

ENSICAEN
Spécialité Electronique et Physique Appliquée
2^{ème} année

TP Systèmes asservis échantillonnés 2019 - 2020

Olivier Gehan, Tomas Ménard
olivier.gehan@ensicaen.fr, tomas.menard@unicaen.fr

October 14, 2019

1 TP 1 : Analyse des performances d'un système asservi échantillonné

1.1 Objectifs

- **Caractérisation des performances d'un système échantillonné asservi** : nous étudierons soigneusement le lien entre le cahier des charges et les performances temporelles et fréquentielles d'un système asservi.
- **Prise en main des outils de Matlab / Simulink** : écriture d'un programme général pour l'étude et la synthèse d'un régulateur discret à deux degrés de liberté : ce programme sera systématiquement utilisé dans toutes les séances de TP.

Les différentes étapes du TP seront les suivantes

1. Choix de la période d'échantillonnage
2. Calcul de la fonction de transfert échantillonnée - bloquée du système à commander
3. Analyse fréquentielle des performances du système asservi et lien avec le cahier des charges
4. Vérification expérimentale de la conformité avec la théorie

1.2 Procédé étudié

Le système à commander est un système électrique du second ordre intégrateur dont la fonction de transfert est donnée par

$$G(p) = \frac{1.5}{p(1 + 2.2p)} \quad (1)$$

Le schéma bloc associé au système à commander incluant les signaux de commande $u(t)$, de sortie $y(t)$ et les perturbations considérées $v_u(t)$ et $v_y(t)$ est représenté sur la figure 1.

1.3 Système de commande

Le système de commande est représenté sur la figure 2. Les fonctions de transfert à considérer sont les suivantes :

- Fonction de transfert échantillonnée - bloquée du système à commander (ensemble actionneur - système - capteur) : $G(z) = z^{-d-1} \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}$
- Fonction de transfert du régulateur : $R_r(z) = \frac{R(z^{-1})}{S(z^{-1})D_r(z^{-1})}$
- Fonction de transfert en boucle ouverte : $G_{bo}(z) = R_r(z)G(z)$

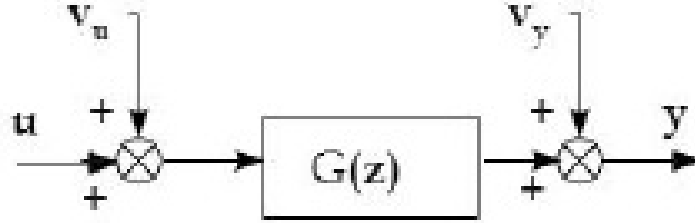


Figure 1: Système en boucle ouverte

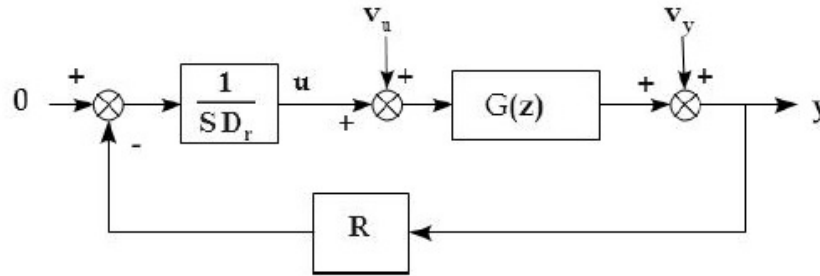


Figure 2: Système de commande

- Fonction de sensibilité : $T_{v_y \rightarrow y} = \frac{1}{1+G_{bo}(z)} = \frac{A(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})+z^{-d-1}B(z^{-1})R(z^{-1})}$
- Fonction de sensibilité \times Système : $T_{v_u \rightarrow y} = \frac{G(z)}{1+G_{bo}(z)} = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})+z^{-d-1}B(z^{-1})R(z^{-1})}$
- Fonction de sensibilité \times Régulateur : $T_{v_y \rightarrow u} = \frac{R_r(z)}{1+G_{bo}(z)} = \frac{A(z^{-1})R(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})+z^{-d-1}B(z^{-1})R(z^{-1})}$
- Fonction de sensibilité complémentaire : $T_{v_u \rightarrow u} = \frac{G_{bo}(z)}{1+G_{bo}(z)} = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})R(z^{-1})}{A(z^{-1})S(z^{-1})D_r(z^{-1})+z^{-d-1}B(z^{-1})R(z^{-1})}$

1.4 Cahier des charges

Durant ce TP, seul le rejet de perturbations sera étudié (consigne nulle). Les perturbations en entrée et en sortie de type échelon et de type sinusoïdal (pulsation de 4 rad/s) doivent être rejetées avec une dynamique dominante de régulation spécifiée par un système du second ordre de coefficient d'amortissement = 0.7 et présentant un temps du premier dépassement $t_{max} \approx 2s$. Justifiez alors le choix de la période d'échantillonnage $T_e = 0.2s$

1.5 Régulateurs étudiés

1.5.1 Régulateur 1

- $R(z^{-1}) = 1$
- $S(z^{-1})D_r(z^{-1}) = 5$

1.5.2 Régulateur 2

- $R(z^{-1}) = 57.6 - 95.12z^{-1} + 40.3z^{-2}$
- $S(z^{-1})D_r(z^{-1}) = 1 - 0.43z^{-1} - 0.57z^{-2}$

1.5.3 Régulateur 3

- $R(z^{-1}) = 87 - 200z^{-1} + 172z^{-2} - 54z^{-3}$
- $S(z^{-1})D_r(z^{-1}) = 1 - 0.635z^{-1} - 0.056z^{-2} + 0.758z^{-3}$

1.6 Mise au point sous Matlab

1. Calculez la fonction de transfert échantillonnée - bloquée : *tf*, *c2d*, ...
2. Représentez sur une même figure les réponses indicielles des modèles continu et discret
3. Définir les vecteurs représentant les polynômes du régulateur $R(z^{-1})$ et $S(z^{-1})D_r(z^{-1})$
4. En déduire la fonction de transfert discrète du régulateur
5. En déduire la fonction de transfert en boucle ouverte
6. En déduire les fonctions de sensibilités
7. Représentez et analysez les diagrammes de Black - Nichols de la fonction de transfert en boucle ouverte $G_{bo}(z^{-1})$ et de la fonction de transfert du système à commander $G(z^{-1})$
8. Représentez le module des réponses fréquentielles des quatres fonctions de sensibilités (le réaliser sur une seule fenêtre à l'aide de l'instruction *subplot*)

1.7 Travail à fournir

Faire une analyse fréquentielle et temporelle des trois régulateurs proposés pour les trois type de perturbations indiqués dans les tableaux ci-joints et y porter le résultat de vos observations.

1. **Analyse temporelle** : tracez à l'aide du logiciel Simulink les réponses temporelles du système en boucle fermée

2. **Analyse fréquentielle** : faire le lien entre le cahier des charges et les diagrammes fréquentiels obtenus

		Perturbation d'entrée v_u			Perturbation de sortie v_y		
		Echelon	Sinusoïde 4 rd/s	Sinusoïde 7rd/s	Echelon	Sinusoïde 4 rd/s	Sinusoïde 7 rd/s
	Analyse Temporelle						
Correcteur 1							
	Analyse Temporelle						
Correcteur 2							
	Analyse Temporelle						
Correcteur 3							

ANALYSE TEMPORELLE

ANALYSE FREQUENTIELLE

		Perturbation d'entrée v_e	Perturbation de sortie v_s
Correcteur 1	Action sur y		
	Action sur u		
Correcteur 2	Action sur y		
	Action sur u		
Correcteur 3	Action sur y		
	Action sur u		

2 TP 2 : Synthèse d'une loi de commande par la technique du placement de pôles en utilisant l'approche polynômiale

Objectifs : le but de ce TP est de concevoir un algorithme de commande discret en utilisant la technique du placement de pôles.

Etapes de mise au point :

1. traduction du cahier des charges en une spécification des pôles de la boucle fermée
2. calcul du régulateurs à partir du polynôme caractéristique obtenu au point 1 en résolvant l'équation de Bezout
3. validation en simulation de ce régulateur à l'aide de Simulink

Décomposition des deux premières étapes :

1. choix de la dynamique de régulation de la boucle fermée
2. choix de la période d'échantillonnage et calcul du modèle échantillonné bloqué du système à commander
3. choix du modèle de perturbations et calcul des polynômes $R_n(z^{-1})$ et $R_d(z^{-1})$ par résolution de l'équation de Bezout
4. Calcul du polynôme $R_p(z^{-1})$ pour réaliser une poursuite semi-parfaite
5. choix d'une dynamique de poursuite et calcul du modèle de référence correspondant
6. analyse des performances et de la robustesse du système de commande, en particulier Marge de Gain, Marge de Phase et Marge de Module

Procédés à étudier :

1. Procédé électronique : $G(p) = \frac{1.5}{p(2.2p+1)}$
 - (a) **cahier des charges :**
Le régulateur devra assurer un rejet de perturbations de type échelon en entrée ou en sortie et une poursuite de consigne de type semi-parfaite
 - (b) **dynamique de régulation :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 1$ et une pulsation naturelle $w_0 = 2$ rad/s
 - (c) **dynamique de poursuite :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 1$ et une pulsation naturelle $w_0 = 1$ rad/s

- (d) Justifiez la période d'échantillonnage $T_e = 0.15s$
- (e) Après avoir calculer le régulateur, tracez de diagramme de Black de la boucle ouverte et l'évolution du module de la fonction de Sensibilité pour déterminer les Marges de Robustesse

2. Bille sur rail : $G(p) = \frac{1.724}{p^2}$

- (a) **cahier des charges :**
Le régulateur devra assurer un rejet de perturbations de type échelon en entrée ou en sortie et une poursuite de consigne de type semi-parfaite
- (b) **dynamique de régulation :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 0.6$ et une pulsation naturelle $w_0 = 3$ rad/s
- (c) **dynamique de poursuite :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 0.6$ et une pulsation naturelle $w_0 = 2$ rad/s
- (d) Justifiez la période d'échantillonnage $T_e = 0.1s$
- (e) Après avoir calculer le régulateur, tracez de diagramme de Black de la boucle ouverte et l'évolution du module de la fonction de Sensibilité pour déterminer les Marges de Robustesse

3. Bras flexible : $G(p) = \frac{1.87}{p}$

- (a) **cahier des charges :**
Le régulateur devra assurer un rejet de perturbations de type échelon en entrée ou en sortie et une poursuite de consigne de type semi-parfaite
- (b) **dynamique de régulation :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 0.7$ et une pulsation naturelle $w_0 = 2.5$ rad/s
- (c) **dynamique de poursuite :**
Elle doit être fixée par un mode dominant du second ordre avec un amortissement $\zeta = 0.7$ et une pulsation naturelle $w_0 = 1$ rad/s
- (d) Justifiez la période d'échantillonnage $T_e = 0.1s$
- (e) Après avoir calculer le régulateur, tracez de diagramme de Black de la boucle ouverte et l'évolution du module de la fonction de Sensibilité pour déterminer les Marges de Robustesse