

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire d'El-oued
Institut de Sciences et Technologie

N° Ordre :
Série :

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

Magister en Electrotechnique

Option : Réseaux Electriques

Par

BEKAKRA Youcef

**Etude et Commande du Moteur
Asynchrone à Double Alimentation (MADA)
par Différentes Techniques Avancées**

Soutenu le 14 / 06 /2010

Devant le jury composé de :

M. MOUSSI Amar	Pr	Université de Biskra	Président
M. BEN ATTOUS Djilani	M.C	Centre Universitaire d'El-oued	Rapporteur
M. HEMSAS Kamel Eddine	M.C	Université de Sétif	Examineur
M. BENCHOUIA Med Toufik	M.C	Université de Biskra	Examineur
M. BETKA Achour	M.C	Université de Biskra	Examineur

Sommaire



Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

Etude de la Machine Asynchrone à Double Alimentation

I.1 Introduction.....	5
I.2 Etat de l'art de la Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA)	5
I.3 La double alimentation	6
I.4 Principe de fonctionnement de la MADA	6
I.5 Description du fonctionnement de la MADA.....	7
I.5.1 Structure de la machine.....	7
I.5.2 Modes de fonctionnement de la MADA.....	9
I.5.2.1 Fonctionnement en mode moteur hypo-synchrone.....	9
I.5.2.2 Fonctionnement en mode moteur hyper-synchrone.....	10
I.5.2.3 Fonctionnement en mode générateur hypo-synchrone	10
I.5.2.4 Fonctionnement en mode générateur hyper-synchrone	11
I.6 Application de la MADA.....	11
I.7 Avantages et inconvénients de la MADA.....	13
I.7.1 Avantages de la MADA.....	13
I.7.2 Inconvénients de la MADA	14
I.8 Conclusion	15

CHAPITRE II

Modélisation et Commande Vectorielle du Moteur Asynchrone à Double Alimentation

II.1 Introduction	16
II.2 Modélisation de la MADA	16

II.2.1 Hypothèses et conventions	17
II.2.2 Equations de la MADA	17
II.2.2.1 Equations électriques	18
II.2.2.2 Equations magnétiques	18
II.2.3 Application de la transformation de Park à la MADA	19
II.2.4 Modèle de la MADA selon le système d'axes généralisé « d,q »	21
II.2.4.1 Equations des tensions	21
II.2.4.2 Equations des flux	22
II.2.5 Choix du référentiel	22
II.2.5.1 Référentiel lié au stator	22
II.2.5.2 Référentiel lié au rotor	23
II.2.5.3 Référentiel lié au champ tournant	23
II.2.6 Equation mécanique	24
II.3 Modèle de la MADA sous forme d'équation d'état	25
II.4 Alimentation de la MADA	27
II.4.1 Modélisation de l'onduleur de tension	28
II.4.2 Commande par modulation sinus-triangle	30
II.5 Commande vectorielle du MADA	32
II.5.1 Principe de la commande vectorielle	33
II.5.2 Procède d'orientation du flux	33
II.5.3 Commande vectorielle par orientation du flux statorique	34
II.6 Méthodes de la commande vectorielle	36
II.6.1 Commande vectorielle directe	36
II.6.2 Commande vectorielle indirecte	36
II.7 Structure de la commande vectorielle directe	37
II.7.1 Défluxage	38
II.7.2 Principe du découplage par compensation	39
II.7.3 Estimation du flux statorique	39
II.7.4 Dimensionnement des régulateurs	40
II.7.4.1 Calcul des régulateurs des courants rotoriques, de flux statorique et de vitesse	40
II.7.4.1.1 Les régulateurs des courants rotoriques	40
II.7.4.1.1.1 Régulation du courant rotorique directe	40
II.7.4.1.1.2 Régulation du courant rotorique quadrature	42
II.7.4.1.2 Régulateur du flux statorique	43

II.7.4.1.3 Régulation de vitesse par un régulateur IP	44
II.8 Résultats de simulation du modèle de la MADA sans application de commande	45
II.9 Résultats de simulation avec application de commande	49
II.9.1 Démarrage à vide suivi d'une introduction de variation de couple de charge.....	49
II.9.2 Tests de robustesse	51
II.9.2.1 Inversion du sens de rotation	51
II.9.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation paramétrique	53
II.9.2.2.1 Robustesse vis-à-vis la variation de la résistance rotorique	53
II.9.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation du moment d'inertie.....	54
II.10 Conclusion	55

CHAPITRE III

Commande par Logique Floue en Vitesse du Moteur Asynchrone à Double Alimentation

III.1 Introduction	56
III.2 Concepts fondamentaux	57
III.3 La logique floue	57
III.4 Principe de la logique floue.....	58
III.5 Eléments de base de la logique floue	59
III.5.1 Variables linguistiques et ensembles flous.....	59
III.5.2 Fonction d'appartenance	60
III.5.3 Propriétés des ensembles flous.....	62
III.5.4 Opérations sur les ensembles flous	63
III.5.4.1 Egalité.....	63
III.5.4.2 Inclusion	63
III.5.4.3 Union (opérateur <u>OU</u>)	64
III.5.4.4 Intersection (opérateur <u>ET</u>)	64
III.5.4.5 Complément de A (opérateur <u>NON</u>).....	64
III.5.5 Règles floues	64
III.6. Règles de commande par logique floue	65
III.6.1 Structure générale d'un régulateur flou.....	65
III.6.2 Fuzzification.....	65

III.6.3 Inférence floue.....	66
III.6.3.1 Méthode d'inférence Max-Min	67
III.6.3.2 Méthode d'inférence Max-Produit	68
III.6.3.3 Méthode d'inférence Somme-Produit	69
III.6.4 Défuzzification	69
III.6.4.1 Défuzzification par la méthode du centre de gravité.....	69
III.7 Avantages et inconvénients du réglage par logique floue.....	70
III.7.1 Avantages	70
III.7.2 Inconvénients	70
III.8 Application de la logique floue au MADA	71
III.8.1 Les étapes de conception d'un système flou	71
III.8.1.1 Définition des variables du système.....	71
III.8.1.2 Choix de la partition floue.....	71
III.8.1.3 Choix des fonctions d'appartenances	71
III.8.2 Synthèse du régulateur flou de vitesse	71
III.8.2.1 Régulateur flou-PI.....	71
III.9 Schéma de commande du MADA.....	74
III.10 Résultats de simulation.....	76
III.10.1 Démarrage à vide suivi d'une introduction de variation de couple de charge	76
III.10.2 Tests de robustesse	77
III.10.2.1 Inversion du sens de rotation.....	77
III.10.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation paramétrique	79
III.10.2.2.1 Robustesse vis-à-vis la variation de la résistance rotorique.....	79
III.10.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation du moment d'inertie	80
III.11 Conclusion.....	81

CHAPITRE IV

Commande par Mode de Glissement du Moteur Asynchrone à Double Alimentation

IV.1 Introduction.....	82
IV.2 Généralités sur la théorie du contrôle par mode de glissement.....	82
IV.2.1 Structure par commutation au niveau de l'organe de commande.....	83

IV.2.2 Structure par commutation au niveau d'une contre réaction d'état	83
IV.2.3 Structure par commutation au niveau de l'organe de commande, avec ajout de la commande équivalente	84
IV.3 Principe de la commande par mode de glissement	85
IV.4 Conception de l'algorithme de commande par mode de glissement	86
IV.4.1 Choix de la surface de glissement	86
IV.4.2 Conditions d'existence et de convergence du régime glissant.....	87
IV.4.2.1 La fonction discrète de commutation.....	87
IV.4.2.2 La fonction de Lyapunov	87
IV.4.3 Détermination de la loi de commande	87
IV.5 Application de la commande par mode de glissement au MADA.....	91
IV.5.1 Surface de régulation de la vitesse	91
IV.5.2 Surface de régulation du flux statorique	92
IV.5.3 Surface de régulation du courant rotorique directe avec limitation	93
IV.5.4 Surface de régulation du courant rotorique quadrature avec limitation.....	94
IV.6 Schéma bloc de réglage en cascade de la vitesse, du flux statorique et des courants rotoriques par mode de glissement.....	95
IV.7 Résultats de simulation	96
IV.7.1 Régulateurs par mode de glissement appliqués dans toutes les boucles de régulation du MADA.....	96
IV.7.1.1 Démarrage à vide suivi d'une introduction de variation de couple de charge	96
IV.7.1.2 Tests de robustesse.....	98
IV.7.1.2.1 Inversion du sens de rotation	98
IV.7.1.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation paramétrique.....	99
IV.7.1.2.2.1 Robustesse vis-à-vis la variation de la résistance rotorique.....	99
IV.7.1.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation du moment d'inertie	100
IV.7.2 Régulateur par mode de glissement appliqué seulement dans la boucle de régulation de la vitesse du MADA	101
IV.7.2.1 Démarrage à vide suivi d'une introduction de variation de couple de charge	101
IV.7.2.2 Tests de robustesse.....	103
IV.7.2.2.1 Inversion du sens de rotation	103
IV.7.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation paramétrique.....	104
IV.7.2.2.2.1 Robustesse vis-à-vis la variation de la résistance rotorique.....	104
IV.7.2.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation du moment d'inertie	105

IV.8 Conclusion	106
-----------------------	-----

CHAPITRE V

Commande par Floue en Mode Glissant en Vitesse du Moteur Asynchrone à Double Alimentation

V.1 Introduction	108
V.2 Description du régulateur floue en mode glissant	108
V.3 Synthèse du régulateur flou-PI	109
V.4 Loi de commande	111
V.5 Résultats de simulation	111
V.5.1 Démarrage à vide suivi d'une introduction de variation de couple de charge	111
V.5.2 Tests de robustesse	113
V.5.2.1 Inversion du sens de rotation	113
V.5.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation paramétrique	115
V.5.2.2.1 Robustesse vis-à-vis la variation de la résistance rotorique	115
V.5.2.2.2 Robustesse vis-à-vis la variation du moment d'inertie	116
V.6 Conclusion	117

CHAPITRE VI

Etude Comparative

VI.1 Introduction	118
VI.2 Comparaison des quatre types de commande	118
VI.2.1 Notation	119
VI.2.2 Comparaison au niveau de l'application de couple de charge	120
VI.2.3 Comparaison au niveau de l'inversion de la vitesse	123
VI.2.4 Comparaison au niveau de la variation de la résistance rotorique	126
VI.2.5 Comparaison au niveau de la variation du moment d'inertie	126
VI.2.6 Comparaison au niveau de l'indice IAE	130

VI.2.6.1 Intégrales faisant intervenir l'erreur.....	130
VI.2.7 Conclusion de la comparaison des quatre types de commande	131
VI.3 Conclusion	132
Conclusion générale	134
Annexe	
Bibliographie	