

Rapport du projet d'automatique

TP d'asservissement numérique sur maquette Feedback



Sommaire

1. Objectifs.....	1
2. Le matériel mis à disposition.....	1
2.1. La carte d'acquisition	1
2.2. La maquette Feedback.....	1
2.3. Le logiciel	3
3. La réalisation du sujet de TP.....	4
1. But.....	5
2. Utilisation du programme FEEDBACK sous Matlab.....	5
3. Etudes théoriques et expérimentales en BO.....	6
4. Etudes théoriques et expérimentales du correcteur P.....	7
5. Etudes théoriques et expérimentales du correcteur I	9
6. Etudes théoriques et expérimentales du correcteur PI.....	11
4. Conclusion	12
Index des figures	13

1. Objectifs

L'objectif de ce projet était de réaliser un sujet de T.P, en vue d'évaluer les connaissances d'un élève de 2^{ème} année sur ses connaissances théoriques et pratiques en ce qui concerne l'asservissement numérique.

Nous devons pour cela réaliser une interface entre l'ordinateur et une maquette «Feedback» d'un moteur à courant continu. Ce projet ne comportait pas réellement de composante technique. Il suffisait simplement d'avoir en tête les notions nécessaires à la résolution de problèmes relatifs à l'asservissement numérique.

Après une brève étude du logiciel, nous avons donc réalisé la plaque d'interfaçage et écrit un sujet de T.P.

2. Le matériel mis à disposition

2.1 La carte d'acquisition

La Data Acquisition Toolbox est compatible avec plusieurs cartes d'acquisition PC. Celle qui a été choisie provient du fabricant *National Instruments*. Les caractéristiques de notre carte sont les suivantes :

- Bus de donnée PCI
- Taux d'échantillonnage maximal : 200kHz
- Nombre d'entrées analogiques : 16
- Gain des entrées [1 10 100]
- Intervalles des tensions : +/- 10
- Résolution des entrées et des sorties : 12 bits
- Nombre de sorties analogiques : 8
- Entrées/sorties numériques : 8
- Timer : 2

2.2 La maquette Feedback

Cette maquette est un système modulaire d'asservissement à courant continu à potentiomètres. Il est composé, entre autre, au laboratoire d'automatique des éléments suivants :

- ✚ Une alimentation 150E. Sa tension d'alimentation est de 100V/125V ou 200V/250V, 50Hz/60Hz 40VA. La tension de sortie est de 24V. Elle est connectée à l'ampli de commande par une prise 8 broches. Sa tension de référence est de +15V réglée, 50mA servant à alimenter les éléments modulaires.
- ✚ Un amplificateur de commande 150D qui contrôle le moteur.
- ✚ Le moteur 150F : C'est un servomoteur sur lequel est couplé une génératrice tachymétrique 150X et un réducteur de rapport 30/1.

Le schéma de câblage avec la carte d'acquisition est représenté ci-dessous :

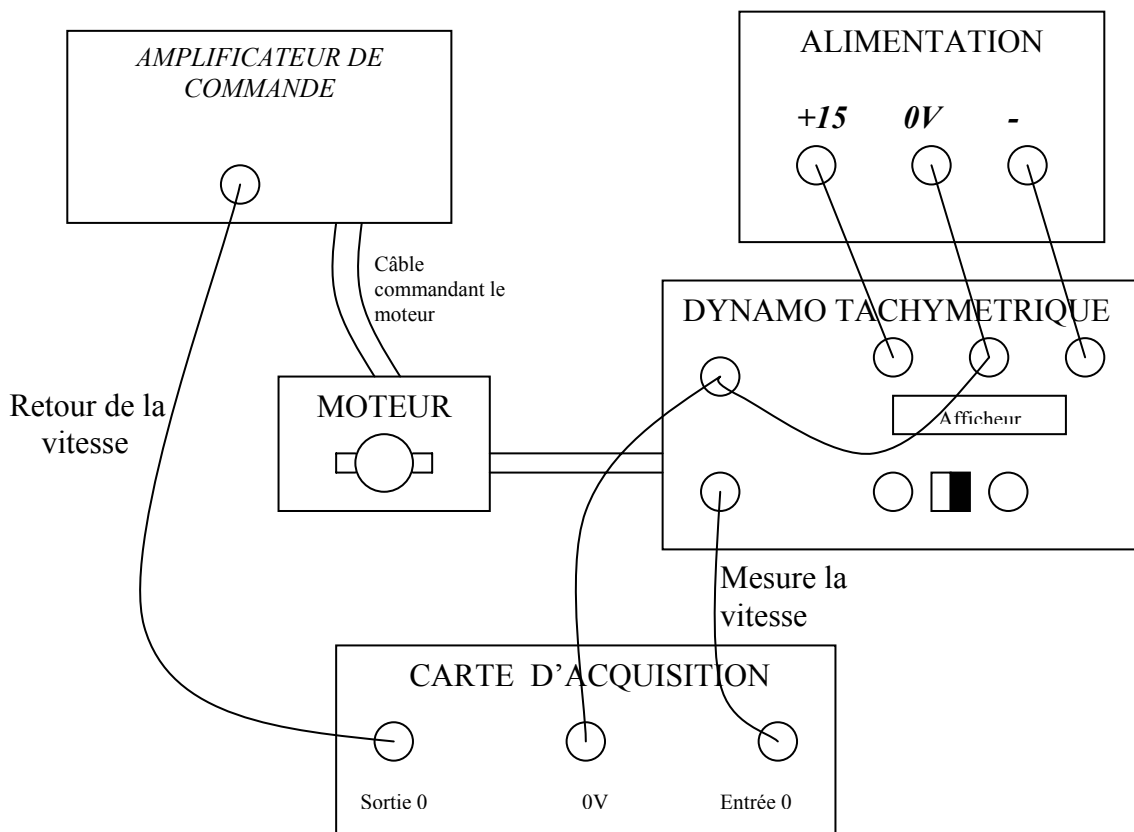


Figure 1 : Schéma de câblage de la maquette

2.3 Le logiciel

Le logiciel d'acquisition de données permet d'échanger l'information entre la carte d'acquisition et l'ordinateur. Il offre la possibilité de configurer la carte d'acquisition, comme le taux d'échantillonnage, et d'acquérir les informations provenant de la carte telles que les données, les messages d'état et les messages d'erreurs.

Le schéma qui suit montre toute la chaîne d'acquisition, c'est en quelque sorte la suite du schéma précédent :

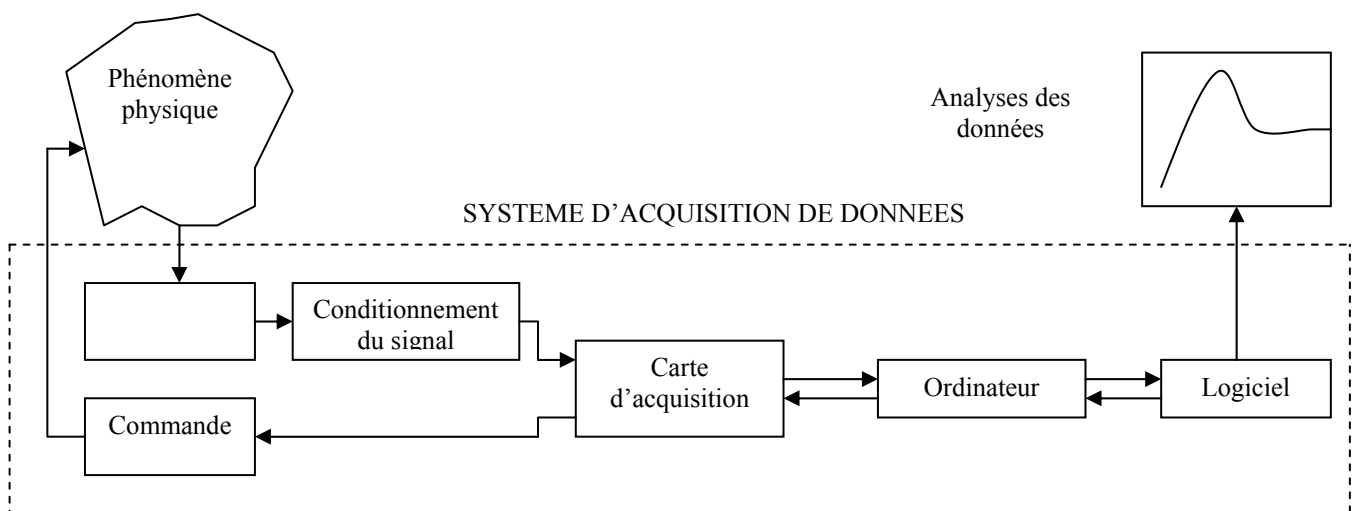


Figure 2 : Système d'acquisition de données

Cette figure montre les deux caractéristiques principales d'un système d'acquisition de données :

- Les signaux sont reçus par le capteur, conditionnés, convertis en bits pour pouvoir être lus par l'ordinateur et analysés afin d'en extraire l'information recherchée,
- Les données depuis l'ordinateur sont converties en un signal analogique et envoyées vers la commande.

3. La réalisation du sujet de TP

Le TP est divisé en 4 parties :

- + Étude en boucle ouverte
- + Étude du correcteur P
- + Étude du correcteur I
- + Étude du correcteur PI

(Libre au professeur de poser ensuite des questions pour un correcteur PID (dépend du temps))

Il permet ainsi de vérifier les connaissances théoriques et pratiques de l'élève sur l'asservissement numérique d'un système simple (du premier ordre) mais corrigé avec tout l'éventail des corrections de l'automatique de base.

Vous trouverez en page suivante le sujet de T.P réalisé annoté de différentes remarques sur le but des questions posées et certaines réponses à celles-ci (*en gras italique*).

N.B. : Les dysfonctionnements successifs du logiciel ne nous ont pas permis de réaliser les différentes mesures que nous souhaitions effectuées et présenter comme corrigé de ce TP. Ainsi, nous nous sommes cantonné à l'aspect théorique.

TP d'automatique

Asservissement numérique de vitesse

Maquette Feedback

1 But

Il s'agit ici d'utiliser la maquette feedback en vue d'étudier le comportement et l'asservissement numérique d'un moteur à courant continu. Ce TP permet également de vérifier expérimentalement un certain nombre de notions concernant les asservissements numériques.

- + Calcul de la fonction de transfert en z,
- + Comportement dynamique de systèmes numériques du premier ordre et du deuxième ordre,
- + Influences séparées et conjuguées des actions de correction numérique de type proportionnelle P et intégrale I,
- + Stabilité en boucle fermée de systèmes numériques et synthèse de correcteurs numériques,
- + Influence de la période d'échantillonnage.

2 Utilisation du programme FEEDBACK sous Matlab

Le régulateur PID numérique programmé et entièrement paramétrable.

Sous le logiciel MATLAB, se placer dans un premier temps dans le répertoire de travail du programme Feedback. Taper ensuite la commande Feedback et la fenêtre d'accueil apparaît, le système est prêt.

- + Utiliser l'entrée analogique et la sortie analogique numérotées zéro.
- + Envoyer la consigne (sortie analogique) sur l'entrée input1 du module SA150D de la maquette.
- + Récupérer la sortie (entrée analogique) sur la sortie « tacho » du module GT150X de la maquette.

N.B : Ne pas oublier de relier la masse de la bobine tachymétrique à la masse de la carte d'acquisition.

3 Etudes théoriques et expérimentales en BO

3.1. Etude théorique

On assimile le moteur à un système du premier ordre.

C_n est l'échantillon de consigne à l'instant $t = n.T_{em}$.

M_n est l'échantillon de mesure de la sortie du système à l'instant $t = n.T_{em}$.

Schéma bloc :

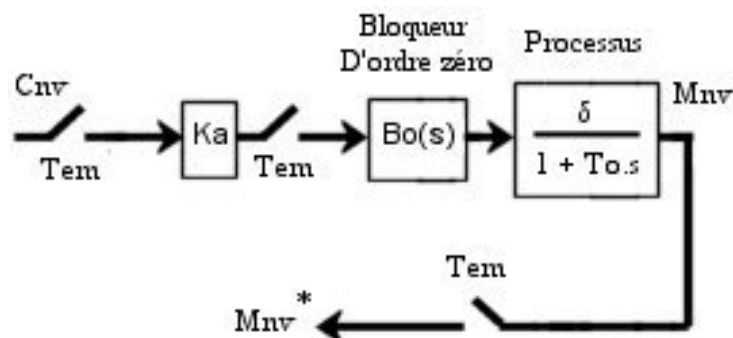


Figure 3 : Schéma bloc du système en boucle ouverte

3.1.1. En s'appuyant sur les tables de transformées données en annexe, exprimer la fonction de transfert en z en boucle ouverte en fonction de T_o et δ .

On calcule $G(z)$ et $T(z)$ le système en boucle ouverte : ($C(z) = 1$). L'élève met en pratique ses notions sur la transformée en z

$$T(z) = C(z)G(z) = \frac{C(z)\delta(1-a)}{z-a} \text{ avec } a = e^{-\frac{T_{em}}{T_o}}$$

On obtient donc la fonction en boucle fermée $H(z)$:

$$H(z) = \frac{C(z)\delta(1-a)}{z-a + C(z)\delta(1-a)}$$

3.2. Etude expérimentale

3.2.1. Avec un essai de votre choix, déterminer la constante de temps du moteur T_o ainsi que son gain statique δ .

L'élève doit réaliser un essai en analogique avec un échelon d'amplitude 1. Il obtiendra la courbe suivante :

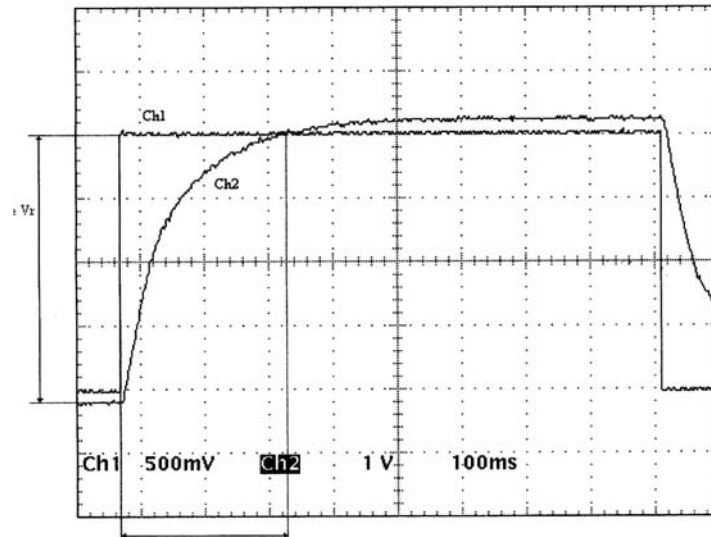


Figure 4 : Réponse du moteur à un échelon de tension

Il en déduira le gain et la constante de temps du moteur :

$$\delta = 2,27$$

$$T_o = 87,3 \text{ ms}$$

3.2.2. En déduire l'expression de sa fonction de transfert en boucle ouverte.

$$T(z) = 2,27 \cdot (1 - a) / (z - a) \quad \text{avec } a = e^{-\frac{T_{em}}{T_o}}$$

IV Etudes théoriques et expérimentales du correcteur P

4.1. Etude théorique

Dans le cas d'un correcteur P, $K_b = 0$ et la sortie du régulateur a pour expression :

$$S_n = K_a \cdot (C_n - M_n), \text{ où}$$

K_a est le coefficient d'action réglable proportionnelle,

C_n est l'échantillon de consigne à l'instant $t = n \cdot T_{em}$,

M_n est l'échantillon de mesure de la sortie du système à l'instant $t = n \cdot T_{em}$,

S_n est l'échantillon de commande résultat du calcul du correcteur P à l'instant $t = n \cdot T_{em}$.

La représentation sous forme de schéma bloc du système est :

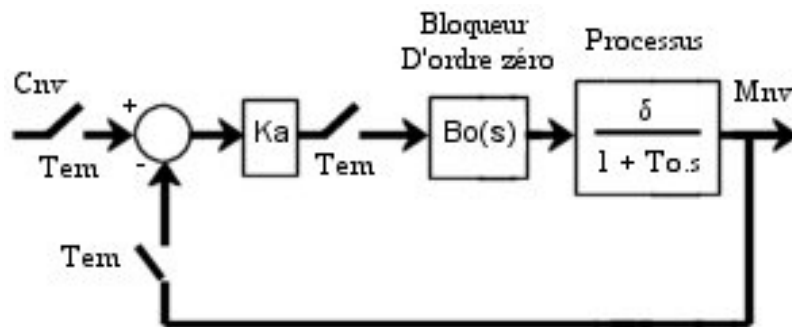


Figure 5 : Schéma bloc du système en boucle fermée

4.1.1. A l'aide de l'étude en boucle ouverte précédente, exprimer la fonction de transfert en z du processus en boucle ouverte notée $G(z)$ puis en boucle fermée notée $F(z)$.

Idem que précédemment il trouve :
$$H(z) = \frac{\delta \cdot K_a \cdot (1-a)}{z-a + \delta \cdot K_a \cdot (1-a)}$$

4.1.2. Exprimer l'évolution de la vitesse au cours du temps, suite à un échelon de consigne d'amplitude A.

En utilisant la transformée en z inverse, il doit trouver :

$$V(t) = K_a \cdot \delta \cdot (1 - \exp(-t/T_o))$$

4.1.3. Exprimer le gain statique en boucle fermée et en déduire la valeur de la vitesse en régime établi. Définir le gain statique ? Son rôle ? Quelle est la relation entre le gain statique en boucle ouverte et le gain statique en boucle fermée ?

Gain statique en BF = $(\delta \cdot K_a \cdot (a-1)) / (a + \delta \cdot K_a \cdot (a-1))$

La vitesse vérifiera $v = \delta \cdot K_f$

Le gain statique représente le gain à la fréquence nulle et donc correspond à $z=1$.

Il permet de déterminer la valeur finale en régime établi.

L'élève doit montrer que : $K_f = K_o / (1 + K_o)$ comme en analogique

4.2. Etude expérimentale

Choisissez une période d'échantillonnage de 2300 Hz et une durée d'acquisition de 5s. Dans la fenêtre suivante garder les valeurs de temporisation et de consigne par défaut.

4.2.1. Calculer la valeur à donner au coefficient K_a pour que la constante de temps en boucle fermée soit 3 fois inférieure à celle en boucle ouverte.

Le but de cette question est de manipuler la transformée en z

4.2.2. Effectuer les essais expérimentaux permettant de vérifier ces résultats.

L'élève entrera la valeur de K_a trouvée et vérifiera effectivement que $T_o = 3.T_f$

4.2.3. En assimilant le correcteur numérique à une action proportionnelle analogique, calculer la fonction de transfert continue en boucle fermée du système. En déduire le gain du correcteur P pour que la constante de temps en boucle fermée soit 3 fois inférieure à celle en boucle ouverte. Comparer avec le résultat obtenu en numérique. Que peut-on en conclure ?

L'élève s'apercevra ici que la réponse en numérique correspond à un développement limité de la réponse en analogique. La constante de temps sera donc un peu plus grande en numérique.

4.2.4. Étudiez l'effet de la variation de la période d'échantillonnage. Que constate-t-on ? Justifiez ce résultat.

Plus la période d'échantillonnage est petite plus on se rapproche du domaine analogique.

4.2.5. Montrer expérimentalement que la position du frein agit sur le gain statique en boucle fermée. Pourquoi ?

Il n'y a pas d'intégration ici, donc le frein agit comme un gain statique entre 0 et 1 : le système est moins nerveux et l'erreur augmente.

NB : Ne pas oublier d'enlever le frein après l'essai !

5 Etudes théoriques et expérimentales du correcteur I numérique

5.1. Etude théorique

Dans le cas d'un correcteur I, $K_a = 0$ et la sortie du régulateur a pour expression :

$$S_n = S_{n-1} + K_b \cdot \varepsilon_n, \text{ où}$$

K_b est le coefficient d'action réglable intégrale,

ε_n est l'échantillon d'erreur $C_n - M_n$ à l'instant $t = n.T_{em}$,

S_n est l'échantillon de commande résultat du calcul du correcteur P à l'instant $t = n.T_{em}$.

S_{n-1} est l'échantillon de commande à l'instant $t = (n-1) \cdot T_{em}$.

5.1.1. À l'aide des méthodes rigoureuses de transposition d'un modèle continu en discret, exprimer la fonction de transfert en z du correcteur I numérique.

Idem que précédemment.

5.1.2. Exprimer en fonction de K_b et T_{em} la constante de temps équivalente d'une action intégrale analogique T_i telle que la commande s'exprime par :

$$S(t) = \frac{1}{T_i} \bullet \int_0^t \varepsilon(\tau) \bullet d\tau$$

L'élève devra utiliser la transformée en z inverse pour trouver cette relation.

5.1.3. Exprimer la fonction de transfert en z en boucle ouverte G(z) puis en boucle fermée F(z).

Idem que précédemment.

5.1.4. Exprimer le gain statique en boucle fermée, en déduire la valeur de la vitesse en régime établi.

Mise sous forme canonique de la fonction de transfert puis identification.

5.1.5. Etudier la stabilité du système bouclé. Existe-t-il une valeur critique de Kb correspondant à la limite de stabilité ?

Utilisation du critère de Jury.

5.1.6. En utilisant les abaques donnés en annexe concernant le comportement des systèmes numériques du 2^{ème} ordre, calculer la valeur à donner au coefficient Kb, le temps de montée Tm et l'amplitude du premier dépassement pour que la réponse indicielle en boucle fermée ait les caractéristiques suivantes :

Coefficient d'amortissement : $\xi = 0.7$.

Période d'échantillonnage : Tem = 435 ms

Utilisation des abaques en z pour prévoir la réponse du système et le régler.

5.1.7. En assimilant l'intégrateur numérique à une action intégrale analogique, c'est à dire en se plaçant dans l'hypothèse quasi-continue et en utilisant les abaques concernant les systèmes analogiques du 2^{ème} ordre, calculer pour les mêmes conditions que précédemment la valeur du coefficient Kb, l'amplitude du premier maximum et l'instant où il a lieu.

5.1.8. Comparer ces résultats avec ceux obtenus à la question précédente.

Idem que précédemment.

5.2. Etude expérimentale

5.2.1. Effectuer les essais expérimentaux permettant de vérifier les résultats calculés lors de l'étude théorique précédente.

5.2.2. Montrer expérimentalement que la position du frein n'agit pas sur le gain statique en boucle fermée.

Il y a une intégration dans la boucle ouverte, le gain statique reste identique ($\varepsilon = 0$)

N.B : ne pas oublier d'enlever le frein après l'essai.

6 Etudes théoriques et expérimentales du correcteur PI numérique

6.1. Etude théorique

Dans le cas d'un correcteur PI, la relation de récurrence entre les échantillons de l'écart et les échantillons de sortie du régulateur a pour expression :

$$S_n = S_{n-1} + K_b \cdot \varepsilon_n + K_a \cdot (\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}), \text{ où}$$

K_a et K_b sont les coefficients d'action réglable proportionnelle et intégrale, ε_n est l'échantillon d'erreur $C_n - M_n$ à l'instant $t = n \cdot T_{em}$, ε_{n-1} est l'échantillon d'erreur $C_{n-1} - M_{n-1}$ à l'instant $t = (n-1) \cdot T_{em}$, S_n est l'échantillon de commande résultat du calcul du correcteur PI à l'instant $t = n \cdot T_{em}$. S_{n-1} est l'échantillon de commande à l'instant $t = (n-1) \cdot T_{em}$.

6.1.1 Exprimer la fonction de transfert en z du correcteur PI numérique. Exprimer, en fonction de K_a , K_b et T_{em} , les coefficients K_p et T_i tels que l'action PI analogique équivalente s'exprime par :

$$S_r(t) = K_p \cdot \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) \cdot d\tau \right)$$

Le correcteur proportionnel est de la forme : $C(z) = \frac{K_a \cdot (z - K_b)}{z - 1}$.

6.1.2. Exprimer la fonction de transfert en z en boucle ouverte $G(z)$ puis en boucle fermée $F(z)$.

On obtient donc :
$$H(z) = \frac{\delta \cdot K_a \cdot (1-a)(z-Kb)}{(z-1)(z-a) + K_a \cdot \delta \cdot (1-a)(z-Kb)}$$

6.1.3. Exprimer le gain statique en boucle fermée et déterminer la condition sur K_a pour que le système reste stable.

Si l'on étudie la stabilité du système avec le critère de Jury, on obtient donc les conditions suivantes :

- $a = 0.996$, on choisira donc $f_e = 2000\text{Hz}$ soit $T_e = 0.5\text{ms}$
- $K_b = 0.0987$
 $K_a = 0.214$

6.1.4. Déterminer les coefficients K_a et K_b pour obtenir une pulsation propre en boucle fermée ω_f 2 fois plus grande que celle obtenue dans le cas de la boucle fermée avec correcteur I et un coefficient d'amortissement ξ identique.

Le but de cette question est de manipuler la transformée en z

6.2 Etude expérimentale

6.2.1. Effectuer les essais expérimentaux permettant de vérifier les résultats calculés lors de l'étude théorique précédente.

6.2.2. Etudier expérimentalement l'influence de K_a sur le comportement du système à K_b constant. De même avec K_a constant et K_b variable.

Discernement entre action intégrale et proportionnelle. On retrouve les résultats précédemment calculés lors des deux autres essais.

6.2.3. Montrer expérimentalement que la position du frein n'agit pas sur le gain statique en boucle fermée.

N.B : ne pas oublier d'enlever le frein après l'essai.

4. Conclusion

Ce projet présentait certes un aspect technique limité puisque la plaque à réalisée était d'un niveau assez basique.

Cependant, il nous a permis d'une part de nous familiariser à la programmation sous Matlab et d'autre part de nous remémorer les notions principales concernant l'asservissement numérique.

Enfin, et c'est l'aspect qui nous semble le plus important, il nécessitait d'avoir une approche pédagogique.

Les questions du TP devaient être claires, précises et avoir un enchaînement logique entre elles.

Nous devons également bien cibler les élèves qui auraient à le mettre en œuvre pour ne pas poser des questions trop difficiles mais pertinentes.

Il nous a ainsi permis de nous placer de l'autre côté de la barrière de l'enseignement ce qui fût très enrichissant.

Index des figures



Figure 1 : Schéma de câblage de la maquette	2
Figure 2 : Système d'acquisition de données	3
Figure 3 : Schéma bloc du système en boucle ouverte	6
Figure 4 : Réponse du moteur à un échelon de tension	7
Figure 5 : Schéma bloc du système en boucle fermée	8