UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES - FES

THESE

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
كلية العلوم والتقنيات
فاس

Présentée par

AMHARECH AMINE

TP
416

Pour l'obtention du

DOCTORAT EN SCIENCES ET TECHNIQUES

Spécialité : électronique et hyperfréquences

Titre de la Thèse :

ADAPTATION LARGE BANDE, DANS LE DOMAINE TEMPOREL, DES CIRCUITS NON LINEAIRES COMPLEXES UTILISANT LES LIGNES DE TRANSMISSION NON UNIFORMES : UNE APPROCHE FDTD

Soutenue le 26 / 04 / 2013

Devant le jury composé de :

Noms et prénoms	Titres	Etablissements	
ACHIBAT Taoufiq	Professeur de l'enseignement supérieur	FST-Fès	Président
BENALI Abdelhamid	Professeur de l'enseignement supérieur	ENSAO	Rapporteur
DESCAMPS Philippe	Professeur de l'enseignement supérieur	ENSICAEN	Rapporteur
EL OUAZZANI Nabih	Professeur de l'enseignement supérieur	FST-Fès	Rapporteur
TAHRI Driss	Professeur de l'enseignement supérieur	FST-Fès	Examinateur
KABBAJ Hassane	Professeur de l'enseignement supérieur	FST-Fès	Directeur de thèse

Résumé

Cette thèse traite du domaine très vaste de la compatibilité électromagnétique, et plus particulièrement du couplage électromagnétique et de la propagation des ondes électromagnétiques dans les lignes de transmission. Elle traite aussi de l'adaptation large bande dans le domaine temporel dans le contexte de compatibilité électromagnétique. Cette étude se base sur l'utilisation de la technique numérique des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour l'étude des lignes de transmission multiconducteur (LTM) uniformes et non uniformes et leurs applications dans l'adaptation d'impédance large bande de charges multiples, linéaires et non linéaires. La souplesse de l'algorithme développé permet le traitement de circuits très complexes, composés de lignes de transmission de formes quelconques avec pertes dépendantes de la fréquence et de charges arbitraires. Nous avons pris l'exemple des transistors MESFET et des diodes fonctionnant en mode grand signal ou non linéaire.

L'algorithme développé a été étendu pour pouvoir traiter des charges non symétriques et de différentes natures. Cela nous a permis de voir, par effet de couplage, l'impact du temps de montée du signal d'attaque dans un conducteur actif chargé par un élément linéaire, sur une charge non linéaire connectée à la terminaison d'un conducteur passif.

Les résultats des différentes simulations ont été comparés aux résultats publiés dans des journaux internationaux, aux simulations par des logiciels commerciaux ainsi qu'aux mesures effectuées dans le domaine temporel en utilisant un réflectomètre (TDR). Cette confrontation montre un assez bon degré de concordance entre les résultats.

En termes d'application de ces résultats aux circuits multicharges complexes, une méthodologie originale, basée sur l'adaptation large bande dans son aspect temporel, a été développée dans ce travail.

Mots clés : FDTD, adaptation large bande, domaine temporel, ligne de transmission, MESFET, JFET, diode, charge non linéaire, schéma équivalent grand signal, ligne de transmission non uniforme, ligne de transmission multiconducteurs, charge multiple, PSpice, TDR, couplage.

SOMMAIRE

SOMMAIRE *1*

LISTE DES FIGURES *5*

NOMENCLATURE *11*

INTRODUCTION GENERALE *14*

BIBLIOGRAPHIE DE L'INTRODUCTION GENERALE *19*

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART *21*

1. INTRODUCTION *23*
2. TYPES D'ADAPTATION *23*

2.1. Adaptation conjuguée 24

2.2. Adaptation sans réflexion 25

3. TRANSFORMATEURS D'IMPEDANCE BANDE ETROITE *27*

3.1. Le « stub » en parallèle/série 27

3.2. Ligne quart-d'onde 28

3.3. Transformateur LC 29

3.4. Section de ligne de transmission 31

4. TRANSFORMATEURS D'IMPEDANCE LARGE BANDE *32*

4.1. Transformateurs d'impédance à sections uniformes en cascade 32

4.1.1. Les transformateurs monotones 32

4.1.2. Les transformateurs non monotone 33

4.2. Transformateurs d'impédance à lignes de transmission non uniformes 34

4.3. Transformateurs d'impédance à lignes de transmission de forme quelconque 39

5. ADAPTATION D'IMPEDANCE DANS LE DOMAINE TEMPOREL *41*
6. CONCLUSION *43*

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 1 ..... *44*

CHAPITRE 2 : THEORIE ET CARACTERISTIQUES DES LIGNES DE TRANSMISSION *46*

1. INTRODUCTION *48*
2. TYPES DE LIGNES DE TRANSMISSION *49*
3. CARACTERISTIQUES DES LIGNES DE TRANSMISSION *51*

3.1. Caractéristiques des lignes de transmission micro-rubans simples 52

3.1.1. Constante diélectrique effective 53

3.1.2. Longueur d'onde de la ligne micro-ruban 54

3.2. Caractéristiques des lignes de transmission coplanaires 55

3.2.1. Constante diélectrique effective 56

3.2.2. Longueur d'onde de la ligne coplanaire 56

4. CALCUL DES DIFFERENTS PARAMETRES DES LIGNES DE TRANSMISSION *57*

4.1. Impédance caractéristique 57

4.2. Dispersion 58

4.3. Inductance et capacité par unité de longueur pour la ligne de transmission à deux conducteurs 60

4.3.1. Ligne micro-ruban 60

4.3.2. Ligne coplanaire 61

4.4. Inductance et capacité par unité de longueur pour les lignes de transmission multiconducteurs 62

4.4.1. LTM micro-ruban 62

4.4.2. LTM coplanaire 64

4.5. Pertes dans les lignes de transmission 66

4.5.1. Pertes métalliques 66

4.5.2. Pertes diélectriques 69

5. DIAPHONIE *71*
6. CONCLUSION *72*

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 2 ..... *73*

CHAPITRE 3 : MOYENS THEORIQUES ET EXPERIMENTAUX UTILISES *75*

1. INTRODUCTION *77*
2. METHODE NUMERIQUE *77*

2.1. Méthode des différences finies 78

2.2. La méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) 79

2.3. Application de la FDTD aux lignes de transmission 80

2.3.1. Equations des télégraphistes 80

2.3.2. Application de la FDTD aux équations des télégraphistes et implémentation 81

2.3.3. Traitement des charges 85

2.3.3.1. Charge linéaire ou non linéaire simple 85

2.3.3.2. Charge non linéaire complexe 87

2.3.4. Condition de stabilité de la FDTD 89

2.3.5. Déroulement des calculs 90

2.3.6. Points fort et points faibles de la FDTD 91

3. MESURES REFLECTOMETRIQUES DANS LE DOMAINE TEMPOREL 91

3.1. Mesures réflectométriques en temporel 92

3.2. Analyse temporelle d'une ligne de transmission par TDR 101

4. LOGICIEL PSPICE 105

4.1. Modélisation des lignes de transmission sur PSpice 105

4.2. Exemples d'application 106

5. CONCLUSION 107

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 3 108

CHAPITRE 4 : ETUDE DES CIRCUITS HYPERFREQUENCES COMPLEXES PAR LA FDTD 111

1. INTRODUCTION 113
2. FDTD POUR LES LIGNES DE TRANSMISSION AVEC ET SANS PERTES 114
3. FDTD POUR LES LIGNES DE TRANSMISSION AVEC PERTES DEPENDANTES DE LA FREQUENCE 117

3.1. Pertes métalliques 118

3.2. Pertes diélectriques 120

4. TRAITEMENT DES CHARGES DANS LA FDTD 122

4.1. Charges linéaires 122

4.2. Charges non linéaires 125

4.2.1. Charges non linéaires simples 125

4.2.2. Charges non linéaires complexe 128

5. *TRAITEMENT DES LIGNES DE TRANSMISSION CHARGEES PAR DES ELEMENTS NON LINEAIRES SIMPLES ET COMPLEXES DANS LE CONTEXTE DU COUPLAGE* *132*

5.1. Charges non linéaires simples dans le contexte du couplage 132

5.2. Charges non linéaires complexes dans le contexte du couplage 134

6. *CHOIX DU TEMPS DE MONTEE DE L'EXCITATION* *138*
7. *COMPARAISON ET VALIDATION AVEC D'AUTRES METHODES* *138*
8. *APPLICATION DES LIGNES DE TRANSMISSION A L'ADAPTATION LARGE BANDE* *143*

8.1. Adaptation large bande dans le cas d'une charge linéaire (résistance) 143

8.2. Adaptation large bande dans le cas d'une charge non linéaire complexe (MESFET) 146

9. *APPLICATION DES LIGNES DE TRANSMISSION AVEC PERTES A L'ADAPTATION LARGE BANDE DES ENTREES DE MULTI-MESFETS DANS LE CONTEXTE DU COUPLAGE* *149*
10. *EXTENSION DE L'ALGORITHME DE METHODE FDTD* *153*
11. *CONCLUSION* *155*

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 4 ..... *157*

CHAPITRE 5 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ***159***

1. *INTRODUCTION* *161*
2. *LA MESURE EN TDR* *161*
3. *LE BANC DE MESURE* *162*
4. *RESULTATS DES MESURES AVEC TDR* *163*

4.1. Ligne de transmission non uniforme avec charge linéaire (résistance) 163

4.2. LTM non uniforme avec charge linéaire (résistance) 165

4.3. Ligne de transmission non uniforme avec charge non linéaire (MESFET) 168

4.4. Adaptation large bande d'un transistor MESFET en utilisant une ligne de transmission non uniforme 169

4.5. Adaptation large bande de multiples transistors MESFET en utilisant une LTM non uniforme triangulaire 171

5. *CONCLUSION* *174*

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 5 ..... *176*

CONCLUSION GENERALE ***177***

ANNEXES ***182***

ANNEXE A *184*

ANNEXE B *186*