

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Introduction</b> . . . . .	3
<b>Chapitre 1. Systèmes à temps continu : propriétés générales, rétroaction, stabilité et oscillateurs</b> . . . . .	7
1.1. Représentations des signaux à temps continu . . . . .	8
1.1.1. Signaux sinusoïdaux . . . . .	8
1.1.2. Signaux périodiques . . . . .	10
1.1.2.1. Séries de Fourier et calcul des coefficients. . . . .	10
1.1.2.2. Puissance d'un signal périodique . . . . .	11
1.1.3. Signaux réels non périodiques et transformation de Fourier (TF). . . . .	11
1.2. Représentations des systèmes et circuits linéaires et stationnaires à constantes localisées . . . . .	15
1.2.1. Représentation par une équation différentielle à coefficients constants . . . . .	15
1.2.2. Régime permanent périodique et régime harmonique. . . . .	16
1.2.3. Transformée de Laplace unilatérale des systèmes causals et étude des différents régimes . . . . .	18
1.2.3.1. Propriétés des transformées. . . . .	18
1.2.3.2. Application de la transformation de Laplace à l'équation différentielle du système . . . . .	20
1.2.3.3. Propriétés des transmittances élémentaires en régime harmonique . . . . .	22

1.2.3.4. Réponses transitoires à une excitation de type causal ( $x(t) = 0$ pour $t < 0$ ). . . . .	27
1.2.3.5. Carte des pôles dans le plan complexe et interprétation . . .	29
1.3. Rétroaction négative . . . . .	30
1.3.1. Inversion d'une fonction de transfert . . . . .	31
1.3.2. Linéarisation d'un système pourvu de non-linéarités . . . . .	32
1.3.3. Constance du produit gain-bande passante pour les systèmes passe-bas du 1 <sup>er</sup> ordre . . . . .	33
1.3.4. Rétroactions négative et positive simultanées . . . . .	34
1.4. Étude de la stabilité des systèmes. . . . .	36
1.4.1. Réponse temporelle : cartographie des pôles . . . . .	36
1.4.2. Critère de Nyquist dans le cas général. . . . .	38
1.4.3. Stabilité des systèmes bouclés supposés stables en boucle ouverte : critères de Nyquist et de Bode . . . . .	41
1.4.4. Stabilité des réseaux d'ordre quelconque, linéaires ou non, analysée à partir des variables d'état . . . . .	43
1.5. Représentation d'état . . . . .	45
1.6. Oscillateurs et systèmes instables. . . . .	47
1.6.1. Oscillateurs sinusoïdaux . . . . .	47
1.6.1.1. Les diverses approches de la condition d'oscillation . . . . .	47
1.6.1.2. Autres montages avec amplificateur à gain négatif. . . . .	48
1.6.1.3. Autres oscillateurs avec amplificateur à transistor (ou porte logique inverseuse). . . . .	50
1.6.1.4. Régulation de l'amplitude d'oscillation. . . . .	51
1.6.1.5. Contrôle de la fréquence d'oscillation par tension (VCO). . .	52
1.6.1.6. Stabilité de la fréquence d'oscillation. . . . .	53
1.6.2. Oscillateurs à relaxation utilisant un dipôle non linéaire et autres oscillateurs à circuit résonnant . . . . .	53
1.6.3. Cas général des systèmes comportant un dipôle non linéaire et étude de l'oscillation dans l'espace des phases . . . . .	56
1.6.3.1. Systèmes du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>e</sup> ordre . . . . .	57
1.6.3.2. Systèmes non linéaires d'ordre supérieur à deux . . . . .	59
1.7. Exercices . . . . .	69
1.7.1. Réponse et stabilité d'un amplificateur opérationnel non compensé jusqu'au gain unité et chargé par un condensateur . . . .	69
1.7.2. Filtres actifs à amplificateur opérationnel. . . . .	71
1.7.3. Étude d'un système bouclé et de sa stabilité : échantillonneur-bloqueur . . . . .	75
1.7.4. Étude d'un oscillateur sinusoïdal à transistor de type Colpitts. . .	81
1.7.5. Étude d'un système par représentation d'état. . . . .	82

<b>Chapitre 2. Systèmes linéaires à temps continu : quadripôles, filtrage et synthèse des filtres . . . . .</b>	<b>87</b>
2.1. Quadripôles . . . . .	87
2.1.1. Quadripôles déduits des schémas dynamiques . . . . .	88
2.1.2. Quadripôles et matrices de transfert . . . . .	90
2.1.3. Modification des paramètres des quadripôles par rétroaction négative . . . . .	91
2.1.4. Quadripôles passifs . . . . .	93
2.1.5. Impédances et admittances dipolaires, impédance itérative . . . . .	94
2.1.5.1. Impédances ou admittances sur un accès, l'autre accès étant connecté à une impédance de terminaison. . . . .	94
2.1.5.2. Impédance itérative ou impédance caractéristique . . . . .	96
2.1.5.3. Quadripôles passifs non dissipatifs : synthèse des impédances et admittances diagonales . . . . .	97
2.1.6. Matrice de répartition ou matrice des paramètres- $s$ et matrice de chaîne . . . . .	103
2.1.6.1. Cas général : ondes incidentes et réfléchies . . . . .	103
2.1.6.2. Cas de l'impédance de terminaison égale à la résistance de normalisation $R$ et adaptation en puissance. . . . .	107
2.1.6.3. Quadripôles en cascade et matrice de chaîne . . . . .	108
2.1.7. Puissances dans les quadripôles et adaptation . . . . .	109
2.1.7.1. Adaptation entre une source et une charge : rendement . . . . .	109
2.1.7.2. Insertion d'un quadripôle actif ou passif : impédances normalisées et signification du paramètre $s_{21}$ . . . . .	111
2.1.7.3. Gains, impédances dipolaires et stabilité d'un quadripôle inséré entre un générateur et une charge quelconques à partir des paramètres- $s$ . . . . .	115
2.1.8. Impédances-images et adaptation-image . . . . .	119
2.1.9. Représentation des quadripôles par des schémas fonctionnels . . . . .	124
2.2. Filtrage analogique . . . . .	127
2.2.1. Définition et réponse impulsionnelle d'un filtre . . . . .	127
2.2.2. Propriétés des filtres (causals et stables) . . . . .	132
2.2.2.1. Symétrie hermitique et symétrie hurwitzienne des transmittances . . . . .	132
2.2.2.2. Causalité et relations de Bayard-Bode . . . . .	132
2.2.2.3. Fonctions de transfert rationnelles stables . . . . .	135
2.2.2.4. Retard ou temps de propagation de groupe. . . . .	136
2.2.2.5. Types de filtre à déphasage minimal et gabarit . . . . .	137
2.2.2.6. Critères d'approximation de la transmittance d'un filtre passe-bas . . . . .	140
2.2.2.7. Approximation d'une transmittance quelconque : approximation de Padé et autres approximations . . . . .	145

2.3. Synthèse des filtres actifs analogiques à amplificateur opérationnel . . . .	146
2.3.1. Filtres à cellules du 2 <sup>e</sup> ordre en cascade . . . . .	146
2.3.2. Cellule à boucle de rétroaction multiple. . . . .	148
2.4. Méthodes de synthèse des filtres passifs non dissipatifs . . . . .	149
2.4.1. Synthèse à partir des paramètres effectifs. . . . .	150
2.4.1.1. Condition de dissipation nulle dans le quadripôle (relation d'unitarité) . . . . .	150
2.4.1.2. Filtres elliptiques . . . . .	155
2.4.1.3. Élaboration du circuit de filtrage et dénormalisation . . . . .	158
2.4.2. Synthèse à partir des paramètres-images . . . . .	165
2.4.2.1. Cellules élémentaires passe-bas et passe-haut . . . . .	165
2.4.2.2. Synthèse du filtre et dénormalisation . . . . .	169
2.4.2.3. Cellules élémentaires passe-bande. . . . .	178
2.4.2.4. Cellules complémentaires passe-bas et passe-haut adaptées aux cellules passe-bande . . . . .	185
2.4.2.5. Synthèse des filtres passe-bande . . . . .	188
2.4.2.6. Passe-bande à quartz ou résonateur céramique et filtres en treillis . . . . .	190
2.4.2.7. Filtre passe-tout en structure treillis ou T-ponté. . . . .	192
2.4.3. Sensibilité des filtres et argument d'Orchard. . . . .	194
2.5. Exercices . . . . .	195
2.5.1 Adaptation d'impédance à l'aide de quadripôles passifs : application au cas d'un amplificateur RF de puissance <i>push-pull</i> classe B à transistors MOS . . . . .	195
2.5.2. Filtrage passif passe-bas d'une source idéale de tension par quadripôle en échelle LC (filtre en échelle simplement terminé) . . .	202
2.5.3. Filtre passif doublement terminé, synthétisé par la méthode des impédances-images . . . . .	209
2.5.4. Filtre en treillis . . . . .	212
<b>Annexe. Notions de distribution et propriétés opératoires. . . . .</b>	<b>221</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>231</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>233</b>
<b>Sommaire de <i>Électronique fondamentale 1</i> . . . . .</b>	<b>237</b>
<b>Sommaire de <i>Électronique fondamentale 3</i> . . . . .</b>	<b>239</b>