

*Institut National Polytechnique de Lorraine I.N.P.L.
Ecole doctorale 'Informatique-Automatique-Electrotechnique-Electronique-
Mathematique' I.A.E.M.
Département de formation doctorale 'Electrotechnique-Electronique'*

THESE

Présentée à

l'Institut National Polytechnique de Lorraine

en vue de l'obtention du titre de

Docteur de l'I.N.P.L

Spécialité : Génie Electrique

Par

Mansour Dahmane

**MACHINE A RELUCTANCE VARIABLE EN
FONCTIONNEMENT MOTEUR/GENERATEUR.
CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DE LA
STRUCTURE ET DE L'ALIMENTATION.**

Soutenu le 5 Décembre 2002 devant la commission d'examen :

Membres du jury :

A. MAILFERT	Président
M.E. ZAIM	Rapporteur
A. MIRAOUI	Rapporteur
A. TOUNZI	Examineur
F.M. SARGOS	Examineur
F.T. MEIBODY	Examineur

AVANT PROPOS

Le travail décrit dans ce mémoire a été réalisé au sein du Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy (GREEN-ENSEM-INPL).

Je tiens à exprimer toute ma profonde gratitude à :

- Monsieur F.M. SARGOS, Professeur à l'INPL, pour avoir dirigé patiemment cette entreprise de longue haleine. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour sa gentillesse et ces conseils et qu'il trouve ici mes sincères remerciements.

- Monsieur F. MEIBODY-TABAR, Professeur à l'INPL, pour avoir co-dirigé cette thèse. Mes vives remerciements pour ces précieux conseils scientifiques et amicaux et de sa patience durant la rédaction de cette thèse.

- Monsieur F. DUFOUR, Maître de Conférence à l'ENSEM, pour son aide précieuse sa gentillesse et sa patience tout le long de ce travail.

Je remercie vivement Monsieur A. MAILFERT, Professeur à l'INPL pour avoir accepté d'examiner ce travail, pour l'honneur qu'il me fait en président le jury et pour ces critiques constructives.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à :

- Monsieur M.E. ZAIM, Professeur à Ecole Polytechnique de Nante, pour avoir contribué efficacement à la relecture du document en tant que rapporteur et pour ces critiques constructives.

- Monsieur A. MIRAoui, Professeur à l'Université de Franche-comté et directeur du département GESc, pour avoir jugé ce travail en tant que rapporteur et pour ces critiques constructives.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Monsieur A. TOUNZI, Maître de conférence à l'USTL, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce mémoire.

Je remercie ma mère et mon père pour m'avoir donné une chance de faire ce travail et pour leur soutien. J'adresse, également, mes remerciements les plus chaleureux à mes sœurs, à mes frères, à mon oncle Hamid et à ma tante Fouzia pour leurs encouragements et pour leur soutien.

Je n'oublie pas l'ensemble des enseignants, des chercheurs et du personnel administratif du GREEN, notamment L. Zoua et O. Romary. Qu'ils trouvent en ce modeste travail, mon entière gratitude et mes remerciements chaleureux.

PLAN

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1 : Application et alimentation des MRVDS

1. Introduction

2. Domaines d'application des MRVDS

2.1 L'utilisation de la MRVDS comme actionneur et servomoteur

2.2 L'utilisation de la MRVDS dans l'aéronautique

2.3 L'utilisation de la MRVDS dans les véhicules électriques

2.3.1 Différents types de véhicules électriques

2.3.2 Avantages et inconvénients de la MRVDS comparés aux autres machines électrique adaptées à la motorisation des véhicules électriques

3. Comparaison des performances de la MRVDS et des machines synchrone à aimants permanents et asynchrone

3.1 Comparaison de la MRVDS et de la machine à aimants permanents de type 'tuile'

3.2 Comparaison de la MRVDS et de la machine asynchrone

4. Alimentation des MRVDS ; différentes structures de convertisseurs

4.1 Les convertisseur 'classiques'

4.2 Les convertisseur améliorés

5. Contrôle du courant des convertisseurs alimentant les MRVDS

5.1 Principe de l'hystérésis modulée

5.2 Choix des paramètres du régulateur à hystérésis modulée

6. Conclusion

Chapitre 2 : Modélisation du comportement de la MRVDS

- 1. Introduction**
- 2. Description géométrique des MRVDS**
- 3. Choix de dimensions raisonnables pour trois structures de MRVDS à étudier**
 - 3.1. Choix de l'ouverture des dents statoriques et rotoriques
 - 3.2. Choix de l'épaisseur des culasses statorique et rotorique
 - 3.3. Choix de l'épaisseur de l'entrefer
 - 3.4. Choix de la hauteur des dents statoriques et rotoriques
 - 3.5. Fonctionnement générateur
- 4. Modélisation du comportement de la MRVDS en Régime permanent**
 - 4.1. Modèle de la MRVDS
 - 4.2. Interpolation des courbes $\Psi(I, \theta)$
 - 4.2.1. Fonction d'interpolation par éléments de surface
 - 4.2.2. Méthode d'interpolation dite de Krigeage
- 5. Conclusion**

Chapitre 3 : Etude du fonctionnement en mode moteur des MRVDS. Amélioration de leurs performances en utilisant un convertisseur muni d'un élément de stockage capacitif à charge contrôlable.

- 1. Introduction**
- 2. Fonctionnement moteur des MRVDS**
- 3. Choix de la forme optimale du courant de phase**
- 4. Différents modes d'alimentation utilisés en fonctionnement moteur des MRVDS**
 - 4.1. Mode d'alimentation 1

4.2. Mode d'alimentation 2

4.3. Mode d'alimentation 3

5. Sûreté de fonctionnement –choix du courant maximal

6. Optimisation des angles d'allumage et d'extinction des MRVDS considérées en fonctionnement moteur

7. Comparaison des performances de la MRVDS pentaphasée alimentée par les différents modes d'alimentation utilisés en fonctionnement moteur

8. Comparaison des performances des trois MRVDS étudiées alimentées avec le même mode d'alimentation

9. Amélioration des performances des MRVDS à l'aide de dispositifs à stockage capacitif

9.1. Analyse de fonctionnement du convertisseur équipé d'un survolteur composé d'une diode et d'un condensateur en parallèle

9.2. Un nouveau survolteur améliorant les performances des MRVDS à vitesses élevées

9.2.1. Analyse de fonctionnement du convertisseur équipé d'un nouveau survolteur

10. Conclusion

**Chapitre 4 : Etude du fonctionnement en mode générateur des MRVDS.
Optimisation du convertisseur en utilisant un
élément de stockage capacitif
à charge contrôlable.**

1. Introduction

2. Fonctionnement générateur des MRVDS

- 3. Différents modes d'alimentation utilisés en fonctionnement générateur des MRVDS**
 - 3.1. Mode d'alimentation 1
 - 3.2. Mode d'alimentation 4

- 4. Comparaison en fonctionnement générateur des performances de la MRVDS pentaphasée alimentée en modes 1 et 4**

- 5. Comparaison des performances des trois MRVDS étudiées alimentées en fonctionnement générateur**

- 6. Amélioration des performances des MRVDS à l'aide d'un dispositif à stockage capacitif**
 - 6.1. Analyse de fonctionnement du convertisseur muni d'un survolteur composé d'une diode et d'un condensateur alimentant une MRVDS en mode générateur
 - 6.2. Analyse de fonctionnement du convertisseur équipé d'un survolteur composé d'un interrupteur commandable, d'une diode et d'un condensateur

- 7. Conclusion**

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE 1 : CALCUL ANALYTIQUE DU COUPLE ELECTROMAGNETIQUE

ANNEXE 2 : CALCUL DES PARAMETRES DU REGULATEUR DE COURANT A 'HYSTERESIS MODULEE'

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Résumé :

Le modèle des Machines à Réductance Variable à Double Saillance (MRVDS) est établi ; il est basé sur la connaissance d'une fonction analytique représentant le flux en fonction du courant de phase et de la position rotorique, obtenu par éléments finis. Nous proposons une méthode d'interpolation dite de Krigeage dont l'intérêt principal est que la fonction du flux ainsi obtenue est deux fois dérivable par rapport au courant et à la position rotorique.

Nous utilisons ce modèle pour calculer les performances, en modes moteur et générateur, de trois MRVDS : triphasée (structure 6/4), tétraphasée (structure 8/6) et pentaphasée (structure 10/8) à courant à d'entrée du convertisseur et à encombrement donnés. Nous établirons que les performances de ces trois machines se dégradent avec l'augmentation de la vitesse de rotation. Pour résoudre ce problème, nous proposons d'alimenter les MRVDS (en fonctionnement moteur et générateur) par différentes structures de convertisseurs équipés de survolteurs capacitifs à charge contrôlable.

Abstract :

The model of the Switched Reluctance Machines (SRM) is established. It is based on the knowledge of an analytic function of the flux which is calculated using a finite element code. We propose an interpolation method called method of Krigeage to obtain a function of the flux twice derivable according to the phase current and to the position of the rotor.

We use this model to calculate the performances, in motor and generator modes, of three machines: three phases (structure 6/4), four phases (structure 8/6) and five phases (structure 10/8) with fixed current of the continuous source and fixed external dimensions. We show that the performances of this machines decrease with the speed. To resolve this problem, we propose to feed (in motoring and generating modes) the SRM by several structures of converters which are equipped with different boost capacitor circuit.