TRAVAUX PRATIQUES S2I

Validation du dimensionnement en effort du moteur lors de la sollicitation en trapèze de position

Modélisation
Validation du dimensionnement

COMPETENCES VISEES

- Réaliser un schéma cinématique
- Déterminer la loi entrée - sortie géométrique d'une chaine cinématique
- Associer un modèle aux composants d'une chaine d'énergie
- Déterminer l'énergie cinétique d'un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport à un autre solide
- Déterminer la puissance des actions mécaniques extérieures et intérieures à un ensemble de solides, dans son mouvement rapport à un autre solide
- Associer un modèle à une action mécanique
- Déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre
- Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système

PRE-REQUIS

- Schéma cinématique
- Energie cinétique
- Inertie équivalente
- Puissances des actions mécaniques extérieures et intérieures
- Actions mécaniques : lois de Coulomb, adhérence et glissement, résistance au roulement et au pivotement
- Équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides
- Loi en trapèze de vitesse

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Premier semestre, Deuxième année

SUJET DU TP

- Elaboration du modèle dynamique du CoMax
- Modélisation du frottement de l'axe, utilisation des lois de Coulomb
- Validation du modèle de simulation de l'asservissement de courant
- Détermination des caractéristiques de la consigne en trapèze des vitesses
- Validation du modèle de simulation de l'asservissement en position
- Utilisation du modèle de simulation pour valider le choix du moteur en dynamique

MATERIEL MIS EN OEUVRE

- Bras de Robot collaboratif CoMax ;
- Interface IHM du bras CoMax ;
- EMP CoMax
- Logiciel Scilab

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une partie d'un robot collaboratif. Ayant des domaines d'application très variés d'assistance à l'humain (domaine d'assistance à la personne, domaine médical), le contexte d'utilisation est ici le domaine manufacturier. Ce type d'équipement permet d'assister l'humain dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort répétitif pendant le travail. Le robot collaboratif est commandé de manière continue et intuitive par l'utilisateur ; pour cette raison, il est dit collaboratif puisque l'humain se trouve déchargé des efforts dans sa tâche. Cette solution limite les risques des Troubles Musculo Squelettiques (maladies TMS) et l'utilisateur peut alors uniquement se concentrer sur le contrôle du travail à accomplir.



Le diagramme des exigences du robot Collaboratif de la société SAPELEM est fourni dans le dossier ressources.

Le robot CoMax reprend les fonctions du robot collaboratif SAPELEM, tout en les complétant pour une approche didactique. Son diagramme des exigences est fourni dans le dossier ressources.

Objectifs du TP

Ce TP vise à :

- Mettre en œuvre le bras collaboratif
- Proposer un schéma cinématique du bras collaboratif
- Evaluer le rapport de transmission de la chaîne cinématique
- Déterminer l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur et le couple lié à la pesanteur
- Utiliser les lois de Coulomb pour valider le modèle de frottement mis en place et l'identifier
- Valider le modèle de l'asservissement de position et l'appliquer lorsque la consigne est une loi en trapèze de vitesse
- Utiliser le modèle validé pour vérifier le dimensionnement en effort du moteur choisi

A. Mise en œuvre du système et structure de l'asservissement de position

▶ ACTIVITE 1 : Mise en œuvre du système

- Démarrer l'EMP CoMax en cliquant sur  et parcourir le menu « *Le Produit* ».
- L'interface CoMAX étant lancée, cliquer sur Connexion puis sur Activation (boutons de sélection en haut à gauche de l'écran). L'axe se positionne par défaut en position Basse.
- En cliquant sur l'icône , commander l'axe en position *Inter*

Question 1 : Activer la commande collaborative en cliquant sur le bouton de sélection « collaboration » en haut à gauche de l'écran. Tester le comportement de l'axe lors d'une action sur la poignée.

- Placer alors 4 masses supplémentaires de 1 kg sur le support de masse et tester à nouveau le comportement collaboratif.

Question 2 : L'ajout de masses additionnelles influe-t-il sur les performances de la boucle collaborative du robot ? La sensation ressentie par l'utilisateur est-elle modifiée ?

- Enlever les masses additionnelles mises en place sur le support de masses.

▶ ACTIVITE 2 : Schéma cinématique du robot

Question 3 : Quel est le nombre de degrés de liberté du robot collaboratif ? Proposer un schéma cinématique en 3D du robot.

▶ ACTIVITE 3 : Analyser la structure de l'asservissement de position

La consigne de l'asservissement étudié désormais est la position souhaitée de l'axe. La structure de l'asservissement de position sous la forme chaîne d'énergie et d'information est fournie dans l'annexe 1.

Question 4 : Localiser les différents constituants de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'information de ce schéma sur le système, en vous aidant de la description des composants qui figure dans l'EMP.

Question 5 : Un codeur incrémental réalise-t-il une mesure de déplacement ou de position ? Expliquer brièvement son principe de fonctionnement.

Afin de réaliser des mesures de position, il est nécessaire d'initialiser le codeur incrémental.

Question 6 : À partir de la lecture du diagramme d'états de l'Interface et du diagramme d'activités de la Prise d'Origine (langage SysML) dans le dossier ressource, déterminer à quel moment est effectuée la prise d'origine du codeur incrémental. Quels sont alors les blocs du diagramme de définition de blocs qui participent à cette prise d'origine ?

Les objectifs de ce TP sont de modéliser la structure de l'asservissement de position, qui est mis en œuvre par exemple lors du positionnement de l'axe dans les positions *Basse*, *Inter* et *Haute* en cliquant, dans le menu de base de l'interface, sur l'icône  et de valider le dimensionnement du moteur dans le cadre d'un profil de position.

B. Elaboration et validation du modèle dynamique

▶ ACTIVITE 4 : Détermination du rapport de transmission cinématique pour le modèle

Question 7 : **A l'aide de la documentation du motoréducteur (accessible dans l'EMP dans le Menu le Produit et Architecture Système par exemple), déterminer la valeur du rapport de transmission K_{tran} défini par $K_{tran} = \frac{v}{\omega_m}$ en unité SI.**

▶ ACTIVITE 5 : Modélisation des phénomènes dynamiques

Notations :

- ω_m est la vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s. Par convention, lors d'un mouvement vers le haut, nous avons $\omega_m > 0$.
- J_{eq0} est l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur en l'absence de masses additionnelles rajoutées sur le support de masses, sa valeur est $J_{eq0} = 22 \times 10^{-6}$ kg.m^2, d'après les caractéristiques de l'axe en translation fournies dans les documents ressources.
- On note N_{bm} le nombre de masses supplémentaires de 1 kg placées sur le support de masses additionnelles.

Question 8 : **Déterminer l'expression de l'énergie cinétique de l'ensemble des pièces en mouvement en fonction de J_{eq0}, N_{bm}, K_{tran} et ω_m. En déduire la valeur de l'inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée sur l'arbre moteur et notée J_{eq}. Evaluer la contribution, en pourcentage, de l'ensemble des 4 masses additionnelles sur l'inertie équivalente et commenter ce résultat.**

▶ ACTIVITE 6 : Modélisation et identification des actions mécaniques

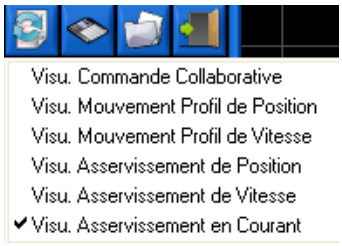
Notations :

- C_{meca} le couple mécanique ramené sur l'arbre moteur, tel que $C_{meca} = C_m - C_{pes} - C_{resm} sign(\omega_m)$ avec :
  - C_m le couple magnétique dans le moteur,
  - $C_{pes} > 0$ la norme du couple dû à l'action mécanique de la pesanteur, ramené sur l'arbre moteur
  - $C_{resm} > 0$ la norme du couple dû au frottement sec ramené sur l'arbre moteur. La fonction $sign(\omega_m)$ retourne le signe de la grandeur ω_m, vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s. Par convention, lors d'un mouvement vers le haut, nous avons $\omega_m > 0$
- $M_0 = 5{,}11$ kg est la masse de l'ensemble des pièces en translation, comprenant l'axe et son guidage linéaire, la poignée et le support de masses additionnelles.

Question 9 : **Déterminer l'expression de C_{pes} en fonction de M_0, N_{bm} et K_{tran}. Evaluer la contribution, en pourcentage, de l'ensemble des 4 masses additionnelles sur le couple dû à la pesanteur et commenter ce résultat.**

Question 10 : **A partir des lois de Coulomb, justifier le modèle mis en place au niveau du frottement sec.**

- Avant chaque manipulation, et pour revenir dans une position initiale correcte dans le cas d'un mouvement de l'axe, on se placera au préalable en position *Inter*. Pour cela, il suffit de revenir dans l'écran de base de l'interface de mesure et de cliquer sur  puis *Inter*.
- Dans l'écran de base, sélectionner l'icône « Visualisation dynamique »  puis, afin de préparer les acquisitions, cliquer sur l'icône  puis sur  afin de sélectionner la visualisation des paramètres pour un asservissement en courant. L'unité de la vitesse moteur est en rpm (tour par minute).



- Solliciter l'axe non chargé en cliquant sur  puis en choisissant le Mode d'Asservissement *Courant (BO)* pour les consignes de courant 1500 mA, 2500 mA, 3500 mA et 500 mA.

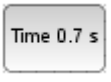
Question 11 : A l'aide des essais précédents, interpréter ce qui se passe lorsque $C_{pes} - C_{resm} < C_m < C_{pes} + C_{resm}$ **.**

On rappelle que les relations de comportement dans la machine à courant continu permettent d'écrire $C_m = K_m I_m$, avec $K_m = 0,0302 N.m.A^{-1}$ et I_m l'intensité dans le moteur.

Question 12 : Proposer un protocole expérimental et déterminer expérimentalement la valeur de C_{resm} **.**

▶ ACTIVITE 7 : Elaboration et validation du modèle dynamique

Le modèle de l'asservissement en courant est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de courant tp2-3.zcos ». Le correcteur de courant est déjà paramétré.

- Démarrer Scilab en cliquant sur l'icône .
- Lorsque la fenêtre de commande apparaît, taper « xcos » ou cliquer sur .
- Dans la fenêtre graphique qui apparaît, sélectionner Ouvrir dans le Menu Fichier et sélectionne le fichier « Asservissement de courant tp2-3.zcos ».
- La variable de Laplace dans Scilab est notée « s ». Les blocs  permettent de tracer des réponses temporelles.
- Le bloc 

permet de tracer les réponses temporelles. Il suffit de double cliquer dessus pour modifier les paramètres de simulation.
- Il suffit, pour lancer les simulations, de cliquer sur  (Simulation).
- Vous devez au préalable cliquer avec le bouton droit sur le fond d'écran Scilab et choisir « Modifier le contexte » pour vérifier les valeurs mises en place dans les différents paramètres.

Question 13 : **Analyser et justifier l'ensemble des modèles mis en place dans la partie dynamique. Renseigner dans le contexte les valeurs de K_{tran} et de C_{resm}, puis lancer la simulation avec $N_{bm} = 0$ et différentes valeurs pour la consigne I_c en A. Comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées.**

Question 14 : **Refaire la comparaison avec $N_{bm} = 2$ et $I_c = 4,5$ entre la courbe mesurée et la courbe simulée. Conclure quant au modèle proposé.**

On conservera pour la suite quatre masses sur le support de masses additionnelles.

C. Validation du dimensionnement en effort du moteur

▶ ACTIVITE 8 : Analyse du fichier de simulation et détermination de loi de consigne

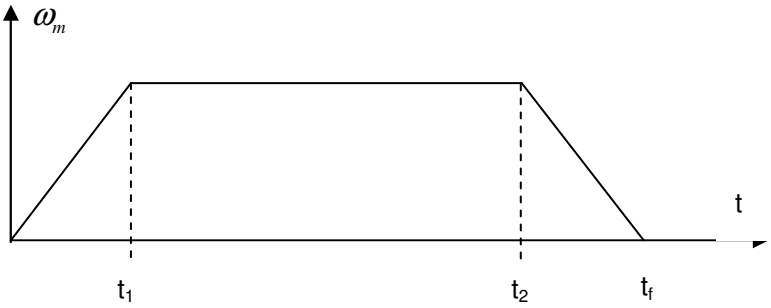
Le modèle utilisé désormais est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de position profil tp2-3.zcos », qu'il faut ouvrir. Le correcteur de l'asservissement de position est déjà en place.

Question 15 : **Repérer les différents constituants de l'asservissement de position sur ce fichier de simulation. Quelles sont les différences par rapport au schéma Chaine d'Energie / Chaine d'Information ? Vérifier les valeurs entrées dans le contexte.**

Le constructeur fournit les données suivantes pour la consigne en profil de position :

- Vitesse maximale au niveau du moteur $\omega_{m\max} = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$
- Accélération maximale au niveau du moteur $\dot{\omega}_{m\max} = 20000 \text{ tr.min}^{-1}.\text{s}^{-1}$

La consigne en profil de position est déduite du trapèze en vitesse ci-dessous :



On souhaite effectuer un déplacement de 250 mm.

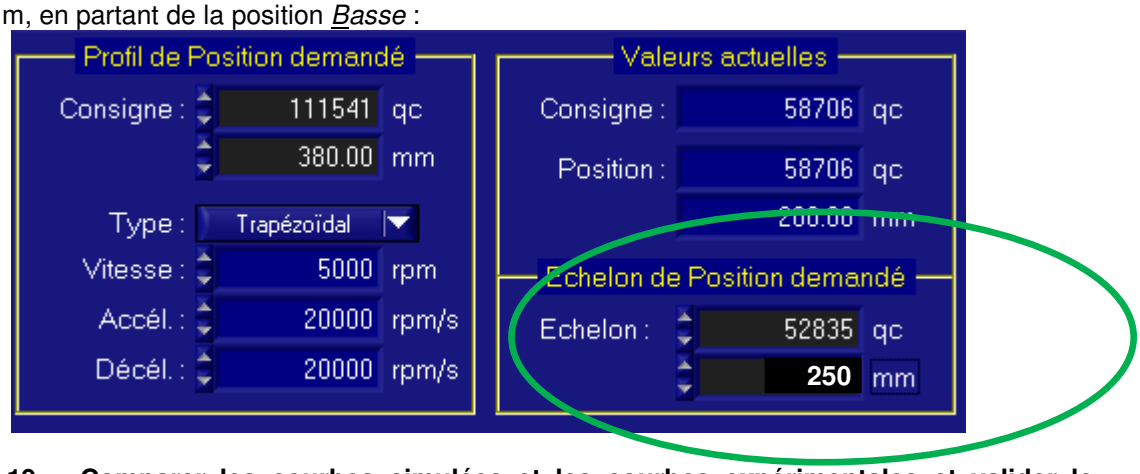
Question 16 : **Tracer l'allure de la loi de consigne du profil de position et déterminer les valeurs des différents instants t_1, t_2, t_f.**

Question 17 : **En modifiant Le Contexte dans Scilab, renseigner les valeurs de t_1, t_2 que vous avez déterminées précédemment et vérifier les autres valeurs renseignées.**

Question 18 : **Lancer la simulation et observer les courbes obtenues par simulation. Valider les temps de la loi de consigne que vous avez déterminés.**

▶ ACTIVITE 9 : Validation expérimentale du comportement

- Dans l'interface, sélectionner l'icône « Acquisition axe »  puis sélectionner l'acquisition de la consigne de vitesse et de position (icône ). Solliciter l'axe  muni de deux masses additionnelles par une consigne en profil de position avec un échelon de valeur 250 mm, en partant de la position *Basse* :

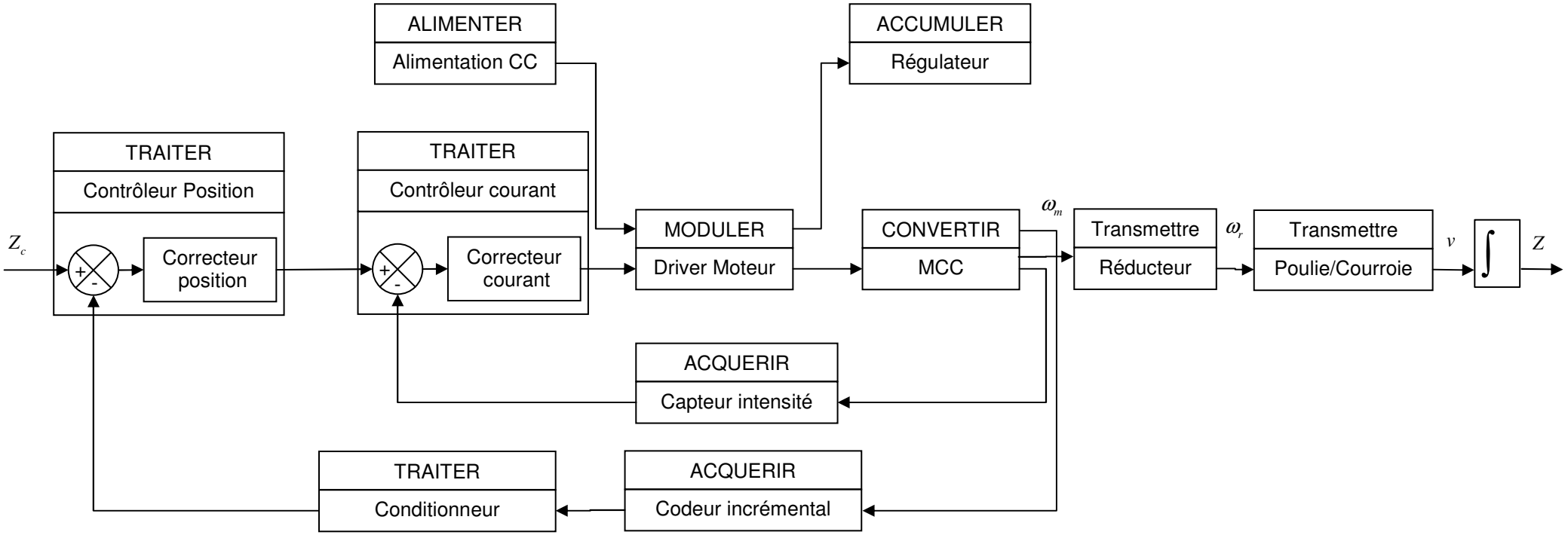


Question 19 : Comparer les courbes simulées et les courbes expérimentales et valider le modèle de l'asservissement en position proposé (on mettra l'échelle de vitesse à gauche et l'échelle de position à droite en cliquant sur l'icône ).

▶ ACTIVITE 10 : Validation du dimensionnement en effort du moteur

Question 20 : A l'aide des courbes obtenues par simulation sur le modèle validé question 18, valider le dimensionnement dynamique et statique du moteur choisi à partir du dossier ressources.

D. Annexe 1


ALIMENTER
Alimentation CC
ACCUMULER
Régulateur
TRAITER
Contrôleur Position
TRAITER
Contrôleur courant
Z_c
+
-
Correcteur position
+
-
Correcteur courant
MODULER
Driver Moteur
CONVERTIR
MCC
ω_m
Transmettre
Réducteur
ω_r
Transmettre
Poulie/Courroie
v
$\int$
Z
ACQUERIR
Capteur intensité
TRAITER
Conditionneur
ACQUERIR
Codeur incrémental