TP Systèmes Asservis

Tp n° 1 :	**Analyse des performances d'un système de commande**
Tp n° 2:	**Résolution d'un problème d'asservissement par la méthode du placement de pôles**
Tp n° 3 (séances 3 et 4):	**Asservissement de procédés expérimentaux**

Remarques Générales concernant les TP

La présence aux TP est **obligatoire**. Toute absence non justifiée sera **sanctionnée par la note zéro attribuée à la séance correspondante**. D'autre part, un TP ne peut être correctement réalisé que si le cours et les TD ont été <u>travaillés</u>. En particulier, une séance de TP n'est pas consacrée à effectuer des rappels de cours.

Vous devez **IMPERATIVEMENT** apporter en TP vos cours et Td de Systèmes Asservis ET de Représentation des Signaux et Systèmes.

Il y a 4 séances de TP de systèmes asservis.

Remarques Générales concernant vos programmes

Vos programmes Matlab doivent être correctement structurés. En particulier, l'ensemble des valeurs numériques est défini en début de programme, le reste du programme ne comportant que des lignes génériques de calcul. Cette approche vous permettra de pouvoir utiliser facilement votre programme sur différentes applications en modifiant (utilisant la même classe de système) uniquement les valeurs numériques utilisées.

TP n°1

Analyse des performances de plusieurs systèmes de commande

Dans ce premier Tp, nous nous intéressons au problème de l'asservissement des systèmes linéaires invariants dans le temps (LTI) pouvant être décrits par une fonction de transfert du second ordre. Ce choix est motivé par le fait que les procédés instrumentaux sur lesquels vous travaillerez lors des deux dernières séances sont des systèmes d'ordre 2.

Le système considéré dans ce premier TP a pour fonction de transfert

$$G_1(p) = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{kw_0^2}{p^2 + 2\xi w_0 p + w_0^2}$$

I Analyse du système à commander

Le fichier Matlab *asservissement_2nd_ordre.m* contient les lignes de code nécessaires à la définition de la fonction de transfert $G_1(p)$ avec

$$k = 1.5; \xi = 0.3; w_0 = 3$$

Compléter le programme pour répondre aux questions suivantes :

- A l'aide de la fonction impulse(), afficher sur la figure 1 la réponse impulsionnelle de $G_1(p)$. Analyser la stabilité de $G_1(p)$
- A l'aide de la fonction pzmap(), afficher sur la figure 2 la position des pôles et zéros de $G_1(p)$ et mesurer le module des pôles. Rappelons qu'il s'agit d'un indicateur de la rapidité du système.

Ouvrir le schéma Simulink *simulation_boucle_ouverte.mdl*. Le **théorème de superposition** permet d'analyser les performances temporelles du système pour chaque signal d'excitation en « éteignant » les autres sources. Pour 'activer' ou 'éteindre' un signal, il suffit de positionner à 1 ou à 0 le flag associé dans le programme, les flags étant *entree_bo* et *pertu_bo*.

- Effectuer une réponse indicielle de $G_1(p)$ et mesurer
  - le temps de réponse à 5% $t_{5\%\_bo}$
  - le dépassement relatif

- Appliquer un échelon de perturbation de sortie $v_y(t)$ d'amplitude unitaire
  - Quel est le comportement du système par rapport à cette perturbation ?

Outre la définition du système à commander, le programme *asservissement_2nd_ordre.m* calcule quatre régulateurs nommés **reg_i** où i est le numéro du régulateur. Leurs numérateurs et dénominateurs sont stockés dans les variables **Rn_i** et **Rd_i**.

L'objectif du TP consiste à

- **Comparer les performances des quatre asservissements.**
- **Analyser l'influence des paramètres de synthèse du régulateur sur les performances du système de commande.**

II Résolution d'un objectif de régulation.

II.1 Premier régulateur

Dans cette partie, nous désirons concevoir un asservissement de $G_1(p)$ qui répond au cahier des charges suivant

S_1 *le système en boucle fermé doit être* ***asymptotiquement stable***

II.1.1 Analyse fréquentielle du système bouclé

1. Effet des perturbations de sortie

Compléter le programme Matlab afin de

- Générer la fonction de transfert reliant la sortie y(t) à une perturbation de sortie $v_y(t)$

Exemple : Pour générer la fonction de transfert $F(p) = \dfrac{B_1(p)B_2(p)}{A_1(p)A_2(p)}$, *un exemple de programme Matlab est donné ci-dessous*

```
Btot = conv(B1,B2) ;  % convolution des polynômes B1 et B2
Atot = conv(A1,A2) ; % convolution des polynômes B1 et B2
F =tf(Btot,Atot) ;
```

- A l'aide de la fonction ***pzmap()***, tracer sur la figure 3 le lieu des pôles et zéros de cette fonction de transfert afin de
  - Mesurer la pulsation naturelle w_{reg} du mode **dominant**. En déduire le module des pôles dominants.
  - Mesurer la constante de temps des modes **auxilliaires**
  - **Performances dynamiques** : déduire des deux mesures précédentes une comparaison des rapidités relatives de $G_1(p)$ et du système en boucle fermée

- déterminer la nature des perturbations qui seront **éliminées** asymptotiquement

- Afficher sur la figure 4 le diagramme de Bode de la fonction de transfert reliant la sortie à une perturbation de sortie

  - **Performances statiques** : déterminer la valeur finale y_∞ de la sortie y(t) et en déduire l'erreur de position lorsque le système sera soumis à une perturbation échelon de sortie $v_y(t)$ d'amplitude unitaire.
  - Déterminer l'ensemble des perturbations qui seront éliminées asymptotiquement.

2. Générer la fonction de transfert reliant la commande u(t) au bruit de mesure.

   - Afficher le diagramme de Bode de cette fonction de transfert sur la figure 5. Sachant que le spectre du bruit est essentiellement situé en hautes fréquences, mesurer le gain d'amplification ou d'atténuation du bruit sur la commande.

II.1.2 Analyse temporelle du système bouclé

Compléter le programme en utilisant la fonction mise_en_oeuvre (Rn_i,Rd_i) qui renvoie les fonctions de transfert Rn_tf et Rd_tf qui seront utilisées dans le schéma Simulink .
A l'aide du schéma Simulink *simulation_regulation.mdl* et en utilisant le théorème de superposition (les flags sont maintenant *pertu_bf* et *bruit_bf*)

- vérifiez que le système bouclé réagit dynamiquement à l'effet de la perturbation (à la différence de $G_1(p)$)

- **Performances dynamiques** : mesurer le temps de réponse à 5% $t_{5\%\_reg}$ et comparer ce temps à $t_{5\%\_bo}$. Comparer ainsi à nouveau la rapidité de $G_1(p)$ et du système bouclé.

- **Performances statiques** : Mesurer l'erreur de position en présence d'une **perturbation de sortie d'amplitude unitaire**, toutes les autres sources étant éteintes. Comparer cette valeur à y_∞

- Observer l'effet d'un bruit de mesure sur **la commande**. Mesurer le facteur d'amplification ou d'atténuation.

Bilan du II.1

Quel bilan tirez vous des performances de ce premier système de commande ? En particulier,

1. la spécification S_1 est-t–elle réalisée ?
2. comparer les performances dynamiques par rapport à la boucle ouverte
3. quelles sont les performances statiques
4. quel est l'effet du bruit de mesure sur la commande

II.2 Prise en compte des perturbations

Pour améliorer les performances du système de commande, le cahier des charges est maintenant constitué de deux spécifications à réaliser

S_1 *le système en boucle fermé doit être **asymptotiquement stable***

S_2 une perturbation de type **échelon en entrée $v_u(t)$ ou en sortie** $v_y(t)$ doit être **rejetée asymptotiquement** (rejetée et non atténuée !!) sur la sortie

Un nouveau régulateur a été calculé, il s'agit de reg_2.

- Réaliser à nouveau les analyses fréquentielles en répondant aux mêmes questions qu'au II.1.1.
- Comparer le nombre et la position des pôles de la boucle fermée par rapport au II.1. En déduire une comparaison des performances dynamiques (rapidité) des deux boucles.
- A l'aide de la fonction pzmap( ), déterminer la position des pôles et zéros de **reg_2**.
- Déduire des questions précédentes la propriété du régulateur **reg_2** qui permet maintenant d'éliminer asymptotiquement les perturbations de type échelon.
- Réaliser à nouveau les analyses temporelles en répondant aux mêmes questions qu'au II.1.2.

Bilan du II.2

Quel bilan tirez vous des performances de ce nouveau système de commande ? En particulier,

1. les spécifications S_1 et S_2 sont-t–elles réalisées ?
2. comparer les performances dynamiques par rapport à la boucle ouverte
3. quelles sont les performances statiques ?
4. quel est l'effet du bruit de mesure sur la commande ?

II.3 Prise en compte de la sensibilité de la commande au bruit de mesure

L'inconvénient majeur de reg_2 réside dans la forte sensibilité de la commande aux bruits de mesure. Cette forte sensibilité génère une sollicitation importante de l'actionneur (organe qui applique physiquement la commande au procédé, par exemple une électrovanne) ce qui réduit inévitablement sa durée de vie. L'objectif consiste donc maintenant à répondre à un cahier des charges constitué des **trois** spécifications suivantes :

S_1 *le système en boucle fermé doit être* ***asymptotiquement stable***

S_2 une perturbation de type **échelon en entrée $v_u(t)$ ou en sortie** $v_y(t)$ doit être **rejetée asymptotiquement** (rejetée et non atténuée !!) sur la sortie

S_3 *Le bruit de mesure $\eta_y(t)$ généré par le capteur doit être atténué sur la commande.*

Un nouveau régulateur a été calculé, il s'agit de reg_3.

- Réaliser à nouveau les analyses fréquentielles en comparant les mesures à celles réalisées avec reg_2.
- Afficher le diagramme de bode de reg_3 et en déduire la propriété de reg_3 qui permet à ce nouvel asservissement d'être moins sensible au bruit de mesure que reg_2.
- Réaliser à nouveau les analyses temporelles sous simulink

Bilan du II.3

Quel bilan tirez vous des performances de ce nouveau système de commande ? En particulier,

1. les spécifications S_1, S_2 et S_3 sont-t–elles réalisées ?
2. comparer les performances dynamiques par rapport à la boucle ouverte
3. quelles sont les performances statiques ?
4. quel est l'effet du bruit de mesure sur la commande ?

II.4 Effet des paramètres de synthèse sur les performances du système de commande

Le régulateur reg_3 possède un seul paramètre de réglage w_{reg} qui caractérise la pulsation naturelle des modes dominants de la boucle fermée. La valeur de w_{reg} aura une influence sur la dynamique du système de commande (typiquement les bandes passantes des différentes fonctions de transfert observées) et sur l'amplitude de la commande u(t).

- Pour deux valeurs de w_{reg} ($w_{reg} = 1.5\ w_0$ et $w_{reg} = 15\ w_0$), comparer
  - **les performances statiques** : la nature des perturbations qui sont éliminées asymptotiquement
  - **les performances dynamiques** : comparer les temps de réponse à 5% des deux boucles
  - la valeur de l'énergie totale dépensée (énergie de la commande) pour une perturbation de sortie d'amplitude unitaire.

Bilan du II.4

Quel bilan tirez vous de l'effet de w_{reg} sur les performances du système de commande ? Peut – on se permettre d'augmenter w_{reg} à volonté ?

Par la suite, nous reprendrons le réglage $w_{reg} = 1.5\ w_{0.}$

III Résolution d'un objectif de poursuite et régulation.

L'objectif ultime d'un asservissement consiste à suivre une consigne y*(t) indépendamment des perturbations. Le cahier des charges devient le suivant

S_1 *le système en boucle fermé doit être* ***asymptotiquement stable***

S_2 une perturbation de type **échelon en entrée v_u(t) ou en sortie** v_y(t) doit être **rejetée asymptotiquement** (rejetée et non atténuée !!) sur la sortie

S_3 *Le bruit de mesure $\eta_y(t)$ généré par le capteur doit être atténué sur la commande.*

S_4 *la sortie doit suivre une séquence de référence de type échelon*

- *sans erreur statique*
- *avec une dynamique* <u>*indépendante de la régulation*</u> *et du type second ordre avec un temps du premier dépassement t_{d_po} qui est généralement choisi plus lent que t_{d_bf}.*

La dynamique de poursuite (fonction de transfert entre la sortie *y(t)* et la consigne $y^*(t)$) est donnée par

$$Y(p) = \frac{B(p)R_p(p)}{P_c(p)} \frac{B^*(p)}{A^*(p)} Y^*(p)$$

Où $\frac{B^*(p)}{A^*(p)}$ a pour rôle de filtrer la consigne y*(t).

Cette dynamique de poursuite est reliée à la dynamique de régulation puisque les deux fonctions de transfert possèdent le même dénominateur. Afin de rendre des deux fonctions de transfert indépendantes, nous choisissons le polynôme $R_p(p)$ de la forme

$$R_p(p) = \frac{P_c(p)}{B(0)}$$

Ce qui conduit à

$$Y(p) = \frac{B(p)}{B(0)} \frac{B^*(p)}{A^*(p)} Y^*(p)$$

Dans notre exemple, $B(p) = B(0)$ d'où

$$Y(p) = \frac{B^*(p)}{A^*(p)} Y^*(p)$$

Ceci montre que la dynamique de poursuite est donc entièrement réglée par $\frac{B^*(p)}{A^*(p)}$ qui est appelé **Modèle de Référence**.

Un nouveau régulateur **reg_4** a été calculé. Les polynômes de ce régulateur sont Rn_4, Rd_4 et Rp_4. Le modèle de référence a également été synthétisé et stocké dans la variable **modele_reference**. Il s'agit d'un filtre du second ordre d'amortissement unitaire et de pulsation naturelle w_p (défini en début de programme).

- Démasquer le code pour l'appel de la fonction mise_en_oeuvre_2(Rn_4,Rd_4,Rp_4) qui renvoie les fonctions de transfert Rn_tf, Rd_tf et Rp_tf qui seront utilisées dans le schéma Simulink .

- Démasquer le code qui permet la définition des deux flags *consigne_bf* et *pertu_bf* dont le rôle est toujours de permettre d'activer ou d'éteindre une source.

- Ouvrir le schéma Simulink *simulation_poursuite.mdl* et réaliser un essai de poursuite. Observer la sortie et mesurer, en les comparant au cahier des charges :

    - **Performances statiques** : l'erreur de position en poursuite.

    - **Performances dynamiques** : le temps de réponse à 5% en poursuite $t_{5\%\_po}$

    - **Comparer** $t_{5\%\_po}$ à $t_{5\%\_bf}$ et comparer les rapidités de la poursuite et de la régulation.

    - L'énergie de commande dépensée

    - quel est l'impact de la valeur de w_p sur les mesures précédentes ?