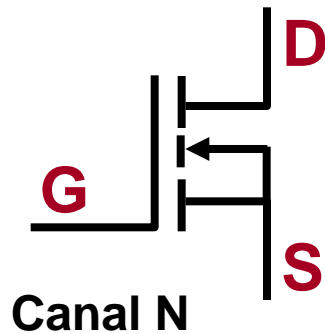


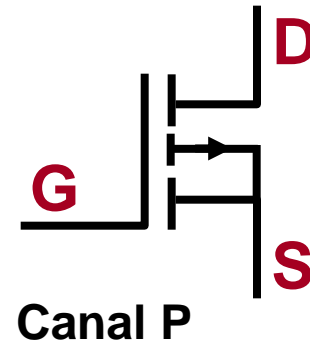
EL MOSFET DE POTENCIA

Ideas generales sobre el transistor de Efecto de Campo de Metal-Óxido-Semiconductor

- El nombre hace mención a la estructura interna: *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)*
- Es un dispositivo unipolar: la conducción sólo es debida a un tipo de portador
- Los usados en Electrónica de potencia son de tipo “acumulación”



Conducción debida
a electrones

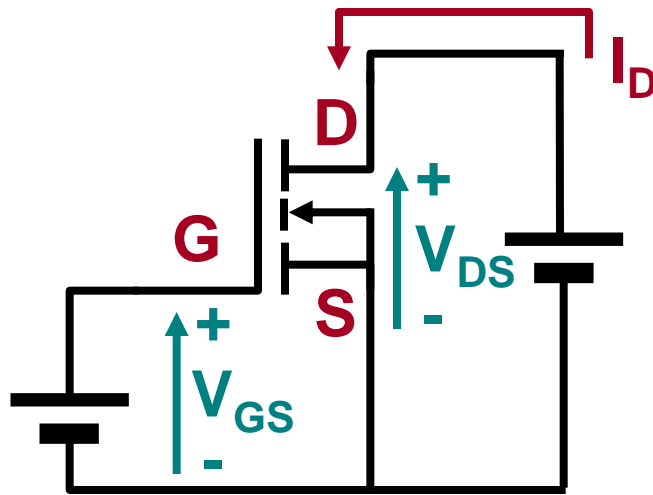


Conducción
debida a huecos

- Los más usados son los MOSFET de canal N
- La conducción es debida a los electrones y, por tanto, con mayor movilidad \Rightarrow menores resistencias de canal en conducción

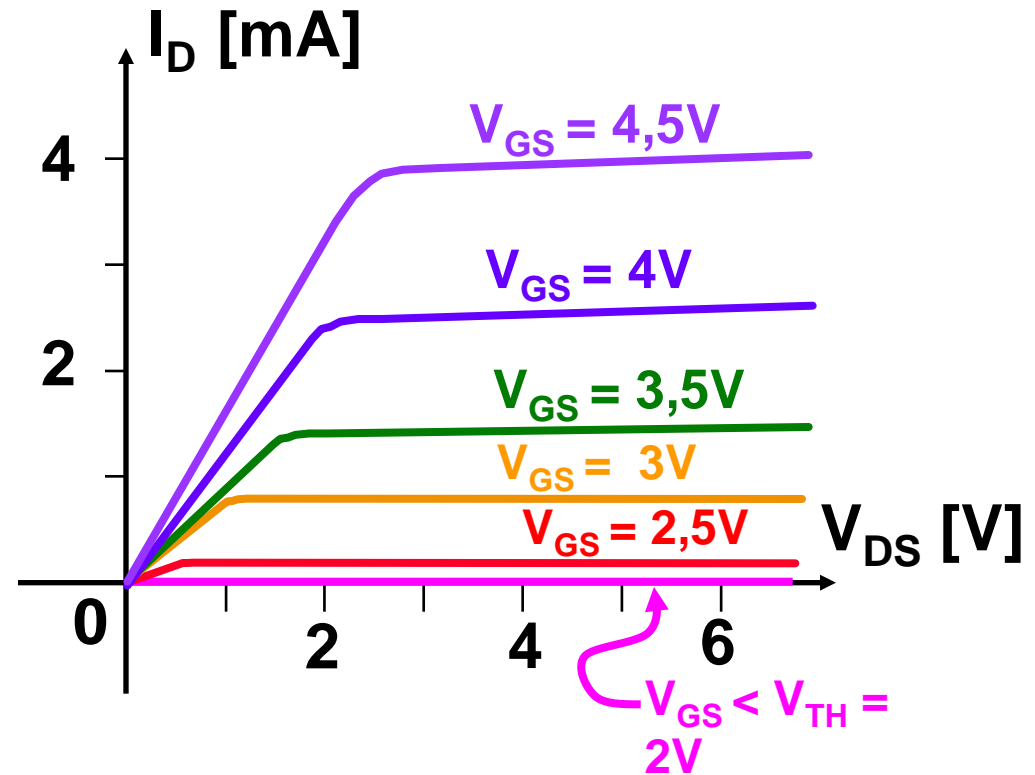
Ideas generales sobre los MOSFETs de acumulación

• Curvas características del MOSFET



Referencias normalizadas

- Curvas de salida

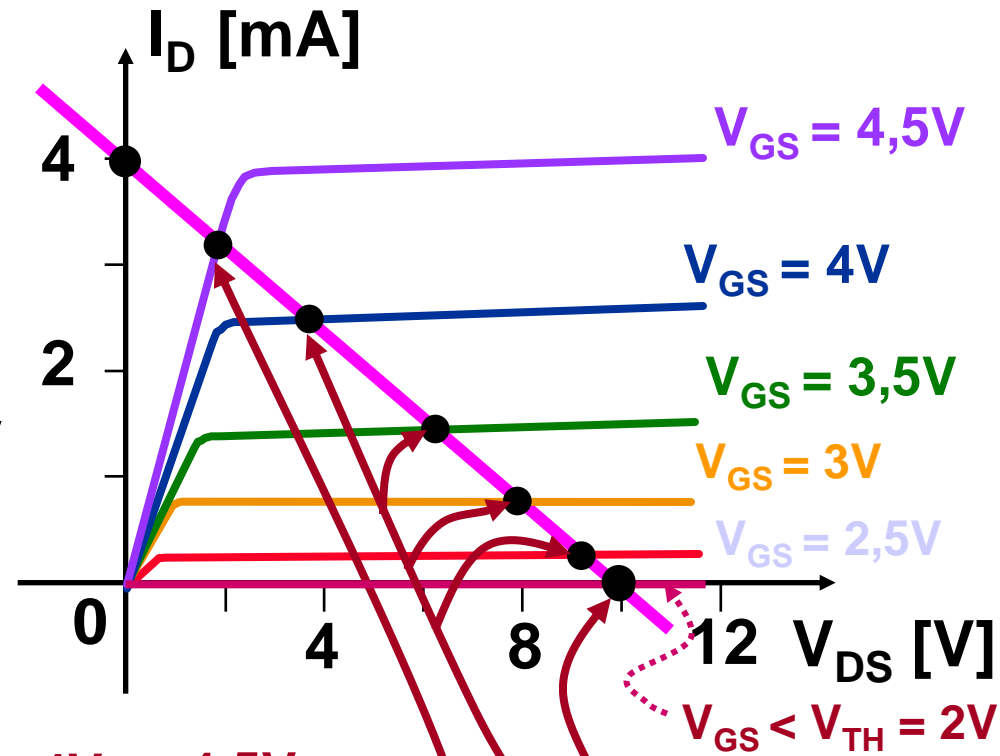
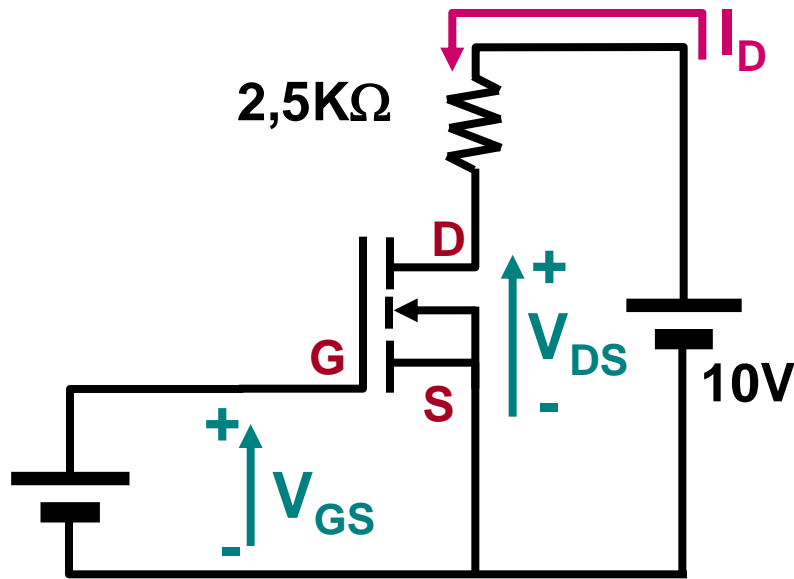


- Curvas de entrada:

No tienen interés (puerta aislada del canal)

Ideas generales sobre los MOSFETs de acumulación

• Zonas de trabajo



$V_{GS} = 0V < 2.5V < 3V < 3.5V < 4V < 4.5V$

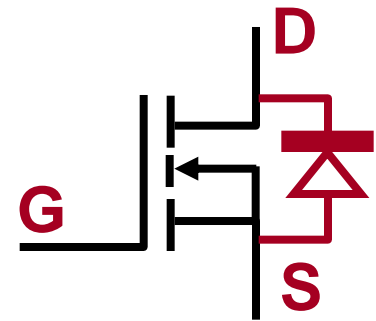
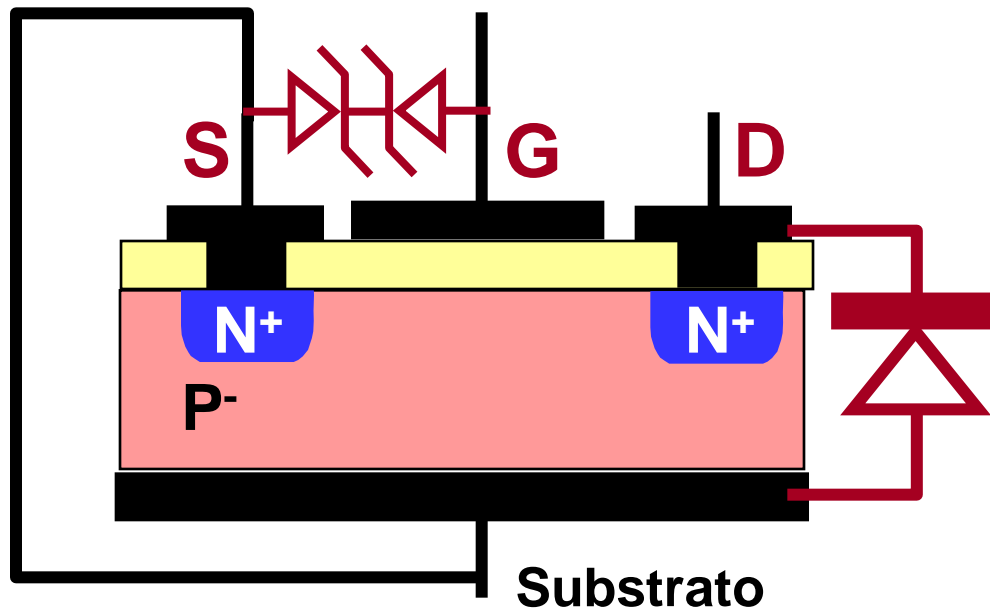
Comportamiento resistivo

Comportamiento como fuente de corriente
(sin interés en electrónica de potencia)

Comportamiento como circuito abierto

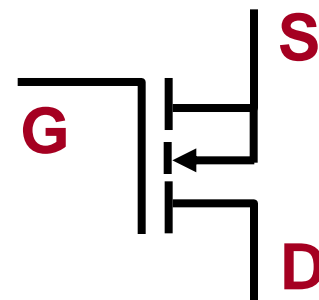
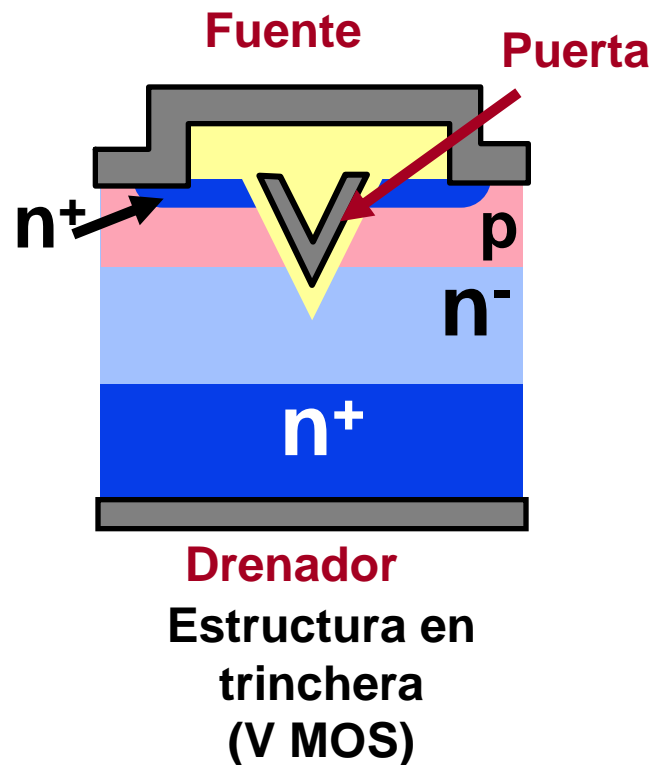
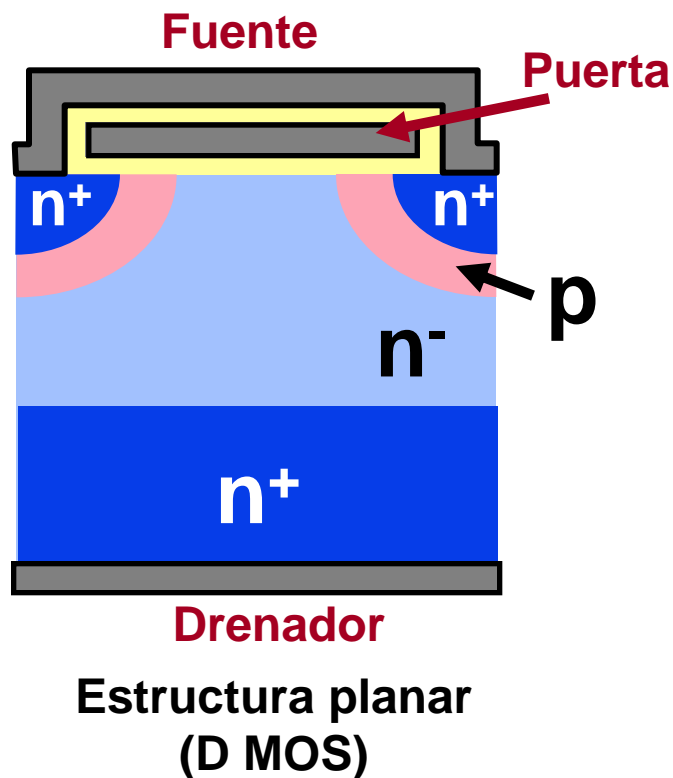
Ideas generales sobre los MOSFETs

- Precauciones en el uso de transistores MOSFET
 - El terminal puerta al aire es muy sensible a los ruidos
 - El óxido se puede llegar a perforar por la electricidad estática de los dedos. A veces se integran diodos zener de protección
 - Existe un diodo parásito entre fuente y drenador en los MOSFET de enriquecimiento



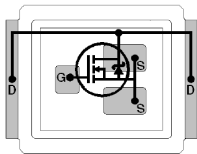
Estructura de los MOSFETs de Potencia

- Están formados por miles de celdas puestas en paralelo (son posibles integraciones de 0,5 millones por pulgada cuadrada)
- Los dispositivos FET (en general) se paralelizan fácilmente
- Algunas celdas posibles



Encapsulados de MOSFETs de Potencia

- En general, semejantes a los de los diodos de potencia (excepto los encapsulados axiales)
- Existe gran variedad
- Ejemplos: MOSFET de 60V



DirectFET™ ISOMETRIC

IRF6648

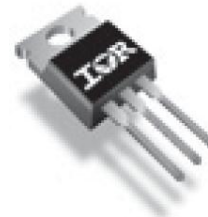
$R_{DS(on)}=5,5m\Omega$, $I_D=86A$



SO-8

IRF7855PbF

$R_{DS(on)}=9,4m\Omega$, $I_D=12A$



TO-220AB

IRFZ44VZPbF



D²Pak

IRFZ44VZSPbF



TO-262

IRFZ44VZLPbF

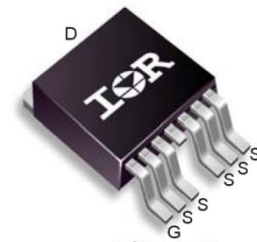
$R_{DS(on)}=12m\Omega$, $I_D=57A$



TO-247AC

IRFP054VPbF

$R_{DS(on)}=9m\Omega$, $I_D=93A$



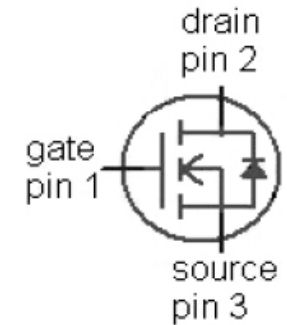
D²Pak 7 Pin

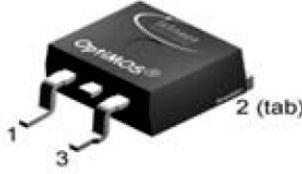


IRFS3006-7PbF

$R_{DS(on)}=1.5m\Omega$, $I_D=240A$

Encapsulados de MOSFETs de Potencia

- Otros ejemplos de MOSFET de 60V



Type	IPB034N06L3 G	IPI037N06L3 G	IPP037N06L3 G
			
Package	PG-TO-263-3	PG-TO-262-3	PG-TO-220-3
Marking	034N06L	037N06L	037N06L

$$R_{DS(on)}=3.4m\Omega, I_D=90A$$



Características fundamentales de los MOSFETs de potencia

1ª -Máxima tensión drenador-fuente

2ª -Máxima corriente de drenador

3ª -Resistencia en conducción

4ª -Tensiones umbral y máximas de puerta

5ª -Velocidad de conmutación

1ª Máxima tensión drenador-fuente

- Corresponde a la tensión de ruptura de la unión que forman el sustrato (unido a la fuente) y el drenador.
- Se mide con la puerta cortocircuitada a la fuente. Se especifica a qué pequeña circulación de corriente corresponde (por ejemplo, 0,25 mA)

IRF540

N-channel TrenchMOS™ transistor

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0 \text{ V}; I_D = 0.25 \text{ mA};$ $T_j = -55^\circ\text{C}$	100 89	- -	- -	V V
$V_{GS(TH)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1 \text{ mA}$ $T_j = 175^\circ\text{C}$	2 1	3 -	4 -	V V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10 \text{ V}; I_D = 17 \text{ A}$ $T_j = -55^\circ\text{C}$ $T_j = 175^\circ\text{C}$	- - -	49 132	77 193	mΩ mΩ
g_{fs}	Forward transconductance	$V_{DS} = 25 \text{ V}; I_D = 17 \text{ A}$	8.7	15.5	-	S
I_{GSS}	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 20 \text{ V}; V_{DS} = 0 \text{ V}$	-	10	100	nA
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 100 \text{ V}; V_{GS} = 0 \text{ V}$ $V_{DS} = 80 \text{ V}; V_{GS} = 0 \text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	- -	0.05 -	10 250	μA μA

1ª Máxima tensión drenador-fuente

- La máxima tensión drenador-fuente se representa como V_{DSS} o como $V_{(BR)DSS}$
- Ayuda a clasificar a los transistores MOSFET de potencia

Ejemplo de
clasificación

Baja tensión

15 V
30 V
45 V
55 V
60 V
80 V

Media tensión

100 V
150 V
200 V
400 V

Alta tensión

500 V
600 V
800 V
1000 V

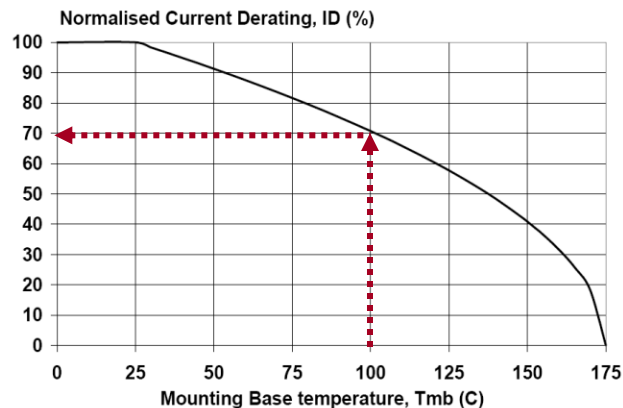
2ª Máxima corriente de drenador

- El fabricante suministra dos valores (al menos):
- Corriente continua máxima I_D
- Corriente máxima pulsada I_{DM}

IRF540

N-channel TrenchMOS™ transistor

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DSS}	Drain-source voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}$ to 175°C	-	100	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}$ to 175°C ; $R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	100	V
V_{GS}	Gate-source voltage		-	± 20	V
I_D	Continuous drain current	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$	-	23	A
		$T_{mb} = 100^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$	-	16	A
I_{DM}	Pulsed drain current	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	92	A
P_D	Total power dissipation	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	100	W
T_j, T_{stg}	Operating junction and storage temperature		- 55	175	$^\circ\text{C}$



- La corriente continua máxima I_D depende de la temperatura de la cápsula (*mounting base* aquí)

$$\text{A } 100^\circ\text{C}, I_D = 23 \cdot 0,7 = 16,1\text{A}$$

Fig.2. Normalised continuous drain current.
 $ID\% = 100 \cdot I_D / I_{D25^\circ\text{C}} = f(T_{mb})$; conditions: $V_{GS} \geq 10\text{ V}$

3ª Resistencia en conducción

- Es uno de los parámetro más importante en un MOSFET. Cuanto menor sea, mejor es el dispositivo
- Se representa por las letras $R_{DS(on)}$
- Para un dispositivo particular, crece con la temperatura
- Para un dispositivo particular, decrece con la tensión de puerta. Este decrecimiento tiene un límite.

IRF540

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 17\text{ A}$ $T_j = 175^\circ\text{C}$	-	49	77	$\text{m}\Omega$
			-	132	193	$\text{m}\Omega$

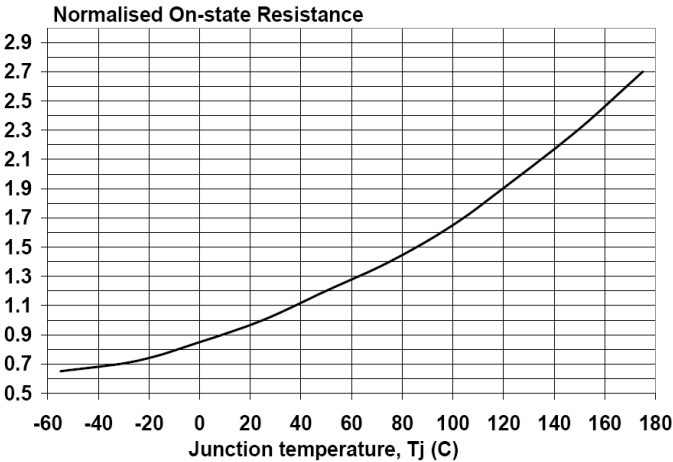


Fig.9. Normalised drain-source on-state resistance.
 $R_{DS(ON)}/R_{DS(ON)25^\circ\text{C}} = f(T_j)$

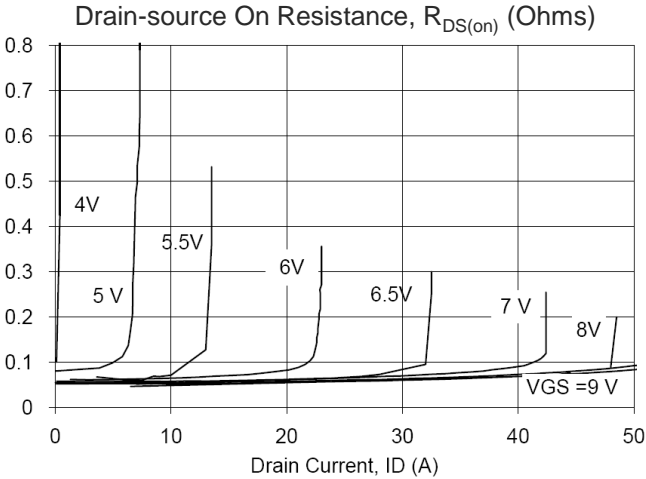




Fig.6. Typical on-state resistance, $T_j = 25^\circ\text{C}$.
 $R_{DS(ON)} = f(I_D)$

3ª Resistencia en conducción

- Comparando distintos dispositivos de valores de I_D semejantes, $R_{DS(on)}$ crece con el valor de V_{DSS}

	TYPE	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D
	STD5NE10	100 V	$< 0.4 \Omega$	5 A

	TYPE	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D
	STD5NM60	600V	$< 0.9 \Omega$	5 A

 IRLZ24NLPbF

$$V_{DSS} = 55V$$

$$R_{DS(on)} = 0.06 \Omega$$

$$I_D = 18A$$

 IRF640NLPbF

$$V_{DSS} = 200V$$

$$R_{DS(on)} = 0.15 \Omega$$

$$I_D = 18A$$

3ª Resistencia en conducción

- En los últimos tiempos se han mejorado sustancialmente los valores de $R_{DS(on)}$ en dispositivos de V_{DSS} relativamente alta (600-1000 V)

SIEMENS

MOSFET de ≈ 1984

TYPE	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D
BUZ80	800 V	$< 4 \Omega$	3.4 A
BUZ80FI	800 V	$< 4 \Omega$	2.1 A

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 25 \text{ V} \quad f = 1 \text{ MHz} \quad V_{GS} = 0$		650	850	pF
C_{oss}	Output Capacitance			82	105	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			28	40	pF

MOSFET de los años 2000

infineon
SPD04N80C3

V_{DS}	800	V
$R_{DS(on)}$	1.3	Ω
I_D	4	A

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			min.	typ.	max.	
Input capacitance	C_{iss}	$V_{GS}=0V, V_{DS}=25V,$ $f=1MHz$	-	570	-	pF
Output capacitance	C_{oss}		-	240	-	
Reverse transfer capacitance	C_{rss}		-	12	-	

4ª Tensiones umbral y máximas de puerta

- La tensión puerta fuente debe alcanzar un valor umbral para que comience a haber conducción entre drenador y fuente
- Los fabricantes definen la tensión umbral $V_{GS(To)}$ como la tensión puerta-fuente a la que la corriente de drenador es 0,25 mA, o 1 mA
- Las tensiones umbrales suelen estar en el margen de 2-4 V

IRF540

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{GS(To)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1 \text{ mA}$ $T_j = 175^\circ\text{C}$ $T_j = -55^\circ\text{C}$	2 1 -	3 - -	4 - 6	V V V

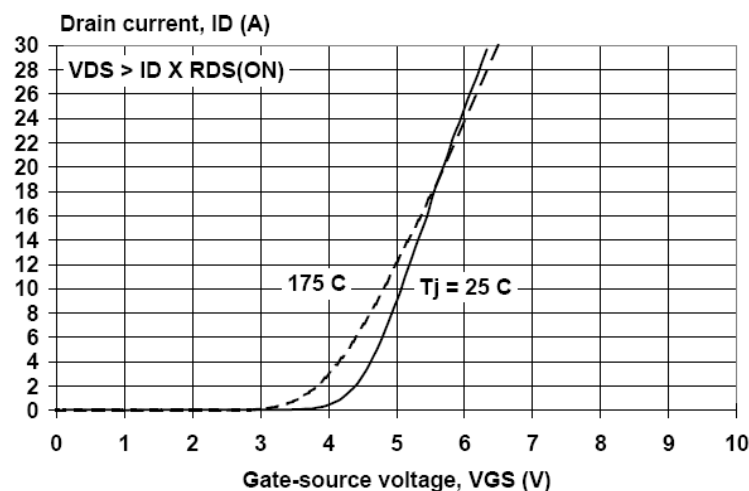


Fig.7. Typical transfer characteristics.
 $I_D = f(V_{GS})$

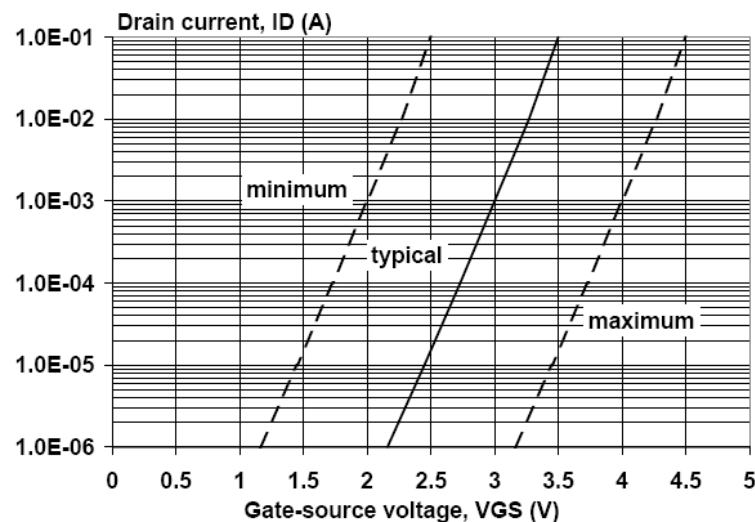


Fig.11. Sub-threshold drain current.
 $I_D = f(V_{GS})$; conditions: $T_j = 25^\circ\text{C}$; $V_{DS} = V_{GS}$

4ª Tensiones umbral y máximas de puerta

- La tensión umbral cambia con la temperatura

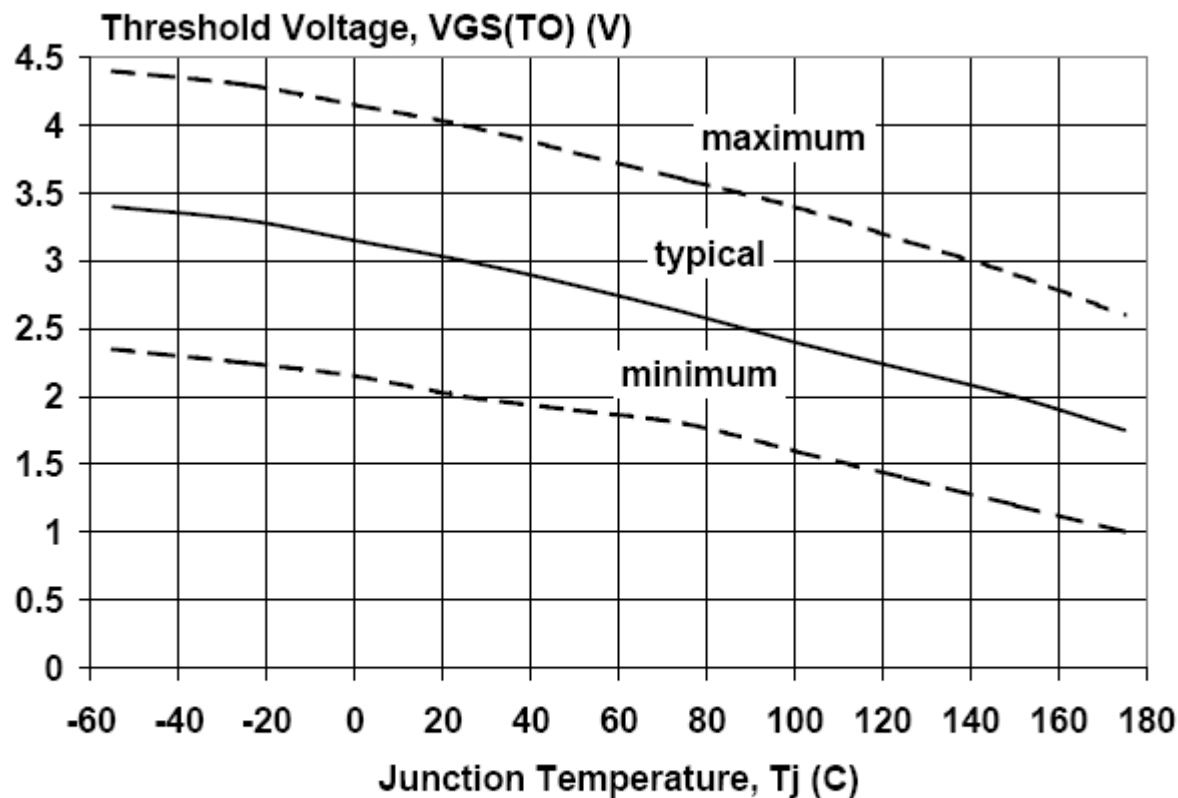


Fig.10. Gate threshold voltage.

$$V_{GS(TO)} = f(T_j); \text{ conditions: } I_D = 1 \text{ mA}; V_{DS} = V_{GS}$$

4ª Tensiones umbral y máximas de puerta

- La máxima tensión soportable entre puerta y fuente es típicamente de $\pm 20V$

Philips Semiconductors

Product specification

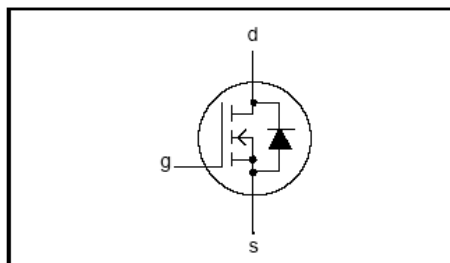
N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

FEATURES

- 'Trench' technology
- Low on-state resistance
- Fast switching
- Low thermal resistance

SYMBOL



QUICK REFERENCE DATA

$$V_{DS} = 100 \text{ V}$$

$$I_D = 23 \text{ A}$$

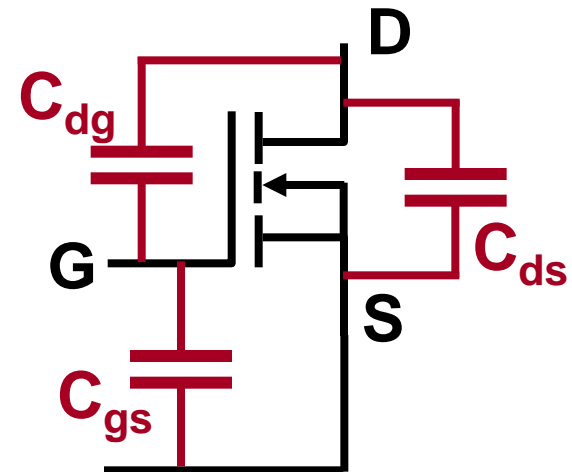
$$R_{DS(ON)} \leq 77 \text{ m}\Omega$$

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF540, RF1S540SM	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage (Note 1)	100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	100	V
Continuous Drain Current	28	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	20	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	110	A
Gate to Source Voltage	± 20	V
Maximum Power Dissipation	120	W
Dissipation Derating Factor	0.8	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	230	mJ
Operating and Storage Temperature	-55 to 175	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	260	$^\circ\text{C}$

5ª Velocidad de conmutación

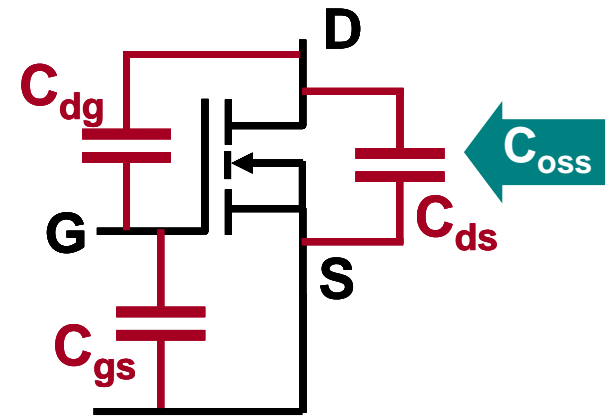
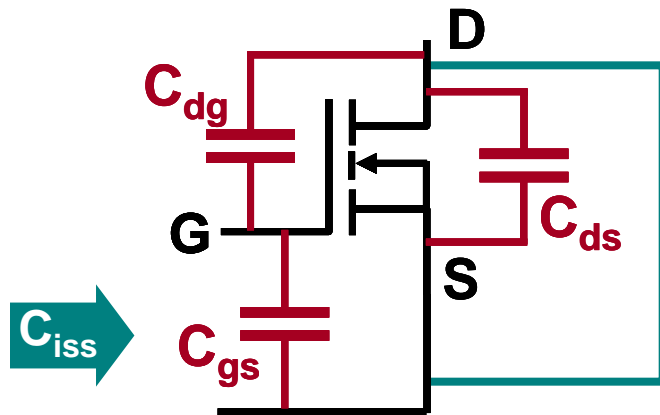
- Los MOSFET de potencia son más rápidos que otros dispositivos usados en electrónica de potencia (tiristores, transistores bipolares, IGBT, etc.)
- Los MOSFET de potencia son dispositivos de conducción unipolar. En ellos, los niveles de corriente conducida no están asociados al aumento de la concentración de portadores minoritarios, que luego son difíciles de eliminar para que el dispositivo deje de conducir
- La limitación en la rapidez está asociada a la carga de las capacidades parásitas del dispositivo
- Hay, esencialmente tres:
 - C_{gs} , capacidad de lineal
 - C_{ds} , capacidad de transición $C_{ds} \approx k/(V_{DS})^{1/2}$
 - C_{dg} , capacidad Miller, no lineal, muy importante



5ª Velocidad de conmutación

• Los fabricantes de MOSFET de potencia suministran información de tres capacidades distintas de las anteriores, pero relacionadas con ellas:

- $C_{iss} = C_{gs} + C_{gd}$ con $V_{ds}=0$ (\approx capacidad de entrada)
- $C_{rss} = C_{dg}$ (capacidad Miller)
- $C_{oss} = C_{ds} + C_{dg}$ (\approx capacidad de salida)



5ª Velocidad de conmutación

• Ejemplo de información de los fabricantes

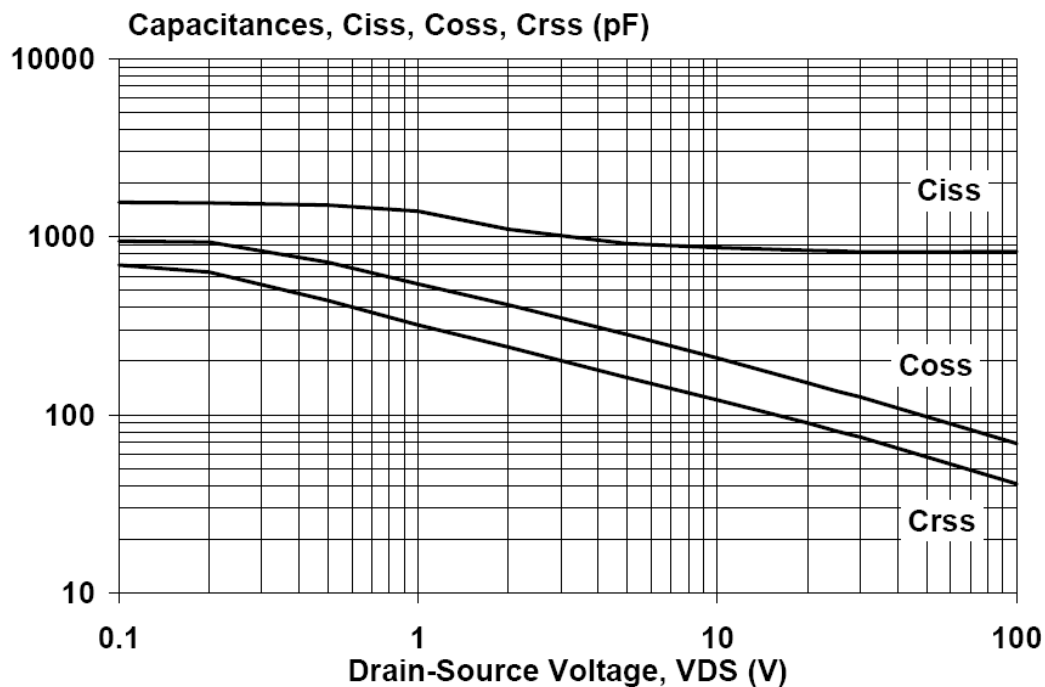
Philips Semiconductors

Product specification

N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
C_{iss}	Input capacitance	$V_{GS} = 0 \text{ V}; V_{DS} = 25 \text{ V}; f = 1 \text{ MHz}$	-	890	1187	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	139	167	pF
C_{rss}	Feedback capacitance		-	83	109	pF



$$C_{iss} = C_{gs} + C_{gd}$$

$$C_{rss} = C_{dg}$$

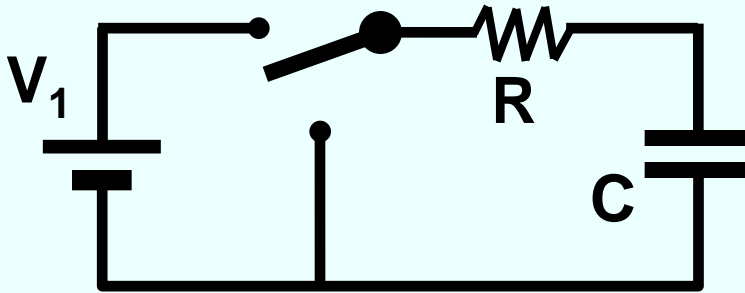
$$C_{oss} = C_{ds} + C_{dg}$$

Fig.12. Typical capacitances, C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} .
 $C = f(V_{DS})$; conditions: $V_{GS} = 0 \text{ V}; f = 1 \text{ MHz}$

5ª Velocidad de conmutación

- La carga y la descarga de estas capacidades parásitas generan pérdidas que condicionan las máximas frecuencias de conmutación de los MOSFET de potencia

Carga y descarga de un condensador desde una resistencia

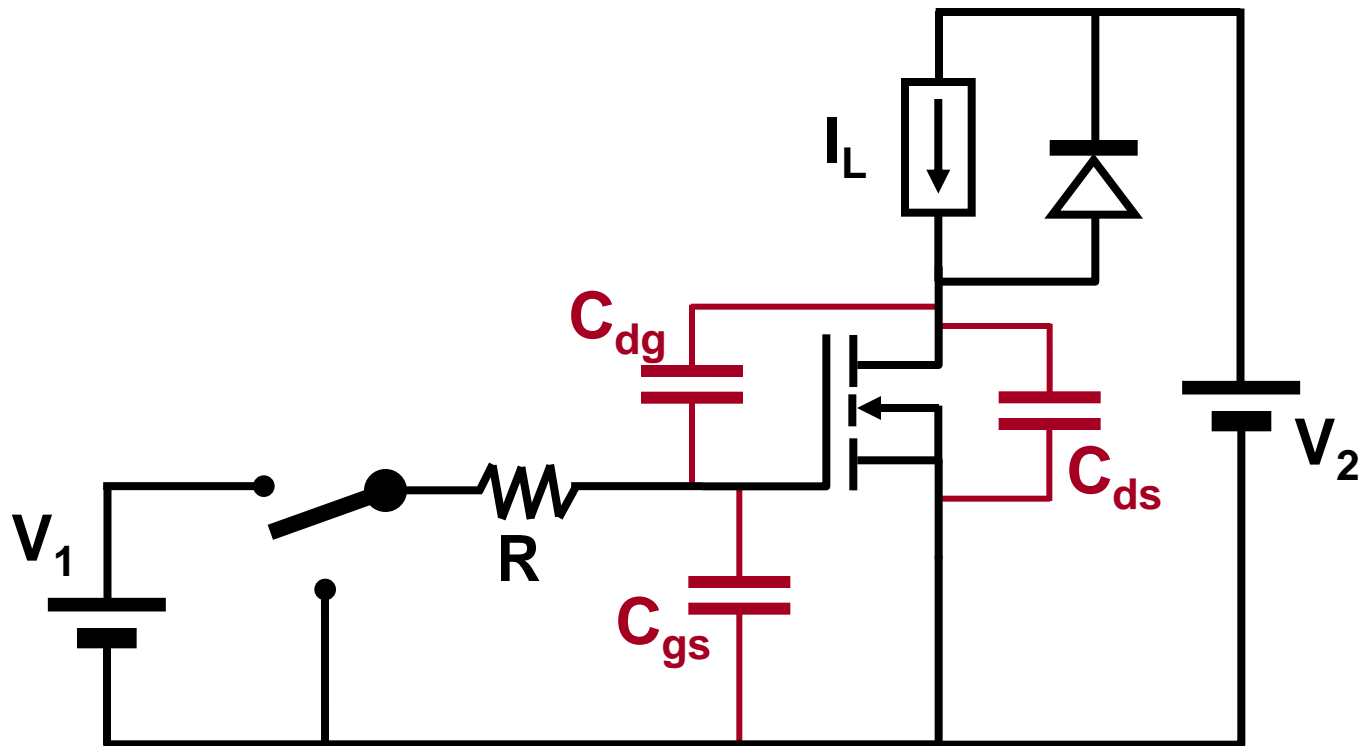


- En la carga de C :
 - Energía perdida en $R = 0,5CV_1^2$
 - Energía almacenada en $C = 0,5CV_1^2$
- En la descarga de C :
 - Energía perdida en $R = 0,5CV_1^2$
- Energía total perdida: $CV_1^2 = V_1Q_{CV1}$

- Además, en general estas capacidades parásitas retrasan las variaciones de tensión, ocasionando en muchos circuitos convivencia entre tensión y corriente, lo que implica pérdidas en el proceso de conmutación

5ª Velocidad de conmutación

- Análisis de una conmutación típica en conversión de energía:
 - Con carga inductiva
 - Con diodo de enclavamiento
 - Suponiendo diodo ideal



5ª Velocidad de conmutación

- Situación de partida:

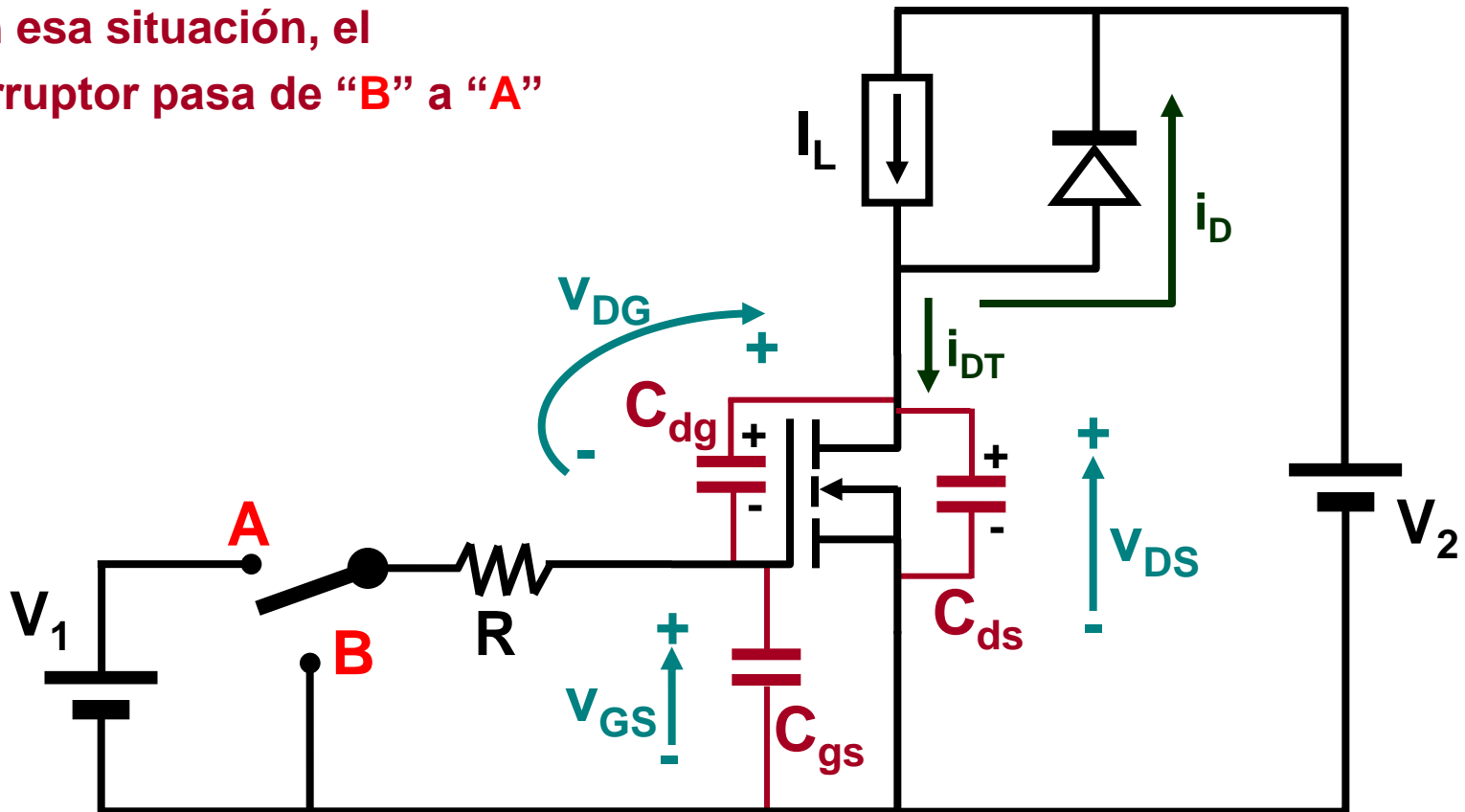
- Transistor sin conducir (en bloqueo) y diodo en conducción

- Por tanto:

- $v_{DG} = V_2$, $v_{DS} = V_2$ y $v_{GS} = 0$

- $i_{DT} = 0$ y $i_D = I_L$

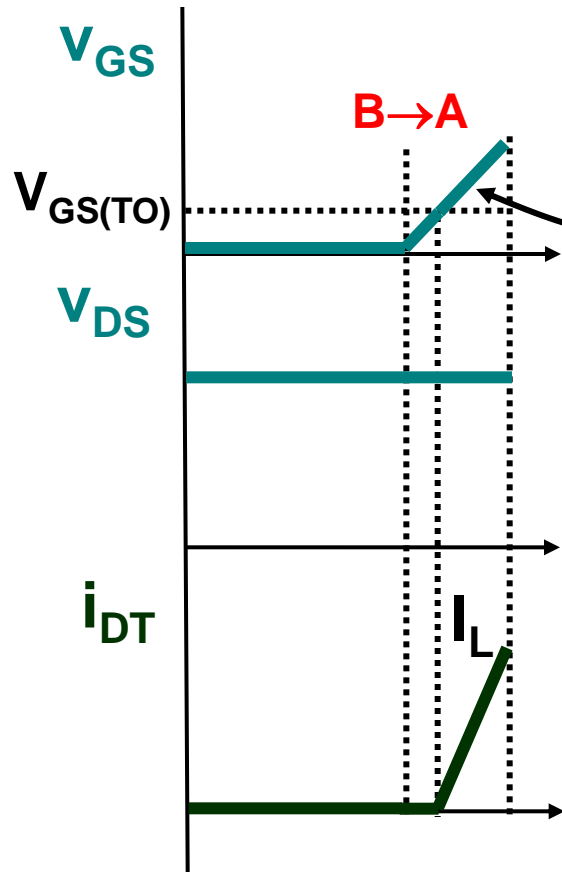
- En esa situación, el interruptor pasa de “B” a “A”



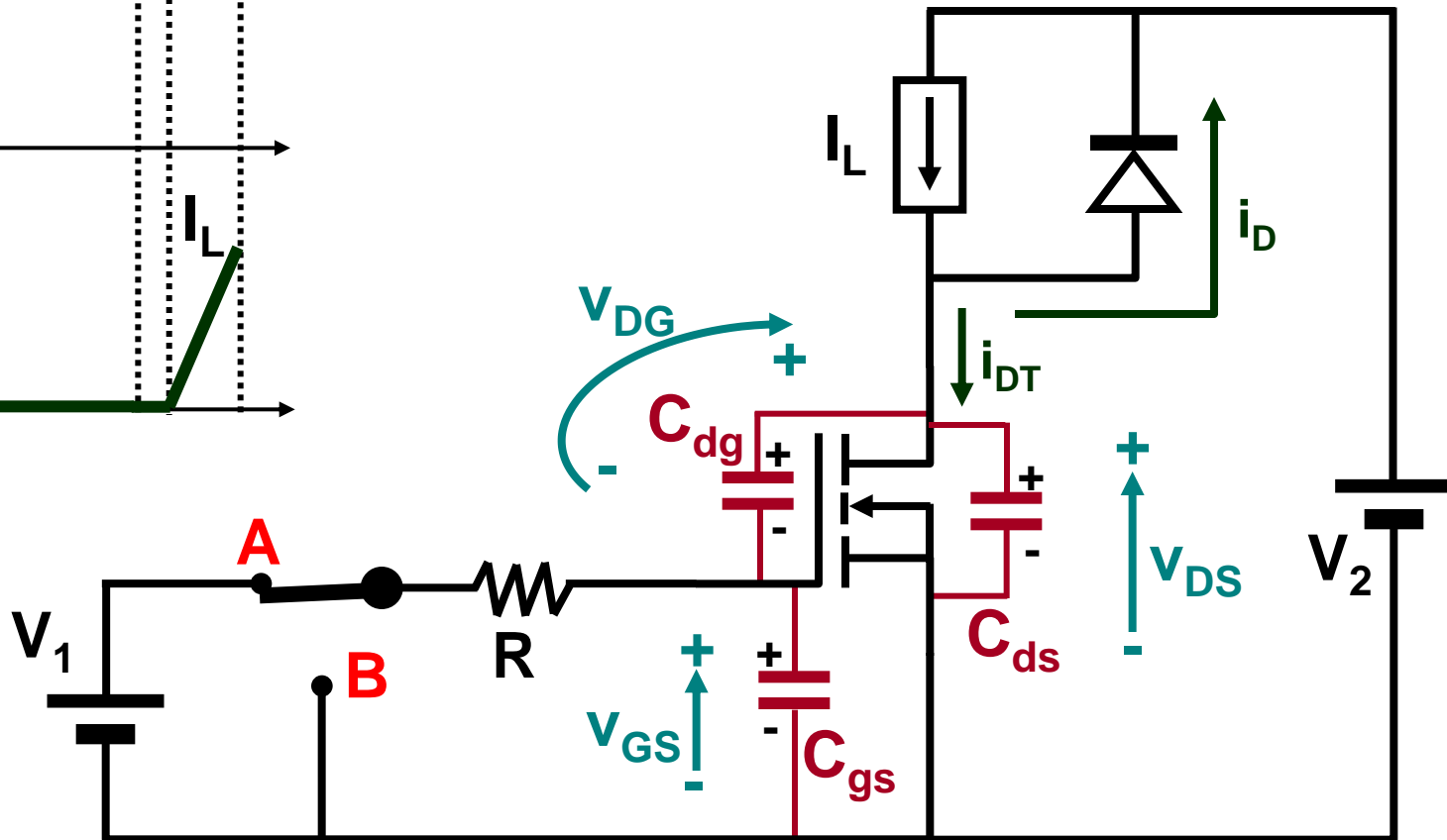
5ª Velocidad de conmutación

• $i_{DT} = 0$ hasta que $v_{GS} = V_{GS(TO)}$

• $v_{DS} = V_2$ hasta que $i_{DT} = I_L$

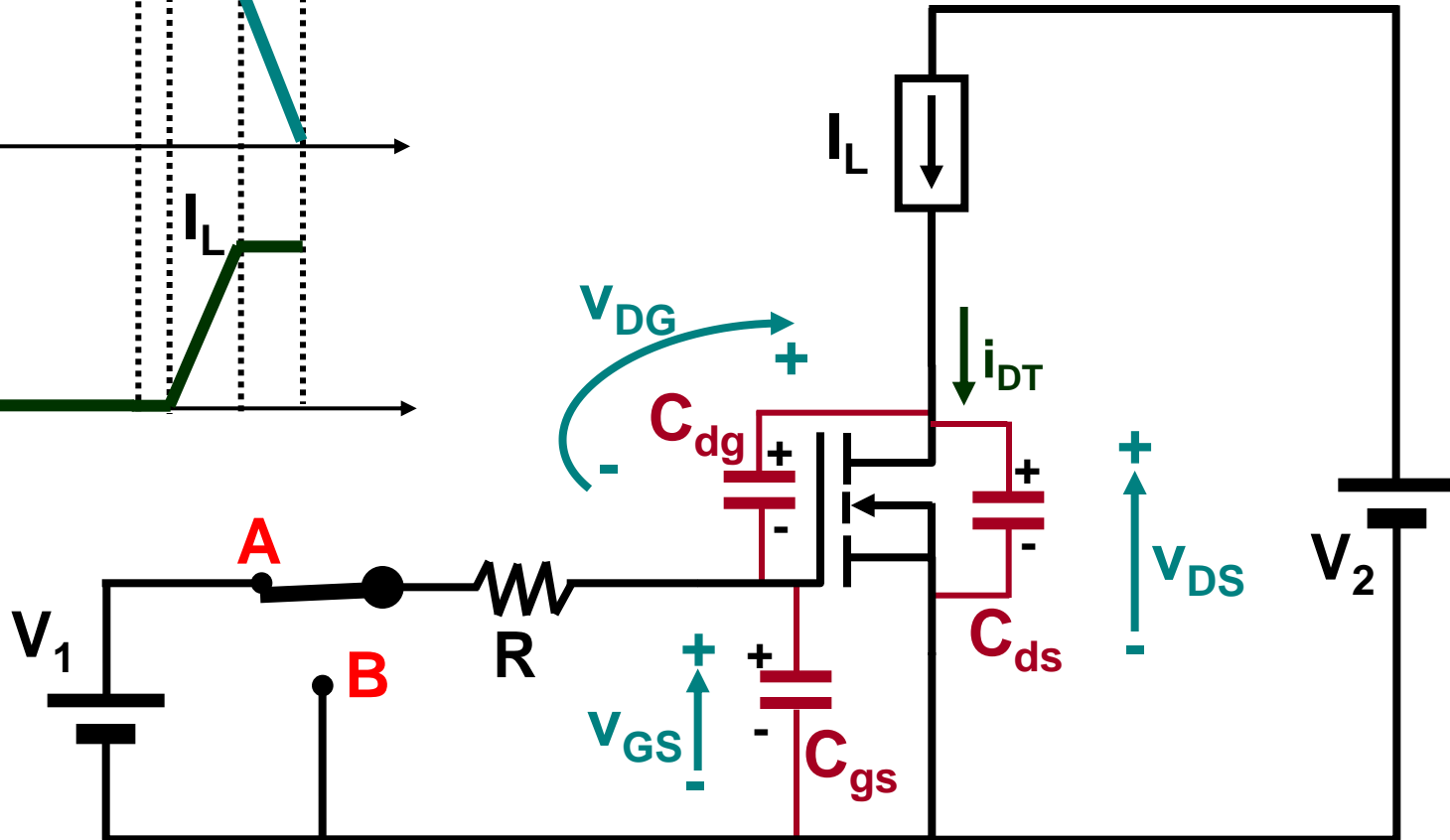
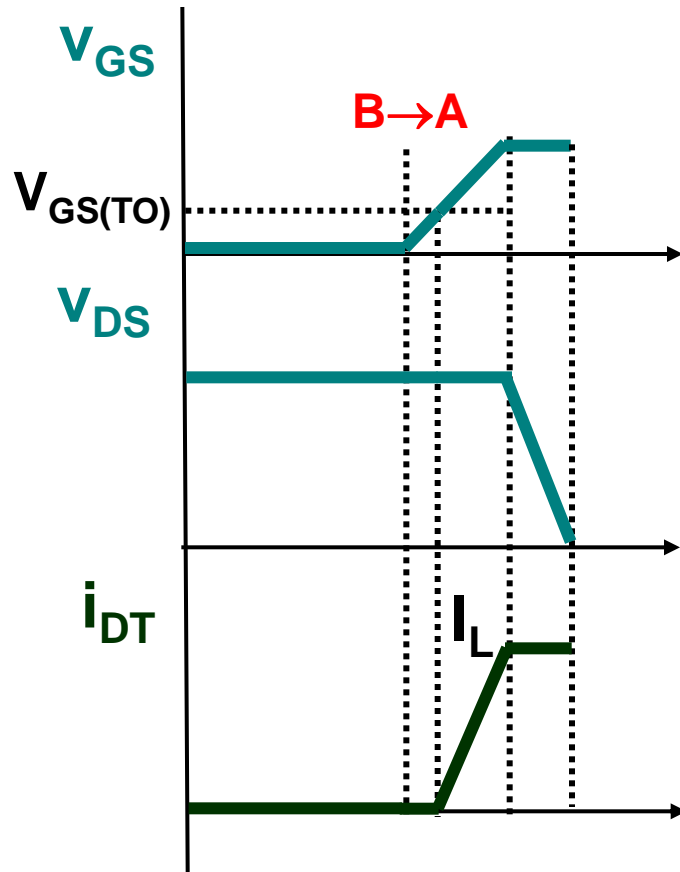


Pendiente determinada por R , C_{gs} y por $C_{dg} (\approx V_2)$



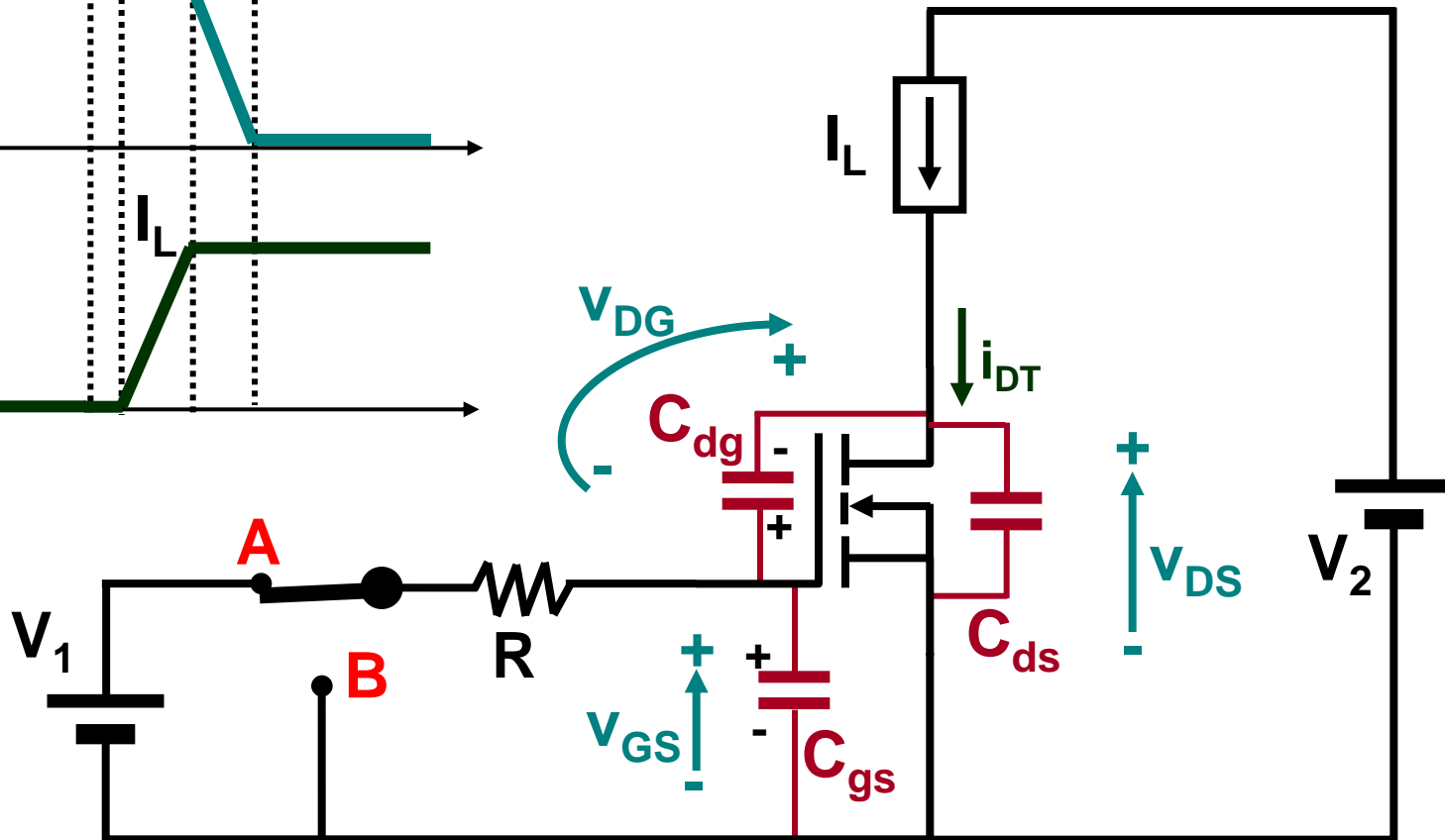
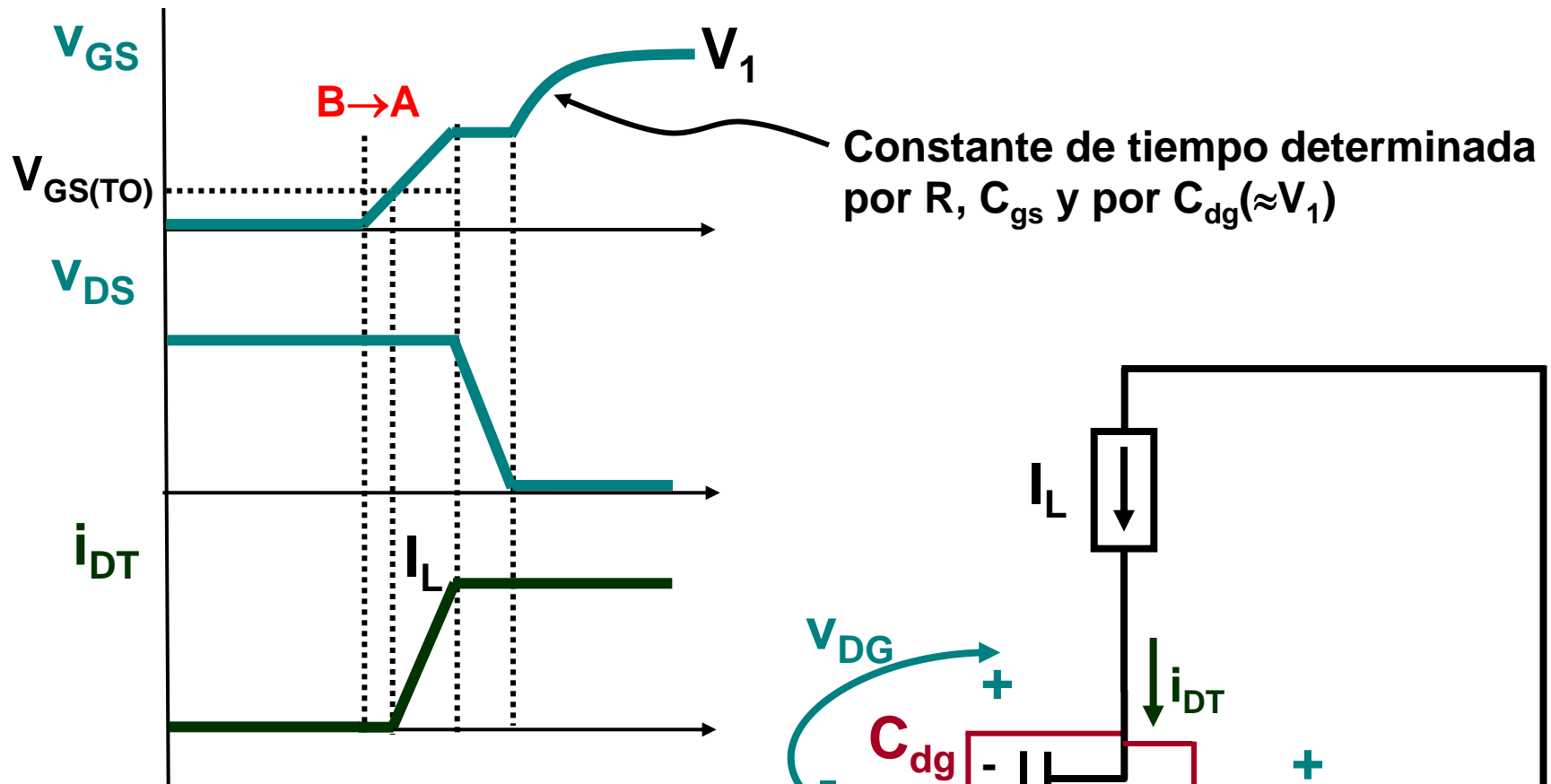
5ª Velocidad de conmutación

- La corriente que da V_1 a través de R se emplea fundamentalmente en descargar $C_{dg} \Rightarrow$ prácticamente no circula corriente por $C_{gs} \Rightarrow v_{GS} = \text{Cte}$

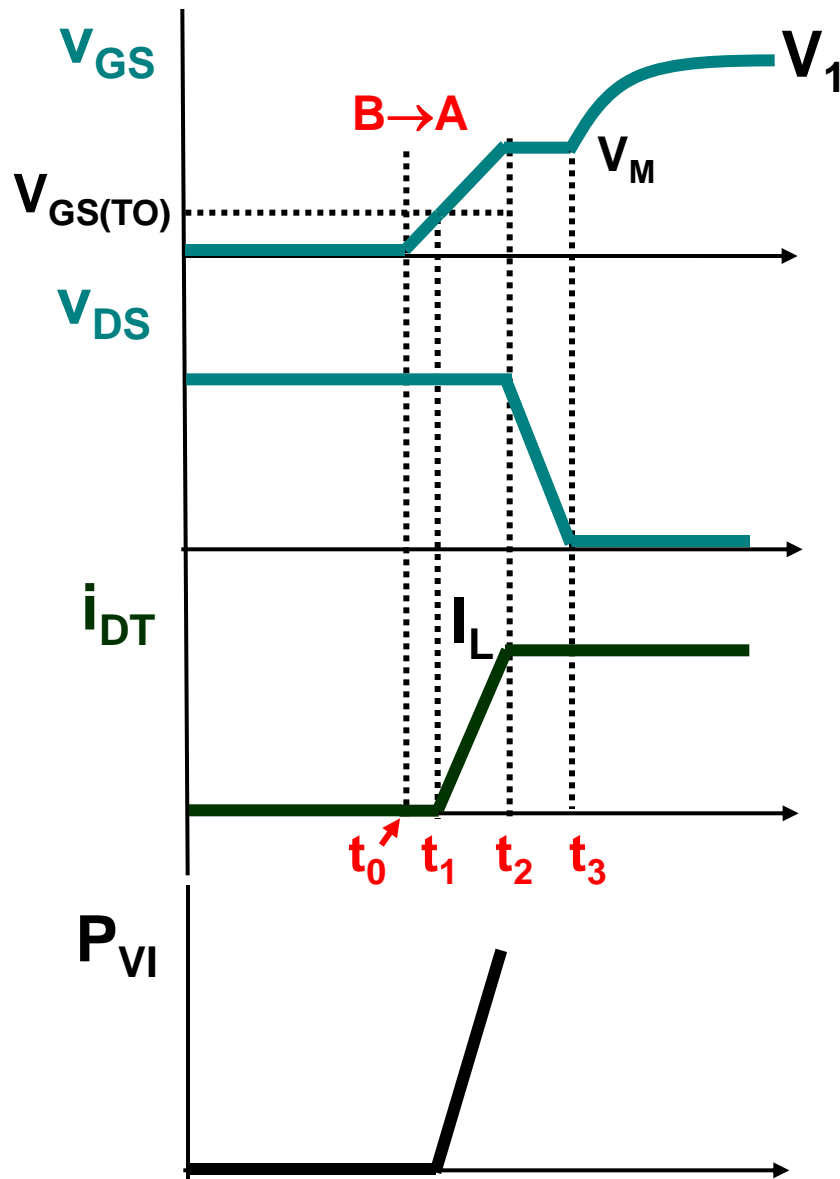


5ª Velocidad de conmutación

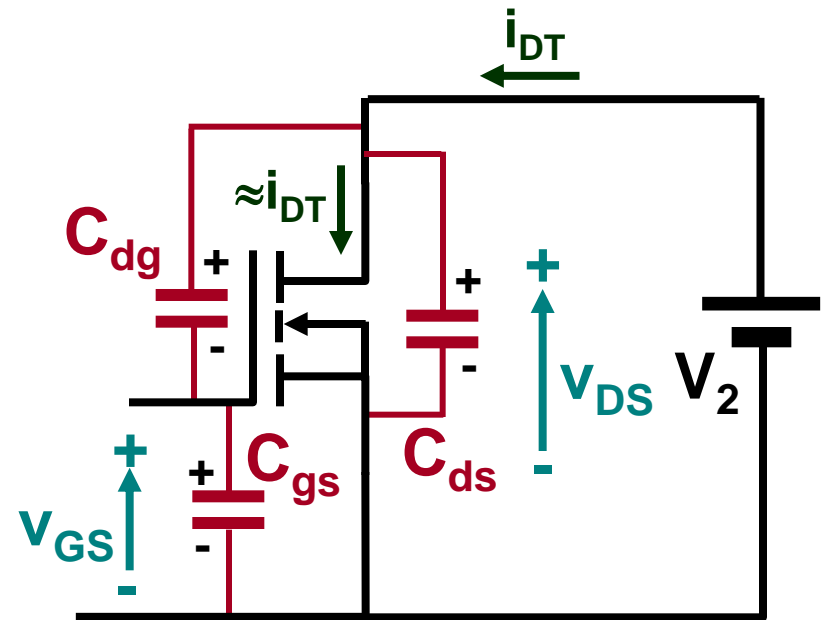
• C_{gs} y C_{dg} se continúan



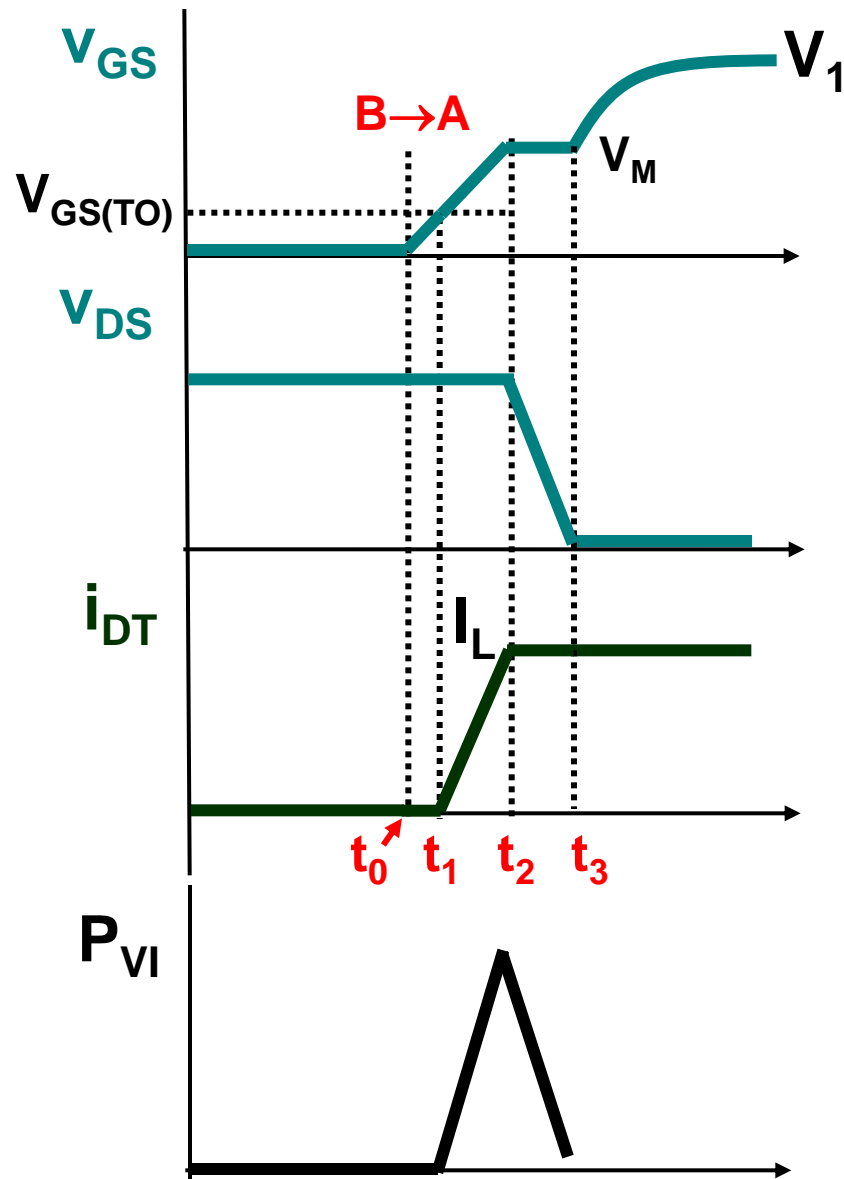
5ª Velocidad de conmutación



- Valoración de pérdidas entre t_0 y t_2 :
 - Hay que cargar C_{gs} (grande) y descargar C_{dg} (pequeña) V_M voltios
 - Hay convivencia tensión corriente entre t_1 y t_2

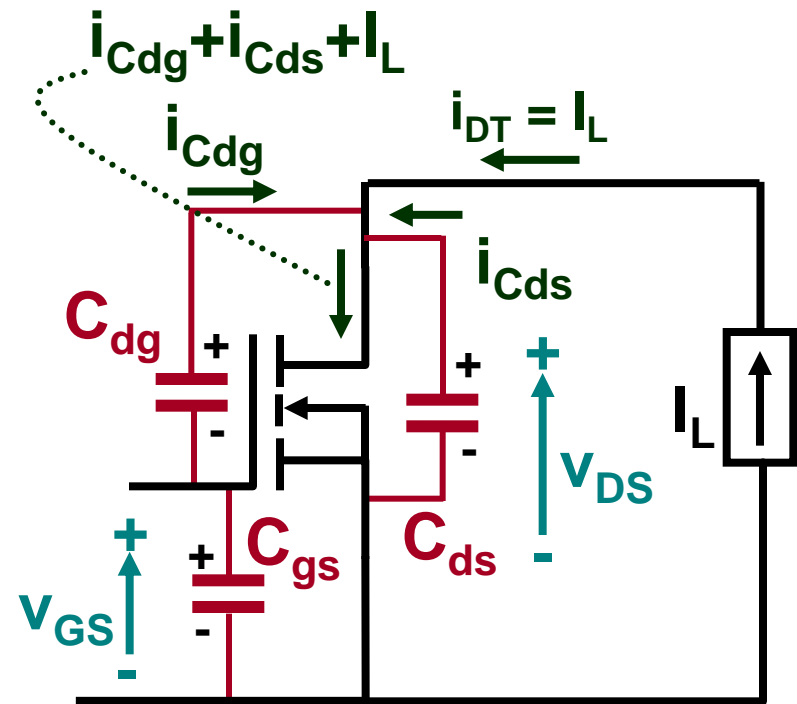


5ª Velocidad de conmutación

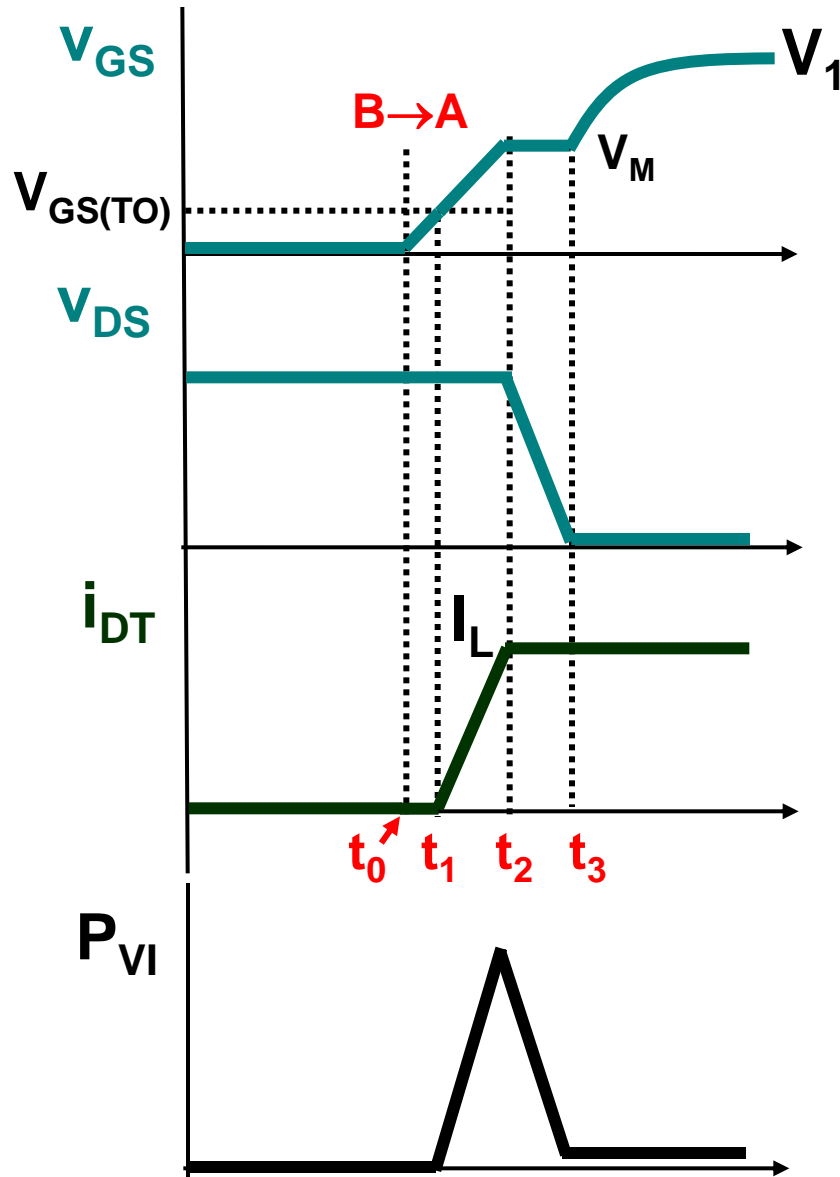


• Valoración de pérdidas entre t_2 y t_3 :

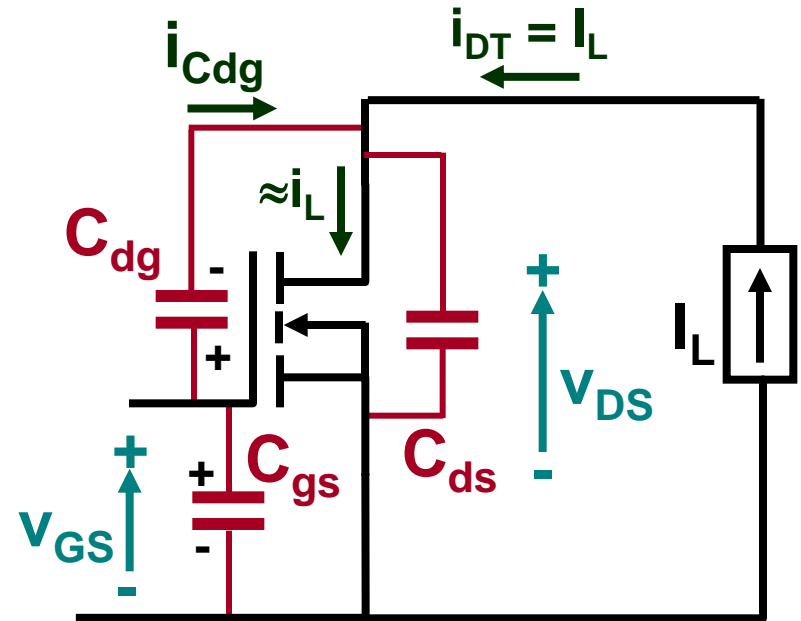
- Hay que descargar C_{ds} hasta 0 e invertir la carga de C_{dg} desde $V_2 - V_M$ hasta $-V_M$
- Hay convivencia tensión corriente entre t_2 y t_3



5ª Velocidad de conmutación



- Valoración de pérdidas a partir de t_3 :
 - Hay que acabar de cargar C_{gs} y C_{dg} hasta V_1
 - No hay convivencia tensión corriente salvo la propia de las pérdidas de conducción



5ª Velocidad de conmutación

• Valoración de la rapidez de un dispositivo por la “carga de puerta”:

- La corriente que da la fuente V_1 es aproximadamente constante entre t_0 y t_3 (comienzo de una exponencial, con $I_{V1} \approx V_1/R$)

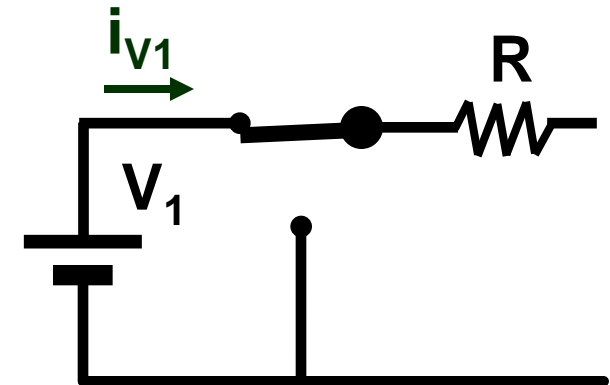
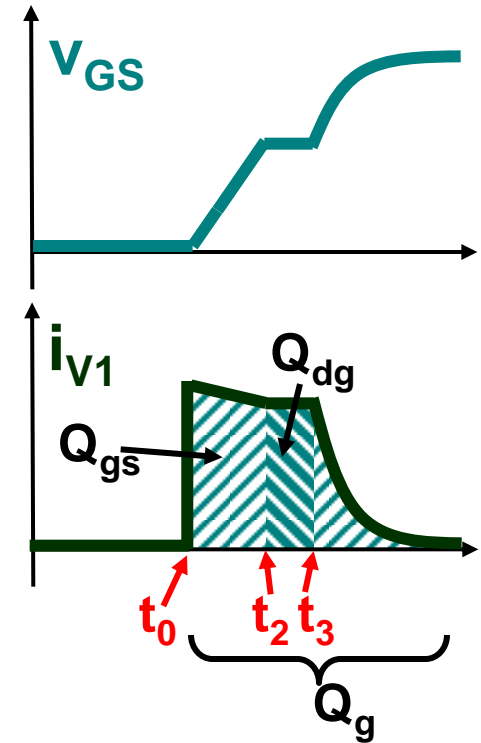
- De t_0 a t_2 , la corriente I_{V1} se ha encargado esencialmente en cargar C_{gs} . Se ha suministrado una carga eléctrica Q_{gs}

- De t_2 a t_3 , la corriente I_{V1} se ha encargado en invertir la carga de C_{dg} . Se ha suministrado una carga eléctrica Q_{dg}

- Hasta que $V_{GS} = V_1$ se sigue suministrando carga. Q_g es el valor total (incluyendo Q_{gs} y Q_{dg})

- Para un determinado sistema de gobierno (V_1 y R), cuanto menores sean Q_{gs} , Q_{dg} y Q_g más rápido será el transistor

- Obviamente $t_2 - t_0 \approx Q_{gs}R/V_1$, $t_3 - t_2 \approx Q_{dg}R/V_1$ y $P_{V1} = V_1 Q_g f_s$, siendo f_s la frecuencia de conmutación



5ª Velocidad de conmutación

- Valoración de la rapidez de un dispositivo por la “carga de puerta”:
Información de los fabricantes

IRF 540

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$Q_{g(tot)}$	Total gate charge	$I_D = 17\text{ A}; V_{DD} = 80\text{ V}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	65	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	-	10	nC
Q_{gd}	Gate-drain (Miller) charge		-	-	29	nC

SIEMENS BUZ80

MOSFET de ≈ 1984

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 400\text{ V} \quad I_D = 3\text{ A} \quad V_{GS} = 10\text{ V}$		42	55	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			6		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			17		nC

infineon SPD04N80C3

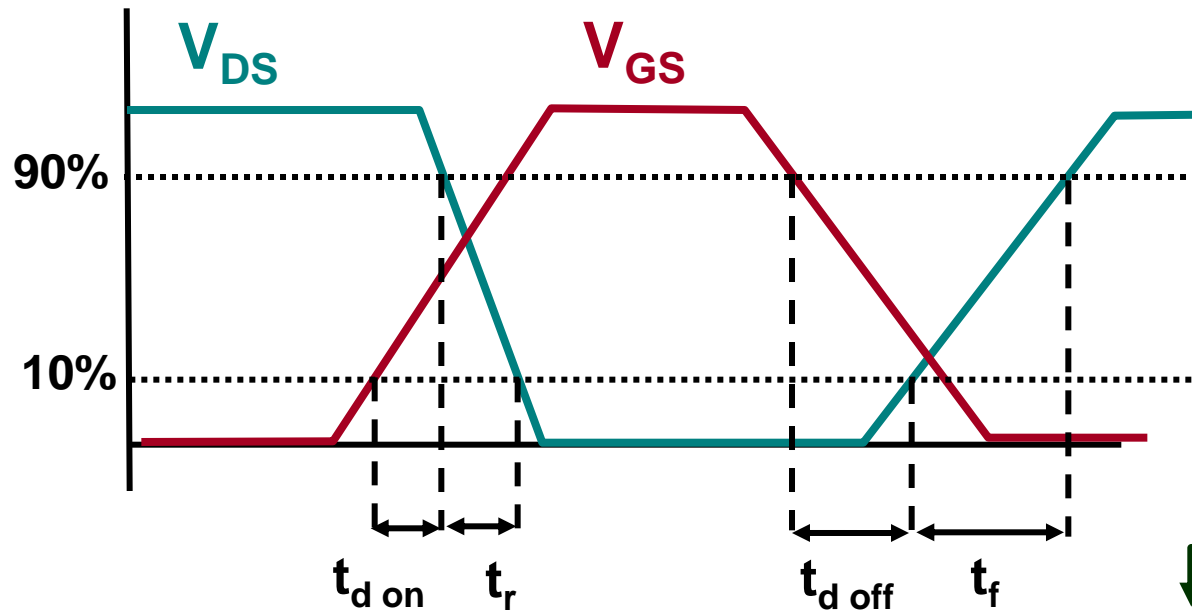
Gate Charge Characteristics

MOSFET de los años 2000

Gate to source charge	Q_{gs}	$V_{DD}=640\text{V}, I_D=4\text{A}$	-	2.4	-	nC
Gate to drain charge	Q_{gd}		-	11	-	
Gate charge total	Q_g	$V_{DD}=640\text{V}, I_D=4\text{A},$ $V_{GS}=0\text{ to }10\text{V}$	-	20	26	
Gate plateau voltage	$V_{(plateau)}$	$V_{DD}=640\text{V}, I_D=4\text{A}$	-	6	-	V

5ª Velocidad de conmutación

- Otro tipo de información suministrada por los fabricantes: conmutación con carga resistiva

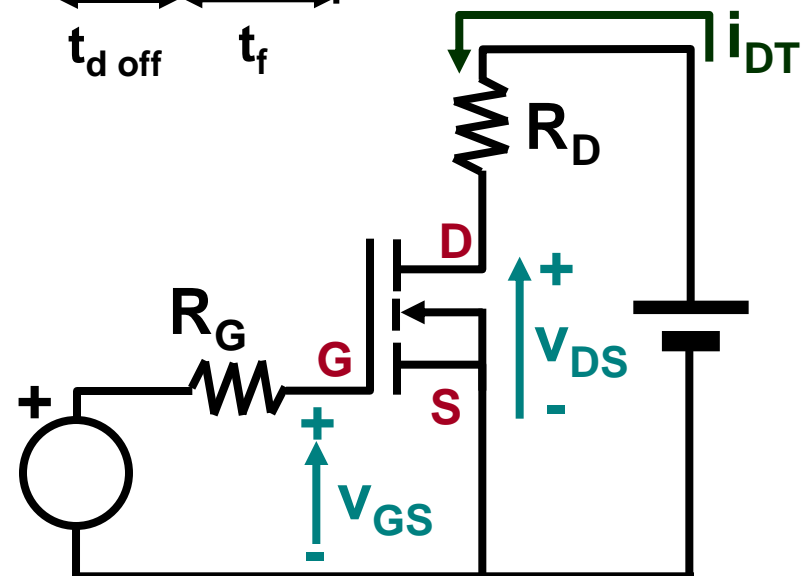


$t_{d\ on}$: retraso de encendido

t_r : tiempo de subida

$t_{d\ off}$: retraso de apagado

t_f : tiempo de bajada



5ª Velocidad de conmutación

- Otro tipo de información suministrada por los fabricantes: conmutación con carga resistiva

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

IRF 540

$T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

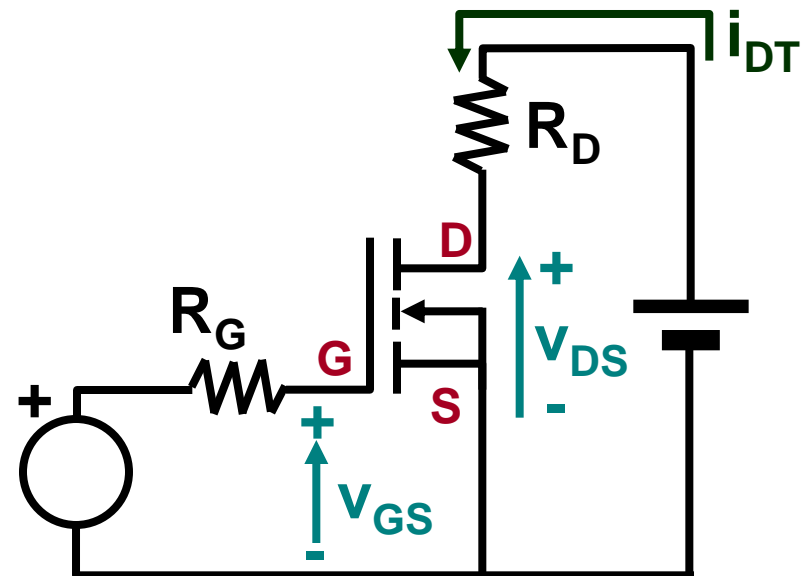
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$t_{d\text{ on}}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 50\text{ V}; R_D = 2.2\ \Omega;$	-	8	-	ns
t_r	Turn-on rise time	$V_{GS} = 10\text{ V}; R_G = 5.6\ \Omega$	-	39	-	ns
$t_{d\text{ off}}$	Turn-off delay time	Resistive load	-	26	-	ns
t_f	Turn-off fall time		-	24	-	ns

$t_{d\text{ on}}$: retraso de encendido

t_r : tiempo de subida

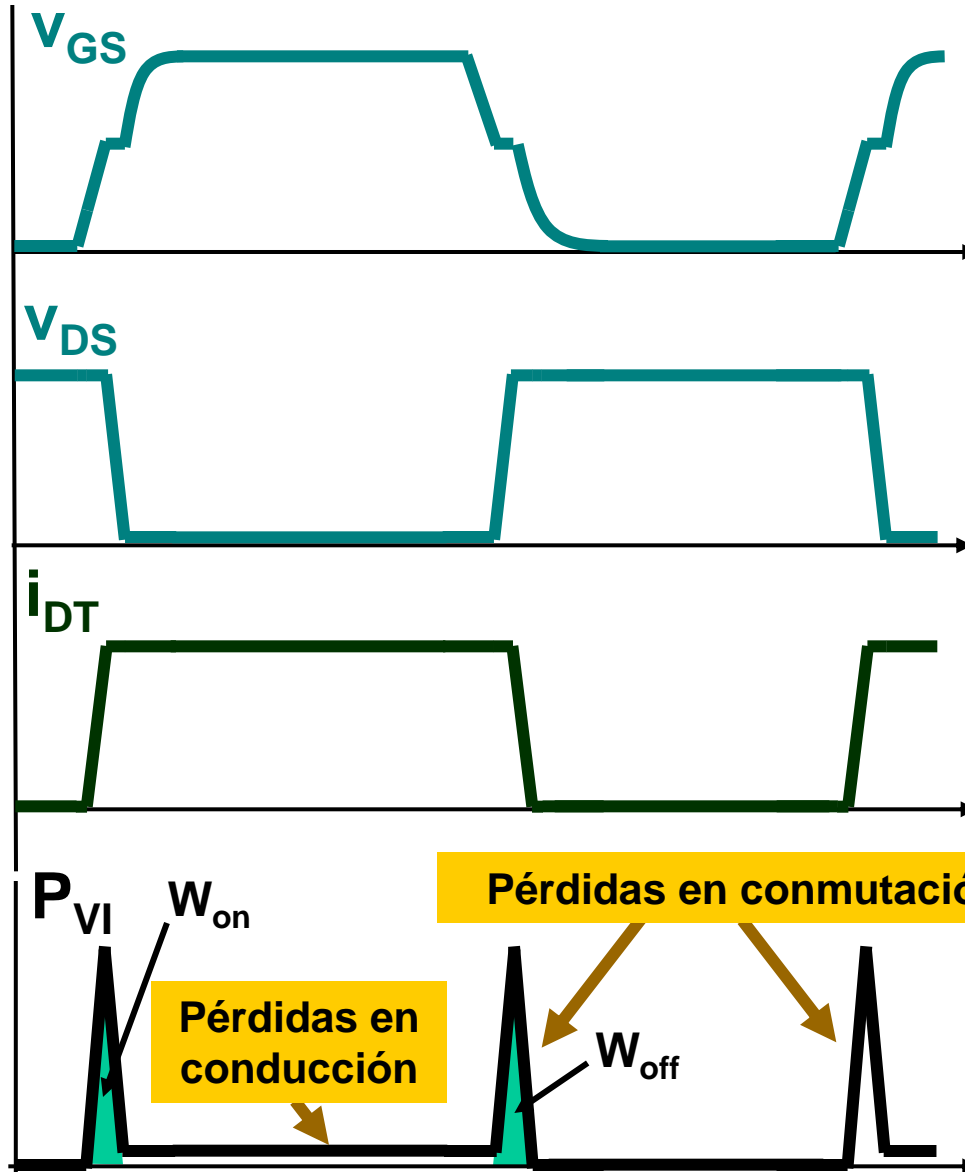
$t_{d\text{ off}}$: retraso de apagado

t_f : tiempo de bajada



Pérdidas en un MOSFET de potencia

- Pérdidas por convivencia tensión corriente entre drenador y fuente

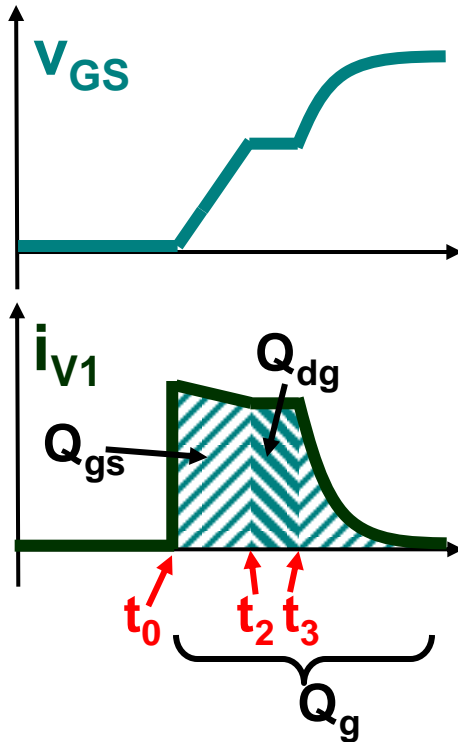


$$P_{cond} = R_{DS(on)} i_{DT(rms)}^2$$

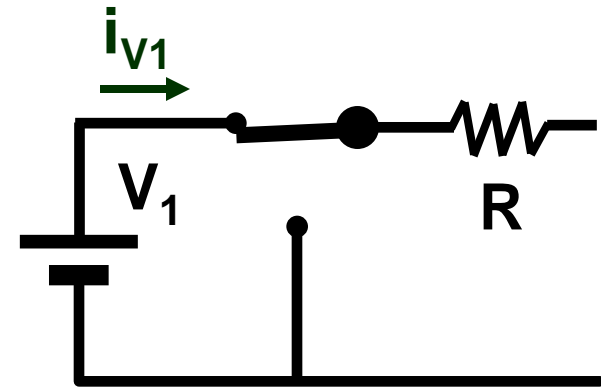
$$P_{conm} = f_S (w_{on} + w_{off})$$

Pérdidas en un MOSFET de potencia

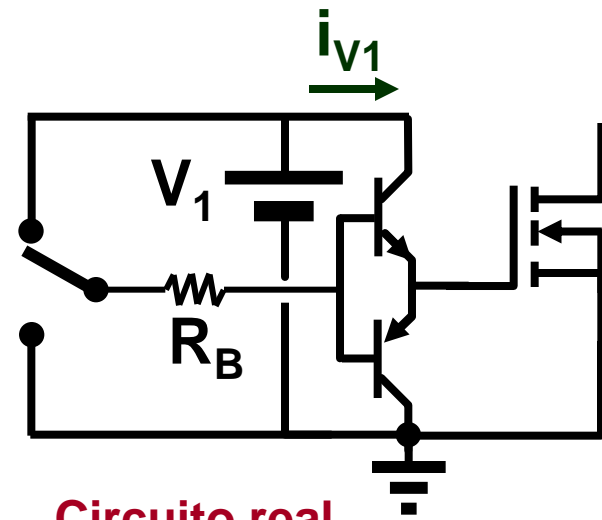
- Pérdidas en la fuente de gobierno



$$P_{V1} = V_1 Q_g f_s$$



Circuito teórico



Circuito real

El diodo parásito de los MOSFETs de potencia

El diodo parásito suele tener malas características, sobre todo en MOSFETs de alta tensión

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS

IRF 540

$T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_S	Continuous source current (body diode)		-	-	23	A
I_{SM}	Pulsed source current (body diode)		-	-	92	A
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_F = 28\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.94	1.5	V
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 17\text{ A}; -di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = 0\text{ V}; V_R = 25\text{ V}$	-	61	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	200	-	nC

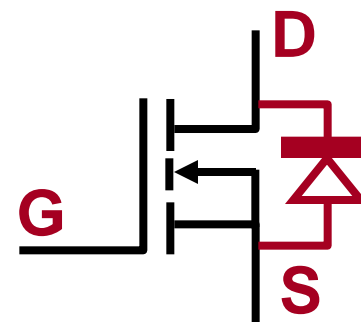
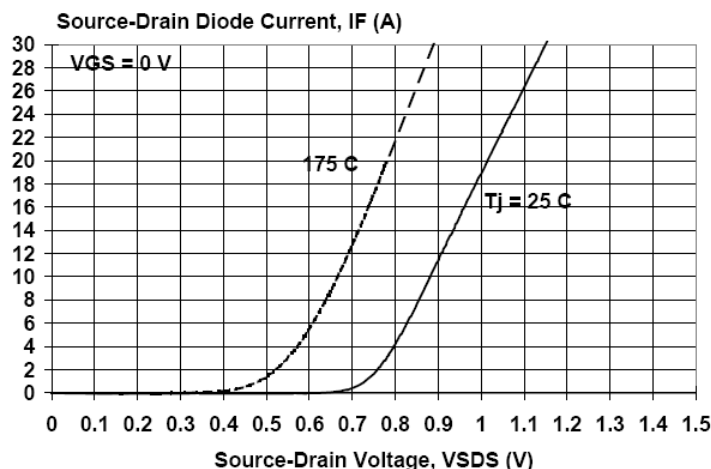


Fig. 13. Typical reverse diode current.
 $I_F = f(V_{SDS})$; conditions: $V_{GS} = 0\text{ V}$; parameter T_j

El diodo parásito en un MOSFET de alta tensión

SPD04N80C3



V_{DS}	800	V
$R_{DS(on)}$	1.3	Ω
I_D	4	A

Electrical Characteristics, at $T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			min.	typ.	max.	
Inverse diode continuous forward current	I_S	$T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	4	A
Inverse diode direct current, pulsed	I_{SM}		-	-	12	
Inverse diode forward voltage	V_{SD}	$V_{GS} = 0\text{V}, I_F = I_S$	-	1	1.2	V
Reverse recovery time	t_{rr}	$V_R = 640\text{V}, I_F = I_S, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	520	-	ns
Reverse recovery charge	Q_{rr}		-	4	-	μC
Peak reverse recovery current	I_{rrm}		-	12	-	A
Peak rate of fall of reverse recovery current	di_{rr}/dt		-	300	-	A/ μs

Características térmicas de los MOSFETs de potencia

- Es válido todo lo comentado para los diodos de potencia

Philips Semiconductors

Product specification

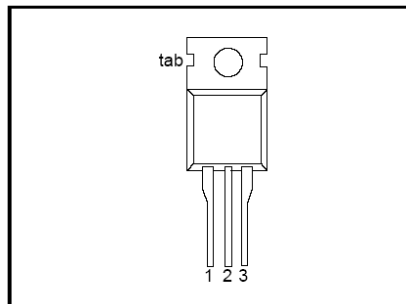
N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

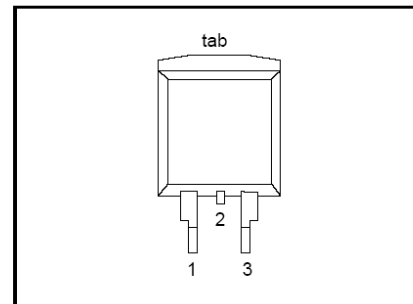
PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain ¹
3	source
tab	drain

SOT78 (TO220AB)



SOT404 (D²PAK)



THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base		-	-	1.5	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	SOT78 package, in free air	-	60	-	K/W
		SOT404 package, pcb mounted, minimum footprint	-	50	-	K/W

- Este fabricante denomina “*mounting base*” a la cápsula y suministra información de la $R_{THja} = R_{THjc} + R_{THca}$