

Sommaire

| | | |
|----------|---|-----------|
| I | Modélisation et analyse des systèmes | 1 |
| 1 | Modélisation des systèmes | 3 |
| 1 | Notion de système | 3 |
| 2 | Modèles d'un système | 4 |
| 2.1 | Modèle d'état ou représentation interne | 4 |
| 2.2 | Linéarisation du modèle d'état | 7 |
| 2.3 | Modèle de transfert ou représentation externe | 10 |
| 2.4 | Représentation multimodèle | 11 |
| 3 | Principes de la modélisation | 16 |
| 3.1 | Schéma de principe de l'installation | 16 |
| 3.2 | Schéma fonctionnel de l'installation | 17 |
| 3.3 | Ecriture du modèle et linéarisation | 18 |
| 4 | Quelques exemples de modélisation | 20 |
| 4.1 | Modélisation d'un dispositif de mélange | 20 |
| 4.2 | Modélisation d'un actionneur électrique | 21 |
| 4.3 | Modélisation d'un dispositif de sustentation magnétique | 23 |
| 4.4 | Modélisation d'un dispositif électropneumatique | 25 |
| 4.5 | Modélisation d'un système mécanique articulé | 29 |
| 5 | Identification des paramètres d'un modèle | 32 |
| 5.1 | Principe de l'identification | 32 |
| 5.2 | Analyse de la réponse indicielle | 33 |
| 5.3 | Méthodes d'estimation | 36 |
| 5.4 | Exemples de mise en œuvre | 41 |
| 6 | Exercices | 44 |
| 2 | Analyse des systèmes dynamiques | 51 |
| 1 | Stabilité d'un point d'équilibre | 51 |
| 1.1 | Définition de la stabilité d'un point d'équilibre | 51 |
| 1.2 | Stabilité des systèmes linéaires | 52 |
| 1.3 | Étude de la stabilité par la méthode de Lyapunov | 56 |
| 1.4 | Stabilité des systèmes dynamiques discrets | 58 |
| 1.5 | Stabilité d'un système non linéaire et stabilité de son linéarisé | 59 |
| 2 | Analyse des modèles linéaires d'état | 64 |
| 2.1 | Non unicité de la représentation d'état | 64 |
| 2.2 | Solution de l'équation d'état et stabilité interne | 64 |
| 2.3 | Discrétisation exacte du modèle d'état et système pseudo-continu | 66 |
| 2.4 | Commandabilité et observabilité | 68 |
| 3 | Analyse des modèles linéaires de transfert | 75 |
| 3.1 | Unicité de la représentation par matrice de transfert | 75 |
| 3.2 | Pôles de la matrice de transfert et stabilité externe | 75 |
| 3.3 | Zéros de la matrice de transfert et liens avec la commandabilité et l'observabilité | 77 |

| | | |
|---------------------------------|---|------------|
| 4 | Normes des signaux et des systèmes | 79 |
| 4.1 | Normes des signaux | 79 |
| 4.2 | Normes \mathcal{H}_2 et \mathcal{H}_∞ d'un système | 81 |
| 4.3 | Index \mathcal{H}_- d'une matrice de transfert | 90 |
| 5 | Exercices | 92 |
| II Commande des systèmes | | 95 |
| 3 | Notion de loi de commande d'un système | 97 |
| 1 | Commande en boucle ouverte et commande en boucle fermée | 97 |
| 2 | Marges de stabilité et fonctions de sensibilité | 99 |
| 3 | Fonctions de sensibilité et robustesse | 102 |
| 4 | Principe de la commande par retour d'état | 103 |
| 4 | Régulateur PID et modèle interne | 107 |
| 1 | Commande par régulateur PID | 107 |
| 1.1 | Réalisation analogique et numérique d'un PID | 108 |
| 1.2 | Méthodes de réglage des régulateurs PID | 110 |
| 1.3 | Prédicteur de Smith et régulateur PIR | 118 |
| 2 | Commande par modèle interne | 120 |
| 2.1 | Synthèse du régulateur | 120 |
| 2.2 | Application au réglage des régulateurs PID | 121 |
| 3 | Exercices | 124 |
| 5 | Commande par retour d'état | 127 |
| 1 | Approche directe et placement de pôles | 127 |
| 2 | Commande par retour d'état dans le cas monovariante | 128 |
| 2.1 | Quelques stratégies de placement de pôles | 129 |
| 2.2 | Commande modale | 133 |
| 3 | Commande par retour d'état dans le cas multivariable | 135 |
| 3.1 | Commande modale multivariable | 135 |
| 3.2 | Commande par placement de structure propre | 135 |
| 3.3 | Découplage par retour d'état | 139 |
| 3.4 | Commande LQ | 143 |
| 3.5 | Adjonction d'un effet intégral | 147 |
| 4 | Reconstruction d'état | 147 |
| 4.1 | Le problème de la reconstruction d'état | 148 |
| 4.2 | Synthèse d'un observateur | 148 |
| 4.3 | Observateur d'ordre réduit | 149 |
| 4.4 | Principe de séparation | 151 |
| 5 | Commande multimodèle | 152 |
| 5.1 | Principe de la méthode | 152 |
| 5.2 | Condition suffisante de stabilité | 153 |
| 5.3 | Synthèse de la loi de commande | 155 |
| 6 | Exercices | 159 |
| 6 | Analyse de la robustesse d'une loi de commande | 163 |
| 1 | Modèle nominal et incertitudes de modélisation | 163 |
| 1.1 | Incertitudes paramétriques et dynamiques | 164 |
| 1.2 | Notion de robustesse | 164 |
| 2 | Représentation par LFT des incertitudes de modèle | 164 |
| 2.1 | Représentation des incertitudes paramétriques | 166 |
| 2.2 | Représentation des incertitudes dynamiques | 169 |

| | | |
|-----|----------------------------------|-----|
| 2.3 | Incertitudes mixtes | 171 |
| 3 | Étude de la robustesse | 173 |
| 3.1 | Analyse non structurée | 174 |
| 3.2 | Analyse structurée | 177 |
| 4 | Exercices | 186 |

III Diagnostic des systèmes 189

7 Les principes de base du diagnostic 191

| | | |
|-----|--|-----|
| 1 | Position du problème | 191 |
| 1.1 | De la maintenance préventive au diagnostic | 191 |
| 1.2 | Du principe de cohérence au problème des connaissances | 194 |
| 1.3 | Quelques définitions et structure générale d'un système industriel | 195 |
| 2 | Les différentes étapes du diagnostic d'un système | 198 |
| 3 | Classification des méthodes de diagnostic | 199 |

8 Diagnostic quantitatif 203

| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | Principe du diagnostic quantitatif | 203 |
| 1.1 | Le modèle utilisé pour la synthèse d'un générateur de résidus | 204 |
| 1.2 | Génération de résidus | 206 |
| 1.3 | Détection et localisation des défauts | 207 |
| 2 | Synthèse du générateur de résidus | 209 |
| 2.1 | Approche par espace de parité | 209 |
| 2.2 | Approche à base d'observateurs | 218 |
| 2.3 | Approche par estimation paramétrique | 233 |
| 3 | Évaluation des résidus | 240 |
| 3.1 | Étape de détection | 241 |
| 3.2 | Étape de localisation | 241 |
| 4 | Exercices | 242 |

9 Diagnostic qualitatif 245

| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | Diagnostic qualitatif et reconnaissance de formes | 245 |
| 1.1 | Principe de la reconnaissance de formes | 246 |
| 1.2 | Application au diagnostic des systèmes | 247 |
| 2 | Synthèse de la fonction de classification | 251 |
| 2.1 | Approche probabiliste | 251 |
| 2.2 | Approche neuronale | 255 |
| 2.3 | Approche floue | 260 |
| 3 | Exercices | 278 |

10 Corrigés des exercices 279

Bibliographie 311

Index 312