

I. Jelinski • Toute l'électronique du premier cycle

Traitement du signal Asservissements linéaires

Cours complet

62 exercices corrigés d'application

13 problèmes résolus

Série « Vuibert Technologie »

vuibert supérieur



TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1. SÉRIES DE FOURIER	1
1. Représentation d'un signal	1
2. Série de Fourier en notation réelle	2
2.1. Théorème de Fourier	2
2.2. Calcul des coefficients de la série de Fourier	2
2.3. Propriétés de symétrie	3
2.4. Exemple de calcul	5
3. Série de Fourier en notation complexe	7
3.1. Expression de la série de Fourier en notation complexe	7
3.2. Représentation graphique	8
3.3. Exemple de calcul	9
4. Effet de la suppression d'harmoniques sur un signal	10
Exercices	12
CHAPITRE 2. TRANSFORMÉE DE FOURIER	13
1. Définition	13
2. Exemple	14
3. Exemple	15
4. Exemple	18
5. Puissance et énergie d'un signal	19
5.1. Puissance d'un signal	19
5.2. Énergie d'un signal	19
Exercices	21
Problèmes	23
CHAPITRE 3. TRANSFORMÉE DE LAPLACE	36
1. Définitions	36
2. Propriétés de la transformée de Laplace	37
2.1. Multiplication par une constante	37
2.2. Somme de fonctions	37
2.3. Transformée de Laplace d'une fonction dérivée	38
2.4. Transformée de Laplace d'une intégrale	40
2.5. Théorème du retard	40
2.6. Théorèmes de la valeur initiale et de la valeur finale	43
3. Transformées de Laplace de quelques fonctions particulières	44
3.1. Sinus et cosinus hyperboliques	44
3.2. Transformées de $e^{-at}\sin\omega t$ et de $e^{-at}\cos\omega t$	44
3.3. Transformée d'une impulsion de Dirac	45
3.3.1. Définition de l'impulsion de Dirac	45
3.3.2. Transformée de Laplace de l'impulsion de Dirac	46
3.3.3. Application au calcul de transformées de Laplace	46
4. Recherche de l'original d'une transformée de Laplace	47
4.1. Méthode générale	47
4.2. Cas où tous les pôles sont simples	47
4.3. Cas où $F(p)$ possède des pôles multiples	48
4.4. Cas où $F(p)$ possède 2 pôles complexes	49

4.5. Cas où $F(p)$ possède un pôle réel et 2 pôles complexes	50
Table des principales transformées de Laplace	52
Exercices	53
CHAPITRE 4. ÉTUDE DE CIRCUITS PAR LE CALCUL OPÉRATIONNEL	57
1. Impédances isomorphes	57
2. Réponse d'un réseau RC	59
2.1. Équations générales	59
2.2. Réponse à un échelon E_0	59
2.3. Réponse à une impulsion rectangulaire	61
2.4. Transmission d'un réseau RC	64
2.5. Réponse au régime harmonique	64
Exercices	66
CHAPITRE 5. MÉTHODES D'ÉTUDE DES SYSTÈMES LINÉAIRES	71
1. Définition d'un système linéaire	71
2. Méthodes d'étude des systèmes linéaires	72
2.1. Méthode des équations différentielles	72
2.2. Méthode du calcul opérationnel	74
2.2.1. Mise en équation	74
2.2.2. Recherche de l'original par la méthode des pôles et zéros	74
2.2.2.1. Méthode générale	74
2.2.2.2. Cas où les pôles sont réels	75
2.2.2.3. Cas où il existe deux pôles complexes	77
2.2.2.4. Cas où $F(p)$ a un pôle d'ordre	278
2.2.3. Intérêt des pôles et zéros sur un graphe	80
3. Étude d'un circuit linéaire par sa transmittance	81
3.1. Expression de la transmittance	81
3.2. Courbes de réponse en régime sinusoïdal	81
Exercices	84
CHAPITRE 6. ÉTUDE DE SYSTÈMES DU PREMIER ET DU DEUXIÈME ORDRE	85
1. Systèmes du premier ordre	85
1.1. Exemples de systèmes du premier ordre	85
1.2. Résolution en calcul opérationnel	86
1.3. Résolution de l'équation différentielle pour une entrée en échelon	87
1.4. Réponse en régime harmonique : résolution complexe	88
2. Systèmes du deuxième ordre	89
2.1. Équation générale	89
2.2. Exemples de systèmes du deuxième ordre	90
2.3. Réponse indicielle du système	91
2.4. Étude détaillée de la réponse indicielle pour $0 < m < 1$	96
2.4.1. Dépassements	96
2.4.2. Calcul de l'amortissement à partir de la mesure des dépassements	99
2.5. Temps de réponse à 5 % pour une entrée en échelon	99
2.6. Réponse indicielle par la méthode opérationnelle	101
2.7. Réponse harmonique	103
2.7.1. Expression à étudier	103
2.7.2. Étude de l'argument	103
2.7.3. Étude du gain	104
ANNEXE. RÉOLUTION DES PRINCIPALES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES	107
Exercices	108

CHAPITRE 7. ANALOGIES ÉLECTRO-MÉCANIQUES ET ÉLECTRO-THERMIQUES	114
1. Analogies électro-mécaniques 114	
1.1. Systèmes en translation 114	
1.2. Systèmes en rotation 116	
2. Analogies électro-thermiques 117	
Exercices 118	
CHAPITRE 8. ORGANISATION D'UN SYSTÈME BOUCLÉ	121
1. Organisation générale d'un système bouclé 121	
1.1. Définitions 121	
1.2. But du bouclage d'un système 122	
1.3. Asservissement et régulation 122	
1.4. Formule des systèmes bouclés 123	
1.5. Les deux types de réaction 123	
1.6. Généralisation de la formule de Black 124	
2. Réaction dans les amplificateurs 125	
2.1. Effet de la réaction sur la bande passante d'un passe-bas 125	
2.2. Effet de la réaction sur l'impédance d'entrée 125	
2.3. Effet de la réaction sur l'impédance de sortie 126	
Exercices 128	
CHAPITRE 9. STABILITÉ D'UN SYSTÈME BOUCLÉ	135
1. Définition et condition de stabilité 135	
1.1. Définition de la stabilité 135	
1.2. Condition générale de stabilité 135	
1.3. Réponse indicielle d'un circuit linéaire du premier ordre 137	
1.4. Réponse indicielle d'un circuit linéaire du second ordre 138	
2. Les deux fonctions de transfert d'un système asservi 140	
2.1. Fonction de transfert en boucle fermée (FTBF) 140	
2.2. Fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) 140	
3. Étude de la stabilité à partir de la FTBO 142	
3.1. Condition algébrique de stabilité 142	
3.2. Critère du revers dans le plan de Nyquist 142	
3.3. Critère du revers dans le plan de Bode 144	
3.4. Marges de stabilité dans le plan de Nyquist 148	
3.4.1. Marge de gain 148	
3.4.2. Marge de phase 149	
3.5. Marges de stabilité dans le plan de Bode 150	
4. Étude de la stabilité à partir; de la FTBF 151	
4.1. Marge de stabilité absolue 152	
4.2. Marge de stabilité relative 153	
4.3. Résumé 154	
Exercices 155	
CHAPITRE 10. ASSERVISSEMENTS DE POSITION ET DE VITESSE	158
1. Définition d'un système de commande asservi 158	
2. Qualités d'un asservissement 159	
3. Asservissement de position 159	
3.1. Commande de position 159	
3.2. Commande de position asservie 160	
3.3. Schéma fonctionnel 161	

- 4. Asservissement de vitesse 162
 - 4.1. Commande de vitesse 162
 - 4.2. Commande de vitesse asservie 163
 - 4.3. Schéma fonctionnel 164
- Exercices 166

CHAPITRE 11. PRÉCISION D'UN SYSTÈME ASSERVI

180

- 1. Définitions 180
 - 1.1. Définition générale 180
 - 1.2. Précision dynamique et précision statique 180
 - 1.3. Expression de $\varepsilon(p)$ dû à une entrée et à une perturbation 181
- 2. Précision dynamique d'un système du premier ordre à retour constant 182
 - 2.1. Expression de la FTBF 182
 - 2.2. Calcul de l'erreur pour une réponse indicielle 182
 - 2.3. Relation entre rapidité et bande passante 183
- 3. Précision dynamique d'un système du second ordre à retour constant 184
 - 3.1. Calcul de la FTBF 184
 - 3.2. Calcul de l'erreur pour une réponse indicielle 184
 - 3.3. Réponse en fréquence 185

CHAPITRE 12. CORRECTION D'UN SYSTÈME ASSERVI

187

- 1. Définition d'un correcteur 187
- 2. Correction proportionnelle et dérivée (PD) 188
 - 2.1. Définition 188
 - 2.2. Diagramme de Bode du correcteur PD 189
 - 2.3. Effet du correcteur sur le diagramme de Bode du système asservi 189
 - 2.4. Effet du correcteur sur le diagramme de Nyquist du système asservi 190
 - 2.5. Exemple de correcteur PD 191
- 3. Correction proportionnelle et intégrale (PI) 192
 - 3.1. Définition 192
 - 3.2. Diagramme de Bode du correcteur PI 192
 - 3.3. Effet du correcteur PI sur le diagramme de Bode d'un système asservi 193
 - 3.4. Effet du correcteur PI sur le diagramme de Nyquist d'un système asservi 194
 - 3.5. Exemple de correcteur PI 195
- 4. Correction proportionnelle, dérivée et intégrale (PID) 196
 - 4.1. Définition 196
 - 4.2. Diagramme de Bode du correcteur PID 196
 - 4.3. Effet du correcteur PID sur le diagramme de Bode d'un système asservi 197
 - 4.4. Effet du correcteur PID sur le diagramme de Nyquist d'un système asservi 198
- 5. Méthode graphique de calcul des correcteurs 198
- Exercices 204

Problème 1. Recherche de fonctions de transfert 206

Problème 2. Fonction de transfert d'une alimentation de moteur 209

Problème 3. Asservissement de position 212

Problème 4. Régulation de température 216

Problème 5. Régulation de pression 222

Problème 6. Asservissement de vitesse 230

CHAPITRE 13. BOUCLE À VERROUILLAGE DE PHASE

236

- 1. Définitions et utilisations 236

- 1.1. Définitions 236
- 1.2. Fonctionnement qualitatif 236
- 1.3. Utilisations principales de la PLL 238
- 2. Fonction et équation de chaque bloc 238
 - 2.1. Oscillateur commandé en tension 238
 - 2.2. Comparateur de phase 239
- 3. Fonctionnement de la boucle pour une entrée sinusoïdale 240
- 4. Étude du comparateur de phase 241
 - 4.1. Principe de réalisation 241
 - 4.2. Cas où $s_2(t)$ est sinusoïdal et $s_1(t)$ de forme quelconque 242
 - 4.3. Cas où $s_1(t)$ et $s_2(t)$ sont des signaux carrés 244
- 5. Oscillateur commandé en tension (OCT ou VCO) 246
- 6. Choix du filtre de boucle 246
- 7. Étude de la stabilité de la boucle 247
 - 7.1. Fonction de transfert en boucle ouverte 247
 - 7.2. Cas du filtre RC
 - 7.3. Cas du filtre passif R_1R_2C 249
 - 7.4. Cas du filtre actif 250

Exercices 251

- Problème 1 257
- Problème 2 260
- Problème 3 263
- Problème 4 270