

collection Micro et nanoélectronique micro et nanosystèmes
dirigée par Mireille Mouis

Analyse numérique en électromagnétisme

la méthode TLM

Pierre Saguet

 hermes

Lavoisier

Analyse numérique en électromagnétisme

la méthode TLM

جامعة أمحمد بوقرة - بومرداس
Université M'hamed Bougara - Boumerdes
المكتبة الجامعية
537-8 / SAG رقم

جامعة أمحمد بوقرة - بومرداس
Université M'hamed Bougara - Boumerdes
المكتبة الجامعية
0102017 رقم الجرد

hermes
Science
— publications —

1exp.

Lavoisier

Table des matières

Introduction	9
 Chapitre 1. Les bases de la méthode TLM : la méthode TLM 2D.	13
1.1. Introduction historique	13
1.2. Simulation en deux dimensions	16
1.2.1. Le nœud parallèle	17
1.2.2. Le nœud série	20
1.2.3. Simulation des milieux inhomogènes à pertes	21
1.2.4. Matrices de répartition	22
1.2.5. Conditions aux limites	24
1.2.6. Conditions de passage aux interfaces diélectriques	25
1.2.7. Dispersion des nœuds 2D	27
1.2.7.1. Cas des nœuds sans <i>stubs</i>	27
1.2.7.2. Cas des nœuds parallèles avec <i>stubs</i> de permittivité et de pertes	29
1.2.7.3. Cas des nœuds séries avec <i>stubs</i> de perméabilité	31
1.3. Le processus TLM	32
1.3.1. Algorithme de base	32
1.3.2. L'excitation	32
1.3.3. Traitement du signal de sortie	34

Chapitre 2. Les nœuds en trois dimensions	37
2.1. Historique : évolution.	37
2.1.1. Les nœuds distribués.	37
2.1.2. Le nœud ponctuel asymétrique (ACN)	38
2.1.3. Le nœud condensé symétrique (SCN)	39
2.1.4. Autres types de nœuds.	41
2.1.4.1. Nœuds HSCN et SSCN.	41
2.1.4.2. Le schéma alterné (ATLM)	42
2.1.4.3. Le schéma à pas décalé	43
2.2. Le nœud condensé généralisé.	44
2.2.1. Formulation générale.	44
2.2.1.1. Notations.	44
2.2.1.2. Relations constitutives du nœud généralisé	45
2.2.2. Dérivation des nœuds TLM 3D	49
2.2.2.1. Les nœuds équipés de <i>stubs</i> : le nœud SCN	49
2.2.2.2. Les nœuds hybrides	50
2.2.3. Matrices de répartition.	53
2.2.3.1. Répartition sur les lignes	53
2.2.3.2. Répartition sur les <i>stubs</i> .	54
2.2.3.3. Tension totale équivalente	55
2.2.3.4. Courant total équivalent	56
2.2.3.5. Equations de répartition des impulsions	57
2.2.3.6. Matrice de répartition du nœud condensé généralisé	57
2.3. Pas temporel	61
2.4. Dispersion des nœuds 3D	62
2.4.1. Etude théorique dans les cas simples.	63
2.4.1.1. Relation de dispersion du nœud sans <i>stub</i>	64
2.4.1.2. Analyse de la solution.	64
2.4.2. Cas de milieux inhomogènes.	67
2.5. Parois absorbantes.	67
2.5.1. L'impédance adaptée.	68
2.5.2. Les techniques de segmentation.	68
2.5.3. Les couches parfaitement adaptées : PML	69
2.5.3.1. Théorie des couches PML	70
2.5.3.2. Les PML pour le nœud SCN.	71
2.5.4. Optimisation du profil des couches PML	71
2.5.5. Couches anisotropes et dispersives	74

2.5.6. Conclusion	76
2.6. Nœud curviligne orthogonal	76
2.6.1. Cellule curviligne en TLM 3D.	76
2.6.2. Algorithme TLM	79
2.6.3. Matrices de répartition pour le nœud curviligne.	82
2.6.4. Conditions de stabilité et pas temporel.	84
2.6.5. Validation de l'algorithme	84
2.7. Nœuds non cartésiens.	86

Chapitre 3. Introduction d'éléments discrets

et de fils minces dans la méthode TLM	89
3.1. Introduction d'éléments discrets	89
3.1.1. TLM2D-historique	89
3.1.1.1. Circuit mono-port avec le nœud parallèle	90
3.1.2. TLM 3D.	93
3.1.2.1. Élément mono-port	93
3.1.3. Exemple d'application : modélisation d'une diode p-n / . . .	103
3.1.3.1. Modèle physique de la diode	103
3.1.3.2. Implantation de la diode	106
3.1.3.3. Résultats des simulations.	107
3.2. Introduction de fils minces	109
3.2.1. Modèle de fils minces orientés arbitrairement	109
3.2.1.1. Courant et tension sur le fil	110
3.2.1.2. Répartition sur le fil	112
3.2.1.3. Inductance du fil et champ électrique interpolé.	113
3.2.1.4. Couplage entre le champ électromagnétique et le courant	115
3.2.2. Validation du modèle de fil mince orienté arbitrairement	121

Chapitre 4. La méthode TLM sous forme matricielle

et la transformée en Z	125
4.1. Introduction	125
4.2. Equations de Maxwell sous forme matricielle	126
4.3. Les équations de Maxwell normalisées-maillage cubique.	127
4.4. Processus de propagation	128

4.5. Interaction onde matière	131
4.6. Les équations de Maxwell normalisées-maillage parallélépipédique.	134
4.7. Exemple d'application : modélisation d'un plasma	137
4.7.1. Modélisation théorique	137
4.7.2. Validation de la simulation TLM	139
4.8. Conclusion	144
Annexes	147
A.1. Développement des équations de Maxwell en utilisant la transformée en Z avec un maillage variable	147
A.2. Traitement du plasma par la technique de la transformée en Z pour la méthode TLM	153
Bibliographie	159
Index	167

La méthode TLM (*Transmission Line Matrix*) permet de résoudre un problème d'électromagnétisme et d'analyser le comportement de certains milieux. Il s'agit d'un outil performant qui bénéficie d'un développement important. Sa capacité à simuler avec précision des situations variées incluant des matériaux complexes est démontrée. Cet ouvrage en expose les bases théoriques et les principaux développements.

La méthode historique en deux et trois dimensions et les dernières évolutions y sont détaillées pour aboutir aux nœuds sophistiqués les plus utilisés. Les simulations des milieux fermés et ouverts sont traitées et en particulier les frontières absorbantes (PML) pour les milieux ouverts. L'introduction d'éléments passifs ou actifs, la simulation de fils minces, la simulation des milieux dispersifs comme les plasmas ou les ferrites par l'utilisation de la transformée en Z sont étudiées.

L'auteur

Pierre Saguet est professeur à l'INP de Grenoble. Ses recherches portent sur l'électromagnétisme et l'analyse numérique.