

TD1 : Asservissement de température d'un four industriel

A- Présentation

Le four électrique industriel est spécialement conçu pour durcir les pièces métalliques en les chauffant à des températures élevées. Il joue un rôle essentiel dans la fabrication industrielle, notamment pour la production de pièces automobiles, aéronautiques, ainsi que pour les machines et les outils. La chaleur est générée à l'intérieur de la chambre du four, permettant ainsi d'atteindre une dureté optimale des pièces métalliques.

Cette étude porte sur un four électrique particulier, capable de maintenir une température constante de **120 °C** pour certains types de pièces. Pour assurer cette stabilité thermique, le four utilise des résistances chauffantes pilotées par une carte de commande intégrant un régulateur. Ce dernier ajuste continuellement la boucle de régulation afin de garantir une température précise, rapide et stable.



B- Modélisation du four électrique

Un four électrique industriel est utilisé pour chauffer des pièces métalliques en maintenant une température constante de 120°C. Le chauffage est assuré par des résistances électriques de puissance **Q(t)**, contrôlées par un régulateur. La température interne du four **T(t)** évolue selon la loi thermique suivante :

$$C_{th} \frac{dT(t)}{dt} = Q(t) - \frac{T(t) - T_a(t)}{R_{th}}$$

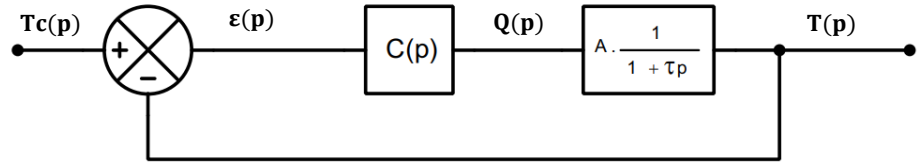
Avec :

- Température ambiante : $T_a(t)$.
 - Capacité thermique équivalente : $C_{th} = 1000 \text{ J/}^\circ\text{C}$.
 - Résistance thermique entre le four et l'extérieur : $R_{th} = 0.1 \text{ }^\circ\text{C/W}$.
 - Puissance maximale des résistances : $Q_{max} = 2000 \text{ W}$.
- **Question 1** : Établir l'équation différentielle modélisant l'évolution de la température $T(t)$ du four en fonction de la puissance électrique $Q(t)$ et la température ambiante $T_a(t)$.
 - **Question 2** : Déterminer la constante de temps thermique τ du système.
 - **Question 3** : En appliquant la transformée de Laplace à l'équation différentielle établie précédemment, déterminer l'expression de $T(p)$ sous la forme : $T(p) = H1(p) \cdot Q(p) + H2(p) \cdot T_a(p)$
En déduire les expressions des fonctions de transfert $H1(p)$ et $H2(p)$, puis préciser la nature des entrées et des sorties associées à chaque fonction.
 - **Question 4** : Déterminer la valeur finale T_f pour des entrées sous forme d'échelons :
Avec $Q(t) = Q_0 \cdot u(t)$ et $T_a(t) = T_0 \cdot u(t)$, où $Q_0 = 2 \text{ kW}$ et $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

C- Asservissement de température ($T_a = 0\text{ }^\circ\text{C}$)

Cette étude traite de l'asservissement de température du four. À partir du schéma bloc proposé, l'objectif est de concevoir un correcteur proportionnel $C(p) = K_p$ pour assurer une régulation précise, stable et adaptée aux exigences de performance du système :

On donne : $A = 0.1$, $\tau = 100\text{ s}$



Cahier des charges :

Rapidité	Le temps de réponse à 5 % doit être inférieur à 1 min.
Précision	L'erreur statique doit être nulle.
Régime transitoire	Pas de dépassement $D\%=0$.

- **Question 5** : Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO(p) et la mettre sous la forme : $FTBO(p) = \frac{k_{bo}}{1 + \tau_{bo} p}$ que vaut les expressions de K_{bo} et τ_{bo} .
- **Question 6** : Calculer le temps de réponse à 5% en boucle ouverte t_{ro} .
- **Question 7** : Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte FTBF(p) et la mettre sous la forme : $FTBF(p) = \frac{k_{bf}}{1 + \tau_{bf} p}$ que vaut les expressions de K_{bf} et τ_{bf} .
- **Question 8** : établir l'expression du temps de réponse à 5% en boucle fermée t_{rf} .
- **Question 9** : Déterminer la valeur de K_p permettant de respecter l'exigence sur la rapidité.

Pour les trois questions suivantes, la **valeur K_p** du correcteur, trouvée dans la question 9, est **conservée**.

- **Question 10** : Dédire la valeur de la température en régime permanent, sachant que la consigne $T_c(t) = 120\text{ u}(t)$.
- **Question 11** : Déterminer la valeur de l'erreur statique. Le système est-il précis ? justifier votre réponse

Conclure sur la validité du cahier des charges.