

ROBOT COLLABORATIF COMAX

Compétences :

- ☐ **Analyser** : Caractériser les écarts
- ☐ **Résoudre** : Proposer une démarche de résolution et mettre en œuvre la résolution analytique et numérique : stabilité, précision et rapidité des SLCI
- ☐ **Expérimenter** : Proposer une Proposer et justifier un protocole expérimental

1 PRESENTATION ET PROPOSITION D'ORGANISATION DE TP

1) Présentation

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.

2) Objectifs du TP

Ce TP vise à :

- Mettre en œuvre la commande collaborative et mettre en évidence la problématique de l'asservissement
- Analyser expérimentalement l'asservissement en vitesse du système et étudier l'influences des paramètres d'inertie et de réglage des correcteurs.
- Analyser à l'aide d'un modèle numérique Scilab l'influence des paramètres d'inertie et de réglage des correcteurs.
- Diagnostiquer et caractériser les écarts.
- Améliorer les performances du système

3) Organisation

Pour une démarche conduite en îlot, le travail pourra être décomposé comme suit :

Conducteurs de projet	Modélisateur	Expérimentateur
Activité : 3, 5, 9, 12, 13, 17, 18, 19, 24, 29, 30	Activité : 4, 13, 14, 15, 16, 20, 23, 25, 26	Activité : 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 21, 22, 27, 28

Vous trouverez l'ensemble de la documentation sur le système dans la documentation technique disponible sur le serveur.

2 ANALYSE DES PERFORMANCES ET MODELISATION DE LA BOUCLE COLLABORATIVE

1) Analyse de la commande collaborative (Voir Fiche 2)

Activité 1. Mettre en service et 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.

Activité 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.

2) Analyse structurelle du système

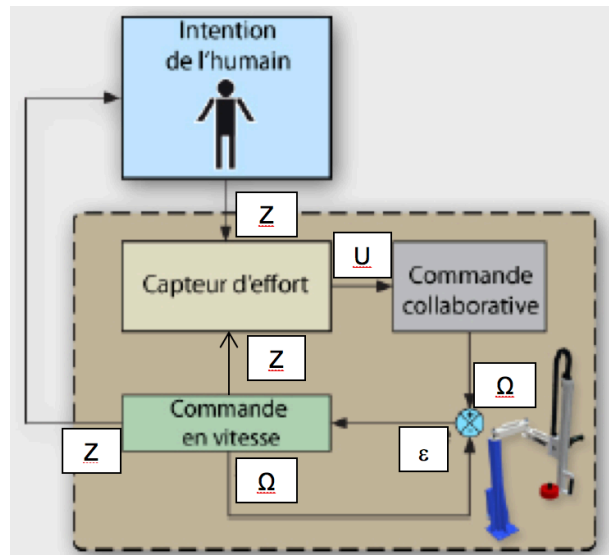
Activité 3. **Situer** chaque composant des chaînes d'énergie et d'information du système, puis **réaliser** une description de l'ensemble avec un graphe « chaîne d'énergie – chaîne d'information », qui sera utilisé pour effectuer la présentation lors de la restitution orale des travaux.

3) Modélisation de l'asservissement du système

A des fins ergonomiques, l'objectif est de faire ressentir à l'utilisateur une action faible lorsqu'il manipule le robot, même si ce dernier avec lequel il collabore déplace une lourde charge. Pour que la coopération avec le robot soit intuitive, l'humain est dans la boucle de commande.

L'humain impose un déplacement Z_c à une extrémité du capteur déformable (en exerçant un effort sur la poignée) et à partir de la tension U_j fournie par le capteur, la commande collaborative calcule une consigne de vitesse Ω_c pour l'envoyer à l'axe linéaire asservi en vitesse.

L'autre extrémité du capteur liée à la partie mobile en translation de l'axe se déplace alors de la valeur Z_p . L'objectif est alors de maintenir nulle (ou très petite) la valeur $Z_c - Z_p$.



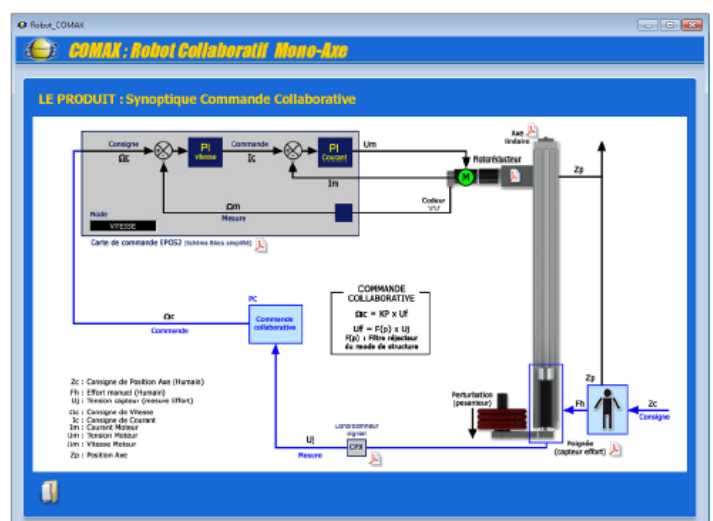
La Commande collaborative est exécutée en continu par l'interface du PC.

La Commande collaborative envoie (via la liaison USB) une consigne de vitesse Ω_c à la carte de commande EPOS de l'axe asservi en vitesse, en fonction de la tension U_j image de la mesure effectuée par le capteur (intention de l'opérateur).

Le synoptique à l'écran reprend les éléments ci-contre.

Il montre de plus que la commande asservie (avec un correcteur Proportionnel Integral) en vitesse possède une boucle interne de courant (avec aussi un correcteur PI).

Un codeur incrémental placé à l'arrière du moteur renvoie la valeur mesurée de la vitesse de rotation du moteur.



Activité 4. Proposer un **modèle** sous la forme d'un schéma bloc de la structure du système asservi.

Dans la suite du TP, nous étudierons uniquement l'axe linéaire asservi en vitesse dans le cadre des performances souhaitées de la commande collaborative.

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*.

3 ANALYSE DES PERFORMANCES EXPERIMENTALES DU SYSTEME EN COMMANDE DIRECTE

1) Mesure de la vitesse du moteur

Objectif : Réaliser des mesures de vitesse du moteur pour une entrée échelon, afin de quantifier les performances de précision et de rapidité, avec différentes masses additionnelles et différentes valeurs du gain proportionnel.

Conclure sur l'intérêt et les limites du correcteur proportionnel.

Activité 5. En suivant la fiche 3(Réaliser une mesure suite à une sollicitation en vitesse), réaliser les acquisitions vis-à-vis de cette sollicitation, avec 0 masses, 2 masses et 4 masses sur le support de masses (Pensez à sauvegarder les données pour ensuite les comparer). Compléter alors le tableau ci-dessous.

KP	Nombre de masses additionnelles	Valeur finale de la vitesse de rotation du moteur en rpm	Erreur en régime permanent sur la vitesse en rpm	Temps de réponse à 5%
3000	0			
3000	2			
3000	4			
1000	2			
5000	2			

2) Influence d'une correction proportionnelle

Activité 6. Quel est essentiellement la performance (Stabilité, Rapidité ou Précision) affectée par l'ajout des masses additionnelles ? Quelle est la cause de cette variation ?

Activité 7. En conservant 2 masses additionnelles sur le support de masses, réaliser les mêmes acquisitions mais en réglant KP (correcteur proportionnel de l'asservissement de vitesse) tel que $KP = 1000$ et $KP = 5000$. Compléter aussi le tableau ci-dessus.

Activité 8. Quelle(s) est (sont) la (les) performance(s) affectée(s) par le réglage du gain KP ?

Activité 9. A votre avis, le correcteur uniquement proportionnel pour la boucle de vitesse est-il suffisant dans le cadre de l'action collaboratrice souhaitée ?

3) Influence d'une correction proportionnelle intégrale

Activité 10. En conservant 2 masses additionnelles et un Kp réglé à 3000 sur le support de masses, réaliser les mêmes acquisitions mais en réglant Ki (correcteur proportionnel intégral de l'asservissement de vitesse) tel que $Ki = 0$, 1500 et $KP = 3000$. Compléter aussi le tableau ci dessous.

KP	Ki	Valeur finale de la vitesse de rotation du moteur en rpm	Erreur en régime permanent sur la vitesse en rpm	Temps de réponse à 5%
3000	0			
3000	1500			
3000	3000			

Activité 11. Quelle(s) est (sont) la (les) performance(s) affectée(s) par le réglage du gain K_I ?

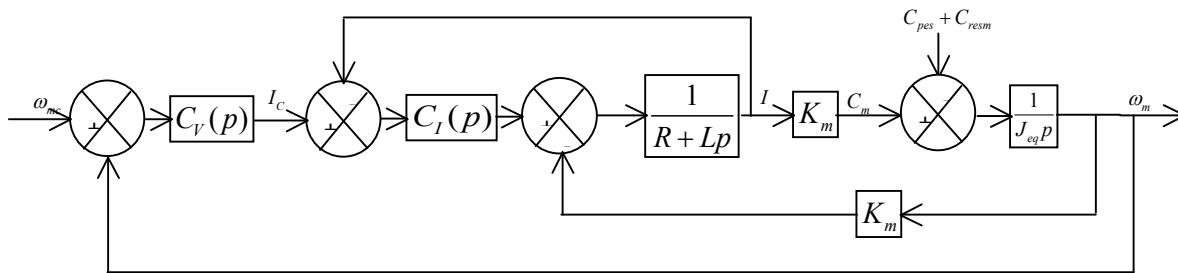
Activité 12. Conclure sur l'intérêt d'un tel correcteur pour la boucle de vitesse est-il suffisant dans le cadre de l'action collaboratrice souhaitée ?

4 MODELISATION EST SIMULATION DES PERFORMANCES EXPERIMENTALES DU SYSTEME EN COMMANDE DIRECTE

1) Construction du modèle

Objectif : Analyser une modélisation de l'axe asservi en vitesse, en vue de sa validation .

Le schéma bloc simplifié de l'asservissement de vitesse est fourni ci-dessous.



$$C_v(p) = K_{pV} + \frac{K_{IV}}{p} = K_i \frac{1 + T_i p}{T_i p}$$

$$K_{pvepos} = \frac{K_{pV}}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{K_i}{20 \cdot 10^{-6}} \text{ et } K_{ivepos} = \frac{K_{IV}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{K_i}{5 \cdot 10^{-3} T_i}$$



- Résistance aux bornes du moteur : $R = 0,3 \Omega$
- Inductance du bobinage: $L = 8,2 \times 10^{-5} H$
- Constante de couple ou de vitesse : $K = 0,03 N.m.A$
- Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur : $J_{eq} = 3 \times 10^{-5} kg.m^2$
- Couple dû à la pesanteur ramené sur l'arbre moteur : $C_{pes} = 0,075 N.m$
- Couple dû aux frottements secs ramenés sur l'arbre moteur : C_{resm}

On considère dans un premier temps un correcteur de vitesse proportionnel tel que $C_v(p) = K_{pV}$.



Avec le réglage $K_{pvepos} = 3000$, nous avons $K_{pV} = 0,06$.

Activité 13. Sans calculs, préciser si l'écart statique est nul ou pas? Justifier. Qui est responsable de sa valeur ? Les mesures précédemment effectuées permettaient elles de le prédire ?

Le modèle utilisé précédemment est fourni dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos ».

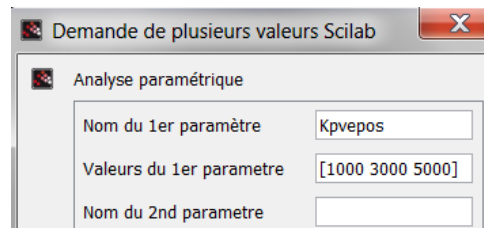
- Démarrer Scilab en cliquant sur l'icône .
- Charger le module CPGE, voir sur la documentation (Fiche 8).
- Lorsque la fenêtre de commande apparaît, taper « xcos » ou cliquer sur .
- Dans la fenêtre graphique qui apparaît, sélectionner Ouvrir dans le Menu Fichier et sélectionne le fichier « Asservissement de vitesse tp1-2.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. Time 0.7 s
- 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 paramètres.
Mettre à 0 la variable Cresm (pas de frottement dans cette simulation), mettre des valeurs fortes dans les variables Isatsup et Isatinf, par exemple 200 A pour ne pas prendre en compte la saturation de courant), faire de même pour la saturation de tension.
Le correcteur de courant prend les valeurs utilisées sur le robot quand les mesures ont été effectuées, c'est-à-dire $K_{piepos} = 200$ et $K_{iepos} = 75$.
- Double cliquez sur les blocs pour en connaître les contenus.
- Justifier les gains de 0.105 (entrée) et 9.55 (sortie).

Activité 14. Lancer la simulation en cliquant sur la flèche dans le menu supérieur horizontal, avec la consigne de 3000 rpm. Analyser les résultats.

Dans le fichier « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos », rajouter, grâce au Navigateur de palettes, dans le Menu CPGE et Analyses un bloc PARAM_VAR et paramétrer le de la manière ci-contre.



1. Etude de l'influence d'un correcteur proportionnel

Activité 15. Lancer la simulation, avec la consigne de 3000 rpm. Analyser les résultats relatifs aux différentes valeurs du gain proportionnel : 1000, 3000, 5000. Les saturations de courant et de tension ont-elles eu lieu ?

2. Etude de l'influence d'un correcteur proportionnel intégrale

Activité 16. Dans le modèle En conservant 2 masses additionnelles et un K_p réglé à 3000, réaliser les mêmes simulations mais en réglant K_i (correcteur proportionnel intégral de l'asservissement de vitesse) tel que $K_i = 0, 1500$ et $K_p = 3000$. Compléter aussi le tableau ci-dessous.

KP	KI	Valeur finale de la vitesse de rotation du moteur en rpm	Erreur en régime permanent sur la vitesse en rpm	Temps de réponse à 5%
3000	0			
3000	1500			
3000	3000			

5 DIAGNOSTIQUER LES ECARTS

Objectif : Analyser les écarts entre les valeurs issues de la mesure d'une part, et celles issues de la simulation d'autre part, puis prendre des dispositions pour réduire cet écart, faire évoluer et valider le modèle.

1) Analyse des écarts entre les mesures et les simulations effectuées

Activité 17. Comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées (allures, valeurs finales, saturations temps de réponse).

Activité 18. Les saturations imposées par le constructeur sont en courant : 7.5 A et en tension : 19.4 V

Activité 19. Le modèle peut-il être validé ?

Activité 20. Mettre en place la saturation de courant en donnant aux variables Isatsup et Isatinf respectivement les valeurs 7.5 A et -7.5A dans Modifier le contexte. Conclure.

Activité 21. Proposer une manipulation et mesure permettant d'évaluer l'influence du frottement ; Vous disposez d'un capteur d'effort, d'un axe seul et du robot complet pour effectuer des mesures.

Activité 22. Réaliser ces mesures. Donner la valeur de l'effort à produire sur l'axe pour vaincre les frottements, en déduire la valeur en couple raménée sur l'axe du moteur . on donne la relation entre la vitesse de translation de l'axe et la vitesse de rotation du moteur (voir le TD) $V = K_{\text{tran}} \Omega_m = 1.1 \cdot 10^{-3} \Omega_m$

Activité 23. Justifier la modélisation des frottements secs et en particulier la fonction SIGN utilisée.

Activité 24. Comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées (allures, valeurs finales, saturations temps de réponse) données sur la figure ci-dessous. Le modèle peut-il être validé ?

2) Amélioration du système asservi

Objectif : Modifier la modélisation de l'axe asservi en vitesse, en vue du respect du cahier des charges.

Le cahier des charges de l'asservissement en vitesse, afin d'obtenir les performances souhaitées de la boucle collaborative est le suivant :

Critère de performances	Niveau	Flexibilité
Stabilité	Dépassement < 10% pour $K_p < 3000$	$\pm 20 \%$
Rapidité	$t_m < 150 \text{ ms}$, t_m étant le temps de montée	$\pm 20 \%$
Précision	Écart en régime permanent nul vis-à-vis d'une consigne constante ou d'une perturbation constante	

Question 1 : Le correcteur proportionnel permet-il de satisfaire le cahier des charges ?

Le correcteur choisi par le constructeur est le suivant : $C_v(p) = K_{PV} + \frac{K_{IV}}{p} = K_i \frac{1 + T_i p}{T_i p}$

avec $K_{p\text{epos}} = \frac{K_{PV}}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{K_i}{20 \cdot 10^{-6}}$ et $K_{i\text{epos}} = \frac{K_{IV}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{K_i}{5 \cdot 10^{-3} T_i}$

On propose les valeurs suivantes admises pour la suite de l'étude :


$K_{pvepos} = 3000$ et $K_{ivepos} = 90$.

Activité 25. Sans calculs, préciser si l'écart statique est nul ou pas ? Justifier.

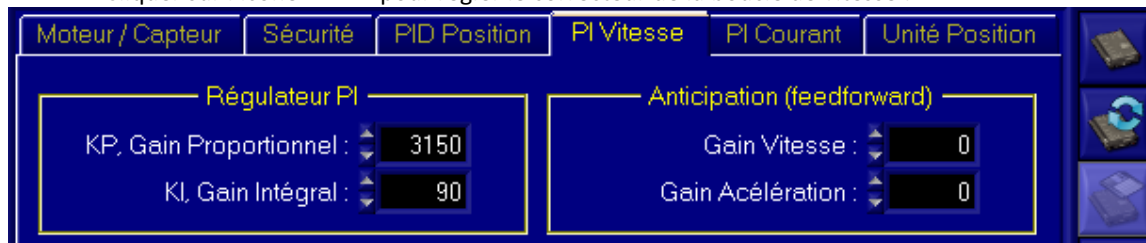
Dans le fichier « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos », Modifier « Le Contexte » et affecter les deux valeurs de $K_{pvepos} = 3000$ et $K_{ivepos} = 90$, en supprimant le bloc PARAM_VAR mis en place.

Activité 26. Lancer la simulation, montrer que les performances sont atteintes.

On précise que le temps de montée est le temps pour lequel le système coupe pour la première fois l'asymptote finale.

- 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 régler le correcteur de la boucle de vitesse :



Activité 27. Réaliser un essai d'échelon de vitesse et conclure quant aux performances obtenues.

On donne ci-dessous les courbes simulées et mesurées représentant la réponse à un échelon de vitesse de 3000 t/mn dans ces conditions. Conclure.

Activité 28. Expliquer pourquoi l'axe reste maintenu dans sa position finale.

Activité 29. Mettre en évidence la démarche qui a permis ici de construire un modèle encore plus fin, en entourant les activités correspondantes sur le diagramme ci-dessous.

Activité 30. Quel est en général l'intérêt pour les constructeurs d'établir un modèle le plus affiné possible, y compris pour un mécanisme existant s'il en est prévu une évolution ?