

Table des matières

Chapitre 1. Amplification en régime linéaire	17
Jean-Luc GAUTIER et Sébastien QUINTANEL	
1.1. Principes de l'amplification en hyperfréquences	17
1.1.1. Caractéristiques d'un amplificateur en régime linéaire	18
1.1.2. Rappels sur les quadripôles actifs en régime linéaire	21
1.1.2.1. Impédances vues aux accès	22
1.1.2.2. Gain en puissance composite	22
1.1.2.3. Conditions de stabilité	22
1.1.2.4. Transfert maximum de puissance. Gain maximum	23
1.1.2.5. Cercles à gain constant	24
1.1.2.6. Facteur de bruit	25
1.1.2.7. Cercles à facteur de bruit constant	26
1.1.2.8. Association cascade de quadripôles. Formule de Friis	27
1.1.3. Structure élémentaire d'un amplificateur	28
1.1.4. Quadripôles d'adaptation d'impédance réciproque et sans pertes	29
1.1.5. Méthodologie de conception	30
1.2. Amplificateur bande étroite à gain maximum	31
1.2.1. Test du transistor	31
1.2.2. Circuits de stabilisation	32
1.2.2.1. Stabilisation résistive	33
1.2.2.2. Stabilisation réactive	34
1.2.3. Circuits de polarisation	36
1.2.3.1. Utilisation de circuits spécifiques	37
1.2.3.2. Utilisation des circuits d'adaptation d'impédance	39
1.2.4. Circuits de polarisation et stabilité	41
1.2.5. Circuits d'adaptation d'impédance	43

1.2.5.1. Amplificateur à un étage. Adaptation en entrée et en sortie	43
1.2.5.2. Circuits à constantes localisées.	44
1.2.5.3. Circuits à constantes réparties	46
1.2.5.4. Circuits mixtes localisés-répartis	47
1.2.6. Amplificateur à plusieurs étages. Adaptation interétage	48
1.2.7. Exemple de conception	49
1.3. Amplificateur faible bruit bande étroite	50
1.3.1. Rappel sur les caractéristiques en bruit d'un transistor	50
1.3.2. Amplificateur à facteur de bruit minimum	52
1.3.3. Compromis facteur de bruit-gain-adaptation	54
1.3.4. Amplificateur multi-étages et facteur de bruit	57
1.3.5. Amplificateur faible bruit équilibré	59
1.4. Configurations spécifiques à transistors	62
1.4.1. Configurations grille commune et drain commun	63
1.4.1.1. Configuration source commune	63
1.4.1.2. Configuration grille commune	64
1.4.1.3. Configuration drain commun.	66
1.4.2. Configurations cascade et cascode	67
1.4.2.1. Configuration cascade	68
1.4.2.2. Configuration cascode.	70
1.5. Amplification large bande	72
1.5.1. Adaptation réactive large bande	73
1.5.1.1. Relations de Bode-Fano.	73
1.5.1.2. Synthèse des quadripôles réactifs d'adaptation large bande	75
1.5.2. Désadaptation sélective	83
1.5.2.1. Amplificateur équilibré	85
1.5.2.2. Amplificateur multi-étages	86
1.5.3. Adaptation résistive.	87
1.5.3.1. Adaptation dissipative	88
1.5.3.2. Amplificateur à adaptation dissipative	92
1.5.4. Amplificateur à contre-réaction.	94
1.5.4.1. Amplificateur de type passe-bas	95
1.5.4.2. Amplificateur de type passe-bande	99
1.5.5. Amplificateur à adaptation active	103
1.5.6. Amplificateur distribué.	104
1.5.6.1. Principe de l'amplificateur distribué	104
1.5.6.2. Etude des lignes de grille et de drain	106
1.5.6.3. Fonctionnement de l'amplificateur	109

1.6. Amplificateur différentiel	112
1.6.1. Octopôle possédant un plan de symétrie	112
1.6.2. Amplificateur différentiel	114
1.7. Bibliographie	120
Chapitre 2. Amplification de puissance.	123
Jean-Luc GAUTIER, Myriam ARIAUDO et Cédric DUPERRIER	
2.1. Caractéristiques des amplificateurs de puissance.	123
2.1.1. Gain, puissances de sortie et rendements	124
2.1.2. Compression de gain	126
2.1.3. Conversion AM/AM et AM/PM	128
2.1.4. Intermodulation d'ordre 3	130
2.1.5. ACPR et NPR	134
2.1.5.1. ACPR (<i>Adjacent Chanel Power Ratio</i>)	136
2.1.5.2. NPR (<i>Noise Power Ratio</i>)	138
2.2. Analyse du fonctionnement d'un amplificateur de puissance	139
2.2.1. Principe de fonctionnement	139
2.2.2. Cycle de charge	142
2.2.3. Conditions de puissance optimum	144
2.2.4. Adaptations faible signal et fort signal	146
2.2.4.1. Adaptation faible signal	148
2.2.4.2. Adaptation fort signal	148
2.2.5. Détermination des conditions optimales de charge	149
2.2.5.1. Optimisation du cycle de charge	150
2.2.5.2. <i>Load-pull</i> simulé et mesuré	152
2.2.5.3. Générateurs de substitution	155
2.3. Classes de fonctionnement.	157
2.3.1. Classes sinusoïdales	158
2.3.1.1. Classe A	163
2.3.1.2. Classe AB	165
2.3.1.3. Classe B	166
2.3.1.4. Classe C	168
2.3.2. Classes à haut rendement F et F inverse.	169
2.3.3. Classes en commutation D et E.	173
2.4. Architectures des amplificateurs de puissance	176
2.4.1. Structure en cascade	176
2.4.2. Combinaison de puissance.	178
2.4.3. Structure arborescente	179
2.5. Exemple de conception d'un amplificateur en classe B	181
2.6. Linéarisation et amélioration du rendement.	185

2.6.1. Amplification de puissance et signaux à enveloppe non constante	
2.6.1.1. Caractéristiques des signaux à enveloppe non constante.	185
2.6.1.2. Amplification des signaux à enveloppe non constante.	186
2.6.2. Techniques de linéarisation et d'amélioration du rendement	187
2.6.2.1. Linéarisation	189
2.6.2.2. Amélioration du rendement.	189
2.7. Bibliographie.	191
	194

Chapitre 3. Transposition de fréquence 197
 Jean-Luc GAUTIER

3.1. Principe de fonctionnement	197
3.1.1. Mélangeurs en émission et en réception.	198
3.1.1.1. Mélangeur en réception. Fréquence image.	198
3.1.1.2. Mélangeur en émission	200
3.1.2. Utilisation d'un élément non linéaire	201
3.1.3. Fonctionnement paramétrique, signal de pompe.	203
3.1.4. Matrice de conversion	205
3.2. Caractéristiques des mélangeurs	207
3.2.1. Gain de conversion	207
3.2.2. Compression de gain et intermodulation	208
3.2.2.1. Compression de gain.	208
3.2.2.2. Intermodulation d'ordre 3.	212
3.2.3. Isolation entre accès	213
3.2.4. Facteur de bruit	215
3.2.4.1. Facteur de bruit simple bande SSB (bande latérale unique)	215
3.2.4.2. Facteur de bruit double bande DSB (double bande latérale)	218
3.3. Fonctionnement d'un mélangeur simple.	219
3.3.1. Fréquences parasites	221
3.3.2. Problématique du filtrage	223
3.4. Topologies équilibrées	223
3.4.1. Mélangeurs simplement équilibrés.	226
3.4.2. Mélangeur doublement équilibré.	228
3.4.3. Mélangeur à réjection de fréquence image	232
3.4.4. Mélangeur à bande latérale unique.	233
3.5. Topologies de mélangeurs passifs et actifs	234
3.5.1. Mélangeurs passifs	234
3.5.1.1. Mélangeur simple à diode.	234

3.5.1.2. Mélangeur doublement équilibré à diodes	240
3.5.1.3. Mélangeur sous harmonique à diodes	241
3.5.1.4. Mélangeur simple à transistor froid	243
3.5.1.5. Mélangeur doublement équilibré à transistor froid	246
3.5.2. Mélangeurs actifs	248
3.5.2.1. Injection d'OL sur la grille	248
3.5.2.2. Injection d'OL sur le drain	249
3.5.2.3. Injection d'OL sur la source	250
3.5.2.4. Mélangeur à deux transistors	251
3.5.2.5. Structures actives équilibrées.	252
3.6. Multiplicateurs de fréquence.	253
3.7. Bibliographie	255
Chapitre 4. Oscillateurs	259
Jean-Luc GAUTIER	
4.1. Principes de fonctionnement.	259
4.1.1. Oscillateurs à réaction de type quadripôle	260
4.1.2. Oscillateurs à résistance négative de type dipôle	265
4.1.2.1. Formalisme impédance	266
4.1.2.2. Formalisme ondes de puissance	268
4.2. Analyse des oscillateurs de type dipôle	269
4.2.1. Oscillateur de Van Der Pol	269
4.2.1.1. Début du régime transitoire.	270
4.2.1.2. Régime permanent	273
4.2.1.3. Impédance dynamique en régime non linéaire.	274
4.2.1.4. Puissance délivrée par l'oscillateur	275
4.2.1.5. Conditions d'oscillation en régime permanent	276
4.2.1.6. Description graphique du fonctionnement	277
4.2.2. Analyse quasi statique d'un oscillateur de type dipôle	277
4.2.2.1. Conditions d'oscillation en régime permanent sinusoïdal	278
4.2.2.2. Puissance de sortie de l'oscillateur en régime sinusoïdal	280
4.2.2.3. Impédance de charge optimale	281
4.2.3. Stabilité des oscillations	283
4.2.3.1. Condition de stabilité des oscillations.	284
4.2.3.2. Conversion AM/FM	285
4.2.3.3. Exemples d'application du critère de stabilité	286
4.2.4. Synchronisation d'un oscillateur	286
4.2.5. Analyse du bruit d'un oscillateur	292

4.2.5.1. Origines du bruit dans un oscillateur	292
4.2.5.2. Détermination des spectres de bruit	295
4.3. Caractéristiques des oscillateurs.	295
4.3.1. Puissance de sortie et rendement	300
4.3.2. Fréquence d'oscillation et accordabilité.	300
4.3.3. Coefficient de surtension externe.	302
4.3.4. Pureté spectrale, distorsion harmonique.	302
4.3.5. Facteurs de <i>pulling</i> et de <i>pushing</i>	303
4.3.5.1. Facteur de <i>pulling</i>	303
4.3.5.2. Facteur de <i>pushing</i>	303
4.3.6. Stabilité de fréquence	304
4.3.7. Bruits de modulation d'amplitude et de phase	304
4.3.7.1. Bruit de modulation d'amplitude	304
4.3.7.2. Bruit de modulation de phase.	305
4.4. Impédance à partie réelle négative	306
4.4.1. Détermination analytique	308
4.4.2. Détermination graphique : <i>mapping</i>	310
4.4.2.1. Détermination de l'impédance de grille	310
4.4.2.2. Détermination de l'impédance de source.	312
4.4.3. Exemple de détermination d'impédance à partie réelle négative	314
4.4.3.1. Analyse linéaire.	314
4.4.3.2. Analyse non linéaire	316
4.5. Oscillateurs à fréquence fixe.	318
4.5.1. Oscillateur à résonateur à éléments localisés ou répartis	319
4.5.2. Oscillateur à résonateur diélectrique.	321
4.5.2.1. Résonateur diélectrique. Couplage avec une ligne microruban	321
4.5.2.2. Résonateur utilisé comme circuit de charge	325
4.5.2.3. Résonateur utilisé comme élément de contre-réaction	326
4.6. Oscillateurs accordables électroniquement	329
4.6.1. Limitations de la partie réelle négative	329
4.6.2. Oscillateurs accordés par diode varactor (VCO).	331
4.6.2.1. Caractéristiques d'une diode varactor.	331
4.6.2.2. Utilisation dans un oscillateur	332
4.6.3. Oscillateurs accordés par résonateur YIG.	336
4.6.3.1. Caractéristiques d'un résonateur YIG.	336
4.6.3.2. Couplage d'un résonateur YIG.	337
4.6.3.3. Utilisation dans un oscillateur accordable	338
4.7. Bibliographie	340

Chapitre 5. Fonctions de contrôle	343
Jean-Luc GAUTIER	
5.1. Composants semi-conducteurs pour les fonctions de contrôle	343
5.1.1. Diode varactor	343
5.1.2. Diode PIN	344
5.1.3. Transistor froid	345
5.2. Atténuateurs variables	347
5.2.1. Cellule de base	347
5.2.2. Cellules d'atténuation adaptées	348
5.3. Déphaseurs variables	351
5.3.1. Déphaseurs en réflexion	352
5.3.2. Déphaseurs en transmission	353
5.3.2.1. Lignes de transmission chargées	353
5.3.2.2. Cellules LC commutées	355
5.3.3. Déphaseurs à combinaison vectorielle	356
5.4. Commutateurs	357
5.4.1. Commutateur une entrée/une sortie (SPST)	357
5.4.1.1. Commutateur série	358
5.4.1.2. Commutateur parallèle	359
5.4.1.3. Commutateurs série-parallèle et parallèle-série	361
5.4.1.4. Commutateurs en T ϵ et en Pi	362
5.4.2. Commutateur une entrée/sorties multiples (SPnT)	364
5.5. Bibliographie	365
Annexe 1. Quadripôles sans pertes : désadaptation	367
Annexe 2. Amplificateur équilibré et bruit	369
Annexe 3. Configurations spécifiques à transistors	375
Annexe 4. Adaptation d'impédance large bande : quadripôles réactifs	383
Annexe 5. Adaptation d'impédance large bande : quadripôles dissipatifs	393

16 Conception des dispositifs actifs hyperfréquences

Annexe 6. Amplification large bande : contre-réaction résistive parallèle	401
Annexe 7. Méthode graphique	405
Annexe 8. Amplificateur distribué	413
Annexe 9. Amplificateur différentiel	423
Annexe 10. Intermodulation d'ordre 3	429
Index	433