



EGEM

électronique – génie électrique – microsystèmes

Dispositifs hyperfréquences actifs et passifs

*dispositifs passifs réciproques
et à ondes de surface*

*sous la direction de
Daniel Pasquet*

hermes

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	13
Chapitre 1. Dispositifs passifs réciproques.	15
Bernard HUYART	
1.1. Introduction	15
1.2. Analyse de réseaux et modes de propagation pair et impair	17
1.2.1. Analyse de réseaux	17
1.2.1.1. Les matrices de transferts	17
1.2.1.2. Analogie entre les lignes de propagation et les inductances et les capacités localisées	23
1.2.1.3. Propriétés de la matrice [S]	27
1.2.1.4. Relations entre la matrice [S] et les autres matrices de transfert	31
1.2.1.5. Propriétés des réseaux à 3 et 4 portes	35
1.2.2. Analyse par les modes de propagation pair et impair	45
1.2.2.1. Paramètre S_{11}	46
1.2.2.2. Expression des autres paramètres	48
1.3. Le diviseur de Wilkinson	49
1.3.1. Calcul de la matrice [S] par les modes pair et impair	50
1.3.1.1. Mode pair	51
1.3.1.2. Mode impair	52
1.3.1.3. Bilan	54
1.3.2. Détermination de S_{11}	54
1.3.3. Valeurs de Z_c, l, R	55
1.3.4. Variation des paramètres en fonction de la fréquence	56
1.3.4.1. S_{11}	57

1.3.4.2. S ₂₂ et S ₃₃	58
1.3.4.3. S ₂₃	58
1.3.4.4. Diviseur compensé.	59
1.3.5. Applications	60
1.4. Les coupleurs hybrides.	62
1.4.1. Le coupleur en anneau $4 \lambda/4$	63
1.4.1.1. Calcul des paramètres S _{ij}	64
1.4.1.2. Calcul des dimensions du circuit	68
1.4.1.3. Bande Passante	69
1.4.1.4. Applications.	71
1.4.2. L'anneau hybride $6 \lambda/4$	72
1.4.2.1. Calcul des paramètres S _{ij}	73
1.4.2.2. Bande passante	78
1.4.2.3. Applications.	81
1.5. Les coupleurs à ligne parallèles.	83
1.5.1. Théorie des lignes parallèles.	84
1.5.1.1. Analyse par les modes de propagation pair et impair	85
1.5.1.2. Calcul des dimensions transversales des lignes couplées	88
1.5.2. Calcul des paramètres S _{ij} de deux lignes parallèles	90
1.5.2.1. Matrice [S] d'un tronçon de ligne	90
1.5.2.2. Matrice [S] des lignes parallèles en mode pair	92
1.5.2.3. Matrice [S] des lignes parallèles en mode impair	92
1.5.2.4. Matrice [S] des lignes parallèles	93
1.5.2.5. Matrice [Z] des lignes parallèles.	95
1.5.3. Application au coupleur directif	96
1.5.4. Bande passante du coupleur à lignes parallèles.	98
1.5.4.1. Expression du couplage et de la directivité en fonction de K, θ	98
1.5.4.2. Ondulation du couplage.	99
1.5.4.3. Lignes inhomogènes.	101
1.5.4.4. Coupleur large bande	101
1.5.5. Applications des lignes parallèles	106
1.5.5.1. Utilisation en octopôle	106
1.5.5.2. Utilisation en quadripôle	107
1.6. Les filtres hyperfréquences	115
1.6.1. Définitions	116
1.6.2. Théorie des filtres	117
1.6.2.1. Normalisation.	118
1.6.2.2. Approximation du gabarit par un polynôme	122
1.6.2.3. Schéma électrique du filtre prototype passe bas.	124
1.6.2.4. Dénormalisation	128
1.6.2.5. Application aux filtres passe bas en technologie micro ruban	132
1.6.3. La technologie micro-onde	134
1.6.3.1. Transformation de Richard	134
1.6.3.2. Identités de Kuroda	135

1.6.3.3. Application à la réalisation du filtre passe bas	136
1.6.3.4. Analogie des circuits résonnants par des lignes de courtes longueurs	139
1.6.3.5. Analogie des circuits résonnants par des lignes de longueur $\lambda/2$	141
1.6.3.6. Transformation par inversion d'impédance ou d'admittance . . .	143
1.6.3.7. Application à la conception d'un filtre passe bande à lignes parallèles	146
1.6.3.8. Application à la conception d'un filtre à cavités résonnantes . . .	150
1.6.3.9. Application à la conception d'un filtre passe bande à lignes couplées capacitivement	151
1.7. Conclusion	151
1.8. Bibliographie	152
Chapitre 2. Dispositifs à ondes élastiques de surface	153
Pierre HARTEMANN	
2.1. Introduction	153
2.2. Propriétés physiques fondamentales des ondes élastiques de surface . . .	154
2.2.1. Vitesses de propagation des ondes élastiques	155
2.2.2. Coefficient de couplage électromécanique	157
2.2.3. Pertes de propagation	161
2.2.4. Ondes élastiques de surface différentes des ondes de Rayleigh . . .	162
2.2.5. Exemples de caractéristiques de substrats piézoélectriques	163
2.3. Transducteurs à électrodes digitées	165
2.3.1. Principe de fonctionnement	165
2.3.2. Effets secondaires	167
2.3.2.1. L'émission d'ondes élastiques de volume	167
2.3.2.2. La diffraction des ondes de Rayleigh	168
2.3.2.3. La variation de la vitesse de propagation des ondes de Rayleigh	168
2.3.2.4. La réémission d'ondes de Rayleigh	169
2.3.2.5. Le couplage électromagnétique entre les transducteurs émetteur et récepteur	170
2.3.2.6. La non-uniformité du potentiel effectivement appliqué sur les doigts	170
2.3.3. Admittance de rayonnement	170
2.3.4. Echo à triple parcours	173
2.3.5. Transducteurs unidirectionnels	175
2.4. Résonateurs	179
2.5. Dispositifs	188
2.5.1. Principaux dispositifs peu ou plus fabriqués industriellement	189
2.5.1.1. Lignes à retard	189
2.5.1.2. Filtres adaptés à un signal	189

2.5.1.3. Filtres passe-bandes de type transversal	195
2.5.1.4. Convoluteurs	196
2.5.1.5. Oscillateurs	198
2.5.2. Dispositifs en production massive pour le grand public	203
2.5.2.1. Filtres pour téléviseurs et magnétoscopes	204
2.5.2.2. Filtres pour les télécommunications mobiles	207
2.6. Conclusion	223
2.7. Bibliographie	225

Chapitre 3. Les tubes 229

Georges FAILLON

3.1. Notions générales et applications.	229
3.2. Principes de base et définitions	231
3.3. Tubes à grilles	235
3.3.1. Principe de fonctionnement – Triode	235
3.3.2. Comportement en hautes fréquences	238
3.3.3. Tétrodes	239
3.3.4. Diacrodes	239
3.3.5. IOT (inductive output tube)	240
3.4. Klystrons	242
3.4.1. Généralités	242
3.4.2. Interaction dans un klystron : modulations et extraction de l'énergie HF	242
3.4.3. Courant $I_f(z, t)$ de modulation dans le premier glissement et action de la deuxième cavité	245
3.4.4. Courant induit dans la deuxième cavité	247
3.4.5. Beam Loading	248
3.4.6. Schéma équivalent d'une cavité	249
3.4.7. De la deuxième cavité à celle de sortie	249
3.4.8. Charge d'espace	250
3.4.9. Puissance de sortie	250
3.4.10. Caractéristiques de sortie	252
3.4.11. Technologies klystrons	252
3.4.12. Klystrons multifaisceaux (MBK)	254
3.5. Tubes à ondes progressives (TOP)	256
3.5.1. Généralités	256
3.5.2. Principe de fonctionnement	256
3.5.3. Diagramme de Brillouin $\omega - \beta$	259
3.5.4. Relation de propagation	261
3.5.5. Grands signaux	264
3.5.6. Tapers et atténuations.	266
3.5.7. Technologies des tubes à ondes progressives.	267
3.6. Magnétrons	269

3.6.1. Généralités	269
3.6.2. Circuit hyperfréquence	269
3.6.3. Interaction	270
3.7. Gyrotrons	274
3.8. Programmes d'interaction pour klystrons et TOP	278
3.8.1. Les équations du problème	278
3.8.2. Processus global de résolution	278
3.8.3. Discrétisation des équations de Maxwell	279
3.8.4. Éléments finis	279
3.8.5. Schémas équivalents	279
3.8.6. Discrétisation du faisceau	280
3.9. Technologies-clés	280
3.9.1. Canons à électrons	280
3.9.2. Focalisation des faisceaux d'électrons (cas surtout des klystrons et TOP)	282
3.9.3. Cathodes	285
3.9.4. Canons à grille(s)	287
3.9.5. Fenêtres	288
3.9.6. Collecteurs déprimés	290
3.9.7. Durée de vie	292
3.10. Conclusion	293
3.11. Bibliographie	295