

LE TRANSISTOR

Table des matières

1. Présentation.....	2
2. Polarisation d'un transistor.....	3
2.1. Règles.....	3
2.2. Caractéristiques d'un transistor.....	3
2.3. Principe.....	3
2.4. Calcul de la résistance de base.....	4
3. Autres transistors.....	5
3.1. Le transistor PNP.....	5
3.2. Le transistor MOS.....	5
4. Exercices d'application.....	5
4.1. Question 1 :.....	5
4.2. Question 2 :.....	6
5. Test des transistors.....	6
5.1. Les transistors "Darlington".....	8
5.2. Les transistors à "effet de champ".....	8
5.3. Brochages de transistors courants.....	9

Un transistor est un dispositif électronique à base de semi-conducteur. Son principe de fonctionnement est basé sur deux jonctions PN, l'une en direct et l'autre en inverse. La polarisation de la jonction PN inverse par un faible courant électrique (parfois appelé effet transistor) permet de « commander » un courant beaucoup plus important, suivant le principe de l'amplification de courant.



1. Présentation

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



Symbole électrique :



Un transistor comporte trois connexions : L'émetteur (E), la base (B) et le collecteur (C)	
Le transistor NPN	Le transistor PNP
La base, zone de type P, est située entre deux zones de type N.	La base, zone de type N, est située entre deux zones de type P.

Remarques :

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur. C'est l'effet transistor qui permet à la diode qui est en inverse de conduire quand une tension est appliquée sur la base.



On peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes dont la représentation ci-dessus peut aider.

2. Polarisation d'un transistor

2.1. Règles

Deux sources d'alimentation sont nécessaires pour assurer un fonctionnement correct du transistor. Elles sont souvent notées :

- V_{BB} : alimentation du circuit Base
- V_{CC} : alimentation du circuit Collecteur

Remarque : L'alimentation V_{BB} est parfois réalisée à partir de V_{CC}

2.2. Caractéristiques d'un transistor

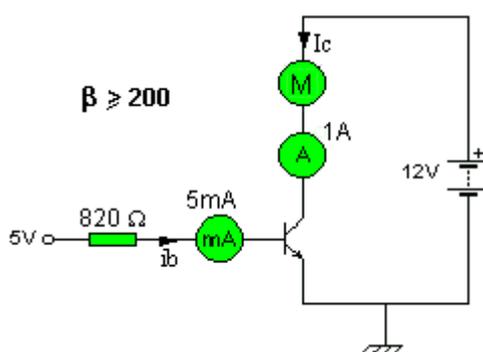
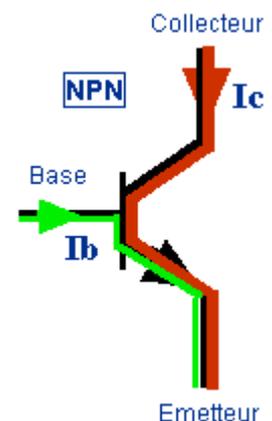
Les constructeurs donnent en général les valeurs ci-dessous à ne pas dépasser afin d'éviter la détérioration du transistor :

- V_{CEO} ou V_{MAX} : tension collecteur/émetteur maxi (à $V_{BB} = 0V$)
- V_{BEO} : tension base/émetteur maxi
- $I_{C\max}$: courant maxi dans le collecteur
- P : puissance maxi que peut dissiper le transistor (avec $P = V_{CE} \cdot I_C$)

2.3. Principe

C'est un petit courant dans la base (I_b) qui permet le passage d'un courant beaucoup plus fort du collecteur vers l'émetteur (I_c). Le courant de base est multiplié par un coefficient β :

$$I_c = \beta \cdot I_b$$



Dans le cas présent le courant dans le moteur est égal à 200 fois le courant de base.

Remarques :

Ce coefficient β (gain en courant du transistor) est souvent noté H_{fe} dans les catalogues constructeurs. Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant.

En règle générale β varie de 30 à 300 avec pour valeur courante :

- Transistors dit "petit signaux" : $100 < \beta < 300$
- Transistors dit de "puissance" : $30 < \beta < 100$

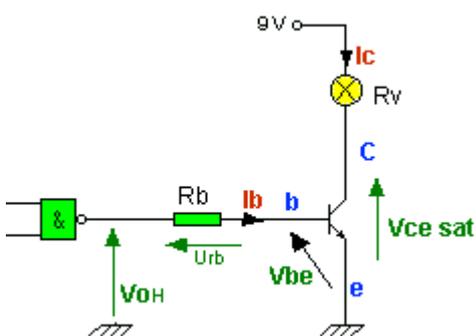
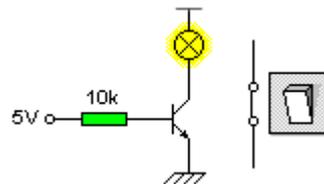
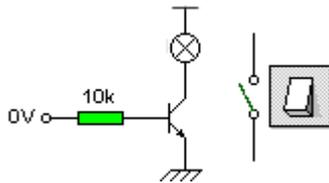
2.4. Calcul de la résistance de base

La résistance de base doit être calculée pour avoir un courant de base suffisant.

Quand le transistor est utilisé en commutation, deux cas sont possibles :

Soit le courant de base est nul et le transistor est **bloqué**. Il est équivalent à un interrupteur **ouvert**.

Soit le courant de base est suffisant et le transistor est **saturé**. Il est équivalent à un interrupteur **fermé**.



$$R_v = 50 \Omega$$

$$V_{ce \text{ sat}} = 0,2 \text{ V}$$

$$V_{be} = 0,7 \text{ V}$$

$$200 \leq \beta \leq 300$$

$$V_{OH} = 3,5 \text{ V}$$

Le point de départ pour le calcul d'une résistance de base R_b est le courant I_c .

Ce courant est calculé en fonction de la résistance de la charge et de la tension à ses bornes.

Attention, la tension $V_{ce \text{ sat}}$ est proche de 0 V mais pas nulle.

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{cesat}}{R_b} = \frac{9 - 0,2}{50} = 0,176 \text{ A}$$

Le courant de base I_b doit être suffisant pour saturer le transistor : $\beta \cdot I_b \geq I_c$

Si dans notre cas β est au moins égal à 200 d'après la documentation constructeur, il nous faut

$$I_b = \frac{0,176}{200} = 0,00088 \text{ A soit } 0,88 \text{ mA}$$

Connaissant I_b , il est maintenant possible de calculer R_b :

$$R_b = \frac{U_{rb}}{I_b}$$

et $V_{OH} = U_{rb} + V_{be}$

VOH est la tension au niveau haut en sortie de la porte NAND : VOH = 3,5V selon la documentation.

$$U_{rb} = V_{OH} - V_{be} = 3,5 - 0,7 = 2,8 \text{ V}$$

Nous pouvons calculer Rb théorique :

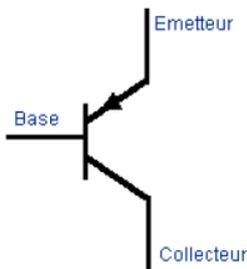
$$R_b = \frac{U_{rb}}{I_b} = \frac{2,8}{0,88 \cdot 10^{-3}} = 3181 \Omega = 3,2 \text{ k}\Omega$$

Pour garantir une bonne saturation, il est d'usage de choisir une résistance normalisée 2 à 3 fois plus petite, ou on adopte un coefficient de "sursaturation" compris entre 2 et 3 Ib.

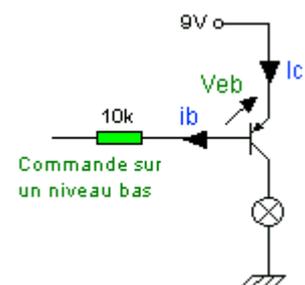
Nous choisirons Rb = 1,2 kΩ

3. Autres transistors

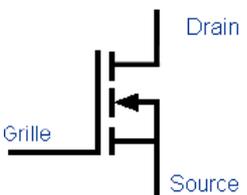
3.1. Le transistor PNP



Le courant de base change de sens et Vbe est négatif. La charge est maintenant sur le collecteur et la commande se fait sur un niveau bas.

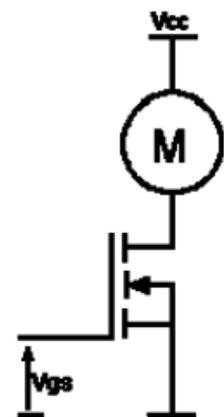


3.2. Le transistor MOS



Le courant sur la grille est nul, c'est la tension Vgs qui détermine l'état du transistor. Le courant étant nul, il est possible de commander un fort courant sans énergie de commande. On utilise souvent des MOS de puissance pour l'alimentation des moteurs à courant continu.

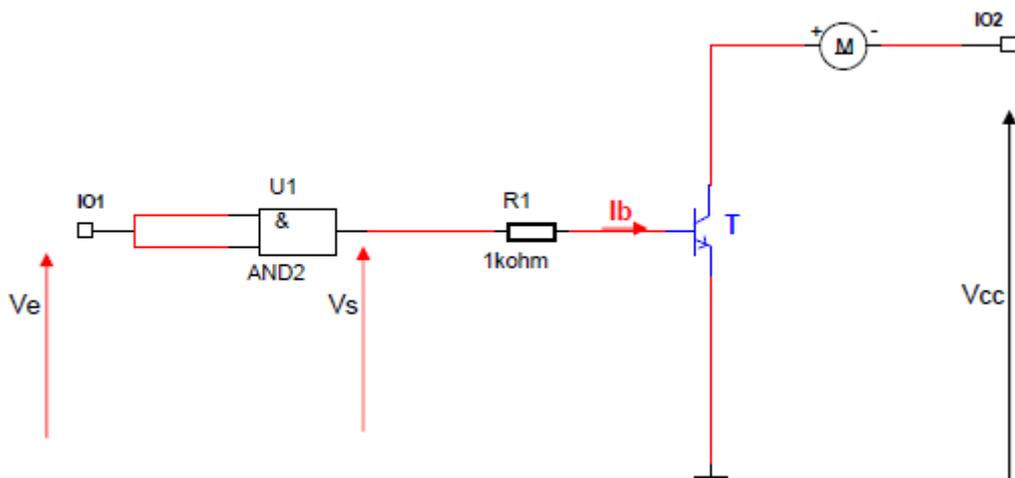
- Vgs positif => T saturé
- Vgs nul => T bloqué



4. Exercices d'application

4.1. Question 1 :

D'après le schéma et les caractéristiques page suivante, définir la tension d'alimentation Vcc ainsi que les tensions Ve et Vs.



Caractéristiques électriques du moteur : DC 20 Watts / 12 Volts.

CI : AND2 de référence SN 7408 (IOH = 20 mA maxi).

La caractéristique tension du moteur DC est de 12 V. La tension Vcc sera donc de 12 V pour que le moteur fonctionne correctement quand le transistor est saturé.

Le circuit intégré SN 7408 est un circuit de technologie TTL. Il est donc alimenté en 5 Vcc. La tension Vs à l'état haut (1L) est donc de 5 Vcc. Ve sera donc aussi de 5 Vcc car Ve = Vs du CI.

4.2. Question 2 :

Calculer la résistance de base R1 puis vérifier la compatibilité du CI avec le montage.

Il possède un Hfe de 100 à 300 on a donc $I_{b \text{ mini}} = I_c / H_{fe \text{ mini}}$ soit $1666 / 100 = 16 \text{ mA}$

Et par suite
$$R1 = \frac{V_e - V_{be}}{I_{b \text{ mini}}} = \frac{5 - 0,7}{0,016} = 268,75 \Omega \quad \text{soit } 280 \text{ Ohms (valeur normalisée)}$$

REM : On peut vérifier que $I_{b \text{ mini}}$ est $<$ à 20 mA.

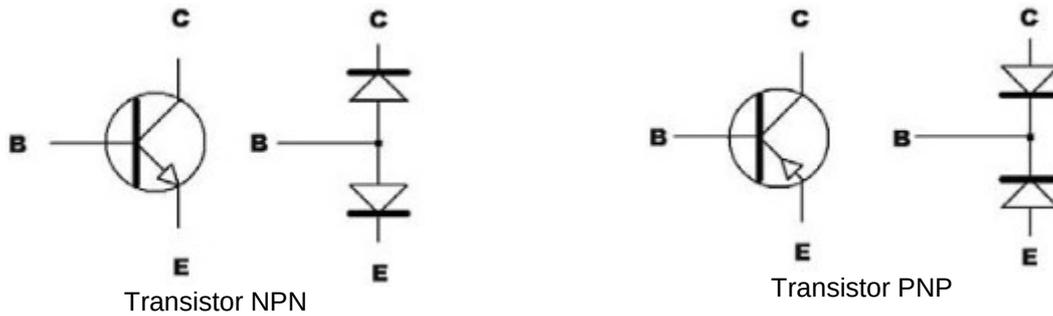
On respecte donc bien la valeur de IOH = 20 mA maxi en sortie du CI.

Mais avec ce transistor on ne peut pas adopter de coefficient de sursaturation pour Ib (2 à 5) car on dépasserait cette valeur max de IOH.

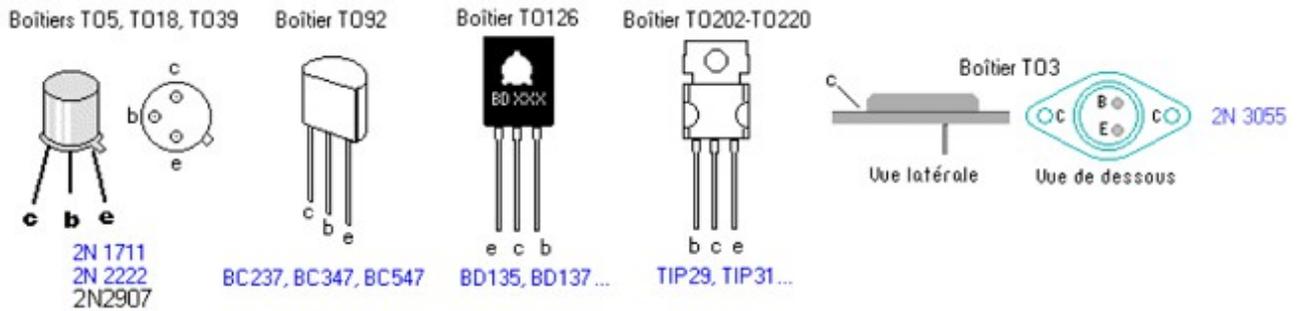
5. Test des transistors

Pour le test avec un multimètre simple, on peut comparer un transistor ordinaire à deux diodes reliées ensemble. Il suffit de positionner un des fils du multimètre sur la base du transistor, et ensuite de mesurer avec les deux autres électrodes (émetteur et collecteur). Si le transistor est du type NPN, le courant va passer quand le fil rouge du multimètre est sur la base, et que le fil noir est en contact avec l'émetteur et ensuite le collecteur. Si le transistor est du type PNP, ce sera l'inverse (fil rouge inversé avec le fil noir). Une dernière mesure entre collecteur et émetteur (dans les deux sens) devra montrer un courant nul dans les deux sens. On peut remarquer une légère fuite entre collecteur et émetteur sur les vieux transistors de puissance au germanium.

Sur un schéma, la différence entre un transistor PNP et un NPN ne se voit qu'avec le sens de la flèche de l'émetteur. Sur un PNP, la flèche est rentrante, sur un NPN, elle est sortante.



Il y a aussi toutes sortes de boîtiers différents pour les transistors, suivant son emploi et la puissance qu'il devra dissiper.



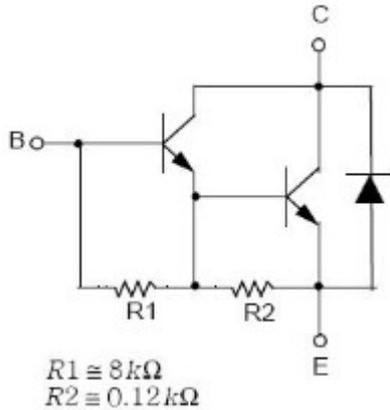
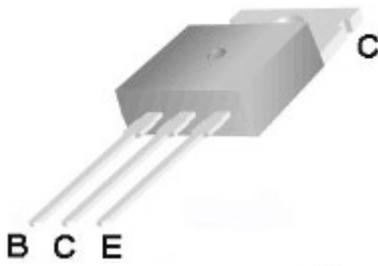
La mesure se fait hors tension avec le multimètre en position diode.

Transistor PNP		
Fil rouge (+)	Fil noir (-)	Résultat de la mesure
(B)ase	(E)metteur	∞
(B)ase	(C)ollecteur	∞
(E)metteur	(B)ase	0,550
(C)ollecteur	(B)ase	0,560
(C)ollecteur	(E)metteur	∞
(E)metteur	(C)ollecteur	∞
Transistor NPN		
(B)ase	(E)metteur	0,550
(B)ase	(C)ollecteur	0,560
(E)metteur	(B)ase	∞
(C)ollecteur	(B)ase	∞
(C)ollecteur	(E)metteur	∞
(E)metteur	(C)ollecteur	∞

∞ : infini (aucun courant ne passe)

5.1. Les transistors "Darlington"

BOITIER TO-220



Un transistor "Darlington" comporte deux transistors dans le même boîtier et quelquefois des composants supplémentaires (c'est le cas dans notre exemple, un transistor Darlington NPN, le TIP122).

La présence de ces deux transistors, de la diode et des résistances va modifier les résultats des mesures faites avec le multimètre.

Entre la (B)ase et l'(E)metteur nous allons mesurer l'équivalent de deux diodes en série (enfin presque ... Car R2 qui est de valeur assez faible va diminuer la valeur mesurée dans le sens "passant") et dans le sens inverse, nous trouverons la valeur des deux résistances R1 + R2 soit 8,12 KOhms.

Entre l'(E)metteur et le (C)ollecteur nous allons "voir" la présence de la diode.

DARLINGTON NPN		
Fil rouge (+)	Fil noir (-)	Résultat de la mesure
(B)ase	(C)ollecteur	0,574
(E)metteur	(B)ase	1,660 (2)
(C)ollecteur	(B)ase	∞
(C)ollecteur	(E)metteur	∞
(E)metteur	(C)ollecteur	0,453 (1)

∞ : infini (aucun courant ne passe)

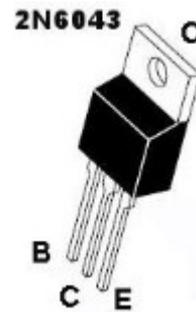
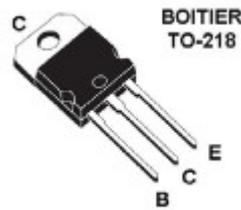
On remarque bien à la dernière ligne du tableau (1) la valeur de 0,453 qui représente la diode (dans le sens "passant" entre émetteur et collecteur. Cette valeur serait infinie si la diode était absente.

On remarque aussi la valeur de 1,660 entre base et émetteur (2) due à la présence des deux résistances R1 et R2. Cette valeur peut être infinie si les résistances étaient absentes ou en faisant la mesure avec certains appareils.

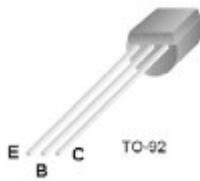
5.2. Les transistors à "effet de champ"

Ces transistors sont appelés aussi FET ou MOSFET (Field Effect Transistor). On ne peut pas les tester facilement avec un multimètre sauf s'ils sont en court-circuit franc.

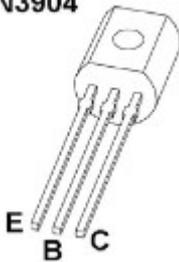
5.3. Brochages de transistors courants



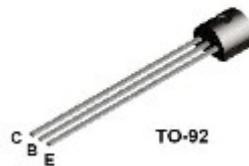
2N5401



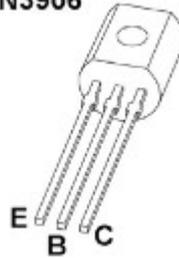
2N3904



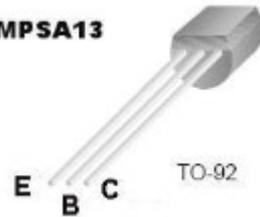
2N5551



2N3906



MPSA13



BC557
ou
BC547

