

BTS CIM 2 :

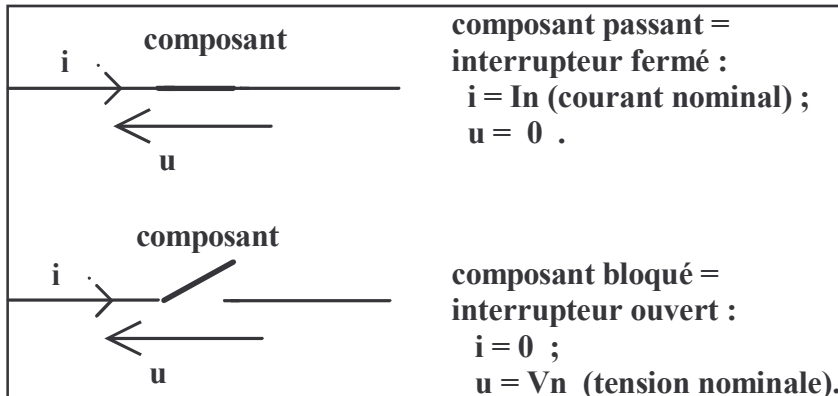
CH 16: Composants de l'électronique de puissance .

1. Introduction à l'électronique de puissance :

Entre l'électrotechnique et l'électronique s'est développée une nouvelle technique : **l'électronique de puissance** .

La mise au point de semi-conducteurs, diodes, thyristors, transistors de puissance (bipolaires et MOS) , permettant le contrôle de courants considérables, a donné un essor important à cette nouvelle technique appelée encore **électronique des courants forts**.

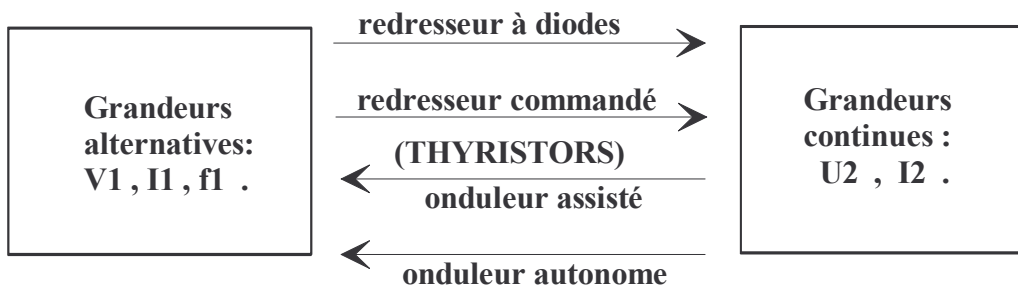
Dans les montages d'électronique de puissance, les composants fonctionnent en commutation : ils jouent le rôle d'*interrupteurs électroniques* .



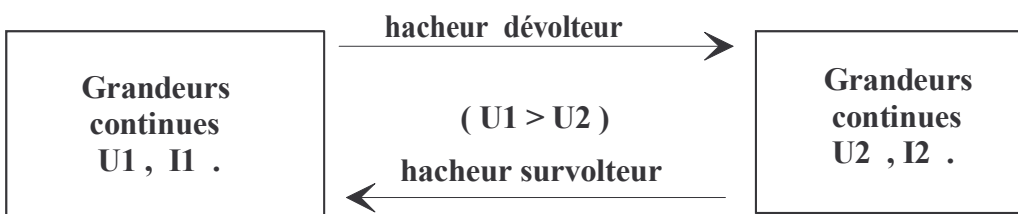
Dans les deux cas, la puissance consommée par les composants est très faible , très inférieure à la puissance qui traverse les montages, de la source vers le récepteur.

Principales fonctions :

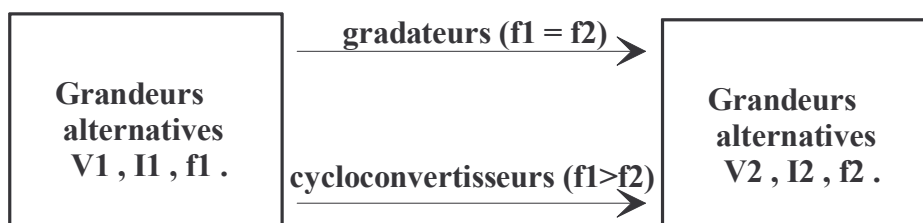
a) Conversion alternatif continu :



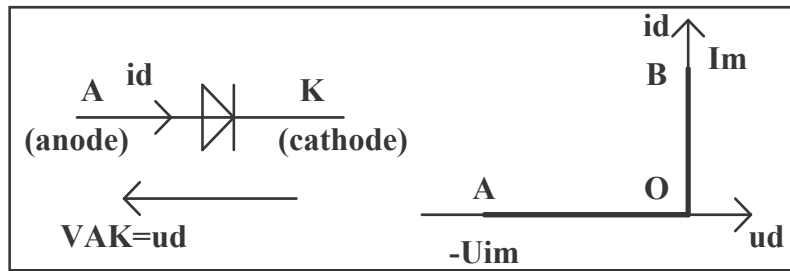
b) Conversion continu - continu :



c) Conversion alternatif - alternatif :



2. Rappel des propriétés générales des diodes :



I_m = courant direct maximal .
 U_{im} = tension inverse maximale .

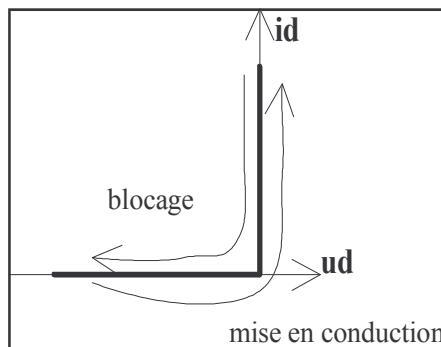
La caractéristique d'une diode idéale comporte deux branches :

Branche OA : $ud < 0$; $i_d = 0$. La diode est **bloquée** ; elle se comporte comme un **interrupteur ouvert** .

Branche OB : $i_d > 0$; $ud = 0$. La diode est **passante** ; elle se comporte comme un **interrupteur fermé** .

2.2 Conditions de mise en conduction et de blocage d'une diode :

De cette caractéristique résultent les conditions de blocage ou de mise en conduction d'une diode .



Condition de mise en conduction ou de déblocage :

Une diode bloquée se met à conduire lorsque la tension ud s'annule par valeur croissante. ($ud = 0 \nearrow$) .

Condition de blocage :

Une diode conductrice se bloque si le courant i_d s'annule par valeurs décroissantes . ($i_d = 0 \searrow$) .

2.3 Comportement dynamique d'une diode :

Lors du blocage d'une diode , on constate un phénomène apparemment contradictoire avec la forme de la caractéristique : **le passage pendant un intervalle de temps t_{rr} d'un courant inverse relativement important** . Cet intervalle est appelé temps de recouvrement inverse de la diode (*reverse recovery time*) . Cet intervalle peut différer considérablement suivant le type de diode utilisé . L'existence de ce courant inverse limite la fréquence d'utilisation de ces composants .

2.4 Caractéristiques techniques :

Les constructeurs indiquent les caractéristiques techniques limites de fonctionnement des diodes (*il est indispensable de connaître les notations anglo-saxonnes*):

I_{FAV} = courant direct moyen maximal (*maximum average forward current*)

I_{FRM} = courant direct de pointe répétitif (*maximum peak repetitive forward current*)

I_R = courant inverse continu (*continuous reverse current*)

V_F = tension directe continue (*continuous forward voltage*)

V_{RRM} = tension inverse de pointe répétitive (*repetitive peak reverse voltage*)

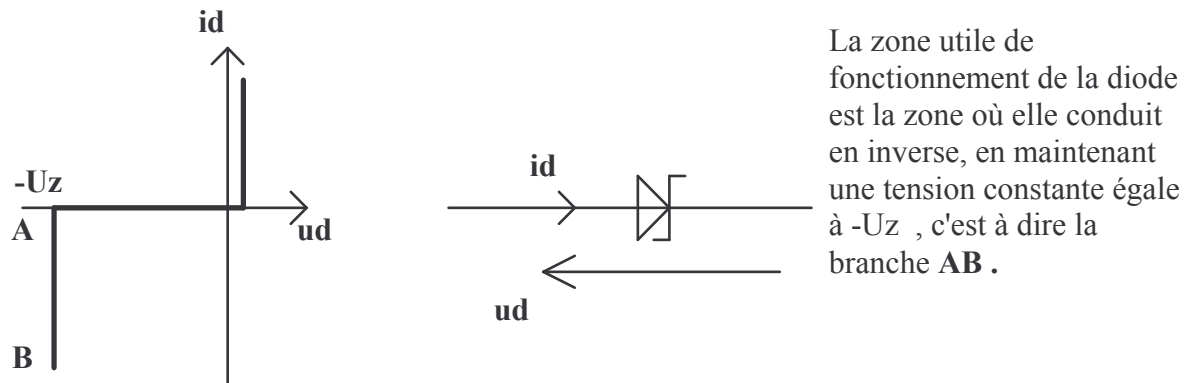
t_{rr} = temps de recouvrement inverse d'une diode (*reverse recovery time*)

r = résistance différentielle ou dynamique (*differential resistance*)

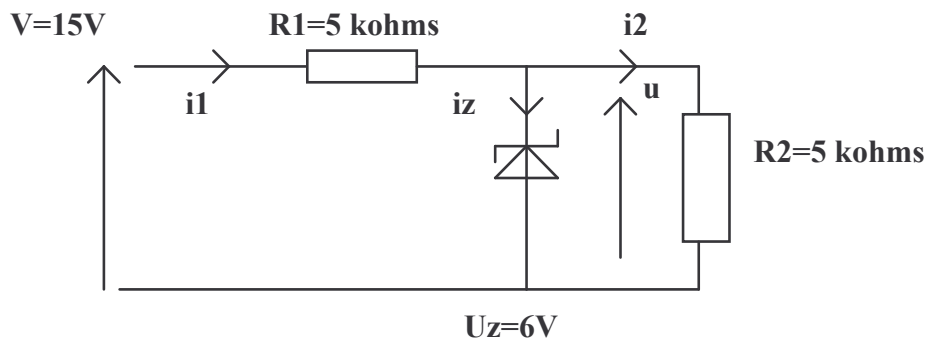
$R_{TH(JC)}$ = résistance thermique jonction-boîtier (*junction case thermal resistance*)

2.6 Fonctionnement d'une diode Zener :

Une diode Zener est une diode qui laisse passer le courant en inverse lorsqu'on lui applique une tension inverse suffisante , appelée tension de Zener : $-U_z$.D'où la caractéristique:

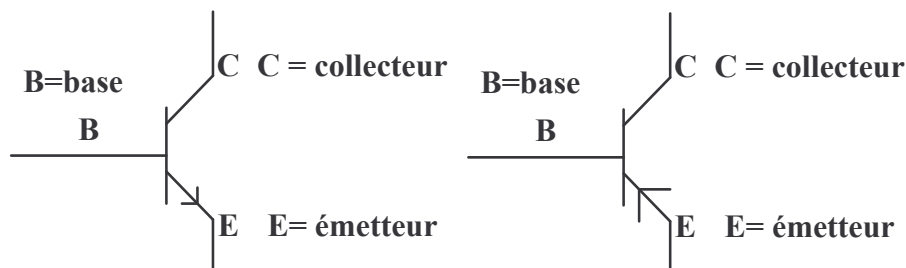


Exemple d'un montage où la diode zener est utilisée en régulation de tension :

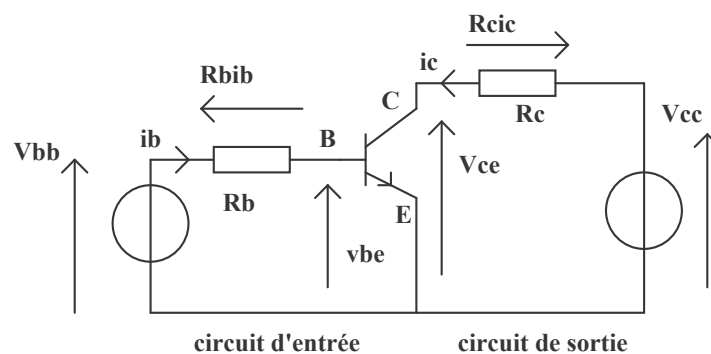


Si la diode zener joue son rôle, elle conduit en inverse et $u = U_z=6V$.
 Alors $i_2= u/R_2=6/5= 1,2\text{ mA}$; $i_1= uR_1/R_1= (V-u)/R_1 = (15-6)/5= 1,8\text{ mA}$.
 On peut alors calculer i_z :
 $i_z= i_1-i_2= 1,8 - 1,2 = 0,6\text{mA}$. La puissance consommée par la diode est :
 $P_z = u.i_z = 6.0,6 = 3,6\text{mW}$.

3 Fonctionnement du transistor bipolaire NPN :

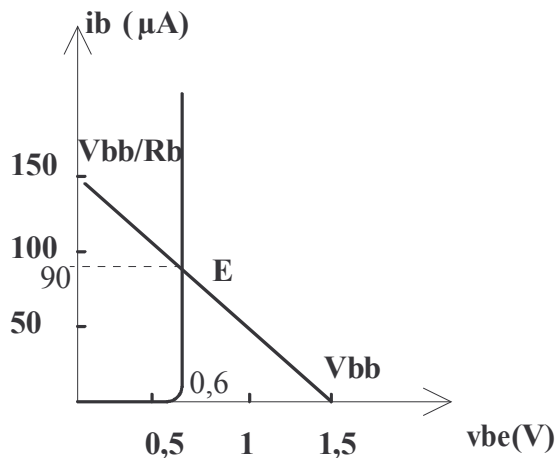


3.1 Montage :



3.2 Caractéristique d'entrée : C'est la caractéristique $i_b = f(v_{be})$.

La jonction entre la base et l'émetteur est comparable à celle d'une diode à jonction P-N. Il existe une tension v_{be} de l'ordre de 0,6V, appelée tension de seuil à partir de laquelle le courant i_b peut traverser la jonction :



Si R_b et V_{bb} sont constants, la relation qui lie les grandeurs électriques du circuit d'entrée est l'équation d'une droite qu'on appelle la **droite d'attaque** du circuit d'entrée du transistor:

$$V_{bb} = v_{be} + R_b i_b \text{ . D'où :}$$

$$i_b = (V_{bb} - v_{be}) / R_b \text{ .}$$

Cette équation permet de tracer cette droite avec deux points particuliers :

$$i_b = 0 \text{ pour } v_{be} = V_{bb};$$

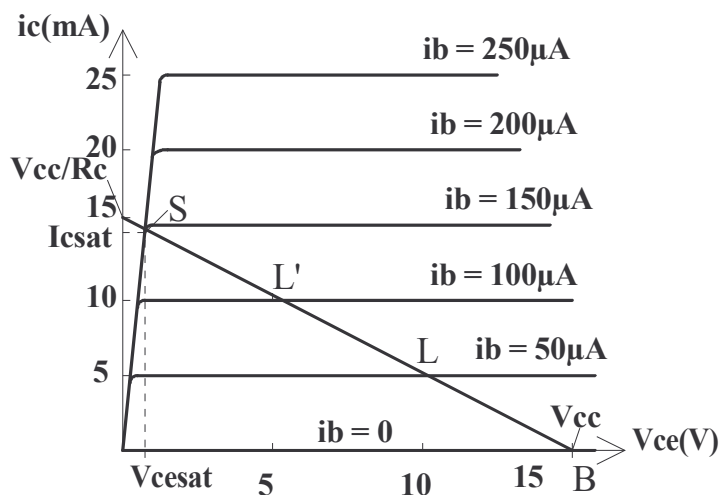
$$i_b = V_{bb}/R_b \text{ pour } v_{be} = 0 \text{ .}$$

Le point E, point d'intersection de cette droite et de la caractéristique d'entrée du transistor est le **point de fonctionnement du circuit d'entrée**.

A.N. : Si $V_{bb} = 1,5 \text{ V}$ et $R_b = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{bb}/R_b = 1,5/10 = 0,15 \text{ mA} = 150 \mu\text{A}$.

Si on considère que la caractéristique est une verticale correspondant à $v_{be} = 0,6 \text{ V}$, on a : $i_b = (V_{bb} - v_{be})/R_b = (1,5 - 0,6)/10 = 0,9/10 = 0,09 \text{ mA} = 90 \mu\text{A}$.

3.3 Caractéristiques de sortie : Ce sont les caractéristiques $i_c = f(v_{ce})$ pour différentes valeurs de i_b :



On constate que la caractéristique $i_c = f(v_{ce})$ dépend de l'intensité du courant de base i_b .

Pour $i_b = 0$, $i_c = 0$, quelle que soit la valeur de V_{ce} . **Le transistor est bloqué.**

Lorsque i_b augmente, les caractéristiques ont la forme indiquée ci-contre.

Le point de fonctionnement du circuit de sortie du transistor dépend donc du courant i_b .

L'application de la loi des branches au circuit de sortie donne :

$V_{cc} = V_{ce} + R_c i_c$. Soit $i_c = (V_{cc} - V_{ce})/R_c$. Cette équation est encore l'équation d'une droite qui est la **droite de charge** du transistor. On peut déterminer deux points de cette droite : **pour $i_c = 0$, on a $V_{ce} = V_{cc}$** . **Pour $V_{ce} = 0$, on a $i_c = V_{cc}/R_c$** .

A.N. : si $V_{cc} = 15 \text{ V}$ et $R_c = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{cc}/R_c = 15/1 = 15 \text{ mA}$.

Le point de fonctionnement du circuit de sortie du transistor est situé à l'intersection de cette droite de charge et de la caractéristique correspondant à une certaine valeur de i_b .

Trois cas sont possibles :

$i_b = 0$; $i_c = 0$: le point de fonctionnement est le point B : transistor bloqué.

Le transistor se comporte alors comme un interrupteur électronique ouvert . La tension à ses bornes (entre le collecteur et l'émetteur) est égale à la tension d'alimentation

Fonctionnement linéaire : point L :

Lorsqu'on augmente i_b , le point de fonctionnement "monte" sur la droite de charge. On atteint ainsi un point tel que le **point L** . L signifie que le transistor fonctionne alors **linéairement** . En effet, on constate que pour des valeurs suffisantes de V_{ce} , **le rapport i_c/i_b est constant** . Ce rapport noté β est appelé coefficient d'amplification statique en courant .

$$\beta = i_c/i_b$$

A.N. : pour le transistor pris pour exemple, on a $\beta = i_c/i_b = 10\text{mA}/100\mu\text{A} = 100$.
Le fonctionnement reste linéaire tant que le point L se situe sur des portions horizontales des caractéristiques $i_c = f(V_{ce})$.

Transistor saturé ; point S :

Si on augmente encore i_b , le point L remonte, vers L', et on arrive au point S . S est atteint pour une valeur de i_b appelée I_{bjsat} (*intensité de base de juste saturation*) . La tension V_{ce} devient alors V_{cesat} (*tension de saturation du transistor*) , tension faible, le plus souvent inférieure à 1 volt. L'intensité de collecteur du transistor atteint I_{csat} (*intensité de saturation du transistor*). **Le transistor se comporte comme un interrupteur fermé.**

On a $I_{csat} = (V_{cc} - V_{cesat}) / R_c$. Et $I_{bjsat} = I_{csat} / \beta = (V_{cc} - V_{cesat}) / \beta R_c$.

A.N. : Si $V_{cesat} = 0,5 \text{ V}$, on $I_{csat} = (V_{cc} - V_{cesat}) / R_c = (15 - 0,5) / 1 = 14,5 \text{ mA}$.

Alors : $I_{bjsat} = I_{csat} / \beta = 14,5 / 100 = 0,145 \text{ mA} = 145 \mu\text{A}$.

On a beau, alors, augmenter encore i_b au-delà de I_{bjsat} , le point de fonctionnement reste "calé" au point S , sans que le courant $i_c = I_{csat}$ n'augmente . C'est pourquoi on parle de *saturation du transistor* . Lorsque $i_b > I_{bjsat}$, $i_c = I_{csat}$ restant constant , si on augmente i_b , le rapport i_c/i_b cesse d'être constant . Alors $i_c/i_b = I_{csat}/i_b < \beta$.

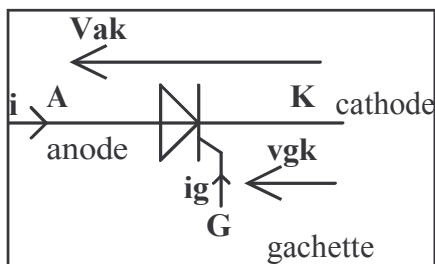
Fonctionnement du transistor en commutation :

Lorsque le transistor fonctionne en commutation, c'est à dire lorsqu'il joue le rôle d'interrupteur électronique, le point de fonctionnement ne cesse de se déplacer entre les points **B(interrupteur ouvert)** et **S(interrupteur fermé)** .

Remarque : Lorsque des courants importants sont mis en jeu (dans les transistors de puissances), dépassant 15 A , il faut utiliser des dispositifs appelés circuits d'aide à la commutation (CALC) qui permettent aux commutations de s'effectuer sans que le transistor ne s'échauffe de façon excessive.

4. Fonctionnement du Thyristor :

Un **Thyristor** est un **redresseur commandé** . En effet, c'est un composant qui, comme une diode à jonction P-N, ne laisse passer le courant que dans un seul sens, mais qui, en plus, doit recevoir un signal de commande pour être effectivement conducteur.

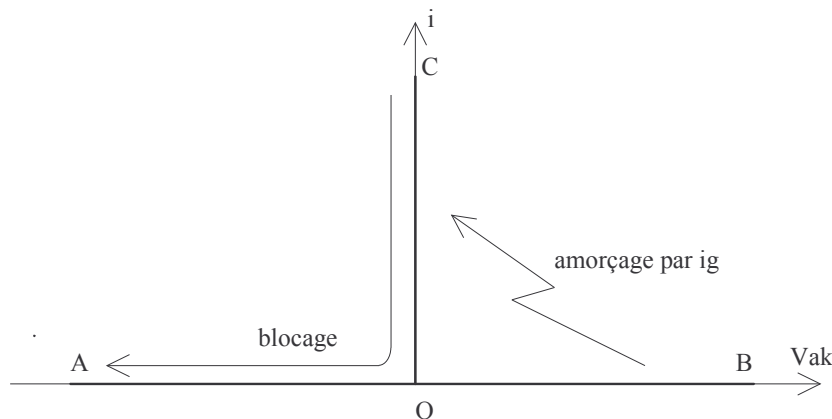


Il existe électrode supplémentaire appelée gâchette, en plus de l'anode et de la cathode.

C'est en appliquant une tension entre la gâchette et la cathode que l'on envoie par l'intermédiaire de circuits spécialisés les impulsions de courant i_g nécessaires à l'"amorçage" du Thyristor".

On peut ainsi amorcer le thyristor, c'est à dire provoquer sa mise en conduction au moment souhaité compte-tenu de l'application dans laquelle il est utilisé.

Caractéristique statique simplifiée :



Cette caractéristique met en évidence plusieurs branches:

Branche OA : Thyristor bloqué sous tension inverse: le thyristor reste dans tous les cas bloqué s'il est soumis à une tension négative.

Branche OB : Thyristor bloqué sous tension directe : le thyristor reste bloqué s'il est soumis à une tension v_{ak} positive, *en l'absence de courant de gâchette*.

Branche OC : Si, lorsque v_{ak} est positive, on envoie un courant de gâchette suffisant pendant un intervalle de temps suffisant, le thyristor se met à conduire : c'est le phénomène d'amorçage du thyristor. Dès la mise en conduction du thyristor, la tension v_{ak} s'annule brusquement. On peut ensuite supprimer le courant de gâchette; le thyristor reste conducteur tant que le courant principal i reste suffisant .

Pour que le thyristor soit bloqué à nouveau, il faut que le courant s'annule, et que le thyristor soit soumis à nouveau à une tension inverse, pendant un intervalle de temps au moins égal à t_q , appelé *temps de blocage du thyristor* .

Ces propriétés du thyristor permettent d'énoncer les *conditions de mise en conduction et de blocage d'un thyristor* :

Pour qu'un thyristor bloqué se mette à conduire, il faut que v_{ak} soit positive et que i_g soit positive. ($v_{ak} > 0$ & $i_g > 0$).

Pour qu'un thyristor conducteur soit bloqué, il faut que le courant s'y annule par valeurs décroissantes. ($i = 0 \searrow$).

ANNEXES sur le fonctionnement du transistor bipolaire:

A1: PUISSANCE:

La puissance consommée par un transistor bipolaire en régime statique est égale à la somme des puissances consommées entre la base et l'émetteur et entre la base et le collecteur:

$$P_T = V_{ce}.i_c + V_{be}.i_b$$

(P_T en watts; v_{be} et v_{ce} en volts ; i_b et i_c en

Dans la majorité des cas, en l'absence de saturation du transistor, on a :

$v_{be} < v_{ce}$ et $i_b < i_c$. Dans ces conditions la puissance consommée par le transistor se réduit à :

$$P_T = V_{ce}.i_c$$

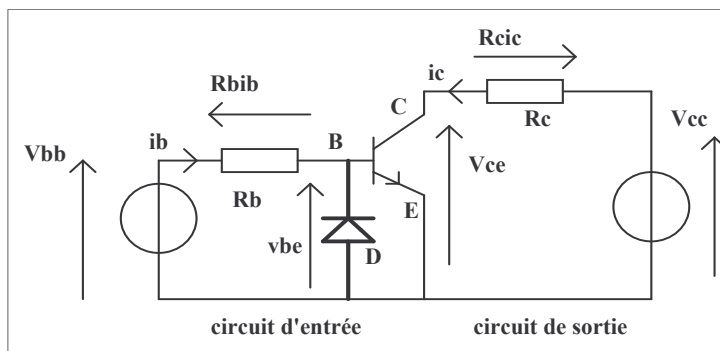
(P_T en watts; v_{ce} en volts ; i_c en ampères.)

Il faudra, bien sûr, choisir le transistor de façon à ce qu'il puisse supporter la puissance calculée en régime permanent. Il pourra être nécessaire de monter le transistor sur un radiateur permettant de bonnes conditions de refroidissement.

A2: Protection de la jonction Base Emetteur :

Notamment lors du fonctionnement du transistor en commutation, pour rendre le blocage du transistor plus rapide et plus efficace, on peut être amené à appliquer à l'entrée du circuit de base du transistor une tension V_{bb} négative. Cela se traduit par l'existence d'une tension v_{be} négative. Or si cette tension devient trop négative, on risque le claquage du transistor. C'est pourquoi, on est amené

à placer une diode, en parallèle inverse aux bornes de la jonction base-émetteur du transistor (voir schéma ci-contre). De cette façon, la tension v_{be} ne pourra pas être inférieure à $-V_D$, V_D étant la tension de seuil de la diode (entre 0,5 et 1volt).



A3: Protection de la jonction Collecteur-Base:

Notamment lors du fonctionnement du transistor en commutation, il arrive souvent que le transistor serve d'interrupteur électronique dont le rôle est de commander le fonctionnement d'un élément inductif (relais, induct d'un moteur à courant continu). Dans ces conditions, lors du blocage du transistor (passage de l'état saturé à l'état bloqué), la tension V_{ce} peut devenir très élevée pendant un intervalle de temps très court. En effet, si le circuit est inductif, on a :

$$V_{ce} = V_{cc} - R_{ic} - L \cdot \frac{di_c}{dt}$$

Au blocage du transistor, i_c décroît et $L di_c/dt$ est négatif et peut être élevé. Par exemple: si $V_{cc}=30V$ et $L di_c/dt = -60V$, alors: $v_{ce} \sim 30 - (-60) = 90V$. Cette tension relativement élevée peut entraîner la destruction du transistor. Pour éviter cette destruction, on est amené à placer une diode en parallèle inverse avec la charge.

