



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

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

Monsieur Mohamed NADOUR

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

***Le Mercredi 29 Septembre 2021 à 15h00 au Grand Amphi
à l'ENSAM de Rabat***

Intitulé de la thèse

**STRATEGIES DE COMMANDE AVANCEES D'UN SYSTEME
EOLIEN A BASE DE LA MADA INTEGRANT DU STOCKAGE
INERTIEL EN VUE DE PARTICIPER AU SERVICE SYSTEME**

Devant le Jury composé de :

Président :

Pr. Soumia EL HANI, 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, PH, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Badr BOUOULID IDRISSE, PES, ENSAM, Université Moulay Ismail de Meknès

Pr. Mohamed Nabil NGOTE, PES, ENSMR, Rabat

Pr. Mohammed OUASSAID, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Examineurs :

Pr. Faissal EL BOUANANI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Mourad ZEGRARI, PH, ENSAM, Université Hassan II de Casablanca



STRATEGIES DE COMMANDE AVANCEES D'UN SYSTEME EOLIEN A BASE DE LA MADA INTEGRANT DU STOCKAGE INERTIEL EN VUE DE PARTICIPER AU SERVICE SYSTEME

Résumé : Au Maroc, tout comme à l'échelle internationale, la ferme volonté politique préconisant la mobilisation des ressources renouvelables pour produire de l'électricité et l'accroissement de la production décentralisée amènent de nouveaux challenges techniques et scientifiques dans le domaine de génie électrique. L'insertion grandissante et irréfléchie de l'énergie éolienne de caractère intermittent, fluctuant et non programmable, ne va pas sans conséquences sur le fonctionnement du système électrique et son organisation, et sur la qualité de l'énergie fournie aux utilisateurs. En conséquence, autant que le taux de pénétration des éoliennes augmente, les conditions de raccordement qui leurs sont imposées par les administrateurs des réseaux électriques continuent être de plus en plus contraignantes. En effet, aujourd'hui la majorité des nouveaux producteurs de cette forme d'énergie sont appelés à participer, de façon analogue aux centrales conventionnelles, aux services système des réseaux électriques auxquels ils sont raccordés.

En vue de permettre aux éoliennes de se développer et de se substituer de manière plus fluide et plus sécurisée à la production conventionnelle, les travaux de recherche effectués dans ce mémoire avaient comme objectif d'évaluer la fiabilité et les performances des services système rendus par les générateurs éoliens à base de la MADA à l'échelle du système électrique.

Afin de parvenir à ces objectifs, après avoir introduit les divers effets induits par l'intégration des éoliennes sur le fonctionnement global du système électrique, tout d'abord, on s'intéresse à l'élaboration des stratégies de commande robustes, à base de l'approche backstepping, permettant de faciliter la contribution de la chaîne de conversion d'énergie éolienne à base de la MADA aux services système.

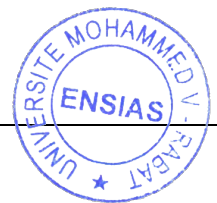
Ensuite, pour faire participer l'éolienne au service système – réglage de fréquence, différentes stratégies de commande sensibles à la fréquence du couple électromagnétique via les convertisseurs d'électronique de puissance et du système d'orientation des pales ont été implémentées et testées. En vue d'examiner les

performances de chacune de ces stratégies, les analyses ont été menées sur un système isolé, composé de quatre unités de production conventionnelles identiques, des charges électriques et d'une ferme éolienne. La possibilité de combiner ces approches de contrôle-commande pour améliorer davantage les performances dynamiques de l'éolienne en termes de réglage de fréquence a été également considéré.

Par la suite, un mécanisme de contrôle de flux magnétique permettant l'affinement du comportement du générateur éolien en matière de tenue face aux creux de tension, de la reprise au vol et de la génération de grosse quantité d'énergie réactive, en cas de défaut, en vue de permettre la participation de l'éolienne au processus de restauration de la tension a été proposé.

Finalement, on a vu l'intérêt de l'intégration d'un système stockage d'énergie par volant d'inertie au système éolien afin de constituer un assemblage capable de procurer des services systèmes au réseau électrique.

Mots-clés : Éolienne ; Machine. Asynchrone. Double Alimentation ; Contrôle par backstepping ; Réglage de fréquence ; Creux de tension ; Système Inertiel de Stockage d'Énergie ; Services système ; Réseau électrique.



Abstract: In Morocco, as on the global scale, the firm political will advocating the use of renewable resources for electricity production, and the development of decentralized power generation are leading to new scientific and technical challenges in the field of electrical engineering. The ever-growing and massive integration of intermittent, fluctuating, and non-programmable wind power generation will not be without consequences for the power system operation and for the quality of energy supplied to its users. Consequently, the expansion in the wind generators' penetration rate has pushed the power system's operators to put more and more restrictions on their grid connection requirements. At the time being, the majority of wind energy producers are called upon to participate, in a similar way to conventional power plants, in the ancillary services of the electrical networks to which they are connected.

In order to allow wind turbines to develop and to take over conventional generation plants in a more fluid and secure manner, the research carried out in this thesis aimed to assess the reliability and performance of the ancillary services provided by the DFIG-based wind generators at the power system scale.

To achieve these objectives, after having introduced the various effects induced by the integration of wind turbines on the operation of electrical networks, first of all, we are interested in the development of robust control strategies, based on the backstepping approach, to facilitate the management of the DFIG-based wind turbine contribution to ancillary services.

Then, to allow the wind turbine to engage actively in frequency regulation, different control strategies based on the electromagnetic torque control, through the power converters, and the pitch control were proposed. To examine these strategies performances, a study case considering an isolated power system that consists of synchronous generators, DFIG-based wind farm, static load, and a sudden frequency disturbance was performed. The usefulness of combining these control strategies to further improve the dynamic wind turbine in terms of frequency regulation was also investigated.

Next, a combination of the use of the crowbar protection and a robust control strategy that takes into account the dynamics of the stator flux variation was proposed to fulfill the latest grid codes requirements under severe voltage disturbances. Namely, protecting the electronic converter installed at the rotor terminals as well as the DC link capacitor, ensuring the Low-Voltage Ride Through (LVRT) capability of the wind turbine, and providing a large amount of reactive power, during the fault in order to assist the power system in the voltage recovery process.

Finally, we studied the interest in associating a flywheel energy storage system to establish with the DFIG based wind turbine an assembly capable of providing ancillary services to the electrical grid.

Keywords: Wind turbine; Doubly fed induction generator; Backstepping control; Frequency regulation; Low voltage ride through; Flywheel Energy storage system; Ancillary services; Electrical network.

