

# Capteurs

Ce cours est destiné à donner un aperçu :

- des possibilités de mesure des grandeurs physiques ;
- des principales caractéristiques dont il faut tenir compte lors de l'utilisation d'un capteur.

## Bibliographie

- Aspect et mise en oeuvre : Guide du technicien en électrotechnique - édition Hachette Technique.
- Théorie : Les capteurs en instrumentation industrielle - Georges Asch - éd. Dunod - 4e édition 1991.

## 1. Position du problème

On désire mesurer tous les types de grandeurs physiques pour les traiter et les exploiter. Pour cela on transforme la grandeur à mesurer, en un signal facilement exploitable : une tension ou un courant électriques.

## 2. définitions

Le mesurande : grandeur physique objet de la mesure.

Capteur : dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande non électrique présente une caractéristique électrique.



$$s = f(m)$$

Pour faciliter l'exploitation de la réponse, on s'efforce de réaliser des capteurs dont la relation  $s=f(m)$  est linéaire. Dans ce cas  $s$  et  $m$  sont proportionnels.

## 3. Les principes physiques mis en oeuvre

### 3.1 Capteurs passifs

Il s'agit d'impédances (très souvent des résistances) dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande.

| Mesurande              | Caractéristique électrique sensible    | Types de matériaux utilisés                                    |
|------------------------|--|--|
| Température            | Résistivité                            | Métaux : platine, nickel, cuivre.                              |
| Très basse température | Constante diélectrique                 | Semi-conducteurs.<br>Verres.                                   |
| Flux lumineux          | Résistivité                            | Semi-conducteurs.  |
| Déformation            | Résistivité<br>Perméabilité magnétique | Alliages de nickel, silicium dopé.<br>Alliage ferromagnétique. |
| Position (aimant)      | Résistivité                            | Matériaux magnétorésistants : bismuth, antimoniure d'indium.   |
| Humidité               | Résistivité<br>Constante diélectrique  | Chlorure de lithium.<br>Alumine ; polymères.                   |

### 3.2 Capteurs actifs

Ils fonctionnent en générateurs en convertissant la forme d'énergie propre au mesurande en énergie électrique.

| Mesurande                         | Effet utilisé  | Grandeur de sortie                      |
|-----------------------------------|--|---|
| Température                       | Thermoélectricité  | Tension                                 |
| Flux lumineux                     | Pyroélectricité<br>Photoémission<br>Effet photovoltaïque<br>Effet photoélectromagnétique | Charge<br>Courant<br>Tension<br>Tension |
| Force<br>Pression<br>Accélération | Piézoélectricité   | Charge                                  |
| Vitesse                           | Induction électromagnétique  | Tension                                 |
| Position (aimant)                 | Effet Hall   | Tension                                 |

**Effet thermoélectrique.** Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente dont les jonctions sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$  est le siège d'une force électromotrice  $e(T_1, T_2)$ . Application : détermination à partir de la mesure de  $e$  d'une température inconnue  $T_1$  lorsque  $T_2$  ( $0^\circ\text{C}$  par exemple) est connue. (Fig. 1.3a).

**Effet pyroélectrique.** Certains cristaux dits pyroélectriques, le sulfate de triglycine par exemple, ont une polarisation électrique spontanée qui dépend de leur température. Application : un flux de rayonnement lumineux absorbé par un cristal pyroélectrique élève sa température ce qui entraîne une modification de sa polarisation qui est mesurable par la variation de tension aux bornes d'un condensateur associé (Fig. 1.3b).

**Effet piézo-électrique.** L'application d'une force et plus généralement d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques, le quartz par exemple, entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires. Application : mesure de forces ou de grandeurs s'y ramenant (pression, accélération) à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézo-électrique les variations de sa charge (Fig. 1.3c).

**Effet d'induction électromagnétique.** Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il est le siège d'une f.é.m. proportionnelle à sa vitesse de déplacement. Application : la mesure de la f.é.m. d'induction permet de connaître la vitesse du déplacement qui est à son origine (Fig. 1.3d).

**Effets photoélectriques.** On en distingue plusieurs, qui diffèrent par leurs manifestations mais qui ont pour origine commune la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement électromagnétique, dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil, caractéristique du matériau.

**Effet photoémissif.** Les électrons libérés sont émis hors de la cible éclairée et forment un courant collecté par application d'un champ électrique.

**Effet photovoltaïque.** Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction de semi-conducteurs P et N illuminée ; leur déplacement dans le champ électrique de la jonction modifie la tension à ses bornes.

**Effet photoélectromagnétique.** L'application d'un champ magnétique perpendiculaire au rayonnement provoque dans le matériau éclairé l'apparition d'une tension électrique dans la direction normale au champ et au rayonnement. Applications. Les effets photoélectriques sont à la base de méthodes de mesure des grandeurs photométriques d'une part, et ils assurent d'autre part, la transposition en signal électrique des informations dont la lumière peut être le véhicule (Fig. 1.3e).

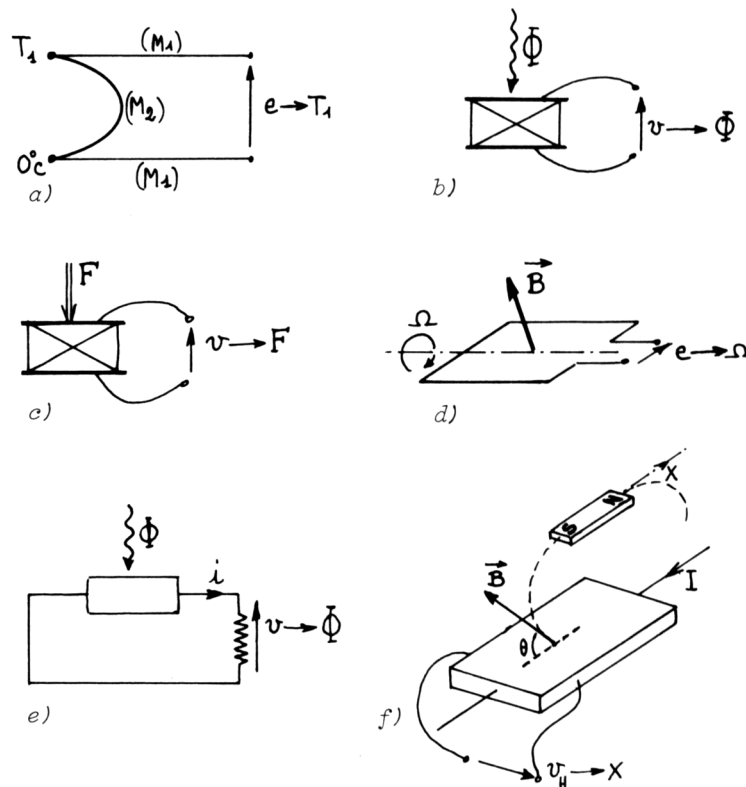


Fig. 1.3. exemples d'application d'effets physiques à la réalisation de capteurs actifs : (a) thermoélectricité, (b) pyroélectricité, (c) piézoélectricité, (d) induction électromagnétique, (e) photoélectricité, (f) effet Hall.

**Effet Hall.** Un matériau, généralement semi-conducteur et sous forme de plaquette, est parcouru par un courant  $I$  et soumis à une induction  $B$  faisant un angle  $\theta$  avec le courant. Il apparaît, dans une direction perpendiculaire à l'induction et au courant une tension  $v_H$  qui a pour expression :

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

où  $K_H$  dépend du matériau et des dimensions de la plaquette. Application : un aimant lié à l'objet dont on veut connaître la position détermine les valeurs de  $B$  et  $\theta$  au niveau de la plaquette : la tension  $v$  qui par ce biais est fonction de la position de l'objet en assure donc une traduction électrique (Fig. 1.3f).

## 4. Caractéristiques métrologiques

### 4.1 Les erreurs

Le capteur et toute la chaîne de traitement de la mesure introduisent des erreurs : bruit, décalage, référence, linéarité...

L'erreur globale de mesure ne peut être qu'estimée. Une conception rigoureuse de la chaîne de mesure permet de réduire les erreurs et donc l'incertitude sur le résultat.

On parle de : fidélité, justesse, précision, incertitude, linéarité.

### 4.2 Etalonnage

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique ou algébrique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Très souvent l'étalonnage n'est valable que pour une seule situation d'utilisation du capteur.

### 4.3 Limites d'utilisation

Les contraintes mécaniques, thermiques ou électriques auxquelles un capteur est soumis entraînent, lorsque leurs niveaux dépassent des seuils définis, une modification des caractéristiques du capteur. Au dessus d'un certain seuil l'étalonnage n'est plus valable, au dessus d'un autre plus grand le capteur risque d'être détruit.

### 4.4 Sensibilité

Plus un capteur est sensible plus la mesure pourra être précise. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures.

### 4.5 Rapidité - Temps de réponse

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande.

### 4.6 Finesse

C'est une spécification qui permet d'estimer l'influence de la présence du capteur et de ses liaisons sur la valeur du mesurande. La finesse doit être la plus grande possible.

## 5. Conditionneurs des capteurs passifs

Exemple d'un capteur résistif

### 5.1 Montage potentiométrique

#### 5.1.1 Linéarisation par approximation des petits signaux

Exercice

#### 5.1.2 Linéarisation en utilisant une source de courant

Exercice

#### 5.1.3 Linéarisation par montage push-pull

Exercice

### 5.2 Montage en pont

Exercice : voir sujet BTS Microtechniques 1996

## 6. Conditionneurs du signal

Le conditionneur du signal a pour fonction de récupérer le signal du capteur et de le traiter pour en extraire une information exploitable. Il se charge en particulier des opérations suivantes :

- amplifier le signal ;
- linéariser le signal ;
- extraire l'information relative au mesurande ;
- adapter le signal à l'interface utilisateur (affichage numérique, ordinateur, ...).

## 7. Quelques capteurs

- **Capteurs de position et de déplacement**
  - Potentiomètre résistif
  - Capteurs inductifs
  - Capteurs capacitifs
  - Capteurs de proximité
- **Capteurs de déformation, de force, de pesage, de couple**
  - Jauges d'extensiométrie
  - Capteurs piézoélectriques
- **Capteurs tachymétriques (de vitesse)**
  - Génératrice à courant continu
  - Capteur à reluctance variable
  - Tachymètre optique
- **Capteurs de pression**
- **Capteurs d'humidité**
- **Capteurs magnétiques**
- **Capteurs de température**
  - Varistances
  - Thermocouples
  - Capteurs au silicium
  - Thermistances CTN
  - Thermistances CTP
- **Capteurs optiques**
  - Photorésistances (LDR)
  - Phototransistors
  - Photodiodes
  - Diodes électroluminescentes
  - Fibre optique

**Source et extraits :** les capteurs en instrumentation industrielle, Georges Asch et collaborateurs, édition Dunod, 1991.