



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

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

Mme **SAADY Ikram**

Soutiendra : **le Samedi 12/07/2025 à 10H00**

Lieu : *Centre des Etudes Doctorales - USMBA – Amphi 1*

Une thèse intitulée :

«Contribution to The Optimization of Energy Extraction for Photovoltaic Water Pumping Systems Using Adaptive Control Strategies, With Implementation and Validation on 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
EL BEKKALI Chakib	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
LAGRIOUI Ahmed	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Meknès	PES	Rapporteur & Examineur
DEROUICH Aziz	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	PES	Rapporteur & Examineur
ZAKRITI Alia	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Tétouan	PES	Rapporteur & Examineur
EL YAAKOUBI Ali	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
EL ALAMI Rachid	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	MCH	Examineur
KARIM Mohammed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse
BOSSOUFI Badre	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Co-Directeur de thèse



Résumé de la thèse

La demande croissante en sources d'énergie durables et la hausse du coût du carburant diesel soulignent la nécessité d'alternatives fiables pour les systèmes de pompage d'eau. Les systèmes de pompage d'eau photovoltaïques (PVWPS) représentent une solution prometteuse, notamment dans les régions éloignées ou rurales où l'accès au réseau électrique est limité ou coûteux. Par rapport aux pompes alimentées par diesel, les systèmes photovoltaïques sont plus durables, nécessitent moins de maintenance et offrent une fiabilité supérieure, ce qui les rend idéaux pour les applications hors réseau.

Un contrôle efficace des systèmes de pompage d'eau photovoltaïques est essentiel pour garantir des performances optimales et une efficacité énergétique maximale. Cela nécessite l'intégration de deux régulateurs : l'un pour réguler la production d'énergie du panneau photovoltaïque et l'autre pour contrôler le moteur de la pompe. Ces contrôleurs agissent en coordination afin d'assurer un fonctionnement stable, d'améliorer l'efficacité énergétique et de permettre au système de s'adapter aux conditions environnementales changeantes.

Ce travail de recherche explore des stratégies de contrôle avancées pour les PVWPS, en se concentrant sur trois configurations distinctes de contrôleurs, chacune testée de manière approfondie à travers des simulations réalisées sur MATLAB/Simulink.

La première configuration intègre l'algorithme de Conductance Incrémentale (INC) pour le MPPT avec un contrôle orienté de champ indirect (IFOC) pour le moteur à induction. Cette configuration améliore la stabilité du système et réduit les oscillations. Cependant, sa réponse dynamique aux changements soudains d'irradiation met en évidence certaines limitations.

La deuxième configuration utilise un MPPT basé sur un filtre de Kalman (KF), combiné avec un Contrôle Direct de Couple (DTC), alimenté par un inverseur à trois niveaux à point neutre clampé (NPC). Cette configuration améliore la stabilité du système et le temps de réponse. Cependant, bien qu'elle présente des avantages significatifs, elle reste sensible aux conditions initiales et entraîne des coûts plus élevés en raison de l'ajout de composants électroniques supplémentaires.

La troisième configuration intègre un MPPT basé sur un réseau de neurones artificiels (ANN), combiné à un DTC amélioré par un ANN, ce qui entraîne des améliorations substantielles de la capture d'énergie photovoltaïque, une réduction des ondulations de flux et de couple, ainsi qu'une meilleure précision du contrôle du moteur. Cette approche basée sur les réseaux de neurones surpasse les configurations INC-IFOC et KF-PDTC, offrant une efficacité, une stabilité et une fiabilité supérieures.

Enfin, le PVWPS avec ces trois configurations a été validé expérimentalement sur une carte de prototypage dSPACE DS1104, confirmant l'efficacité des contrôleurs basés sur les réseaux de neurones pour les applications PVWPS à haute performance.

Mots clés :

Système de pompage photovoltaïque (PVWPS) ; Poursuite du point de puissance maximale (MPPT) ; Conductance Incrémentale (INC) ; Filtre de Kalman (KF) ; Réseau de Neurones Artificiels (ANN) ; Commande des moteurs asynchrones ; dSPACE DS1104 ; MATLAB/Simulink.



Abstract

The increasing demand for sustainable energy sources and the rising cost of diesel fuel highlight the need for reliable alternatives in water pumping systems. Photovoltaic (PV)-based water pumping systems (PVWPS) offer a promising solution, particularly in remote or rural areas where grid access is limited or expensive. Compared to diesel-powered pumps, PV systems are more sustainable and reliable and require less maintenance, making them ideal for off-grid applications.

Effective control of photovoltaic water pumping systems is essential to ensure optimal performance and energy efficiency. Achieving this requires integrating two controllers: one to regulate the power output from the PV array and the other to manage the pump motor. These controllers work together to ensure consistent operation, enhance energy efficiency, and enable the system to adapt to changing environmental conditions.

This thesis investigates advanced control strategies for PVWPS, focusing on three distinct configurations of controllers, each tested extensively through simulations in MATLAB/Simulink.

The first configuration integrates the Incremental Conductance (INC) algorithm for MPPT with Indirect Field-Oriented Control (IFOC) for the induction motor. This configuration improves system stability and reduces oscillations. However, its dynamic response to sudden changes in irradiance reveals certain limitations.

The second configuration uses Kalman Filter (KF)-based MPPT combined with Direct Torque Control (DTC), powered by a three-level neutral-point-clamped (NPC) inverter. This configuration enhances system stability and response time. However, it offers significant advantages but is sensitive to initial conditions and incurs higher costs due to the additional power electronics required.

The third configuration integrates an Artificial Neural Network (ANN)-based MPPT combined with ANN-enhanced DTC, resulting in substantial improvements in PV power capture, minimized flux and torque ripples, and enhanced motor control precision. This ANN-based approach outperforms INC-IFOC and KF-PDTC, delivering superior efficiency, stability, and reliability.

Lastly, the PVWPS with three configurations were validated experimentally on a dSPACE DS1104 prototyping board, confirming the effectiveness of ANN-based controllers for high-performance PVWPS applications.

Keywords:

Photovoltaic Water Pumping System (PVWPS); Maximum Power Point Tracking (MPPT); Incremental Conductance (INC); Kalman Filter (KF); Artificial Neural Network (ANN); Induction Motor Control; dSPACE DS1104; MATLAB/Simulink.