

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ TRONG ĐIỀU KHIỂN NĂNG LƯỢNG PHANH TÁI SINH TRÊN XE LAI ĐỘNG CƠ – ĐIỆN

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO CONTROL REGENERATIVE BRAKING ENERGY FOR HYBRID ELECTRIC VEHICLES

Huỳnh Quốc Việt

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 24/5/2017, ngày phản biện đánh giá 27/5/2017, ngày chấp nhận đăng 9/6/2017

TÓM TẮT

Ngày nay, các nhà sản xuất ô tô đã và đang phát triển nhanh chóng các loại xe lai động cơ-điện (HEVs) để cải thiện mức tiêu hao nhiên liệu và giảm chất thải ô nhiễm. Sự thành công này là nhờ vào sự kết hợp các chiến thuật điều khiển linh hoạt giữa động cơ đốt trong và động cơ điện. Các thành phần chính như động cơ đốt trong, mô tơ/máy phát điện, ắc qui và bộ phận chia công suất có thể hoạt động hiệu quả theo điều kiện lái xe. Mỗi bộ phận luôn được ưu tiên hoạt động trong vùng tối ưu. Để đạt được sự hoàn thiện này, các nhà nghiên cứu đã đề xuất nhiều phương pháp điều khiển tối ưu khác nhau. Bên cạnh việc tối ưu hóa các chiến thuật điều khiển dòng công suất bằng việc phân phối công suất HEV trong quá trình kéo, sự hồi phục năng lượng trong quá trình phanh cũng là vấn đề hết sức cần thiết. Bài báo này tập trung vào chiến thuật điều khiển phanh tái sinh trong một hệ thống HEV kiểu hỗn hợp. Chiến thuật điều khiển phanh tái sinh bằng việc ứng dụng logic mờ để tạo ra sự phối hợp tốt ưu giữa phanh cơ khí và phanh điện. Dựa vào nghiên cứu về động lực học của xe trong điều kiện phanh để đề xuất một chiến thuật điều khiển mới đảm bảo hiệu năng phanh tốt nhất và thu hồi năng lượng phanh tối đa. Việc thực hiện chiến thuật điều khiển trên đòi hỏi phải được kết hợp mô hình điều khiển lực kéo và hệ thống điều khiển phanh. Mô hình phân phối công suất HEV được xây dựng bằng Matlab/ Simulink và kết quả mô phỏng đã cho thấy sự cải thiện đáng kể về tiêu thụ nhiên liệu khi sử dụng hệ thống phanh tái sinh.

Từ khóa: Xe lai động cơ-điện (HEV); phân phối lực phanh; điều khiển logic mờ (FLC); hệ thống phanh tái sinh điện (ERBS); hệ thống phanh lai điện – cơ khí.

ABSTRACT

Nowadays, hybrid electric vehicles (HEVs) have been speedily developed and deployed by automobile manufacturers to improve their fuel consumption and reduce their pollutant emissions. This remarkable success is thanks to flexible control strategies. These components such as internal combustion engines, motors/generators, batteries, and power-split devices might operate efficiently depending on the vehicle driving conditions. Every component always operates at its optimal area. However, to attain to perfection, researchers proposed various optimal control methods. Besides optimizing the control strategies of power flow for power-split HEV during traction, energy regeneration during braking is also an important technique. This paper focuses on regenerative braking in a power-split HEV system and specifically on how its control strategy can be formulated and optimized. The braking control strategy adopts a fuzzy logic approach to make the best compromise between mechanical braking torque and regenerative braking torque. An initial investigation of the vehicle dynamic behavior under braking conditions serves as the basis for the development of a control strategy for the best braking performance and maximum energy recovery. The implementation of the control strategy requires a fully integrated traction and braking control

model. The power-split HEV model is built with Matlab/Simulink package and the simulation results show significant improvements in fuel consumption.

Keywords: Braking force distribution; hybrid electric vehicle (HEV); fuzzy logic control (FLC); electric regenerative braking system (ERBS); mechanical-electric braking system.

1. GIỚI THIỆU

Việc nghiên cứu và phát triển xe lai động cơ-điện (HEV) đã trở nên phổ biến trên thế giới do yêu cầu tiêu chuẩn khí thải ô nhiễm ngày càng cao và nguồn năng lượng hoá thạch ngày càng cạn kiệt. Giải pháp kết hợp giữa dòng xe dùng động cơ đốt trong với xe điện khắc phục được sự hạn chế của chúng.

Đối với xe truyền thống, lượng năng lượng đáng kể sẽ biến thành nhiệt năng tiêu tốn trong suốt quá trình phanh [1, 2]. Để tiết kiệm năng lượng, HEV sẽ kết hợp cả hệ thống phanh cơ học và hệ thống phanh điện để vừa đạt hiệu quả phanh và tận dụng tối đa năng lượng tái sinh. Động cơ điện sẽ chuyển đổi động năng thành năng lượng điện để sạc ắc qui trong quá trình phanh. Do đó, phanh tái sinh là một yếu tố không thể thiếu để cải thiện hiệu quả của HEV. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tùy vào điều kiện lái xe và các chiến thuật điều khiển việc tái sinh năng lượng có thể bổ sung thêm được 8% đến 25% tổng năng lượng sử dụng của xe [3, 4].

Chiến thuật điều khiển phanh có vai trò quan trọng trong việc thu hồi năng lượng nhiều nhất có thể đồng thời duy trì sự ổn định của xe trong quá trình phanh. Nhiều nghiên cứu khác nhau đã được thực hiện trên hệ thống phanh tái sinh để đáp ứng các hoạt động kiểm soát phanh dựa trên các quy tắc [5], các chiến lược điều khiển dùng logic mờ [6, 7] và phương pháp ứng dụng mạng nơ ron [8]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc cải thiện việc thu hồi năng lượng dựa trên các yếu tố thông thường. Điều này có nghĩa là các mục tiêu về độ an toàn, độ tin cậy và khả năng ứng dụng chưa được như mong đợi.

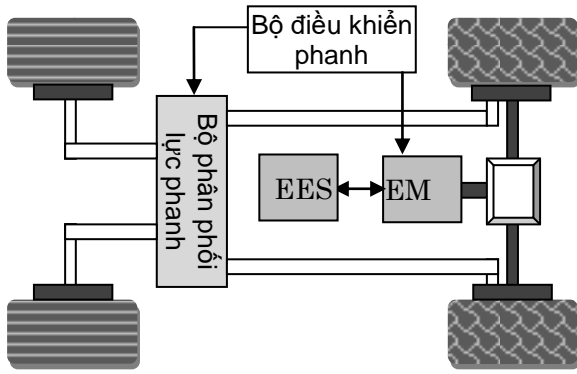
Chiến thuật điều khiển phanh sử dụng logic mờ và phân bố lực phanh trong HEV

mà tác giả đề xuất trong bài báo này đã thu được năng lượng tái sinh tối đa, an toàn, cũng như ứng dụng dễ dàng. Trong điều kiện phanh, xe có thể đạt được hiệu quả năng lượng tái sinh tối ưu. Nó cũng có thể ngăn chặn việc bó cứng bánh xe và sự trượt bằng cách phân phối lực phanh phù hợp đến bánh trước và bánh sau tùy theo điều kiện hoạt động. Kết quả mô phỏng đã minh chứng được tính hiệu quả của chiến thuật kiểm soát phanh đề ra trong việc đảm bảo an toàn, ổn định phanh và nâng cao hiệu suất năng lượng tái sinh.

2. NGUYÊN LÝ ĐIỀU KHIỂN LỰC PHANH

2.1 Cấu trúc của hệ thống phanh

Trên HEV, hệ thống phanh lai kết hợp cả hệ thống phanh cơ và phanh điện nhằm đạt được lực phanh tối đa, năng lượng hồi phục tối đa nhưng vẫn đảm bảo an toàn. Hình 1. cho thấy hệ thống phanh, có thể được kiểm soát độc lập với mô men phanh của bánh xe trước và bánh sau. Trong hệ thống này, bánh trước sử dụng cả phanh cơ và điện, bánh sau chỉ sử dụng phanh cơ học. Như vậy, năng lượng tái tạo chỉ được tái sinh trên bánh xe trước bằng động cơ điện (EM – Electronic Motor) và nạp vào ắc qui (ESS – Energy Storage System). Hệ thống phanh này góp phần bổ sung lực phanh qua lại giữa bánh trước và bánh sau. Hiệu suất phanh sẽ bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi tải trọng đặt lên cầu trước và cầu sau khi giảm tốc độ và tùy vào tải trọng thực tế của xe. Để duy trì sự ổn định của xe trong quá trình phanh, các bánh xe phía sau phải không được khóa cứng trước các bánh xe trước. Do vậy, khi điều khiển phanh phải nghiên cứu sự phân bố của lực phanh giữa bánh xe trước và bánh sau, và sự phân bố giữa hệ thống phanh cơ khí và hệ thống phanh điện.



Hình 1. Sơ đồ phân bố hệ thống phanh.

2.2 Nguyên lý phân bố lực phanh

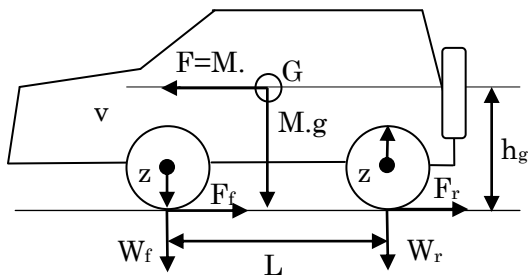
Hình 2 cho thấy sự thay đổi tải trọng giữa cầu trước và cầu sau khi phanh xe trên đường bằng phẳng. Lực cản lăn và lực cản không khí được bỏ qua do chúng rất nhỏ so với lực phanh. j là độ giảm tốc của xe trong quá trình phanh, M là khối lượng của xe, lực tác dụng của xe có thể được biểu diễn bằng phương trình (1), tải trọng (m) chuyển từ cầu sau đến cầu trước như được định nghĩa trong phương trình (2). Lực phanh bánh trước F_f và lực phanh bánh sau F_r được lấy từ phương trình (3) và (4). W_f [kgf] và W_r [kgf] là tải trọng cầu trước và cầu sau, μ là hệ số ma sát giữa lốp xe và mặt đường.

$$F = M \cdot j \quad (1)$$

$$m = \frac{F \cdot h_g}{L} \quad (2)$$

$$F_f = \mu \cdot (W_f + m) = \mu \cdot \left(W_f + \frac{F \cdot h_g}{L} \right) \quad (3)$$

$$F_r = \mu \cdot (W_r - m) = \mu \cdot \left(W_r - \frac{F \cdot h_g}{L} \right) \quad (4)$$



Hình 2. Sự phân bố tải trọng khi phanh trên đường bằng.

Để đạt được hiệu quả cao và ổn định trong quá trình phanh, bộ điều khiển phải phân phối lực phanh tối đa có thể đến bánh trước và bánh sau để chúng có thể khoá cứng cùng lúc. Để phân phối lực phanh theo đường cong lý tưởng, ta cần xác định hệ số ma sát giữa bánh xe và mặt đường. Tuy nhiên, do hệ số ma sát này liên tục thay đổi theo các trạng thái hoạt động của xe nên rất khó để xác định trực tiếp chúng. Vì thế, ta cần phải xác định tỷ lệ phân bố lực phanh của bánh trước (R_f) và bánh sau (R_r). Các tỷ số này được biểu diễn dưới dạng phương trình (5), (6) và chúng không phụ thuộc vào hệ số ma sát.

$$R_f = \frac{F_f}{F_f + F_r} = \frac{M_f \cdot g + m}{M \cdot g} \quad (5)$$

$$R_r = 1 - R_f \quad (6)$$

Từ phương trình (5) và (6) cho ta thấy lực phanh chỉ phụ thuộc vào tải trọng và tốc độ giảm tốc j . Mô men hãm ở bánh trước và bánh xe được xác định theo phương trình (9) và (10).

$$T_{br} = k \cdot F_r \quad (7)$$

$$T_{bf} = k \cdot F_f \quad (8)$$

$$T_{br} = k \cdot F_r \quad (9)$$

$$T_{bf} = k \cdot F_f \quad (10)$$

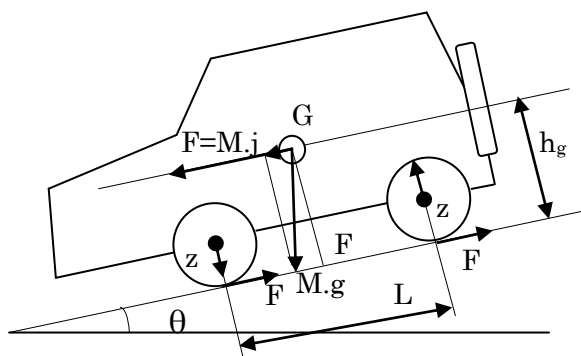
Trong đó: r là bán kính của lốp [m], g là gia tốc trọng trường [m/s^2], và i_d là tỷ số truyền vi sai.

Tương tự, tính toán sự phân bố tải trọng trên đường dốc như Hình 3, độ giảm tốc được đo bằng cảm biến gia tốc (a_{sen}), phương trình (12). Lực phanh được xác định theo phương trình (14).

$$a_{sen} = g \cdot \sin\theta + j \quad (12)$$

$$M \cdot j = M \cdot g \cdot \sin\theta - F \quad (13)$$

$$F = M \cdot g \cdot \sin\theta + M \cdot j = M \cdot a_{sen} \quad (14)$$

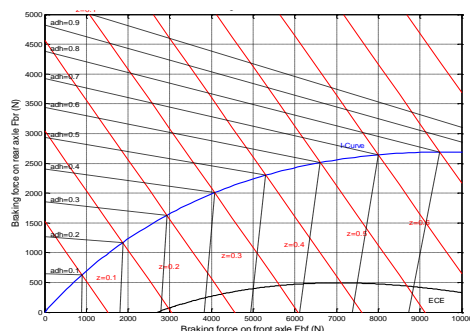


Hình 3. Sự phân bố tải trọng khi phanh trên đường dốc.

Vì vậy, sự phân bố tải trọng được ước tính bằng cách sử dụng cảm biến gia tốc, việc phân phối lực phanh lý tưởng có thể được thực hiện ngay cả trên đường bằng hay đường dốc. Từ các tính toán trên, việc kiểm soát lực phanh lý tưởng có thể được thực hiện bằng cách ước lượng lượng sự phân bố tải trọng và trọng lượng xe thực tế bằng cách sử dụng cảm biến đo gia tốc [9].

2.3 Chiến thuật điều khiển tối ưu năng lượng tái sinh

Nguyên lý của chiến thuật điều khiển nhằm phân phối tối đa lực phanh cho bánh xe phía trước trong quá trình phanh. Đồng thời bảo đảm bánh sau không được khóa sớm hơn bánh xe trước với bất kỳ hệ số bám nào. Lực phanh được phân bổ trên bánh xe phía trước càng lớn thì càng nhiều năng lượng sẽ được thu hồi để sạc cho ắc qui. Hiệu suất phanh yêu cầu phải không có bánh xe nào bị khóa và lực phanh trên bánh sau phải cao hơn đường cong điều chỉnh ECE như thể hiện trong hình 4. Lực phanh trên bánh trước và bánh sau phụ thuộc vào tốc độ giảm tốc của xe và hệ số bám của mặt đường [10].



Hình 4. Phân bố lực phanh giữa bánh trước và bánh sau

Khi lực phanh nhỏ hơn 0.2g ($z = 0.2$), toàn bộ lực phanh sẽ được bố trí cho bánh xe trước để sử dụng phanh tái sinh, không có lực phanh cơ học được áp dụng cho bánh trước hoặc bánh sau. Khi độ phanh lớn hơn 0.2g, hệ thống cơ học mới được bắt đầu sử dụng. Lực phanh sẽ được phân phối cho bánh trước và bánh sau theo sau sự phân bố lực phanh lý tưởng (đường cong I). Đồng thời, lực phanh trên bánh xe trước sẽ được phân bổ cả phanh điện và cơ học với lượng năng lượng tối đa phục hồi được. Công suất phanh tối đa phải không được vượt quá công suất tối đa của động cơ điện và khả năng lưu trữ của ắc qui. Ngoài ra, công suất phanh tối thiểu trên cầu sau phải thỏa mãn tiêu chuẩn ECE. Do đó, lực phanh trên bánh trước và bánh sau có thể thay đổi trong một phạm vi nhất định. Phạm vi này bị hạn chế bởi đường cong phân phối lực phanh lý tưởng và đường cong ECE. Tuy nhiên, tùy thuộc vào điều kiện hoạt động lực phanh sẽ được phân bổ để đáp ứng năng lượng phục hồi tối đa từ bánh xe phía trước.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN LỰC PHANH

Trong nghiên cứu này việc kiểm soát phanh sẽ tập trung vào phanh tái sinh tối đa nhất có thể, và được kiểm soát bởi một số yếu tố gồm: tốc độ xe, mô-men phanh yêu cầu và trạng thái sạc (SOC) của ắc qui. SOC của ắc qui có thể ảnh hưởng đến hiệu quả trong quá trình nạp và phóng điện của bình. Hoạt động tối ưu của ắc qui nên được kiểm soát trong khoảng giữa 0.5 và 0.7. Các mối quan hệ giữa các yếu tố này sẽ được thực hiện bởi bộ điều khiển logic mờ [11].

Liên quan đến sự an toàn khi lái xe, nếu mô-men phanh yêu cầu lớn (trường hợp khẩn cấp), thì momen phanh tái sinh nên bằng không (chỉ có phanh cơ khí). Tương tự, khi tốc độ xe cao, cũng chỉ áp dụng phanh cơ khí. Nếu tốc độ xe rất thấp, hiệu suất của động cơ điện rất thấp, và phanh tái tạo không hiệu quả nên cũng không được sử dụng [12].

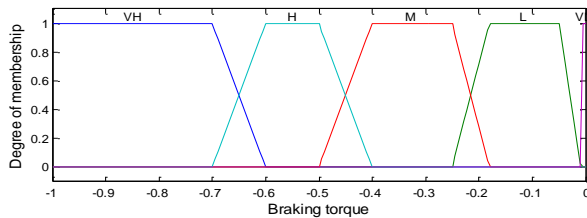
Minh chứng cho sự hiệu quả của bộ điều khiển phanh, ta sử dụng xe thực tế với các thông số kỹ thuật như trong Bảng 1 để thực hiện mô phỏng.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật xe dùng mô phỏng

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Khối lượng toàn tải	1725 kg
Chiều dài cơ sở	2,7432m
Độ cao trọng tâm xe	0,77m
Chiều dài từ trọng tâm đến cầu trước	0,9876m
Chiều dài từ trọng tâm đến cầu sau	1,7556m
Hệ số bám mặt đường	0,2-1

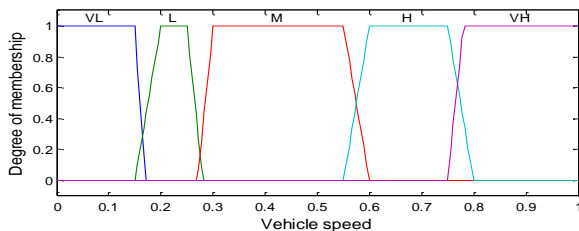
Từ phân tích trên ta thấy ba yếu tố đầu vào của bộ điều khiển logic mờ bao gồm mô men phanh yêu cầu, SOC, và tốc độ xe. Để tăng tính tổng quát, tất cả các đầu vào và đầu ra nên được chuẩn hóa trong phạm vi $[0, 1]$. Các định nghĩa của các đầu vào này được liệt kê như sau.

Mômen phanh được phân ra 5 hàm số con trong phạm vi $[-1, 0]$ như thể hiện trong hình 5. Yêu cầu mô men phanh được chia thành 5 vùng như VH (mô men phanh rất cao), H (mô men phanh cao), M (Mô men phanh trung bình), L (mô men phanh thấp) và VL (mô men phanh rất thấp).

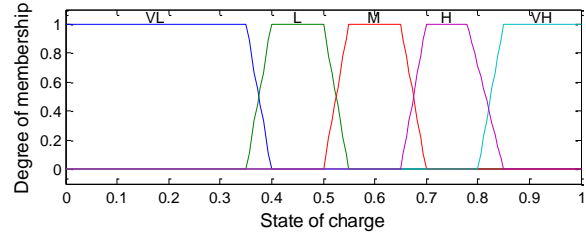


Hình 5. Tín hiệu đầu vào mô men phanh

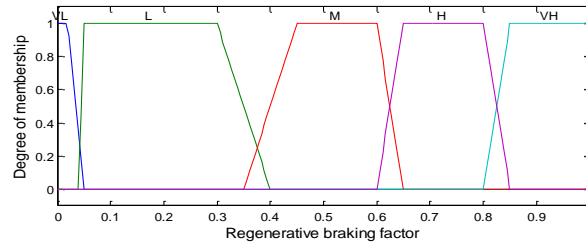
Tương tự, tốc độ xe và SOC đầu vào cũng có năm mức độ như thể hiện trong hình 6 và hình 7 tương ứng. Vì quá trình phóng-nạp tối ưu của ắc quy là từ 50% đến 70% công suất, đầu vào SOC tập trung chủ yếu ở vùng này. Các hàm thành phần được trình bày trong Hình 7.



Hình 6. Tín hiệu đầu vào tốc độ xe

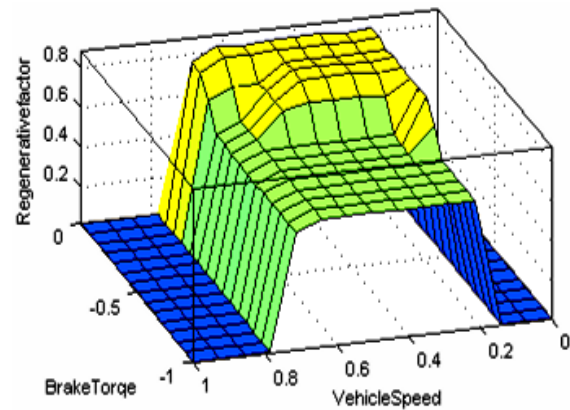


Hình 7. Tín hiệu đầu vào trạng thái sạc



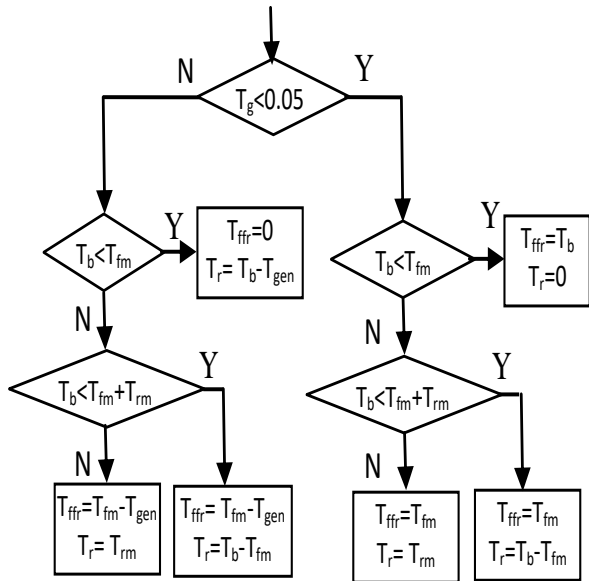
Hình 8. Đầu ra của bộ điều khiển phanh

Đầu ra của bộ điều khiển phanh là tỷ lệ của mô men hãm tái sinh trên trục trước với tổng mô men yêu cầu. Có 5 hàm thành phần, VL, L, M, H, và VH, như trong Hình 8. Hình 9 thể hiện kết quả đầu ra của bộ điều khiển phanh ứng dụng logic mờ theo đồ thị 3D.



Hình 9. Biểu đồ 3D thể hiện kết quả của bộ điều khiển phanh sử dụng logic mờ

Bộ điều khiển phanh tính toán tỷ lệ phanh tái sinh trên trục trước để đảm bảo năng lượng tái sinh là tối đa mà vẫn bảo đảm an toàn. Lực phanh còn lại được phân phối cho việc phanh cơ học của trục trước và sau. Hình 10 cho thấy lưu đồ thuật toán mô tả sự phân bố phanh trên bánh trước và bánh sau.

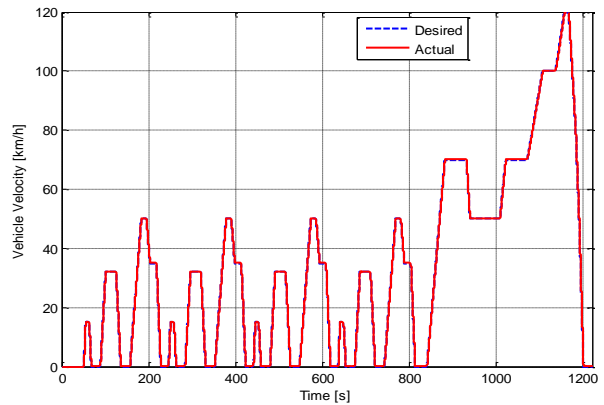


Hình 10. Chiến thuật phân phối mô men phanh trên cầu trước / sau

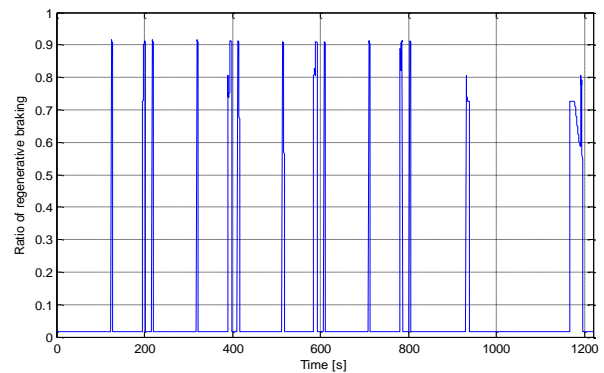
Trong lưu đồ thuật toán, T_g , T_b , T_{ffr} , T_r , T_{gen} , T_{fm} , và T_{rm} lần lượt là tỷ lệ mô men phanh tái sinh và mô men phanh yêu cầu, mô men phanh yêu cầu, mô men phanh cơ khí tại cầu trước, mô men phanh cơ khí tại cầu sau, mô men phanh tái sinh cầu trước, mô men phanh cực đại cầu trước và mô men phanh cực đại cầu sau.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

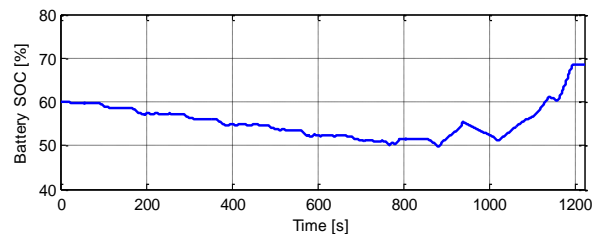
Bộ điều khiển mô men phanh đã được thiết kế và mô phỏng bằng Simulink/ Matlab trên chu trình thử kết hợp mới của châu Âu phổ biến NEDC (New Europe Driving Cycle). Hình 11, cho thấy vận tốc thực tế mong muốn của xe và vận tốc tính toán mô phỏng tiệm cận với nhau. Hình 12 thể hiện tỷ lệ mô men phanh tái sinh với mô men cần thiết rất cao, nghĩa là bộ điều khiển phanh thu hồi năng lượng trong quá trình phanh rất tốt. Hình 13, cho biết sự thay đổi tình trạng sạc ắc quy khi xe chạy theo chu trình NEDC. Ắc quy luôn hoạt động ở phạm vi tối ưu thông qua các chu trình lái xe này. Cuối cùng, Hình 14 chỉ ra các điểm hoạt động trong bản đồ hiệu suất của động cơ điện. Các điểm vận hành của động cơ mô men xoắn âm, nghĩa là động cơ có vai trò là máy phát điện. Động cơ cũng hoạt động ở khu vực có hiệu suất cao.



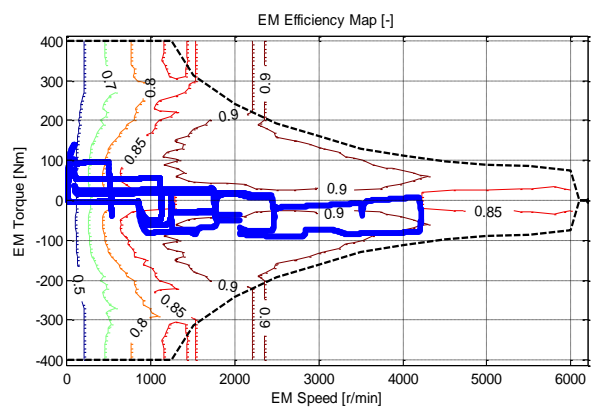
Hình 11. Vận tốc mô phỏng và mong muốn của phương tiện



Hình 12. Tỷ số mô men phanh tái sinh và mô men cần phanh.



Hình 13. Trạng thái sạc của ắc quy



Hình 14. Các điểm hoạt động của EM

Để đánh giá bộ điều khiển phanh, chương trình mô phỏng được thực hiện trên

bộ điều khiển dùng logic mờ và bộ điều khiển dựa vào luật (Rule-based controller). Bảng 2 cho thấy kết quả thực hiện trên từng chu kỳ lái xe cụ thể.

Bảng 2. Tiêu thụ nhiên liệu với phanh tái sinh sử dụng bộ điều khiển dựa vào luật và bộ điều khiển dùng logic mờ.

Chu trình thử	Bộ điều khiển dựa vào luật L/100km	Bộ điều khiển dùng logic mờ L/100km	Hiệu quả (%)
NEDC	4,43	4,22	4,6 %
UDDS	4,76	4,51	5,25 %

Từ kết quả trên, mô hình thực hiện với bộ điều khiển phanh dùng logic mờ đã đạt được hiệu quả tiết kiệm năng lượng cao hơn so với bộ điều khiển phanh dựa vào luật, đặc biệt là khi xe vận hành trong đô thị. Trong chu trình lái xe đô thị theo chu trình thử của liên ban Mỹ - UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule), xe sử dụng bộ điều khiển phanh tái sinh dùng logic mờ tiết kiệm 4,6%

so với hệ thống sử dụng bộ điều khiển phanh dựa vào luật. Tương tự, trong chu trình lái xe kết hợp NEDC, xe sử dụng hệ thống phanh tái sinh dùng logic mờ tiết kiệm được 5,25% so với hệ thống phanh với bộ điều khiển dựa vào luật.

5. KẾT LUẬN

Bộ điều khiển phanh sử dụng logic mờ đã được thiết kế và mô phỏng, kết quả chứng minh trên xe lai động cơ - điện kiểu hỗn hợp đạt kết quả năng lượng tái sinh cao. Bộ điều khiển phanh tái sinh đã thu hồi nhiều năng lượng nhất và đảm bảo an toàn trong quá trình phanh. Áp dụng logic mờ để thiết kế các bộ điều khiển phanh với chiến lược kiểm soát đề xuất đã nhận được hiệu suất tốt hơn và tiết kiệm nhiên liệu hơn.

Bộ điều khiển phanh luôn đáp ứng các yêu cầu của quá trình điều khiển theo tín hiệu bàn đạp phanh, ác qui luôn cung cấp đủ năng lượng đáp ứng theo từng chế độ vận hành của xe HEVs và luôn đảm bảo sự ổn định của xe trong suốt quá trình phanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Gao, Y., L.P. Chen, and M. Ehsani, *Investigation of the effectiveness of regenerative braking for EV and HEV*. SAE Trans., 1999: p. 3184-3190.
- [2] Rajashekara, K., *Power conversion and control strategies for fuel cell vehicles*. In Proceeding of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2004. 3: p. 2865-2870.
- [3] Zolot, M., T. Markel, and A. Pesaran, *Analysis of fuel cell vehicle hybridization and implications for energy storage devices*. Proceedings of the 4th advanced automotive battery conference, 2004: p. 121-124.
- [4] Xu, G., et al., *An intelligent regenerative braking strategy for electric vehicles*. Energy, 2011. 4: p. 1461-1477.
- [5] Guo, J.G., J.P. Wang, and B.G. Cao, *Regenerative braking strategy for electric vehicles*. Proceedings of the IEEE Intelligent vehicles symposium, 2005: p. 864-868.
- [6] Li, X.J., et al., *Regenerative braking control strategy for fuel cell hybrid vehicles using fuzzy logic*. Proceedings of the International conference on electrical machines and systems 2008: p. 2712-2716.
- [7] Zhang, J.M., B.Y. Song, and S.M. Cui, *Fuzzy logic approach to regenerative braking system*. Proceedings of the International conference on intelligent human-machine systems and cybernetics, 2009: p. 451-454.
- [8] Cao, J.B., et al., *Neural network self-adaptive PID control for driving and regenerative braking of electric vehicle*. Proceedings of the IEEE International conference on Automation and logistics, 2007: p. 2019-2034.

- [9] Mutoh, N. and H. Yahagi, *Control methods suitable for electric vehicles with independently driven front and rear wheel structures*. Vehicle Power and Propulsion, 2005: p. 665-672.
- [10] Mehrdad Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, *Morden electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design*, 2nd ed 2010: CRC Press.
- [11] Chen, J.-S. and Q.-V. Huynh, *Model and control power-split hybrid electric vehicle with fuzzy logic*. Journal of Engineering Technology and Education, 2012.
- [12] Liang Chu and W. Sun, *Integrative control strategy of regenerative and Hydraulic braking for hybrid electric car*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Huỳnh Quốc Việt

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

Email:viethq@hcmute.edu.vn