

XÂY DỰNG MÔ HÌNH TRONG MATLAB/SIMULINK KHẢO SÁT ĐẶC TÍNH TRƯỢT CỦA LY HỢP

BUILDING A MODEL IN MATLAB/SIMULINK TO INVESTIGATE THE SLIDING CHARACTERISTICS OF A CLUTCH

Võ Ngọc Phú¹, Mai Phước Trãi^{1*}, Nguyễn Quang Tuyền¹

¹*Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long.*

^{1*}Tác giả liên hệ: traimp@vlute.edu.vn

Nhận bài (received): 03/01/2026; Phản biện (reviewed): 1/2/2026; Chấp nhận(Accepted):28/03/2026

TÓM TẮT

Bài báo trình bày mô hình khảo sát đặc tính động lực học của ly hợp bằng phần mềm Matlab/Simulink. Tác giả đã phân tích sơ đồ động lực học ly hợp ma sát, thiết lập mô hình tính toán và mô phỏng hoạt động của ly hợp với các điều kiện khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy mô men xoắn động cơ đạt giá trị lớn nhất khoảng 180 N.m. Kết quả mô phỏng thu được độ trượt của mô men xoắn của trục khuỷu động cơ và mô men xoắn của phần tử bị động là ± 5 N.m trong thời gian khoảng 0.03 giây sau khi ly hợp đóng hoàn toàn. Kết quả mô phỏng cho thấy khi người điều khiển bắt đầu đóng ly hợp, vận tốc góc của phần chủ động giảm dần, vận tốc góc phần bị động tăng dần đến khi mô men ma sát thắng mô men cản của ô tô, ô tô bắt đầu chuyển động. Khi ly hợp đóng hoàn toàn, vận tốc góc của phần chủ động và bị động dần tăng lên đến giá trị ổn định.

Từ khóa: Ly hợp ma sát, mô men xoắn, vận tốc góc.

ABSTRACT

This paper presents a model for investigating the dynamic characteristics of a clutch using Matlab/Simulink software. The author analyzed the dynamic diagram of a friction clutch, established a computational model, and simulated the clutch's operation under different conditions. Simulation results show that the engine torque reaches its maximum value of approximately 180 N.m. Simulation results obtained a slip of the engine crankshaft torque and the driven element torque of ± 5 N.m within approximately 0.03 seconds after the clutch is fully engaged. Simulation results show that when the driver begins to engage the clutch, the angular velocity of the driving part gradually decreases, and the angular velocity of the driven part gradually increases until the friction torque overcomes the car's resistance torque, and the car begins to move. When the clutch is fully engaged, the angular velocity of the driving and driven parts gradually increases to a stable value.

Keywords: Friction clutch, torque, angular velocity.

1. Đặt vấn đề

Ly hợp là một khớp nối dùng để truyền mô men xoắn từ trục khuỷu động cơ đến hệ thống truyền lực. Chức năng quan trọng của ly hợp là dùng để đóng và ngắt chuyển động giữa trục khuỷu động cơ với hệ thống truyền lực khi khởi hành, khi phanh xe ô tô, chuyển số trong quá trình vận hành ô tô. Việc đóng và ngắt ly hợp sẽ làm giảm va đập các cặp

bánh răng ăn khớp trong hệ thống truyền lực giúp cho quá trình sang số được dễ dàng, êm dịu, nâng cao hiệu suất truyền của hệ thống truyền lực [1-2].

Ly hợp có tác dụng như một cơ cấu an toàn bảo đảm cho động cơ và hệ thống truyền lực khỏi bị quá tải dưới tác dụng của tải trọng động và mô men quán tính, từ đó nâng cao hiệu quả phanh, nâng cao

hiệu suất làm việc và nâng cao tuổi thọ ô tô [3].

Tính toán động lực học ly hợp cho phép xác định được các thông số như lực, mô men tác dụng lên các bộ phận của ly hợp trong quá trình hệ thống làm việc. Các thông số này làm cơ sở đánh giá hiệu suất của ly hợp [4-5]. Trước khi tính toán động lực học, ta phải sơ đồ hoá hệ thống, đưa ra giả thiết để đơn giản hoá cho mô hình tính toán. Kết quả nhận được từ quá trình tính toán phải nằm trong phạm vi sai số cho phép thông số kỹ thuật của nhà sản xuất. Để có kết quả mô phỏng làm cơ sở so sánh với kết quả thí nghiệm cho các nghiên cứu tiếp theo, trong nghiên cứu này tác giả xây dựng mô hình mô phỏng khảo sát động lực học của ly hợp như sau:

- Thiết lập mô hình động lực học của ly hợp
- Xây dựng hệ phương trình vi phân mô tả hoạt động của bộ ly hợp.
- Giải hệ phương trình vi phân với các điều kiện cụ thể khác nhau bằng phần mềm Matlab/Simulink.

2. Mô hình cơ học ly hợp

Từ cấu tạo, nguyên lý hoạt động của ly hợp ma sát đã được trình bày ta xây dựng mô hình cơ học như hình 1 [4-5].



Hình 1. Mô hình cơ học của ly hợp

Giả thuyết, xem khối lượng của phần chủ động ly hợp được tập trung bằng một bánh đà tương đương được đặc trưng bằng mô men quán tính I_1 , khối lượng phần bị động của ly hợp được tập trung bằng một bánh đà tương đương, được đặc trưng bằng mô men quán tính I_2 . Phân tử nối các chi tiết phần chủ động và phần bị động được mô tả bằng các trục nối [3].

$$M_{lh \max} = m \cdot R \cdot F_{lò xo \max} \cdot i \quad (1)$$

Khi ly hợp đóng hoàn toàn ta xét vận tốc góc giữa phần chủ động và bị động là bằng nhau ($j = y$). Khi $M_{lh \max} < M_{lh}$ khi đó mô men ly hợp được tính [4]:

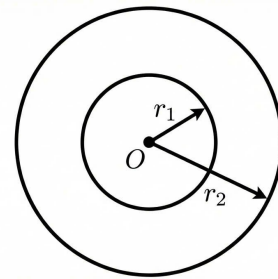
$$M_{lh} = \frac{M_1 I_1 + M_2 I_2}{I_1 + I_2} \quad (2)$$

Trong đó:

m - hệ số ma sát

R - Bán kính trung bình của đĩa ma sát (mm)

$$R = \frac{2}{3} \left(\frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right) \quad (3)$$



Hình 2. Đĩa bị động

r_1 - Bán kính trong của đĩa bị động (mm)

r_2 - Bán kính ngoài của đĩa bị động (mm)

Quá trình tính toán các chế độ tải trọng trong hệ thống truyền lực mô men ma sát của ly hợp được lấy như sau:

$$M_{lh} = M_{lh \max} \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (4)$$

Trong đó:

$M_{lh \max}$ là mô men tĩnh của ly hợp khi ở trạng thái ly hợp đóng hoàn toàn.

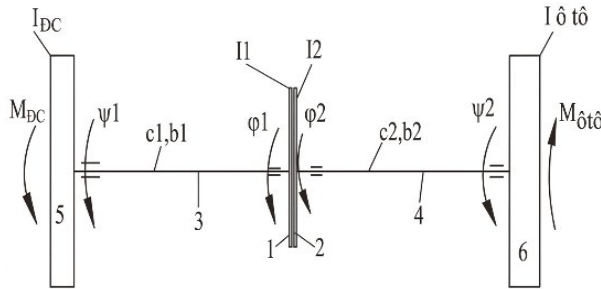
k là hệ số đặc trưng cho tốc độ đóng ly hợp

$$k = \frac{3}{t_c}; t_c \text{ là thời gian đóng ly hợp.}$$

Trong mô hình tính toán mô men cực đại tác động lên hệ thống truyền lực, ta xem xét người điều khiển nhả bàn đạp ly hợp đột ngột. Thời $t_c = 0.01, 0.04$ giây (ly hợp dẫn động cơ khí không có trợ lực) [4].

3. Hệ phương trình vi phân ly hợp

Trong thực tế phần chủ động và phần bị động của ly hợp được nối với nhau. Vỏ ly hợp được nối chặt với bánh đà bằng các bulông, đĩa ép được nối với vỏ ly hợp thông qua các lò xo lá. Các lò xo lá vừa truyền mô men xoắn vừa là thành phần đàn hồi cho phần chủ động của ly hợp như hình 3 [4]. Các trục nối của mô hình được xem như là một thành phần đàn hồi có độ cứng và hệ số cản xoắn b.



Hình 3. Mô hình ly hợp

Trong đó:

1- Mô men quán tính phần chủ động của ly hợp

2 - Mô men quán tính phần bị động của ly hợp

3 - Trục chủ động của ly hợp

4 - Trục bị động của ly hợp

$I_{ĐC}$ - Mô men quán tính của động cơ được quy dẫn về bánh đà

I_C - Mô men quán tính của bánh đà tương đương thay cho khối lượng chuyển động tịnh tiến của ô tô.

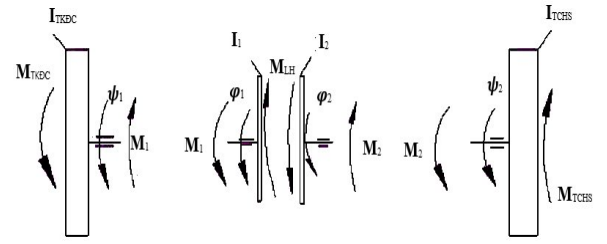
b_1, c_1 - Hệ số cản xoắn và độ cứng của phần chủ động ly hợp.

b_2, c_2 - Hệ số cản xoắn và độ cứng trục bị động của ly hợp.

y, j - Là các góc xoắn ở đầu trục và cuối trục, ta có hệ phương trình sau.

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_1 - M_{LH} \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 &= M_{LH} - M_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Tách phần chủ động và bị động của ly hợp, đặt các mô men, xét cân bằng của hệ và lập phương trình vi phân mô tả ly hợp [4].



Hình 4. Sơ đồ động lực học của toàn bộ ly hợp

Hệ phương trình vi phân mô tả ly hợp như sau [4]:

$$\begin{aligned} I_{TKĐC} \ddot{\psi}_1 &= M_{TKĐC} - M_1 \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_1 - M_{LH} \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 &= M_{LH} - M_2 \\ I_C \ddot{\psi}_2 &= M_2 - M_{TCHS} \end{aligned} \quad (6)$$

Trong đó:

$$M_1 = c_1 (y_1 - j_2) + b_1 (y_1 - j_2) \quad (7)$$

$$M_2 = c_2 (j_2 - y_1) + b_2 (j_2 - y_1)$$

Mô men từ động cơ là mô men đầu vào của ly hợp. Giả sử mô men của động cơ biến thiên theo quy luật của hàm Sin với

$$M_{TKĐC} = 100 + 3 \sin 5t \quad (8)$$

Mô men cản $M_{ô tô}$ là mô men của các chi tiết chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến quy về trục bị động của ly hợp, được chọn theo quy luật

$$M_{TCHS} = k \cdot y_2 \quad (9)$$

Trong đó:

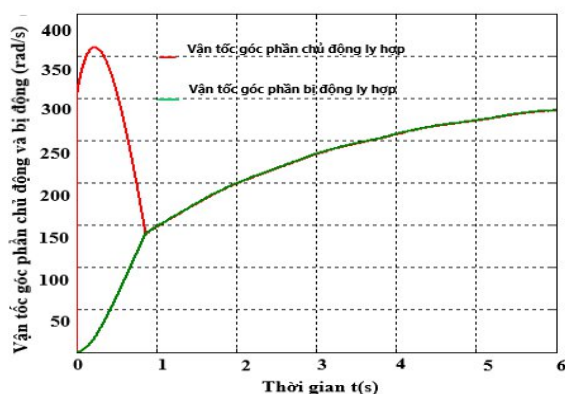
k là hệ số;

y_2 là vận tốc góc phần bị động của ly hợp

$$M_{TKĐC} = 100 + 3 \sin 5t \quad (10)$$

$$M_{TCHS} = k.$$

Sử dụng Matlab/simulink để giải hệ phương trình vi phân (6), (7), (8), (9) và (10) ta nhận được kết quả mô phỏng đặt tình trạng của ly hợp khi đóng ly hợp. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng ly hợp trong Matlab/simulink được thể hiện trong hình 5.



Hình 8. Vận tốc góc phần chủ động và bị động ly hợp

Khi mô men của ly hợp thắng mô men cản của ô tô. Ô tô bắt đầu chuyển động vận tốc góc của phần chủ động tăng dần đến giá trị ổn định.

Vận tốc góc của trục bị động tăng từ 0 (rad/s) ô tô bắt đầu tăng tốc độ, đến khi ly hợp đóng hoàn toàn vận tốc góc của trục bị động tăng theo quy luật của phần chủ động của ly hợp.

Khi người điều khiển bắt đầu đóng ly hợp, vận tốc góc của phần chủ động giảm dần, vận tốc góc phần bị động tăng dần đến khi mô men ma sát thắng mô men cản của ô tô, ô tô bắt đầu chuyển động. Khi ly hợp đóng hoàn toàn, vận tốc góc của phần chủ động và bị động dần tăng lên đến giá trị ổn định. Điều này mô tả đúng hoạt động của cụm ly hợp trong thực tế.

Trong sử dụng người điều khiển bắt đầu đóng ly hợp, đồng thời với quá trình đóng ly hợp, người điều khiển phải tiếp thêm ga cho phần chủ động của ly hợp có vận tốc góc tăng lên để khắc phục dần sức cản ban đầu của ô tô.

Khi người điều khiển bắt đầu đóng ly hợp xuất hiện các xung mô men trong các phần tử tham gia chuyển động quay của hệ thống truyền lực. Các xung mô men rất lớn, giá trị

các xung này phụ thuộc nhiều vào tốc độ đóng ly hợp sau đó các xung giảm dần và dao động quanh giá trị ổn định.

Kết quả thu được trên mô hình đã phản ánh đúng đặc tính động lực học và trạng thái trượt của ly hợp của quá trình hoạt động. Đây là phương pháp nghiên cứu xây dựng mô hình toán học và mô phỏng hệ thống bằng phần mềm giúp tiết kiệm thời gian, chi phí trước khi tiến hành các nghiên cứu thực nghiệm quá trình trượt của ly hợp.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này tác giả đã xây dựng được một quy trình mô phỏng khảo sát đặc tính động lực học của ly hợp ma sát như:

- Đã xây dựng mô hình cơ học ly hợp ma sát.
- Đã phân tích sơ đồ động lực học ly hợp ma sát.
- Đã tính toán mô hình động học học ly hợp ma sát.
- Đã trình bày hệ phương trình vi phân mô tả đặc tính động lực học ly hợp ma sát.
- Giải hệ phương trình vi phân với các điều kiện cụ thể trong Matlab/ Simulink.

Kết quả mô phỏng đã khảo sát được mô men, vận tốc và vận tốc góc của phần tử chủ động và phần tử bị động của ly hợp ma sát. Khảo sát được một số chế độ làm việc đặc trưng của cụm ly hợp và ảnh hưởng của một số thông số tới tải trọng tác động lên hệ thống truyền lực. Mô Hình có thể được ứng dụng khi nghiên cứu mô phỏng cho các ly hợp sử dụng trên các ô tô khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

I. TÀI LIỆU TIẾNG VIỆT

- [1]. Nguyễn Hữu Cẩn, “*Thiết kế và tính toán ô tô, máy kéo, tập I, II, III*”, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp Hà Nội (1996).
- [2]. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh, “*Lập trình Matlab và ứng dụng*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật (2020).

- [3]. Lịch, Lưu Đức, and Trần Văn Như. "*Xây dựng mô hình và khảo sát động lực học hộp số vô cấp trên ô tô.*" Journal of Science and Technique-Vol 19.02 (2024).
- [4]. Trịnh Văn Dũng, "*Nghiên cứu quá trình khởi hành ô tô sử dụng ly hợp ma sát trong hệ thống truyền lực cơ khí*", Luận văn thạc sĩ, Trường đại học Bách Khoa Hà Nội (2020).
- [5] Nguyễn Đức Hoàng, "*Thiết kế hệ thống điều khiển tự động ly hợp trên xe INNOVA J*", Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng (2017).

II. TÀI LIỆU TIẾNG ANH

- [6]. A.C. Gangal, et al., "*Aditya Anavkar Department of Mechanical, SSPM's College of Engineering, University of Mumb*", International Journal of Scientific Research & Engineering Trends Volume 8, Issue 1, Jan-Feb-2022, ISSN (Online): 2395-566X.
- [7]. Lu, Yi, et al., "*Design and Realization of Testing and Analyzing Apparatus for Automobile Clutch*", Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation. IEEE, 2011.
- [8] Zhao, Z-G, et al., "*Torque coordinating robust control of shifting process for dry dual clutch transmission equipped in a hybrid car*" Vehicle System Dynamics 53.9, P1269-1295 (2015).
- [9] Kumar, Roushan, et al "*Analysis of electronic clutch control unit for manual transmission vehicle oriented toward safety*", Materials Today: Proceedings 69,p 255-260 (2022).