

TP d'initiation à Scilab – Étude du Scoot'Elec

Secteur d'activité du système étudié : Déplacement urbain

Thème : Analyse de la structure, des performances et modélisation des SLCI

Problème technique : Justifier le choix de la motorisation électrique pour atteindre les performances indiquées dans le cahier des charges.

Objectif : Le but de ce TP est de progresser dans l'utilisation du logiciel Scilab et de son extension Xcos pour la simulation des systèmes à temps continu. La démarche adoptée est suffisamment progressive afin que tous les points soient clairement acquis pour les prochaines séances de TP.

Le travail est à faire en **autonomie** car cette démarche d'utilisation d'un logiciel de simulation par blocs (ici **Scilab** mais il en existe beaucoup d'autres du même type) fait partie intégrante de la formation scientifique d'un futur ingénieur.

1 Mise en situation

1.1 Problème technique

Le Scoot-élec de Peugeot (en vente entre 2010 et 2016, mais retiré du marché suite à l'arrivée sur le marché de versions bien moins onéreuses, et moins qualitatives bien évidemment, fabriquées en Chine) a approximativement les mêmes performances qu'un scooter thermique de moins de 50 cm³... mais sans pollution locale¹.

En usage urbain, il offre de nombreux avantages et peu d'inconvénients car :

- de par sa petite taille, il s'intègre facilement dans le trafic ;
- la puissance progressive de son moteur permet une conduite souple, fluide et sans à-coups ;
- son entretien est réduit (pas de vidange, fiabilité maximale du moteur électrique) ;
- sa consommation est faible, ce qui le rend très économique (moins de 1 € pour 100 km) ;
- l'engin, silencieux et propre, est nerveux, véloce, et maniable.

La Figure 1 montre les différents éléments du scooter.

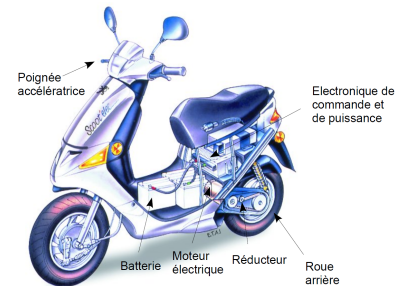


FIGURE 1 – Structure du Scoot'élec

1.2 Travaux à réaliser

Les travaux à réaliser lors de cette séance de TP sont :

- de proposer un modèle de connaissance (soit établi à partir d'équations physiques) de chaque composant du scooter intervenant pour la fonction principale ;
- de simuler la réponse du système par un logiciel dédié (Scilab / Xcos) ;
- de vérifier les performances définies dans le cahier des charges.

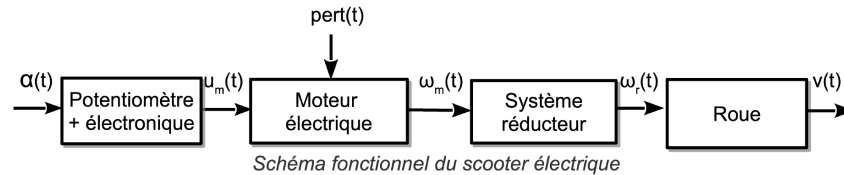
Exigences	Critères	Valeurs
Le scooter doit permettre le déplacement du conducteur par rapport à la route	Vitesse	45 km/h
	Accélération	100 m départ arrêté en 12 s 10 m départ arrêté en 3,5 s
	Masse transportée Hauteur de selle	90 kg maximum 780 mm $\pm$ 5 %
Le scooter doit être alimenté en énergie	Autonomie	1 h à vitesse maximale 1 h 30 en utilisation urbaine
	Charge	220 V – 7 A maximum
	Temps de charge	5 h
Le scooter doit respecter la réglementation du pays où il est vendu	Vitesse maximale	45 km/h (loi française)
	Nuisance sonore	Inférieure à 50 dB
	Recyclage	> 80 %
Le scooter doit s'adapter à la route	Encombrement	L x l x h = 1,74 m x 0,7 m x 1,14 m

2 Modélisation du scooter

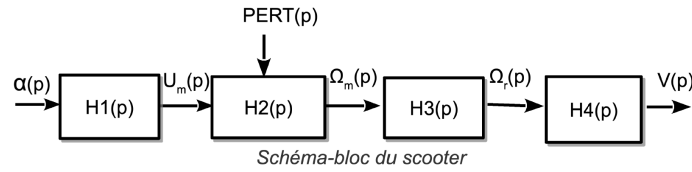
2.1 Schéma fonctionnel et modélisation par schéma-bloc

Le schéma fonctionnel ci-dessous établit la structure de commande du scooter électrique en définissant les composants permettant de passer de l'angle de consigne $\alpha(t)$ donné au niveau de la poignée accélératrice à la vitesse de déplacement du scooter $v(t)$ (déplacement en translation). On note $pert(t)$ les perturbations qui peuvent modifier la vitesse du scooter (elles sont ramenées au niveau du moteur).

1. la quantification de la pollution due à la production d'électricité, à son transport ainsi qu'à son stockage sur batterie est un autre problème.



À partir du schéma fonctionnel, on peut ainsi établir un schéma-bloc en définissant des fonctions de transfert pour chaque composant.



2.2 Fonctions de transfert du schéma-bloc précédent

2.2.1 Modèle de la commande

On constate expérimentalement que, dans la plage d'évolution du système, $u_m(t) = K_1 \alpha(t)$. L'ensemble délivre une tension maximale de 12 V pour un angle de consigne de 90° .

Q 1. Calculer la valeur numérique du gain K_1 et en déduire la fonction de transfert $H1(p)$.

2.2.2 Modèle du système réducteur

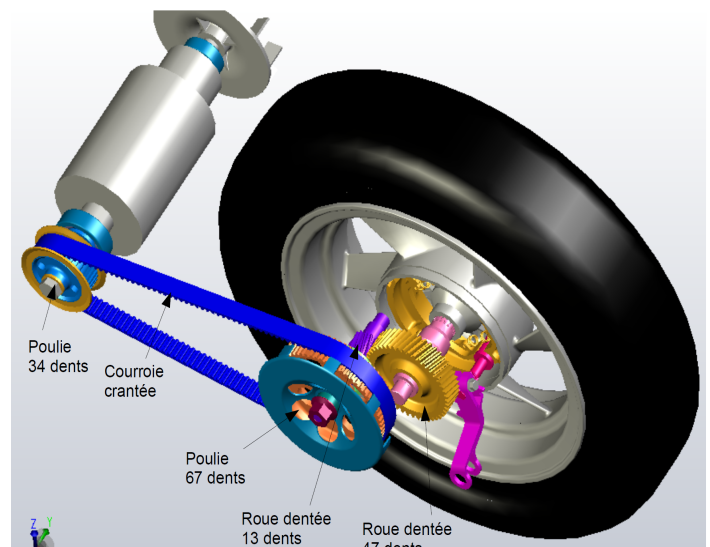
Le système réducteur (transmetteur de la chaîne fonctionnelle) est constitué par la mise en série d'un ensemble poulies / courroie et d'un engrenage cylindrique, comme représenté sur la figure ci-contre.

Les poulies possèdent respectivement 67 dents et 34 dents. L'engrenage est constitué de deux roues dentées de 13 et 47 dents et on note $\omega_m(t)$ la vitesse angulaire du moteur, $\omega_r(t)$ la vitesse angulaire de la roue et $\omega_p(t)$ la vitesse de la poulie intermédiaire.

Q 2. Il est possible de montrer que $\omega_r(t) = k \omega_m(t)$ avec $k = \frac{34}{67} \times \frac{13}{47}$. En déduire la fonction de transfert $H3(p)$.

2.2.3 Modélisation de la roue

Q 3. Le rayon R de la roue en contact avec le sol est de 21 cm. Déterminer une relation entre la vitesse $v(t)$ et la vitesse de rotation $\omega_r(t)$ en précisant l'hypothèse utilisée (on supposera que $v > 0$ quand $\omega_r > 0$). En déduire la fonction de transfert $H4(p)$.



Description du réducteur (transmetteur de puissance)

2.2.4 Modélisation du moteur

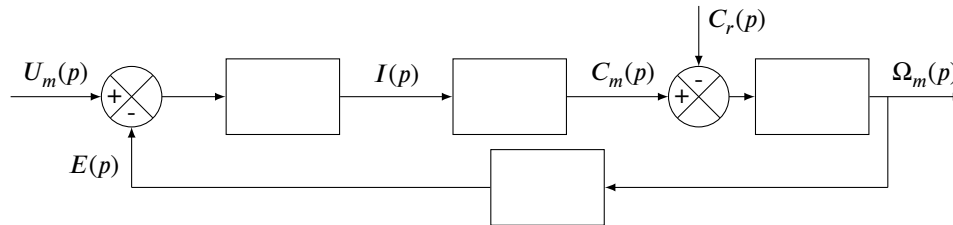
Les quatre équations qui caractérisent un moteur à courant continu correspondent de manière générale à :

- Équation électrique (modélisation par circuit R-L) : $u_m(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$
- Équation mécanique (théorème de l'énergie cinétique à tout le scooter) : $J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t) - c_r(t)$
- Équations de couplage magnétique : $c_m(t) = k_c i(t)$ et $e(t) = k_e \omega_m(t)$

avec $u_m(t)$ la tension d'alimentation, $i(t)$ le courant circulant dans le moteur, $c_m(t)$ le couple fourni par le moteur, $c_r(t)$ le couple résistant ramené sur l'arbre moteur, $\omega_m(t)$ la vitesse de rotation du moteur et J_{eq} , L , R , k_c et k_e les constantes caractéristiques du moteur, dont les valeurs sont :

R	k_e	k_c	L	J_{eq}
0,0052 Ω	0,028 V.s/rad	0,024 Nm/A	0,01 mH	0,18 kg.m ²

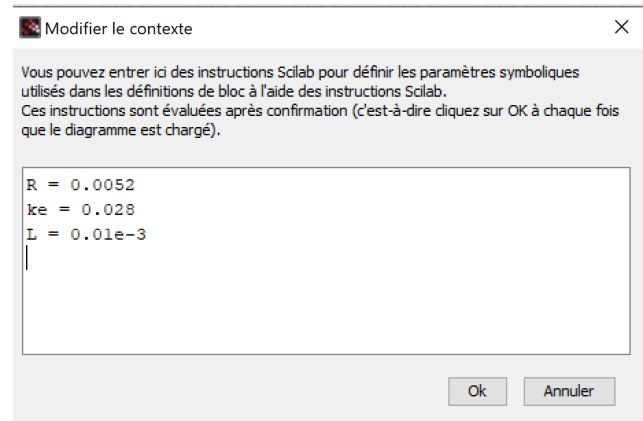
Q 4. En supposant que les conditions initiales sont nulles, transformer les quatre équations temporelles précédentes dans le domaine symbolique de Laplace. Recopier sur feuille et compléter le schéma-bloc suivant d'entrées $U_m(p)$ et $C_r(p)$ et de sortie $\Omega_m(p)$.



Q 5. Est-ce que le Scoot'élec est un système asservi ? Justifier.

Q 6. Lancer le logiciel Scilab. Taper `xcos` dans la console. Deux fenêtres vont s'ouvrir. Dans la fenêtre 'Sans titre', cliquer sur 'Simulation' et choisir 'Modifier le contexte'.

Entrer alors les valeurs numériques données ou calculées et valider. Un exemple de notation est fourni sur la figure ci-contre.

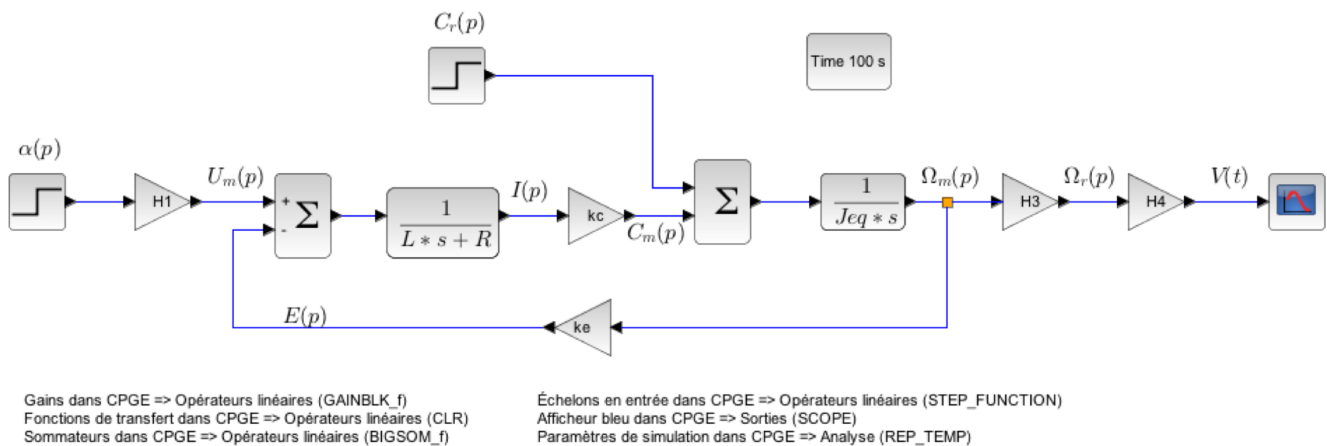


Il faut maintenant ajouter les blocs en les faisant glisser depuis la fenêtre 'Navigateur de Palettes' et les relier entre eux. Dans le navigateur de palettes, vous veillerez à choisir les blocs dans le dossier CPGE uniquement.

Vous noterez que la variable de Laplace est "s".

Il faut aussi mettre un 'scope' à une entrée pour visualiser la vitesse et un bloc de temps pour les paramètres de simulation.

Finalement, le schéma-bloc réalisé sur Scilab devrait ressembler à celui de la figure suivante.



Quelques conseils :

- Double-cliquer sur les blocs pour entrer les expressions.
- Pour inverser / pivoter / inverser le sens d'un composant, il suffit de cliquer droit sur le bloc, puis sélectionner Format / Miroir ou Format / Pivoter ou Format / Retourner (ou Ctrl + M, Ctrl +R ou Ctrl + F).
- Pour modifier les opérations d'addition / soustraction d'un soustracteur, cliquer deux fois sur le bloc et choisir les signes dans la case 'Number of inputs of sign vector' ([-1,1] pour un comparateur par exemple).

3 Vérification des performances du Scoot-élec

3.1 Cas sans perturbation

Pour vérifier les performances du Scooter, on suppose dans un 1er temps que les perturbations sont négligeables.

On applique en entrée un échelon d'angle de $\alpha = 90^\circ$ (on accélère à fond très rapidement, ce qui n'est pas très crédible au vu de la structure du système réel) et un échelon d'amplitude nulle sur le couple résistant.

Q 7. Donner une amplitude de 90 pour l'entrée α (angle de la poignée, en degré) et une amplitude de 0 pour le couple C_r (couple résistant, en N.m) à l'instant $t = 0$. Lancer une simulation en choisissant une durée de simulation de 12 s et 500 points (pour cela, double cliquer sur le bloc REP_TEMP qui affiche par défaut une valeur de 100) : vérifier alors la performance de vitesse maximale définie dans le cahier des charges.

Q 8. Quelle est la relation entre la vitesse $v(t)$ et la position $x(t)$? Modifier le schéma de façon à afficher cette position (il faut également rajouter un afficheur, ou SCOPE). Lancer la simulation et vérifier les performances d'accélération définies dans le cahier des charges.

Q 9. Visualiser l'évolution du courant (il faut rajouter un afficheur SCOPE au bon endroit) et commenter l'allure de la courbe obtenue.

Q 10. Modifier l'entrée pour prendre en compte une variation plus continue de l'entrée : pour cela, enlever l'échelon puis mettre à la place le bloc TRAPEZOID (situé dans CPGE => Entrée) et modifier les paramètres pour atteindre de manière régulière un angle de pivotement de la poignée de 90° en 1 s et le maintenir ensuite pendant la durée de la simulation. Est-ce que le problème identifié précédemment est réglé? Quel impact ce départ "en douceur" a-t-il eu sur les performances en terme d'accélération? Quelle solution pourriez-vous proposer pour protéger le moteur?

3.2 Cas avec perturbations

Les perturbations sur le modèle, modélisées par le couple $c_r(t)$ au niveau du moteur, peuvent être de nature différente, entre autres les suivantes :

- couple de frottement sec entre la roue et le sol : c_{rs}
- couple de frottement visqueux dû à la lubrification des paliers : c_{rv}
- couple dû à la pesanteur lors d'une montée (ou une descente) : c_{rp}
- action du vent
- etc.

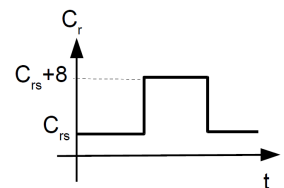
La prise en compte de ces perturbations peut très simplement être intégrée au modèle dans le schéma-bloc.

On suppose dans un premier temps que seul le frottement sec est pris en compte : on estime à $f_s = 0.8$ le facteur de frottement de la roue sur le sol, on considérera que : $c_{rs} = 4.8$ N.m.

Q 11. Modifier la valeur de l'échelon de couple C_r et lancer une nouvelle simulation. Observer les évolutions de la vitesse, de la position et du courant. Commenter l'influence du couple résistant sur les performances du scooter.

On applique maintenant un couple résistant de la forme ci-contre.

Q 12. Après avoir indiqué quelle situation peut être modélisée par ce signal, analyser la réponse de ce système à une telle perturbation à l'instant $t = 3$ s et sur une durée de 1 s et conclure sur les performances en robustesse de ce système.



Q 13. Analyser la réponse du système à une perturbation sinusoïdale d'amplitude 1 N.m et de fréquence 0.1 Hz autour de la valeur 3 N.m. Quelle situation est modélisée par cette étude?

3.3 Utilisation d'une boucle de courant

Mettre systématiquement en place un asservissement (ici, de vitesse ou de position) en cas de non respect des performances peut être contreproductif sur les performances et, dans le cas présent, à proscrire car très dangereux pour le pilote du scooter qui doit toujours conserver la maîtrise de son véhicule.

Par contre, dans ce type de système électrique, il est généralement intéressant de mettre en place une « boucle de courant » pour protéger le moteur : cela permet en effet de « lisser » les pics de courant qu'on a identifiés précédemment et qui peuvent avoir un effet très négatif sur la durée de vie du moteur électrique.

Q 14. Mettre en place une boucle de courant utilisant un capteur de courant de gain unitaire, une soustraction entre la sortie du bloc H1 et le retour de courant suivi d'un correcteur $C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$ pilotant la tension du moteur.

Q 15. On se place dans le cas sans perturbation ($C_r(p) = 0$) afin de comprendre les effets de la boucle de courant dans un contexte simplifié, analyser les effets de la correction Proportionnelle seule ($K_i = 0$), de la correction Intégrale seule ($K_p = 0$) et de la correction PI complète ($K_p \neq 0$ et $K_i \neq 0$) sur l'évolution du courant consommé dans le moteur.