

## THYRISTORS ET TRIACS

### VI.1 LES THYRISTORS

#### VI.1.1 Constitution

Le thyristor est constitué par la juxtaposition de trois jonctions P-N. C'est un barreau de semi-conducteur au silicium à quatre couches alternativement dopées P et N.

- La couche extrême de type P ou couche d'anode porte une électrode : l'anode (A). Cette couche et d'épaisseur moyenne, son dopage n'est pas uniforme. Très faiblement dopée au voisinage de la jonction d'anode afin d'assurer une bonne tenue en tension en polarisation inverse ( $J_A$  en inverse), elle est dopée de façon plus importante près du contact métallique d'anode pour améliorer la conductivité en polarisation directe.
- La couche extrême de type N ou couche de cathode est munie d'une électrode : la cathode (K). Cette couche est très mince et très fortement dopée. En raison de ce dopage important, la jonction de cathode présente une très faible tenue en inverse.
- La couche interne de type P ou couche de commande est dotée de l'électrode dite de commande : la gâchette (G). Cette couche est très mince et très faiblement dopée.
- La couche interne de type N est appelée couche de blocage. Cette couche est très épaisse et très faiblement dopée. Ce faible dopage permet au thyristor d'avoir une bonne tenue en tension en polarisation directe ( $J_C$  en inverse).

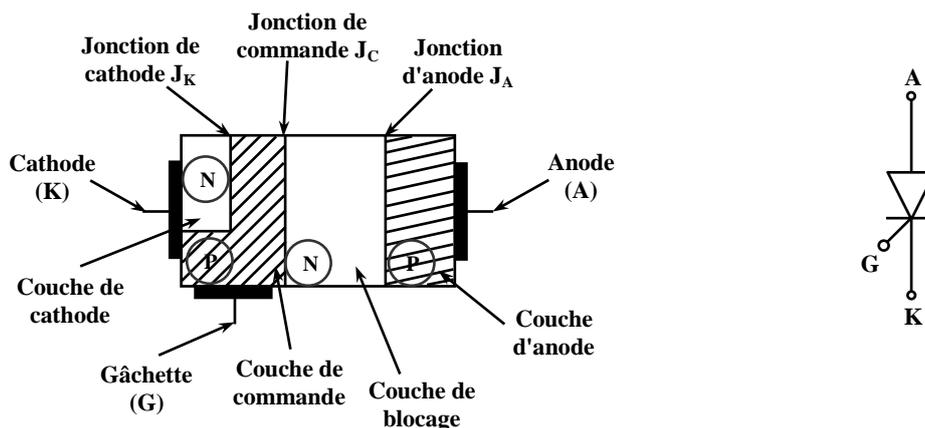


Figure VI.1 : Constitution et symbole d'un thyristor

Cette description fait apparaître successivement trois jonctions P-N :

- La jonction couche d'anode - couche de blocage dite jonction d'anode  $J_A$ .
- La jonction couche de blocage - couche de commande dite jonction de commande  $J_C$ .
- La jonction couche de commande - couche de cathode dite jonction de cathode  $J_K$ .

Le thyristor sera polarisé en direct si la tension  $V_{AK} = (V_A - V_K)$  est positive. Les jonctions  $J_A$  et  $J_K$  sont alors en direct et la jonction  $J_C$  en inverse.

Le thyristor sera polarisé en inverse si la tension  $V_{AK}$  est négative. Les jonctions  $J_A$  et  $J_K$  sont alors en inverse et la jonction  $J_C$  en direct.

### VI.1.2 Analyse de fonctionnement

Le montage de la figure VI.2, comprend un circuit de gâchette de faible puissance et un circuit d'anode de forte puissance.

• En polarisation directe ( $E_A > 0$ ) :

– Lorsqu'il n'y a pas un signal de commande (k ouvert donc  $I_G = 0$ ) :

Pour  $E_A < V_{AK0}$  ( $V_{AK0} = 34$  V pour le MCR 106) :  $I_A = 0$  et  $V_{AK} \approx E_A$ , le thyristor se comporte comme un circuit ouvert, on dit qu'il est bloqué.

Pour  $E_A \geq V_{AK0}$  :  $I_A = (E_A/R)$  et  $V_{AK} \approx 0,8$  V, le thyristor se comporte comme un court-circuit, on dit qu'il est amorcé.

La tension  $V_{AK0}$  pour laquelle le thyristor s'amorce est appelée tension de retournement ou tension d'amorçage à courant de gâchette nul.

Le thyristor étant amorcé, si on diminue la tension  $E_A$ , le thyristor reste conducteur jusqu'à une certaine valeur du courant  $I_A$  noté  $I_H$  est appelé courant de maintien, puis il se bloque.

– Lorsqu'il y a un signal de commande (k fermé donc  $I_G > 0$ ) :

Pour  $I_G = 5$  mA, le thyristor s'amorce pour  $E_A = 15$  V, et pour  $I_G = I_{GT}$ , le thyristor s'amorce pour tout  $E_A$  positif. Dans tous les cas, lorsque le thyristor est amorcé, si l'on ouvre l'interrupteur k ( $I_G = 0$ ), le thyristor reste conducteur. Pour se bloquer, il est nécessaire, soit de diminuer le courant  $I_A$  en dessous de la valeur  $I_H$ , soit d'inverser la tension d'alimentation  $E_A$ .

• En polarisation inverse ( $E_A < 0$ ) : La présence du courant de gâchette n'a aucune influence.

– Pour  $E_A > -35$  V,  $I_A \approx 0$  et  $V_{AK} \approx E_A$ . Le thyristor est bloqué.

– Pour  $E_A \leq -35$  V, le courant  $I_A$  croit brusquement, mais la tension  $V_{AK}$  reste pratiquement égale à  $-35$  V. Il est nécessaire de limiter le courant  $I_A$  pour éviter une dissipation de puissance excessive. Le thyristor est alors en régime de claquage.

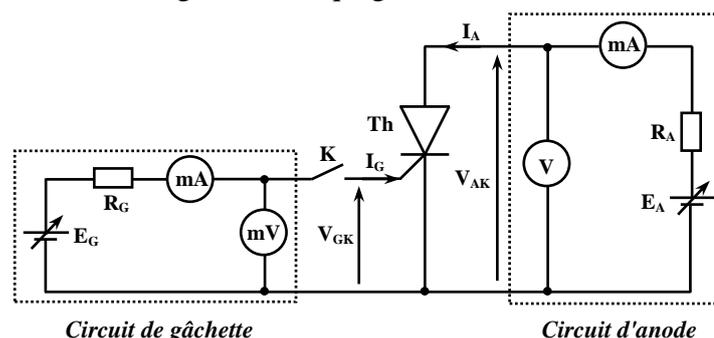


Figure VI.2 : Circuit de polarisation d'un thyristor

### VI.1.3 Caractéristiques du thyristor

Un montage à thyristor (figure VI.2) présente deux circuits fondamentaux : Le circuit de puissance ou circuit d'anode et le circuit de commande ou circuit de gâchette.

Dans chacun de ces circuits les différentes grandeurs sont liées par un réseau de caractéristiques :

- Réseau d'anode  $I_A = f(V_{AK})$ , paramètre  $I_G$ .
- Réseau de gâchette  $I_G = f(V_{GK})$ .

#### VI.1.3.1 Caractéristiques d'anode

##### VI.1.3.1.1 Caractéristiques directes

Le courant  $I_A$  est pratiquement nul avant l'amorçage, la tension  $V_{AK}$  est très faible et quasi constante ( $\approx 0,8$  V) en régime de conduction. Le point pour lequel  $V_{AK}$  est maximale est appelé point de retournement dont les coordonnées ( $V_{AK0}$  ;  $I_{A0}$ ) sont appelées tension et courant de retournement.

Par convention, à courant de gâchette nul la tension de retournement est notée  $V_{DRM}$  (tension de pointe que peut supporter le thyristor en polarisation directe pour se maintenir à l'état bloqué).

La tension de retournement est une fonction décroissante du courant de gâchette et de la température.

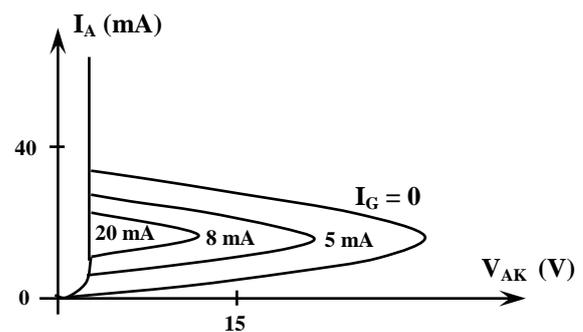


Figure VI.3 : Caractéristiques directes d'un thyristor

Pour un courant de gâchette  $I_G = I_{GT}$ , l'état passant apparaît pour tout  $V_{AK}$  positif : Le thyristor se comporte comme une diode.

##### VI.1.3.1.2 Caractéristique inverse

La caractéristique inverse est analogue à celle d'une diode à jonction : Courant très faible avant claquage, caractéristique pratiquement verticale après claquage.

La valeur absolue de la tension  $V_{AK}$  pour laquelle apparaît le claquage est notée  $V_{RRM}$  (tension inverse de pointe que peut supporter le thyristor pour se maintenir à l'état bloqué).

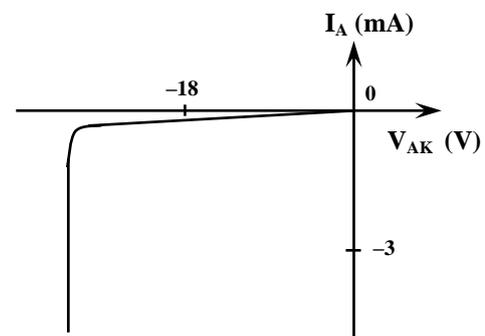


Figure VI.4 : Caractéristique inverse d'un thyristor

### VI.1.3.2 Caractéristiques de gâchette

La caractéristique de gâchette est la courbe représentative de la relation  $I_G = f(V_{GK})$  pour  $I_A = 0$ . C'est la caractéristique de la diode gâchette - cathode à l'état bloqué.

En raison de sa configuration, cette diode diffère d'une diode à jonction classique par : une chute de tension directe plus élevée, un courant inverse beaucoup plus grand, une tenue en inverse, relativement faible et une très grande dispersion pour un même type de thyristor.

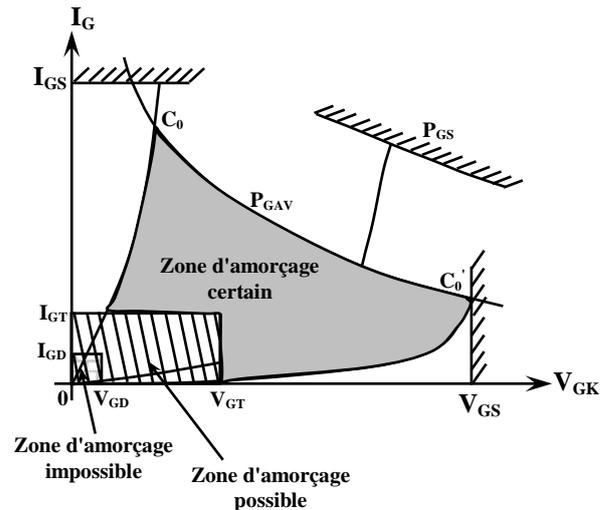


Figure VI.4 : Caractéristiques de gâchette d'un thyristor

Pour traduire cette dispersion, le constructeur ne peut fournir que les caractéristiques  $C_0$  et  $C_0'$  des échantillons extrêmes d'un même type.

Les conditions d'amorçage sont traduites dans le plan  $(I_G ; V_{GK})$  par :

- Un domaine, où aucun, échantillon ne s'amorce, limité par les valeurs  $I_{GD}$  et  $V_{GD}$ .
- Un domaine où certains échantillons s'amorcent, limité par les valeurs  $I_{GT}$  et  $V_{GT}$ .
- Un domaine d'amorçage certain pour tous les échantillons.
- Une zone de destruction limitée par l'hyperbole de puissance.

### VI.1.3.3 Caractéristiques dynamiques

#### VI.1.3.3.1 Temps d'amorçage $t_{on}$

Suite à une impulsion de commande sur la gâchette, la tension  $V_{AK}$  ne décroît pas immédiatement. On traduit ce retard à l'amorçage par le temps  $t_{on}$  dit temps d'amorçage. Ce temps se décompose en deux intervalles :

- Le temps de retard  $t_d$  (delay-time) : durée qui s'écoule entre le passage de l'impulsion à 10% de sa valeur maximale et le passage de la tension  $V_{AK}$  à 90% de sa valeur maximale.
- Le temps de descente  $t_r$  (rise-time) pendant lequel la tension  $V_{AK}$  passe de 90% à 10% de sa valeur maximale.

#### VI.1.3.3.2 Temps de blocage ou de désamorçage $t_{off}$

C'est le temps qui s'écoule entre l'instant où la tension  $V_{AK}$  s'annule et l'instant où le thyristor devient susceptible de supporter une polarisation directe sans se réamorcer. En d'autre terme c'est

le temps nécessaire pour que la jonction de commande redevienne, après annulation du courant d'anode, capable de soutenir une tension inverse élevée.

Ce temps, qui varie de 5 à 100  $\mu\text{s}$  suivant le type, limite la fréquence d'utilisation des thyristors.

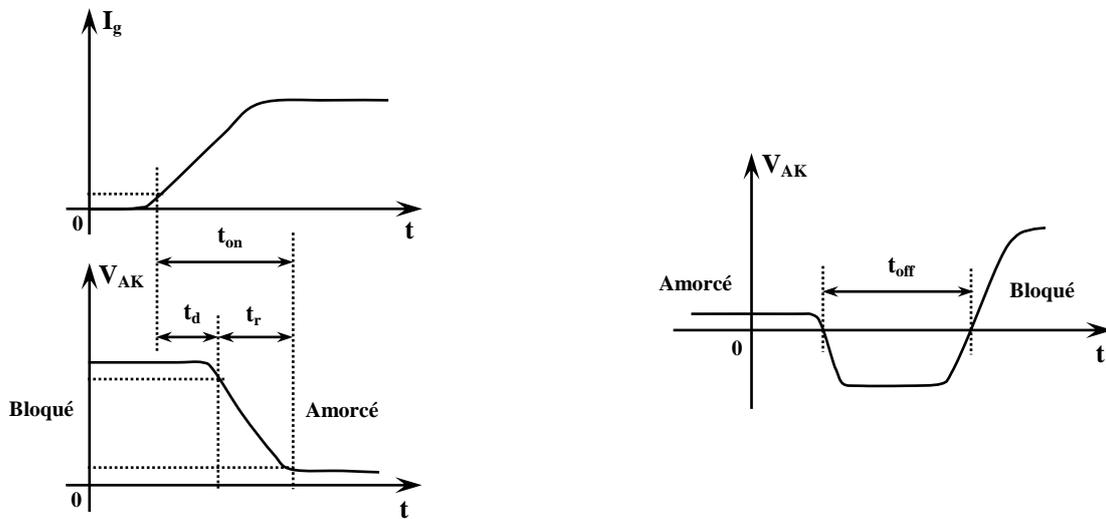


Figure VI.5 : Caractéristiques dynamiques d'un thyristor

#### VI.1.4 Commutation

On appelle commutation d'un thyristor le passage de l'état passant à l'état bloqué. Suivant la nature de la tension anode - cathode, cette commutation peut se faire, soit de façon naturelle, soit de façon forcée.

##### VI.4.1 Commutation naturelle

Lorsque la tension anode cathode aux bornes du thyristor diminue ou passe par zéro, le courant d'anode devient inférieur au courant de maintien : le thyristor se bloque. On dit qu'il y a commutation naturelle.

##### VI.4.2 Commutation forcée

Lorsque la tension anode cathode aux bornes du thyristor reste toujours positive, après amorçage par le dispositif de commande, il est nécessaire de lui adjoindre un dispositif de commutation forcée.

#### VI.5 Application des thyristors

Les applications du thyristor sont essentiellement liées à la possibilité de régler la puissance dissipée dans une charge. Les utilisations typiques sont essentiellement :

– Convertisseurs alternatif – continu contrôlés complets (redressement commandés).

- Convertisseurs alternatif – continu semi contrôlés (ponts mixtes).
- Convertisseurs continu – alternatif (onduleurs autonomes).
- Convertisseurs continu – continu (hacheurs).

### VI.6 Choix et limites d'utilisation des thyristors

Le choix du thyristor adéquat pour une application donnée, dépend principalement :

- De la tension de retournement à courant de gâchette nul ( $V_{DRM}$ ).
- De la tension de claquage ( $V_{RRM}$ ).
- Du courant direct moyen maximal ( $I_{FAV}$ ).
- Du courant direct de pointe accidentel maximal ( $I_{TSM}$ ).
- Des temps d'amorçage et de désamorçage ( $t_{on}$  et  $t_{off}$ ).

LETTRES DES SYMBOLES		
Lettre de symboles	Initiale du mot anglais	Traduction française
AV	average	moyen
D	direct	continu
F	forward	sens direct
G	gate	gâchette
H	holding	maintien
M	maximum	maximal
N	negative	négatif
P	peak	pointe
R	reverse	inverse
1 <sup>er</sup> position		
R	recurrent	récurrent
2 <sup>ème</sup> position		
S	surge	accidentel
T	thyristor	thyristor
W	working	de service

(guide de technicien en électronique page 93)

## VI.2 LES TRIACS

Le triac (Triode Alternatif Current) est un semi-conducteur à conduction bidirectionnelle commandée. En effet, alors que le thyristor ne s'amorce qu'en polarisation directe, le triac est amorçable pour des tensions d'alimentation de signe quelconque. Il est équivalent à deux thyristors montés en opposition. Il n'existe qu'une seule gâchette G et deux anodes  $A_1$  et  $A_2$  non identiques.

### VI.2.1 Constitution et fonctionnement

On peut schématiser la structure d'un triac par celle d'un thyristor classique dans lequel seraient diffusées deux zones de type N, l'une dans la couche d'anode, l'autre dans la couche de commande.

Deux électrodes métalliques placées sur les zones ( $P_1-N_4$ ) et ( $P_2-N_2$ ) portant le nom d'anodes, la troisième placée sur la zone ( $P_2-N_3$ ) est appelée gâchette.

L'ensemble peut être assimilé à deux thyristors ( $P_1N_1P_2N_2$ ) et ( $P_2N_1P_1N_4$ ) montés en parallèle inverse. Cette analogie ne peut être prolongée car si la gâchette du premier est bien connectée à la couche de commande, il n'en est pas même pour le deuxième.

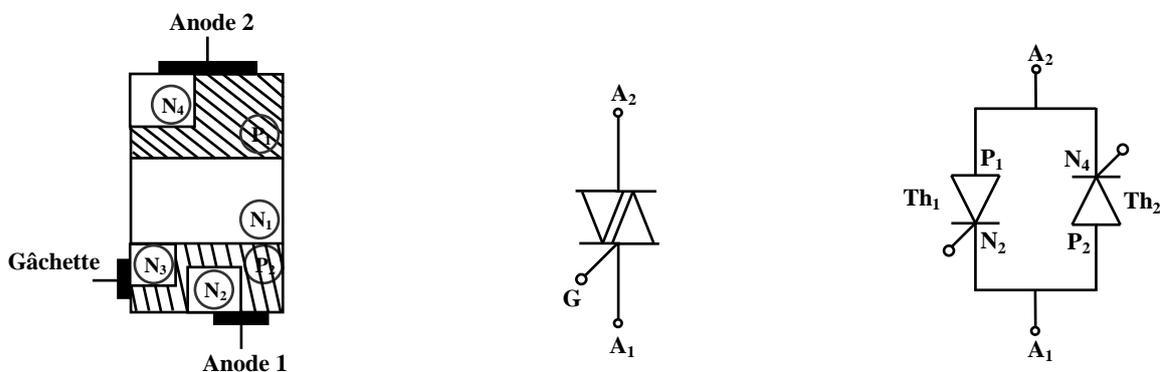


Figure VI.8 : Constitution et symbole d'un triac

Le fonctionnement peut être analysé sommairement de la façon suivante :

- $V_{A_2A_1}$  positive (polarisation directe), le thyristor Th1 est en direct, une impulsion sur la gâchette permet son amorçage (thyristor classique).
- $V_{A_2A_1}$  négative (polarisation inverse), le thyristor Th2 est en direct, la jonction  $N_1P_1$  jouant le rôle de jonction de commande (elle seule est polarisée en inverse). Une impulsion négative sur la gâchette permet une injection d'électrons dans la région  $P_2$ , où devenus minoritaires, ils sont accélérés par le champ interne dans la région  $N_1$ . Le dopage de la région  $N_1$  est augmenté et la tenue en inverse de la jonction  $N_1P_1$  diminuée. Il y a claquage.

### VI.2.2 Caractéristiques tension – courant et propriétés

Extérieurement, le triac se comporte comme deux thyristors montés en tête-bêche. Il en résulte une symétrie de sa caractéristique par rapport à l'origine.

Par contre, si dans le montage à thyristors, chaque thyristor dispose d'une demi période pour se bloquer lorsqu'il passe en polarisation inverse, le triac (élément bidirectionnel) devra avoir un temps de blocage très petit devant la demi période. L'utilisation en fréquence est en conséquence très vite limitée (300 à 400 Hz).

En polarisation inverse, le thyristor doit pouvoir supporter la tension maximale pour éviter le claquage (généralement destructif). Le triac est, lui, autoprotégé puisqu'il s'amorce dans les deux sens.

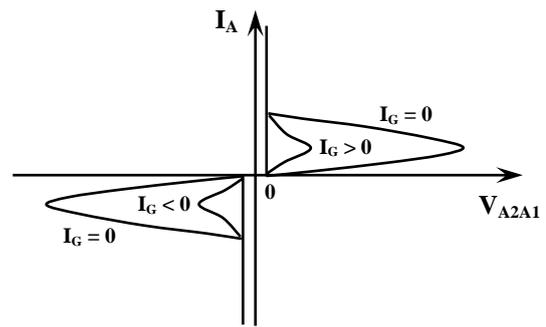


Figure VI.6 : Caractéristiques courant - tension

### VI.2.3 Applications

Principalement les triacs sont beaucoup plus utilisés dans les convertisseurs alternatif – alternatif (gradateurs triphasé et monophasé).

### VI.2.4 Choix des triacs

Le choix des triacs dépend :

- Du courant efficace dans le semi-conducteur ( $I_{FAV}$ ).
- Du courant de pointe répétitif ( $I_{TSM}$ ).
- De la tension directe maximale répétitive ( $V_{DRM}$ ).

(mémotech page 490)