

Research on Simulation of Regenerative Braking System Based on Actual Driving Cycle

Duong Tuan Tung*, Huynh Phuoc Son, Ho Duong Duy Anh, Ngo Quang Thanh

HCMC University of Technology and Education (HCMUTE), Vietnam.

* Corresponding author. Email: tungdt@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 31/08/2022
Revised: 18/10/2022
Accepted: 14/11/2022
Published: 28/04/2023

KEYWORDS

Hybrid Electric Vehicle (HEV);
Electric Vehicle (EV);
Regenerative Braking System (RBS);
State Of Charge (SOC);
Fuel Consumption (FC).

ABSTRACT

Currently, the regenerative braking system is a system that helps reduce fuel consumption of Hybrid Electric Vehicle (HEV). The braking or decelerating is the process by which the vehicle's inertia energy is converted into electrical energy to recharge the battery. The recovered energy depends on the vehicle's operating conditions on different types of roads. In this study, the author will build the driving cycle on different roads by experiment such as: in the city, highways and intercity roads. That driving cycle is the input signal in the simulation model to study and calculate the parameters of the regenerative braking process as well as the recovered energy and fuel consumption of the Hybrid vehicle. The simulation model was built based on Toyota Cross Hybrid parameters with simulation results shows that the energy recovered in the city road is higher than in the suburban and intercity roads. The vehicle's fuel consumption is from 4.9 to 5.4 [liters / 100km] depending on the road condition.

Nghiên Cứu Mô Phỏng Hệ Thống Phanh Tái Sinh Dựa Trên Chu Trình Lái Xe Thực Tế

Dương Tuấn Tùng*, Huỳnh Phước Sơn, Hồ Dương Duy Anh, Ngô Quang Thành

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam.

* Tác giả liên hệ. Email: tungdt@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 31/08/2022
Ngày hoàn thiện: 18/10/2022
Ngày chấp nhận đăng: 14/11/2022
Ngày đăng: 28/04/2023

TỪ KHÓA

Xe Hybrid;
Xe điện;
Hệ thống phanh tái sinh;
Hệ số sạc;
Tiêu hao nhiên liệu.

TÓM TẮT

Hiện nay, hệ thống phanh tái sinh là một hệ thống giúp giảm tiêu hao nhiên liệu của các dòng xe Hybrid. Quá trình xe phanh hoặc giảm tốc chính là quá trình năng lượng quán tính của xe được biến đổi thành năng lượng điện nạp lại cho ắc quy để tái sử dụng. Năng lượng thu hồi được phụ thuộc rất lớn vào điều kiện hoạt động của xe trên các loại đường khác nhau. Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ xây dựng chu trình lái xe trên các cung đường khác nhau bằng thực nghiệm như: đường nội thành, đường cao tốc và đường liên tỉnh. Chu trình lái xe đó được đưa vào mô hình mô phỏng để nghiên cứu và tính toán các thông số của quá trình phanh tái sinh cũng như năng lượng thu hồi và mức tiêu hao nhiên liệu của xe Hybrid. Nghiên cứu được thực hiện trên xe Toyota Hybrid Cross với kết quả mô phỏng cho thấy rằng năng lượng thu hồi được trong đường nội thành có phần cao hơn so với cung đường ngoại thành và liên tỉnh. Mức tiêu hao nhiên liệu của xe đạt từ 4,9 đến 5,4 [lít/100km] tùy theo từng loại đường.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.76.2023.1271>

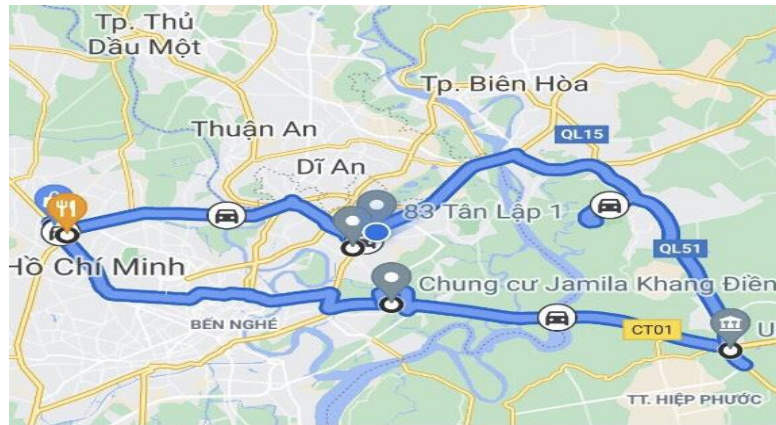
Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

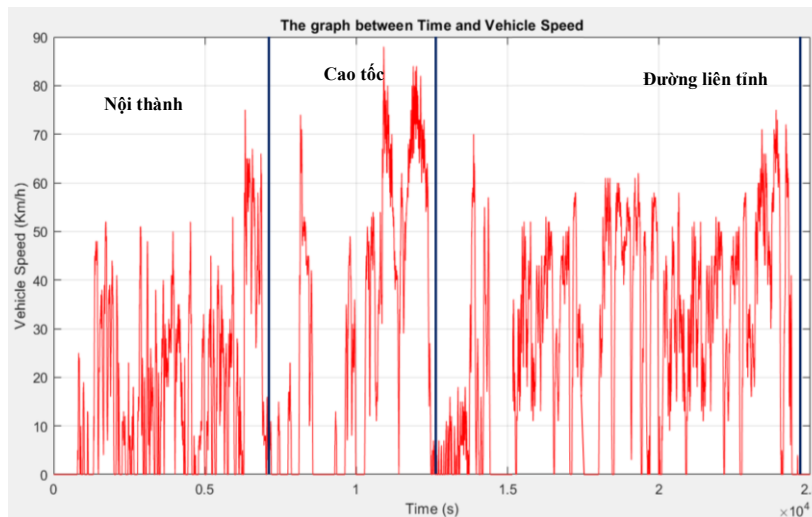
Hệ thống phanh tái sinh được thiết kế trên các dòng xe Hybrid nhằm biến đổi cơ năng của xe trong quá trình xe phanh hoặc giảm tốc thành điện năng nạp lại cho ắc quy. Quá trình giảm tốc của xe chính là quá trình tích trữ năng lượng điện. Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả của việc thu hồi năng

lượng như: vận tốc tại quá trình phanh, kỹ thuật điều khiển phân phối lực phanh tái sinh, hệ số sạc SOC và hoạt động của xe trên các cung đường với các điều kiện lái xe khác nhau [1]. Nhằm đánh giá hiệu quả thu hồi năng lượng từ hệ thống phanh tái sinh trên các cung đường khác nhau, một chu trình lái xe được thiết lập bằng thực nghiệm.

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng xe thử nghiệm Toyota Cross Hybrid có gắn các thiết bị đo để thu thập các dữ liệu về vận tốc xe, gia tốc, và các thông số của mô tơ/máy phát MG1 và MG2. Thực nghiệm được thực hiện nhiều lần trên cùng một cung đường bao gồm 3 loại đường khác nhau: đường nội thành (từ ngã tư An Sương vào thành phố tới đường cao tốc); đường cao tốc (từ An Phú lên cao tốc Long Thành tới Quốc lộ 51) và đường hỗn hợp liên tỉnh (từ Long Thành về lại ngã tư An Sương). Sau khi thực hiện các thí nghiệm, các giá trị trung bình được lấy làm dữ liệu cho việc xây dựng chu trình lái xe tại thành phố Hồ Chí Minh và các vùng lân cận.

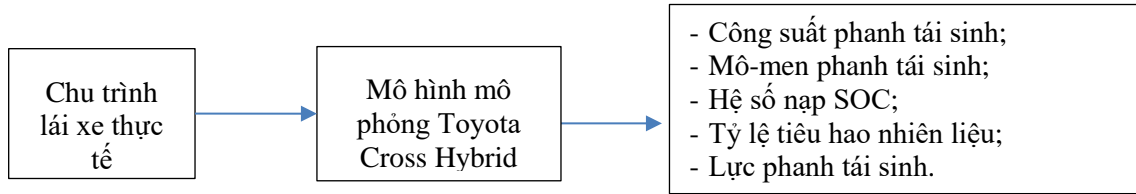


Hình 1. Bản đồ cung đường thực nghiệm



Hình 2. Đồ thị vận tốc theo thời gian trên toàn chu trình.

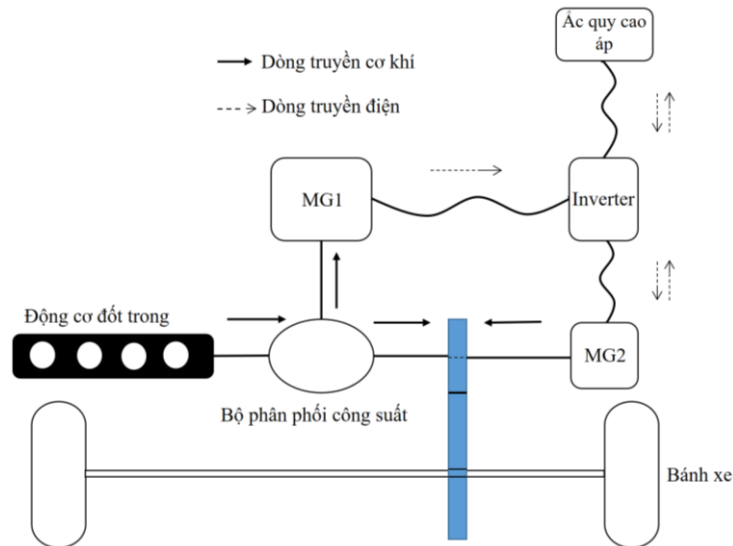
Quãng đường thử nghiệm là 123,44 km, tốc độ trung bình là 39,77 [km/h] (với thời gian xe chạy thực tế là 3,1 giờ). Dựa trên chu trình lái xe thực tế được xây dựng, một mô hình mô phỏng của xe Toyota Cross Hybrid cũng được xây dựng nhằm nghiên cứu đánh giá các thông số về mô-men, công suất phanh tái sinh, hệ số sạc SOC. Các thông số này sẽ là cơ sở để tính toán năng lượng thu hồi được cũng như mức tiêu hao nhiên liệu của xe trên mỗi cung đường.



Hình 3. Sơ đồ nghiên cứu

2. Cơ sở lý thuyết

Hệ thống truyền lực xe Toyota Cross Hybrid bao gồm động cơ đốt trong và hai mô tơ/máy phát MG1 và MG2. Bộ phân phối công suất cho phép động cơ đốt trong dẫn động xe hoặc động cơ điện MG2 dẫn động xe hoặc cả động cơ điện và động cơ đốt trong cùng dẫn động xe trong quá trình tăng tốc. MG2 có tác dụng như là một máy phát điện để biến năng lượng quán tính của xe trong quá trình giảm tốc thành điện năng nạp lại cho ắc quy cao áp để tái sử dụng lại [2].



Hình 4. Sơ đồ hệ thống truyền lực xe Toyota Cross [2]

Bảng 1. Thông số kỹ thuật xe Toyota Cross Hybrid [2]

| Tên | Mô tả | Thông số |
|--------------------|------------------------------|----------------------|
| Động cơ | Kiểu động cơ | 2ZR-FXE |
| | Số xy lanh | 4 xy lanh thẳng hàng |
| | Dung tích [cm ³] | 1798 |
| | Công suất cực đại [kW] | 103 tại 6400 V/phút |
| | Moment xoắn cực đại [N*m] | 142 tại 3600 V/phút |
| Mô tơ/Máy phát MG1 | Điện áp cực đại [V] | DC 600 |
| Mô tơ/Máy phát MG2 | Công suất cực đại [kW] | 53 |
| | Momen xoắn cực đại [N.m] | 163 |
| Ắc quy | Loại ắc quy | (Ni-MH) |
| | Điện áp danh định [V] | 201,6 |
| | Số ngăn | 168 ngăn |

2.1. Xác định sự phân bố tải trọng và các thông số động lực học của xe

Tải trọng phân bố lên cầu trước và cầu sau được xác định như sau [3]:

$$F_{z1} = \frac{1}{2} * 40\% * F_z = \frac{1}{2} * 40\% * 1850 * 0,981 = 3629,7(N) \quad (1)$$

$$F_{z2} = \frac{1}{2} * 60\% * F_z = \frac{1}{2} * 60\% * 1850 * 0,981 = 5444,6(N) \quad (2)$$

Khoảng cách từ trọng tâm xe đến cầu trước và cầu sau lần lượt là [3]:

$$a_1 = \frac{2 * l * F_{z2}}{m * g} = 1,584(m); a_2 = \frac{2 * l * F_{z1}}{m * g} = 1,056(m) \quad (3)$$

Diện tích cản chính diện [3]:

$$A = 0,9 * b * h = 2,66(m^2) \quad (4)$$

Trong đó: b là chiều rộng cơ sở của xe.

Mô men quán tính của bánh xe[3]:

$$I = \frac{4}{3} * m * R^2 = 0,92(kg.m^2) \quad (5)$$

Chiều cao trọng tâm xe: Trọng lượng của xe trên mặt phẳng nằm ngang [3]:

$$h_g = R + (a_2 - \frac{2F_{z1} * l}{mg}) \cos \phi = 62,4cm \quad (6)$$

2.2. Mô hình toán mô tơ điện

Mô tơ được sử dụng để mô phỏng trên xe Toyota Cross Hybrid với thông số công suất cực đại của mô tơ là 53 kW, mô-men xoắn cực đại 163 N.m. Để xác định điện áp đầu ra của ắc quy, hệ số sạc SOC và nhiệt độ là 2 yếu tố đặc trưng cho hiệu suất của ắc quy được kiểm soát [4]:

$$E_m = f(SOC); R_{int} = f(T, SOC) \quad (7)$$

Điện áp và dòng điện nạp cho ắc quy được tính theo các phương trình sau [4]:

$$V_T = E_m + I_{batt} * R_{int}; I_{batt} = \frac{I_{in}}{N_p} \quad (8)$$

$$V_{out} = \left\{ \begin{array}{l} N_s V_T unfilter \\ \frac{V_{out}}{\tau s + 1} \end{array} \right. \quad (9)$$

$$SOC = \frac{1}{Cap_{batt}} \int_0^t I_{batt} dt; Ld_{AmpHr} = \int_0^t I_{batt} dt \quad (10)$$

Trong đó : SOC là hệ số nạp; i_{batt} là dòng điện trên mỗi mô-đun của ắc quy; P_{batt} là công suất ắc quy; Cap_{batt} là dung lượng ắc quy. Dòng điện dương cho biết ắc quy đang phóng điện. Dòng điện âm cho biết ắc quy đang được sạc.

2.3. Tính toán momen phanh tái sinh.

Momen phanh tái sinh được tính theo công thức [4]:

$$M_{th} = M_{mt} * K_v * K_{SOC} \quad (11)$$

Trong đó: M_{th} là momen thu hồi [N.m]; M_{mt} là mô-men hãm của mô tơ điện hoạt động ở chế độ máy phát [N.m]; K_v là hệ số vận tốc; K_{soc} là hệ số % khả năng nạp điện của ắc quy.

2.4. Năng lượng thu hồi trong quá trình phanh.

Năng lượng thu hồi được trong quá trình phanh là điện năng nạp cho ắc quy. Công suất thu hồi của máy phát được tính theo công thức [4]:

$$P_{th} = M_{th} * \omega * i \quad (12)$$

P_{th} là công suất thu hồi [W]; M_{th} là momen thu hồi của máy phát [Nm]; ω tốc độ góc bánh xe trước [rad/s]; i là tỉ số truyền của hệ thống truyền lực.

2.5. Mô hình tính toán nhiên liệu

Xe Hybrid sử dụng hai nguồn năng lượng, một động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu xăng và một động cơ điện sử dụng năng lượng điện. Vì vậy việc tính toán mức tiêu thụ nhiên liệu cần phải chuyển đổi năng lượng điện được sử dụng để cung cấp cho mô tơ điện thành năng lượng xăng. Lưu lượng nhiên liệu được tính theo công thức [5]:

$$Q_{fuel} = \frac{m_{fuel}}{\frac{1000kg}{m^3} * Sg_{fuel}} \quad (13)$$

Q_{fuel} là lưu lượng nhiên liệu; m_{fuel} là khối lượng nhiên liệu; Sg_{fuel} là trọng lượng riêng của nhiên liệu.

Theo tiêu chuẩn EPA của Hoa Kỳ, năng lượng được tạo ra bởi 1 ga-lon xăng tương đương với 33,7 kWh. Từ công suất đầu ra của ắc quy, công suất điện được chuyển đổi thành lưu lượng nhiên liệu [5]:

$$\frac{P_{batt}}{33,7 * 3600} [gal / s] \quad (14)$$

Trong đó: P_{batt} là công suất đầu ra của ắc quy [kW].

Nhiên liệu được chuyển đổi từ [gal/s] thành [m^3/s] và thành [kg/s] theo công thức [5]:

$$\frac{P_{batt}}{33,7 * 3600} * \frac{1}{264,172} [m^3 / s] = \frac{P_{batt}}{33,7 * 3600} * \frac{1}{264,172} * 739 [kg / s] \quad (15)$$

Với tỷ trọng của xăng là 739 [kg/m^3].

Tổng lượng nhiên liệu được sử dụng trên toàn bộ chu trình của xe Hybrid được tính theo công thức [5]:

$$m_{f_hev} = \int_0^t \left(\frac{P_{batt} * 739}{33,7 * 3600 * 264,172} + m_{fuel} \right) dt \quad (16)$$

Mức tiêu thụ nhiên liệu trên 100km

$$\frac{m_{f_hev} * 100}{S * 0,739} [Lít / 100km] \quad (17)$$

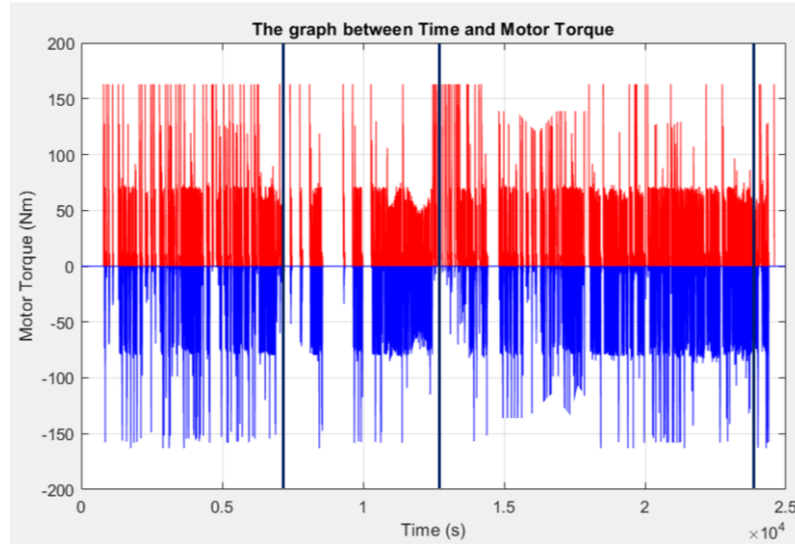
Trong đó S là quãng đường di chuyển của ô tô

3. Kết quả mô phỏng và bàn luận

3.1. Mô men của MG2

Cung đường nội thành: Theo giá trị mô-men xoắn của MG2 trên hình 5 cho thấy rằng khi xe hoạt động trong cung đường nội ô thành phố nên xe được dẫn động bởi mô tơ điện. Do mật độ giao thông đông đúc nên vận tốc trung bình của xe khá thấp và quá trình tăng giảm tốc diễn ra liên tục. Vì thế mô-men kéo của mô tơ điện (phần giá trị dương trên đồ thị) phân bố khá đều theo thời gian. Mô-men kéo cực đại của MG2 được ghi nhận là 163N.m và mô-men kéo trung bình của toàn chu trình là 101,18N.m. Mô-men tái sinh (phần giá trị âm trên đồ thị) ghi nhận được cũng tương tự. Giá trị mô-men phanh tái sinh đạt giá trị cực đại là 163 N.m và mô-men tái sinh trung bình của toàn chu trình là 30,73N.m.

Cung đường cao tốc: Không giống như trên cung đường nội thành, tỷ lệ hoạt động của mô tơ điện MG2 trên đường cao tốc xuất hiện ít hơn. Do lúc này xe hoạt động với vận tốc cao hơn nên động cơ đốt trong phải hoạt động. Giá trị mô-men phanh tái sinh đạt giá trị cực đại là 160 N.m và mô-men tái sinh trung bình của toàn chu trình là 29,8N.m.

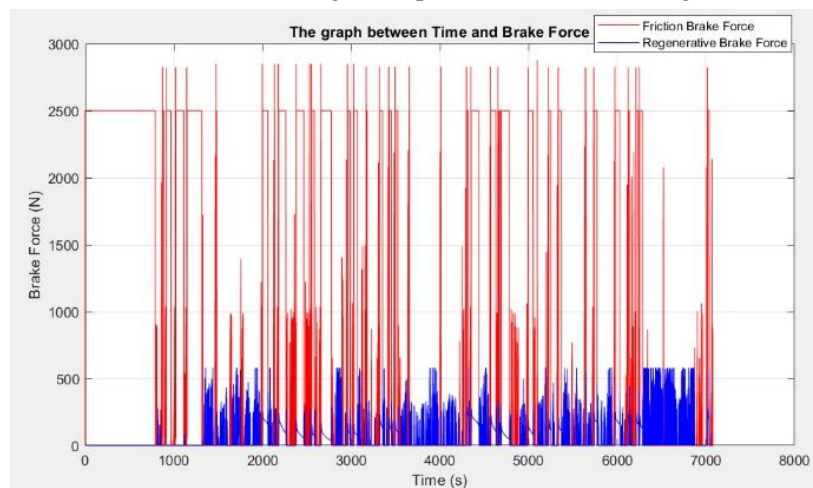


Hình 5. Đồ thị mô men xoắn của MG2 trên toàn chu trình

Đối với cung đường liên tỉnh: giai đoạn đầu tốc độ tương đối lớn sau đó vào cửa ngõ thành phố vận tốc xe giảm do đó động cơ điện lại hoạt động nhiều lên dẫn đến tỷ lệ phanh tái sinh hoạt động cũng tăng theo. Mô-men phanh tái sinh (phần giá trị âm trên đồ thị) ghi nhận được giá trị cực đại là 160 N.m và mô-men tái sinh trung bình của toàn chu trình là 28,68N.m.

3.2. Lực phanh thủy lực và phanh tái sinh

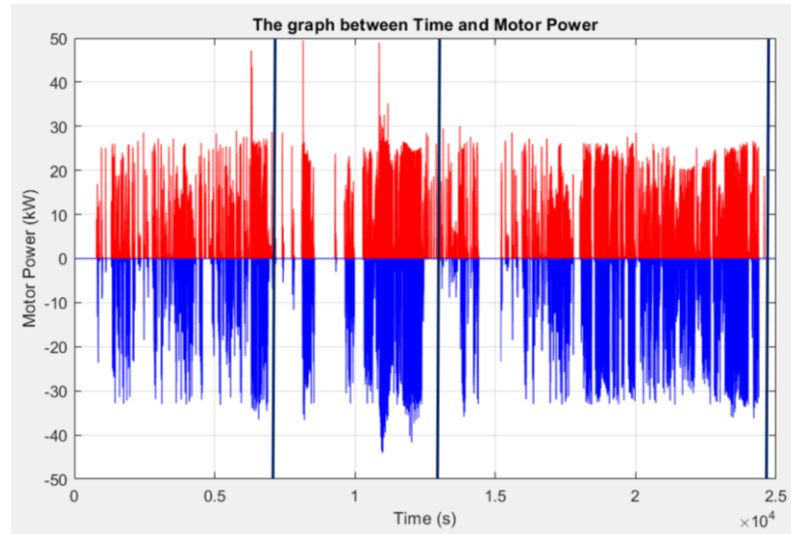
Lực phanh thủy lực lớn nhất được ghi nhận là 2876,48N. Các lần phanh có lực phanh dưới 2500N được ghi nhận ở các khoảng thời gian từ 0s – 1250s; 2000s – 3500s; 4300s – 6300s và 7000s. Còn lại là các khoảng lực phanh nhỏ từ 1000N trở xuống được phân bố đều theo thời gian trên toàn biểu đồ.



Hình 6. Đồ thị lực phanh thủy lực và phanh tái sinh trên cung đường nội thành.

Lực phanh tái sinh (giá trị màu xanh trên đồ thị) phân bố tương đối đồng đều, giá trị lớn nhất của lực phanh tái sinh được ghi nhận 579,486N. Trong đó ta có thể thấy rõ lực phanh tái sinh được chia thành 2 giai đoạn. Giai đoạn 1 có giá trị trung bình khá thấp khoảng 250N, ở giai đoạn 2 lực phanh tái sinh có giá trị cao hơn khoảng 500N – 510N.

3.3. Công suất của MG2



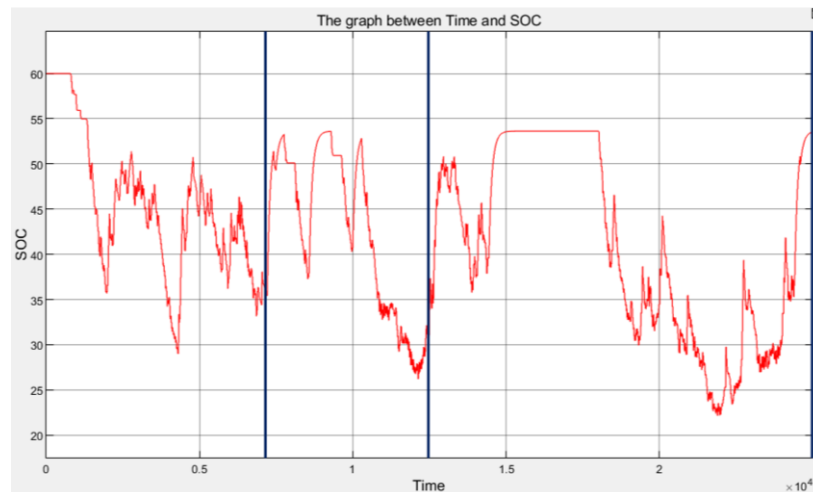
Hình 7. Đồ thị công suất của MG2 trên toàn chu trình

Ở cung đường nội thành: giá trị công suất kéo của mô tơ điện MG2 (phần dương trên đồ thị) đạt cực đại là 47,15kW. Giá trị công suất này biến đổi từ 17kW đến 25kW trong khoảng thời gian đầu chu trình. Về giữa và cuối cung đường cao tốc sự phân bố công suất khá đều trong khoảng từ 26kW – 28kW. Về phần công suất tái sinh (phần âm trên đồ thị) công suất tái sinh cực đại được ghi nhận 36,49kW. Giá trị công suất tái sinh được phân bố khá đồng đều từ 30kW đến 32kW. Công suất tái sinh trung bình của cung đường nội thành vào khoảng 1,55kW.

Sang cung đường cao tốc, giai đoạn đầu tốc độ xe tăng cao nên ngoài động cơ xăng hoạt động thì có sự hỗ trợ của mô tơ điện MG2 để tăng tốc xe. Giai đoạn này động cơ xăng hoạt động là chính nên công suất kéo cũng như công suất tái sinh của MG2 xuất hiện khá thưa thớt. Về cuối cung đường cao tốc, xe chạy với vận tốc trung bình cao hơn nên quán tính của xe cũng lớn dẫn đến công suất thu hồi cũng tăng lên. Công suất tái sinh trung bình của cung đường cao tốc vào khoảng 1,33kW.

Ở cung đường liên tỉnh: giống như mô men, công suất của MG2 trên cung đường này cũng được chia làm 2 giai đoạn. Giai đoạn 1 là quốc lộ nên công suất kéo cũng như công suất tái sinh thấp hơn giai đoạn giữa và gần cuối. Công suất tái sinh trung bình của toàn cung đường liên tỉnh là 1,31kW.

3.4. Hệ số sạc SOC



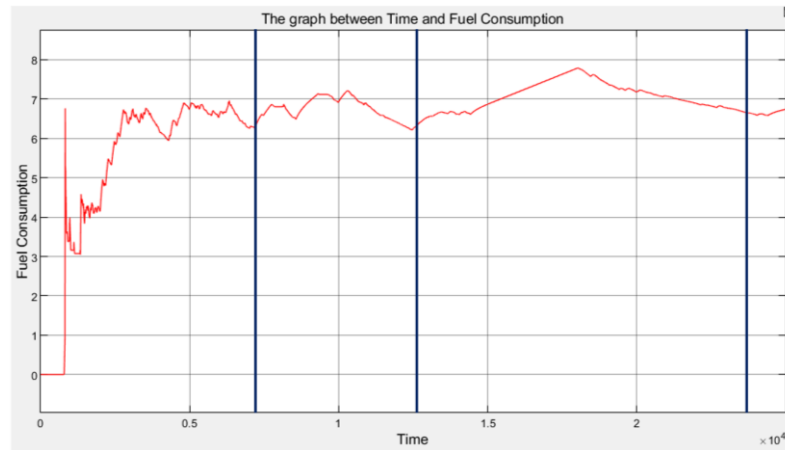
Hình 8. Đồ thị hệ số SOC trên toàn chu trình

Khi xe bắt đầu hoạt động, ắc quy được nạp đầy do đó hệ số SOC bắt đầu từ 60%. Tại cung đường thành phố hầu như mô tơ điện được sử dụng và khả năng tăng giảm tốc tương đối đều nên khả năng phóng-nạp của ắc quy diễn ra đều đặn SOC duy trì trong phạm vi từ 35-50%. Có duy nhất một giai đoạn hệ số SOC giảm xuống dưới 30% rồi được điều khiển tăng lên lại nhờ vào máy phát MG1 được dẫn động bởi động cơ xăng.

Ở cung đường cao tốc, do mô tơ MG2 hoạt động để dùng phụ trợ cho động cơ xăng trong quá trình tăng tốc. Do đó sự biến thiên của hệ số SOC ở giai đoạn đầu cao tốc tương đối đều từ 38 – 53% ở mức cao hơn cung đường nội thành. Tuy nhiên, tới giai đoạn gần cuối cao tốc tốc độ xe tăng mạnh nên mô tơ điện hoạt động tăng công suất dẫn đến SOC giảm xuống rất thấp khoảng 26% và ngay sau đó được tăng lên nhờ máy phát MG1 được dẫn động bởi động cơ xăng.

Ở cung đường liên tỉnh cũng tương tự như sự phối hợp của hai cung đường nội thành và cao tốc. Trong giai đoạn đầu trên quốc lộ, tốc độ xe tương đối cao nên mô tơ MG2 chỉ hoạt động để hỗ trợ động cơ xăng. Do đó giai đoạn này SOC biến thiên tương đối đều đặn từ khoảng 30-57%. Đến cuối cung đường vào nội thành do tỷ lệ sử dụng mô tơ điện nhiều hơn nên SOC giảm mạnh xuống dưới 25%. Tuy nhiên, cùng với sự phát điện của MG1 và MG2 hoạt động ở chế độ máy phát để thu hồi năng lượng quán tính của xe nên SOC được ổn định tăng dần về giá trị cực đại ở cuối chu trình.

3.5. Tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu



Hình 9. Đồ thị tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu trên toàn chu trình

Theo đồ thị hình 9 cho thấy rằng ở cung đường nội thành, tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu là thấp nhất do mô tơ điện hoạt động nhiều hơn và quá trình phanh tái sinh nhiều hơn. Ở cung đường cao tốc, do tốc độ xe cao, động cơ xăng hoạt động nhiều nên tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu tăng hơn so với cung đường nội thành. Với cung đường liên tỉnh được chia là 2 giai đoạn: giai đoạn 1 đi trên quốc lộ tốc độ xe cao nhưng không bằng đường cao tốc nên tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu có xu thế tăng. Giai đoạn 2: vào cửa ngõ thành phố tốc độ xe giảm dần, tỷ lệ sử dụng mô tơ điện và phanh tái sinh tăng nên mức tiêu hao nhiên liệu giảm nhẹ.

Bảng 2. Các kết quả tính toán từ mô phỏng

| Loại đường | S(km) | V _{tb} (km/h) | P _{tb} (Kw) | E _{th} (KJ) | F _{nl} (Lít/100km) |
|-----------------|-------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Nội thành | 22,5 | 24,88 | 1,55 | 9419 | 4,9 |
| Cao tốc | 25,6 | 55,80 | 1,33 | 8611 | 5,4 |
| Đường liên tỉnh | 75,3 | 38,65 | 1,31 | 14919 | 5,3 |
| Toàn chu trình | 123,4 | 39,77 | 1,40 | 32221 | 5,2 |

Trong đó: S là quãng đường xe di chuyển; V_{tb}: vận tốc độ trung bình; P_{tb}: công suất trung bình của phanh tái sinh; E_{th}: tổng năng lượng thu hồi; F_{nl}: Mức tiêu hao nhiên liệu.

Bảng 3. Công suất MG2 trên toàn bộ chu trình

| Loại đường | $P_{\max_kéo}$ (kW) | $P_{tb_kéo}$ (kW) | $P_{\max_phát\ điện}$ (kW) | $P_{tb_phát\ điện}$ (kW) |
|-----------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Nội thành | 47,15 | 1,44 | 36,49 | 1,33 |
| Cao tốc | 53,00 | 1,68 | 43,89 | 1,55 |
| Đường liên tỉnh | 49,54 | 1,36 | 36,12 | 1,31 |

Trong đó: $P_{\max_kéo}$ là công suất cực đại ở MG2 ở chế độ kéo; $P_{tb_kéo}$ là công suất kéo trung bình; $P_{\max_phát\ điện}$ là công suất cực đại của MG2 ở chế độ máy phát trong quá trình thu hồi năng lượng; $P_{tb_phát\ điện}$ là công suất trung bình của MG2 ở chế độ máy phát trong quá trình thu hồi năng lượng.

Về công suất của MG2: xét về công suất kéo của MG2 hoạt động ở chế độ mô tơ dẫn động xe thì công suất trung bình ở đoạn đường cao tốc có giá trị lớn hơn các cung đường còn lại. Do khi đi trên cao tốc có những giai đoạn cần tốc độ xe lớn mô tơ điện cùng tham gia vào quá trình tăng tốc nên công suất của mô tơ lớn hơn hai cung đường còn lại.

Xét về mức tiêu hao nhiên liệu: mức tiêu hao nhiên liệu theo kết quả mô phỏng lần lượt là: cung đường nội thành 4,9 [Lít/100 km]; cung đường cao tốc 5,4 [Lít/100 km] và đường liên tỉnh là 5,3 [Lít/100 km]. Lý do cung đường cao tốc tiêu hao nhiên liệu nhiều hơn là do quá trình tăng tốc động cơ xăng hoạt động nhiều hơn trong khi đó khu vực nội thành hầu như xe được dẫn động bởi mô tơ điện nên tỷ lệ tiêu hao nhiên liệu ít hơn. Qua đó cho thấy rằng, hệ thống phanh tái sinh đóng góp rất lớn vào việc giảm tiêu hao nhiên liệu của xe Hybrid. Đặc biệt là khi xe hoạt động trong nội thành.

4. Kết Luận

Tóm lại, nghiên cứu này đã xây dựng được mô hình toán và mô hình mô phỏng của xe Toyota Cross Hybrid. Với việc truyền dữ liệu là chu trình lái xe thực tế với 3 cung đường khác nhau vào mô hình mô phỏng để đánh giá các thông số ảnh hưởng tới việc thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng với sự đóng góp của hệ thống phanh tái sinh, tiêu hao nhiên liệu của xe có thể đạt tới 4,9-5,4 [Lít/100km] tùy vào cung đường hoạt động của xe. Kết quả nghiên cứu này sẽ là cơ sở cho việc nghiên cứu các phương pháp nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh cũng như các nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá hệ thống.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh, Công ty Toyota An Sương và các nhà khoa học đã hỗ trợ về các trang thiết bị, tài liệu nghiên cứu và đóng góp ý kiến để nghiên cứu được thực hiện thành công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Y. Hwang and J. S. Chen, "Optimized Fuel Economy Control of Power-Split Hybrid Electric Vehicle with Particle Swarm Optimization," *Department of Vehicle Engineering*, vol. 13, no. 9, p. 2278, doi:10.3390/en13092278.
- [2] Toyota, "2022 Corolla Cross Owner's Manual (OM0A010U)," 31 May 2022.
- [3] R. Rajamani, "Vehicle Dynamics," Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, 2012, pp. 87-91.
- [4] P. Clarke, T. Muneer, and K. Cullinane, "Cutting vehicle emissions with regenerative braking."
- [5] Jmdonev, "Revision as of 21:17, 14 April 2018," https://energyeducation.ca/wiki/index.php?title=Miles_per_gallon_gasoline_equivalent&direction=next&oldid=5848, 20 Aug. 2022.



Duong Tuan Tung has received his B.E, M.E, and Ph.D degree in Automotive Engineering from HCMC University of Technology and Education (HCMUTE) in 2005, 2010 and 2020. He currently works at Faculty of International Education, HCMUTE. His research interest includes powertrain system, automotive control system and regenerative braking system.



Huynh Phuoc Son has received his B.E, M.E degree in Automotive Engineering from HCMC University of Technology and Education (HCMUTE) in 1995 and 2004, in 2018, Ph.D degree in Transportation Mechanical Engineering from Da Nang University, Vietnam. He currently works at Faculty of Vehicle and Energy Engineering, HCMC University of Technology and Education. His research interest includes powertrain system, automotive control system and Application dual fuel CNG-Diesel on internal combustion engine.



Ho Duong Duy Anh. He is a third year student in Automotive Engineering major at HCMC University of Technology and Education



Ngo Quang Thanh has received the B.E degree in Automotive Engineering from HCMC University of Technology and Education (HCMUTE) in 2005. He currently is a graduate student at Faculty of Vehicle and Energy Engineering, HCMC University of Technology and Education