



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme **MAJOUT Btissam**

Soutiendra : le **Vendredi 08/11/2024 à 09H30**

Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

« Optimisation des Stratégies de Commande pour un Système Éolien à Base d'une GSAP Connectée au Réseau : Application de l'Intelligence Artificielle et de la Commande Prédictive, avec Implémentation et Validation sur dSPACE 1104 »

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : **Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication**

Spécialité : **Génie Electrique**

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
KABBAJ Mohammed Nabil	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Président
Pr LAGRIOUI Ahmed	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Meknès	MCH	Rapporteur & Examineur
Pr DEROUICH Aziz	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	PES	Rapporteur & Examineur
Pr GUERBAOUI Mohammed	Ecole Supérieure de Technologie, Meknès	MCH	Rapporteur & Examineur
Pr TAOUSSI Mohammed	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	MCH	Examineur
Dr EL MALKI Zakaria	Ecole Supérieure de Technologie, Meknès	PES	Examineur
Pr BOSSOUFI Badr	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse
Pr KARIM Mohammed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Co-Directeur de thèse



Résumé :

Face à une demande énergétique croissante et à la nécessité de réduire la dépendance aux sources d'énergie fossiles, les énergies renouvelables se présentent aujourd'hui comme une solution stratégique incontournable. Parmi ces sources, l'énergie éolienne occupe une position prééminente. Au cours des trois dernières décennies, la capacité installée d'énergie éolienne a connu une croissance exponentielle, dépassant désormais 1 TW à l'échelle mondiale. Cependant, les systèmes éoliens ne sont pas exempts de défis. Ils nécessitent une régulation précise et efficace, particulièrement dans des environnements où les conditions météorologiques, et donc la force du vent, sont fluctuantes.

Le travail présenté dans cette thèse consiste à contribuer à l'optimisation et à l'implémentation de stratégies de commandes avancées pour un système de conversion d'énergie éolienne à vitesse variable à base d'une génératrice synchrone à aimants permanents connectée au réseau (SCEE-GSAP). La configuration de SCEE-GSAP adoptée dans ce travail consiste à relier le stator de la GSAP au réseau à travers deux convertisseurs bidirectionnels : le convertisseur côté machine et le convertisseur côté réseau, connectés en cascade par le biais d'un bus continu. L'intérêt porté à cette configuration est dû à ses nombreux avantages : un rendement élevé, une flexibilité opérationnelle accrue, une simplicité d'intégration, et un coût réduit. L'objectif principal de cette étude est de développer et d'implémenter des lois de commande avancées, en s'appuyant sur les principes de l'intelligence artificielle et du contrôle prédictif pour un système SCEE-GSAP, afin d'optimiser la production d'énergie, d'assurer une protection adéquate du système, et de garantir un raccordement efficace au réseau, quelles que soient les conditions de vent.

Après avoir présenté les motivations socio-économiques, l'intérêt scientifique du sujet, le cadre général de la recherche, ainsi que la modélisation des différents éléments du système, nous avons entrepris la mise en œuvre des différentes stratégies de commande abordées dans le cadre de cette étude. En premier lieu, nous avons examiné deux stratégies de commande largement discutées dans la littérature pour le contrôle des systèmes électriques : la commande par mode glissant (CMG) et la commande directe de puissance (CDP). La comparaison approfondie de ces deux approches nous a amenés à privilégier la CDP, notamment en raison de sa simplicité et de sa structure flexible. Toutefois, malgré ses avantages, la CDP présente certains inconvénients, tels que des ondulations de puissance importantes, un THD élevé des courants, et une fréquence de commutation variable, ce qui peut affecter négativement la performance et la stabilité du système. Pour surmonter ces inconvénients et améliorer la performance du système SCEE-GSAP, nous nous sommes penchés sur l'intégration des améliorations au principe de la commande CDP. Parmi les solutions proposées dans cette étude, l'intégration des réseaux de neurones et de l'algorithme de prédiction a montré des résultats prometteurs. Ces deux stratégies de commande innovantes, CDC-RNA et CDPPA, ont permis d'améliorer le suivi des consignes de vitesse du vent, de réduire significativement le temps de réponse et le dépassement, ainsi que de diminuer les ondulations de puissance et le THD des courants de plus de 50 %. De plus, elles ont atténué les pics de vitesse générés par la turbine. Cela prouve l'efficacité des solutions proposées.

Pour une étude approfondie et complète, la commande de puissance maximale (MPPT) et le contrôle de l'angle de calage des pales (pitch control) ont également été pris en compte dans cette étude. La simulation et l'évaluation de ces commandes a été réalisée sur l'ensemble de la plage de vitesses en utilisant le logiciel Matlab/Simulink™, tandis que la validation expérimentale a été effectuée à l'aide d'un kit de prototypage basé sur la carte dSPACE DS1104.

Mots clés :

- Système de Conversion d'énergie éolien à vitesse variable.
- Machine synchrone à aimant permanents.
- Commande mode glissant.
- Commande directe de puissance.
- Commande directe de puissance à base de réseau de neurone.
- Commande directe prédictive de puissance
- Commande de puissance maximale MPPT
- Commande d'angle de calage
- Carte dSPACE DS1104.



OPTIMIZATION OF CONTROL STRATEGIES FOR A GRID-CONNECTED WIND SYSTEM BASED ON A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG): APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND PREDICTIVE CONTROL, WITH IMPLEMENTATION AND VALIDATION ON DSPACE 1104.

Abstract :

Today, with the growing demand for energy and the need to reduce dependence on fossil fuels, renewable energy sources have become an indispensable strategic solution. Wind energy, in particular, has emerged as a leading option. Over the past three decades, the installed capacity of wind power has expanded exponentially, now exceeding 1 terawatt (TW) globally. However, wind power systems face significant challenges. They require precise and effective regulation, particularly in environments with highly variable weather conditions.

This work focuses on the optimization and implementation of advanced control strategies for a variable-speed wind energy conversion system based on a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) connected to the grid (WECS-PMSG). The configuration employed in this study connects the PMSG stator to the grid via two bidirectional converters—one on the machine side and one on the grid side—interconnected through a DC bus. This configuration is preferred for its high efficiency, enhanced operational flexibility, ease of integration, and cost-effectiveness. The primary objective of this work is to develop and implement advanced control laws based on artificial intelligence and predictive control principles. These control strategies aim to optimize energy production, ensure robust system protection, and maintain effective grid integration under varying wind conditions.

After outlining the socio-economic motivations, the scientific relevance of the topic, the general research framework, and the modeling of various system components, we proceeded with the implementation of the different control strategies proposed in this study. Firstly, we evaluated two control strategies extensively discussed in the literature for electrical system regulation: Sliding Mode Control (SMC) and Direct Power Control (DPC). A comprehensive analysis of these methods led to the preference for DPC, primarily due to its structural simplicity and inherent flexibility. However, despite its advantages, DPC exhibits certain limitations, including significant power ripple, elevated Total Harmonic Distortion (THD) in the currents, and variable switching frequency. These issues can degrade overall system performance, particularly in terms of efficiency and stability. To address these drawbacks and improve the performance of the WECS-PMSG system, we examined the integration of advanced control algorithms with the DPC principle. Among the solutions evaluated, incorporating neural networks and an advanced prediction algorithm yielded promising results. The two innovative control strategies—CDC-RNA and CDPPA—not only enhanced the precision of wind speed reference tracking but also significantly improved response time and reduced overshoot. Additionally, they reduced power ripples and current THD by over 50% and diminished the speed peaks introduced by the turbine, demonstrating the effectiveness of the proposed solutions.

To conduct a comprehensive and in-depth study, Maximum Power Point Tracking (MPPT) control and pitch angle control were also considered. The simulations and evaluations of these controls were performed under varying wind speeds using *MATLAB/Simulink®* software, while experimental validation was carried out with a prototype system based on the dSPACE DS1104 board.

Key Words :

▪ Variable-speed Wind Energy Conversion System. ▪ Permanent Magnet Synchronous Machine. ▪ Sliding Mode Control. ▪ Direct Power Control. ▪ Neural Network-based Direct Power Control. ▪ Predictive Direct Power Control. ▪ Maximum Power Point Tracking (MPPT) ▪ Pitch control. ▪ dSPACE DS1104 Board.