

Sommaire

| | | |
|------------|--|-----------|
| A | Concepts de base | 9 |
| I | La boucle fermée | 11 |
| 1 | Rôle de la boucle fermée | 11 |
| 2 | Qualités d'une boucle fermée | 13 |
| 2.1 | Stabilité | 13 |
| 2.2 | Précision | 14 |
| 2.3 | Rapidité | 14 |
| 2.4 | Robustesse | 15 |
| 3 | Architecture de la boucle fermée | 16 |
| 4 | Du schéma au schéma bloc | 17 |
| 5 | Entraînement | 20 |
| 6 | A retenir | 22 |
| II | La modélisation | 23 |
| 1 | Nécessité d'un modèle | 23 |
| 2 | Identification en boucle ouverte | 23 |
| 2.1 | Réponse indicielle stable | 26 |
| 2.2 | Système intégrateur | 31 |
| 3 | Entraînement | 32 |
| 4 | Principe de superposition | 38 |
| 5 | Entraînement | 42 |
| 6 | A retenir | 44 |
| B | Les correcteurs PID | 47 |
| III | Action Proportionnelle (P) | 51 |
| 1 | Le correcteur proportionnel | 51 |
| 1.1 | L'idée | 51 |
| 1.2 | L'effet | 51 |
| 2 | Méthodes de réglage | 59 |
| 2.1 | Réglages de Broïda | 59 |
| 2.2 | Méthode du pompage limite | 60 |
| 2.3 | Méthode du régleur | 60 |
| 3 | Réalisation industrielle | 62 |
| 3.1 | Limitation | 62 |
| 3.2 | Bande proportionnelle (<i>Proportional band</i>) | 63 |
| 3.3 | Centrage de bande (<i>Manual reset</i>) | 63 |
| 3.4 | Sens d'action | 66 |
| 4 | Entraînement | 69 |
| 4.1 | Régulation de température | 69 |
| 4.2 | Pilote automatique | 70 |
| 5 | A retenir | 76 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| IV | Action Intégrale (I) | 79 |
| 1 | Le correcteur intégral | 79 |
| 1.1 | L'idée | 79 |
| 1.2 | L'effet | 80 |
| 2 | Le correcteur PI | 84 |
| 2.1 | Structure parallèle | 85 |
| 2.2 | Structure série | 85 |
| 2.3 | Equivalence | 86 |
| 2.4 | Symbole | 86 |
| 3 | Méthodes de réglage | 87 |
| 3.1 | Compensation d'une constante de temps | 87 |
| 3.2 | Réglages de Broïda | 87 |
| 3.3 | Méthode du pompage limite | 88 |
| 3.4 | Méthode du régleur | 88 |
| 4 | Réalisation industrielle | 91 |
| 4.1 | Cas d'un correcteur numérique | 91 |
| 4.2 | Dispositif anti-emballement (<i>Anti-windup</i>) | 98 |
| 4.3 | Dispositif sans à-coup (<i>Bumpless</i>) | 99 |
| 5 | Cas des systèmes intégrateurs | 100 |
| 6 | Entraînement | 106 |
| 6.1 | Régulation de température | 106 |
| 6.2 | Pilote automatique | 106 |
| 6.3 | Implémentation d'un PI numérique | 107 |
| 7 | A retenir | 114 |
| V | Action dérivée (D) | 117 |
| 1 | Le correcteur dérivé | 117 |
| 1.1 | L'idée | 117 |
| 1.2 | L'effet | 117 |
| 2 | Le correcteur PID | 120 |
| 2.1 | Structure parallèle | 120 |
| 2.2 | Structure mixte | 120 |
| 2.3 | Structure série | 121 |
| 2.4 | Equivalence | 121 |
| 2.5 | Symbole | 123 |
| 3 | Méthodes de réglage | 124 |
| 3.1 | Correction idéale | 124 |
| 3.2 | Réglages de Broïda | 125 |
| 3.3 | Méthode du pompage limite | 125 |
| 3.4 | Méthode du régleur | 126 |
| 4 | Réalisation industrielle | 131 |
| 4.1 | Bande morte (<i>Dead band</i>) | 131 |
| 4.2 | Filtrage de l'action dérivée | 132 |
| 4.3 | Filtrage de la mesure | 134 |
| 4.4 | Démarrage doux (<i>Soft start</i>) | 135 |
| 4.5 | Le correcteur PID numérique | 136 |
| 4.6 | Alarmes et mode Repli | 141 |
| 5 | Entraînement | 142 |
| 5.1 | Régulation de température | 142 |
| 5.2 | Pilote automatique | 142 |
| 5.3 | Implémentation d'un PID numérique | 143 |
| 6 | A retenir | 146 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| VI | Deux degrés de liberté | 153 |
| 1 | Le correcteur à deux degrés de liberté | 153 |
| 1.1 | L'idée | 153 |
| 1.2 | L'effet : IP versus PI | 154 |
| 2 | Pondération de la consigne (<i>Setpoint weighting</i>) | 159 |
| 3 | Méthode de réglage | 161 |
| 3.1 | Un cas particulier | 161 |
| 3.2 | Cas général | 164 |
| 4 | Réalisation industrielle | 167 |
| 4.1 | Action dérivée sur la mesure | 167 |
| 4.2 | Pondération de la consigne numérique | 167 |
| 5 | Entraînement | 171 |
| 6 | A retenir | 173 |
| VII | Action de tendance | 175 |
| 1 | De l'inversion de modèle... | 176 |
| 2 | ... à la commande a priori (<i>feedforward</i>) | 178 |
| 3 | La loi de commande Avance-Retard (<i>Lead-Lag</i>) | 184 |
| 4 | Méthodes de réglage | 186 |
| 4.1 | En boucle fermée | 186 |
| 4.2 | D'après l'identification | 187 |
| 4.3 | Méthode du régleur | 189 |
| 5 | Réalisation industrielle | 191 |
| 5.1 | Le Lead-Lag numérique | 191 |
| 5.2 | Correcteur adaptatif à gains tabulés (<i>Gain scheduling</i>) | 194 |
| 6 | Entraînement | 197 |
| 7 | A retenir | 200 |
| VIII | Mise en œuvre | 203 |
| 1 | Environnement | 203 |
| 1.1 | Matériel | 204 |
| 1.2 | Montage | 204 |
| 1.3 | Structure du programme | 205 |
| 2 | Pilotage en boucle ouverte | 206 |
| 2.1 | Génération de la commande | 206 |
| 2.2 | Acquisition de la mesure | 210 |
| 2.3 | Le traceur | 212 |
| 3 | Implémentation de la loi de commande | 213 |
| 3.1 | Un PI série | 213 |
| 3.2 | Un PID mixte | 222 |
| 3.3 | Un PID à gains tabulés | 230 |