

LABORATOIRE #2 - MESURE DE LA FONCTION DE TRANSFERT D'UN MOTEUR

1. OBJECTIFS

Ce deuxième laboratoire vise à trouver un modèle dynamique du système électromécanique. Vous devrez déterminer la fonction de transfert du système. Deux méthodes seront mises à profit pour la déterminer, soient l'identification expérimentale et la modélisation mathématique.

2. LE SYSTEME MECANIQUE DU LABORATOIRE

2.1 Le moteur

Le moteur utilisé est un moteur DC à contrôle d'induit qui peut supporter une alimentation nominale de 12 V. Pour déterminer la fonction de transfert par calcul, référez-vous à la section des notes de cours portant sur ce sujet. Les caractéristiques du moteur sont les suivantes:

Tension nominale :	12 V
Caractéristique à vide :	125 mA
	5000 RPM
Couple au blocage :	2.4 onces·po
Inertie du moteur :	30 g·cm ²

L'équivalence suivante est très utile pour le calcul en unités métriques:

$$1 \text{ once}\cdot\text{po} = 0.0070616 \text{ N}\cdot\text{m}$$

2.2 Le tachymètre

Le tachymètre fournit à sa sortie une tension V_w proportionnelle à la vitesse de rotation. La caractéristique donnée par le fabricant du tachymètre utilisé est 7 V/1000 RPM, que vous devrez convertir en V/rad/s. Le tachymètre est suivi d'un filtre passe-bas à gain unitaire du 1^{er} ordre destiné à éliminer le bruit sur la mesure. Sa constante de temps est de 30 ms. La tension à la sortie du filtre est notée V_{wf} .

2.3 Le potentiomètre

Le potentiomètre fournit à sa sortie une tension V_θ proportionnelle à la position angulaire de l'arbre du moteur. Vous devez alimenter le potentiomètre avec ± 5 V. Ainsi, en partant

d'une position correspondant à 0 V à la sortie du potentiomètre, si on tourne l'arbre du moteur sur un demi-tour (π radians), la tension de sortie du potentiomètre varie linéairement jusqu'à 5 V. En dépassant le demi-tour, elle passe subitement à -5 V et elle remonte linéairement jusqu'à 0 V après avoir complété le tour. Si la vitesse de rotation du moteur demeure constante, la sortie du potentiomètre génère donc une onde en dents de scie.

2.4 Les engrenages

Le but d'un engrenage est habituellement d'obtenir une réduction de la vitesse de rotation, ce qui a pour effet inverse d'augmenter le couple, une autre qualité souvent recherchée.

Le rapport d'engrenage, noté n , représente le nombre de tours à l'entrée du groupe d'engrenages qui produit un tour à la sortie. Ainsi, pour $n > 1$ nous aurons une réduction de vitesse d'où un gain inférieur à 1. Dans le cas d'un moteur couplé à une charge par un engrenage, on obtient donc les relations suivantes:

$$\text{Vitesse angulaire : } w(t)_{\text{charge}} = \frac{1}{n} \cdot w(t)_{\text{moteur}}$$

$$\text{Déplacement angulaire : } \theta(t)_{\text{charge}} = \frac{1}{n} \cdot \theta(t)_{\text{moteur}}$$

$$\text{Couple : } T(t)_{\text{charge}} = n \cdot T(t)_{\text{moteur}}$$

Dans le cas du montage utilisé, le rapport d'engrenage est $n = 5$ en vitesse et $n \times n = 25$ en position (voir la figure 1 du laboratoire 1). Outre les capteurs eux-mêmes, il n'y a pas de charge entraînée par les engrenages.

2.5 Caractéristique d'amplitude d'un système

La caractéristique d'amplitude est une courbe donnant la relation entre l'amplitude d'entrée et celle de sortie en régime permanent (statique). Il s'agit donc d'une courbe donnant le gain statique du système pour différentes valeurs de l'entrée. La caractéristique d'amplitude d'un système linéaire est parfaitement rectiligne et sa pente est la valeur du gain statique. En effet, la relation entre l'amplitude d'entrée et celle de sortie d'un système linéaire (asymptotiquement stable) est:

$$y_P = Ku_P$$

où K est le gain du système, y_P est l'amplitude de la sortie en régime statique, et u_P est l'amplitude de l'entrée en régime statique.

La caractéristique d'amplitude d'un système linéaire est donnée à la Figure 2.1. Cependant, la caractéristique d'un organe physique n'est jamais parfaitement rectiligne. Il y a toujours

une courbure plus ou moins marquée (Figure 2.2). Il peut également y avoir une zone morte, une saturation, etc.

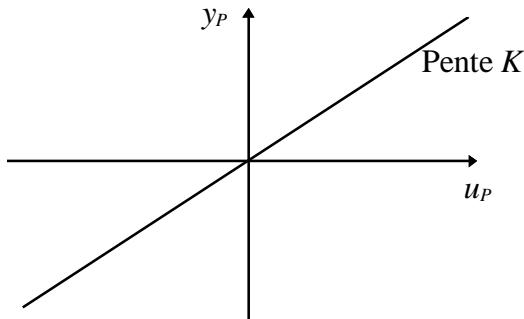


Figure 2.1 Système linéaire

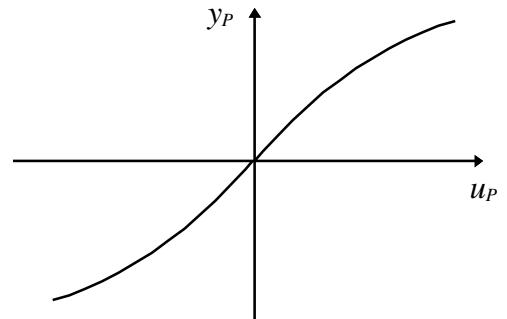


Figure 2.2 Courbure

3. PREPARATION

Avant d'arriver au laboratoire, vous devrez

- 1 – savoir utiliser le logiciel *IdentSyst*,
- 2 – avoir répondu aux questions suivantes:

Question 3.1:

Quelle est la fonction de transfert du tachymètre en V/rad/s si la spécification du fabricant est de 7V/1000 RPM ?

Question 3.2:

- a) Calculez la fonction de transfert théorique du moteur en vitesse (w_{moteur}/V_a) à partir des caractéristiques données en 2.1, où w_{moteur} est la vitesse angulaire du moteur et V_a est la tension appliquée au moteur.
 - i) Donnez l'expression analytique générale.
 - ii) Donnez l'expression analytique lorsqu'on néglige le frottement et l'inductance de l'induit.
 - iii) Donnez l'expression numérique lorsqu'on néglige le frottement et l'inductance de l'induit.
- b) Calculez la fonction de transfert théorique du système complet en vitesse (V_{wf}/V_{in}), où V_{wf} est la tension fournie par le filtre de mesure et V_{in} est la tension à l'entrée de l'amplificateur linéaire dont le gain est égal à 3.
 - i) Donnez l'expression analytique générale, incluant la présence d'une charge.
 - ii) Donnez l'expression analytique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance.
 - iii) Donnez l'expression numérique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance.

Question 3.3:

Quelle est la fonction de transfert du potentiomètre en V/rad s'il est alimenté avec ± 5 V et qu'il balaie toute la plage de tension en un seul tour?

Question 3.4:

Quelle forme prend le signal de sortie du potentiomètre quand le moteur tourne à vitesse constante? Tracez l'allure du signal en indiquant les échelles.

Question 3.5:

Calculez la fonction de transfert théorique du système complet (incluant la présence d'une charge) en position (V_θ/V_{in}) à partir des caractéristiques du potentiomètre obtenues plus haut, où V_θ est la tension fournie par le potentiomètre et V_{in} est la tension à l'entrée de l'amplificateur linéaire.

- Donnez l'expression analytique générale.
- Donnez l'expression analytique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance.
- Donnez l'expression numérique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance.

Question 3.6:

- Tracez un diagramme fonctionnel du système complet en vitesse en indiquant les fonctions de transfert des différents éléments et les unités à la sortie de chacun des blocs.
- Tracez un diagramme fonctionnel du système complet en position en indiquant les fonctions de transfert des différents éléments et les unités à la sortie de chacun des blocs.

4. PARTIE EXPERIMENTALE

Dans ce laboratoire, vous devez mesurer la fonction de transfert du dispositif mécanique Lab-Volt par la réponse à l'échelon. Vous comparerez ensuite cette fonction de transfert expérimentale (obtenue par *identification*) avec celle que vous avez calculée dans les questions préparatoires à partir de la théorie présentée au cours (obtenue par *modélisation*). Ainsi, vous serez à même de constater les limitations physiques d'un système mécanique qui ne sont pas prises en compte dans la théorie.

Le montage que vous utilisez n'a pas à être le même qu'au laboratoire #1.

Les branchements pour ce laboratoire sont similaires à ceux du laboratoire #1, auxquels vous devrez ajouter les branchements pour le potentiomètre. La sortie du capteur de vitesse (tachymètre) doit être branchée à l'entrée 0 du CAN afin de permettre au logiciel de lire la tension proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur. Lorsque vous mesurerez la réponse à l'échelon en position du système, vous devrez brancher la sortie du potentiomètre sur les bornes de l'entrée 1 du CAN. Vous utiliserez la même interface Simulink qu'au laboratoire #1 pour l'acquisition des données et la génération du signal de commande (voir le *Guide d'utilisation de SimLabS*).

Configurez l'interface de la même façon qu'au laboratoire #1. N'oubliez pas d'ajuster le gain de l'amplificateur linéaire à 3.

4.1 Mesure de la caractéristique d'amplitude

Vous devez mesurer les amplitudes d'entrée et de sortie du système en vitesse en régime permanent afin de tracer éventuellement la partie positive de sa caractéristique d'amplitude. Vous devez utiliser le tachymètre pour cette section.

Vous n'avez pas à imprimer les réponses en échelon que vous observez. Toutefois, vous devez noter les valeurs en régime permanent de V_{wf} pour différentes amplitudes de V_{in} . Utilisez des incrément de 0.5 V sur la tension V_{in} afin de mesurer les points de la caractéristique d'amplitude jusqu'à la saturation du système. Soyez toutefois plus précis autour de la fin de la zone morte (si présente) et du début de la saturation (si présente).

4.2 Mesure de la fonction de transfert en vitesse en boucle ouverte

La fonction de transfert V_{wf}/V_{in} représente la tension à la sortie du tachymètre par rapport à la tension à l'entrée de l'amplificateur (sortie du CNA). **On désire estimer le comportement du moteur autour du point d'opération $V_a = 6$ V, en demeurant dans une zone à peu près linéaire de la caractéristique d'amplitude.** Vous devez mesurer cette fonction de transfert en évaluant la réponse à un échelon du système.

Assurez-vous d'abord que le disque d'inertie du système est retiré (petit disque métallique noir situé derrière le potentiomètre), et que le levier de friction dynamique est en position haute (levier à la droite du potentiomètre). Vérifiez aussi la tension de la courroie. L'idéal est de laisser tomber la vis de réglage de tension puis de la serrer en place. Double-cliquez sur le bloc **Analog Input** pour vous assurer de recevoir le signal du tachymètre. N'oubliez pas d'enregistrer vos résultats après chaque expérience.

Modifiez l'interface *SimLabS* (vous pouvez même ajouter des blocs) de façon à générer un signal d'excitation en échelon qui vous permet d'atteindre l'objectif décrit au premier paragraphe de la section 4.2.

4.3 Mesure de la fonction de transfert en vitesse avec inertie supplémentaire

Refaites les mêmes manipulations qu'en 4.2 après avoir ajouté de l'inertie au système. Pour cela, avancez le disque d'inertie situé derrière le potentiomètre et serrez l'écrou. Enregistrez une fois de plus vos résultats.

4.4 Mesure de la fonction de transfert en vitesse avec friction proportionnelle à la vitesse

Retirez le disque d'inertie et abaissez complètement le levier à la droite du potentiomètre. Celui-ci permet de mettre en place un enroulement qui induit un couple opposé au sens de rotation du moteur et proportionnel à sa vitesse de rotation. Refaites les mêmes manipulations qu'en 4.2.

4.5 Mesure de la fonction de transfert en position en boucle ouverte

Sélectionnez le potentiomètre dans le bloc **Analog Input** et retirez l'inertie et la friction supplémentaires sur le montage. **On désire estimer le comportement du moteur autour du point d'opération $V_a = 0 \text{ V}$.** Vous devez mesurer cette fonction de transfert en évaluant la réponse à un échelon du système. Enregistrez les données.

5. QUESTIONS ET EXERCICES

Question 5.1 - Système en vitesse sans frottement ni inertie

- Justifiez le choix de votre signal d'excitation, en particulier
 - la valeur initiale et la valeur finale de l'échelon,
 - si la valeur initiale de l'échelon n'est pas zéro, quelle précaution faut-il prendre avant de changer l'entrée pour la valeur finale (i.e avant de débuter le test d'identification),
 - la durée de l'échelon.
- Graphiquement, à l'aide du tracé de la réponse à l'échelon du système en vitesse sans frottement ni inertie que vous avez réalisée, identifiez la fonction de transfert en vitesse du système global (V_{wf}/V_{in}).
- Identifiez à nouveau la fonction de transfert plus précisément à partir des données en utilisant *IdentSyst*.
- Incluez dans votre rapport une figure superposant la réponse à l'échelon expérimentale, la réponse à l'échelon du modèle identifié avec *IdentSyst* (question 5.1 c) et la réponse à l'échelon du modèle théorique (question 3.2 b iii). Comment expliquez-vous la différence du gain du modèle théorique? Comment expliquez-vous la différence de la dynamique du modèle théorique?

Question 5.2 - Système en vitesse avec inertie supplémentaire

- Graphiquement, à l'aide du tracé de la réponse à l'échelon du système en vitesse sans frottement et avec l'inertie supplémentaire que vous avez réalisée, identifiez la fonction de transfert en vitesse du système global (V_{wf}/V_{in}).
- Identifiez à nouveau la fonction de transfert plus précisément à partir des données en utilisant *IdentSyst*. Incluez dans votre rapport une figure superposant la réponse à l'échelon expérimentale et la réponse à l'échelon du modèle identifié avec *IdentSyst*.
- Selon le modèle théorique, quels sont les effets d'une augmentation de l'inertie sur le gain statique du système et sur sa constante de temps dominante? Est-ce que cela

correspond à ce que vous observez?

Question 5.3 - Système en vitesse avec frottement proportionnel à la vitesse

- a) Graphiquement, à l'aide du tracé de la réponse à l'échelon du système en vitesse avec frottement proportionnel que vous avez réalisée, identifiez la fonction de transfert en vitesse du système global (V_{wf}/V_{in}).
- b) Identifiez à nouveau la fonction de transfert plus précisément à partir des données en utilisant *IdentSyst*. Incluez dans votre rapport une figure superposant la réponse à l'échelon expérimentale et la réponse à l'échelon du modèle identifié avec *IdentSyst*.
- c) Selon le modèle théorique, quels sont les effets d'une augmentation du frottement sur le gain statique du système et sur sa constante de temps dominante? Est-ce que cela correspond à ce que vous observez?

Question 5.4 - Système en position

- a) Justifiez le choix de votre signal d'excitation, en particulier
 - i) la valeur initiale et la valeur finale de l'échelon,
 - ii) la durée de l'échelon.
- b) Graphiquement, à l'aide du tracé de la réponse à l'échelon du système en position que vous avez réalisée, identifiez la fonction de transfert en position du système global (V_0/V_{in}).
- c) Identifiez à nouveau la fonction de transfert plus précisément à partir des données en utilisant *IdentSyst*.
- d) Incluez dans votre rapport une figure superposant la réponse à l'échelon expérimentale, la réponse à l'échelon du modèle identifié avec *IdentSyst* (question 5.4 c) et la réponse à l'échelon du modèle théorique (question 3.5 c). Quelles différences remarquez-vous? Quelles sont les raisons qui expliquent ces distinctions?

Question 5.5 - Caractéristique d'amplitude

- a) Tracez la partie positive de la caractéristique d'amplitude du système à l'aide des données récoltées à la section 4.1.
- b) Y a-t-il présence d'une:
 - iii) zone morte? Justifiez votre réponse.
 - iv) saturation? Justifiez votre réponse.
 - v) courbure? Justifiez votre réponse.

6. RAPPORT DE LABORATOIRE

Le rapport peut être écrit à la main en autant qu'il soit propre et lisible. Dans le rapport, vous devrez fournir les éléments suivants:

- Sur la page couverture: le nom des membres de l'équipe, le nom du poste de travail que vous avez utilisé ainsi que la date et l'heure de votre laboratoire.
- Réponses aux questions préparatoires de la section 3.
- Réponses aux questions et exercices de la section 5 accompagnées des courbes demandées (tracées avec **Matlab**).

Soyez concis, ne remettez que ce qui est demandé.