

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).

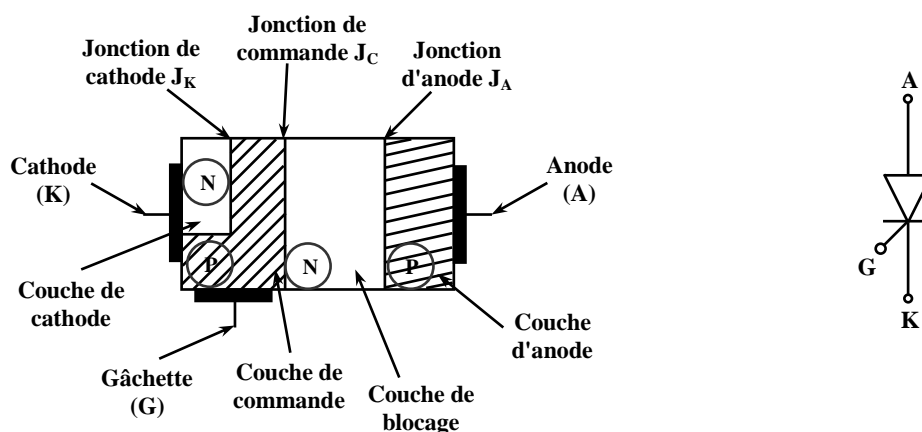


Figure VI.1 : Constitution et symbole d'un thyristor

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 croît 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.

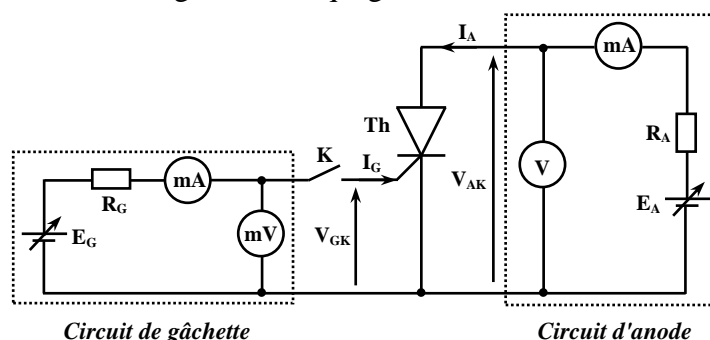


Figure VI.2 : Circuit de polarisation d'un thyristor

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.

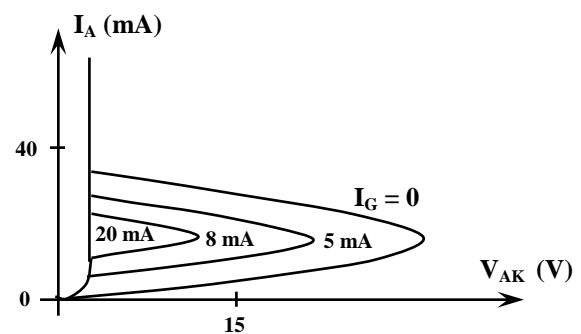


Figure VI.3 : Caractéristiques directes d'un thyristor

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).

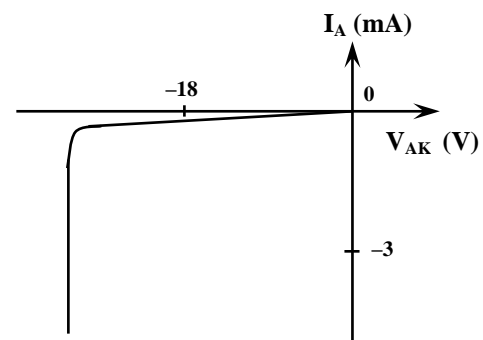


Figure VI.4 : Caractéristique inverse d'un thyristor

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.

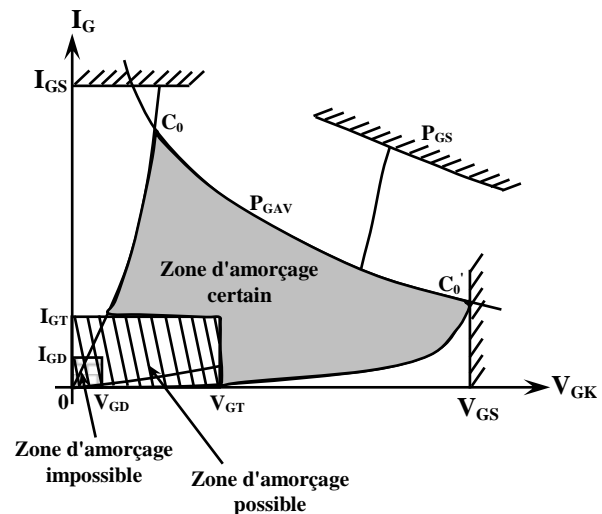


Figure VI.4 : Caractéristiques de gâchette d'un thyristor

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 μs suivant le type, limite la fréquence d'utilisation des thyristors.

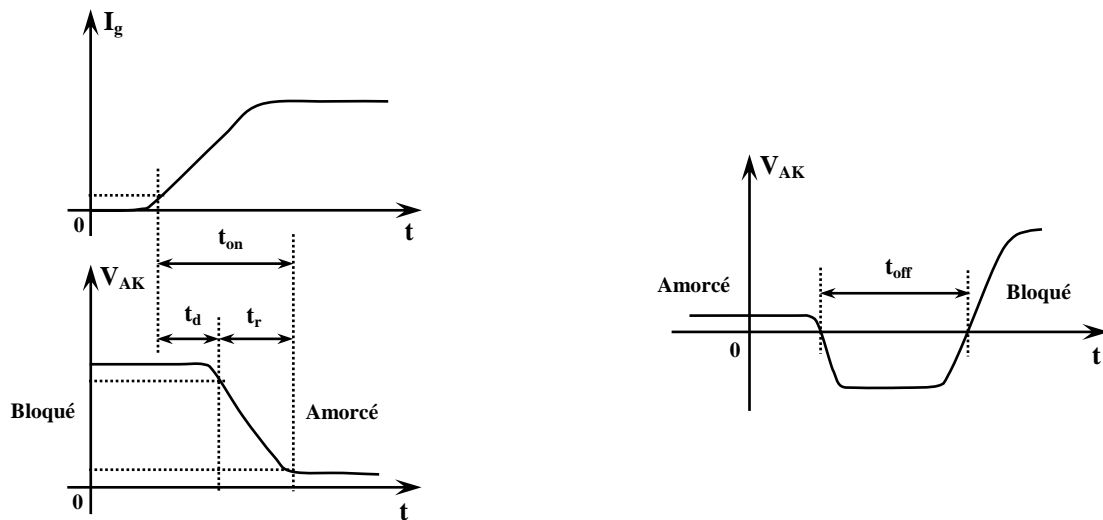


Figure VI.5 : Caractéristiques dynamiques d'un thyristor

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
A	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 ^{er} position		
R	recurrent	récurrent
2 ^{ème} 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.

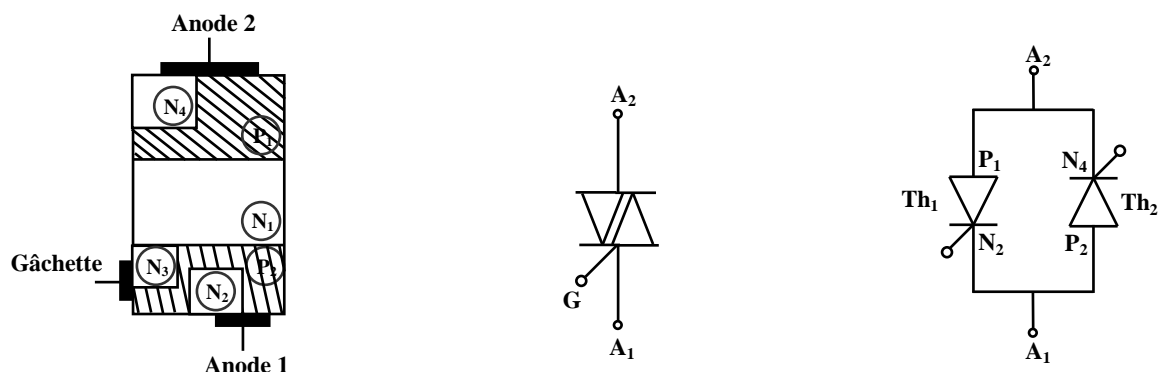


Figure VI.8 : Constitution et symbole d'un triac

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.

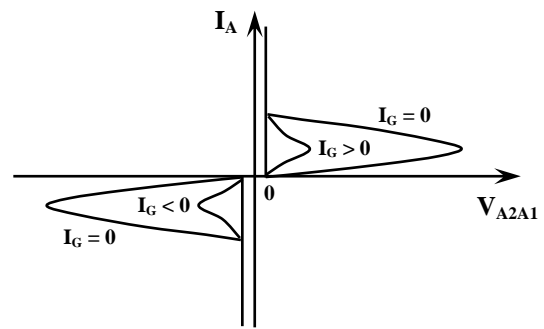


Figure VI.6 : Caractéristiques courant - tension

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)