

Le Transistor Bipolaire simplifié

Table des matières

1	Un transistor bipolaire c'est quoi, ça sert à quoi ?.....	1
2	La pratique : Le transistor NPN en commutation.....	2
2.1	Cas du montage Darlington.....	2
2.2	Cas de la commande de bobinage (inductances, moteurs).....	3
3	Choix du boîtier, gamme de puissance.....	4
4	Les paramètres utiles dans le choix d'un transistor.....	5
5	Aperçu rapide du transistor en amplification analogique.....	5
5.1	Le montage dit à émetteur commun.....	6
5.2	Le montage dit à collecteur commun ou transformateur d'impédance.....	6

1 Un transistor bipolaire c'est quoi, ça sert à quoi ?

C'est un composant muni de trois pattes :
La base (b), l'émetteur (e) et le collecteur.

Un transistor sert à amplifier ou à commander. Dans l'électronique embarquée ils servent surtout à commander des courants élevés comme dans des Dels ou des relais à l'aide d'un courant beaucoup plus faible. Le courant de commande (I_b) est injecté dans la patte « base », le courant de puissance (I_c) circule du collecteur vers l'émetteur pour un transistor NPN (sens inverse pour un PNP).

On définit le gain en courant β comme étant le rapport entre le courant de collecteur I_c sur celui de commande de base I_b

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

β est de l'ordre de 100 pour un transistor « petits signaux » et peut descendre jusqu'à 20 pour un transistor de puissance.

Le transistor bipolaire vu de l'extérieur :

Il existe deux versions NPN et PNP.

Symbolisation du NPN

et

du PNP.

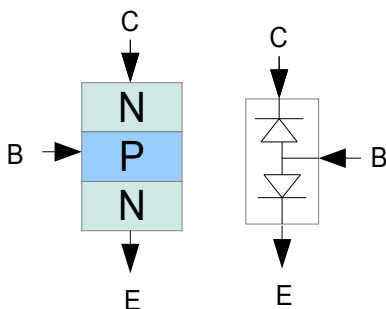


Fig 1

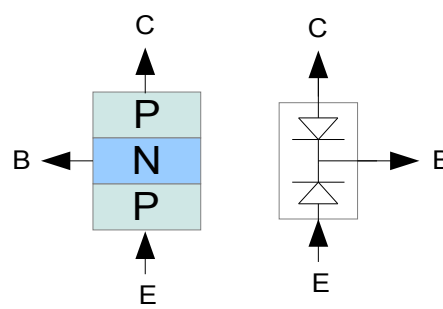


fig 2

Zone N : zone où on a réalisé un surplus d'électrons → elle est chargée négativement

Zone P : zone où on a réalisé un déficit en électrons (on dit qu'on a réalisé des « trous ») → elle est chargée positivement

Que faut-il retenir :

Dans tout les cas entre la base et l'émetteur on voit une diode polarisée en direct.

Ce qui veut dire qu'en conduction la tension Base/Émetteur doit rester voisine de 0,8V : **il ne faut jamais mettre directement 5V entre la base et l'émetteur mais toujours placer une résistance en série.**

La jonction base/collecteur est polarisée en inverse tant que le transistor n'est pas saturé, quand le transistor entre en saturation elle devient légèrement passante.

NPN ou PNP ?

Les premiers conçus étaient des PNP, la structure NPN présente de meilleures performance et s'est généralisée. Les PNP ne sont plus utilisés que dans application très particulières.

2 La pratique : Le transistor NPN en commutation.

C'est l'utilisation la plus simple et la plus courante dans le domaine de l'électronique embarquée.

Le transistor est utilisé en amplificateur de courant.

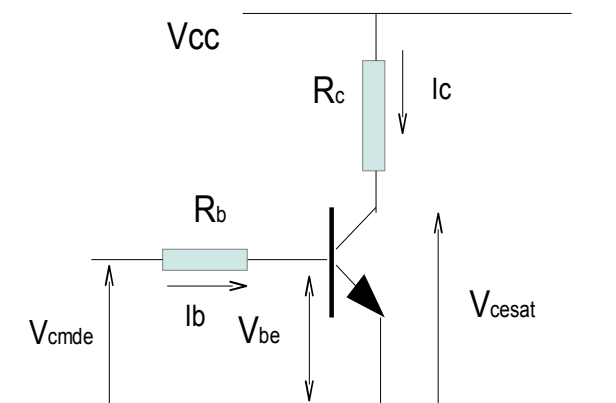


Fig 3

Le point à retenir :

Le transistor est saturé donc Vcesat est proche de 0V (typiquement < 0,4V).

Dans cette condition :

$$Ic = Vcc/Rc \rightarrow Ib = Ic/\beta.$$

Pour être sûr de saturer le transistor on fait :

$$Ib = 10 * Ib_calculé.$$

Soit :

$$Rb = (Vcmde - 0,8V) / Ib$$

2.1 Cas du montage Darlington

Tant que le courant Ic reste inférieur à 80 ou 100mA il est possible d'utiliser des transistors dit « petits signaux » mais au-delà il faut passer à des transistors de puissance qui ont le très gros défaut d'avoir peu de gain. Parfois il faut passer par un étage d'amplification. Le plus utilisé est le montage Darlington, on trouve même des montages tout intégré dans les mêmes boîtiers que les transistors de puissance.

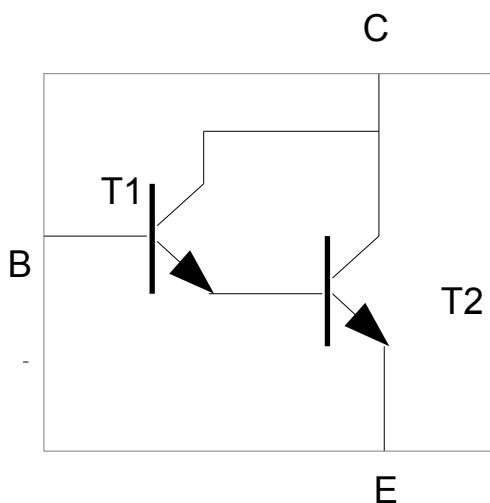


Fig 4

T1 est un transistor « petits signaux »
grand gain en courant
 $I_{cmax} < 100 \text{ mA}$
T2 est un transistor de puissance :
petit gain en courant
 $I_c > 1 \text{ A}$

On voit que $I_{bT2} = I_{eT1}$.
On a vu dans la première figure que :
 $I_{eT1} = I_{bT1} (\beta_{T1} + 1)$
Donc $I_{cT2} = \beta_{T2} (\beta_{T1} + 1) I_{bT1}$.
 β équivalent du montage darlington :
 $\beta \text{ équivalent} = (\beta_{T1} + 1) * \beta_{T2}$
Soit en pratique $\beta = 20 * (100 + 1) = 200$

Remarque importante :

Avec un montage darlington entre la base et l'émetteur on ne voit plus une seule diode mais deux en série, parfois il y a aussi une petite résistance entre E1 et B2, elle sert à stabiliser le montage. Pour la tension $V_{be_darlington}$ il faut donc maintenant tabler non plus sur 0,8 V mais sur 1,6 à 2V.

2.2 Cas de la commande de bobinage (inductances, moteurs).

Les résistances ne présentent pas de caractéristiques particulières, les inductance et les condensateurs si.

Loi n : 1 dans un condensateur la tension ne PEUT PAS s'établir ou se couper instantanément.

C'est en général bien compris et utilisé quand on se sert d'un condensateur comme réservoir de courant.

Loi n : 2 dans un bobinage **le COURANT ne PEUT PAS s'établir ou se couper instantanément.**

C'est beaucoup plus difficile à admettre.

Pour un bobinage on comprend que le courant s'établisse doucement, par contre on comprend moins bien ce qui se passe à la rupture du courant : comment le courant fait-il pour continuer et diminuer lentement alors que le transistor est bloqué c'est-à-dire que le circuit est ouvert ?

Tout simplement parce qu'un bobinage est aussi un circuit magnétique.

Le courant électrique créer un champ électrique qui lui même donne naissance à un champ magnétique.

C'est ce champ magnétique qui stocke de l'énergie dans le bobinage pendant la période de conduction. A la coupure cette énergie sera restituée et servira à créer un courant qui va compenser le courant que ne fourni plus le transistor. Ces phénomènes ont été étudiés par Lenz qui a donné son nom à la loi éponyme.

La tension de Lenz répond à la formule : $E = - L * \Delta I / \Delta T$

ΔI est la variation du courant et ΔT le temps de la coupure. On voit que le transistor étant un composant rapide la tension E peut atteindre plusieurs centaines de Volts, détruisant par là même le transistor par claquage : il se crée un arc électrique à l'intérieur du silicium de la même manière qu'il s'en produit quand on rapproche deux pointes reliées à une haute tension.

C'est pourquoi il faut toujours placer une diode en inverse en parallèle des bobinages pour court-circuiter cette tension et bien entendu le plus près possible du bobinage.

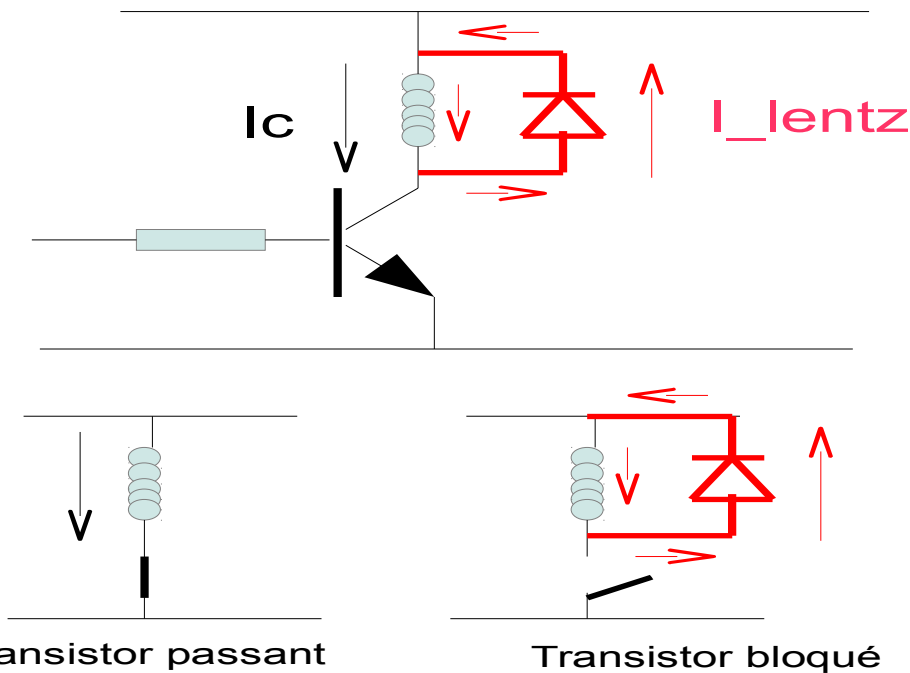


Fig 5

La diode est souvent appelée « diode de roue libre »

3 Choix du boîtier, gamme de puissance.

Il existe plusieurs types de boîtiers.

- 1) Boîtier avec des pattes comme le TO92, ou CMS comme le SOT23 (CMS = composant monté en surface, en anglais SMD pour surface mounting device).
- 2) Boîtier pour haute ou hyper fréquence, différent d'un boîtier basse ou moyenne fréquence.
- 3) Boîtier pour transistor de puissance genre TO220. Dans le domaine de l'électronique embarquée c'est le point qui nous intéressera le plus.

La chaleur provient de l'effet Joule et est proportionnelle au carré de l'intensité du courant.

La formule à connaître : $P=RI^2$ ou sous ses autres formes $P=UI$ ou $P=U^2/R$

Les transistors sont fabriqués sur du silicium. La température du silicium ne doit pas dépassé 180°C, au-delà il fond. Cette valeur de 180°C est théorique, les fabricants adaptent cette valeur à chaque modèle de transistor, on la trouve sous l'information de « température de jonction » (ou Junction Temperature).

La puissance dissipée dans un transistor est localisée dans la zone émetteur/collecteur.

$$P = V_{ce} * I_c$$

Dans notre domaine de l'électronique embarquée comme on sature les transistors le Vce est très faible ce qui est favorable.

Par analogie avec la tension et le courant on définit une résistance thermique (Rth) qui s'exprime en d°/W.

$$\Delta t = P * R_{th}$$

Exemple si $P=2,6W$ et $R_{th} = 50$ degrés par watt on aura une élévation de température égale à :
 $\Delta t = 2,6 * 50 = 130$ degrés.

Pour avoir la vraie valeur de la température de jonction il faut ajouter la température ambiante.

Si $T_{ambiante} = +25^\circ C$ la jonction sera à $+150$ d°, il fonctionnera sans risque.

Par contre si le transistor est dans une boite noire placée en plein soleil il baignera dans une température ambiante de 60 ou 70 °C et dans ce cas Tjonction sera égale à $+190^\circ C$ et la jonction fondra.

Les fabricants définissent plusieurs Rth :

Rth junction/ambient → s'utilise en absence de radiateur

Rth jonction/case → s'utilise quand on ajoute un radiateur sur le boîtier, dans ce cas pour faire le calcul la Rth équivalente est égale à la Rth jonction/case + la Rth du radiateur.

Quelques valeurs pour les boîtiers les plus courants pour fixer les esprits :

	TO92	Dpack (cms)	TO220
Rth jonction/case	NC	8 d°/W	3 d°/W
Rth jonction/ambient	400 d°/W	100 d°/W	50 d°/W

4 Les paramètres utiles dans le choix d'un transistor.

Premier réflexe à avoir : consulter la feuille de donnée du constructeur (en anglais la datasheet)

Bien distinguer les valeurs des « **ABSOLUTE MAXIMUM RATING** » des autres.

Les AMR sont des valeurs à ne jamais dépasser, en aucun cas elles ne correspondent à une utilisation permanente.

Dans les valeurs en utilisation « normale » les plus utiles sont :

Le gain en courant, bien vérifier les valeurs min et max et pas seulement la valeur typique.

La tension Vceo → définie la tension max de fonctionnement pour éviter le claquage.

La tension Vce sat → définie le résidu de tension Vce quand le transistor est saturé.

Le courant max admissible → Ic max.

La puissance et le type de boîtier.

5 Deux applications les plus populaires avec un arduino :Dels (leds) et relais

5.1 Dels

Une Del est une diode électroluminescente (en anglais Led light emmissing diode)

Sa consommation est d'environ 20mA, o n'est pas obligé d'utiliser un transistor pour la commander puisqu'un micro-contrôleur atmel peut délivrer jusqu'à 20mA mais le calcul est à connaître.

Schéma :

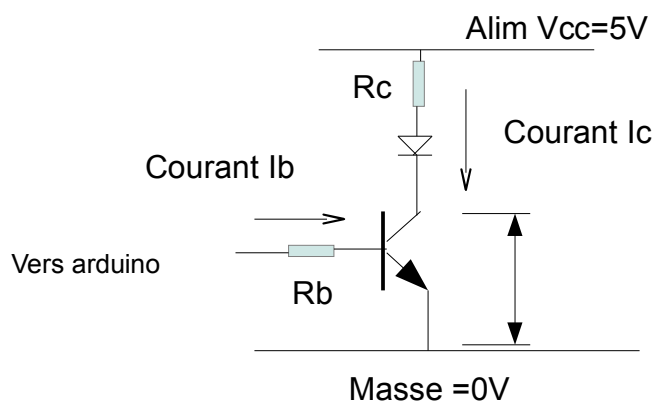


fig 6

Données dont on dispose (données du constructeur):

Courant dans la diode : 20mA

Tension aux bornes de la diode = 1,8 V.

Vcesat du transistor = 0,5V

Gain en courant du transistor B= 80.

Tension de commande qu'envoi l'arduino V=5V

Calculs :

Calcul de Rc :

On applique la loi d'ohm $U=RI$. La tension aux bornes de Rc est égale à l'alimentation Vcc diminuée de la tension aux bornes de la diode et du Vcesat du transistor.

$$V_{rc} = 5 - (1,8 + 0,5) = 2,7 \text{ V}$$

$R_c = U/I = 2,7/0,02 = 135 \text{ ohms}$ → on prendra la valeur normalisée la plus proche.

Calcul de Ib :

$I_c = 20\text{mA}$, comme $\beta = 80$ $I_b = 20\text{mA}/80 = 0,25 \text{ mA}$.

Nous travaillons en commutation, pour être certain de bien saturer le transistor et d'avoir $V_{cesat}=0,5\text{V}$ on prend un courant I_b 10 fois supérieur ce qui fait $I_b=2,5 \text{ mA}$.

Calcul de Rb :

Le calcul est quasiment identique que pour Rc.

On a vu que la tension V_{be} était voisine de 0,8V, la tension aux bornes de Rc est donc égale à :

$$V_{\text{arduino}} - V_{be}$$

$$\text{Soit } 5\text{V} - 0,8\text{V} = 4,2\text{V}$$

Donc $R_b = V_{rb}/I_b = 4,2/0,0025 = 1680 \text{ ohms}$ → on prendra la valeur normalisée la plus proche.

5.2 Commande de relais.

C'est exactement la même chose. Si on reprend la fig 5 de la page 4 on voit qu'il n'y a que la résistance de base à calculer. Pour cela il faut connaître le courant consommé par la bobine du relais.