



Titre Thèse (subject)	DIMENSIONNEMENT OPTIMAL DE MACHINES SYNCHRONES A DEMARRAGE DIRECT AVEC CAPTEURS INTEGRES (LSPM_CAP)	
Directeur (supervisor)	HECQUET Michel	michel.hecquet@centralelille.fr
Co-Directeur (co-supervisor)	BRACIKOWSKI Nicolas TALBI Abdelkrim	IREENA Nantes IEMN Lille
Laboratoire (research unit)	L2EP	Web : http://l2ep.univ-lille.fr
Equipe (research team)	Outils et Méthodes numériques	Web : http://l2ep.univ-lille.fr
Financement prévu <input checked="" type="checkbox"/>	Contrat Doctoral Etablissement <input checked="" type="checkbox"/> Région <input checked="" type="checkbox"/> – Autre <input type="checkbox"/> Contrat de recherche <input type="checkbox"/> Préciser :	ULille <input type="checkbox"/> UPHF <input type="checkbox"/> Centrale Lille <input checked="" type="checkbox"/> ULCO <input type="checkbox"/> ARTOIS <input type="checkbox"/> IMT <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>

Résumé du sujet :

L'innovation du projet repose sur la conception innovante et optimale de machines combinant à la fois haute efficacité énergétique (machines à aimants) et démarrage direct (cage d'écureuil), appelées « machines synchrones à démarrage direct LSPM (Line Start Permanent Magnet) ».

Les outils et approches de modélisation multi-physique sont indispensables avec dans un premier temps la complexité du rotor sur la modélisation des barrières de flux associée à une cage avec des niveaux de saturation importants, ainsi que des problématiques de démagnétisation. Ainsi la modélisation multi-physique doit intégrer les aspects électro-vibro-acoustique et thermique couplée à des outils d'optimisation multi-objectif afin de maximiser le couple, l'efficacité énergétique, et le faible impact environnemental : bruit et vibration, minimisation des terres rares employées.

Contexte :

Les moteurs électriques représentent la charge électrique la plus importante pour l'industrie. Dans l'industrie, 70% de l'électricité consommé est accaparé par les moteurs électriques. Il existe encore un potentiel total d'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes à moteurs électriques de l'ordre de 15 à 20%. Les principaux facteurs d'une telle amélioration sont l'utilisation des variateurs de vitesse et l'utilisation de moteurs à haut rendement énergétique. L'Union européenne a adopté une nouvelle norme internationale concernant l'efficacité des moteurs électriques, aussi baptisée "éco-design", permettant moins de rejet de gaz à effet de serre.

La technologie étudiée dans cette thèse sera la LSPM – machine synchrone à aimants associée à une cage d'écureuil (Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors). La cage assure un auto-démarrage asynchrone de la machine, en permettant la circulation de courants induits dans la cage. Les aimants permanents permettent quant à eux d'assurer les bonnes performances énergétiques de la machine en régime permanent.

Cette technologie permet d'avoir un bon compromis couple – efficacité énergétique en maîtrisant le design dans un domaine d'application à vitesse constante. Ce moteur présente un gain économique par rapport à une machine synchrone à aimants, en permettant d'éviter le variateur (pas de convertisseur, moins de pannes au global) et de bonnes performances. Ce dernier aspect est un enjeu crucial, car il permet de répondre aux nouveaux enjeux d'efficacité énergétique.

Néanmoins, il existe encore de nombreuses topologies à explorer et surtout très peu d'outils de dimensionnement. En effet, actuellement, il existe quelques modèles pour des machines LSPM relativement classiques, dans lesquels il reste difficile d'intégrer la modification de la topologie.



Objectifs : L'objectif de cette thèse sera de développer un outil d'aide au dimensionnement d'une gamme de moteurs innovants à démarrage direct. Les améliorations technologiques attendues concernent le design optimal pour les machines à démarrage direct de faible puissance ne nécessitant pas de variateur :

- choix topologique du rotor et type de bobinages statoriques répondant aux critères de l'efficacité énergétique avec la réalisation et un positionnement astucieux des aimants (construction simple et peu coûteuse),
- couronne adaptée ou autres solutions envisageables comme une frette.
- bon ratio performance / coût.

A cela s'ajoute la possibilité d'appliquer de nouveaux types de bobinage sur dent (bobinages rencontrés sur le design de machines synchrones à aimants), mais aussi l'intégration de capteurs miniaturisés permettant de suivre la problématique de démagnétisation lors de démarrage répété.

Les verrous scientifiques concernent la modélisation et l'optimisation multi-physiques et multi-objectifs des machines électriques, ainsi qu'une meilleure maîtrise du couplage de modèles de complexités différentes : analytique et à constantes localisées.

Le challenge de cette thèse sera d'obtenir un modèle générique suffisamment rapide pour être intégré dans un outil d'optimisation tout en conservant les différentes topologies réalisables. À cela s'ajoutera l'intégration de nouveaux capteurs qui est un point essentiel pour le diagnostic des machines (surveillance des aimants) et le lien avec la notion de jumeau numérique à des fins de maintenance prédictive.

Références :

- [1] *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*, International Energy Agency, 2015.
- [2] Arash Hassanpour Isfahani, Sadegh Vaez-Zadeh, "Line start permanent magnet synchronous motors: Challenges and opportunities", *Energy*, Volume 34, Issue 11, November 2009.
- [3] V. Elistratova, "Conception optimale d'une gamme de moteurs synchrones à démarrage direct à haute performance énergétique." 2015. Thèse de doctorat. Ecole centrale de Lille.
- [4] T. Ding, "Étude et optimisation de machines à aimants permanents à démarrage direct sur le réseau", Thèse de doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 2011.
- [5] L. S. Maraaba, Z. M. Al-Hamouz, A. S. Milhem and M. A. Abido, "Neural Network-Based Diagnostic Tool for Detecting Stator Inter-Turn Faults in Line Start Permanent Magnet Synchronous Motors," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 89014-89025, 2019.
- [6] A. U. Ganesan and L. N. Chokkalingam, "Influence of rotor cage resistance in torque ripple reduction for line start synchronous machines," in *IET Electric Power Applications*, vol. 13, no. 12, pp. 1921-1934, 12 2019.
- [7] B. Yan, X. Wang and Y. Yang, "Parameters determination and dynamic modelling of line-start permanent-magnet synchronous motor with a composite solid rotor," in *IET Electric Power Applications*, vol. 13, no. 1, pp. 17-23, 1 2019.
- [8] J. Yun et al., "Airgap Search Coil-Based Detection of Damper Bar Failures in Salient Pole Synchronous Motors," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 4, pp. 3640-3648, July-Aug. 2019.
- [9] Bracikowski, Nicolas and Hecquet, Michel and Brochet, Pascal and Shirinskii, Sergey V, "Multiphysics modeling of a permanent magnet synchronous machine by using lumped models." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, no 6, p. 2426-2437.
- [10] La Delfa, Patricio, Michel Hecquet, and Frédéric Gillon. "Low space order analysis of radial pressure in SPMSM with analytical and convolution approaches." *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 52, N°. 11, 11/2016.

Profil du candidat :

Le profil recherché est celui d'un étudiant titulaire d'un Master, avec des connaissances en machines électriques et éventuellement une expérience dans le domaine de la modélisation analytique et numérique en électromagnétisme.

Le candidat doit être intéressé par la modélisation de convertisseurs électromécaniques, tout en ayant une approche physique et de bonnes aptitudes en expérimentation.

Le poste est à pourvoir à partir du 1^{er} septembre 2020 et le doctorant travaillera essentiellement au sein du L2EP à Villeneuve-d'Ascq (Cité scientifique).