

**F de Carfort C. Foulard  
J. Calvet**

de TIZI-OUZOU  
MATHÉMATIQUES  
COMMUNALES



# **Asservissements linéaires continus**

**avec exercices et problèmes résolus**

3<sup>e</sup> édition

**Dunod Université**

~~1930~~ 14

D 11 M664

M664

# ASSERVISSEMENTS LINÉAIRES CONTINUS

I 60  $\frac{1}{1}$

avec exercices  
et problèmes résolus

BIBLIOTHÈQUE COMMUNALE  
TIZI-OUZOU  
PAR



F. de CARFORT

Maître Assistant à l'Institut National Polytechnique de Grenoble

C. FOULARD

Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble

J. CALVET

Maître Assistant à l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble

PRÉFACE DE

R. PERRET

Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble

Université "Mouloud MAMMERI"  
Faculté des Sciences  
Bibliothèque Département T.C.

N° de Côte: ~~120/125~~

N° d'Inventaire i 60  $\frac{1}{1}$

TROISIÈME ÉDITION

**dunod**

I. 60  $\frac{1}{1}$

# TABLE DES MATIÈRES

## Chapitre I. Introduction : systèmes linéaires.

1.1. Généralités sur les systèmes .....	1
1.2. Systèmes linéaires .....	2
1.2.1. Définition .....	2
1.2.2. Propriété des systèmes linéaires : principe de superposition ..	2
1.2.3. Limites de validité de l'hypothèse de linéarité .....	2
1.3. Systèmes continus .....	3
1.4. Nature des signaux d'entrée et de sortie .....	3

## Chapitre II. Méthodes d'analyse des systèmes linéaires à une variable.

2.1. Calcul de la réponse d'un système linéaire à une entrée quelconque. Notions de fonction de transfert et de schéma fonctionnel .....	4
2.1.1. Fonction de transfert et schéma fonctionnel d'un système linéaire .....	4
2.1.2. Réponse temporelle d'un système linéaire .....	9
2.2. Analyse des systèmes linéaires .....	10
2.2.1. Analyse transitoire .....	11
2.2.2. Analyse harmonique .....	13
2.2.3. Identité entre analyse transitoire et analyse harmonique .....	14
2.2.4. Exemples de réponses transitoires et de réponses harmoniques	14

## Chapitre III. Généralités sur les systèmes asservis linéaires.

3.1. Notions sur les systèmes de commande asservis .....	21
3.1.1. Commande de vitesse .....	21
3.1.2. Commande de position .....	23
3.1.3. Schémas fonctionnels de systèmes asservis .....	24
3.1.4. Eléments fondamentaux des systèmes asservis .....	25
3.2. Fonctions de transfert utilisées dans l'étude des systèmes asservis .....	28
3.2.1. Fonction de transfert d'un système asservi .....	29
3.2.2. Fonction de transfert en boucle ouverte d'un système asservi ..	30
3.2.3. Relation fondamentale entre la fonction de transfert d'un système asservi et sa fonction de transfert en boucle ouverte ..	31
3.2.4. Forme générale des fonctions de transfert d'un système asservi .....	33
3.3. Analyse de l'influence de la réaction .....	35
3.3.1. Système de commande en chaîne ouverte .....	35
3.3.2. Système de commande en chaîne fermée .....	36

**Chapitre IV. Diagrammes et abaque.**

4.1.	Diagrammes de Bode .....	39
4.1.1.	Terme $K.(j\omega)^{\alpha}$ .....	40
4.1.2.	Terme $(1 + j\omega\tau)^{\beta}$ .....	42
4.1.3.	Terme $(1 - \omega^2/\omega_n^2 + j 2 \zeta\omega/\omega_n)^{\gamma}$ .....	44
4.1.4.	Terme $e^{-j\omega\tau}$ .....	47
4.1.5.	Relation entre les diagrammes d'amplitude et de phase. ....	47
4.2.	Diagrammes et abaque de Black .....	49
4.2.1.	Définition du diagramme de Black .....	49
4.2.2.	Construction et allure des diagrammes de Black .....	49
4.2.3.	Abaque de Black .....	50
4.3.	Diagrammes de Nyquist et abaque de Hall .....	52
4.3.1.	Définition du diagramme de Nyquist .....	52
4.3.2.	Construction et allure des diagrammes de Nyquist .....	53
4.4.	Allure du diagramme d'amplitude d'un système asservi. Notions de facteur de résonance et de bande passante .....	54
4.4.1.	Facteur de résonance .....	55
4.4.2.	Bande passante .....	55
4.4.3.	Déterminations du facteur de résonance et de la bande passante .....	55

**Chapitre V. Stabilité.**

5.1.	Conditions de stabilité .....	57
5.2.	Critère du revers .....	58
5.2.1.	Critère du revers dans le plan de Nyquist .....	58
5.2.2.	Critère du revers dans le plan de Black .....	58
5.2.3.	Critère du revers dans le plan de Bode .....	59
5.3.	Critères d'application générale .....	60
5.3.1.	Critère de Routh .....	60
5.3.2.	Critère de Nyquist .....	61
5.4.	Degré de stabilité .....	64
5.4.1.	Degré de stabilité d'un système du second ordre .....	64
5.4.2.	Degré de stabilité d'un système d'ordre quelconque .....	65
5.4.3.	Approximation dans le plan de Bode du facteur de résonance. Déphasage et gain marginaux .....	65

**Chapitre VI. Précision.**

6.1.	Généralités .....	68
6.1.1.	Définitions .....	68
6.1.2.	Précision dynamique et précision statique .....	69
6.1.3.	Expression générale de la transformée de Laplace de l'écart d'un système asservi soumis à une entrée principale et à une perturbation .....	70
6.2.	Précision dynamique .....	71
6.2.1.	Précision dynamique d'un système du premier ordre à retour unitaire .....	72

6.2.2.	Précision dynamique d'un système du second ordre à retour unitaire .....	74
6.2.3.	Précision dynamique d'un système d'ordre quelconque...	78
6.3.	Précision statique .....	79
6.3.1.	Définition des erreurs stationnaires.....	79
6.3.2.	Expressions des erreurs stationnaires relatives à une entrée principale .....	80
6.3.3.	Expressions des erreurs stationnaires relatives à une perturbation .....	81
6.4.	Critères de performances .....	82
6.4.1.	Critère de l'intégrale du carré de l'écart (Hall-Sartorius)....	82
6.4.2.	Critère de l'intégrale de la valeur absolue de l'écart.....	83
6.4.3.	Critère I. T. A. E. (« Integral of Time multiplied Absolute value of Error ») .....	83

### Chapitre VII. Correction.

7.1.	Correcteurs spécifiques.....	85
7.1.1.	Principe.....	85
7.1.2.	Contraintes.....	86
7.1.3.	Exemple .....	90
7.1.4.	Cas d'un système dont la fonction de transfert possède un retard pur.....	91
7.2.	Correcteurs classiques .....	92
7.2.1.	Définitions des actions proportionnelle, intégrale et dérivée..	92
7.2.2.	Action proportionnelle et dérivée.....	93
7.2.3.	Forme approchée de l'action PD : correcteur à avance de phase.....	95
7.2.4.	Action proportionnelle et intégrale.....	98
7.2.5.	Forme approchée de l'action PI : correcteur à retard de phase .....	100
7.2.6.	Action proportionnelle, intégrale et différentielle.....	102
7.2.7.	Forme approchée de l'action PID : correcteur retard-avance..	104
7.2.8.	Conclusion .....	105
7.3.	Détermination des paramètres d'un correcteur classique.....	105
7.3.1.	Détermination des paramètres d'un correcteur à actions PD, PI, PID et à retard de phase.....	106
7.3.2.	Détermination d'un correcteur à avance de phase et d'un correcteur retard-avance .....	108
7.4.	Réalisation des correcteurs .....	110
7.4.1.	Correcteurs en cascade.....	112
7.4.2.	Correcteurs en réaction .....	113

### Chapitre VIII. Etude d'un système asservi linéaire par la méthode du lieu d'Evans.

8.1.	Critères de performances dans le plan de Laplace.....	114
8.1.1.	Stabilité.....	114
8.1.2.	Précision dynamique et degré de stabilité.....	114

8.2.	Lieu d'Evans .....	117
8.2.1.	Configuration pôles-zéros de la fonction de transfert $F(p)$ d'un système asservi linéaire : lieu d'Evans .....	117
8.2.2.	Propriétés et allure du lieu d'Evans. Exemples .....	121
8.2.3.	Construction graphique des lieux d'Evans .....	127
8.3.	Correction dans le plan de Laplace .....	127
8.3.1.	Correcteur à avance de phase .....	128
8.3.2.	Correcteur à retard de phase .....	129
8.3.3.	Correcteur retard-avance .....	131

### Exercices et problèmes résolus

#### Exercices :

●	Calcul de la fonction de transfert de systèmes physiques linéaires. Construction de schémas fonctionnels .....	133
●	Généralités sur les systèmes asservis linéaires .....	137
●	Diagrammes et abaques .....	140
●	Stabilité .....	144
●	Etude d'un système linéaire par la méthode du lieu d'Evans .....	152

#### Problèmes :

●	P1 : Asservissement de position .....	158
●	P2 : Multiplieur .....	161
●	P3 : Asservissement de niveau .....	166
●	P4 : Asservissement de température .....	170
●	P5 .....	176

<b>Références et bibliographie .....</b>	<b>183</b>
--	------------

Collection conçue à l'intention des étudiants,

**DUNOD UNIVERSITÉ** est adaptée aux enseignements des Universités, des classes préparatoires et des Grandes Ecoles.

**Ouvrages de base** (série marron) :

1<sup>er</sup> cycle universitaire et classes préparatoires.

**Ouvrages fondamentaux** (série orange) :

enseignements s'étendant sur les 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles universitaires.

**Ouvrages de spécialité** (série violette) :

2<sup>e</sup> cycle universitaire et formation des ingénieurs.

Cet ouvrage expose un certain nombre des notions fondamentales sur lesquelles repose l'automatique classique.

Dans les quatre premiers chapitres, les auteurs développent les méthodes classiques d'analyse des systèmes linéaires. Ils introduisent la notion de fonction de transfert et de réponse en fréquences, puis celle de système asservi : les diagrammes et abaque, qui servent d'outil à l'étude de ces derniers, sont ensuite décrits.

Puis, ils montrent comment les performances d'un asservissement, qui peuvent être caractérisées par son degré de stabilité ainsi que par sa précision statique et dynamique, sont reliées à la réponse en fréquences de ces systèmes.

Un exposé est ensuite consacré à la correction, ensemble de méthodes permettant d'améliorer les performances des asservissements.

Enfin, cinquante pages d'exercices et problèmes résolus illustrent les divers exposés.

L'ouvrage intéresse les élèves-ingénieurs et les étudiants de 2<sup>e</sup> cycle universitaire en automatique. Il trouve une large audience auprès de nombreux ingénieurs désireux d'acquérir des connaissances de base dans ce domaine.

