

Jon B. Hagen

COMPRENDRE ET UTILISER L'ÉLECTRONIQUE DES HAUTES-FRÉQUENCES

DE LA GALÈNE À LA RADIOASTRONOMIE
PRINCIPES ET APPLICATIONS



PUBLITRONIC/ELEKTOR

Sommaire

1 Introduction

Circuits hautes fréquences	2
Faible largeur de bande des signaux HF	3
Analyse des circuits alternatifs – rappel	3
Impédance et admittance	4
Résonance série	4
Résonance parallèle	4
Circuits non linéaires	5
Problèmes	5

2 Adaptation d'impédance 1

Adaptation par transformateur	8
Réseau en L	9
Méthode rapide pour concevoir un réseau en L	10
Les réseaux en Π et en T améliorent le facteur Q	12
Le réseau en double L abaisse le facteur Q	13
Circuits série et parallèle équivalents	13
Éléments réactifs à pertes et rendement des réseaux d'adaptation	14
Résumé sur le facteur Q	14
Problèmes	15

3 Amplificateurs linéaires

Amplificateur à une seule maille	16
Montage émetteur-suiveur	17
Amplificateurs à émetteur commun et à base commune	17
Un transistor, deux alimentations	18
Deux transistors, deux alimentations	19
Amplificateurs de courant alternatif	21
Amplificateurs basses fréquences	21
Amplificateurs hautes fréquences	23
Note sur l'adaptation d'un amplificateur de puissance à sa charge	24
Problèmes	25

4 Filtres 1

Filtres passe-bas normalisés	28
Exemple de filtre passe-bas	29
Évolution vers le filtre passe-bande	32
Bibliographie	33
Annexe 4.1	35
Problèmes	38

5 Convertisseurs de fréquence

Emploi d'un multiplicateur parfait comme changeur de fréquence	41
Changeurs de fréquence à commutation	43
Dispositif changeur de fréquence non linéaire	45
Mélangeur à diode	45
Problèmes	47

6 Récepteur radio

Caractéristiques essentielles	48
Amplification	48
Poste à galène	49
Récepteur à amplification directe	49
Récepteur superhétérodyne	50
Réjection de la fréquence-image	51
Comment résoudre le problème de la fréquence-image ?	51
Récepteur superhétérodyne à double changement de fréquence	52
Commande automatique de gain	53
Réducteur de bruit	53
Traitement numérique du signal dans un récepteur	53
Bibliographie	54
Problèmes	54

7 Amplificateurs en classe C et en classe D

Amplificateurs en classe C 55
 Analyse simplifiée du fonctionnement en classe C 56
 Analyse générale d'un fonctionnement en classe C avec un tube ou un transistor réel 58
 Remarques sur l'attaque 58
 Circuits alimentés en série et en parallèle 58
 Utilisation d'un amplificateur en classe C comme multiplicateur de tension 60
 Amplificateur de puissance en classe C 60
 Amplificateur en classe C modifié pour un meilleur rendement 60
 Amplificateur en classe D 61
 Amplificateur en classe D résonnant en série 61
 Amplificateur en classe D résonnant en parallèle 62
 Classe C ou classe D ? 63
 Bibliographie 63
 Problèmes 63

8 Lignes de transmission

Notions fondamentales 65
 Détermination de l'impédance caractéristique et de la vitesse de propagation 66
 Modification d'une impédance par une ligne de transmission 67
 Problèmes 69

9 Adaptation d'impédance 2

Impédances spécifiées par leur coefficient de réflexion 71
 Problèmes 77

10 Alimentations

Redresseur à deux alternances 79
 Autorégulation d'une alimentation à bobine en tête 80
 Ondulation 81
 Redresseur à une alternance 81
 Alimentation régulée électroniquement 82

Redresseur triphasé 83
 Problèmes 84

11 Modulation d'amplitude

Analyse de l'AM dans le domaine temporel 86
 Analyse de l'AM dans le domaine fréquentiel 87
 Modulation à haut niveau 89
 Modulateur en classe A 90
 Modulateur en classe B 90
 Modulateur en classe S 91
 Modulateur numérique/analogique 92
 Ce qui se fait actuellement 92
 Problèmes 93

12 Modulation à porteuse supprimée

Bande latérale unique 96
 Détecteur-produit 96
 Autres avantages de la BLU 97
 Création d'un signal BLU 97
 Méthode de filtrage 97
 Méthode de mise en phase 98
 Méthode de Weaver 99
 BLU avec amplificateurs en classe C ou en classe D 100
 Bibliographie 100
 Problèmes 100

13 Oscillateurs

Oscillateurs à relaxation 102
 Oscillateurs électroniques sinusoïdaux 103
 Oscillateur involontaire 106
 Oscillateur résonnant en série 107
 Oscillateurs à résistance négative 108
 Dynamique de l'oscillateur 109
 Stabilité 109
 Exemple de conception – l'oscillateur Colpitts 110
 Exemple numérique 111
 Problèmes 113

14 Boucles à phase asservie

Réglage de la phase par la commande de la fréquence	114
Analogie mécanique d'une PLL	115
Dynamique de la boucle	117
Filtre de boucle	118
Analyse linéaire d'une PLL	118
Réponse en fréquence d'une boucle de type I	119
Réponse en fréquence d'une boucle de type II	119
Réponse en régime transitoire	120
Utilisation d'un multiplicateur en détecteur de phase	121
Plage de fonctionnement et stabilité	122
Temps de verrouillage	122
Récepteur à PLL	123
Bibliographie	123
Problèmes	124

15 Synthétiseurs de fréquences

Synthèse directe	125
Synthèse directe par mélange et division	126
Synthèse indirecte	126
Synthèse directe numérique	127
Spectre de bruit du DDS	128
Vitesse de commutation et continuité de phase	130
Bruit de phase dû aux multiplicateurs et aux diviseurs	130
Bibliographie	131
Problèmes	131

16 Convertisseurs à découpage

Analyse d'un convertisseur élémentaire	133
Convertisseur buck	133
Mode continu	133
Mode discontinu	134
Convertisseur buck/boost	135
Mode continu	135
Mode discontinu	136
Convertisseur boost	137

Mode continu	137
Mode discontinu	137
Autres convertisseurs	138
Convertisseur à liaison par transformateur	138
Circuit de sortie de lignes dans les terminaux à tube à rayons cathodiques et dans les récepteurs de télévision	139
Bibliographie	142
Problèmes	142

17 Wattmètres directifs et ondes stationnaires

Wattmètre directif en ligne	144
Pont d'impédance résistif	146
Ondes stationnaires	147
Effets des ondes stationnaires sur la ligne de transmission d'une antenne	147
Problèmes	148

18 Amplificateurs HF de petits signaux

Réseau linéaire à deux accès (quadripôle)	149
Caractéristiques d'un amplificateur – gain, largeur de bande et impédances	150
Stabilité de l'amplificateur	150
Caractéristiques de surcharge	151
Intermodulation	151
Dynamique	153
Amplificateurs à bande étroite	153
Amplificateurs à large bande	153
Schéma équivalent d'un transistor	154
Conception d'un amplificateur	155
Amplificateurs BF simples	155
Amplificateur à base commune	156
Bibliographie	157
Problèmes	157

19 Filtres 2 – Filtres à couplage par résonateur

Inverseurs d'impédance	158
Exemple d'application – filtre passe-bande ayant une largeur de bande fractionnaire de 1%	162

Conséquences liées au fait que le facteur Q est fini	165	Analogie mécanique d'un transformateur parfaitement couplé.	190
Procédures d'accord	166	Cas du transformateur imparfaitement couplé ...	191
Autres filtres	166	Transformateur à accord décalé	192
<i>Bibliographie</i>	166	Transformateurs classiques avec noyaux magnétiques	193
<i>Problèmes</i>	166	Courants de Foucault et noyaux feuilletés ...	193
		Conception des transformateurs à noyau de fer	194
20 Coupleurs hybrides		Température maximale et taille du transformateur	196
Couplage directif	168	Transformateurs à ligne de transmission	197
Hybride à transformateur	169	Symétriseurs d'antenne	198
Applications d'un hybride à transformateur ..	170	<i>Bibliographie</i>	202
Hybrides en quadrature	170	<i>Problèmes</i>	202
Amplificateur symétrique	172		
Combinateur de puissance	174	23 Circuits à guides d'ondes	
Autres hybrides	174	Guides d'ondes	203
Diviseur de puissance (ou combinateur) de Wilkinson	174	Explication simple de la propagation dans un guide d'ondes	203
Hybride en anneau	175	Propagation du mode fondamental dans un guide d'ondes rectangulaire	204
Hybrides en échelle	175	Longueur d'onde dans le guide d'ondes	205
Hybrides à composants discrets	176	Forme du champ magnétique	205
Coupleurs directifs généraux	177	Courants dans les parois	206
<i>Bibliographie</i>	178	Comparatif guide d'ondes contre câble coaxial pour une transmission d'énergie à faibles pertes ...	207
<i>Problèmes</i>	178	Impédance d'un guide d'ondes	207
		Adaptation de circuits à guides d'ondes	208
21 Bruit de l'amplificateur 1		Jonctions de guides d'ondes à trois accès	209
Bruit thermique	181	Jonctions de guides d'ondes à quatre accès	210
Facteur de bruit	182	Annexe 1 : guide d'ondes à pertes minimales contre ligne coaxiale à pertes minimales	210
Amplificateurs montés en cascade	183	Annexe 2 : dimensions d'une ligne coaxiale ...	213
Autres paramètres du bruit	184	Pertes minimales	213
Mesure du facteur de bruit	185	Puissance maximale	213
<i>Problèmes</i>	185	Tension maximale	213
		Qualités relatives d'une ligne coaxiale de 50Ω	213
22 Transformateurs et symétriseurs d'antenne		<i>Bibliographie</i>	214
Courants dans le transformateur et transformateur idéal	187	<i>Problèmes</i>	214
Schéma équivalent en BF d'un transformateur parfaitement couplé et sans perte	188		
Fonctionnement d'un transformateur parfaitement couplé et sans perte	189		

24 Procédés de télévision

Analyse d'une image	215
Système de Nipkow	215
Norme de télévision NTSC	216
Signal vidéo	216
Synchronisation des lignes	217
Synchronisation des trames	218
Modulation	219
Son	220
Autres normes de télévision	221
Télévision en couleur	221
Trois couleurs dans un canal	221
Compatibilité	222
Filtres en peigne	224
Procédé PAL	225
Procédé SECAM	227
Émetteurs de télévision	228
Récepteurs de télévision	228
Récepteurs de télévision en couleur	229
Télévision numérique	234
Procédé ATSC	235
Compression vidéo	235
Couleur, son et paquets	236
Bibliographie	237
Problèmes	237

25 Modulateurs d'impulsions radar

Modulateurs à ligne	239
Bibliographie	243
Problèmes	243

26 Commutation TR

Techniques des radars à auto-duplexage	244
Composants et circuits de commutation TR	245
Commuteurs TR à ligne	246
Duplexeurs équilibrés	246
Commuteurs à diodes	247
Utilisation des diodes en commutation HF	248
Bibliographie	249
Problèmes	249

27 Démodulateurs et détecteurs

Détecteur à diode	251
Analyse du fonctionnement en supposant que le redresseur est parfait	252
Analyse du fonctionnement avec une diode réelle	252
Détecteur à diode à liaison en courant alternatif	254
Détection de la bande latérale unique (BLU) et du code Morse	254
Détecteur de produit pour l'AM	255
Détecteur AM synchrone	255
Démodulateurs FM	256
Démodulateur FM à PLL	256
Détecteur FM tachymétrique	256
Détecteur FM à ligne à retard	257
Démodulateur FM de la composante en quadrature	257
Détecteur de pente	258
Discriminateur de Foster-Seeley	259
Détecteurs de puissance	261
Bibliographie	262
Problèmes	263

28 Modulation de fréquence et modulation de phase

Bases de la modulation angulaire	264
Spectre de fréquences en FM	265
FM ou PM à bande étroite	265
Largeur spectrale de la FM à large bande	266
Multiplication de fréquence d'un signal FM	266
Bruit	266
Comment améliorer le rapport S/B en FM	267
Rapport S/B en sortie d'un signal AM ayant une porteuse de même puissance	268
Étude comparative du bruit FM/AM en présence de signaux forts	268
Préaccentuation et désaccentuation	269
FM, AM et capacité de transmission	269
Bibliographie	271
Problèmes	271

29 Antennes et propagation des ondes radioélectriques

Antennes	272
Ondes électromagnétiques	272
Propagation dans le vide	273
Directivité et gain d'une antenne	273
Aire d'interception équivalente d'une antenne	274
Liaison radio avec un astronef	275
Liaisons radio terrestres	276
Ionosphère	277
Propagation dans l'ionosphère	277
Réflexion des ondes sur l'ionosphère	278
Propagation diurne et nocturne	278
Autres modes de propagation	279
<i>Bibliographie</i>	279
<i>Problèmes</i>	279

30 Bruit de l'amplificateur 2

Adaptation de bruit	281
Schémas équivalents de quadripôles bruités	282
Facteur de bruit d'un schéma équivalent	282
Circuits en parallèle	284
Mesure de bruit	285
<i>Bibliographie</i>	286
<i>Problèmes</i>	286

31 Bruit de l'oscillateur

Spectre de puissance d'un oscillateur linéaire	289
Décroissance du bruit latéral	290
Bruit de phase	291
Effet de la non linéarité	292
<i>Bibliographie</i>	292
<i>Problèmes</i>	292

32 Radioastronomie et radar astronomie

Découverte du bruit cosmique	294
Radiométrie	295
Spectrométrie	296
Interférométrie	296

Interférométrie d'imagerie	297
Radar astronomie	298
Lune	298
Vénus	299
Cartographie à retard Doppler (ou <i>delay-Doppler</i>)	300
<i>Overspreading</i>	301
<i>Bibliographie</i>	301
<i>Problèmes</i>	302

33 Radiospectrométrie

Filtres et batteries de filtres	303
Spectrométrie à autocorrélation	304
Autocorrélateurs matériels	305
Autocorrélation à 1 bit	305
Spectrométrie à transformation de Fourier	307
Spectromètre acousto-optique	308
Spectrométrie à compression	309
Compression d'impulsions radar	310
<i>Bibliographie</i>	311
<i>Problèmes</i>	311

34 Appareils de contrôle de laboratoire

Mesures de la puissance	313
Mesures de la tension	313
Mesures de l'impédance	314
Mesures d'impédance avec balayage de fréquence	316
<i>Problèmes</i>	319

Index

321