

ZERROUK SIDI ALI MEBAREK

ANTENNES FILAIRES ET ANTENNES A SURFACES RAYONNANTES

Office des Publications Universitaires

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS

CHAPITRE 1: CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES ANTENNES

| | |
|--|----|
| 1.1 GENERALITES..... | 9 |
| 1.2 EXIGENCES IMPOSEES AUX ANTENNES..... | 10 |
| 1.3 DEFINITIONS..... | 10 |
| 1.3.1 Antenne..... | 10 |
| 1.3.2 Surfaces d'ondes et fronts d'ondes..... | 11 |
| 1.3.3 Ondes localement planes..... | 12 |
| 1.3.4 Zones de rayonnement..... | 12 |
| 1.4 PROPRIETES FONDAMENTALES..... | 14 |
| 1.4.1 Réciprocité..... | 14 |
| 1.4.2 Linéarité..... | 15 |
| 1.5 PARAMETRES CARACTERISTIQUES D'UNE ANTENNE..... | 16 |
| 1.5.1 Caractéristiques de rayonnement..... | 16 |
| 1.5.2 Gain et directivité..... | 18 |
| 1.5.3 Bande passante..... | 27 |
| 1.5.4 Polarisation..... | 29 |
| 1.5.5 Hauteur effective et résistance équivalente..... | 32 |
| 1.5.6 Surface équivalente (effective)..... | 34 |
| 1.5.7 Température de bruit..... | 37 |

CHAPITRE 2: ETUDE GENERALE DE LA PROPAGATION

| | |
|--|----|
| 2.1 INTRODUCTION..... | 39 |
| 2.2 EQUATIONS DE MAXWELL..... | 39 |
| 2.3 EQUATION DE PROPAGATION DES CHAMPS ELECTRIQUE E ET MAGNETIQUE H DANS UN MILIEU LINEAIRE ET HOMOGENE..... | 41 |
| 2.4 POTENTIEL VECTEUR A ET POTENTIEL SCALAIRE ϕ | 41 |
| 2.5 EQUATIONS DE PROPAGATION DES POTENTIELS VECTEUR A ET SCALAIRE F DANS UN MILIEU LINEAIRE..... | 42 |
| 2.5.1 Jauge de Coulomb..... | 43 |
| 2.5.2 Jauge de Lorentz..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 2.6 EXPRESSIONS DES CHAMPS E ET H EN FONCTION DU POTENTIEL A (milieu linéaire en régime harmonique) | 44 |
| 2.7 SOLUTION DE L'EQUATION DE PROPAGATION DU VECTEUR POTENTIEL A | 45 |
| 2.8 CLASSIFICATION DES ANTENNES (SOURCES RAYONNANTES) | 47 |
| 2.8.1 Les Antennes filaires | 47 |
| 2.8.2 Les Antennes à surfaces rayonnantes | 48 |

CHAPITRE 3: DOUBLET DE HERTZ

| | |
|--|----|
| 3.1 CONSTITUTION | 49 |
| 3.2 CHAMP ELECTROMAGNETIQUE CREE | 49 |
| 3.2.1 Potentiel vecteur A | 49 |
| 3.2.2 Expression de A(r) en coordonnées Sphériques | 50 |
| 3.2.3 Champ électrique et champ magnétique créés | 51 |
| 3.3 DENSITE DE PUISSANCE RAYONNEE | 54 |
| 3.4 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU DOUBLET DE HERTZ | 55 |
| 3.4.1 Surface caractéristique de rayonnement | 55 |
| 3.4.2 Directivité | 56 |
| 3.4.3 Puissance totale émise | 57 |
| 3.4.4 Résistance de rayonnement | 58 |
| 3.4.5 Hauteur effective | 58 |
| 3.4.6 Surface équivalente (effective) | 58 |
| 3.5 PROCEDURE GENERALE POUR L'ETUDE DU DOUBLET DE HERTZ | 60 |
| 3.6 GROUPEMENT DE DEUX DOUBLETS DE HERTZ | 61 |
| 3.6.1 Introduction | 61 |
| 3.6.2 Méthode d'analyse | 61 |
| 3.6.3 Approximation de Schelkunoff | 61 |
| 3.6.4 Calcul du champ électrique résultant | 62 |
| 3.6.5 Diagramme de rayonnement | 65 |
| 3.6.6 Diagramme de rayonnement de deux doublets parallèles (plan $\theta = \pi/2$) | 66 |

CHAPITRE 4: ANTENNES FILAIRES

| | |
|---|----|
| 4.1 CONSTITUTION | 71 |
| 4.2 METHODE D'ANALYSE | 71 |
| 4.3 CLASSIFICATION DES ANTENNES FILAIRES | 72 |
| 4.3.1 Selon la position de l'alimentation | 72 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2 Selon la nature de la charge..... | 73 |
| 4.4 ETUDE DES ANTENNES A ONDES STATIONNAIRES..... | 73 |
| 4.4.1 Antenne unipolaire isolée dans l'espace | 73 |
| 4.4.2 Antenne unipolaire en présence de sol | 78 |
| CHAPITRE 5: RESEAU UNIFORME D'ANTENNES FILAIRES | |
| 5.1 RESEAU D'ANTENNES..... | 91 |
| 5.1.1 Introduction | 91 |
| 5.1.2 Courants d'alimentation..... | 93 |
| 5.1.3 Champ électrique rayonné par n doublets | 94 |
| 5.1.4 Diagramme de rayonnement..... | 98 |
| 5.1.5 Exemple d'un réseau uniforme placé dans le plan $\theta = \pi/2$ (courants en phase $\phi = 0$)..... | 100 |
| 5.2 RIDEAU UNIFORME | 106 |
| 5.3 EXEMPLES D'ANTENNES FILAIRES | 107 |
| 5.3.1 Antenne Losange (Rhombique)..... | 107 |
| 5.3.2 Antenne Dièdre | 109 |
| 5.3.3 Antenne Yagi | 110 |
| 5.3.4 Antenne Dipôle Log-Périodique | 111 |
| 5.3.5 Antenne Hélicoïdale (Hélice)..... | 113 |
| CHAPITRE 6 : THEORIE DES OUVERTURES RAYONNANTES | 115 |
| 6.1 INTRODUCTION..... | 115 |
| 6.2 EQUATIONS DE MAXWELL GENERALISEES | 115 |
| 6.3 FORMULES DE KOTTLER | 118 |
| 6.4 OUVERTURES RAYONNANTES PLANES..... | 119 |
| 6.4.1 Hypothèses | 119 |
| 6.4.2 Expressions du champ électromagnétique dans la zone lointaine | 120 |
| 6.4.3 Ouvertures rectangulaires..... | 127 |
| 6.4.1 Ouvertures circulaires | 140 |
| CHAPITRE 7: ANTENNES A REFLECTEUR PARABOLIQUE | 149 |
| 7.1 INTRODUCTION..... | 149 |
| 7.2 DESCRIPTION ET PROPRIETES DE LA PARABOLE DE REVOLUTION | 149 |
| 7.2.1 Description | 149 |
| 7.2.2 Propriétés du paraboloïde..... | 152 |
| 7.3 ANTENNE A REFLECTEUR PARABOLIQUE | 152 |
| 7.3.1 Description de l'antenne | 152 |

| | |
|---|-----|
| 7.3.2 Méthode d'analyse des Ouvertures rayonnantes..... | 158 |
| 7.4 CARACTERISTIQUES DES ANTENNES PARABOLIQUES | 159 |
| 7.4.1 Surface équivalente | 159 |
| 7.4.2 Directivité..... | 160 |
| 7.4.3 Gain | 161 |
| 7.4.4 Diagramme de rayonnement..... | 162 |
| 7.4.5 Angle d'ouverture à mi-puissance (à - 3 dB)..... | 164 |
| 7.4.6 Rendement global..... | 164 |
| 7.4.7 Bande passante | 166 |
| 7.4.8 Polarisation..... | 166 |
| 7.4.9 Température de bruit | 168 |
| 7.5 ANTENNES POUR TELECOMMUNICATIONS PAR SATELLITES | 170 |
| 7.5.1 Antennes utilisées dans les stations terriennes | 170 |
| 7.5.2 Antennes embarquées à bord de satellites | 171 |
| ANNEXE N°1: Eléments de calcul vectoriel..... | 177 |
| A1.1 Coordonnées sphériques..... | 177 |
| A1.2 Opérateurs vectoriels | 178 |
| A1.3 Relations importantes | 179 |
| ANNEXE N°2: Transformation d'intégrales multiples..... | 180 |
| A2.1 Formule d'Ostrogradky (Formule de la divergence)..... | 180 |
| A2.2 Formule de stokes..... | 181 |
| ANNEXE N°3: Fonctions de Bessel..... | 182 |
| A3.1 Fonction de Bessel de première espèce | 182 |
| A3.2 Fonction de Bessel de deuxième espèce..... | 183 |
| ANNEXE N°4: Conditions limites | 185 |
| INDEX | 188 |
| BIBLIOGRAPHIE | 191 |