

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I : ÉCHANTILLONNAGE D'UN SIGNAL

1. Introduction	1
1.1 Champs d'applications du traitement numérique du signal	1
1.2 Définitions	2
1.3 Avantages et inconvénients	2
1.4 Rappel sur le signal analogique	3
1.5 Définition de l'échantillonnage	4
2. Chaîne de traitement numérique du signal	5
2.1 La conversion du domaine analogique vers le domaine numérique	5
2.2 La conversion du domaine numérique vers le domaine analogique	5
2.3 Le changement de variable temps indice	6
2.4 Le traitement effectué dans le calculateur	7
2.5 Restitution du signal traité	8
3. Méthodes d'échantillonnage des signaux analogiques	10
3.1 Échantillonnage naturel	10
3.2 Échantillonnage et blocage	11
4. Circuit échantillonneur bloqueur	13
4.1 Schéma de principe	13
4.2 Échantillonneur bloqueur intégré	14
5. Etude spectrale	15
5.1 Rappel sur le spectre des signaux	15
5.2 Cas du signal carré	17
5.3 Spectre du produit de deux signaux sinusoïdaux	18
5.4 Cas du signal de commande de l'échantillonneur	19
5.5 Spectre du signal échantillonné	20
5.6 Théorème de Shannon	21
5.7 Influence du filtre passe-bas de restitution	25
6. Exercices corrigés	27

CHAPITRE II : CONVERSIONS ANALOGIQUE ↔ NUMÉRIQUE

1. Équivalence entre un code binaire et une tension	35
1.1 Définitions dans le domaine numérique	35
1.2 Principales caractéristiques des convertisseurs	36
1.3 Les deux types de convertisseurs	36
2. La conversion numérique analogique	37
2.1 Principe et courbe de transfert numérique analogique	37
2.2 Utilisation d'interrupteurs pour prendre en compte un poids numérique	38
2.3 Convertisseur à échelle de résistances pondérées	38

2.4	Convertisseur à échelle de résistances R-2R	40
2.5	Les différentes erreurs de conversion	41
2.6	Pilotage d'un CNA compatible microprocesseur	43
3.	La conversion analogique numérique	43
3.1	Principe et courbe de transfert théorique	43
3.2	Classification des convertisseurs analogiques numériques	45
3.3	Convertisseur à rampes	45
3.4	Convertisseur rapide du type parallèle	48
3.5	Convertisseur à comptage	49
3.6	Convertisseur à approximations successives	50
3.7	Convertisseur sigma delta $\Sigma \Delta$	52
3.8	Pilotage d'un CAN compatible microprocesseur	55
4.	Exercices corrigés	58

CHAPITRE III : MÉTHODES D'ANALYSE DES SYSTÈMES NUMÉRIQUES

1.	Structure des algorithmes de calcul	67
1.1	Algorithme associé au traitement	67
1.2	Algorithme et équation aux différences	68
2.	Réponse à un signal carré	69
2.1	Les échantillons associés au signal carré	69
2.2	Réponse du système aux signaux carrés	70
2.3	Résolution d'une équation aux différences	71
3.	Réponse à un signal sinusoïdal	73
3.1	Rappel sur la notion de fonction de transfert	73
3.2	Fréquence numérique d'une entrée sinusoïdale	74
3.3	Calcul de la sortie numérique $Y(n)$ à une entrée sinusoïdale	75
3.4	Tracé de la réponse du système en fonction de la fréquence analogique	76
4.	Généralisation de la méthode de calcul	77
4.1	Fonction de transfert en Z	77
4.2	Efficacité de la notation en Z	78
4.3	Relation de passage entre la fonction en Z et l'équation aux différences	78
4.4	Schéma bloc associé à une équation aux différences	79
5.	Méthode d'analyse en fréquences d'un système numérique	81
5.1	De l'algorithme à la fonction de transfert en Z	81
5.2	Relation entre la variable Z et la pulsation numérique Ω	81
5.3	Réponse en fréquences	82
5.4	Conclusion	82
6.	Cas particulier des générateurs numériques	83
6.1	Méthodes de générations de signaux numériques	84
6.2	Cas de l'oscillateur numérique sinusoïdal	85
7.	Exercices corrigés	88

CHAPITRE IV : NOTIONS DE FILTRAGE NUMÉRIQUE

1.	Introduction	99
1.1	Définition du filtrage numérique	100
1.2	Les différents types de filtres numériques	100
2.	Analyse d'un filtre numérique récursif	102
2.1	De l'algorithme à la fonction de transfert en Z	102
2.2	Réponse en fréquences	103

3. Méthodes de synthèse des filtres numériques	104
3.1 Équivalence entre la fonction de transfert en P et celle en Z	104
3.2 Utilisation de l'approximation d'ordre 1	104
3.2.1 Domaine de validité de l'approximation	105
3.2.2 Synthèse d'un filtre passe-bas du premier ordre	105
3.2.3 Comparaison des réponses en fréquences	106
3.2.4 Modification de la fréquence d'échantillonnage	106
3.3 Utilisation de l'approximation d'ordre 2 ou transformation bilinéaire	108
3.3.1 Domaine de validité de l'approximation	108
3.2.2 Synthèse du même filtre passe-bas du premier ordre	108
3.3.3 Comparaison des réponses en fréquences	109
3.3.4 Modification de la fréquence d'échantillonnage	110
3.4 Existence d'autres méthodes de synthèse	111
4. Implantation d'algorithmes de filtres numériques	112
4.1 Structure générale d'un programme de filtre numérique en langage C	112
4.2 Cadencement par les fonctions de lecture et d'écriture d'échantillons	113
4.3 Exemple de programme d'un filtre numérique non récursif	113
4.4 Exemple de programme d'un filtre numérique récursif	114
5. Cas particulier des filtres à échantillonnage	115
5.1 Réalisation d'une résistance programmable	115
5.2 Intégrateur à échantillonnage	117
5.3 Circuit intégré à capacités commutées	118
6. Exercices corrigés	121

CHAPITRE V : TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES SONS

1. Introduction	133
1.1 Rappels sur les sons	134
1.2 Les fichiers son	135
2. Les différents traitements sur les sons	137
2.1 Les effets sur le temps	137
2.2 Les effets sur la fréquence	137
2.3 Les effets de volume	138
3. Réalisation d'un écho	138
3.1 Définition de l'écho acoustique	138
3.2 Algorithme à programmer	139
3.3 Durée de l'écho et fréquence d'échantillonnage	139
3.4 Réponse à une impulsion	139
3.5 Réponse à un échelon	140
3.6 Réponse en fréquence de l'écho	140
3.7 Nécessité de l'utilisation d'un tableau circulaire	141
3.8 Implantation de l'algorithme d'écho en langage C	142
4. Réalisation d'une réverbération	143
4.1 Définition de la réverbération acoustique	144
4.2 Algorithme à programmer	144
4.3 Durée des réverbérations	144
4.4 Réponse à une impulsion ou un échelon	145
4.5 Réponse en fréquence de la réverbération	145
4.6 Implantation de l'algorithme de réverbération en langage C	146
5. Autres algorithmes de traitements sur les sons	147
5.1 Algorithme associé à la voix codée	147
5.2 Effet de type chorus	149

5.3 Effet de distorsion	151
5.4 Purification du son	152
6. Exercices corrigés	153

CHAPITRE VI : RÉALISATION PRATIQUE DES SYSTÈMES NUMÉRIQUES

1. Introduction	165
1.1 Classification des types de signaux à numériser	165
1.2 Choix du calculateur en fonction de la fréquence du signal	166
2. Réalisation à base d'ordinateur et de carte de conversion	166
3. Réalisation utilisant un microcontrôleur	169
4. Réalisation à base de processeur de signal	172
4.1 Description générale d'un DSP	172
4.2 L'arithmétique des DSP	173
4.3 Dialogue avec la périphérie	176
4.4 Description de l'interface analogique	176
4.5 Synchronisation des échanges	177
4.6 Ecriture en langage C des fonctions d'entrée et sortie d'échantillons	179
4.7 Utilisation d'un kit de développement	181
5. Applications	182
5.1 Le lecteur de CD	182
5.2 Enregistrement et lecture de messages sonores	184
5.3 La partie réception d'un modem	185
5.4 Annulation d'échos	186
5.5 Applications médicales	187
5.6 La radio numérique	189
5.7 Système audio numérique portable	192
5.8 Plateforme multimédia modulable OMAP	192

ANNEXES :

A. Résumé des relations élémentaires	194
A.1 L'échantillonnage et la conversion	194
A.2 Analyse des systèmes numériques	195
A.3 Les filtres numériques	195
A.4 Le traitement des sons	196
B. L'amplificateur opérationnel	197
B.1 Le circuit équivalent à l'amplificateur opérationnel idéal	197
B.2 Les montages de base utilisant l'amplificateur opérationnel	197
C. Rappels sur le calcul complexe	199
D. Théorèmes fondamentaux pour le calcul des circuits	201
D.1 Le théorème de Millman	201
D.2 Le théorème de Thévenin	202
E. Exemples de programmes en langage C fonctionnant sur DSP	204

BIBLIOGRAPHIE	210
INDEX ALPHABÉTIQUE	211