

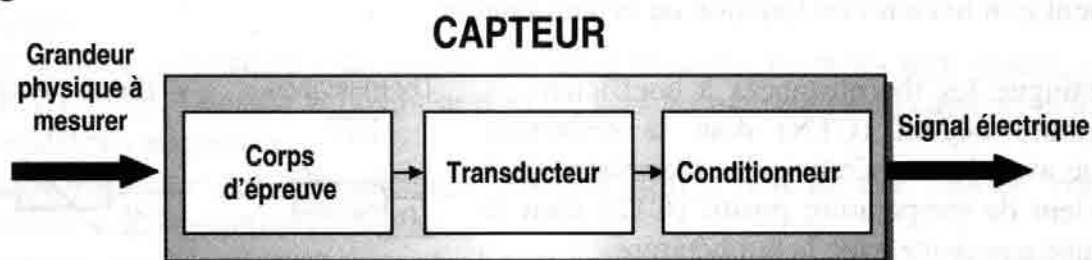
ACQUISITION ET TRAITEMENT DU SIGNAL

CAPTEURS

Les systèmes automatisés ont besoin d'informations sur certaines grandeurs physiques des processus qu'ils pilotent. Un système automatisé de remplissage de flacons, par exemple, utilise un capteur pour détecter la présence du flacon et traduire cette information de manière interprétable par l'automate programmable industriel (API) qui commandera la phase de remplissage.

1. Présentation

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique (température, vitesse, force...) en une grandeur électrique exploitable (résistance, tension, courant...) qui en est l'image.



Ainsi, le plateau d'une balance électronique applique le poids de l'objet sur un corps d'épreuve qui est soumis à des contraintes mesurées à l'aide de jauges extensiométriques (transducteur) montées en pont Wheatstone. La tension délivrée par ce pont est ensuite amplifiée, mise à l'échelle (conditionnement), puis affichée.

Le **corps d'épreuve** est un élément mécanique qui réagit à la grandeur à mesurer.

Le **transducteur** traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique.

Le **conditionneur** amplifie, met en forme et filtre le signal (généralement faible) issu du transducteur, pour sa transmission à distance.

Le signal électrique délivré par le capteur peut être de différentes natures : analogique, numérique ou Tout Ou Rien .

■ **signal de mesure analogique** : il est lié à la grandeur mesurée par une loi continue, parfois linéaire, qui caractérise l'évolution des phénomènes physiques mesurés ; il est souvent conditionné selon les standards suivants :

- *tension* : 0 – 10 V ou plus usuellement 0 – 5 V ;
- *courant* : 4 – 20 mA. La « boucle de courant 4–20 mA » est un moyen de transmission permettant de transporter sur une grande distance le signal analogique délivré par un capteur, sans perte ni modification.

■ **Signal de mesure numérique** : il se présente sous la forme d'impulsions électriques générées simultanément sur plusieurs fils (mode parallèle) ou successivement sur un seul fil (mode série).

Cette transmission est compatible avec les systèmes informatiques de traitement et la plupart des automates programmables industriels. Par exemple, un codeur absolu de position angulaire fournit un mot de 8 bits qui est l'image de la position de l'axe.

■ **Signal Tout Ou Rien** : il ne compte que deux valeurs distinctes correspondant aux niveaux logiques 0 et 1.

Un détecteur de niveau de liquide change d'état logique lorsque se produit le franchissement d'un niveau prédéfini, appelé **seuil**.

2. Différents types de capteurs

a) Capteurs de température

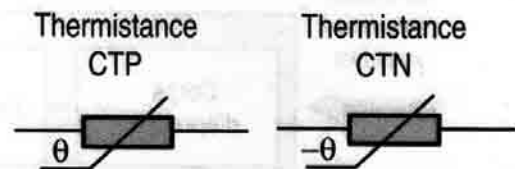
■ Thermomètres à résistance métallique (RTD)

La résistance d'un conducteur métallique augmente avec la température ; la variation étant faible, on insère ce composant dans un pont de Wheatstone. La sonde au platine Pt100 présentant une résistance de $100\ \Omega$ à $0\ ^\circ\text{C}$ est très répandue car elle présente une grande gamme de mesure (-260 à $800\ ^\circ\text{C}$), une forte sensibilité et une linéarité excellente.

■ Thermistances

Les thermistances sont des semi-conducteurs dont la résistance varie (de manière fortement non linéaire) en fonction de la température.

On distingue les thermistances à coefficient de température négatif (CTN) dont la résistance diminue avec la température des thermistances à coefficient de température positif (CTP) dont la résistance augmente avec la température.

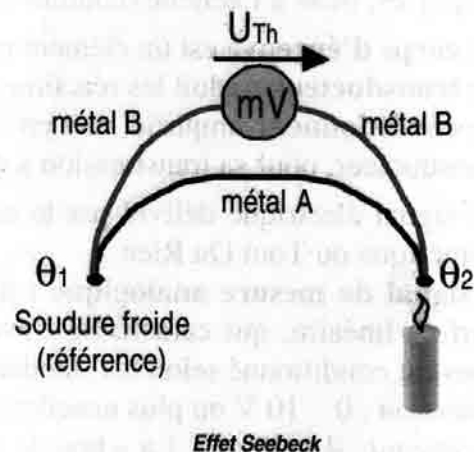


On peut, par exemple, utiliser une thermistance CTN pour contrôler le franchissement d'un seuil de température. Les thermistances CTP peuvent servir à protéger les enroulements d'un moteur : lorsque la température dépasse le seuil critique, leur résistance augmente brusquement et arrête le moteur par forte limitation du courant.

■ Thermocouple

Un thermocouple exploite l'effet Seebeck¹ : il apparaît une force électromotrice aux bornes d'un dipôle constitué de deux conducteurs de natures différentes soudés en deux jonctions portées à des températures distinctes.

Cette f.é.m., qui est de l'ordre du millivolt, dépend du couple de métaux utilisé et de la différence de température entre les deux soudures.

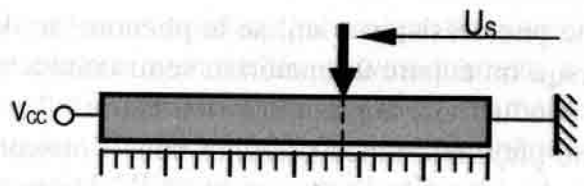


¹ Seebeck (Thomas Johann), médecin et physicien allemand (1770-1831). Il mit en évidence l'effet Seebeck en 1821.

b) Capteurs de position et de déplacement

■ Capteurs potentiométriques

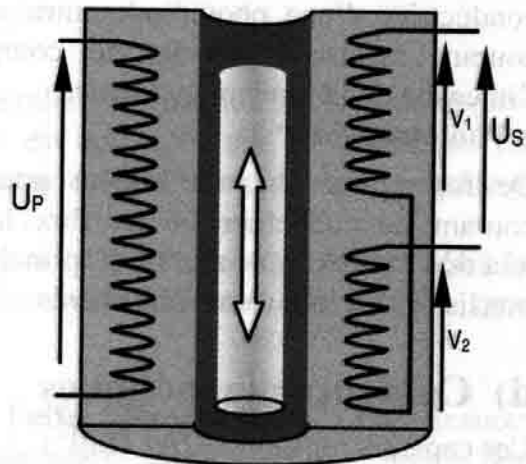
Les capteurs potentiométriques permettent de convertir une position (linéaire ou angulaire) en une tension. Le curseur permet de prélever une fraction de la tension V_{CC} alimentant le potentiomètre.



■ Capteurs de déplacements linéaires à transformateur différentiel

(LVDT pour *Linear Variable Differential Transformer*)

Ce type de capteur fournit une tension proportionnelle au déplacement d'un noyau ferromagnétique mobile. Il est composé d'un bobinage primaire alimenté par un signal alternatif (U_p) et de deux bobinages secondaires. Le noyau coulisse à l'intérieur de ces bobines, canalise le flux et génère par phénomène d'induction des tensions v_1 et v_2 dans chaque bobinage secondaire, dont les amplitudes dépendent de la position de celui-ci. Les deux enroulements secondaires sont connectés en série et en opposition de phase afin que le signal recueilli (U_s) soit la différence des tensions des secondaires.



Principe des capteurs LVDT

Pour la position « médiane » du noyau, les deux tensions V_1 et V_2 sont égales, ce qui entraîne $U_s = 0$ V. Lorsque le noyau se déplace vers les extrémités du capteur, la tension différentielle U_s augmente.

Le signal de sortie est généralement redressé afin d'obtenir une tension continue représentative de la position du noyau.

Ces capteurs possèdent une bonne résolution et effectuent la mesure sans introduire de frottements significatifs entre la partie fixe et le noyau mobile.

■ Détecteur de position inductif

Ce capteur permet de détecter, sans contact, la présence de tout objet conducteur. Il est constitué d'un oscillateur générant un champ électromagnétique dont la fréquence est de l'ordre de la centaine de kilohertz. Tout objet métallique pénétrant dans ce champ est le siège de courants induits (courants de Foucault) qui modifient l'amplitude et la fréquence des signaux provenant de l'oscillateur.

La sortie est généralement du type Tout Ou Rien : un circuit « comparateur » commande l'ouverture d'un interrupteur lorsque l'affaiblissement des oscillations atteint un certain seuil.

■ Détecteur de position capacitif

Ce type de capteur permet de détecter sans contact la présence d'objets très variés, métalliques ou non, tels que le verre, l'eau, le papier... Lorsqu'un tel objet pénètre entre les armatures d'un condensateur, il modifie sa capacité. Si ce condensateur est inséré dans un circuit oscillant, il en résulte un affaiblissement des oscillations et un changement de la fréquence d'oscillation.

c) Capteurs optiques

■ Photorésistance

Une photorésistance utilise le phénomène de photoconduction : lorsqu'on éclaire un matériau semi-conducteur, on constate que sa conductivité augmente fortement.

Une photorésistance présente dans l'obscurité une forte résistance (de l'ordre du $M\Omega$), qui diminue très fortement avec l'éclairement. La variation de résistance en fonction de l'éclairement n'est pas linéaire.

■ Photodiode

Les photons arrivant au voisinage de la jonction semi-conductrice d'une photodiode entraînent un accroissement du courant inverse traversant ce composant, proportionnel à l'intensité de la lumière incidente.

■ Phototransistor

De façon analogue, on obtient pour un phototransistor un courant de collecteur lié au flux lumineux arrivant sur la jonction collecteur-base. Le principal intérêt des phototransistors est leur sensibilité élevée.

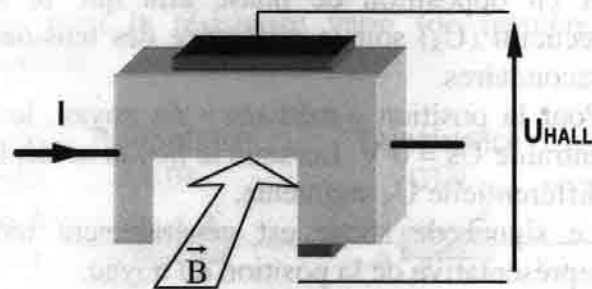


d) Capteurs magnétiques

Ces capteurs utilisent l'effet Hall² :

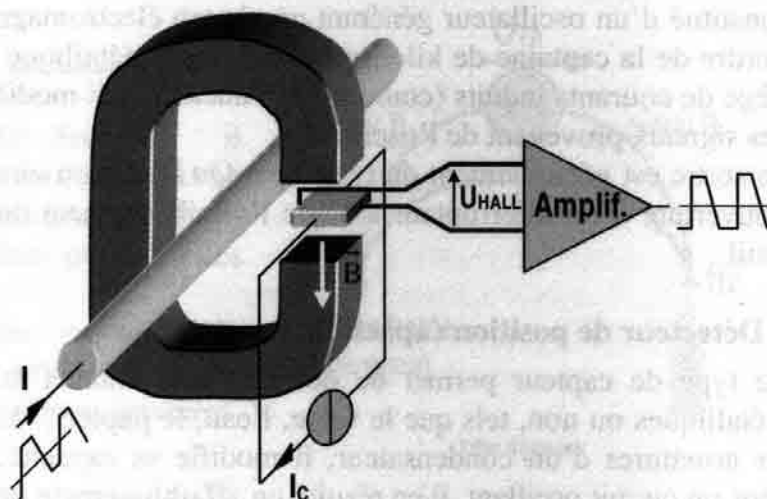
Lorsqu'un courant I traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction $\vec{B}$ est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension U_{HALL} , proportionnelle à l'intensité du champ magnétique et au courant I apparaît sur les faces latérales du barreau.

Si le courant est maintenu constant, la tension Hall permet de mesurer l'intensité du champ magnétique.



e) Capteur de courant

Pour réaliser un capteur de courant, on place une sonde à effet Hall dans l'entrefer d'un tore de ferrite. Le courant que l'on souhaite mesurer (I) circule dans un conducteur traversant le tore et engendre un flux magnétique qui lui est proportionnel (tant que le matériau magnétique n'est pas saturé).



² Hall (Edwin Herbert), physicien américain (1855-1938). L'effet Hall a été découvert en 1879.

La sonde à effet Hall mesure l'intensité du champ magnétique dans l'entrefer et on obtient après amplification une tension en sortie de capteur proportionnelle au courant I .

Les capteurs de courant sont utilisés pour la mesure avec isolation galvanique de courants continus ou alternatifs. Rappelons que deux circuits sont isolés galvaniquement s'il n'existe entre eux aucun lien électrique. En automatisme, cette isolation permet de sécuriser la partie commande (API) en la découplant électriquement de la partie opérative (moteurs,...) qui fait intervenir des tensions et courants d'intensités parfois élevées.

On notera que le capteur de courant le plus simple est la résistance de faible valeur (« shunt ») insérée dans le circuit commandant un amplificateur de tension.

f) Capteurs de pression

■ Les **capteurs de pression à membrane** sont généralement constitués d'une membrane liée à une tige qui se déplace lorsqu'une pression est appliquée sur la membrane. La mesure de ce déplacement est effectuée par un capteur de déplacement à transformateur différentiel décrit au paragraphe b.

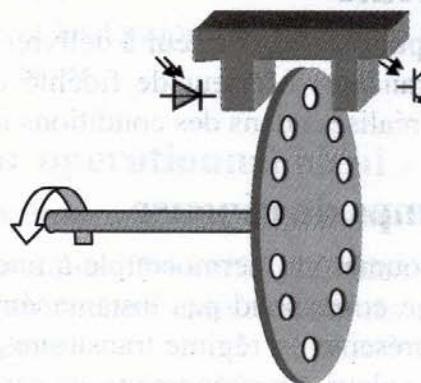
Les capteurs de pression à membrane les plus utilisés sont les pressostats : la tige liée à la membrane actionne directement un contact. L'information délivrée est alors du type Tout Ou Rien.

■ Les **capteurs de pression électroniques** utilisent l'**effet piézoélectrique** : l'application d'une force sur un matériau piézoélectrique (lame de quartz, par exemple) engendre des charges électriques créées par la déformation du matériau.

g) Capteurs de vitesse angulaire

Pour mesurer la vitesse angulaire, on utilise fréquemment des génératrices tachymétriques basées sur le phénomène d'induction électromagnétique : la variation d'un flux magnétique fait apparaître une force électromotrice qui lui est proportionnelle (principe de la « dynamo » de vélo). Par exemple, une machine à courant continu entraînée en rotation délivre une tension continue proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation.

On peut aussi avoir recours à un capteur optoélectronique : un disque perforé est fixé sur l'arbre en rotation. Une « fourche optique » composée d'une DEL et d'un phototransistor permet de repérer le défilement des trous. Un traitement électronique approprié déterminera la vitesse de rotation angulaire.



h) Capteur de force

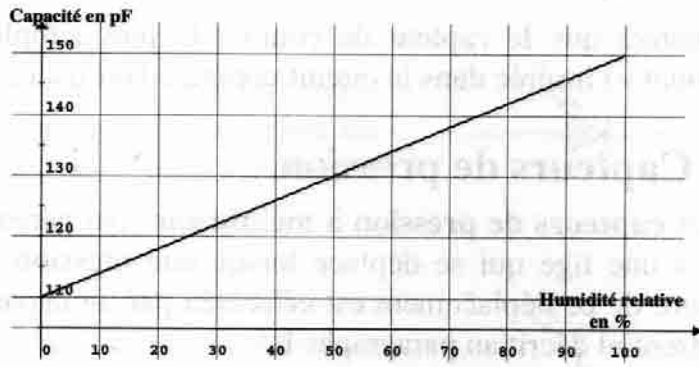
Pour mesurer une force, on utilise un corps d'épreuve qui est une pièce mécanique élastique qui va se déformer sous son effet. Ces déformations produisent un allongement des jauges d'extensiométrie (ou jauges de contraintes) fixées sur le corps d'épreuve, entraînant une variation de leur résistance.

Un capteur de force est souvent constitué de quatre jauges de contrainte collées sur le corps d'épreuve et montées en pont de Wheatstone pour augmenter la sensibilité du dispositif (voir exercices 104 et 106).

3. Caractéristiques d'un capteur

a) Caractéristique entrée-sortie

Elle renseigne sur l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est représentée par une courbe en régime permanent, mais ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur.



Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif

b) Sensibilité

C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité est constante.

Pour le capteur précédent, la caractéristique est linéaire ; la sensibilité est constante et vaut 0,40 pF par pour cent d'humidité relative.

c) Résolution

La résolution correspond à la plus petite variation de la grandeur physique à mesurer que le capteur est susceptible de déceler.

d) Fidélité

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer le même résultat lors d'une mesure répétitive de la même grandeur. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures réalisées dans des conditions identiques.

e) Temps de réponse

Si l'on soumet un thermocouple à une variation brutale de température, la tension qu'il délivre ne correspond pas instantanément à la valeur de la nouvelle température : cette tension présente un régime transitoire pendant lequel elle évolue progressivement vers la nouvelle valeur. Ce phénomène est généralisable à tous les types de capteurs.

On définit le temps de réponse à 95 %, comme le temps nécessaire au capteur pour que sa grandeur de sortie effectue 95 % de l'évolution conduisant à la valeur fournie en régime permanent.