



## LES CONVERTISSEURS AC/AC : LES GRADATEURS

### **Objectifs :**

- ▶ Savoir le principe de fonctionnement du gradateur.
- ▶ Savoir tracer les différentes grandeurs d'entrées et de sorties d'un gradateur.
- ▶ Savoir dimensionner et calculer un gradateur dans une installation.

## 1. Généralités

### 1.1.Définition

Un gradateur c'est un convertisseur statique qui produit un système de tension et courant alternatifs variable à partir d'une source de tension alternative, sans en modifier la fréquence.

- L'intensité de courant du courant débité par la source est la même que celle absorbé par le récepteur.
- La fréquence ( $f$ ) est imposée par la source.

Un gradateur est un appareil de commande qui permet de contrôler la puissance absorbée par un récepteur en régime alternatif.

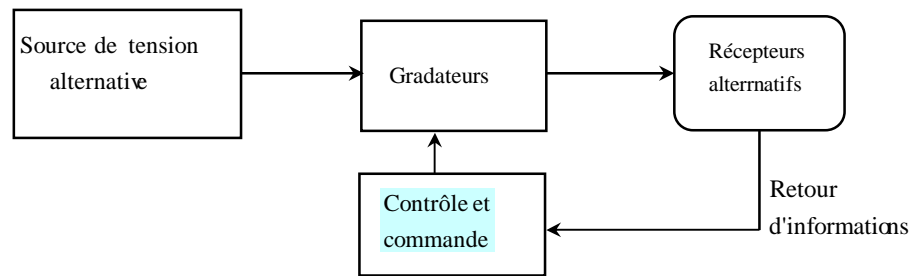


Fig.7.1: Structure générale

### 1.2.Principe de fonctionnement

Le gradateur est un interrupteur qui permet d'établir et d'interrompre la liaison entre la source et le récepteur. La tension aux bornes du récepteur évolue en fonction de la séquence de commande de l'interrupteur.

### 1.3.Constitution

Généralement l'interrupteur est bidirectionnel en courant. Il se compose d'une partie puissance et d'une partie commande intégrées dans le même bloc.

La partie puissance est constituée de deux thyristors montés « tête-bêche » pour les fortes puissances supérieures à 10 kW, ou d'un triac pour les puissances inférieures.

La partie commande est constituée de divers circuits électroniques permettant d'élaborer les signaux de commande des thyristors à partir d'un ordre de commande extérieur. Suivant les types de gradateur, ce signal de commande sera de type tout ou rien (TOR) ou bien analogique.

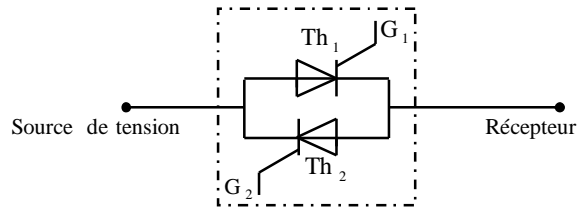


Fig.7.2: Montage à deux thyristors en « tête-bêche »

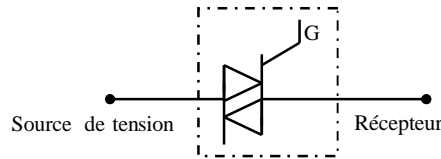


Fig.7.3: Montage à triac

## 2. Gradateur monophasé à angle de phase

Il est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace constante, et fournit à la charge une tension alternative non sinusoïdale de même fréquence que la tension d'alimentation, mais de valeur efficace réglable.

### 2.1.Charge résistive

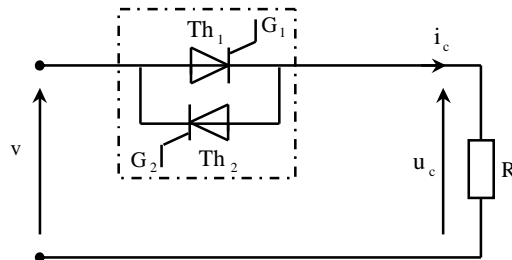


Fig.7.4: Gradateur monophasé sur R

Les impulsions de commande des gâchettes des thyristors sont générées périodiquement aux

instants successifs  $t_1 = \frac{\alpha}{\omega}$  et  $t_2 = \frac{\alpha + \pi}{\omega}$ , comme le montre la figure 7.5.

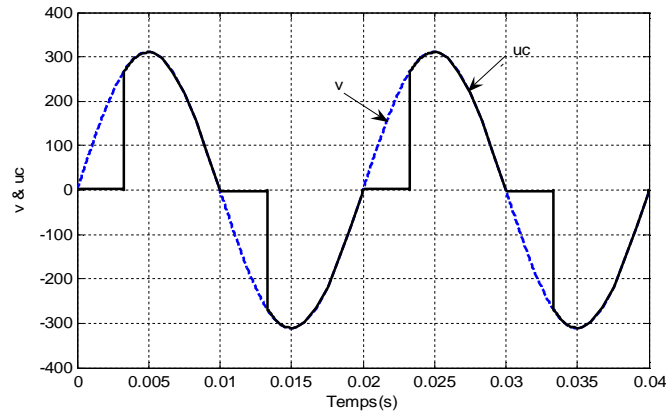


Fig.7.5: Tensions des grandeurs « v » et  $u_c$

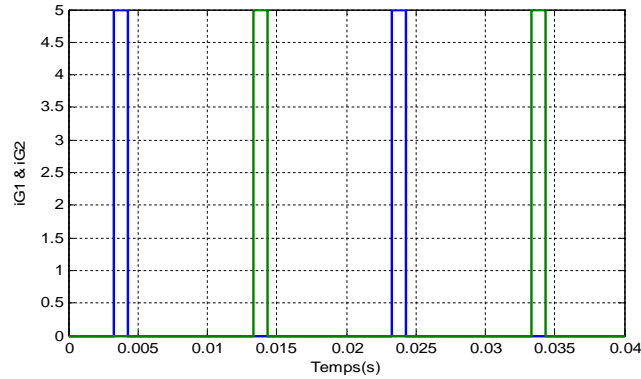


Fig.7.6 : Impulsions de commande «  $i_{G1}$  et  $i_{G2}$  » des thyristors  $Th_1$  et  $Th_2$

❖ **Valeurs caractéristiques:**

- Tensions de charge efficace :  $(u_c)_{\text{eff}} = V \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$
- Courant efficace :  $(i)_{\text{eff}} = \frac{V}{R} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$
- Puissance moyenne :  $(P_{\text{ch}})_{\text{moy}} = \frac{V^2}{R} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right)$

**Conclusion :**

Lorsque l'angle d'amorçage varie de 0 à  $\pi$ , la valeur efficace du courant varie aussi de son maximum  $I_{\text{max}} = \frac{V}{R}$  à 0.

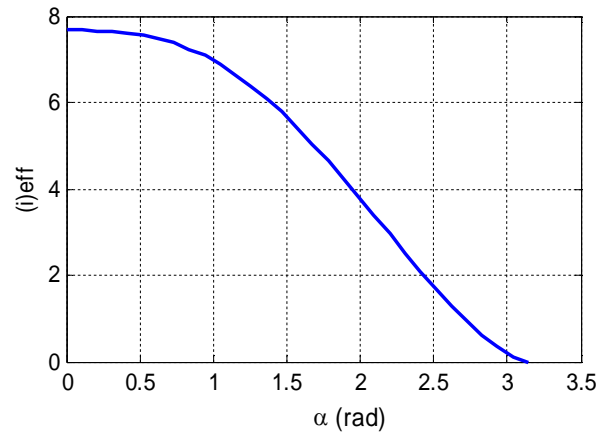


Fig.7.7 : Courant efficace en fonction de ( $\alpha$ )

## 2.2.Charge à caractère inductif

Le déphasage ( $\varphi$ ) du circuit de charge (R, L), réduit la variation de l'angle d'amorçage ( $\alpha$ ).

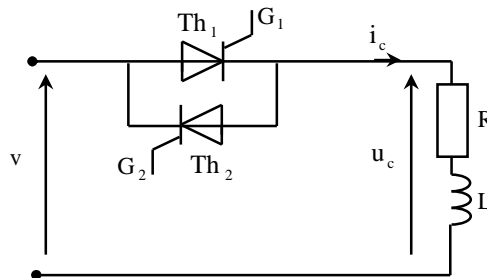


Fig.7.8: Gradateur monophasé sur RL

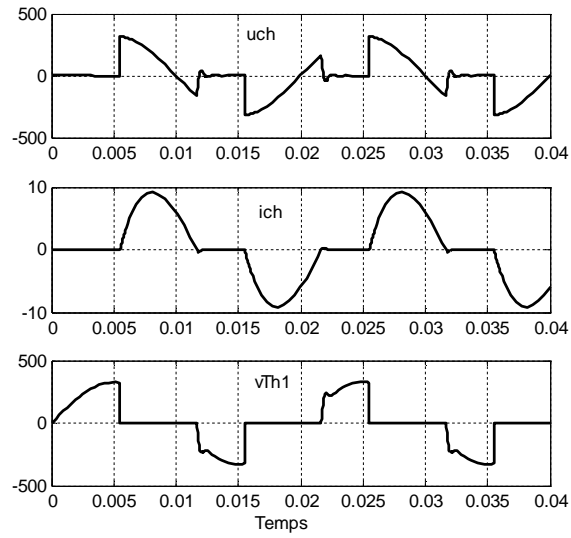


Fig.7.9: Allures de grandeurs ( $u_{ch}$ ,  $i_{ch}$  et  $v_{Th1}$ ) pour  $\alpha > \varphi$

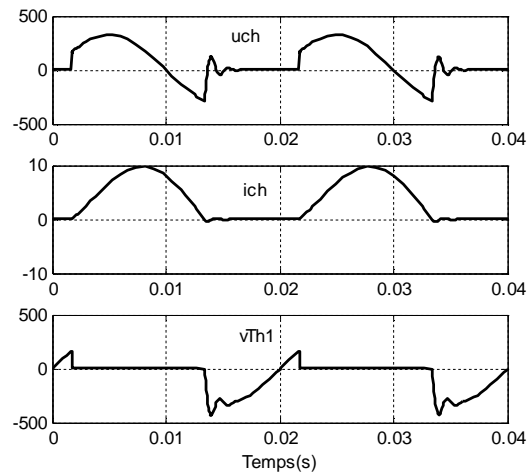


Fig.7.10: Allures de grandeurs ( $u_{ch}$ ,  $i_{ch}$  et  $v_{Th1}$ ) pour  $\alpha < \varphi$

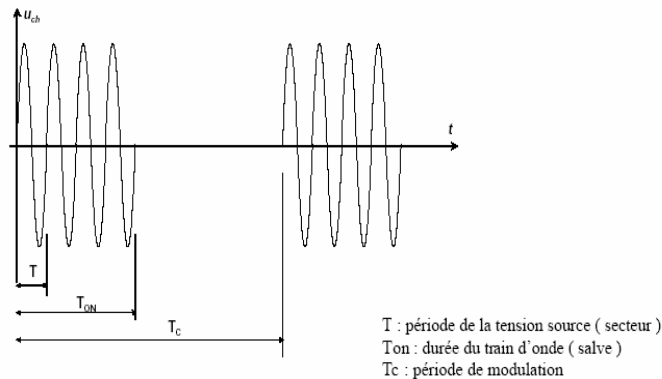
### 3. Gradateur monophasé à train d'ondes

#### 3.1. Définition

C'est un convertisseur statique, qui est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace constante, et fournit à la charge des salves de tension de manière à faire varier la valeur efficace de la tension aux bornes de la charge.

#### 3.2. Principe de fonctionnement

Dans ce type de gradateur, le signal envoyé sur l'entrée de commande du gradateur est de type « TOR ». Le thyristor  $Th_1$  et le thyristor  $Th_2$  sont amorcés de manière continue pendant le temps «  $T_{on}$  » et ils sont ensuite bloqués jusqu'à la fin de la période de modulation.



#### ❖ Valeurs caractéristiques :

- Valeur efficace de la charge :  $(u_{ch})_{eff} = V\sqrt{\beta}$
- Puissance moyenne dissipée dans la charge :  $(P_{ch})_{moy} = \frac{V^2}{R} \cdot \beta$

#### 3.3. Domaine d'utilisation de ce genre de gradateur

- Chauffage.
- Utilisés sur des systèmes présentant une inertie thermique importante.

#### Avantage:

- La tension aux bornes de la charge est alternative sinusoïdale, donc le courant absorbé l'est aussi. La présence d'harmonique de courant sera donc nulle.
- On a une relation linéaire entre la puissance moyenne dans la charge et le signal de commande ( $\beta$ ).

## 4. Gradateur Triphasé

### 4.1.Constitution

Un gradateur triphasé est formé par trois gradateurs monophasés montés en étoile ou en triangle.

### 4.2.Gradateur triphasé en amont

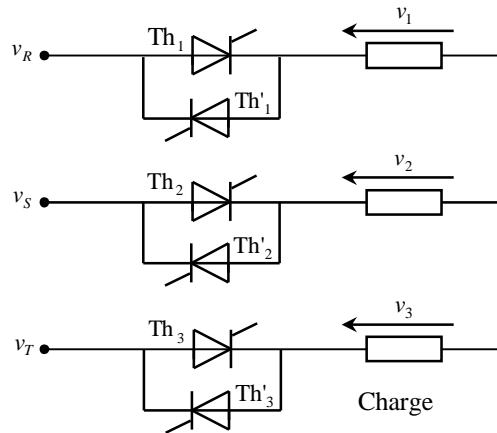


Fig.7.11: Montage étoile des récepteurs

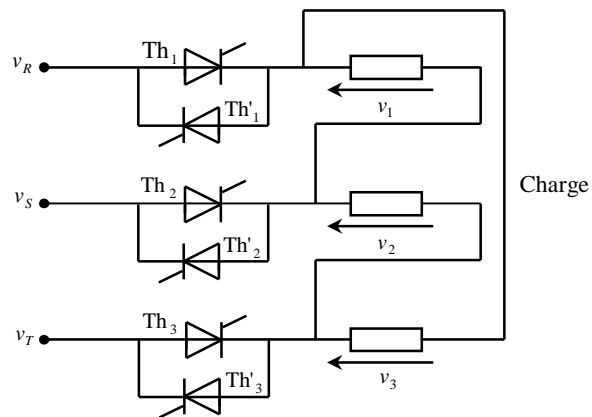


Fig.7.12: Montage triangle des récepteurs



### 4.3. Gradateur triphasé en aval

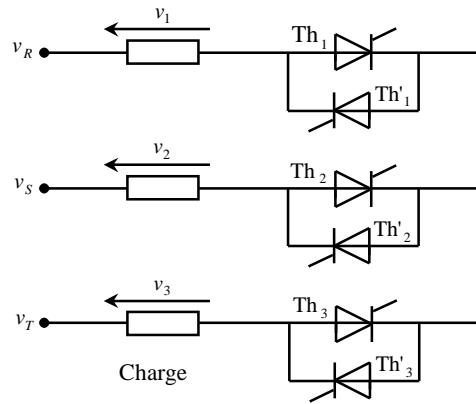


Fig.7.13: Gradateur en étoile

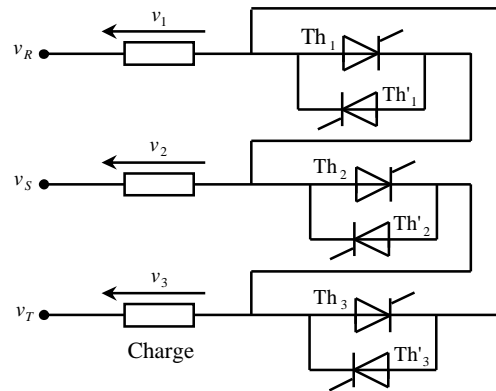


Fig.7.14: Gradateur en triangle

#### 4.4. Gradateur triphasé cas d'une charge résistive

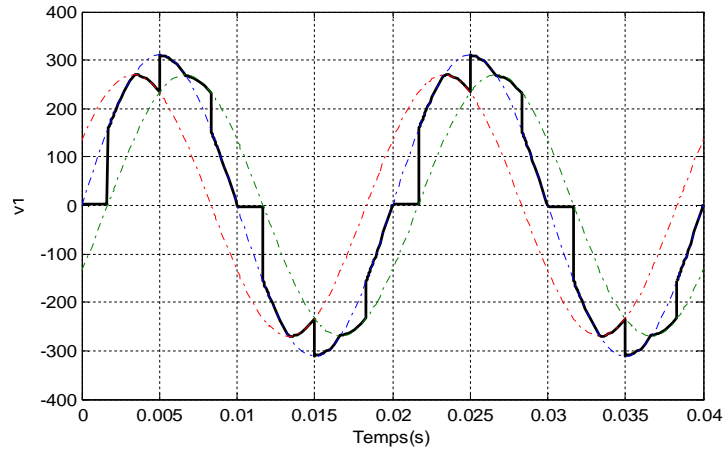


Fig.7.15: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode1 »

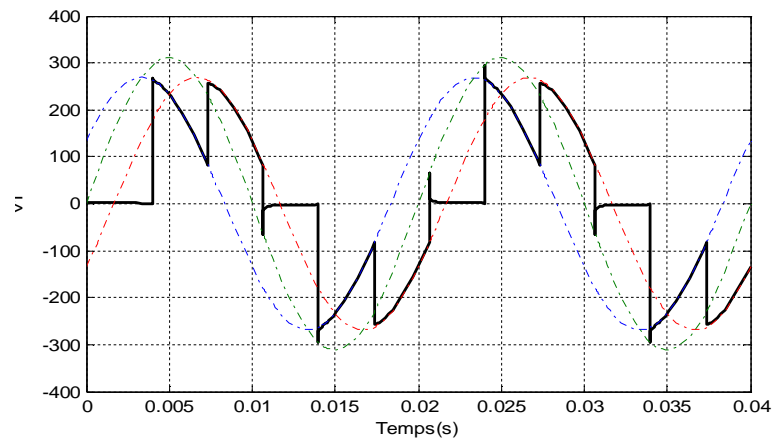


Fig.7.16: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode2 »

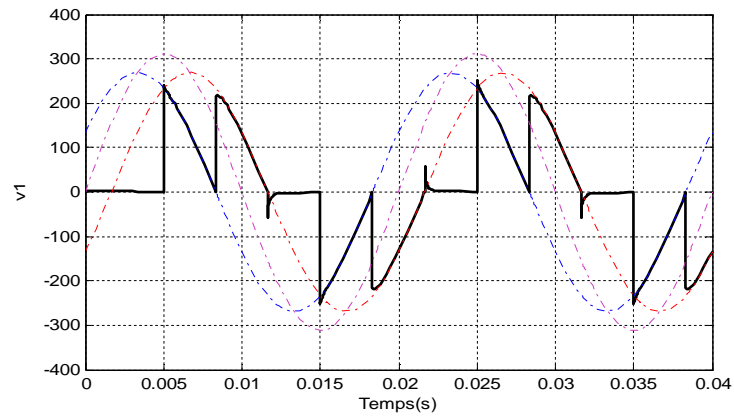


Fig.7.17: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode3 »

#### 4.5. Gradateur triphasé cas d'une charge RL

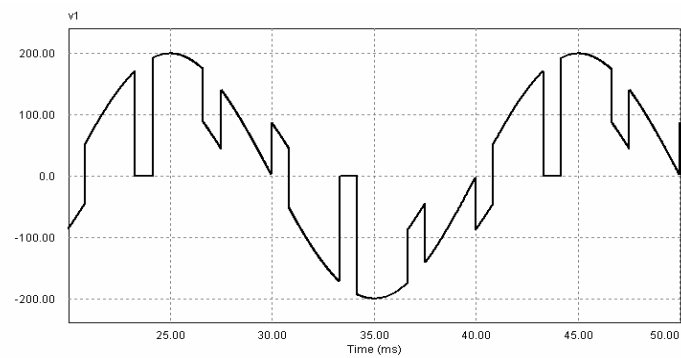


Fig.7.18: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode1 »

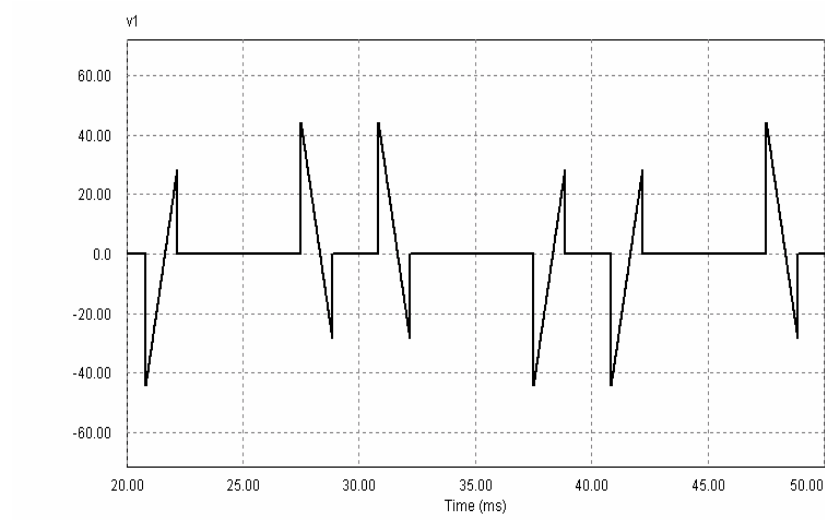


Fig.7.19: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode2 »

## 5. Gradateur triphasé mixte

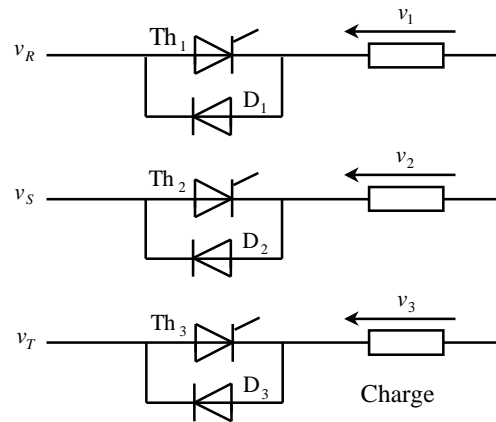


Fig.7.20 : Gradateur triphasé mixte

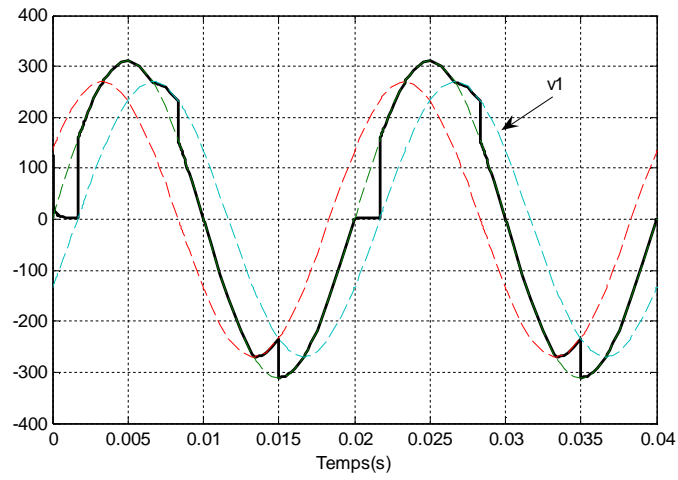


Fig.7.21: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode1 »

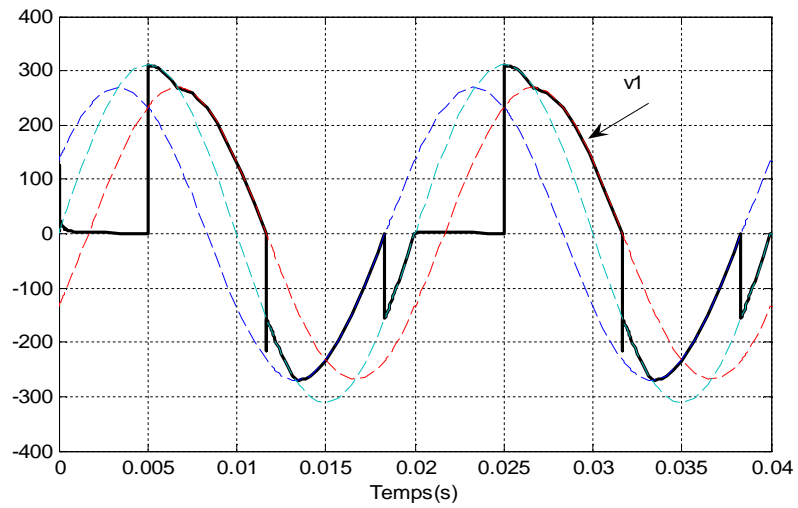


Fig.7.22: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode2 »

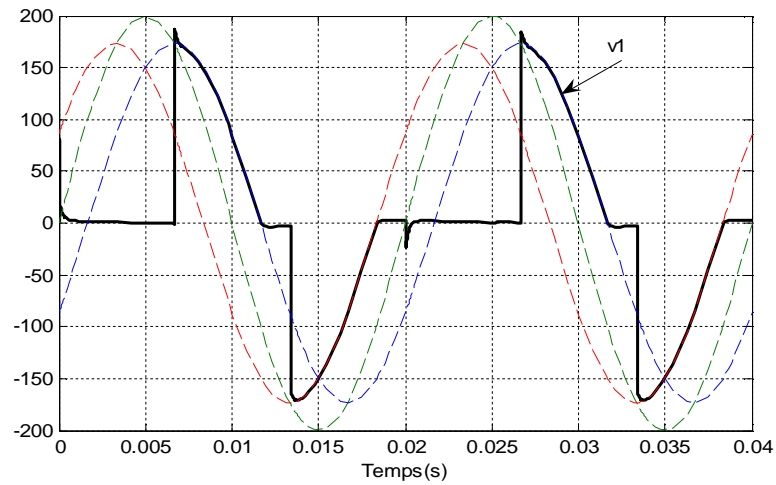


Fig.7.23: Allure de la tension ( $v_1$ ) « Mode3 »

## 6. Domaine d'utilisation des gradateurs

- Chauffage,
- Eclairage,
- Variation de la vitesse des moteurs alternatifs de faibles puissances (perceuse, aspirateurs de quelques centaines de watts)

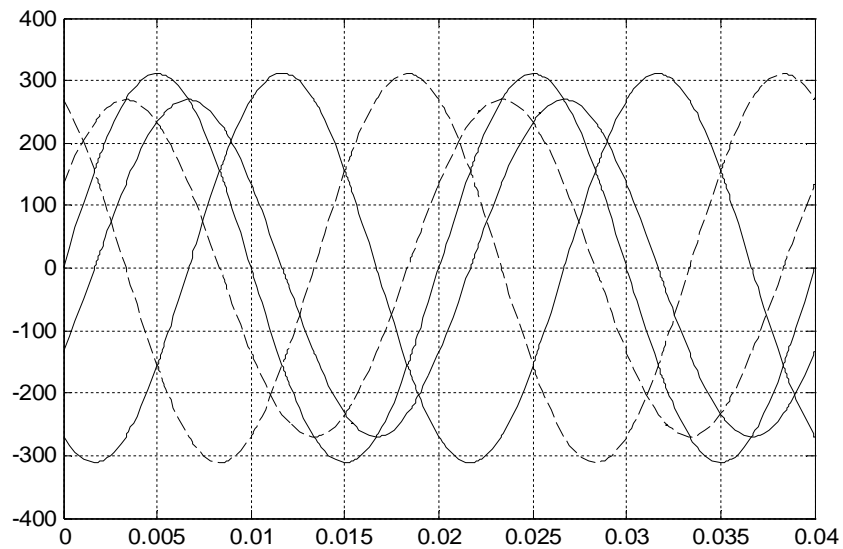


Fig.7.24: Abaque pour gradateurs triphasés