

COURS	<u>TRANSISTOR MOS</u> (Métal, Oxyde, Semis conducteur)	TRANSISTOR MOS.doc
T _{GEL}		12/02/2002

BUTS ET OBJECTIFS

- Utilisation simple, en commutation et en basses fréquences d'un transistor MOS

PREREQUIS :

- Lois générales de l'électricité.
- Notions d'électrostatique (condensateur).
- Cours sur le transistor bipolaire.
- Notion de résistance thermique (pour la dernière question de l'exercice seulement)

Durée approximative de l'étude :

Chapitre 1	:	1 / 2 H
Chapitre 2	:	1 / 4 H
Chapitre 3	:	1 / 4 H
Chapitre 4 et 5	:	1 H

SOMMAIRE

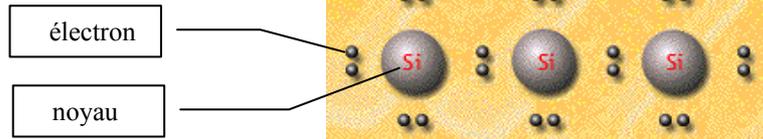
1.) CONSTITUTION	2
1.1.) Notion de dopage	2
1.2.) Constitution simplifiée d'un transistor MOS canal N	3
2.) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	4
3.) EXPLOITATION DE FICHES TECHNIQUES ET SYMBOLE	5
4.) EXERCICE (Commande de moteur):	7
5.) SOLUTION DE L'EXERCICE	8

1.) CONSTITUTION

1.1.) NOTION DE DOPAGE

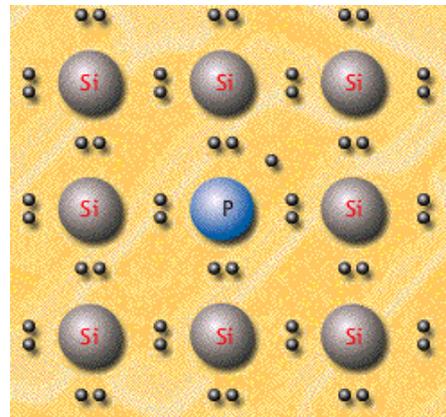
En électronique nous utilisons principalement du silicium sous forme cristalline.

Dans ce cristal chaque atome partage les électrons de sa couche périphérique (couche de valence) avec ses voisins. Ceci a pour conséquence de la compléter, ce qui implique une mauvaise conduction du courant électrique (les électrons ont du mal se déplacer).



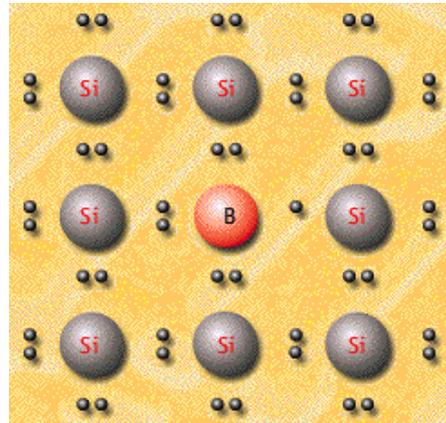
Pour faciliter la conduction on peut, introduire des atomes d'un matériau possédant 5 électrons sur sa couche périphérique, l'électron excédentaire sera mobile et pourra se déplacer facilement.

Dans ce cas le cristal sera dopé de type N.

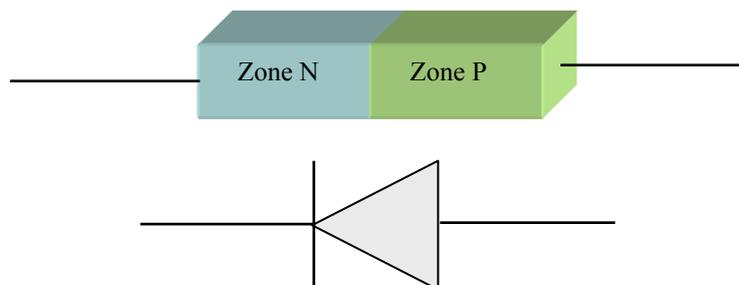


On peut également introduire des atomes d'un matériau ne possédant que 3 électrons sur sa couche périphérique, l'électron manquant fera un trou dans la structure pouvant accepter temporairement un électron.

Dans ce cas le cristal sera dopé de type P.

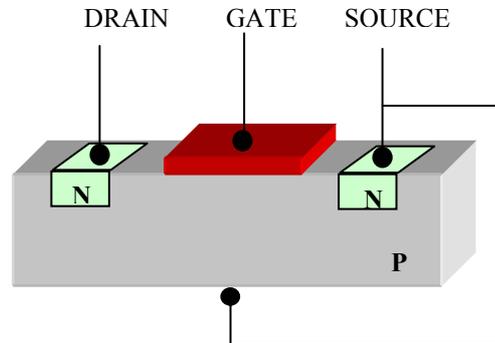


Une diode est la juxtaposition d'une zone dopée N avec une zone dopée P.



1.2.) CONSTITUTION SIMPLIFIEE D'UN TRANSISTOR MOS CANAL N

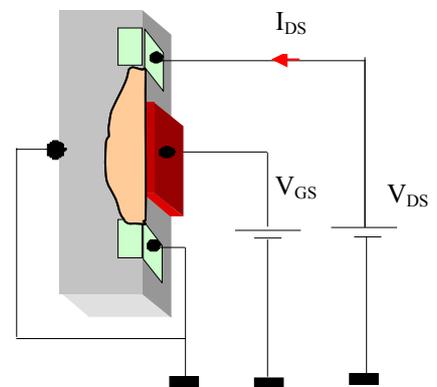
Dans un semis conducteur dopé P sont créés deux zones (caissons) dopés N. Une métallisation est créée sur chacun constituant ainsi les broches appelées respectivement Drain et Source. Une troisième broche est créée, la Gate ou Grille qui sera séparée du semis conducteur par une couche isolante d'oxyde de silicium (SiO_2).



Si nous polarisons ce cristal par une tension V_{GS} positive, nous allons voir apparaître en regard de la métallisation de grille des charges négatives (ne pas oublier que la métallisation de grille est séparée du cristal par une couche d'isolant, nous avons donc affaire aux deux armatures d'un condensateur). Ceci créera un canal de type N reliant le Drain à la Source.

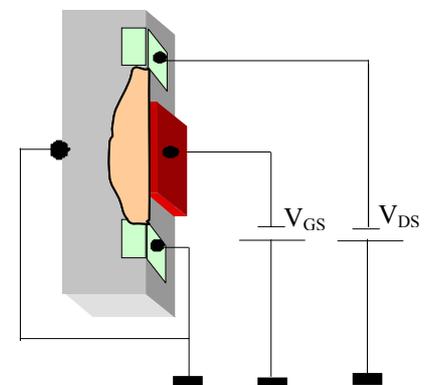
De ce fait un courant électrique pourra circuler du drain vers la source.

La largeur du canal (donc sa résistivité) sera contrôlé par la tension V_{GS} . Plus celle-ci sera grande, plus le canal sera large, et donc plus le courant traversant le transistor pourra être important.



Si nous polarisons ce cristal par une tension V_{GS} négative, nous allons voir apparaître en regard de la métallisation de grille des charges positives. Celles-ci vont renforcer le caractère P du cristal.

La diode en inverse créée par la jonction PN entre le Drain et la Source empêche la circulation d'un courant. Le transistor est bloqué.

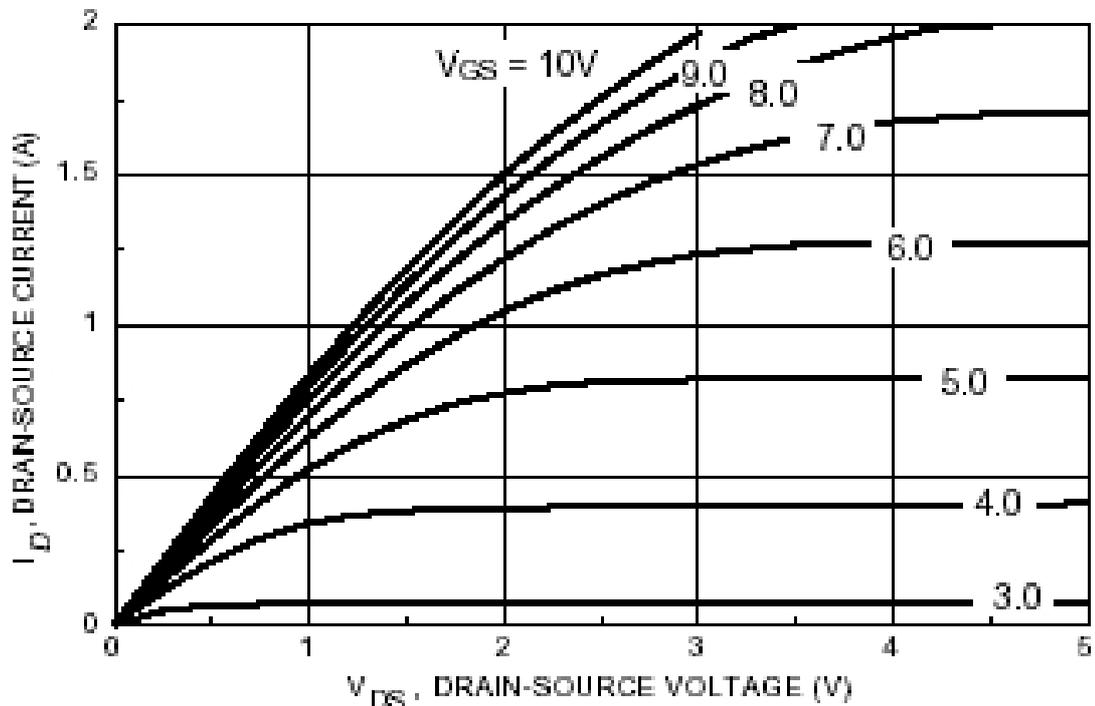


CONCLUSIONS

- ↺ La structure d'entrée de ce transistor est un condensateur. De ce fait (une fois ce condensateur chargé) aucune énergie n'est demandée au circuit de commande. Nous avons une **commande en tension**.
- ↺ Nous obtenons une sorte de **résistance entre drain et source** (R_{DS}) dont la valeur varie en **fonction** de la **tension** entre **grille et source** (V_{GS}).
- ↺ Pour une tension de commande V_{GS} suffisante la zone de conduction occupera la totalité du cristal, le transistor sera saturé. On notera dans ce cas la résistance entre drain et source obtenue $R_{DS\ ON}$.
- ↺ En étudiant la structure de ce transistor on s'aperçoit qu'il existe une jonction PN créant une diode parasite entre le drain et la source. Nous retrouverons cette diode sur certaines représentation de ce type de transistor.

2.) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Comme pour un transistor bipolaire nous pouvons tracer un réseau de caractéristiques I_{DS} en fonction de V_{DS} pour différentes valeurs de V_{GS} . Vous remarquerez que i_b a été remplacé par V_{gs} , la commande est donc une tension.



On donne la fonction de transfert $I_D = g V_{GS}$
 g sera assimilé à une admittance, l'unité sera le Siemens.

Bien évidemment on peut utiliser ce transistor en amplification dans sa zone linéaire, mais le domaine d'application de ce type de transistor est surtout la commutation..

A la saturation (la relation $I_D = g V_{GS}$ n'est plus valable) le transistor se comportera comme une faible résistance. Du fait de la constitution de ce transistor, plus celui-ci est conçu pour commuter un courant élevé, plus le canal qui devra être créé devra être important. On peut donc en conclure que plus un transistor est de forte puissance, plus la résistance $R_{DS\ ON}$ sera faible. De quelques centièmes d'ohms pour des transistors de fortes puissances à quelques kilo ohms pour des transistors intégrés.

Ceci est une application direct de la relation $R = \frac{\rho l}{S}$ ou :

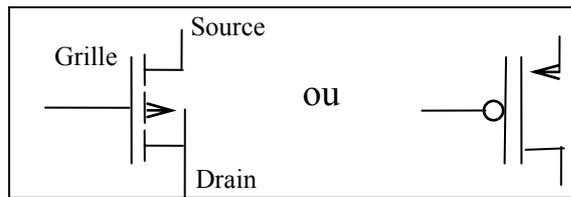
ρ : est la résistivité du matériau en Ωm
 l : la longueur du conducteur (épaisseur du canal)
 S : la surface du matériaux (section du canal)

Plus le transistor est de forte puissance, plus S devra être important (pour laisser passer le courant), de ce fait la résistance sera d'autant plus faible.

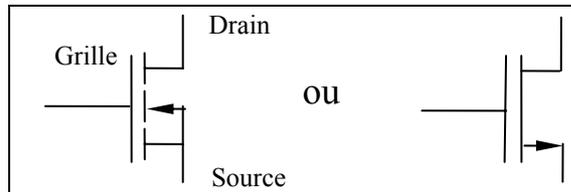
On peut remarquer qu'il n'y a pas de coefficients de sursaturation, le transistor sera saturé quelque soit le courant demandé pour une valeur de V_{GS} suffisante.

3.) EXPLOITATION DE FICHES TECHNIQUES ET SYMBOLE

Symbole d'un transistor MOS à enrichissement, canal N



Symbole d'un transistor MOS à enrichissement, canal P



Certaines représentations font apparaître la diode parasite entre drain et source. C'est le cas de la fiche technique donnée page suivante, remarquez le sens de la diode.

Nous ne détaillerons ici que les paramètres importants. Il est bien évident que tous ceux-ci ne seront pas forcément utilisés, cela dépendra de l'application.

Absolute Maximum ratings : Caractéristiques maximales à ne pas dépasser sous peine de destruction du composant. Il est bien évident qu'on doit se tenir le plus éloigné possible de ces valeurs.

Electrical characteristics : Caractéristiques électrique du circuit.

I_0 : Courant de drain maximum supportable. Attention cette donnée n'est valable que si le transistor peut dissiper toute la puissance qu'on lui demande d'évacuer.

P_0 : Attention , cette donnée est **totalelement inutile**, vous ne **devrez jamais l'utiliser** dans vos calculs. Elle ne peut servir que pour comparer deux transistors. En effet cette puissance que peut dissiper le transistor n'est que théorique, elle est donnée par le constructeur pour une température du boîtier de 25°C (en général), ce qui est impossible (cela correspondrai à un dissipateur de taille infini..).

OFF Caractéristiques : caractéristiques du transistors bloqué.

BV_{DSS} : tension maximum supportable entre drain et source lorsque le transistor est bloqué. Au delà de cette valeur il y a destruction par claquage (breakdown) du transistor.

I_{DSS} et I_{GSS} : courant de fuite lorsque le transistor est bloqué. On peut noté que cette valeur est assez faible et est rarement utile.

Nota : en général lorsque la fiche technique d'un semis conducteur ne donne pas deux parties distinct pour les caractéristiques du composants passant et bloqué, ces dernières portent l'indice 0 : BV_{DSS0} , I_{DSS0} et I_{GSS0} etc..

ON Caractéristiques :

$V_{GS(th)}$: Tension au de la de laquelle le transistor est considéré comme saturé.

$RD_{S(on)}$: Résistance du canal drain/ Source lorsque la transistor est saturé.

G_{fs} : Transcondence, c'est le paramètre qui lie la grandeur 'entrée (V_{GS}) à la grandeur de sortie (I_{DS}) en linéaire. L'unité est bien évidemment le Siemens, néanmoins on peut trouver la plus grande fantaisie quant à sa notation : S, pour Siemens, ou Ω^{-1} ce qui peut s'expliquer, mais plus fantaisiste mho, ou \bar{O} peuvent également se rencontrer.

t_{on} t_{off} : Respectivement, temps nécessaire pour saturer ou bloquer le transistor.

BS170 / MMBF170 N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

Référence - BS170 et type de transistor - MOS canal N

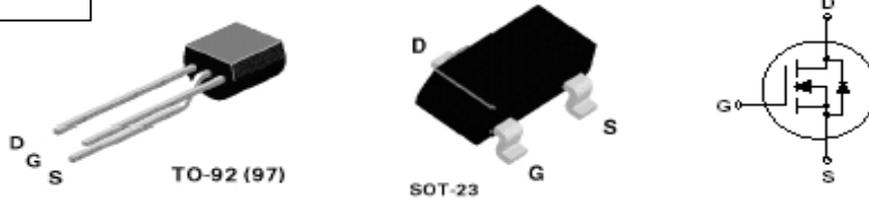
General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using National's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 500mA DC. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

Features

- High density cell design for low $R_{DS(on)}$
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.

Brochage et symbole



Absolute Maximum Ratings T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
V_{DS}	Drain-Source Voltage	60		V
V_{DG}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1M\Omega$)	60		V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
P_D	Maximum Power Dissipation	830	300	mW
	Derate Above 25°C	6.6	2.4	
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		°C
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		°C
THERMAL CHARACTERISTICS				
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	150	417	°C/W

Electrical Characteristics (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS							
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 100\mu A$	AI	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V$	AI			0.5	μA
I_{DSSF}	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15V, V_{DS} = 0V$	AI			10	nA
ON CHARACTERISTICS <small>(Note 1)</small>							
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1mA$	AI	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 200mA$	AI		1.2	5	Ω
g_{fs}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10V, I_D = 200mA$	BS170		320		mS
		$V_{DS} \geq 2V_{GS(th)}, I_D = 200mA$	MMBF170		320		
DYNAMIC CHARACTERISTICS							
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0V, f = 1.0MHz$	AI		24	40	pF
C_{oss}	Output Capacitance		AI		17	30	
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance		AI		7	10	
SWITCHING CHARACTERISTICS <small>(Note 1)</small>							
t_{on}	Turn-On Time	$V_{DD} = 25V, I_D = 200mA, V_{GS} = 10V, R_{GEN} = 25\Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25V, I_D = 500mA, V_{GS} = 10V, R_{GEN} = 50\Omega$	MMBF170			10	
t_{off}	Turn-Off Time	$V_{DD} = 25V, I_D = 200mA, V_{GS} = 10V, R_{GEN} = 25\Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25V, I_D = 500mA, V_{GS} = 10V, R_{GEN} = 50\Omega$	MMBF170			10	

Note:

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu s$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

4.) EXERCICE (COMMANDE DE MOTEUR):

Alimentation des circuits logiques U1 et U2 en 5V

Caractéristiques du moteur :

$U_n = 24 \text{ V}$
 $P_n = 100 \text{ W}$
 $R \text{ à froid} = 0,6 \Omega$

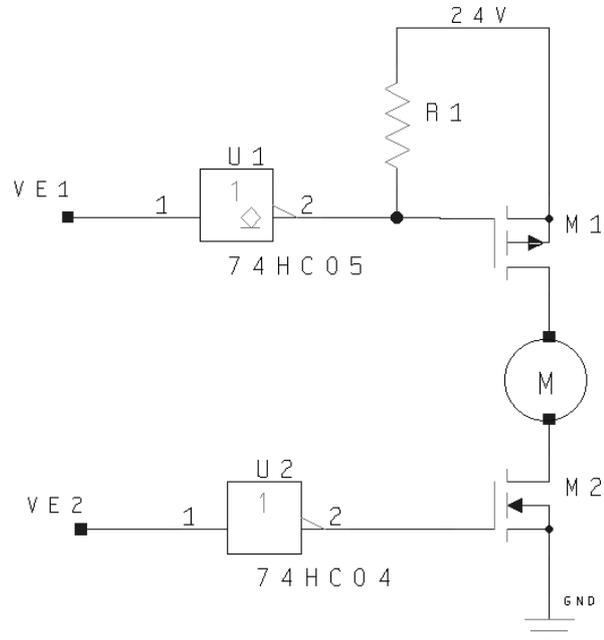
Caractéristique des transistors :

IRF640 MOS canal N

$V_{GS(th)} = 2 \text{ V à } 4 \text{ V}$
 $R_{DS(on)} = 0,18 \Omega$
 $I_{D(on)} = 18 \text{ A}$
 $I_{DM} = 72 \text{ A (pulsed)}$
 $V_{DSS} = 200 \text{ V}$
 $I_{TOT} = 125 \text{ W}$
 $R_{THJ-amb} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$
 $R_{THc-sink} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$
 $\theta_{amb} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$

IRFZ28 MOS canal P

$V_{GS(th)} = -2 \text{ V à } -4 \text{ V}$
 $R_{DS(on)} = 0,3 \Omega$
 $I_{D(on)} = -11 \text{ A}$
 $I_{DM} = -55 \text{ A (pulsed)}$
 $V_{DSS} = -60 \text{ V}$
 $I_{TOT} = 125 \text{ W}$
 $R_{THJ-amb} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$
 $R_{THc-sink} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$
 $\theta_{amb} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$



1.) Pourquoi avoir utilisé ici une porte à collecteur ouvert pour U1.
Utilité de la résistance R1.
2.) Quel niveau logique doit-on avoir en VE1 et VE2 pour commander le moteur.
3.) calculez le courant dans le moteur en régime établi.
4.) Où est la diode de roue libre.
5.) Calculez le courant de pointe de démarrage du moteur.
6.) Ce transistor est-il adapté pour l'usage voulu : (tension et courant)
7.) Ces transistors ont-ils besoin d'un dissipateur ?.

5.) SOLUTION DE L'EXERCICE

1. L'alimentation du moteur est de 24 V, or le circuit de commande (U1) est alimenté en 5 V . De ce fait le transistor M1 sera toujours passant avec un circuit classique puisque sa tension maximum en sortie ne peut dépasser son alimentation. Le collecteur ouvert permet d'avoir une tension de sortie fixé par la résistance de tirage R1, ce qui permettra la blocage du transistor.
2. Pour que le moteur tourne il faut que les deux transistors soit passant.
 - Pour M1, transistor MOS canal P : Le V_{GS} de ce transistor doit être négatif, la sortie de la porte logique doit être au niveau bas. Cette porte étant inverseuse, l'entrée (V_{E1}) doit être au niveau haut.
 - Pour M2, transistor MOS canal N : Le V_{GS} de ce transistor doit être positif, la sortie de la porte logique doit être au niveau haut. Cette porte étant inverseuse, l'entrée (V_{E2}) doit être au niveau bas
3. En régime établi le courant dans le moteur sera : $I = \frac{P}{U_n} = \frac{100}{24} = 4,17 A$
4. La diode de roue libre (nécessaire pour décharger la bobine du moteur au moment ou le courant s'interrompt) est la diode parasite comprise dans les transistors MOS. En général cette diode n'est pas assez rapide et on place en parallèle (entre drain et source) du transistor une diode rapide (diode schottky)
5. Au démarrage la force contre électromotrice du moteur est nulle, de ce fait le courant n'est limité que par la résistance du fil constituant les enroulements du moteur.

$$I = \frac{V_{cc}}{R_{DSON(M1)} + R_{Moteur} + R_{DSON(M2)}} = \frac{24}{0,18 + 0,6 + 0,3} = 22,2 A$$

Remarque : Vous remarquez l'importance des résistances des transistors. Dans le cas présent celles-ci sont très loin d'être négligeable.

6. Les transistor peuvent-ils convenir : nous comparerons donc les caractéristiques demandées par le montage et celles du plus mauvais des transistors.
 - Courant dans le moteur en régime établi $4,17 A < 11A$ supportable continu admissible par M2.
 - Courant dans le moteur au démarrage $22.2 A < 55 A$ supportable par M2 en impulsionnel.
 - Tension maximum sur les transistors $24 V < \text{tension maximum supportable } V_{DSS} = 60 V$ par M2.

Les transistors seront donc utilisables.

Remarque : notez que le courant dans le drain du transistor est négatif. Cela est du à la convention des électroniciens qui veut que les courants soient toujours comptés positifs s'ils entrent dans le circuit.

7. Pour savoir si on a besoin d'un dissipateur il faut connaître la puissance à dissiper, puis calculer la résistance thermique nécessaire pour dissiper celle-ci. On comparera ensuite cette résistance avec les données constructeur.

La puissance dissipée lors du démarrage du moteur ne correspond qu'à un régime transitoire très bref. L'élévation de la température étant un phénomène très lent, elle ne sera pas prise en compte.

On se basera sur le transistor ayant à dissiper la plus grande puissance, donc celui avec la plus grande résistance à l'état passant.

$$P = R I^2 = 0,3 \times 4,17^2 = 5,22 W$$

$$R = \frac{\theta_J - \theta_{amb}}{P} = \frac{\theta_J - \theta_{amb}}{P} = \frac{150 - 50}{5,22} = 19,16 \text{ } ^\circ C / W < 62,5 \text{ } ^\circ C / W$$

Un dissipateur est donc nécessaire : $R_{th} = 19,16 - 0,5 = 18,66 \text{ } ^\circ C / W$

Le dissipateur doit donc avoir une résistance thermique **inférieur** à $18,66 \text{ } ^\circ C / W$