



U.F.R. Sciences & Techniques : S.T.M.I.A.

Ecole Doctorale : Informatique-Automatique-Electrotechnique-Electronique-Mathématique

Département de Formation Doctorale : T.H.E.S.E.E.

Thèse

présentée pour l'obtention du grade de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I

en Génie Electrique

par **Djafar HADIOUCHE**

◇

Contribution à l'étude de la machine asynchrone double étoile : modélisation, alimentation et structure

◇

Soutenue publiquement le 20 décembre 2001 devant la commission d'examen :

Membres du Jury :

Président :	R. LE DOEUFF	Professeur des Universités, GE 44, Saint Nazaire
Rapporteurs :	B. LEMAIRE-SEMAIL	Professeur des Universités, L2EP, EUDIL, Lille
	M. FADEL	Professeur des Universités, LEEI, ENSEEIHT, Toulouse
Examineurs :	A. REZZOUG	Professeur des Universités, GREEN, UHP, Nancy 1
	H. RAZIK	Maître de Conférences - HDR, GREEN, IUFM de Lorraine

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	1
INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
CHAPITRE I. LES MACHINES MULTIPHASÉES	9
I.A. INTRODUCTION	9
I.B. CARACTÉRISTIQUES DES MACHINES MULTIPHASÉES	10
I.B.1. Machines multiphasées de "Type 1"	10
I.B.2. Machines multiphasées de "Type 2"	12
I.B.3. Interactions possibles entre harmoniques d'espace et de temps de la f.m.m.	13
I.C. AVANTAGES DES MACHINES MULTIPHASÉES	15
I.C.1. Introduction	15
I.C.2. Elimination d'harmoniques d'espace	16
I.C.3. Minimisation des ondulations du couple et des pertes rotoriques	16
I.C.4. Amélioration de la fiabilité	16
I.C.5. Segmentation de puissance	17
I.D. INCONVÉNIENTS DES MACHINES MULTIPHASÉES	17
I.E. CONCLUSION, CONTEXTE DE L'ETUDE	17
CHAPITRE II. MODÈLES DE LA MACHINE ASYNCHRONE DOUBLE ÉTOILE	19
II.A. INTRODUCTION	19
II.B. MISE EN EQUATION	19
II.B.1. Préliminaires	19
II.B.1.1. Description, rappels	19
II.B.1.2. Hypothèses d'étude	21
II.B.2. Modèle dans le repère naturel $(sa_1-sb_1-sc_1)(sa_2-sb_2-sc_2)-(ra-rb-rc)$	21
II.B.2.1. Equation aux flux	21
II.B.2.2. Equation aux tensions	21
II.B.2.3. Inductances de la machine	22
II.B.2.4. Couple électromagnétique	25
II.C. ETUDE DES RÉGIMES PERMANENTS HARMONIQUES	26
II.C.1. Introduction, notations	26
II.C.2. Modèle complexe	28
II.C.2.1. Les flux	28
II.C.2.2. Les tensions	33
II.C.2.3. Schémas équivalents	35
II.C.3. Analyse harmonique	37
II.C.3.1. Schémas équivalents transformés	37
II.C.3.2. Classement des harmoniques	41
II.C.4. Conclusion	44
II.D. ETUDE DES RÉGIMES DYNAMIQUES	44
II.D.1. Introduction	44
II.D.2. Découplage du système : Matrice de transformation	45
II.D.3. Modèle dans le repère $(sd-sq)(sx-sy)(so_1-so_2)-(ro-rd-rq)$	47

II.D.4. Simulation numérique	50
II.D.4.1. Alimentation sinusoïdale	50
II.D.4.2. Alimentation par onduleur de tension en pleine onde	50
II.D.5. Conclusion	53
II.E. CONCLUSION	53
CHAPITRE III. ALIMENTATION PAR ONDULEURS DE TENSION.	
CONTRÔLE EN M.L.I. _____	55
III.A. INTRODUCTION.....	55
III.B. LES TECHNIQUES DE M.L.I.	56
III.B.1. Introduction	56
III.B.2. Généralités sur les M.L.I. triphasées.....	56
III.B.2.1. Critères de performance.....	56
III.B.2.2. Les techniques courantes.....	58
III.B.2.3. Remarques sur les autres techniques.....	65
III.B.3. Application au contrôle de la MASDE	66
III.B.3.1. Etoiles non décalées	66
III.B.3.2. Etoiles décalées de 60°.....	67
III.B.3.3. Etoiles décalées de 30°.....	70
III.B.4. Conclusion	73
III.C. MODULATION VECTORIELLE HEXAPHASÉE	73
III.C.1. Introduction	73
III.C.2. Projection des vecteurs de tension sur les plans (d-q), (x-y) et (o ₁ -o ₂)	74
III.C.3. Choix des modes de commutation et stratégie de contrôle.....	79
III.C.4. Séquences de commutation.....	82
III.C.4.1. Etoiles décalées de 0° et 60°	82
III.C.4.2. Etoiles décalées de 30°. Modulation Continue.....	84
III.C.4.3. Etoiles décalées de 30°. Modulation Discontinue.....	86
III.C.5. Résultats de simulation	87
III.C.6. Evaluation des performances	92
III.C.6.1. Critères de performances	92
III.C.6.2. Etude quantitative et comparaison des MLI.....	93
III.C.7. Conclusion	106
III.D. CONCLUSION	106
CHAPITRE IV. PRISE EN COMPTE DU COUPLAGE DÛ AUX	
FLUX DE FUITE D'ENCOCHE _____	109
IV.A. INTRODUCTION.....	109
IV.B. CALCULS PRÉLIMINAIRES	110
IV.B.1. Introduction, rappels	110
IV.B.2. Inductances "propre et mutuelle" de fuite d'encoche.....	112
IV.C. LES FLUX DE FUITE DU BOBINAGE DOUBLE ETOILE :	
INFLUENCE DU RACCOURCISSEMENT DU PAS.....	115
IV.C.1. Modèle dans le repère naturel (s _{a1} -s _{b1} -s _{c1})(s _{a2} -s _{b2} -s _{c2}).....	115
IV.C.2. Modèle dans le repère (s _d -s _q)(s _x -s _y)(s _{o1} -s _{o2}).....	118
IV.C.2.1. Découplage des flux de fuite : les inductances de fuite (d-q), (x-y) et (o ₁ -o ₂)	118
IV.C.2.2. Modèle électromécanique complet	124
IV.C.3. Résultats de simulation	125
IV.C.4. Conclusion	127

IV.D. PROPOSITIONS DE BOBINAGE DOUBLE ETOILE À DÉCALAGE NUL À FORTE INDUCTANCE DE FUITE (x-y)	127
IV.D.1. Introduction	127
IV.D.2. Bobinage à deux couches	129
IV.D.3. Bobinage à trois couches	134
IV.D.4. Bobinage à quatre couches	135
IV.D.5. Conclusion	139
IV.E. CONCLUSION	139
CHAPITRE V. PARTIE EXPÉRIMENTALE	141
V.A. INTRODUCTION	141
V.B. LE PROTOTYPE DE MACHINE ASYNCHRONE DOUBLE ETOILE	141
V.B.1. Cahier des charges	141
V.B.2. Solution adoptée	142
V.B.3. Aspects pratiques	143
V.C. EXPÉRIMENTATIONS	144
V.C.1. Identification des inductances de la MASDE	144
V.C.1.1. Méthodes utilisées	144
V.C.1.2. Résultats de l'identification	148
V.C.2. Effet de la saturation	151
V.D. CONCLUSION	153
CONCLUSION GÉNÉRALE	155
ANNEXE AI. CALCUL DES INDUCTANCES PROPRE ET MUTUELLE DE FUITE D'ENCOCHE	159
ANNEXE AII. SCHÉMAS EQUIVALENTS DE LA MASDE EN RÉGIME PERMANENT HARMONIQUE. PRISE EN COMPTE DU COUPLAGE DE FUITE	163
ANNEXE AIII. SCHÉMAS DE BOBINAGE ET PHOTOGRAPHIES DE LA MACHINE EXPÉRIMENTALE	165
ANNEXE AIV. RELEVÉS EXPÉRIMENTAUX. IDENTIFICATION DES INDUCTANCES DE FUITE	169
LISTE DES SYMBOLES	175
GLOSSAIRE	179
BIBLIOGRAPHIE	181