



UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
Département Génie Électrique



Électronique de puissance

Pr : M. LAHBABI

MASTER : ESSA

Electronique Signaux et Systèmes Automatisés

Programme

Chapitre 1 :

Introduction à l'électronique de puissance

Chapitre 2 :

Composants de l'électronique de puissance

Chapitre 3 :

Les systèmes de commande

Chapitre 4 :

Les convertisseurs statiques : redresseurs,
hacheurs, gradateurs, onduleurs

Chapitre 4 : Les convertisseurs statiques

III- Gradateurs et Cycloconvertisseurs

1- Introduction

2- Gradateurs

principe - structure

Commande par angle de phase. Commande par train d'onde

Etude du gradateur monophasé sur charge R-L

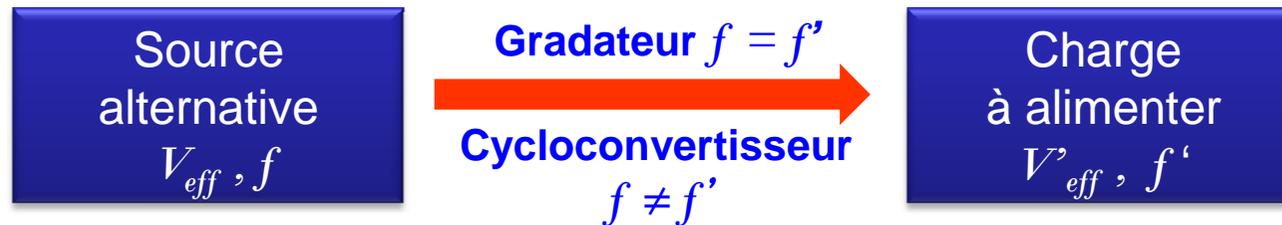
3- Cycloconvertisseurs

1- Introduction :

Ce sont des convertisseurs directs du type alternatif - alternatif.

Ils produisent des tensions et des courants alternatifs à partir d'une alimentation alternative.

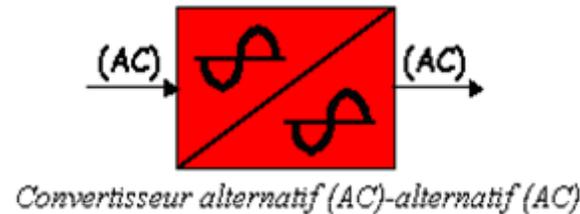
Gradateurs lorsque seule la valeur efficace de la tension alternative est modifiée (pas de changement de fréquence),
sinon ce sont des **cycloconvertisseurs** (changement de fréquence).



2- Gradateurs :

Un gradateur est un convertisseur alternatif-alternatif dont la valeur efficace de la tension de sortie est réglable.

Permet le contrôle de la puissance absorbée par un récepteur en régime alternatif.



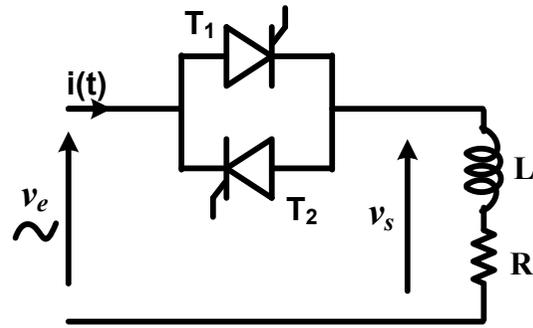
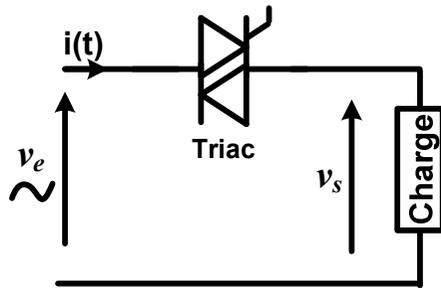
a- Principe :

- Il découpe la tension sinusoïdale d'entrée, et la charge ne reçoit qu'une partie des deux alternances.

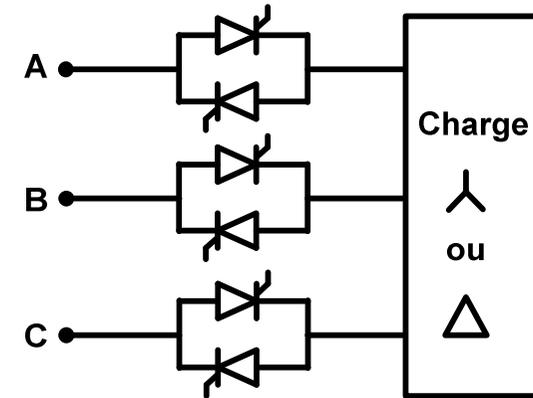
➔ Un interrupteur commandé, il établit ou interrompt la liaison entre la source et la charge.

b- structure d'un gradateur :

- Un gradateur utilise des **triacs** ou des **thyristors montés en tête-bêche** (partie puissance).



Monophasé sur charge R-L



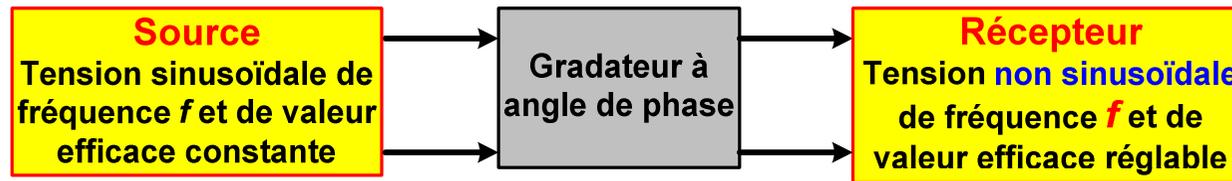
Triphasé

- Peut être monophasé ou triphasé.
- la charge peut être résistive pure, inductive pure, L-R, ou L-R-E; (E est une f.é.m)
- La partie commande constituée de circuits électroniques permettant d'élaborer les signaux de commande des thyristors.
- Suivant la nature du signal de commande (**analogique ou numérique TOR**) ; la tension aux bornes de la charge évolue différemment :

Il existe donc deux types de gradateurs : ♦ **Gradateur à angle de phase.**

♦ **Gradateur à train d'onde.**

c- Gradateur à angle de phase :

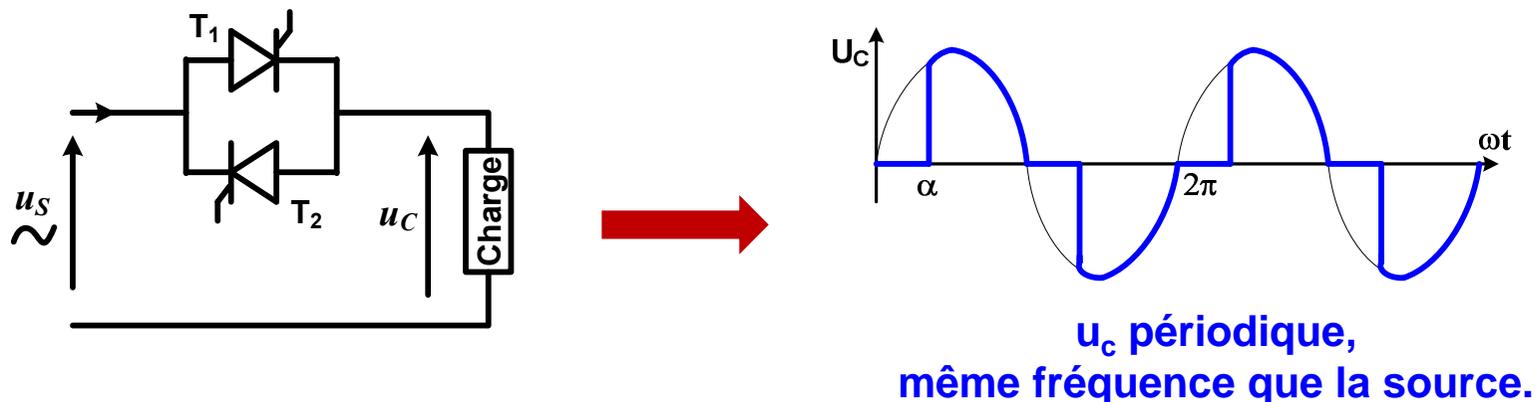


Dans ce type de gradateurs, le **signal** envoyé sur l'entrée **de commande** est **analogique**.

cas du gradateur à thyristors; charge résistive :

Le thyristor T_1 est amorcé durant l'alternance positive avec un angle de retard α par rapport au passage par zéro de la tension de la source.

Le thyristor T_2 est amorcé avec le **même angle de retard** durant l'alternance négative.



- Tension efficace aux bornes de la charge :

$$U_c = u_{ceff} = U_{seff} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

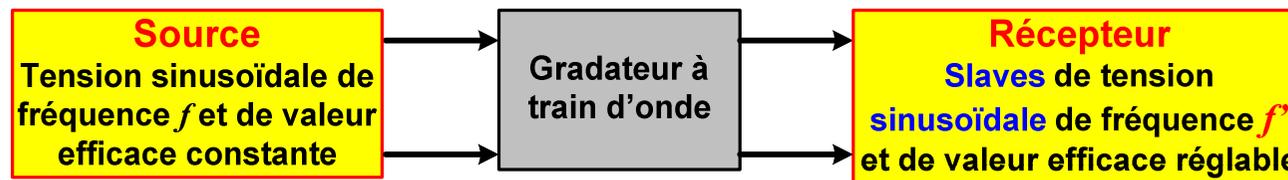
U_{seff} : tension efficace de la source.

$$\sin^2(\alpha) = \frac{1 - \cos(2\alpha)}{2}$$

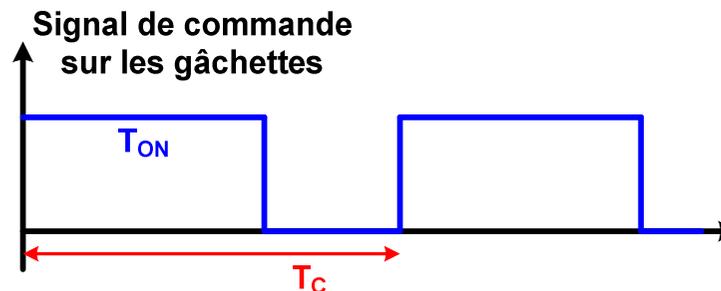
- Domaine d'utilisation :

Chauffage; Eclairage, Variation de vitesse des moteurs alternatifs de faible puissance (perceuse, aspirateurs...)

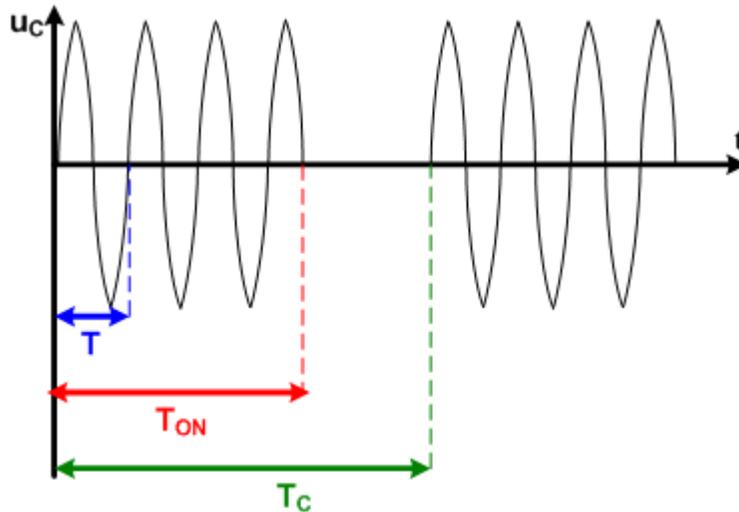
d- Gradateur à train d'onde :



Dans ce type de gradateurs, le signal envoyé sur l'entrée de commande est de type numérique (TOR) .



Les thyristors T_1 et T_2 sont amorcés de manière continue pendant le temps T_{ON} (temps de conduction) et ils sont ensuite bloqués jusqu'à la fin de la période du signal de commande.



T : Période de la tension source.

T_{ON} : durée du train d'onde (salve)

T_C : période du signal de commande

Le gradateur à trains d'ondes est un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme à la période $T_{ON} = nT$. La conduction est commandée pour un nombre entier de périodes par cycle.

▪ Tension efficace aux bornes de la charge résistive :

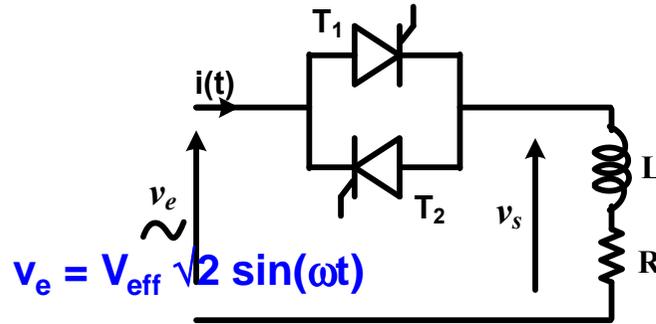
$$u_{ceff} = U_C = U_{seff} \cdot \sqrt{\beta}$$

U_{seff} : tension efficace de la source.

β : rapport cyclique.

$$\beta = \frac{T_{ON}}{T_C}$$

e- Etude du gradateur monophasé avec charge R-L :



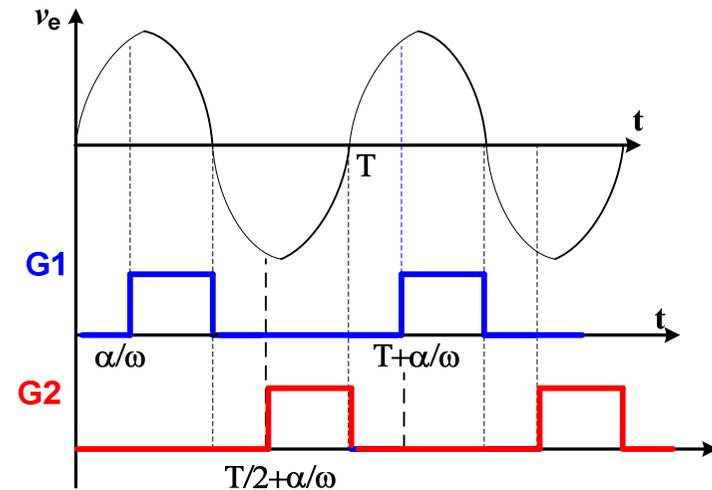
Les thyristors sont amorcés avec un retard $t = \alpha/\omega$ sur les débuts des alternances de la tension sinusoïdale.

Lorsque T_1 est passant , on a :

$$v_s(t) = v_e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

Solution de la forme :

$$i(t) = A e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \sin(\omega t - \varphi)$$



Où Z est le module de l'impédance complexe \check{Z} ; avec $\check{Z} = R + jL\omega = Z.e^{(j\varphi)}$

φ est le déphasage de la charge (déphasage entre $i(t)$ et $v_s(t)$).

et A est une constante d'intégration, déterminée par les conditions initiales;

avec $i = 0$ lorsque $t = \alpha/\omega$; $i(t = \alpha/\omega) = 0$. ➔

$$i(\alpha/\omega) = 0 = A e^{-\frac{R\alpha}{L\omega}} + \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \sin(\alpha - \varphi)$$



$$A = -\frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \sin(\alpha - \varphi) e^{\frac{R\alpha}{L\omega}}$$

On remplace A dans l'expression de i(t) :

$$i(t) = \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \sin(\omega t - \varphi) - \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{\frac{R\alpha}{L\omega}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

Enfinement :
$$i(t) = \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{Z} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{\frac{R\alpha}{L\omega}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \right]$$

L'instant t_1 où T_1 se bloque :

T_1 se bloque lorsque $i(t) = 0$; soit : $i(t_1) = 0$



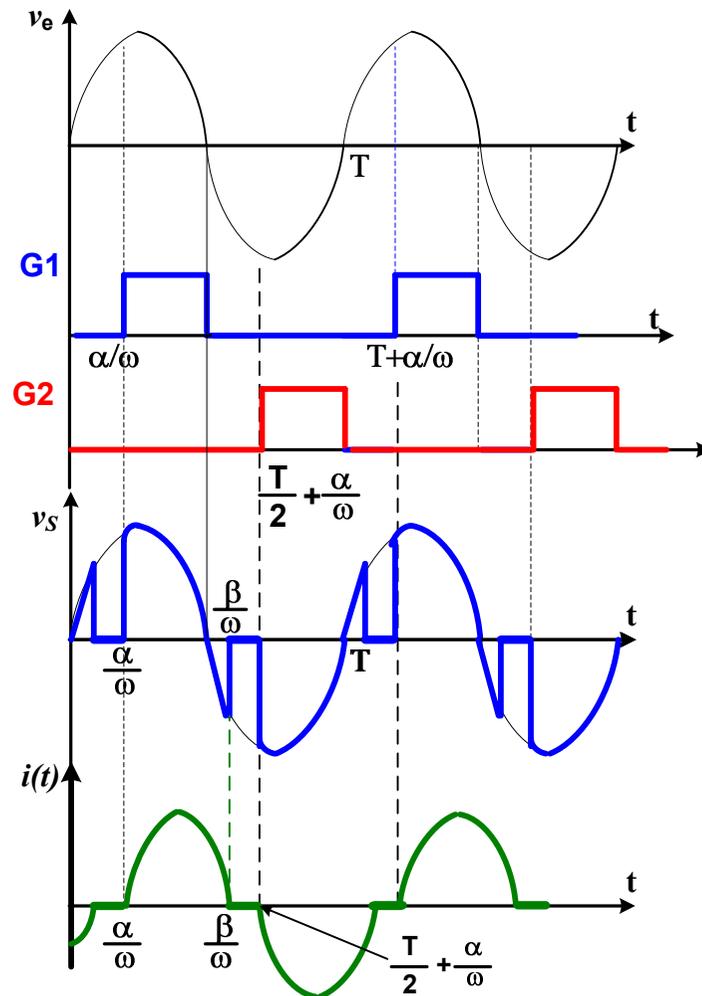
$$\sin(\omega t_1 - \varphi) = \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{\frac{R\alpha}{L\omega}} \cdot e^{-\frac{R}{L}t_1}$$

❖ Si $\alpha > \varphi$; $\sin(\alpha - \varphi) > 0$ et donc : $\sin(\omega t_1 - \varphi) > 0$; soit $\omega t_1 - \varphi < \pi$

On pose $\beta = \omega t_1$; alors $\beta < \pi + \varphi < \pi + \alpha$; **Puisque $\alpha > \varphi$**

Le thyristor T_1 se bloque avec un retard β avant que T_2 reçoive, avec un retard $(\pi + \alpha)$, une impulsion de commande.

Les deux thyristors sont bloqués entre les instants $\frac{\beta}{\omega}$ et $\frac{\alpha + \pi}{\omega} = \frac{\alpha}{\omega} + \frac{T}{2}$



❖ Si $\alpha < \varphi$; $\sin (\alpha - \varphi) < 0$ et le retard β à l'extinction est tel que :

$$\sin (\beta - \varphi) < 0; \text{ soit } \beta - \varphi > \pi \Rightarrow \beta > \pi + \varphi > \pi + \alpha$$



Le thyristor T_1 se bloque après que T_2 a reçu le signal d'amorçage.

Si le signal de commande est une simple impulsion courte, le thyristor T_2 ne s'amorce pas et T_1 sera réenclenché à l'alternance positive suivante.



Cas non intéressant, puisque la tension de sortie n'est pas alternative (car T_2 reste bloqué et T_1 s'amorcera à l'impulsion suivante) \Rightarrow Tension redressée.

Conclusion :

Le fonctionnement du gradateur dépend du type d'impulsions sur la gâchette :

➤ **Impulsions de courtes durées :**

Le thyristor T_2 ne peut pas s'amorcer , le gradateur fonctionne en redresseur mono alternance.

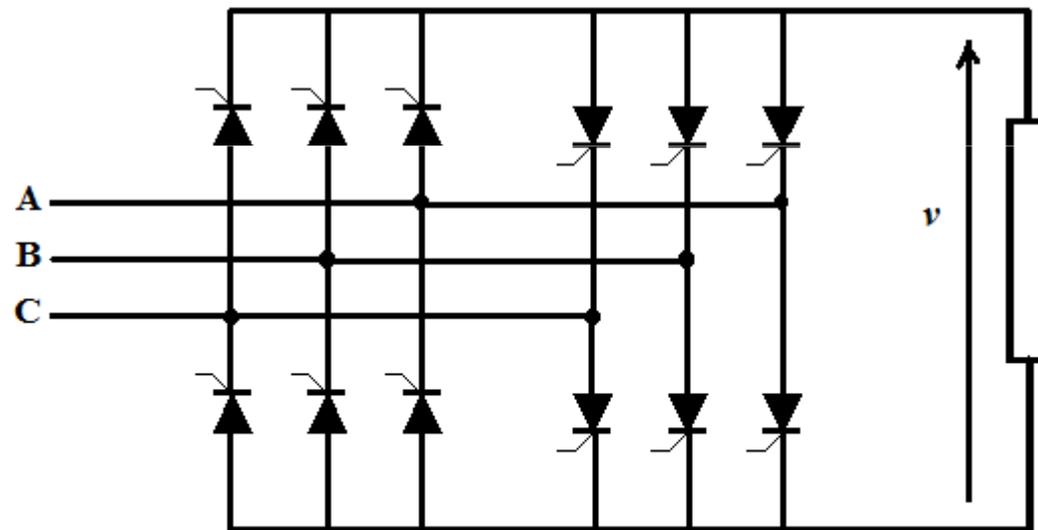
➤ **Impulsions de longues durées :**

Le thyristor T_2 s'amorce lorsque le courant devient négatif. Au bout d'un certain temps le régime transitoire disparaît et le courant devient sinusoïdal. Le gradateur se comporte comme un interrupteur fermé.

3- Les cycloconvertisseurs :

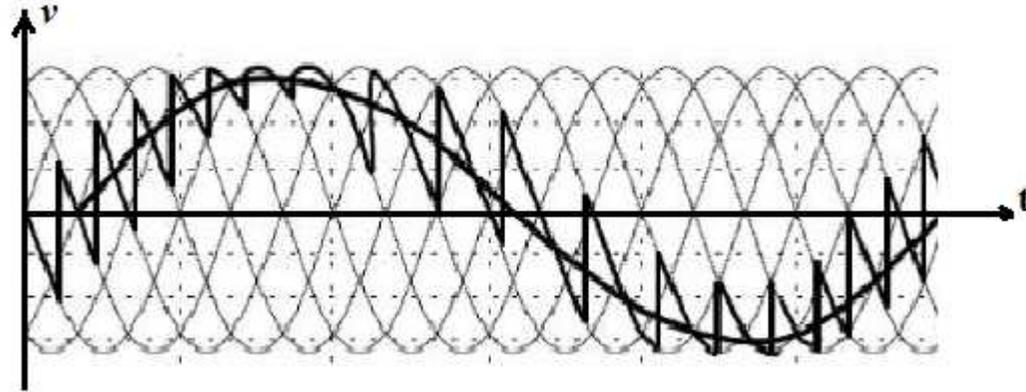
Un cycloconvertisseur est un convertisseur de fréquence; il permet d'obtenir, à partir d'un réseau de fréquence donnée, une ou plusieurs tensions de fréquence plus petite, généralement inférieure à celle du réseau.

un cycloconvertisseur peut être construit à partir de deux ponts triphasés montés en tête-bêche. Chaque pont fournira une alternance du courant de charge.



Le principe du cycloconvertisseur est de prendre des fractions des tensions sinusoïdales du réseau afin de reproduire une onde de fréquence inférieure.

Allure de la tension produite au borne de la charge par un cycloconvertisseur :



On produit une tension de sortie alternative de fréquence différente de celle des tensions d'alimentation en modulant l'angle de retard à l'amorçage (retard à l'enclenchement) des thyristors au rythme de la basse fréquence.

L'angle de retard à l'amorçage de chaque thyristor est déterminé à partir d'un signal de référence généralement sinusoïdale. Il contient les paramètres (**la fréquence**) de la tension que l'on souhaite obtenir.

La tension de sortie, montre la présence d'ondulation résiduelle qui est du même ordre de grandeur que celle obtenue pour les montages tout thyristors.

➤ **Les applications:**

Vu la complexité des cycloconvertisseurs, leur utilisation se situe essentiellement dans le domaine des fortes puissances pour :

- **Variateurs de vitesse pour machines alternatives**
- **Transposition de la fréquence d'une source**
- **Connexion de deux réseaux de fréquence différente.**