MP04 – Capteurs de grandeurs mécaniques.

5 avril 2017

Karen Monneret & Paul Haddad

«Mais c'est vide ! Va falloir tenter de meubler tout ça.»
Vendeur IKEA

Remarques

Pour ce montage la bibliographie est quasi-inexistante, les manips à part celle de la jauge de contrainte ne sont décrites nul part. Le problème c'est qu'à part étalonner chaque capteur et discuter des ses quelques propriétés je ne vois pas ce que l'on peut faire d'intéressant. Du coup ça va être tendu de tenir 40 minutes la dessus mais on va essayer. De plus il n'y a pas masse de capteurs de grandeurs mécaniques.

Mon avis : montage à fuir de toute urgence...

Commentaires du jury

2014, 2015, 2016 : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ... En revanche, ce montage ne peut pas se limiter à l'étude d'un ressort ! Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires. (2014 : Par ailleurs, les notions de temps de réponse et de fonction de transfert ne doivent pas être ignorées.)

2013 : Dans ce nouveau montage, les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ...

Bibliographie

✍ **Asch**, *Les capteurs en industrie* ⟶ Des infos sur les capteurs.
✍ **Duffait**, *Expériences d'électronique* ⟶ La jauge de contrainte.

Table des matières

Introduction

Tout comme en philosophie commençons par définir quelques termes importants de ce montage. La grandeur physique objet de la mesure se nomme le **mesurande** que l'on note m et l'ensemble des opérations qui permettent de connaître la valeur de ce mesurande se nomme le **mesurage** ou la **mesure**. Le **capteur** est le dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande présente une réponse de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) notée s. Dans ce montage on ne s'intéressera qu'à des **mesurandes de nature mécanique**.

$$s = F(m)$$

s est donc la réponse du capteur et m l'excitation. L'application F est spécifique à chaque capteur. Il est nécessaire de la connaître pour remonter au mesurande. Cela se fait au via **l'étalonnage**[1] du capteur, pour cela on prend un ensemble de m connues avec une certaines précision et l'on mesure les valeurs de s associées ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage.

Pour des raisons pratiques on cherche au maximum lorsque cela est possible de construire des capteurs **linéaires** on a alors :

$$\Delta s = S \Delta m$$

Où S est la **sensibilité du capteur**.

Enfin on distingue deux types de capteurs : les **passifs** et les **actifs**. La distinction se fait selon la nature de s. Si s est une tension ou un courant on parle alors de capteur actif. Si s est une résistance, impédance ou inductance alors le capteur est dit passif.

Les capteurs doivent donc répondre à un certain cahier des charges à savoir obtenir une valeur de mesurande la plus proche possible de la réalité. Pour cela on définit plusieurs propriétés que nous tenterons de vérifier si possible au cours de ce montage :

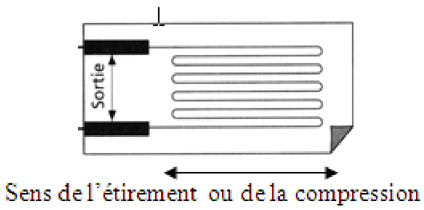
1. Justesse : Détermine à quelle point le mesurande obtenu est proche de la réalité.
2. Fidélité : Si l'on répète plusieurs fois la mesure on obtient une valeur moyenne qui ne possède pas une dispersion trop importante.
3. Précision : On dit qu'un capteur est précis si il combine justesse et fidélité.
4. Temps de réponse : Temps moyen mis au capteur pour donner une valeur stable de s.
5. Linéarité : L'application F varie de manière linéaire en m.
6. Sensibilité : S $= \dfrac{\partial s}{\partial m}$ valeur donnée par le constructeur.

Voici les principales caractéristiques des capteurs que nous allons étudier. Après cette introduction beaucoup trop longue commençons l'étude de la jauge de contrainte.

1 Jauge de contrainte

1.1 Principe

Le mesurande est ici la déformation noté $\varepsilon = \Delta l / l$ d'une poutre encastrée qui ici est une lame de scie. Pour cela on fait appel à une jauge de contrainte.



1. Calibration est un anglicisme.

C'est un capteur présentant un long fil métallique de longueur L, de section S et de résistivité σ replié en forme de serpentin. Ce fil possède donc une résistance R

$$R = \frac{\sigma L}{S}$$

On encastre ce capteur dans la poutre et lorsque celle ci subira une déformation alors on aura une variation de la résistance

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

Où K est appelé facteur de jauge. Pour une jauge métallique K $\simeq$ 2. Le constructeur donne une valeur de $K_t = 2.135$

$$R = R_0(1 + K\varepsilon)$$

Nous allons donc tout d'abord caractériser le capteur afin de déterminer la valeur de K.

C'est un capteur passif étant donné que s est résistif. On pourrait se dire qu'il suffit de brancher un ohmètre au borne de la jauge mais le problème est que les variations de R sont beaucoup trop faible.

En général la sensibilité d'un tel capteur est de l'ordre de S = 0.1 ΩN^{-1} ce qui est très faible et la jauge se briserait bien avant d'atteindre un Newton car on est limité par la masse que l'on peut mettre dessus.

Il faut donc trouver un moyen de réaliser une telle mesure.

1.2 Étalonnage par pont de Wheatstone

Pour cela plutôt que de mettre une seule jauge on en met deux. Une en dessus et en dessous de lame de scie. On a donc deux déformation ε_1 et ε_2 de tel sorte que $\varepsilon_1 = \varepsilon$ et $\varepsilon_2 = -\varepsilon$

On a donc maintenant deux résistances qui varient en sens opposé.

$$R_1 = R_0(1 + K\varepsilon) \qquad R_2 = R_0(1 - K\varepsilon)$$

La valeur de R_0 s'obtient simplement pour une déformation nulle, on la mesure à l'ohmètre et l'on trouve

$$R_0 =$$

Pourquoi avoir fait ceci ? Simplement qu'à la place de mesurer directement la résistance on va utiliser un pont de Wheatstone et sa tension de déséquilibre lorsque les variations de la lame de scie feront varier la résistance. On construit donc le pont avec 2 résistances identiques d'environ R_0 que l'on note R_2 et R_3.

On a alors

$$V_d = \frac{V_a}{4}(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2})$$

V_a est la tension d'alimentation du pont.

On travaille dans le cas de la théorie linéaire de la déformation donc $\epsilon < 1$ on va faire un DL à l'ordre 0 dans le dénominateur de telle sorte que

$$V_d = \frac{KV_a}{2}\epsilon$$

On a donc maintenant une grandeur qui est mesurable de manière plus accessible que la résistance est qui est directement proportionnelle à la déformation. C'est pas mal on progresse.

Le problème c'est que les boites à décade ne permettent pas d'équilibrer le pont donc on va utiliser un potentiomètre qui permet un réglage plus fin.

C'est bien beau mais il faut trouver un moyen de relier tout ceci à quelque chose de concret car la déformation n'est pas une chose aisée à contrôler pour un étalonnage. En revanche les masses sont bien mieux contrôlées. On va donc attacher des masses au bout de la poutre et on va alors connaître les valeurs de la déformation.

Après quelques calculs élémentaires [2] on trouve que :

$$\epsilon = \frac{FLe}{2EI}$$

Où I est le moment quadratique de la poutre. Pour une poutre d'épaisseur e de largeur l

2. Quand il y a cette phrase en général les calculs sont immondes. Ce qui est le cas bien le cas ici.

$$I = \frac{le^3}{12}$$

Soit

$$\epsilon = \frac{6FL}{Ele^2}$$

Avec $F = mg$.
Donc au final

$$V_d = 3\frac{LgKV_a}{Ele^2}m$$

On trace V_d en fonction de la masse attachée et on trouve une pente $\alpha =$

Soit une valeur $K = \frac{\alpha Ele^2}{3LgV_a}$

$$K = \qquad K_t = 2.135$$

Pour l'incertitude on a

$$\left(\frac{\Delta K}{K}\right)^2 = \left(\left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_a}{V_a}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta e}{e}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2\right)$$

On a donc complètement caractérisé la jauge de contrainte celle-ci est prête à servir.

La pente α nous donne directement la sensibilité en mV/kg. Ceci dit on peut plutôt convertir ceci en mV/mm à l'aide de la flèche qui vaut pour une masse de 1 kg

$$f = \frac{gL^3}{3EI}$$

$$S =$$

En résumé pour ce capteur :

- Nous avons vu toute la démarche pour arriver à faire une mesure correcte avec ce capteur.
- La réponse du capteur est linéaire.
- On a trouvé la sensibilité
- La justesse est difficile a évaluer mais en tout cas cela ne donne pas des valeurs de flèches absurde c'est de l'ordre du mm.
- Le temps de réponse ne nous intéresse pas ici car on travaille en statique en général sur ce genre de mesure.

Les inconvénients de ce capteurs sont les suivants :

- Mesure de petites déformations seulement sinon il casse.
- La fidélité et la justesse peuvent se détériorer au cours des utilisations à cause des déformations que subit le capteur à chaque mesure.

2 Capteur de proximité

2.1 Principe

On souhaite mesurer la distance entre un obstacle métallique et le capteur. On réalise ce que l'on appelle un capteur de proximité. Ici on va s'intéresser à un capteur inductif donc encore un capteur passif. Il fonctionne via les courants de Foucault, et pour simplifier on peut voir le fonctionnement comme ceci :

On a d'un coté le capteur qui peut être comparé au primaire d'un transformateur et de l'autre coté le secondaire qui est la plaque métallique dont on veut connaître la distance au capteur.

La théorie nous dit que l'on a une résistance équivalente et une inductance équivalente qui dépend du coefficient d'inductance mutuelle lui même dépendant de la distance. En mesurant la tension à l'une des deux bornes on obtient une tension qui dépend de la distance. Il ne reste plus qu'à étalonner le capteur.

2.2 Étalonnage

On alimente le capteur et ensuite on mesure simplement la tension à ses bornes en fonction de la distance. On obtient bien une relation linéaire.

On en déduit donc la sensibilité du capteur qui vaut alors :

$$S =$$

Le temps de réponse n'est pas possible à mesurer car il est trop rapide cependant on peut remarquer une chose intéressante, si l'on essaie de le mesurer on voit que l'on obtient un dépassement de consigne (de 5V max) avant une stabilisation vers 5V.

On peut mesurer ce temps de relaxation qui vaut :

$$\tau =$$

Donc attention si jamais on compte utiliser ce capteur en tant que système binaire il faut être conscient qu'il se peut que la tension de sortie dépasse 5V. Cela peut s'expliquer sûrement par la nature inductive du capteur et la loi de Lenz. On impose une variation brutale du flux magnétique on a donc une forte augmentation de la tension.

Résumé :

- Capteur linéaire
- Capteur assez sensible dans sa gamme d'utilisation
- Justesse en accord avec le vernier
- Durabilité accrue du fait qu'il n'y a pas de mise en contact ni de déformation du capteur contrairement à la jauge. Il s'abimera donc moins vite.
- Peut présenter un dépassement de consigne.
- Ne mesure que des très petites distance en dessous de 2 mm.
- Temps de réponse assez élevé.

Terminons ce montage par l'étude d'un capteur d'angle.

3 Capteur d'angle

3.1 Principe

Le fonctionnement est est simple potentiomètre.

$$R = R_0 \frac{\alpha}{\alpha_0}$$

On a donc une résistance variable suivant l'angle, on récupère ensuite une tension à l'aide d'un pont diviseur de tension directement proportionnelle à l'angle. Il faut du coup évidemment alimenter le capteur. Pour l'étalonner on va utiliser un rapporteur.

3.2 Étalonnage

On mesure simplement la tension en fonction de l'angle. On trouve que le capteur est bien linéaire.

On a alors une mesure de la sensibilité qui vaut :

$$S =$$

A comparer avec la valeur donnée par le constructeur si possible.

Questions, commentaires.