

THYRISTOR, TRIAC, DIAC

Afin de bien comprendre le fonctionnement de la pré-régulation que nous utiliserons pour limiter la puissance aux bornes du ballast à transistors bipolaires de notre alimentation, nous allons d'abord faire un rapide tour d'horizon de ces dispositifs de commutations à semi-conducteurs.

Historique :

Le thyristor est apparu en 1957, il a remplacé progressivement les tubes à gaz (thyatron, ignitron) ainsi que les dispositifs électromécaniques.

Il est le mariage des mots **thyatron** (triode à gaz) et **transistor**, d'où son appellation simplifiée de « **thyristor** ».

Les anglo-saxons le dénomme SCR pour « *Silicon Controlled Rectifier* », désignation plus parlante puisque signifiant « *redresseur contrôlé au silicium* ».

Le thyristor est un composant fondamental de l'électronique de puissance (ou électrotechnique).

Généralités :

Il possède 2 états stables, bloqué (circuit ouvert) ou conducteur (pratiquement un court-circuit).

On utilise les thyristors pour piloter par exemple des moteurs, et même de très gros moteurs tels que les motrices de TGV.

Le thyristor est le chef de file de toute une famille de semi-conducteurs à plusieurs couches PN allant de trois à cinq successives.

On trouve donc dans cette famille également les **Triacs** (*Triode AC switch*) ou alternistors, les thyristors blocables (GTO, *Gate Turn-off Switch*), le thyristor à 2 électrodes de commande ou Thyristor tétrode (SCS, *Silicon controlled Switch*), le commutateur unilatéral (SUS, *Silicon Unilateral Switch*), le commutateur bilatéral (SBS, *Silicon Bilateral Switch*), le **DIAC** ou diode bidirectionnelle (*Diode AC Switch*), la diode Shockley ou diode à quatre couches.

On rencontre plus rarement le **Quadrac**, qui est l'association dans un même boîtier d'un Diac et d'un Triac.

On distingue les types unidirectionnels (Thyristor, GTO, diode Shockley, SUS) et bidirectionnels (Triac, Diac, ...).

Structure :

Le thyristor est un dispositif semi-conducteur à quatre couches superposées de type P et N.

Le type P a pour porteurs majoritaires des trous et les électrons sont donc minoritaires.

C'est évidemment l'inverse pour le dopage de type N.

Un bon aide mémoire : électroN -> majoritaire dans le dopage de type N.

Les quatre couches constituant le thyristor sont :

- la couche d'anode de type P.
- la couche de blocage de type N.
- la couche de commande de type P, sur laquelle est raccordé l'électrode de commande appelé communément « gâchette ».
- la couche de cathode de type N.

Il existe principalement trois méthodes de fabrication :

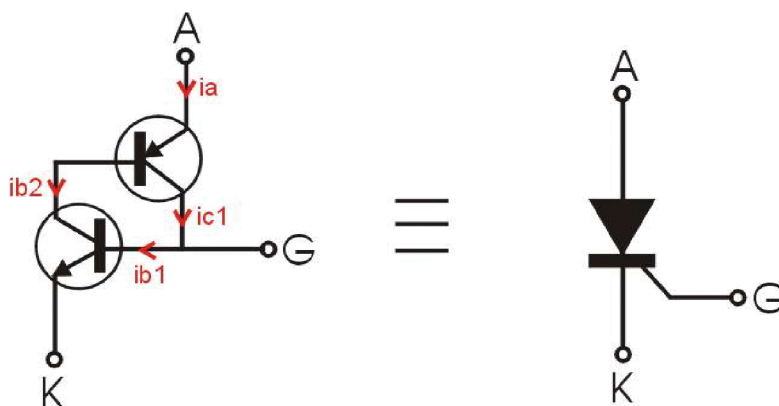
- par alliage et diffusion
- par diffusion
- par procédé Planar

Fonctionnement :

Nous retiendrons que le thyristor est un composant commandé à la fermeture, mais pas à l'ouverture.

Qu'il est réversible en tension mais pas en courant.

On peut le modéliser comme étant la combinaison de 2 transistors :



Nous avons 3 électrodes :

- A : Anode
- K : Cathode
- G : Gâchette

Nous pouvons écrire qu'en l'absence de courant de gâchette :

$$i_{c1} = i_{c10} + \beta_1 \times i_{b1} \quad i_{c10} \text{ et } i_{c20} \text{ sont les courants de fuite des 2 transistors.}$$

$$i_{c2} = i_{c20} + \beta_2 \times i_{b2}$$

Sur l'entrée anode en A, nous avons :

$$i_A = i_{b2} + i_{c2} = i_{c20} + \frac{(1 + \beta_2) \times (i_{c10} + (\beta_1 \times i_{c20}))}{(1 - \beta_1 \beta_2)}$$

En injectant un courant sur l'électrode de la gâchette, nous avons :

$$i_{b1} = i_{c2} + i_G$$

L'équation devient :

$$i_A = i_{b2} + i_{c2} = i_{c20} + \frac{(1 + \beta_2) \times (i_{c10} + \beta_1(i_{c20} + i_G))}{(1 - \beta_1 \beta_2)}$$

Si $i_G = 0$, i_{c1} est faible $\Rightarrow \beta_1$ est faible

β_1 est faible puisque les porteurs injectés dans la base sont peu nombreux et sont donc détruits par les porteurs majoritaires de base.

Si on injecte un courant de gâchette, i_{b1} augmente $\Rightarrow \beta_1$ augmente et $\beta_1 \beta_2$ atteint la valeur 1 et $i_A \rightarrow \infty$ et le thyristor est passant.

Les 2 transistors sont saturés et la tension V_{AK} correspond à celle d'une diode ($\approx 1V$).

Déclenchement d'un thyristor :

Il faut augmenter β de manière à ce que $\beta_1\beta_2=1$.

Pour cela soit :

→ On augmente la tension d'anode.

On sait que β d'un transistor augmente avec sa tension collecteur-émetteur (effet Early).

La tension limite pour laquelle se produit la conduction est appelée tension de retournement (V_F).

→ Par augmentation de la température (le courant de fuite d'un transistor silicium double tout les 10°)

→ Par effet transistor, ce qui est obtenu en injectant un courant sur l'électrode de gâchette.

Cette méthode est la plus courante.

Ce courant est variable selon le courant d'anode et la technologie du composant utilisée.

→ Si la tension d'anode varie rapidement, $(\frac{dV}{dt})$, tout en étant inférieure à la tension de retournement.

Un thyristor possède une capacité intrinsèque dont le courant de charge $i = C \frac{dV}{dt}$ peut déclencher la conduction.

Il y a donc un $\frac{dV}{dt}$ à respecter.

On retiendra qu'un thyristor est bloqué (OFF) si $i_{AK} = 0 \quad \forall V_{AK}$.

Si $V_{AK} > 0$, le thyristor est amorçable.

L'amorçage est obtenu si $i_G > 0$ d'amplitude et de durée suffisante.

($10\text{mA} < i_G < 100\text{mA}$ selon le modèle utilisé) et $V_{AK} > 0$.

Extinction d'un thyristor :

Dans l'état conducteur, les courants internes sont grands et $\beta_1\beta_2 \gg 1$, le courant de gâchette est alors sans effet.

Pour revenir à l'état bloqué il faut :

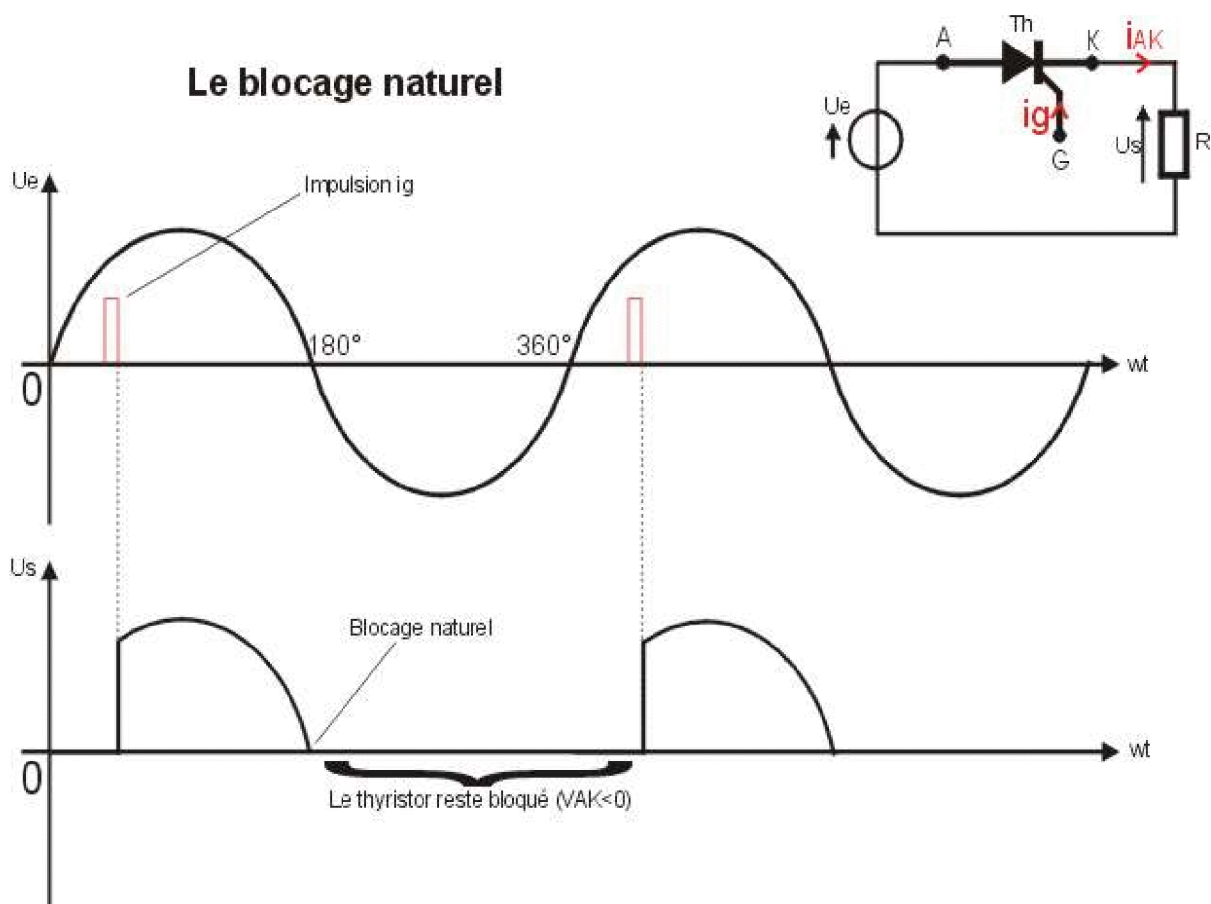
- Il faut annuler le courant i_{AK} .
- Annuler ou inverser la tension V_{AK} .

Cette inversion doit être suffisante en durée pour que les charges internes s'évacuent (quelques μs).

Le blocage ne se commande pas mais on distingue 2 types de méthodes :

- La commutation naturelle par annulation de i_{AK} .
- La commutation forcée par inversion de V_{AK} .

Blocage naturel :



Blocage par commutation forcée :

Dès que Th1 est amorcé, il conduit et I_1 circule dans la charge R.

Dès que Th2 est amorcé $V_{AK} = -U_C$ et Th1 est bloqué.