

Chapitre 5. Convertisseurs AC-AC : Les Gradateurs Monophasés

5.1 Définition

Les gradateurs sont les convertisseurs alternatif-alternatif servant à commander le débit d'une source alternative dans un récepteur alternatif sans changer de fréquence. Il permet, en partant d'une tension alternative (monophasée ou triphasée) de valeur efficace constante, d'obtenir une tension de valeur efficace variable dont la valeur est comprise entre zéro et la valeur efficace de la tension de départ.

Le schéma de base d'un gradateur est formé de deux thyristors, *Th1* et *Th2* montés tête-bêche (ou antiparallèle), ouvrant ou fermant la liaison source-récepteur.

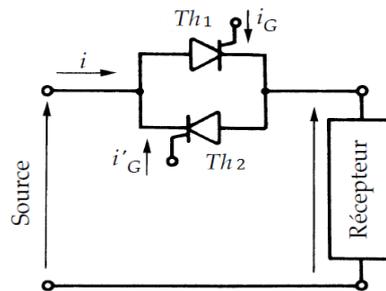


FIGURE 5.1 Gradateur monophasé a deux thyristors tête-bêche.

Quand il s'agit d'une application de faible puissance les deux thyristors sont souvent remplacés par un *triac* qui est un composant bidirectionnel.

Le triac, ou thyristor bidirectionnel, groupe en un seul composant les deux thyristors montés tête-bêche. L'unicité de l'électrode de commande facilite beaucoup la réalisation des interrupteurs en faible et moyenne puissance.

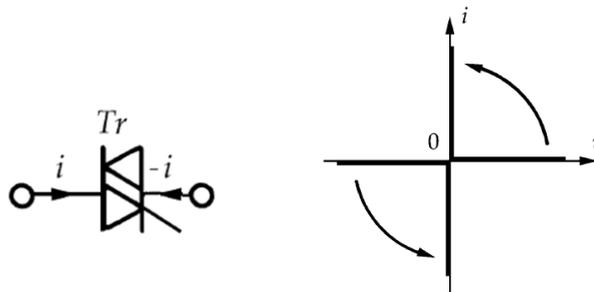


FIGURE 5.2 TRIAC : Interrupteur bidirectionnel.

5.2 Gradateurs monophasés, débit sur un récepteur purement résistant R

Soit le montage de la figure 5.3, dont La tension d'alimentation est $v_e(t) = V_m \sin \omega t$

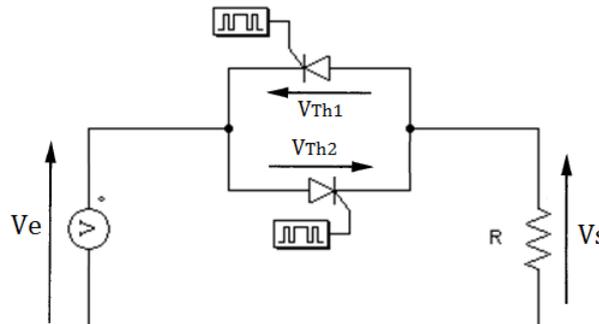


FIGURE 5.3 Gradateur monophasés avec charge résistive.

On commande les deux thyristors Th1 et Th2 successivement à Ψ et $\pi+\Psi$, c.-à-d. si le thyristor Th1 est amorcé durant l'alternance positive avec un angle de retard Ψ , le thyristor Th2 amorcé durant l'alternance négative avec le même angle de retard.

$$v_{Th1}(t) = -v_{Th2}(t)$$

Si on néglige la chute de tension dans les thyristors, le courant dans la résistance est :

$$i_R(t) = \frac{V_m}{R} \sin \omega t \text{ pour } \Psi \leq \omega t \leq \pi \text{ et } \pi + \Psi \leq \omega t \leq 2\pi$$

et $i_R(t) = 0$ pendant le reste de la période.

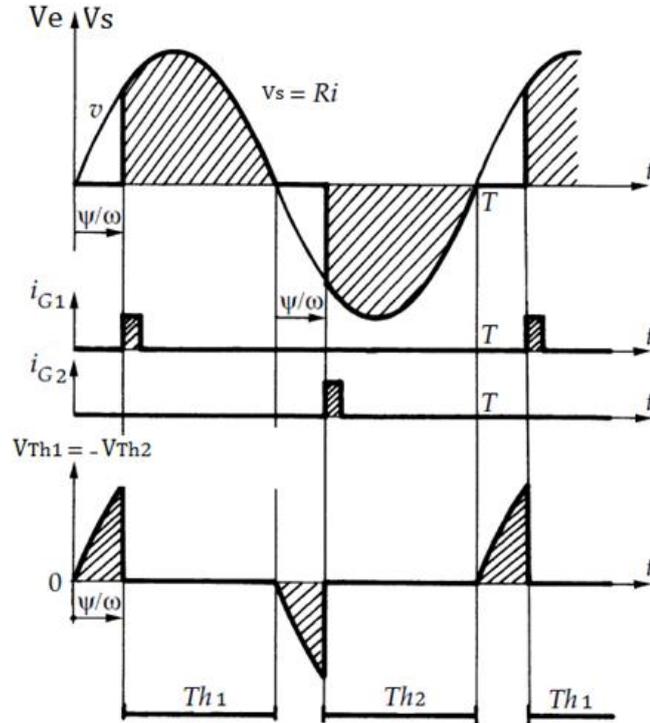


FIGURE 5.4 Ondes de tensions d'un gradateur monophasé sur charge résistive.

La valeur efficace de la tension V_{ch} aux bornes de la charge est définie par :

$$\begin{aligned} V_{ch_eff}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_R^2(\theta) d\theta = 2 \times \frac{1}{2\pi} \int_{\Psi}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \theta d\theta \\ &= \frac{V_m^2}{2\pi} \left[\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{\Psi}^{\pi} = \frac{V_m^2}{2\pi} \left(\pi - \Psi + \frac{1}{2} \sin 2\Psi \right) \end{aligned}$$

$$V_{ch_eff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\Psi}{2\pi} + \frac{1}{4\pi} \sin 2\Psi}$$

Et la valeur efficace du courant I :

$$I_{ch_eff} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\Psi}{2\pi} + \frac{1}{4\pi} \sin 2\Psi}$$

5.3 Gradateurs monophasés, débit sur un récepteur résistant et Inductif RL

L'argument φ du récepteur réduit la variation de l'angle Ψ qui assure le passage de I de son maximum à 0.

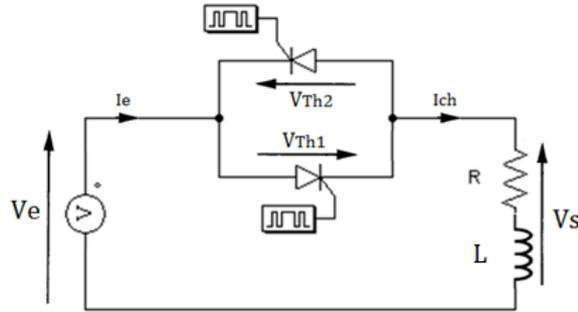


FIGURE 5.5 Gradateur monophasés avec charge résistive et inductive.

D'après la loi des mailles et si le courant est conduit, on a:

$$v_e(t) = v_R(t) + v_L(t)$$

$$V_m \sin \omega t = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

Et le courant $i_{ch}(t)$ a pour expression :

$$i_{ch}(t) = i_1(t) + i_2(t) = \frac{V_m}{|Z|} \left[\sin(\varphi - \Psi) \cdot e^{-\frac{1}{\tau}(t - \frac{\Psi}{\omega})} + \sin(\omega t - \varphi) \right]$$

$$\text{Avec: } |Z| = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} \text{ et } \varphi = \arctan \frac{L\omega}{R}$$

On distingue trois cas :

a- Le courant de l'inductance s'annule à $\pi + \beta$ inférieur à $\pi + \psi$ ($\beta < \psi$)

Pour $\psi < \omega t < \pi + \beta$: Le thyristor $Th1$ est débloqué à $\omega t = \psi$, et le thyristor $Th2$ est bloqué, donc :
 $v_{ch}(t) = v_e(t)$.

Le courant $i_{ch}(t) = i_1(t) + i_2(t)$ passe par $Th1$, et il s'annule à $\omega t = \pi + \beta$, donc le thyristor $Th1$ reste passant jusqu'à cet instant.

Pour $\pi + \beta < \omega t < \pi + \psi$: Les deux thyristors sont bloqués, donc :

$$i_{ch}(t) = 0, \quad v_{ch}(t) = 0$$

Pour $\pi + \psi < \omega t < 2\pi + \beta$: Le thyristor $Th2$ devient conducteur à $\omega t = \pi + \psi$, et le thyristor $Th1$ est bloqué, donc :

$$v_{ch}(t) = v_e(t) .$$

Le courant $i_{ch}(t) = i_1(t) + i_2(t)$ passe par $Th2$, et il s'annule à $\omega t = 2\pi + \beta$, donc le thyristor $Th2$ reste passant jusqu'à cet instant.

Le thyristor $Th2$ écoule une alternance négative de $i_{ch}(t)$ identique, au signe près, à son alternance positive.

Calculer La valeur efficace de la tension V_{ch} .

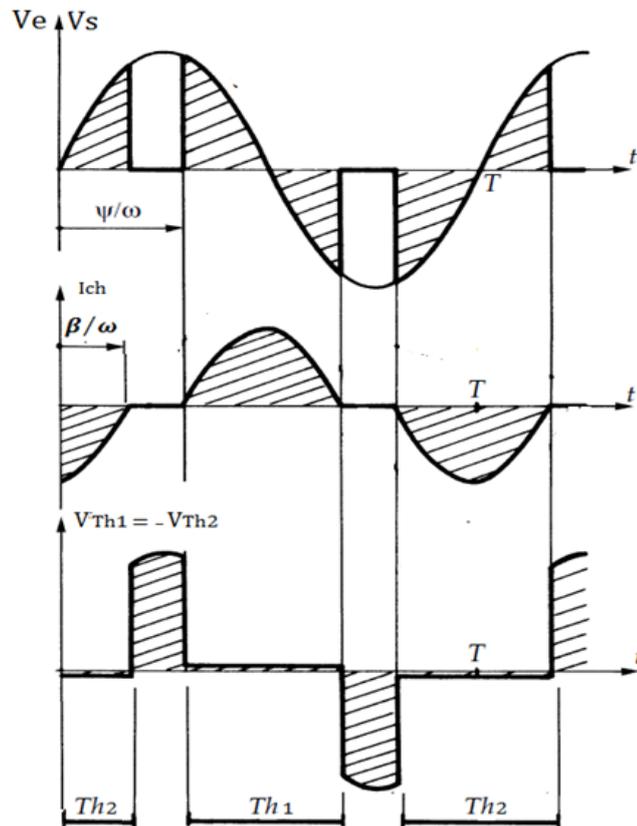


FIGURE 5.6 Ondes de tensions et courant sur charge inductive et résistive ($\beta < \psi$).

b- Fonctionnement avec $\pi + \beta$ supérieur à $\pi + \psi$ ($\psi < \beta$)

Lorsque l'angle ψ devient inférieur à β , le fonctionnement dépend de la nature des signaux appliqués aux gâchettes.

- **Cas d'impulsions de courte durée :**

Si le thyristor $Th1$ est le premier à recevoir une impulsion utile, il entre en conduction jusqu'à $\omega t = \pi + \beta$.

L'impulsion envoyée sur la gâchette du thyristor $Th2$ pour $\omega t = \pi + \psi$ trouve ce thyristor avec une tension anodique négative (chute de tension dans $Th1$ conducteur) et le courant conduit est de sens positive; l'impulsion est donc sans effet et le thyristor $Th2$ est bloqué.

Quand la tension anodique de $Th2$ devient positive à $\omega t = \pi + \beta$, il n'y a plus de courant sur la gâchette de $Th2$, donc il reste bloqué.

Le montage fonctionne comme un redresseur simple alternance commande par le thyristor $Th1$ avec un courant de sortie unidirectionnel, donc de façon *anormale*.

Calculer La valeur efficace de la tension V_{ch} .

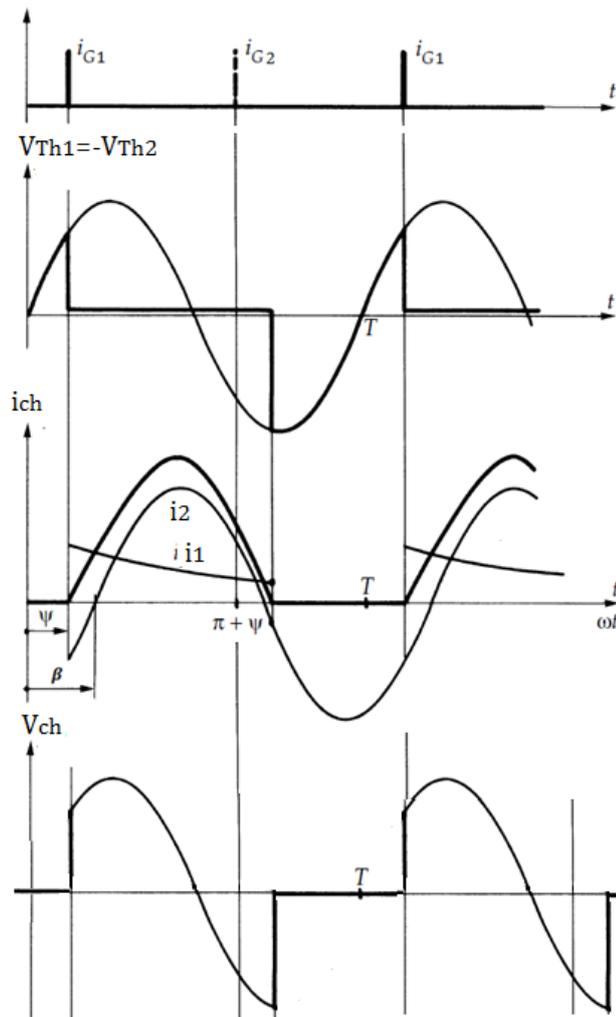


FIGURE 5.7 Ondes de tensions et courant sur charge inductive et résistive ($\beta > \psi$) et d'impulsions de courte durée.

- **Cas de signaux de largeur suffisante**

Supposons à nouveau que le thyristor *Th1* entre le premier en conduction ; il reste passant jusqu'à $\omega t = \pi + \beta$ comme précédemment.

Pour $\omega t = \pi + \beta$, la tension aux bornes du thyristor *Th2* devient positive et sa gâchette alimentée depuis $\omega t = \pi + \psi$, et il reçoit encore un courant de déblocage, il entre donc en conduction à l'instant $\omega t = \pi + \beta$.

Il en sera de même pour $\omega t = 2\pi + \beta$ lorsque *Th1* redeviendra conducteur. Au bout de quelques périodes, le terme $i_1(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\Psi - \varphi) e^{-\frac{1}{\tau}(t - \frac{\Psi}{\omega})}$ a disparu, et le courant *i* se confond avec la sinusoïde représentant $i_2(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi)$.

Calculer La valeur efficace de la tension V_{ch} .

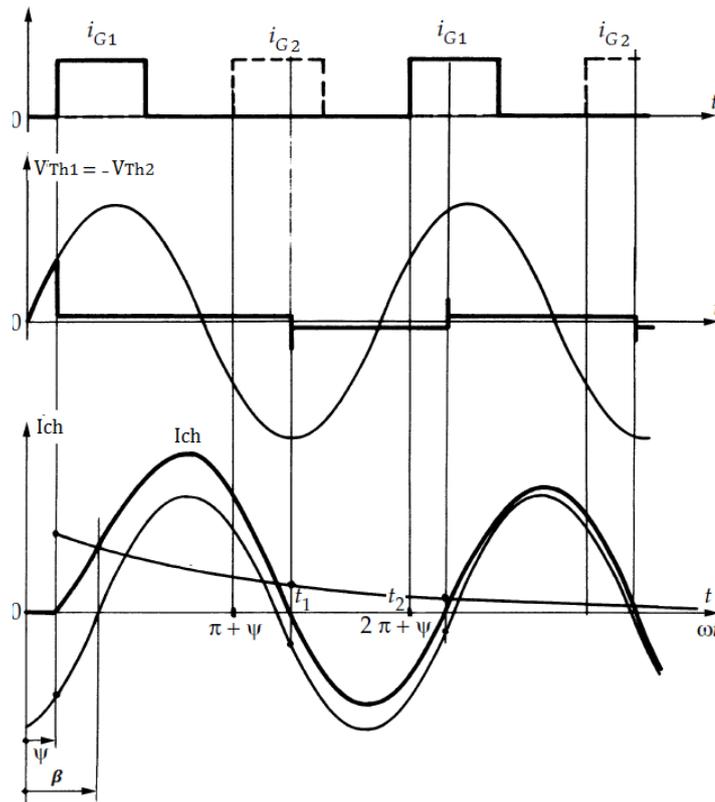


FIGURE 5.7 Ondes de tensions et courant sur charge inductive et résistive ($\beta > \psi$) et d'impulsions de courte durée.

c- Fonctionnement à ψ égale à β :

Le terme exponentiel du courant $i(t)$ disparaît, puisque $\sin(\Psi - \varphi) = 0$, donc le courant est sinusoïdal et identique à celui qu'on aurait en réunissant directement la source au récepteur.

tracer les formes d'onde.

Calculer La valeur efficace de la tension V_{ch} .