

Semcheddine Samia

Cours d'automatique
Avec exercices corrigés



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

©Office des Publications Universitaires :
EDITION :
I.S.B.N :
Dépôt légal :

Avant-propos

Ce cours est destiné aux étudiants de master électronique industriel ou en informatique industrielle ou en automatique ou éventuellement une spécialité équivalente. Ces étudiants ont déjà suivi en licence la représentation des processus par fonction de transfert pour le cas en continu et peut être en discret pour certaines spécialités. Ainsi leurs connaissances sur la transformé de Laplace et la transformé en Z sont suffisantes pour accéder à la compréhension de la notion de la représentation d'état des systèmes dans le cas général. Néanmoins pour les systèmes discrets c'est-à-dire la transformé en Z, les étudiants ne connaissent que des notions très vagues malheureusement donc on ne s'est pas approfondi sur ce type de systèmes. Toutes les notions théoriques ainsi que tous les exercices présentés ici sont à la portée de l'étudiant Algérien puisque je les ai déjà enseignés et expérimentés pendant plusieurs années. Deux semestres sont largement suffisants pour balayer le contenu de ce polycopié. Ce polycopié peut être utilisé aussi par tous les étudiants préparant un projet de fin d'étude PFE ou un mémoire de magister ou même une thèse de doctorat. C'est-à-dire tous les étudiants à partir du master dans un département d'électronique ou électrotechnique s'intéressant à l'automatique peuvent s'initier à partir de ce polycopié. Il est un guide simplifié où les notions de base sont présentées de façon simple pour permettre aux lecteurs de démarrer rapidement. Ce qui m'a encouragé à rédiger ce polycopié c'est l'absence d'ouvrages Algérien traitant ce genre de problèmes.

Ma modeste expérience d'enseignante m'a permis d'observer que le cours d'automatique ne peut être considéré pédagogiquement complet que lorsqu'il est soutenu par des exercices qui seraient proche du domaine pratique. C'est pour cela que j'ai insisté sur la proposition d'exercices avec solutions. Les exercices sans solutions existent déjà sur internet. Matlab étant un logiciel très utilisé en automatique, il est nécessaire de maîtriser ce logiciel dans cette matière. En rédigeant ce polycopié, j'ai essayé de simplifier et de banaliser les problèmes en tenant compte du niveau de l'étudiant Algérien puis j'ai fait exprès de donner les calculs en détails afin d'éviter tout problème de lacune.

Alors dans la première partie qui concerne la représentation dans l'espace d'état, j'ai essayé de présenter tous les types de systèmes qu'on peut rencontrer en automatique en commençant par les plus simples linéaire continu puis discret et ainsi de suite jusqu'à arriver aux plus complexes c'est-à-dire les chapitres des systèmes non linéaires et hybrides tout en donnant des exemples de systèmes réels dans le but de comprendre que l'automatique ce n'est pas uniquement des calculs mais aussi c'est une science pratique et très utilisée en industrie. Puis comment on modélise ces processus et à la fin on va voir comment on analyse ces systèmes. Sans oublier d'introduire la notion d'observateur qui connaît un intérêt très important dans les processus industriels.

La seconde partie aborde l'étude de la stabilité et de quelques méthodes pour la commande. Pour la stabilité, on s'est contenté de détailler l'étude de la stabilité par LYAPUNOV. Les étudiants qui arrivent en master ont déjà abordé la notion de stabilité en licence mais malheureusement autant qu'enseignante je constate que cette notion n'est pas bien acquise par beaucoup d'étudiants. Donc lors de la commande, on va expliquer la notion de stabilité à travers des courbes obtenues par Matlab. La commande a pour objectifs

d'améliorer les performances d'un système mais il faut préserver la stabilité du système qui est beaucoup plus importante que les performances. Pour la commande, on propose plusieurs techniques utilisées dans la commande et on explique à l'étudiant dans quel cas utiliser chaque technique selon le type de système et les objectifs à atteindre. Bien sûr, il existe beaucoup d'autres techniques pour commander un système spécialement dans le cas des systèmes non linéaires telles que la commande par réseaux de neurone ou la commande extrémale ou encore la commande par mode glissant. Pour les systèmes linéaires, les étudiants ont normalement déjà vu certains régulateurs au cours de leur licence comme le régulateur proportionnel ou intégral ou dérivateur ou contrôleur PID tel qu'ils ont l'habitude de l'appeler.

A la dernière partie, l'étudiant va pouvoir trouver la correction des exercices proposés afin de lui éviter de rester bloqué.

Sommaire

Avant-propos.....	
PARTIE I.....	
REPRESENTATION DES SYSTEMES DANS L'ESPACE D'ETAT ET ANALYSE	
1. Notion de système	
1.1. Définition	
1.2. Modélisation d'un système.....	
1.3. Représentation par équation différentielle	
1.4. Représentation par la fonction de transfert	
1.5. Représentation d'état.....	
1.6. Différents types de système.....	
Système linéaire	
Système non linéaire	
Système continu	
Système discret.....	
Système invariant ou stationnaire	
Système monovariéable	
Système mutivariéable	
Système hybride	
1.7. Exercices proposés	
2. Représentation d'état des systèmes linéaires à temps continu	
2.1. Système continu	
2.2. Représentation dans l'espace d'état	
2.3. Cas d'un système SISO.....	
2.4. Cas d'un système MIMO	
2.5. Exemple d'un système linéaire invariant	
2.6. Résolution des équations d'état.....	
2.7. Calcul de la matrice de transition.....	
Développement de Taylor.....	
Utilisation de la Transformée de Laplace	
Méthode de diagonalisation de la matrice de transition.....	
Méthode de Cayley Hamilton	

2.8.	Calcul de l'état d'un système .....	.....
2.9.	Exercices proposés .....	.....
3.	Analyse des systèmes linéaires continus.....	.....
3.1.	Introduction .....	.....
3.2.	Commandabilité d'un système.....	.....
3.3.	Calcul de la commande d'un système.....	.....
3.4.	Observabilité de l'état d'un système .....	.....
3.5.	Observateur .....	.....
3.6.	Synthèse d'observateur .....	.....
3.7.	Observateur de LUENBERGER.....	.....
3.8.	Filtre de KALMAN.....	.....
3.9.	Observateur mode glissant des systèmes linéaires.....	.....
3.10.	Exercices proposés .....	.....
4.	Relation entre fonction ou matrice de transfert et représentation d'état .....	.....
4.1.	Calcul de la fonction ou matrice de transfert à partir de la représentation d'état .....	.....
4.2.	Représentation d'état à partir d'une fonction de transfert.....	.....
	Cas de FT simple.....	.....
	FT sous forme de somme d'éléments simples .....	.....
	FT sous forme de produit d'éléments simples .....	.....
	FT possédant des pôles complexes conjugués (système du deuxième ordre).....	.....
4.3.	Différentes formes de la représentation d'état .....	.....
4.4.	Forme de Jordan .....	.....
4.5.	Exercices proposés .....	.....
5.	Systèmes à temps discret.....	.....
5.1.	Système discret.....	.....
5.2.	Variables d'état en temps discret .....	.....
5.3.	Critère de commandabilité.....	.....
5.4.	Critère d'observabilité.....	.....
5.5.	Calcul de la FT à partir de la représentation d'état .....	.....
5.6.	Calcul de la représentation d'état à partir de la FT .....	.....
	Représentation modale .....	.....
	Représentation série .....	.....

	Représentation compagne commandale.....	
	Représentation compagne observable.....	
5.7.	Exercices proposés	
6.	Système non linéaire.....	
6.1.	Introduction	
6.2.	Point d'équilibre	
6.3.	Obtention de multi modèle.....	
	Par identification	
	Linéarisation autour d'un point d'équilibre	
	Par transformation	
6.4.	Les différentes étapes suivies pour l'obtention du multimodèle par transformation ...	
6.5.	Exercices proposés	
7.	Analyse des systèmes non linéaires	
7.1.	Dérivée de Lie	
7.2.	Observabilité des systèmes non linéaires.....	
	Observabilité locale du système non linéaire autour d'un point d'équilibre.....	
	Observabilité au sens de rang.....	
7.3.	Observateurs.....	
7.4.	Commandabilité des systèmes non linéaires	
7.5.	Accessibilité d'un système non linéaire affine en la commande	
7.6.	Exercices proposés	
8.	Systèmes dynamiques hybrides.....	
8.1.	Introduction	
8.2.	Système continu comportant des discontinuités.....	
8.3.	Systèmes comportant des éléments discrets et continus	
8.4.	Description d'un processus pharmaceutique.....	
8.5.	L'aspect hybride du processus pharmaceutique.....	
8.6.	Observabilité d'un système à commutation autonome	
8.7.	Accessibilité d'un système à commutation autonome	
8.8.	Simulation du modèle.....	
8.9.	Exercices proposés	
PARTIE II		

STABILITE ET COMMANDE.....	
9. Stabilité des systèmes.....	
9.1. Définition	
9.2. Stabilité des systèmes linéaires	
9.3. Stabilité au sens de LYAPUNOV	
9.4. Stabilité asymptotique	
9.5. Stabilité exponentielle	
9.6. Stabilité globale.....	
9.7. Etude de la stabilité d'un système non linéaire par linéarisation autour d'un point d'équilibre	
9.8. Théorème de stabilité de LYAPUNOV (seconde méthode ou méthode directe).....	
9.9. Théorème de la stabilité de LYAPUNOV des systèmes linéaires	
9.10. Théorème d'instabilité de CETAEV	
9.11. Exercices proposés	
10. Commande par retour d'états ou placement des pôles	
10.1. Introduction sur la commande.....	
10.2. Théorie de la commande	
10.3. La commande en boucle ouverte.....	
10.4. La commande en boucle fermée.....	
10.5. La commande d'un système linéaire.....	
10.6. Commande des systèmes non linéaires	
10.7. Commande par retour d'état.....	
10.8. Exercice proposé	
11. Commande Linéaire Quadratique	
11.1. Introduction	
11.2. Position du problème.....	
11.3. Critère de rapidité.....	
11.4. Energie de commande	
11.5. Critère de compromis	
11.6. Solution du problème LQ.....	
11.7. Exercices proposés	
12. Commande Linéaire Quadratique Gaussienne	
12.1. Problème de commande stochastique à retour de sortie	

12.2.	Observateur d'état et principe de séparation.....
12.3.	Observateur optimal de KALMAN.....
12.4.	Conception du régulateur LQG avec Matlab
12.5.	Exercices proposés
13.	Commande par la logique floue
13.1.	Introduction
13.2.	La logique classique et La logique floue.....
13.3.	Variable linguistique
13.4.	Opérations élémentaires sur les sous-ensembles flous.....
13.5.	Fonction d'appartenance
13.6.	La structure du contrôleur flou.....
13.7.	Interface de fuzzification.....
13.8.	Base de connaissances.....
13.9.	Résonnement flou.....
13.10.	Interface de défuzzification.....
13.11.	Exercices proposés.....
PARTIE III	
CORRECTIONS DES EXERCICES.....	
14.	Solution des exercices
14.1.	Exercices proposés au chapitre 1
14.2.	Exercices proposés au chapitre 2
14.3.	Exercices proposés au chapitre 3
14.4.	Exercices proposés au chapitre 4
14.5.	Exercices proposés au chapitre 5
14.6.	Exercices proposés au chapitre 6
14.7.	Exercices proposés au chapitre 7
14.8.	Exercices proposés au chapitre 8
14.9.	Exercices proposés au chapitre 9
14.10.	Exercices proposés au chapitre 10.....
14.11.	Exercices proposés au chapitre 11
14.12.	Exercices proposés au chapitre 12.....
14.13.	Exercices proposés au chapitre 13.....