

Μοντελοποίηση & Έλεγχος Ασαφούς Συστήματος Αναγεννητικής Ηλεκτρικής Πέδησης σε Ηλεκτροκίνητο Όχημα εξοπλισμένο με Σύγχρονο Κινητήρα Μονίμων Εσωτερικών Μαγνητών και Συστοιχία Συσσωρευτών

Τερζής Κωνσταντίνος

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πάτρα, 2024, Ελλάδα

Περίληψη

Οι εφαρμογές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Αναγεννητικής Πέδησης (Electric Regenerative Braking Systems, ERBS) στο σύγχρονο σχεδιασμό και παραγωγή Ηλεκτροκίνητων και Υβριδικών οχημάτων είναι κεφαλαιώδους σημασίας, καθώς παρέχουν την δυνατότητα για μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και επέκταση της αυτονομίας κίνησης. Τα ERBS ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα προώθησης του οχήματος ως γεννήτρια κατά τη διαδικασία της πέδησης, παρέχοντας έτσι μία μέθοδο για την ανάκτηση και μετατροπή μέρους της κινητικής ενέργειας του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μπορεί να αποθηκευτεί στους ηλεκτρικούς συσσωρευτές του οχήματος για μετέπειτα χρήση. Σε αρκετές όμως περιπτώσεις, τα συστήματα ERBS δεν έχουν τη δυνατότητα πλήρους απορρόφησης των φορτίων πέδησης, επομένως είναι αναγκαία η συνδυασμένη λειτουργία τους με κάποιο συμβατικό (μηχανικό) σύστημα πέδησης, για παράδειγμα φρένα τριβής. Ο κεντρικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή μίας ασαφούς μεθόδου για τον έλεγχο της λειτουργίας ενός Σειριακού Συστήματος Αναγεννητικής Πέδησης (Series-ERBS) σε εμπροσθοκίνητο ηλεκτροκίνητο όχημα εξοπλισμένο με Σύγχρονο Κινητήρα Μονίμων Εσωτερικών Μαγνητών (Internal Permanent Magnet Synchronous Motor). Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιείται ανάπτυξη ενός λεπτομερούς μοντέλου ηλεκτροκίνητου οχήματος με χρήση του λογισμικού Simulink, με έμφαση στον ηλεκτρικό κινητήρα, τη διαμήκη δυναμική του οχήματος και τον έλεγχο του μηχανικού συστήματος πέδησης μέσω ηλεκτρο-υδραυλικών ενεργοποιητών. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται επίσης στον τρόπο κατανομής του φορτίου πέδησης μεταξύ του εμπρόσθιου και όπισθεν άξονα του οχήματος, με τη διερεύνηση τριών (3) κατανομών πέδησης (I-Curve, Fixed Ratio και Composite I-Curve/ECE Curve). Ο διαμοιρασμός της ροπής πέδησης του εμπρόσθιου άξονα σε αναγεννητική (ηλεκτρική) και μηχανική (με χρήση Φρένων Δίσκου -Σιαγώνας) υλοποιείται με τον σχεδιασμό ενός Ασαφούς Ελεγκτή, ο οποίος χρησιμοποιεί τρεις (3) ασαφείς μεταβλητές εισόδου, συγκεκριμένα: την ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτρικού κινητήρα, το φορτίο πέδησης και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών για την παραγωγή μίας ασαφούς μεταβλητής εξόδου, η οποία αντιπροσωπεύει το ποσοστό ροπής πέδησης που αναλαμβάνει το ηλεκτρικό σύστημα (κινητήρας) σε σχέση με τη συνολική απαιτούμενη ροπή πέδησης. Η ανάκτηση ενέργειας και η απόδοση του αναπτυχθέντος ηλεκτρικού/μηχανικού συστήματος πέδησης υπολογίζεται με την προσομοίωση της συμπεριφοράς του μοντέλου του ηλεκτροκίνητου οχήματος και του προτεινόμενου ασαφούς συστήματος ελέγχου σε πρότυπους κύκλους οδήγησης, αντιπροσωπευτικούς ποικίλων συνθηκών πέδησης.

Λέξεις-Κλειδιά: Ηλεκτροκίνητο Όχημα (EV), Αναγεννητική Πέδηση, Ασαφής Λογική, Σύγχρονος Κινητήρας Μονίμων Εσωτερικών Μαγνητών (IPMSM), Ηλεκτρο-Υδραυλική Πέδηση (EHB)

Modeling & Control of Electric Regenerative Braking on a Battery – IPMSM powered EV with Fuzzy Logic

Terzis Konstantinos

University of Patras, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, Patras, 2024, Greece

Abstract

The deployment of Electric Regenerative Braking Systems (ERBS) in the contemporary Electric Vehicle (EV) and Electric - Hybrid Vehicle (EHV) industries as a method of reducing the carbon footprint of these vehicles and extending their range is prevalent. ERBS are a type of energy-recovery systems that work by operating the electric motor that is normally used for propulsion as a generator during braking, thereby providing a way of harvesting a part of the vehicle's kinetic energy and converting it to electric energy which can be used to charge the battery. In most applications, conventional braking systems (CBS), for example, friction brakes, are used in conjunction with ERBS because of the power-absorbing limitations of the electric motor and the battery. A properly designed ERBS can help achieve multiple objectives crucial for the energy efficiency and overall performance of EVs/HEVs. More specifically, electric regenerative braking can extend the driving range by capturing and storing some of the kinetic energy that is normally converted into heat when conventional friction brakes are used, as well as prolong the lifetime of the battery and the mechanical braking system that is required to assist the regenerative braking system. The primary goal of this study is to develop a fuzzy rule-based method for the control of a Series Electric Regenerative Braking System (Series – ERBS) for a Front-Wheel-Drive (FWD) Electric Vehicle (EV) driven by an Internal Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM). A comprehensive electric vehicle (EV) model is developed for this purpose, incorporating IPMSM powertrain, Electronic-Hydraulic Braking (EHB), and Longitudinal Vehicle Dynamics (VD) modules. This is accomplished using the MathWorks Simulink system modeling software. The distribution of braking load on the vehicle's front/rear axles is taken into consideration by examining three (3) distinct braking allocation methods: the Ideal Curve (I – Curve) method, the Fixed Ratio method, and a Composite (I – Curve, ECE Curve) method. The key objective of distributing the front axle braking load between the ERBS and the conventional braking system (which uses Disk Brakes) in a way that provides both adequate braking performance and optimal energy recovery is realized through the design of a Fuzzy Logic Controller that uses the motor speed, the required braking strength and the battery state of charge (SOC) as fuzzy inputs and yields a braking allocation factor as its output, which is then used to calculate the portion of the braking force which will be assigned on the CBS and the ERBS. The energy-recovery performance is evaluated by testing the proposed EV model and associated control system on a variety of standardized driving cycles that correspond to different braking requirements (urban or high-speed braking scenarios).

Keywords: Electric Vehicle (EV), Regenerative Braking, Fuzzy Logic, Internal Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM), Electronic – Hydraulic Braking (EHB)
