

V - Capteurs de position et déplacement

(5.1) Potentiomètre résistif

(5.1.1) Réalisation du potentiomètre

(5.1.2) Potentiomètre sans curseur mécanique

(5.1.3) Influence des divers éléments du montage

(5.1.4) Montages de mesure

(5.2) Capteurs inductifs

(5.2.1) principes et propriétés générales

(5.2.2) Inductances variables

a) Circuit magnétique à entrefer variable

b) Mesure des inductances et de leurs variations

(5.3) Capteurs capacitifs

(5.3.1) principe et caractéristiques générales

(5.3.2) Condensateur à surface variable

a) condensateur unique

(5.3.3) Méthodes de mesure des variations de capacité

Introduction

Ces capteurs sont d'un emploi très général,

d'une part, parce que le contrôle des positions et déplacements est un élément important pour le fonctionnement correct de beaucoup de machines, (machines outillées, par exemple).

d'autre part, parce que un certain nombre de grandeurs physiques sont mesurables par les déplacements qu'elles entraînent à des corps d'essais :

c'est le cas des forces, des pressions, des accélérations, de la température, etc...

Il y a deux méthodes fondamentales utilisées pour le repérage des positions et la mesure des déplacements :

a) le capteur fournit un signal qui est fonction de la position de l'une de ses parties liée à l'objet mobile et les variations de ce signal traduisent le déplacement (potentiomètre, inductance à noyau mobile, condensateur à variation mobile, transformateur à coupleur variable)

b) le capteur délivre une impulsion à chaque déplacement élémentaire : la position et les déplacements sont déterminés par comptage des impulsions émises, on décompte selon le sens du déplacement. Il s'agit dans ce cas de capteurs incrémenteurs.

Les capteurs de proximité sont caractérisés par l'absence de liaison mécanique avec l'objet dont ils mesurent la distance ou le déplacement ; ils ont donc une grande fiabilité.

Le couplage entre l'objet en déplacement et le capteur est établi par l'intermédiaire d'un champ magnétique, électromagnétique ou électrostatique et c'est l'intensité de ce couplage, fonction de la position relative de l'objet et du capteur, qui détermine la réponse électrique du capteur.

(5.1) Potentiomètre résistif

Il s'agit d'un capteur dont la simplicité du principe conduit à des restrictions de coût modéré.

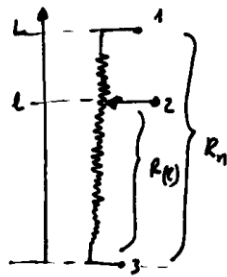
Le signal de mesure qu'il permet d'obtenir peut être d'un niveau important et il n'exige pas de circuit de traitement spécifique.

Cependant, il est le siège de frottements internes qui affectent sa précision, sont une source de bruit et la cause d'une usure qui entraîne la dégradation de ses performances (linéarité, précision) et pose une limite au nombre de mesures qu'il peut subir.

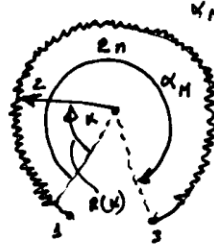
En outre, son fonctionnement peut être affecté par l'atmosphère ambiante (humidité, poussières).

(5.11) Réalisation du potentiomètre

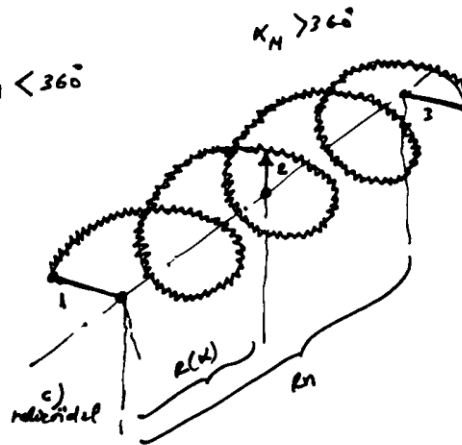
~~(5.11)~~ Diverses formes géométriques



a) rectiligne



b) circulaire



c) radial

Un potentiomètre est constitué d'une résistance fixe R_n sur laquelle peut se déplacer un contact électrique, le curseur. Celui-ci est sollicité mécaniquement de la pièce dont on veut traduire le déplacement; il en est isolé électriquement.

Selon la forme géométrique de la résistance fixe on distingue :

- le potentiomètre de déplacement rectiligne (a) :

$$R(x) = \frac{x}{L} \cdot R_n$$

- le potentiomètre de déplacement angulaire (b, c) :

$$R(\alpha) = \frac{\alpha}{\alpha_M} \cdot R_n$$

Dans la suite on désigne par x le déplacement du curseur pour les deux mouvements linéaire et circulaire et par X sa valeur maximale (L ou α_M).

~~(5.12)~~ ~~Principe de réalisation des divers éléments du montage de mesure~~

(5.12) Potentiomètres sans curseur mécanique

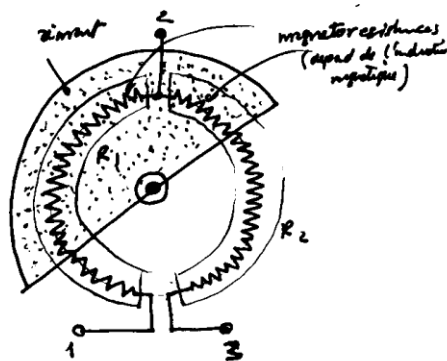
Les inconvénients importants dus au frottement du curseur mécanique sur la piste (usure, bruit, angle d'entraînement) peuvent être pratiquement supprimés en remplaçant le coupletage mécanique entre axe mobile et piste résistive par un coupletage soit optique, soit magnétique.

Le potentiomètre magnétique est formé de deux magnétorésistances R_1 et R_2

montées en série (fig.)

Un aimant solidaire de l'axe de rotation soumet à son champ d'induction une zone qui recouvre une partie des résistances R_1 et R_2 variable avec la position angulaire de l'axe.

Le champ d'induction magnétique provoque un accroissement important de la résistivité de parties R_1 et R_2 qui y sont soumises.

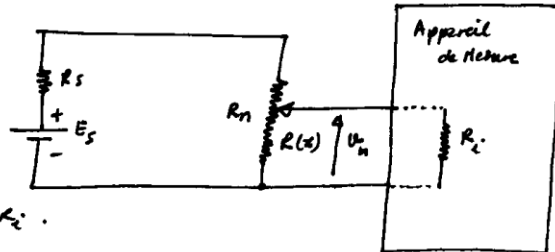


on applique aux bornes 1 et 3, le tension de mesure est prise entre le point commun 2 et l'une des extrémités, 4 par exemple le tension de mesure U_m pour expression :

$$U_m = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_s = \frac{R_1}{R} E_s \quad R: \text{cte.}$$

(§.19) Influence des divers éléments du montage

Le potentiomètre est alimenté par une source de f.e.m E_s et de résistance interne R_s . La tension U_m aux bornes de la résistance variable $R(x)$ est mesurée par un dispositif de résistance d'entrée R_i .



on a :

$$U_m = E_s \cdot \frac{R(x)}{R_s + R_n} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R(x)}{R_i} \left(1 - \frac{R(x)}{R_s + R_n}\right)}$$

$$\left(R_T = R_n - R_x + \frac{R_s R_i}{R_s + R_i} \right), \quad U_m = E_s \cdot \frac{R_i}{R_s + R_n - R_x + R_i}$$

pour le cas idéal, que l'on cherche à approcher, le tension de mesure U_m pour expression :

$$U_m = E_s \cdot \frac{R(x)}{R_n} = E_s \cdot \frac{x}{L}$$

soit, dans le cas d'un potentiomètre rectiligne $U_m = E_s \cdot \frac{\rho}{L}$,

et dans le cas d'un potentiomètre circulaire $U_m = E_s \cdot \frac{\alpha}{\alpha_M}$.

Le cas idéal correspond aux deux conditions limites :

$$R_s = 0 \quad \text{et} \quad R_i = \infty$$

2) Influence de la source :

En supposant pour cette étude $R_i \gg R_n$ on a :

$$U_m = E_s \cdot \frac{R(x)}{R_s + R_n} = E_s \cdot \frac{x}{L} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_n}} \quad \text{lin.}$$

La sensibilité du montage est dans ce cas :

$$S = \frac{dU_m}{dx} = \frac{E_s}{L} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_n}}$$

où L est imposé par la course maximale x traduite.

S est indépendant de x

une sensibilité élevée est obtenue en choisissant une source de résistance interne faible $R_s \ll R_n$ et de f.e.m importante.

et on connait E_s car connue par la puissance maximale P_{dmax} dissipable dans le potentiomètre :

$$E_{smax} = \sqrt{R_n \cdot P_{dmax}}$$

exemple : Potentiomètre rectiligne Recti H12 (fabriquant HCB)

$$L = 25 \text{ mm}, R_n = 5 \text{ K}\Omega \text{ à } 25^\circ \text{ C}$$

$$\text{À } 25^\circ \text{ C} \quad P_{dmax} = 0,5 \text{ W} \Rightarrow E_{smax} = 50 \text{ V et } S_{max} = 2 \text{ V/mm}$$

$$\text{À } 100^\circ \text{ C} \quad P_{dmax} = 0,25 \text{ W} \Rightarrow E_{smax} = 36 \text{ V et } S_{max} = 1,4 \text{ V/mm}$$

b) Influence de la résistance d'entrée de l'appareil de mesure

supposant que $R_s \ll R_n$, l'expression de U_m devient :

$$U_m = E_s \cdot \frac{R(x)}{R_n} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R(x)}{R_i} \left(1 - \frac{R(x)}{R_n}\right)}$$

soit, en fonction de la position x :

$$U_m = E_s \cdot \frac{x}{X} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x}{X} \left(1 - \frac{x}{X}\right) \frac{R_n}{R_i}}$$

La sensibilité du montage $S = \Delta U_m / \Delta x$, est une fonction de x :
le dispositif n'est pas linéaire et l'écart de la linéarité est d'autant plus important que le rapport R_n/R_i est plus grand (fig 6)

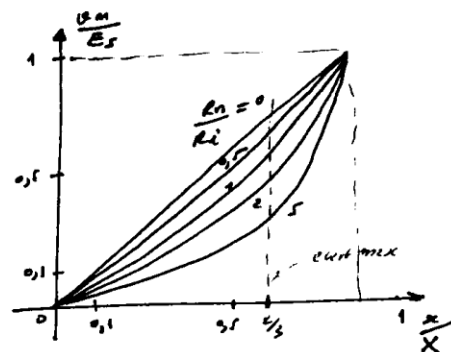
pour le cas où $\frac{R_n}{R_i} \ll 1$

l'expression de U_m peut s'écrire :

$$U_m = E_s \cdot \frac{x}{X} \left[1 - \frac{x}{X} \left(1 - \frac{x}{X} \right) \frac{R_n}{R_i} \right]$$

fig L'écart entre la courbe idéale et la courbe réelle est maximale pour

$$\frac{x}{X} = \frac{2}{3}$$



(Fig 6) influence de la résistance d'entrée de l'appareil de mesure sur la linéarité.

(5.14) Montages de Mesure

* Détermination d'une position

L'information est fournie par le tension U_m entre le curseur et une extrémité du potentiomètre : elle doit être mesurée à l'aide d'un dispositif à grande impédance d'entrée.

- amplificateur en montage suiveur (fig 2)

La tension de mode commun maximale admissible par l'amplificateur doit être supérieure à la tension d'alimentation du potentiomètre.

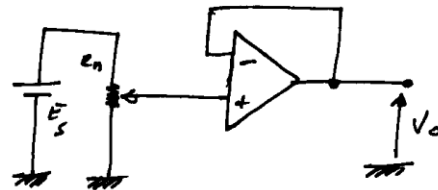


Fig 2 : ampli. suiveur

- amplificateur en montage inverseur sans source (fig 3):

La résistance d'entrée du montage \$R_1\$ doit être très supérieure à \$R_N\$.

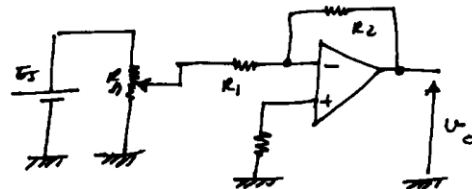


Fig 3 : montage inverseur
\$R_1 \gg R_N\$

- L'utilisation d'un convertisseur A/N (fig 4)

qui a pour tension de référence \$E_s\$ du potentiomètre permet d'éliminer l'erreur due à l'incertitude sur la valeur de cette tension, résultant par exemple d'une dérive; en effet, le nb \$N\$ en sortie du convertisseur ayant pour valeur

$$N = \frac{V_m}{E_{ref}}$$

on a donc à sa :

$$V_m = \frac{X}{X_0} \cdot E_s, \quad E_{ref} = E_s$$

$$\Rightarrow N = \frac{X}{X_0}$$

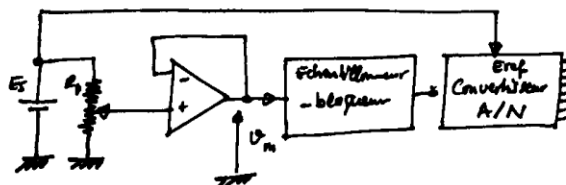


Fig 4 : montage pot. éliminant l'influence de la source.

* Détermination d'un déplacement

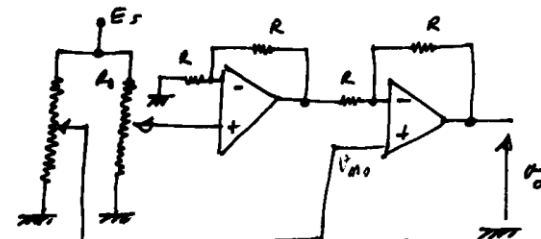
L'information est ici liée à la variation \$\Delta V_m\$ de la tension du curseur qui entraîne son déplacement \$\Delta x\$ autour d'une position \$X_0\$ donnée :

$$V_m(X_0 + \Delta x) = V_{m0} + \Delta V_m$$

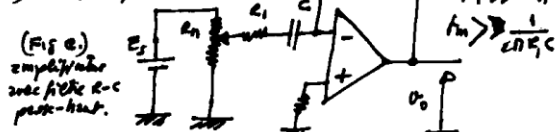
$$\text{on } V_m = \frac{X_0}{X_0} \cdot E_s \text{ et } \Delta V_m = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot E_s$$

Une détermination précise de \$\Delta x\$ s'effectue en éliminant le terme constant \$V_{m0}\$ par une mesure différentielle; celle-ci nécessite un potentiomètre de compensation identique au pot. de mesure alimenté par la même source et dont le curseur est fixé à la position \$X_0\$ délivre la tension constante \$V_{m0}\$ (fig 5).

Lorsque le déplacement \$\Delta x\$ est rapidement variable, de fréquence minimale \$f_m\$, le composant continue \$V_{m0}\$ peut être éliminé par un coupleur capacitif.



(Fig 5) Montage différentiel



(Fig 6) ampli. avec filtre R-C pass-haut.