

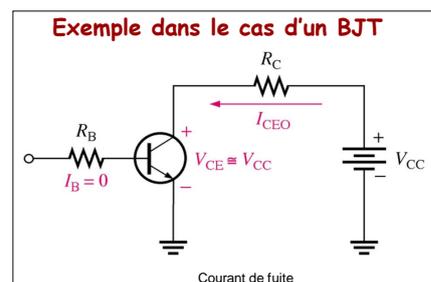
Caractéristiques d'un transistor en « commutation »

Caractéristiques « statiques » (aux états ON et OFF)

A l'état OFF ... *Courant de fuite*

I_{fuite} est dû aux porteurs de charges minoritaires

→ I_{fuite} augmente avec l'agitation thermique, ...



A l'état OFF ... *Courant de fuite*



BC546..8 Collector cut-off current $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $I_{CEO} < 15\text{ nA}$
 $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$ $I_{CEO} < 5\text{ }\mu\text{A}$

I_{utile} de qq1 mA $\gg I_{fuite} \approx 10\text{ nA}$ 1/1000000
 soit 0,0001 % !



BD135..139 Collector cut-off current $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $I_{CEO} < 100\text{ nA}$

I_{utile} de qq1 100mA $\gg I_{fuite} \approx 100\text{ nA}$ 1/1000000
 soit 0,0001 % !



BD439 Collector cut-off current $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $I_{CEO} < 100\text{ }\mu\text{A}$

I_{utile} de qq1 A $\gg I_{fuite} \approx 100\text{ }\mu\text{A}$ 1/10000
 soit 0,01 % !

A l'état OFF ... *Courant de fuite*

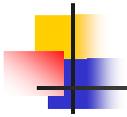
Transistor pas exagérément surdimensionné

En pratique, **si choix correct du transistor ...**

$$I_{fuite} \text{ négligeable } I_{TR_{fuite}(OFF)} \ll I_{TR_{ON}}$$

A l'état OFF \rightarrow **Transistor** \approx **interrupteur ouvert**
 « parfait »

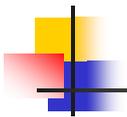
Si transistor pas exagérément surdimensionné



A l'état ON ...

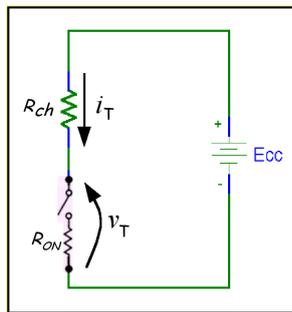
A l'état ON → Transistor $\approx R_{ON}$

R_{ON} diminue si sursaturation



Pertes dans un transistor en commutation

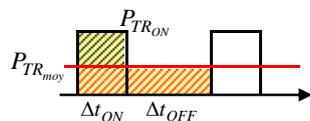
Pertes de conduction



$$P_{TR} = v_{TR} \cdot i_{TR}$$

- à l'état ON: $P_{TR_{ON}} = R_{ON} \cdot I_{TR_{ON}}^2 \ll P_{charge}$
- à l'état OFF: $P_{TR_{OFF}} = \underbrace{V_{TR_{OFF}}}_{= E_{CC}} \cdot \underbrace{I_{TR_{OFF}}}_{= I_{fuite} \ll I_{TR_{ON}}} \approx 0$

$$v_{TR} = E_{CC} - R_{ch} \cdot i_{TR}$$



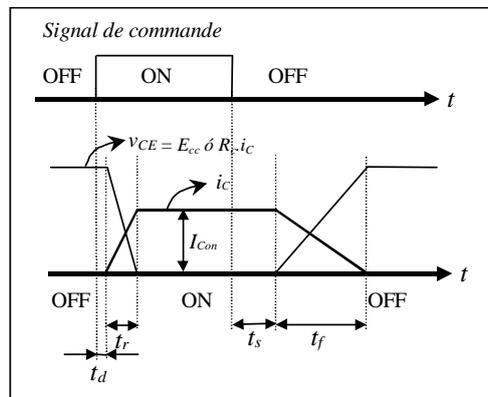
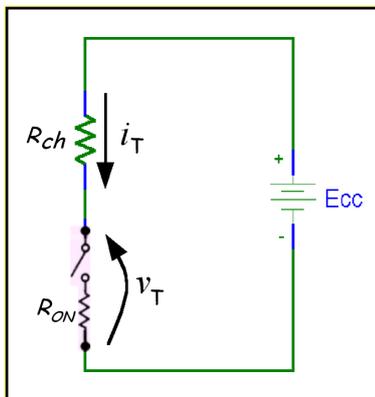
$$\Rightarrow P_{conduction} \approx R_{ON} \cdot I_{TR_{ON}}^2 \cdot \overbrace{\frac{Durée_{ON}}{T}}^{\text{Rapport cyclique } \delta}$$

Caractéristiques d'un transistor en « commutation »

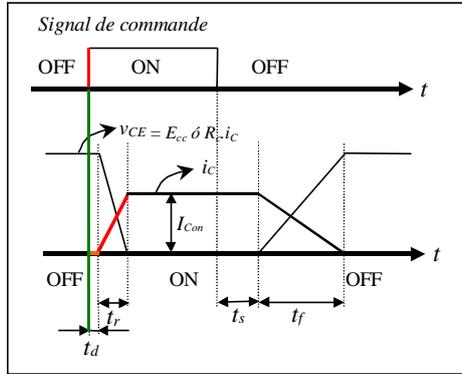
Caractéristiques « dynamiques »
(lors des commutations)

Caractéristiques dynamiques

Réponse d'un transistor en commutation



Durées d'établissement et suppression du canal



OFF vers ON $t_{ON} = t_{don} + t_r$

= Temps d'établissement du canal conducteur

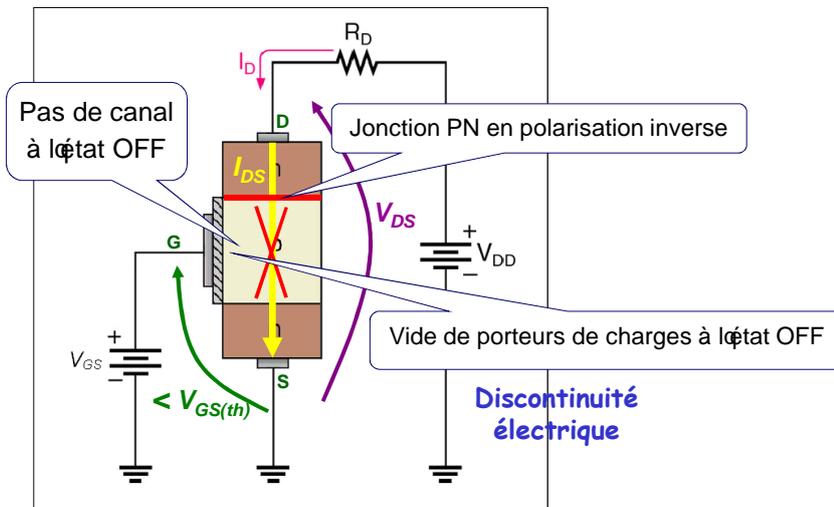
(BJT : μs) (FET : ns)

→ "Temps de retard" $t_{d(ON)}$

→ "Temps de montée" t_r

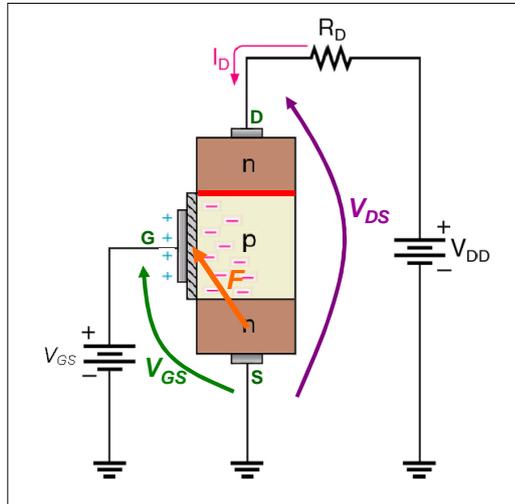
Origine physique de t_{ON} : cas d'un MOSFET

Cas d'un E-MOSFET à canal N



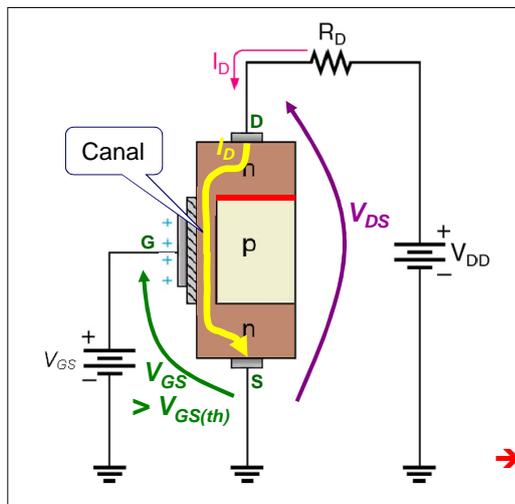
Origine physique de t_{ON} : cas d'un MOSFET

Cas d'un E-MOSFET à canal N



Origine physique de t_{ON} : cas d'un MOSFET

Cas d'un E-MOSFET à canal N



si $V_{GS} > V_{GS(th)}$

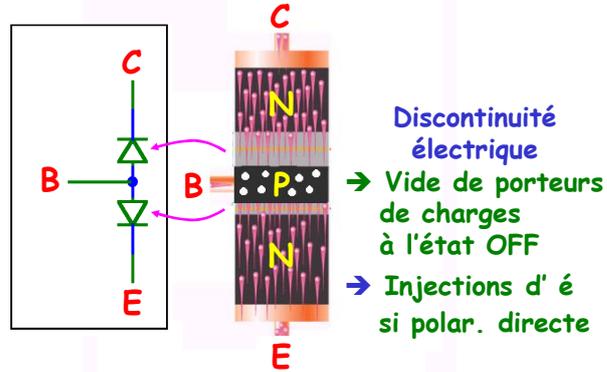
Une partie de
zone P est
« transformée »
en zone N

→ Δt dû au déplacement des charges pour « inversion »

Origine physique de t_{ON} : cas d'un BJT

→ 3 couches de Si dopés

(cas du BJT NPN)



→ Δt dû au déplacement des charges pour polarisation directe

→ Δt dû au transit dans la base avant d'atteindre le collecteur

Durée d'établissement du canal

t_{ON} : Temps d'établissement du canal conducteur

→ $t_{d(ON)}$ (delay time) : A l'état OFF ... Polarisation au « blocage » et « discontinuité des porteurs de charges » ...
 ⇒ t_d = Durée nécessaire à l'agencement des charges nécessaires à l'établissement d'un premier passage conducteur

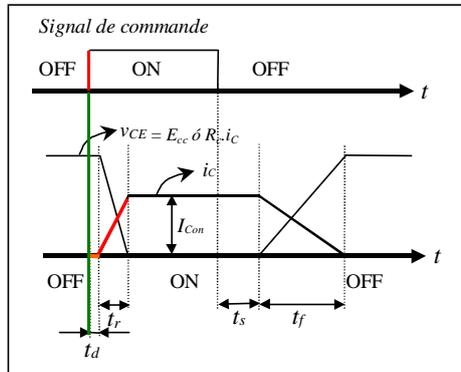
⇒ $I_{TR} = 0$ pendant t_{dON}

→ t_r (rise time) : Durée nécessaire à la généralisation de l'agencement des charges nécessaires à l'établissement de la totalité du canal conducteur

⇒ $I_{TR} \uparrow$ pendant t_r

⇒ $t_{ON} \downarrow$ si sursaturation \uparrow Champ électrique plus intense

Durée d'établissement du canal



OFF vers ON $t_{ON} = t_{don} + t_r$

= Temps d'établissement du canal conducteur

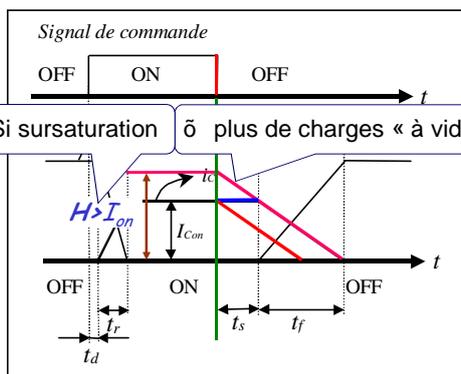
(BJT : μs) (FET : ns)

→ "Temps de retard" $t_{d(ON)}$

→ "Temps de montée" t_r

⇒ **fronts plus nets si sursaturation** (BJT: $I_{B(ON)} \uparrow$ FET: $V_{GS(ON)} \uparrow$)

Durée de suppression du canal



ON vers OFF $t_{OFF} = t_{doff} + t_f$

Temps de suppression du canal conducteur

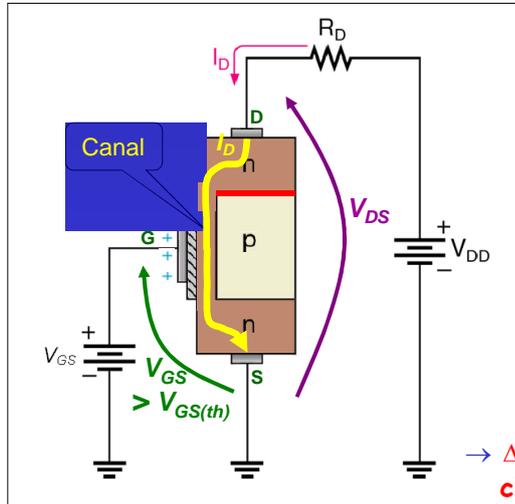
(BJT : μs) (FET : ns)

→ "Temps de retard" $t_{d(OFF)}$

→ "Temps de descente" t_f

Origine physique de t_{OFF} : cas d'un MOSFET

Cas d'un E-MOSFET à canal N



si $V_{GS} > V_{GS(th)}$

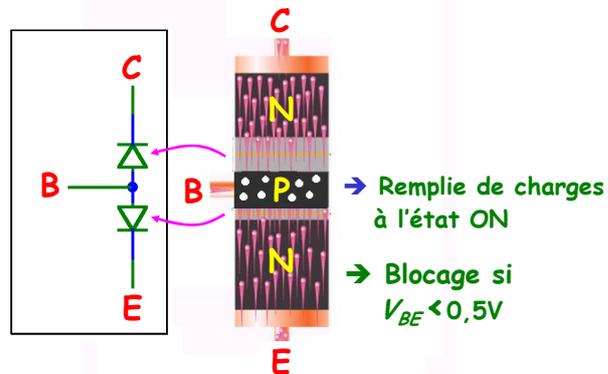
Une partie de zone P est « transformée » en zone N

→ Δt dû au déplacement des charges pour « désinversion »

Origine physique de t_{OFF} : cas d'un BJT

→ 3 couches de Si dopés

(cas du BJT NPN)



→ Δt dû au déplacement des charges pour polarisation « blocage »

Durées d'établissement et suppression du canal

t_{OFF} : Temps de suppression du canal conducteur

→ $t_{d(OFF)}$ (delay time) : si sursaturation ... surabondance de porteurs de charges (charges « excédentaires ») ...

⇒ t_d = Durée nécessaire au « vidage » de la partie « excédentaire » ($H > I_{ON}$) du canal conducteur

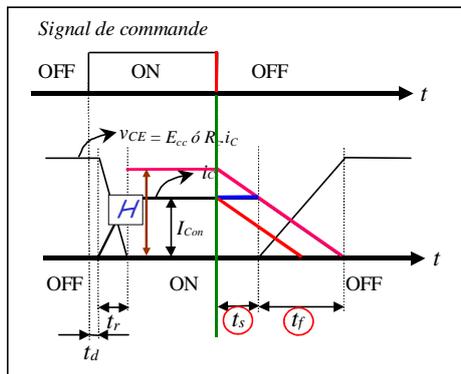
⇒ $I_{TR} \approx I_{ON}$ pendant $t_{d(OFF)}$

→ t_f (fall time) : Durée nécessaire au « vidage » de la partie non excédentaire ($H \leq I_{ON}$) du canal conducteur

⇒ $I_{TR} \downarrow$ pendant t_f

⇒ $t_{OFF} \downarrow$ si $V_{cmd} < 0$ Champ électrique (inverse) plus intense

Durées d'établissement et suppression du canal



ON vers OFF $t_{OFF} = t_{doff} + t_f$

= Temps de suppression du canal conducteur

(BJT : μs) (FET : ns)

→ "Temps de retard" $t_{d(OFF)}$

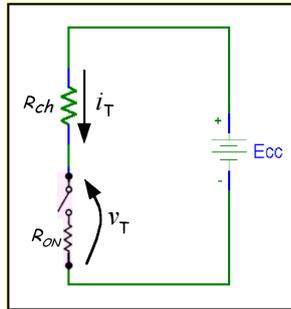
→ "Temps de descente" t_f

⇒ fronts plus nets si $I_{B(OFF)} \uparrow$ (BJT) ... intérêt d'un $V_{cmd} < 0$
 $V_{GS(OFF)} \uparrow$ (FET) ... intérêt d'un $V_{cmd} < 0$



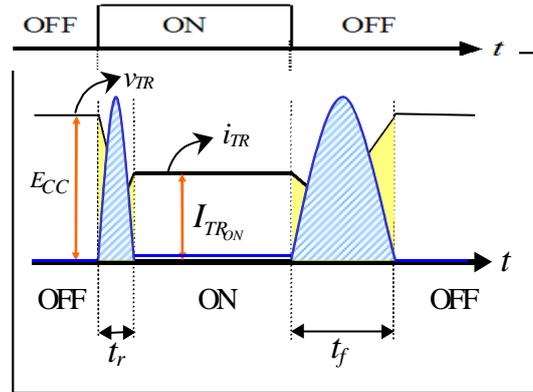
Pertes dans un transistor en commutation

Pertes de commutation *Signal de commande*

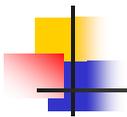


$$v_{TR} = E_{CC} - R_{ch} \cdot i_{TR}$$

$$P_{TR} = v_{TR} \cdot i_{TR}$$

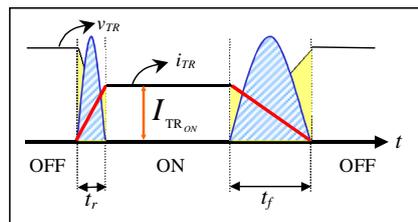


$$W_{\Delta t} = \int_0^{\Delta t} P_{TR} \cdot dt$$



Pertes dans un transistor en commutation

Pertes de commutation



→ Pertes pendant t_r : $W_{t_r} = \frac{E_{CC} \cdot I_{TR_{ON}} \cdot t_r}{6}$

→ Pertes pendant t_f : $W_{t_f} = \frac{E_{CC} \cdot I_{TR_{ON}} \cdot t_f}{6}$

Pertes dans un transistor en commutation

Pertes de commutation

... Si le signal de commande est périodique de fréquence f

→ Energie de commutation totale dégagée pendant une période :

$$W_T = \underbrace{\frac{E_{CC} \cdot I_{TRON} \cdot (t_r + t_f)}{6}}_{W_{commutationT}}$$

→ Pertes de commutation dans le transistor :

$$P_{TR_{moy}} = \frac{W_T}{T} = f \cdot \underbrace{\frac{E_{CC} \cdot I_{TRON} \cdot (t_r + t_f)}{6}}_{(P_{TR_{commutation}})_{moy}}$$

✓ si f ✓ ⇒ P_{TR} peut devenir très élevée !!!

Pertes dans un transistor en commutation

Pertes dans un transistor en commutation

→ En « basses » fréquences : t_r et $t_f \ll T$

$$P_{TR_{moy}} \approx \underbrace{V_{TRON} \cdot I_{TRON} \cdot \frac{\overbrace{\text{Rapport cyclique } \delta}^{\text{Durée ON}}}{T}}_{(P_{TRON})_{moy}} + \cancel{f \cdot \underbrace{\frac{E_{CC} \cdot I_{TRON} \cdot (t_r + t_f)}{6}}_{(P_{TR_{commutation}})_{moy}}}$$

⇒ P_{TR} est souvent faible en « basses » fréquences

Pertes dans un transistor en commutation

Pertes dans un transistor en commutation

→ En « hautes » fréquences :

$$P_{TR_{\text{moy}}} \approx \underbrace{V_{TR_{ON}} \cdot I_{TR_{ON}} \cdot \frac{\overbrace{\text{Durée}_{ON}}^{\text{Rapport cyclique } \delta}}{T}}_{(P_{TR_{ON}})_{\text{moy}}} + \underbrace{f \cdot \frac{E_{CC} \cdot I_{TR_{ON}} \cdot (t_r + t_f)}{6}}_{(P_{TR_{\text{commutation}}})_{\text{moy}}}$$

✓ si f ✓

⇒ P_{TR} peut devenir très élevée !!!

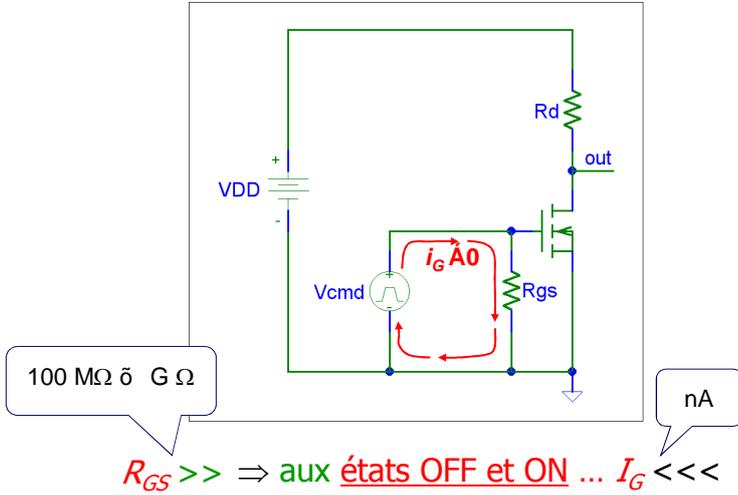
Cas particulier des FETs

Effet de C_{GS} ...

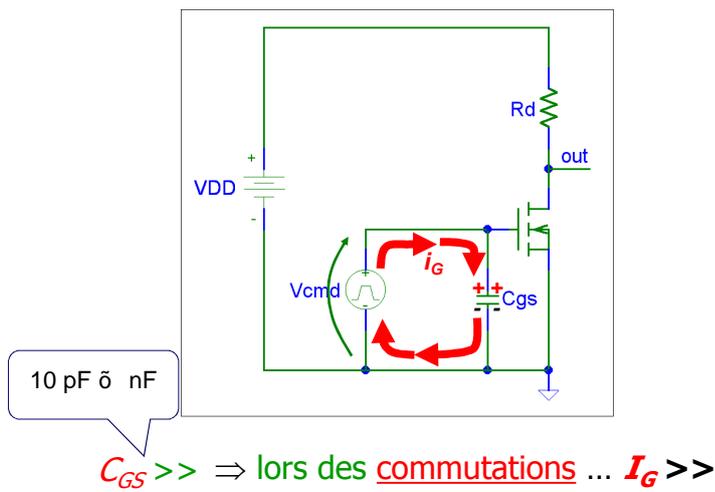
Exemple : cas d'un MOSFET IRF530

| | | | | | | |
|------------------------------|-----------|---|---|-----|---|----|
| Input Capacitance | C_{ISS} | $V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V, f = 1MHz$ (Figure 11) | - | 600 | - | pF |
| Output Capacitance | C_{OSS} | | - | 250 | - | pF |
| Reverse Transfer Capacitance | C_{RSS} | | - | 50 | - | pF |

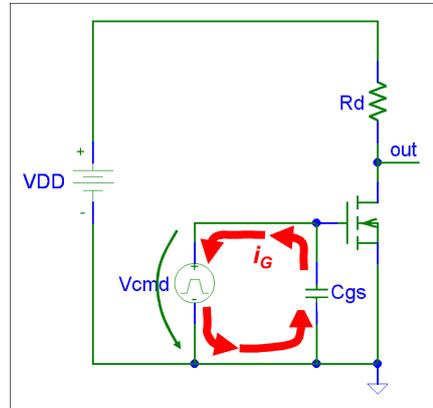
MOSFET : Effet de C_{GS}



MOSFET : Effet de C_{GS}

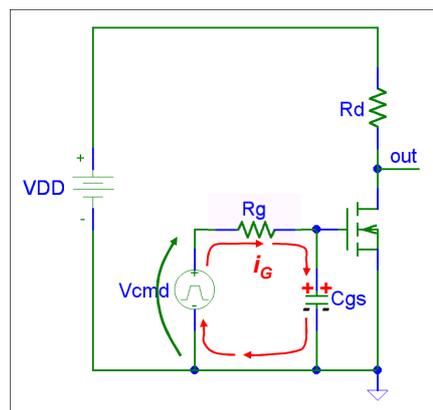


MOSFET : Effet de C_{GS}



$C_{GS} \gg \Rightarrow$ lors des commutations ... $I_G \gg$

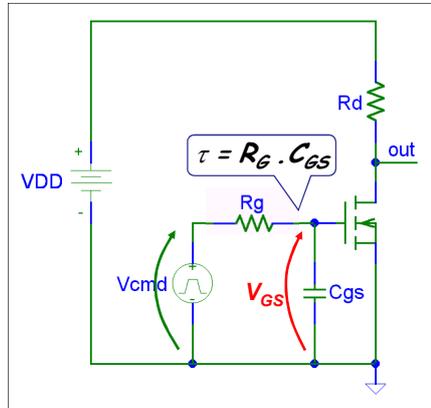
MOSFET : Effet de C_{GS}



Lors des commutations ... $I_G \gg \Rightarrow R_G \dots$

A fournir par la source !

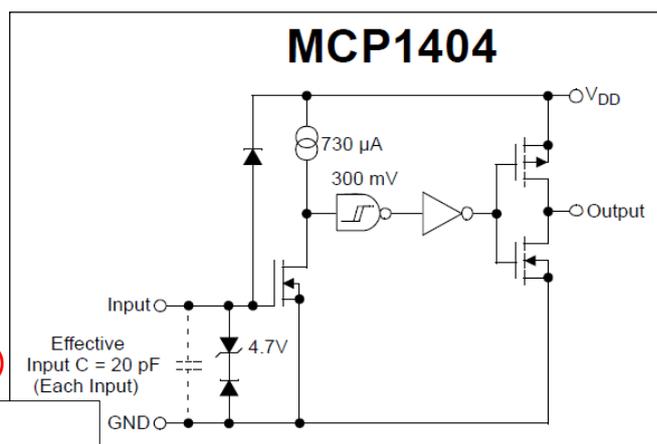
MOSFET : Effet de C_{GS}



Lors des commutations ... $I_G \gg \Rightarrow R_G \dots$
 \Rightarrow **retard à la commutation** ...

MOSFET : Effet de C_{GS}

**Exemple de
 « Driver de
 MOSFET »
 (circuit
 d'accélération
 des
 commutations)**



MCP1404

| | | | | |
|------|---|---|---|-----------------|
| NC | 1 | • | 8 | NC |
| IN A | 2 | | 7 | OUT A |
| GND | 3 | | 6 | V _{DD} |
| IN B | 4 | | 5 | OUT B |

- High Capacitive Load Drive Capability:
 - 2200 pF in 15 ns
 - 5600 pF in 34 ns
- Short Delay Times: 40 ns (typ.)