TRAVAUX PRATIQUES S2I

Modélisation, identification et validation de l'asservissement en vitesse de la boucle collaborative

Modélisation - identification
Validation des performances et du choix du correcteur

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)
- Prévoir les performances en termes de rapidité
- Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ordre ou du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle

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 temporelle 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 (précision de l'asservissement)
- Modélisation, identification et validation du modèle de la boucle interne de vitesse par simulation
- Insuffisance de la correction proportionnelle et intérêt de l'action intégrale

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
- Proposer le schéma des chaines d'énergie et d'information de l'asservissement en vitesse de la motorisation et repérer les différents constituants
- Analyser la contribution des masses additionnelles sur la boucle de vitesse
- Mettre en évidence l'intérêt du réglage du correcteur de la boucle de vitesse
- Simplifier le modèle compte tenu des performances de la boucle de courant
- Identifier l'inertie équivalente Jeq
- Valider le modèle de la boucle de vitesse
- Montrer l'insuffisance du correcteur proportionnel
- Justifier que le correcteur choisi permet de satisfaire les exigences de précision
- Valider les performances de l'asservissement de vitesse

A. Mise en évidence de la problématique associée aux performances de la boucle collaborative et schéma bloc de la boucle interne de vitesse

▶ ACTIVITE 1 : Mettre en œuvre la commande collaborative et mettre en évidence la problématique

- 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*
- Activer la commande collaborative en cliquant sur le bouton de sélection « collaboration » en haut à gauche de l'écran.

Question 1 : Tester le comportement de l'axe lors d'une action sur la poignée.

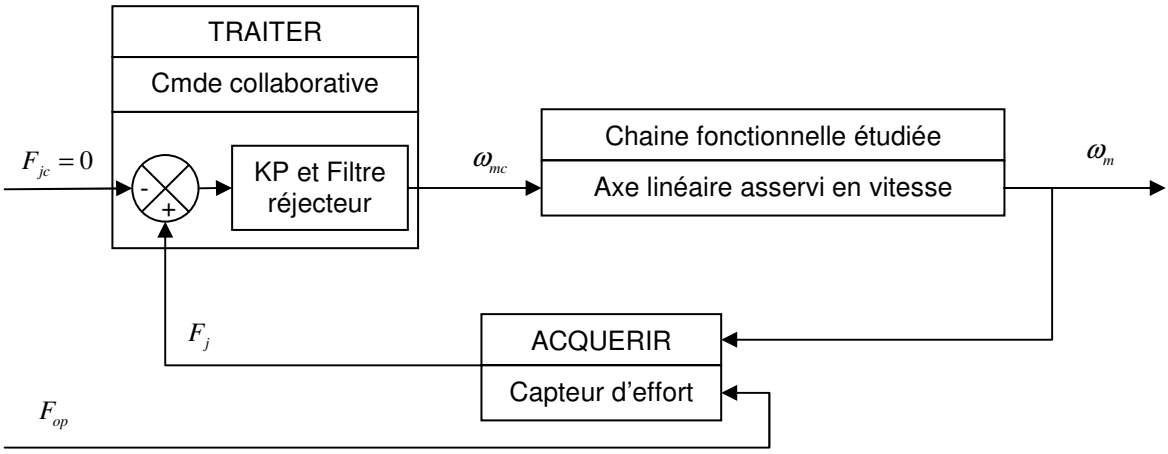
- Placer alors 4 masses supplémentaires de 1 kg sur le support de masse et tester à nouveau le comportement collaboratif.

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 ?

L'objectif de ce TP est alors de modéliser et d'analyser le correcteur mis en place dans la boucle interne de vitesse afin de satisfaire les performances attendues.

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) fournis 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 étudierons uniquement l'axe linéaire asservi en vitesse dans le cadre des performances souhaitées de la commande collaborative.

▶ ACTIVITE 2 : Proposer le schéma des chaines d'énergie et d'information de l'asservissement en vitesse de la motorisation et repérer les différents constituants

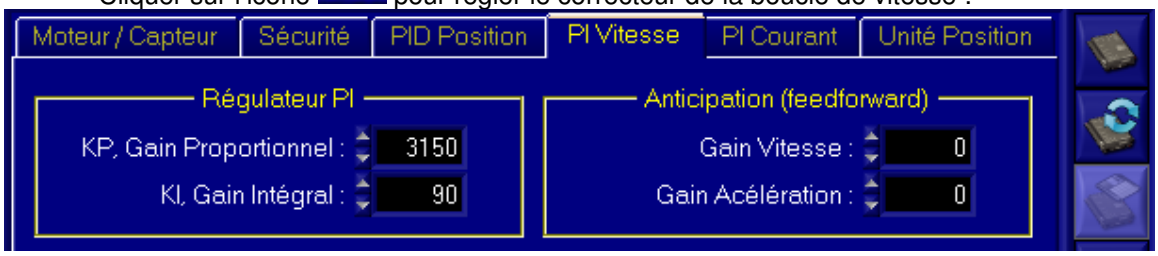
La consigne de l'asservissement étudié désormais est donc la vitesse de rotation du moteur à courant continu, consigne qui est en fait la sortie du bloc *Commande collaborative*.

Question 3 : **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 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 du synoptique de l'EMP.**

▶ ACTIVITE 3 : Analyser la contribution des masses additionnelles sur la boucle de vitesse

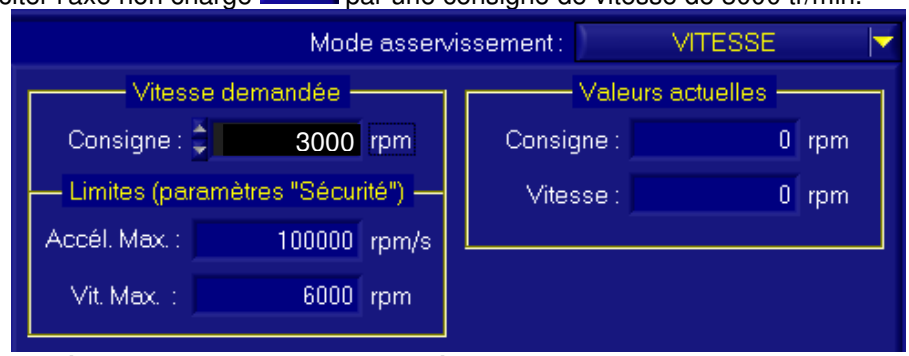
- Dans l'interface Comax, revenir à l'écran de base. En cliquant sur l'icône , positionner l'axe en position *Basse*.
- Cliquer sur l'icône  pour régler le correcteur de la boucle de vitesse :



- Régler le correcteur avec KP=3000 et KI=0, on dit que le correcteur de vitesse est alors uniquement proportionnel.
- 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 5 : **Réaliser les acquisitions vis-à-vis de cette sollicitation, avec 0 masses, 2 masses et 4 masses sur le support de masses. Compléter alors le tableau du document réponses 2.**

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

▶ ACTIVITE 4 : Mettre en évidence l'intérêt du réglage du correcteur de la boucle de vitesse

Question 7 : **Sur quel composant peut-on agir pour modifier les performances de la boucle de vitesse interne à la boucle collaborative ? Ce composant se situe-t-il dans la carte EPOS ou dans l'Interface ?**

Question 8 : **A votre avis, le correcteur uniquement proportionnel pour la boucle de vitesse est-il suffisant dans le cadre de l'action collaboratrice souhaitée ?**

B. Modélisation et identification d'un modèle pour la boucle de vitesse

▶ ACTIVITE 5 : Simplifier le modèle compte tenu des performances de la boucle de courant

Le moteur à courant continu est muni d'un asservissement de courant. La première étape est de montre que cet asservissement de courant peut être considéré comme parfait afin de simplifier l'étude de l'asservissement en vitesse proprement dit.

- Dans l'Interface de commande, désactiver la commande collaborative à l'aide du bouton de sélection et repositionner, dans l'écran de base, l'axe en position *Basse*.
- Ne laisser définitivement que deux masses additionnelles sur le support de masses.
- Dans l'interface, sélectionner l'icône  puis préparer les acquisitions en cliquant , puis sur l'icône  et sélectionner « Asservissement de Courant » . Ajouter dans l'écran l'acquisition de la vitesse moteur :





- En partant de la position basse, lancer une sollicitation en Courant (BO) en cliquant sur , avec une valeur de 4500 mA.

Question 9 : **En comparant la courbe de la consigne de courant et celle du courant moteur, justifier que l'on puisse considérer à tout instant que l'asservissement de courant est parfait, c'est-à-dire que $I=I_C$.**

Dans cette hypothèse, le schéma bloc simplifié de l'asservissement de vitesse est fourni en annexe 1. Les deux masses additionnelles doivent toujours être en place.

- On considère au départ un correcteur de vitesse proportionnel tel que $C_v(p) = K_{PV}$. Avec le réglage K_{pvepos}=3000, nous avons $K_{PV} = 0,06$.

▶ ACTIVITE 6 : Identifier l'inertie équivalente Jeq

Question 10 : **Déterminer l'expression de $\omega_m(p)$ en fonction de $\omega_{mc}(p)$ et de $C_{pes}(p)+C_{resm}(p)$.**

- On considère comme au départ une sollicitation en échelon de vitesse (on prendra au départ une sollicitation de 1500 rpm).
- Les perturbations $C_{pes}(p)$ et $C_{resm}(p)$ sont aussi des échelons.

Question 11 : De quel type est la réponse temporelle $\omega_m(t)$ vis-à-vis de cette sollicitation en échelon de vitesse. Proposer alors puis réaliser un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de J_{eq}.

Question 12 : Proposer une valeur de J_{eq} à partir de la courbe expérimentale.

Question 13 : Refaire la même identification avec une sollicitation en échelon de vitesse de 3000 rpm. Que constate-t-on ? Comment expliquer cela à partir de l'analyse de la courbe d'intensité ?

▶ ACTIVITE 7 : Valider le modèle de la boucle de vitesse

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 .
- 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.
- 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 paramètres.

Question 14 : En cliquant sur « Modifier le contexte », renseigner la valeur de Jeq que vous avez identifiée et lancer la simulation, avec la consigne de 1500 rpm puis de 3000 rpm.

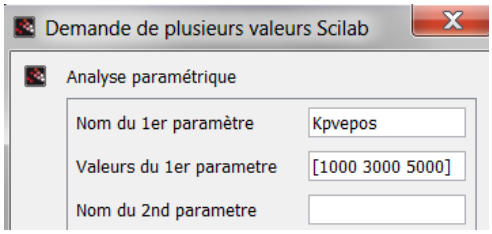
Question 15 : Comparer les courbes simulées et les courbes expérimentales. Le modèle identifié peut-il être validé ?

Question 16 : Par simulation, en modifiant la valeur de Jeq dans le Contexte, déterminer une valeur acceptable permettant d'avoir un écart minimum entre la courbe simulée et la courbe réelle.

▶ ACTIVITE 8 : Montrer l'insuffisance du correcteur proportionnel

Question 17 : En conservant 2 masses additionnelles sur le support de masses, réaliser les mêmes acquisitions mais en réglant KP (correcteur de l'asservissement de vitesse) tel que KP = 1000 et KP = 5000. Compléter aussi le document réponses 2.

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.



Question 18 : Lancer la simulation et comparer les courbes expérimentales et les courbes simulées.

Question 19 : Quelle(s) est (sont) la (les) performance(s) affectée(s) par le réglage du gain KP ?

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
Stabilité	Dépassement faible (à estimer)
Rapidité	$t_m \leq 100$ ms, t_m étant le temps de montée
Précision	Écart en régime permanent nul vis-à-vis d'une consigne constante ou d'une perturbation constante

Question 20 : Le correcteur proportionnel permet-il de satisfaire le cahier des charges ?

C. Validation du correcteur de la boucle de vitesse retenu par le constructeur

Le correcteur choisi par le constructeur est le suivant :

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

On propose les valeurs suivantes admises pour la suite de l'étude : $K_{pvepos} = 3150$ et $K_{ivepos} = 90$.

▶ ACTIVITE 9 : Justifier que le correcteur choisi permet de satisfaire les exigences de précision

Question 21 : Déterminer l'expression de $\omega_m(p)$ en fonction de $\omega_{mc}(p)$ et de $C_{pes}(p)+C_{resm}(p)$ dans ce cas, en fonction de K_{PV} et K_{IV}.

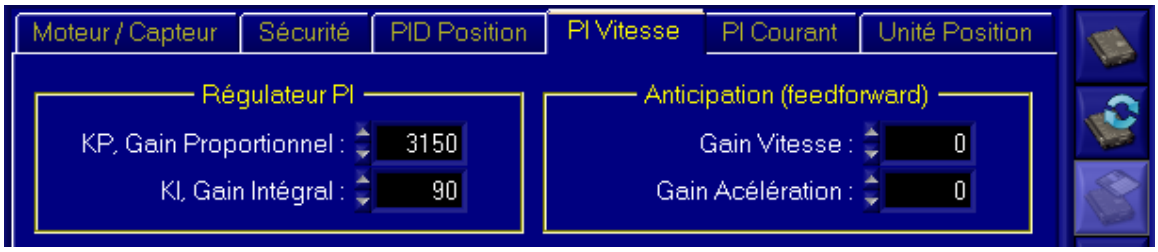
Question 22 : Montrer que les performances en terme de précision sont atteintes.

Dans le fichier « Asservissement de vitesse tp1-2.zcos », Modifier « Le Contexte » et affecter les deux valeurs de $K_{pvepos} = 3150$ et $K_{ivepos} = 90$, en supprimant le bloc PARAM_VAR mis en place.

▶ ACTIVITE 10 : Valider les performances de l'asservissement de vitesse

Question 23 : Lancer la simulation, estimer le dépassement en % et montrer que les performances sont atteintes. On rappelle 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 :



Question 24 : Réaliser un essai d'échelon de vitesse et conclure quant aux performances obtenues.

D. Annexe 1

Schéma bloc général de l'asservissement de vitesse

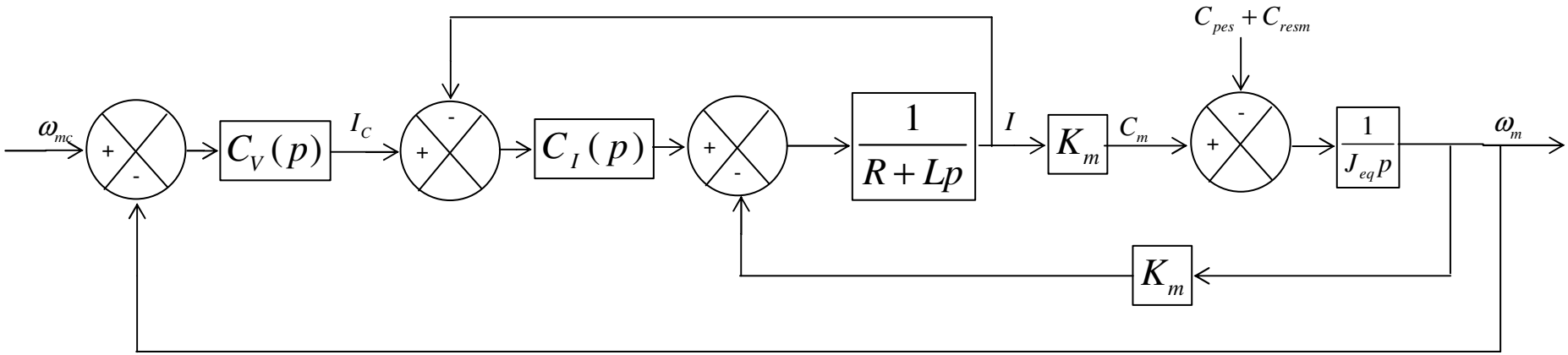
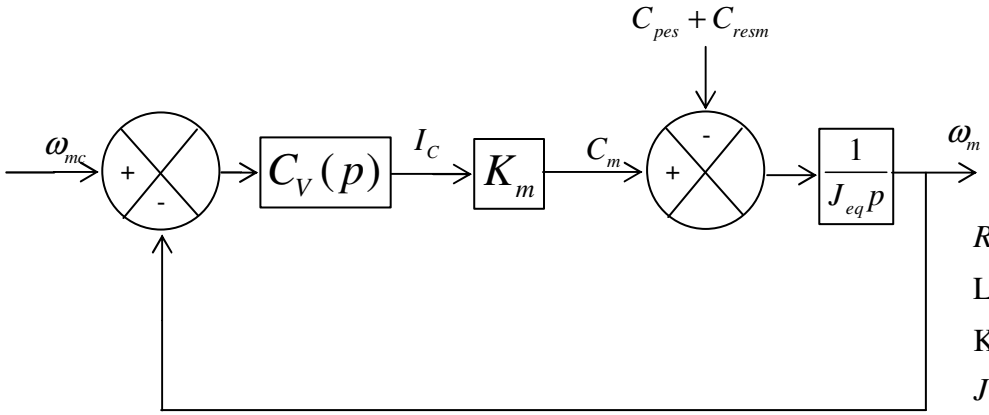


Schéma bloc simplifié de l'asservissement de vitesse (asservissement de courant parfait)



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

$$K_{pvepos} = \frac{K_{PV}}{20.10^{-6}} = \frac{K_i}{20.10^{-6}} \text{ et } K_{ivepos} = \frac{K_{IV}}{5.10^{-3}} = \frac{K_i}{5.10^{-3} T_i}$$

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

L : inductance du bobinage $L = 8,2.10^{-5}$ H

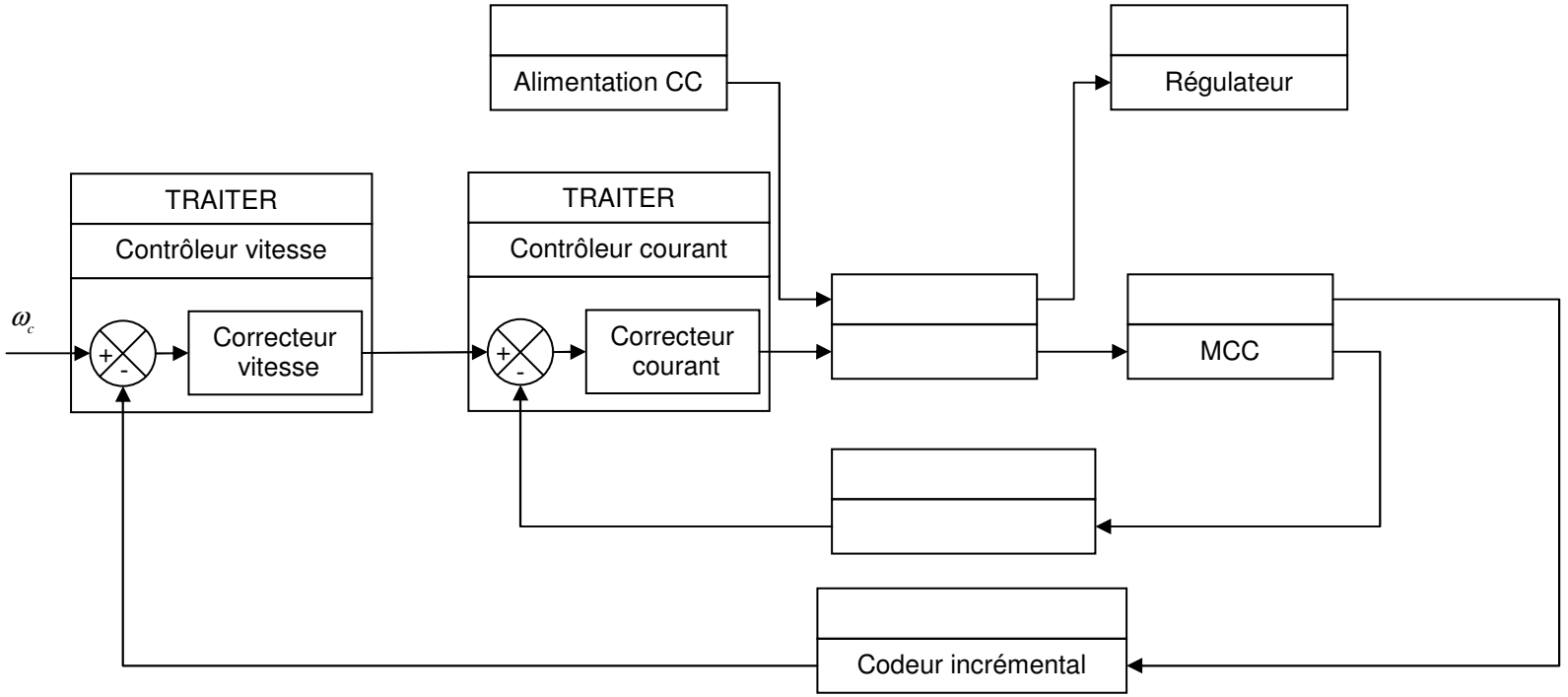
K_m : constante de couple ou de vitesse du moteur $K_m = 0,0302$ Nm.A^{-1}

J_{eq} : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur J_{eq} = ??

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

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

E. Document réponse 1



F. Document réponses 2

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			