

## ASSERVISSEMENT D'UN MOTEUR DC AVEC UNE COMMANDE HYSTÉRÉSIS

L'objectif de cette manipulation est d'étudier l'asservissement en position d'un moteur à courant continu avec une commande à relais<sup>1</sup> avec une hystérésis. L'intérêt principal d'un tel correcteur réside dans sa simplicité de calcul et d'implémentation. L'inconvénient est qu'il induit des changements brusque dans la commande, conduisant à une usure prématurée du matériel. Ce correcteur introduit également un élément nonlinéaire dans la boucle, il s'agit donc d'analyser son influence sur l'asservissement. Ce sujet porte sur les chapitres du plan de phase et de la méthode du premier harmonique du cours.

### 1 Description de la maquette

Le schéma bloc de l'asservissement à étudier est donné sur la Figure 1.

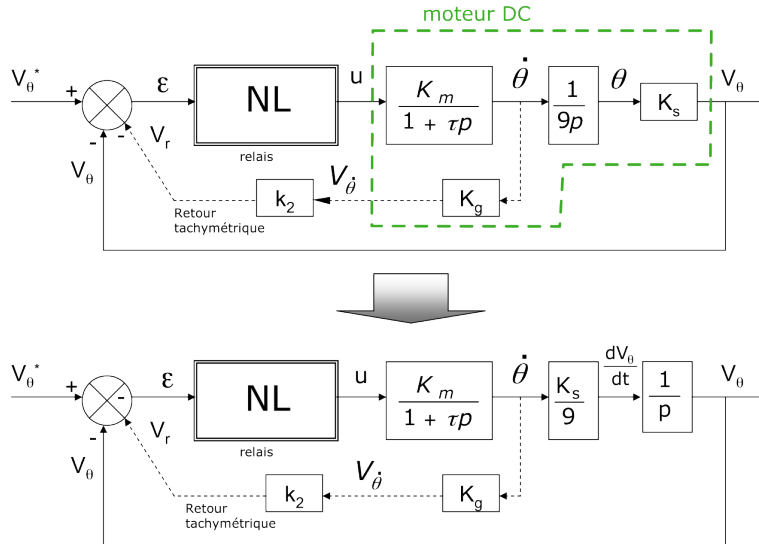


FIGURE 1 – Schéma-bloc de l'asservissement.

Le système “moteur DC” est modélisé par différents blocs. La fonction de transfert  $\frac{K_m}{1+\tau p}$  exprime la relation entre la tension de commande  $u$  [V] et la vitesse angulaire  $\dot{\theta}$  [rad/s]. Le bloc avec l'intégrateur  $\frac{1}{9p}$  représente le passage vitesse-position avec le coefficient de réduction. Les gains  $K_s$  et  $K_g$  sont respectivement les gains des capteurs de position (potentiomètre) et vitesse (tachymètre).

— Les paramètres physiques ont été identifiés

$$\begin{aligned} K_m &= 38.57 \text{ rad/V.s} & K_s &= 1.57 \text{ V/rad} \\ K_g &= 0.0129 \text{ V.s/rad} & \tau &= 0.27 \text{ s} \end{aligned} \quad (1)$$

1. Parfois appelée “tout-ou-rien” (TOR), même si ici le relais commute entre les valeurs fixes  $-M$  et  $+M$ , et non entre 0 et  $+M$ .

- $k_2$  est un paramètre ajustable pour régler la correction tachymétrique.
- L'élément non linéaire "NL" est un relais avec hystérésis dont la caractéristique  $u = F(\epsilon)$  est représentée par la Figure 2. Le niveau de la tension de sortie du relais qui alimente le moteur est de  $\pm M = \pm 6V$ , et l'écart des seuils de l'hystérésis est  $\Delta = 4V$ .

Afin de faciliter l'étude, nous considérerons que la consigne pour la position angulaire est constante et nulle,  $V_\theta^* = 0 [V]$ . L'objectif de l'asservissement est donc d'amener l'angle de sortie du moteur à zéro.

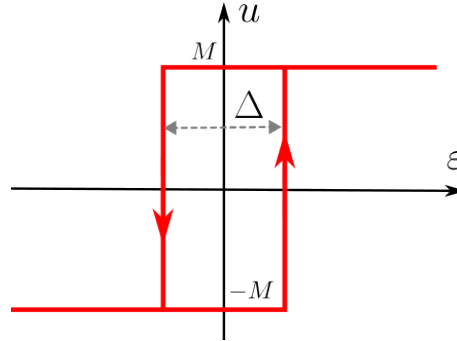


FIGURE 2 – Caractéristique de l'élément non linéaire.

## 2 Existence d'un cycle limite

Pour le moment, le système est étudié sans la correction tachymétrique, nous n'utilisons donc pas la mesure de la vitesse avec le gain  $k_2$ .

1. Donner l'approximation au premier harmonique, la *describing function*  $N(A, \omega)$ , de la fonction non linéaire représentée sur la Figure 2. Calculer l'expression du lieu critique  $C(A, \omega) = -1/N(A, \omega)$  et esquisser son allure dans le plan complexe.
2. Tracer à l'aide de MATLAB le lieu de Nyquist de la fonction de transfert en boucle ouverte et le lieu critique. Est-ce qu'il existe un cycle limite ? Si oui, peut-il être évité ? est-il stable ? donner les valeurs (estimées) de l'amplitude et la période du cycle.
3. Simuler sur MATLAB/Simulink l'asservissement afin de confirmer vos résultats à la question précédente. Pour cela, récupérer les fichiers `scriptTP1.m` et `simTP1.slx` sur moodle. Analyser leur contenu, compléter le script et lancer la simulation.
4. Comment évolue le cycle limite lorsque le seuil  $\Delta$  diminue ? Pouvait-on prévoir cela à partir des graphiques (nyquist de la BO + lieu critique) dans le plan complexe ? Quels sont les avantages et inconvénients de réduire  $\Delta$  ?

## 3 Représentation dans le plan de phase

Nous souhaitons analyser le comportement de l'asservissement dans l'espace d'état. Définissons le vecteur d'état  $x$  composé des états  $x_1 = V_\theta^* - V_\theta$  et  $x_2 = -\dot{V}_\theta$ .

5. Donner la représentation d'état du système en boucle fermée. Le système est-il linéaire ou non linéaire ? Quels sont les conditions d'équilibre ?
6. Esquissez l'allure du portrait de phase à partir d'une résolution analytique du système. On considérera, pour simplifier, une vitesse initiale nulle, soit  $x_2(0) = 0$ , et une position initiale arbitraire, soit  $x_1(0) = x_{1_0}$ .
7. Modifiez les fichiers de simulation pour simuler les trajectoires de l'état dans le plan de phase pour différentes conditions initiales. Faites en sorte que le simulateur (`simTP1.slx`) soit lancé directement depuis le script afin de faciliter la multiplication des tracés. Qu'observez-vous ? Quelles

sont les équations des droites de commutation ? Comment évolue le comportement du portrait de phase lorsque  $\Delta \rightarrow 0$  ?

Il s'agit maintenant de réaliser des tests expérimentaux et vérifier si nous observons un comportement similaire avec le banc moteur. Pour cela, implémenter la loi de commande à partir d'un montage à base d'un amplificateur opérationnel (cf Figure 3) et le bloc relais. Pour ajuster sa caractéristique entrée/sortie, appliquer un signal sinusoïdale à l'aide du GBF à l'entrée, et observer à l'oscilloscope à la fois l'entrée (X) et la sortie (Y) en mode XY : **Aquire >> Time mode >> XY**. Utiliser le mode persistant pour l'affichage : **Display >> ∞Persist**. Régler les valeurs de seuil (dead zone) 0, d'hystérésis  $\Delta$  et d'amplitude  $M$ .

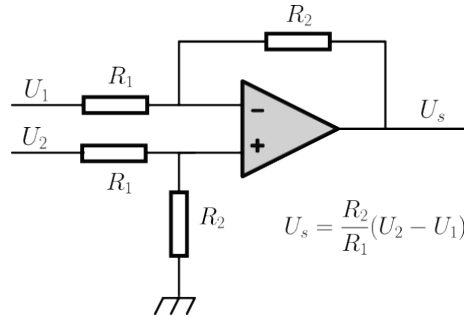


FIGURE 3 – Montage soustracteur.

8. Tester expérimentalement la loi de commande et visualiser les trajectoires de l'état dans le temps et dans le plan de phase. Retrouvez-vous le comportement simulé ?

## 4 Correction tachymétrique

Nous mettons maintenant en place une seconde boucle de contre-réaction avec un gain  $k_2$ . Celle-ci fournit un retour d'information sur la vitesse de rotation :

$$V_{\dot{\theta}} = K_g \dot{\theta} = \frac{9K_g}{K_s} \dot{V}_{\theta}$$

9. Avec cette nouvelle loi de commande, que deviennent les équations des droites de commutation ? Tracer ces droites dans le plan de phase. Quel est l'effet du gain  $k_2$  ?
10. Mettre à jour votre fichier de simulation, et simuler l'asservissement pour différentes valeurs de  $k_2 = \{ 1 ; 2 ; 5 ; 10 \}$ . Qu'observez-vous ? (dans le plan de phase et dans la réponse temporelle)
11. Implémenter la nouvelle commande sur votre maquette et tester expérimentalement le système.