

TRAVAUX PRATIQUES S2I

Réglage du correcteur de l'asservissement en position de l'axe

Modélisation, correction des systèmes asservis

COMPETENCES VISEES

- Vérifier la cohérence des résultats d'expérimentation avec les valeurs souhaitées du cahier des charges
- Faire varier un paramètre et comparer les courbes obtenues
- Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation
- Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation
- Régler les paramètres de fonctionnement d'un système
- Relier la stabilité aux caractéristiques fréquentielles
- Choisir un type de correcteur adapté
- Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase

PRE-REQUIS

- Stabilité, Précision et rapidité des systèmes asservis
- Correcteur Proportionnel
- Correcteur Proportionnel Intégral
- Correcteur à avance de phase
- Méthodes de réglages d'un correcteur PI et d'un correcteur à avance de phase

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Deuxième semestre, Deuxième année

SUJET DU TP

- Architecture de l'asservissement de position
- Analyse des performances du correcteur par défaut vis-à-vis d'un échelon de position
- Optimisation du réglage du correcteur PID de position
- Validation du réglage obtenu par simulation puis essai sur le système

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 et s'intéresser à l'asservissement de position
- Analyser l'architecture de l'asservissement de position
- Justifier la modélisation proposée
- Justifier la structure du correcteur utilisé vis-à-vis des performances attendues du cahier des charges
- Optimiser le réglage du correcteur
- Valider le réglage proposé et validé par simulation

A. Mise en évidence de la problématique 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.

Tout en tenant la poignée, placer le sélecteur Activation sur la position 0 :



Question 3 : Grâce à cet essai, déterminer si le mécanisme de transmission est réversible ou irréversible.

► ACTIVITE 2 : Mise en évidence de la problématique




Les objectifs de ce TP sont d'analyser les performances et 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

Le cahier des charges attendu pour cet asservissement est le suivant :

Permettre à l'opérateur de positionner l'outil	Stabilité	Dépassement	<5%
	Précision de positionnement	Marge de phase	maximale
	Rapidité	Écart en régime permanent nul	
		Temps de réponse à 5% de 0,1 s	Maxi

- Dans le menu de base, sélectionner l'icône « Acquisition axe »  puis préparer les acquisitions, en cliquant sur l'icône , puis sur l'icône  (paramètres par défaut) et sélectionner « Asservissement de Position ».

Question 4 : Solliciter l'axe  par un échelon de position de valeur 30 mm (vers le haut), en l'absence de masses additionnelles, en partant de la position *Inter*.

- On cliquera sur l'icône  afin de mettre l'échelle de position à droite et celle de courant à gauche (ou cliquer sur ).

Visible	Variable	Ordonnées	Style tracé	Style trait	Couleur
1 : <input checked="" type="checkbox"/>	Position Moteur	Droite ▼	Tracé fin ▼	Continu ▼	
2 : <input checked="" type="checkbox"/>	Courant Moteur	Gauche ▼	Tracé fin ▼	Continu ▼	

Question 5 : Comparer les performances obtenues (Dépassement, Rapidité et Précision) à celle du cahier des charges.

► ACTIVITE 3 : Analyser la structure de l'asservissement en position de la motorisation et repérer les différents constituants

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




Question 6 : 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.

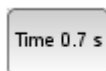
Question 7 : Compte tenu des expériences réalisées dans l'activité 1, quelle est la fonction du régulateur présent dans le boîtier d'alimentation ?

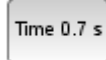

B. Modélisation de l'asservissement de position

► ACTIVITE 4 : Analyse et justification du modèle de simulation proposé

Le modèle utilisé est fourni dans l'annexe 2 et dans le fichier Scilab/xcos nommé « Asservissement de position tp2-4.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 sélectionner le fichier « Asservissement de position tp2-4.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).

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

$J_{eq0} = 22 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$, d'après les caractéristiques de l'axe en translation fournies dans les documents ressources.

- $M_0 = 5,11 \text{ kg}$ 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.
- C_{meca} est le couple mécanique ramené sur l'arbre moteur, tel que $C_{meca} = C_m - C_{pes} - C_{resm} \text{sign}(\omega_m)$ 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 $\text{sign}(\omega_m)$ 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 $\omega_m > 0$

Question 8 : Repérer les différents constituants de l'asservissement de position sur ce fichier de simulation. Quelles sont les différences par rapport au schéma de l'annexe 2 ?

Question 9 : A partir de la lecture du fichier de simulation, énoncer la loi de mouvement mise en place, reliant C_{meca} à ω_m . D'où vient cette équation ?

► ACTIVITE 5 : Justification de la structure du correcteur de la boucle de position

Compte tenu des performances de la boucle de courant, elle peut être considérée comme parfaite. Dans cette hypothèse, le schéma bloc de la boucle de position se met sous la forme simplifiée de l'annexe 2.

Question 10 : A partir de cette forme simplifiée, justifier qu'un correcteur proportionnel ne puisse pas convenir pour cet asservissement, indépendamment du cahier des charges.

Question 11 : Justifier qu'il est nécessaire d'ajouter à la fois une correction dérivée et une correction intégrale compte tenu du cahier des charges.

Question 12 : Tracé le diagramme de Bode asymptotique simplifié de la FTBO, si le correcteur est $C_p(p) = 1$.

► ACTIVITE 6 : Validation du modèle de simulation et comparaison par rapport au cahier des charges

Le correcteur mis en place est un correcteur du type PID qui se met sous la forme suivante :

$$C_p(p) = K_{PP} + \frac{K_{IP}}{p} + \frac{K_{DP}p}{1 + \frac{K_{DP}}{16K_{PP}}p}, \text{ voir annexe 2. Les paramètres par défaut sont :}$$

$$K_{ppepos} = 100K_{PP} = 2420, K_{ipepos} = 12,82K_{IP} = 8340 \text{ et } K_{dpepos} = 12500K_{DP} = 3230.$$

- Vérifier dans le contexte du fichier Scilab que les valeurs sont correctement entrées.

Question 13 : Simuler alors la réponse à un échelon de 30 mm (dc=0.03 dans le contexte) et comparer les courbes expérimentales et les courbes réelles obtenues à la question 5.

Question 14 : Le modèle de simulation est-il correct ? Les performances attendues du cahier des charges sont-elles respectées ?

Le modèle de l'asservissement de position étant validé, nous allons maintenant chercher à optimiser le correcteur afin de satisfaire le cahier des charges.

C. Optimisation du correcteur et validation

Les performances attendues pour l'asservissement de position sont les suivantes :

Permettre à l'opérateur de positionner l'outil	Stabilité	Dépassement <5%
	Précision de positionnement	Marge de phase maximale
	Rapidité	Écart en régime permanent nul
		$\omega_{dB} = 200 \text{ rad/s}$

► ACTIVITE 7 : Optimisation du correcteur de la boucle de position

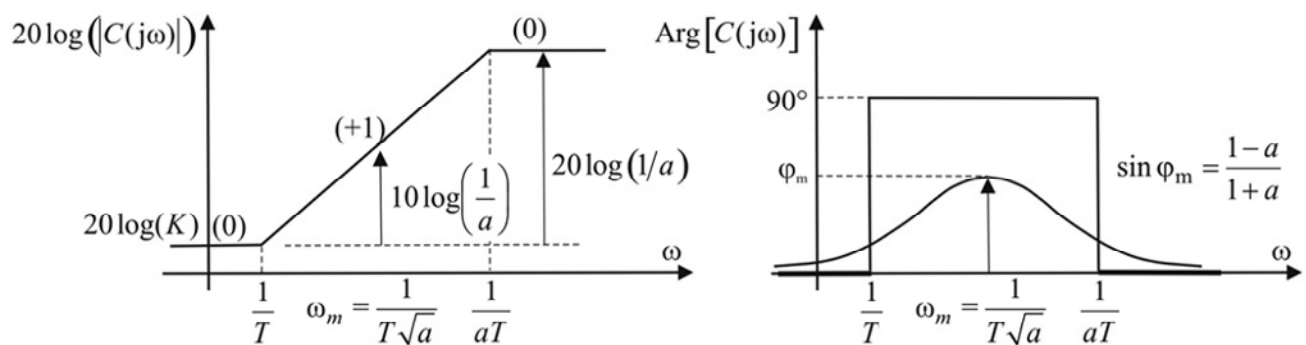
On pose : $T_i = \frac{K_{PP}}{K_{IP}}$ et $T_d = \frac{K_{DP}}{K_{PP}}$. Il vient donc : $C_p(p) = K_{PP} \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{1 + \frac{T_d}{16} p} \right)$

On suppose que $T_i \geq 10T_d$, si bien que l'on obtient des deux approximations :

- Si $\omega \leq \frac{1}{T_d}$ alors $C_p(j\omega) \approx K_{PP} \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right)$
- Si $\omega \geq \frac{1}{T_i}$ alors $C_p(j\omega) \approx K_{PP} \frac{1 + T_d p}{1 + \frac{T_d}{16} p}$

On rappelle ci-dessous les résultats du cours pour le correcteur à avance de phase du type

$$C(j\omega) = K \frac{1 + Tj\omega}{1 + aTj\omega}, a < 1$$



Question 15 : Tracer les diagrammes de Bode asymptotiques du correcteur choisi.

Question 16 : Quelle est la marge de phase maximale que l'on pourra obtenir ? En quelle pulsation se situera-t-elle ? En déduire alors la valeur de T_d pour respecter la pulsation de coupure de cahier des charges, puis la valeur de T_i si on considère $T_i = 10T_d$.

Le fichier nommé « Asservissement de position fréquentiel tp2-4.zcos » à ouvrir avec Scilab/xcos donne le modèle à utiliser pour l'analyse fréquentielle.

Seuls les variables K_{pp} , T_i et T_d sont paramétrés dans le contexte, conformément à la structure du

correcteur PID écrite sous la forme :
$$C_p(p) = K_{pp} \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{1 + \frac{T_d}{16} p} \right)$$


Question 17 : Renseigner dans le contexte les valeurs déterminées précédemment pour T_i et T_d puis affecter à la valeur de K_{pp} la valeur de 1 et lancer la simulation.



Question 18 : A partir du diagramme de Bode de la FTBO choisi, en déduire la valeur de K_{pp} nécessaire puis enfin les valeurs de K_{ppepos} , K_{ipepos} et enfin K_{dpepos} .

Question 19 : Affecter ces valeurs dans le fichier nommé « Asservissement de position tp2-4.zcos » et simuler la réponse obtenue. Est-ce satisfaisant ?

► ACTIVITE 9 : Validation des performances sur le système réel

- Dans l'interface, sélectionner l'icône « Acquisition axe »  puis affecter les paramètres déterminés en cliquant sur  puis sur  (Ecrire paramètres dans EPOS).

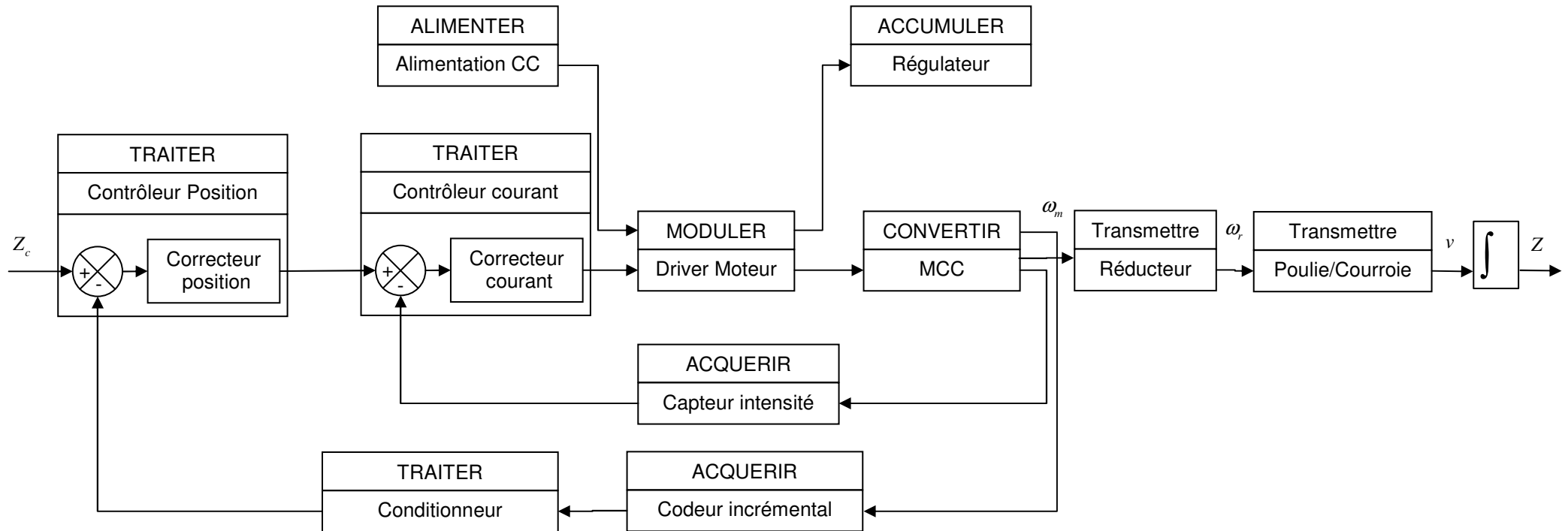
Question 20 : Solliciter l'axe  par un échelon de position de valeur 30 mm (vers le haut), en l'absence de masses additionnelles, en partant de la position *Inter*.

- On cliquera sur l'icône  afin de mettre l'échelle de position à droite et celle de courant à gauche (ou cliquer sur ).

Visible	Variable	Ordonnées	Style tracé	Style trait	Couleur
1 : <input checked="" type="checkbox"/>	Position Moteur	Droite ▼	Tracé fin ▼	Continu ▼	
2 : <input checked="" type="checkbox"/>	Courant Moteur	Gauche ▼	Tracé fin ▼	Continu ▼	

Question 21 : Comparer les performances obtenues (Dépassement, Rapidité et Précision) à celle du cahier des charges et valider le réglage proposé par simulation.

D. Annexe 1



E. Annexe 2

Schéma bloc général de l'asservissement de position

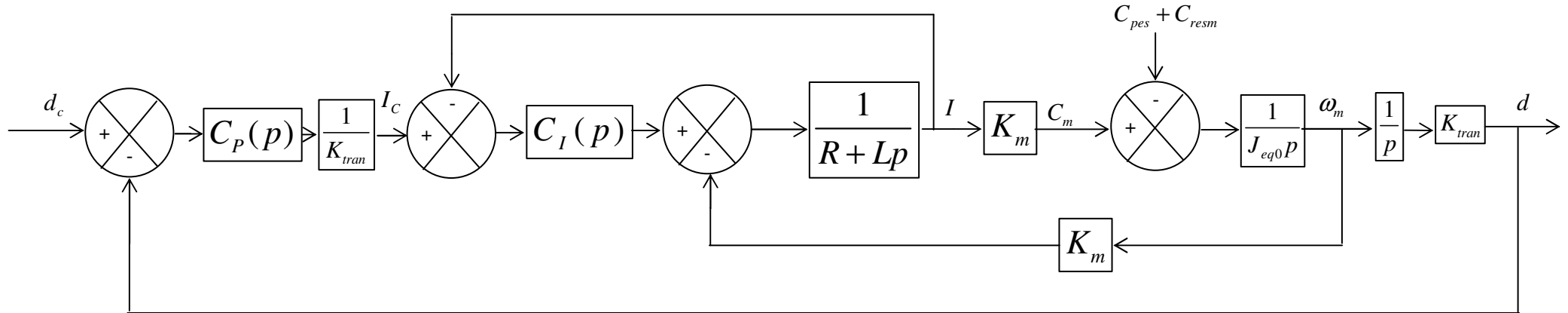
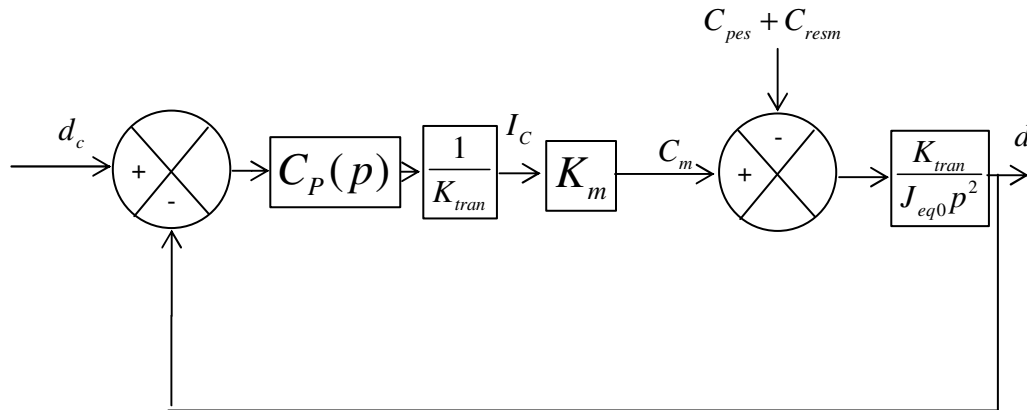


Schéma bloc simplifié de l'asservissement de position (asservissement de courant parfait)



$$C_P(p) = K_{PP} + \frac{K_{IP}}{p} + \frac{K_{DP}p}{1 + \frac{K_{DP}}{16K_{PP}}p}$$

$$K_{ppepos} = 100K_{PP}$$

$$K_{ipepos} = 12,82K_{IP}$$

$$K_{dpepos} = 12500K_{DP}$$

R : résistance aux bornes du moteur $R = 0,3 \, \Omega$

L : inductance du bobinage $L = 8,2 \cdot 10^{-5} \, \text{H}$

K_m : constante de couple ou de vitesse du moteur $K_m = 0,0302 \, \text{Nm} \cdot \text{A}^{-1}$

J_{eq0} : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur $J_{eq0} = 22 \cdot 10^{-6} \, \text{kg} \cdot \text{m}^2$

C_{pes} : couple dû à la pesanteur ramené sur l'arbre moteur $C_{pes} = 0,075 \, \text{N} \cdot \text{m}$

C_{resm} : couple dû aux frottements secs ramené sur l'arbre moteur $C_{resm} = 0,035 \, \text{N} \cdot \text{m}$