Identification des systèmes

MCC – Frottements – Inerties…

Fiche

Programme - Compétences		

Contexte

On se place dans le contexte de l'utilisation d'un moteur à continu dans un système asservi avec 3 inconnues :

- Couple de frottement sec C_{f_s} constant (frottements de Coulomb)
- Couple de frottement visqueux $C_{f_s} = f\omega$
- Inertie équivalente J ramenée à l'arbre moteur

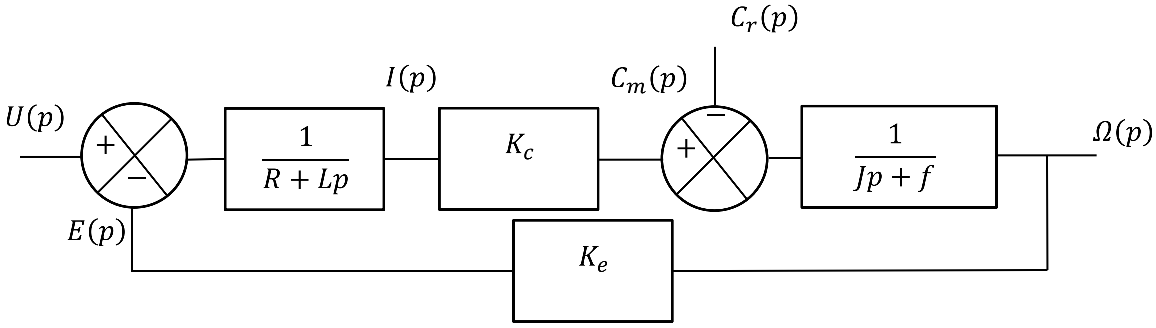
Remarque : ces trois données sont des grandeurs équivalentes du système complet

(1)	$u(t) = e(t) + Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt}$	Equations électriques du moteur à courant continu
(2)	$e(t) = K_e\omega(t)$	
(3)	$c_m(t) = K_c i(t)$	
(4)	$c_f(t) = f\omega(t)$	Couple de frottement proportionnel à la vitesse de rotation
(5)	$c_m(t) - c_f(t) - c_r(t) = J\dfrac{d\omega(t)}{dt}$	Equation issue du principe fondamental de la dynamique

Avec :

- $u(t)$: Tension d'entrée aux bornes du moteur (V)
- $e(t)$: Force contre électromotrice (V)
- $i(t)$: Intensité (A)
- $\omega(t)$: Vitesse de rotation du moteur ($rad.s^{-1}$)
- $c_m(t)$: Couple moteur ($N.m$)
- $c_f(t)$: Couple de frottement ($N.m$)
- $c_r(t)$: Couple résistant ($N.m$)
- L : Inductance de la bobine (H)
- f : coefficient de frottement visqueux ($N.m.s.rd^{-1}$)
- J : Inertie équivalente en rotation de l'arbre moteur ($Kg.m^2$)
- R : Résistance électrique du moteur (Ω)
- K_e : Constante de force contre-électromotrice ($V.rad^{-1}.s$)
- K_c : Constante de couple ($N.m.A^{-1}$)

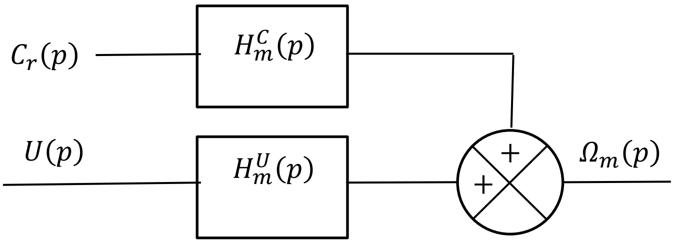
Quelques calculs :



$$\Omega(p) = H_U(p)U(p) - H_{C_r}(p)C_r(p)$$

$$H_U(p) = \frac{\frac{K_c}{K_eK_c + Rf}}{1 + \frac{RJ + Lf}{K_eK_c + Rf}p + \frac{LJ}{K_eK_c + Rf}p^2} \quad ; \quad K_U = \frac{K_c}{K_eK_c + Rf}$$

$$H_{Cr}(p) = \frac{R}{K_eK_c + Rf}\frac{1 + \frac{L}{R}p}{1 + \frac{RJ + Lf}{K_eK_c + Rf}p + \frac{LJ}{K_eK_c + Rf}p^2} \quad ; \quad K_{C_r} = \frac{R}{K_eK_c + Rf}$$

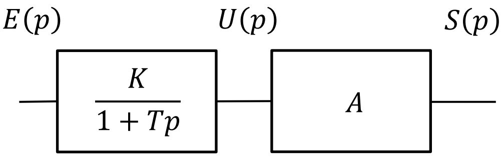


Remarque

A chaque identification, le principe consiste à prévoir la sortie connaissant une entrée, de connaître la fonction de transfert qui relie entrée et sortie, et d'en déduire des constantes.

Il faudra, chaque fois que cela est possible, réussir à imposer une entrée et mesurer une sortie au plus près du bloc comportant des coefficients à identifier.

Exemple :



Pour mesurer A, on impose une valeur de U et on mesure S, on obtient A par division. On peut imposer un échelon sur E, et connaissant K, déduire de la valeur finale de S la valeur de KA, donc de A. Cette seconde méthode induit des incertitudes dans A à cause de celles dans K…

Identification des couples
Frottements secs, frottements visqueux et éventuelles actions extérieures constantes

Supposons que les actions extérieures qui travaillent, gravité en particulier, sont constantes lors de cette identification !

Pour identifier les frottements, on pilote le moteur en vitesse de rotation via :

- Un asservissement en vitesse s'il existe
- Un échelon de tension au moteur correspondant à une vitesse de rotation constante en régime établi. Pour réaliser un échelon de tension au moteur dans un système qui est asservi, il suffit de ne pas considérer l'information du capteur (cf Maxpid). En effet, si on ne lit pas l'information du capteur, le comparateur se transforme en « un fil » dans un asservissement, et la consigne se retrouve directement après le comparateur, constante. Cette consigne en tension au moteur correspondra forcément à une vitesse de rotation en régime stationnaire

Méthode 1 : Mesure de $\boldsymbol{I}$ et $\boldsymbol{\omega}$

Cas 1 : actions extérieures ne travaillant pas

Sans actions autres que les frottements, en régime permanent (ω_∞ une constante), on a :

$$C_m = K_C I_\infty = C_{f_s} + C_{f_v} = C_{f_s} + f\omega_\infty$$

Il suffit donc de mesurer I_∞ et ω_∞ lorsque le régime permanent est atteint. En traçant $C_m = f(\omega_\infty)$, on obtient une droite $y = ax + b$ avec :

$$\begin{cases} a = f \\ b = C_{f_s} \end{cases}$$

Il est évident que cette méthode est la meilleure puisque l'on utilise le seul terme K_C en faisant confiance aux données du moteur.

Remarques :

- En déterminant l'intensité limite à partir de laquelle le moteur tourne, on a une approximation de
$$C_{f_s} = K_C I_{lim}$$
- On a alors une valeur approximative de f en réalisant une mesure à intensité constante en régime établi :
$$f = \frac{K_C I_\infty - C_{f_s}}{\omega_\infty}$$

Cas 2 : actions extérieures constantes

Appelons C_{ext} le couple issu des actions extérieures constantes, ramené à l'arbre moteur. Supposons qu'un couple trop faible laisse partir le système sous l'action extérieure, et que le moteur au contraire entraine un mouvement dans l'autre sens. On a :

$$C_m = K_C I = C_{f_s} + C_{f_v} + C_{ext} = C_{f_s} + f\omega_\infty + C_{ext}$$

En appliquant la démarche dans le cas d'actions ne travaillant pas, on déterminera f, et la somme $C_{f_s} + C_{ext}$… Si on connait C_{f_s}, on peut déterminer C_{ext}, qui via un rapport de réduction, peut par exemple donner la masse d'une pièce en sortie du système via son poids !

Pour identifier C_{f_s}, on peut se placer en régime statique $\omega = 0$:

$$C_m = C_{f_s} + C_{ext}$$

Remarque : Vous avez la possibilité d'imposer une intensité via un asservissement en intensité ? En imposant l'intensité au moteur (si le système le permet), il faut :

- Imposer la plus petite intensité I_{min} permettant d'empêcher le système de « partir » dans le sens provoqué par les actions extérieures, par exemple la gravité
- Imposer la plus grand intensité I_{max} permettant au système de rester immobile, avant d'être « emporté » dans le sens du mouvement imposé
- On a alors : $C_{f_s} = K_C \frac{I_{max} - I_{min}}{2}$

En effet, en l'absence de frottements secs, on devrait avoir uniquement à l'équilibre : $C_m = C_{ext}$. Lorsque l'on diminue (ou augmente) le couple moteur, le système ne devrait pas rester à l'équilibre. Le frottement sec s'ajoute (ou se retranche) au couple moteur pour empêcher le mouvement, jusqu'à la limite du glissement. On va donc solliciter la limite du glissement dans les deux sens. Lorsque l'on diminue le couple moteur (ie l'intensité), le glissement apparaît lorsque le couple a diminué de C_{f_s}, soit : $C_m = C_{ext} - C_{f_s}$. De même lorsque l'on augmente C_m, le mouvement apparaît quand $C_m = C_{ext} + C_{f_s}$. On a donc fait varier le couple moteur de $2C_{f_s}$, et connaissant les intensités, on a $\Delta C_m = K_C(I_{max} - I_{min})$, d'où la formule vue plus haut…

Remarque : on aura $C_{ext} = K_C \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$ si besoin ☺ Couple des actions extérieures ramené à l'arbre moteur

Cas 3 : actions extérieures non constantes

A voir au cas par cas, mais cette situation est rarement rencontrée dans nos systèmes

Méthode 2 : Mesure de U et ω

Cas 1 : actions extérieures ne travaillant pas

En régime permanent, on a :

$$\lim_{t \to +\infty} \omega(t) = K_U U_0 - K_{C_r} C_r$$

Les couples de frottements visqueux étant inclus dans les fonctions de transfert, $C_r = C_{fs}$

$$\omega_\infty = K_U U_0 - K_{C_r} C_{fs}$$

Il suffit donc de procéder à plusieurs mesures de ω_∞ et U_0 lorsque le régime établi est atteint.

En traçant $\omega_\infty = f(U_0)$, on obtient une droite $y = ax + b$ avec :

$$\begin{cases} a = K_U = \dfrac{K_c}{Rf + K_e K_c} \\ b = -K_{C_r} C_{f_s} = -\dfrac{R}{Rf + K_e K_c} C_{f_s} = -\dfrac{aRC_{f_s}}{K_c} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} f = \dfrac{K_c - aK_e K_c}{aR} \\ C_{f_s} = -\dfrac{bK_c}{aR} = -\dfrac{b(Rf + K_e K_c)}{R} \end{cases}$$

Cette méthode est dépendante de la bonne connaissance des coefficients moteur K_e, K_c et R

Cas 2 : actions extérieures constantes

On aura dans ce cas :

$$C_r = \pm C_{fs} + C_{ext}$$

En reproduisant la démarche précédente (Méthode 1 – Cas 2) dans un sens et dans l'autre, on aura une valeur de f et C_r dans un sens, un autre dans l'autre. Pour trouver C_{fs}, il suffira donc de faire la différence des C_r et de la diviser par 2.

On trouvera de même C_{ext} en faisant la somme des C_r divisée par 2.

Cas 3 : actions extérieures non constantes

A voir au cas par cas, mais cette situation est rarement rencontrée dans nos systèmes

Identification de l'inertie

En général, on peut négliger la constante de temps électrique des MCC vis-à-vis de la constante de temps électro mécanique (cf TD révisions SLCI2 sur le MCC). Dans ce cas, on a :

$$\Omega_m(p)=\frac{\frac{K_c}{Rf+K_eK_c}}{1+\frac{RJ}{Rf+K_eK_c}p}U(p)-\frac{\frac{R}{Rf+K_eK_c}}{1+\frac{RJ}{Rf+K_eK_c}p}C_r(p)=\frac{K_U}{1+Tp}U(p)-\frac{K_{C_r}}{1+Tp}C_r(p)$$

Pour une entrée échelon en tension et en supposant un couple résistant (hors frottements fluides déjà intégrés avec f) constant, et donc en échelon, on a :

$$\Omega_m(p)=\frac{1}{p}\left(\frac{K_UU_0-K_{C_r}C_{r_0}}{1+Tp}\right)$$

Avec :

$$T=\frac{RJ}{Rf+K_eK_c}\Leftrightarrow J=\frac{T(Rf+K_eK_c)}{R}$$

Il est simple d'identifier T sur la réponse du système en validant qu'elle a une allure de 1° ordre.

Il est ainsi possible d'avoir J avec une unique mesure. Toutefois, ce n'est pas très précis.

On pilote le moteur en BO en envoyant un échelon de tension. On effectue des mesures de $\omega_m(t)$ pour n masses embarquées sur le système de même, identique. On vérifie que cela ressemble à des réponses de premier ordre.

On identifie alors le temps T, ce qui permet d'obtenir différentes valeurs de l'inertie équivalente totale à l'arbre moteur J_t. On a alors :

$$J_t=nJ_a+J$$

Avec :

- J : inertie équivalente à l'arbre moteur du système sans les masses embarquées
- J_a : Inertie équivalente à l'arbre moteur de chaque masse embarquée

On trace donc la courbe $J_t=f(n)$ et on identifie J.

Il est aussi possible d'ajouter des masses différentes, à condition de savoir estimer l'inertie totale ajoutée J'. On a alors $J_t=J'+J$. On trace alors $J_t=f(J')$ pour obtenir l'ordonnée à l'origine J sur une courbe de pente 1.

Identification des constantes du moteur

Il arrive que l'on ne connaisse pas les constantes du moteur. Voici comment les trouver

Identification de R et L

S'il est possible de bloquer l'arbre moteur, alors :

$$e(t) = K_e\omega(t) = 0$$

On a alors :

$$\frac{I(p)}{U(p) - E(p)} = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{1}{R + Lp} = \frac{\frac{1}{R}}{1 + \frac{L}{R}p}$$

On impose plusieurs échelons de tension U_0 au moteur, on tracer l'évolution de l'intensité au cours du temps et on identifie le premier ordre :

- Valeur finale : $I_\infty = \frac{U_0}{R} \rightarrow R = \frac{U_0}{I_\infty}$
- Constante de temps : $T = \frac{L}{R} \rightarrow L = RT$

R dépend de la précision des mesures, L de la détermination correcte de T et de l'identification préalable de R.

Identification de $\boldsymbol{K_e = K_c}$

On peut identifier ces constantes soit :

- Côté couple : $c_m(t) = K_c i(t)$
- Côté Vitesse de rotation : $e(t) = K_e\omega(t)$
-

Méthode couple $\boldsymbol{K_c}$:

On a :

$$c_m(t) = K_c i(t)$$

Si on connaît le couple en sortie d'arbre moteur, il suffit de mesurer l'intensité et de calculer à tout instant :

$$K_e = K_c = \frac{C}{I}$$

Cette méthode est la plus fiable mais n'est pas forcément facile à réaliser car il faut connaître le couple précisément…

Méthode vitesse K_e :

On a :

$$u(t) = e(t) + Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

On impose un échelon de tension en entrée U_0 et on attend un régime stationnaire à vitesse constante ω_∞ et intensité constante I_∞. Il faut donc impérativement que la charge en sortie n'évolue pas ! Sinon le couple évolue, et i avec. Alors :

$$\frac{di(t)}{dt} = 0$$

Soit :

$$U_0 = K_e\omega_\infty + RI_\infty$$

On a alors :

$$K_e = \frac{U_0 - RI_\infty}{\omega_\infty}$$

Remarque : il est possible d'utiliser le module OPTIMISATION de Matlab Simulink afin d'identifier simplement les constantes d'un MCC. A explorer si besoin !

Identification des saturations

Un système, quel qu'il soit, ne peux pas imposer une tension, ni une intensité infinie. Il existe donc des saturations en tension et en intensité.

Il est assez simple de mettre en évidence ces saturations en imposant (si possible) dans un correcteur uniquement proportionnel, un gain proportionnel très important (attention à l'instabilité). Ainsi, en sortie du correcteur, on obtient une valeur importante… Or, si le système est limité, il saturera, et la mesure de U et I mettra en évidence cette saturation.

Remarque : sans modifier le correcteur, on obtient souvent la saturation en intensité en chargeant un peu trop le système ou en demandant une forte accélération (échelon en vitesse important), ce qui demande un couple important, c'est-à-dire une intensité importante… On peut aussi forcer sur la sortie du système pour lui imposer de résister jusqu'à atteindre l'intensité maximale.