



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Amina DAGHOURI

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique/Sciences de l'ingénieur

Spécialité : Génie électrique

Le Mercredi 23 Octobre 2024 à 15h30 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**Integrated Design and Optimization of Electrical Power Systems
for Nanosatellites : Hybrid Energy Storage, Control Strategies,
and Integrated Circuits Selection**

Président :

Pr. Saïd GUEDIRA, PES, École Nationale Supérieure des Mines de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Soumia EL HANI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Abdelmajid ABOULOIFA, PES, ENSEM, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Hamid OUADI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Abdelbari REDOUANE, MCH, École Nationale Supérieure des Mines de Rabat

Examineur :

Pr. Abdellah BAH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Invités :

Dr. Akram RAFIQ, Centre Royal de Télédétection Spatiale

Dr. Jamila HASSAR, Centre Royal d'Etudes et de Recherches Spatiales

Résumé:

La demande croissante de petits satellites, en particulier de nanosatellites, dans les missions spatiales a conduit à un besoin urgent de systèmes énergie de bord (EPS) efficaces et fiables. Les nanosatellites font face à des contraintes énergétiques importantes, notamment lors des phases critiques telles que la transmission de données, les manœuvres d'attitude et les éclipses. Les EPS traditionnels, reposant uniquement sur des batteries, peinent à répondre aux exigences de densité de puissance tout en maintenant une fiabilité à long terme. Cette thèse propose un nouveau système de stockage d'énergie hybride (HESS) pour un nanosatellite 3U, intégrant des batteries à haute densité énergétique avec des supercondensateurs à haute densité de puissance, afin d'optimiser à la fois les demandes de puissance de pointe à court terme et les besoins en stockage d'énergie à long terme.

Le design adopte une topologie hybride parallèle active, incorporant des convertisseurs DC-DC SEPIC et un système de suivi du point de puissance maximale (MPPT) basé sur la méthode de conductance incrémentale (INC). Afin d'assurer une distribution et un stockage efficaces de l'énergie, une stratégie de gestion de l'énergie (PMS) est développée et testée à l'aide de simulations MATLAB/Simulink. Les performances du HESS proposé sont comparées aux topologies semi-actives et aux configurations traditionnelles basées uniquement sur les batteries. Les résultats montrent une réduction significative de la profondeur de décharge (DoD) de 53.42%, ce qui prolonge la durée de vie des batteries et améliore la fiabilité de la mission, avec un impact minimal sur la masse totale du système.

De plus, la thèse inclut la conception et le développement d'une carte EPS optimisée en utilisant les outils PADS, avec une mise en page du circuit imprimé (PCB) fabriquée par JLCPCB. La carte EPS propose des capacités avancées de génération, de stockage, de conversion et de distribution de puissance, garantissant un fonctionnement efficace dans divers scénarios de missions de nanosatellites.

Enfin, un algorithme d'optimisation basé sur la méthode MG3PCX est utilisé pour sélectionner les circuits intégrés (ICs) optimaux pour l'EPS, améliorant encore ses performances et réduisant les pertes du système. Les résultats montrent que la conception optimisée de l'EPS surpasse les méthodes conventionnelles en termes d'efficacité et de fiabilité, offrant une solution robuste pour les futures missions de nanosatellites.

Mots-clés: Cubesat, énergie de bord, gestion d'énergie, nanosatellite, optimisation, stockage d'énergie hybride.

Abstract:

The increasing demand for small satellites, particularly nanosatellites, in space missions has led to a pressing need for efficient and reliable Electrical Power Systems (EPS). Nanosatellites face significant power constraints, especially during critical phases such as data transmission, attitude maneuvers, and eclipses. Traditional EPS, relying solely on batteries, struggles to meet the required power density while maintaining long-term reliability. This thesis proposes a novel hybrid energy storage system (HESS) for a 3U nanosatellite, integrating high-energy-density batteries with high-power-density supercapacitors to optimize both short-term peak power demands and long-term energy storage needs.

The design adopts an active parallel hybrid topology incorporating DC-DC SEPIC converters and a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system based on Incremental Conductance (INC) techniques. To ensure efficient energy distribution and storage, a Power Management Strategy (PMS) is developed and tested through MATLAB/Simulink simulations. The performance of the proposed HESS is compared to semi-active topologies and traditional battery-only configurations. Results demonstrate a significant reduction in the Depth of Discharge (DoD) by 53.42%, leading to extended battery life and enhanced mission reliability, with minimal impact on overall system mass.

Additionally, the thesis includes the design and development of an optimized EPS board using PADS tools, with a corresponding Printed Circuit Board (PCB) layout manufactured by JLCPCB. The EPS board features advanced power generation, storage, conversion, and distribution capabilities, ensuring efficient operation across various nanosatellite mission scenarios.

Finally, an optimization algorithm based on the MG3PCX method is employed to select the optimal integrated circuits (ICs) for the EPS, further enhancing its performance and reducing system losses. The results show that the optimized EPS design outperforms conventional methods in terms of efficiency and reliability, providing a robust solution for future nanosatellite missions.

Keywords: CubeSat, electrical power system, energy management, hybrid energy storage, nanosatellite, optimization.