

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI DE CHLEF



Faculté des Sciences & Sciences de l'Ingénieur

Département d'électrotechnique

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE

Option : Systèmes d'entraînement électrique

Présenté par

Khelifa KHELIFI OTMANE

Ingénieur d'état en électrotechnique

THEME

**ANALYSE D'UNE COMMANDE PREDICTIVE SOUS CONTRAINTES POUR
LA CONDUITE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE TRIPHASEE**

Soutenu le : 27 mai 2008 devant le jury composé de :

Président	M.O Mahmoudi	Professeur	ENP AIGER
Encadreur	B. Belmadani	Professeur	UHB Chlef
Co.encadreur	M. Bounadja	M.A.C.C	UHB Chlef
Examineurs	M.S Boucherit	Professeur	ENP AIGER
	M. Tadjine	Professeur	ENP AIGER

-Promotion 2006-

ملخص

العمل المقدم في هذه المذكرة يعالج موضوع تحت عنوان " تحليل تحكم تنبؤي تحت ضغوطات من أجل قيادة آلة غير متزامنة ثلاثية الأطوار".

في البداية قمنا بانجاز النموذج الرياضي وكذا التحكم الشعاعي للآلة الغير متزامنة والمغذاة بواسطة موج ذو المستوى اثنان. ثم تبيننا ضابطات كلاسيكية من النوع (تناسبي تكاملي) مُدخل تحت صيغة رقمية وذلك من اجل ضبط السرعة و التيارات. وبعدها ركزنا على تبديل هذه الضابطات بضابطات تنبؤية مُعممة وهذا بعد تبسيط بنية تنبؤية تسلسلية. كل الضابطات التنبؤية أدخلت علي الشكل الرقمي. ومن أجل التقليل من شدة إشارة التحكم (التيار أو العزم الكهرومغناطيسي) أثناء النظام الانتقالي وكذلك التقليل من تأثير تشويش القياسات على إشارة التحكم استعملنا بما يسمى بتعبير يُولا بهدف تغيير قانون التحكم التنبؤي من جهة وتعزيز صلابة هذا الأخير من جهة أخرى. في كلتا الحالتين، الضغوطات التواترية والزمنية حُوت إلى مسألة تحسين مقعر.

كلمات مفتاحي — تحكم تنبؤي معمم ، تحكم تنبؤي تسلسلي، تعبيري يُولا، تحسين مقعر، برمجة خطية، آلة غير متزامنة، صلابة

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire traite un sujet intitulé "Analyse d'une commande prédictive sous contraintes pour la conduite d'une machine asynchrone triphasée". Nous avons réalisé tout d'abord, la modélisation et la commande vectorielle de la machine asynchrone triphasée alimentée via un onduleur de tension à deux niveaux. On a adopté des régulateurs classiques de type PI introduits sous une forme discrète RST, pour le réglage de la vitesse et ainsi pour le réglage des courants. Ensuite on a s'intéressé au remplacement de ces régulateurs, par des régulateurs prédictifs GPC, cela après avoir développer une structure prédictive cascade; tous les correcteurs prédictifs sont alors exprimés sous la forme RST. Dans le souci de minimiser les transitoires de la commande GPC et de diminuer l'impact du bruit de mesure sur le signal commande, on a utilisé la paramétrisation de Youla afin de modifier et robustifier la loi de commande GPC. Dans ces deux cas, les contraintes de type fréquentiel et temporel en boucle fermée sont transformées en un problème d'optimisation convexe.

Mots clés —Commande prédictive généralisée, Commande prédictive généralisée cascade, Paramétrisation de Youla, Optimisation convexe, Programmation linéaire, Machine asynchrone triphasée, Robustesse.

Abstract

The work presented in this report deals with a topic entitled the "Analysis of a predictive control under constraints for the driving of an induction machine "; first of all, we have achieved the modelling and the field oriented control of the induction machine fed by a two-level inverter. We've adopt, classic regulators of type PI implemented under a discreet form RST for the regulation of the speed and the currents. Then we interested in the replacement of these regulators by predictive controllers GPC, after developing a cascade predictive structure for the speed control of the motor; all the predictive controllers are then expressed under the form RST. To minimize the transitory of the GPC control and to decrease the impact of the noise measurement on the control signal, we used the Youla parameterization to modify and to make robust the law of GPC control. In both cases, the constraints frequency and temporal in closed loop are transformed into a problem of convex optimization.

Key Words — Generalized Predictive Control, Cascade Generalized Predictive Control, Youla Parameterization, Convex Optimization, Linear Programming, Three Phase Asynchronous Machine, Robustness.

Sommaire

Introduction générale	04
Chapitre 1. Modélisation et commande vectorielle de la machine asynchrone triphasée	
1.1 Introduction.....	07
1.2 Modélisation de la machine asynchrone triphasée.....	08
1.2.1 Présentation de la machine.....	08
1.2.2 Modélisation dans le repère triphasé.....	09
1.2.2.1 Equations électriques.....	09
1.2.2.2 Equations des flux.....	10
1.2.2.3 Equation du couple électromagnétique.....	10
1.2.2.4 Equation du mouvement.....	11
1.2.3 Modélisation dans le repère de Park.....	11
1.2.3.1 Equations électriques.....	13
1.2.3.2 Equations des flux.....	13
1.2.3.3 Equation du couple électromagnétique.....	13
1.2.3.4 Equation du mouvement.....	13
1.2.4 Choix du référentiel.....	13
1.2.5 Simulation numérique d'un démarrage direct.....	14
1.3 Modélisation de l'onduleur de tension.....	16
1.3.1 Fonction de connexion.....	16
1.3.2 L'alimentation en tension constante.....	17
1.3.3 Modélisation aux valeurs instantanées.....	17
1.3.4 Méthodes de commande de l'onduleur de tension.....	18
1.3.5 Modulation de largeur d'impulsion.....	18
1.4 Commande vectorielle de la machine asynchrone triphasée.....	22
1.4.1 Principe de la commande par flux orienté.....	22
1.4.2 Théorie du flux orienté.....	24
1.4.3 Application de la commande vectorielle indirecte (IRFO).....	25
1.5. Régulation, méthodes classiques.....	28
1.5.1 Régulateurs à placement de pôles.....	28
1.5.2 Régulation des courants.....	29
1.5.3 Régulation de la vitesse.....	31
1.5.4 Simulation numérique et interprétation des résultats.....	32
Conclusion.....	35

Chapitre 2. Commande prédictive généralisée, application à la machine asynchrone triphasée

2.1 Introduction.....	36
2.2 Concepts de base de la commande prédictive	37
2.3 Stratégie de la commande prédictive.....	38
2.3.1 Principe général.....	38
2.3.2 Modélisation du système.....	39
2.4 Commande prédictive généralisée (GPC).....	40
2.4.1 Principe de calcul.....	41
2.4.1.1 Modèle de prédiction.....	41
2.4.1.2 Prédicteur optimal.....	42
2.4.1.3 Résolution récursive des équations diophantiennes	43
2.4.1.3.1 Résolution récursive de la première équation de diophantien...	43
2.4.1.3.2 Résolution récursive de la deuxième équation de diophantien..	45
2.4.1.4 Fonction du coût quadratique.....	47
2.4.1.5 Prédicteur optimal sous forme matricielle.....	48
2.4.1.6 Fonction de coût sous forme matricielle.....	48
2.4.1.7 Loi de commande optimale.....	49
2.4.1.8 Stratégie de l'horizon fuyant.....	49
2.4.2 Structure RST du régulateur.....	49
2.4.3 Algorithme d'implémentation de la GPC.....	51
2.4.4 Choix des paramètres de réglage.....	51
2.4.4.1 Choix de l'horizon minimal de prédiction N_1	52
2.4.4.2 Choix de l'horizon maximal de prédiction N_2	52
2.4.4.3 Choix de l'horizon de commande N_u	52
2.4.4.4 Choix du facteur de pondération de la commande λ	52
2.5 Applications numériques sur différents procédés.....	53
2.5.1 Système second ordre stable à phase minimale.....	53
2.5.2 Système second ordre stable à phase non minimale.....	54
2.5.3 Système instable.....	56
2.6 Application numérique sur la machine asynchrone triphasée.....	58
2.6.1 Synthèse du régulateur GPC pour la boucle de courant.....	58
2.6.2 Synthèse du régulateur GPC pour la boucle de vitesse.....	59
2.6.3 Influence de la boucle interne sur la boucle externe.....	60
2.6.4 Commande GPC/cascade.....	61
2.6.5 Application de la GPC/cascade sur le modèle complet de la MAS.....	66
2.6.6 Test de robustesse.....	69
Conclusion.....	72

Chapitre 3. Commande prédictive généralisée sous contraintes temporelles et fréquentielles, application sur le moteur asynchrone triphasé

Introduction.....	65
3.1 Rôle de robustification de la loi de commande prédictive.....	66
3.1.1 Robustesse en stabilité	66
3.1.2 Définition de la marge de robustesse pour le cas du correcteur GPC.....	67
3.2 Paramétrisation de Youla.....	67
3.3 Paramétrisation de Youla d'un correcteur GPC.....	70
3.4 Spécification de robustesse et performance nominale.....	73
3.4.1 Spécification fréquentielles.....	75
3.4.2 Spécification temporelles.....	78
3.4.3 Problème d'optimisation convexe.....	79
3.5 Résolution par programmation linéaire.....	80
3.5.1 Norme H_{∞}	81
.....	
3.5.2 Respect d'un gabarit temporel.....	83
3.6 Application sur la machine asynchrone triphasée.....	84
3.6.1 Commande contrainte.....	86
3.6.2 Robustification face à des bruits de mesure et aux incertitudes du model à haute fréquence.....	90
Conclusion.....	93
Conclusion générale.....	103
Annexes.....	105
Références bibliographiques.....	117