

TP6 Simulation du fonctionnement d'un moteur à courant continu

6.1 Objectif du TP

Simuler le fonctionnement d'un moteur à courant continu et étudier son asservissement de vitesse à l'aide du logiciel *Scilab*.

6.2 Rappels Théoriques

Le fonctionnement linéaire d'un moteur à courant continu est caractérisé par les équations électrique et mécanique suivantes :

- L'équation électrique du moteur :

$$v(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

avec : $v(t)$ la tension de commande du moteur
 $e(t)$ la f.e.m. induite
 R la résistance d'induit
 $i(t)$ le courant d'induit
 L l'inductance de l'induit

- L'équation mécanique du moteur :

$$C_m(t) - C_r(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + f\omega(t) \quad (2)$$

avec : $C_m(t)$ le couple moteur
 $C_r(t)$ le couple résistant
 J le moment d'inertie du moteur
 f le coefficient de frottement visqueux

La transformation de Laplace des équations (1) et (2) donne :

$$I(p) = \frac{(V(p) - E(p))}{R + Lp}, \quad \Omega(p) = \frac{C_m(p) - C_r(p)}{Jp + f} \quad (3)$$

La constante de flux et de couple qui sera notée K relie les paramètres électriques aux paramètres mécaniques par les relations suivantes :

$$e(t) = K\omega(t), \quad C_m(t) = Ki(t) \quad (4)$$

6.3 Simulation à l'aide du logiciel Scilab

6.3.1 Simulation du fonctionnement du moteur en boucle ouverte

Il s'agit de créer le schéma équivalent du moteur défini par les équations (3) et (4) ayant les caractéristiques suivantes :

$$\begin{aligned} R &= 1.2 \ \Omega & L &= 0.18 \ \text{H} & K &= 0.284 \ \text{N.m/A} \\ f &= 6.10^{-3} \ \text{N.m/rad/s} & J &= 24.10^{-4} \ \text{kg.m}^2 \end{aligned}$$

Le schéma à simuler est le suivant :

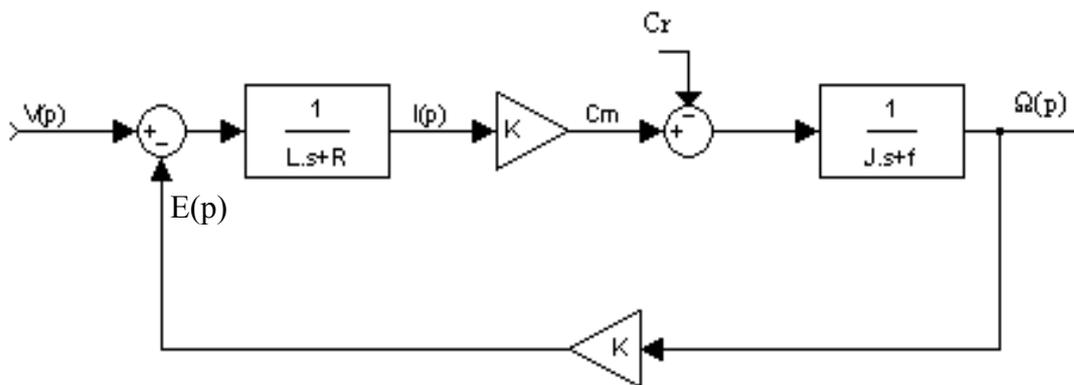


Fig. 1. Schéma bloc d'un moteur à courant continu

Sous Scicos qui est l'interface graphique de Scilab, le schéma prendra la forme suivante :

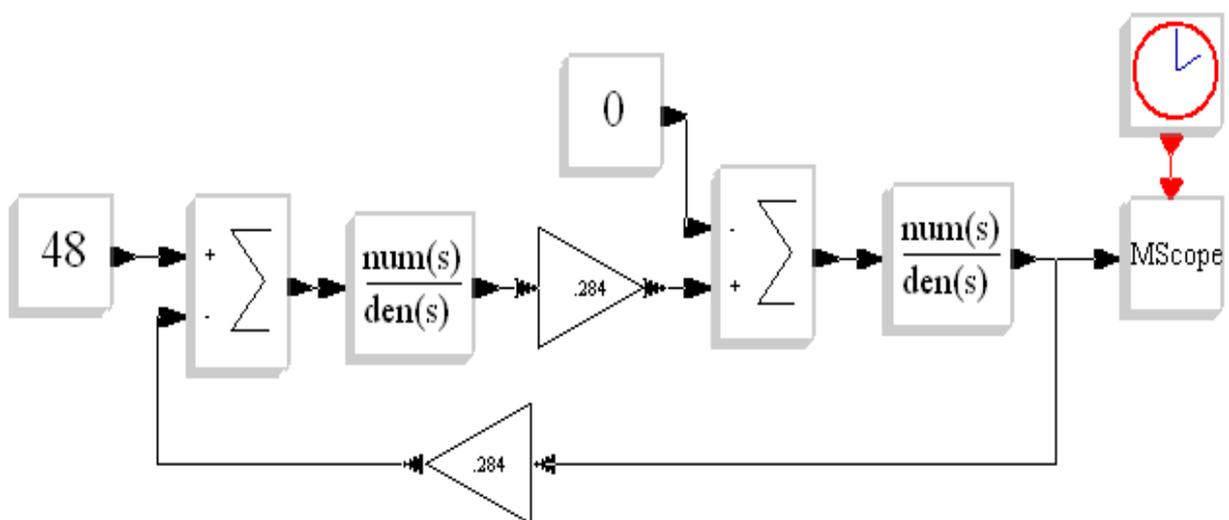
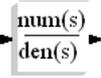


Fig. 2. Représentation de la Fig. 1 sous Scilab

Pour réaliser le schéma de la Fig. 2, suivez scrupuleusement les instructions suivantes :

1. Lancer *Scilab*, taper **scicos()** à l'invite.
Une fenêtre **Untitled** s'ouvre, nous allons y tracer le schéma.
2. L'entrée échelon :
Faire **Edit, Palettes, Sources**  **OK**
Positionner ce bloc par un clic sur le schéma.
3. Le différentiateur :
Edit, Palettes, Linear  **OK**
Positionner par un clic sur le schéma.
4. Relier l'entrée et le différentiateur :
Edit, Link
Cliquer sur le bloc échelon (pas sur sa flèche) puis sur l'entrée + du sommateur (sur la flèche).
5. La première fonction de transfert :
Edit, Palettes, Linear  **OK**
Le positionner.
6. Relier le différentiateur et cette fonction de transfert :
Edit, Link
Cliquer sur le différentiateur puis sur l'entrée de la fonction de transfert.
7. Le gain direct :
Edit, Palettes, Linear  **OK**
Le positionner.
8. Relier le gain et la fonction de transfert :
Edit, Link
Cliquer sur la fonction de transfert puis sur l'entrée du gain.
9. Le second différentiateur :
Edit, Palettes, Linear  **OK**
Positionner par un clic sur le schéma.
10. Relier le gain et le différentiateur :
Edit, Link
Cliquer sur le bloc gain, puis sur l'entrée + du différentiateur.
11. L'entrée couple résistant :
Faire **Edit, Palettes, Sources**  **OK**
Le positionner.
12. Relier le couple résistant et le différentiateur:
Edit, Link
Cliquer sur le bloc échelon, puis sur l'entrée - du différentiateur.

13. La seconde fonction de transfert :

Edit, Palettes, Linear,  **OK**
Le positionner.

14. Relier le différentiateur et la fonction de transfert :

Edit, Link

Cliquer sur le différentiateur puis sur l'entrée de la fonction de transfert.

15. Le gain de retour :

Edit, Palettes, Linear,  **OK**
Le positionner.

16. Retourner le bloc gain :

Edit, Flip

Cliquer sur le bloc gain.

17. Relier ce gain et la seconde fonction de transfert :

Edit, Link

Cliquer sur la fonction de transfert puis sur l'entrée du gain.

18. Relier le gain et le différentiateur en entrée :

Edit, Link

Cliquer sur le gain puis sur l'entrée '-' du différentiateur.

19. L'oscilloscope :

Edit, Palettes, Sinks,  **OK**
Le positionner.

20. Relier l'entrée de l'oscilloscope :

Edit, Link

Cliquer sur la boucle de retour (sur le fil) puis sur l'entrée (noire) de l'oscilloscope.

21. L'horloge de cadencement :

Edit, Palettes, Sources,  **OK**
Le positionner au dessus de l'oscilloscope.

22. Relier l'horloge à l'oscilloscope :

Edit, Link

Cliquer sur cette horloge puis sur l'entrée (rouge) de l'oscilloscope.

Pour exécuter la simulation, il faut définir les paramètres de chaque bloc:

1. Cliquer sur l'entrée $V(p)$: **Constant** : 48
2. Cliquer sur la première fonction de transfert et entrer : **Denominator (s)** : $0.18*s+1.2$
3. Cliquer sur les gains et entrer : **Gain** : 0.284
4. Cliquer sur l'entrée $Cr(p)$: **Constant** : 0
5. Cliquer sur le second différentiateur et entrer : [-1 ;1]

6. Cliquer sur la seconde fonction de transfert et entrer : **Denominator (s)** : $0.0024*s+0.006$

7. Cliquer sur l'oscilloscope et entrer :

Input ports sizes : 1

Ymin vector : 0

Ymax vector : 250

Refresh period : 2

8. Cliquer sur l'horloge, **Period** : 0.01 ; **Init time** : 0

Pour sauvegarder le fichier cliquer sur :

Diagram → **Save As**

Choisir un nom sans oublier d'y rajouter l'extension **.cos**

Pour exécuter la simulation cliquer sur :

Simulate → **Setup**

Modifier le paramètre **Final integration time** : 2

Ensuite : **Simulate** → **Run**

Un graphe apparaît représentant la réponse à un échelon de la tension de commande de 48V sans couple résistant. Pour imprimer la figure, cliquer sur **Fichier** → **Imprimer** → **Windows**. Si vous avez un problème d'impression, vous pouvez copier la figure dans le presse papier en cliquant sur **Fichier** → **Copier dans le Presse papier** → **Metafile + DIB** ensuite la coller sur World et l'imprimer à partir de World. Une autre solution est d'exporter la figure en cliquant sur **Fichier** → **Exporter**, choisissez alors un nom pour l'image qui sera enregistrée sous le format que vous aurez choisie : (*.bmp ou *.gif par exemple). Utiliser un logiciel comme **Paint** pour charger l'image que vous venez de sauvegarder, mettre en page en format paysage (**Landscape**) puis imprimer.

Travail demandé :

- Ecrire la relation qui lie la vitesse $\Omega(p)$ à la tension de commande $V(p)$ et au couple résistant $C_r(p)$.
- D'après la réponse indicielle obtenue, quelle est la vitesse de rotation du moteur en régime permanent, préciser l'unité. Comparer ce résultat avec celui obtenu théoriquement.
- Modifier votre schéma pour que la vitesse lue sur l'oscilloscope soit donnée en tr/min. Donner alors la vitesse de rotation obtenue dans cette unité.
- Déterminer la valeur du dépassement et le temps de montée à 90%.
- Fixer à présent un couple résistant de 5Nm et relancer la simulation. Modifier si nécessaire les paramètres de l'oscilloscope pour observer correctement l'évolution de la vitesse du moteur en réponse à un échelon de tension de commande toujours égal à 48V.
- Analyser le graphe obtenu pour déterminer la valeur de la vitesse du moteur en régime établi, le dépassement et le temps de montée à 90%.
- Comparer les valeurs obtenues à celles calculées théoriquement (pour $C_r=0$ Nm).

6.3.2 Simulation du fonctionnement du moteur en boucle fermée

Travail demandé :

- Modifier le schéma précédent pour réaliser le schéma suivant :

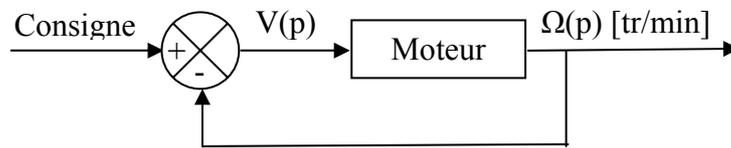


Fig. 3. Le système en B.F.

- Déterminer la relation qui lie la vitesse $\Omega(p)$ exprimée en tr/min à la consigne $C(p)$ et au couple résistant $C_r(p)$.
- Quelle valeur faut-il donner à la consigne pour obtenir une vitesse de sortie du moteur en régime permanent égale à celle obtenue précédemment sans couple résistant. Appliquer cette valeur pour l'échelon mis en consigne, et vérifier que la vitesse de sortie tend bien vers la valeur souhaitée.
- A partir de cette nouvelle réponse à un échelon, déterminer la valeur du dépassement et le temps de montée à 95%. Comparer ces résultats à ceux obtenus précédemment sans couple résistant.
- Fixer un couple résistant de 5 Nm et analyser la nouvelle réponse indicielle pour obtenir la vitesse en régime permanent, le dépassement et le temps de montée à 95%. Comparer vos résultats à ceux obtenus en boucle ouverte.
- Introduire un correcteur proportionnel P dans le schéma précédent (Fig. 3). Trouver la valeur de P pour avoir une réponse satisfaisant :
 - 1- Un dépassement 10%, 20% et 30% pour $C_p=1500$ et $C_r=0$ Nm.
 - 2- Une valeur finale 100, 500 et 1000 tr/min pour $C_p=1500$ et $C_r=5$ Nm.
- En conclusion, donner l'intérêt de faire fonctionner le moteur en boucle fermée.

NB: *Scilab* est téléchargeable sur le site <http://scilabsoft.inria.fr> tandis qu'une description de *Scilab* est donnée sur www.inria.fr/actualites/scilab.fr.html