

Nom et Prénom : EL IDRISSI ZAKARIAE

Date de soutenance : 21/07/2022

Directeur de Thèse : EL FADIL HASSAN

Sujet de Thèse :

Contrôle non linéaire et gestion de l'énergie des systèmes de véhicules électriques à pile à combustible

Résumé :

Avec l'augmentation des préoccupations concernant la pollution environnementale, le changement climatique et la crise des combustibles fossiles, les véhicules électriques (VE) ont attiré beaucoup d'attention, en particulier les véhicules électriques à pile à combustible. Dans cette thèse, les véhicules à base des piles à combustible à hydrogène direct à membrane échangeuse de protons (PEM) sont étudiés par le biais de la modélisation, des simulations et des validations expérimentales. Cette thèse traite également le problème de contrôle des systèmes de stockage hybrides dans les véhicules électriques à pile à combustible. Le système de stockage comprend un convertisseur de puissance dc-dc de type buck-boost entrelacé associé à une pile à combustible, un convertisseur buck-boost connecté relié un supercondensateur et un onduleur alimentant un moteur à induction de traction. Les deux convertisseurs et l'onduleur fonctionnent selon le principe PWM et le modèle moyen de l'ensemble du système est non linéaire et soumis à des incertitudes sur les paramètres. Les objectifs de contrôle sont :

- i. Assurer une bonne régulation de la tension du bus continu malgré les incertitudes sur la caractéristique tension-courant de la pile à combustible et la variation du courant de la charge
- ii. Garantir un suivi parfait du courant du supercondensateur par rapport à un signal de référence ;
- iii. Assurer un suivi parfait de la vitesse du moteur par rapport à sa référence ;
- iv. Assurer la stabilité asymptotique du système en boucle fermée en utilisant l'approche de Lyapunov.
- v. Générer le signal de référence optimal du courant à l'aide d'un système de gestion de l'énergie, afin de partager la puissance de charge entre les sources d'alimentation en minimisant la consommation d'hydrogène.

Le problème de contrôle est traité en utilisant différentes techniques de contrôle non-linéaire, par exemple : Contrôle par mode glissant, Backstepping adaptatif etc... Grâce aux simulations et aux validations expérimentales, il est formellement confirmé que les contrôleurs proposés répondent à tous leurs objectifs de contrôle. Comme certains des contrôleurs développés dans cette étude nécessitent des mesures en ligne de plusieurs variables d'état qui ne sont pas accessibles à la mesure, des observateurs adaptatifs sont développés pour fournir des estimations précises des variables non mesurées et rendre la solution moins coûteuse et la fiabilité du contrôleur bien meilleure lorsque le nombre de capteurs physiques est réduit. Le contrôleur obtenu est connu sous le nom de commande par retour d'état car il ne repose que sur la mesure de la sortie.

Mots clés : Véhicule à pile à combustible ; Supercondensateur ; Convertisseurs de puissance dc-dc ; Commande non linéaire ; Commande par mode glissant ; Backstepping adaptatif ; Observateur non linéaire adaptatif ; Théorème de Lyapunov...

Abstract:

As the concerns regarding environmental pollution, climate change and the fossil fuel crisis have grown, electric vehicles (EVs) have attracted a great deal of attention, particularly fuel cell electric vehicle. In this thesis, direct hydrogen Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell systems in vehicles are investigated through modeling, analysis and experimental validations. This thesis deals also with the problem of controlling hybrid storage systems in electric vehicles. The storage system includes an interleaved buck-boost dc-dc power converter type associated with a fuel cell generator (FC), a buck-boost converter connected to a supercapacitor (SC) and an inverter is feeding a traction induction motor. Both converters and the inverter operate according to the PWM principle and the whole system averaged model is nonlinear and subject to parameter uncertainties. The control objectives are :

- i. Ensuring a tight dc bus voltage regulation despite the uncertainties on the fuel cell voltage-current characteristic and the load current variation;
- ii. Guaranteeing a perfect tracking of the supercapacitor current to a signal reference;
- iii. Assuring a perfect tracking of motor speed to its reference;
- iv. Ensure asymptotic stability of the closed loop system using lyapunov approach.
- v. Generate the optimal reference signal of the current using an energy management system (EMS), in order to share the load power between the power sources minimising the hydrogen consumption.

The control problem is dealt with using different nonlinear controller's techniques, for instance: Sliding mode control (SMC), adaptive backstepping, etc. Through simulations and experimental validations, it is formally confirmed that the proposed controllers meet all its control objectives. As some of the controllers developed in this study necessitate online measurements of several state variables that are not accessible for measurement, adaptive observers are developed providing accurate estimates of the non-measurement variables and making the solution cheaper and the controller reliability much better as the number of physical sensors is reduced. The obtained controller is known as an output feedback controller because it only relies on the output measurement.

Keywords: Fuel Cell, Electric Vehicle; Supercapacitor; DC-DC power converters; Salient-Pole Permanent Magnet Synchronous Motor; adaptive Backstepping; Sliding Mode Control; Adaptive nonlinear observer; Output feedback; Lyapunov theory...