

Recrutement d'un(e) Post Doc

Sujet de Post-Doc

Titre : Réduction des fluctuations de puissance électrique d'une éolienne flottante via l'intégration d'étages de stockage d'énergie.

Title of the project : Reduction of electrical power fluctuations of a floating wind turbine through the integration of energy storage stages

Environnement et contexte de travail

L'Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique (IREENA, UR 4642) est une Unité de Recherche située à Saint-Nazaire, organisée en trois thématiques de recherche. Les recherches menées à l'IREENA portent sur la gestion, le dimensionnement et l'intégration des énergies nouvelles au sein d'applications allant de la production d'énergie renouvelable (éolien, hydrolien ...) et décentralisée (smart-grid) ainsi que les solutions de transport décarboné. Il s'agit plus particulièrement de mettre en œuvre des concepts de dimensionnement et de contrôle commande optimisé de chaînes de puissance intégrant de nouvelles technologies de conversion, de production et de stockage.

Ce post-doc s'intègre dans le cadre du projet ANR CREATIF : Control and REAL Time simulation of Floating wind turbines and integration to grid.

Le sujet considéré dans ce projet est multidisciplinaire. Il est à la frontière entre le Génie Electrique, l'Automatique et la Mécanique.

Positionnement général et objectifs

La production de l'énergie par des éoliennes offshore connaît un développement important en raison de la demande croissante en énergie renouvelable. L'intérêt porté sur ce moyen de production, en comparaison aux éoliennes onshore, est dû essentiellement à la qualité des vents qui sont plus réguliers en mer ainsi que son impact visuel et sonore réduit dans les zones maritimes. L'éloignement de ces éoliennes offshore du rivage s'accompagne de profondeurs d'eau de plus en plus importantes pouvant dépasser des profondeurs de 50 m, ce qui impose l'utilisation d'éoliennes offshore de type flottant (Floating Offshore Wind Turbine : FOWT).

Cependant, du fait des mouvements de la plateforme, liés aux états de mer et à la traînée de l'éolienne elle-même, des problèmes de stabilité des structures induisent des oscillations (tour et pâles) pouvant impacter la durabilité de l'éolienne. La commande de l'éolienne devient alors complexe avec un double enjeu : garantir une production optimale de l'énergie tout en limitant les oscillations de la tour et en assurant la stabilité de l'éolienne sous l'effet conjoint des vagues et du vent.

Afin de réduire leur coût de fabrication et d'exploitation, les éoliennes offshore flottantes doivent disposer d'un générateur puissant et d'un poids global minimum. Cela a pour conséquence de rendre les FOWT sensibles aux excitations dynamiques (charges du vent et des vagues). Ce qui se traduit par une fluctuation de la puissance électrique produite.

Dans ce travail, nous proposons d'évaluer les apports de l'intégration d'éléments de stockage énergétique dans la chaîne de conversion électrique à base de FOWT sur la qualité de l'énergie injectée au réseau. Cette production doit à la fois répondre à la demande du réseau et aussi contribuer à sa stabilité en matière de fréquence et de tension, malgré la fluctuation du couple électromagnétique de la génératrice due à la nécessité de

minimiser les mouvements de l'ensemble de la structure flottante. Afin d'atteindre ces objectifs, l'utilisation de systèmes de stockage d'énergie visant à lisser la puissance électrique injectée au réseau seront étudiés et leurs performances évaluées. Ce travail constitue une étape de base indispensable dans la perspective d'une extension à l'échelle d'une ferme éolienne.

L'approche envisagée

La génératrice électrique de l'aérogénérateur utilisé dans ce projet sera de type synchrone à aimants permanents à couplage mécanique direct, pilotée par un convertisseur AC/DC. La connexion au réseau sera assurée par un convertisseur DC/AC de type « multiniveaux » qui devra satisfaire aux exigences de fiabilité et permettre aisément l'intégration d'éléments de stockage énergétique (batteries ou super-condensateurs) dédiés au lissage de la puissance injectée au réseau.

La réalisation des objectifs reposera sur les différentes étapes ci-dessous :

- Recherche bibliographique sur les structures et la commande d'éoliennes flottantes.
- Prise en main du logiciel OpenFAST et analyse du comportement dynamique de l'éolienne en fonction des zones de fonctionnement.
- Quantification des dynamiques de la puissance fournie par la génératrice de l'éolienne pour différents scénarii de vent, de houle et conditions de réglage des algorithmes de contrôle
- Etude comparative des technologies de stockage candidates (batteries électrochimiques, super-condensateurs, ...) et définir leur mode de couplage à la chaîne de conversion électrique.
- Modélisation de l'architecture de lissage retenue et intégration de ces modèles à l'ensemble de la simulation.
- Dimensionnement optimale des éléments de stockage pour satisfaire les contraintes de limitation des dynamiques de puissance, en tenant compte des contraintes de fiabilité et de viabilité économique.
- Développement de lois de commande robustes pour maximiser la puissance dans la zone II et maintenir la puissance à sa valeur nominale dans la zone III tout en réduisant les oscillations de la FOWT en vue de réduire les fluctuations de puissance électrique ainsi que son intégration sur le réseau électrique.
- Validation par simulation sous OpenFAST (Co-simulation Matlab/FAST) des apports des lois de commande développées sur différents scénarii avec prise en compte des organes de stockage.
- Validation des stratégies développées sur un système expérimental temps réel de type Opal-RT.

References

- [1] Musial W, Butterfield S, Ram B. Energy from offshore wind. In: *Offshore technology conference*, Houston, Texas; 2006.
- [2] Q. Tabart, et al. Hybrid energy storage system microgrids integration for power quality improvement using four leg three level NPC inverter and second order sliding mode control, vol.65, no.1, pp.424-435, IEEE Trans. Industrial Electronics, 2018.
- [3] Zhang J., Moreau L., Houari A., Machmoum M., "Design optimization and control of a double stator permanent magnet generator for tidal energy applications", *European Journal of Electrical Engineering*, 2018: 339-359.
- [4] Chen H., Aït-Ahmed N., Machmoum M., Zaïm M.E., Modeling and Vector Control of Marine Current Energy Conversion System Based on Doubly Salient Permanent Magnet Generator, *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, vol. 7, num. 1, pages 409-418, jan. 2016
- [5] G. Betti, et al. Development of a Control-Oriented Model of Floating Wind Turbines". In: *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 22.1 (2014).
- [6] F. Lemmer, et al. Control design methods for floating wind turbines for optimal disturbance rejection, *Journal of Physics: Conference Series*, vol.753, 2016.
- [7] C. Zhang, S.V. Gutierrez, F. Plestan, et J. de Leon-Moralès, "Adaptive super-twisting control of floating wind turbines with collective blade pitch control", *IFAC CSGRES 2019*
- [8] F. Sandner et al, Low-Order Modeling, Controller Design and Optimization of Floating Ofshore Wind Turbines, thèse de doctorat, University of Stuttgart, 2018.

Compétences nécessaires

Le candidat doit avoir des compétences en Génie Electrique (machines électriques, électronique de puissance) et Automatique. Des connaissances sur l'utilisation du logiciel OpenFAST ainsi que de Matlab/Simulink pour la simulation des éoliennes offshores sont fortement souhaitées.

Savoir-être

Travail en équipe, autonomie et sens des responsabilités

Lieu du post-doctorat

IREENA site de Saint-Nazaire (CRTT, 37 Bd de l'Université 44600 Saint-Nazaire).

Candidatures et durée du post-doctorat

Candidatures avant le 30 Août 2022

Durée du contrat **18 mois** et prise de poste souhaitée à partir du 1er octobre 2022.

Contact

M. Machmoum

Email : mohamed.machmoum@univ-nantes.fr

Tel : (33) 2 49 14 20 03

M. Aït-Ahmed

Email : mourad.ait-ahmed@univ-nantes.fr

Tel : (33) 2 49 14 22 14

English version

Working environment and context

The Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique (IREENA, UR 4642) is a research unit located in Saint-Nazaire, organised into three research themes. The research carried out at IREENA focuses on the management, dimensioning and integration of new energies within applications ranging from renewable energy production (wind, Tidal energy ...) and decentralised energy production (smart-grid) to decarbonised transport solutions. More specifically, the aim is to implement optimised sizing and control concepts for power chains integrating new conversion, production and storage technologies.

This post-doc is part of the ANR CREATIF project: Control and REAL TIME simulation of Floating wind turbines and integration to grid.

The subject considered in this project is multidisciplinary one. It is at the boundary of Electrical Engineering, Automation and Mechanics.

General positioning and objectives

The production of energy by offshore wind turbines is growing more and more due to the growing demand for renewable energy. The interest in this means of production, in comparison with onshore wind turbines, is mainly due to the quality of the winds, which are more regular at sea, as well as its reduced visual and noise impact in maritime areas. The distance of these offshore wind turbines from the shoreline is accompanied by increasing water depths, which can exceed 50 m, making it necessary to use floating offshore wind turbines (FOWT).

However, due to platform movements, related to sea states and the drag of the wind turbine itself, structural

stability problems lead to oscillations (tower and blades) that can affect the durability of the wind turbine. The control of the wind turbine becomes complex with a double challenge: to guarantee optimal energy production while limiting the oscillations of the tower and ensuring the stability of the wind turbine under the combined effect of waves and wind.

In order to reduce their manufacturing and operating costs, floating offshore wind turbines must have a powerful generator and a minimum overall weight. This results in FOWTs being sensitive to dynamic excitations (wind and wave loads). This results in a fluctuation in the electrical produced power.

In this work, we propose to evaluate the contribution of the integration of energy storage elements in the electrical conversion chain based on a FOWT on the quality of the energy injected into the network. This generation must both meet the demand of the grid and also contribute to its stability in terms of frequency and voltage, despite the fluctuation of the electromagnetic torque of the generator due to the need to minimise the movements of the whole floating structure. In order to achieve these objectives, the use of energy storage systems aimed at smoothing the electrical power injected into the grid will be studied and their performance evaluated. This work constitutes an indispensable basic step in the perspective of an extension to the scale of a wind farm.

The envisaged approach

The electrical generator of the wind turbine used in this project will be a direct mechanically coupled permanent magnet synchronous type, driven by an AC/DC converter. The connection to the grid will be ensured by a "multilevel" DC/AC converter which will have to meet reliability requirements and easily allow the integration of energy storage elements (batteries or super-capacitors) dedicated to the smoothing of the power injected to the grid.

The achievement of the objectives will be based on the following steps:

- Bibliographic research on structures and control of floating wind turbines.
- Handling of the OpenFAST software and analysis of the dynamic behaviour of the wind turbine function of the operating zones.
- Quantify the power dynamics of the wind turbine generator for different wind and wave scenarios and control algorithm settings
 - Make a comparative study of different storage technologies (batteries, super-capacitors, etc.) and define their coupling mode to the electrical conversion chain.
 - Model the chosen smoothing architecture and integrate these models into the overall simulation.
 - Optimal sizing of storage elements to meet the constraints of limiting power dynamics, taking into account reliability and economic viability.
 - Develop robust control laws to maximise power in Zone II and maintain power at its nominal value in Zone III while reducing FOWT oscillations in order to reduce electrical power fluctuations and assure integration into the electrical grid.
- Validate by simulation under OpenFAST (Matlab/FAST co-simulation) the contributions of the control laws developed on different scenarios taking into account the storage devices.
- Validation of the strategies developed on a real-time experimental system of the Opal-RT type.

Contact

M. Machmoum

Email : mohamed.machmoum@univ-nantes.fr

Tel : (33) 2 49 14 20 03

M. Aït-Ahmed

Email : mourad.ait-ahmed@univ-nantes.fr

Tel : (33) 2 49 14 22 14