

**SYSTÈMES
AUTOMATISÉS**

Information - Commande - Communication

Commandes non linéaires

sous la direction de

**Françoise Lamnabhi-Lagarrigue
Pierre Rouchon**

hermes

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	13
Françoise LAMNABHI-LAGARRIGUE et Pierre ROUCHON	
Chapitre 1. Modélisation pour la commande des systèmes	15
Georges BASTIN, Philippe MARTIN, Vincent WERTZ	
1.1. Systèmes dynamiques et modèles d'état	15
1.2. Modélisation des systèmes mécaniques articulés	16
1.2.1. Dynamique d'un corps rigide dans le plan	17
1.2.2. Mise en équation du modèle d'état	20
1.2.2.1. Définition des coordonnées	20
1.2.2.2. Expression des contraintes géométriques	21
1.2.2.3. Equations du mouvement	21
1.2.2.4. Elimination des coordonnées redondantes	22
1.2.3. Propriétés de la matrice d'inertie	26
1.2.4. Articulations élastiques	27
1.2.5. Frottement	29
1.2.6. Systèmes non holonomes	30
1.3. Modélisation des réseaux électriques	31
1.3.1. Définitions et équations constitutives	31
1.3.1.1. Les impédances	31
1.3.1.2. Les sources	33
1.3.2. Mise en équations du modèle d'état	35
1.4. Les systèmes électromécaniques	38
1.4.1. Définitions et équations constitutives	38
1.4.2. Mise en équations du modèle d'état	39
1.4.3. Les machines électriques	41
1.4.4. Les moteurs à induction	44
1.4.4.1. Modèle triphasé du moteur à induction	45

1.4.4.2. Modèle diphasé du moteur à induction	48
1.4.4.3. Elimination de l'angle rotorique	49
1.5. Conclusion	50
1.6. Bibliographie	50

Chapitre 2. Une introduction à l'utilisation de fonctions de Lyapunov pour la stabilisation et l'atténuation de perturbations	51
Laurent PRALY	

2.1. Introduction	51
2.1.1. Ce que nous proposons	51
2.1.2. Ce que nous ne proposons pas	52
2.2. Les bases	54
2.2.1. Cas sans perturbation	54
2.2.2. Cas avec perturbation	56
2.3. Fonctions de Lyapunov assignables (CLF)	62
2.4. Ajout de dérivateur et systèmes sous forme de <i>feedback</i> (<i>backstepping</i>)	73
2.4.1. Fonction de Lyapunov assignable point par point par réduction ou extension dynamique	73
2.4.1.1. Réduction	74
2.4.1.2. Extension	75
2.4.2. Illustration de la technique d'ajout de dérivateur par des exemples	80
2.4.3. Ajout de dérivateur avec perturbations	94
2.5. Annexe : lexique et notations	102
2.6. Bibliographie	108

Chapitre 3. Systèmes plats de dimension finie	113
Philippe MARTIN et Pierre ROUCHON	

3.1. Introduction	113
3.2. Systèmes linéaires de dimension finie	114
3.2.1. Commandabilité	114
3.2.1.1. Définition	115
3.2.1.2. Intégrale première	115
3.2.2. Commandabilité linéaire	117
3.2.2.1. Matrice de commandabilité	118
3.2.2.2. Invariance	120
3.2.2.3. Un exemple	121
3.2.2.4. Critère de Kalman et forme de Brunovsky	122
3.2.2.5. Planification et suivi de trajectoires	125
3.2.3. Linéarisation par bouclage statique	128
3.2.3.1. Equivalence statique	128
3.2.3.2. CNS de linéarisation statique	129

3.2.3.3. Bouclage dynamique	131
3.3. Systèmes plats	133
3.3.1. Equivalence et platitude	135
3.3.1.1. Champs de vecteurs en dimension infinie	135
3.3.1.2. Equivalence de systèmes	139
3.3.1.3. Platitude différentielle	142
3.3.1.4. Application à la planification de trajectoires	144
3.3.1.5. Planification sous contraintes	145
3.3.1.6. Planification de trajectoires avec singularités	146
3.3.2. Bouclage et équivalence	147
3.3.2.1. De l'équivalence au bouclage	147
3.3.2.2. Bouclages endogènes	150
3.3.2.3. Suivi de trajectoires	151
3.3.2.4. Suivi de trajectoires : singularités et échelles de temps	153
3.3.3. Caractérisation de la platitude	153
3.3.3.1. La question de base	153
3.3.3.2. Résultats connus	155
3.3.4. Commande optimale	159
3.3.5. Symétries	160
3.3.5.1. Sortie plate invariante	160
3.3.5.2. Sortie plate, potentiel et degré de liberté de jauge	162
3.4. Bibliographie	162

Chapitre 4. Systèmes plats de dimension infinie 169

Philippe MARTIN et Pierre ROUCHON

4.1. Retards et équations des ondes	170
4.1.1. Exemples de base	170
4.1.2. Barre en torsion	171
4.1.3. Chaîne pesante	171
4.1.4. Réacteur chimique avec recyclage	173
4.1.5. Serpent non holonome	175
4.1.6. Equation de Burger sans diffusion	175
4.1.7. Mélange	177
4.2. Diffusion	180
4.2.1. Equation de la chaleur	180
4.2.2. Réacteur chimique tubulaire (convection/diffusion)	183
4.2.3. Poutre en flexion (Euler-Bernoulli)	185
4.2.4. Flexion non linéaire	188
4.3. Bibliographie	189

Chapitre 5. Catalogue de systèmes plats 191

Philippe MARTIN et Pierre ROUCHON

5.1. Robots complètement commandés	191
--	-----

5.2. Systèmes mécaniques non holonomes	191
5.2.1. Voiture	192
5.2.2. Voiture avec n remorques à attaches centrées	192
5.2.3. Voiture avec une remorque à attache déportée	194
5.2.4. Systèmes mécaniques non holonomes complètement commandés	196
5.3. Systèmes pendulaires	197
5.3.1. Pendule inversé sur un rail	197
5.3.2. Le double pendule du musée de la Villette	198
5.3.3. Une infinité de pendules inversés	198
5.3.4. Grues et ponts roulants	200
5.3.5. Le robot $2k\pi$	200
5.3.6. Solide plan piloté par deux forces	202
5.3.7. Le câble aérotracté	203
5.4. Divers systèmes mécaniques	206
5.4.1. Avion classique	206
5.4.2. Satellite à deux moteurs	207
5.4.3. Tige de forage	208
5.4.4. Gamelle d'eau	209
5.5. Systèmes électromécaniques	210
5.5.1. Le convertisseur de tensions	210
5.5.2. Paliers magnétiques	211
5.5.3. Moteurs à induction	211
5.5.4. Ligne de transmission	212
5.6. Réacteurs chimiques	213
5.7. Bibliographie	213

Index	217
------------------------	-----