

Conversion of Hydraulic to Pneumatic Control in a CVT Model: An Educational Approach

Nguyen Hac Lan Duong^{*}, Huy Phat Thai, Tuan Tung Duong
Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

^{*}Corresponding author. Email: landnh@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 24/12/2024
Revised: 09/03/2025
Accepted: 15/04/2025
Published: 28/08/2025

KEYWORDS

Hydraulic controller;
Ratio;
CVT;
Pneumatic controller;
Solenoid.

ABSTRACT

Continuously Variable Transmissions (CVTs) are now widely used in various vehicle models due to their superior advantages. To facilitate learners to learn and research on the structure and operating principle of CVT gearboxes, this study replaces the hydraulic control system with a pneumatic control system. Because maintaining the hydraulic control system will increase the complexity and cost to build the model. The study investigates the structure and operating principles of a CVT model and proposes modifications for conversion and control algorithm development. A new pneumatic control unit is designed to enhance the visualization and safety of CVT operation. The pneumatic control system enables learners and researchers to better understand the principles of gear ratio variation and directional control of the vehicle. Specifically, with the gear selector in position D, the control system successfully adjusts the transmission ratio from 2.60 to 0.41 as the throttle pedal position changes from 5% to 99%.

Chuyển đổi bộ điều khiển bằng thủy lực sang khí nén trên mô hình cắt hộp số CVT: Phương pháp tiếp cận giáo dục

Dương Nguyễn Hác Lân^{*}, Thái Huy Phát, Dương Tuấn Tùng
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

^{*}Tác giả liên hệ. Email: landnh@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 24/12/2024
Ngày hoàn thiện: 09/03/2025
Ngày chấp nhận đăng: 15/04/2025
Ngày đăng: 28/08/2025

TỪ KHÓA

Bộ điều khiển thủy lực;
Tỉ số truyền;
Hộp số CVT;
Bộ điều khiển bằng khí nén;
Van điện từ.

TÓM TẮT

Hộp số vô cấp (CVT) hiện nay được ứng dụng rộng rãi trên nhiều dòng xe nhờ những ưu điểm vượt trội. Để thuận lợi cho người học tìm hiểu và nghiên cứu về cấu tạo lẫn nguyên lý hoạt động của hộp số CVT, đề tài thực hiện chuyển đổi hệ thống điều khiển từ thủy lực sang khí nén. Vì việc duy trì hệ thống điều khiển thủy lực sẽ làm tăng độ phức tạp và chi phí để chế tạo mô hình. Nghiên cứu tập trung vào cấu tạo, nguyên lý vận hành của mô hình hộp số CVT, đề xuất phương án chuyển đổi và xây dựng thuật toán điều khiển. Hệ thống điều khiển khí nén mới được thiết kế nhằm tái hiện chính xác hoạt động của CVT, đồng thời tăng cường tính trực quan và đảm bảo an toàn trong nghiên cứu. Kết quả thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển khí nén giúp người học và nhà nghiên cứu hiểu rõ hơn về nguyên lý thay đổi tỉ số truyền và chiều chuyển động của xe. Cụ thể, khi bàn đạp ga thay đổi từ 5% đến 99% với cần số ở vị trí D, hệ thống điều khiển đã điều chỉnh tỉ số truyền từ 2,60 xuống 0,41, chứng minh hiệu quả của phương pháp này.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2025.1751>

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

Hộp số CVT có nhiều ưu điểm vượt trội về sự êm ái khi thay đổi tỉ số truyền, tính tiết kiệm nhiên liệu, cảm giác lái êm ái và chi phí sản xuất thấp giúp giảm giá thành của xe so với xe sử dụng hộp số tự

động có cấp (AT). Chính vì thế hộp số CVT được sử dụng khá nhiều cảm giác lái êm ái. Môi trường ngày nay cần được bảo vệ rất đặc biệt, trong khi ô tô là một trong nguồn phát thải rất lớn và tác động đến môi trường. Nên hiện đại cần đáp ứng các yêu cầu về bảo vệ môi trường, bao gồm giảm khí thải và tăng cường hiệu quả sử dụng nhiên liệu. Trong đó, hiệu suất truyền động của hộp số là phần ảnh hưởng đặc biệt là việc áp dụng điều khiển phối hợp giữa động cơ và hộp số vô cấp (CVT) mang lại tiềm năng vượt trội trong việc cải thiện hiệu quả nhiên liệu so với hộp số tự động (AT) [1]. Theo các nghiên cứu về hiệu suất truyền động của trung bình của một hộp số tự động 5 cấp đạt hiệu suất trung bình khoảng 86%. Tuy nhiên hiệu suất truyền động trung bình của một hộp số CVT của một số loại dây đai cơ bản là đạt cao hơn 86% [2] và được thể hiện ở bảng dưới đây.

Bảng 1. Hiệu suất các tay số của hộp số tự động 5 cấp [2]

Tay số	Hiệu suất
1	60-85%
2	60-90%
3	85-95%
4	90-95%
5	85-94%

Bảng 2. Hiệu suất của một số hộp số CVT [2]

Loại hộp số CVT	Hiệu suất
Rubber Belts	90-95%
Steel Belts	90-97%
Toroidal Traction	70-94%
Nutating Traction	75-96%
Variable Geometry	85-93%

Ngoài việc hiệu suất truyền động trung bình được cải thiện thì khả năng tăng tốc của xe sử dụng hộp số CVT cũng có thời gian tăng tốc ấn tượng và vượt trội. Ở nghiên cứu của ông S. Birch năm 2000 cho thấy được để tăng tốc từ 0-100 km/h của xe Audi A6 nhanh hơn 1.3s so với hộp số tự động (AT) [3].

Vì quá trình thay đổi tỉ số truyền của hộp số CVT diễn ra trong điều kiện là đường truyền công suất liên tục, không bị ngắt quãng. Kết hợp với việc thay đổi tỉ số truyền liên tục và thay đổi không đột ngột nên mô men đầu ra sẽ không bị thay đổi đột ngột dẫn đến quá trình thay đổi tỉ số truyền sẽ không khiến xe không bị thay đổi đột ngột mô men kéo làm quá trình vận hành xe diễn ra êm ái mà không có sự va đập.

Việc nghiên cứu nguyên lý hoạt động của hộp số CVT hiện nay chủ yếu được thực hiện thông qua hai hình thức chính: thử nghiệm trên băng thử và sử dụng mô hình cắt. Tuy nhiên, cả hai phương pháp này đều tồn tại những hạn chế đáng kể.

Hình thức thử nghiệm trên băng thử yêu cầu đầu tư tài chính lớn, không gian thử nghiệm rộng rãi, và sự chuẩn bị vật tư kỹ thuật phức tạp. Điều này khiến việc áp dụng trở nên khó khăn, đặc biệt là trong môi trường giáo dục và nghiên cứu cơ bản. Trong khi đó, mô hình cắt chủ yếu tập trung vào việc quan sát cấu tạo cơ bản của hộp số. Tuy nhiên, nguyên lý thay đổi tỉ số truyền lại rất khó để minh họa nếu hệ thống điều khiển thủy lực được giữ nguyên, do khi mô hình bị cắt, hệ thống thủy lực không còn đảm bảo tính kín và yêu cầu vận hành phức tạp với sự hỗ trợ từ bơm và nhiều van điều khiển.

Để khắc phục những hạn chế trên, việc thay thế bộ điều khiển thủy lực bằng bộ điều khiển khí nén đã được chứng minh là một giải pháp hiệu quả. Bộ điều khiển khí nén không chỉ đơn giản hóa việc vận hành mà còn giảm thiểu yêu cầu về chi phí và vật tư, đồng thời cho phép minh họa trực quan cả cấu tạo lẫn nguyên lý thay đổi tỉ số truyền của hộp số CVT. Phương pháp này áp dụng ngay cả trên các mô hình cắt, giúp người học không chỉ quan sát cấu tạo chi tiết mà còn hiểu rõ cách thức hoạt động của hộp số CVT, từ đó nâng cao hiệu quả trong giáo dục và nghiên cứu.

Việc chuyển đổi hộp số CVT đảm bảo các hoạt động của hộp số và không làm sai lệch đi nguyên lý của hộp số. và nhiệm vụ trọng tâm của nghiên cứu này là:

1. Phân tích cấu tạo để đánh giá các bộ phận cần chuyển đổi qua hệ thống điều khiển bằng khí nén
2. Lập thuật toán cho bộ điều khiển bằng khí nén dựa trên nguyên lý điều khiển của hộp số CVT.

2. Phân tích cấu tạo các chi tiết cần chuyển đổi

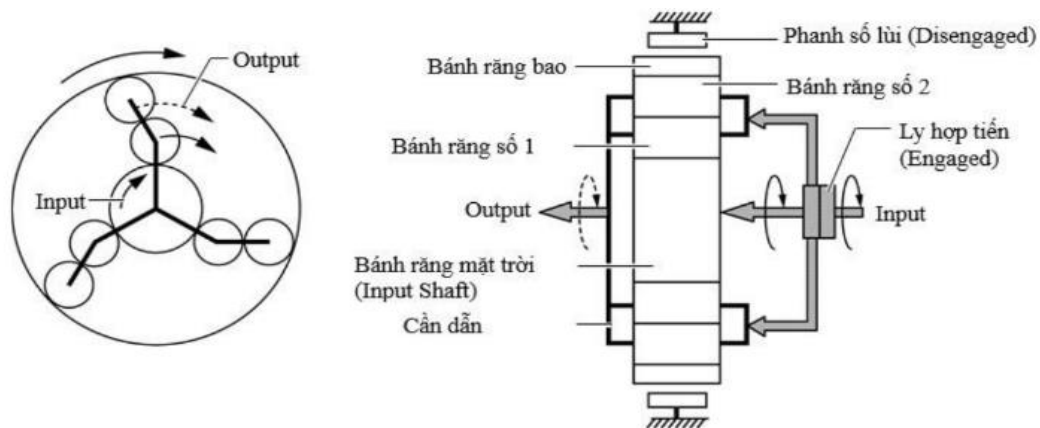
Đối tượng chuyển đổi của nghiên cứu này là hộp số JF017E là hộp số vô cấp được sản xuất bởi Jatco. JF017E có 2 thiết kế cho xe 4WD và FWD, được sử dụng trên nhiều dòng xe như Nissan Altima, Maxima, Murano, Rouge và Pathfinder [4].

Chức năng chính của một hộp số cần phải đảm bảo được và mục tiêu sau khi chuyển đổi từ thủy lực sang khí nén thì các chức năng của hộp số phải được đảm bảo [5].

- Để nối/ngắt công suất truyền từ động cơ bằng cách điều khiển cần chuyển số.
- Để tăng mômen quay khi khởi hành và leo dốc.
- Để truyền động đến các bánh xe ở tốc độ cao khi đang chạy với tốc độ lớn.
- Để truyền động đến các bánh xe khi chạy lùi.

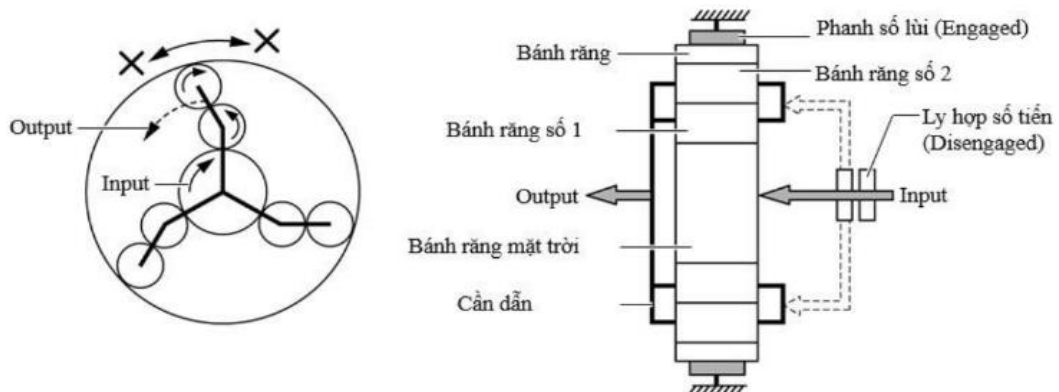
2.1. Phân tích chuyển đổi về biến mô, bộ bánh răng hành tinh và bộ truyền động dây đai.

Với cấu tạo của bộ truyền bánh răng hành tinh sử dụng bánh răng kép như hình 1, để thực hiện cho xe chạy tới (số D) thì cần tác động vào bộ ly hợp tiến và ngắt sự hoạt động của bộ phanh số lùi để đầu vào (bánh răng mặt trời) và đầu ra (là cần dẫn) của bộ truyền bánh răng hành tinh đều quay cùng chiều kim đồng hồ với tỉ số truyền là 1 và khiến cho xe chạy tới.



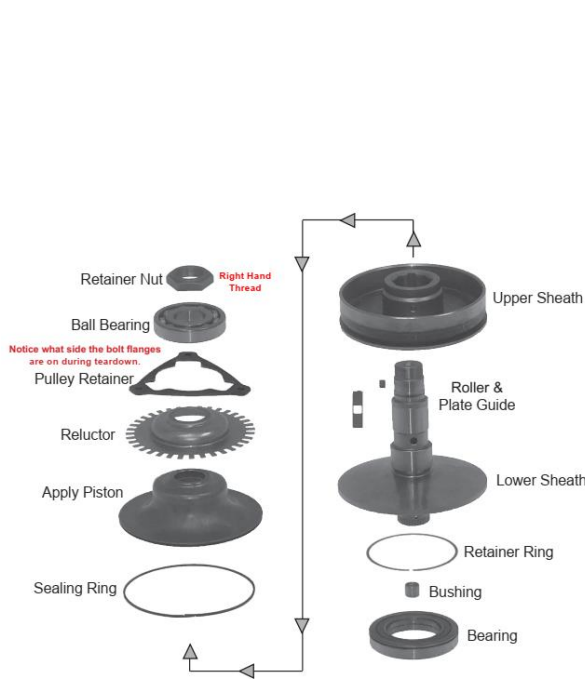
Hình 1. Sơ đồ bộ bánh răng hành tinh ở số D [5]

Theo như hình 2 với cấu tạo của bộ truyền bánh răng hành tinh sử dụng bánh răng kép, để thực hiện cho xe chạy lùi (số R) cần tác động vào bộ phanh số lùi và ngắt sự hoạt động của bộ ly hợp tiến để đầu vào (bánh răng mặt trời) và đầu ra (cần dẫn) của bộ truyền bánh răng hành tinh đều quay ngược chiều nhau điều này khiến cho xe chạy lùi.

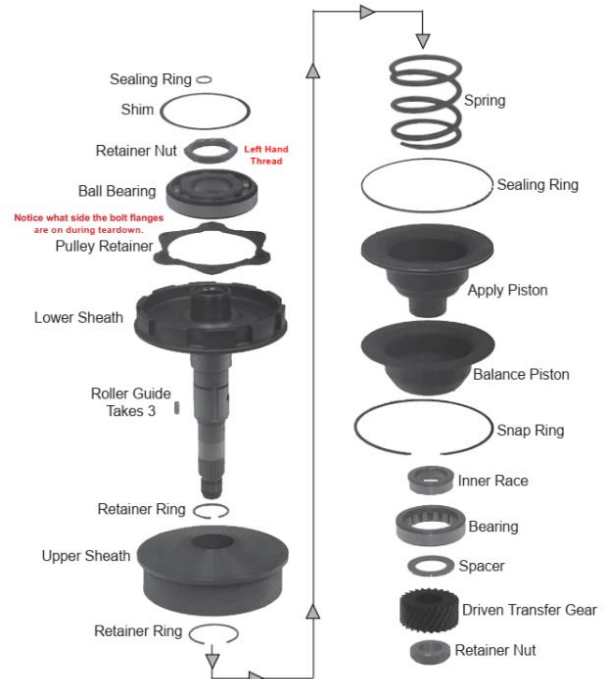


Hình 2. Sơ đồ bộ bánh răng hành tinh ở số R [6]

Bộ phận quyết định đến việc có chuyển đổi được từ thủy lực sang khí nén đó chính là buồng áp suất thủy lực tại hai pittông của pu-li sơ cấp và thứ cấp theo hình 3 và hình 4. Và cụ thể hơn chính là bộ phận làm kín tại các vòng làm kín (sealing ring). Đặc điểm của các vòng làm kín này là cao su tổng hợp. Đây chính là mấu chốt để có thể chuyển đổi sang khí nén. Nên phương án thay đổi tỉ số truyền của bộ truyền động của hộp số CVT bằng cách điều khiển áp suất của hai pu-li sơ cấp và thứ cấp.



Hình 3. Cấu tạo trục sơ cấp [4]



Hình 4. Cấu tạo trục thứ cấp [4]

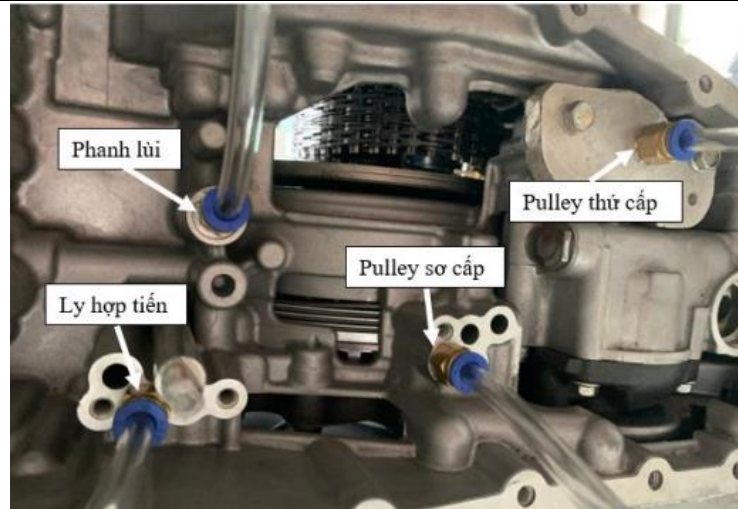
$$P_{Pri} = \left[\frac{Fax_{Pri} - Cf_{Pri} \left(\frac{\omega_{Pri}}{1000} \right)^2}{\frac{A_{Pri}}{10000}} \right] / 100000 \quad [6] \quad (1)$$

$$P_{Sec} = \left[\frac{Fax_{Sec} - Cf_{Sec} \left(\frac{\omega_{Sec}}{1000} \right)^2}{\frac{A_{Sec}}{10000}} \right] / 10000 \quad [6] \quad (2)$$

Ở công thức tính áp suất để điều khiển tỉ số truyền của hộp số CVT thì ta thấy áp suất ở pu-li sơ cấp P_{Pri} và thứ cấp P_{Sec} phụ thuộc vào lực ép lên pu-li là Fax_{Pri} và Fax_{Sec} và rõ ràng là khi có lò xo trục thứ cấp luôn có 1 lực của lò xo tác dụng vào pu-li thứ cấp khiến cho Fax_{Sec} dẫn đến áp suất tác dụng vào Pu-li thứ cấp P_{Sec} cao hơn rất nhiều. Điều này khiến cho áp suất khi cần thay đổi tỉ số truyền tại pu-li sơ cấp rất cao. Nên giải pháp đặt ra cho nghiên cứu để giảm áp suất khí nén cần điều khiển mà không làm ảnh hưởng đến tỉ số truyền và tính khả thi thực hiện của nghiên cứu sẽ loại bỏ lực lò xo.

2.2. Phân tích chuyển đổi về bộ điều khiển thủy lực.

Dựa vào sơ đồ nguyên lý tổng thể của hộp số JF017E nhóm nghiên cứu xác định được đường thủy lực để điều khiển hộp số CVT này. Chính vì thế đó cũng là cơ sở để thực hiện phân tích về mặt cấu tạo để chuyển đổi sang khí nén. Nhóm nghiên cứu xác định được các đối tượng cần thay đổi từ áp suất thủy lực sang áp suất khí nén như: các pu-li, phanh số lùi và ly hợp số tiến. Phân tích cấu tạo trên vỏ hộp số để chuyển đổi thông qua hình 5 và đã xác định chính xác các vị trí để đưa áp suất khí nén từ bộ điều khiển bằng khí nén.



Hình 5. Xác định vị trí đưa áp suất khí nén điều khiển

3. Thuật toán điều khiển và kết quả

Trong quá trình phân tích cấu tạo của mô hình hộp số CVT, nghiên cứu đã xây dựng và trình bày sơ đồ điều khiển hệ thống khí nén (Hình 6). Hệ thống điều khiển này có hai mục tiêu chính: (1) điều khiển đầu ra của hộp số để xác định chế độ hoạt động (tiến hoặc lùi) và (2) điều chỉnh tỉ số truyền theo vị trí bướm ga.



Hình 6. Lập sơ đồ điều khiển của hệ thống điều khiển CVT bằng khí nén

Theo nguyên lý điều khiển hộp số tự động, quá trình chuyển số được quyết định bởi hai tín hiệu chính: vị trí bướm ga và tốc độ xe, qua đó phản ánh tải tác động lên động cơ. Tuy nhiên, trong mô hình nghiên cứu này, không có sự hiện diện của tải, do đó việc điều khiển tỉ số truyền tập trung vào tín hiệu vị trí bướm ga.

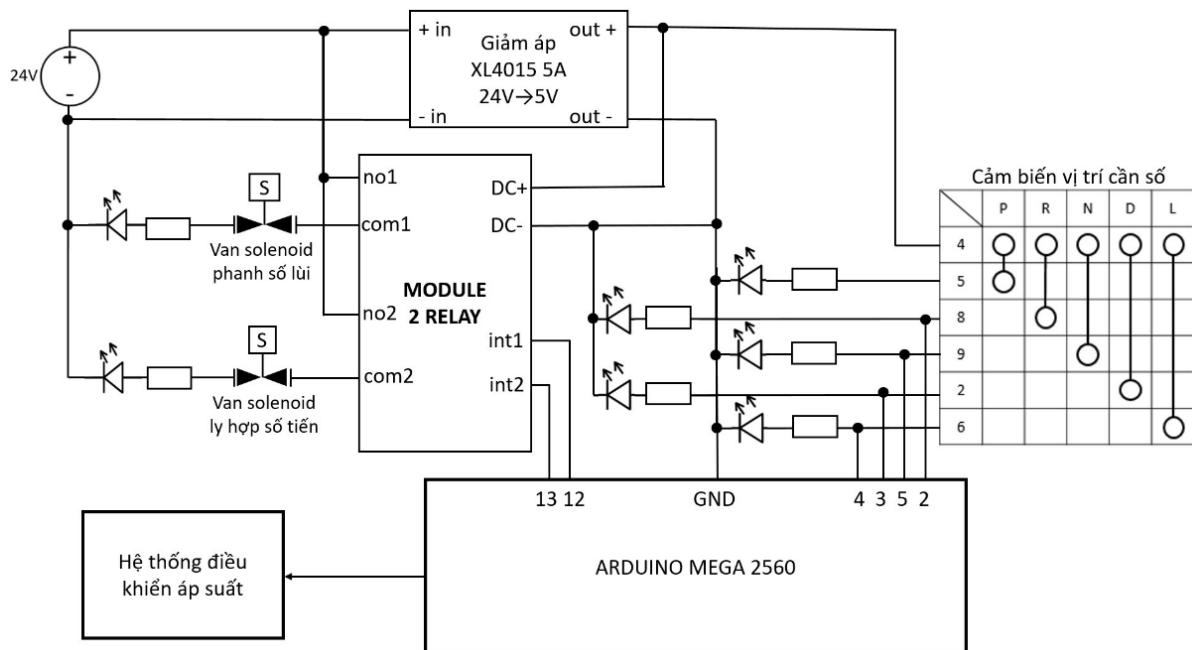
Hệ thống điều khiển thu thập các tín hiệu đầu vào từ nhiều cảm biến, bao gồm:

- Cảm biến vị trí cần số: Xác định chế độ vận hành theo mong muốn của tài xế.
- Cảm biến vị trí bướm ga: Xác định vị trí của bướm ga để điều chỉnh tỉ số truyền.
- Cảm biến áp suất đường ống: Đảm bảo áp suất cung cấp đủ để điều khiển hệ thống khí nén.
- Cảm biến áp suất tại các pu-li: Phản hồi trạng thái hệ thống nhằm điều chỉnh tỉ số truyền.
- Cảm biến tốc độ trục sơ cấp và trục thứ cấp: Xác định tỉ số truyền hiện tại, làm cơ sở cho bộ điều khiển tác động.

Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển Arduino Mega 2560 được sử dụng để điều khiển hệ thống khí nén, thu thập dữ liệu từ các cảm biến và điều khiển van điện từ của ly hợp số tiến, cũng như phanh số lùi nhằm xác định hướng chuyển động của hộp số. Điều này là cần thiết do đặc điểm của động cơ đốt trong không thể tự đảo chiều quay. Đồng thời, hệ thống cũng điều khiển áp suất pu-li sơ cấp và thứ cấp để thay đổi tỉ số truyền theo yêu cầu. Ngoài ra, các thông tin vận hành được hiển thị trực quan trên màn hình LCD nhằm hỗ trợ giám sát và điều chỉnh hệ thống.

3.1. Điều khiển chạy tiến chạy lùi

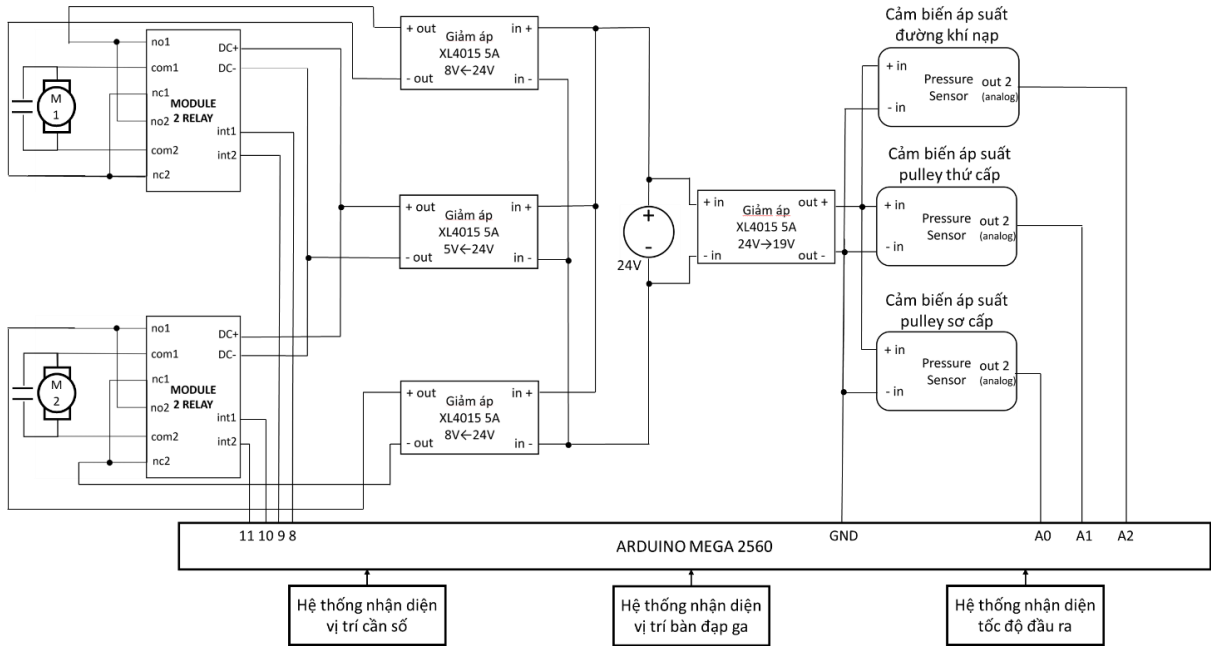
Để điều khiển chế độ vận hành của mô hình hộp số, tín hiệu từ cảm biến vị trí cần số được thu thập và gửi đến bộ điều khiển Arduino Mega 2560. Dựa trên tín hiệu này, bộ điều khiển thực hiện xử lý và điều khiển hai van điện từ, gồm van điều khiển ly hợp số tiến và van điều khiển phanh số lùi, nhằm xác định chế độ hoạt động của mô hình hộp số theo yêu cầu vận hành. Mô hình được thể hiện cụ thể ở hình 7.



Hình 7. Sơ đồ điều khiển chạy tiến chạy lùi

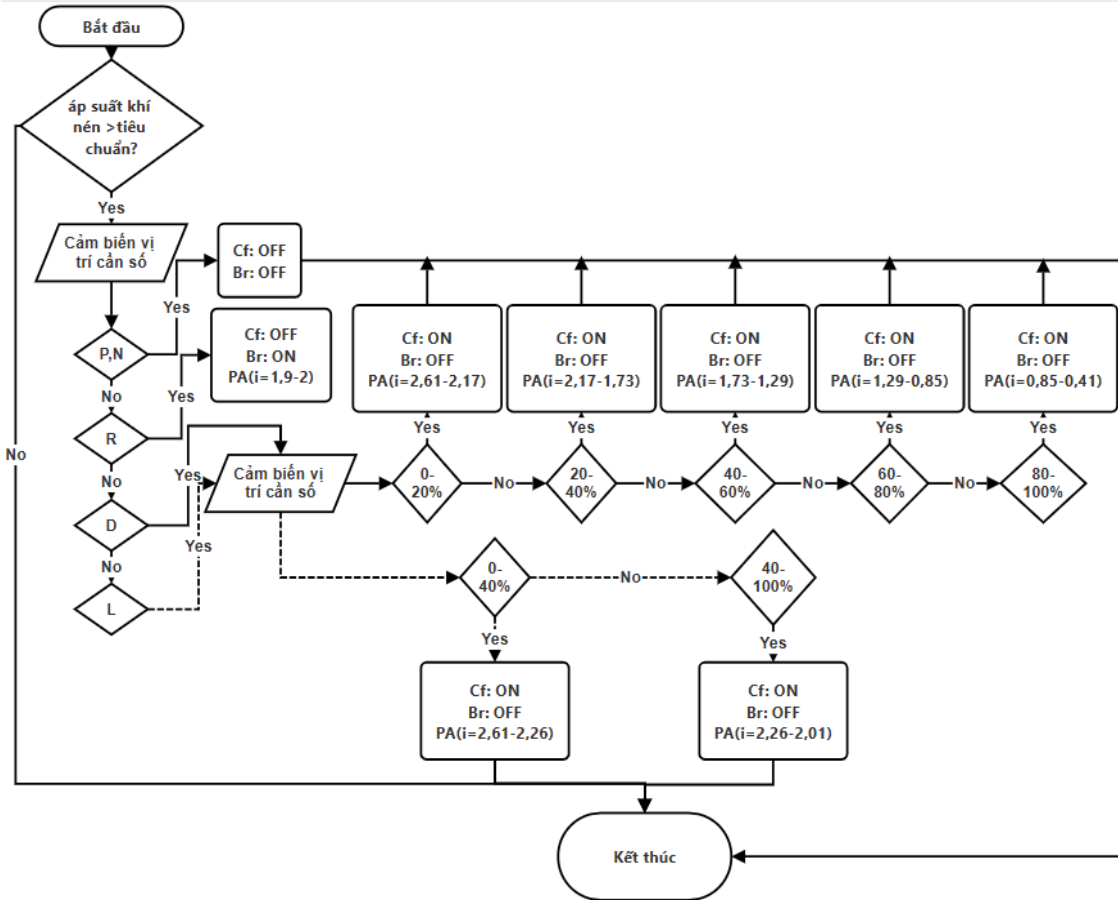
3.2. Điều khiển Tỉ số truyền

Xét điều kiện hoạt động của mô hình chạy với chế độ không kéo tải chính vì thế hệ thống điều khiển xác định tỉ số truyền sẽ bỏ qua ảnh hưởng của tín hiệu tốc độ xe. Các tín hiệu các cảm biến nhận vào (tín hiệu vị trí cần số, tín hiệu vị trí bướm ga, tín hiệu tốc độ trục thứ cấp, tín hiệu áp suất trên các trục) và các bộ chấp hành (2 mô-đun relay kép) được thể hiện ở hình 8.



Hình 8. Sơ đồ điều khiển tỉ số truyền

3.3. Lưu đồ thuật toán điều khiển.



Hình 9. Lưu đồ thuật toán chung

Trong lưu đồ thuật toán (Hình 9): Cf: trạng thái van điện từ của ly hợp số tiến; Br: trạng thái của phanh số lùi; PA là chương trình com điều khiển áp suất, đảm nhiệm việc điều chỉnh tỉ số truyền. Ví dụ: PA(i=1,9-2) tức bộ điều khiển áp suất sẽ điều chỉnh áp suất tác động lên các pu-li để đạt tỉ số truyền từ 1,9 đến 2.

Ban đầu, hệ thống nhận tín hiệu từ cảm biến áp suất đường ống để kiểm tra điều kiện áp suất trước khi tiếp tục xử lý tín hiệu vị trí cần số. Tín hiệu này quyết định trạng thái kích hoạt của van điện từ ly hợp số tiến và phanh số lùi, phù hợp với từng chế độ. Đồng thời, vị trí cần số kết hợp với tín hiệu vị trí bướm ga sẽ gửi lệnh điều khiển áp suất, từ đó thiết lập các tỉ số truyền khác nhau.

Điều khiển tỉ số truyền trong các chế độ vận hành: Chế độ R (số lùi): Bộ điều khiển áp suất duy trì tỉ số truyền trong khoảng 1,9 - 2 ở mọi vị trí bướm ga.

Chế độ D (số tiến): Tỉ số truyền được điều chỉnh tương ứng với từng mức độ mở bướm ga từ (0-100%).

Chế độ L: Để mô phỏng tình huống xe xuống dốc, tỉ số truyền ở số L luôn cao hơn so với số D tại cùng một vị trí bướm ga. Điều này giúp hỗ trợ phanh động cơ, hạn chế tình trạng rà phanh liên tục, góp phần nâng cao hiệu quả kiểm soát tốc độ xe trên địa hình dốc kéo dài. Trong thuật toán điều khiển, khi ở chế độ L, hệ thống phân chia tín hiệu vị trí bướm ga thành hai khoảng: 0 - 40% và 40 - 100%. Khi vị trí bướm ga là 30%, tỉ số truyền ở chế độ D là 1,73 - 2,17, nhưng ở chế độ L thì tỉ số truyền được điều chỉnh lớn hơn, trong khoảng 2,62 - 2,26. (hình 9).

Dựa trên kết quả thực nghiệm, giá trị áp suất cung cấp cho mỗi pu-li được xác định thông qua điện áp đo được từ các cảm biến áp suất và được quy định dưới dạng Vset1 và Vset2 trong Bảng 3, trong đó:

Vset1: Điện áp đặt cho cảm biến áp suất tại pu-li sơ cấp (đơn vị: Volt).

Vset2: Điện áp đặt cho cảm biến áp suất tại pu-li thứ cấp (đơn vị: Volt).

Ví dụ, ở chế độ vận hành D, khi độ mở bướm ga nằm trong khoảng 20 - 40%, hộp số cần thực hiện tỉ số truyền 2,17 - 1,73 (Hình 9). Khi đó, giá trị điện áp đo được từ cảm biến áp suất để đạt được tỉ số truyền mong muốn được xác định như sau:

$V_{set1} = 0,75V$ (pu-li sơ cấp).

$V_{set2} = 2,1V$ (pu-li thứ cấp).

Các giá trị này đóng vai trò làm điện áp tham chiếu, giúp bộ điều khiển hiệu chỉnh áp suất tại pu-li, đảm bảo tỉ số truyền hộp số CVT hoạt động chính xác theo tín hiệu điều khiển.

Chương trình con PA chịu trách nhiệm điều khiển áp suất pu-li sơ cấp và pu-li thứ cấp dựa trên lưu đồ thuật toán điều khiển áp suất (Hình 10). Trong thuật toán này:

Vset1 và Vset2: Giá trị điện áp đặt để điều khiển áp suất, được xác định theo Bảng 3.

Vol1 và Vol2: Tín hiệu đo thực tế từ cảm biến áp suất tại pu-li sơ cấp và pu-li thứ cấp.

tol: là giá trị sai số, được xác định từ thực nghiệm.

Bảng 3. Bảng giá trị thực nghiệm giá trị điện áp đặt tại các vị trí tay số và vị trí bướm ga khác nhau

STT	Vị trí	Vị trí bướm ga (%)	Vset1 (V)	Vset2 (V)
1	R	0-100	0,6	1,9
2	D	0-20	0,4	1,9
3		20-40	0,75	2,1
4		40-60	0,78	1,9
5		60-80	0,75	1,85
6		80-100	1,4	1,8
7		L	0-40	0,4
8	40-100		0,88	2,1

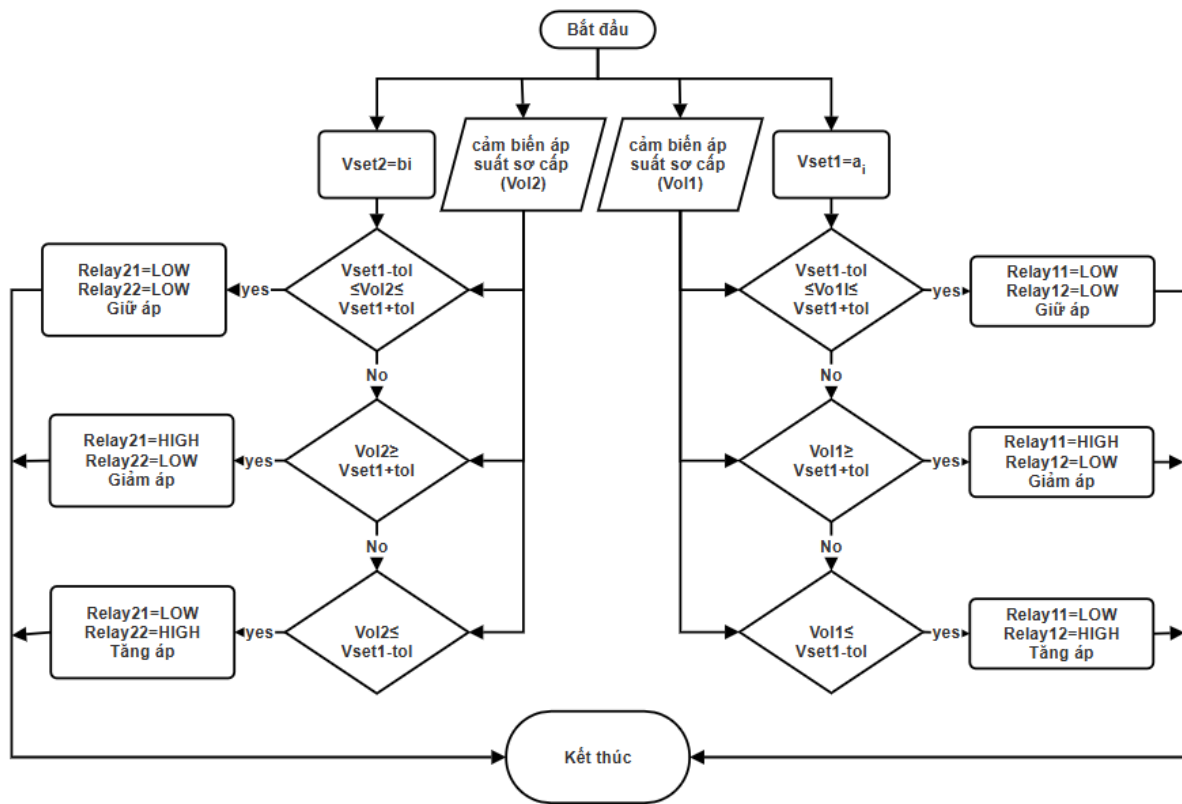
Hệ thống thực hiện so sánh giá trị điện áp đo được với giá trị đặt, có tính đến sai số cho phép “tol”, từ đó điều chỉnh trạng thái của các relay điều khiển áp suất theo nguyên tắc sau:

Duy trì áp suất ổn định: Nếu Vol1 và Vol2 nằm trong khoảng sai số cho phép của giá trị đặt, hệ thống giữ trạng thái LOW cho cả relay điều khiển tăng áp (relay11, relay21) và relay điều khiển giảm áp (relay12, relay22), tiếp tục giám sát để đảm bảo ổn định áp suất.

Giảm áp suất tại pu-li: Nếu Vol1 hoặc Vol2 lớn hơn giá trị đặt, hệ thống kích hoạt relay giảm áp (relay12, relay22), đồng thời ngắt relay tăng áp (relay11, relay21), giúp giảm áp suất tại pu-li.

Tăng áp suất tại pu-li: Nếu Vol1 hoặc Vol2 nhỏ hơn giá trị đặt, hệ thống kích hoạt relay tăng áp (relay11, relay21), đồng thời tiếp tục theo dõi để đảm bảo đạt áp suất mong muốn.

Thuật toán điều khiển này giúp duy trì áp suất tối ưu tại các pu-li, từ đó kiểm soát tỉ số truyền của hộp số CVT một cách chính xác, đảm bảo sự phù hợp với từng chế độ vận hành của mô hình.

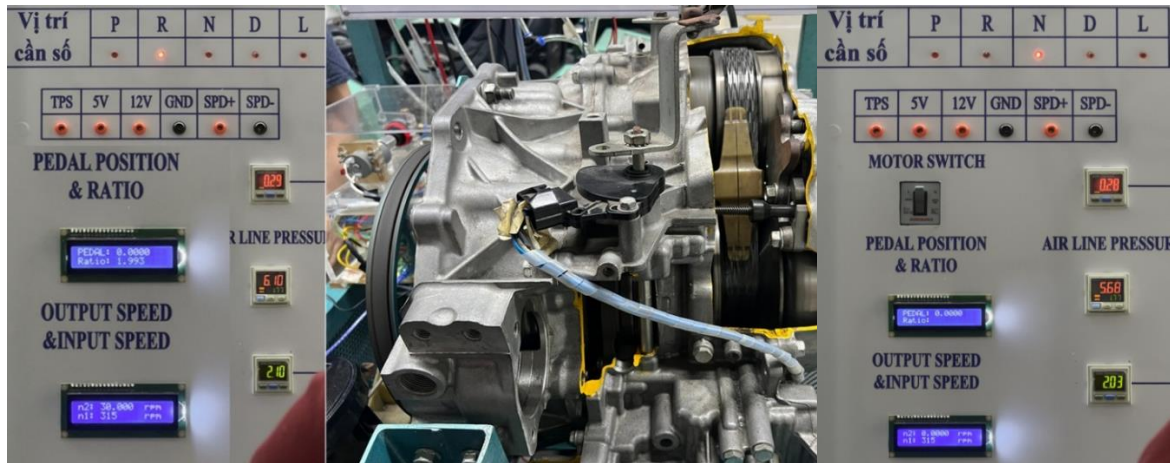


Hình 10. Lưu đồ thuật toán điều khiển áp suất

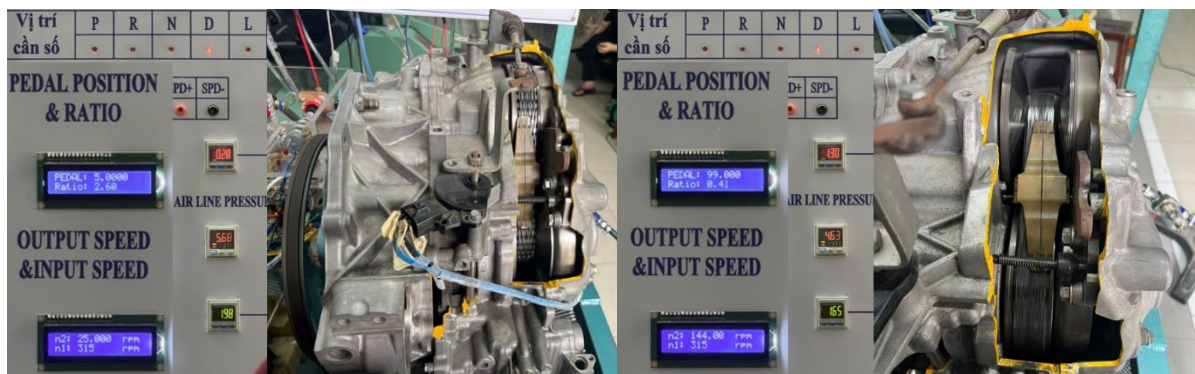
4. Kết quả

Kết quả khi vận hành của mô hình ở tay số R. Bộ điều khiển đã điều khiển đã tiếp nhận tín hiệu từ cảm biến và tác động vào bộ chấp hành cụ thể là cấp áp suất tại pu-li sơ cấp là 2,1 kgf/cm² và pu-li thứ cấp là 2,9 kgf/cm² (hình 11). Kết quả hiển thị tốc độ của trục sơ cấp là 315 v/p. Cảm biến tốc độ đầu ra khi đi qua tỉ số truyền của hộp số và tỉ số truyền của truyền lực chính là 30 v/p. Như vậy tỉ số truyền của hộp số được xác định bằng $(315/30)/5,2=2$ trong đó 5,2 là tỉ số truyền của truyền lực chính. Tỉ số truyền này phù hợp với hoạt động của hộp số CVT. Hơn thế nữa trục đầu ra của hộp số đã quay ngược chiều chuyển động của mô hình cho thấy được hoạt động của van điện từ điều khiển phanh số lùi và ly hợp số tiến hoạt động đúng với yêu cầu đặt ra của mô hình. Ở chế độ N, tốc độ đầu ra của hộp số là 0 v/p thể hiện được lúc này cả 2 van điện từ điều khiển phanh số lùi và ly hợp số tiến điều ở trạng thái OFF để ngắt đường truyền công suất với điều kiện là áp suất vẫn còn ở 2 pu-li sơ cấp và thứ cấp. Chứng minh

rằng việc ngắt đường truyền công suất là do việc ngắt đường truyền công suất của bộ bánh răng hành tinh chứ không phải do hiện tượng trượt dây đai.



Hình 11. Kết quả ở vị trí R và N



Hình 12. Kết quả ở vị trí D 5% và 99% bướm ga

Một số kết quả thu được từ một số chế độ vận hành ở vị trí cần số D và vị trí bướm ga ở 5% và 99% của quá trình vận hành mô hình được thể hiện như bảng 4 và hình 12.

Bảng 4. Bảng giá trị kết quả của một số chế độ vận hành

Tốc độ sơ cấp (v/p)	Tốc độ trực đầu ra (v/p)	Tỉ số truyền	Áp suất trực sơ cấp (kgf/cm ²)	Áp suất trực thứ cấp (kgf/cm ²)	Chế độ (vị trí bướm ga)
315	30	1,993	2,9	2,1	R (0%)
315	25	2,6	2,8	1,98	D (5%)
315	144	0,41	1,3	1,65	D (99%)

5. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện được các mục tiêu đặt ra để tiến hành phân tích đánh giá để chuyển đổi từ thủy lực sang khí nén đồng thời thiết kế được phân cứng và phân mềm để mô phỏng hoạt động của hộp số CVT bằng cách chuyển đổi từ hệ thống điều khiển bằng thủy lực rất khó để thấy được hoạt động của hộp số CVT một cách trực quan để chuyển đổi thành hệ thống điều khiển bằng khí nén. Kết quả đạt được sau khi tiến hành nghiên cứu chuyển đổi từ hệ thống điều khiển thủy lực sang hệ thống điều khiển bằng khí nén giúp cho việc học tập nghiên cứu về cấu tạo và hoạt động của hộp số CVT được rõ ràng và thiết thực mà không có ủa nhiều sự thay đổi về mặt cấu tạo tránh gây nhầm lẫn sau khi chuyển đổi

về mặt cấu tạo. Ứng dụng của nghiên cứu sẽ được áp dụng vào phục vụ cho việc đơn giản hóa và dễ dàng hơn khi nghiên cứu về cấu tạo và hoạt động của hộp số CVT.

Lời cảm ơn

Lời cảm ơn chân thành dành cho nhà trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM với các chính sách khuyến khích nghiên cứu khoa học và tạo điều kiện thuận lợi để tác giả tiến hành nghiên cứu và học tập. Nhờ những chính sách này, chúng tôi đã có cơ hội tiếp cận và sử dụng tài nguyên cần thiết để thực hiện nghiên cứu với mã đề tài **T2024-49**. Đồng thời, tôi muốn bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Khoa đã tạo môi trường thuận lợi, cung cấp các điều kiện và nguồn lực hỗ trợ để tác giả có thể thực hiện hoạt động nghiên cứu một cách hiệu quả. Chân thành cảm ơn các bạn sinh viên đã đồng hành và hỗ trợ chúng tôi trong quá trình nghiên cứu.

Xung đột lợi ích

Nhóm tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Yamamoto, S. Sakaguchi, M. Kishida, E. Kimura, and H. Abe, "Development of integrated engine-CVT control system," *Honda R&D Tech. Rev.*, vol. 11, no. 1, Apr. 15, 1999.
- [2] M. A. Kluger and D. R. Fussner, "An overview of current CVT mechanisms, forces and efficiencies," *SAE Technical Paper No. 970688*, in *SAE SP-1241, Transmission and Driveline Systems Symposium*, pp. 81–88, 1997.
- [3] S. Birch, "Audi takes CVT from 15th century to 21st century," *Automotive Engineering International*, Jan. 2000.
- [4] *Nissan CVT Catalog 2018*, [Online]. Available: <https://www.wittrans.com/catalogs/2018-WIT-CVT.pdf>. Accessed: Mar. 20–Oct. 13, 2024.
- [5] Toyota Global Service Information Center (GSIC), *Toyota GSIC Manual*, [Online]. Available: <https://toyotamanuals.gitlab.io/rm01f7e/rm01f7e/MANUAL.HTM/rm01f7e/index2.html>.
- [6] *Guide Manual TB150*, Bosch, Jul. 30, 2022.

Nguyen Hac Lan Duong is a lecturer of HCM City University of Technology and Education, Vietnam. He graduated with an MSc in Vehicle Engineering in 2019, from HCM City University of Technology and Education, Viet Nam. He has researched optimal suspension systems design and modeling the active suspension system and powertrain systems in vehicle. He has researched the Programming and Constructing of the Four-Wheel Steering System.

Email: landnh@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3428-6134>.

Huy Phat Thai has received his B.E and M.E degree in Automotive Engineering from HCMC University of Technology and Education (HCMUTE) in 2009 and 2014. He currently works at the Faculty of Vehicle and Energy Engineering, HCMUTE. His research interest includes powertrain systems and automotive control systems.

Email: phatth@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5405-4871>.

Tuan Tung Duong 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 the Faculty of International Education, HCMUTE. His research interest includes powertrain systems, automotive control systems and regenerative braking system.

Email: tungdt@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4479-3359>.