

# Cours d'électronique

LA THEORIE SUR L'ELECTRONIQUE

LES COMPOSANTS DE BASE



PARTIE N°7 :

LE TRIAC

## **TABLE DES MATIERES**

1.	La description .....	2
2.	Le principe de fonctionnement.....	3
2.1.	Fonctionnement dans les quatre cadrans .....	3
2.1.1.	Amorçage dans le quadrant I : .....	4
2.1.2.	Amorçage dans le quadrant II : .....	5
2.1.3.	Amorçage dans le quadrant III : .....	6
2.1.4.	Amorçage dans le quadrant IV : .....	7
3.	Caractéristique tension-courant.....	8
4.	Commande des triacs .....	8
4.1.	Commande par train d'alternances.....	9
4.2.	Commande par variation de l'angle de conduction.....	9
5.	Page technique.....	10

## 1. La description

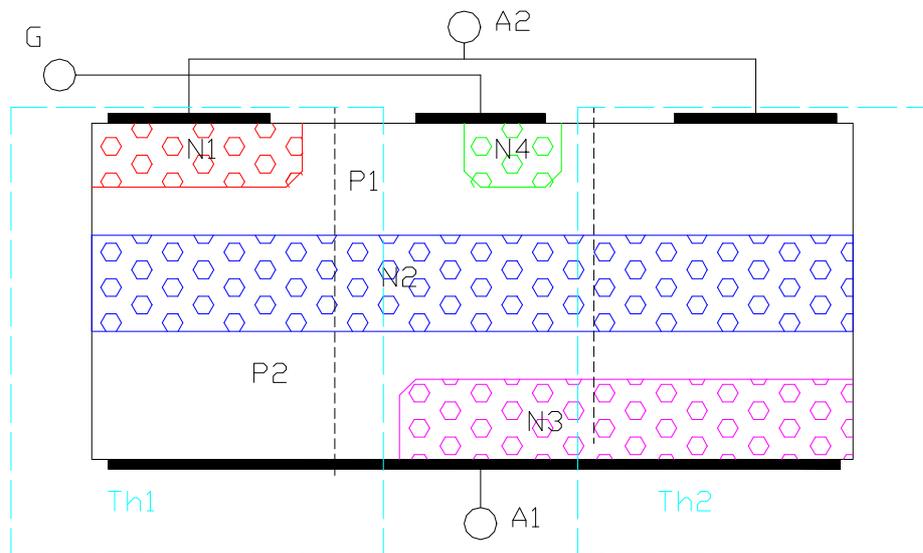
Le triac est un composant électronique au même titre qu'un thyristor ou un transistor. Il est composé de cinq couches et par conséquent de quatre jonctions. Trois électrodes permettent le lien du triac vers l'extérieur.

On peut visualiser un triac comme l'association tête-bêche de deux thyristors.

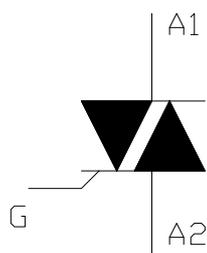
C'est en quelque sorte un thyristor bidirectionnel.

Je peux donc dire que le triac permet le contrôle d'un courant alternatif à partir de l'action sur une gâchette et ce quelle que soit le signe de la tension appliquée entre ses bornes principales.

Le nom de triac provient de la contraction d'une expression anglo-saxonne : TRIode Alternative Current signifiant triode pour courant alternatif.



Le symbole sera le suivant :



## 2. Le principe de fonctionnement

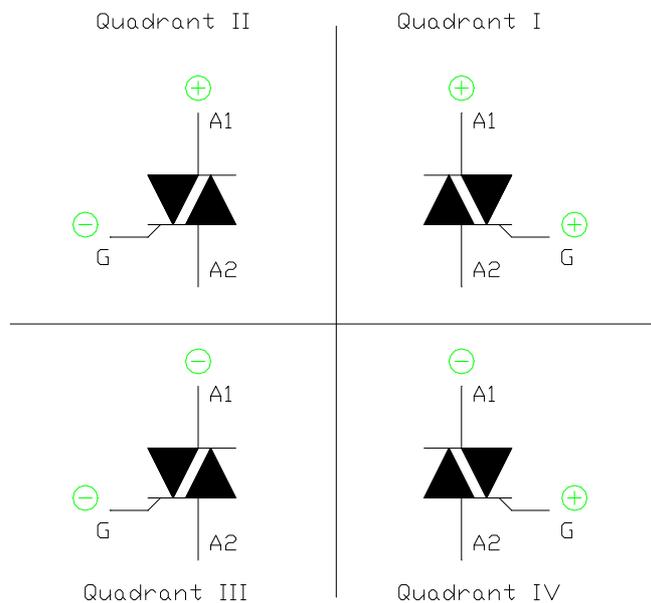
Le triac fonctionne comme un thyristor, la seule différence est qu'il a la possibilité de se mettre en conduction quel que soit la polarisation de ses bornes principales. Avant d'analyser les quatre types de fonctionnement, il me paraît utile de rappeler les conditions de mise en conduction d'un thyristor. Nous savons qu'un thyristor doit tout d'abord est polarisé en direct, sous entendu qu'il doit avoir un potentiel plus positif sur la couche (anode) P en regard à la couche (cathode) N. Une fois dans cette condition, il est nécessaire d'injecter un courant de gâchette qui va permettre la circulation d'un courant entre la gâchette et la cathode puisque cette jonction sera polarisée en direct. Le flux de majoritaire ainsi introduit dans la couche P (côté cathode) et vu l'épaisseur très faible de cette couche va permettre à de nombreux électrons d'atteindre la jonction centrale. Or sous l'action du champ électrique du à la polarisation inverse de cette jonction, les électrons deviennent très énergétiques et dès que leur nombre est suffisant une avalanche locale s'établit en un point particulier de la jonction centrale. Un courant de grande densité s'engouffre dans cette région et si le courant reste supérieur à une valeur dite d'accrochage, les porteurs seront suffisamment nombreux pour que l'avalanche s'étende de proche en proche sur toute le jonction.

Dans le cas du triac, nous allons retrouver ce type de fonctionnement et ce dans les deux sens de polarisation.

Je peux donc avancer que le fonctionnement sera fonction de la polarité de la tension appliquée à la gachette et la polarité de la tension appliquée entre les électrodes principales.

### 2.1. Fonctionnement dans les quatre cadrans

Etudions les quatre fonctionnement du triac :



### 2.1.1. Amorçage dans le quadrant I :

Ayant un potentiel positif sur la gâchette elle même en liaison avec la zone P1, je peux dire que cette dernière zone est soumise à un potentiel positif. Dans le même ordre d'idée, l'électrode A2 étant soumise à un potentiel négatif, je peux dire que la zone N1 qui lui est lié est aussi soumise à ce même potentiel négatif. La jonction P1-N1 est donc polarisée en mode passant ce qui favorise le déplacement des électrons de N1 vers P1 puisque la force électrostatique est dans ce même sens favorisant ainsi ce déplacement. Je peux donc conclure que la zone N1 injecte des électrons dans la zone P1. Une partie de ces derniers vont se recombinaison et rejoindre la borne positive du générateur via la gâchette alors que les autres vont se diffuser dans la zone P1. Nous savons que les électrons grâce à leur énergie vont pouvoir se déplacer au sein de la zone P1 qui faut-il le rappeler est mince et venir en contact avec la barrière électrostatique développé par la jonction P1-N2. Rappelons que cette dernière est bloquante. En acceptant que certains électrons lors de leur parcours ont réussi à emmagasiner suffisamment d'énergie que pour traverser la barrière électrostatique P1-N2. Lorsqu'un électron se retrouve ainsi au sein d'une zone de transition bloquante, il va automatiquement se lier à un ion positif. (rappel atome à qui il manque un électron périphérique) Cette liaison va toutefois avoir de multiples conséquences. En effet, l'ion ayant capté cet électron va perdre sa qualité d'ion et réduire ainsi le nombre de charge positive de cette zone. Cette diminution va réduire le champs électrostatique et par conséquent diminuer la force électrostatique et la barrière qui lui est associée. Cela veut donc dire que l'obstacle entre la zone P1 de la gâchette et la Zone N2 va être réduit. Cela va donc permettre à un autre électron possédant un petit peu moins d'énergie de franchir à son tour la barrière et venir ainsi perturber à son tour la jonction bloquante. On peut aisément comprendre que ce processus va entraîner un effet dit d'avalanche qui aura pour finalité la destruction complète de la force électrostatique de la zone de jonction P1-N2 et ainsi aboutir à l'effondrement du seul obstacle qui empêchait la libre circulation du courant électrique de l'électrode A1 vers l'électrode A2 ou encore le déplacement des électrons majoritaires de A2 vers A1. Etant donné cette ouverture entre les zones formant notre triac, je peux conclure que la zone P2 est positive et que la zone N2 est négative puisque la jonction A1 (zone de transition coté A1) est passante. La zone N1 est négative alors que la zone P1 est positive puisque la jonction A2 (zone de transition coté A2) est passante. En conclusion, je peux encore remarquer que la zone N2 étant négative et la zone P1 étant positive, cette jonction centrale est polarisée en mode passant ce qui signifie que si l'on retire tout potentiel sur la gâchette, notre triac continuera à fonctionner. Pour maintenir le triac en conduction nous devons maintenir un courant minimum de maintien en dessous duquel la barrière électrostatique P1-N2 va se reformer entraînant ainsi le blocage de notre triac. En conduction le courant électrique pourra traverser le triac en traversant P2, N2, P1 et N1.

### 2.1.2. Amorçage dans le quadrant II :

Ayant un potentiel négatif sur la gâchette elle même en liaison avec la zone N4, je peux dire que cette dernière zone est soumise à un potentiel négatif. Dans le même ordre d'idée, l'électrode A2 étant soumise à un potentiel négatif ici une masse, je peux dire que la zone P1 qui lui est lié est aussi soumise à ce même potentiel de masse. Nous pouvons donc avancer que le potentiel négatif sur la gâchette est plus négatif que celui de l'électrode A2 repris comme masse. La jonction P1-N4 est donc polarisée en mode passant ce qui favorise le déplacement des électrons de N4 vers P1 puisque la force électrostatique est dans ce même sens favorisant ainsi ce déplacement. Je peux donc conclure que la zone N4 injecte des électrons dans la zone P1. Noter que la jonction P1-N1 n'est pas passante car le potentiel en P1 et en N1 est le même et dès lors il n'existe pas de différence de potentiel nécessaire à l'effondrement de la jonction. Une partie de ces derniers vont se recombiner et rejoindre la borne négative (masse) du générateur via l'électrode A2 alors que les autres vont se diffuser dans la zone P1. Nous savons que les électrons grâce à leur énergie vont pouvoir se déplacer au sein de la zone P1 qui faut-il le rappeler est mince et venir en contact avec la barrière électrostatique développée par la jonction P1-N2. Rappelons que cette dernière est bloquante. En acceptant que certains électrons lors de leur parcours ont réussi à emmagasiner suffisamment d'énergie que pour traverser la barrière électrostatique P1-N2. Lorsqu'un électron se retrouve ainsi au sein d'une zone de transition bloquante, il va automatiquement se lier à un ion positif. (rappel atome à qui il manque un électron périphérique) Cette liaison va toutefois avoir de multiples conséquences. En effet, l'ion ayant capté cet électron va perdre sa qualité d'ion et réduire ainsi le nombre de charge positive de cette zone. Cette diminution va réduire le champs électrostatique et par conséquent diminuer la force électrostatique et la barrière qui lui est associée. Cela veut donc dire que l'obstacle entre la zone P1 de la gâchette et la Zone N2 va être réduit. Cela va donc permettre à un autre électron possédant un petit peu moins d'énergie de franchir à son tour la barrière et venir ainsi perturber à son tour la jonction bloquante. On peu aisément comprendre que ce processus va entraîner un effet dit d'avalanche qui aura pour finalité la destruction complète de la force électrostatique de la zone de jonction P1-N2 et ainsi aboutir à l'effondrement du seul obstacle qui empêchait la libre circulation du courant électrique de l'électrode A1 vers l'électrode A2 ou encore le déplacement des électrons majoritaires de A2 vers A1. Etant donné cette ouverture entre les zones formant notre triac, je peux conclure que la zone P2 est positive et que la zone N2 est négative puisque la jonction A1 (zone de transition coté A1) est passante. Si la zone N2 est négative, la zone P1 est positive puisque cette jonction centrale a été mise en conduction par le phénomène d'avalanche. La zone N1 est négative (masse) alors que la zone P1 est positive voir ci-dessus je peux conclure en disant que la jonction P1-N1 est passante. Cela signifie que le courant électrique pourra traverser le triac en traversant P2, N2, P1 et N1. Noter encore que la mise en conduction de la jonction P1-N1 ne modifie en rien le fonctionnement du triac en regard à l'injection d'électron de N4 vers P1. En effet, les électrons étaient injectés de N4 vers P1 parce que N4 était plus négatif que P1. Lors de l'ouverture de la jonction P1-N1, nous n'avons en rien modifié cet état si ce n'est que nous avons une différence de potentiel encore plus importante entre N4 et P1. Je peux encore avancer que les électrons injectés dans P1 auront alors pour origine soit N4 ou soit N1. La disparition du courant de gâchette n'entraînera dès lors aucune coupure de la conduction du triac puisque les électrons injectés par la jonction P1-N1 vont permettre de maintenir la jonction P1-N2 ouverte. Pour maintenir le triac en conduction nous devons maintenir un courant minimum de maintien en dessous duquel la barrière électrostatique P1-N2 va se reformer entraînant ainsi le blocage de notre triac.

### 2.1.3. Amorçage dans le quadrant III :

Ayant un potentiel négatif sur la gâchette elle même en liaison avec la zone N4, je peux dire que cette dernière zone est soumise à un potentiel négatif. Dans le même ordre d'idée, l'électrode A2 étant soumise à un potentiel négatif ici une masse, je peux dire que la zone P1 qui lui est liée est aussi soumise à ce même potentiel de masse. En regard à l'électrode A1 (négative), je peux dire que l'électrode A2 est positive (masse). La jonction P1-N2 est donc passante. La jonction P2-N2 est par contre bloquante de même que la jonction P2-N3 car la zone P2 est à un potentiel négatif. Nous pouvons donc avancer que le potentiel négatif sur la gâchette est plus négatif que celui de l'électrode A2 repris comme masse. La jonction P1-N4 est donc polarisée en mode passant ce qui favorise le déplacement des électrons de N4 vers P1 puisque la force électrostatique est dans ce même sens favorisant ainsi ce déplacement. Je peux donc conclure que la zone N4 injecte des électrons dans la zone P1. Noter que la jonction P1-N1 n'est pas passante car le potentiel en P1 et en N1 est le même et dès lors il n'existe pas de différence de potentiel nécessaire à l'effondrement de la jonction. Une partie des électrons injectés par N4 vont se recombiner et rejoindre la borne positive (masse) du générateur via l'électrode A2 alors que les autres vont se diffuser dans la zone P1. Comme la jonction P1-N2 est passante, je peux dire que les électrons vont pouvoir rejoindre la zone N2. La jonction P2-N2 étant bloquée, les électrons viennent en contact avec la barrière électrostatique de cette jonction et sont repoussés. En acceptant que certains électrons lors de leur parcours ont réussi à emmagasiner suffisamment d'énergie que pour traverser la barrière électrostatique P2-N2. Lorsqu'un électron se retrouve ainsi au sein d'une zone de transition bloquante, il va automatiquement se lier à un ion positif. (rappel atome à qui il manque un électron périphérique) Cette liaison va toutefois avoir de multiples conséquences. En effet, l'ion ayant capté cet électron va perdre sa qualité d'ion et réduire ainsi le nombre de charge positive de cette zone. Cette diminution va réduire le champs électrostatique et par conséquent diminuer la force électrostatique et la barrière qui lui est associée. Cela veut donc dire que l'obstacle entre la zone P2 et la Zone N2 va être réduit. Cela va donc permettre à un autre électron possédant un petit peu moins d'énergie de franchir la barrière et venir ainsi perturber à son tour la jonction bloquante. On peut aisément comprendre que ce processus va entraîner un effet dit d'avalanche qui aura pour finalité la destruction complète de la force électrostatique de la zone de jonction P2-N2 et ainsi aboutir à son effondrement. Etant donné cette ouverture entre les zones formant notre triac, je peux conclure que si la zone P1 est considérée comme positive même s'il s'agit d'une masse (elle est positive en regard au potentiel négatif de l'électrode A1) et que la zone N2 est négative puisque la jonction A2 (zone de transition coté A2) est passante et que si la zone N2 est négative et que la jonction N2-P2 est passante suite à son effondrement, je peux dire que la zone P2 est positive. Dès lors si P2 est considéré comme positif, le jonction P2-N3 se voit polarisée en mode passant permettant ainsi la mise en conduction de cette jonction. La zone N3 pourra ainsi injecter des électrons dans la zone P2, accéléré par la force électrostatique de la jonction N3-P2, les électrons vont être projeté dans la zone N2 car la jonction P2-N2 est ouverte. Dans la zone N2 les électrons vont à nouveau être accéléré par la force électrostatique de la jonction N2-P1 et être injectés dans la zone P1 ou ils vont se recombiner pour rejoindre la borne positive via l'électrode A2. Cela signifie que le courant électrique pourra traverser le triac en traversant P1,N2,P2 et N3.

Une nouvelle fois, la disparition du courant de gâchette ne modifiera pas le fonctionnement du triac puisque l'effondrement de la jonction P2-N2 est liée exclusivement au courant majoritaire circulant de P1 vers N3.

Pour maintenir le triac en conduction nous devons maintenir un courant minimum de maintien en dessous duquel la barrière électrostatique P2-N2 va se reformer entraînant ainsi le blocage de notre triac.

#### 2.1.4. Amorçage dans le quadrant IV :

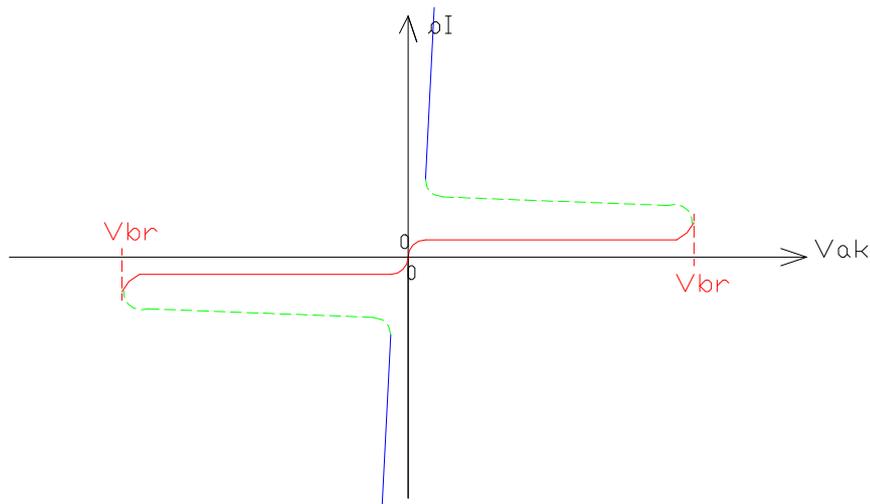
Ayant un potentiel positif sur la gâchette elle même en liaison avec la zone P1, je peux dire que cette dernière zone est soumise à un potentiel positif. Dans le même ordre d'idée, l'électrode A2 étant soumise à un potentiel négatif ici une masse, je peux dire que la zone N1 qui lui est liée est aussi soumise à ce même potentiel de masse. En regard à la gâchette (positive), je peux dire que l'électrode A2 est négative (masse). La jonction P1-N2 est donc passante. La jonction P2-N2 est par contre bloquante de même que la jonction P2-N3 car la zone P2 est à un potentiel négatif. La jonction P1-N1 est donc polarisée en mode passant ce qui favorise le déplacement des électrons de N1 vers P1 puisque la force électrostatique est dans ce même sens favorisant ainsi ce déplacement. Je peux donc conclure que la zone N1 injecte des électrons dans la zone P1. Noter que la jonction P1-N4 n'est pas passante car le potentiel en P1 et en N4 est le même et dès lors il n'existe pas de différence de potentiel nécessaire à l'effondrement de la jonction. Une partie des électrons injectés par N1 vont se recombier et rejoindre la borne positive du générateur via la gâchette alors que les autres vont se diffuser dans la zone P1. Comme la jonction P1-N2 est passante, je peux dire que les électrons vont pouvoir rejoindre la zone N2. La jonction P2-N2 étant bloquée, les électrons viennent en contact avec la barrière électrostatique de cette jonction et sont repoussés. En acceptant que certains électrons lors de leur parcours ont réussi à emmagasiner suffisamment d'énergie que pour traverser la barrière électrostatique P2-N2. Lorsqu'un électron se retrouve ainsi au sein d'une zone de transition bloquante, il va automatiquement se lier à un ion positif. (rappel atome à qui il manque un électron périphérique) Cette liaison va toutefois avoir de multiples conséquences. En effet, l'ion ayant capté cet électron va perdre sa qualité d'ion et réduire ainsi le nombre de charge positive de cette zone. Cette diminution va réduire le champs électrostatique et par conséquent diminuer la force électrostatique et la barrière qui lui est associée. Cela veut donc dire que l'obstacle entre la zone P2 et la Zone N2 va être réduit. Cela va donc permettre à un autre électron possédant un petit peu moins d'énergie de franchir la barrière et venir ainsi perturber à son tour la jonction bloquante. On peut aisément comprendre que ce processus va entraîner un effet dit d'avalanche qui aura pour finalité la destruction complète de la force électrostatique de la zone de jonction P2-N2 et ainsi aboutir à son effondrement. Etant donné cette ouverture entre les zones formant notre triac, je peux conclure que si la zone P1 est considérée comme positive même s'il s'agit d'une masse (elle est positive en regard au potentiel négatif de l'électrode A1) et que la zone N2 est négative puisque la jonction A2 (zone de transition coté A2) est passante et que si la zone N2 est négative et que la jonction N2-P2 est passante suite à son effondrement, je peux dire que la zone P2 est positive. Dès lors si P2 est considéré comme positif, le jonction P2-N3 se voit polarisée en mode passant permettant ainsi la mise en conduction de cette jonction. La zone N3 pourra ainsi injecter des électrons dans la zone P2, accéléré par la force électrostatique de la jonction N3-P2, les électrons vont être projetés dans la zone N2 car la jonction P2-N2 est ouverte. Dans la zone N2 les électrons vont à nouveau être accéléré par la force électrostatique de la jonction N2-P1 et être injectés dans la zone P1 ou ils vont se

recombinaison pour rejoindre la borne positive via l'électrode A2. Cela signifie que le courant électrique pourra traverser le triac en traversant P1,N2,P2 et N3.

Une nouvelle fois, la disparition du courant de gâchette ne modifiera pas le fonctionnement du triac puisque l'effondrement de la jonction P2-N2 est liée exclusivement au courant majoritaire circulant de P1 vers N3.

Pour maintenir le triac en conduction nous devons maintenir un courant minimum de maintien en dessous duquel la barrière électrostatique P2-N2 va se reformer entraînant ainsi le blocage de notre triac.

### 3. Caractéristique tension-courant



Comme on peut le voir, nous retrouvons les allures du thyristor. Noter que nous avons deux tensions de retournement, l'une positive et l'autre négative. Je rappelle que ces tensions marquent le seuil au delà duquel le triac pourrait se mettre en conduction en absence de tension de gâchette.

### 4. Commande des triacs

Nous avons vu que le triac n'est nullement exigeant pour se mettre en conduction, qu'elle que soit la polarisation des électrodes principales et la polarité du courant de gâchette, ce dernier se met en conduction. Il nous faut donc trouver un système capable de générer ses impulsions de gâchette tout en permettant une certaine régulation de ces dernières.

J'attire encore votre attention sur le fait que le triac assurera une conduction tant que le courant n'aura pas atteint le seuil de maintien. Cette remarque est importante dans la gestion d'un triac.

#### 4.1. Commande par train d'alternances

Cette méthode de commande est utilisée dans les cas où nous souhaitons faire varier la puissance moyenne aux bornes de la charge.

Le but est de créer un train d'impulsion durant une période donnée ( $T_c$ ). Chaque impulsion ayant une période précise ( $T$ ). Nous avons donc à l'intérieur de la période  $T_c$  un nombre «  $m$  » de période  $T$ . Seul «  $n$  » impulsions seront utilisées pour former le train d'impulsion.

Dans ce type de fonctionnement, le triac ne sera mis en conduction que lors du passage par zéro de la tension. La coupure elle se fera lors du passage par zéro du courant. Je peux donc conclure en disant que si je souhaite un train d'alternance entier, soit «  $m$  » impulsion de période  $T$  il faudra que la tension soit plus ou moins en phase avec le courant. Il est clair que ce point dépendra de la charge et que dès lors le système doit être étudié dans un système défini.

La puissance moyenne délivrée avec ce système est la suivante :  $P = \frac{n \cdot T}{2 \cdot T_c} \cdot V \cdot I$

- $n$  = nombre d'alternance passantes de chaque train
- $T_c$  = période du train d'alternance
- $T$  = période d'une alternance
- $V$  = valeur efficace de la tension sinusoïdale
- $I$  = valeur efficace du courant sinusoïdale

Noter encore que la valeur de  $P$  sera d'autant meilleur que  $T_c$  sera grand vis à vis de  $T$ .

#### 4.2. Commande par variation de l'angle de conduction

Dans ce type de fonctionnement, nous utiliserons le même principe que pour la commande des thyristors. Nous allons ici jouer sur le moment d'allumage du triac par rapport au passage par zéro de la tension. La régulation se fera donc sur l'angle de conduction qui sera égale à la demi période moins l'angle de retard.

La puissance moyenne délivrée avec ce système est la suivante :

$$P = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{V_M^2}{R_C} \cdot \int_0^\alpha \sin^2 \alpha \cdot d\alpha = \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi} \cdot \frac{V_M^2}{R_C}$$

- $\alpha$  = valeur de l'angle de conduction du triac
- $V_M$  = valeur maximum de la tension sinusoïdale
- $R_C$  = valeur de la résistance de charge
- $\beta$  = angle de retard d'impulsion

## 5. Page technique

Triacs

$V_{DRM}$  : tension de pointe répétitive à l'état bloqué

$I_{TRMS}$  : valeur efficace du courant à l'état passant

$I_H$  : courant continu hypostatique

$V_{TM}$  : tension de crête à l'état passant

$I_{TM}$  : courant de crête à l'état passant

$(\frac{dv}{dt})_C$  : vitesse critique de croissance de tension à la commutation

$I_{GT}$  : courant d'amorçage par la gâchette

Type	$V_{DRM}$ (V)	$I_{TRMS}$ (A)	$I_{GT}$ (mA)					$I_H$ (mA)	$V_{TM}/I_{TM}$ (V) (A)		$(\frac{dv}{dt})_C$ (V/us)
			Sufixe	I	II	III	IV				
BTA 06400	400	6	T	5	5	5	5	15	1,65	8,5	1
			D	5	5	5	10				
			S	10	10	10	10				
			A	10	10	10	25				
TGAL 610	1000	60		100	150	100	150	2	100	5	
TAG 250-600	600	10		50	50	50	75			500	