



UNIVERSITÉ
LAVAL

Lab 2 – Mesure de la fonction de transfert d'un moteur

Réalisé par
Nicolas Payeur (111 269 495)
Vincent Savard (111 264 454)

Dans le cadre du cours
Systèmes et commandes linéaires (GEL-2005)

Travail présenté à
André Desbiens

Du département de génie électrique et de génie informatique
Faculté des Sciences et de Génie
Université Laval
20 novembre 2020

3

3.1 Fonction de transfert du tachymètre

$$G = \frac{7V}{1000RPM} = \frac{7V * 60s}{1000RPM * 2\pi} = 0,0668V/rad/s$$

3.2 Fonction de transfert théorique du moteur

a) La fonction de transfert théorique du moteur en vitesse

i) l'expression analytique générale

$$\frac{W_s}{V_a} = \frac{K_M}{L_a J s^2 + (J R_a + K_f L_a) s + R_a K_f + K_M K_b}$$

ii) l'expression analytique lorsqu'on néglige le frottement et l'inductance de l'induit

$$\frac{W_s}{V_a} = \frac{K_M}{J R_a s + K_M K_b} = \frac{\frac{1}{K_b}}{\frac{R_a}{K_M K_b} * J s + 1}$$

iii) l'expression numérique lorsqu'on néglige le frottement et l'inductance de l'induit

$$V_a^* = 12V$$

$$\omega_v^* = 5000RPM = 523.59rad/s$$

$$T_M^* = 2,4 \text{ once} \cdot \text{po} \cdot 0,00706N \cdot m = 0,016944 \text{ N} \cdot m$$

$$J = 30g * cm^2 = 3 \cdot 10^{-6} Kg \cdot m^2$$

on sait que :

$$\begin{aligned} w_v^* &= \frac{1}{K_b} V_a^* \text{ rad/sec} & T_M^* &= \frac{K_M}{R_a} V_a^* \text{ N} \cdot m \\ \frac{w_v^*}{V_a^*} &= \frac{1}{K_b} & \frac{T_M^*}{V_a^*} &= \frac{K_M}{R_a} \\ \frac{1}{K_b} &= 43,63 & \frac{K_M}{R_a} &= 0,0014 \end{aligned}$$

$$\frac{K_M}{R_a K_b} = 31164$$

on obtient donc finalement :

$$\frac{W_s}{V_a} = \frac{43,63}{0,093492s + 1}$$

b) La fonction de transfert théorique du système complet en vitesse

i) l'expression analytique générale, incluant la présence d'une charge

$$\frac{V_\omega}{V_{in}} = \frac{K_{amp} K_{tach} K_M}{(L_a J s^2 + ((J_M + J_c/n^2) R_a + (K_f M + K_f c/n^2) L_a) s + R_a (K_f M + K_f c/N^2) + K_M K_b) (Ts + 1)}$$

ii) l'expression analytique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance

$$\frac{V_\omega}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{K_b} \frac{1}{n} K_{amp} K_{tach}}{\left(\frac{R_a}{K_M K_b} * Js + 1 \right) (Ts + 1)}$$

iii) l'expression numérique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance

$$\frac{V_\omega}{V_{in}} = \frac{1,74869}{(0,093492s + 1)(0,03s + 1)} = \frac{1,74869}{0.00280476s^2 + 0.123492s + 1}$$

3.3 Fonction de transfert du potentiomètre

On sait que :

$$K_{pot} = \frac{V_{ali}}{2\pi N}$$

$$K_{pot} = \frac{5}{\pi}$$

La fonction est donc :

$$\frac{G_{pot}}{\theta} = \frac{5}{\pi}$$

3.4 Forme du signal de sortie du potentiomètre

Si le moteur tourne à vitesse constante, la position transmise au potentiomètre variera aussi de manière constante avec des valeurs allant de -5V à 5V. Si l'on considère que celui-ci commence à 0V, le potentiomètre aura atteint sa valeur max après un demi tour. Afin de continuer la rotation, celui-ci verra la tension à ses bornes redescendre brusquement à -5V. Ce phénomène se produit à tous les tours :

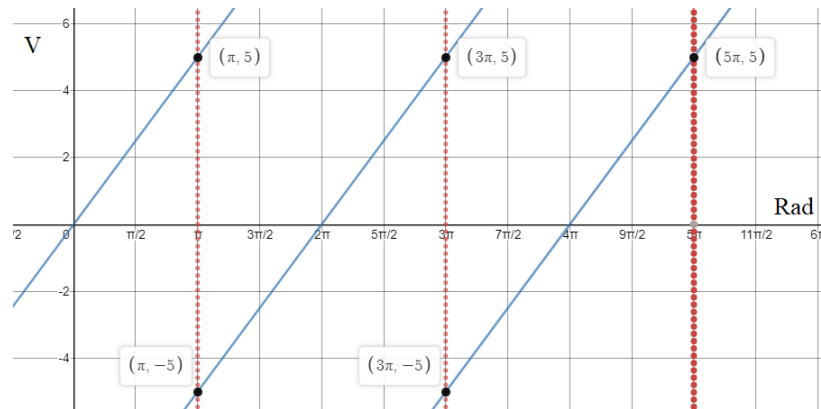


FIGURE 1 – Signal de sortie du potentiomètre

3.5 Fonction de transfert théorique du système complet

a) Expression analytique générale

$$\frac{V_\theta}{V_{in}} = \frac{K_{amp} \frac{K_M}{n} K_{pot}}{s (L_a J s^2 + ((J_M + J_c/n^2) R_a + (K_f M + K_{fc}/n^2) L_a) s + R_a (K_f m + K_{Fc}/N^2) + K_M K_b)}$$

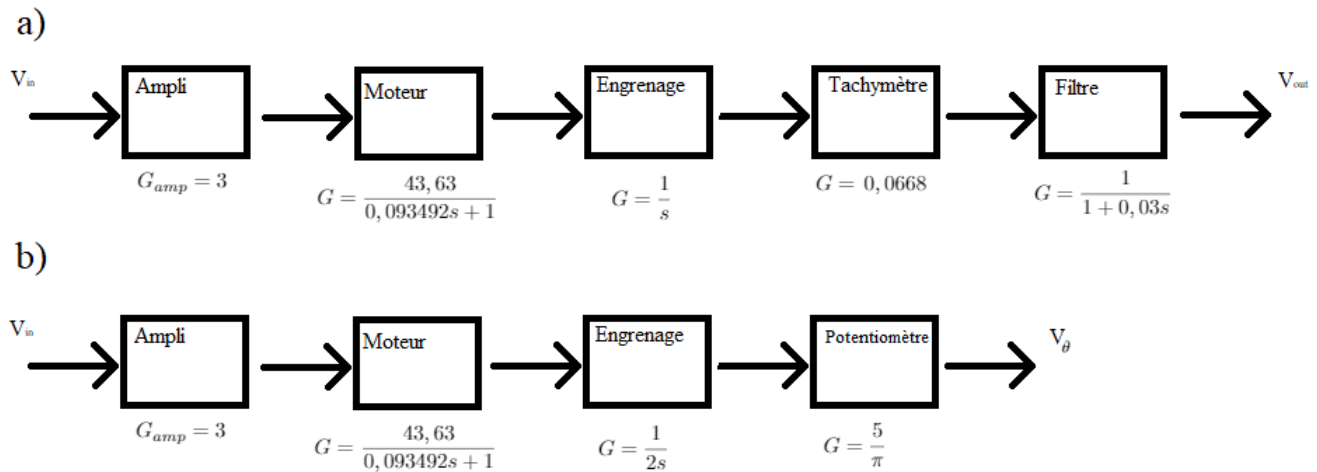
b) Expression analytique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance

$$\frac{V_\theta}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{K_b} \frac{1}{n} K_{amp} K_{pot}}{s \left(\frac{R_a}{K_M K_b} J_M s + 1 \right)}$$

c) Expression numérique lorsqu'on néglige la charge, le frottement et l'inductance

$$\frac{V_\theta}{V_{in}} = \frac{\frac{43.63}{25} \cdot 3 \cdot 1.592}{s(0.093492s + 1)} = \frac{8.335}{s(0.093492s + 1)}$$

3.6 Diagramme fonctionnel



Excellente préparation

5 7.3/8

5.1 Système en vitesse sans frottement ni inertie

- 0.9/0.9 a) i) valeur initiale est de 2V et la valeur finale de l'échelon est de 3V. Ces valeurs ont été choisies afin de conserver la linéarité de la réponse du moteur et éviter la tension de saturation de celui-ci.
- ii) si la valeur initiale de l'échelon n'est pas zéro, il faut attendre initialement que le système soit à régime permanent avant d'appliquer l'échelon pour pouvoir analyser la fonction de transfert dans la zone linéaire
- iii) la durée choisie est de 6 seconde cela laisse le temps d'atteindre le régime permanent du moteur et par la suite de rejoindre à nouveau le régime permanent avec l'échelon.
- 0.5/0.5 b) la fonction de transfert en vitesse du système global par méthode graphique

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.5}{1 + 0.20s}$$

- 0.3/0.3 c) la fonction de transfert plus précise avec *IdentSyst*

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.6}{1 + 0.15s}$$

- 0.5/0.7 d) Graphique et explication différence

Le gain statique du modèle *IdentSyst* est de 1.6 alors que celui du modèle théorique est de 1.75 L'écart entre ces valeurs peut être causé par une incertitude de l'amplificateur ou à une incertitude du tachymètre. Ces valeurs de bruits n'ont pas été considérées dans le calcul théorique. Au niveau de la dynamique du système, le modèle théorique décrit un temps de réponse plus petit que celui du modèle *IdentSyst*. Ce résultat n'est pas surprenant étant donné le fait que le frottement et l'inertie ont été négligés théoriquement. En pratique, il est absolument impossible de négliger totalement l'inertie et le frottement. Ainsi, la réponse sera plus lente en pratique, cela explique pourquoi il est impossible d'associer un modèle théorique parfait à un moteur.

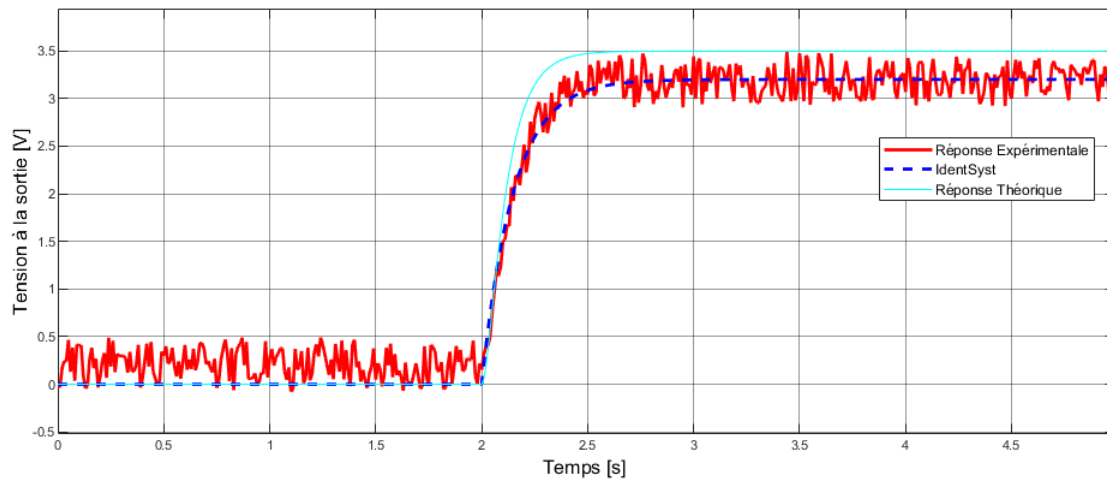


FIGURE 2 – Réponse a l'échelon du modèle théorique, d'IdentSyst et des données expérimentales du système en vitesse

5.2 Système en vitesse avec inertie supplémentaire

- a) La fonction de transfert en vitesse du système global par la méthode graphique

0.4/0.4

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.5}{1 + 0.45s}$$

- b) La fonction de transfert en vitesse du système global avec *IdentSyst*

0.4/0.4

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.55}{1 + 0.3s}$$

- c) les effets d'une augmentation de l'inertie sur le gain statique du système et sur sa constante de temps

0.5/0.5

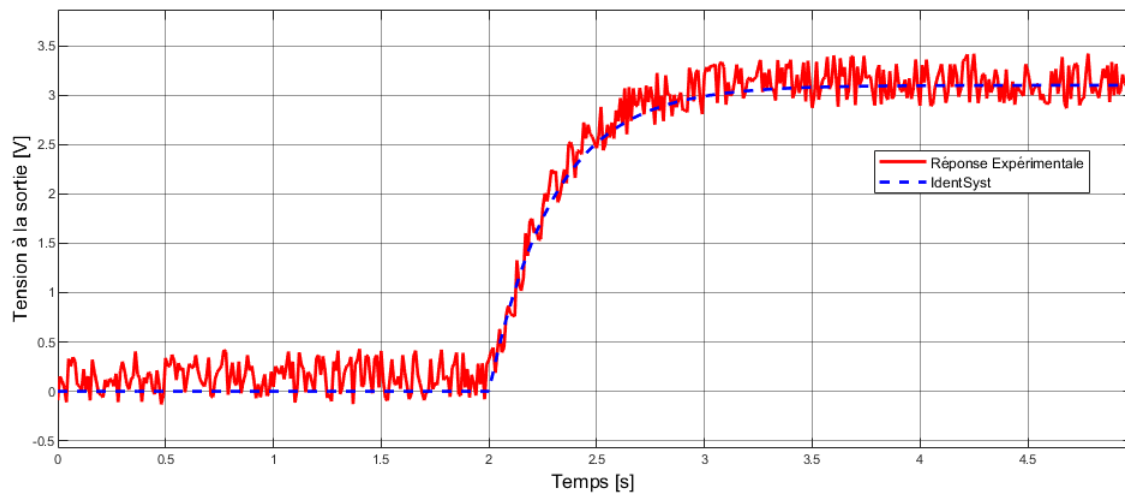


FIGURE 3 – Réponse a l'échelon d'IdentSyst et des données expérimentales du système en vitesse avec inertie

Le modèle théorique démontre qu'avec la présence de l'inertie, la constante de temps augmente. Ce résultat théorique concorde avec nos données puisqu'une hausse de la constante de temps fut observée. Comme que démontré dans la fonction théorique, le gain statique n'est pas affecté par l'inertie ajoutée autant dans le modèle théorique que expérimentale et nos résultats coïncident sensiblement avec cet énoncé. Le gain est indirectement relié à la vitesse de rotation du moteur et ainsi le moteur tournant moins vite avec la constante de temps plus haute atteint un gain moins élevé causé par le frottement.

5.3 Système en vitesse avec frottement proportionnel à la vitesse

a) La fonction de transfert en vitesse du système global par la méthode graphique

0.4/0.4

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.30}{1 + 0.2s}$$

b) La fonction de transfert en vitesse du système global avec *IdentSyst*

0.4/0.4

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{1.35}{1 + 0.17s}$$

c) les effets d'une augmentation du frottement sur le gain statique du système et sur sa constante de temps dominante

0.5/0.5

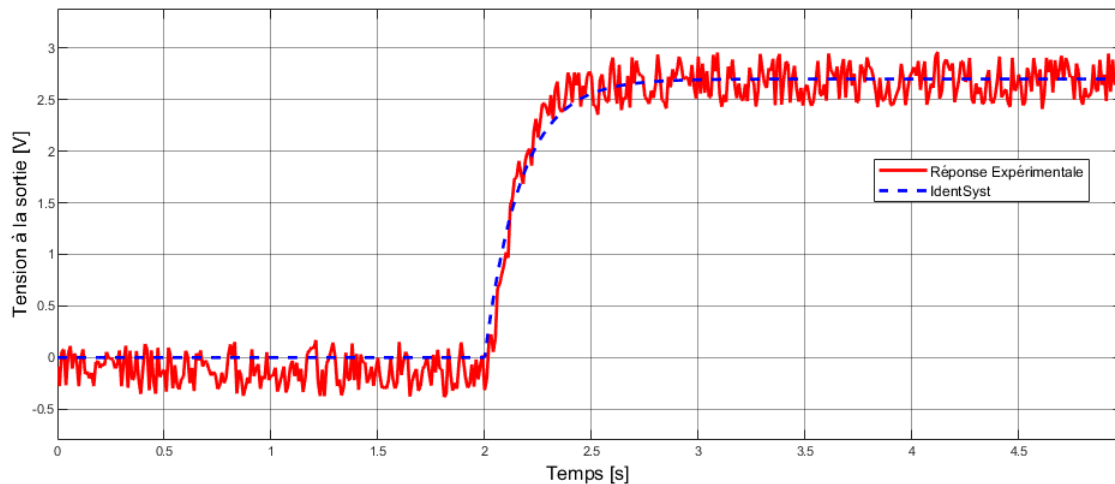


FIGURE 4 – Réponse à l'échelon d'IdentSyst et des données expérimentales du système en vitesse avec frottement

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{K_{amp} K_{tachy} K_M}{[R_a K_{fM} + K_M K_b] [Ts + 1]}$$

en réorganisant la fonction on obtient :

$$\frac{V_{\omega f}}{V_{in}} = \frac{K_{amp} K_{tachy} K_M}{(R_a K_{fM} + K_M K_b) [Ts + 1]}$$

Avec cette formule on peut donc démontrer que lorsque K_{fM} augmente, la valeur du gain statique total va diminuer et par le fait même la constante de temps va ~~augmenter~~.

(augmentation du frottement)
constante de temps diminue. Mais la combinaison du gain et de la constante de temps rend le système plus lent, alors ok

5.4 Système en position

a) Justifiez le choix de votre signal d'excitation

i) La valeur initiale de 0 V a été choisie afin d'estimer le comportement du moteur autour du point d'opération $V_a = 0$ V. La valeur finale a été mise à 0.5 V afin d'être dans la section linéaire du rapport entre l'entrée et la sortie et être loin de la section de saturation du capteur.

0.5/0.5

ii) La durée de l'échelon choisie est de 5 secondes, soit assez d'une durée pour avoir plusieurs "dents de scie"

b) La fonction de transfert en vitesse du système global par la méthode graphique

0.2/0.5

$$\frac{V_\theta}{V_{in}} = \frac{6.2}{s}$$

Il fallait aussi caractériser la dynamique du système.

-0.1 modèle

-0.2 calcul de la constante de temps

c) La fonction de transfert en vitesse du système global avec *IdentSyst*

0.3/0.3

$$\frac{V_\theta}{V_{in}} = \frac{6.5}{s(0.2s + 0.9)}$$

d) les effets d'une augmentation du frottement sur le gain statique du système et sur sa constante de temps dominante

0.5/0.7

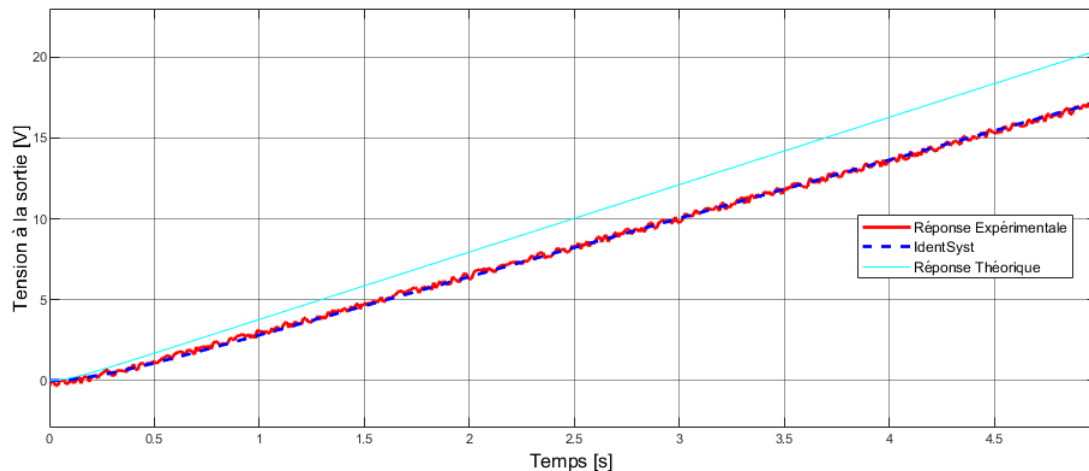


FIGURE 5 – Réponse à l'échelon du modèle théorique et du modèle expérimental du système en position

La pente du modèle théorique est nettement supérieure à celle du modèle expérimentale. Ceci s'explique par la négligence du frottement, de l'inductance et la charge lors du calcul théorique. En effet, en pratique, ces aberrations sont impossible à éviter. la vitesse angulaire de sortie du moteur est donc influencé à la baisse.

La différence sur la constante de temps vient aussi du fait qu'on ait négligé ces paramètres
-0.2

5.5

a) Représentation graphique

0.5/0.5

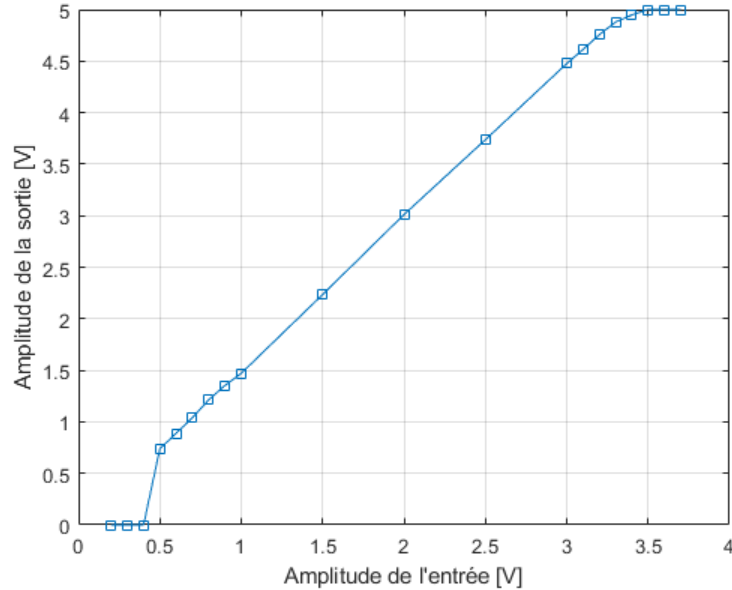


FIGURE 6 – Amplitude de la sortie par rapport à l'amplitude de l'entrée

- b) i) Il y a présence d'une zone morte jusqu'à environ 0.4V et 0.5V puisque avant cette valeur, l'amplitude de sortie est à 0 en régime permanent.

0.5/0.5

- ii) Il y a en effet une zone de saturation. En effet, lorsque la valeur de l'entrée est au dessus de 3.4, la sortie sature à 5V.
- iii) Pratiquement, très peu de système sont linéaire. C'est pourquoi certaines courbures apparaissent en bas de la courbe proche de la zone morte et en haut de la courbe proche de la zone de saturation.