

Table des matières

Avant propos

Chapitre I

NOTIONS SUR LES SYSTEMES

1. Systèmes linéaires	1
2. Systèmes stationnaires	1
3. Systèmes continus.....	2
4. Systèmes linéaires invariants dans le temps (LIT)	2
4.1 Fonctions propres des systèmes LIT.....	2
4.2 Fonction de transfert et réponse en fréquence	4
5. Equations différentielles linéaires à coefficients constants	5
6. Linéarité des systèmes physiques	6
Exercices.....	6

Chapitre II

SYSTEMES DU PREMIER ET DU SECOND ORDRE

1. Système du premier ordre. Le circuit R, C	8
1.1 Fonction de transfert	8
1.2 Réponse en fréquence	9
1.3 Représentation graphique de la réponse en fréquence	11
1.4 Interprétation géométrique	13
1.5 Circuit R, C avec sortie aux bornes de la résistance	14
2. Système du second ordre. Le circuit R, L, C série	15
2.1 Fonction de transfert	16
Recherche des pôles de la fonction de transfert.....	16
2.2 Réponse en fréquence	17
2.3 Interprétation géométrique	17
Représentation de Bode	21
2.4 Notion de surtension	23
Exercices.....	24

Chapitre III

SERIES DE FOURIER

1. Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier	27
2. Théorème de Parseval	32
3. Somme d'un nombre fini d'exponentielles	34
Coefficients optimaux du développement d'une fonction.....	34
4. Espaces de Hilbert	36
5. Phénomène de Gibbs.....	37
6. Non linéarité d'un système et génération d'harmoniques.....	38

Chapitre IV

LA DISTRIBUTION DE DIRAC

1. Somme infinie d'exponentielles. Valeur Principale de Cauchy.....	42
2. Intégrale de Dirichlet	43
3. La distribution de Dirac.....	46
3.1 Définition.....	46
3.2 Propriétés	49
3.3 Définition du produit de convolution	49
3.4 Primitive de la distribution de Dirac. Fonction de Heaviside.....	50
3.5 Dérivées de la distribution de Dirac	50
Exercices.....	51

Chapitre V

TRANSFORMATION DE FOURIER

1. Réponse impulsionnelle d'un système LIT.....	52
2. Transformation de Fourier d'un signal	53
2.1 Transformation directe	53
2.2 Transformation inverse.....	54
3. Propriétés de la transformation de Fourier	55
3.1 Propriétés de symétrie.....	55
3.2 Puissance et énergie d'un signal ; Théorème de Parseval-Plancherel	56
4. Applications de la transformation de Fourier	57
4.1 TF de la distribution de Dirac et des fonctions trigonométriques	57
4.2 TF d'un peigne de Dirac.....	58
5. Dérivation d'un signal et transformation de Fourier	59
6. Transformation de Fourier à deux dimensions.....	59

Chapitre VI

TRANSFORMATION DE FOURIER ET FILTRAGE PAR UN SYSTEME LIT

1. Réponse à un signal d'entrée de forme quelconque	61
2. Relation temporelle entre les signaux d'entrée et de sortie	62
3. Transformation de Fourier et produit de convolution en Physique	63
4. Transformée de Fourier du produit de deux fonctions	63
5. Transformée de Fourier d'une fonction périodique	63
6. Fonctions de corrélation déterministe	64
7. Etalement d'un signal. Relation d'incertitude d'Heisenberg-Gabor.....	66
Exercices.....	68

Chapitre VII

CALCULS DE TRANSFORMEES DE FOURIER ET DE CONVOLUTIONS

1. Transformation de Fourier de fonctions usuelles	73
1.1 TF d'une fenêtre rectangulaire	73
1.2 TF d'une fenêtre triangulaire.....	74
1.3 TF d'une fonction de Gauss	75
2. Comportement à l'infini de l'amplitude de Fourier d'un signal	78
TF d'une fenêtre de de Hann	79
3. Limitation en temps ou en fréquence d'un signal	80
3.1 TF d'un cosinus limité en temps	80
3.2 Intérêt pratique de la multiplication d'un signal temporel par une fenêtre	81
3.3 Limitation en fréquence. Phénomène de Gibbs	81
4. Calculs de produits de convolution.....	83
4.1 Réponse d'un système du premier ordre à différents signaux d'entrée	83
4.2 Exemples de calculs de produits de convolution.....	86
Exercices.....	90
Table de transformées de Fourier	91

Chapitre VIII

REPONSE IMPULSIONNELLE D'UN SYSTEME LIT

1. Réponse impulsionnelle d'un filtre du premier ordre ...	93
2. Réponse impulsionnelle d'un filtre du second ordre	96

Chapitre IX

TRANSFORMATION DE LAPLACE

1. Transformées directe et inverse	101
2. Stabilité d'un système et transformation de Laplace	104
3. Application de la transformation de Laplace	104
Table de transformées de Laplace	106

Chapitre X

FILTRES ANALOGIQUES

1. Retard d'un signal à la traversée d'un filtre passe bas	107
2. Filtres de Butterworth	108
3. Filtres de Tchebycheff	112
4. Filtres de Bessel	113
5. Comparaison des réponses des différents filtres	115
Exercices.....	117

Chapitre XI

SIGNAUX CAUSAUX - SIGNAUX ANALYTIQUES

1. Calcul de la transformée de Fourier de la pseudo fonction $1/t$	119
2. Transformée de Fourier d'un signal causal.....	121
3. Théorème de Paley-Wiener	124
4. Signal analytique	124
4.1 Signal modulé en amplitude	126
4.2 Fréquence instantanée d'un gazouillis (chirp)	128
4.3 Modulation en Bande Latérale Unique (BLU)	128
4.4 Filtrage passe-bande d'un signal modulé en amplitude	131
5. Temps de propagation de phase et de groupe	132
6. Décomposition d'un signal vocal par un banc de filtres	133
Exercices.....	135

Chapitre XII

ANALYSE TEMPS-FREQUENCE

1. Spectrogramme.....	139
2. Distribution de Wigner-Ville	141
3. Analyse continue en ondelettes	145
Ondelette de Shannon	149

Chapitre XIII

NOTIONS DE SIGNAUX NUMERIQUES

1. Conversion Analogique Numérique	152
2. Critère pour un bon échantillonnage en temps	154
3. Signaux numériques simples.....	155
Exercices.....	157

Chapitre XIV

SYSTEMES NUMERIQUES

1. Systèmes linéaires, invariants par translation dans le temps (LIT)	158
2. Propriétés des systèmes L I T	158
3. Notion de fonction de transfert	159
4. Réponse en fréquence d'un système LIT	160
5. Filtrés à moyenne glissante (Moving Average (MA))	161
6. Interprétation géométrique de la variation du gain avec la fréquence	162
7. Propriétés des filtres à moyenne glissante (MA), (RIF)	164
8. Autres exemples de filtres tous zéros (MA)	166
Exercices.....	168

Chapitre XV

PROPRIETES DE LA TRANSFORMATION EN Z

1. Définition	169
2. Inversion de la Tz	170
3. Tz du produit de deux fonctions	172
4. Propriétés de la Tz	172
5. Applications	173
Exercices.....	174

Chapitre XVI

TRANSFORMATION DE FOURIER DES SIGNAUX NUMERIQUES

1. Formule sommatoire de Poisson	175
2. Théorème du repliement de Shannon	176
3. Théorème de l'échantillonnage	177
4. Application de la formule de Poisson : Transformée de Fourier d'un sinus	179
5. Transformée de Fourier d'un produit de deux fonctions du temps	179
6. Théorème de Parseval	180
7. Transformée de Fourier d'une fenêtre rectangulaire	180
8. Transformée de Fourier d'un sinus limité dans le temps	182
9. Utilisation des fenêtres d'apodisation.....	183
10. Transformation de Fourier Discrète (TFD)	186
11. Algorithme de la Transformation de Fourier Rapide (Fast Fourier Transform, FFT)..	188
12. Ecriture matricielle de la TFD	190
13. Interpolation par addition de zéros	190
14. Arte-facts de la transformée de Fourier sur ordinateur	192
Exercices.....	193

Chapitre XVII

SYSTEMES AUTOREGRESSIFS (AR). SYSTEMES ARMA

1. Système du 1er ordre	195
1.1 Système causal	195
1.2 Système anticausal	198
2. Système du second ordre	199
2.1 Calcul de la fonction de transfert	199
2.2 Interprétation géométrique de la variation du module du gain en fréquence...	200
2.3 Réponse impulsionnelle	202

2.4 Diagrammes fonctionnels	203
3. Filtres ARMA	205
4. Passage d'un filtre analogique à un filtre numérique	207
4.1 Correspondance par la transformation bilinéaire.....	207
4.2 Correspondance par échantillonnage de la réponse impulsionnelle	209
4.3 Correspondance par échantillonnage de la réponse en fréquence	209
Exercices.....	211

Chapitre XVIII

SYSTEMES A PHASE MINIMALE. DECONVOLUTION

1. Systèmes à phase minimale	215
1.1 Notions de système à phase minimale	215
1.2 Propriétés des systèmes à phase minimale	218
2. Déconvolution	220
2.1 Intérêt de la déconvolution	220
2.2 Techniques de déconvolution	220
Déconvolution par division des amplitudes spectrales	220
Déconvolution par filtrage inverse	221
Déconvolution par la méthode du cepstrum complexe	222

Chapitre XIX

ONDELETTES. ANALYSE MULTIREOLUTION

1. Transformation de Haar	226
2. Banc de filtres à deux canaux	229
3. Analyse en ondelettes. Multirésolution	232
3.1 Base de fonctions de Haar	232
3.2 Ondelettes de Daubechies	238
Théorème de Mallat, Meyer	244
Ondelette DB4 de Daubechies.....	246
Décomposition, recombposition d'une fonction.....	249
Exercices	252

Chapitre XX

ESTIMATION PARAMETRIQUE - MODELISATION DES SIGNAUX CERTAINS - PREDICTION LINEAIRE

1. Méthode des moindres carrés	253
2. Approximation de Padé	254
3. Méthode de Prony ; Méthode de Shanks.....	259
3.1 Méthode de Prony	259
3.2 Méthode de Shanks	262
4. Modélisation tous pôles dans le cadre de la modélisation de Prony	264
5. Modélisation tous pôles dans le cas d'un nombre fini de données.....	265
5.1 Méthode d'autocorrélation	266
5.2 Méthode de covariance	266
6. Filtrage adaptatif.....	267
Exercices	270

Chapitre XXI

SIGNAUX ALEATOIRES - BASES STATISTIQUES

Rappels de statistique	274
1. Cas d'une variable aléatoire réelle	274
2. Distribution de Gauss (loi normale)	276
2.1 Moments de la distribution	279
2.2 Fonction caractéristique	280
3. Densité de probabilité d'une fonction d'une variable aléatoire	280
Table de la loi normale centrée réduite	283

Chapitre XXII

STATISTIQUE DE DEUX VARIABLES ALEATOIRES

1. Statistique du deuxième ordre	284
1.1 Densité de probabilité conjointe	284
1.2 Fonction de répartition conjointe	284
1.3 Fonction de répartition marginale.....	285
1.4 Densité de probabilité conditionnelle	286
2. Couple de v.a. conjointement gaussiennes.....	287
2.1 Densités de probabilité	287
2.2 Fonction caractéristique.....	289
3. Propriétés de la somme de deux v. a.	289
3.1 Densité de probabilité	289
3.2 Théorème central limite	291
4. Variable du χ^2 à ν degrés de liberté	292
Test du χ^2	293
5. Variables aléatoires complexes	295
5.1 Densité de probabilité d'une v.a. complexe	295
5.2 Corrélacion de deux v.a. complexes	295
6. Estimation paramétrique	297
6.1 Problématique de l'estimation	297
6.1 Maximum de vraisemblance	299
6.3 Borne de Cramér-Rao	301
Exercices	303

Chapitre XXIII

MATRICES DE CORRELATION ET DE COVARIANCE D'UN VECTEUR ALEATOIRE COMPLEXE

1. Définition des matrices de corrélation et de covariance	304
Propriétés de la matrice de corrélation	304
2. Transformation linéaire de vecteurs aléatoires.....	305
3. Densités de probabilité gaussiennes multivariées	306
4. Estimation de la matrice de corrélation à partir des observations.....	309
5. Développement de Karhunen-Loève	310
5.1 Exemple d'utilisation	310
5.2 Aspect théorique	311
5.3 Caractère optimal du développement	313

Chapitre XXIV

FONCTIONS DE CORRELATION - DENSITES SPECTRALES DE PUISSANCE - DES SIGNAUX ALEATOIRES

1. Fonction de corrélation d'un signal aléatoire	314
1.1 Fonction de corrélation d'un signal ssl	314
1.2 Propriétés de la fonction de corrélation	315
1.3 Bruit blanc centré	315
2. Filtrage d'un signal aléatoire par un filtre LIT	316
2.1 Espérances.....	316
2.2 Fonctions de corrélation	316
3. Densité spectrale de puissance d'un signal ssl	317
4. Filtrage d'un bruit blanc centré par un filtre du premier ordre.....	318
5. Fonction de cohérence	320
6. Matrice d'autocorrélation d'un signal aléatoire	322
7. Formation de voies	322
8. Signaux aléatoires analogiques	324
9. Filtrage adapté.....	325
Exercices.....	327

Chapitre XXV

ERGODICITE - ESTIMATIONS TEMPORELLES

1. Estimation de la moyenne d'un signal aléatoire.....	334
1.1 Espérance de l'estimateur de la moyenne	334
1.2 Variance de l'estimateur de la moyenne	335
1.3 Conditions d'ergodicité	336
2. Estimation de la fonction de corrélation	336
3. Estimation spectrale	338
3.1 Estimateur brut de la densité spectrale de puissance ou périodogramme...	338
3.2 Propriétés statistiques du périodogramme	339
4. Amélioration de l'estimation spectrale	341
Méthodes de Bartlett, Blackman et Tukey, de Welch	342

Chapitre XXVI

MODELISATION PARAMETRIQUE

1. Condition de Paley-Wiener. Processus aléatoire régulier	344
2. Modélisation paramétrique de signaux aléatoires	346
2.1 Equations de Yule-Walker	346
2.2 Recherche des coefficients du modèle ARMA	347
2.3 Modèle AR d'un signal aléatoire régulier	349
2.4 Modèle MA d'un signal aléatoire régulier	350
3. Méthode de Capon.....	351
4. Méthode de Pisarenko.....	352
Exercices.....	353

Chapitre XXVII

FILTRAGE OPTIMAL - FILTRES DE WIENER

1. Estimation optimale	354
1.1 Orthogonalité stochastique	354
1.2 Estimation optimale au sens des moindres carrés	354

2.	Filtrage optimal de Wiener.....	355
2.1	Filtre à réponse impulsionnelle finie	355
2.2	Prédiction linéaire d'un signal aléatoire	357
3.	Filtre à réponse impulsionnelle infinie	359
3.1	Filtre non causal	359
3.2	Filtre causal	359

Annexe 1

FONCTIONS D'UNE VARIABLE COMPLEXE

1.	Notions sur les variables complexes	361
1.1	Notion de nombre complexe	361
1.2	Fonction complexe d'une variable complexe	361
2.	Dérivation complexe	362
3.	Intégration complexe	363
3.1	Théorème de Cauchy	363
3.2	Intégration sur un contour fermé entourant un pôle. Résidu d'une intégration	365
3.3	Lemmes de Jordan	366

Annexe 2

ALGEBRE LINEAIRE

1.	Vecteurs	368
	Indépendance linéaire	368
2.	Matrices	369
3.	Systèmes linéaires	370
3.1	Forme quadratique et forme hermitienne	373
3.2	Valeurs propres et vecteurs propres d'une matrice	373

Annexe 3

CALCULS NUMERIQUES SUR ORDINATEUR

1.	Conseils pour la programmation	375
2.	Notions de Matlab	376
2.1	Divers	376
2.2	Vecteurs, matrices	376
2.3	Graphiques	377
2.4	Polynômes	378
2.5	Signal.....	378
2.6	Ondelettes	379
2.7	Gestion de fichiers	379
	Exemples de programmes Matlab	380

BIBLIOGRAPHIE	383
----------------------------	------------

INDEX	385
--------------------	------------