

11001001010
100111010011
110010010010101010
110011001011010011
1100110010010041
010
1010

SCIENCES SUP

Cours et exercices corrigés

Licence 3^e année • Master • Écoles d'ingénieurs

TRAITEMENT NUMÉRIQUE DU SIGNAL

Une introduction

3^e édition

Préface de T.A.C.M. Claasen

***A.W.M. Van Den Enden
N.A.M. Verhoeckx***

DUNOD

Table des matières

+	1. Introduction	1
	1.1 Généralités	1
	1.2 Signaux et traitement des signaux	3
	1.3 Avantages et désavantages du traitement numérique du signal	8
	1.4 Modules de hardware pour traitement numérique du signal	10
	1.5 Applications du traitement numérique du signal	15
+	2. Signaux et systèmes à temps continu	17
	2.1 Introduction	17
	2.2 Intégrales de Fourier	17
	2.3 Discontinuités dans $x(t)$ ou $X(\omega)$	21
	2.4 Fonction delta ou impulsion de Dirac	22
	2.5 Signaux continus périodiques	24
	2.6 Systèmes continus	26
	2.7 Réponse impulsionnelle	28
	2.8 Réponse en fréquence	30
	2.9 Intégrale de convolution	31
	2.10 Pôles et zéros	34
	2.11 Exercices	37
*	3. Conversion des signaux à temps continu en signaux à temps discret et inversement	43
	3.1 Introduction	43
	3.2 Echantillonnage avec des impulsions de Dirac	45
	3.3 Reconstruction du signal	47
	3.4 Considérations pratiques	49
	3.5 Systèmes pratiques	52
	3.6 Remarques de conclusion	53
	3.7 Exercices	55
*	4. Signaux et systèmes à temps discret	57
	4.1 Introduction	57
	4.2 Description des signaux discrets dans l'espace des temps	58
	4.2.1 Exemples	58
	4.2.2 Signaux discrets importants	58
	4.3 Description des signaux discrets dans l'espace des fréquences	62
	4.3.1 Exemples	64
	4.3.2 Propriétés de la TFSD	65

4.3.3 Paires de transformées fréquemment utilisées	69
4.4 Systèmes discrets linéaires invariants dans le temps	72
4.4.1 Introduction	72
4.4.2 Description du système par des équations aux différences	74
4.4.3 Description du système par sa réponse impulsionnelle	77
4.4.4 Convolution discrète	82
4.4.5 Description du système par sa réponse en fréquence	83
4.5 La transformation en z	89
4.5.1 Définition et exemples	89
4.5.2 Convergence de la transformation en z	92
4.5.3 Transformation en z inverse	96
4.5.4 Propriétés de la transformation en z	100
4.5.5 Relation entre transformation en z et TFSD	101
4.5.6 Description du système par sa fonction de transfert	102
4.5.7 Description du système par ses pôles et ses zéros	108
4.6 Exercices	116
5. TFD et TFR	125
5.1 TFD de signaux discrets périodiques	125
5.2 TFD de signaux discrets de durée finie	129
5.3 Propriétés de la TFD	132
5.4 Choix de N	138
5.4.1 Choix de N pour des signaux périodiques	138
5.4.2 Choix de N pour des signaux de durée finie	143
5.4.3 Choix de N pour des signaux non périodiques de durée infinie	146
5.5 Convolution circulaire	147
5.5.1 Convolution de deux signaux de durée finie	150
5.5.2 Convolution d'un signal de durée finie et d'un signal de durée infinie	151
5.6 Application de la TFD aux signaux continus	156
5.7 La TFR	162
5.8 Exercices	168
6. Vue d'ensemble des transformations de signaux	173
6.1 Introduction	173
6.2 Comparaison qualitative	176
6.3 Relations avec la TL et la TZ	180
6.4 Utilisation de la fonction delta	180
6.5 Comparaison quantitative	184
6.6 Exercices	188
7. Structures de filtres	189
7.1 Introduction	189
7.2 Filtres discrets non-récurrents	191
7.3 Filtres discrets récurrents	193
7.3.1 La forme directe 1	196
7.3.2 La forme directe 2	197
7.3.3 La structure en cascade	199

7.3.4	La structure en parallèle	201
7.4	Quelques structures de filtres particulières.	203
7.4.1	Filtres en peigne	203
7.4.2	Filtre à échantillonnage en fréquence	204
7.4.3	Filtres en échelle et en treillis	207
7.5	Transposition	208
7.6	Filtres adaptatifs	208
7.7	Exercices	214
8.	Méthodes de conception de filtres discrets	219
8.1	Introduction	219
8.2	Méthodes de conception de filtres RIF	222
8.2.1	Conception basée sur la TFSD et l'utilisation de fenêtres	224
8.2.2	Conception basée sur la TFD (méthode à échantillonnage en fréquence)	231
8.2.3	Conception à ondulations constantes	234
8.2.4	Filtres à phase linéaire	237
8.3	Méthodes de réalisation de filtres RII	240
8.3.1	Méthode à invariance de la réponse impulsionnelle	242
8.3.2	Remplacement des différentielles par des différences	246
8.3.3	Transformation bilinéaire	252
8.3.4	Transformation d'éléments	258
8.3.5	Méthodes d'optimalisation	260
8.4	Comparaison des filtres RIF et RII	261
8.5	Exercices	263
9.	Systèmes multcadence	267
9.1	Introduction	267
9.2	Réduction de cadence	270
9.3	Réalisation de filtres à décimation	275
9.4	Élévation de cadence	278
9.5	Réalisation de filtres à interpolation	282
9.6	Multiplication de la cadence par un facteur rationnel	285
9.7	Transposition des filtres à interpolation et à décimation	286
9.8	Applications	287
9.9	Exercices	290
10.	Longueur de mot finie dans les signaux et les systèmes numériques	297
10.1	Introduction	297
10.2	Représentation des nombres	298
10.3	Quantification et dépassement	301
10.4	Bruit de conversion A/N	304
10.5	Quantification des coefficients de filtres	308
10.6	Limitation de la longueur de mot des résultats intermédiaires.	313
10.6.1	Dépassement des résultats intermédiaires	316
10.6.2	Quantification des résultats intermédiaires	319
10.7	Remarques de conclusion sur la limitation de la longueur de mot	327
10.8	Exercices	329

†	Annexe A. Un résumé de l'intégrale de Fourier \times	333
	A.1 Propriétés importantes	333
	A.2 Paires de Fourier importantes	334
†	Annexe B. Développement en éléments simples \times	339
	B.1 Introduction	339
	B.2 Pôles complexes conjugués	340
	B.3 Degré du numérateur et du dénominateur	341
	B.4 Pôles multiples	342
†	Annexe C. La transformation en z inverse \times	345
	C.1 Introduction	345
	C.2 Méthode de calcul	346
	C.3 Calcul du bruit discret	346
	Annexe D. Solutions des exercices	349
	D.1 Solutions du chapitre 2	349
	D.2 Solutions du chapitre 3	350
	D.3 Solutions du chapitre 4	352
	D.4 Solutions du chapitre 5	357
	D.5 Solutions du chapitre 6	358
	D.6 Solutions du chapitre 7	358
	D.7 Solutions du chapitre 8	359
	D.8 Solutions du chapitre 9	361
	D.9 Solutions du chapitre 10	369
	Bibliographie	375
	Index	378