

Capteurs résistifs

I Principe

La résistance d'un conducteur est donnée par la formule :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ étant la résistivité du matériau, l la longueur du conducteur et S sa section.

La résistance R s'exprime en ohms (Ω), la résistivité ρ en ohms-mètres ($\Omega \cdot \text{m}$), la longueur l en mètres et la section S en mètres carrés (m^2).

Une variation de résistance peut être obtenue par :

- une variation de résistivité,
- une variation de longueur,
- une variation de section.

II Exemples

• Capteur de température

Un capteur de température peut être constitué d'une résistance métallique. La résistivité d'un métal dépend de la température θ suivant une loi du type :

$$\rho = \rho_0(1 + a\theta)$$

ρ_0 étant la résistivité à 0°C et a le coefficient de température du métal. La mesure de la résistance du conducteur permet donc de connaître la température.

L'unité de la température θ est le degré Celsius ($^\circ\text{C}$) et celle du coefficient de température a le degré Celsius à la puissance -1 ($^\circ\text{C}^{-1}$).

• Jauge extensométrique

Une jauge extensométrique ou jauge de déformation est un capteur traduisant en variation de résistance sa déformation et donc celle du corps sur lequel elle est col-

lée. La variation relative de résistance est proportionnelle à la déformation $\frac{\Delta l}{l}$:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

K est le facteur de jauge, c'est une constante caractéristique du capteur, sans dimension.

III Mesure de la résistance

- **Montage potentiométrique**

Le capteur de résistance R est monté en diviseur de tension avec une résistance connue R_0 (Fig. 1.1).

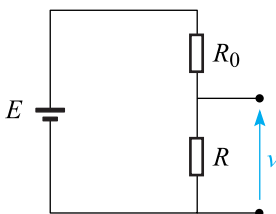


Figure 1.1 Capteur résistif placé dans un diviseur de tension

La tension aux bornes du capteur est donnée par la formule du diviseur résistif :

$$v = \frac{R}{R + R_0} E$$

La relation entre v et R n'est pas linéaire.

- **Pont de Wheatstone**

Un pont de Wheatstone est constitué par le capteur et trois résistances identiques dont la valeur R_0 est égale à la résistance au repos du capteur (Fig. 1.2).

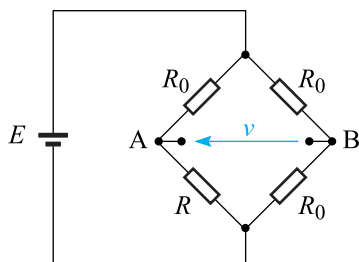


Figure 1.2 Capteur résistif placé dans un pont de Wheatstone

La tension entre les points A et B est obtenue par une double application de la formule du diviseur résistif :

$$v = \left(\frac{R}{R + R_0} - \frac{1}{2} \right) E$$

Quand le capteur est au repos, la tension v est nulle, on dit que le pont est à l'équilibre. La grandeur à mesurer est liée à la variation de résistance du capteur, $\Delta R = R - R_0$:

$$v = \left(\frac{R_0 + \Delta R}{2R_0 + \Delta R} - \frac{1}{2} \right) E = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R_0}} \frac{E}{4}$$

La relation entre la tension de déséquilibre v et la variation relative de résistance n'est pas linéaire, sauf si $\frac{\Delta R}{R_0}$ est très petit devant 1.

Jauges extensométriques et pont de Wheatstone

Les jauges extensométriques sont pratiquement toujours utilisées dans un pont de Wheatstone, mais plusieurs variantes sont possibles.

1. Considérons le schéma général du pont de Wheatstone (Fig. 1.3).

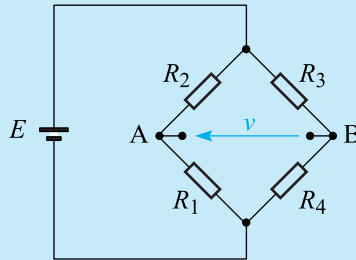


Figure 1.3 Pont de Wheatstone

La tension d'alimentation est $E = 5 \text{ V}$.

a) Exprimer la tension v en fonction de E , R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .

b) Donner la condition sur les résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_4 pour que le pont soit équilibré.

2. Le montage est appelé *quart de pont* si une branche (par exemple R_1) est constituée d'une jauge de déformation et les trois autres branches sont des résistances fixes identiques : $R_2 = R_3 = R_4 = R_0$ et $R_1 = R_0 + \Delta R$ avec $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$.

- a) Exprimer la tension v en fonction de E et de $\frac{\Delta R}{R_0}$.
- b) Tracer la courbe représentant $\frac{v}{E}$ en fonction de $\frac{\Delta R}{R_0}$ pour $\frac{\Delta R}{R_0}$ variant de -1 à 1 . La caractéristique est-elle linéaire ?
- c) Retracer la même courbe, mais pour $\frac{\Delta R}{R_0}$ variant de $-0,05$ à $0,05$. La caractéristique est-elle linéaire dans cet intervalle ? Conclure.
- d) La *sensibilité* du pont est définie par $S = \left| \frac{\Delta v}{\Delta R} \right|$. Déterminer cette sensibilité pour R_1 proche de R_0 .

3. Pour améliorer la linéarité, il est possible d'utiliser le montage en *demi-pont* : deux branches (par exemple R_1 et R_2) sont constituées de jauges, l'une fonctionnant en tension, l'autre en compression. Les variations de résistance sont donc opposées :

$$R_1 = R_0 + \Delta R$$

$$R_2 = R_0 - \Delta R$$

- a) Exprimer la tension v en fonction de E et de $\frac{\Delta R}{R_0}$.
- b) La courbe représentant $\frac{v}{E}$ en fonction de $\frac{\Delta R}{R_0}$ est-elle une droite ? Conclure.
- c) Déterminer la sensibilité du pont pour R_1 et R_2 proches de R_0 . Conclure.

Solution

1.a) La tension v est présente entre les points A et B : $v = v_A - v_B$. En utilisant deux fois la formule du diviseur résistif, on obtient : $v = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) E$.

1.b) La formule précédente peut être mise au même dénominateur : $v = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E$. La tension v est nulle si $R_1 R_3 = R_2 R_4$.

2.a) On remplace $R_2 = R_3 = R_4 = R_0$ et $R_1 = R_0 + \Delta R$ dans la formule du 1.a) :

$$v = \left(\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0} - \frac{R_0}{R_0 + R_0} \right) E = \left(\frac{R_0 + \Delta R}{2R_0 + \Delta R} - \frac{1}{2} \right) E = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R_0}} \frac{E}{4}$$

2.b) La courbe représentant $\frac{v}{E}$ en fonction de $\frac{\Delta R}{R_0}$ n'est pas linéaire (Fig. 1.4).

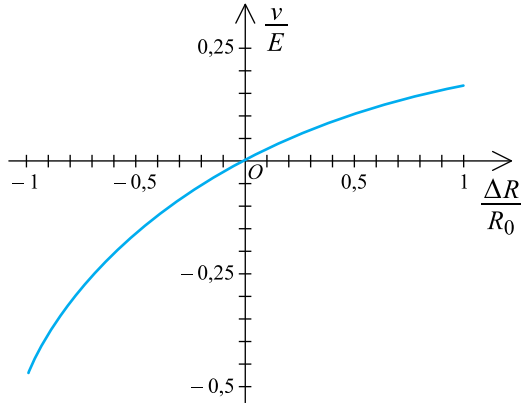


Figure 1.4 Courbe de la tension de déséquilibre réduite en fonction de la variation relative de résistance

2.c) La courbe représentant $\frac{v}{E}$ en fonction de $\frac{\Delta R}{R_0}$ est linéaire dans l'intervalle $[-0,05; 0,05]$ (Fig. 1.5).

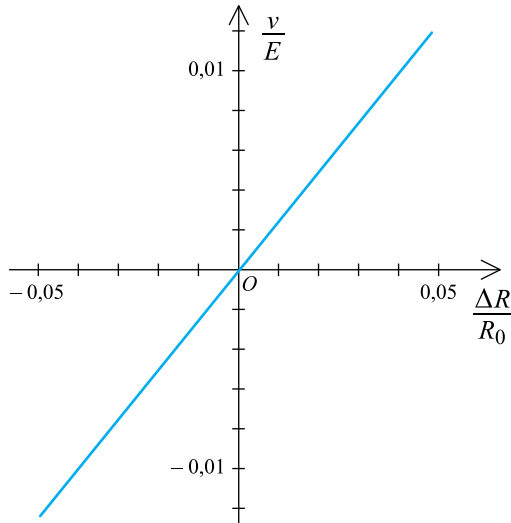


Figure 1.5 Zone limitée de la caractéristique précédente

Le montage en quart de pont ne donne une relation linéaire entre la tension de déséquilibre et la variation relative de résistance que si la résistance du capteur reste très

proche de sa valeur au repos. Dans de nombreuses applications, ce n'est pas le cas et il faut alors utiliser un montage en demi-pont ou en pont complet.

2.d) Quand R_1 est proche de R_0 , la courbe peut être assimilée à un segment de droite.

Pour $\frac{\Delta R}{R_0}$ passant de $-0,04$ à $0,04$, $\frac{v}{E}$ évolue de $-0,01$ à $0,01$. Le coefficient directeur

de la droite est donc $p = \frac{\Delta\left(\frac{v}{E}\right)}{\Delta\left(\frac{\Delta R}{R_0}\right)} = \frac{0,02}{0,08} = 0,25$. La sensibilité du pont est alors

$$S = p \frac{E}{R_0}, \text{ soit numériquement } S = 0,25 \times \frac{5}{10^3} = 1,25 \text{ mV}\cdot\Omega^{-1}.$$

3.a) On remplace $R_3 = R_4 = R_0$, $R_1 = R_0 + \Delta R$ et $R_2 = R_0 - \Delta R$ dans la formule du 1.a) :

$$v = \left(\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R} - \frac{R_0}{R_0 + R_0} \right) E = \left(\frac{R_0 + \Delta R}{2R_0} - \frac{1}{2} \right) E = \frac{\Delta R}{R_0} \frac{E}{2}.$$

3.b) La relation entre v et $\frac{\Delta R}{R_0}$ étant une fonction linéaire, la courbe représentant $\frac{v}{E}$ en

fonction de $\frac{\Delta R}{R_0}$ est une droite.

Le montage en demi-pont est linéaire pour toutes les valeurs de résistance du capteur. C'est une amélioration notable par rapport au montage en quart de pont.

3.c) D'après la formule du 3.a), la sensibilité est $S = \frac{E}{2R_0}$ soit

$S = \frac{5}{2 \times 10^3} = 2,5 \text{ mV}\cdot\Omega^{-1}$. Cette valeur est le double de celle obtenue pour le montage en quart de pont, ce qui est également un avantage : une petite variation de résistance donne ainsi une tension plus facilement exploitable.

La sensibilité pourrait encore être doublée par l'emploi d'un montage en pont complet : les quatre résistances sont des jauges de déformation, deux d'entre elles fonctionnant en tension, les deux autres en compression. C'est la structure la plus courante dans les capteurs industriels.