

# CARACTERISQUE D'UN MOS, MODELE, UTILISATION EN COMMUTATION

## 1. Généralités et conditions expérimentales

### Objectifs d'apprentissage :

- Identifier, interpréter et réutiliser des informations d'une documentation constructeur
- Être capable d'appliquer des instructions simples pour réaliser un montage
- Identifier les conditions de conduction d'un transistor MOSFET
- Connaitre les bonnes pratiques de branchement pour utiliser un MOSFET

### Méthode à maîtriser :

- Savoir tracer la caractéristique de transfert d'un MOSFET
- Savoir tracer la caractéristique de sortie d'un MOSFET
- Réaliser un montage à partir d'un schéma

### Liste du matériel utilisé :

- Platine de test Jeulin (voir Figure 1)
- Composants en boîtier : transistor 2N7000, résistances (voir Figure 1)
- Alimentation symétrique HAMEG 8040
- Multimètres METRIX MX 5060
- Générateur basse fréquence HAMEG 8030
- Boîte à décade de résistances 10 k $\Omega$  (résistance variable de puissance)

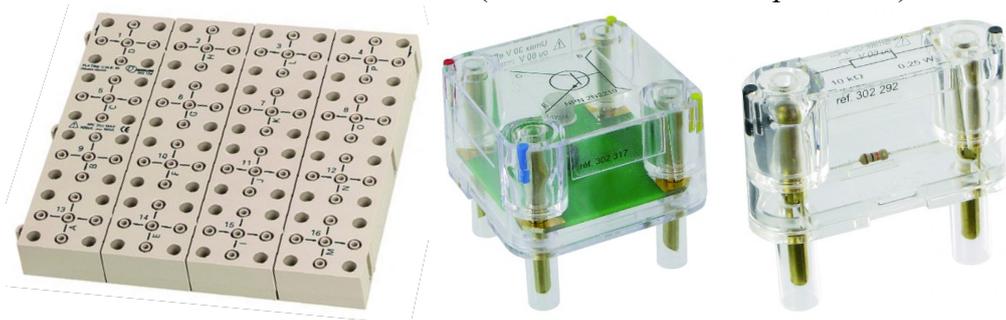


Figure 1 : Platine de test sécurisé et composants en boîtier UME (ici transistor et résistance)

### Hypothèses et données :

Le transistor MOSFET est le composant le plus utilisé pour la commutation de faible puissance. Mais faut-il encore savoir l'utiliser...

Le but de ce TP est d'étudier les caractéristiques d'un N-MOSFET, ici le 2N7000, pour comprendre les conditions de conduction du transistor. Dans un premier temps, il vous sera demandé de tracer la

*Ce document est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 France.*

caractéristique de transfert du transistor pour déterminer sa tension de seuil. Dans un deuxième temps vous devrez tracer la caractéristique de sortie du N-MOSFET et identifier la zone linéaire et la zone saturé. Dans un dernier temps, vous devrez réaliser différents montages de commutation du transistor et connaître les bonnes pratiques de branchement pour utiliser un N-MOSFET.

Si vous ne comprenez rien aux paragraphes précédents, les cours sont disponibles depuis votre smartphone sur MOODLE.

## 2. Lecture d'une documentation constructeur

### 2.1. Niveau maximum de sécurité

D'après le paragraphe « Absolute Maximum Rating » p6 de l'énoncé (p2 de la datasheet),

- quelle est la tension grille-source à ne jamais dépasser ?
- quelle est la tension drain source à ne jamais dépasser ?
- quel est le courant de drain en continue à ne jamais dépasser ?

### 2.2. Caractéristique électrique

D'après le paragraphe « Electrical Characteristics » p7 de l'énoncé (p3 de la datasheet),

- quelle est la tension de seuil typique du transistor 2N7000 ?
- quelle est la résistance équivalente drain-source à 25 °C du transistor ?

## 3. Manipulation

### 3.1. Caractéristique de transfert du 2N7000

Pour obtenir la caractéristique de transfert du N-MOSFET, réaliser sur la maquette le montage suivant :

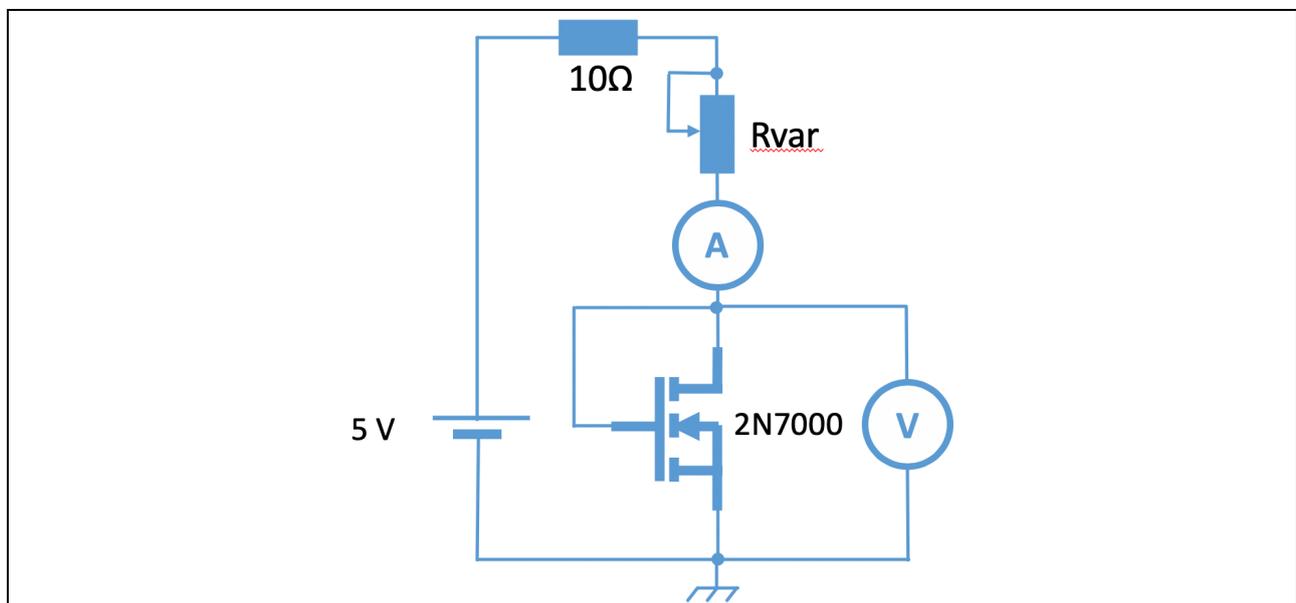
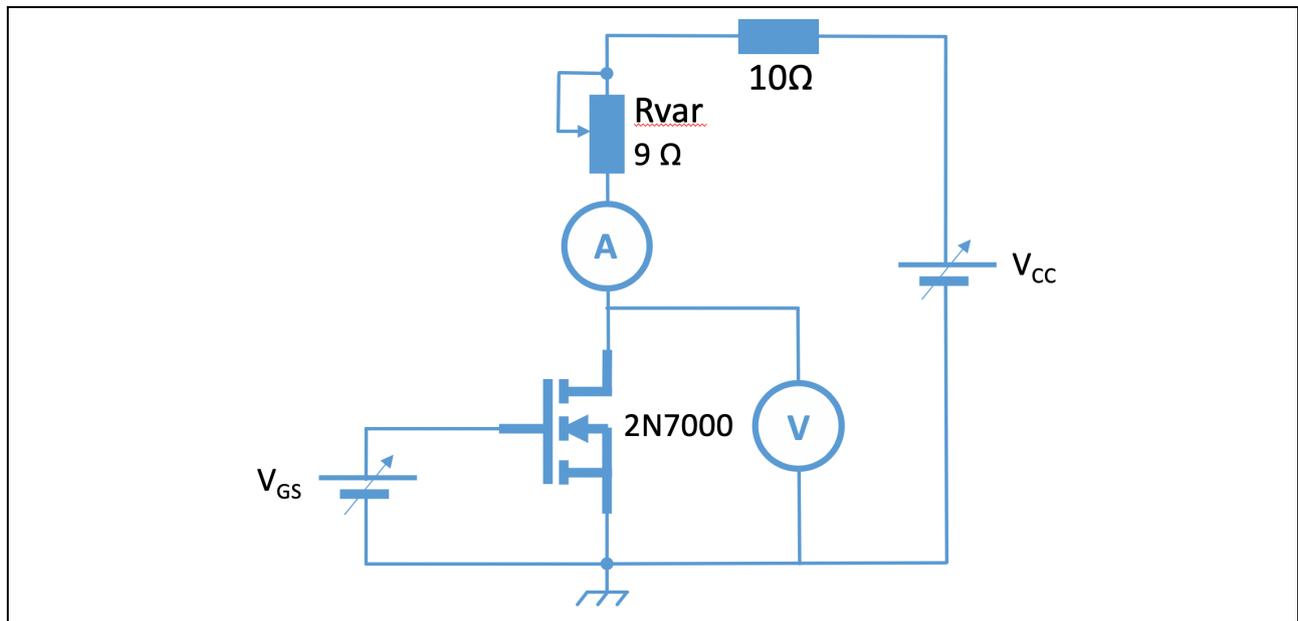


Figure 2 : Schéma permettant de tracer la caractéristique de transfert

- 3.1.1. Réaliser le montage puis **le faire valider par l'enseignant**, avant toute mise sous tension.
- 3.1.2. Varier la valeur de la résistance variable de  $10\text{ k}\Omega$  à  $7\ \Omega$  pour remplir le tableau 1 en annexe, en limitant le courant  $I_D$  à  $200\text{ mA}$ .
- 3.1.3. Tracer sur le papier millimétré, le graphe  $I_D = f(V_{GS})$  à partir des valeurs du tableau précédemment rempli.  
Donner la valeur de **la tension de seuil** de conduction du transistor.
- 3.1.4. Comparer votre courbe à la figure 5 p5 de la datasheet (p8 de l'énoncé) et interpréter les écarts.

### 3.2. Caractéristique de sortie du 2N7000

Pour obtenir les caractéristiques de sortie du N-MOSFET, on réalisera sur la maquette le montage suivant :



**Figure 3 : Schéma permettant de tracer la caractéristique de sortie**

- 3.2.1. Réaliser le montage puis **le faire valider par l'enseignant**, avant toute mise sous tension.
- 3.2.2. Varier la valeur de  $V_{DS}$  puis  $V_{GS}$  pour remplir le tableau 2 en annexe, en limitant le courant  $I_D$  à  $200\text{ mA}$ .
- 3.2.3. Tracer sur le papier millimétré, les graphes  $I_D = f(V_{DS})$  à partir des valeurs du tableau précédemment rempli.
- 3.2.4. Comparer vos courbes à la figure 1 p5 de la datasheet (p8 de l'énoncé) et interpréter les écarts.
- 3.2.5. Quel est la tension  $V_{GS}$  à appliquer pour utiliser le transistor en régime linéaire (mode interrupteur).

### 3.3. Commutation Low Side du 2N7000

La commutation de charge se fait principalement avec un transistor N-MOSFET du côté de la masse. On dit que c'est une commande « Low-side ». On réalisera le montage suivant sur la maquette pour en vérifier son bon fonctionnement.

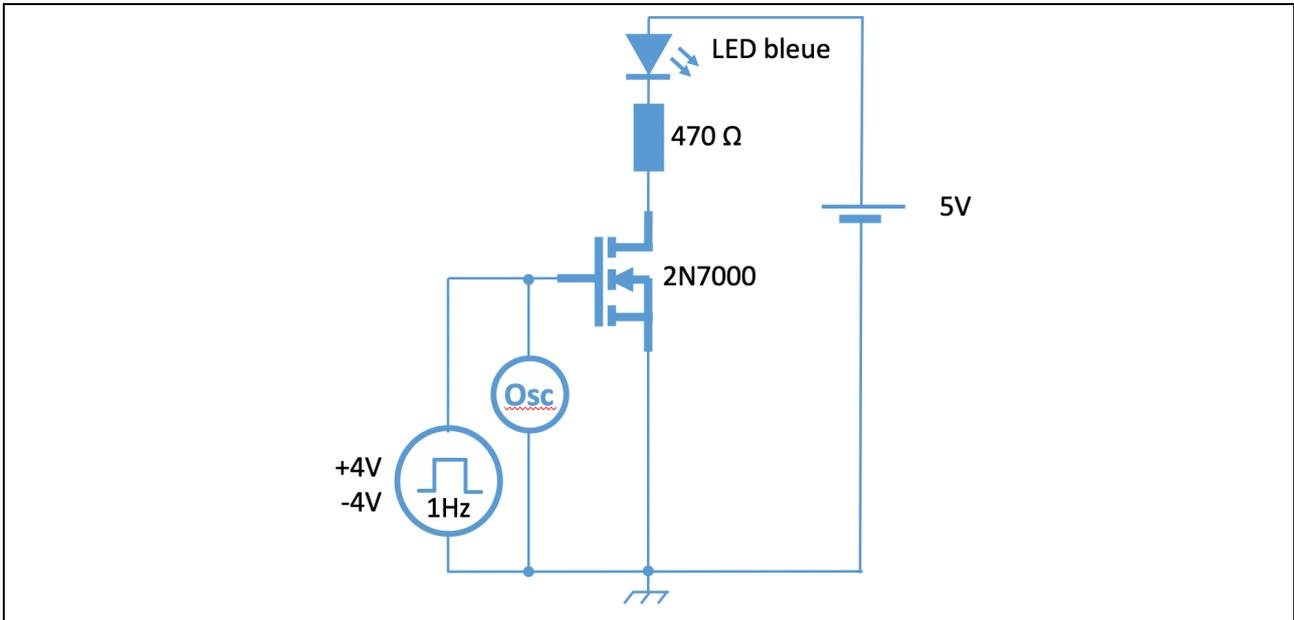


Figure 4 : Schéma d'une commande Low-Side.

3.3.1. Réaliser le montage puis **le faire valider par l'enseignant**, avant toute mise sous tension.

3.3.2. Mesurer la tension  $V_{GS}$  et justifier que vous rendez le transistor passant.

### 3.4. Commutation High Side du 2N7000

Lorsque le transistor est du côté du VCC (tension positive d'alimentation du montage), on dit que c'est une commande « High-side ». On réalisera le montage suivant sur la maquette pour en vérifier ses contraintes.

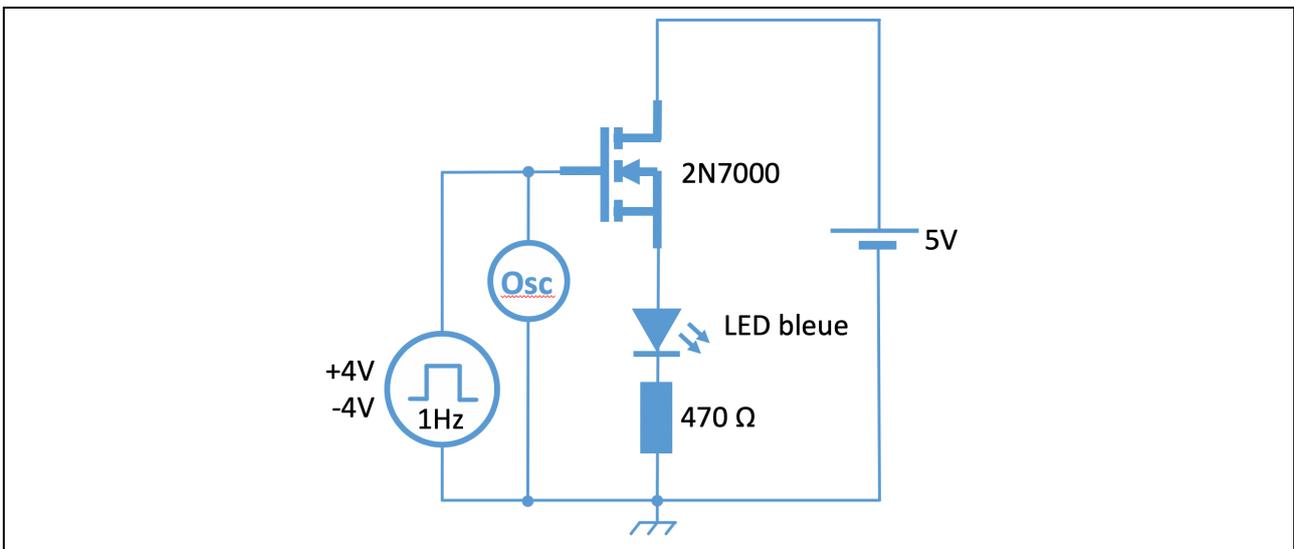


Figure 5 : Schéma d'une commande High-Side.

3.4.1. Réaliser le montage puis **le faire valider par l'enseignant**, avant toute mise sous tension.

3.4.2. Mesurer la tension  $V_{GS}$  et justifier que vous ne rendez pas le transistor passant.

### 3.5. Utilisation d'un transistor en collecteur ouvert (optionnel)

Le microcontrôleur de la carte ARDUINO est un ATMEGA 328P. Les sorties du microcontrôleur sont configurées par défaut en « push-pull », mais peuvent être configurées en « collecteur ouvert ». Le montage de la figure 6 présente la sortie d'un microcontrôleur dans la zone de gauche et un montage Low-side à droite. On réalisera le montage suivant sur la maquette pour en comprendre son fonctionnement. (Il n'y a pas de carte ARDUINO à utiliser)

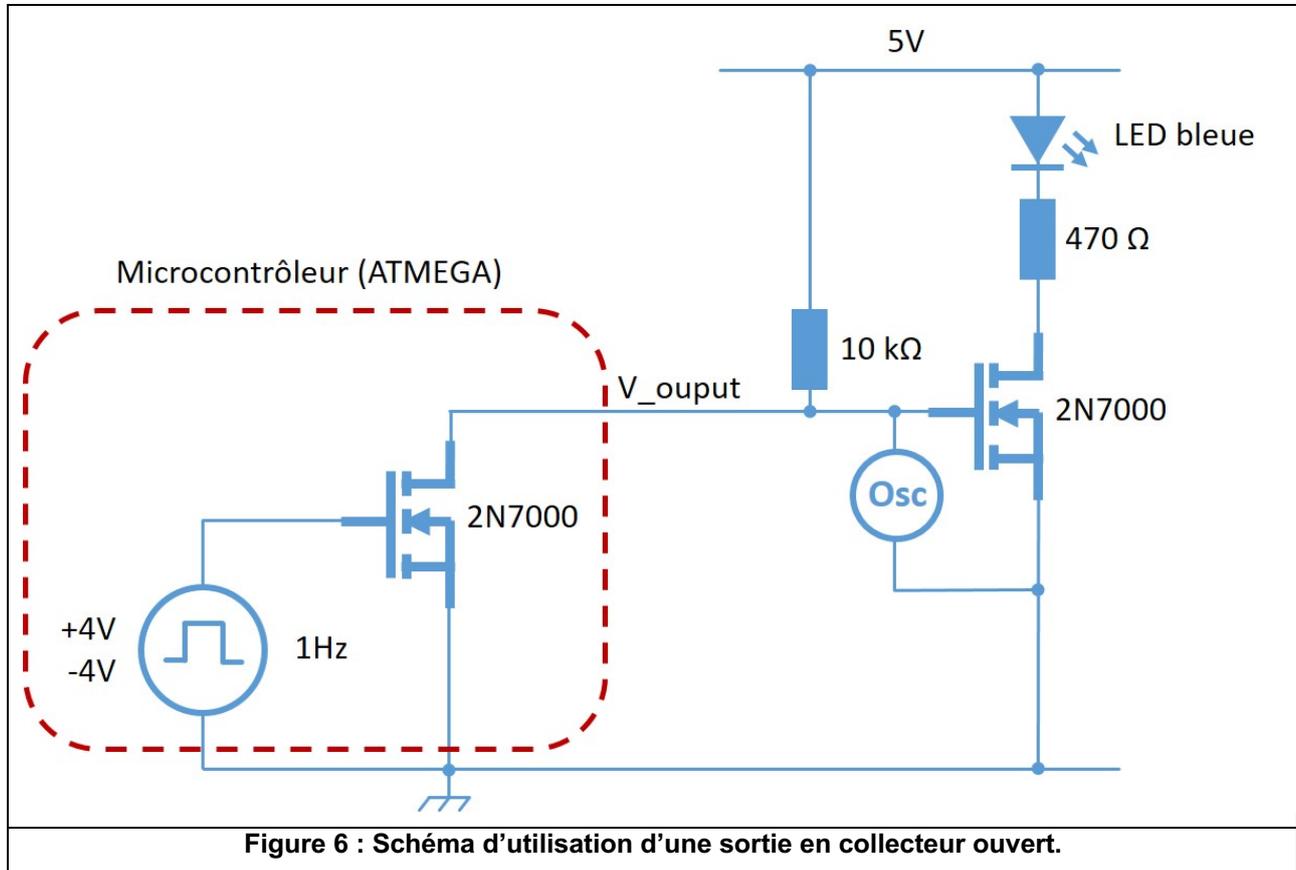


Figure 6 : Schéma d'utilisation d'une sortie en collecteur ouvert.

- 3.5.1. Réaliser le montage puis **faite le valider par l'enseignant**, avant toute mise sous tension.
- 3.5.2. Mesurer la tension  $V_{GS}$  et justifier que vous rendez le transistor passant.
- 3.5.3. Retirer la résistance de  $1000 \Omega$ , dite de « pull-up ».
- 3.5.4. Mesurer la tension  $V_{GS}$  et justifier que vous ne rendez pas le transistor passant.

## 4. Conclusion

Rédigez une petite conclusion sur les conditions de conduction du transistor N-MOSFET (tension de seuil, zone linéaire et saturé, bonnes pratiques de branchement pour utiliser un MOSFET)

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value			Unit
		2N7000	2N7002	NDS7002A	
$V_{DSS}$	Drain-to-Source Voltage	60			V
$V_{DGR}$	Drain-Gate Voltage ( $R_{GS} \leq 1 \text{ M}\Omega$ )	60			V
$V_{GSS}$	Gate-Source Voltage - Continuous	$\pm 20$			V
	Gate-Source Voltage - Non Repetitive ( $t_p < 50 \mu\text{s}$ )	$\pm 40$			
$I_D$	Maximum Drain Current - Continuous	200	115	280	mA
	Maximum Drain Current - Pulsed	500	800	1500	
$P_D$	Maximum Power Dissipation Derated above $25^\circ\text{C}$	400	200	300	mW
		3.2	1.6	2.4	mW/ $^\circ\text{C}$
$T_J, T_{STG}$	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		-65 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_L$	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16-inch from Case for 10 Seconds	300			$^\circ\text{C}$

### Thermal Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value			Unit
		2N7000	2N7002	NDS7002A	
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	312.5	625	417	$^\circ\text{C}/\text{W}$

### Electrical Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min.	Typ.	Max.	Unit	
<b>Off Characteristics</b>								
$BV_{DSS}$	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0 \text{ V}, I_D = 10 \mu\text{A}$	All	60			V	
$I_{DSS}$	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 48 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}$	2N7000			1	$\mu\text{A}$	
		$V_{DS} = 48 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}, T_C = 125^\circ\text{C}$				1	mA	
		$V_{DS} = 60 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}$	2N7002				1	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 60 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}, T_C = 125^\circ\text{C}$	NDS7002A				0.5	mA
$I_{GSSF}$	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15 \text{ V}, V_{DS} = 0 \text{ V}$	2N7000			10	nA	
		$V_{GS} = 20 \text{ V}, V_{DS} = 0 \text{ V}$	2N7002 NDS7002A			100	nA	
$I_{GSSR}$	Gate - Body Leakage, Reverse	$V_{GS} = -15 \text{ V}, V_{DS} = 0 \text{ V}$	2N7000			-10	nA	
		$V_{GS} = -20 \text{ V}, V_{DS} = 0 \text{ V}$	2N7002 NDS7002A			-100	nA	

**Electrical Characteristics (Continued)**

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min.	Typ.	Max.	Unit	
<b>On Characteristics</b>								
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1 \text{ mA}$	2N7000	0.8	2.1	3	V	
		$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 \mu\text{A}$	2N7002 NDS7002A	1	2.1	2.5		
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$	2N7000		1.2	5	$\Omega$	
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}, T_C = 125^\circ\text{C}$			1.9	9		
		$V_{GS} = 4.5 \text{ V}, I_D = 75 \text{ mA}$			1.8	5.3		
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$	2N7002		1.2	7.5		
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}, T_C = 100^\circ\text{C}$			1.7	13.5		
		$V_{GS} = 5 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}$			1.7	7.5		
		$V_{GS} = 5 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}, T_C = 100^\circ\text{C}$			2.4	13.5		
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$		NDS7002A		1.2		2
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}, T_C = 125^\circ\text{C}$				2		3.5
		$V_{GS} = 5 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}$			1.7	3		
		$V_{GS} = 5 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}, T_C = 125^\circ\text{C}$			2.8	5		
		$V_{DS(on)}$	Drain-Source On-Voltage	$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$	2N7000			0.6
$V_{GS} = 4.5 \text{ V}, I_D = 75 \text{ mA}$				0.14		0.4		
$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$	2N7002				0.6	3.75		
$V_{GS} = 5.0 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}$					0.09	1.5		
$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 500 \text{ mA}$	NDS7002A				0.6	1		
$V_{GS} = 5.0 \text{ V}, I_D = 50 \text{ mA}$					0.09	0.15		
$I_{D(on)}$	On-State Drain Current	$V_{GS} = 4.5 \text{ V}, V_{DS} = 10 \text{ V}$	2N7000	75	600		mA	
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}$	2N7002	500	2700			
		$V_{GS} = 10 \text{ V}, V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}$	NDS7002A	500	2700			
$g_{fs}$	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10 \text{ V}, I_D = 200 \text{ mA}$	2N7000	100	320		mS	
		$V_{DS} \geq 2V_{DS(on)}, I_D = 200 \text{ mA}$	2N7002	80	320			
		$V_{DS} \geq 2V_{DS(on)}, I_D = 200 \text{ mA}$	NDS7002A	80	320			

Typical Performance Characteristics

2N7000 / 2N7002 / NDS7002A

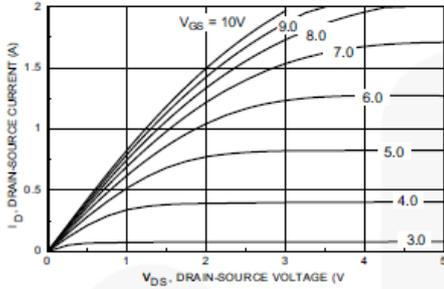


Figure 1. On-Region Characteristics

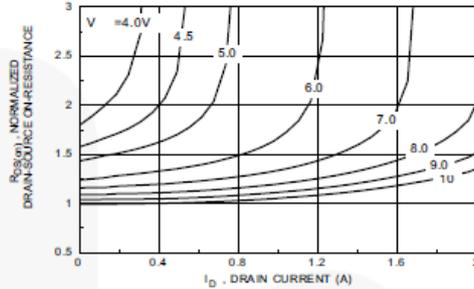


Figure 2. On-Resistance Variation with Gate Voltage and Drain Current

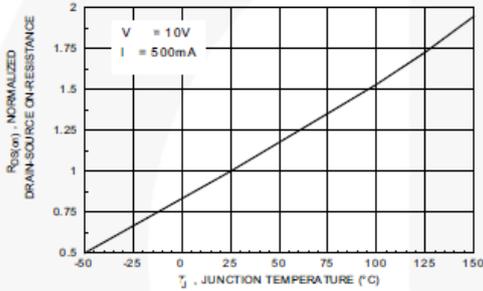


Figure 3. On-Resistance Variation with Temperature

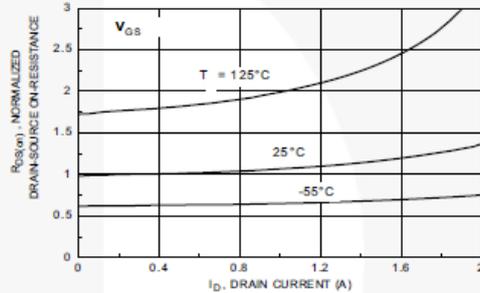


Figure 4. On-Resistance Variation with Drain Current and Temperature

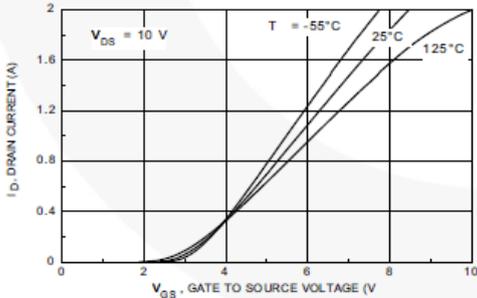


Figure 5. Transfer Characteristics

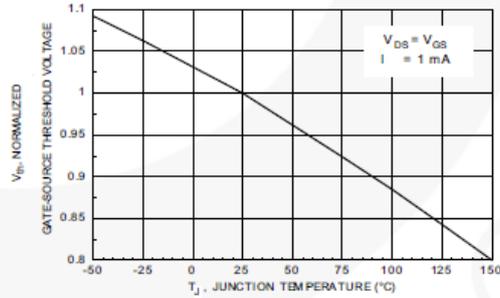


Figure 6. Gate Threshold Variation with Temperature

## CARACTERISQUE D'UN MOS, MODELE, UTILISATION EN COMMUTATION

### 5. Annexes

Tableau 1

Rvar ( $\Omega$ )	10 005	4 007	1 007	507	207	107	57	27	17	7
$I_D$ (mA)										
$V_{GS}$ (V)										

Tableau 2

$V_{GS}$ (V)	0	0	0	0	0	0	0
$V_{CC}$ (V)	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2
$I_D$ (mA)							
$V_{DS}$ (V)							

$V_{GS}$ (V)	3	3	3	3	3	3	3
$V_{CC}$ (V)	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2
$I_D$ (mA)							
$V_{DS}$ (V)							

$V_{GS}$ (V)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
$V_{CC}$ (V)	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2
$I_D$ (mA)							
$V_{DS}$ (V)							

$V_{GS}$ (V)	10	10	10	10	10	10	10
$V_{CC}$ (V)	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2
$I_D$ (mA)							
$V_{DS}$ (V)							