

Table des matières

Avant-propos. Un enrichissement par l'histoire de la boucle fermée	1
Introduction. Organisation et contenu de l'ouvrage	7
Chapitre 1. La boucle de commande : caractérisation et comportement en boucle ouverte et en boucle fermée	13
1.1. Introduction	13
1.2. Définition et terminologie	14
1.3. Le procédé	14
1.3.1. Définition.	14
1.3.2. D'une difficulté de modélisation à une approche pragmatique des perturbations	15
1.4. Représentation fonctionnelle de la boucle de commande	17
1.4.1. Schéma fonctionnel et transferts correspondants	17
1.4.2. Sur le détecteur d'écart.	18
1.5. Transmittance en boucle ouverte	20
1.5.1. Définition.	20
1.5.2. Expression générale	21
1.5.3. Sur l'impédance d'entrée de la boucle ouverte.	22
1.5.4. Lieu de Nichols en boucle ouverte : forme élémentaire et grandeurs caractéristiques	24
1.5.5. Critère du revers dans le plan de Nichols	26
1.6. Transmittances en boucle fermée	31
1.6.1. Transmittance en asservissement.	31

1.6.2. Transmittance en régulation	32
1.6.3. Un dilemme asservissement-régulation ?	34
1.7. Sensibilité de l'entrée	34
1.7.1. Sensibilité de l'entrée en asservissement	35
1.7.2. Sensibilité de l'entrée en régulation	35
1.7.3. Sensibilité de l'entrée en asservissement et en régulation	36
1.8. Comportement et performances fréquentielles en asservissement et en régulation	44
1.8.1. Comportement fréquentiel et temporel	45
1.8.2. Performances fréquentielles	48
1.8.3. Sur l'effet de l'augmentation de la fréquence ω_i	49
1.9. Dynamique en asservissement et en régulation	51
1.10. Abaques en asservissement et en régulation	52
1.10.1. Abaque en asservissement : abaque de Nichols	52
1.10.2. Abaque en régulation : abaque dual de celui de Nichols	55
1.10.3. Passage de l'abaque de Nichols à son dual	58
1.10.4. Un peu d'histoire	59

Chapitre 2. La boucle de commande : stabilité et degré de stabilité, précision, performances dynamiques et synthèse du correcteur

2.1. Introduction	61
2.2. Stabilité	62
2.2.1. Définition	62
2.2.2. Condition fondamentale de stabilité	62
2.2.3. Critères algébriques de stabilité	63
2.2.4. Critères graphiques de stabilité	64
2.3. Marges de stabilité	68
2.3.1. Marge de gain	68
2.3.2. Marge de phase	69
2.4. Degré de stabilité	78
2.4.1. Domaine temporel	78
2.4.2. Domaine fréquentiel	79
2.4.3. Comparaison avec la commande par placement de pôles	80
2.5. Précision	82
2.5.1. Définition	82
2.5.2. Précision en asservissement et en régulation	83
2.5.3. Précision en régime établi	83
2.6. Dilemme degré de stabilité-précision	86

2.6.1. Définition	86
2.6.2. Mise en évidence du dilemme dans le plan de Nichols	86
2.6.3. Compromis degré de stabilité-précision et réglage optimal	87
2.6.4. Amélioration du compromis degré de stabilité-précision.	87
2.6.5. Mise en défaut du dilemme	88
2.7. Dynamique	88
2.8. Performances dynamiques temporelles	89
2.9. Performances dynamiques fréquentielles	89
2.10. Détermination de la dynamique	90
2.10.1. Dépassement	90
2.10.2. Amortissement	90
2.10.3. Rapidité	91
2.11. Considération d'étude pour la synthèse du correcteur	91
2.12. Phase du correcteur à la fréquence ω_t	92
2.13. Nature du correcteur	94
2.13.1. Correction à avance de phase	94
2.13.2. Correction à retard de phase	96
2.13.3. Une correction complémentaire pour obtenir un régulateur PID.	97
2.14. Exemple de travail dirigé : étude détaillée du simple correcteur à avance de phase	98

Chapitre 3. Un tour d'horizon sur les approches linéarisantes 103

3.1. Introduction	103
3.2. Linéarisation par immersion	104
3.2.1. Principe	104
3.2.2. Application	105
3.3. Linéarisation par grand gain	111
3.3.1. Principe	111
3.3.2. Application	111
3.3.3. Conclusion et commentaires	113
3.4. Linéarisation par rejet de perturbation	113
3.4.1. Principe	113
3.4.2. Application	113
3.4.3. Conclusion et commentaires	115
3.5. Linéarisation du procédé autour d'une trajectoire nominale : linéarisé tangent	116
3.5.1. Principe	116
3.5.2. Application	118
3.6. Un complément de rigueur apporté par Brigitte d'Andréa-Novel	125

Chapitre 4. Commandes à grand gain, par « feedforward », à modèle interne, à critère quadratique et prédictive : du principe à la boucle de commande	127
4.1. Introduction.	127
4.2. Commande à grand gain	130
4.2.1. Principe.	130
4.2.2. De la commande à grand gain à la boucle de commande.	131
4.2.3. Sensibilité de l'entrée	133
4.3. Commande par « feedforward ».	135
4.3.1. Principe.	135
4.3.2. Du « feedforward » au filtrage de consigne de la boucle de commande élémentaire.	137
4.3.3. Asservissement et régulation	138
4.4. Commande à modèle interne.	139
4.4.1. Principe.	139
4.4.2. De la commande à modèle interne à la boucle de commande	141
4.4.3. Stratégies robustifiantes	142
4.4.4. De la commande à modèle interne à la commande à grand gain	147
4.5. Commande à critère quadratique	149
4.5.1. Sur la synthèse de la loi de commande	149
4.5.2. Une propriété des systèmes linéaires déterminante en la matière	149
4.5.3. Procédé d'étude	150
4.5.4. Objectif et stratégie de commande	152
4.5.5. Synthèse du régulateur par minimisation d'un critère quadratique	153
4.5.6. De la commande à critère quadratique à la boucle de commande.	156
4.6. Commande prédictive.	160
4.6.1. Principe.	161
4.6.2. Du CGPC à la commande LQ puis LQG	163
4.6.3. Commande LQ et à critère quadratique	164
4.6.4. Procédé d'étude	166
4.6.5. Synthèse de la loi de commande	167
4.6.6. De la commande prédictive à la boucle de commande	171
4.6.7. Sur le régulateur à avance de phase issu du passage à la boucle de commande	173
4.6.8. Un cas particulier de nature à constituer la base d'un exercice ou d'un problème	179

Chapitre 5. Sur les trois générations de la commande CRONE. . .	181
5.1. Introduction.	181
5.2. De la digue poreuse à la commande CRONE de première et deuxième générations	183
5.2.1. Première interprétation du modèle régissant la relaxation : commande CRONE de première génération	184
5.2.2. Deuxième interprétation du modèle régissant la relaxation : commande CRONE de deuxième génération	187
5.3. Commande CRONE de deuxième génération et domaines d'incertitude	191
5.3.1. Domaines d'incertitude	191
5.3.2. Domaines d'incertitude de la boucle ouverte particuliers	193
5.3.3. Adéquation du gabarit de la commande CRONE de deuxième génération aux domaines d'incertitude particuliers	194
5.4. Généralisation du gabarit vertical à travers la commande CRONE de troisième génération	195
5.4.1. Premier niveau de généralisation	195
5.4.2. Deuxième niveau de généralisation	199
5.4.3. Transfert en boucle ouverte intégrant le gabarit curviligne	202
5.4.4. Optimisation du comportement en boucle ouverte	203
5.4.5. Structure et estimation paramétrique du régulateur	206
5.4.6. Application.	206
5.5. Une annexe sur la réponse en fréquences décrivant le gabarit généralisé.	208
 Problèmes résolus	 211
 Problème 1. Synthèse élémentaire d'un régulateur PID à partir du simple correcteur à avance de phase.	 213
 Problème 2. Amélioration de la synthèse élémentaire d'un régulateur PID par la réduction de la dispersion des fréquences transitionnelles.	 225
 Problème 3. Synthèse d'un régulateur PID à partir de trois structures de correcteur à avance de phase : comparaison et choix de la meilleure structure.	 235

Problème 4. Commande linéarisante d'un arbre moteur : linéarisation par immersion	247
Problème 5. Commande linéarisante d'un arbre moteur : linéarisation par rejet de perturbation.	261
Problème 6. Commande à grand gain : caractérisation en asservissement et en régulation	271
Problème 7. Commande par « feedforward » : caractérisation en asservissement et en régulation par une approche directe et par une approche indirecte <i>via</i> un préfiltre de consigne	281
Problème 8. Synthèse d'une commande à modèle interne à travers un contrôleur PID de la boucle de commande élémentaire équivalente	289
Problème 9. Commande à critère quadratique	301
Problème 10. Synthèse d'un correcteur CRONE à avance de phase constante : l'étape essentielle dans la synthèse du PID fractionnaire dont l'intégration (entière) en basse fréquence résulte simplement d'un proportionnel-intégrateur en cascade	311
Problème 11. Synthèse d'un correcteur CRONE à avance de phase constante dont le placement en fréquence est successivement symétrique et asymétrique.	325
Problème 12. Synthèse d'un correcteur CRONE à retard de phase constant et paramètres de synthèse de la commande CRONE de troisième génération	337

Problème 13. Synthèse d'un correcteur CRONE à phase variable pour la synthèse d'un gabarit (vertical et généralisé) à bande étroite	353
Annexes	371
Annexe 1. De la fonction régulation au contrôle actif de bruit	373
Annexe 2. Comportement et performances dynamiques en boucle fermée de la commande CRONE de deuxième génération	381
Annexe 3. Contours d'isodépassement et contours d'iso-amortissement	395
Bibliographie	415
Index	419