

TP 4 - Modélisation de systèmes électro-mécaniques

Ce TP donne lieu à la rédaction d'un compte rendu par groupe. Pour chaque expérience, les attendus sont les suivants :

- schéma du montage
- phrase qui explique le principe de l'expérience
- valeurs mesurées
- traitement de ces valeurs (imprimer des courbes si nécessaire)
- conclusion sur l'expérience : commenter les résultats, est-ce que cela correspond à vos attentes ou non, comparaisons aux valeurs de la notice ...

Le compte-rendu ne suit pas forcément les questions pas à pas. Il est à rendre à la fin de la seconde séance (13/10).

Ce TP est l'occasion de se réapproprier les bases de manipulation en électricité :

- Gestion des fils (rouge et noir) et des câbles coaxiaux.
- Branchement d'un voltmètre ou d'un ampèremètre.
- Zoomer ou dézoomer sur un oscilloscope, sur les axes horizontaux et verticaux
- Réaliser des mesures électriques.

Les axes de vos graphiques doivent être nommés, avec l'unité.

Aide excel : pour indiquer les barres d'erreur verticales sur un graphique, tracer d'abord le graphique normalement, puis sélectionner "barres d'erreur" dans le menu, puis autres options, puis sélectionner "barre d'erreur horizontale valeur fixe : " et mettre 0, et "barre d'erreur verticale valeur fixe : " et mettre la valeur de votre incertitude.

Rappel du critère de compatibilité entre deux mesures différentes d'une même grandeur physique :

Supposons que l'on ai mesuré la grandeur physique x et l'incertitude sur cette mesure $u(x)$ par deux méthodes différentes, et obtenu $x_1 \pm u(x_1)$ et $x_2 \pm u(x_2)$.

On définit l'écart normalisé entre les deux mesures, aussi appelé "z-score"

$$z = \frac{|x_2 - x_1|}{\sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)}}$$

Si $z < 2$, les deux mesures sont compatibles.

1 Machine à courant continu

Dans une machine à courant continu, la conversion électro-mécanique est représentée par la constante K telle que

$$E = K\Omega \quad \text{et} \quad \Gamma_{em} = KI$$

avec E la force contre-électromotrice, Ω la vitesse angulaire de rotation du rotor, Γ_{em} le couple électromagnétique exercé par le stator sur le rotor, et I le courant traversant l'induit du moteur.

L'objectif du TP est la mesure de la constante K par deux méthodes différentes.

La maquette utilisée comporte deux machines couplées. A gauche, on branche le générateur pour alimenter la machine, qui a un fonctionnement moteur. A droite, la machine est entraînée, elle fonctionne en génératrice. Au centre, un capteur permet de générer un signal électrique variable, dont la fréquence f correspond au nombre de tours par seconde des parties tournantes.

1.1 Tension de la génératrice à vide

Faire varier la tension d'alimentation du moteur, observer à l'oscilloscope le signal émis par le capteur de vitesse angulaire, et mesurer la tension E aux bornes de la génératrice avec un multimètre.

À l'aide de l'oscilloscope, mesurer la fréquence f du signal obtenu. Mesurer f et E pour une dizaine de vitesses de rotation, rentrer ces valeurs dans un tableur excel. Tracer E en fonction de Ω pour et donner la valeur de K_1 obtenue à l'aide d'une régression linéaire. Estimer l'incertitude sur K_1 qu'on notera $u(K_1)$ à l'aide de la fonction DROITEREG de excel.

1.2 Couple en charge

Dans cette partie, on branche un rhéostat sur la génératrice. Cela tend à diminuer la vitesse de rotation, comme un frein moteur dans un véhicule. Cela est dû au couple électromagnétique entre le rotor et le stator de la génératrice. Un capteur de couple permet la mesure du couple Γ exercé par le rotor sur le stator, qui comporte donc le couple électromagnétique Γ_{em} , mais aussi un couple de pertes Γ_p : $\Gamma = \Gamma_{em} + \Gamma_p$. On a donc $\Gamma = KI + \Gamma_p$. Comme le couple de pertes dépend de la vitesse angulaire, on devra travailler à fréquence de rotation constante.

Enlever le voltmètre du circuit et mettre maintenant un ampèremètre afin de mesurer le courant I parcourant la génératrice. Pour une fréquence de rotation choisie, mesurer le couple Γ et le courant I circulant dans la génératrice. Faire varier la résistance du rhéostat, et régler le générateur pour revenir à la même fréquence de rotation. Mesurer alors les nouvelles valeurs de Γ , I et de l'incertitude sur Γ . Prendre ainsi 5 points de mesure et remplir le fichier excel fourni sur le cahier de prépa. Le tableau vous fournit alors directement la valeur de K , notée K_2 et l'incertitude $u(K_2)$. Tracer Γ en fonction de I pour validation visuelle, en ajoutant les barres d'erreur sur Γ . Expliquer le fonctionnement du tableur en quelques lignes.

1.3 Validation

Calculer l'écart normalisé z entre les deux mesures de la constante de couplage électromécanique K_1 et K_2 . Sont-elles compatibles ?

2 Haut-parleur électrodynamique

Un haut-parleur convertit un signal électrique en signal sonore par l'intermédiaire du mouvement d'une membrane. Ci-dessous les caractéristiques du haut-parleur VISATON 9065 étudié lors du TP.

Général	
Type produit	Haut parleur à cône
Marque	Visaton
Référence	W 200 - 8 OHM
Code produit	9065
Informations	
Impédance nominale	8 ohm
Catégorie dimension	20 cm
Type couverture fréquentielle	Sub, Grave, Bas médium
Sensibilité fabricant	88 dB
Sensibilité calculée	89.83 dB
Puissance nominale	50 W
Puissance max	80 W
Bande passante	45÷8000 Hz
Paramètres fondamentaux	
Sd	207 cm ²
Mms	14 gr
Le	0.9 mH
Re	6.8 ohm
BL	5.9 T.m
Paramètres petits signaux	
Fs	46 Hz
Qes	0.79
Qms	3.2
Qts	0.63
Vas	51 L
Données	
Densité de flux	1 T
Xmax	±3.67 mm
Xmax calculé	±3.6667 mm
Xvar, Xmech, Xlim	±10 mm
EBP	58 Hz
Fs / Qts	73 Hz
Vas * Qts ²	20.25 L
Rendement calculé	0.61 %
Poids	~1 kg
Dimensions	
Diamètre bobine	0.98 pouce
Hauteur bobinage	9 mm
Hauteur entrefer	5 mm
Diamètre extérieur	206 mm
Diamètre d'encastrement	185 mm
Épaisseur façade	8 mm
Profondeur après façade	79 mm
Diamètre système magnétique	80 mm
Forme & Matériaux	
Système magnétique	Ferrite
Matériau saladier	Acier
Matériau suspension	Mousse

Dans ce TP, nous allons modéliser le mouvement de cette membrane par un oscillateur amorti, dont l'équation du mouvement est

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + kx = iBl$$

m est la masse de la partie mobile, h le coefficient de frottement fluide, k la constante de raideur du ressort équivalent. iBl est la force de Laplace, permettant la conversion du signal électrique (intensité i) en mouvement, par l'intermédiaire d'un aimant (champ magnétique B) et d'une bobine (de longueur l).

2.1 Etude de la force de rappel sur la membrane

Dans cette partie, on souhaite étudier la force de rappel subie par la partie mobile du haut-parleur, examiner la validité du modèle linéaire $F = kx$, et proposer la meilleure valeur de k possible.

Un plateau comportant un petit récepteur ultrasonore est posé sur la membrane. Lorsqu'on ajoute une masse sur le plateau, la membrane s'enfonce d'une profondeur de l'ordre du mm. Pour mesurer cette distance de façon précise on utilise un émetteur ultrasonore alimenté avec une tension de fréquence 40 kHz. On mesure à l'oscilloscope le déphasage provoqué par l'ajout de la masse.

1. Pour faire le montage, relier :
 - la voie 1 du GBF à l'émetteur ultrasonore (celui du bas, placé au centre du disque).
 - la voie 2 du GBF à la voie 1 de l'oscilloscope.
 - le récepteur ultrasonore à la voie 2 de l'oscilloscope.Régler la fréquence à 40 kHz pour les deux voies du GBF, activer "output", et observer les signaux sur l'oscilloscope.
2. Lorsqu'aucune masse n'est posée sur le plateau, régler la "phase" d'une des voies du GBF de façon à ce que les signaux observés soient le plus en phase possible (zoomer fortement sur l'oscilloscope)
3. Ajouter une masse de 100 g sur le plateau. Bien régler le zoom. Les signaux sont un peu fluctuants, donc la mesure sera réalisée en deux temps :
 - appuyer sur "stop" sur l'oscilloscope, mesurer alors le retard temporel Δt à l'aide des curseurs.
 - appuyer sur "run", observer les fluctuations, et estimer l'incertitude $u(\Delta t)$.
4. Faire la même mesure de Δt et de $u(\Delta t)$ pour des masses de 200 g, 300 g et 400 g.
5. Dans un tableur, calculer le déplacement de la membrane associé $x = c\Delta t$ (où $c = 345 \text{ m.s}^{-1}$ est la célérité du son dans l'air) pour les différentes masses posées. Tracer la courbe "Déplacement x " en fonction de la "force de rappel" (dont la valeur est égale à celle du poids de la masse posée sur le plateau). Ajouter les barres d'erreurs sur le déplacement x .
6. Le modèle linéaire est-il validé ? Déterminer la meilleure valeur de k possible à l'aide d'une régression linéaire (courbe de tendance sur excel).

2.2 Mesure du produit Bl

On conserve le montage précédant, mais on cherche à compenser l'effet de la masse par une force de Laplace connue. Pour cela on alimente le haut-parleur à l'aide d'un générateur à courant continu réglable. Bien distinguer les bornes du haut-parleur et celles des émetteur et récepteurs ultrasonores !

1. Faire un montage avec ce générateur continu, un ampèremètre et le haut parleur. **M'appeler pour montrer le montage.**
2. Régler le courant I pour que le plateau retrouve sa position de départ, et noter très vite sa valeur (il ne faut pas alimenter plus de quelques secondes le haut parleur avec ce fort courant continu).
3. Quelle est la relation entre I , B , l , m et g lorsque le plateau est à sa position de départ et à l'équilibre ? En déduire la valeur du produit Bl .

2.3 Réponse impulsionnelle

Dans cette partie, on retire le générateur. On excite la membrane du haut-parleur en la frappant délicatement, manuellement ou en lachant dessus un petit objet (gomme, stylo à l'envers...). Afin de récupérer une image électrique du mouvement, on mesure la tension induite par le mouvement de retour à l'équilibre en branchant directement le haut-parleur sur une voie d'acquisition EA de Latis-pro.

L'équation de ce mouvement en régime libre est

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + kx = 0$$

que l'on peut mettre sous la forme canonique

$$\ddot{x} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

1. Obtenir une belle réponse d'oscillateur amorti en procédant à un réglage soigné de la durée d'acquisition et du nombre de points.
2. (A faire à la maison) Montrer que la solution de l'équation est de la forme

$$x(t) = \exp\left(-\frac{\omega_0}{2Q}t\right) (A \cos \Omega t + B \sin \Omega t)$$

avec la pseudo-pulsation $\Omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$.

3. Mesurer le plus précisément possible la pseudo-période du signal $T = 2\pi/\Omega$ et en déduire la pseudo-pulsation Ω . Donner également les incertitudes sur ces deux grandeurs.
4. La valeur de Q attendue est supérieure à 3. Montrer que Ω est quasiment égal à ω_0 .
5. Relever les valeurs ainsi que les temps correspondants aux maxima successifs. Comment peut-on les exploiter pour déterminer Q ?

2.4 Conclusion

A partir des expériences menées, rappeler ou déterminer les valeurs de k , Q , $f_0 = \omega_0/(2\pi)$ la fréquence propre, et Bl . Comparer aux valeurs indiquées dans la notice (la raideur n'y est pas, Q_{ms} correspond au facteur de qualité mesuré dans notre expérience, F_s correspond à f_0 , et $B.L$ à Bl . Calculer les écarts relatifs et commenter.