

# Série 1 (SLCI) - TP 1 : Modéliser, simuler, identifier et vérifier le comportement d'un moteur à courant continu à partir de ses caractéristiques techniques. Application.

## Ecart : système réel - système simulé

Dans les cours C11 et C12, nous avons vu deux modèles de connaissances légèrement différents selon que l'on néglige l'inductance  $L$  ou non du **moteur à courant continu (MCC)** qui est l'un des **actionneurs classiques** des systèmes complexes.

### Les objectifs du TP1 de la série 1 (SLCI) :

En plus de l'utilisation du logiciel de simulation **Xcos** de **Scilab**, à l'issue de ce TP vous avez acquis **les savoirs et compétences** suivantes :

- **Connaître les équations (modèles de connaissances) régissant le comportement d'un moteur à courant continu (MCC)**
- **Modéliser le schéma-bloc et déterminer la fonction de transfert d'un MCC**
- **Identifier un comportement de 1<sup>er</sup> ordre à partir de sa réponse et savoir déterminer sa fonction de transfert et ses coefficients caractéristiques  $K$  et  $\tau$**
- **Identifier un comportement de 2<sup>nd</sup> ordre à partir de sa réponse et savoir déterminer sa fonction de transfert et ses coefficients caractéristiques  $K$ ,  $z$  et  $\omega_0$ .**

**Organisation du groupe** : groupes de 2 étudiants (partager le travail théorique et de simulation)

**Durée** : 2 séances de 2h

Le chemin d'accès aux textes et ressources des TP est :

Démarrer / Ordinateur / Réseau (rechercher Intranet 5) / Intranet5 / Espace de partage / Partages professeurs pour élèves / S.I.I / TP MPSI 1-2 / Série1 SLCI/ TP1

## 1. Modélisation du moteur à courant continu

Le fonctionnement d'un moteur à courant continu est modélisé par le système d'équations suivant :

<p>L'analyse de la partie électrique permet d'obtenir les équations suivantes :</p> $R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + e(t) = u_m(t) \quad \textcircled{1}$ $u_c(t) = u_m(t) - e(t) \quad \textcircled{2}$	<p>L'analyse de la partie mécanique de la chaîne d'action permet d'obtenir l'équation suivante :</p> $J_{eq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t) + c_r(t) - f \omega_m(t) \quad \textcircled{3}$
<p>Les équations de couplage reliant les grandeurs mécaniques et électriques sont données ci-après :</p> $c_m(t) = K_i \cdot i(t) \quad \textcircled{4}$ $e(t) = K_e \cdot \omega_m(t) \quad \textcircled{5}$	

**Série 1 (SLCI) - TP 1 : Modéliser, simuler, identifier et vérifier le comportement d'un moteur à courant continu à partir de ses caractéristiques techniques. Application.**

Avec :

- $u_m(t)$  : tension d'alimentation de l'induit ;
- $i(t)$  : courant d'induit ;
- $e(t)$  : tension correspondant à la force contre électromotrice ;
- $c_m(t)$  : couple moteur ;
- $c_r(t)$  : couple résistant du récepteur ;
- $\theta(t), \omega(t)$  : position et vitesse de rotation angulaires de l'arbre moteur ;

Caractéristiques électriques du moteur :

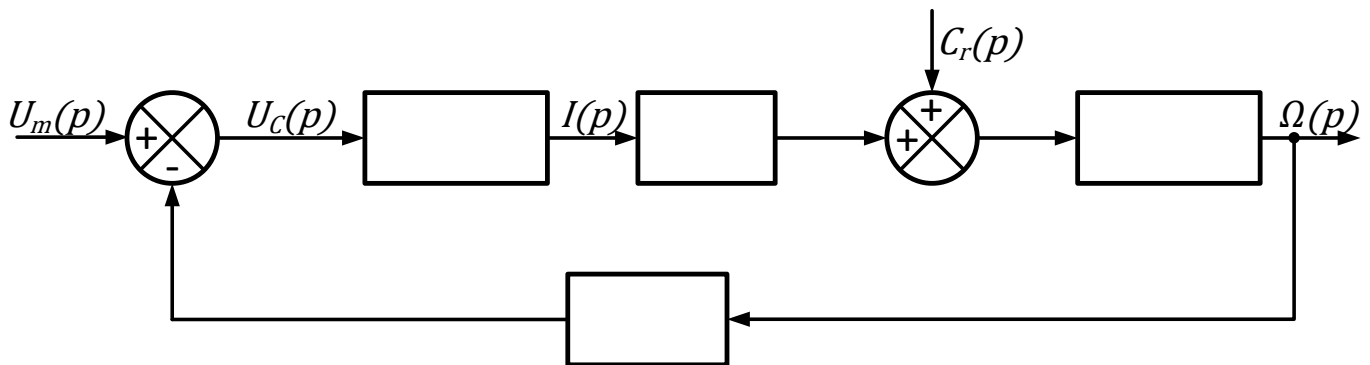
- $R$  résistance de l'induit  $R$  en ohm ( $\Omega$ ) ;
- $L$  inductance de l'induit :  $L$  en Henry ( $H$ ) ;
- $K_i$  : constante de couple  $K_i$  en  $N.m.A^{-1}$  ;
- $K_e$  : constante de force contre-électromotrice (en  $V.s.rad^{-1}$ ).

Caractéristiques mécaniques du moteur :

- $J_{eq}$  : moment d'inertie de la partie mécanique (moteur, réducteur etc.)  $J_{eq}$  en  $kg.m^2$  ;
- $f$  : coefficient de frottement visqueux : en  $N.m.s.rad^{-1}$ .

Q1.1. Passer les 5 équations précédentes dans le domaine de Laplace.

Q1.2. En combinant les 5 blocs élémentaires précédents, compléter le schéma bloc ci-dessous.



Q1.3. Donner  $\Omega_m(p) = H_1(p).U_m(p) + H_2(p).C_r(p)$ . Vous écrirez les  $H_i(p)$  sous forme canonique.

## 2. Simulation-Vérification-Ecarts

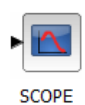
A partir du document technique (Data sheet) du Dc mind Brush motor 89 810 003, on demande :

Q2.1. Identifier la dénomination anglo-saxonne et la valeur numérique des constantes apparaissant dans les différentes équations données ci-dessus.

Q2.2. En s'aidant de la ressource « **Scilab Xcos pour débuter** », dessiner le schéma modélisant ce moteur.

Pour le tracé de  $\omega_m(t)$ , dans le sous-menu **Sortie**, vous utiliserez les deux blocs ci-dessous :

Par ailleurs, un double clic sur le module **Time** donne accès à différents paramètres de la simulation.



Q2.3. Simuler le comportement pour une entrée en échelon (module **Entrées**) de tension de 48 V et un couple (torque) résistant correspondant au frottement sec (dry friction) du moteur (At no load).

Q2.4. La valeur asymptotique est-elle cohérente ?

Q2.5. Simuler le comportement pour une entrée en échelon de tension de 48 V en un couple résistant correspondant au rendement maxi (At max efficiency).

Q2.6. La valeur asymptotique est-elle cohérente ?

Q2.7. Vérifier pour ce cas, en ajoutant un bloc sur votre modélisation, la valeur proposée pour l'intensité  $i$ .

### 3. Identification-Fonction de transfert $H_1(p)$ (Poursuite, $C_r = 0$ N.m)

Q3.1. A partir de la courbe de réponse, justifier l'existence d'un pôle dominant.

Q3.2. Le système a alors un comportement sensiblement de 1<sup>er</sup> ordre. Donner  $H_{\text{éq1er}}(p)$  par simplification de  $H_1(p)$  en évaluant les termes du dénominateur. Calculer  $K$  et  $\tau$  à partir de  $H_{\text{éq1er}}(p)$  et les comparer avec les valeurs lues sur le tracé **Scilab**.

Q3.3. Cependant, le système étant du 2<sup>nd</sup> ordre (faire un zoom pour visualiser la pente à l'origine). Grâce à la courbe de la question Q1.3 calculer (si possible) la valeur des coefficients caractéristiques ( $K$ ,  $z$  et  $\omega_0$ ).

Q3.4. Déterminer, à partir des abaques, la valeur du temps de réponse à 5 % et de  $D_1$ .

### 4. Influence du couple résistant et de l'inertie sur la vitesse de rotation du moteur : Nécessité d'un asservissement

L'assemblage d'un moteur avec l'élément qu'il est chargé d'entraîner (le récepteur) conduit à une augmentation de l'inertie  $J_{eq}$  de l'ensemble. Par ailleurs, le couple résistant subi par l'ensemble et généralement modifié.

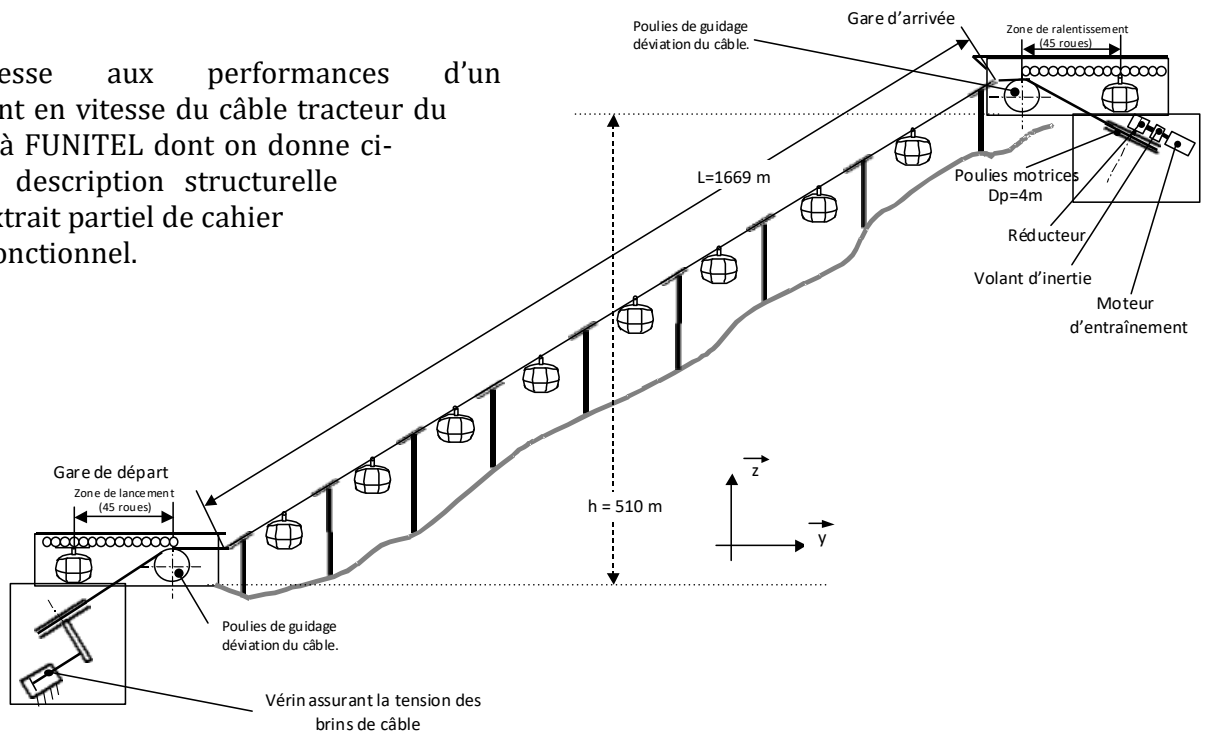
Dans **Xcos**, le module **PARAM. VAR** dans le module **Analyses** de **CPGE** permet de tracer des courbes pour différentes valeurs d'un paramètre.

Q4.1 Faire la simulation pour  $J_{eq} = [75.10^{-7} \quad 225.10^{-6}]$  et  $C_r = [-0.003 \quad -0.040]$ .

On voit que la vitesse de rotation du moteur et son temps de réponse est affecté par  $J_{eq}$  et  $C_r$ . Cela est dû au fait que la tension d'alimentation est constante. Il faut y remédier car cette situation n'est pas forcément acceptable dans une installation industrielle. On développe alors des asservissements de vitesse afin d'adapter la tension d'alimentation du moteur pour maîtriser sa vitesse.

## 5. Application-Prévoir les performances d'un système

On s'intéresse aux performances d'un asservissement en vitesse du câble tracteur du téléphérique à FUNITEL dont on donne ci-dessous une description structurale ainsi qu'un extrait partiel de cahier des charges fonctionnel.



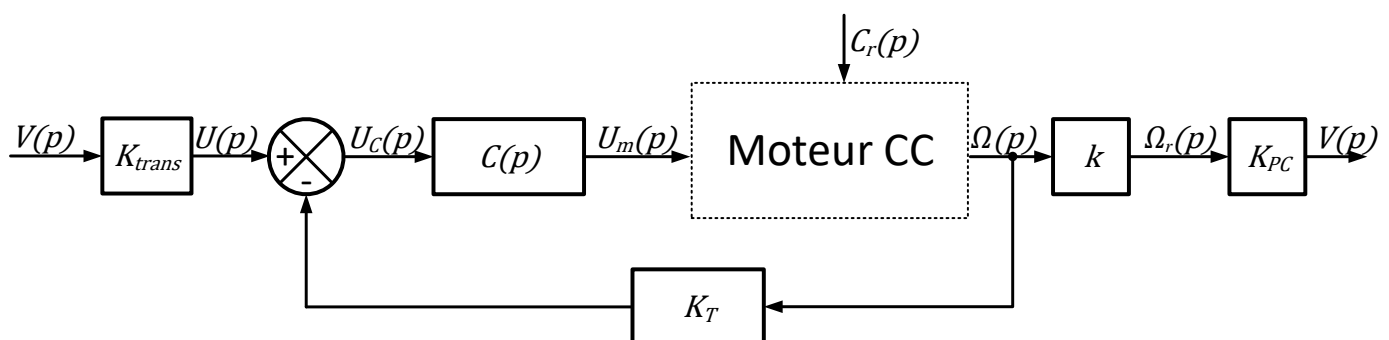
Caractéristiques électriques du moteur :

- $R$  résistance de l'induit  $R = 0,099 \text{ ohms}$ ;
- $L$  inductance de l'induit :  $L = 0,115 \text{ mH}$ ;
- $K_i$  : constante de couple  $K_i = 2,5 \text{ N.m.A}^{-1}$ ;
- $K_e$  : constante de force contre-électromotrice  $e(t) = 256 \text{ V}$  pour  $\omega(t) = 1\,000 \text{ tr.min}^{-1}$ .

Caractéristiques mécaniques du moteur :

- $J_{eq}$  : moment d'inertie de la partie mécanique (moteur, réducteur etc.)  $J_{eq} = 420 \text{ kg.m}^2$ ;
- $f$  : coefficient de frottement visqueux :  $f = 4,8 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$ .

L'asservissement en vitesse s'effectue grâce à la structure décrite ci-dessous :



- Le bloc de fonction de transfert  $C(p)$  correspond au correcteur  $C(p) = K_c$
- Le gain  $K_T$  correspond au gain de la génératrice tachymétrique montée sur l'axe du moteur.  $K_T = 0,3 \text{ V.rad.s}^{-1}$
- Le gain  $K_{trans}$  (à déterminer en 0) correspond au transducteur.
- Le gain  $k$  correspond à la réduction de vitesse du réducteur placé en aval du moteur.
- Le gain  $K_{PC}$  permet de convertir la vitesse de rotation en sortie du réducteur  $\omega_r(t)$  en vitesse de déplacement du câble du téléphérique  $v(t)$ . Le diamètre de la poulie est  $D = 4 \text{ m}$ .

Le rapport de réduction  $k = 0,02$  et  $K_{pC} = 2$  de sorte que les cabines se déplacent à la vitesse normale de  $v_{nom} = 7,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  lorsque le moteur tourne à sa fréquence de rotation nominale  $\omega_{nom} = 1\,700 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Q5.1. Créer un super-bloc à partir du schéma du MMC avec  $U_m$  en entrée du super-bloc et  $\Omega_m$  en sortie, le copier, ouvrir une nouvelle fenêtre d'édition, coller le Super-bloc.

Q5.2. Compléter ce nouveau modèle **Xcos** correspondant à l'asservissement de vitesse.

Q5.3. Déterminer le gain  $K_{trans}$  pour que l'écart  $\varepsilon$  soit nul lorsque  $V = V_C$ .

Q5.4. Faire des simulations numériques avec les valeurs  $K_c$  suivantes : [1; 10; 100]. Qu'observez-vous ? Pour chaque valeur de  $K_c$  relever l'erreur statique  $e_{rstat} = V(\infty) - V_C$  et le temps de réponse  $t_{5\%}$ . Quelle est l'influence de  $K_c$  sur la précision, la rapidité ?

Q5.5. Remplacer  $K_c$  par  $K_c/p$ . Que dire de la rapidité ? de la précision ?