



Avis de Soutenance

Monsieur Salah SOUED

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mercredi 27 novembre 2019** à 11h15

Lieu : Université de Technologie de Belfort-Montbéliard Rue Thierry Mieg 90010 Belfort cedex

Salle : A311

Titre des travaux : Ferme éolienne à base de DFIG et leur impact sur le réseau électrique.

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 63

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Mohamed BECHERIF

Codirecteur de thèse : Haitham Saad MOHAMED RAMADAN HDR NON HDR

Soutenance : Publique A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Claude MARCHAND	Professeur	Université de Paris Saclay	Rapporteur
M. Mohamed Toufik BENCHOUJA	Professeur	Université Mohamed Khider Biskra Algérie	Examineur
M. Mohamed BECHERIF	Maître de conférences HDR	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard	Directeur de thèse
M. Haitham Saad MOHAMED RAMADAN	Ingénieur de recherche / Maître de conférences	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard / Université de Zagazig Egypte	Co-directeur de thèse
M. Mohamed BENBOUZID	Professeur	Université de Bretagne Occidentale	Rapporteur
Mme Imen BAHRI	Maître de Conférences	Université Paris Saclay	Examineur

Mots-clés : Systèmes de production d'énergie éolienne,DFIG,techniques d'optimisation métaheuristique,contrôle vectoriel,

Résumé de la thèse (en français) :

Traditionnellement, les éoliennes fonctionnaient de manière à extraire le maximum d'énergie du vent dans différentes conditions de fonctionnement. Par conséquent, les éoliennes ont été conçues pour fonctionner en mode connecté au réseau ou en mode autonome. En outre, les innovations récentes dans les micro-réseaux ont suscité l'intérêt pour le fonctionnement autonome de l'éolienne, dans le cadre de réseaux isolés, ou pour les générateurs distribués dans les réseaux faibles. Un autre domaine d'application intéressant concerne les parcs éoliens offshore connectés au réseau via une liaison à courant continu haute tension (HVDC). Dans ces systèmes, le parc éolien offshore est isolé du réseau. Alors que, dans la technologie à convertisseur de tension (VSC) -HVDC, la tension du parc éolien est fournie par le redresseur VSC, si un redresseur HVDC à convertisseur de ligne est utilisé, la tension doit être générée par les éoliennes, qui fonctionnent maintenant de manière isolée.

Contrairement aux modes connectés au réseau, une éolienne en fonctionnement autonome et en îlot doit imposer et maintenir une tension et une fréquence tout en faisant correspondre la production et la charge, malgré les variations de la vitesse du rotor dues aux variations de la vitesse du vent et des charges. Lorsque la génération dépasse les charges demandées, elle doit être réduite en contrôlant l'angle de pas des pales. D'autre part, si la génération n'est pas suffisante pour alimenter les charges, le mécanisme de délestage doit être utilisé. Ainsi, les exigences de fonctionnement autonome impliquent que les éoliennes doivent avoir un contrôle actif de la puissance via un contrôle aérodynamique et un contrôle des convertisseurs électroniques de puissance. Les technologies d'éoliennes qui répondent à ces exigences sont celles basées sur des générateurs à vitesse variable et le contrôle du tangage. De nos jours, parmi ces technologies, les GADA ont été utilisés comme la meilleure option. La GADA a plus de liberté pour contrôler les deux convertisseurs. Le contrôle du convertisseur côté grille (GSC) permet de réguler la tension du bus CC et le convertisseur du côté rotor (RSC) commande la machine. Dans cette thèse, la commande du DFIG fournissant une charge isolée est présentée. De plus, le système de contrôle vectoriel (FOC) est utilisé pour fournir une tension et une fréquence constantes du GADA en fonctionnement autonome lorsque les variations de la charge et de la vitesse du rotor sont très fiables et robustes. Le problème de la commande de la machine électrique et en particulier des éoliennes est le changement des paramètres internes de la machine, ce qui détériore considérablement la commande. Récemment, différentes stratégies de contrôle ont été développées pour améliorer les performances dynamiques des systèmes GADA. Le VC est la méthode de contrôle la plus ancienne et la plus simple pour GADA en raison de son microcontrôleur peu coûteux. De plus, le FOC permet d'obtenir une réponse au couple presque aussi rapide qu'une machine à courant continu et améliore les performances pour des changements rapides de la fréquence souhaitée. Le FOC basé sur le contrôleur Integral-Proportional (PI) utilise généralement un capteur de position pour obtenir l'angle du rotor pour la transformation de coordonnées entre d-q et un cadre de référence triphasé. Ainsi, les performances du système dépendent de la précision des informations de position du rotor dérivées du codeur de position. Le système sans capteur de la GADA présente plusieurs avantages en termes de robustesse, de coût, de câblage et de maintenance. Cependant, la réponse du couple n'est pas satisfaisante lorsque l'onduleur PWM est saturé. En outre, l'augmentation de la fréquence de commutation de l'inverseur, des ondulations de couple et de la perte d'harmoniques en régime permanent n'est guère évitée. Par conséquent, pour assurer la stabilité du système et une réponse adéquate dans toute la plage de vitesses, le contrôleur PI doit être soigneusement réglé. Afin de décider des gains ou de l'expression du contrôleur PI, la précision des paramètres de la machine tels que le stator, la résistance du rotor et l'inductance mutuelle est requise. Dans cette thèse, la fonction de contrôle dans le schéma VC est réalisée à l'aide de contrôleurs PI. L'un des défis consiste à ajuster les paramètres des boucles de contrôle PI afin d'offrir des performances optimales autour d'un point d'opération spécifique et de faire face aux points d'opération variables dans le temps. De nombreuses études ont ajusté / calculé les paramètres du contrôleur PI à l'aide de méthodes conventionnelles telles que les méthodes de Ziegler-Nichols (ZN), le lieu des racines, lieu de Bode, la méthode de compensation de pôle ou le placement de pôle. Cependant, le système étant fortement non linéaire, il est difficile de trouver les paramètres de contrôleur optimaux basés sur ces méthodes, qui peuvent fournir une réponse optimale cohérente lorsque le point de fonctionnement change. De plus, dans certains cas extrêmes, le mode instable peut exister en raison d'un ensemble de paramètres PI. Pour résoudre ce problème, cette thèse vise à améliorer la robustesse et les performances dynamiques des contrôleurs du système GADA autonome. Les gains de contrôle optimaux sont obtenus à l'aide de MOT avancés. En raison de la complexité de nombreux problèmes d'optimisation dans le monde réel, de meilleurs algorithmes d'optimisation sont toujours nécessaires. Les problèmes d'optimisation complexes qui ne peuvent pas être résolus à l'aide d'approches conventionnelles nécessitent une recherche métaheuristique efficace pour trouver des solutions optimales. Cette

thèse comporte six chapitres : Chapitre 1 Introduction générale Chapitre 2 présente l'état de l'art et donne la modélisation de l'éolienne à vitesse variable basée sur GADA, notamment le système d'orientation dynamique du modèle, la chaîne cinématique, les convertisseurs électroniques GADA et de puissance, la conception du contrôleur RSC et la VC conventionnelle utilisant PI. Chapitre 3 présente la classification des différents problèmes d'optimisation, la formulation mathématique générale de l'optimisation multi-objectifs, fournit une présentation complète des différents MOT pris en compte dans la détermination des gains optimaux. Chapitre 4 traite d'un système d'éolienne de petite puissance. Le contrôle de la hauteur de la lame (BPC) est appliqué à l'éolienne SG. Les différents MOT sont utilisés pour améliorer le comportement dynamique du système BPC. En outre, la stabilité robuste du BPC déterminée par l'approche proposée étant validée par des MOT-PID dans différentes conditions de fonctionnement, les résultats des simulations numériques utilisant Matlab / Simulink sont présentés. Chapitre 5 les MOTs tels que GWO, ABC, CSA et WOA sont appliqués au système GADA autonome, les tests numériques et expérimentaux sont effectués pour vérifier l'efficacité des contrôleurs proposés, par comparaison avec le régulateur classique de la stratégie FOC du GADA, les résultats des simulations et la validation expérimentale du contrôleur PI classique sont présentés et comparés aux contrôleurs proposés basés sur les techniques d'optimisation des MOT. Chapitre 6 présente les conclusions finales de la thèse et les perspectives correspondantes.

Abstract (in English):

Traditionally, wind turbines have been operated to extract maximum energy output from wind under different operating conditions. Therefore, wind turbines have been designed to work either in the grid connected mode or stand-alone mode. In addition, recent innovations in micro-grids have aroused the interest in the stand-alone operation of the wind turbine, as part of isolated grids, or the distributed generators in weak networks. Furthermore, another interesting application of the wind energy system is the offshore wind farms grid connected via a High-Voltage Direct Current (HVdc) link. In these applications, the offshore wind farm is isolated from the grid. Whereas in Voltage-Sourced Converter (VSC)-HVdc technology the wind farm voltage is supplied by the VSC rectifier, if a line-commutated converter HVdc rectifier is utilized, the voltage must be generated by the wind turbine generators, which are now operating in the isolated grid. Unlike in grid-connected modes, a wind turbine in stand-alone and islanding operation must impose and maintain voltage and frequency while matching generation and load, even with varying rotor speed and loads variations. When generation exceeds the demanded loads, generation must be reduced by controlling the pitch angle of blades. Besides, the load shedding mechanism should be used if the generation is not enough to supply the loads. Thus, stand-alone operation requirements must have active power control through power electronic converters control. The wind turbine technologies that meet these requirements are those based on variable speed generators and pitch control. Nowadays, among these technologies, DFIGs has been used as the best option. The DFIG has more freedom to control the two converters. Grid Side Converter (GSC) control to regulate the DC bus voltage and the Rotor Side Converter (RSC) controls the machine. In this thesis, the control of the DFIG supplying an isolated load is presented. Moreover, Field Oriented Control (FOC) Vector Control (VC) scheme is used to provide constant voltage and frequency of the DFIG in stand-alone operation when variations in both load and rotor speed in a very reliable and robust way. The problem of electrical machine control and especially for wind turbines is the change of internal parameters of the machine, which greatly deteriorates the control. Recently, different control strategies have been developed to improve the dynamic performance of DFIG systems. The VC is the earliest and simplest control method for DFIG due to its low-cost micro-controller. Moreover, the FOC of DFIG obtains almost as quick torque response as a DC machine and improved the performance for fast changes in desired frequency. The FOC based on the Integral-Proportional (PI) controller usually employs a position sensor to obtain the rotor angle for coordinate transformation between d-q and three-phase reference frame. Thus, the performance of system is dependent on the accuracy of the rotor position information derived from the position encoder. The DFIG sensorless scheme has several benefits in terms of robustness, cost, cabling and maintenance. However, the torque response is unsatisfactory when the PWM inverter saturates. In addition, the increase of inverter switch frequency, torque ripples and harmonic loss at steady state operation is hardly avoided. Therefore, to ensure system stability and adequate response within the entire speed range, the PI controller needs to be carefully tuned. In order to decide the gains or the expression of the PI controller, accuracy of machine parameters such as stator, rotor resistance and mutual inductance is required. In this thesis, the control function within the VC scheme is performed by using PI controllers. One challenge is how to tune the parameters of the PI control loops to provide optimal performance around one specific operation point and to cope with the time varying operation points. Many, studies have tuned/calculated

the PI controller's parameters using conventional methods such as Ziegler-Nichols (ZN) tuning, root-locus, bode, pole compensation method or pole-placement. However, because the DFIG system is highly nonlinear, it is difficult to find the optimal controller parameters based on these methods which can provide a consistent optimal response when the operating point changes. Moreover, in some worst cases, unstable mode may exist because of one set of PI parameters. To solve this problem, this thesis aims at enhancing the controllers robustness and dynamic performance of the stand-alone DFIG system. The optimal control gains are obtained using advanced MOTs. Due to the complexity of many real-world optimization problems, better optimization algorithms are always needed. Complex optimization problems that cannot be solved using conventional approaches require efficient metaheuristics search to find optimal solutions. This thesis contains six chapters as: Chapter 1 General Introduction Chapter 2 presents the state of the art, modeling of the DFIG based variable-speed wind turbine, including dynamic model pitch orientation system, drive train, DFIG and power electronic converters, the RSC controller's design and conventional VC using PI are presented. Chapter 3 the classification of different optimization problems is presented, the general mathematical formulation of multi-objective optimization is described, provides a comprehensive presentation for the various MOTs considered in the optimal gain determination. Chapter 4 illustrates small model wind turbine system, the Blade Pitch Control (BPC) is applied to the SG wind turbine. The different MOTs are used for enhancing the dynamic behavior of the BPC system. In addition, the robust stability of the BPC determined by the proposed approach MOTs-PID is validated under different operation conditions, the numerical simulations results using Matlab/Simulink are presented. Chapter 5 the MOTs such as GWO, ABC, CSA and WOA are applied to the stand-alone DFIG system, the numerical and experimental tests are carried out to verify the effectiveness of the proposed controllers, through a comparison with the classical PI regulator in the framework of the FOC strategy of the DFIG, the simulations results and experimental validation for the classical PI controller are presented and compared to the proposed controllers based on MOTs optimization techniques. Chapter 6 the final conclusions of the thesis and the relevant perspectives are presented.