



AVIS DE SOUTENANCE D'UNE THESE DE DOCTORAT

Le Directeur de l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées a le plaisir d'informer le public
qu'une soutenance de thèse de Doctorat en

«**Sciences et ingénierie**»

aura lieu le 28/12/2024 à 10h00 à l'ENSA de Kénitra

La Thèse sera présentée par Mr KOUNDI MOHAMED

Sous le thème :

**Modeling and Nonlinear Control of PEM electrolyzer
Systems for Green Hydrogen Production**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Titre	Etablissement
BENBRAHIM MOHAMMED	Président	ENSA, Kénitra
ABOULOIFA ABDELMAJID	Rapporteur	ENSEM, Casablanca
EL MAGRI ABDELMOUNIME	Rapporteur	ENSET, Casablanca
BAJIT ABDERRAHIM	Rapporteur	ENSA, Kénitra
EL AKKARY AHMED	Examineur	EST, Salé
LAGRAT ISMAIL	Examineur	ENSA, Kénitra
EL FADIL HASSAN	Directeur de thèse	ENSA, Kénitra



Nom et Prénom : KOUNDI MOHAMED
Date de soutenance : 28/12/2024
Directeur de Thèse : EL FADIL HASSAN

Sujet de thèse :

Modeling and Nonlinear Control of PEM electrolyzer Systems for Green Hydrogen Production

Résumé:

Cette thèse aborde l'urgence de développer des solutions d'énergie renouvelable en réponse à la crise climatique croissante et à la nécessité pressante de s'éloigner des combustibles fossiles. Cette recherche se concentre sur le développement de technologies novatrices en matière d'énergie renouvelable, avec un accent particulier sur l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité de la production d'hydrogène vert. La recherche commence par une analyse approfondie des modèles d'électrolyseurs PEM existants, des systèmes de conversion d'énergie et des stratégies de contrôle associées à la production d'hydrogène basée sur des électrolyseurs PEM. Cette étude met en évidence les lacunes des méthodologies actuelles et propose des approches innovantes pour la modélisation des électrolyseurs PEM ainsi que des techniques de contrôle pour les systèmes de production d'hydrogène basés sur ces électrolyseurs. L'étude propose des méthodologies de modélisation électrique avancées pour les électrolyseurs PEM, incluant le comportement dynamique qui intègre des ajustements en temps réel aux conditions de fonctionnement. De plus, cette recherche introduit plusieurs stratégies de contrôle avancées, telles que le contrôle par retour d'état, le Contrôle en Mode Glissant (SMC), le Contrôle en Mode Glissant Adaptatif (ASMC) et le Contrôle en Mode Glissant Super-Torsadé (ST-SMC). Ces stratégies sont conçues pour atteindre une régulation précise de la tension et du courant dans l'électrolyseur PEM, garantir une répartition égale du courant entre les bras du convertisseur, et offrir une performance robuste face aux incertitudes du modèle, aux perturbations externes et à l'inaccessibilité des mesures. L'intégration de ces méthodes de contrôle avancées optimise non seulement l'efficacité énergétique et assure un contrôle précis du flux d'hydrogène, mais améliore également de manière significative la sécurité du système, la rentabilité et l'état de santé de l'électrolyseur PEM. En outre, cette thèse a développé un émulateur d'électrolyseur PEM utilisant un convertisseur Boost DC/DC. Cet émulateur reproduit fidèlement la courbe de polarisation non linéaire et le comportement dynamique des électrolyseurs PEM sous différentes conditions de fonctionnement. Il constitue une méthode utile, sûre et économique pour tester, évaluer et améliorer les systèmes de production d'hydrogène. La simulation et la validation expérimentale du modèle d'électrolyseur PEM proposé, des stratégies de contrôle avancées et de l'émulateur d'électrolyseur PEM confirment que tous les objectifs de recherche ont été atteints avec succès. Mots-clés : Hydrogène Vert, Électrolyseur PEM, Convertisseur DC/DC, Convertisseur Buck Intercalé, Circuit Électrique Équivalent (CEE), Contrôle en Mode Glissant (SMC), Contrôle en Mode Glissant Adaptatif (ASMC), Contrôle en Mode Glissant Super-Torsadé (ST-SMC), Hardware-In-Loop (HIL), Émulateur d'Électrolyseur PEM.

Abstract:

This thesis addresses the urgency of developing renewable energy solutions in response to the growing climate crisis and the pressing need to shift away from fossil fuels. This research focuses on the development of innovative renewable energy technologies, with a particular emphasis on improving the efficiency and reliability of green hydrogen production. This research begins with an in-depth analysis of existing PEM electrolyzer models, power conversion systems, and control strategies associated with hydrogen production based PEM electrolyzer. This study highlights the gaps of current methodologies and proposes innovative approaches for modeling PEM electrolyzers and control techniques for hydrogen production systems based on PEM electrolyzers. The study proposes advanced electrical modeling methodologies for PEM electrolyzers, including dynamic behavior that incorporates real-time adjustments to operating conditions. This approach addresses the limitations of traditional static models, providing a more accurate representation of the electrolyzer's behavior under varying conditions such as temperature, pressure, and operation conditions. Furthermore, this research introduces several advanced control strategies, including output feedback control, Sliding Mode Control (SMC), Adaptive Sliding Mode Control (ASMC), and Super-Twisting Sliding Mode Control (ST-SMC). These strategies are designed to achieve precise regulation of voltage and current in the PEM electrolyzer, ensure equal current distribution among converter legs, and provide robust performance against model uncertainties, external disturbances, and measurement inaccessibility. The integration of these advanced control methods not only optimizes energy efficiency and ensures precise hydrogen flow control but also significantly enhances system safety, cost-effectiveness, and the state of health of the PEM electrolyzer. Additionally, this thesis developed a novel Hardware-in-Loop (HIL) PEM electrolyzer emulator using a DC/DC boost converter. This emulator accurately reproduces the nonlinear polarization curve including dynamic behavior of PEM electrolyzers under different operating conditions. It is a useful, safe, and inexpensive way to test, evaluate, and improve systems for hydrogen production based PEM electrolyzers. Simulation and experimental validation of the proposed PEM electrolyzer model, advanced control strategies, and HIL PEM electrolyzer emulator confirm that all research objectives were successfully met. Keywords: Green Hydrogen, PEM Electrolyzer, DC/DC Converter, Interleaved Buck Converter, Equivalent Electrical Circuit (EEC), Sliding Mode Control (SMC), Adaptive Sliding Mode Control (ASMC), Super-Twisting Sliding Mode Control (ST-SMC), Hardware-In-Loop (HIL), PEM Electrolyzer Emulator.