

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MATLAB SIMSCAPE ĐỂ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ XE Ô TÔ ĐIỆN

APPLICATION OF MATLAB SIMSCAPE SOFTWARE FOR SIMULATION AND ASSESSMENT OF ELECTRIC CAR

Nguyễn Thanh Quang^{1,*}, Lê Hồng Quân¹,
Phạm Việt Thành¹, Dương Thị Thanh Thủy¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.146>

TÓM TẮT

Đối tượng của nghiên cứu này cho xe điện thuần túy chỉ chạy bằng động cơ điện. Phương pháp mô phỏng là xây dựng mô hình năng lượng xe điện bao gồm các thành phần khác nhau và ứng dụng công cụ mô phỏng trong phần mềm Matlab Simscape. Điều kiện mô phỏng là trong cùng điều kiện vận hành xác định về thời gian, vận tốc và độ dốc như nhau. Mục đích và kết quả của mô phỏng tìm ra mức tiêu thụ năng lượng của một chiếc xe điện khi có các lực tác động lên xe nhằm xác định trạng thái kỹ thuật của xe. Mở rộng khảo sát một số xe điện khác đang có trên thế giới hiện nay có thể so sánh trạng thái kỹ thuật của những xe cùng loại.

Từ khóa: Mô phỏng, xe điện, động lực học, mô hình năng lượng xe, Matlab, Simscape.

ABSTRACT

The object of this study is for pure electric vehicles powered by electric motors only. The simulation method is to build an electric vehicle energy model including different components and MATLAB Simscape software used. Simulation conditions are under the same specified operating conditions of the same time, speed and slope. The purpose and results of the simulation is to find out the energy consumption of an electric vehicle when there are forces acting on the vehicle in order to determine the technical state of the vehicle. Expand the survey of some other electric vehicles available in the world today to compare the technical status of similar vehicles.

Keywords: Simulation, electric vehicles, dynamics, vehicle energy modelling, Matlab, Simscape.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyenthanhquang@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/02/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2023

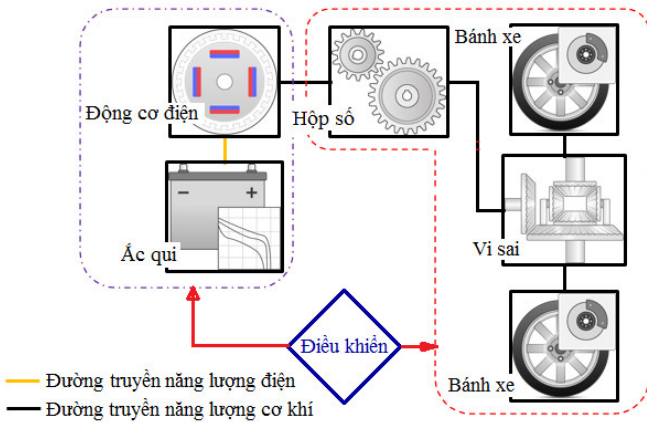
1. MỞ ĐẦU

Bắt đầu mô hình hóa và mô phỏng ô tô điện là mô phỏng tương tác năng lượng vật lý giữa những đối tượng điện, điện tử trong hệ thống truyền lực bằng sử dụng sơ đồ Bond-graph [1]. Kế thừa là phương pháp Causal Ordering Graph (COG) được J.P. Hautier ứng dụng trong mô tả hệ thống điện

tử công suất và truyền động điện để phát triển khả năng điều khiển chúng [2]. Phương pháp Energetic Macroscopic Representation (EMR) được giới thiệu vào năm 2000 (phương pháp mô hình hóa biểu diễn ví mô năng lượng) là một trong những công cụ mạnh được phát triển để mô phỏng các hệ thống truyền động cơ điện phức tạp dưới dạng hệ thống nhiều thành phần theo quan hệ nhân quả tích phân [3, 4]. Trên thế giới, khi công nghệ máy tính cùng các phần mềm mô phỏng mạnh phát triển, đã đưa đến sự phối hợp rất mạnh của các ngành điện, điện tử và tự động hóa cùng nghiên cứu phát triển về xe điện. Người dùng có thể dễ dàng nhận được các công trình đã công bố theo những chủ đề khác nhau. Ở Việt Nam, xu thế nghiên cứu về xe điện đã và đang được đầu tư quan tâm. Có thể kể đến một trong những công trình khoa học trong nước đã công bố là: Ứng dụng phương pháp EMR để mô hình hóa ô tô điện có xét đến tương tác bánh xe - mặt đường theo công thức Pacejka và được kiểm chứng tính khả dụng của mô hình bằng mô phỏng trong môi trường MATLAB/Simulink [5, 6]. Xe điện hiện nay phát triển mạnh trong sản xuất và trong nghiên cứu để đáp ứng chiến lược thị trường toàn cầu. Trong sản xuất, các nhà sản xuất xe điện thường sử dụng phương pháp lắp ráp Modulus (mô đun) và kiểm tra đánh giá nhờ những công cụ phần mềm trong sản xuất. Trong nghiên cứu, các nhà sản xuất phần mềm cũng đã nhanh chóng cập nhật những mô đun mô phỏng xe điện. Việc sử dụng phần mềm Ansys trong nghiên cứu đã công bố trong 333 bài báo về xe điện [7] và 297 bài về mô phỏng xe điện [8]. Việc sử dụng phần mềm Ansys thực hiện trên mô hình 3-D nên được sử dụng cho những bài toán cụ thể. Phần mềm Matlab với nghiên cứu tổng quát đáp ứng cho đa số người sử dụng trong nghiên cứu cơ bản, chuyên sâu và nghiên cứu phát triển. Trong thư viện Simscape của Matlab, mô hình xe điện đã được mô đun hóa thành sơ đồ mở cho người dùng. Sơ đồ mô phỏng xe điện trong Matlab/Simscape được nêu trên hình 1 [9, 10].

Xe điện bao gồm các khối kết nối với nhau. Khối động cơ điện gồm đặc tính động cơ như điện trở, điện áp, dòng điện, mô men xoắn. Khối ắc qui gồm chủng loại ắc qui, dung lượng, tốc độ sạc và xả của ắc qui. Khối hộp số cơ khí, vi sai

và bánh xe có thể tập hợp thành khối thân xe có đặc trưng là bán kính lớn, những thông số bám với mặt đường cùng các thông số về tỷ số truyền, khối lượng thân xe, thông số khí động học vỏ xe.



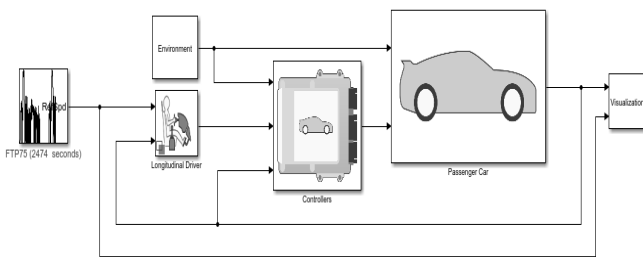
Hình 1. Sơ đồ mô hình hóa xe điện

Để mô hình hóa, mô phỏng trong Matlab Simscape, mô hình được hiểu gồm ba thành phần chính: Nguồn điện (Ắc qui), thiết bị cơ điện (Động cơ điện) và tải (Thân xe) do xe chuyển động trong môi trường mở. Trong mô phỏng sử dụng một số giả thiết, độ chính xác của mô mô phỏng sẽ bị ảnh hưởng, nhưng nó sẽ cung cấp cơ sở cho ý tưởng sẽ được thảo luận đánh giá đối với mỗi mục đích nghiên cứu của người dùng.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA MÔ PHỎNG TRONG MATLAB SIMSCAPE

2.1. Sơ đồ Simscape

Matlab Simscape cung cấp sơ đồ mô phỏng xe điện tổng quát như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ Simscape mô phỏng xe điện

Các khối trong sơ đồ được mô tả các biến thể của mô hình, ứng dụng tham chiếu sử dụng cập nhật các các thông số của xe cụ thể. Các biến thể của mô hình được mô tả trong bảng 1.

Bảng 1. Mô tả biến thể của các khối trong mô hình

Phần tử tham chiếu	Mô tả
Analyze Power and Energy/ Phân tích công suất điện và năng lượng	Đánh giá và báo cáo mức tiêu thụ năng lượng và điện năng ở mỗi thành phần và hệ thống
Drive Cycle Source block/ Khối đầu vào của lái xe	Vận hành xe theo chu kỳ chuyển động tiêu chuẩn hoặc do người dùng chỉ định so với cấu hình thời gian

Environment subsystem/ Khối môi trường	Các biến môi trường, điều kiện đường, vận tốc gió, nhiệt độ và áp suất khí quyển
Longitudinal Driver subsystem/ Khối điều khiển chuyển động	Sử dụng vòng lặp mở tạo ra các lệnh điều khiển phanh, tăng tốc, vận tốc tham chiếu
Controllers subsystem/ Khối điều khiển	Điều khiển hệ thống truyền lực (PCM) với phanh phục hồi, phân tích mô-men xoắn động cơ và điều khiển công suất
Passenger Car subsystem/ Khối thân xe	Thực hiện trên một xe cụ thể bao gồm các cụm của hệ thống của hệ thống truyền lực
Visualization subsystem/ Khối quan sát phân tích kết quả	Hiệu suất truyền động, trạng thái sạc pin (SOC) và các kết quả tiết kiệm nhiên liệu

2.2. Các thông số chính của sơ đồ

2.2.1. Công suất và năng lượng (Analyze Power and Energy)

Công suất được truyền từ động cơ điện qua các khối thành phần trong HTTL, phương thức truyền sử dụng các cổng công suất được xác định trong khối con Power Accounting Bus Creator của sơ đồ. Công suất được tính gián tiếp qua hiệu suất truyền theo phương trình (1).

$$\eta = \frac{\sum P_{output} - \sum P_{store} (P_{store} > 0)}{\sum P_{input} - \sum P_{store} (P_{store} < 0)} \tag{1}$$

Xác định sự cân bằng công suất (P) và bảo toàn năng lượng (E) tại mỗi bước thời gian theo phương trình (2).

$$P_{Err} = \sum P_{trans} + \sum P_{nottrans} - \sum P_{store} \tag{2}$$

$$E_{Err} = \sum E_{trans} + \sum E_{nottrans} - \sum E_{store}$$

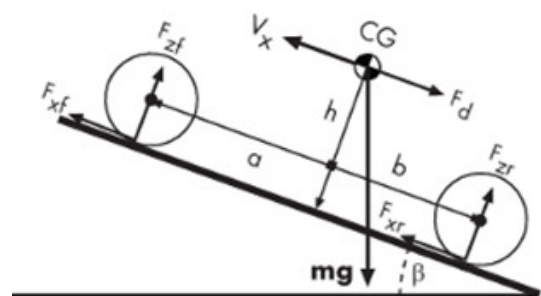
Ở đó: P_{trans} là công suất được truyền giữa các khối; $P_{nottrans}$ là công suất không được truyền; P_{store} là công suất được lưu trữ. Dấu (+), (-) tương ứng với các tín hiệu vào, ra khối

Kết quả cung cấp cho người dùng về hiệu suất, tổn thất năng lượng đầu vào, đầu ra của cả hệ thống truyền lực hoặc từng cụm thành phần tương ứng với khối mô hình và hệ thống con, kết quả dạng bảng tính Excel.

2.2.2. Các khối động lực học của xe

a) Khối thân xe (Vehicle Body)

Khối thân xe gồm tất cả các cụm thành phần cấu thành lên xe như khung vỏ, nội thất, động cơ, hệ thống truyền lực... và được định nghĩa bởi một khối lượng m quy dẫn về trọng tâm CG của xe có các tọa độ a, b, h.



Hình 3. Sơ đồ động lực học dọc của khối thân xe

Tùy theo mục đích sẽ sử dụng mô hình thân xe phẳng hoặc không gian. Giới hạn nghiên cứu ở đây ta sử dụng mô hình phẳng có sơ đồ động lực học dọc của khối thân xe theo hình 3 với độ dốc dọc của đường (β), các lực gồm F_{xf} , F_{xr} , F_{zf} , F_{zr} và lực khí động học (F_d). V_x là vận tốc chuyển động của xe.

Giả thiết: Thân xe không có chuyển động theo phương thẳng đứng so với mặt đất. Xe ở trạng thái cân bằng. Các bánh xe không có sự mất tiếp xúc với mặt đường. Phương trình (3) mô tả chuyển động của xe được sử dụng lập trình trong Matlab.

$$\begin{aligned} m\dot{V} &= F_x - F_d - mg \times \sin\beta \\ F_x &= n(F_{xf} + F_{xr}) \\ F_d &= \frac{1}{2} C_d \rho A (V_x + V_w)^2 \times \text{sgn}(V_x + V_w) \end{aligned} \quad (3)$$

C_d , ρ , A , V_w là các thông số liên quan đến lực cản không khí, khí động học, diện tích cản chính diện, n là số lượng bánh xe trên mỗi trục (f - front, tương ứng với trục trước, r - rear, tương ứng với trục sau).

Các phản lực từ mặt đường được xác định theo công thức (4).

$$\begin{aligned} F_{zf} &= \frac{-h(F_d + mg \sin\beta + m\dot{V}_x) + b \cdot mg \cos\beta}{n(a+b)} \\ F_{zr} &= \frac{+h(F_d + mg \sin\beta + m\dot{V}_x) + a \cdot mg \cos\beta}{n(a+b)} \end{aligned} \quad (4)$$

Khi xe đứng yên, các bánh xe chịu phản lực tĩnh theo phương trình (5).

$$F_{zf} + F_{zr} = mg \frac{\cos\beta}{n} \quad (5)$$

b) Khối bánh xe

Khối bánh xe được mô hình hóa sự tương tác của lốp với mặt đường bằng mô hình Magic Formula, hình 4.



Hình 4. Mô hình bánh xe

Phương trình thực nghiệm (6) dựa trên bốn hệ số A, B, C, D [11].

$$F_x = f(k, F_z) = F_z D \sin\left(C \times \arctan\left\{B_k - E\left[B_k - \arctan(B_k)\right]\right\}\right) \quad (6)$$

F_z là lực thẳng đứng, F_x là lực dọc, k là hệ số trượt, B, C, D, và E là các hệ số liên quan đến thông số hình học của lốp và trạng thái mặt đường.

Loại mặt đường

Loại mặt đường	B	C	D	E
Dry tarmac (đường khô)	10	1,9	1	0,97
Wet tarmac (đường ướt)	12	2,3	0,82	1
Snow (đường có tuyết)	5	2	0,3	1
Ice (đường đóng băng)	4	2	0,1	1

Giả thiết của mô hình là bánh xe chuyển động ổn định, không có dao động quay, lắc ngang do các góc đặt bánh xe camber hoặc lực bên gây nên.

c) Khối hộp số

Ta mô phỏng một tay số truyền với một cặp bánh răng ăn khớp trong hộp số, phương trình truyền mômen có dạng (7).

$$i_h \times T_B + T_F - T_L = 0 \quad (7)$$

ở đó, i_h là tỷ số truyền của tay số, T_B là mô men đầu vào trên bánh răng chủ động, T_F là mô men đầu ra trên bánh răng bị động, T_L là mô men hao tổn (hiệu suất)

d) Khối cầu chủ động

Tương tự khối hộp số, phương trình truyền mômen trên cầu chủ động có dạng (8).

$$\omega_1 \times T_1 + \omega_2 \times T_2 + \omega_D \times T_D - P_L = 0 \quad (8)$$

ở đó, ω_1 , ω_2 , ω_D và T_1 , T_2 , T_D là vận tốc góc và mô men của bán trục hai bên và trục quả dứa còn P_L là công suất tổn hao trong cầu chủ động.

Tập hợp các khối chính: khối thân xe, khối bánh xe, khối hộp số, khối cầu chủ động cho ta khối Passenger Car trên sơ đồ Simulink.

e) Khối người lái (Longitudinal Driver)

Khối lập trình của người lái xe tạo ra tốc độ, phanh, gia tốc chuyển động với các lệnh lập trình thay đổi từ 0 đến 1. Khối sử dụng để mô hình hóa phản ứng động của người lái xe hoặc để tạo các lệnh cần thiết để theo dõi chu trình truyền động của mô hình.

Động học chuyển động dọc của xe được mô phỏng trên sơ đồ phương trình tuyến tính (9)

$$\dot{x} = Fx + g\bar{u} \quad (9)$$

Ở đó

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ F_r & 0 \end{bmatrix}; \quad \bar{u} = u - \frac{m^2}{F} g \sin(\beta) \quad (10)$$

x là véc tơ trạng thái của quãng đường, x_1 , x_2 là các véc tơ đơn vị, A là ma trận hệ thống, F là lực kéo tiếp tuyến, F_r là lực cản lăn, m là khối lượng của xe, g là gia tốc trọng trường, β là góc dốc, u là vận tốc chuyển động dọc của xe.

f) Khối điều khiển (Controllers)

Khối này gồm nhiều khối điều khiển con bên trong theo từng cấu hình của sơ đồ mô phỏng. Trong Simscape sơ đồ mô phỏng xe điện này sử dụng khối điều khiển hệ thống truyền lực (PCM) có các chức năng: Kiểm soát phanh tái tạo,

mô-men xoắn và công suất động cơ; Chuyển đổi tín hiệu bàn đạp ga của người lái thành yêu cầu về mô-men xoắn; Chuyển đổi tín hiệu bàn đạp phanh của người lái thành yêu cầu về áp suất phanh; Thu hồi lượng động năng tối đa từ xe; Triển khai hệ thống quản lý pin ảo; Giới hạn mức phóng điện và mức sạc dưới dạng các hàm của trạng thái sạc pin (SOC) đảm bảo không vượt quá giới hạn mức phóng và mức sạc.

3. MÔ PHỎNG XE ĐIỆN

3.1. Các loại xe điện trên thế giới

Tập hợp một số xe điện tiêu biểu và sơ sở thông số kỹ thuật xe điện đã được tham khảo từ tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất như trong bảng 2 [12], trong đó xe điện của hãng Vinfast VfeV34 là xe điện đầu tiên do Việt Nam thiết kế chế tạo.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật chính của một số loại xe điện

Thông số	Audi e-Tron GTRS	BMW i4	Tesla S	Mercedes EQS 450	Vinfast eV34
Kiểu động cơ	Điện	Điện	Điện	Điện	Điện
Tổng công suất điện (kW)	441	250	235	333	110
Tổng mô-men xoắn (Nm)	830	430		568	242
Công suất cực đại (kW)	440	340	235	333	
Mô-men xoắn cực đại (Nm)	830	340	2	568	
Số lượng động cơ điện	3	1	2	1	1
Loại động cơ	Đồng bộ một chiều, nam châm vĩnh cửu	nb	1 chiều cảm ứng (AC Induction)	Đồng bộ một chiều, nam châm vĩnh cửu	
Dẫn động HTTL	AWD	RWD	AWD	RWD	FWD
Số tay số	2 AT	1 CVT	2 CVT	1 CVT	
Vận tốc cực đại (km/h)	250	190	322	210	
Loại ắc quy	Lithium-ion	Lithium-ion	Lithium-ion	Lithium-ion	Lithium-ion
Quãng đường nạp lại (km)	472	590	450	731	285
Thời gian nạp (giờ)	09 h 20 ph	08 h 23 ph	06 h 20 ph	10 h 48 ph	
Dòng điện nạp (kW DC kW)	270	210	250		

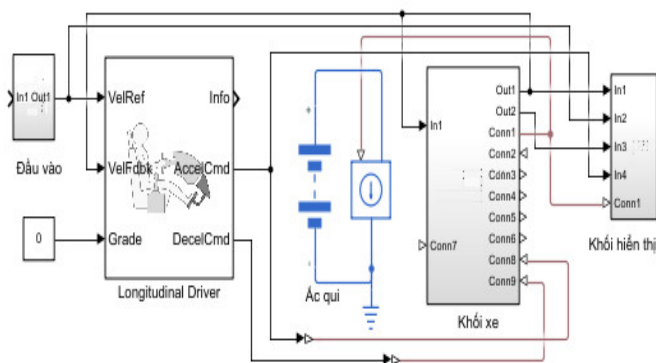
Dung lượng ắc quy (kWh)	93,4	83,9	95	108	
Chiều dài cơ sở (mm)	2900	2856	2960	3210	2610,8
Dài/rộng/cao tổng thể (mm)	4989/1964/1396	4783/1852/1448	4970/1964/1445	5216/1926/1512	4300/1768/1613
Số ghế ngồi	5	4	5	5	
Kiểu lốp trước	245/45 R20	255/55 R 17	245/45 R19	255/45 R20	
Kiểu lốp sau	285/40 R20	255/55 R 18	245/45 R19	255/45 R20	
Khối lượng toàn bộ (kg)	2322	2050	2162	2405	1490

3.2. Sơ đồ mô phỏng

Tất cả các mô hình mô phỏng cho các loại xe khác nhau được sử dụng chung sơ đồ Simulink/Simscape. Trong phạm vi này ta khảo sát xe điện Tesla 3, động cơ điện có công suất 250 kW làm đại diện. Xây dựng các nhóm biến được mô hình hóa trong các khối, hình 5 trong đó hai khối chính như sau:

Khối đầu vào và Longitudinal Driver: Nhóm biến thông số chung là các điều kiện đầu vào, khối hiển thị. Nhóm biến đầu vào với chu kỳ lái xe FTP75 với các trạng thái của người lái xe là như nhau.

Khối xe: Gồm nhóm biến đặc trưng của mỗi loại xe để khảo sát gồm các thông số về kết cấu: khối lượng, kích thước hình học, cỡ lốp; thông số về loại động cơ điện và ắc quy. Việc lựa chọn động cơ phụ thuộc vào phạm vi vùng miền và việc lựa chọn loại ắc quy phụ thuộc vào phạm vi hoạt động của xe. Động cơ và ắc quy cần đồng bộ hiệu quả. Nhờ hệ thống tái tạo, tình trạng sạc pin được cải thiện tăng phạm vi hoạt động của xe điện.



Hình 5. Sơ đồ Simulink/Simscape mô phỏng xe điện

3.3. Kết quả mô phỏng

3.3.1. Phân tích công suất và năng lượng

Chạy mô hình Simscape cho 5 loại xe ở trên, ta nhận được các kết quả về hiệu suất và năng lượng truyền của hệ

thống truyền động điện của mỗi loại xe như trong bảng 3. Hiệu suất và biến thiên năng lượng không phụ thuộc vào số lượng động cơ điện trên xe. Xe Tesla S có hiệu suất cao nhất 0,81 và Vinfast eV34 có hiệu suất thấp nhất 0,65, năng lượng đầu vào/ra xe Audi e-Tron GT RS 11,59/8,44 (MJ) lớn nhất và 5,97/4,11 (MJ) đối với xe Vinfast eV34, tổn hao trên xe Audi e-Tron GT RS là 2,14 (MJ) và xe Vinfast eV34 là 2,05 (MJ). Có thể thấy tổn hao năng lượng trong hệ thống truyền động nói riêng ảnh hưởng đến hiệu suất là năng lượng trên xe.

Bảng 3. Kết quả về hiệu suất và năng lượng của 5 loại xe điện

	Hiệu suất	Năng lượng vào (MJ)	Năng lượng ra (MJ)	Năng lượng lưu trữ (MJ)	Tổn hao (MJ)
Audi e-Tron GT RS	0,71	11,59	8,44	1,27	2,14
BMW i4	0,76	8,63	6,12	1,01	1,15
Tesla S	0,81	6,67	4,51	0,76	1,97
Mercedes EQS 450	0,79	10,52	8,85	1,36	1,13
Vinfast eV34	0,65	5,97	4,11	0,58	2,05

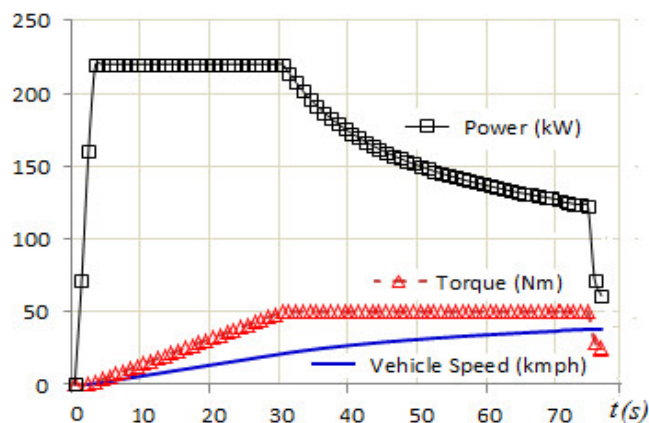
3.3.2. Phân tích động lực học của xe

Các giả thiết trong mô hình:

- Xe chuyển động với vận tốc nhất định và ổn định.
- Nhiệt độ môi trường ổn định không ảnh hưởng đến quá trình mô phỏng.
- Ban đầu ắc quy có trạng thái tích điện hữu hạn.

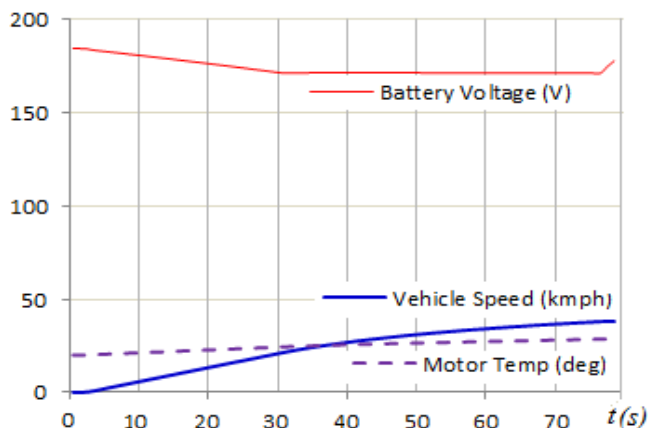
Hệ thống truyền lực xe Tesla 3 gồm động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) là loại động cơ được sử dụng nhiều nhất trong thiết kế xe điện. Nam châm vĩnh cửu tạo ra mật độ thông lượng cao trong khe hở không khí do đó làm tăng mật độ công suất và tỷ lệ mô-men xoắn trên quán tính. PMSM có phản hồi nhanh và hiệu quả cao. PMSM có hai phần chính, Rotor và Stator. Stator gồm ba pha cuộn dây đồng phân bố hình sin. Rotor không có dây quấn. Nguồn cung cấp cân bằng ba pha được cung cấp cho cuộn dây stator tạo ra từ trường quay (EMF) với biên độ không đổi trong khe hở không khí. Dòng điện stator được điều khiển bởi phản hồi vị trí của rôto để duy trì tần số đồng bộ với rôto. Sự tương tác của các trường stator và rôto này dẫn đến sự gia tăng mô-men xoắn trên rôto.

Kết quả mô phỏng cho ta mức tiêu thụ công suất của mô tơ điện theo vận tốc xe chạy và mô men xoắn của động cơ. Ban đầu công suất tăng nhanh nhằm khắc phục các lực cản để xe khởi hành, lúc này mô men xoắn hầu như không tăng. Khi vận tốc xe đạt một giá trị ổn định, mức tiêu thụ công suất động cơ sẽ trở về trạng thái ổn định và mô men bắt đầu tăng đều. Khi vận tốc xe cao và ổn định, mức tiêu thụ công suất động cơ không tăng nữa mà có xu thế giảm dần, mô men động cơ khi này ở trạng thái ổn định. Hình 6 trình bày các kết quả mô phỏng tiêu thụ công suất theo vận tốc xe mô men động cơ.



Hình 6. Kết quả khảo sát tiêu thụ công suất theo vận tốc xe mô men động cơ

Mô phỏng phân tích mức độ sử dụng điện áp của ắc quy cho thấy khi mức độ sử dụng công suất giảm xuống và mô men ổn định thì điện áp cung cấp cho mô tơ cũng ổn định tương ứng. Đây là vùng làm việc ổn định của ắc quy. Nhiệt độ mô tơ thay đổi theo chiều tăng nhưng không đáng kể, có thể trong vùng nhiệt độ cho phép của động cơ. Các biểu đồ khảo sát điện áp ắc quy và nhiệt độ động cơ theo vận tốc xe chạy được trình bày trên hình 7.



Hình 7. Kết quả khảo sát mức phóng điện và nhiệt độ mô tơ theo vận tốc xe

4. KẾT LUẬN

Mô hình năng lượng tổng thể đã được sử dụng làm mô hình mô phỏng xe điện đánh giá những mức tiêu thụ năng lượng riêng lẻ và tổng thể cả xe. Đầu vào của mô hình động lực học xe là mô-men xoắn, lực, vận tốc xe, tình trạng mặt đường và đầu ra là dòng điện, công suất và ngược lại. Từ các kết quả trên ta thấy hiệu suất truyền lực điện trên xe điện không phụ thuộc vào dung lượng ắc quy, số lượng mô tơ điện mà chủ yếu liên quan đến công nghệ chế tạo xe đó do tổn hao năng lượng trong hệ thống truyền động nói riêng ảnh hưởng đến hiệu suất là năng lượng trên xe. Sau khi xe bắt đầu chạy, các đường đồ thị cho thấy sự vận hành của xe trơn tru mà không có bất kỳ đột biến nào xảy ra.

Phần mềm Matlab Simscape mở cho ta khả năng ứng dụng mô phỏng xe điện trong những phạm vi nghiên cứu và có thể áp dụng được trong thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H. Paynter, 1996. *Analysis and design of engineering systems*. MIT Press.
- [2]. J. P. Hautier, P. J. Barre, 2004. *The Causal Ordering Graph - A tool for modelling and control law synthesis*, Studies in Informatics and Control Journal, vol. 13, no. 4, December, pp. 265-283.
- [3]. A. Bouscayrol, et.al., 2009. *Teaching drive control using Energetic Macroscopic Representation-expert level*. Conference: Power Electronics and Applications. EPE '09. https://www.researchgate.net/publication/224600451_Teaching_drive_control_using_Energetic_Macroscopic_Representation-expert_level
- [4]. A. Bouscayrol, B. Davat, B. de Fornel, B. François, J. P. Hautier, F. Meibody-Tabar, M. Pietrzak-David, 2000. *Multimachine Multiconverter System: application for electromechanical drives*. EPJ Applied Physics, vol. 10, no. 2, May, pp. 131-147
- [5]. Nguyen Dzung, Nguyen Bao Huy, Vo Duy Thanh, Ta Cao Minh, 2015. *Modeling of Electric Vehicles using EMR with an Extended Model of the Tire - Road Interaction*. VCCA-2015. <https://www.researchgate.net/publication/306356799>
- [6]. Nguyen Bao Huy, Dzung Nguyen, Thanh Vo Duy, Minh C. T, 2015. *An EMR of Tire-Road Interaction based-on "Magic Formula" for Modeling of Electric*. Conference: 2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), DOI: 10.1109/VPPC.2015.7352894, https://www.researchgate.net/publication/308832898_An_EMR_of_Tire-Road_Interaction_Based_On_Magic_Formula_for_Modeling_of_Electric_Vehicles
- [7]. <https://www.ansys.com/search#q=electric%20vehicle&t=AllAnsysTab&sort=relevancy>
- [8]. <https://www.ansys.com/search#q=electric%20vehicle%20simulation&t=AllAnsysTab&sort=relevancy>
- [9]. <https://www.mathworks.com/help/autoblks/ug/explore-the-electric-vehicle-reference-application.html>
- [10]. <https://www.mathworks.com/help/autoblks/ug/electric-vehide-reference-application.html>
- [11]. Pacejka H. B, 2005. *Tire and Vehicle Dynamics*. Elsevier Science.
- [12]. https://epowercars24.com/?gclid=cjwkcaiao4oqbhbbeiwa5kwu_2mb0xzuk2cjmrqoeg8dabvzgzvulmvy3gyq2q70kqdl8zduhp48jxocfloqavd_bwe

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thanh Quang, Le Hong Quan, Pham Viet Thanh,
Duong Thi Thanh Thuy**

Hanoi University of Industry