

## 1. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP : FET (FIELD EFFECT TRANSISTOR)

### 1.1. PRÉSENTATION

Le transistor est un semi-conducteur contrôlable qui permet deux types de fonctionnement :

- fonctionnement en régime linéaire (amplificateur) ;
- fonctionnement en régime de commutation (bloqué / saturé).

Les transistors à effet de champ sont dotés de trois broches appelées : Grille (G), Drain (D) et Source (S). ils sont capables de fonctionner en régime linéaire ou en commutation.

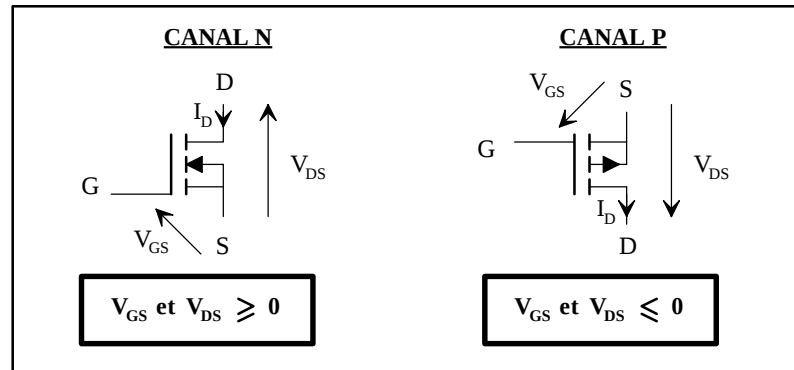
Les transistors FET diffèrent des transistors bipolaires par leur commande : dans un FET la conduction est commandée par un champ électrique produit par une tension appliquée sur la grille. L'avantage est **que cette entrée ne consomme aucun courant**.

On distingue plusieurs types de transistors FET :

- les J-FET (utilisés en fonctionnement linéaire) ;
- les MOSFET (aussi appelés MOS) surtout utilisés en commutation de puissance (équivalents à des interrupteurs).

Seuls sont abordés dans la suite du cours les transistors MOSFET à enrichissement (enhancement) qui sont d'usage le plus courant.

### 1.2. SYMBOLE DES TRANSISTORS MOSFET A ENRICHISSEMENT



### 1.3. DÉFINITION DES GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES

Les transistors sont dotés d'un **canal** N ou P par lequel est assuré le passage du courant entre Drain et Source.

**La commande du transistor est réalisée par la tension  $V_{GS}$ .** La valeur de la tension  $V_{GS}$  qui assure le blocage du transistor est appelée  **$V_{GSth}$  ou  $V_T$** .

A l'état saturé, le transistor se comporte comme une résistance entre Drain et Source. Cette résistance est nommée  $R_{DSon}$  et présente généralement une très faible valeur.

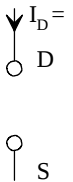
### 1.4. TRANSISTOR MOS CANAL N EN COMMUTATION

Le transistor se comporte comme \_\_\_\_\_ (entre D et S) commandé par la tension  $V_{GS}$  positive ou nulle.

1.4.1. TRANSISTOR BLOQUÉ : \_\_\_\_\_

Le transistor est bloqué si :   $\Rightarrow I_D = \underline{\hspace{1cm}}$

En général, on prendra  $V_{GS} = \underline{\hspace{1cm}}$



1.4.2. TRANSISTOR SATURÉ : \_\_\_\_\_

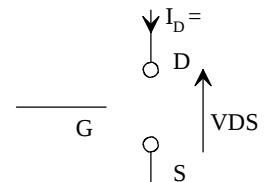
Le transistor est saturé si :

Où  $g_m$  désigne la transconductance; exprimée en Siemens (S).

En général, on prendra  $V_{GS} = \underline{\hspace{1cm}}$

$V_{DS} = \underline{\hspace{1cm}}$

$I_D = \underline{\hspace{1cm}}$



### 1.5. TRANSISTOR MOS CANAL P

La tension de commande  $V_{GS}$  est négative ou nulle.

Le transistor est bloqué si :  on prendra  $V_{GS} = \underline{\hspace{1cm}}$

Le transistor est saturé si :  on prendra  $V_{GS} = \underline{\hspace{1cm}}$

## 2. TRANSISTOR BIPOLAIRE

### 2.1. PRÉSENTATION

Il existe deux types de transistors bipolaires : les NPN et les PNP. Le transistor est doté de trois broches repérées B, C et E et appelées respectivement : Base, Collecteur et Emetteur.

### 2.2. SYMBOLE



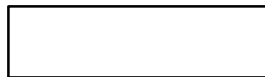
### 2.3. DÉFINITION DES GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES

- $I_b$  : courant de base.
- $I_c$  : courant de collecteur.
- $I_e$  : courant d'émetteur.
- $V_{CE}$  : tension Collecteur Emetteur ( $V_{EC}$  pour le transistor PNP).
- $V_{BE}$  : tension Base Emetteur ( $V_{EB}$  pour le transistor PNP).

Les tensions et courants repérés sont positifs pour les deux types de transistor.

### 2.4. FONCTIONNEMENT EN RÉGIME LINÉAIRE

Le transistor réalise une **amplification du courant d'entrée  $I_b$**  :



Où  $\beta$  désigne l'amplification en courant du transistor (aussi appelée  $h_{21}$  ou  $h_{FE}$ ).

Aucun transistor ne dispose du même  $\beta$ , il se situe dans une plage garantie par le constructeur et est compris entre deux valeurs limites :  $\beta_{\min.} \leq \beta \leq \beta_{\max.}$

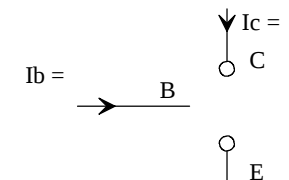
### 2.5. FONCTIONNEMENT EN COMMUTATION

Le transistor se comporte comme \_\_\_\_\_ (entre C et E) commandé par la base.

#### 2.5.1. TRANSISTOR BLOQUÉ :

Le transistor est bloqué si :   $\Rightarrow I_c = \underline{\hspace{2cm}}$

Le transistor est équivalent à :



#### 2.5.2. TRANSISTOR SATURÉ :

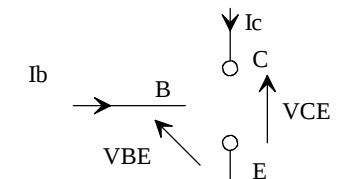
Le transistor est saturé si :

Le transistor est équivalent à :

$I_b >$

$V_{CE} =$

$I_c =$



La valeur minimale de  $I_b$  qui garantit la saturation est appelée  **$I_{bsat \min.}$**

Pour obtenir la meilleure saturation possible du transistor, c'est-à-dire pour obtenir une tension  $V_{CEsat}$  qui soit la plus proche de 0, on choisit généralement pour  $I_b$  une valeur telle que :

$I_b = K \cdot I_{bsat \min}$  avec  $K$  : coef. de sursaturation (habituellement choisi entre 2 et 5).

### 3• EXERCICES D'APPLICATION

#### 3.1• TRANSISTOR MOSFET: COMMANDE D'UN MOTEUR

On veut alimenter un petit moteur ( $\phi$  63 mm) à courant continu par un signal issu de la sortie S d'une porte logique :

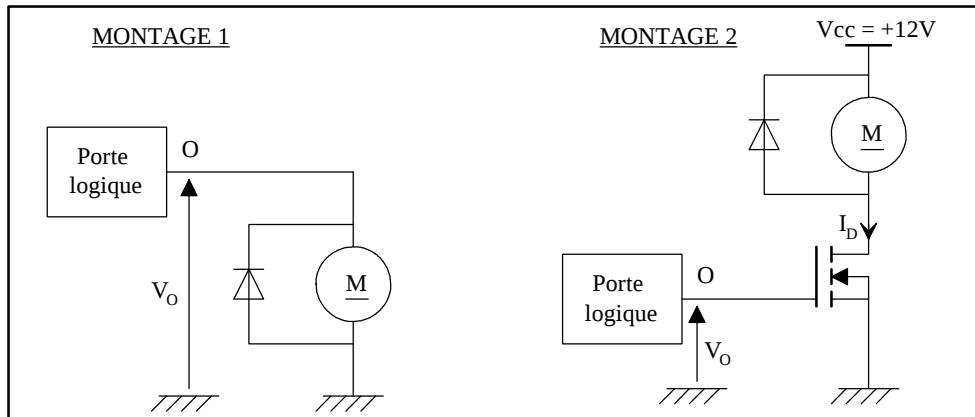
- Lorsque S est au niveau '1', le moteur doit tourner.
- Lorsque S est à '0', le moteur doit être à l'arrêt ( $I_m$ )

On donne les caractéristiques des éléments du montage :

- Moteur : Tension d'alimentation : 12 V  
Résistance :  $1\ \Omega$   
Vitesse de rotation : 1500 tr/min  
Courant à vide : 0,4 A
- Porte logique : Tension de sortie à l'état '1',  $V_{OH} = 12V$   
Courant de sortie à l'état '1' :  $I_{OH} = 5\ mA$
- MOS IRF 540 :  $2\ V < V_{GS} < 4\ V$   
 $R_{DS(on)} = 0,052\ \Omega$   
 $g_m = 11\ S$



On propose deux montages d'alimentation :



Indiquer, en justifiant votre réponse, pourquoi le montage 1 ne peut pas être utilisé pour cette application :

Repérer sur le schéma structurel du montage 2 les broches G, S et D. Flécher les tensions  $V_{DS}$  et  $V_{GS}$ . Indiquer le type du transistor utilisé :

3.1.1•  $V_o = 0\ V$

Que vaut  $V_{GS}$  ? Quel est l'état du transistor ?

Que valent  $I_D$  et  $V_{DS}$  :

Quel est l'état du moteur :

3.1.2•  $V_o = 12\ V$

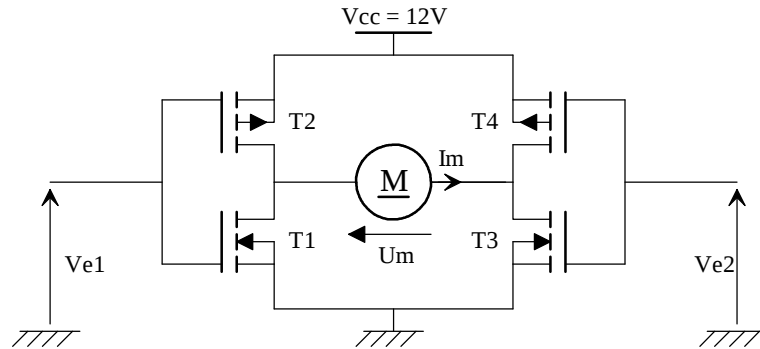
En supposant le transistor saturé, calculer le courant traversant le moteur au démarrage :

Calculer la valeur minimale que devra prendre  $V_{GS}$  pour assurer la saturation du transistor dans ce cas :

Le transistor est-il effectivement saturé ? Justifier votre réponse :

### 3.2. PONT EN H

On se propose d'étudier le montage PONT en H qui permet de commander la rotation du moteur à courant continu dans les deux sens :



On donne les caractéristiques des transistors :

- Pour les transistors canal N :  $V_{GS\ th} = 2\ V$
- Pour les transistors canal P :  $V_{GS\ th} = -2\ V$

#### 3.2.1. ANALYSE PRÉPARATOIRE

Repérer sur le schéma structurel les broches G, S et D des transistors T1, T2, T3 et T4. Flêcher les tensions  $V_{GS1}$ ,  $V_{GS2}$ ,  $V_{GS3}$ ,  $V_{GS4}$ .

Indiquer le type des transistors T1 et T3 :

Indiquer le type des transistors T2 et T4 :

Exprimer les tensions  $V_{GS1}$  et  $V_{GS2}$  en fonction de  $V_{cc}$  et  $V_{e1}$  :

Exprimer les tensions  $V_{GS3}$  et  $V_{GS4}$  en fonction de  $V_{cc}$  et  $V_{e2}$  :

#### 3.2.2. CAS N°1 : $V_{e1} = V_{e2} = 0V$

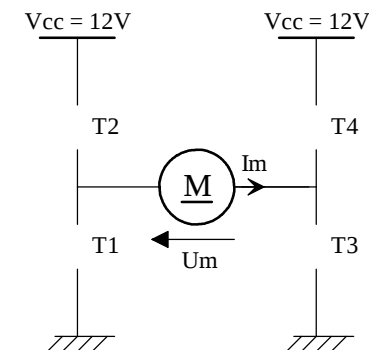
Calculer les valeurs de  $V_{GS1}$  et  $V_{GS2}$  :

En déduire le mode de fonctionnement de T1 et T2 (bloqué ou saturé) :

Calculer les valeurs de  $V_{GS3}$  et  $V_{GS4}$  :

En déduire le mode de fonctionnement de T3 et T4 (bloqué ou saturé) :

Donner le schéma équivalent au montage (remplacer T1, T2, T3 et T4 par des interrupteurs) :



En déduire la valeur de  $U_m$  et de  $I_m$  :

Préciser l'état du moteur :

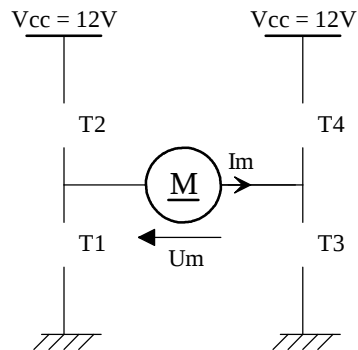
3.2.3• CAS N°2 :  $V_{E1} = 12V$ ,  $V_{E2} = 0V$ ✍ Calculer les valeurs de  $V_{GS1}$  et  $V_{GS2}$  :

✍ En déduire le mode de fonctionnement de T1 et T2 (bloqué ou saturé) :

✍ Calculer les valeurs de  $V_{GS3}$  et  $V_{GS4}$  :

✍ En déduire le mode de fonctionnement de T3 et T4 (bloqué ou saturé) :

✍ Donner le schéma équivalent au montage (remplacer T1, T2, T3 et T4 par des interrupteurs) :

✍ En déduire la valeur de  $U_m$  :

✍ Préciser l'état du moteur :

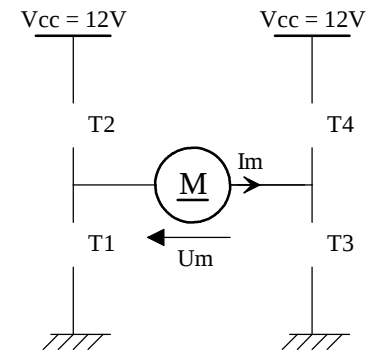
3.2.4• CAS N°3 :  $V_{E1} = 12V$ ,  $V_{E2} = 12V$ ✍ Calculer les valeurs de  $V_{GS1}$  et  $V_{GS2}$  :

✍ En déduire le mode de fonctionnement de T1 et T2 (bloqué ou saturé) :

✍ Calculer les valeurs de  $V_{GS3}$  et  $V_{GS4}$  :

✍ En déduire le mode de fonctionnement de T3 et T4 (bloqué ou saturé) :

✍ Donner le schéma équivalent au montage (remplacer T1, T2, T3 et T4 par des interrupteurs) :

✍ En déduire la valeur de  $U_m$  :

✍ Préciser l'état du moteur :

3.2.5• CAS N°4 :  $V_{E1} = 0V$ ,  $V_{E2} = 12V$ 

 Calculer les valeurs de  $V_{GS1}$  et  $V_{GS2}$  :

---

 En déduire le mode de fonctionnement de T1 et T2 (bloqué ou saturé) :

---

---

 Calculer les valeurs de  $V_{GS3}$  et  $V_{GS4}$  :

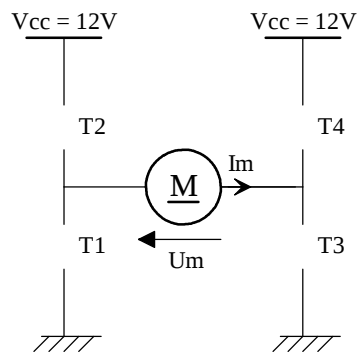
---

 En déduire le mode de fonctionnement de T3 et T4 (bloqué ou saturé) :

---

---

 Donner le schéma équivalent au montage (remplacer T1, T2, T3 et T4 par des interrupteurs) :



 En déduire la valeur de  $U_m$  :

---

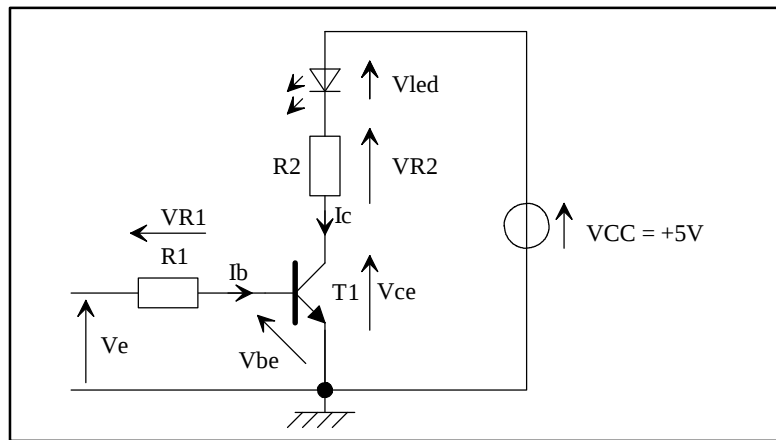
 Préciser l'état du moteur :

---

### 3.3• TRANSISTOR BIPOLAIRE : VISUALISATION D'ÉTAT LOGIQUE

Le montage suivant traduit une information logique en une information lumineuse au moyen d'une DEL. La DEL (diode électroluminescente) est un dipôle qui, lorsqu'il est traversé par un courant suffisant s'allume.

La tension  $V_e$  provient de la sortie d'un circuit de technologie TTL (alimenté sous 5V). Elle ne peut donc prendre que deux valeurs (0 ou +5V). Le transistor T1 fonctionnera donc normalement en régime de commutation (bloqué / saturé).



#### Caractéristiques de la DEL :

$I_f > 10 \text{ mA}$  pour garantir un éclairage correct.  
 $V_f = 1,6 \text{ V}$  quand la DEL est allumée.  
 $V_f = 0$  quand elle est éteinte ( $I_f = 0$ ).

La série E12 est constituée des valeurs suivantes ( $\times 10^3 \text{ K}\Omega$ ) : 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82.

#### 3.3.1• POUR $V_e = 0$

✍ Déterminer la valeur de  $I_b$ . En déduire la valeur de  $I_c$  ainsi que l'état du transistor.

---



---



---

#### 3.3.2• POUR $V_e = +5\text{V}$

✍ Etablir l'expression de  $R_2$  en fonction de  $V_{cc}$ ,  $V_{ce}$ ,  $V_{led}$  et de  $I_c$  :

---



---



---

✍ Calculer  $R_2$  pour que le courant  $I_f$  dans la DEL soit limité à 20 mA (max) :

---



---



---

✍ Choisir la valeur normalisée de  $R_2$  dans la série E12 :

---



---



---

✍ Rappeler la condition de saturation du transistor :

---



---



---

✍ Calculer  $I_{b \text{ sat min}}$  (valeur minimale du courant de base assurant la saturation du transistor) :

---



---



---

✍ Etablir l'expression de  $R_1$  en fonction de  $V_e$ ,  $V_{be}$  et de  $I_b$  :

---



---



---

✍ Calculer  $R_1$  pour que le transistor soit saturé lorsque le signal d'entrée vaut 5V. Choisir la valeur normalisée de  $R_1$  dans la série E12.

---



---



---

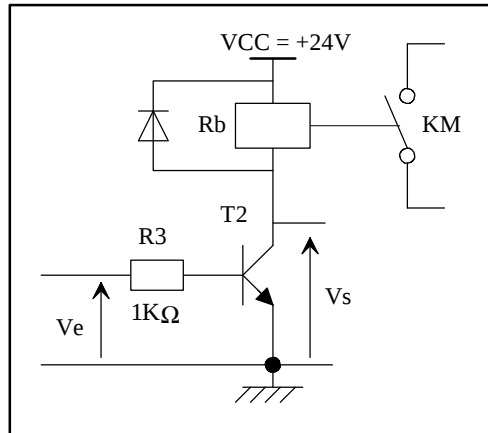
### 3.4 TRANSISTOR BIPOLAIRE : COMMANDE D'UN RELAIS

On donne un exemple de schéma de commande d'un relais (pour une sortie TOR d'un automate par exemple).

Le transistor T2 fonctionne en commutation (bloqué / saturé) et commande l'alimentation de la bobine du relais. **Il possède les mêmes caractéristiques que celui utilisé page 7.**

La tension d'entrée  $V_e$  peut prendre les valeurs 0 ou 5V.

Caractéristiques du relais : La bobine du relais ( $R_b$ ) présente une résistance de  $120\ \Omega$ .



#### 3.4.1 ANALYSE QUALITATIVE

Flécher sur le schéma les courants  $I_b$  et  $I_c$  ainsi que les tensions  $V_{be}$  et  $V_{ce}$ .

Compléter le tableau suivant en indiquant l'état du transistor T2 et du contact KM du relais pour chacune des valeurs de  $V_e$  :

| $V_e$ (V) | état de T2<br>(bloqué / saturé) | Valeur de $V_s$ | position du contact<br>(ouverte / fermée) |
|-----------|---------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| 0         |                                 |                 |                                           |
| 5         |                                 |                 |                                           |

#### 3.4.2 VÉRIFICATION DE LA SATURATION DU TRANSISTOR

Cette analyse a pour but de vérifier que le transistor fonctionne effectivement en régime de commutation.

✍ Etablir l'expression de  $I_c$  en fonction des éléments du montage :

---



---



---

✍ Calculer  $I_{c\ sat}$  (en supposant que le transistor est saturé) :

---



---

✍ Rappeler la condition de saturation du transistor :

---



---

✍ Calculer  $I_{b\ sat\ min}$  (valeur minimale du courant de base assurant la saturation du transistor) :

---



---

✍ Etablir l'expression de  $I_b$  en fonction des éléments du montage :

---



---

✍ Calculer la valeur de  $I_b$  réel :

---



---

✍ Vérifier que la condition de saturation du transistor est réalisée :

---



---



---