

# MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN LỰC VÔ CẤP BẰNG PHẦN MỀM MATLAB SIMULINK

## MODELING AND SIMULATION OF CVT TRANSMISSION SYSTEM USING MATLAB SIMULINK

Vũ Hải Quân<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Anh Ngọc<sup>1</sup>, Nguyễn Trọng Đức<sup>2</sup>,  
Nguyễn Minh Tiến<sup>1</sup>, Lê Hồng Quân<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.045>

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả phân tích, xây dựng mô hình hệ thống truyền lực trong ô tô sử dụng hộp số vô cấp CVT ứng dụng phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink. Mô hình hóa các thành phần của hệ thống truyền lực bao gồm động cơ, CVT, truyền lực các đăng và các bánh xe được phân tích, mô phỏng dựa trên mô hình động lực học và dữ liệu thực nghiệm. Toàn bộ mô hình mô phỏng các tín hiệu đặc trưng của hệ thống như tốc độ hay mức tiêu thụ nhiên liệu khác nhau của đường truyền lực được phân tích, đánh giá từ các tín hiệu đầu vào như độ mở bướm ga và lực tác dụng lên bàn đạp phanh trong môi trường mô phỏng. Các kết quả mô phỏng rất hữu ích trong việc nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hộp số vô cấp trên ô tô.

*Từ khóa:* Mô hình động lực học; độ mở bướm ga; lực phanh; hộp số vô cấp CVT.

### ABSTRACT

This paper presents the results of analysis and modeling of the powertrain in automobiles using CVT gearboxes using Matlab/Simulink simulation software. Modeling of powertrain components including engine, CVT, transmission and wheels are analyzed and simulated based on dynamics models and experimental data. The entire model simulates system-specific signals such as speed or different fuel consumption of the powertrain that are analyzed and evaluated from input signals such as throttle opening and applied force on the brake pedal in a simulated environment. The simulation results are very useful in the research, design and manufacture of automatic transmission in automobiles.

**Keywords:** Vehicle dynamics model; throttle opening; brake force; continuously variable transmission CVT.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học giao thông đường bộ Moscow

\*Email: [quanvh@hauivn](mailto:quanvh@hauivn)

Ngày nhận bài: 25/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

### 1. GIỚI THIỆU

Hộp số vô cấp (Continuously Variable Transmission - CVT) là một loại hộp số có thể thay đổi tỷ số truyền liên tục mà không phân theo từng cấp số. Hộp số CVT không sử dụng các cặp bánh răng như hộp số có cấp bình thường để thay đổi tỉ số truyền cho từng cấp số. Bộ phận chính hộp số

vô cấp CVT chỉ cần sử dụng hệ thống gồm 2 ròng rọc (Pulley) được nối với nhau bằng dây curoa, bằng kim loại hoặc cao su chịu lực là có thể thay đổi tốc độ cho xe. Tỷ số truyền của hộp số CVT được xác định bằng tỉ lệ bán kính của hai pulley và liên kết với nhau bằng dây đai, không phải bằng sự ăn khớp của các bánh răng như các loại hộp số trên ô tô khác. Để xe tăng tốc hay giảm tốc, rãnh của mỗi ròng rọc sẽ trượt vào - ra để thay đổi độ cao của từng đầu dây curoa, tỷ số thay đổi của bán kính quay trên ròng rọc này sẽ tạo nên "cấp số" cho xe [1].

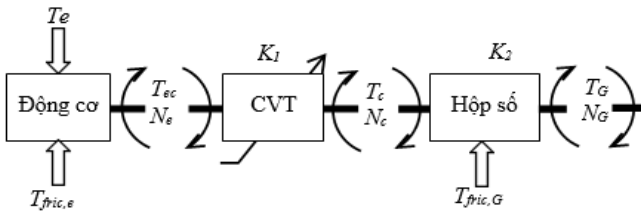
Hộp số vô cấp có ưu điểm không phân cấp số, có thể thay đổi tỷ số truyền động ở mọi dải tốc độ, so với hộp số 6 cấp thông thường sử dụng đến 12 bánh răng hoặc 18 bánh răng trên hộp số 9 cấp, phải được sản xuất với độ chịu lực và chính xác cao. Nhờ vậy, các nhà sản xuất ô tô có thể cắt giảm được chi phí sản xuất. Vì lý do này, người tiêu dùng có thể sở hữu xe với giá thành thấp hơn hộp số thông thường. Với thiết kế được tinh giảm tối đa này, xe sử dụng hộp số CVT có trọng lượng nhẹ hơn. Do đó, mức tiêu hao nhiên liệu được tối ưu hơn so các loại hộp số có cấp. Thể hiện rõ nhất khi xe phải tăng giảm tốc liên tục khi di chuyển trong thành phố. Chính ưu điểm này mà nhiều mẫu xe đô thị hiện nay đang có xu hướng dần chuyển qua sử dụng hộp số CVT thay vì hộp số tự động AT.

Nghiên cứu về hộp số CVT đã và đang là chủ đề được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Nghiên cứu [2] đã đưa ra thiết kế mới và phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong nghiên cứu [3], tác giả đã tiến hành thử nghiệm về ảnh hưởng của đặc tính độ nhớt của chất bôi trơn đến hiệu quả của CVT. Nhóm tác giả [4] đã nghiên cứu điều khiển lực kẹp bằng cách sử dụng Matlab. Việc ứng dụng các phần mềm, các thuật toán để kiểm tra đánh giá, thiết kế hay tối ưu ngày càng trở nên phổ biến để cải thiện hiệu suất hộp số CVT đang được các nhà sản xuất ô tô hướng tới.

### 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Mô hình cơ bản của hệ thống truyền lực vô cấp sử dụng hộp số CVT được thể hiện trên hình 1.

Hình 1 là quá trình các bộ phận cấu tạo của hệ thống truyền lực làm việc thể hiện thông qua sơ đồ hệ thống truyền lực vô cấp CVT với các lực tác động được thể hiện lên từng bộ phận của hệ thống.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống truyền lực vô cấp CVT [5]

Trong đó:

$T_e$ : Mô men sinh ra bởi động cơ,  $T_{fric,e}$  là mô men ma sát của động cơ,  $T_{ec}$  là tải tác động lên động cơ,  $N_e$  là tốc độ ngõ vào CVT (tốc độ động cơ),  $K_1$ : tỉ số bánh răng,  $T_c$  là tải ở ngõ ra CVT,  $N_c$  là tốc độ tại ngõ ra của CVT,  $K_2$  là tỷ số bánh răng,  $T_{fric,G}$  là moment ma sát bên trong hộp số,  $T_G$ : là tải tại ngõ ra hộp số,  $N_G$ : tốc độ tại đầu ra của hộp số.

**2.1. Động cơ**

Có thể áp dụng phương trình động lực học để mô tả từng bộ phận của động cơ. Bằng cách này, có thể mô phỏng chi tiết từng chu kỳ của một động cơ 4 kỳ [6]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, không cần thiết phải đưa ra mô hình động cơ quá chi tiết như vậy. Thực nghiệm cho thấy có thể mô tả mô men sinh ra bởi động cơ như một hàm truyền bậc một [7]:

$$T_e = \frac{K_e}{\tau_p s + 1} \theta \tag{1}$$

Trong đó:  $\theta$  là độ mở của ga (Throttle);  $K_e$  và  $\tau_p$  lần lượt là hệ số khuếch đại động cơ (engine gain) và hằng số thời gian (time constant), các thông số được xác định từ thực nghiệm.

Phương trình chuyển động của động cơ được xác định từ định luật 2 Newton:

$$J_e \dot{N}_e = T_e \cdot T_{fric,e} - T_{ec} \tag{2}$$

Với  $J_e$  là mô men quán tính của ô tô quy dẫn về bánh xe chủ động;  $\dot{N}_e$  là gia tốc động cơ,  $T_{fric,e}$  là mô men ma sát của động cơ,  $T_{ec}$  là tải tác động lên động cơ.

**2.2. Hộp số CVT**

CVT là một bộ truyền động có thể thay đổi tỉ số bánh răng một cách liên tục (Continuous variable transmission). Chức năng CVT giống như một hộp số truyền thống, tức cho phép thay đổi hệ số truyền động để phù hợp với các điều kiện tải khác nhau. Tuy nhiên tỉ số bánh răng của hộp số chỉ có thể có vài giá trị cố định (4-5 số), trong khi CVT có thể thay đổi liên tục từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị lớn nhất tùy theo điều kiện hoạt động. Do đó, có thể dễ dàng nhận ra một ưu điểm rất lớn của CVT so với hộp số là nó tối ưu hoạt động của động cơ, cho phép động cơ hoạt động trong điều kiện tốt nhất. Một ưu điểm nữa là không có sự gián đoạn khi thay đổi hệ số truyền động như hộp số.

CVT được sử dụng bao gồm hai pulley. Mỗi pulley gồm hai đĩa có thể di chuyển so với nhau, kẹp một dây cô-roi ở giữa. Ở tốc độ cao, hai đĩa của pulley kéo bị ép lại (do lực ly tâm), làm tăng bán kính hiệu dụng của pulley kéo nên hệ số

truyền động tăng lên để tăng tốc độ ngõ ra. Ngược lại, khi tải lớn hai đĩa pulley được kéo bị ép lại làm giảm hệ số truyền động để tăng lực kéo. Vì vậy mô hình CVT có thể được coi như một tỉ số bánh răng [8]:

$$K_1 = f(N_e, T_c) \tag{3}$$

Tỉ số bánh răng của CVT là một hàm của tốc độ động cơ và tải tác động lên CVT. Hàm này phụ thuộc vào cấu tạo cơ khí của CVT và thực tế rất khó tìm được mô hình chính xác. Trong nghiên cứu này CVT được mô hình một cách lý tưởng như một hàm tuyến tính của tốc độ động cơ và tải trên CVT.

Tốc độ tại ngõ ra của CVT và tải từ CVT tác động lên động cơ được xác định bởi:

$$N_c = N_e K_1 \tag{4}$$

$$T_{ec} = T_c K_1 \tag{5}$$

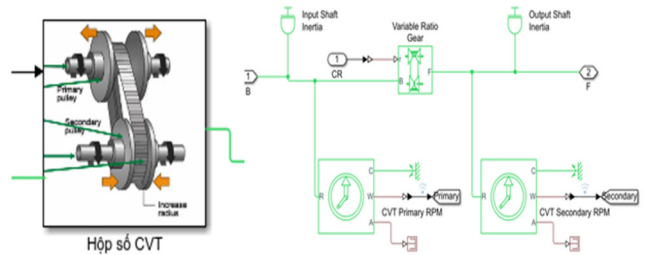
Với  $N_e$  là tốc độ ngõ vào CVT (tốc độ động cơ) và  $T_c$  là tải ở ngõ ra CVT.

Bỏ qua các thành phần phi tuyến, hộp số được mô hình một cách đơn giản với tốc độ tại đầu ra của hộp số và tải từ hộp số tác động lên CVT được tính như sau:

$$N_G = N_c K_2 \tag{6}$$

$$T_G = T_c K_2 + T_{fric,G} \tag{7}$$

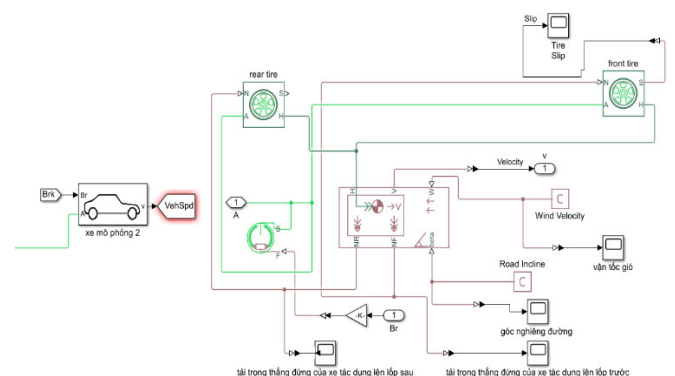
Trong đó,  $T_G$  là tải tại ngõ ra hộp số,  $T_{fric,G}$  là moment ma sát bên trong hộp số,  $K_2$  là tỷ số bánh răng của hộp số.



Hình 2. Mô hình hộp số CVT

**3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN LỰC**

**3.1. Tổng quan**



Hình 3. Khối mô hình động lực học xe

Đầu vào được cung cấp là độ mở bướm ga và lực tác động lên bàn đạp phanh. Tốc độ gió và độ nghiêng của đường được coi là các kích thích bên ngoài, mặc dù chúng

được mô hình hóa trong cùng một khối. Để tập trung vào các hệ thống con cơ học của xe, các đầu vào được cung cấp và được cài đặt trước khi chạy mô phỏng và được giữ không đổi. Hệ thống các khối được mặc định: Tốc độ gió 5 m/s; độ nghiêng 0°.

Quá trình mô phỏng được xây dựng với

- + Đầu vào được cung cấp là độ mở bướm ga và lực tác dụng lên bàn đạp phanh thông qua việc sử dụng khối Signal builder.

- + Động cơ được lấy trong thư viện Simscape thông qua việc sử dụng khối Generic Engine.

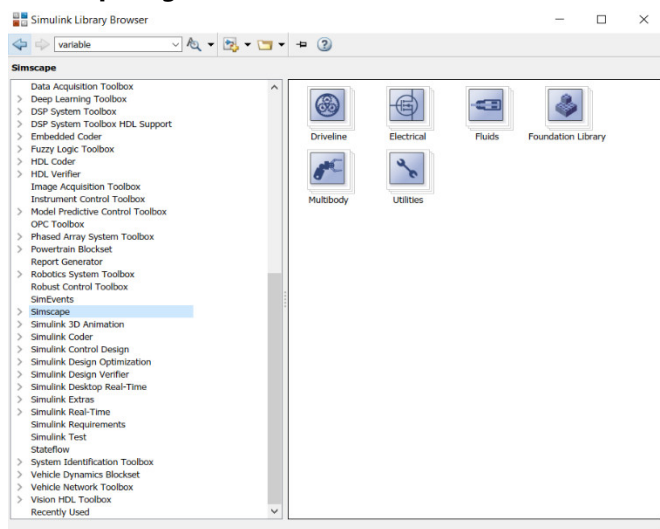
- + Hộp số CVT được lấy trong thư viện Simscape thông qua việc sử dụng các khối chính như sau: Variable Ratio Transmission, Ideal Rotational Motion Sensor.

- + Mô hình động lực học xe được lấy trong thư viện Simscape thông qua việc sử dụng các khối chính như sau: Vehicle Body, Tire (Magic Formula).

- + Một vài khối hỗ trợ khác cho phần mô phỏng cũng đều được lấy trong thư viện Simulink và Thư viện Simscape thuộc phần mềm Matlab/Simulink.

Các khối mô phỏng trong phần mềm Matlab/Simulink có đầy đủ các thông số cần thiết cho từng bộ phận để tác giả có thể thực hiện mô phỏng với sự hỗ trợ của phần mềm một cách đầy đủ và chính xác nhất với việc so sánh kết quả thực tế với nhà sản xuất.

### 3.2. Mô phỏng

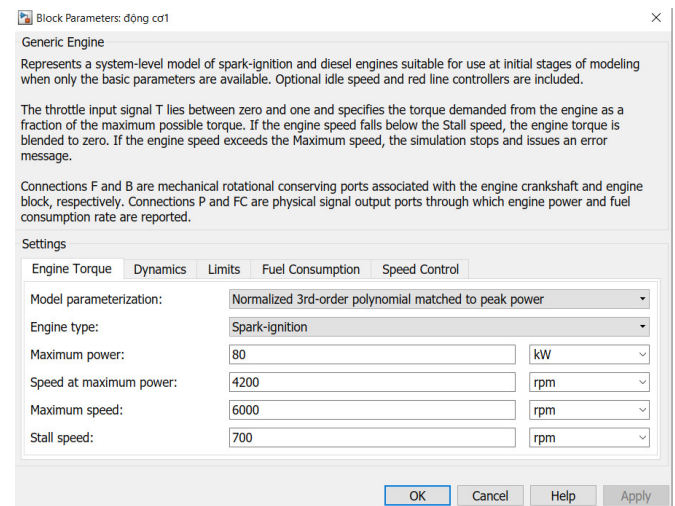


Hình 4. Khối mô phỏng trong môi trường SIMSCAPE

Simulink là môi trường sơ đồ khối ảo cho mô phỏng đa miền và thiết kế dựa trên mô hình cho các hệ thống động, được sử dụng rộng rãi trong việc phát triển thuật toán, mô hình hóa và mô phỏng hệ thống, được xác minh trong một loạt các ứng dụng trong ô tô, hàng không vũ trụ, thiết bị bán dẫn, thông tin liên lạc và thiết kế hệ thống tự trị. Công cụ này hỗ trợ một số phương pháp được sử dụng bởi kỹ thuật hiện đại, như thiết kế cấp hệ thống, mô phỏng cấp hệ thống, tạo mã lập trình tự động và xác minh và kiểm tra liên tục các hệ thống nhúng. Simulink cung cấp trình soạn thảo đồ họa, thư

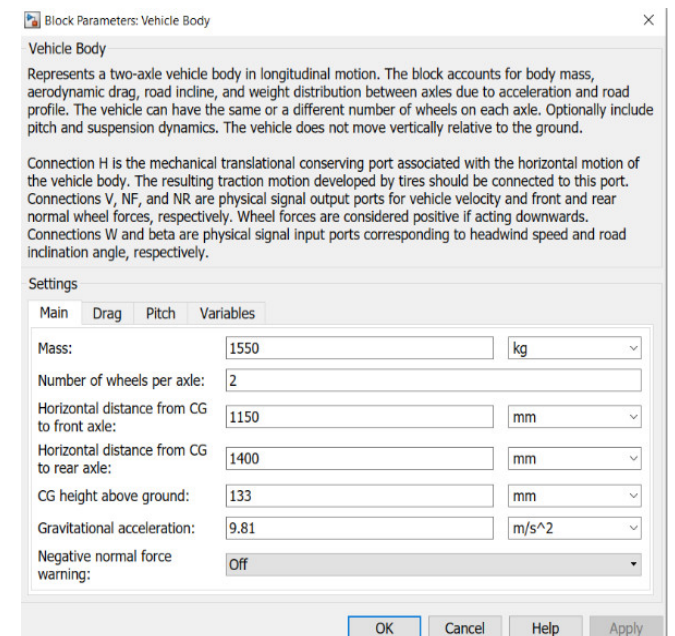
viện khối tùy chỉnh (hình 4) và bộ giải để mô hình hóa và mô phỏng các hệ thống động, được tích hợp với MATLAB, cho phép kết hợp các thuật toán được MATLAB phát triển trong các mô hình Simulink và xuất kết quả sang MATLAB để phân tích thêm.

Trong các khối của thư viện ảo, có thể xây dựng được các mô hình mô phỏng, từ các phương trình toán học, hệ thống vật lý bằng cách thay đổi các biến nhạy cảm. Một hệ thống giảm xóc lò xo, bằng một mô hình Simulink được xây dựng theo các phương trình hệ thống vật lý.



Hình 5. Thông số mô phỏng đầu vào động cơ

Với khối động cơ trong hệ thống truyền lực cần lưu ý những chỉ số sau: Vectơ tốc độ, vectơ mômen; bảng suất tiêu hao nhiên liệu. Tất cả những chỉ số trên sẽ tác động trực tiếp đến khả năng tiêu hao nhiên liệu của hệ thống.



Hình 6. Thông số xe mô phỏng

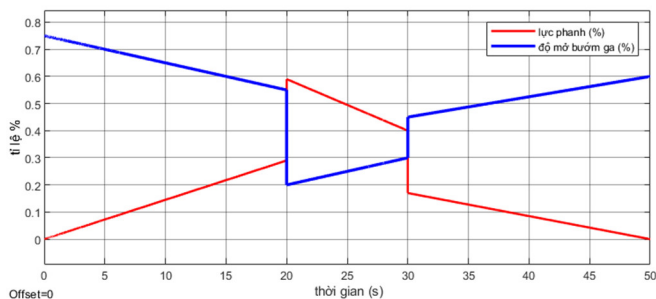
Khối mô phỏng lấy dữ liệu các thông số từ xe Toyota Vios 2021 1.5E CVT. Đây là mô hình xe khá phổ biến được người sử dụng lựa chọn.

Bảng 1. Bảng giá trị thông số mô phỏng

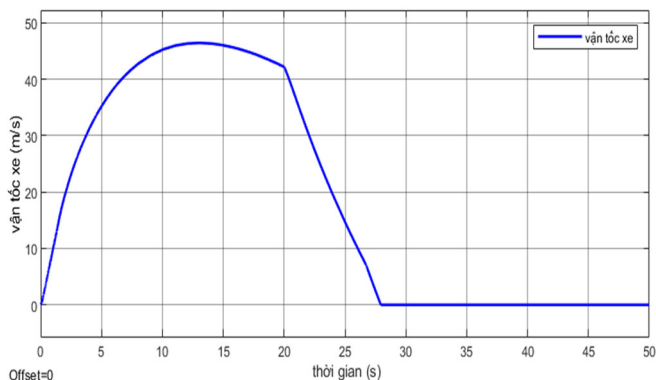
Chỉ số	Giá trị
Kích thước tổng thể(DxRxC) (mm)	4.425x1.730x1.475
Chiều dài cơ sở (mm)	2.550
Khoảng sáng gầm xe (mm)	133
Trọng lượng toàn tải (kg)	1.550
Công suất cực đại (hp/rpm)	107/6000
Mô men xoắn cực đại (Nm/rpm)	140/4200
Mức tiêu hao nhiên liệu trong đô thị	7,53L/100km

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

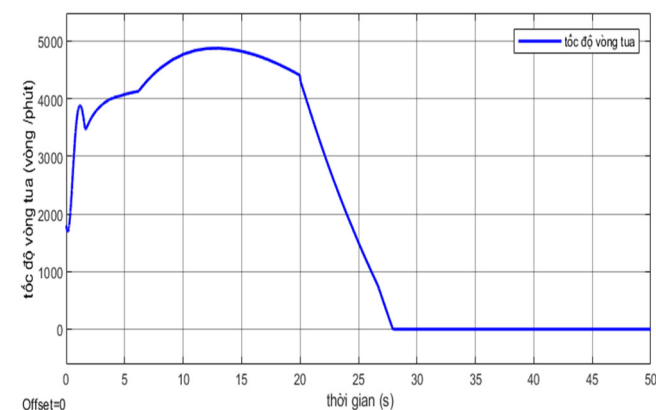
Hộp số được mô phỏng trong môi trường xe chạy trong đô thị với lực phanh được lựa chọn với lực tác dụng lên bàn đạp nằm trong khoảng từ 0 - 60%, độ mở bướm ga được lựa chọn nằm trong khoảng từ 20 - 78%.



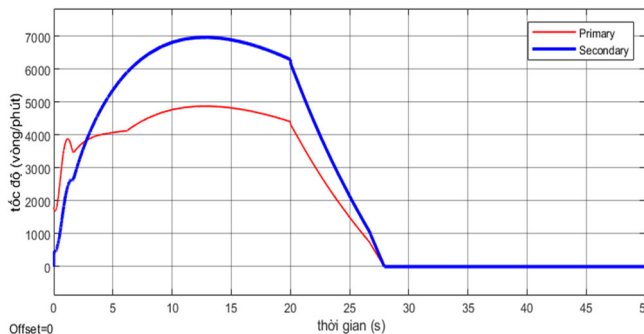
Hình 7. Thông số đầu vào



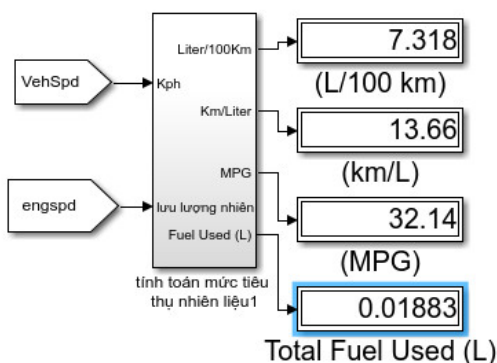
Hình 8. Vận tốc chuyển động xe



Hình 9. Tốc độ vòng quay trục khuỷu



Hình 10. Tốc độ quay tại trục sơ cấp và thứ cấp



Hình 11. Mức tiêu hao nhiên liệu

5. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho kết quả gần đúng với các thông số của nhà sản xuất công bố với việc điều khiển trong đô thị thì giá trị:

- Vận tốc hiển thị 46km/h;

- Tốc độ vòng tua trục khuỷu cũng thể hiện rõ việc: Khi xe mới nổ máy thì vận tốc đạt được tại số vòng tua 3800 vòng/phút tại thời điểm 2s ở mức 15km/h. Tại ngưỡng chuyển số vận tốc đều thay đổi đột ngột tại các thời điểm được đưa ra. Để giải thích lý do trên thì khá đơn giản khi chuyển số là thời điểm xe đột ngột thay đổi trạng thái nên sẽ có độ trễ của xe dẫn đến vận tốc xe khi đó cũng biến đổi sao cho phù hợp với môi trường xe đang chạy;

- Tốc độ quay của trục sơ cấp và thứ cấp của hộp số CVT cũng được đưa ra với giá trị max là 7000 vòng /ph với trục thứ cấp và 4950 vòng/phút với trục sơ cấp.

- Mức tiêu thụ nhiên liệu đạt giá trị 7,318 lít/100km. Đây là giá trị sát với nhà sản xuất khi giá trị được đưa ra 7,53 lít/100km.

Kết quả bài báo đã thực hiện mô hình hóa và mô phỏng các thành phần trong hệ thống truyền lực vô cấp bao gồm: động cơ, CVT, hộp số và các bánh xe. Dựa vào đó, một bộ mô phỏng xe đã được xây dựng trên công cụ Simulink của Matlab. Mô hình xe mô phỏng tiếp cận các điều kiện thực tế cho phép các kỹ sư xác định, định lượng các tham số cấu hình và tối ưu hóa cho các yêu cầu về hiệu suất, như trong trường hợp mô phỏng khi xe chạy trong môi trường đô thị được trình bày bởi mức tiêu thụ nhiên liệu và hiệu suất của xe.

Các kết quả mô phỏng cho thấy có thể dùng mô hình này để tìm hiểu đáp ứng của các bộ phận trong xe khi chạy ở các điều kiện khác nhau. Từ đó có thể dự đoán được quỹ đạo chuyển động của xe. Nếu từ đây xây dựng mô hình ngược lại, có thể ước lượng được các thông số ngõ vào để điều khiển xe chạy theo một quỹ đạo mong muốn. Có thể thử nghiệm mô hình này để giảm thời gian thiết kế cũng như tránh các rủi ro có thể có trên mô hình thật. Ngoài ra, đây cũng là một mô hình rất tốt để giảng dạy và nghiên cứu các loại xe.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N. K. Trai, N. T. Hoan, H. H. Hai, *Ket cau o to*. Bach Khoa Publishing House, Hanoi, 2020.
- [2]. Ali Amoozandeh Nobaveh, Just L. Herder, Giuseppe Radaelli, "A compliant Continuously Variable Transmission (CVT)," *Mechanism and Machine Theory*, 2023.
- [3]. Kwak Y., Cleveland C., "Continuously Variable Transmission (CVT) Fuel Economy," *SAE Technical Paper 2017-01-2355*, 2017.
- [4]. Wu Guang-Bin, Lu Yan-Hui, Xu Xiao-wei, "Optimization of CVT Efficiency Based on Clamping Force Control," *IFAC PapersOnLine* 51-31, 2018.
- [5]. Tran Thanh Hung, Q.P. Ha, R. Grover, S. Scheduling, "Modelling of an autonomous amphibious vehicle", *Australian Conference on Robotics and Automation*, 2004.
- [6]. Crossley P.R., J.A. Cook, "A nonlinear model for drivetrain system development," in *Proc. IEE International Conference 'Control 91'*, Conference Publication 332, vol. 2, pp. 921-925. Edinburgh, U.K, 1991.
- [7]. Vu Hai Quan, Nguyen Anh Ngoc, Le Van Quynh, Nguyen Xuan Khoa, Nguyen Minh Tien, "Modelling and simulation of automatic brake system of vehicle", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 18, 7, 2023. [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2023/jeas\\_0423\\_9171.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2023/jeas_0423_9171.pdf)
- [8]. V. H. Quan, N. H. Truong, N. T. Duc, "Modeling and controlling a quarter-vehicle active suspension model," *Journal of Physics: Conference Series*. DOI:10.1088/1742-6596/2061/1/012138
- [9]. U Kiencke, L Nielsen, *Automotive Control Systems: For Engine, Driveline, and Vehicle*. IOP Publishing Ltd, 2000.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Vu Hai Quan<sup>1</sup>, Nguyen Anh Ngoc<sup>1</sup>, Nguyen Trong Duc<sup>2</sup>,  
Nguyen Minh Tien<sup>1</sup>, Le Hong Quan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>2</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Russia