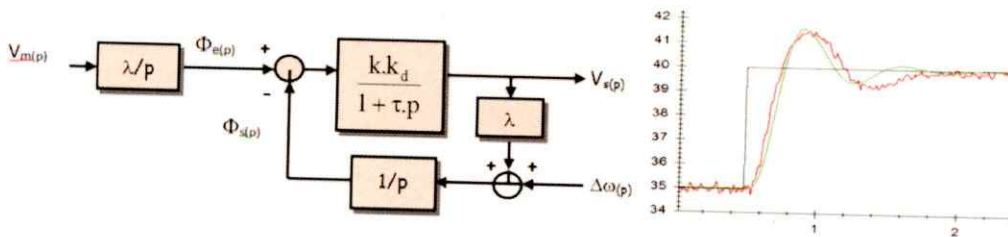


Thierry Hans - Pierre Guyénot

Automatique : régulations et asservissements



Cours - Applications - Expérimentations - Prototypages

Table des matières

Partie 1 – Éléments de cours

Chapitre 1 Introduction

1. Généralités	3
2. Classifications	4
3. Caractérisation du comportement	6
3.1. Notations usuelles.....	6
3.2. Régime statique	6
3.3. Régime dynamique – Réponse à une commande en échelon constant.....	7
3.4. Régime dynamique – Réponse à une commande en rampe.....	9
3.5. Régime dynamique – Réponse à une commande en profil imposé	10
3.6. Régime dynamique – Réponse à une commande sinusoïdale	11
4. Méthodologie et outils	12

Chapitre 2 Transformation de Laplace

1. Définition	15
2. Propriétés	16
2.1. Unicité	16
2.2. Linéarité.....	16

3. Théorèmes fondamentaux	17
3.1. Théorèmes sur les limites	17
3.2. Théorème sur la dérivation	17
3.3. Théorème sur l'intégration	17
3.4. Théorème sur le retard pur	18
4. Exercices d'application	19
4.1. Exercice 2-1 : Transformée de Laplace d'un échelon constant puis d'un échelon de vitesse (rampé)	19
4.2. Exercice 2-2 : Transformée de Laplace de la fonction exponentielle	19
4.3. Exercice 2-3 : Transformée inverse par décomposition	20

Chapitre 3

Fonctions de transfert et schéma-blocs

1. Définitions	23
1.1. Cas d'un système monovarié	23
1.2. Coefficient de transfert statique	24
1.3. Application à l'étude d'un régime transitoire	24
1.4. Chaîne de transfert	25
1.5. Cas d'un système multivarié	25
2. Fonction de transfert en boucle fermée	26
3. Représentations « à retour unitaire »	27
3.1. Avec les unités de E, M et ϵ	27
3.2. Avec les unités de S	27
4. Influence du bouclage	28
5. Système perturbé	28
6. Exercices d'application	29
6.1. Exercice 3-1 : Commande en couple d'un mécanisme J,f	29

6.2. Exercice 3-2 : Commande en vitesse d'un mécanisme J,f	31
6.3. Exercice 3-3 : Régulation de vitesse d'un mécanisme J,f	33

Chapitre 4

Généralités sur les régimes dynamiques

1. Introduction	35
2. Prise en compte des conditions initiales	36
3. Études de régimes transitoires typiques	36
3.1. Commande en échelon constant	36
3.2. Commande en échelon de vitesse (ou rampe)	37
3.3. Commande en rampe limitée	37
3.4. Influence d'un bouclage à retour unitaire	38
4. Régime dynamique établi : régime harmonique	38
4.1. Hypothèses, notations et relations entre les grandeurs	38
4.2. Lieux de transfert	39
4.3. Influence d'un bouclage à retour unitaire	40
5. Exercice 4 : Régimes transitoires sur mécanisme J,f	41

Chapitre 5

Systèmes du premier ordre

1. Définitions	45
2. Fonction de transfert en boucle fermée à retour unitaire	46
3. Comportement en régime statique	46

4. Réponse à une entrée en échelon constant	47
4.1. Étude générale	47
4.2. Application aux systèmes asservis	48
5. Réponse à une entrée en rampe	49
6. Réponse à une entrée sinusoïdale	49
6.1. Étude générale	49
6.2. Application aux systèmes asservis – Lieux de transfert	51
7. Exercices d'application	53
7.1. Exercice 5-1 : identification expérimentale d'un servo-mécanisme	53
7.2. Exercice 5-2 : régulation de la température d'un four	58

Chapitre 6

Systèmes du deuxième ordre

1. Définitions	63
2. Fonction de transfert en boucle fermée à retour unitaire	64
3. Comportement en régime statique	65
4. Réponse à une entrée en échelon constant	65
4.1. Étude générale	65
4.2. Application aux systèmes asservis	70
4.3. Utilisation d'abaques	71
5. Réponse à une entrée en rampe	73
6. Réponse à une entrée sinusoïdale	73
6.1. Étude générale	74
6.2. Application aux systèmes asservis – Lieux de transfert	76
7. Exercice 6 : régulation en température d'un local	79

Chapitre 7

Systèmes du premier ordre avec intégration

1. Définitions	83
2. Fonction de transfert en boucle fermée à retour unitaire	84
3. Comportement en régime statique	84
4. Réponse à une entrée en échelon constant	85
4.1. Étude en boucle ouverte	85
4.2. Étude en boucle fermée	85
5. Réponse à une entrée sinusoïdale	86
6. Exercice 7 : asservissement en position 1	89

Chapitre 8

Lieux d'Evans et régimes dominants

1. Définitions et généralités	93
2. Lieux d'Evans	94
2.1. Règles pour tracer les lieux d'Evans	94
2.2. Exploitation des lieux d'Evans	96
3. Régimes dominants	98
3.1. Introduction	98
3.2. Études de cas	99
4. Exercice 8 : asservissement en position 2	101

Chapitre 9

Précision d'un SALC

1. Expressions générales	105
2. Précision statique	106
2.1. Valeur finale de l'écart en fonction de la FTBO	106
2.2. Valeur finale de l'écart en fonction de la FTBF	107
3. Précision en rampe (ou en vitesse)	107
3.1. Valeur finale de l'écart en fonction de la FTBO	107
3.2. Valeur finale de l'écart en fonction de la FTBF	108
4. Récapitulatif : tableau de précision	109
5. Précision des systèmes perturbés	109
5.1. Expressions générales	109
5.2. Précision statique	110
6. Exercice 9 : précision de positionnement d'une charge pesante	110

Chapitre 10

Stabilité d'un SALC

1. Étude à partir de la FTBO	116
1.1. Expressions générales	116
1.2. Critères de stabilité absolue	117
1.3. Critères de stabilité relative ou « degré de stabilité »	119
2. Étude à partir de la FTBF	121
2.1. Critère algébrique de stabilité	121
2.2. Critère graphique de stabilité	122

3. Exercices d'application

3.1. Exercice 10-1 : stabilité système du 1 ^{er} ordre avec intégration	122
3.2. Exercice 10-2 : stabilité d'un système du 2 ^e ordre avec intégration	125

Chapitre 11

Correction proportionnelle intégrale dérivée (PID)

1. Expressions générales	129
2. Influence sur le comportement en BF d'un correcteur P (proportionnel)	130
3. Comportement et influence d'un correcteur I (intégral)	132
3.1. Étude du comportement du correcteur seul	132
3.2. Comparaison des comportements en BF	133
4. Comportement et influence d'un correcteur PI	134
4.1. Étude du comportement du correcteur seul	134
4.2. Comparaison des comportements en BF	135
4.3. Choix de la constante d'intégration T_i et du coefficient k	136
5. Comportement et influence d'un correcteur D (dérivée)	138
5.1. Étude du comportement du correcteur seul	138
5.2. Limitation des effets néfastes de l'action dérivée	139
6. Comportement et influence d'un correcteur PD	141
6.1. Étude du comportement du correcteur seul	141
6.2. Comparaison des comportements en BF	142
6.3. Choix de la constante de temps de dérivation (T_d) et du coefficient k	144
7. Comportement et influence d'un correcteur PID	144
7.1. Étude du comportement du correcteur seul	145
7.2. Comparaison du comportement en BF suivant le type de correcteur	146

7.3. Choix des constantes de temps T_p , T_d et du coefficient k	147
8. Exercice 11 : correction P, I, PI, PD d'un servo-mécanisme	147

Chapitre 12

Autres méthodes de correction des SALC

1. Correction par placement des pôles de la FTBF	159
2. Correction cascade	160
2.1. Principe	160
2.2. Exemples.....	161
3. Correction par retour d'état	161
3.1. Principe	161
3.2. Généralités sur le formalisme d'état.....	162
3.3. Formalisme d'état en boucle fermée.....	165
3.4. Correction par retour d'état d'un système monovariable.....	165
4. Correction par contrôleur flou	166
4.1. Structure	166
4.2. Principe du contrôleur à logique floue (CLF).....	167
5. Exercice 12 : retour tachymétrique ou retour d'état	173

Chapitre 13

Réalisations pratiques de correcteurs

1. Structure de correcteurs PID dans le domaine « continu »	177
2. Synthèse de correcteurs dans le domaine « discret »	179
2.1. Principes	179

2.2. Études de cas	180
2.3. Imperfections pratiques.....	185

3. Techniques d'interfaces avec le processus	187
--	-----

3.1. Interfaces dans le domaine « continu »	187
3.2. Interface dans le domaine « discontinu »	187

4. Exercice 13 : régulateur numérique à « trains d'ondes »	188
--	-----

Chapitre 14

Asservissements de phase

1. Généralités	193
2. Fonctions de transfert et schéma-blocs	194
2.1. Discriminateur de phase	194
2.2. Filtre passe-bas.....	195
2.3. Correcteur de boucle	196
2.4. V.C.O.	196
2.5. Schéma-blocs.....	197
3. Exercice 14 : démodulateur FM	197

Chapitre 15

Systèmes à retard pur ou « à temps mort »

1. Comportement et modélisation en BO	203
1.1. Définition et FT d'un retard pur	203
1.2. Comportement d'un retard pur en régime harmonique	204
1.3. Modélisation de « Strejc »	204
1.4. Modélisation de « Brodia »	205
2. Comportement et modélisation en BF	206
2.1. Correction proportionnelle	206

3.1. Structure de principe.....	209
3.2. Application au modèle de Broïda avec correcteur PI.....	210
4. Exercices d'application	210
4.1. Exercice 15-1 : asservissement de courant dans un inducteur	210
4.2. Exercice 15-2 : Étude d'une régulation de niveau d'eau	216

Chapitre 16

Synthèse par prototypage rapide

1. Méthodologie et outils	224
2. Exercice 16 : prototypage d'une régulation de débit d'air	226

Partie 2 – Problèmes de synthèse

Chapitre 17	
Asservissements sur poste de découpe	237

Chapitre 18	
Régulation de température de recuit.....	251

Chapitre 19	
Étude d'un capteur de vitesse	259

Chapitre 20

Étude d'asservissements pour « folder »

1. Asservissement en vitesse du moteur tracteur	271
2. Asservissement en position de la balancelle	281

Annexes.....	289
--------------	-----

Glossaire.....	297
----------------	-----

Index.....	301
------------	-----

Dans le domaine industriel, réguler une grandeur physique ou asservir la sortie d'un processus à une de ses entrées impose de faire appel à des boucles de rétroaction.

La conception, l'expérimentation, la mise au point et l'exploitation de ces systèmes « bouclés » nécessitent de sérieuses connaissances théoriques et pratiques.

Pour faciliter la compréhension de ces systèmes, cet ouvrage procède en deux temps :

- une première partie rappelle les notions théoriques indispensables illustrées par de nombreux exercices corrigés ;
- une seconde partie aborde l'étude de problèmes de synthèse à caractère industriel.

L'originalité de cet ouvrage est d'ajouter aux notions classiques propres à ces domaines l'étude expérimentale et la modélisation des processus par l'utilisation de logiciels permettant d'expérimenter puis de simuler leurs comportements afin de les améliorer avec souplesse, rapidité et économie.

Pratique, didactique et synthétique, ce livre s'adresse aux enseignants et aux étudiants concernés par l'étude des régulations ou asservissements, mais également aux techniciens et ingénieurs exerçant au sein de bureaux d'études ou de services de maintenance, à la recherche de réponses à leurs problèmes concrets.

Thierry Hans *est ingénieur en électronique et en automatique et professeur agrégé de génie électrique.*

Pierre Guyénot *est professeur ENSAM (Arts et Métiers) en mécanique générale et en mécanique appliquée.*

