TRAVAUX PRATIQUES S2I

Modélisation des vibrations et validation du filtre réjecteur de la boucle collaborative

Modélisation - identification
Validation de la commande

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier et décrire la chaine d'information et la chaine d'énergie du système
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)
- Tracer le diagramme asymptotique de Bode
- Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ordre ou du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle et/ou fréquentielle

PRE-REQUIS

- Chaine d'information et d'énergie : diagrammes de blocs internes et paramétrique
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modèles de comportement
- Réponses temporelle et fréquentielle : systèmes du 1er et 2e ordre, intégrateur
- Identification d'un modèle de comportement

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Premier semestre, Première année

SUJET DU TP

- Architecture de la boucle collaborative et de la boucle interne en vitesse
- Mise en évidence de la problématique (vibrations)
- Validation du modèle de l'asservissement de vitesse
- Identification du mode principal de vibration
- Validation du choix du filtre réjecteur

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 la commande collaborative et mettre en évidence la problématique de vibrations
- Proposer le schéma des chaines d'énergie et d'information de l'asservissement en vitesse de la motorisation et repérer les différents constituants
- Valider le modèle de la boucle de vitesse proposé
- Identifier le mode principal de vibrations
- L'introduire dans le modèle et valider le comportement obtenu
- Analyser et justifier le rôle du filtre réjecteur mis en place dans la commande collaborative

A. Mise en évidence de la problématique associée aux performances de la boucle collaborative et analyse de la commande collaborative

▶ ACTIVITE 1 : Mettre en œuvre la commande collaborative

- Démarrer l'EMP CoMax en cliquant sur  et parcourir le menu « *Le Produit* » puis « *Synoptique Cmde collaborative* ».
- 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.

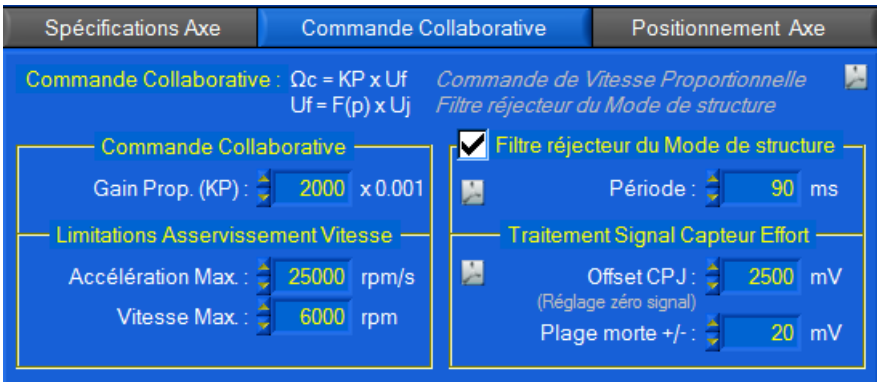
- Placer alors 4 masses supplémentaires de 1 kg sur le support de masse et tester à nouveau le comportement collaboratif.

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 4 masses supplémentaires mises en place.

▶ ACTIVITE 2 : Analyser les performances de la commande collaborative

- Dans l'écran de base, cliquer sur l'icône  pour faire apparaître l'écran de paramétrage de la commande collaborative.
- Modifier la valeur du gain KP, et tester le comportement de l'axe avec un gain de 500, de 1500 et de 2500.



Question 3 : Sur quelle performance (stabilité, rapidité ou précision) du comportement agit-on en modifiant la valeur de KP ?

- Revenir à un gain KP de 2000 puis supprimer le Filtre réjecteur du Mode de structure (décocher la case).

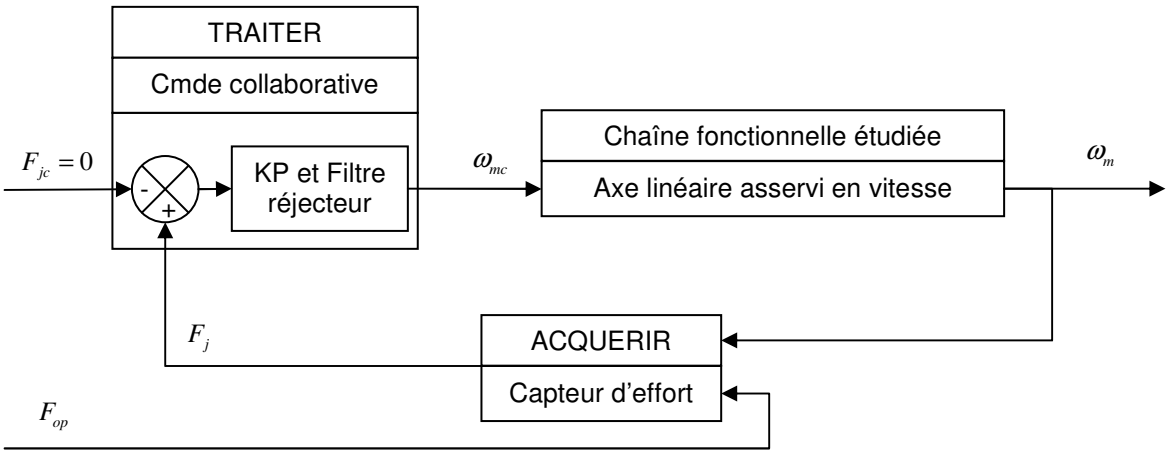
Question 4 : Sur quelle performance (stabilité, rapidité ou précision) du comportement agit-on avec ce filtre réjecteur ?

L'objectif de ce TP est d'analyser et de justifier la structure de la commande collaborative permettant de limiter les vibrations qui apparaissent, dues à la structure mécanique même du robot.

La frontière de l'étude n'englobe pas l'utilisateur, conformément au diagramme de définition de blocs et au diagramme de blocs internes de la boucle collaborative (langage SysML) fourni dans le dossier ressources. L'utilisateur transmet donc un effort sur la poignée.

Dans cette hypothèse, le système muni de la boucle collaborative peut être modélisé par un système asservi en effort, comme le décrit le schéma bloc ci-dessous, dans lequel les variables suivantes sont utilisées :

- F_j : effort de la jauge
- ω_m : vitesse moteur
- F_{op} : effort imposé par l'utilisateur sur la poignée en mousse



Dans la suite du TP, nous allons valider le modèle et les performances de l'asservissement en vitesse, puis nous étudierons la commande collaborative mise en place.

▶ ACTIVITE 3 : Proposer le schéma des chaines d'énergie et d'information de l'asservissement en vitesse de la motorisation et repérer les différents constituants

La consigne de l'asservissement étudié désormais est donc la vitesse de rotation du moteur à courant continu, consigne qui est en fait la sortie du bloc *Commande collaborative*.

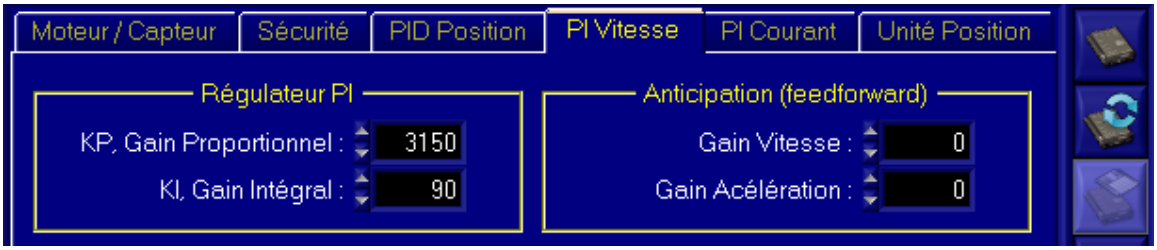
Question 5 : **A l'aide du diagramme de blocs internes fourni, remplir le schéma du document réponse 1 en indiquant pour chaque bloc, dans la partie supérieure, la fonction générique du constituant (*agir, alimenter, convertir, moduler, transmettre, stocker, acquérir, coder, communiquer, mémoriser, restituer, traiter*), puis, dans la partie inférieure, le nom du constituant proprement dit.**

Question 6 : **Localiser les différents constituants de la chaine d'énergie et de la chaine d'information de ce schéma sur le système, en vous aidant du synoptique de l'EMP.**

B. Valider le modèle et les performances de la boucle de vitesse

▶ ACTIVITE 4 : Réaliser les mesures en vue de la validation du modèle

- Dans l'interface Comax, revenir à l'écran de base. En cliquant sur l'icône , positionner l'axe en position *Basse*.
- Cliquer sur l'icône  pour analyser le correcteur de la boucle de vitesse mis en place :



Le correcteur choisi par le constructeur est le suivant :

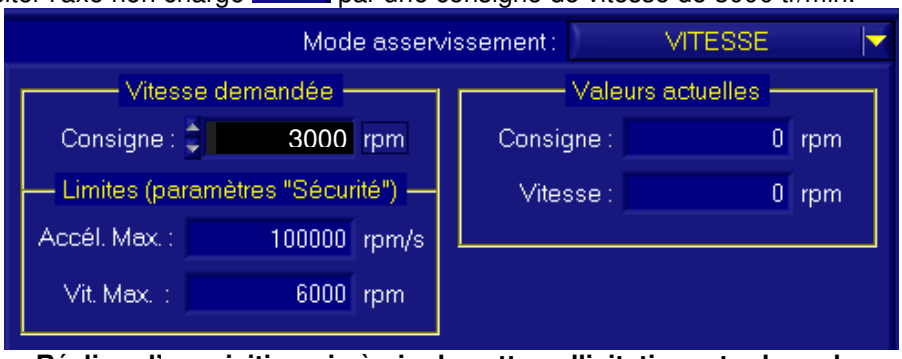
$$C_v(p) = K_{PV} + \frac{K_{IV}}{p} = K_i \frac{1+T_i p}{T_i p} \text{ avec } K_{pvepos} = \frac{K_{PV}}{20.10^{-6}} = \frac{K_i}{20.10^{-6}} \text{ et } K_{ivepos} = \frac{K_{IV}}{5.10^{-3}} = \frac{K_i}{5.10^{-3} T_i}$$

Les valeurs par défaut seront utilisées pour la suite de l'étude : $K_{pvepos} = 3150$ et $K_{ivepos} = 90$.

- Dans l'interface, sélectionner l'icône  puis préparer les acquisitions en cliquant , puis sur l'icône  et sélectionner « Asservissement de Vitesse ».



- Solliciter l'axe non chargé  par une consigne de vitesse de 3000 tr/min.



Question 7 : Réaliser l'acquisition vis-à-vis de cette sollicitation, et relever les performances en terme de Stabilité (évaluer le dépassement), de Rapidité (évaluer le temps de réponse à 5%) et de Précision (évaluer l'erreur en régime permanent).

▶ ACTIVITE 5 : Valider le modèle de la boucle de vitesse

Le modèle utilisé précédemment est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de vitesse tp1-3.zcos ».

- 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 vitesse tp1-3.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 8 : En cliquant sur « Modifier le contexte », vérifier le paramètre correspondant au nombre de masses mises en place (Nbm) et celui lié à la consigne de vitesse (omegac). Lancer la simulation, et comparer les courbes simulées et mesurées, au niveau de l'intensité moteur et de la vitesse moteur.

Question 9 : Refaire la mesure et relancer la simulation en mettant 4 masses additionnelles sur le support de masses. Valider alors le modèle mis en place.

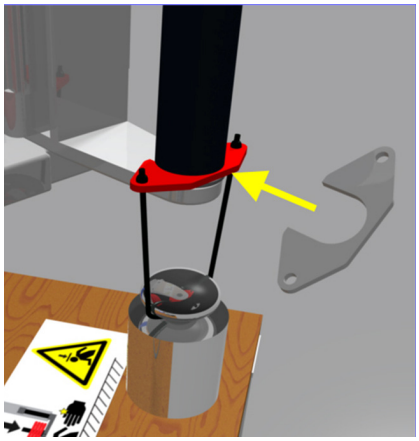
Le modèle de la boucle de vitesse étant validé, nous allons maintenant nous intéresser à la commande collaborative permettant de limiter les phénomènes vibratoires.

C. Valider la commande collaborative mise en place

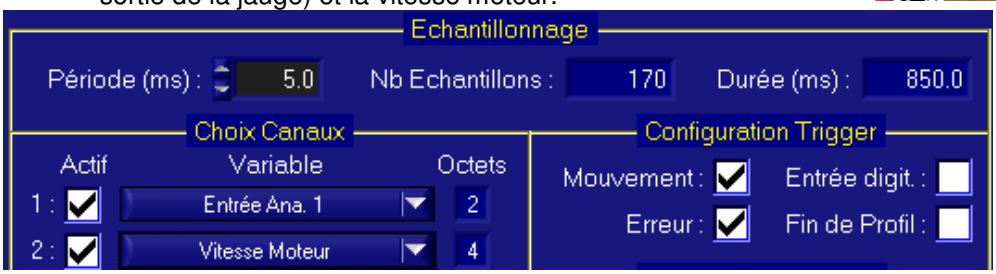
▶ ACTIVITE 6 : Identifier les phénomènes vibratoires

Dans un premier temps, nous allons identifier la période des oscillations et montrer qu'elle ne dépend que de la structure.

- Dans l'interface Comax, revenir à l'écran de base et cliquer sur l'icône  pour positionner l'axe en position *Haute* sans masse additionnelle.
- Suspendre une masse (par exemple 500 grammes) à l'aide de la plaque en aluminium qui se fixe sous la poignée, conformément à la photo ci-contre.



- Aller dans le Menu « Acquisition Axe », icône  et choisir  l'acquisition de l'entrée analogique 1 (le signal en sortie de la jauge) et la vitesse moteur.



- Revenir dans l'écran de base et lancer la collaboration en cliquant sur le bouton levier.



Question 10 : Retourner dans le menu des mesures , et sélectionner  pour faire apparaître la vitesse moteur et le signal jauge (respectivement à gauche et à droite) qui ont été acquis pendant le mouvement. Analyser les courbes qui apparaissent et relever la période des oscillations.



Question 11 : Refaire la même manipulation, mais en suspendant une masse différente. Montrer que la période des oscillations est indépendante de la masse ajoutée.

Question 12 : Refaire la même manipulation, mais avec un gain de la commande collaborative de 2500 et montrer là aussi que la période des oscillations n'est pas modifiée.

▶ ACTIVITE 7 : Validation du modèle de simulation de la commande collaborative

Le comportement vibratoire de la structure est modélisé par un système du second ordre.

- Ouvrir le fichier « boucle collaborative tp1-3.zcos » avec xcos (logiciel Scilab).
- On définit la pulsation propre des vibrations par $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, avec T la période des oscillations.

Question 13 : Analyser le schéma sous Xcos en repérant le bloc de la commande collaborative et l'ensemble de l'asservissement de vitesse. En cliquant sur « Modifier le contexte », renseigner la valeur de ω_0 correspondant à la valeur identifier, vérifier le paramètre correspondant à la prise en compte du filtre réjecteur (paramètre a). La valeur de a est nulle sans filtre réjecteur et vaut 1 avec le filtre réjecteur. Lancer la simulation et valider le comportement vibratoire pour le gain de la commande collaborative de 2000.

▶ ACTIVITE 8 : Justification de l'introduction du filtre réjecteur

- Ouvrir le fichier « boucle collaborative frequentiel tp1-3.zcos » avec xcos (logiciel Scilab).
- Ce fichier permet de comprendre le fonctionnement de la boucle collaborative, en férquentiel, avec et sans le filtre réjecteur (bloc d'analyse nommé PARAM VAR qui permet de tracer les diagrammes de Bode avec et sans filtre réjecteur).

Question 14 : Après avoir vérifié la valeur de ω_0 dans le contexte, lancer la simulation et commenter le diagramme de Bode en l'absence du filtre réjecteur.

Un filtre réjecteur est mis en place dans la boucle collaborative. Ce filtre a pour fonction de transfert :

$$F(p) = \frac{1 + \frac{2\xi_1}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}{1 + \frac{2\xi_2}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}} \text{ avec } \xi_1 = 0,005 \text{ et } \xi_2 = 1$$

Question 15 : Tracer l'allure du diagramme de Bode réel de ce filtre et analyser sa pertinence. Interpréter alors le diagramme de Bode tracé précédemment en présence du filtre réjecteur.

▶ ACTIVITE 9 : Validation finale en simulation et sur le système réel

- Régler la commande collaborative, à l'aide de l'icône  avec un gain de 2000 et le filtre réjecteur avec la période que vous avez identifiée précédemment.

Question 16 : Tester le comportement de l'axe lors d'une action sur la poignée.

Question 17 : Dans le fichier Scilab *boucle « collaborative tp1-3.zcos »*, affecter la valeur 1 au paramètre « a » dans le contexte ce qui permet de mettre en place le filtre réjecteur et lancer la simulation. Conclure quant à la pertinence du filtre réjecteur.

D. Document réponse 1

