

# But du projet et sensibilités du système

## But du projet

L'objectif du projet est de construire un thermomètre différentiel de grande précision (l'objectif est de  $10^{-6}K$ ) puis de le tester en faisant des mesures sous vide, le thermomètre étant trop précis pour des variations de température importantes dû aux fluctuations de l'air. Nous pourrions par exemple mesurer l'absorption optique de matériaux transparents ou mesurer la différence de température d'un fil de cuivre sur lequel on applique une tension mécanique variant par thermoélasticité.

## Fonctionnement du thermomètre différentiel

Le thermomètre différentiel est un appareil de mesure permettant de déterminer une différence de température entre deux capteurs situés en deux points proches (une dizaine de cm environ). Pour obtenir cette différence, nous allons utiliser des thermistances c'est-à-dire des résistances qui varient en fonction de la température au travers desquelles nous allons faire passer un courant électrique. Nous allons ensuite obtenir une température en mesurant une tension de sortie dépendante des variations de résistance des thermistances.

## Différentes sensibilités associées au système

### Choix des thermistances et leur sensibilité théorique à la température

Il y a deux types principaux de thermistance les thermistances à coefficient de température positif (CTP) et les thermistances à coefficient de température négatif (CTN). Les CTP ont une résistance qui augmentent proportionnellement à la température elles ont une sensibilité de l'ordre de  $3.3\Omega/K$ , les CTN voient leurs résistances diminuer avec la température selon :

$$R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

En dérivant par rapport à  $T$ , on obtient une variation de la résistance en fonction de la température :

$$S_R = \left| \frac{dR}{dT} \right| = R \frac{B}{T^2}.$$

Nous avons pris  $B=4000K$   $R=10000\Omega$  et  $T=300K$ .

Nous obtenons  $S_R \approx 440\Omega/K$  ce qui est bien supérieur à la sensibilité de la CTP.

Avec  $B$  coefficient propre de la thermistance donné par le constructeur et  $T_0$  température de fonctionnement optimale (également donnée par le constructeur, ici  $25C^\circ$ ).

Nous avons donc fait le choix de la CTN car la sensibilité à la température est plus importante.

## Variation théorique de la tension en fonction de la résistance

Avec le pont de Wheatstone on peut enlever l'impact des résistances sur le circuit car l'objectif de mesurer des fluctuations très faibles, et nous obtenons en sortie une tension qui dépend uniquement de la variation de résistance donc de température et non de la tension propre du circuit. A l'équilibre, la tension de sortie est nulle.

Le but est ensuite de maximiser la sensibilité. Pour cela nous avons calculé la tension de sortie en fonction des résistances.

$$V_s = V_e \times \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

Avec  $R_1$  et  $R_3$  nos thermistances.

Soit  $S_V$  la sensibilité de la tension par rapport à la résistance :

$$S_V = \frac{dV_s}{dR_1} = V_e \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

On cherche à maximiser  $S_V$  on dérive donc une seconde fois par rapport à  $R_2$  et on trouve les racines (la dérivée s'annule pour un maximum).

On obtient :

$$\frac{dV_s}{dR_2} = V_e \frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)^4}$$

Pour  $\frac{dS_V}{dR_2} = 0$  on a  $R_1 = R_2$ .

Idem pour  $R_3, R_4$  on a donc  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  pour  $T = T_0$ .

Nous obtenons  $S_{Vmax} = \frac{V_e}{4R_1}$

En faisant l'application numérique avec  $V_e = 2V$   $R_1 = 10k\Omega$  nous obtenons :

|                               |
|-------------------------------|
| $S_{Vmax} = 20 \mu V/\Omega.$ |
|-------------------------------|

## Variation théorique de la tension en fonction de la température

Enfin nous cherchons à obtenir la sensibilité maximale ( $\frac{dV_{sortie}}{dT}$ ) de la tension de sortie en fonction de la température. On a  $\frac{dR}{dT}$  et  $\frac{dV_{sortie}}{dR}$ .

$$S_T = \left| \frac{dV_{sortie}}{dT} \right| = \frac{dV_{sortie}}{dR} \times \frac{dR}{dT} = \frac{V_e B}{4T^2}$$

$$\boxed{S_T = 0.022 \text{ V/K}}$$

Ceci est notre valeur théorique de la sensibilité à la sortie du pont de Wheatstone, pour avoir la sensibilité maximale avec les deux modes d'amplifications il faut multiplier cette sensibilité par les gains des amplificateurs.

Dans le cas où seul le premier amplificateur est utilisé le gain est de 4 donc la sensibilité est de 0.089V/K.

Dans le cas où le deuxième amplificateur est utilisé au maximum nous faisons le produit des gains soit 4 fois 1000 le gain maximal du second amplificateur. Nous avons donc une sensibilité de 88.88 V/K.

Remarque dans le second cas la carte d'acquisition saturera rapidement pour de très faible variation de température donc dans les faits le gain maximum ne sera donc pas utilisé.

## Détermination expérimentale de la sensibilité du thermomètre

Cette partie est détaillée dans le mode d'emploi du thermomètre différentiel.

## Axes d'amélioration du projet

- Utilisation de la détection synchrone
- Mesure plus poussée avec le filtre
- Mesure en courant alternatif