

MP04 : Capteurs de grandeurs mécaniques

Armél JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

Attention ! Parler d'incertitude type et non pas de résolution d'un capteur.

Introduction

Un capteur mesure une grandeur physique en la transformant en une autre grandeur que l'on sait exploiter (tension, courant). On s'intéresse ici à des capteurs de grandeurs mécaniques (position, vitesse, masse) dont on étudiera les propriétés : linéarité, précision, Incertitude-type, sensibilité, justesse.

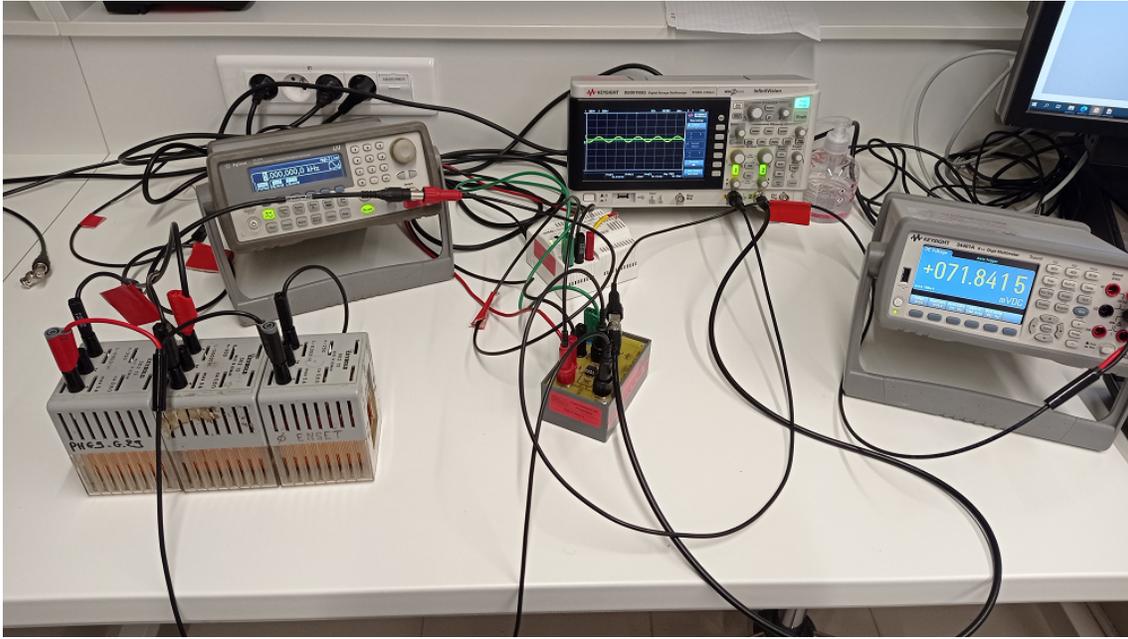
1 Capteur de position : LVDT

1.1 Principe

Matériel :

- 3 bobines identiques de 250 spires
- barreau en fer doux de 15 cm de long
- ensemble multiplieur - filtre passe bas (RC de fréquence de coupure $\simeq 100$ Hz.) sur une plaquette multiplieur simple
- GBF
- multimètre

On accole les 3 bobines, et on alimente la bobine centrale (circuit primaire) avec un signal sinusoïdal U_e ($V_{pp} = 10$ V ; $f = 5,0$ kHz). Le champ magnétique variable créé au sein de cette bobine est alors canalisé par le noyau de fer doux dans les 2 autres bobines (circuits secondaires), et il y a alors apparition, par induction électromagnétique, de tensions induites U_1 et U_2 dans ces bobines. On raccorde les deux bobines secondaires, et on récupère la tension $U_s = U_1 - U_2$, que l'on multiplie à U_e pour pouvoir réaliser une détection synchrone à l'aide du filtre passe-bas, à la sortie duquel on obtient la



tension U_{out} qui est l'image de la position du centre du barreau (nulle quand le barreau est centré dans le système). En récapitulant, on a :

$$\begin{cases} U_e = U_a \cos(2\pi ft) \\ U_s = U_1 - U_2 = U_b \cos(2\pi ft) \\ U_{out} = M \frac{U_a U_b}{2} \end{cases}$$

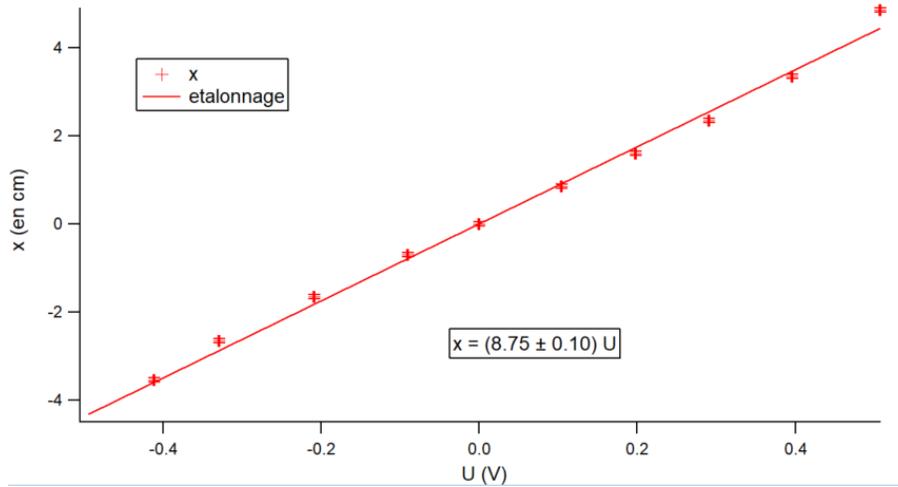
où l'on suppose que U_b évolue linéairement avec l'écart à la position centrale du barreau en fer doux. En effet, on a les flux dans les bobines secondaires 1 et 2 qui vérifient, avec N_1 (resp. N_2) le nombre de spires de la bobine 1 (resp. la bobine 2) encerclant le barreau de fer doux, l_1 (resp. l_2) la longueur de barreau pénétrant la bobine 1 (resp.2), n le nombre de spires par unité de longueur, et S la section du barreau :

$$\begin{cases} \phi_1 = B \times S \times N_1(x) = B \times S \times n \times l_1 \\ \phi_2 = B \times S \times N_2(x) = B \times S \times n \times l_2 \\ U_s = (U_1 - U_2) \propto B \times S \times n \times (l_2 - l_1) \end{cases}$$

On a donc bien U_s qui s'annule quand le barreau est centré ($l_1 = l_2$, et donc $x = 0$) ou bien en dehors des bobines ($B \simeq 0$).

1.2 Exploitation

En préparation, on a réalisé un étalonnage position-tension, en mesurant la position du barreau avec un réglet :



Lors du passage, j'ai placé le barreau à une position quelconque, que j'ai ensuite mesurée à l'aide de la tension affichée par le multimètre et la droite d'étalonnage. J'ai ensuite vérifié le résultat obtenu avec le réglet.

- **Sensibilité** : donnée par l'étalonnage ; $s = (8,75 \pm 0,10) \text{ cm/V}$
- **Incertitude-type** : donnée par l'étalonnage et l'incertitude type de mesure sur U_{out} (incertitude du voltmètre) ; $R = s \times \sigma(U_{out}) = 0,1 \text{ mm}$
- **Justesse** : on compare la mesure obtenue à partir de l'étalonnage avec celle obtenue au réglet : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

1.3 Remarques / Questions

- La précision de l'étalonnage est conditionnée par la précision du réglet : il faudrait trouver un autre moyen de mesurer la position qui permette de s'affranchir de cette incertitude.
- On fait l'hypothèse que la relation entre U_b et la position est linéarisable sur la gamme de position considérée.
- *Choix de la fréquence de travail ?* Suffisamment haute pour que le filtre passe-bas soit efficace (le signal à $2f$ est alors 2 décades au-delà de la fréquence de coupure), mais pas trop élevée pour éviter les effets capacitifs des bobines.
- JBD : il pourrait être intéressant de prendre des mesures avec le barreau sortant des bobines pour qualifier la gamme de linéarité.

2 Capteur de vitesse : banc Doppler

2.1 Principe

Matériel :

- Banc Doppler pas à pas (platine de translation pilotée) et notice associée (NOVA, cf MP29) :
https://media.educ.space/labmedias/55/b8/55b82ce701b7bb194ff325381d01d1fad81edaad/Protocole_PlatineNova.pdf
- GBF
- ensemble multiplieur - filtre passe bas (RC de fréquence de coupure $\simeq 100$ Hz.) sur une plaquette multiplieur simple

L'émetteur est fixe, et émet un signal U_e à une fréquence $f \simeq 43$ kHz (l'imposer au GBF, en se plaçant au maximum d'amplitude, et la mesurer précisément ; on en déduit λ de c_{son} à la température de la pièce. Vérifier la valeur de λ). Le récepteur est mobile, et renvoie un signal U_r à une fréquence $f + \Delta f$. Sa vitesse est pilotée par la commande du banc (cf notice). On réalise l'opération de multiplication + filtrage entre U_e et U_r et on obtient un signal U_{out} à la fréquence Δf (battements entre U_e et U_r). Dans l'approximation de petites vitesses ($v \ll c_{son}$), la vitesse du récepteur est donnée par :

$$v = \lambda \times \Delta f$$

2.2 Exploitation

En préparation, on mesure $\lambda = (0,82 \pm 0,01)$ cm, puis pour une série de vitesses (celles calibrées du logiciel), on mesure Δf à l'oscilloscope. On réalise les mesures plusieurs fois pour chaque vitesse afin de réduire l'incertitude sur Δf . On peut ainsi juger de la justesse du capteur en comparant les vitesses obtenues par effet Doppler et celles du logiciel. Lors du passage, réaliser plusieurs mesures de Δf pour une vitesse "quelconque", et faire une étude statistique.

- **Incertitude-type** : $\sigma(v) = \lambda \times \sigma(\Delta f) = 0,03$ cm/s
- **Justesse** : on compare la mesure obtenue par effet Doppler avec celle tabulée pour le banc : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

3 Capteur de masse : balance à jauge de contrainte

3.1 Montage

Matériel :

- Jauge de contrainte
- plaquette pont de Wheatstone ($R_a = 0,986 \text{ k}\Omega$, $R_b = 0,989 \text{ k}\Omega$, résistances de haute précision)
- alimentation +15V/-15V prise entre 0 et 15 V pour l'ensemble de la carte comportant les deux plaquettes.
- multimètre

On utilise une jauge de contrainte : sa déformation (causée par le poids de l'objet à peser) entraîne une variation de sa résistance ΔR , que l'on suppose proportionnelle à la contrainte. Cette variation de résistance étant très faible, on utilise un pont de Wheatstone pour pouvoir la détecter, et on réalise de nouveau une détection synchrone. On obtient en sortie une tension $U_{out} \propto \Delta R \propto m$.

Réglage : alimenter en continu, faire en sorte qu'à vide, on ait bien une tension de sortie nulle, ce que l'on réalise en accordant la résistance variable R_v . On le fait dans un premier temps avant l'amplificateur en sortie du pont de Wheatstone, puis en sortie de cet amplificateur. Après quoi, mesurer la tension associée à la masse que l'on pèse.

3.2 Exploitation

- **Sensibilité :** donnée par l'étalonnage fait en préparation
- **Incertitude-type :** donnée par l'étalonnage et l'incertitude type de mesure sur U_{out} (incertitude du voltmètre)
- **Justesse :** on compare la mesure obtenue à partir de l'étalonnage avec celle obtenue avec la balance : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

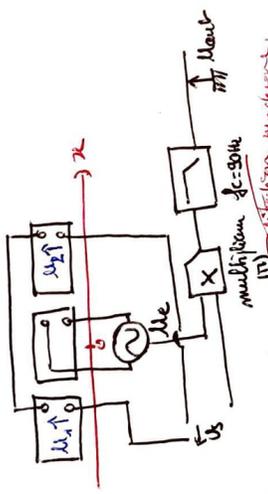
3.3 Remarques / Questions

- On a utilisé un fil de pêche pour accrocher les masses au réglet de la jauge, et ainsi s'efforcer d'appliquer la contrainte de manière similaire à chaque mesure.
- *Fonctionnement de la jauge de contrainte ? Pourquoi ne doit-on pas dépasser une certaine masse ?*

TP04 : Capteurs de grandeurs mécaniques

I - Capteur de ponten - LVDT

1) Montage



$U_{e1} = U_{a1} \cdot U_2 = U_{b1} \cdot U_{a2} \cdot e(f)$

2) Exploitation

Effet D'Iner : $U = \lambda \cdot \Delta f$

où $\lambda = 0,82 \pm 0,01 \text{ cm}$

résolution : $R_2 = \sigma(\Delta f) \times \lambda = 0,03 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

justesse : $\Delta f = \pm \text{Hz}$

$N_{diff} = \pm \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

$\sigma_{niveau} = \pm \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

$U_{out} = \pi U_e U_b \cos(\varphi)$

où U_b varie linéairement avec x .

2) Exploitation

étalonnage : $b_2 = 8,75 \pm 0,10 \text{ cm/V}$

résolution : $R_1 = \sigma(U_{out}) / b_2 = 0,1 \text{ mm}$

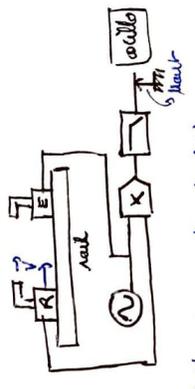
justesse : $U_{out} = \pm V$

$x_{diff} = \pm \text{cm}$

$x_{niveau} = \pm 0,01 \text{ cm}$

II - Capteur de vitesse : effet Doppler

1) Montage



à l'émission : $A \cos(2\pi f_e t)$

à la réception : $B \cos(2\pi(f_r + \Delta f)t)$

où $U_{out} = C \cos(2\pi \Delta f \cdot t)$

2) Exploitation

étalonnage : $b_3 = 0,708 \pm 0,005 \text{ m/s/mV}$

résolution : $R_3 = \sigma(U_{out}) \times b_3 = 0,14 \text{ g}$

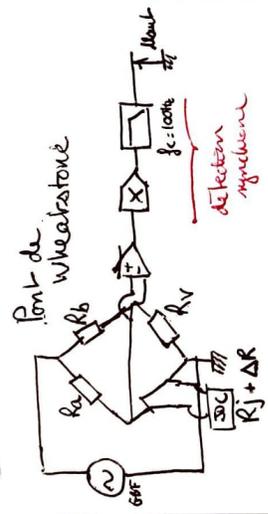
justesse : $U_{out} = \pm \text{mV}$

$x_{diff} = \pm \text{g}$

$x_{niveau} = \pm \text{g}$

III - Capteur de masse : balance à jauge de contrainte

1) Montage



$U_{out} \propto \Delta R \propto m$