

# FOUR INDUSTRIEL

Pourquoi alimenter un capteur de température avec 3 fils ?



Une entreprise est équipée de fours horizontaux de marque « Thermidor », utilisé pour le traitement de stabilisation de pièces nécessaire à l'industrie automobile.

On rappelle que l'énergie émise par les corps de chauffe d'un four sert à :

- élever la température de charge à la température requise,
- chauffer les matériaux constituant l'enceinte du four,
- compenser les déperditions thermiques.

## Dimensionnement des résistances

Le four électrique est chauffé par une batterie de résistances, dont la disposition a été particulièrement étudiée afin d'offrir un rendement thermique élevé. On y trouve ainsi 3 résistances en nickel-chrome, réparties de façon uniforme, associées en triangle et alimentés par un réseau triphasé 3P + T 400V 50Hz.

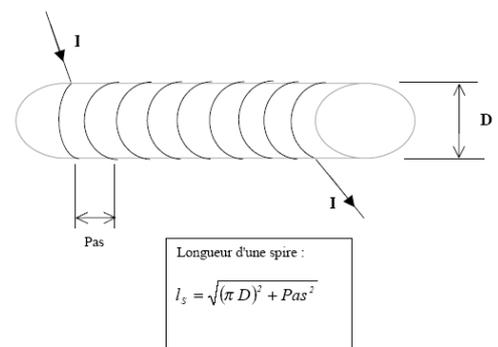
La puissance du four  $P_f$  sera prise égale à 120 kW.

Caractéristiques des résistances boudinées utilisées :

Résistivité du nickel-chrome à 20°C  $\rho = 1,08 \cdot 10^{-6} \Omega m$ ,

Coefficient de variation de la résistivité du nickel-chrome  $\alpha = 60 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ ,

Densité de courant des résistances nickel-chrome  $J = 4 A/mm^2$ .



**Q1** Quelle sera la puissance dissipée par chaque résistance  $P_R$  ? On rappelle qu'en triphasé couplage triangle, chaque résistance sera soumise à la tension composée du réseau, soit ici 400V.

**Q2** Calculer le courant  $I_R$  passant dans une résistance.

**Q3** Calculer la valeur d'une résistance  $R$ .

**Q4** Sachant que la longueur totale de la résistance boudinée est de 105m, déterminer la section de la résistance (c'est-à-dire celle de la spire.)

**Q5** Vérifier que la densité de courant maximum admissible n'est pas dépassée.

## THERMOMETRIE PAR RESISTANCE

Dans le domaine du traitement thermique, la mesure et le contrôle de la température sont primordiales. Pour y parvenir, les procédés mis en œuvre doivent rester simples et fiables. Ils forment un ensemble complet : la chaîne de mesure thermique.

Couramment, 3 principaux systèmes de mesure de température sont utilisés :

- les thermomètres à résistance métallique ( haute précision ) sont utilisés dans une fourchette de - 250 °C à + 800 °C.

- les thermocouples ( échelle de - 50 °C à + 2 400 °C ) sont d'une grande souplesse d'utilisation.

Un thermocouple est un montage exploitant l'effet Seebeck pour la détermination de la température. Celui-ci est constitué de deux fils de métaux différents, soudés à l'une de leurs extrémités. Cette jonction porte le nom usuel de « soudure chaude » et sera installé dans le milieu dont la température est à mesurer. Les deux autres extrémités sont à relier aux bornes d'un voltmètre. Les deux jonctions formées aux bornes du voltmètre portent le nom usuel de « soudures de référence » ou « soudures froides ». Lorsque deux métaux sont utilisés pour former une boucle ouverte (pas de courant circulant dans les fils)(schéma ci-contre), un potentiel électrique peut être généré entre les deux bornes non reliées de la boucle s'il existe un gradient de température dans la boucle, la tension obtenue permet donc d'avoir la



## FOUR INDUSTRIEL

température. Leur principal défaut est leur imprécision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une incertitude inférieure à  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- les thermistances : mélanges d'oxydes métalliques. Leur résistance décroît avec la température selon une loi du type :  $R(T) = R_0 \exp ( B (1/T - 1/T_0) )$  avec T en K. (et B entre 3000 et 5000K). Les thermistances sont généralement utilisables jusqu'à environ  $300^{\circ}\text{C}$ . Mais du fait de la forme de leur réponse, elle ne sont utilisées que sur une faible plage de température ( $100^{\circ}\text{C}$ ) où elles sont très sensibles (sensibilité environ 10 fois supérieure aux sondes métalliques).



Caractéristique commune à ces méthodes : la lecture est donnée sous forme de signal électrique qui pourra être transmis, commuté, affiché et traité en aval.

D'une façon générale, la résistance que présentent les conducteurs électriques, vis-à-vis d'un courant électrique est fonction de leur température. Lorsque ce rapport est prévisible, régulier et stable, ce phénomène est utilisé comme moyen de mesure de la température.

Pour une thermo-résistance (notre cas d'étude) ,la relation entre la résistance de la sonde et la température peut alors être représentée par une équation quadratique de la forme :

$$R(\Theta) = R_0 (1 + A \Theta + B \Theta^2)$$

où  $R(\Theta)$  est la résistance de la sonde à la température  $\Theta$ ,

$\Theta$  est la température en  $^{\circ}\text{C}$ , A et B sont des coefficients déterminés par étalonnage.

**Q6** En milieu industriel, les sondes les plus utilisées sont du type Pt100.

Rechercher ce que signifie le terme Pt100.

La résistance électrique de ce type de sonde évolue selon la loi :

$$R(\Theta) = 100 (1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \Theta - 5,8 \cdot 10^{-7} \Theta^2)$$
 avec  $\Theta > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Intégrée dans un pont de Weatsthone, elle nous donne une tension évoluant en fonction de la température. Divers types de montage existent : 2 fils, 3 fils (voire 4 fils : non étudié).



### Résistances des fils de connexions négligées

On négligera tout d'abord la résistance des fils de connexion de la sonde Pt100.

Le montage devient ainsi celui de la figure 1.

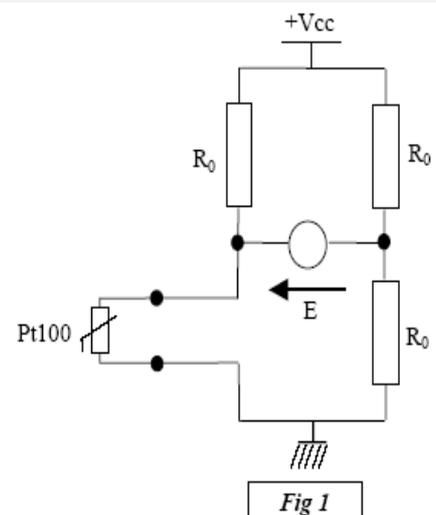
Sachant que la tension d'alimentation  $V_{cc}$  du montage est de 5 V et que l'on désire obtenir l'équilibre du pont (c'est-à-dire avoir  $E = 0\text{ V}$  aux bornes du voltmètre représenté par le cercle) pour une température de  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

**Q7** Quelle devra être la valeur des résistances  $R_0$  ?

**Q8** Donner l'expression de  $E(\Theta)$  en fonction de  $R(\Theta)$ ,  $R_0$ , et  $V_{CC}$ .

**Q9** Tracer l'évolution de la tension  $E = f(\Theta)$ , avec  $V_{cc} = 5\text{ V}$  et  $0 < \Theta < 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

**Q10** Quelle sera l'erreur de mesure à  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  si l'on considère un coefficient d'autoéchauffement de  $30\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ .



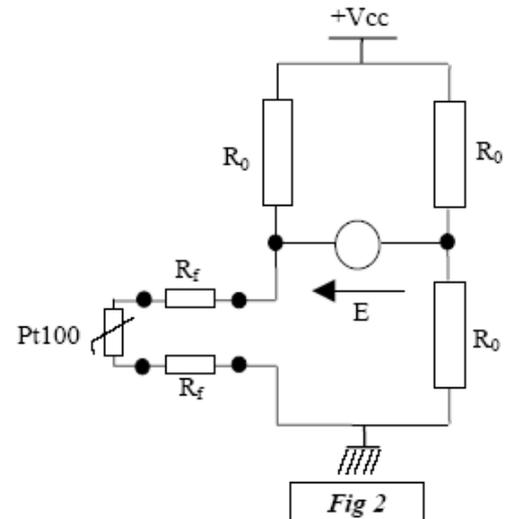
# FOUR INDUSTRIEL

## Montage 2 fils

On désire maintenant tenir compte de l'influence des fils de connexion. Le montage devient ainsi celui de la figure 2. Le capteur est raccordé au pont de mesure par un câble en cuivre, de longueur 120 m, se composant de 2 conducteurs de section  $0,14 \text{ mm}^2$  ( $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ )

**Q11** Donner la nouvelle expression de la tension  $E(\theta)$  en fonction de  $R(\theta)$ ,  $R_0$ ,  $R_f$  et  $V_{CC}$ .

**Q12** En ne tenant plus compte de l'auto échauffement, à  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , quelle sera l'erreur de mesure (en V) ? Quelle sera la température affichée ?



## Montage 3 fils

Enfin, pour minimiser l'influence des fils de connexion sur la mesure, on peut utiliser un montage dit 3 fils. Deux montages sont possibles.

**Q13** Avec le montage de la figure 3, pour quelle valeur de la Pt100 obtient-on l'équilibre ?

**Q14** Conclure.

