COLLEGE ED
DOCTORAL MATHEMATIQUES
PAYS DE LA LOIRE STIC

Nantes Université

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641
Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique, de l'Information et de la Communication
Spécialité : *Génie électrique*

Par
Mouna OUKRID

Co-conception des machines à aimants à bobinage polyphasé reconfigurable pour les énergies marines renouvelables

Thèse présentée et soutenue à Saint Nazaire, le 12 Novembre 2026
Unité de recherche : Institut de Recherche en Énergie Électrique de Nantes Atlantique (IREENA)

Rapporteurs avant soutenance :

M. Georges BARAKAT — Professeur des Universités, Université Le Havre Normandie
M. Erik ETIEN — Maître de Conférences HDR, Université de Poitiers

Composition du Jury :

Président :
Examinateurs : M. Abdelmounaïm TOUNZI — Professeur des Universités, Université de Lille
Mme Rabia SEHAB — Maître de Conférences, ESTACA, Laval

Directeur de thèse : M. Nicolas BERNARD — Professeur des Universités, Nantes Université
Co-directeur de thèse : M. Mohamed Fouad BENKHORIS — Professeur des Universités, Nantes Université

COLLEGE ED
DOCTORAL MATHEMATIQUES
PAYS DE LA LOIRE STIC

Nantes Université

Titre : Co-conception des machines à aimants à bobinage polyphasé reconfigurable pour les énergies marines renouvelables

Mots clés : EMR, génératrice synchrone à aimants permanents polyphasée, modélisation analytique, conception, harmoniques, convertisseur d'alimentation, optimisation multi-objectif.

Résumé : L'exploitation des énergies marines renouvelables s'accompagne d'une augmentation de la puissance des installations et d'exigences élevées en matière de disponibilité, de fiabilité, de rendement et de réduction de la masse. Dans ce contexte, cette thèse porte sur la conception de systèmes de conversion électrique pour les éoliennes offshore de forte puissance, fondés sur la segmentation de la puissance et l'utilisation d'architectures polyphasées tolérantes aux défauts. Elle s'intéresse plus particulièrement aux génératrices synchrones à aimants permanents à 15 phases et vise à développer une approche analytique permettant le dimensionnement de l'ensemble génératrice-redresseur.

Un modèle analytique de la génératrice est développé afin de décrire son comportement électromagnétique et d'étudier l'influence des harmoniques de la f.e.m. sur la production du couple. Il est confronté à des simulations par éléments finis puis validé expérimentalement sur un prototype à 15 phases. Une optimisation multi-objectifs est ensuite menée afin de rechercher le meilleur compromis entre masse active et pertes, sous contraintes électromagnétiques, thermiques et géométriques. Les résultats montrent l'intérêt de l'exploitation des harmoniques pour améliorer ce compromis. Enfin, l'intégration d'un modèle analytique du convertisseur dans l'optimisation permet d'étendre cette démarche à la co-conception de l'ensemble machine-convertisseur.

Title : Co-design of Permanent-Magnet Machines with Reconfigurable Polyphase Windings for Marine Renewable Energy Applications

Keywords : RME, polyphase permanent-magnet synchronous generator, analytical modeling, machine design, harmonics, power converter, multi-objective optimization.

Abstract : The development of marine renewable energy is associated with increasing installed power and high requirements in terms of availability, reliability, efficiency, and mass reduction. In this context, this thesis focuses on the design of power conversion systems for high-power offshore wind turbines, based on power segmentation and fault-tolerant polyphase architectures. More specifically, it investigates 15-phase permanent-magnet synchronous generators and aims to develop an analytical approach for the design of the generator-rectifier system. An analytical model of the generator is developed to describe its electromagnetic behavior and investigate the influence of EMF harmonics on torque production.

The model is compared with finite element simulations and experimentally validated using a 15-phase prototype. A multi-objective optimization is then performed to determine the best balance between active mass and losses while satisfying electromagnetic, thermal, and geometrical constraints. The results demonstrate the benefits of exploiting EMF harmonics to improve this balance. Finally, an analytical model of the power converter is integrated into the optimization process, extending the proposed approach to the co-design of the machine-converter system.