

Formulaire Capteur

Kenzi Antonin

19 novembre 2022

Classification des mesurandes

il existe plusieurs catégories de mesurandes :

1. Mécanique : déplacement, vitesse...
2. Électrique : courant, tension, charge
3. Thermique : température flux thermique
4. Magnétique : champ magnétique, perméabilité
5. Radiation : lumière visible, rayon X, radiation
6. Bio/chimique : humidité, gaz, sucre, hormones

Capteur et chaînes d'acquisition

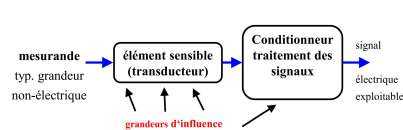


FIGURE 1 – Illustration des influences

Problèmes :

- modifié par des grandeurs d'influence
- retard sur le signal
- un organe de mesure modifie l'environnement

Sensibilité du capteur

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \Big|_m$$

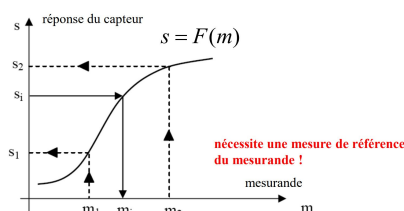


FIGURE 2 – Etalonnage Statique, Cas idéale

Erreur de linéarité

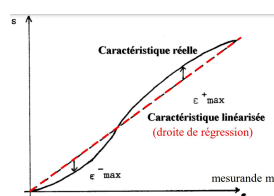


FIGURE 3 – Erreur de linéarité

Elle s'exprime en %, soit l'erreur relative maximale entre la droite de régression et la caractéristique réelle.

1 Résolution

5

Définition : La résolution est la plus petite variation du mesurande que le capteur est capable de définir. Son étendue de mesure est découpée en 3 zones :

- Nominale : plage nominale de mesurande (fonctionnement normal)
- Non-destruction : hors spécification, mais dans l'"absolute maximum rating"
- Destructive : altération permanente des caractéristiques de mesure.

2 Rapidité d'un capteur

6

- Bande passante, plage de fréquence ou le gain est supérieur à 3dB du plateau
- Temps de réponse, temps nécessaire pour que le capteur atteigne 95 % de la valeur finale.

Les deux paramètres sont intrinsèquement liés.

$$T_{rep} = 3 \cdot \tau = \frac{3}{2\pi \cdot f_c}$$

Erreur de mesure

7

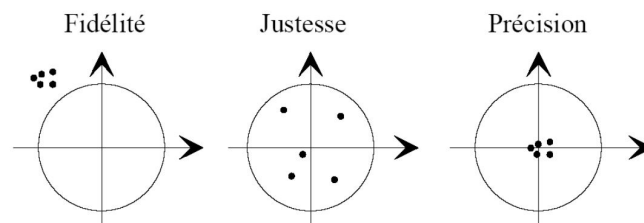
Deux genres d'erreur :

- Systématique : Dérive, mauvaise utilisation, vieillissement.
- Accidentelles (aléatoire) : Bruit, parasite, environnement.

En étudiant la densité de probabilité, on peut ressortir deux comportements :

- Justesse, Moyenne de mesurande proche de la valeur réelle
- Fidélité (répétabilité), Erreur accidentelle faible (variance faible)

lorsque les deux paramètres sont bons, on parle de précision



Choix du capteur

8

- principe physique
- performance (résolution, précision, plage de mesure)
- Grandeur d'influence
- encombrement
- prix
- fiabilité, MTBF : Mean Time Between Failures

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$\lambda : \text{taux de défaillance} = \frac{1}{N_{pop}} \frac{\Delta N_{def}}{\Delta t}$$

Capteur résistif

9

Thermistance : les thermistances de platine sont conçues avec deux méthodes :

- fil de platine enroulé, précis, mais chère (1000.-)
- film mince de platine (env. $1\mu m$), réponse rapide et abordable (10.-)

Lorsque l'on parle de PT-X, on parle de la sonde de platine dont la valeur à $0^\circ C$ est de $X \Omega$ le coefficient α typique est de $0.385 \text{ } \%/^\circ C$ et une précision de 0.1 à 1%

la résistance s'exprime par :

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

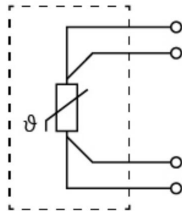
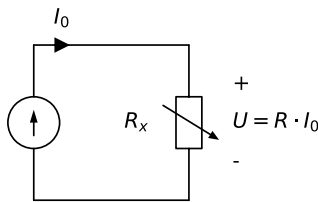


FIGURE 4 – Symbole IEC normalisé de la PT

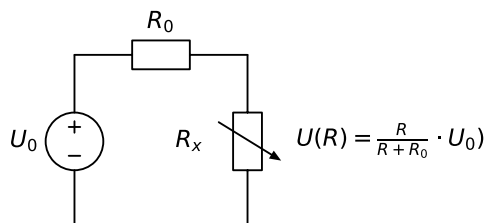
Conditionneurs pour capteur résistif

10

conditionneur linéaire à source de courant :



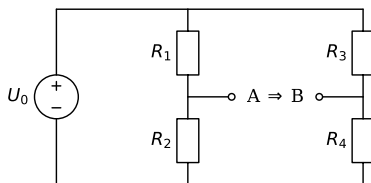
conditionneur non-linéaire type "diviseur de tension" :



$$S_{cond} = \frac{\Delta U}{\Delta R} = \frac{dU}{dR} = \frac{R_0}{(R_0 + R_{nom})^2} \cdot U_0 \quad R_{0,opti} = R_{nom}$$

$U(R)$ varie jusqu'à $U_0/2$

Pont de Wheatstone, tension de déséquilibre :



$$u_m = u_a - u_b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_0$$

$$u_m = 0 \leftrightarrow R_1 R_4 = R_2 R_3$$

en mode "nulling"

R_2 = capteur

R_4 programmée $R_{2,capt} = R_{4,prog} = \frac{R_1}{R_3}$

Avantages :

- indépendant de la tension d'alimentation U_0
- indépendant de la précision de mesure de U_m , il faut juste pouvoir détecter précisément "zéro".
- indépendant d'un courant de mesure de U_m

Inconvénients :

- faible bande passante, que possible pour des mesurands statiques

$$R_2 = R_0 + \Delta R_c$$

$$R_1 = R_3 = R_4 = R_0$$

$$u_m = \left(\frac{R_0 + \Delta R_c}{2R_0 + \Delta R_c} - \frac{1}{2} \right) U_0 = \left(\frac{\Delta R_c}{4R_0 + 2\Delta R_c} \right) U_0$$

$$S_{cond} = \frac{U_0}{4R_0}$$

montage différentiel : "push-pull"

$$R_1 = R_0 + \Delta R_c$$

$$R_2 = R_0 - \Delta R_c$$

$$R_3 = R_4 = R_0$$

$$u_m(\Delta R_c) = \frac{U_0}{2R_0} \cdot \Delta R_c$$

$$S_{cond} = \frac{U_0}{2R_0}$$

utilisation du pont de Wheatstone en mode 4/4 différentiel

$$R_1 = R_4 = R_0 - \Delta R_c$$

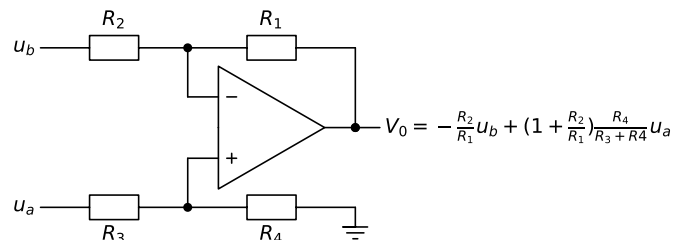
$$R_2 = R_3 = R_0 + \Delta R_c$$

$$u_m(\Delta R_c) = \frac{U_0}{R_0} \cdot \Delta R_c$$

$$S_{cond} = \frac{U_0}{R_0}$$

Amplificateur différentiel

11



$$u_d = u_a - u_b$$

$$u_c = \frac{u_a + u_b}{2}$$

$$V_0 = G_c \cdot u_c + G_d \cdot u_d$$

$$G_c = \frac{V_o}{E_c} \Big|_{E_d=0} = \frac{R_4 R_1 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

$$G_d = \frac{V_o}{E_d} \Big|_{E_c=0} = \frac{1}{2} \left[\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right]$$

$$CMRR = \frac{G_d}{G_c}$$

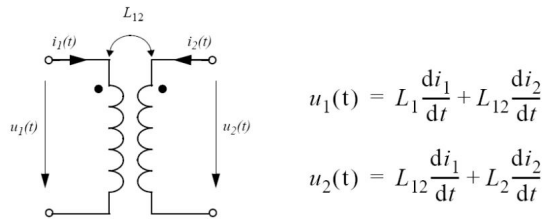
électromagnétisme

12

Phénomènes physiques exploités

- variation de la réluctance d'un circuit magnétique (p.ex. variation de l'entrefer)
- variation du facteur de couplage entre 2 ou plusieurs bobines
- détection des pertes ohmiques créées par des courants de Foucault induits dans une cible conductrice
- variation de l'inductance due au champ opposé créé par les courants de Foucault
- loi d'induction de Faraday (tension induite par un champ variable)

Rappel :



$$S_{cond} = \left| \frac{dH}{dZ_{bobine}} \right|$$

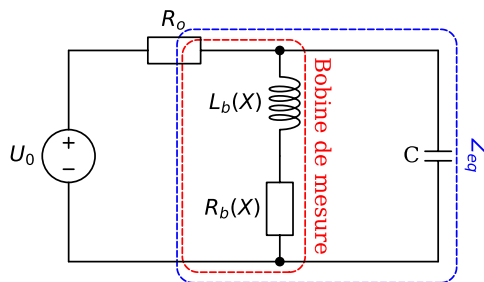
Facteur de couplage : $k = \sqrt{\frac{L_{12}^2}{L_1 L_2}}$

Capteur de proximité : effets physiques (1/2)

- bobine seule, sans présence de cible
 - effet de peau : fréquence élevée \Rightarrow résistance augmente
 - auto-résonance avec la capacité parasite
- cible conducteur non ferromagnétique
 - Courants de Foucault induits \Rightarrow résistance équivalente augmente
 - champ magnétique induit opposé \Rightarrow inductance équivalente diminue
- cible conducteur ferromagnétique non-conducteur (ferrite)
 - effet de reluctance, concentration du champ magnétique \Rightarrow inductance augmente
- cible conducteur ferromagnétique conducteur (p.ex. fer)
 - à basse fréquence : peu de courants de Foucault, augmentation de l'inductance
 - à haute fréquence : courants de Foucault élevés, diminution de l'inductance

Capteurs inductifs et à courant de Foucault et Circuit de résonance

1. Bobine idéale ($R_b = 0$)
 - Diagramme de Bode de $H(j\omega)$
 - Affichage de $H(L)$ dans le plan complexe
 - Fonction de Möbius
2. Bobine nonidéale ($R_b \neq 0$)
 - Fréquence de résonance
 - Choix optimal de R_0



Bobine Idéale :

$$Z_{para} = \frac{j\omega L_b}{1 + (j\omega)^2 L_b C}$$

$$\underline{H}(j\omega, L_b) = \frac{Z_{para}}{Z_{para} + R_0} = \frac{j\omega L_b}{R_0 + j\omega L_b + (j\omega)^2 R_0 L_b C}$$

Sous forme de Bode :

$$\underline{H}(j\omega, L_b) = \frac{j\omega L_b / R_0}{1 + \underbrace{\frac{L_b}{R_0}}_{\frac{2\zeta}{\omega_r}} j\omega + \underbrace{\frac{1}{1/(L_b C)}}_{\frac{1}{\omega_r^2}} (j\omega)^2}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_b C}} \quad \zeta = \frac{L_b}{2R_0 \sqrt{L_b C}}$$

Bobine réelle :

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{1}{L_b C} - \frac{R_b^2}{L_b^2}} \quad Z_{para, res} = \frac{L_b}{R_b C} = R_{para, res}$$