

Capteurs de grandeurs mécaniques

Matériel

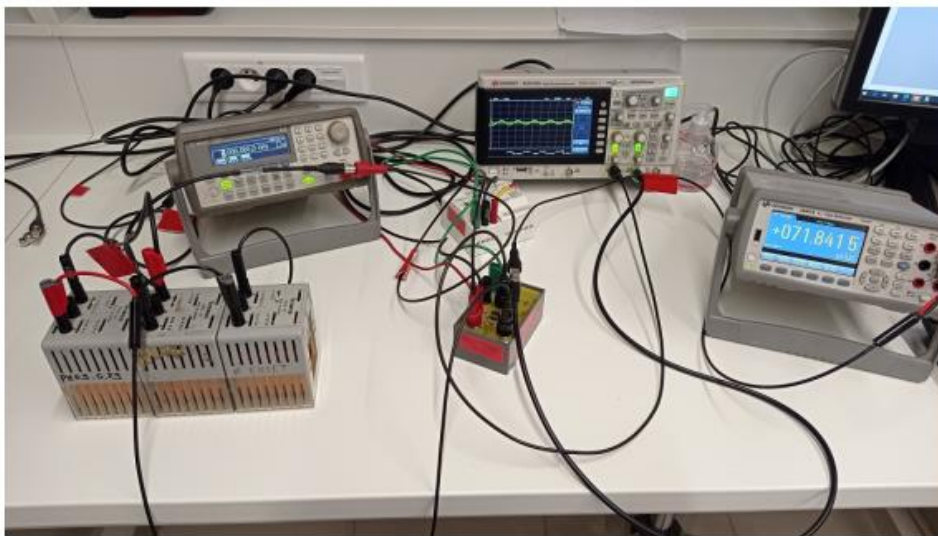
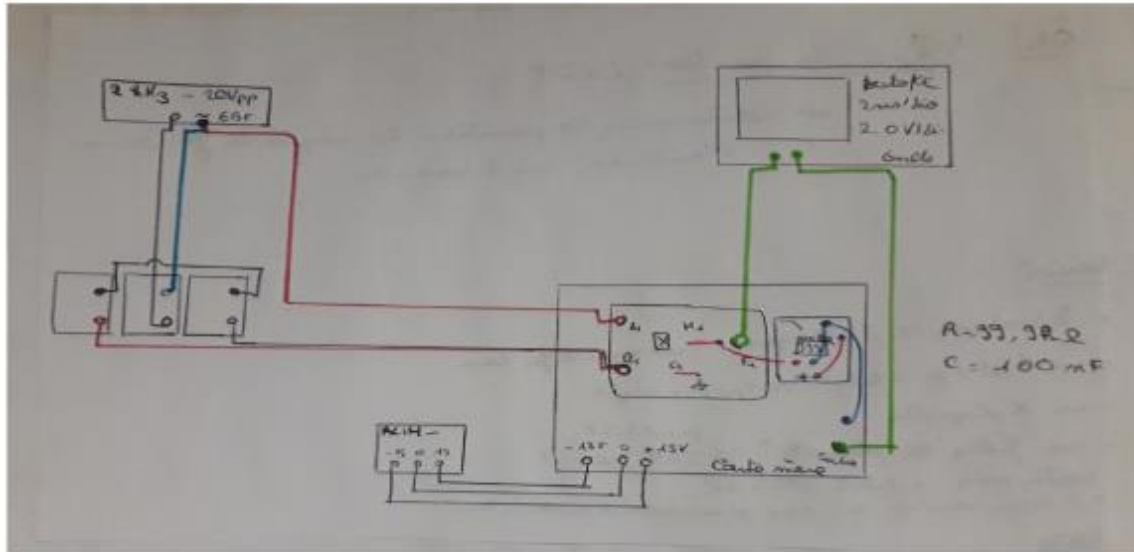
- 3 bobines identiques de 250 spires
- barreau en fer doux de 15 cm de long
- ensemble multiplieur - filtre passe-bas (f_c d'environ 100 Hz)
- GBF
- multimètre
- banc Doppler + boîtier de commande + canards
- fourches optiques + pinces
- jauge de contrainte + masses
- plaquette pont Wheatstone (avec des résistances de haute précision, R_a et R_b d'environ 1 k Ω)
- alimentation $\pm 15V$
- oscilloscope

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, résolution, sensibilité, justesse.

I Capteur de position : LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

On accole les 3 bobines, et on alimente le bobine centrale (circuit primaire) avec un signal sinusoïdal U_e ($V_{pp} = 10 V$, $f = 5,0 \text{ kHz}$). 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 $\Delta U = U_1 - U_2$, que l'on multiplie par U_e pour pouvoir réaliser une détection synchrone à l'aide du filtre passe-bas, à la sortie duquel on obtient la tension U_s qui est l'image de la position du centre du barreau (nulle quand le barreau est centré dans le système).



On a donc :

$$\begin{cases} U_e = U_a \cos(2\pi ft) \\ \Delta U = U_1 - U_2 = U_b \cos(2\pi ft + \varphi) \\ U_s = M \frac{U_a U_b}{2} \cos(\varphi) \end{cases}$$

On suppose que U_b évolue linéairement avec l'écart absolu à la position centrale du barreau en fer doux, et avec ϕ qui renseigne sur le sens du déplacement : $\phi = 0 \rightarrow x > 0$, $\phi = \pi/2 \rightarrow x < 0$.

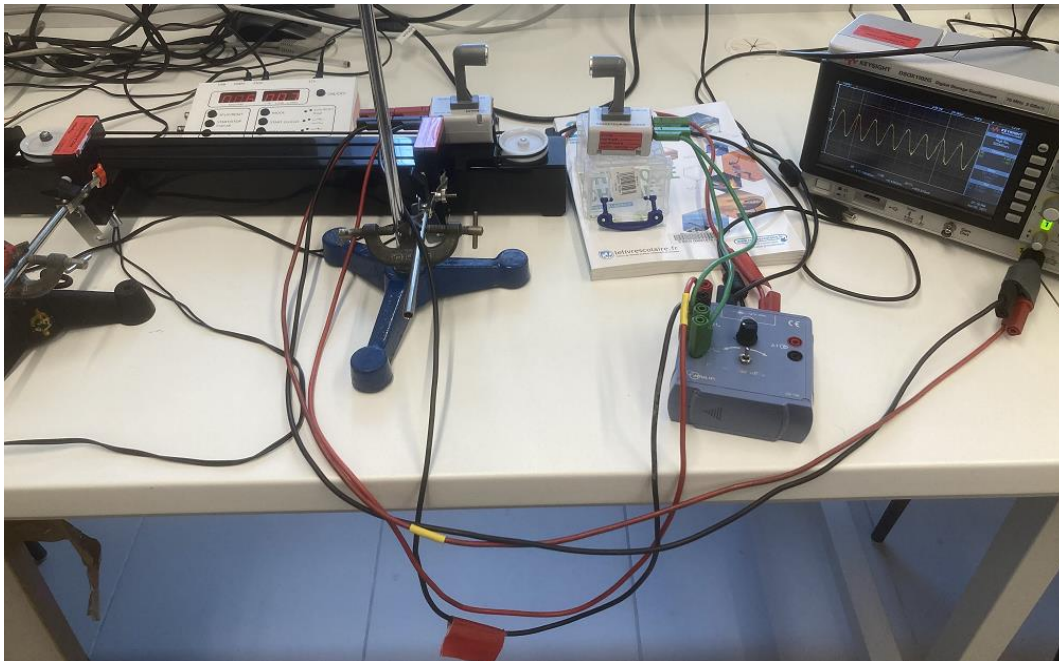
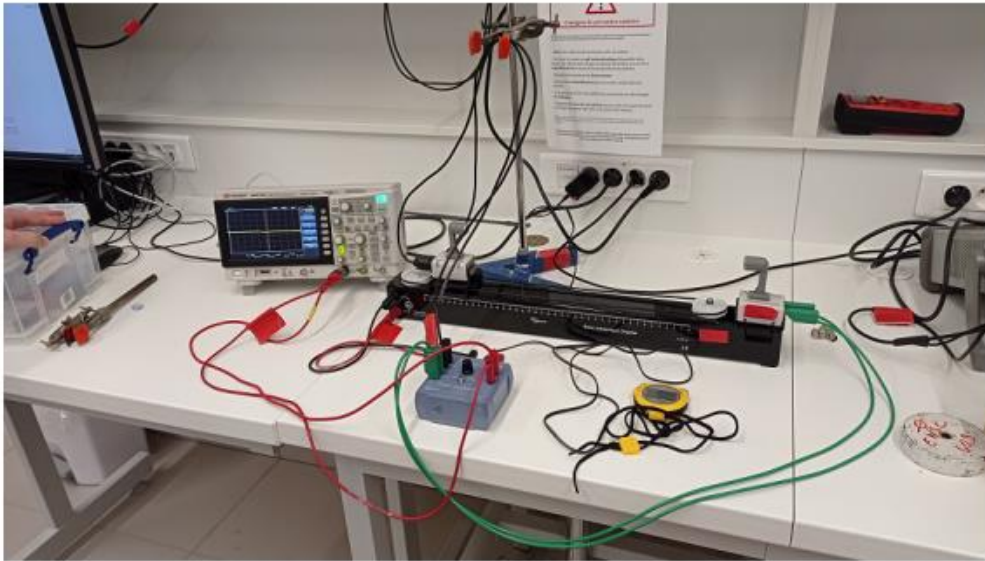
En préparation : on trace x en fonction de U et on obtient une droite. En direct : on place le barreau à une position quelconque, mesurer la tension.

Sensibilité : pente de la droite

Résolution : $R = \text{pente} * \text{incertitude sur } U_s$

Justesse : on compare la valeur obtenue à partir de l'étalonnage avec celle obtenue en mesurant à la règle. Si les intervalles d'incertitudes se recoupent, alors on peut dire que le capteur est juste.

II Capteur de vitesse : banc Doppler



L'émetteur est fixe, et émet un signal U_e à une fréquence f d'environ 43 kHz. Le récepteur est mobile, et renvoie un signal U_r à une fréquence $f + \Delta f$. Sa vitesse est pilotée par le boîtier, lequel réalise aussi l'opération de multiplication + filtrage et renvoie un signal U_s à la fréquence Δf (battements entre U_e et U_r). Dans l'approximation de petites vitesses ($v \ll c_{\text{son}}$), la vitesse du récepteur est donnée par :

$$v = \lambda \Delta f$$

En préparation : pour une série de vitesses, on mesure Δf à l'oscilloscope et Δt au chronomètre pour une certaine distance. On réalise les mesures plusieurs fois pour chaque vitesse afin de réduire les incertitudes sur Δf et Δt . On peut ainsi juger de la justesse du capteur en comparant les vitesses obtenues par effet Doppler et par simple mesure au chronomètre.

Résolution : $R = \lambda * \text{incertitude sur } \Delta f$

Justesse : on compare la mesure obtenue par effet Doppler avec celle obtenue au chronomètre : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

III Capteur de masse : balance à jauge de contrainte

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_s proportionnelle à ΔR , proportionnelle à m .

Il faut 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 en alimentation continue, avant l'amplificateur en sortie du pont de Wheatstone, puis en sortie de cet amplificateur ; on passe ensuite en régime variable (1 kHz, 20 V pic à pic) et on essaie d'ajuster au mieux le zéro en sortie de l'ensemble multiplieur + passe bas (utiliser un oscilloscope pour l'accord éventuellement). Ensuite, on réalise la mesure en lisant la tension associée à la masse que l'on pèse.

Pour chaque masse, on relève la tension quand elle se stabilise juste avant et pendant que la masse est accrochée, on en déduit U_s (différence entre les deux tensions).

On trace m en fonction de U_s , on obtient une droite.

Sensibilité : pente

Résolution : $R = \text{pente} * \text{incertitude sur } U_s$

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.



Conclusion

Nous avons montré le principe de différents capteurs en utilisant des phénomènes physiques variés. On a vu des capteurs précis mais il faut faire attention à bien distinguer les différentes caractéristiques entre elles: par ex. on peut être précis sans avoir une bonne résolution et inversement.

Questions

- I : 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.
- Fonctionnement d'une jauge de contrainte ? Pourquoi ne doit-on pas dépasser une certaine masse ?
 - ➔ Il s'agit d'un capteur dont la résistance varie avec la force appliquée. La déformation est convertie en signal électrique mesurable.
- LVDT : applications ?
 - ➔ Génie civil
- Résolution ? Sensibilité ?
 - ➔ Résolution : plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication délivrée par l'instrument. Sensibilité : paramètre exprimant la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée.