
Université de Toulon

IUT de Toulon

Département Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII)

SAE

Etude Gradation de Puissance

écrit le 15 mars 2024

par

Bruno HANNA

Encadrant universitaire : Stephane PIGNOL



Table des matières

1	Stockage de l'énergie solaire à travers un ballon d'eau chaude	1
1.1	Raison de l'usage d'un ballon d'eau chaude pour le stockage d'énergie	1
1.2	Comparaison avec le stockage par énergie cinétique	1
2	Analyse visuelle du fonctionnement d'un Gradateur à Angle de Phase	2
3	Expression de la Puissance Active du Ballon d'Eau Chaude	2
4	Expressions des Tensions Secteur et Charge	3
4.1	Calculs Spécifiques pour $\beta = 0$ et $\beta = \pi$	3
4.2	Expression de la Puissance Active P	3
5	Analyse Graphique de la Gradation de Puissance par le Gradateur à Angle de Phase	3
5.1	Puissance en fonction de β	4
5.2	Caractéristique inverse : β en fonction de la puissance	4

1 Stockage de l'énergie solaire à travers un ballon d'eau chaude

Un ballon d'eau chaude, également connu sous le terme de chauffe-eau à accumulation, est un réservoir conçu pour stocker et chauffer l'eau. Il fonctionne grâce à un élément chauffant, souvent électrique ou solaire, qui transmet de l'énergie à l'eau jusqu'à atteindre une température désirée. Les ballons sont généralement équipés d'un thermostat pour réguler la température.

La puissance standard d'un ballon de 200 litres est généralement de l'ordre de 1 à 3 kilowatts. Cependant, dans le contexte spécifique de l'utilisation de panneaux solaires, la gradation de la puissance devient nécessaire pour adapter la production d'énergie, souvent fluctuante, à la consommation réelle et éviter ainsi le gaspillage.

1.1 Raison de l'usage d'un ballon d'eau chaude pour le stockage d'énergie

Utiliser un ballon d'eau chaude comme moyen de stockage d'énergie solaire présente plusieurs avantages :

- **Stockage de longue durée** : L'eau chaude peut conserver l'énergie sous forme thermique pendant plusieurs heures, voire jours, ce qui permet d'utiliser l'énergie accumulée pendant les périodes de faible ensoleillement ou la nuit.
- **Économie d'énergie** : En stockant l'excédent d'énergie solaire, on évite de la revendre à un prix inférieur à celui d'achat ou de la gaspiller.

1.2 Comparaison avec le stockage par énergie cinétique

Un autre moyen de stockage d'énergie est le système de stockage par énergie cinétique, souvent réalisé via des volants d'inertie. Ces dispositifs stockent l'énergie mécanique sous forme de mouvement rotatif et peuvent la restituer rapidement en électricité grâce à des générateurs.

Méthode de stockage	Avantages et inconvénients
Ballon d'eau chaude	+ Stockage durable et stable - Moins efficace en termes de restitution rapide de l'énergie
Stockage cinétique	+ Restitution rapide de l'énergie - Nécessite des infrastructures lourdes et coûteuses

En résumé, le choix du ballon d'eau chaude pour le stockage d'énergie issue des panneaux solaires se justifie par sa capacité à stocker de l'énergie sur de longues périodes et à réduire les coûts liés à la consommation d'électricité.

2 Analyse visuelle du fonctionnement d'un Gradateur à Angle de Phase

Le gradateur à angle de phase a pour but principal de contrôler la puissance délivrée à une charge en ajustant le moment de déclenchement du courant dans le cycle de tension. Cette section présente visuellement l'impact de l'ajustement de l'angle de phase sur la tension appliquée à une charge.

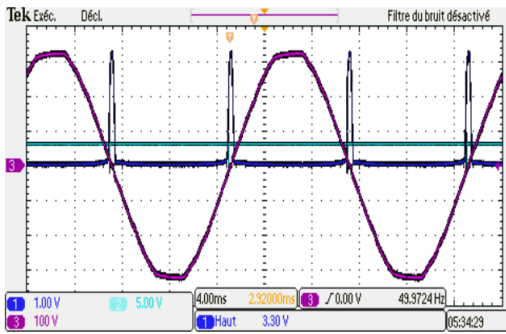


Figure 1 – Courbe de Tension du Secteur

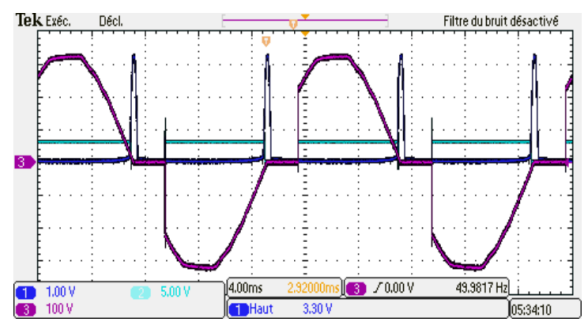


Figure 2 – Tension aux Bornes de la Charge

La Figure 1 montre la tension secteur standard, qui est une onde sinusoïdale complète. La Figure 2, en revanche, illustre comment la tension est effectivement appliquée à la charge après le retard imposé par le gradateur. Le retard, ou l'angle de phase ajusté, diminue la quantité de tension effectivement utilisée, ce qui réduit la puissance consommée par l'appareil.

En résumé, l'objectif du gradateur à angle de phase est de moduler la quantité d'énergie transmise à la charge, permettant une gestion efficace et adaptée de l'énergie selon les besoins spécifiques de l'appareil ou du système électrique en question.

3 Expression de la Puissance Active du Ballon d'Eau Chaude

Considérant une résistance électrique pure pour le ballon d'eau chaude, la puissance active P peut être calculée à partir de la tension effective V_{eff} aux bornes de la résistance. La relation entre la puissance active, la tension et la résistance est donnée par la loi de Joule, exprimée comme suit :

$$P = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} \quad (1)$$

où :

- P est la puissance active en watts (W),
- V_{eff} est la tension effective en volts (V),
- R est la résistance du ballon en ohms (Ω).

Cette formule illustre que la puissance active dissipée par une résistance électrique pure est directement proportionnelle au carré de la tension effective appliquée et inversement proportionnelle à

la résistance. Ce principe est fondamental dans le calcul des performances énergétiques des dispositifs chauffants électriques.

4 Expressions des Tensions Secteur et Charge

La tension efficace du secteur V_e en fonction de la tension maximale V_{\max} et de l'angle θ est donnée par :

$$V_e = V_{\max} \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

Pour la tension efficace aux bornes de la charge V_s , en tenant compte d'un angle de retard β pour la gradation de la puissance, l'expression est un peu plus complexe. Elle tient compte de l'intégrale de la tension sur les parties de l'onde qui contribuent effectivement à la puissance, ce qui est défini à partir de β jusqu'à π pour chaque demi-cycle :

$$V_s = \frac{V_{\max}}{\pi} \cdot \sqrt{2 \cdot \int_{\beta}^{\pi} \cos^2(t) dt} \quad (3)$$

4.1 Calculs Spécifiques pour $\beta = 0$ et $\beta = \pi$

Pour $\beta = 0$, l'expression se simplifie en :

$$V_s(\beta = 0) = V_{\max} \quad (4)$$

Pour $\beta = \pi$, la tension V_s est nulle car aucun courant ne passe pendant l'onde :

$$V_s(\beta = \pi) = 0 \quad (5)$$

4.2 Expression de la Puissance Active P

La puissance active P dissipée par la charge peut être exprimée en fonction de V_s et de la résistance R :

$$P = \frac{V_s^2}{R} \quad (6)$$

5 Analyse Graphique de la Gradation de Puissance par le Gradateur à Angle de Phase

Cette section présente l'analyse graphique du comportement de la puissance en fonction du retard angulaire β introduit par le gradateur à angle de phase, ainsi que la caractéristique inverse qui exprime β en fonction de la puissance.

5.1 Puissance en fonction de beta

La Figure 3 montre la courbe de la puissance P en fonction de l'angle de retard β , pour une résistance de 50 ohms. On observe que la puissance diminue avec l'augmentation de β , illustrant la capacité de gradation du gradateur.

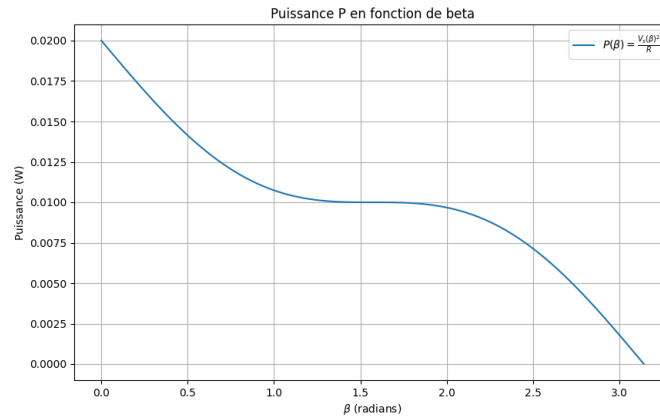


Figure 3 – Puissance P en fonction de l'angle de retard β

5.2 Caractéristique inverse : beta en fonction de la puissance

La Figure 4 montre la relation inverse entre β et la puissance, où β est exprimé en microsecondes. Une courbe de régression est ajustée aux points de données pour prédire β en fonction de différentes valeurs de puissance. L'équation de la courbe de tendance et le coefficient de détermination R^2 sont également présentés, indiquant la précision de l'ajustement.

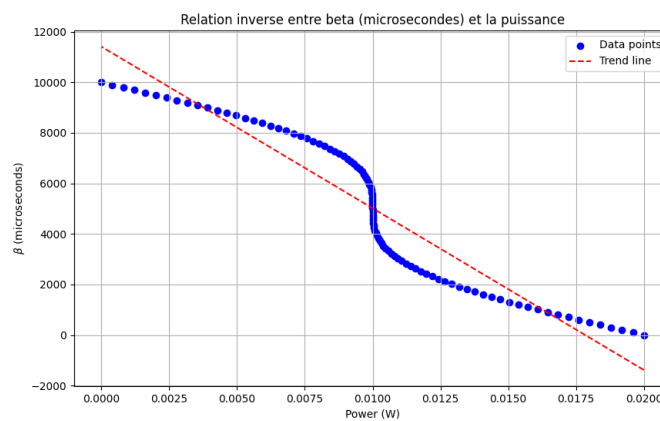


Figure 4 – Relation inverse entre β (microsecondes) et la puissance

Les graphiques permettent de visualiser efficacement l'impact du gradateur à angle de phase sur la puissance délivrée à la charge et d'appréhender la relation qui permet de contrôler cette puissance par un simple ajustement de l'angle β .