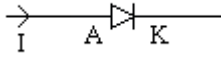


# Utilisation des semiconducteurs

## La diode



Le courant dans le sens conventionnel (du + vers le -), passe de l'anode vers la cathode :

$$I = I_{\max}/10 \Rightarrow V_{ak} = 650\text{mV}$$

$$V_{ak} < 500\text{mV} \Rightarrow I = 0$$

Sur le symbole ou sur le composant, la cathode est indiquée par un trait.

Les diodes au germanium ont un seuil plus bas.

Il existe les diodes de redressement (ex 1N4004), et les rapides (MUR1520) pour alim à découpage. Les meilleures sont les schottky (ex 1N5822), mais supportent moins de 100V en inverse...

Pour les faibles courants, il existe les diodes de signal comme la 1N4148.

Une diode polarisée ou non, peut permettre de faire passer ou non, un signal alternatif.

Jusque  $I_{\max}/10$ , le courant est exponentiel. Au dessus, on a une caractéristique affine.

Un multimètre sur la fonction diode (ou  $200\Omega$ ), indique le seuil de la diode.

Plus il est bas, meilleure est la diode.

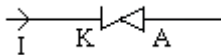
Pour 2 diodes identiques, la tension n'est pas la même, et baisse avec la température.

Donc jamais 2 diodes en parallèle, sans résistances d'équilibrage (avalanche thermique).

Si une diode a besoin d'un radiateur, on peut le réduire avec une meilleure diode.

Une diode peut servir à canaliser les effets de selfs (ex diode en parallèle sur la bobine d'un relais).

## La zener



C'est une diode dont la tension inverse maximale est plus faible.

Elle s'utilise donc à l'envers pour stabiliser une tension (à partir d'un courant de quelques mA),

ou pour protéger une entrée contre les surtensions (pour des courants plus élevés, il existe la transil).

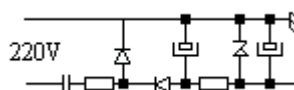
On distingue :

- l'effet zener pour les zeners de moins de 4V (moins de bruit)
- l'effet d'avalanche pour les zeners de plus de 5V (caractéristique plus raide)

Une zener est caractérisée par sa tension mais aussi par sa puissance maximale.

Pour augmenter la tension et/ou la puissance maximale, on met les zener en série.

On l'utilise pour les alimentations capacitives :

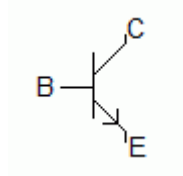


ici la tension est négative (pour amorcer un triac). Condo 400V: 33nF pour chaque mA avant la zener.

Ex : 330 ohms 500mW pour limiter le pic de courant à 1A, puis résistance pour limiter l'ondulation.

## Les transistors bipolaires :

Voici un NPN :



Les 3 pattes sont : la base, l'émetteur, le collecteur

Pour un NPN, le courant entre par la base et le collecteur et sort par l'émetteur (sens **conventionnel**).

A température ambiante pour un bipolaire au silicium :

si  $V_{be} < 0,5V$ , le transistor est bloqué.

si  $V_{be} = 0,7V$ , deux cas se présentent :

- $V_{ce} < 0,7V$ , alors on a une faible résistance entre C et E
- $V_{ce} > 0,7V$ , alors  $I_c = \beta \cdot I_b$  ( $\beta = \text{gain}$ )

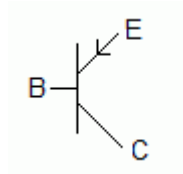
Exemple d'un transistor de signal :

- BC547A :  $100 < \beta < 200$
- BC547B :  $200 < \beta < 300$
- BC547C :  $\beta > 300$  (en simplifiant)

Pour le tester ou le reconnaître, le multi-mètre doit indiquer ces 2 jonctions :

- Base vers Emetteur
- Base vers Collecteur

Voici un PNP :



Le courant sortant par la base fait sortir un courant sur le collecteur.

Le testeur indique les jonctions E-B et C-B

Pour un transistor métallique :

- l'ergot indique l'émetteur
- vu de dessous, on trouve E-B-C en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

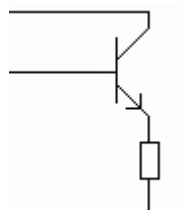
Pour les bipolaires, le  $V_{be}$  inverse maximal n'est que de quelques volts.

Le boîtier des transistors métalliques est relié au collecteur.

Au delà de la moitié du courant maximal donné par le constructeur, le gain diminue.

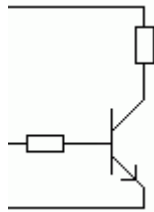
S'il existe un risque d'avalanche thermique, on place une résistance sur chaque émetteur.

## Montage en suiveur de tension :



Traditionnellement sans résistance de base ! Le courant de base s'adapte au transistor :  
 Si  $I_b$  trop fort alors  $V_{\text{émetteur}}$  augmente donc  $V_{be}$  diminue donc  $I_b$  baisse, donc  $I_b = I_c / \beta$   
 $V_s = V_e - 0,7V$  donc intéressant à partir de 12V.

### Montage en émetteur commun :



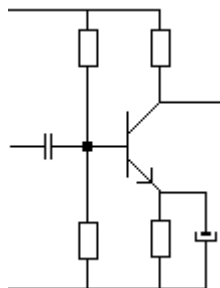
$V_s$  et  $V_e$  sont en opposition. Utile pour interfaces (ex 5V vers 12V).  
 Si le transistor est saturé, le  $I_c$  théorique, est supérieur au courant réel.  
 Ex : pour allumer une led (20mA) avec un BC547A (100mA max),  
 il doit pouvoir conduire 50mA donc 0,5mA dans la base suffit (ex 8V dans 15K $\Omega$ ).

### Polarisation :

Elle permet de faire fonctionner le transistor en régime linéaire, pour de faibles amplitudes.  
 En effet, sans polarisation, seule les alternances positives seraient amplifiées (= distorsion).

Comme le gain d'un bipolaire n'est pas précis et varie avec la température, il faut utiliser une astuce :

Si on impose 1V65 sur la base ( $I_{\text{pont}} = 10 \cdot I_b$ ), il restera 1V sur l'émetteur donc le courant dépendra essentiellement de la résistance d'émetteur  $R_e$  :

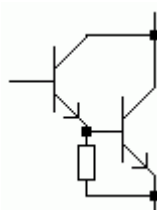


Dans ce cas, la tension minimale sur le collecteur sera de 1V6.  
 Pour une alimentation en 5V (4 piles usées), on peut imposer une tension mini de 1V sur  $R_c$ .  
 La tension de sortie peut donc varier de 1V6 à 4V, soit 2V8 au repos, soit 2V2 sur  $R_c$ .  
 $I = 1/R_e = 2,2/R_c$ . Ex  $R_e = 1K$  et  $R_c = 2K2$ .

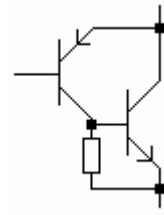
Pour éviter le bruit créé par les résistances, on peut éventuellement relier le condensateur à la masse, et brancher la source de tension entre le pont diviseur et la base...

### Darlington :

Ce montage permet de multiplier le gain de deux NPN = super NPN. ( $V_{be} = 1V4$  et  $V_{ce\_sat} > 1V$ ).



## PNP-NPN :

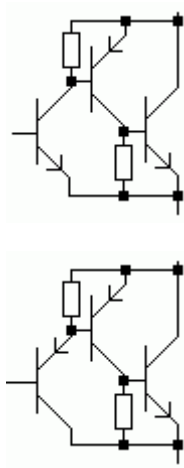


Ce montage est également utile pour les puissances 'élevées' = super PNP (avec  $V_{be}$  de 700mV).  
Si le NPN est utilisé en émetteur suiveur, ce montage offre 2 avantages :

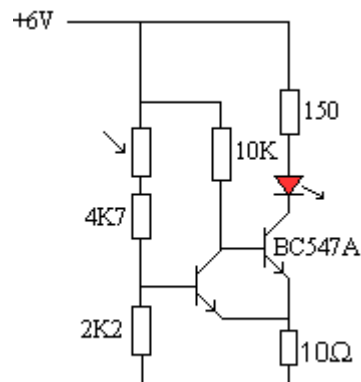
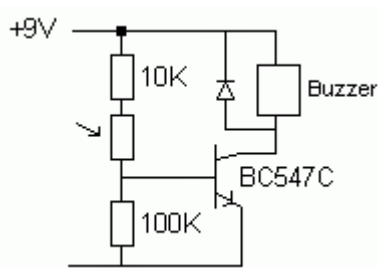
- on peut mettre plusieurs NPN sur le même radiateur
- Une résistance sur le(s) collecteur(s) permet de mesurer  $I_c$  en minimisant les pertes

Idem pour le tandem NPN-PNP quoiqu'il n'existe pas de PNP pour les puissances 'élevées'.

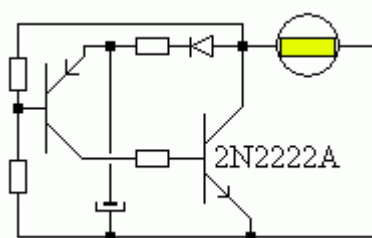
## Hyper amplification :



## Petits montages à LDR :



## Clignotant auto-alimenté :



## Les transistors à Effet de champ :

La grille, le drain et la source jouent respectivement le rôle de la base, du collecteur et de l'émetteur. L'avantage est que la résistance de la grille est quasi infinie. Son fonctionnement n'est pas linéaire.

Pour  $V_{ds}$  faible, il fonctionne en résistance variable, et pour un  $V_{ds}$  plus élevé, en source de courant.

Dans les circuits intégrés, le substrat peut être séparé de la source (fonctionnement bi-directionnel). Quelque soit le TEC, les composantes alternatives de  $V_{gs}$  et  $V_{ds}$  sont en opposition de phase.

### Le JFET :

Un JFET est un transistor de signal. On le polarise avec une résistance sur la source ( $V_{g\_moy} = 0$ ). Il existe le JFET canal N (Ex : 2N3819) :

$$V_{gs} = 0 \Rightarrow I_d \text{ maxi}$$

$$V_{gs} = -10V \Rightarrow I_d = 0$$

et le JFET canal P (ex : 2N5460) :

$$V_{gs} = 0 \Rightarrow I_d \text{ maxi}$$

$$V_{gs} = +10V \Rightarrow I_d = 0$$

### Le MOSFET :

Il existe le Mosfet canal N (Ex : BS170) :

$$V_p = V_{gs} - V_t \text{ avec } V_t \text{ tension de seuil}$$

$$V_{gs} < V_t \Rightarrow I_d = 0$$

$$V_{gs} = +10V \Rightarrow I_d \text{ maxi}$$

Grosso-modo, la zone ohmique va jusque  $V_{ds} = V_p$ , puis  $I_d \approx g \cdot V_p$

et le Mosfet canal P (Ex : BS250) :

$$V_{gs} = 0 \Rightarrow I_d = 0$$

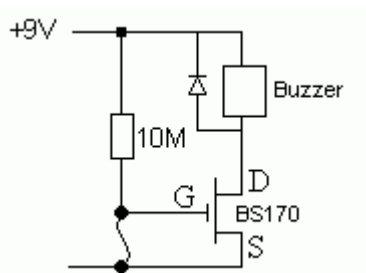
$$V_{gs} = -10V \Rightarrow I_d \text{ maxi}$$

Le  $R_{ds\_on}$  est plus élevé que pour un canal N.

Pour les NMOS supportant plus de 200V, le  $V_{ds\_on}$  est plus important que le  $V_{ce\_sat}$  d'un npn. Au delà de la moitié du courant maximal donné par le constructeur, le  $V_{ds\_on}$  devient important. Un MOS contient inévitablement une diode rapide en parallèle inverse.

Il existe aussi le MOS à appauvrissement : En fonctionnement normal  $V_{gs}$  varie autour de 0V.

### Petite alarme :



## Le transistor uni-jonction

Il s'amorce brusquement à partir d'un seuil. Ex : 2N2646

Les transistors à uni-jonction programmables sont des thyristors inversés.

Ils peuvent être utilisés pour amorcer des thyristors.

## Les thyristors

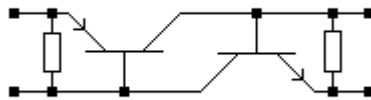
Un thyristor est comme une diode, sauf qu'il a une gâchette pour l'amorcer.

Il restera conducteur tant que le courant d'anode sera maintenu.

Le courant d'amorçage va de la gâchette à la cathode (résistance interne entre les deux).

(Il existe aussi les GTO, qui peuvent être bloqués par la gâchette)

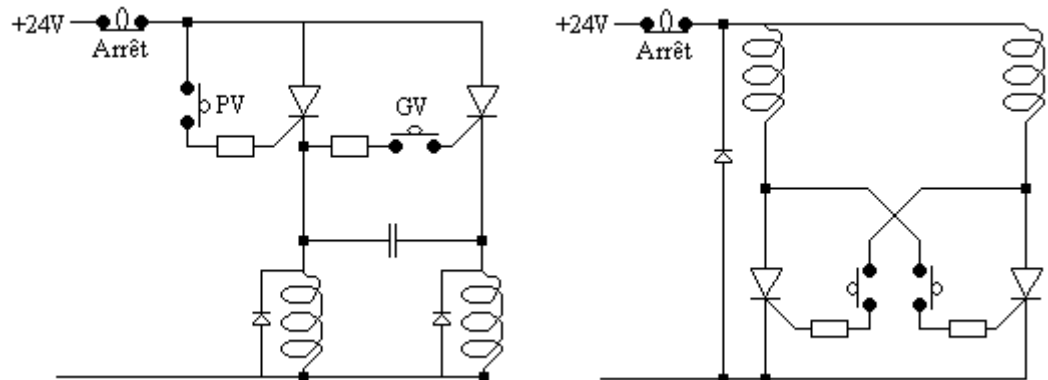
Espérons la venue du thyristor mixte :



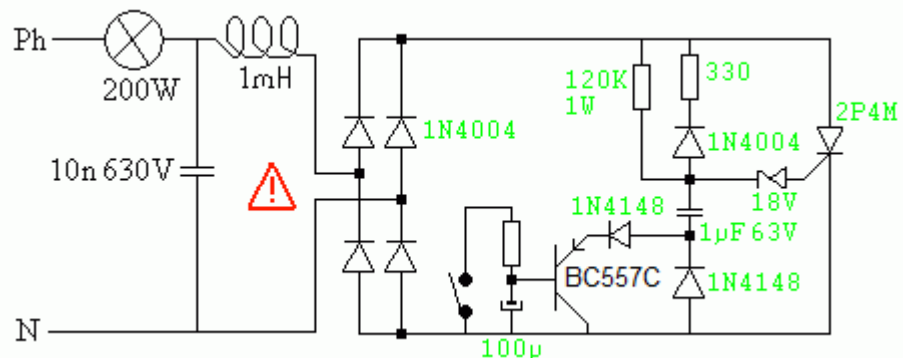
## Thyristors de signal

Ex : 2N5062 ou BT149.

Deux applications sont la commande double vitesse ou marche avant et arrière :

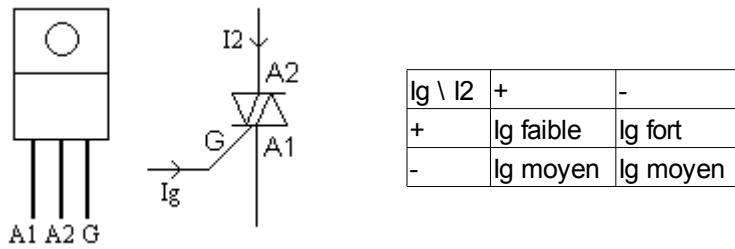


## Allumage progressif :

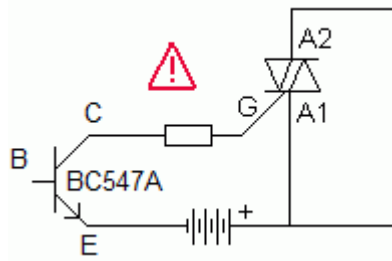


## Le triac :

Il sert à la commutation du courant alternatif. Il peut être amorcé dans 4 cadrans.  
Il reste également conducteur tant que le courant entre anodes est maintenu.

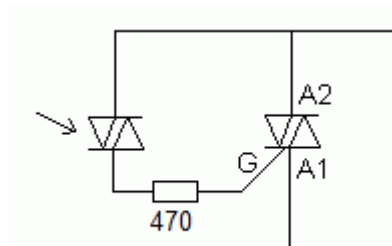


## Commande directe avec du continu :



La masse peut se trouver à une tension dangereuse, et ne peut pas être reliée à la terre.  
On peut utiliser une alimentation capacitive, et un triac 4A type BT136F amorcé par impulsion (ou TIC206 pour  $I_g$  permanent de 5mA).

## Avec transfo et opto-triac :



La masse sera reliée à la terre. On pourra utiliser :

- soit un MOC3021 et une 470 ohms 1W pour angle d'amorçage quelconque + filtre LC.
- soit un MOC3041 et une 330 ohms 500mW pour angle d'amorçage faible + filtre RC.

La self accumulera une énergie maximale de  $L \cdot I_m^2 / 2$ .

Le filtre RC pourra être fait avec un 100nF 400V et une 10 ohms en série entre A1 et A2.

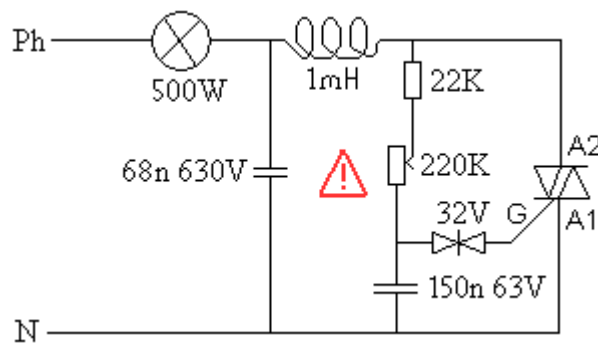
Dans ce cas, au repos, la puissance dissipée sera  $7mA \times 70mV = 500\mu W$ .

Et en fonctionnement, l'énergie dissipée au maximum 100x par seconde sera  $C U_m^2 / 2$ .

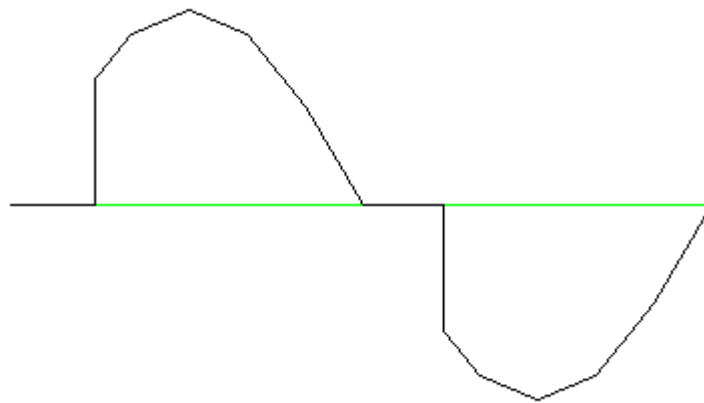
Donc la puissance moyenne dissipée sera au maximum  $f C U_m^2 / 2 = 2mW$ .

Les pics étant de 40W max, et la tension pouvant atteindre 320V à la mise sous tension, on prendra par sécurité une 1W...

## variateur à triac :



La tension dans l'ampoule aura cette forme :



Les brusques variations de tension (amorçage du triac), ne permettent pas l'utilisation d'ampoules à économie d'énergie (condensateur).

Une ampoule qui éclaire moins consomme moins, mais son rendement est moins bon.  
Ex : Consommation de 50% pour un éclairage à 30% (rayonnement infrarouge).

## Radiateur de refroidissement :

Un transistor supporte une tension et un courant maxi, mais aussi une puissance maxi, qui dépend de la taille du radiateur, la ventilation etc...  $P_{max} < U_{max} \cdot I_{max}$ .

On prend le cas le plus défavorable + marge de sécurité :  $T_{amb} = 40^{\circ}\text{C}$

Si  $T_{jonction} = 120^{\circ}\text{C}$ , et  $P_{perdue} = 10\text{W}$ , alors :

Résistance thermique totale  $R_{th} = 80/10 = 8^{\circ}\text{C/W}$

Si  $R_{th\_jonction/boitier} = 2^{\circ}\text{C/W}$  alors  $R_{th\_radiateur} = 6^{\circ}\text{C/W}$ .

La formule est  $\Delta\theta = P \cdot \Sigma R_{th}$

En 1ère approximation, pour un TO220 (triac), le radiateur est nécessaire au dessus de 1W.