
Titre : Gestion optimisée d'énergie et contrôle des VE avec prolongateur d'autonomie à hydrogène

Mot clés : Véhicule électrique, Pile à hydrogène, Supercondensateur, Systèmes de contrôle non linéaires, Perturbation singulière, Système hybride

Résumé : Cette thèse a été réalisée dans le cadre de la Chaire Renault – Centrale Nantes, dédiée à la recherche sur les véhicules électriques (EV). L'intérêt croissant de l'industrie automobile pour les véhicules électriques à pile à combustible (FC-EV), motivé par leur haute densité énergétique et de puissance, soulève un défi majeur en matière de conception de lois de commande, en raison de la lenteur dynamique liée à la fragilité des composants. Le travail propose des stratégies de commande permettant de pallier les limites des systèmes à pile à combustible lorsqu'ils sont couplés à un supercondensateur (SC), afin d'assurer un suivi précis des charges à dynamique rapide. La première partie porte sur le contrôle du flux de puissance, visant à gérer en continu les fortes demandes tout en respectant les contraintes critiques : la dérivée du courant FC et le taux de charge (SoC) du SC. La stabilité globale est assu-

rée malgré le comportement à phase non minimale (NMP) des convertisseurs, grâce à l'approche par perturbations singulières (SP) et au contrôle super-torsion (ST) basé sur les modes glissants d'ordre deux. Pour assouplir les hypothèses de l'approche SP, une séparation des échelles de temps est également mise en œuvre. La seconde partie introduit une commande hybride à déclenchement d'événements (ET-HC), destinée à maintenir le SoC du SC dans ses bornes de sécurité. Cette approche traite aussi l'atténuation du chattering, la continuité du signal de référence et les contraintes sur la dérivée du courant FC, au moyen d'une commande robuste. Des preuves formelles sont fournies pour les deux stratégies, et la méthodologie est validée par des simulations basées sur le cycle WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure).

Title: Optimized Energy Management and Control of EVs with Hydrogen Range Extender

Keywords: Electric Vehicle, Fuel Cell, SuperCapacitor, Non-Linear Control, Singular Perturbation, Hybrid Control

Abstract: This thesis has been completed as part of the Renault – Centrale Nantes Chaire on Electric Vehicle (EV) research. The growing interest within the automotive industry in fuel cell (FC) EV systems, driven by their high energy and power density, presents a significant control design challenge to be optimized, particularly due to their slow-transient response caused by the fragility of the components. This thesis investigates control design strategies to address the limitations of FC systems combined with a secondary energy source, namely the supercapacitor (SC), to ensure accurate tracking of fast-transient load reference trajectories. The first part focuses on power flow control aiming to continuously manage high-power demands using both energy sources while respecting critical constraints, particularly the FC current derivative limitation and SC state-of-charge (SoC). This part ensures the overall stability of the

system in the presence of the non-minimum phase (NMP) behavior of the power converters through application of the singular perturbation (SP) approach a second-order sliding mode control scheme called super-twisting (ST) control. As an alternative, a time-scale separation method is employed to relax an assumption required by the SP approach. The second part introduces an event-triggered (ET) hybrid control (HC) strategy designed to maintain the SC SoC within its safe operational bounds. The ET HC design addresses key issues such as chattering attenuation, reference signal continuity, and FC current derivative constraints through a robust control approach. The formal proofs are provided for both control strategies, and the overall methodology is validated through simulations based on the Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP) driving cycle.