

Université d'Orléans
ÉCOLE SUPÉRIEURE DE L'ÉNERGIE ET DES MATÉRIAUX
CONCOURS 1993
Option : Spéciales P
PHYSIQUE
DURÉE : 4 heures - COEFFICIENT : 4

Note aux candidats.

Les candidats sont priés de respecter les notations figurant dans l'énoncé du problème et d'apporter le plus grand soin à la rédaction et à la présentation des résultats.

DISPOSITIFS THERMOMETRIQUES UTILISANT DES RESISTANCES

Le problème décrit différents dispositifs de mesure de température utilisant les variations de résistances de résistors métalliques ou semi-conducteurs.

1. Etude des lois $R(T)$.

1.1. Un résistor métallique constitué d'un fil de platine a une résistance variant suivant la loi $R(t) = R(0) (1 + A t + B t^2)$ où t représente la température en degrés Celsius ($t = T - 273$ K).

a. Calculer le coefficient de température

b. On a mesuré à 0°C $R(0) = 100,00 \Omega$ $\alpha(0) = 3,908 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$,
à 100°C $R(100) = 138,50 \Omega$ $\alpha(100) = 2,73787 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Calculer les coefficients A et B. Préciser les unités.

Calculer $R(25)$ pour $t = 25^\circ\text{C}$, ainsi que $\alpha(25)$.

c. Le coefficient de dilatation linéaire du métal est $= 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Comparer les variations de résistance avec la température dues à la variation de la résistivité ρ d'une part, aux variations de dimensions d'autre part.

Conclusions.

1.2. Une thermistance (résistor semi-conducteur) a, au voisinage de $T - T_0 = 298 \text{ K}$, une résistance variant avec T suivant la loi où T représente la température absolue du résistor

a. Exprimer le coefficient.

Pourquoi peut-on parler de résistance à coefficient de température négatif ?

b. Calculer B sachant que $\alpha(298 \text{ K}) = -4,135 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$.

c. Pour un intervalle de température plus important, la loi doit être affinée selon la relation :

- Établir la relation entre β , T , b et B.

- Pour $t = -80^\circ\text{C}$ on trouve $B = 3294 \text{ K}$;

$t = 150^\circ\text{C}$ on trouve $B = 4122 \text{ K}$.

Calculer b et β .

Calculer R pour $t = 0^\circ\text{C}$ et $t = 100^\circ\text{C}$ sachant que $R_0 = 12000 \Omega$.

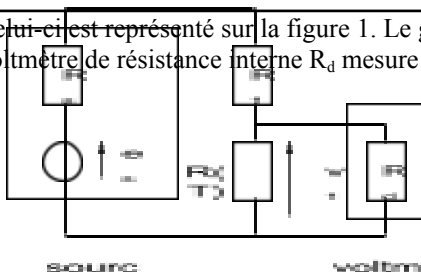
d. Quel avantage peut présenter une thermistance par rapport à une résistance métallique en thermométrie ? Quel risque encourt une thermistance traversée par un courant trop important ?

II. Étude de montages thermométriques.

On mesure un signal électrique, en général une tension, qui traduit les variations des résistances avec la température. Un montage, alimenté par une source de courant ou de tension, comprend la résistance à mesurer associée à d'autres résistances. Le circuit de mesure ainsi constitué est appelé conditionneur du thermomètre. Nous nous proposons d'étudier trois montages de conditionneur et de mettre en évidence, à travers les caractéristiques de chacun, leurs avantages et inconvénients.

II.1 Montage potentiométrique simple.

Celui-ci est représenté sur la figure 1. Le générateur est représenté par son modèle de Thévenin (e_s, R_s) et le voltmètre de résistance interne R_d mesure la d.d.p. v_1 aux bornes de la résistance thermométrique $R(T)$.



a. Exprimer v_1 en fonction de R_1 , $R(T)$, R_d , R_s et e_s .

b. Comment doit-on choisir R_d pour que la tension v_1 ne dépende pas trop du voltmètre utilisé ? On suppose cette condition désormais réalisée.

À

$T = T_0$, la résistance thermométrique R a pour valeur R_0 , et la tension de mesure la valeur v_1 . Ces conditions définissent un point moyen de fonctionnement. Lorsque R varie de ΔR , v_1 varie de Δv_1 . Exprimer Δv_1 en fonction de ΔR , R_0 , R_1 , R_d et e_s en se limitant au cas où $\Delta R \ll R_0$.

O

n définit la sensibilité du conditionneur par .

Pour quelle valeur de R_1 , cette sensibilité est-elle maximale autour de $T = T_0$? Calculer cette sensibilité maximale.

Application numérique

Sachant que $e_s = 10,0$ V, $R_0 = 109,8 \Omega$, $R_s = 20 \Omega$, que le voltmètre peut déceler une variation $|\Delta v_1|$ de 0,01 volt, calculer la valeur de R_1 qui donne la sensibilité maximale et la valeur ΔR que l'on peut déceler.

e. Le générateur a une fem qui fluctue entre $e_s - \delta e$ et $e_s + \delta e$. Calculer Δv_1 , en tenant compte des variations ΔR de R et des fluctuations δe de e_s . Dans le cas où le conditionneur a sa sensibilité maximale, comparer l'influence de ΔR et δe . Que pensez-vous du niveau tolérable de fluctuations de la source dans ce dispositif ?

II.2. Pont de Wheatstone.

Le voltmètre V de résistance interne $R_d \gg R_1, R(T), R_3, R_4$ mesure la d.d.p. $v_2 = v_A - v_B = R_d i$.

La résistance interne R_s de la source est négligeable (figure 2).

a.. On considère le dipôle actif A B' entre les bornes duquel on branche le voltmètre V . Pour calculer i , on pourra chercher le générateur de Thévenin équivalent à ce dipôle.

- Quelle est l'é.m.f. E de ce générateur de Thévenin ?

- Quelle est sa résistance interne r ?

En déduire l'expression de i et de v_2 en fonction de e_s , R_1 , R , R_3 , R_4 , et R_d . On rappelle que R_d est très supérieur à toutes les résistances du circuit.

b. L'équilibre du pont ($v_2 = 0$) est réalisé pour $R = R_0$, $T = T_0$.

Quelle relation lie alors R_1 , R_3 , R_4 , et R_0 ?

c. Calculer v_2 lorsque $R = R_0 + \Delta R$. Exprimer ce résultat uniquement en fonction de ΔR , R_0 et R_1 .

d. On suppose $\Delta R \ll R_0$. Pour quelle valeur de R_1 la sensibilité est-elle maximale ? Calculer celle-ci. Comparer ce résultat à celui obtenu à la question II. 1.

e. La sensibilité maximale étant obtenue, on tient maintenant compte des fluctuations δe de e_s ($|\delta e| \ll e_s$). Comparer l'influence respective de ΔR et de δe sur v_2 . Conclusions ?

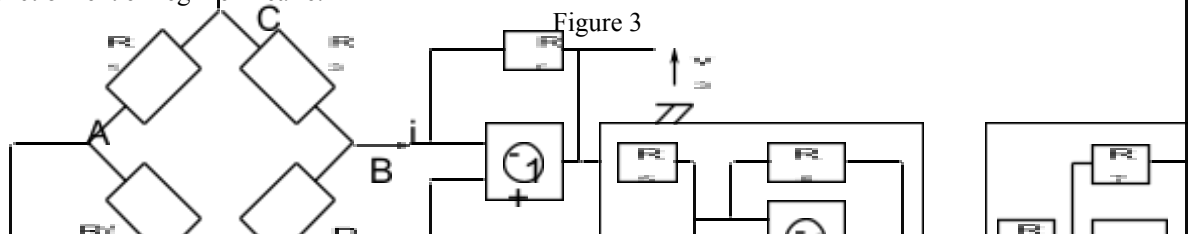
f. On suppose maintenant que $R_1 = R_0 = R_3$ et que R_4 réalise la condition d'équilibre du pont. En revanche ΔR n'est plus petit devant R_0 (cas d'une thermistance par exemple).

Représenter graphiquement lorsque ΔR varie de -1 à $+1,5$. Conclusions ?

II.3. Montage à amplificateurs opérationnels

On réalise le montage de la figure 3 dans lequel les trois amplificateurs opérationnels sont idéaux et

fonctionnent en régime linéaire.



- a. Quel est le rôle des montages partiels où sont inclus les amplificateurs opérationnels 2 et 3 ? Préciser les valeurs de v_0 , v_C , v_D en fonction de v_3 et e_s .
- b. On suppose $R_0 = R_1 = R_3$ et que la condition du II.2.f est encore réalisée. On mesure la tension v_3 à la sortie de l'amplificateur opérationnel 1. Calculer v_3 en fonction de R_f , R_0 , R_6 , R_5 , e_s et $\Delta R = R - R_0$.
- c. R_6 et R_5 étant fixés, comment faut-il choisir R_1 pour que v_3 soit proportionnel à ΔR Déterminer alors la sensibilité du conditionneur.

Application numérique : $R_5 = 10R_6$, $R_0 = 109,80 \Omega$, $e_s = 10,0 \text{ V}$. Calculer R_1 et la sensibilité S .

- d. Les fluctuations de e_s sont-elles encore gênantes ?

III. Linéarisation du signal en fonction de la température.

III.1. Dans le cas du montage à amplificateurs opérationnels la résistance $R(t)$ est associée en parallèle avec une résistance de linéarisation R_+ , de manière à réaliser un dipôle de résistance $R'(t)$ prenant pour T_0 la valeur R'_0 . Les autres résistances du pont sont ajustées en tenant compte de R'_0 , et la valeur de R_1 est choisie pour réaliser les conditions établies à la question II.3. c.

- a. Donner en fonction de $R'(t)$, R'_0 , R_5 , R_6 et e_s , la valeur de v_3 .
- b. On veut qu'au voisinage de $T = T_0$ v_3 soit une fonction affine de T , c'est-à-dire que soit nul pour $T = T_0$. Montrer que R_+ satisfait alors l'équation, l'indice « 0 » signifiant que les dérivées sont évaluées à $T = T_0$.
- c. Cas d'une résistance métallique.

On considère une résistance nickel dont les coefficients caractéristiques sont $A = 5,50 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $B = 6,70 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ fonctionnant au voisinage de $t_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$, $R_0 = R(25) = 50 \Omega$.

- Calculer les valeurs de la résistance R_+ à associer à R , de R'_0 et de R_1 .
- Est-il possible de linéariser de cette manière le signal de mesure en fonction de la température dans le cas de la résistance platine étudiée en I.1. fonctionnant au voisinage de $t_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$?

- d. Cas d'une thermistance.

On considère la thermistance du 1.2. fonctionnant au voisinage de $T_0 = 298 \text{ K}$. Calculer la valeur de R_+ à associer à $R_0 = 12\,000 \Omega$ et en déduire la valeur de R'_0 et de R_1 si $e_s = 10,0 \text{ V}$.

III.2. On envisage maintenant le montage potentiométrique étudié à la question II.1. pour lequel la condition sur R_d est réalisée. On veut réaliser la condition au voisinage de t_0 .

- a. Montrer qu'il faut choisir R_1 de telle sorte que $R_1 + R_s$ ait la valeur R_+ déterminée à la question précédente III.1.b.
- b. Le choix de R_1 étant celui déterminé en a., calculer pour la résistance en nickel et la thermistance au voisinage de $t_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ si $e_s = 10,0 \text{ V}$.