EPU ELEC3 – Automatique

TD4
Modélisation d'un moteur à courant continu
Asservissement de vitesse

1 Modélisation

Un moteur électrique est un convertisseur d'énergie. Il consomme de l'énergie électrique $u(t)i(t)$ et il fournit de l'énergie mécanique $C_m(t)\omega(t)$.

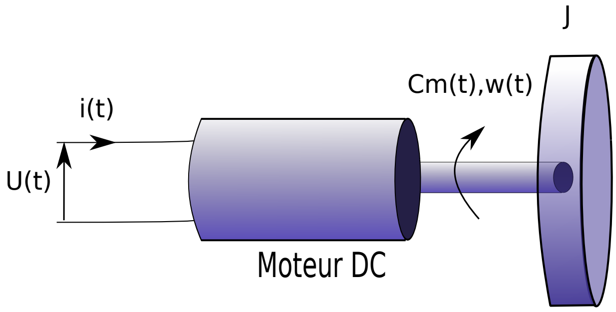


Figure 1 – Moteur DC et Charge

Le fonctionnement est décrit par les équations suivantes :

$$u(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} + E_m(t) \qquad J\frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$$

$$C_m(t) = K_c i(t) \qquad E_m(t) = K_c\omega(t)$$

$C_r(t)$ représente les couples résistants présents et J le moment d'inertie de la charge.

1. Vérifier que le montage Xcos suivant correspond aux équations précédentes

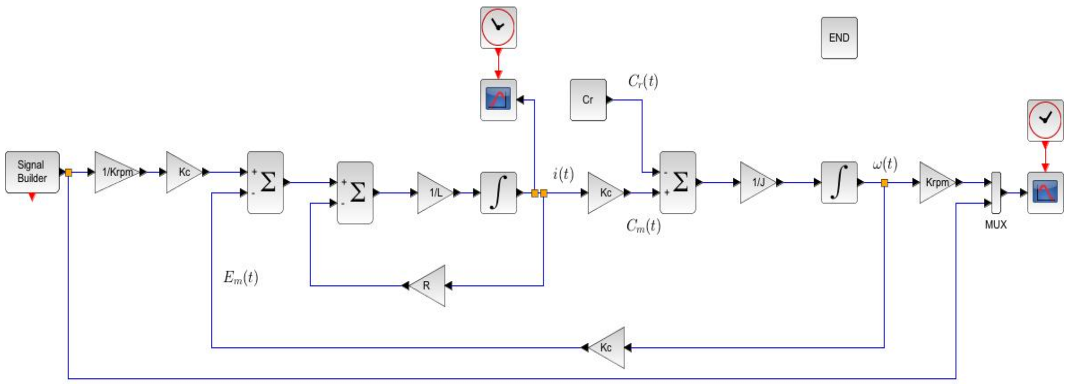


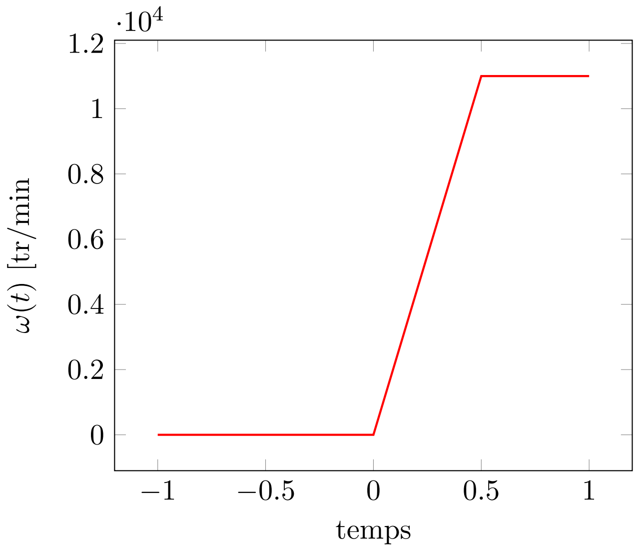
FIGURE 2 – Montage Xcos

La consigne est une vitesse exprimée en tr/min. Elle est construite en utilisant le bloc `Signal Builder` qui se trouve dans la palette `Sources`. Consulter l'aide pour sa paramétrisation.
Le contexte est basée sur la documentation technique du moteur (voir annexe)

```
R=0.8;
L=400E-6;
Kc=20.52E-3;
J=180E-7;
Cr=9.23E-3;
Krpm=60/(2*%pi); // conversion tour/min rad/sec
Kd=0.001;
G=1;
Ts=1;
```

2 Utilisation en boucle ouverte

1. Faire une simulation en mettant en consigne un échelon de vitesse de 0 à 11000 [tr/min]. Visualiser l'évolution de la vitesse $\omega(t)$ et du courant $i(t)$. Commenter les résultats. Que pensez-vous des valeurs atteintes par le courant ?
2. Dans la documentation du moteur le couple maximum est de $C_{max} = 42.68\,10^{-3}$ Nm. En utilisant la relation $J\frac{d\omega(t)}{dt} = C_m$ calculer le temps nécessaire au moteur pour passer de 0 tr/min à 11000 tr/min avec le couple maximum.
   Ainsi pour limiter le couple et donc le courant on va utiliser une consigne trapézoïdale avec une pente égale à l'accélération maximale préconisée :



Faire une simulation pour vérifier que la valeur du courant est maintenant inférieure à 2.833A valeur maximale admissible (cf documentation du moteur).
Le temps trouvé dépend il de la charge ?

3. Déterminer la forme de la fonction de transfert $M_\Omega(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$ en supposant que $C_r = 0$. Donner ses caractéristiques (gain statique, pulsation propre et facteur d'amortissement) en fonction des éléments présents dans la modélisation.
   Faire les applications numériques pour le moteur à vide et le moteur entrainant une charge dont le moment d'inertie est 9 fois supérieur à celui du rotor du moteur.
4. Montrer que l'on peut écrire
   $$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{1 + \tau_m p + \tau_m \tau_e p^2}$$
   avec $\tau_m = RJ/K_c^2$ constante de temps mécanique et $\tau_e = L/R$ constante de temps électrique.
   Déterminer la pulsation propre et le facteur d'amortissement en fonction de τ_m et τ_e.
   Faire les applications numériques pour le moteur à vide puis chargé.
5. Quelles approximations doit-on faire pour pouvoir écrire
   $$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)(1 + \tau_e p)}$$
   Peut-on les faire avec ce moteur ?
6. En utilisant la commande `csim` de Scilab comparer les réponses indicielles des trois fonc-

tions de transfert suivantes :

$$M_1(p) = \frac{K_m}{1 + \tau_m p + \tau_m \tau_e p^2}$$
$$M_2(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)(1 + \tau_e p)}$$
$$M_3(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)}$$

On le fera pour le moteur à vide et pour le moteur chargé. Que peut-on en conclure ?

7. Supposons maintenant que $C_r \neq 0$. Donner l'expression de la vitesse $\Omega(p)$ en fonction de $U(p)$ et de $C_r(p)$

3 Boucle de vitesse

On utilise un capteur de vitesse dont le gain est $K_d = 0.001$ V/tr/min soit 1 V pour 1000tr/min. Pour la simulation on utilisera le montage suivant :

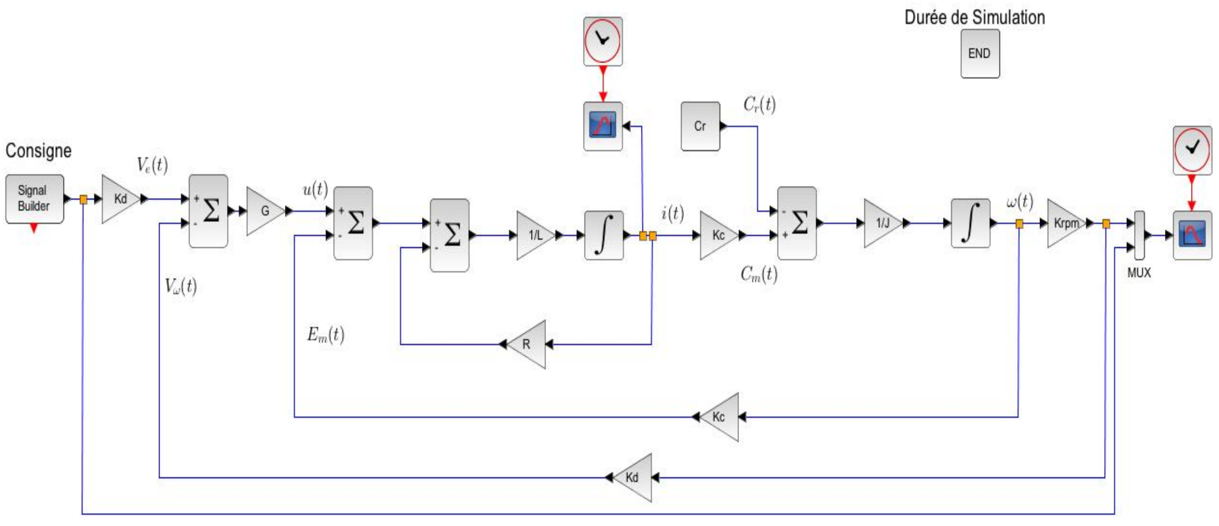


FIGURE 3 – Montage Xcos

et pour la théorie on supposera que $C_r = 0$.

1. Calculer théoriquement l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $V_\omega(p)/V_e(p)$ en utilisant le modèle $M_1(p)$. En déduire son gain statique, sa pulsation propre et son facteur d'amortissement en fonction de G.
2. Calculer le gain G donnant une erreur de position normalisée ou relative de 1%. Pour cette valeur calculer la pulsation propre ω_0 et le coefficient d'amortissement z en boucle fermée.

Que peut-on en conclure sur la forme de transitoire ? En utilisant les commandes Scilab `evans` et `sgrid(z,w0)` retrouver graphiquement la valeur du gain.
Que peut-on en conclure sur le dilemme précision - dépassement ?

3. Faites une simulation et vérifier les performances. Que penser du courant ? Comment peut-on faire pour limiter sa valeur ?
4. On décide d'utiliser un correcteur intégral $C(p) = \frac{1}{p}$ en cascade avec le gain G. Que devient alors l'erreur de position ? On veut en boucle fermée un coefficient d'amortissement de 0.7. Tracer le lieu d'Evans et trouver graphiquement la valeur de G adéquate.
5. Faites une simulation après avoir ajouté un intégrateur. Mesurer le dépassement. Est-il correct ? Que penser de la rapidité ? Que penser du courant ?
6. On décide d'utiliser un correcteur proportionnel-intégral $C(p) = \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$ en cascade avec le gain G. Que devient alors l'erreur de position ?
Expliquer pourquoi il semble judicieux de prendre $\tau_i = \tau_m$?
On veut en boucle fermée un coefficient d'amortissement de 1. Tracer le lieu d'Evans et trouver graphiquement la valeur de G adéquate.
7. Faites une simulation après avoir ajouté le correcteur proportionnel-intégral (utiliser le bloc `CLR` présent dans la palette `Systèmes à temps continu`).
La réponse indicielle est-elle correcte ?

NEW

Micro-Drives

DC-Micromotor

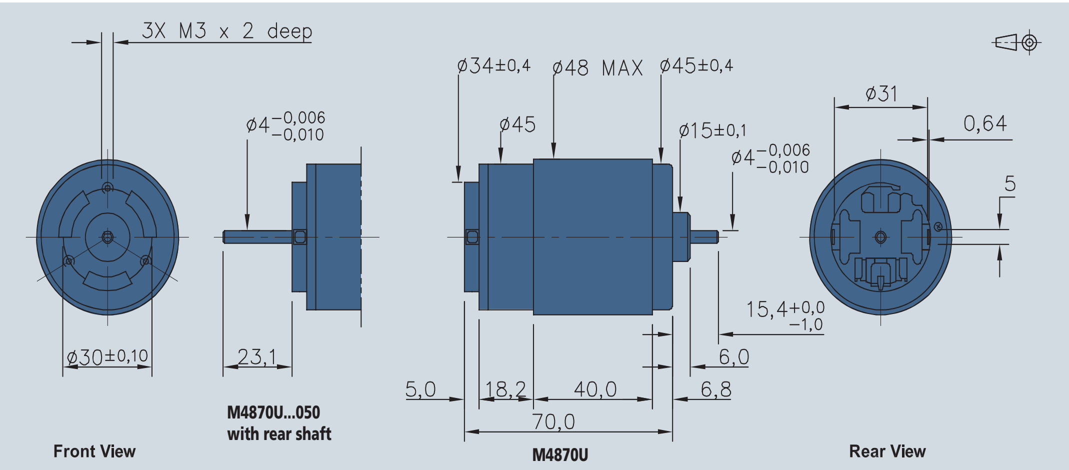
42,7 mNm

Graphite Commutation

For combination with:
Gearheads:
M42P
Encoders:
E4P-300

Series M4870U

		M4870U		24GB	
1	Nominal voltage	U_N		24	Volt
2	Winding resistance	R	±15%	0,80	Ω
3	Output power	$P_{2\ max.}$		174,64	W
4	Efficiency	$\eta_{\ max.}$		77	%
5	No-load speed	n_o	±10%	11 000	rpm
6	No-load current max.	I_o	±50%	0,45	A
7	Stall torque	M_H		615,67	mNm
8	Friction torque	M_R		9,24	mNm
9	Speed constant	k_n		465	rpm/V
10	Back-EMF constant	k_E		2,15	mV/rpm
11	Torque constant	k_M		20,52	mNm/A
12	Current constant	k_I		0,049	A/mNm
13	Slope of n-M curve	$\Delta n/\Delta M$		18	rpm/mNm
14	Rotor inductance	L		400	µH
15	Mechanical time constant	τ_m		34	ms
16	Rotor inertia	J		180	gcm^2
17	Angular acceleration	$\alpha_{\ max.}$		34	$\cdot 10^3 rad/s^2$
18	Thermal resistance	$R_{th\ 1}$ / $R_{th\ 2}$	6,3 / 7,3		°C/W
19	Thermal time constant	τ_{w1} / τ_{w2}	720 / 1 320		s
20	Operating temperature range:				
	– motor		– 10 to + 50		°C
	– rotor, max. permissible		+ 155		°C
21	Shaft bearing		ball bearings		
22	Shaft load max.:				
	– with shaft diameter		4		mm
	– radial at 3 000 rpm (3 mm from bearing)		8,8		N
	– axial at 3 000 rpm		785		N
	– axial at standstill (shaft supported)		2		N
23	Shaft play				
	– radial (13 mm from motor face)	≤	0,04		mm
	– axial	≤	0,05 to 0,5		mm
24	Housing material		steel, zinc plating (chrome free)		
25	Weight		370		g
26	Direction of rotation		counter clockwise, viewed from the front face		
27	Speed up to	$n_{e\ max.}$		11 000	rpm
28	Torque up to	$M_{e\ max.}$		42,680	mNm
29	Current up to (thermal limits)	$I_{e\ max.}$		2,833	A



For notes on technical data and lifetime performance refer to "Technical Information".
Edition 24.07.2007

Specifications subject to change without notice
www.micro-drives.com

Figure 4 – Annexe