

Université Mohamed Kheider - Biskra



Faculté des Sciences et Sciences de l'ingénieur
Département d'Automatique

THESE

Présentée pour obtenir le Diplôme de **Doctorat d'Etat** en

AUTOMATIQUE

Option : **COMMANDE AUTOMATIQUE**

Par

TITAOUINE Abednacer

Thème

**Commande d'une machine synchrone triphasée
à aimants permanents et estimation de ses paramètres**

Soutenue le :devant le jury composé de :

R. ABEDESSMED	<i>Professeur, Université de Batna</i>	<i>Président</i>
A. MOUSSI	<i>Professeur, Université de Biskra</i>	<i>Rapporteur</i>
S.M. MIMOUNE	<i>Professeur, Université de Biskra</i>	<i>Examineur</i>
D.BENATTOUS	<i>Maître de Conférences, C.Univ. D'El-Oued</i>	<i>Examineur</i>
A.ABOUBOU	<i>Maître de Conférences, Université de Biskra</i>	<i>Examineur</i>

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Notations et symboles.....	IV
Introduction	1
Chapitre I: Modélisation de la machine synchrone triphasée	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Types de modélisation.....	4
I.2.1 Modélisation de Park.....	4
I.2.2 Modélisation par réseaux de perméances.....	5
I.2.3 Modélisation par éléments finis.....	5
I.3 Structure des machines synchrones triphasées à inducteur bobiné.....	6
I.3.1 Stator.....	6
I.3.2 Rotor.....	6
I.3.3 Enroulement amortisseur.....	8
I.4 Modélisation de la machine synchrone.....	9
I.4.1 Expression des diverses inductances.....	9
I.4.1.1 Inductance propre de phases statoriques L_a, L_b, L_c	9
I.4.1.2 Inductances mutuelles entre le stator et le rotor.....	10
I.4.1.3 Inductances mutuelles entre phases statoriques.....	10
I.4.1.4 Inductances mutuelles entre enroulements rotoriques.....	10
I.4.2 Equations électriques et magnétiques.....	11
I.4.2.1 Equations de tensions.....	11
I.4.2.2 Equation de flux.....	11
I.5 Application de la transformation de <i>Park</i>	12
I.6 Modèle de la machine synchrone dans le repère de <i>Park</i>	13
I.6.1 Expression de la puissance et du couple.....	14
I.6.2 Schéma équivalent de la machine synchrone.....	15
I.7 Machine synchrone à aimants permanents.....	16
I.7.1 Modèle de la machine synchrone à aimants permanents dans le repère lié au rotor.....	18
I.7.2 Représentation d'état.....	19
I.8 Modélisation de l'onduleur de tension.....	20
I.9 Commande de l'onduleur de tension à <i>MLI</i> naturelle (sinus-triangle).....	22
I.9.1 Stratégie de la <i>MLI</i> naturelle (sinus-triangle).....	23
I.9.2 Commande par <i>MLI</i> à hystérésis.....	28
I.10 Conclusion.....	26

Chapitre II: Commande vectorielle de la MSAP

II.1 Introduction.....	27
II.2 Commande vectorielle de la MSAP.....	27
II.2.1 Principe.....	27
II.2.2 Description du système global.....	28
II.2.3 Découplage.....	29
II.2.4 Détermination des régulateurs de courants.....	31
II.2.5 Détermination du régulateur de vitesse.....	33
II.3 Simulation de l'ensemble commande – onduleur – machine.....	34
II.4 Résultats de simulation.....	34
II.4 Conclusion.....	36

Chapitre III: Commande non linéaire de la MSAP

III.1 Introduction.....	37
III.2 Principe de la commande non linéaire.....	37
III.2.1 Principe de la linéarisation entrée-sortie.....	37
III.2.2 Difféomorphisme.....	39
III.2.3 Degré relatif.....	39
III.2.4 Dynamiques des zéros.....	41
III.2.5 Commandabilité.....	42
III.2.6 Observabilité.....	42
III.2.7 Découplage et linéarisation.....	43
III.3 Commande non linéaire de la MSAP.....	43
III.3.1 Modèle du MSAP.....	44
III.3.2 Linéarisation entrée - sortie du MSAP.....	44
III.3.3 Algorithme de commande	46
III.4 Présentation du système simulé.....	47
III.5 Résultats de simulation.....	47
III.6 Conclusion.....	49

Chapitre IV: Commande à structures variables de la MSAP

IV.1 Introduction.....	50
IV.2 Bases mathématiques de la commande à structure variable.....	50
IV.2.1 Exemple de synthèse d'une commande à structure variable.....	51
IV.2.2 Démonstration du mode de glissement.....	54
IV.2.3 Conditions d'existence du mode de glissement.....	56
IV.2.4 La commande équivalente.....	56

IV.2.5 La commande discontinue de base.....	58
IV.3 Application de CSV à la MSAP.....	59
IV.3.1 Stratégie de réglage à trois surfaces.....	60
IV.4 Résultats de simulation.....	63
IV.5 Conclusion.....	65

Chapitre V: Techniques d'estimations de l'état et les paramètres de la MSAP

V.1 Introduction.....	66
V.2 Observateurs.....	67
V.2.1 Principe des observateurs.....	67
V.2.2 Classification des observateurs.....	68
V.3 Filtre de Kalman.....	70
V.3.1 Filtre de Kalman standard	70
V.3.2 Filtre de Kalman étendu.....	71
V.4 Observateur déterministe de Luenberger.....	72
V.5 Conclusion.....	74

Chapitre VI: Commande sans capteurs mécaniques de vitesse et de position de la MSAP

(Estimation de la résistance statorique et du couple de charge)

VI.1 Introduction.....	75
VI.2 développement du filtre de Kalman etendu.....	75
VI.2.1 Détermination des matrices F et H.....	76
VI.2.2. choix des matrices de covariances Q et R.....	76
VI.3 Simulation d'une commande vectorielle PI sans capteurs mécaniques de vitesse et de position.....	78
VI.3.1 Présentation du système simulé.....	78
VI.3.2 Résultats de simulation.....	78
VI.4 Simulation d'une commande vectorielle PI sans capteurs mécaniques de vitesse et de position avec estimation de la résistance statorique.....	80
VI.4.1 Présentation du système simulé.....	80
VI.4.2 Résultats de simulation.....	80
VI.5 Simulation d'une commande vectorielle PI sans capteur smécaniques de vitesse et de position avec l'estimation du couple de charge.....	81
VI.5.1 Présentation du système simulé.....	81
VI.5.2 Résultats de simulation.....	82
VI.6 Simulation d'une commande non linéaire sans capteurs mécanique des vitesse et de position avec l'estimation du couple de charge.....	84
VI.6.1 Présentation du système simulé.....	84

VI.6.2 Résultats de simulation.....	84
VI.7 Simulation d'une commande à structure variable sans capteur mécanique de vitesse et de position avec l'estimation du couple de charge.....	86
VI.7.1 Présentation du système simulé.....	86
VI.7.2 Résultats de simulation.....	86
VI.8 Influence des matrices de covariances des bruits d'état et de mesure sur la stabilité du filtre de Kalman étendu.....	88
VI.9 Comparaison entre les différentes techniques de commande appliquées associées au filtre de Kalman étendu	91
VI.9.1 Réponse pour un démarrage à vide suivi d'une application de la charge.....	91
VI.9.2 Réponse pour une inversion de la vitesse.....	92
VI.9.3 Réponse pour une variation du moment d'inertie de la machine.....	93
VI.10 Conclusion.....	94
Conclusion générale	95
Bibliographie	97
Annexes	

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire porte essentiellement sur la comparaison entre trois différents types de commande sans capteurs mécaniques de vitesse et de position d'une machine synchrone à aimants permanents MSAP. L'inconvénient des commandes vectorielles utilisant des PI présenté par les dérives paramétriques sur son modèle de connaissance peut être surmonté à travers l'utilisation des commandes dites robustes. Les commandes non linéaire et à structure variable donnent des résultats acceptables en terme de robustesse, rejection de la perturbation de la charge, inversion du sens de rotation avec une supériorité remarquable de la CSV.

Mots clés: MSAP, contrôle vectoriel utilisant PI, contrôle non linéaire, contrôle à structures variables, filtre de Kalman étendu.

Abstract

The work presented in this memory concerns the comparison between three various types of control without mechanical speed and position sensors of a permanent magnets synchronous machine PMSM. The disadvantage of the vectorial control using PI regulators presented by the parametric drifts on its model of knowledge can be surmounted through the use of control laws known as robust. The nonlinear control and a variable structure control (VSC) give acceptable results in term of robustness, rejection of the disturbance of the load, inversion of the direction of rotation with a remarkable superiority of the VSC.

Key-words: PMSM, vectorial control using PI, nonlinear control, variable structure control, extended Kalman filter.

ملخص:

العمل المقدم في هذه المذكرة يتعلق خاصة بمقارنة ثلاث أنواع للتحكم الكهربائي بدون لاقط ميكانيكي للسرعة و وضعية الدوار لماكنة تزامنية ذات مغناطيس دائم. مساوي التحكم الشعاعي باستعمال معدل PI المتمثلة في التغيرات البيرومترية لنموذج الآلة يمكن أن تحل باستعمال طرق تحكم متينة. طرق التحكم غير الخطي والتحكم ذو البنية المتغيرة أعطت نتائج مقبولة بالنسبة للمتانة، نزع تأثيرات الحمولة، عكس اتجاه دورات المحرك، مع تفوق ملحوظ بالنسبة للتحكم ذو البنية المتغيرة.

كلمات مفتاحية: محرك كهربائي ذو مغناطيس دائم، تحكم شعاعي باستعمال معدل PI، تحكم غير خطي، تحكم ذو بنية متغيرة، مرشح كالمان.