

Modélisation du frottement dans un ensemble tournant Équilibruse Rotodyn Deltalab

Objectifs

Le système d'équilibrage Deltalab EX 185 est un banc d'essai permettant d'étudier le problème de l'équilibrage d'un solide en rotation. Afin de satisfaire le besoin des utilisateurs, il est important d'avoir des paliers les moins dissipatifs possible afin d'avoir une rotation quasiment constante, ainsi qu'une vitesse de rotation suffisamment importante pour pouvoir effectuer les mesures.

Dans cette activité, on se propose de vérifier les caractéristiques énergétiques des paliers à roulement à billes utilisés pour assurer la liaison pivot du rotor et de déterminer expérimentalement les frottements existant dans des roulements à billes.

Nous identifierons par l'expérience le coefficient de frottement visqueux et le couple de frottement sec.



Démarche ingénieur

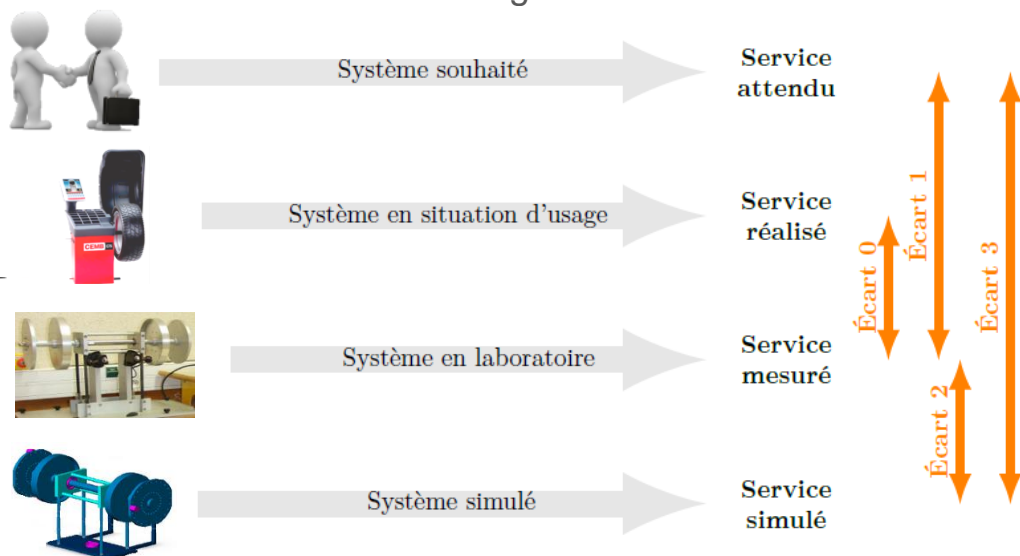


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

Objectif : minimiser les écarts

AVERTISSEMENT

VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION. IL S'AGIT ICI DU TABLEAU DE CALCUL FOURNI.

Préparation à faire chez soi avant la séance de TP

- Lire le sujet
- Revoir le théorème du moment dynamique
- Revoir le théorème de l'énergie puissance



Vous disposez

- Du sujet
- Tachymètre optique
- Corde à lancer



Vous devez rendre

- Copie personnelle soignée répondant aux questions de la partie théorique à faire chez soi, puis le travail fait en séance de TP sur document réponse. Les questions doivent être **CLAIREMENT** séparées (sauter au moins deux lignes et tracer un trait horizontal). Les résultats finaux doivent être encadrés.



1^{ère} PARTIE : PRELIMINAIRE THEORIQUE

Cette partie se fait individuellement. Elle ne nécessite pas de matériel. Elle a été préparée avant la séance de TP... chez soi. Elle doit être rendue rédigée sur votre compte rendu avant la séance.

Calculs préliminaires

Le rotor de l'équilibrée est lancé, on étudie la décroissance de sa vitesse. Dans cette phase de fonctionnement il n'est donc plus soumis à un couple moteur.

Il subit alors les trois actions mécaniques extérieures suivantes :

- son poids
- le couple de frottement sec constant (frottement de Coulomb) : $-C_{fs}$; $C_{fs} > 0$
- le couple de frottement visqueux conséquence de la lubrification à la graisse des roulements et du brassage de l'air par les disques du rotor (proportionnel à la vitesse de rotation) : $C_v = -f_v \cdot \omega$; $f_v > 0$

Le moment d'inertie du rotor par rapport à l'axe de rotation est J.

On démontre aisément par application du théorème de l'énergie puissance, ou du principe fondamental de la dynamique appliqué au rotor, que la loi de mouvement est :

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + f_v \omega(t) + C_{fs} = 0 \quad (E1)$$

Q1. Montrer que l'équation (E1) précédente a pour solution :

$$\omega(t) = \left(\omega_i + \frac{C_{fs}}{f_v} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{C_{fs}}{f_v}, \text{ où } \omega_i = \omega(t = 0) \text{ vitesse initiale rotor.}$$

Donner l'expression de la constante de temps τ .

Conclusion : l'objectif de l'activité pratique qui suit est de déterminer les grandeurs C_{fs} et f_v par identification avec une expérience sur le système réel.

2^{ème} PARTIE : EXPERIMENTATION AU LABORATOIRE

Q2. Mission pour un étudiant du groupe : prendre un PC de la salle informatique et ouvrir une à une les pièces du dossier « DAO rotor équilibrée ». Dans « évaluer/propriété de masse », noter soigneusement le moment d'inertie de chaque pièce **suivant l'axe de révolution** du rotor. Cela sera utile plus tard. Attention à l'unité.
Les autres étudiants du groupe peuvent passer à l'étude suivante.

Protocole expérimental

Avertissement : la prise de mesure est longue (environ 10 minutes) et requière une organisation avec répartition des tâches dans le groupe.

Vous ne devez pas être dérangé pendant l'expérience. On propose l'organisation suivante.

- Etudiant 1 : saisie des valeurs données par l'étudiant 2 dans un tableau
- Etudiant 2 : utilisation du tachymètre optique pour la prise de vitesse et communication à 1
- Etudiant 3 : lancer du rotor et chronométrage, top de la prise de mesure à 1 et 2 toutes les 10 s.

Si deux étudiants uniquement : regrouper certaines tâches.

Description détaillée du protocole

1. Allumez le PC et **ouvrez le tableau fourni « Mesures_frottement_equilibrée ».**
2. Vérifiez que les différents disques sont tous bien fixés.
3. Verrouillez les paliers en manœuvrant les deux manettes de blocage.
4. Enroulez la cordelette sur l'arbre entre les deux paliers en agissant en rotation sur l'un des plateaux.



5. Agissez en traction sur la cordelette de façon à entraîner l'arbre en rotation, horizontalement et fermement mais sans excès.
6. Lancez l'arbre équilibré à une fréquence supérieure à 1500 tours par minute.
7. Avec le tachymètre optique : relevez la vitesse de rotation initiale le plus rapidement possible. Visez le trait blanc sur fond noir précisément sans bouger.
8. Relevez les temps et vitesses de rotations directement tableau numérique.
9. Allez jusqu'à l'arrêt total du rotor de l'arbre même si cela vous semble long ! (ça l'est)



Exploitation des mesures - Identification

Contenu des colonnes du tableau numérique fourni :

- Colonne « *Expérience (rad/s)* » : vos valeurs de $\omega(t)$ mesurées.
- Colonne « *Théorie visqueux uniquement* » : valeurs théorique de $\omega(t)$ issues du modèle ne tenant compte que du frottement visqueux. La loi de mouvement devient :

$$\omega(t) = \omega_i e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ avec } \tau = \frac{J}{f_v}, \text{ constante de temps.}$$

- Colonne « *Théorie fr secs uniquement* » : valeurs théorique de $\omega(t)$ issues du modèle ne tenant compte que du frottement sec. La loi de mouvement devient :

$$\omega(t) = -\frac{C_{fs}}{J}t + A.$$

- Colonne « *Théorie complète* » : valeurs théorique de $\omega(t)$ issues du modèle complet incluant les frottements visqueux et sec, soit la loi temporelle que vous avez établie au début de la séance : $\omega(t) = \left(\omega_i + \frac{C_{fs}}{f_v}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{C_{fs}}{f_v}$.

Pour l'instant les valeurs f_v et C_{fs} sont nulles. Vous allez les déterminer par identification avec la courbe expérimentale.

Q3. Grâce au tableau numérique fourni dans lequel vous avez saisi les valeurs : tracez $\omega(t)$. Remarquez l'allure exponentielle décroissante.

- Quel type de frottement est prépondérant à haute vitesse et insignifiant à basse vitesse ?
- Quel type de frottement est prépondérant à basse vitesse ?

Il s'agit maintenant de déterminer C_{fs} et f_v à partir des mesures.

Détermination du coefficient f_v

Q4. Saisissez les valeurs des moments d'inertie des trois pièces du rotor dans le tableau.

Ajuster la valeur de f_v pour que la loi exponentielle soit au plus proche de la loi exponentielle : la courbe théorique doit « coller » au mieux à la courbe expérimentale. Vous remarquerez qu'il subsiste un écart pour les faibles vitesses.

Mt d'inertie	Par solidworks	
disque		kg.m ²
jante		kg.m ²
axe		kg.m ²
TOTAL		kg.m²

valeur avec les deux types de frottements distincts		
f_v	Nm/(rad/s)	=visqueux
Modèle frottement sec		
Pente lue en fin d'expérience :		rad/s ²
ord origine lue :		rad/s
Cf sec déduit		Nm
Tau déduit	#DIV/0!	s

Q5. Observez avec soin les valeurs numériques dans les colonnes de $\omega(t)$ expérimental et $\omega(t)$ visqueux : à partir de quel intant T_s la loi théorique incluant le frottement visqueux diverge-t-elle franchement du relevé expérimental et devient inadaptee ?

Détermination du couple C_{fS}

Q6. Pour trouver les valeurs de C_{fS} et A : c'est sur un intervalle de temps à partir de T_S où $\omega(t)$ décroît linéairement que vous allez déterminer C_{fS} . Tracer la courbe (quasiment droite) de l'évolution de $\omega(t)$ réel sur cet intervalle de temps : déterminer la pente et l'ordonnée à l'origine.

Q7. Saisissez les valeurs de pente et ordonnée à l'origine dans le tableau.

Déduisez C_{fS} .

valeurs avec les deux types de frottements distincts			
f_v	Nm/(rad/s)	=visqueux	
Modèle frottement sec			
Pente lue en expérience :		rad/s	
ord origine :		rad/s	
Cf sec déduit :	Nm		
Tau déduit :	#DIV/0!	s	

Synthèse des deux types de frottements

Q8. Tracez sur un même graphe la loi expérimentale et la loi théorique complète identifiée avec vos paramètres : conclusion.

Q9. Ajuster finement les deux paramètres C_{fS} et f_v pour une identification plus proche de la réalité expérimentale.

Détermination du frottement sec par la statique

Q10. Vous disposez d'une mallette en plastique bleu/gris dans laquelle il y a de petites masses pouvant se monter sur la jante (trous prévus).

Utiliser ces masses pour déterminer le couple de frottement sec.

FIN DU SUJET