

2-621-277-1/1

ALZ: E-15
T.A. 1/1

2-621-277-1/1

Collection
TECHNOLOGIES
de l'Université à l'Industrie



LES MICRO-ONDES

I - CIRCUITS. MICRORUBANS. FIBRES

R. BADOUAL
Professeur à l'Université Paris X
IUT de Ville d'Avray

MASSON
Paris New-York Barcelone Milan
Mexico Sao Paulo

1984

TABLE DES MATIÈRES

(Contents, see page 10)

| | |
|---|----|
| Introduction | 11 |
| 0.1. Les micro-ondes dans le spectre électromagnétique | 11 |
| Le spectre électromagnétique, 11. | |
| 0.2. Aperçu historique | 12 |
| 0.3. Propriétés caractéristiques des micro-ondes | 13 |
| 0.4. Attribution internationale des fréquences | 15 |

Première partie

PROPAGATION DES ONDES LIBRES OU GUIDÉES

| | |
|--|----|
| CHAPITRE 1. L'onde électromagnétique libre ou guidée par une ligne | 19 |
| 1.1. Propagation de l'énergie | 19 |
| Localisation de l'énergie dans l'espace, 19. Transport d'énergie par ligne idéalisée, 22. | |
| 1.2. L'onde électromagnétique T.E.M. | 24 |
| Déplacement d'un champ magnétique dans l'espace : création d'un champ électrique, 24. Déplacement d'un champ électrique dans l'espace : création d'un champ magnétique, 25. Notion de courant de déplacement, 26. Existence et constitution de l'onde électromagnétique, 27. Propriétés de l'onde électromagnétique T.E.M., 28. Quelques vérifications expérimentales directes, 29. | |
| 1.3. L'onde électromagnétique T.E.M. guidée par une ligne | 30 |
| Propagation le long des lignes, onde de tension, onde courant, impédance caractéristique, 30. Réflexion d'une onde à l'extrémité d'une ligne : facteur de réflexion, 32. Évolution de la tension aux extrémités d'une ligne, 34. Expressions mathématiques des ondes de tension et de courant, le long d'une ligne 39. Méthode graphique de Bergeron, 40. Utilisation du théorème de Thevenin pour l'étude des ondes sur les lignes sans pertes, 42. | |
| 1.4. Exercices sur le chapitre 1 | 45 |
| CHAPITRE 2. Les lignes de transmission en régime harmonique | 48 |
| 2.1. Étude générale des lignes en régime sinusoïdal | 48 |
| Les paramètres linéaires, 48. Équations des lignes, 50. Résolution dans le cas de pertes négligeables, 51. Solution générale de l'équation complète en régime harmonique, 53. Signification physique des constantes α et β . Mesures, 54. Propagation des ondes sinusoïdales non amorties, 55. Distribution de la tension et du courant le long de la ligne. Cas général. Ligne considérée comme quadripôle, 58. Impédance en chaque point d'une ligne, 62. Facteur de réflexion et impédance, 64. Rapport d'ondes stationnaires R.O.S. ou taux d'ondes stationnaires T.O.S. ou VSWR, 65. Ligne considérée comme circuit résonant, 66. Facteurs de réflexion et discontinuité de l'impédance caractéristique, 67. | |
| 2.2. Diagramme de Smith | 68 |
| Lemme. Construction du diagramme de Smith, 68 | |
| 2.3. Dispositifs simples d'adaptation d'impédances | 75 |
| Transformateur à tronçon de ligne sans pertes, 75. Comportement en fréquence de l'adaptateur $\lambda/4$, 76. Adaptation à large bande, 77. Adaptateurs à ligne de compensation (Stuvs), 78. | |

| | |
|--|-----|
| 2.4. <i>L'effet de peau en régime harmonique</i> | 80 |
| Étude générale de l'effet de peau, 80. Interprétation et conséquences pratiques, 83. Densité de courant et champ magnétique superficiels, 84. | |
| 2.5. <i>Facteur d'affaiblissement des lignes</i> | 85 |
| Méthode de détermination du facteur d'affaiblissement d'une ligne (ou d'un guide). Affaiblissement théorique de quelques lignes, 85. | |
| 2.6. <i>Analogie entre la propagation sur les lignes et la propagation de l'onde électromagnétique dans les diélectriques</i> | 86 |
| Vue générale, 86. Exemples d'application, 87 | |
| 2.7. <i>Divers types de lignes utilisées en micro-électronique des hyperfréquences</i> | 94 |
| La ligne triplaque ou ligne à ruban équilibré ou stripline. La ligne microruban ou microstrip, 95. La ligne à fente (slot line), 109. Lignes coplanaires, 110. Comparaison entre les lignes planaires. Éléments de technologie de réalisation des circuits à lignes planaires, 111. | |
| 2.8. <i>Exercices sur le chapitre 2</i> | 114 |
| Appendice | 119 |
| CHAPITRE 3. Les guides d'ondes | 120 |
| 3.1. <i>Notions de base d'optique électromagnétique</i> | 120 |
| Divers types d'ondes électromagnétiques, 120. Champ électrique et magnétique au voisinage d'un conducteur parfait, 122. Réflexion de l'onde plane sur un plan conducteur parfait, 123. | |
| 3.2. <i>Guidage d'onde, étude préliminaire</i> | 125 |
| Guidage d'une onde par deux plans parallèles, 125. Les guides rectangulaires, 128 | |
| 3.3. <i>Guides rectangulaires TE_{m0}: cas particulier TE_{10}</i> | 132 |
| Expression des champs, 132. Interprétation des résultats, 133. Cas particulier du mode TE_{10} ($m = 1$). Onde évanescence, 134. Puissance transportée par le guide rectangulaire TE_{10} . Atténuation de l'onde guidée par des plans parallèles en mode TE_{10} , 136. Atténuation du guide rectangulaire TE_{10} , 137. Ondes stationnaires dans le guide, 139. Mode dominant, 141. | |
| 3.4. <i>Étude générale des guides rectangulaires</i> | 141 |
| Onde TE, 142. Mode TM, 144. Considérations générales sur les résultats obtenus. Guides de formes particulières U ou M (Ridge wave guides), 147 | |
| 3.5. <i>Les guides circulaires</i> | 148 |
| Onde TE_{m0} , 148. Cas général Mode TE_{mn} , 152. Cas général Mode TM_{mn} . Mode dominant, 154 | |
| 3.6. <i>Appendice. Étude des ondes guidées par les équations de Maxwell</i> | 155 |
| Lois fondamentales de l'électromagnétisme. Équations de Maxwell, 155. Quelques applications des équations de Maxwell, 157. Étude générale des ondes guidées, 159. Affaiblissement du guide circulaire TE_{10} , 163 | |
| 3.7. <i>Les différentes vitesses de propagation</i> | 165 |
| Vitesse de propagation de la phase ou vitesse de phase, 165. Vitesse de propagation de l'énergie ou vitesse d'énergie. Vitesse de propagation de groupe ou vitesse de groupe, 166. Vitesse de groupe de l'onde modulée en amplitude. Mesure, 168. | |
| 3.8. <i>Guides diélectriques: fibres optiques</i> | 170 |
| Réflexions d'ondes à la surface d'un diélectrique en incidence oblique, 170. Onde guidée par un plan métallique recouvert de diélectrique: onde de surface, 174. Onde guidée par une lame diélectrique. Ligne à lame diélectrique, 180. Guides diélectriques circulaires: fibres optiques, 181 | |

| | |
|--|-----|
| 3.9. Exercices sur le chapitre 3. | 187 |
| Deuxième partie | |
| MÉTHODES GÉNÉRALES D'ÉTUDE ET PRINCIPALES FAMILLES DE CIRCUITS | |
| CHAPITRE 4. Méthodes générales d'études des circuits pour micro-ondes | 191 |
| 4.1. Les paramètres S | 191 |
| Normalisation ou réduction, 191. Puissance, 194. La matrice (S) ou matrice de dispersion (scattering matrix), 200. Exemple d'utilisation des paramètres S , 203. Annexe. Matrice (T) et matrice de chaîne (I) d'un quadripôle, 206. | |
| 4.2. Les graphes de fluence | 209 |
| Définition du graphe de fluence et exemples, 209. Règles de réduction, 211. Règle de Mason, 212. | |
| 4.3. Exercices sur le chapitre 4. | 223 |
| CHAPITRE 5. Circuits et composants réciproques | 226 |
| 5.1. Les multipôles | 226 |
| Propriétés générales, 226. Les monoportes ou dipôles, 229. Les quadripôles ou biportes, 230. Triportes ou hexapôles, 244. Octopôles ou quatre portes réciproques, 248. | |
| 5.2. Les lignes couplées | 265 |
| Théorie des lignes couplées, 265. Octopôle à lignes couplées, 270. Réalisation des coupleurs, 274. Formules pratiques pour la détermination de Z_2 et Z_1 , 275. Calcul d'un coupleur directif, 277. Notions sur les associations de coupleurs, 278. Lignes couplées utilisées comme quadripôle de filtrage, 280. Mesures sur les lignes couplées, 285. | |
| 5.3. Cavités résonantes et résonateurs. | 286 |
| Introduction : passage du circuit oscillant à la cavité, 286. Étude d'une cavité unidimensionnelle : la cavité Fabry-Pérot, 287. Champs électromagnétiques dans des cavités de forme simple, 293. Le problème du couplage des résonateurs, 294. Circuit équivalent à un résonateur couplé à une ligne ou un guide, 297. Impédance d'entrée du résonateur et mesure de Q_o , Q_e et Q_s , 299. Autre méthode pour la mesure de Q_o , Q_e , Q_s et β , 301. Résonateur utilisé en transmission, 302. Détermination des réactances d'un résonateur, 304. Résonance diélectrique, 306. | |
| Annexes | 310 |
| 1. Éléments de calcul vectoriel | 310 |
| 2. Fonctions de Bessel | 311 |
| 3. Règle Matrices : règles d'inversion | 312 |
| 4. Matrice unitaire ou orthogonale | 312 |
| 5. Matériaux utilisés en hyperfréquences et U.H.F. | 312 |
| Solution des exercices | 313 |
| Bibliographie | 317 |
| Index | 319 |

TOME II
COMPOSANTS-ANTENNES-FONCTIONS-MESURES

CHAPITRE 6. Circuits et composants passifs non réciproques

Troisième partie
RÉALISATIONS EN HYPERFRÉQUENCES

CHAPITRE 7. Les antennes

CHAPITRE 8. Principales fonctions : fonction de contrôle, fonctions non linéaires, amplification (stabilité), oscillateurs. Tubes hyperfréquences. Filtrage.

CHAPITRE 9. Mesures en hyperfréquences. Circuits. Signal permanent. Bruit. Analyse spectrale.

Annexes. Radar. Faisceau Hertzien. Chauffage. Amplificateur faible bruit

CONTENTS

CIRCUITS - MICROSTRIP - OPTICAL FIBERS

| | |
|--|-----|
| Introduction..... | 11 |
| Section one | |
| FREE AND GUIDED WAVE PROPAGATION | |
| CHAPTER 1. Free microwaves and microwaves guided by transmission lines | 19 |
| CHAPTER 2. Sine waves in transmission lines..... | 48 |
| CHAPTER 3. Waveguides..... | 120 |
| Section two | |
| GENERAL STUDYING METHODS AND MOST COMMUN CIRCUITS FAMILIES | |
| CHAPTER 4. General methods in studying microwavé circuits | 191 |
| CHAPTER 5. Reciproqual devices and circuits | 226 |
| Appendix | 310 |
| Exercices solved | 313 |
| Bibliography | 317 |
| Index | 319 |