

Sandrine Le Ballois

L2
L3

Automatique

Systèmes linéaires et continus

Cours et exercices traités sous Matlab/Simulink



Table des matières

Introduction générale	11
I. But de l'automatique.....	11
II. Notion de système	12
III. Notion de bouclage	13
IV. Structure d'un système asservi	14
Chapitre 1 – Outils mathématiques	15
Introduction.....	15
I. Équations différentielles.....	15
1. Définitions	15
2. Résolution	16
3. Exemple.....	16
II. Produit de convolution	18
1. Définition	18
2. Existence	18
3. Propriétés du produit de convolution.....	18
III. Fonctions de la variable complexe	19
1. Définition	19
2. Exemple.....	19
IV. Transformée de Laplace	20
1. Définition	20
2. Existence	21
3. Exemples	21

a. Échelon unité	21
b. Rampe causale	22
4. Propriétés de la transformation de Laplace	23
V. Transformation de Laplace inverse	24
1. Les racines du dénominateur sont réelles et simples.....	24
2. Les racines du dénominateur sont réelles et multiples.....	26
3. L'une des racines au moins du dénominateur n'est pas réelle.....	26
VI. Résolution d'équations différentielles par Laplace	27
VII. Résumé.....	29
VIII. Exercices	30
1. Transformée de Laplace d'un signal	30
2. Transformée de Laplace d'un signal périodique.....	32
3. Transformée de Laplace inverse	34
4. Réponse temporelle d'un circuit R - L - C	36
Chapitre 2 – Représentation des systèmes	39
Introduction.....	39
I. Systèmes continus, linéaires, invariants	39
1. Définitions	39
2. Représentation des systèmes	41
a. Représentation à partir de la réponse impulsionnelle	41
b. Représentation d'un système par sa fonction de transfert.....	42
c. Représentation d'un système par équation différentielle	43
d. Représentation d'un système par schémas-blocs	44
II. Résumé.....	46
III. Exercices	47
1. Système mécanique tournant.....	47
2. Système mécanique en translation.....	48

Chapitre 3 – Étude de systèmes standard 51

Introduction..... 51

I. Réponses temporelles 51

1. Définitions préliminaires..... 51

2. Signaux tests 52

3. Réponse indicielle : données caractéristiques..... 53

4. Systèmes du 1^{er} ordre 55

a. Définition..... 55

b. Réponse indicielle 56

c. Réponse impulsionnelle 57

d. Caractéristiques temporelles d'un système du 1^{er} ordre 58

5. Systèmes du 2^e ordre 59

a. Définition..... 59

b. Réponse indicielle 59

c. Réponse impulsionnelle 69

d. Caractéristiques temporelles d'un système du 2^e ordre 72

II. Réponses harmoniques 72

1. Introduction 72

2. Définitions préliminaires..... 73

3. Les représentations graphiques usuelles..... 74

4. Propriétés fréquentielles - Définitions..... 74

5. Systèmes du 1^{er} ordre 75

a. Lieu de Bode..... 75

b. Caractéristiques fréquentielles d'un système du 1^{er} ordre 79

c. Lieu de Nyquist..... 79

d. Lieu de Black-Nichols 80

6. Systèmes du 2^e ordre 81

a. Lieu de Bode..... 81

b. Caractéristiques fréquentielles d'un système du 2^e ordre 89

c. Lieu de Nyquist..... 90

d. Lieu de Black-Nichols	91
III. Systèmes instables	93
IV. Systèmes avec zéros	96
1. Système du 1 ^{er} ordre + zéro	97
a. Réponse indicielle	98
b. Réponse harmonique.....	99
2. Système du 2 ^e ordre + zéro	101
a. Réponse indicielle	101
b. Réponse harmonique.....	104
V. Cas de l'intégrateur et du dérivateur	107
1. Intégrateur	107
a. Réponse indicielle	107
b. Réponse harmonique.....	107
2. Dérivateur	108
VI. Résumé.....	109
VII. Exercices	110
1. Système du 1 ^{er} ordre.....	110
2. Système du 2 ^e ordre.....	113
3. Utilisation des abaques.....	116
4. Tracé de lieu de Bode.....	118
Chapitre 4 – Analyse de systèmes	123
Introduction.....	123
I. Exemples de cahier des charges	123
II. Définition des objectifs.....	125
III. Nécessité de bouclage	128
1. Rejet de perturbation	129
2. Sensibilité paramétrique.....	130

3. Stabilisation d'un système instable	131
4. Amélioration des performances	131
5. Avantages de la structure boucle fermée	131
IV. Structure d'une boucle fermée – définitions	132
V. Stabilité	136
1. Domaine temporel	137
2. Domaine fréquentiel	138
3. Carte des pôles et des zéros	140
4. Exemples récapitulatifs	140
5. Stabilité boucle ouverte et stabilité boucle fermée	143
6. Critères de stabilité	144
a. Critère de Routh-Hurwitz	144
b. Critère de Routh-Hurwitz : exemples	146
c. Critère de Nyquist	148
d. Critère de Nyquist : cas particuliers	154
e. Critère du revers	157
7. Marges de stabilité	158
a. Marge de gain	161
b. Marge de phase	161
c. Abaque de Black-Nichols	164
d. Marge de module	164
e. Marge de retard	164
VI. Précision	167
1. Erreur due à une modification de consigne	167
2. Erreur due à une perturbation	168
VII. Résumé	170
VIII. Exercices	171
1. Sensibilité	171
2. Stabilité conditionnelle	172

3. Marges de stabilité.....	175
Chapitre 5 – La correction	177
Introduction.....	177
I. Structures de correction	177
II. Choix du domaine de synthèse	181
III. Quelques clefs pour un bon réglage	182
IV. Les correcteurs classiques.....	184
1. Correcteur Proportionnel Dérivé	185
a. Principes - Définitions	185
b. Lieu de Bode	185
c. Exemple.....	187
2. Correcteur Proportionnel Intégral	191
a. Principes - Définitions	191
b. Lieu de Bode	191
c. Exemple.....	193
3. Correcteur Proportionnel Intégral Dérivé.....	198
a. Principes - Définitions	198
b. Lieu de Bode	200
c. Exemple.....	200
4. Correcteur à Avance de Phase	207
a. Principes - Définitions	207
b. Lieu de Bode	207
c. Réglage d'un correcteur à avance de phase	209
d. Exemple.....	210
e. Pointage d'un télescope.....	213
5. Correcteur à Retard de Phase	218
a. Principes - Définitions	218
b. Lieu de Bode	218
c. Exemple.....	219
6. Correcteur à actions combinées : retard/avance – avance/retard.....	223

7. Correction tachymétrique.....	223
V. Résumé.....	226
VI. Exercices.....	227
1. Commande en position d'un moteur à courant continu	227
2. Correction par retard/avance de phase.....	232
3. Commande en vitesse d'un axe de satellite	237
Chapitre 6 – Notions d'identification.....	245
Introduction.....	245
I. Identification en boucle ouverte	245
II. Identification par réponse indicielle.....	246
1. Modèle à deux constantes de temps.....	246
2. Modèle de Broïda.....	250
3. Modèle de Strejc.....	251
III. Identification par réponse harmonique	253
IV. Résumé.....	254
Annexe 1 – Transformées de Laplace	255
Annexe 2 – Systèmes du second ordre	259
Index.....	263