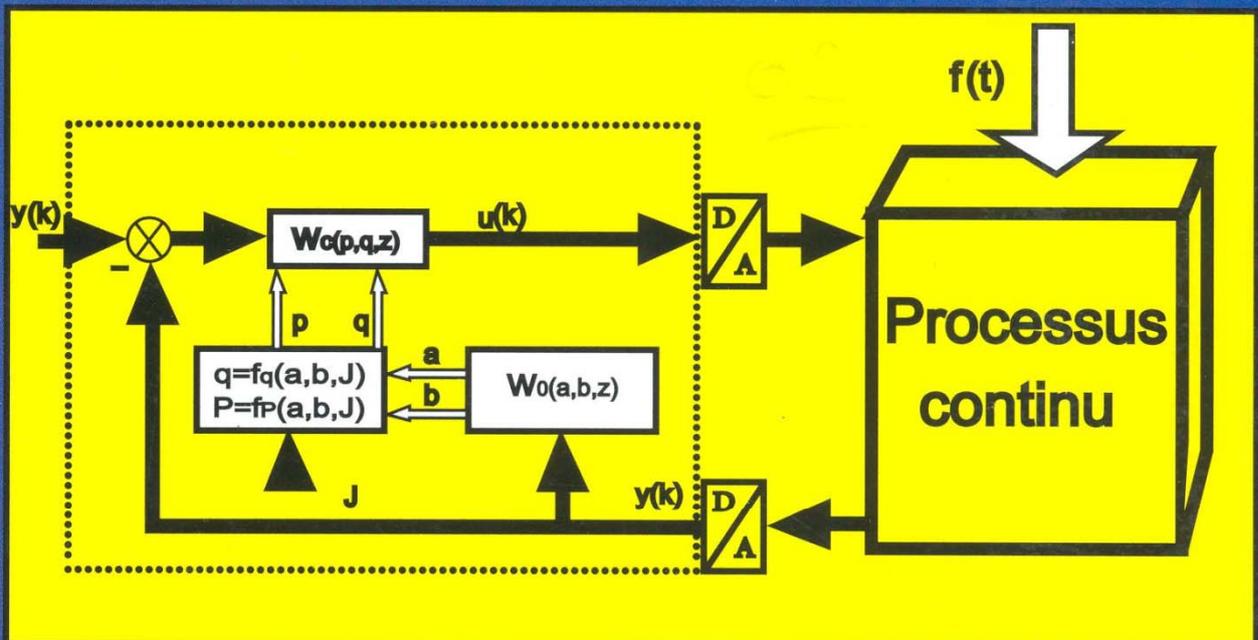


Mimoun ZELMAT

AUTOMATISATION DES PROCESSUS  
INDUSTRIELS

TOME 2

COMMANDE  
MODALE ET  
ADAPTATIVE



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

*Mimoun Zelmat*

- *Docteur d'état en automatique,*
- *Maître de conférences à l'Université de Boumerdes*



AUTOMATISATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS

**COMMANDE MODALE  
ET  
ADAPTATIVE**

TOME 2

2<sup>ème</sup> Edition



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

## TABLE DES MATIERES

<b>Avant propos</b> .....	3
<b>CHAPITRE 1 – INTRODUCTION DE LA REPRESENTATION DANS L'ESPACE D'ETAT</b> .....	9
1.1- Introduction aux variables d'état .....	9
1.2- Variables et équations d'état.....	11
1.3- Avantages de la représentation d'état.....	19
1.4- Principales formes canoniques des équations d'état.....	20
1.4.1- Forme canonique de commandabilité.....	20
1.4.2- Forme canonique d'observabilité.....	28
1.4.3- Forme canonique basée sur la matrice modale.....	31
1.5- Notions de commandabilité et d'observabilité des systèmes.....	34
1.5.1- Signification physique.....	34
1.5.2- Définition et conditions de commandabilité.....	37
1.5.3- Définition et conditions d'observabilité.....	40
1.5.4 Critère combiné d'Hilbert de commandabilité et d'observabilité.....	43
1.6- Dualité entre la commandabilité et l'observabilité .....	47
1.7- Modèle discret .....	48
1.8- Limitation des méthodes de la commande classique.....	48
1.9- Exemples d'application .....	52
<b>CHAPITRE 2 - COMMANDE MODALE</b> .....	57
2.1-Introduction.....	57
2.2- Méthodes de synthèse de la commande modale.....	59
2.2.1- Méthode basée sur la matrice de transfert.....	59
2.2.2- Méthode de synthèse dans l'espace d'état .....	61
2.2.3- Méthode de synthèse basée sur la matrice modale.....	67
2.3-Choix des valeurs propres du système à l'état fermé.....	70
2.4- Exemples d'application.....	73
2.5- Commande modale avec observateur.....	94
2.5.1-Introduction.....	94
2.5.2-Observateur de Kalman des systèmes déterministes.....	100
2.5.3-Commande modale avec observateur réduit.....	109

2.5.4-Exemples d'application.....	118
-----------------------------------	-----

### **CHAPITRE 3- SYSTEMES DE COMMANDE ADAPTATIVE A MODELE DE REFERENCE..... 125**

3.1-Généralités.....	117
3.2-Classification des systèmes de commande adaptative.....	127
3.3-Spécificité des systèmes de commande adaptative.....	133
3.4- Méthodes de synthèse des algorithmes.....	135
3.4.1-Notion de l'indice de performance.....	135
3.4.2-Principe d'adaptation des paramètres.....	138
3.4.3- Méthode directe de Lyapounov.....	141
3.4.3.1- Principe de la méthode .....	141
3.4.3.2-Exemples d'application.....	149
3.4.4- Méthode du gradient.....	158
3.4.4.1-Principe de la méthode.....	158
3.4.4.2- Exemples d'application.....	166
3.4.5- Méthode basée sur le gradient de la fonction de l'erreur.....	174
3.4.6- Méthode d'hyperstabilité.....	183
3.4.6.1-Introduction.....	183
3.4.6.2-Algorithmme d'adaptation basé sur la méthode de Popov.....	193
3.4.6.3- Algorithmme de commande.....	200

### **CHAPITRE 4- COMMANDE ADAPTATIVE A REGULATEURS AUTO-AJUSTABLES ..... 201**

4.1-Introduction.....	201
4.2-Méthode de commande à réponse pile.....	203
4.2.1- Définition de la réponse pile .....	203
4.2.2-Calcul de la commande .....	209
4.3- Méthode de commande adaptative basée le placement des pôles .....	210
4.3.1- Présentation de la méthode.....	210
4.3.2.-Exemples d'application .....	210
4.3.3- Programmation de la méthode sur le logiciel Matlab.....	216
4.4-Méthode de commande basée les actions du régulateur	
PID auto-ajustable.....	221
4.4.1- Principe de la méthode.....	221
4.4.2- Algorithmme du PID régulateur discret auto-ajustable.....	226
4.4.3-Programmation de la méthode sur le logiciel Matlab.....	227

### **CHAPITRE 5-COMMANDE ADAPTATIVE A VARIANCE MINIMALE... 233**

5.1- Introduction.....	233
5.2-Correcteur à variance minimale d'un SRA par rapport à une seule entrée.....	234

---

5.3- Correcteur à variance minimale d'un SRA par rapport à deux entrées.....	240
5.4- Exemples d'application.....	251
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>256</b>
<b>Annexe 1- Méthodes des modèles.....</b>	<b>259</b>
<b>Annexe 2- Identification.....</b>	<b>268</b>
-Méthode d'identification à trace constante.....	268
-Etapes d'identification et commande d'un système en boucle fermée.....	271
<b>Annexe 3- Programmes de simulation sur le logiciel Matlab .....</b>	<b>272</b>
- Méthode de commande adaptative basée sur le placement des pôles.....	272
- Méthode de commande adaptative basée les actions PID régulateur discret auto-ajustable.....	282