



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

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

Mr **ADOUAIRI Mohamed said**
Soutiendra : le Samedi 11/07/2026 à 10H00
Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

Contribution to Advanced and Resilient Control of AC Microgrids Integrating Photovoltaic and Energy Storage Systems: Modeling and Embedded Platform Implementation

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
Pr. MOTAHHIR Saad	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Fès	MCH	Président
Pr. El MOURABIT Youness	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	MCH	Rapporteur
Pr. BENABOUD Aziza	Ecole Royale Navale, Casablanca	PES	Rapporteur
Pr. El OUANJLI Najib	Ecole Supérieure de Technologie, Meknès	MCH	Rapporteur
Pr. EL ALAMI Rachid	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr. EL AFOU Youssef	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Fès	MCH	Examineur
Pr. BOSSOUFI Badre	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

L'intégration massive des énergies renouvelables dans les réseaux électriques modernes soulève de nombreux défis liés à la stabilité, à la qualité de l'énergie et à la gestion des flux de puissance. Dans ce contexte, les microgrilles AC associées aux systèmes de stockage par batterie représentent une solution prometteuse pour améliorer la flexibilité, la fiabilité et la résilience des systèmes énergétiques.

Cette thèse porte sur le développement d'une stratégie de commande résiliente appliquée à une microgrille AC intégrant des générateurs photovoltaïques et un système de stockage par batterie. Dans un premier temps, une étude approfondie de la modélisation des systèmes photovoltaïques est réalisée, suivie du développement d'une technique MPPT basée sur une méthode Perturb and Observe à pas variable. La stratégie proposée est validée en temps réel à l'aide de la plateforme DSPACE et permet d'améliorer la rapidité de convergence ainsi que l'extraction de la puissance maximale.

Par la suite, une stratégie avancée de commande combinant le contrôle orienté tension (VOC) et la commande floue par mode glissant (Fuzzy Sliding Mode Control) est développée afin d'améliorer les performances dynamiques et la robustesse des systèmes photovoltaïques connectés au réseau.

Les travaux se poursuivent par une étude détaillée des microgrilles AC et des approches de commande résilientes. Une nouvelle architecture de microgrille AC intégrant des générateurs photovoltaïques, un système de stockage par batterie et une commande basée sur le MSOGI-FLL associée à une impédance virtuelle complexe est alors proposée. Le système de stockage est connecté à travers une structure bidirectionnelle permettant les modes de charge et de décharge de la batterie.

Les résultats obtenus démontrent que la stratégie proposée améliore significativement la stabilité de la tension et de la fréquence, réduit les distorsions harmoniques, favorise un partage adéquat des puissances et renforce la robustesse du système face aux perturbations et aux variations des conditions de fonctionnement. Cette recherche contribue ainsi au développement de microgrilles AC résilientes capables d'assurer une intégration efficace des énergies renouvelables dans les futurs réseaux électriques intelligents.

Mots-clés : Microgrille AC, Photovoltaïque, Stockage par batterie, Commande résiliente, MSOGI-FLL, Impédance virtuelle complexe, MPPT, VOC, Fuzzy Sliding Mode Control, Qualité de l'énergie.

Contribution to Advanced and Resilient Control of AC Microgrids Integrating Photovoltaic and Energy



Storage Systems: Modeling and Embedded Platform Implementation

Abstract :

The large-scale integration of renewable energy sources into modern power systems introduces significant challenges related to stability, power quality, and energy management. In this context, AC microgrids combined with battery energy storage systems have emerged as a promising solution to enhance flexibility, reliability, and resilience.

This PhD thesis focuses on the development of a resilient control strategy for an AC microgrid integrating photovoltaic generators and a battery energy storage system. First, a comprehensive study of photovoltaic system modeling is conducted, followed by the development of a variable-step Perturb and Observe (P&O) Maximum Power Point Tracking (MPPT) technique. The proposed approach is validated in real time using a DSPACE platform and demonstrates improved tracking speed and maximum power extraction efficiency.

Next, an advanced control strategy combining Voltage-Oriented Control (VOC) and Fuzzy Sliding Mode Control is developed to improve the dynamic performance and robustness of grid-connected photovoltaic systems.

A detailed investigation of AC microgrids and resilient control approaches is then carried out. Based on this analysis, a novel AC microgrid architecture integrating photovoltaic generators, a battery energy storage system, and a resilient control strategy based on Multiple Second-Order Generalized Integrator Frequency-Locked Loop (MSOGI-FLL) combined with a complex virtual impedance is proposed. The storage system is connected through a bidirectional power conversion structure enabling both charging and discharging operating modes.

Simulation and validation results demonstrate that the proposed strategy significantly improves voltage and frequency stability, reduces harmonic distortion, ensures proper power sharing, and enhances system robustness under disturbances and varying operating conditions. The proposed solution contributes to the development of resilient AC microgrids capable of supporting the effective integration of renewable energy sources into future smart grids.

Keywords: AC Microgrid, Photovoltaic System, Battery Energy Storage System, Resilient Control, MSOGI-FLL, Complex Virtual Impedance, MPPT, Voltage-Oriented Control, Fuzzy Sliding Mode Control, Power Quality.