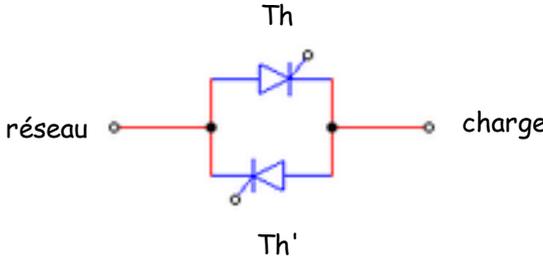


# CONVERTISSEUR AC/AC

## - GRADATEURS -

<b>1 -Structure, Commandes et Utilisations.....</b>	<b>2</b>
<b>2 -Gradateur à découpage de phase.....</b>	<b>3</b>
2.1 -Gradateur monophasé – charge R.....	3
2.1.1 -Tension efficace aux bornes d'une charge R.....	3
2.2 -Gradateur monophasé - charge inductive.....	4
2.3 -Gradateur triphasé – charge R.....	5
2.3.1 -Neutres reliés.....	5
2.3.2 -Neutres non reliés.....	6
2.4 -Analyse des Courants.....	6
Harmoniques de courant.....	6
Courants Charge triphasée – Neutres non reliés.....	6
Courants Charge triphasée – Neutres reliés.....	7
2.5 -Analyse des Puissances.....	7
2.6 -Utilisation des gradateurs à découpage de phase.....	8
2.7 -Démarreur progressif pour MAS.....	9
<b>3 -Gradateur à trains d'onde.....</b>	<b>10</b>
<b>4 -Cycloconvertisseur.....</b>	<b>11</b>
4.1 -Réseau monophasé - Charge monophasée.....	11
4.2 -Réseau triphasé – charge monophasée.....	11
4.3 -Réseau triphasé – charge triphasée.....	11
4.4 -Stratégie de commande.....	11

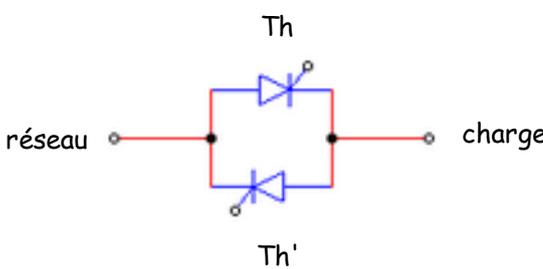
## 1 - STRUCTURE, COMMANDES ET UTILISATIONS.

	<p>Un gradateur est constitué pour chaque phase de 2 thyristors montés tête bêche placés entre le réseau et la charge.</p> <p>Le thyristor tête Th est fermé lorsque la tension réseau est positive.</p> <p>Le thyristor bêche Th' est fermé de façon symétrique lorsque la tension réseau est négative.</p>
--	--

Il y a 3 commandes possibles :

- gradateur à découpage de phase : pour moduler la valeur efficace de la tension
  - fonctionnement à la fréquence du réseau,
  - utilisation pour les variateurs de lumière,
  - démarreurs progressifs pour moteurs asynchrones
- gradateur à train d'onde : pour moduler l'énergie arrivant sur la charge
  - fonctionnement à la fréquence du réseau,
  - utilisation pour le chauffage électrique
- « cycloconvertisseur » : pour moduler la fréquence de la tension sur la charge
  - fonctionnement à fréquence variable
  - premier Variateur de fréquence pour moteurs asynchrones.

## 2 - GRADATEUR À DÉCOUPAGE DE PHASE.

	<p>L'ordre de fermeture du thyristor Th est retardé de <math>\alpha \leq \pi</math> .</p> <p>L'ordre de fermeture du thyristor Th' est retardé de <math>\pi + \alpha</math></p> <p>On ne laisse donc passer qu'une partie de la tension réseau.</p> <p>Les thyristors s'ouvrent lorsque le courant s'annule.</p>
--	--

### 2.1 - GRADATEUR MONOPHASÉ – CHARGE R.

La tension aux bornes d'une charge monophasée purement résistive est celle de la Erreur : source de la référence non trouvée. Sur cette figure sont indiquées les phases de conduction des 2 thyristors.

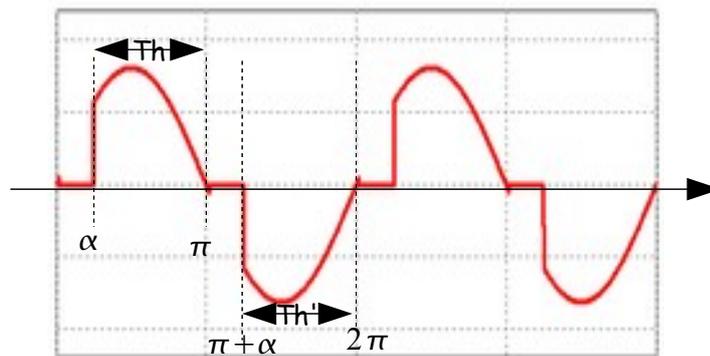


figure 1: Gradateur à découpage de phase - charge R monophasée

Le courant dans la charge a le même chronogramme que la tension – puisque la charge est résistive.

#### 2.1.1 – TENSION EFFICACE AUX BORNES D'UNE CHARGE R.

La tension réseau a pour équation  $v(t) = V\sqrt{2} \sin \omega t$  .

D'après le chronogramme de la Erreur : source de la référence non trouvée et d'après la définition de la valeur

efficace on peut écrire :

$$V_{Ch}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V\sqrt{2})^2 \sin^2 \theta d\theta , \quad \text{ce qui permet de trouver}$$

$$V_{Ch} = V \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

**Cette expression n'est valable que si la charge est résistive -**

Ce type de commande permet de contrôler la valeur efficace de la tension appliquée à la charge, donc de contrôler la puissance reçue.



## 2.2 - GRADATEUR MONOPHASÉ - CHARGE INDUCTIVE.

Dans le cas d'une charge inductive, le courant est « lissé » par rapport à la tension.

Le début de conduction est le même, mais le courant s'annule après le passage à 0 de la tension, ce qui fait que les thyristors conduisent plus longtemps que dans le cas de la charge R (voir Erreur : source de la référence non trouvée ).

Le courant n'a pas la même forme que la tension.

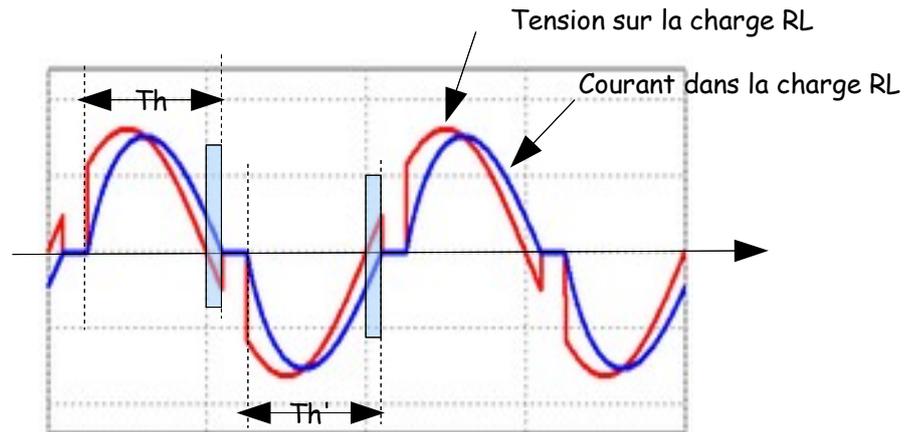


figure 2: Gradateur à découpage de phase - charge RL monophasée

L'expression de la valeur efficace de la tension aux bornes de la charge n'est plus celle trouvée au 2.1.1.

## 2.3 - GRADATEUR TRIPHASÉ – CHARGE R.

Les formes d'onde vont dépendre du fait que le neutre de la charge est relié ou non au neutre du réseau.

### 2.3.1 – NEUTRES RELIÉS.

Les tensions simples (  $V_{enr}$  ) sont les mêmes que celles obtenues avec une charge monophasée.

Les tensions composées aux bornes de la charge (  $U_{enr}$  ) sont la composition de ces tensions simples (Erreur : source de la référence non trouvée).

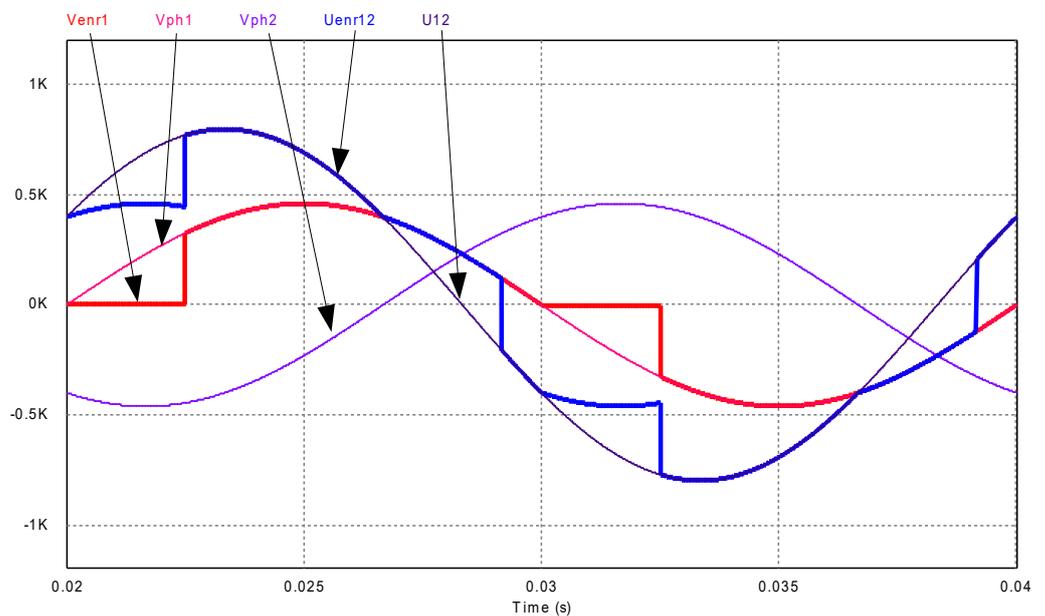


figure 3: Gradateur à découpage - charge R triphasée – Neutres reliés

### 2.3.2 - NEUTRES NON RELIÉS.

C'est le cas des démarreurs progressifs pour MAS.

Les neutres n'étant pas reliés, les tensions aux bornes des enroulements sont flottantes.

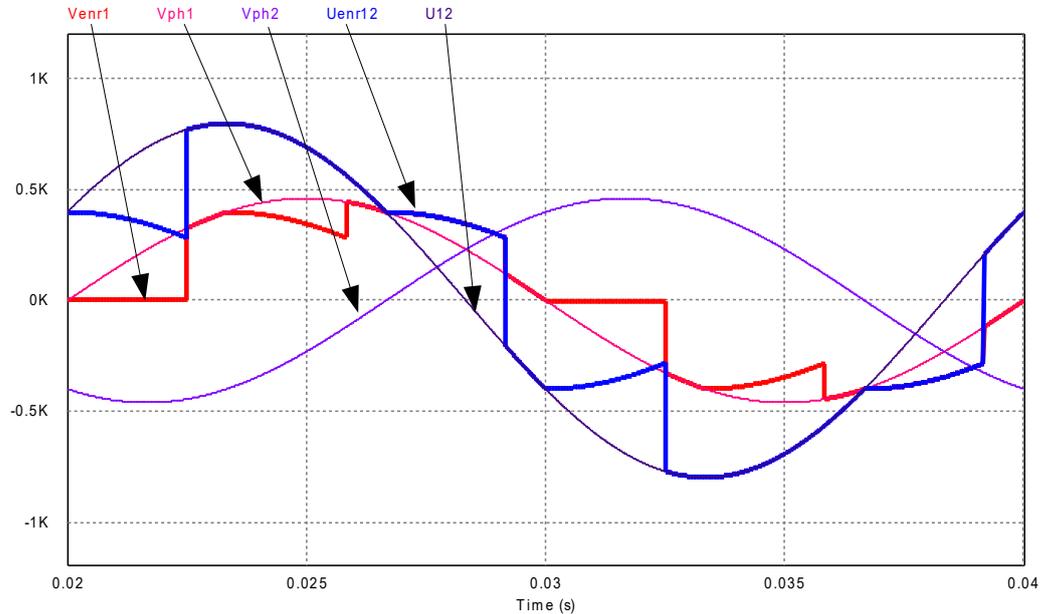


figure 4: Gradateur à découpage - charge R Triphasée - neutres non reliés

## 2.4 - ANALYSE DES COURANTS.

### HARMONIQUES DE COURANT.

Les courants de ligne ne sont pas sinusoïdaux mais toujours alternatifs : ils contiennent des harmoniques, de rang impair uniquement.

Dans le cas des variateurs de lumière de forte puissance, les harmoniques de courant peuvent polluer la tension réseau.

Dans le cas des démarreurs progressifs, comme ces courants sont temporaires (le temps que le moteur démarre), les éventuels problèmes dus à ces harmoniques ne sont pas forcément pris en compte.

### COURANTS CHARGE TRIPHASÉE – NEUTRES NON RELIÉS.

Si le neutre de la charge n'est pas relié à celui du réseau, à tout instant on a  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

- le courant ligne n'a donc pas d'harmonique de rang multiple de 3,
- le courant ligne n'a pas de « composante homopolaire ».

### COURANTS CHARGE TRIPHASÉE – NEUTRES RELIÉS.

Si le neutre de la charge est relié à celui du réseau, à tout instant on a  $i_1 + i_2 + i_3 = i_N \neq 0$

- Puisque les neutres sont reliés, le courant ligne a des harmoniques de rang multiple de 3,
- Ces harmoniques de rang multiple de 3 s'ajoutent dans le neutre :

$$i_{3N} = 3 \times i_{3ph} .$$

La composante homopolaire des courants lignes s'ajoutent dans le neutre. Mais la fréquence du courant de neutre est de 150Hz.

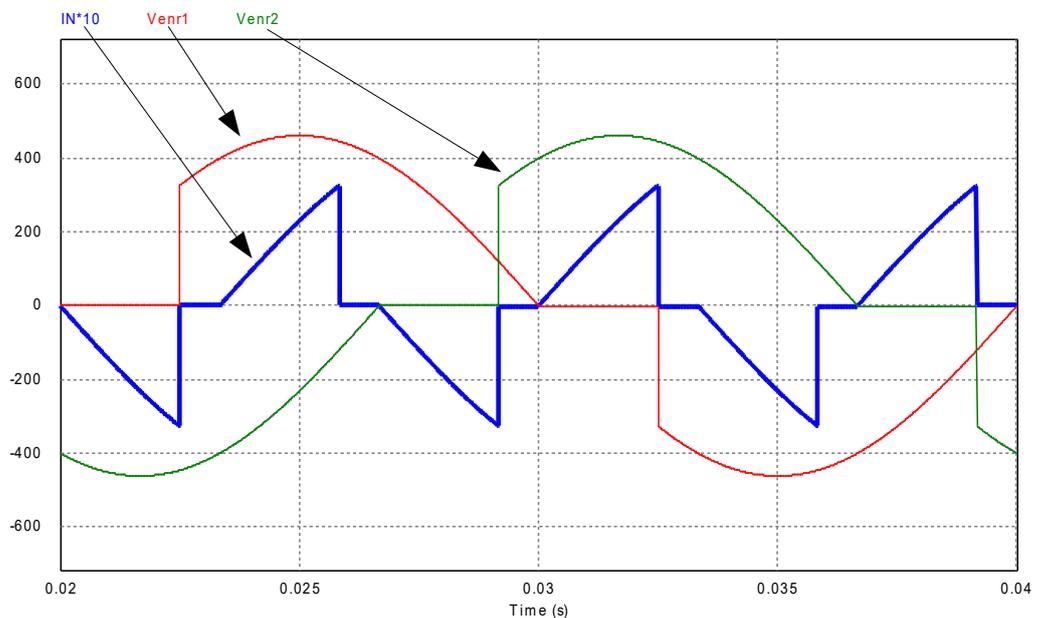


figure 5: Gradateur à découpage - Charge R Triphasée - Neutres reliés - Courant dans le neutre  
Le fait que le neutre soit chargé nous oblige à dimensionner correctement sa section, et à le protéger.

## 2.5 - ANALYSE DES PUISSANCES.

En entrée de gradateur à découpage de phase (coté réseau) la tension est celle du réseau mais le courant est seulement périodique.

La puissance « utile » P est transportée uniquement par le fondamental du courant réseau.

Le fondamental du courant est retardé par rapport à la tension

$$\Rightarrow \text{présence de } Q \Leftrightarrow \text{DPF} < 1$$

Le courant réseau n'est pas sinusoïdal

$$\Rightarrow \text{présence de } D \Leftrightarrow \text{Fp} < \text{DPF}$$

En sortie du gradateur à découpage de phase (coté charge), ni la tension ni le courant ne sont sinusoïdaux,

=> chaque harmonique transporte de la puissance :

$$[P_1 ; Q_1]; [P_3 ; Q_3] \dots [P_{2k+1} ; Q_{2k+1}] \dots \quad S^2 = \sum_n P_n^2 + Q_n^2$$

=> dans le cas d'une charge résistive  $R$ , la puissance a pour expression  $V_{ch}^2/R$

=> dans le cas d'un moteur, le seul harmonique de puissance utile (c'est à dire transformé en puissance mécanique) est le fondamental, tous les autres rangs de puissance sont la cause de pertes de puissance ou des vibrations supplémentaires.

## 2.6 - UTILISATION DES GRADATEURS À DÉCOUPAGE DE PHASE.

Ce type de commande permet de moduler la tension efficace donc la puissance reçue par une charge.

On rencontre donc ce type de gradateur dans les variateurs de lumière (pour lampes à filament uniquement), dans les démarreurs pour moteurs asynchrone (voir 2.7).

Il peut être utilisé dans un compensateur de réactif ajustable.

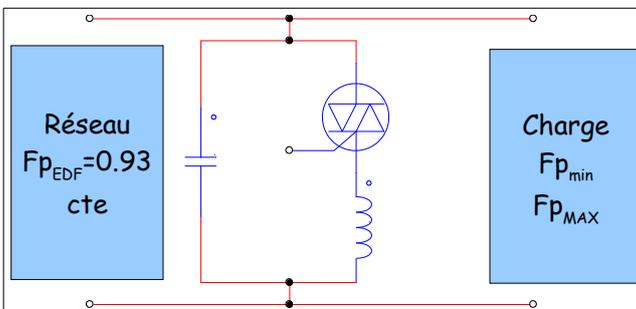


figure 6: Principe d'un compensateur de réactif ajustable à gradateurs

La tension de l'inductance est contrôlée par le gradateur, ce qui permet de régler le réactif consommé par l'inductance.

Le condensateur permet de compenser le  $F_{pmin}$  de la charge (inductance non alimentée).

$$Q_C = Q_{ch - Max}$$

Lorsque le  $F_p$  de la charge augmente, c'est la bobine qui consomme le surplus de réactif produit par le condensateur.

$$\text{En permanence } Q_{EDF} = Q_C + Q_L + Q_{ch} = cte$$

## 2.7 - DÉMARREUR PROGRESSIF POUR MAS.

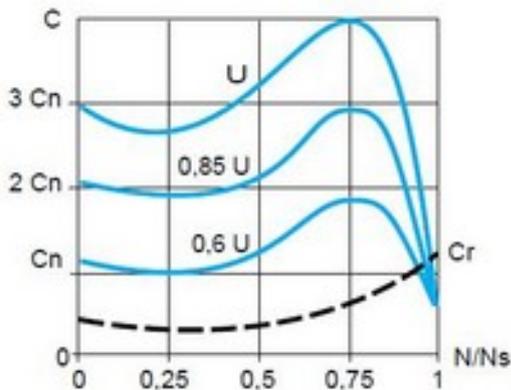


figure 7:  
Caractéristique couple vitesse MAS triphasé - fréquence constante - V efficace variable - source : Doc Altistart Schneider

Un démarreur progressif est un gradateur à découpage de phase qui permet d'augmenter progressivement la valeur efficace de la tension aux bornes du moteur.

L'utilisateur règle la durée de la rampe d'augmentation de la tension.

Le démarreur progressif permet de limiter le courant de démarrage.

Cela permet de limiter l'échauffement du moteur (dû aux pertes Joule  $I^2$ ).

La limitation du courant limite le couple moteur, et donc limite l'à-coup mécanique du démarrage.

Limiter ne veut pas dire éliminer.

Cette solution ne permet pas de contrôler les temps de démarrage ou d'arrêt.

Cette solution est adaptée à des charges demandant un couple de démarrage peu important (pompage ou ventilation mais pas levage).

Le ralentisseur progressif (option du démarreur) diminue progressivement la tension efficace ce qui permet d'avoir un arrêt plus court qu'en roue libre, mais sans pouvoir contrôler là encore le temps d'arrêt.

### 3 - GRADATEUR À TRAINS D'ONDE.

L'objectif est de laisser passer un certain nombre de périodes réseau ( $T_{ON}$ ), ce nombre étant réglable (Erreur : source de la référence non trouvée) ( $0 \leq T_{ON} \leq T_{Max}$ ,  $T_{Max}$  : durée du cycle).

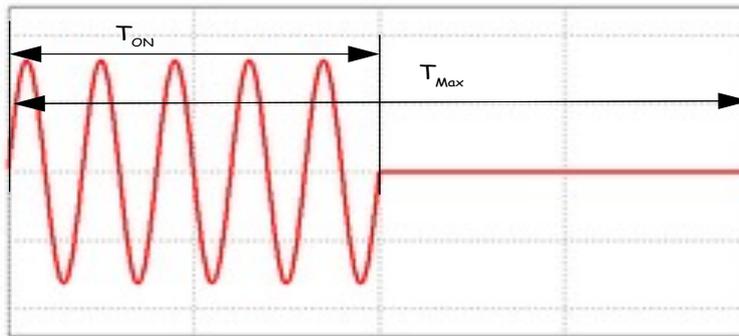


figure 8: Gradateur à train d'onde

Ce mode de commande permet de moduler la puissance reçue par la charge.

Lorsque la charge R est alimentée, la puissance reçue est maximale  $P = V^2 / R = P_{Max}$ .

Lorsque la charge n'est pas alimentée, la puissance est nulle  $P = 0$ .

En moyenne sur un cycle de durée  $T_{Max}$ , la puissance reçue est :

$$P_R = \frac{T_{ON}}{T_{Max}} \times P_{Max} = k P_{Max} \text{ avec } 0 \leq k \leq 1.$$

Ce type de commande est utilisé dans les systèmes de chauffage par résistance électrique.

Ces systèmes ayant des constantes de temps thermiques de l'ordre de la minute, il n'est pas nécessaire d'avoir une commande du type « angle de phase » changeant toutes les 20ms (période du réseau).

## 4 - CYCLOCONVERTISSEUR.

Ce convertisseur à gradateur permet de fabriquer, à partir du réseau de fréquence  $f$ , une tension de fréquence  $f/n$  (avec  $n$  entier).

### 4.1 - RÉSEAU MONOPHASÉ - CHARGE MONOPHASÉE.

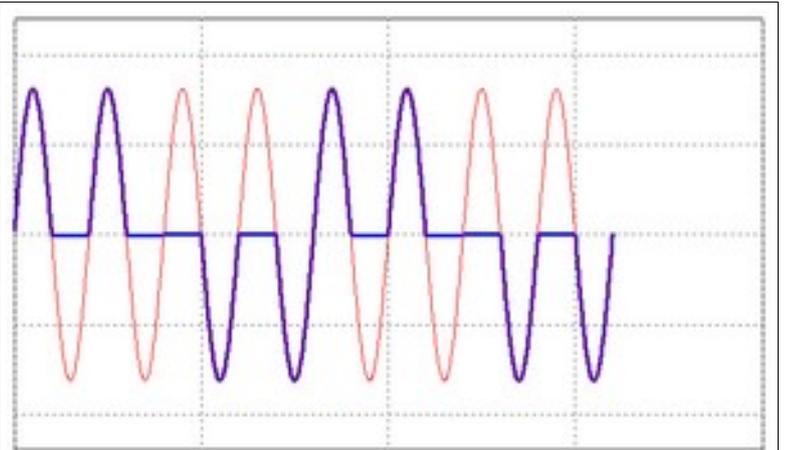
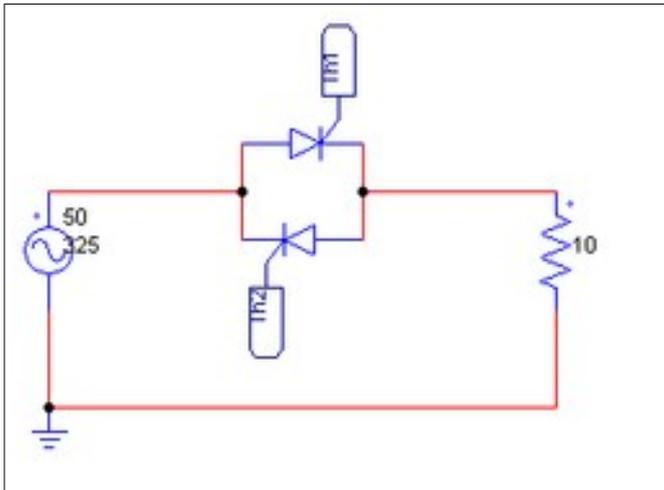


figure 9: Tension réseau en rouge - tension charge en bleu

### 4.2 - RÉSEAU TRIPHASÉ - CHARGE MONOPHASÉE.

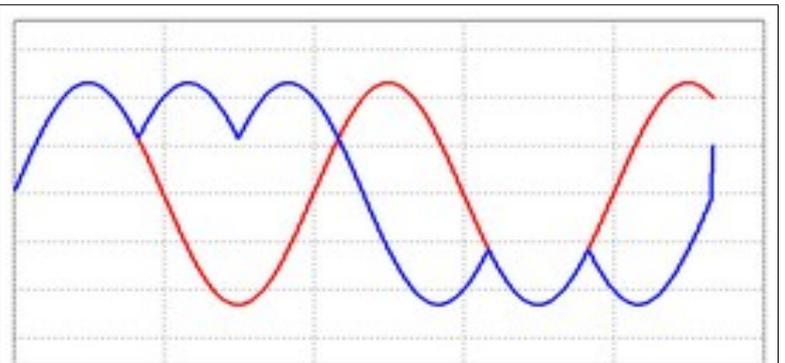
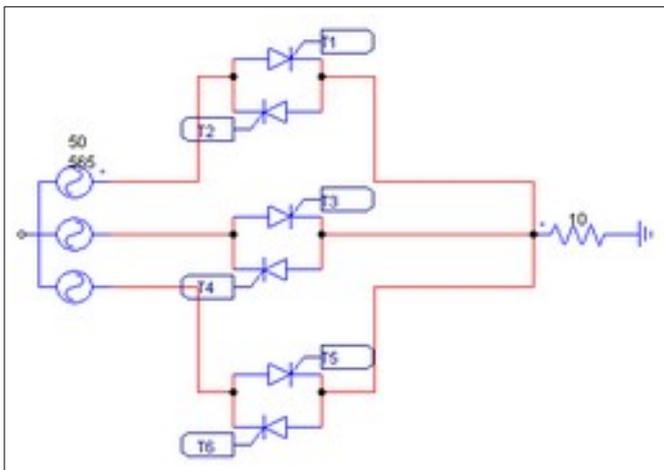


figure 10: Tension simple ph1 en rouge - tension charge en bleu

### 4.3 - RÉSEAU TRIPHASÉ - CHARGE TRIPHASÉE.

Identique au 4.1 sur les 3 tensions simples - les neutres sont reliés.

### 4.4 - STRATÉGIE DE COMMANDE.

En jouant sur le temps de conduction des différents thyristors, on va pouvoir moduler la fréquence et la valeur efficace de la tension appliquée à la charge. On peut donc se débrouiller pour fonctionner à  $U/f$  constant.

Ce fut une des premières solutions de variateur pour MAS.