

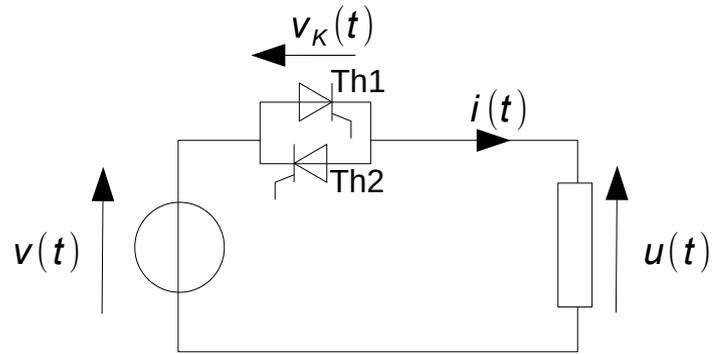
Le gradateur Monophasé

1° Montage

2° fonctionnement sur charge purement résistive

3° Fonctionnement sur charge inductive

1° le montage utilisé



Th1 et Th2 sont deux thyristors montés « tête bêche ». Ils fonctionnent comme un triac

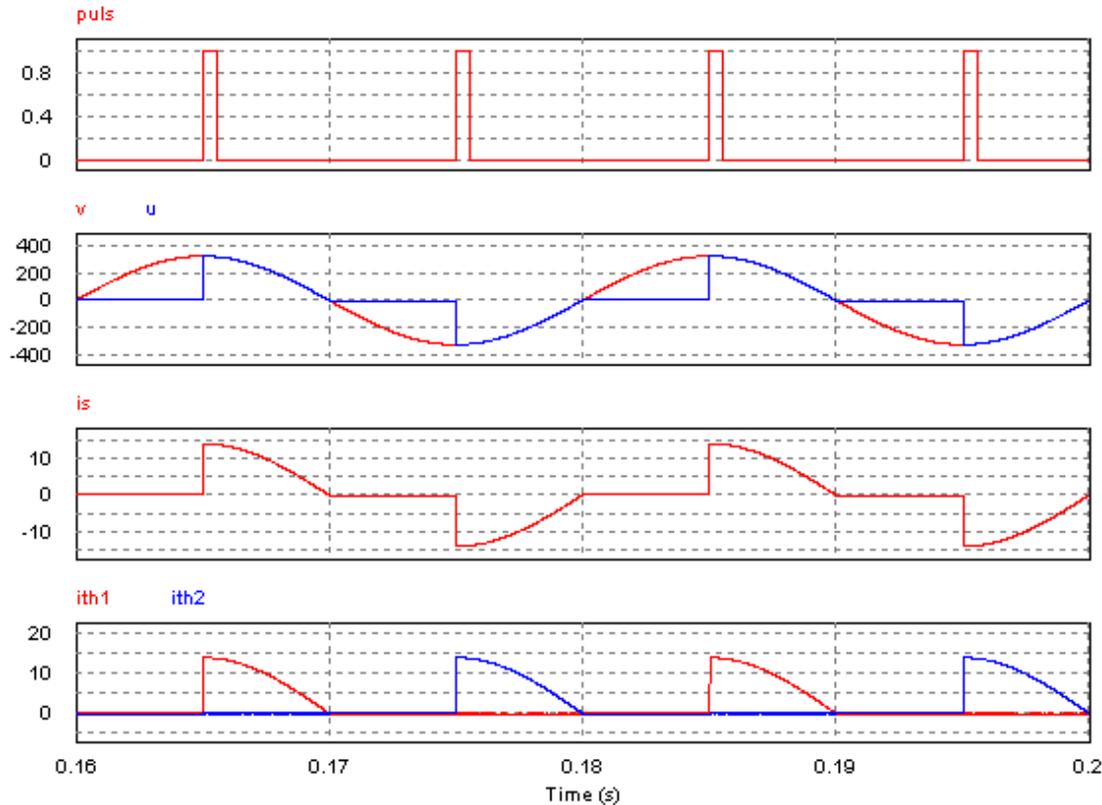
$v(t)$ est la tension du réseau 50Hz

$i(t)$ et $u(t)$ sont les courants et tensions de sortie

2° Fonctionnement sur charge résistive

a) Observation du fonctionnement :

Pour un retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$, on observe les courbes de fonctionnement suivantes :



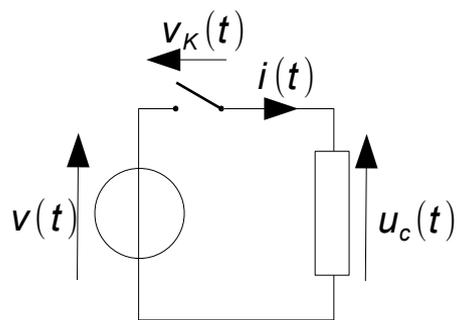
Th1 et Th2 reçoivent les mêmes impulsions de commande. Seul celui qui est soumis à une tension positive s'amorce.

On peut voir ici que les deux thyristor conduisent chacun leur tour. Th1 sur les alternances positives et Th2 sur les alternances négatives

2° Fonctionnement sur charge résistive

b) interprétation, séquence de fonctionnement :

On peut déduire des courbes que le montage présente les quatre phases de fonctionnement suivantes



de 0 à α

élément déclenchant le changement de phase :

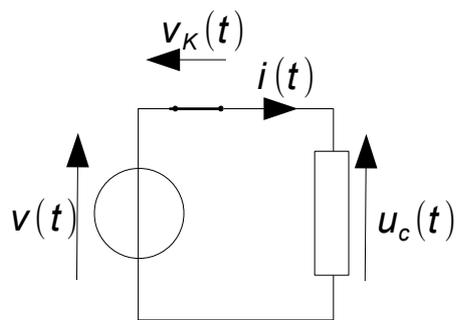
Annulation du courant

élément conducteur avant :

Th2

élément conducteur au court de la phase :

Aucun



de α à 180°

élément déclenchant le changement de phase :

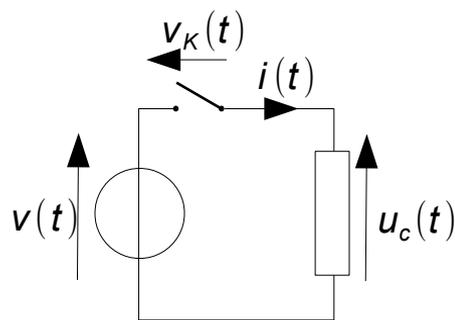
Impulsion sur les gâchettes

élément conducteur avant :

Aucun

élément conducteur au court de la phase :

Th1 car sa tension est positive à l'instant de la commande



de 180° à $\alpha+180^\circ$

élément déclenchant le changement de phase :

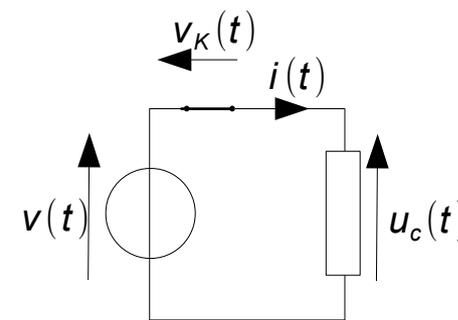
Annulation du courant

élément conducteur avant :

Th1

élément conducteur au court de la phase :

Aucun



de $\alpha+180^\circ$ à 360°

élément déclenchant le changement de phase :

Impulsion sur les gâchettes

élément conducteur avant :

Aucun

élément conducteur au court de la phase :

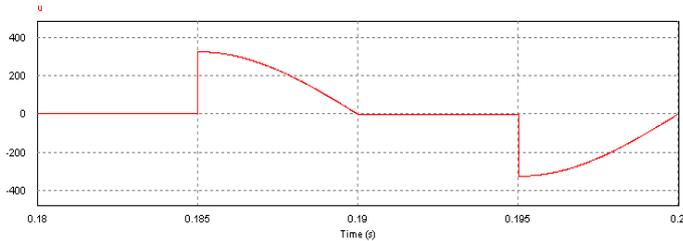
Th2 car sa tension est positive à l'instant de la commande

2° Fonctionnement sur charge résistive

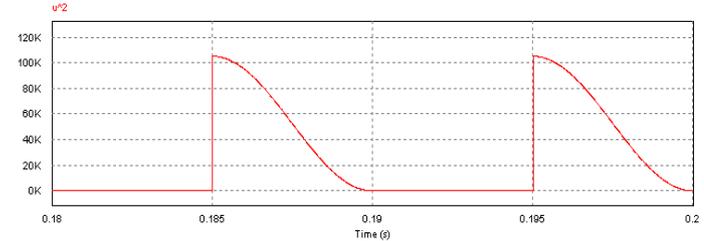
c) calcul de la tension efficace :

On rappelle que la tension efficace se calcule en trois étapes car elle est s'exprime par : $V_{eff} = \sqrt{\langle u^2(t) \rangle}$

- Détermination de $u^2(t)$:



En élevant au carré point par point, on obtient la courbe suivante :



On peut voir que le carré est de période T/2 soit, en angle 180° (ou π rad).

- On calcule la moyenne de la courbe obtenue par calcul intégral :

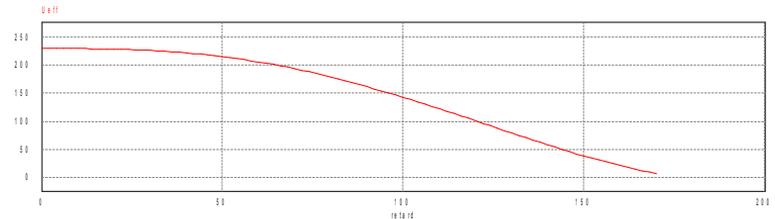
On prend une période de $u^2(t)$. Sur cet intervalle la courbe est nulle jusqu'à α puis égale à $\hat{V} \cdot \sin^2 \theta$

$$\text{d'où } \langle u^2(t) \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \hat{V} \cdot \sin^2 \theta \cdot d\theta = \frac{\hat{V}}{\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} \cdot d\theta = \frac{\hat{V}}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\theta - \frac{1}{2} \cdot \sin 2\theta \right]_{\alpha}^{\pi} = \frac{\hat{V}}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\pi - \alpha - \frac{1}{2} \cdot \sin 2\pi + \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha \right] = \frac{\hat{V}}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha \right]$$

- On en déduit la valeur efficace :

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2(t) \rangle} = \sqrt{\frac{\hat{V}}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha \right]}$$

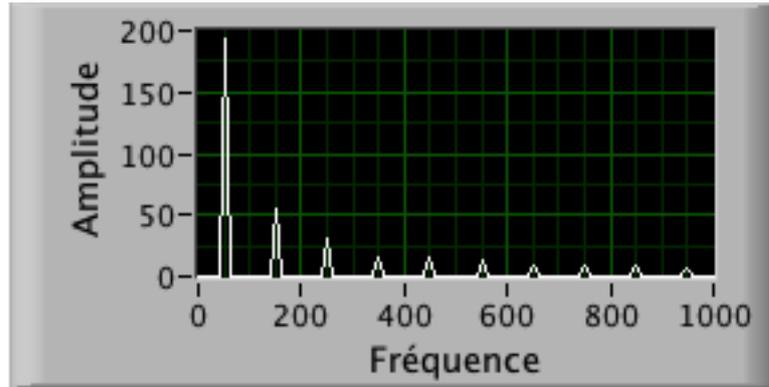
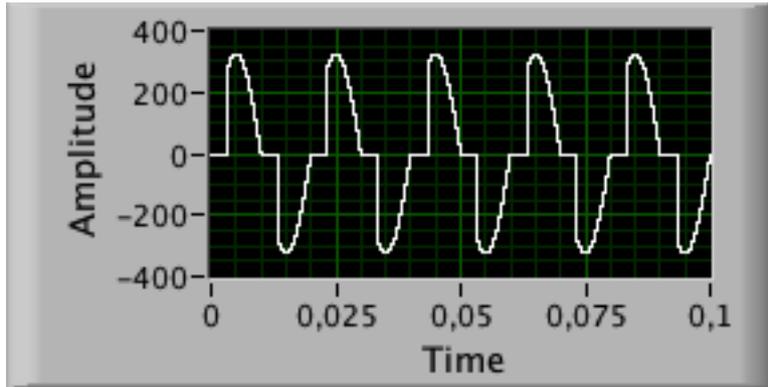
Sa variation a l'allure de la courbe ci-contre.
Elle varie de V pour $\alpha=0$ à 0 pour $\alpha = 180^\circ$



2° Fonctionnement sur charge résistive

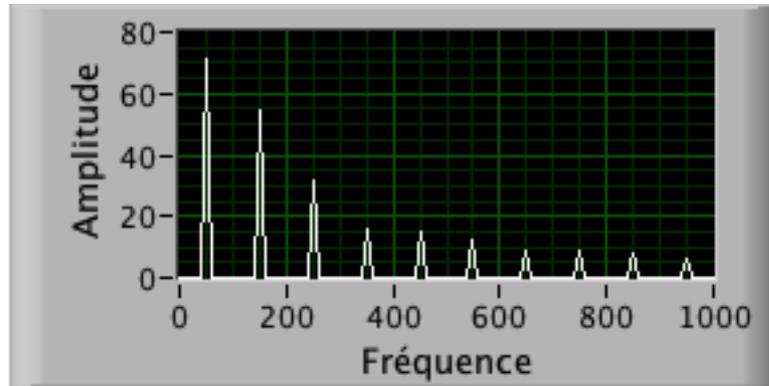
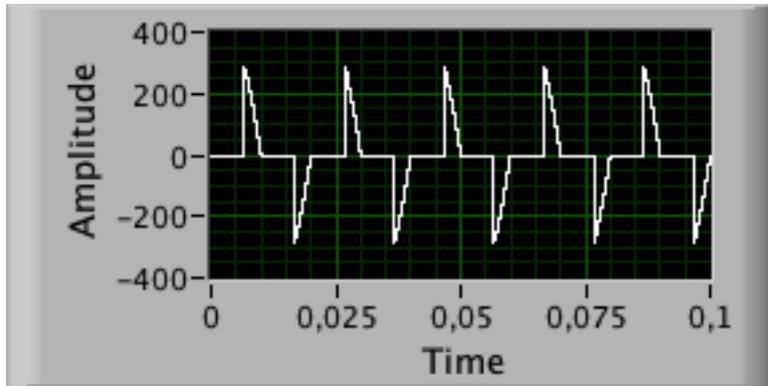
d) analyse du signal de sortie (tension et courant car ils ont la même forme) :

$\alpha = 60^\circ$



$THD = 32,4\%$

$\alpha = 120^\circ$



$THD = 62,3\%$

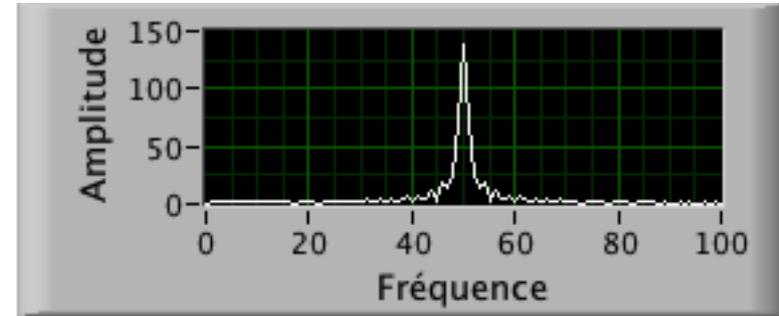
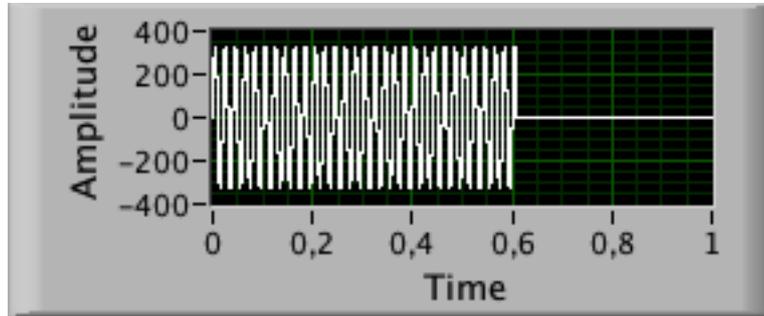
On constate que ce dispositif produit un grand nombre d'harmoniques et que leur importance augmente avec le retard. On devra donc prévoir des filtres en amont afin de ne pas polluer le réseau.

2° Fonctionnement sur charge résistive

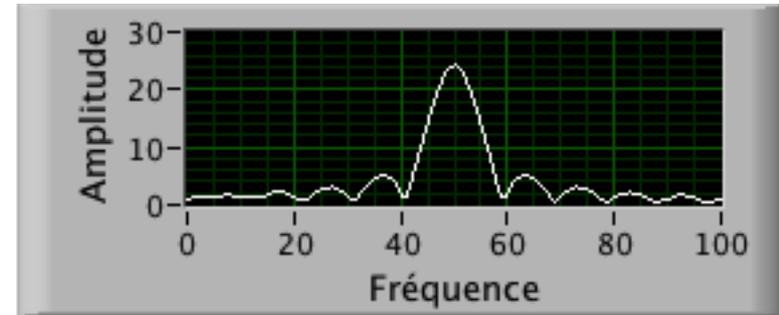
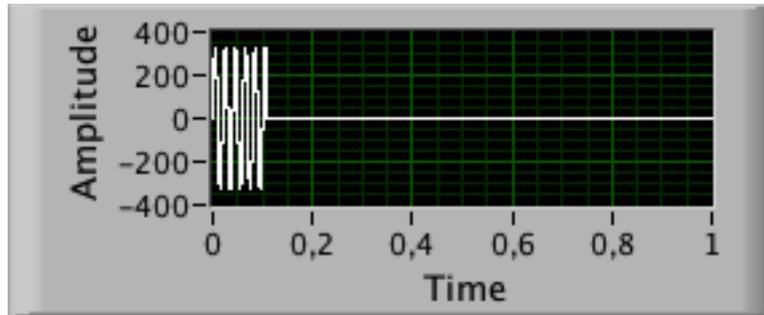
e) fonctionnement en train d'onde :

Pour des système dont la constante de temps est suffisamment longue. Une alimentation par train d'onde ne change pas leur comportement (ici on a une période de découpage de 1s).

Alimentation à
60 % du
maximum



Alimentation à
10 % du
maximum



On constate que le spectre harmonique ne présente quasiment plus qu'un pic à 50Hz. Les problèmes de pollution sont donc résolus.

2° Fonctionnement sur charge résistive

f) Application

- Systèmes de chauffage.

Afin de faire de la régulation de température il est nécessaire de pouvoir moduler la puissance de chauffe. En utilisant un gradateur on peut donc agir sur la puissance dissipée par les résistances. Suivant les constantes de temps des système à réguler, on choisira une commande par retard de phase ou par train d'onde. La seconde étant préférable pour des questions de pollution harmonique.

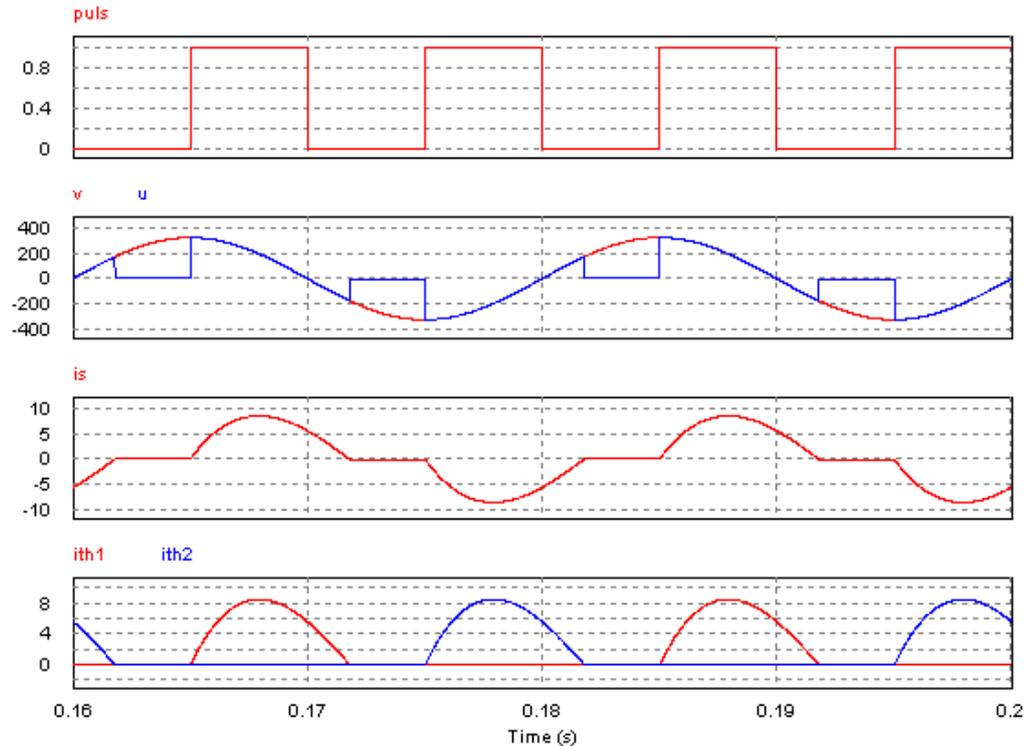
- Variateur de lumière

C'est pour cet usage (dans un théâtre) que le premier gradateur à été inventé. Ici, on ne pourra pas se permettre de travailler en train d'onde. Les variations lente pouvant être perçue sous forme de clignotement.

3° Fonctionnement sur charge inductive

a) Observation du fonctionnement :

Pour un retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$, et une charge peu inductive, on observe les courbes de fonctionnement suivantes :



Th1 et Th2 reçoivent les mêmes impulsions de commande. Les impulsions sont envoyée par « train » sur un quart de période. Ceci permet de s'assurer de l'amorçage des thyristors.

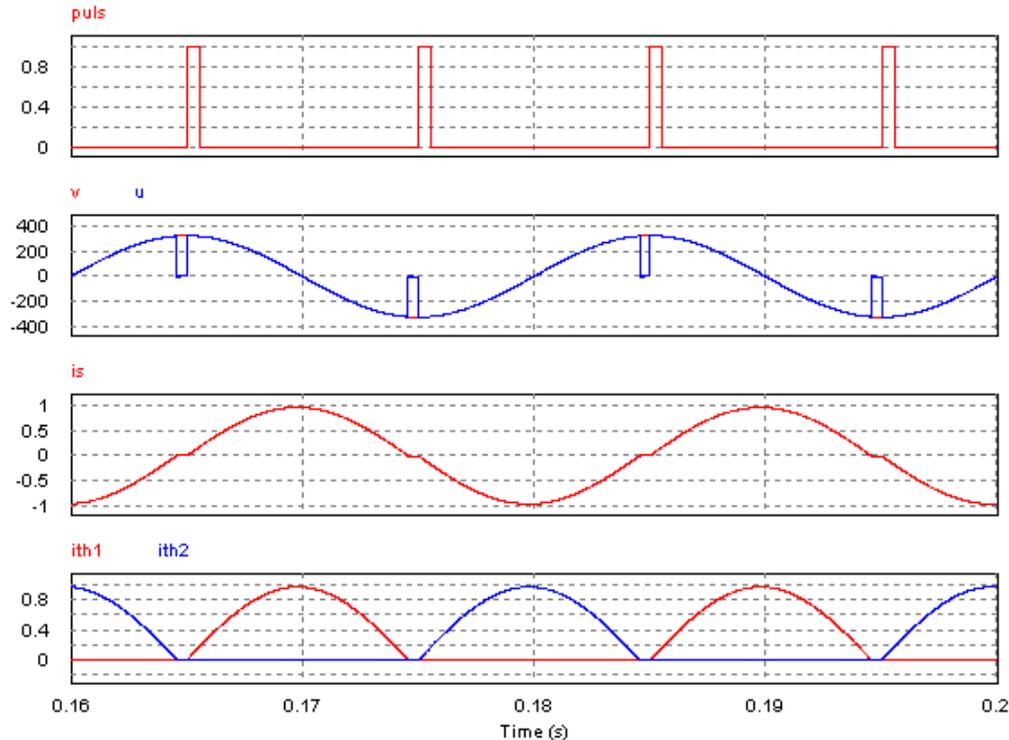
On constate que, si les thyristors s'amorce à l'instant de la commande, leur conduction ne s'arrête plus en fin d'alternance. En effet l'inductance retarde l'arrêt du courant.

On peut voir ici que les deux thyristor conduisent chacun leur tour. Th1 sur les alternances positives et Th2 sur les alternances négatives

3° Fonctionnement sur charge inductive

a) Observation du fonctionnement (bis) :

Pour un retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$, et une charge très inductive, on observe les courbes de fonctionnement suivantes :



La charge étant très inductive, on constate que l'arrêt de la conduction se produit beaucoup plus tard que dans le cas précédent (la durée de l'arrêt du courant est quasiment égale à sont temps de montée).

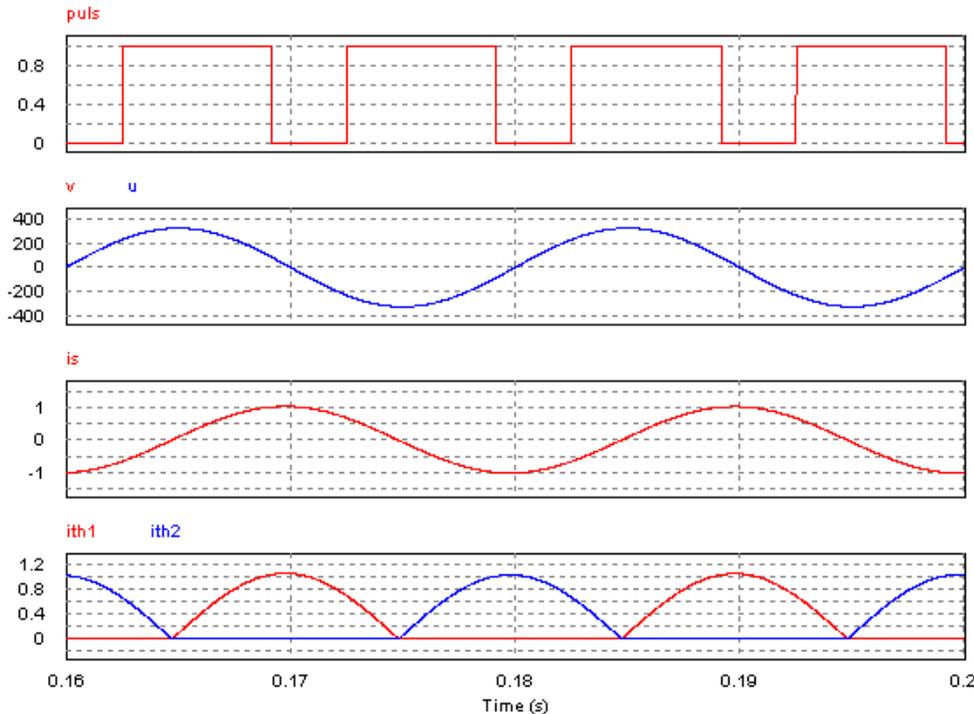
On peut déjà en déduire que la valeur efficace de la tension de sortie dépend non seulement du réglage du retard mais aussi de la nature de la charge.

(attention !! Pour cette simulation la durée du train d'impulsion est différente de la précédente mais ce n'est en aucun cas la cause des différences observée)

3° Fonctionnement sur charge inductive

a) Observation du fonctionnement (ter) :

Pour un retard à l'amorçage $\alpha = 45^\circ$, une charge très inductive et des impulsions de commande longue, on observe les courbes de fonctionnement suivantes :



En réduisant le retard à l'amorçage, on augmente le temps de montée du courant mais aussi sont temps d'arrêt.

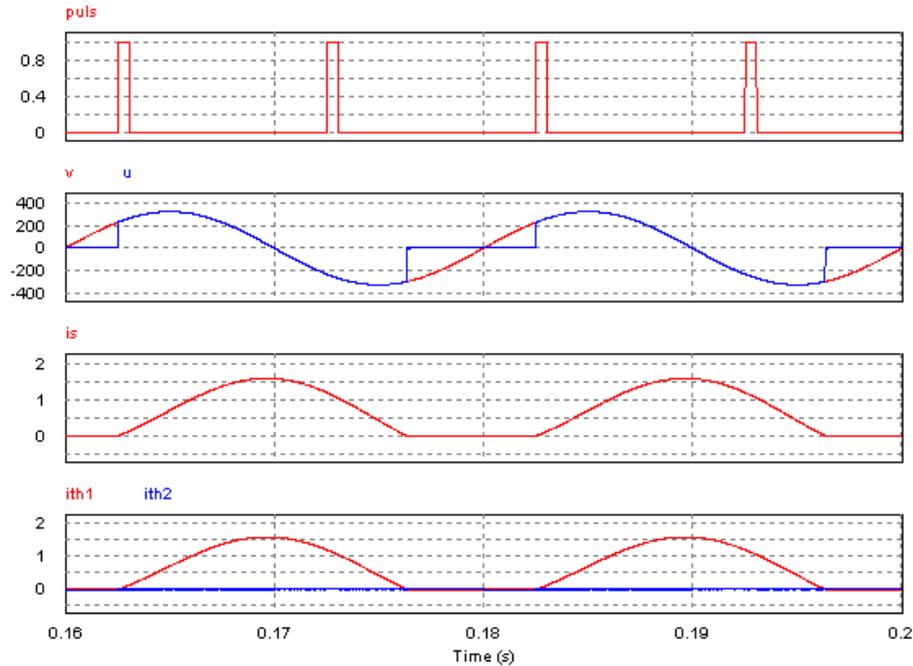
A l'arrêt de la conduction du premier thyristor, La commande agit déjà sur le second qui entre immédiatement en conduction. Le gradateur n'a donc plus d'effet sur le fonctionnement de la charge.

On en déduit que la largeur de la plage de commande du gradateur dépend de la nature de la charge

3° Fonctionnement sur charge inductive

a) Observation du fonctionnement (quarte) :

Pour un retard à l'amorçage $\alpha = 45^\circ$, une charge très inductive et des impulsions de commande courtes, on observe les courbes de fonctionnement suivantes :



Si on réduit la largeur des train d'impulsion de commande. Le second thyristor reçoit sont impulsion avant la fin de la conduction du premier

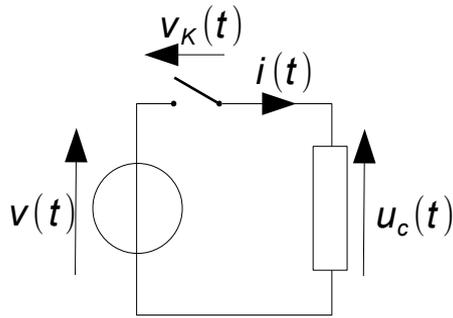
Ce second thyristor n'entre jamais en conduction.

Sur une charge inductive il est donc important de s'assurer du bon ajustement du système de commande.

3° Fonctionnement sur charge inductive

b) interprétation, séquence de fonctionnement :

On peut déduire des courbes que le montage présente les quatre phases de fonctionnement suivantes



de γ à α

élément déclenchant le changement de phase :

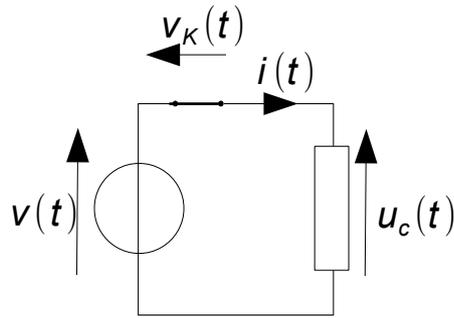
Annulation du courant

élément conducteur avant :

Th2

élément conducteur au court de la phase :

Aucun



de α à $180^\circ + \gamma$

élément déclenchant le changement de phase :

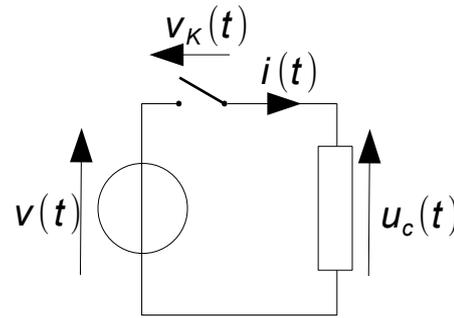
Impulsion sur les gâchettes

élément conducteur avant :

Aucun

élément conducteur au court de la phase :

Th1 car sa tension est positive à l'instant de la commande



De $180^\circ + \gamma$ à $\alpha + 180^\circ$

élément déclenchant le changement de phase :

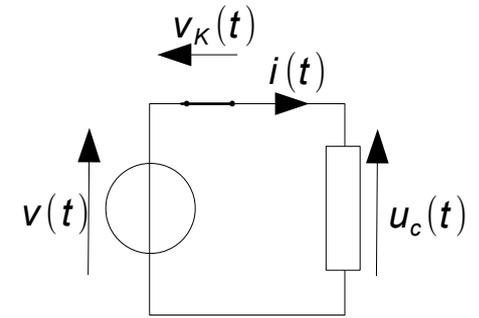
Annulation du courant

élément conducteur avant :

Th1

élément conducteur au court de la phase :

Aucun



de $\alpha + 180^\circ$ à $360^\circ + \gamma$

élément déclenchant le changement de phase :

Impulsion sur les gâchettes

élément conducteur avant :

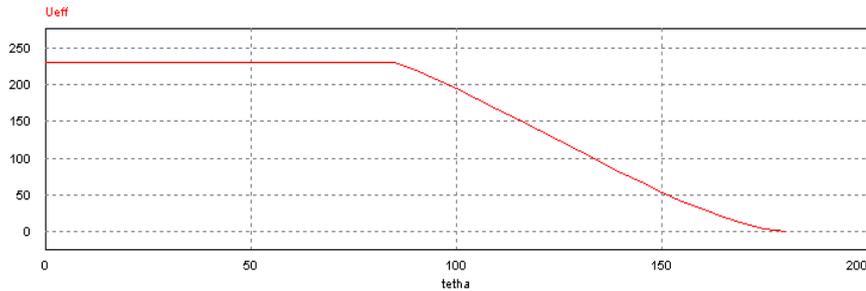
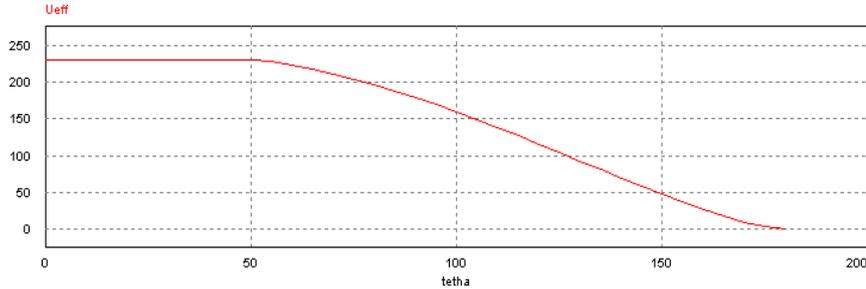
Aucun

élément conducteur au court de la phase :

Th2 car sa tension est positive à l'instant de la commande

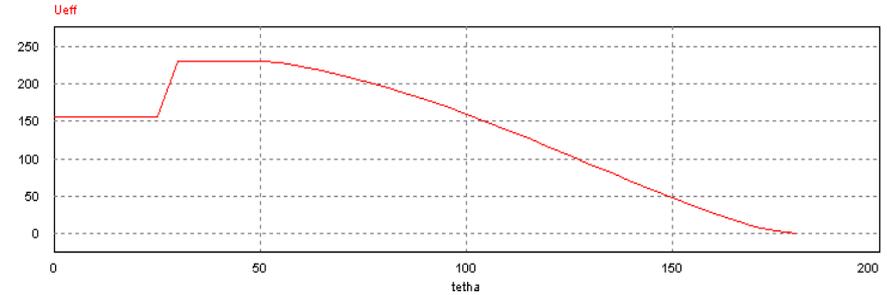
3° Fonctionnement sur charge inductive

c) Observation tension efficace :



Les deux courbes ci-dessus ont été obtenue dans les même condition de commande. Seul l'inductance de la charge a changé. Elle est dix fois plus grande pour la simulation du bas.

On constate que la plage de réglage s'est réduite.



Pour cette troisième courbe. On a réduit la largeur des train d'impulsion de la commande des gâchettes.

On constate que la partie droite de la courbe est la même. Mais, pour les faibles valeurs de retard, la valeur efficace s'effondre. Cette partie correspond aux valeur pour lesquelles le second thyristor n'est pas entré en conduction.

3° Fonctionnement sur charge inductive

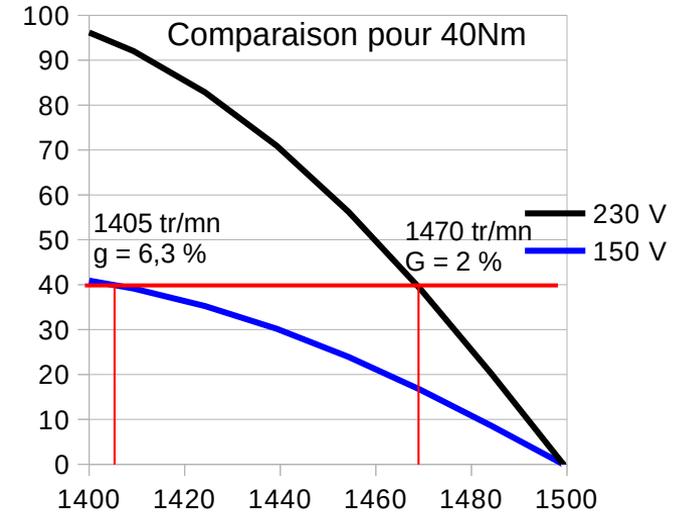
d) Application

- Variation de vitesse des moteurs.

Si on observe la caractéristique mécanique d'un moteur pour deux tensions d'alimentation de même fréquence. On constate que pour un même couple la vitesse est différente. Toutefois, cette variation se fait en jouant sur le glissement, donc sur les pertes joules du rotor.

On constate aussi que le couple maximum du moteur diminue avec la tension.

Cette solution n'est donc à envisager que faute de mieux.
On lui préférera une alimentation en V/f constant.



- Démarreur progressif

Sur un temps limité la solution énoncée pour la variation de vitesse est envisageable. Elle est appliquée pour le fonctionnement des démarreurs progressifs de moteur asynchrone. Leur rôle est de limiter les a-coup mécanique et les pics de courant au démarrage ou à l'arrêt.

