

Exercice 40

Gradateur

Un gradateur triphasé alimente, à partir d'un réseau 400 V - 50 Hz, un four dont l'unité de chauffe est constituée de 3 résistances de 80Ω couplées en triangle. La source et les composants sont supposés parfaits.

1° - Tracer le schéma de principe du montage et calculer P_{\max} la puissance maximale possible.

2° - La commande se fait en "angle de phase". Rappeler l'expression de la tension simple efficace $V(\beta)$ en sortie du gradateur en fonction de V_a , tension simple efficace réseau et de β angle de retard à l'amorçage des thyristors.

En déduire que la puissance de chauffe s'écrit : $P(\beta) = P_{\max} \cdot K(\beta)$.

Préciser l'expression de $K(\beta)$ et calculer les valeurs de β correspondant à une puissance de chauffe de 4,8 kW, 3 kW et 1,2 kW (une approche graphique pourra aider à la résolution).

3° - Le gradateur fait à présent l'objet d'une commande en "train d'ondes": Des durées fixes de conduction de 10 périodes secteur sont suivies d'intervalles de coupure variables allant de 1 à 100 périodes secteur. Si n est le nombre de périodes de coupure, exprimer $P(n)$ la puissance de chauffe obtenue en fonction de P_{\max} et de n . Préciser la fourchette de pourcentages de P_{\max} que ce système permet de balayer. Déterminer le plus grand écart de puissance obtenu pour une variation de n de une unité et pour quelle valeur de n l'obtient-on ?

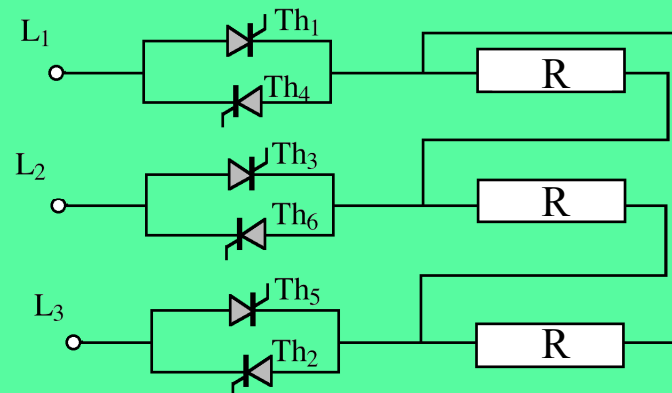
Reprendre les mêmes questions si la commande présente maintenant une durée de cycle constante et égale à 100 périodes secteur, n étant alors le nombre de périodes de conduction ($1 \leq n \leq 100$). Conclure quant à l'intérêt de ces deux types de commandes.

Exercice 40

Gradateur

1° En triangle, c'est la tension composée, ici 400 V, qui est appliquée à chaque résistance, donc :

$$P_{\max} = 3 \times \frac{400^2}{80} = 6\,000 \text{ W}$$



Exercice 40

Gradateur

2° La forme d'onde $v(\beta)$ de la tension appliquée à chaque résistance est :

Sa valeur efficace peut donc se calculer par :

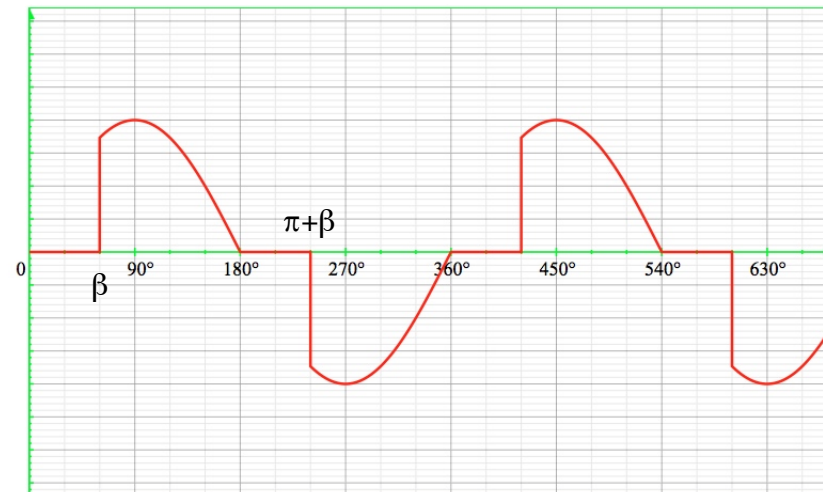
$$V(\beta)^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\beta}^{\pi} (\hat{V}_a \sin \theta)^2 d\theta$$
$$= \frac{\hat{V}_a^2}{2\pi} \left(\pi - \beta - \left[\frac{\sin 2\theta}{2} \right]_{\beta}^{\pi} \right)$$

D'où :

$$V(\beta) = V_a \sqrt{1 - \frac{\beta}{\pi} + \frac{\sin 2\beta}{2\pi}}$$

Par une approche graphique suivie d'une vérification, on trouve :

- pour 4 800 W : $\beta = 60^\circ$
- pour 3 000 W : $\beta = 90^\circ$
- pour 1 200 W : $\beta = 120^\circ$



$$P(\beta) = \frac{9V(\beta)^2}{R} = P_{\max} \left(1 - \frac{\beta}{\pi} + \frac{\sin 2\beta}{2\pi} \right)$$

D'où $K(\beta) = 1 - \frac{\beta}{\pi} + \frac{\sin 2\beta}{2\pi}$

Exercice 40

Gradateur

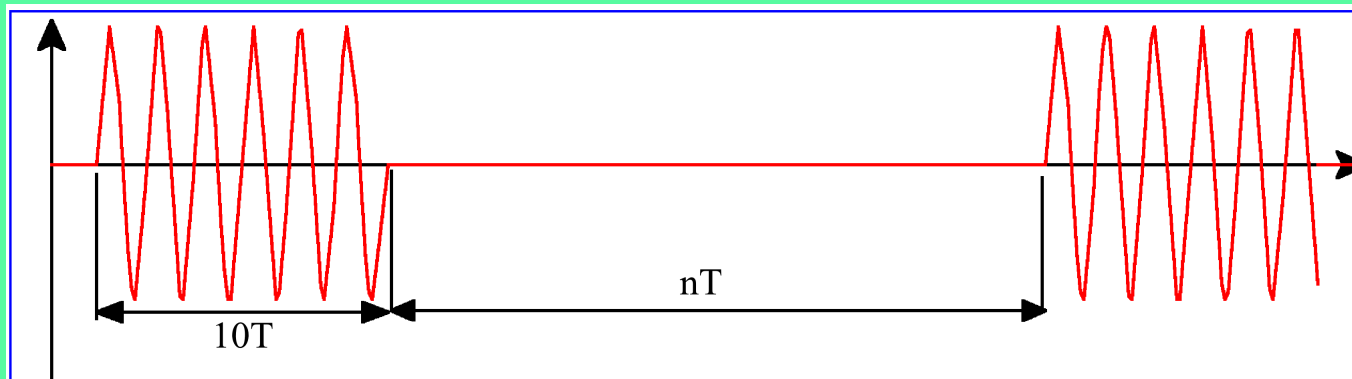
3° Commandes en train d'ondes :

1er type : **Durée de conduction constante**

$$P(n) = \frac{t_{on}}{T} P_{max} = \frac{10}{10+n} P_{max}$$

$$\text{D'où : } 9,1 \% P_{max} \leq P(n) \leq 91 \% P_{max}$$

L'écart maximum se produit pour n passant de **1 à 2**; soit : $\Delta P = \left(\frac{10}{11} - \frac{10}{12} \right) P_{max} = 496 \text{ W}$



Exercice 40

Gradateur

3° Commandes en train d'ondes :

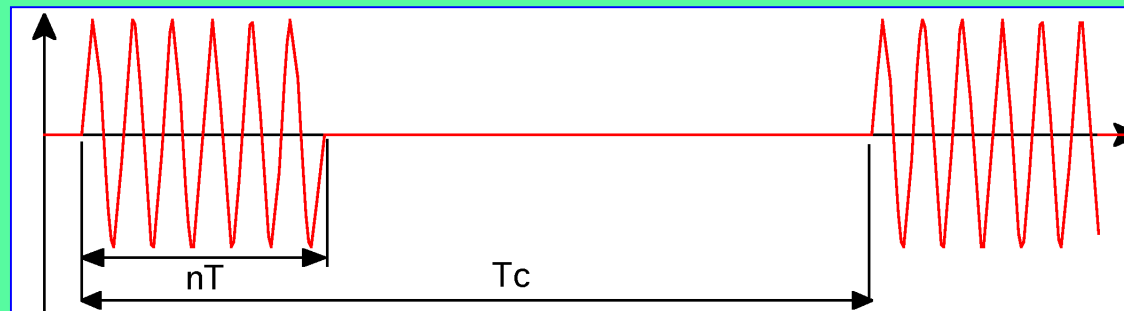
2ème type : Cycle de période constante

$$P(n) = \frac{t_{on}}{T} P_{max} = \frac{n}{100} P_{max}$$

$$1 \% P_{max} \leq P(n) \leq 100 \% P_{max}$$

L'écart est le même quel que soit n, et il vaut :

$$\Delta P = \frac{P_{max}}{100} = 60 \text{ W}$$



Exercice 40

Gradateur

3° Commandes en train d'ondes :

1er type : **Durée de conduction constante**

- Durée des trous plus courte par exemple pour 50 % de P_{\max}
- Meilleure réactivité en cas de changement important de consigne; par exemple dans un passage de P_{\min} à P_{\max}
- Plage plus réduite, ΔP variable et régulation délicate car variation non linéaire.

2ème type : **Cycle de période constante**

- Variation linéaire avec un ΔP constant et faible donc régulation plus facile
- Meilleure précision et plage complète
- Durée des trous importante et réactivité plus faible (obligation d'attendre la fin du cycle).