

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Maha ANNOUKOUBI

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Le Samedi 22 Juillet 2023 à 10H au Grand amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

Contribution to the modeling and control of a doubly fed asynchronous generator used in a wind energy conversion system using multi-level converters and Model predictive.

Devant le Jury composé de :

Président :

Pr. Malika ZAZI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Ahmed ESSADKI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-Directeur de thèse :

Pr. Tamou NASSER, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Ahmed ABBOU, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Abdelhadi RAIHANI, PES, ENSET-Mohammadia, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Rachid EL GOURI, PES, ENSA, Université Ibn Tofail, Kenitra

Examineurs :

Pr. Mourad ZEGRARI, PES, ENSAM, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Ahmed EL AKKARY, PH, EST-Salé, Université Mohammed V de Rabat



Résumé: La demande croissante d'électricité à l'échelle mondiale et le besoin urgent de sources d'énergie durables ont alimenté le développement des systèmes d'énergie renouvelable, avec l'énergie éolienne émergeant comme une solution phare. Cette thèse, intitulée "Contribution à la modélisation et au contrôle d'un générateur asynchrone à double alimentation utilisé dans un système de conversion d'énergie éolienne à l'aide de convertisseurs multiniveaux et de la commande prédictive", vise à améliorer les performances et l'intégration des systèmes d'énergie éolienne en proposant des approches innovantes.

La thèse commence par une introduction aux défis actuels des systèmes de génération et de distribution d'énergie, en soulignant sur la demande croissante de l'électricité à l'échelle mondiale et l'urgence de passer à des sources d'énergie durables. Le potentiel de l'énergie éolienne, en tant que ressource propre et abondante, est mis en évidence, et la croissance remarquable des installations d'énergie éolienne dans le monde est discutée. De plus, le contexte spécifique du Maroc est présenté comme un pionnier du développement des énergies renouvelables en Afrique, en ayant des objectifs ambitieux en termes de production d'énergie éolienne.

Les contributions de la recherche se concentrent sur l'amélioration de l'efficacité, de la fiabilité et de l'intégration au réseau des systèmes de conversion d'énergie éolienne. Pour cela, un cadre de modélisation complet est développé pour un WECS utilisant un générateur asynchrone à double alimentation. L'onduleur classique à deux niveaux est remplacé par un convertisseur multiniveau, permettant d'obtenir des formes d'ondes de sortie plus lisses et de réduire les émissions harmoniques. L'impact de différentes topologies de convertisseurs multiniveaux est étudié, en tenant compte de facteurs tels que les harmoniques, le rapport coût-efficacité, l'efficacité et la fiabilité. Les résultats sont confirmés par des simulations rigoureuses utilisant le logiciel Matlab/Simulink, garantissant l'exactitude et la validité des conclusions.

De plus, la thèse souligne l'importance crucial d'utiliser la commande prédictive au lieu des techniques traditionnelles de modulation de largeur d'impulsion pour contrôler les convertisseurs multiniveaux dans les WECS. Les avantages du MPC, tels que ses capacités prédictives et sa capacité à gérer les contraintes, sont mis en évidence. À travers des simulations et une analyse de la distorsion harmonique totale, l'efficacité de l'approche MPC proposée pour réguler les harmoniques et garantir la conformité aux exigences d'intégration au réseau est démontrée. Les résultats de simulation avec Matlab/Simulink confirment la supériorité du MPC par rapport au PWM en termes de qualité de l'énergie et de performances d'intégration au réseau.



En abordant ces objectifs de recherche et en validant les conclusions par le biais de simulations approfondies à l'aide de Matlab/Simulink, cette thèse contribue à l'avancement des systèmes d'énergie éolienne en mettant en lumière l'importance de l'utilisation du MPC par rapport aux techniques traditionnelles de PWM. Les résultats et les méthodologies présentés ici, étayés par des résultats de simulation, fournissent des informations précieuses et des solutions potentielles pour améliorer l'efficacité et l'intégration au réseau de l'énergie éolienne, en respectant les normes IEEE 519 relatives à l'intégration au réseau électrique.

Mots-clés: Système de conversion d'énergie éolienne (SCEE); GADA; Commande prédictive; Convertisseurs; Émissions harmoniques; Énergie renouvelable; MLI; multiniveaux; Normes IEEE 519; Intégration au réseau; Simulation Matlab/Simulink.

Abstract: The growing global demand for electricity and the pressing need for sustainable energy sources have fueled the development of renewable energy systems, with wind energy emerging as a prominent solution. This thesis, titled "Contribution to the modeling and control of a doubly fed asynchronous generator used in a wind energy conversion system using multi-level converters and Model Predictive Control" aims to advance the performance and integration of wind energy systems by proposing innovative approaches.

The thesis begins with an introduction to the current challenges in power generation and distribution systems, emphasizing the increasing global demand for electricity and the urgency to transition to sustainable energy sources. The potential of wind energy, as a clean and abundant resource, is highlighted, and the remarkable growth of wind power installations worldwide is discussed. Additionally, the specific context of Morocco is presented as a frontrunner in renewable energy development, with ambitious goals for wind energy generation.

The research contributions focus on improving the efficiency, reliability, and grid integration of WECS. To achieve this, a comprehensive modeling framework is developed for a WECS utilizing a DFIG. The conventional two-level inverter is replaced with a multi-level converter, enabling smoother output waveforms and reducing harmonic emissions. The impact of different multi-level converter topologies is investigated, considering factors such as harmonics, cost-effectiveness, efficiency, and reliability. The results are confirmed through rigorous simulations using Matlab/Simulink software, ensuring the accuracy and validity of the findings. Furthermore, the



thesis highlights the importance of utilizing Model Predictive Control instead of traditional PWM techniques for controlling the multi-level converters in the WECS. The benefits of MPC, such as its predictive capabilities and ability to handle constraints, are emphasized. Through simulations and THD analysis, the effectiveness of the proposed MPC approach in regulating harmonic content and ensuring compliance with grid integration requirements is demonstrated. The simulation results obtained through Matlab/Simulink validate the superiority of MPC over PWM in terms of power quality and grid integration performance.

By addressing these research objectives and validating the findings through comprehensive simulations using Matlab/Simulink, this thesis contributes to the advancement of wind energy systems, showcasing the significance of employing MPC over traditional PWM techniques. The findings and methodologies presented herein, supported by simulation results, provide valuable insights and potential solutions for enhancing the efficiency and grid integration of wind energy respecting the IEEE 519 standards of power grid integration, facilitating the realization of renewable energy goals and sustainable development objectives.

Keywords: DFIG; Grid integration; Harmonic emissions; MATLAB/Simulink simulation; PWM; Renewable Energy; WECS;