

Pierre MAYÉ

**Professeur agrégé de physique
Ingénieur en électronique
et électromécanique
Enseignant en BTS d'électronique
et d'électrotechnique à Arras**

Électronique analogique en 22 Fiches

DUNOD

Consultez nos parutions sur dunod.com



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements



d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, Paris, 2010
ISBN 978-2-10-054832-3
ISSN 1778 4514

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Fiche 1	Capteurs résistifs	1
Fiche 2	Capteurs capacitifs	7
Fiche 3	Sons et ultrasons	11
Fiche 4	Optoélectronique	19
Fiche 5	Signaux vidéo	27
Fiche 6	Amplificateurs	34
Fiche 7	Amplificateur de différence	42
Fiche 8	Amplificateurs de puissance	51
Fiche 9	Filtres passifs	59
Fiche 10	Filtres actifs	67
Fiche 11	Commutateurs à transistors	73
Fiche 12	Comparateurs et bascules à hystérésis	79
Fiche 13	Oscillateurs sinusoïdaux	87
Fiche 14	Générateurs de signaux carrés	93
Fiche 15	Lignes de transmission	101
Fiche 16	Fibres optiques	107
Fiche 17	Boucle à verrouillage de phase	113
Fiche 18	Modulation d'amplitude	121
Fiche 19	Modulation de fréquence	128
Fiche 20	Changement de fréquence	137
Fiche 21	Redresseurs et régulateurs	143
Fiche 22	Convertisseurs continu-continu	149

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).

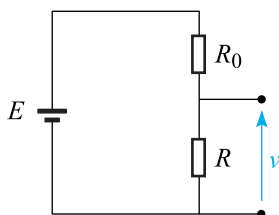


Figure 1.1 Capteur résistif placé dans un diviseur de tension

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 Wheastone**

Un pont de Wheastone 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).

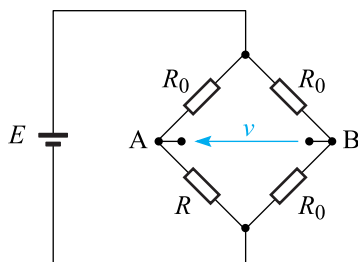


Figure 1.2 Capteur résistif placé dans un pont de Wheastone

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).

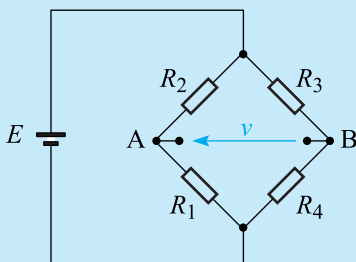


Figure 1.3 Pont de Wheatstone

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).

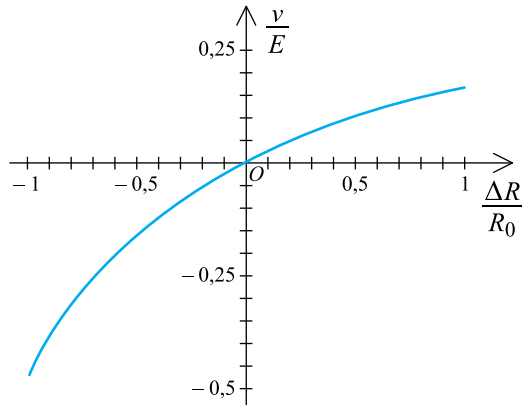


Figure 1.4 Courbe de la tension de déséquilibre réduite en fonction de la variation relative de résistance

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).

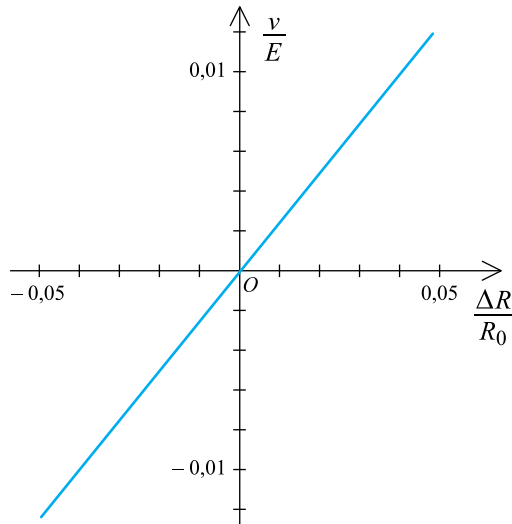


Figure 1.5 Zone limitée de la caractéristique précédente

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.