



I - INTRODUCTION :

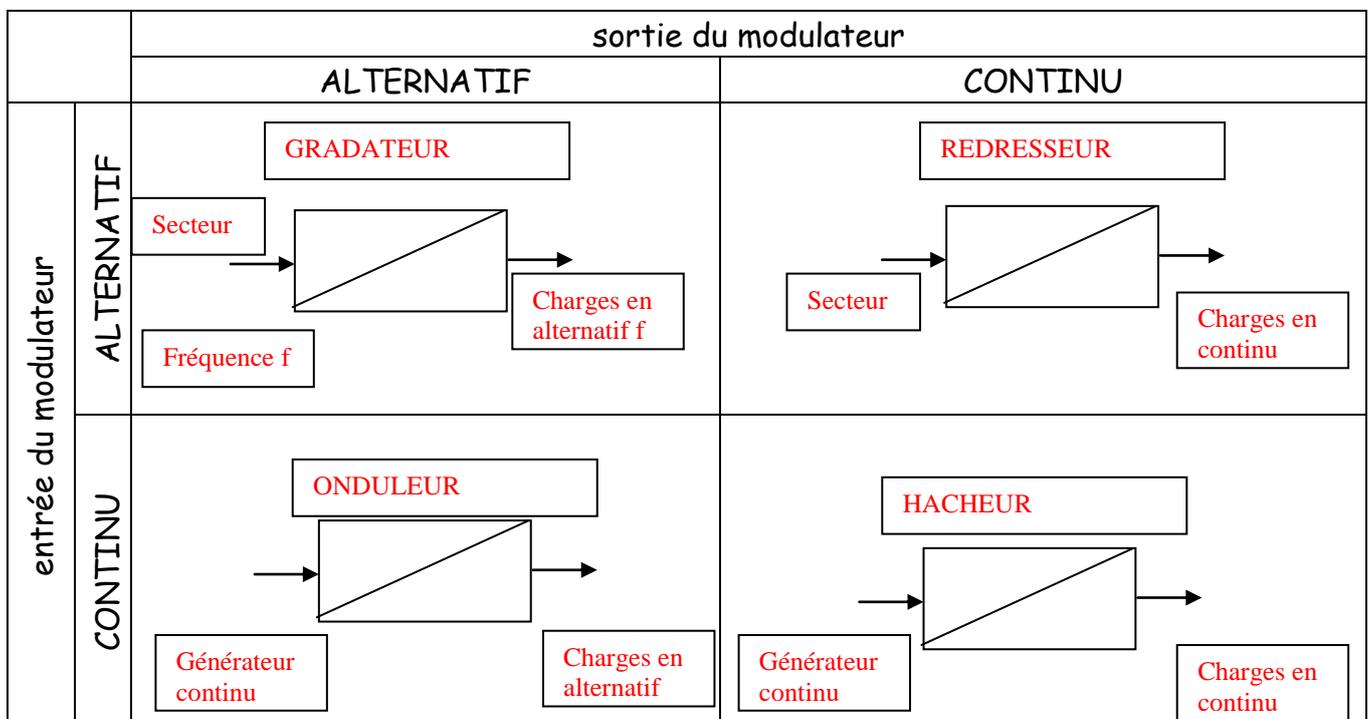
• L'énergie électrique utilisée dans l'industrie et chez les particuliers provient principalement du réseau triphasé (excepté les piles, les batteries...). Or les dispositifs utilisant cette énergie ne fonctionnent que très rarement sous formes d'ondes sinusoïdales à 50 Hz (penser par exemple à un PC alimenté par le secteur 50Hz et dans lequel on doit alimenter différentes cartes électroniques...l'énergie initiale a forcément été considérablement transformée pour être utilisable par le système).

• Dans le cas de l'utilisation d'une batterie, il peut être intéressant de contrôler le niveau de tension en sortie (pour contrôler la vitesse d'un moteur par exemple) et on aura là encore besoin d'un dispositif, entre source et charge, permettant d'effectuer cette opération.

• **Les convertisseurs statiques** doivent donc permettre de transformer le spectre du signal (amplitudes, fréquences, phases). Cette transformation est, à l'heure actuelle, effectuée par des systèmes complexes, réalisés à partir de composants électroniques utilisés comme interrupteurs.

La modulation de l'énergie consiste à modifier les différentes grandeurs caractéristiques de l'énergie : tension , intensité , fréquence du réseau ou fréquence des sources de courant .

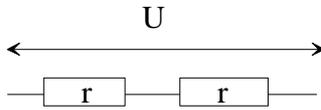
Selon la nature du courant alternatif ou continu , à l'entrée ou à la sortie des modulateurs d'énergie , on distingue quatre types de dispositifs .



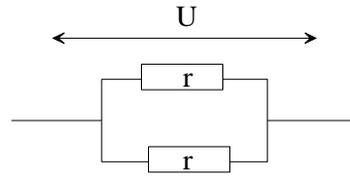


II - LA MODULATION PAR COUPLAGE DES RESISTANCES :

II.1 - Le couplage série / parallèle :

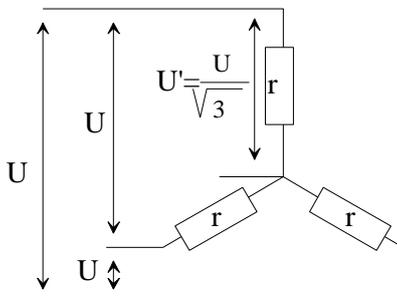


$$P1 = 2 \frac{U^2}{4r} = \frac{U^2}{2r}$$

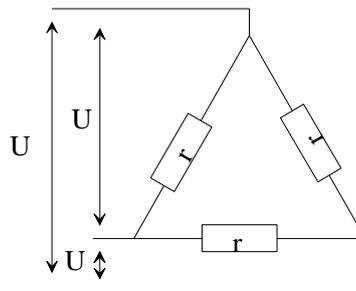


$$P2 = 2 \frac{U^2}{r} = 4P1$$

II.2 - Le couplage étoile / triangle :



$$P1 = 3 \frac{U'^2}{r} = \frac{U^2}{r}$$



$$P2 = 3 \frac{U^2}{r} = 3P1$$

II.3 - Conclusion :

- . La modulation par couplage des résistances n'offre que peu de couplages
- . Utilisé dans les appareils à plaques chauffantes

III - LA MODULATION PAR GRADATEURS :

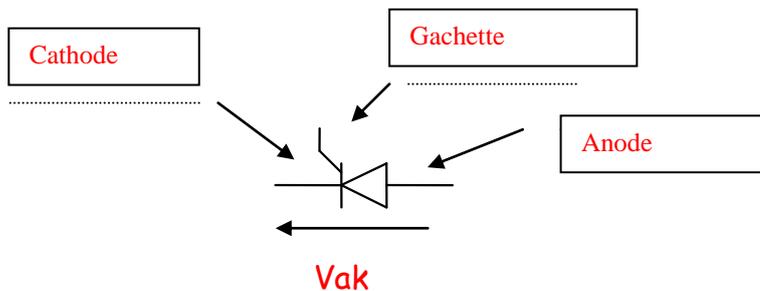
Le gradateur est un appareil qui permet, à partir d'une source alternative, de convertir une tension sinusoïdale de valeur efficace constante en une tension alternative de même fréquence mais de valeur efficace variable

Les gradateurs permettent les réglages de l'éclairage, du chauffage et le démarrage des moteurs à courant alternatif

III.1 - Principe de fonctionnement :

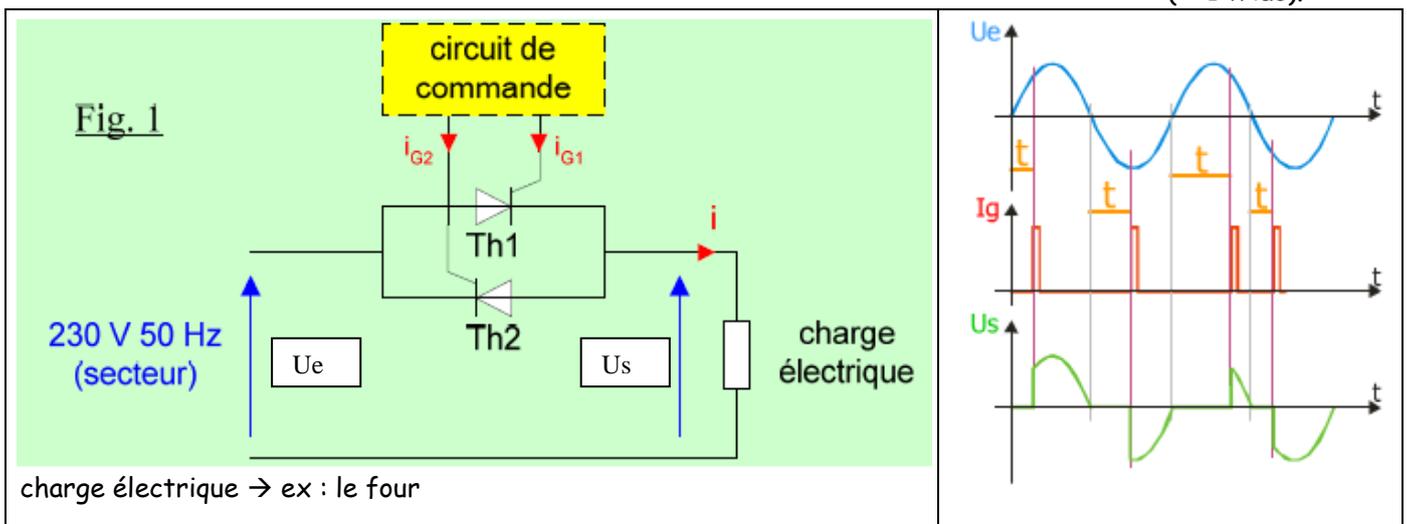
Le principe des gradateurs est basé sur la conduction ou non de thyristors.

Un thyristor est une diode commandée par une gâchette en plus de l'anode et de la cathode . Pour qu'il soit passant il lui faut une tension V_{ak} positive ET un courant de gâchette



III.2 - Les gradateurs à angle de phase :

Une charge est placée en série avec deux thyristors montés tête bêche (ou en parallèle) (= 1 triac).



- L'alternance positive passe par le 1^{er} thyristor Th1 dès qu'il est débloqué par l'action d'impulsions dans sa gâchette (voir cours sur les thyristors). Le retard dépend de l'angle d'amorçage ou retard α . Pendant ce temps, Th2 est bloqué.
- L'alternance négative passe par le 2^{ème} thyristor Th2 dès qu'il est débloqué. Pendant ce temps, Th1 est bloqué.

Les 2 commandes de gâchette doivent être séparées car les cathodes des thyristors sont à des potentiels de tension différents. On utilise une carte de commande spéciale pour l'amorçage des thyristors : cette carte donne une tension positive U_{GK} sous forme d'impulsions par thyristor.



La tension efficace U aux bornes de la charge dépend de la tension du réseau (période 20 ms) et de l'angle d'amorçage α :

$$U = V \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)}$$

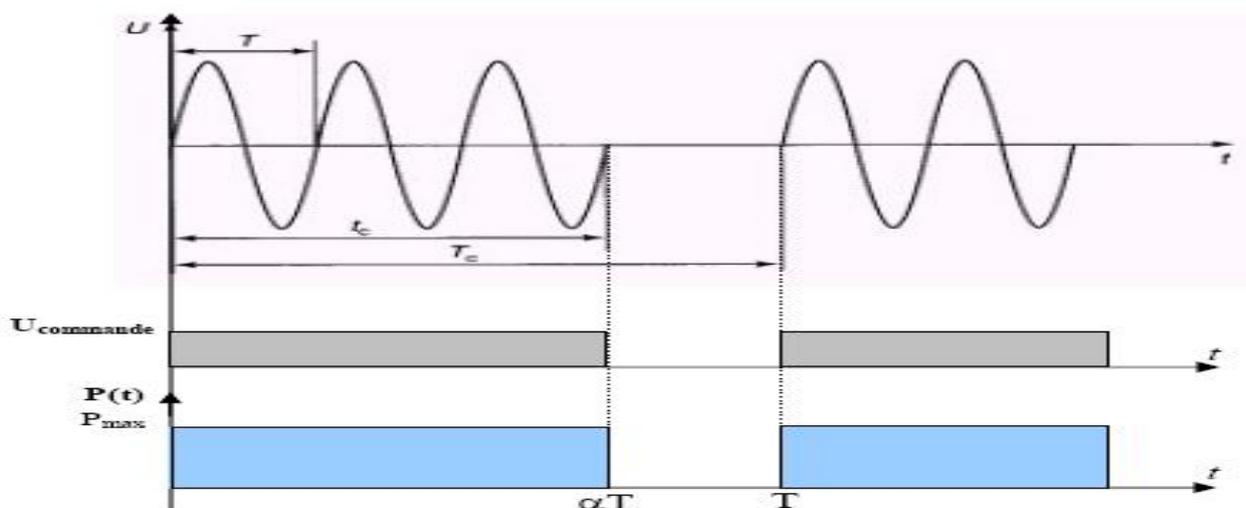
La puissance absorbée et dissipée par la résistance du four est :

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)$$

III.3 - Les gradateurs à trains d'ondes :

- Le gradateur à train d'ondes utilise le même circuit puissance que le gradateur à angle de phase, seul le circuit commande des thyristors diffère.
- Il est préféré car il génère moins de perturbations sur le réseau (harmoniques ou parasites).
- Principe :
 On laisse passer une série d'alternance dans la charge et on coupe le courant quand la tension passe par 0 et on la rétablie à la fin d'une période fixée (souvent 2,5 s).
 t_c = période de conduction
 T_c = période de commande



- La puissance moyenne reçue par la charge dépend du rapport cyclique α tel que :

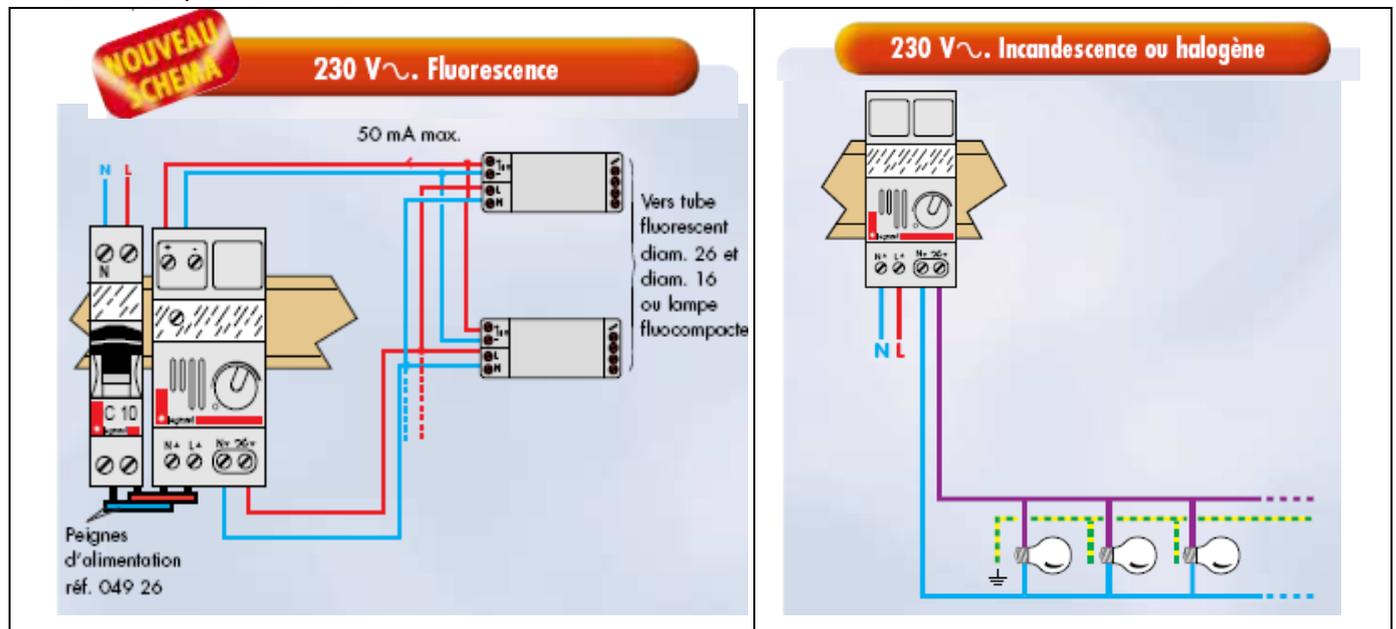
$$\alpha = \frac{t_c}{T_c}$$

$$P_{moy} = \alpha \cdot P$$

a sera relevé à l'oscilloscope sur la courbe $U = f(t)$.

III.3 - Les gradateurs pour l'éclairagisme :

- Les gradateurs ou variateurs de lumière sont différents suivant les sources d'éclairages commandées :
 - lampes à incandescence ou halogènes 230V
 - lampes halogènes 12/24V
 - tubes fluorescents



- Les gradateurs pour l'éclairage à incandescence (R pur) utilisent un potentiomètre pour le réglage de la luminosité.

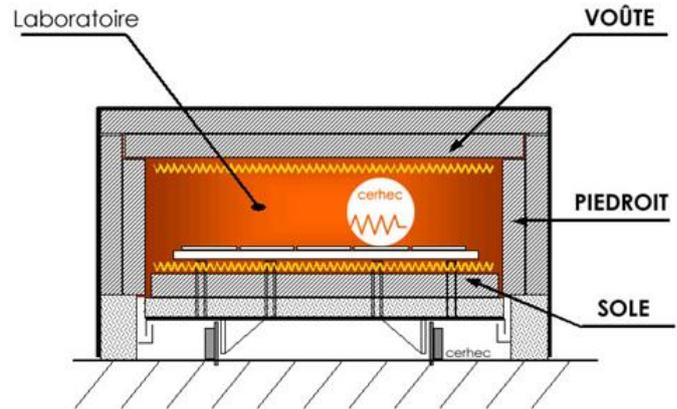
III.4 - Les gradateurs pour l'électrothermie :

- On utilise de préférence des gradateurs à trains d'onde pour éviter la génération de courants harmoniques (parasites sur le réseau).
- Principe du four industriel :



- Un four ou étuve est une enceinte isolée thermiquement de l'extérieur.
- Le transfert des calories se fait par convection naturelle ou forcée et par rayonnement dans la plupart des cas.
- Il existe des fours discontinus : le produit à chauffer est placé à l'intérieur du four et y reste jusqu'à la fin. (four à chambre, à creuset, à sol mobile, à cloche, à élévateur, four puits).
- Des fours discontinus : le produit se déplace à une vitesse qui lui permet d'atteindre la température souhaitée. (four à transporteur monorail, four tirant ou four à rouleaux).

- Voûte = plafond du four
- Sole = plancher du four
- Piedroit = gauche ou droit, il désigne les murs latéraux



➤ Rappels d'electro :

→ Energie en joule à apporter pour chauffer un corps :

$$W = m \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

W = énergie en joules (J)

m = masse du corps à chauffer en kilo (Kg)

θ_1 = température initiale en ° C

θ_2 = température finale en ° C

c = capacité thermique massique du matériau en J / Kg . ° C

ex : acier → c = 0,435 eau → c = 4,186

→ puissance à installer :

$$P = \frac{W}{t}$$

t = temps en s

$$P = \frac{m \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \cdot T}$$

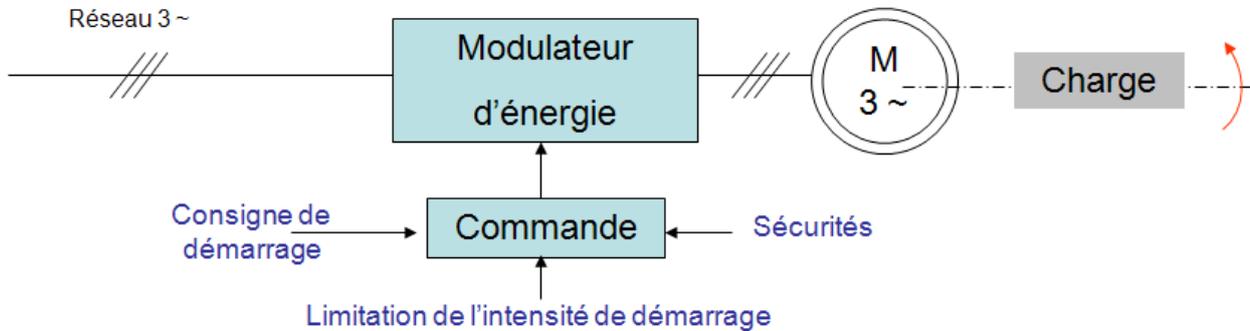
T = temps en heures

III.5 - Les gradateurs pour le démarrage des moteurs :

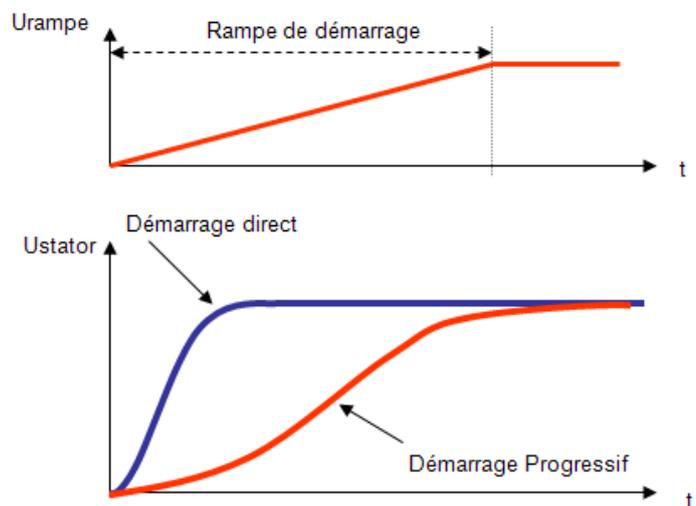
➤ On remplace le démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé par un démarreur progressif (ex LH4) réalisé au moyen d'un gradateur qui assure une montée progressive de la tension.

➤ Principe de fonctionnement :

LA MODULATION D'ENERGIE

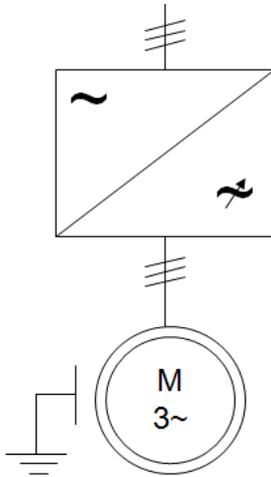


- La tension du réseau d'alimentation est appliquée progressivement au stator du moteur.
- La variation de la tension statorique est obtenue par la variation continue de l'angle(α) de retard à l'amorçage des thyristors du modulateur d'énergie.
- La consigne de démarrage permet de régler le temps de la phase de démarrage.
- A la fin du démarrage, le stator du moteur est sous tension nominale, les thyristors sont alors en pleine conduction.
- La rampe de décélération permet de diminuer la tension de la valeur nominale à 0.
- Le freinage se fait par injection de courant continu dans le stator après avoir coupé l'alimentation.



➤ Schéma électrique :

LA MODULATION D'ENERGIE



Représentation simplifiée

