



## Avis de Soutenance

Monsieur Hailong WU

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mercredi 03 avril 2019** à 14h00  
Lieu : UTBM, Bâtiment I, 13 rue Thierry Mieg, 90000 BELFORT  
Salle : I102

Titre des travaux : Modélisation et contrôle des machines synchronoréductantes pour la minimisation des harmoniques de couple  
- étude du comportement vibratoire et acoustique

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 63

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Vincent LANFRANCHI

Codirecteur de thèse : Daniel DEPERNET  HDR  NON HDR

Soutenance :  Publique  A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Vincent LANFRANCHI	Professeur des Universités	Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne	Directeur de thèse
M. Daniel DEPERNET	Maître de Conférences	Université Bourgogne Franche-Comté, UTBM	Co-directeur de thèse
M. Xavier MININGER	Professeur des Universités	Université Paris-Sud - IUT de Cachan	Rapporteur
M. Michel HECQUET	Professeur des Universités	l'Ecole Centrale de Lille	Rapporteur
M. Fadel MAURICE	Professeur des Universités	Université de Toulouse	Examineur

## Résumé de la thèse (en français) :

Cette thèse porte sur l'optimisation du contrôle des Machines Synchrones à Réductance Variable (MSRV) et en particulier sur la compensation des phénomènes vibratoires. Elle comprend trois points forts : le développement d'une méthode de minimisation des pulsations de couple et sa validation expérimentale, l'étude des facteurs qui peuvent influencer la méthode et l'influence de cette méthode sur les autres performances de la MSRV. Tout d'abord, une méthode de contrôle permettant de compenser les ondulations de couple d'une MSRV existante a été développée. Premièrement, une équation analytique du couple est proposée et analysée afin d'exprimer la relation analytique harmonique entre le couple et les courants d'alimentation. La notion de « fonction de couple » est ensuite introduite. Une stratégie basée sur l'utilisation de cette fonction pour minimiser les ondulations du couple est présentée. Deux méthodes de réduction des ondulations de couple utilisant les différents harmoniques de la fonction de couple sont mises en évidence. Elles ont été analysées et comparées pour répondre aux différents objectifs. Par la suite, la méthode a été validée par les résultats des simulations pour trois technologies de rotor de MSRV parmi les plus répandues. La méthode est aussi validée par la modélisation analytique et la simulation dynamique à l'aide du logiciel Matlab/Simulink ainsi que par les résultats d'expérimentation avec l'aide du banc d'essai. Ensuite, les facteurs qui peuvent influencer la méthode proposée pour réduire les ondulations de couple et les performances dynamiques ont été analysés. Dans un premier temps, une amélioration sensible de l'aptitude au démarrage de la MSRV lorsque la compensation des ondulations de couple est mise en œuvre est mise en évidence. D'autre part la sensibilité de la méthode aux erreurs de mesure de position est évaluée afin de quantifier sa fiabilité dans le cas de l'utilisation d'estimateurs lors du contrôle sans capteur. Enfin, l'influence de la saturation sur la méthode proposée est aussi étudiée à l'aide d'une analyse par éléments finis du comportement magnétique de la MSRV. Finalement, l'influence de la méthode de compensation des ondulations de couple sur d'autres performances de la MSRV est analysée. Les courants optimaux ont plus d'harmoniques que les courants originaux. Par conséquent, les pertes dans le cuivre, dans le fer et dans les semi-conducteurs de l'onduleur sont modélisées analytiquement, calculées et comparées. Les conclusions montrent que les pertes dans le cuivre sont les plus sensibles à la compensation des harmoniques de couple tandis que les pertes dans le fer et dans l'onduleur sont faiblement affectées. D'autre part, la réduction des ondulations de couple peut changer le comportement vibro-acoustique de la MSRV. La dernière partie est consacrée à l'étude de la relation entre les ondulations de couple et le bruit. Une équation est proposée pour évaluer la variation du bruit produit par la compensation des ondulations de couple. Dans cette partie, les simulations dans Flux 2D sont effectuées pour calculer la variation du bruit. En outre, le logiciel professionnel Manatee réalisant l'analyse des vibrations et de l'acoustique est utilisé dans le but de conforter les résultats obtenus par la modélisation analytique.

## Abstract (in English):

This thesis aims to study the control and optimization of a synchronous reluctance machine for the purpose of improving the vibrational performance. The main works of the thesis can be classified into three parts: the proposed torque ripple reduction method, the factors which can influence the proposed method and the influence of the proposed method. At first, the torque ripple of synchronous reluctance machine is reduced by a control method. Firstly, a torque equation is proposed in order to present the relationship between torque ripple and the optimal currents. Then a new parameter, torque function, is put forward. Based on the torque function, the torque ripple reduction strategy is presented. Two different torque ripple minimizations are proposed by applying different torque function harmonics. They are analyzed and compared in order to define the optimal method. In order to test the proposed method further, the selected torque ripple minimization approach is applied to three SynRMs. The results of finite element simulations imply that the proposed method is effective to decrease the torque ripples of these three SynRMs. The proposed torque ripple reduction method is verified according to the models built in MATLAB/Simulink and the experiment results respectively. Then the factors which could influence the proposed torque ripple reduction method are analyzed. Firstly, torque function is a function of rotor position, current angle and saturation. Based on the model in Simulink, the influence of different starting position on the performance of the studied SynSR is analyzed. Besides, the estimated position errors produced by sensorless control could also affect the torque ripple minimization by changing torque function. At last, the influence of saturation on the proposed torque ripple reduction method is introduced because the amplitudes of the optimal currents are increased. In addition, the influence of torque ripple reduction on the other performances of SynRM is analyzed. The optimal currents have more harmonics than the original sinusoidal currents. So three losses (copper losses, iron losses and inverter losses) are modeled, calculated, analyzed and compared. According to the results, the copper losses are the most sensible losses. The iron losses and the inverter losses are a little increased and the increased parts can be neglected. Besides, reducing torque ripple by adding stator currents could influence the vibro-acoustic of the studied SynRM. Thus this section aims to explain the relationship between torque ripple reduction and acoustic noise. An analytical equation is proposed in order to evaluate the variation of noise produced by torque ripple reduction. Simulations in Flux 2D have been performed in order to calculate the variation of noise resulted by torque ripple reduction. At last, the software Manatee which is professional in studying the vibration and noise is applied for the purpose of comparing the results with those of the finite element analysis.