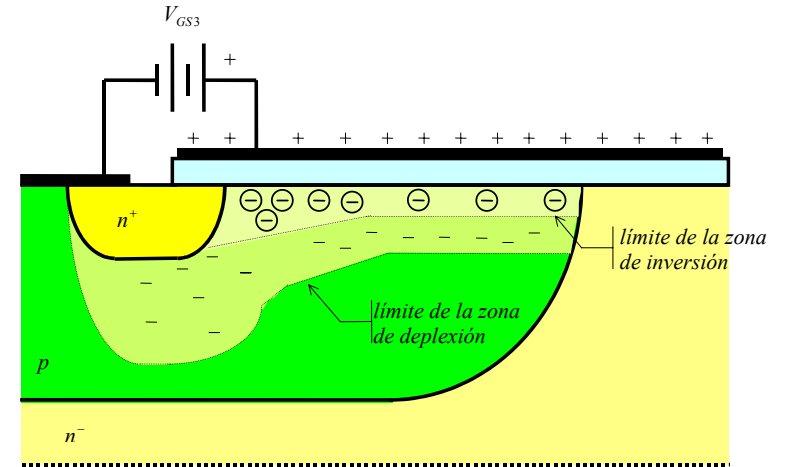


c) Para valores bajos de V_{DS} ($V_{GS3} > V_{GS2}$, $V_{GS3} > V_T$)



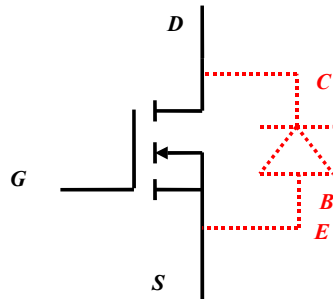
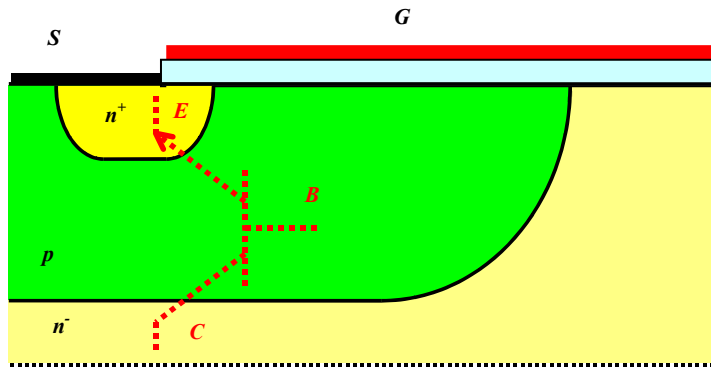
d) Para valores mayores de V_{DS} ($V_{GS4} > V_T$)

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR D-MOS



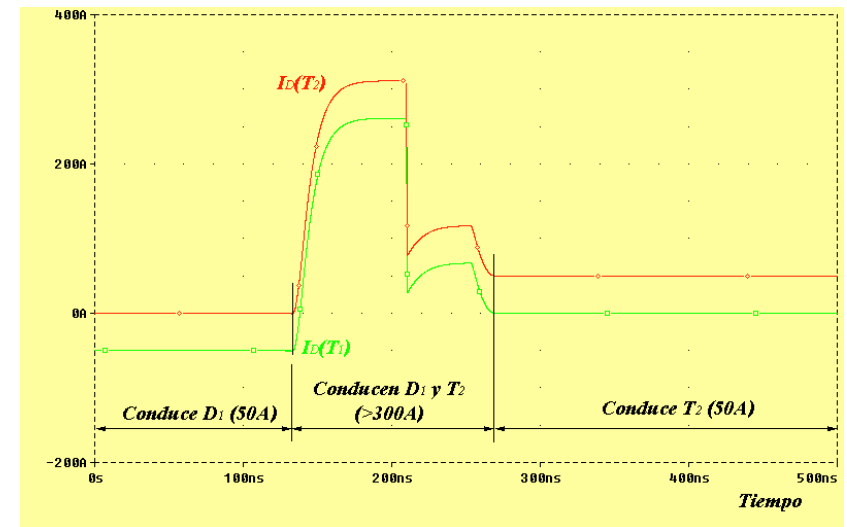
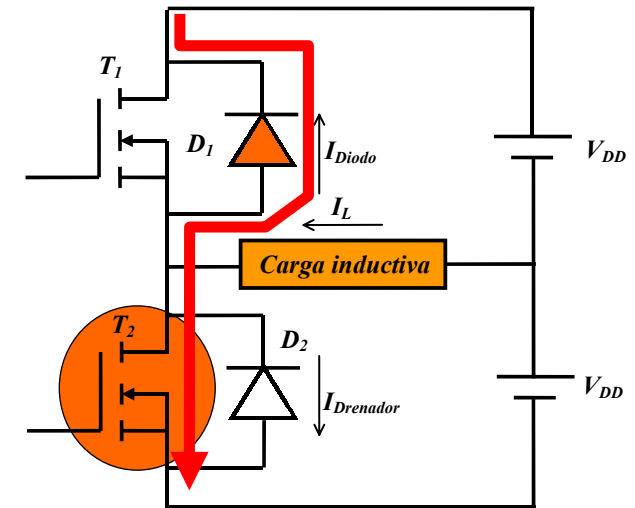
e) Para valores mayores de V_{DS} ($V_{GS3} > V_{GS2}$, $V_{GS3} > V_T$)

DIODO EN ANTIPARALELO



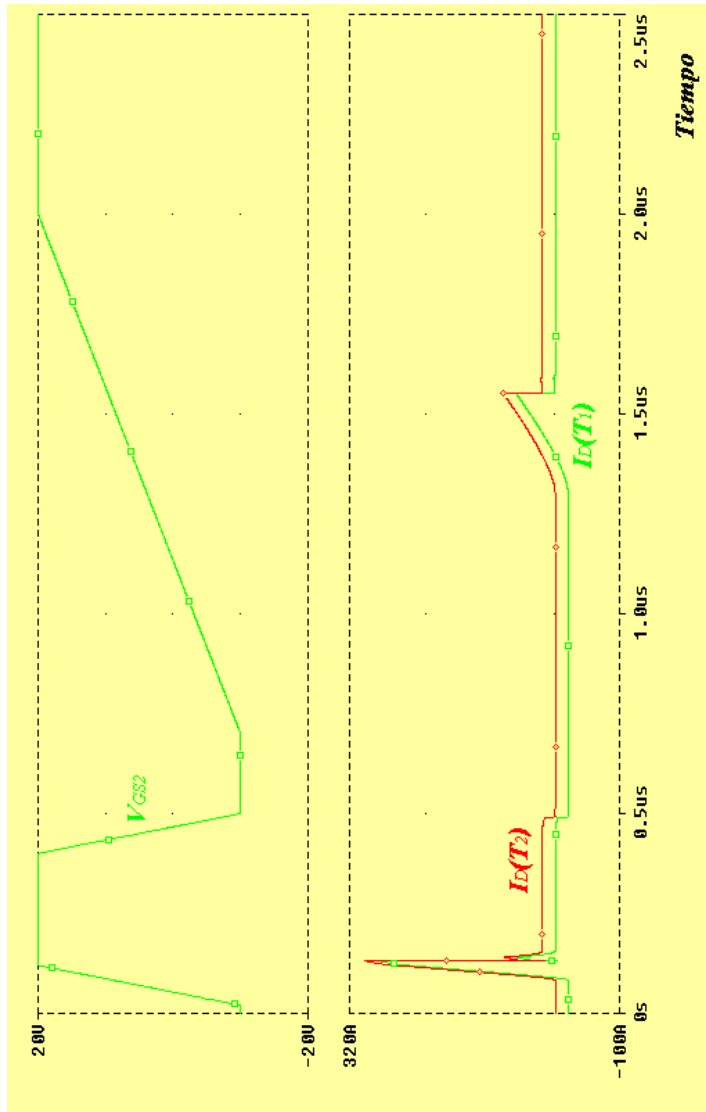
Transistor Bipolar asociado al Transistor MOS

DIODO EN ANTIPARALELO. Conmutación en una Rama de un Puente



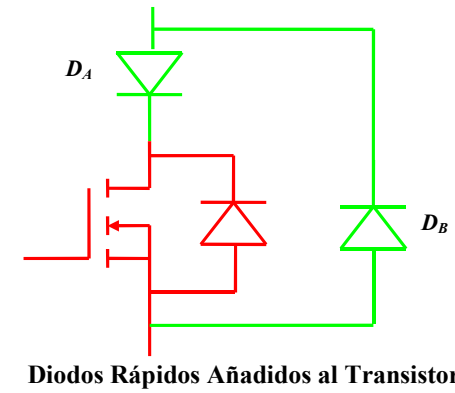
El transistor MOS con el Diodo en Antiparalelo Conmutando una Carga Inductiva en una rama de un Puente.

DIODO EN ANTIPARALELO. Conmutación en una Rama de un Punte



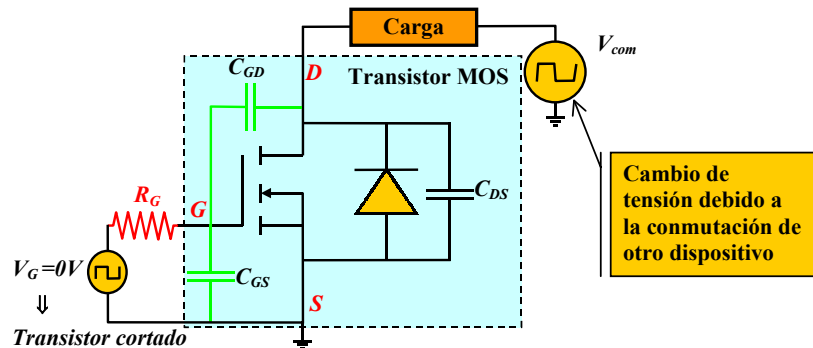
La velocidad de subida o bajada de la tensión V_{GS} se controla fácilmente con el valor de la resistencia de la fuente de excitación de puerta.

DIODO EN ANTIPARALELO. Conmutación en una Rama de un Punte



Diodos Rápidos Añadidos al Transistor

Efecto de las Capacidades Parásitas en la Tensión de Puerta



Efecto de la conmutación de otros dispositivos sobre la tensión de puerta con distintos valores de R_G .

El efecto de la conmutación de otros dispositivos puede provocar variaciones importantes en la tensión de puerta debido al acoplamiento capacitivo $C_{GD}-C_{GS}$. Esto tiene como consecuencias no deseadas:

- Se supere la tensión máxima que el óxido puede soportar.
- Haciendo que el transistor (que estaba cortado) conduzca.

Si se produce un **flanco de subida**, ese flanco se transmitirá a la puerta, con lo que si se supera la tensión umbral, el MOS entra en conducción.

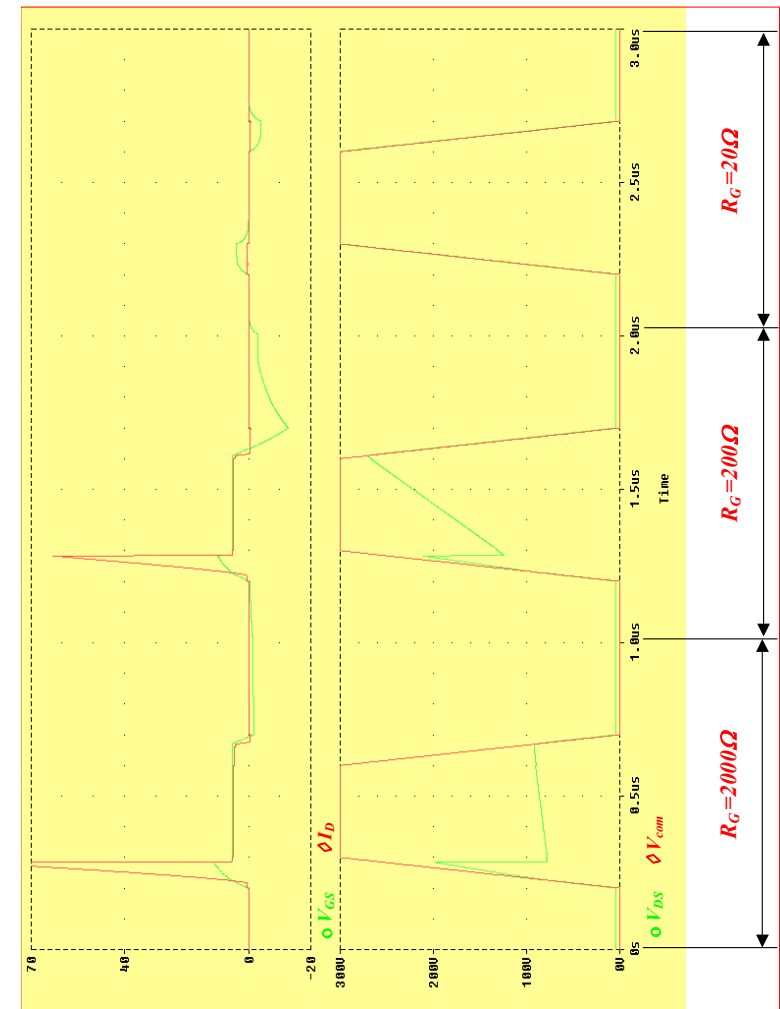
Esto tiene el efecto de que baje la tensión V_{DS} con lo que el efecto se compensa, cortándose de nuevo el transistor a costa de sufrir grandes pérdidas por la corriente que circula durante el transitorio.

Si se produce un **flanco de bajada**, ese flanco se transmitirá igualmente a la puerta, permaneciendo el transistor cortado, pero con peligro de superar la tensión máxima del óxido.

En ambos casos es determinante el **valor de la resistencia** equivalente de la fuente que excita a la puerta (R_G) cuanto menor sea esta resistencia menos se notará este efecto.

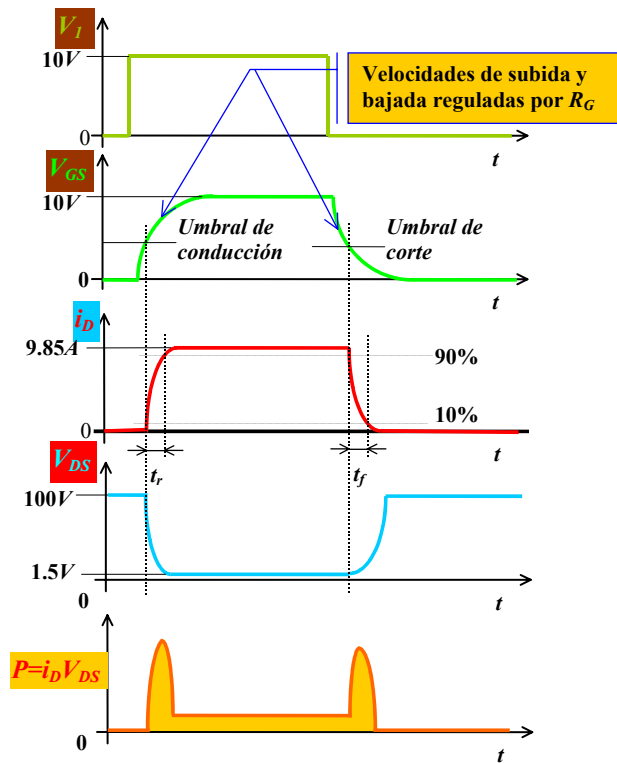
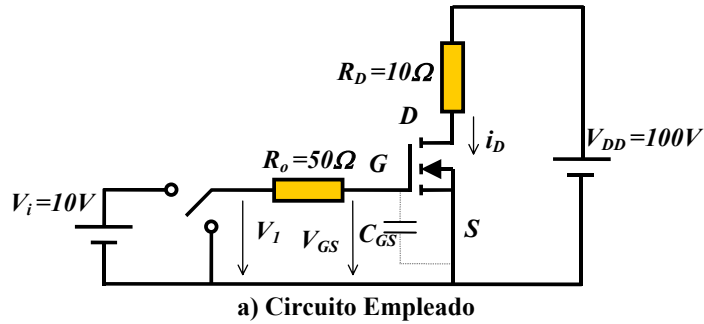
Se debe tener especial cuidado con las conexiones en el circuito de puerta, porque cualquier inductancia parásita presente dará una impedancia equivalente muy alta ante cambios bruscos.

Efecto de las Capacidades Parásitas en la Tensión de Puerta



Efecto de la conmutación de otros dispositivos sobre la tensión de puerta con distintos valores de R_G .

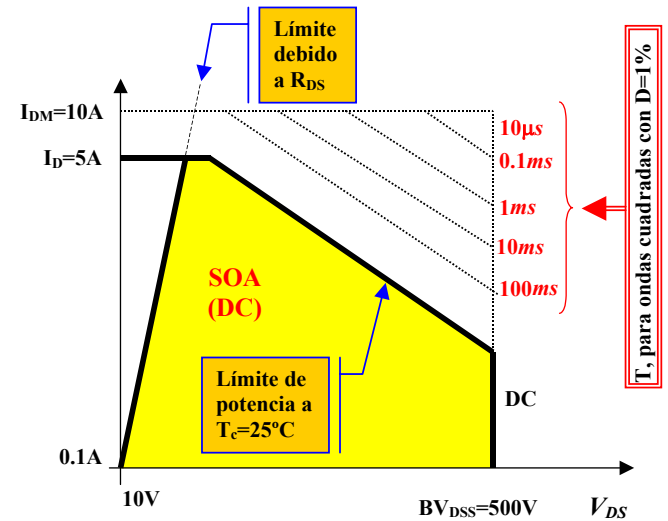
CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS, DINÁMICAS Y TÉRMICAS



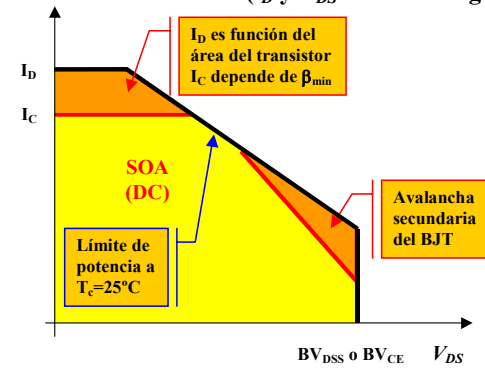
b) Formas de Onda Resultantes

Características Dinámicas del Transistor MOSFET

ÁREA DE OPERACIÓN SEGURA



Zona de Operación Segura (SOA) en un MOSFET de Potencia (i_D y V_{DS} en escala logarítmica)



Comparación entre las Zonas de Operación Segura de dos transistores MOSFET y BJT de Potencia construidos para las mismas tensiones máximas y de secciones análogas.

Nótese que los límites de corrientes y tensiones de dispositivos de mayores potencias que pueden encontrarse en el mercado son aproximadamente:

