

Table des matières

Avant-propos	1
Introduction	3
Chapitre 1. Signaux et systèmes à temps discret	7
1.1. Signaux à temps discret.	7
1.1.1. Peigne de Dirac et suite d'échantillons	7
1.1.1.1. Peigne de Dirac dans l'espace des phases et dans le domaine temporel	7
1.1.1.2. Peigne de Dirac fréquentiel	10
1.1.1.3. Séries de Fourier	10
1.1.1.4. Signal temporel échantillonné (ou discret) et périodicité du spectre	12
1.1.2. Théorème d'échantillonnage (ou de Shannon), filtrage antirepliement et restitution du signal à temps continu par la formule d'interpolation de Shannon	14
1.1.3. Séries (ou transformations) de Fourier discrètes (TFD), transformées de Fourier rapides (FFT, <i>Fast Fourier Transforms</i>) et transformées en cosinus discrètes (DCT, <i>Discrete Cosine Transforms</i>).	18
1.2. Circuits d'interface temps continu/temps discret.	21
1.2.1. Échantillonneur réel	21
1.2.2. Échantillonneur-bloqueur	23
1.2.3. Circuits d'interpolation et méthodes de lissage d'un signal échantillonné	26
1.3. Mesure du déphasage, asservissements de phase et de fréquence, synthèse de fréquence	30

1.3.1. Circuit à trois états pour la mesure du déphasage	31
1.3.2. Boucle à verrouillage de phase	36
1.3.3. Modulateur et démodulateur de phase et de fréquence, verrouillage et fonctionnement dynamique de la boucle	39
1.3.4. Synthèse de fréquence analogique	45
1.3.4.1. Multiplication d'une fréquence par un nombre fractionnaire fixe ou variable	45
1.3.4.2. Décalage d'une fréquence.	47
1.3.4.3. Multiplication d'un écart entre deux fréquences	48
1.3.4.4. Synthétiseur de fréquence.	49
1.3.5. Systèmes de synthèse et asservissement de phase et de fréquence numériques	51
1.3.5.1. Synthèse de fréquence numérique	51
1.3.5.2. Boucle à verrouillage de phase numérique	53
1.4. Systèmes échantillonnés	60
1.4.1. Transformée en z pour les systèmes décrits par une équation de récurrence (ou équation aux différences)	60
1.4.2. Systèmes à temps continu soumis à un signal échantillonné.	66
1.4.3. Circuits à capacités commutées adaptés aux filtres à réponse impulsionnelle infinie (IIR).	69
1.4.3.1. Analyse des effets des commutations sur les charges emmagasinées dans les condensateurs et filtre passif passe-bas du 1 ^{er} ordre	69
1.4.3.2. Montages à amplificateur opérationnel et transmittances de transfert de charge, filtres élémentaires de type IIR	72
1.4.3.3. Circuits électriques non commutés soumis à des signaux échantillonnés	76
1.4.4. Circuits à capacités commutées adaptés aux filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR)	78
1.4.5. Modélisation des systèmes échantillonnés par blocs fonctionnels	80
1.4.6. Synthèse des filtres échantillonnés	82
1.4.6.1. Propriétés de la transmittance des filtres échantillonnés	82
1.4.6.2. Approximations de passage de la variable $j\omega$ à la variable z	83
1.4.6.3. Types de filtres échantillonnés	90
1.4.6.4. Synthèse des filtres IIR	92
1.4.6.5. Synthèse des filtres FIR	93
1.4.7. Filtrage et traitements numériques	96
1.4.7.1. Traitements des échantillons en flux continu, dits « en temps réel » ou « en streaming »	97
1.4.7.2. Traitements nécessitant le stockage de résultats intermédiaires	104

1.5. Représentation d'état à temps discret	104
1.6. Exercices	108
1.6.1. Filtre passe-haut passif du 1 ^{er} ordre, à capacités commutées.	108
1.6.2. Opérateur élémentaire de filtrage (IIR) à capacités commutées et amplificateur opérationnel parfait.	112
1.6.3. Opérateur retard avec correction de décalage et filtrage FIR	118
1.6.4. Boucles à verrouillage de phase (PLL, <i>Phase Locked Loops</i>)	121
1.6.5. Modèles échantillonnés de la boucle à verrouillage de phase	127
1.6.6. Systèmes à temps discret en représentation d'état	131

Chapitre 2. Systèmes à niveaux quantifiés :

conversions numérique-analogique et analogique-numérique 141

2.1. Bruit de quantification	141
2.2. Caractéristiques des convertisseurs	144
2.2.1. Dynamique et résolution.	144
2.2.2. Erreurs statiques.	144
2.2.3. Fonctionnement dynamique.	146
2.3. Conversions numérique-analogique (CNA).	147
2.3.1. Systèmes à pondération des courants ou tensions de dynamique 2^n en numération binaire.	147
2.3.2. Résistance itérative d'un réseau de diviseurs de tension et de courant	148
2.3.3. Échelles R-2R	148
2.3.4. Convertisseurs capacitifs à redistribution de charge.	151
2.3.4.1. Principes de conversion N-A série.	151
2.3.4.2. Principes de conversion N-A parallèle	154
2.3.4.3. Principes de conversion N-A mixte	156
2.4. Conversions analogique-numérique (CAN).	158
2.4.1. Convertisseur à 2^n comparateurs ou convertisseur flash	158
2.4.2. Convertisseurs à n approximations successives	159
2.4.2.1. Convertisseur utilisant un CNA à n bits dans la boucle de retour	160
2.4.2.2. Convertisseur algorithmique	161
2.4.3. Convertisseur mixte ou semi-flash	162
2.4.4. Convertisseurs à rampe	163
2.5. Conversions sigma-delta	165
2.5.1. CAN sigma-delta élémentaire à modulateur du 1 ^{er} ordre.	166
2.5.2. Modèle échantillonné du modulateur du 1 ^{er} ordre	169
2.5.3. Modulateurs d'ordre $l > 1$ et rapport signal sur bruit	170
2.5.4. Modulateurs stables d'ordre supérieur à 2 et circuiterie en technologie CMOS	175

2.5.5. Filtre décimateur	180
2.5.6. Conversion sigma-delta numérique-analogique	185
2.5.6.1. Conversion de résolution et de rythme numériques	185
2.5.6.2. Convertisseur sigma-delta numérique-analogique	188
2.6. Exercices	189
2.6.1. Convertisseur numérique-analogique à réseau R-2R et sources de courant	189
2.6.2. Convertisseurs numérique-analogique de type série à redistribution de charge	191
2.6.3. Convertisseur numérique-analogique de type parallèle à redistribution de charge et à capacité réduite	198
2.6.4. Convertisseur analogique-numérique delta-sigma élémentaire . .	200
2.6.5. Modulateur MASH du 3 ^e ordre	202
2.6.6. Filtre numérique du 3 ^e ordre d'un CNA sigma-delta multibits . .	204
Bibliographie	213
Index	215
Sommaire de <i>Électronique fondamentale 1</i>	219
Sommaire de <i>Électronique fondamentale 2</i>	221