

# NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC LY HỢP MA SÁT SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

## A STUDY OF EVALUATION ON DYNAMANIC CHARACTERISTICS OF MECHANICAL CLUTCH USING NUMERICAL SIMULATION

**Tổng Minh Hải<sup>1</sup>, Bùi Đình Trí<sup>2</sup>, Trương Đặng Việt Thắng<sup>2</sup>, Trần Trọng Đạt<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Trường Cao đẳng Công nghiệp Nam Định

<sup>2</sup>Đại học Bách Khoa Hà Nội

Email: dat.trantrong@hust.edu.vn

### TÓM TẮT

*Ly hợp là một bộ phận quan trọng giúp truyền nguồn động lực từ động cơ sang hộp số và cuối cùng đưa đến bánh xe dẫn động. Mô hình mô phỏng động lực học ly hợp trên ô tô là một mô hình toán học được tạo ra dựa trên nguyên lý hoạt động của ly hợp. Nó bao gồm các yếu tố quan trọng như độ trượt của ly hợp, áp suất bề mặt đĩa ma sát, lực ép và tốc độ quay động cơ và trục ly hợp. Khi mô phỏng, người ta thường sử dụng các phần mềm mô phỏng số để giả lập các giá trị đầu vào và đầu ra của ly hợp. Mô hình mô phỏng này cho phép nghiên cứu đánh giá hiệu quả làm việc của ly hợp trong các điều kiện khác nhau và tối ưu hóa nó để đảm bảo tốc độ và chuyển số êm dịu, đồng thời giảm thiểu mòn và tăng tuổi thọ của ly hợp. Mô phỏng động lực học ly hợp trên ô tô là một trong những công cụ hữu ích giúp cải thiện hiệu suất của hệ thống truyền động ô tô.*

**Từ khóa:** *Ly hợp cơ khí; Lò xo màng; Hộp số cơ khí; Động lực học; Mô phỏng.*

### ABSTRACT

*The interconnection between the engine and the transmission or transaxle is facilitated by means of a clutch system which plays an important role in transferring the propulsive power from engine to the transmission and driving wheels. The dynamic simulation model of the automotive clutch consists of mathematical expressions that are built based on the working principle of the clutch. These are crucial factors affecting clutch dynamics such as slipping ratio, friction plate pressure, pressure force and rotational speed of the engine and input shafts of transmission. In simulation, numerical simulation software is exploited to simulate the clutch input and output parameters. This simulating model make it possible to evaluate the performance of the clutch under different conditions or to improve to ensure that the clutch engage and shift gears smoothly, disengage decisively while to minimize wear and increase the long life of the clutch. The dynamic simulation of the automotive clutch is one of the useful tools to improve the performance of automobile drivetrain.*

**Keywords:** *Mechanical clutch; Diaphragm spring; Manual transmission; Dynamic; Simulation.*



## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ly hợp là một bộ phận quan trọng của hệ thống truyền lực đóng vai trò là khớp ma sát giữ nhiệm vụ đóng và ngắt truyền mô-men và công suất từ động cơ qua hộp số đến các bánh xe chủ động giúp người lái có thể chuyển số hoặc khởi hành xe từ trạng thái đứng yên số một cách dễ dàng. Việc tính toán thiết kế ly hợp là một quá trình quan trọng nhằm đảm bảo yêu cầu tính động lực học của xe. Bên cạnh phương pháp tính toán truyền thống, để hiểu rõ hơn về đặc tính động lực học của ly hợp trên ô tô, người ta thường sử dụng các công cụ máy tính mô phỏng và đánh giá trước trong giai đoạn tiền thiết kế.

Các nghiên cứu về ly hợp được công bố tập trung vào các nghiên cứu khảo sát, đánh giá ảnh hưởng hiệu suất ma sát, hiệu suất nhiệt đến khả năng làm việc bộ ly hợp. Điển hình trong nghiên cứu [1], tác giả thiết kế và phân tích đặc tính của đĩa ma sát trong ly hợp ma sát khô một đĩa. Nghiên cứu khảo sát ứng suất, biến dạng của đĩa ma sát khi sử dụng các vật liệu ma sát khác nhau. Tác giả đã sử dụng phương pháp toán thông thường và sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn bằng cách ứng dụng phần mềm mô phỏng ANSYS. Cùng ý tưởng đó, [2] thực hiện tối ưu hoá kết cấu tấm ma sát với hình dạng rãnh thoát mát khác nhau, vị trí đặt đinh tán giữa tấm ma sát và lò xo lá theo quy luật khác. Ngoài các đặc điểm về ứng suất, biến dạng, quá trình sinh nhiệt trong tấm ma sát cũng được kể đến. Tác giả đã thực hiện, phân tích đánh giá kết cấu tấm ma sát thông qua phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm ANSYS. Trong nghiên cứu tiếp theo [3], các tác giả đã xây dựng và thực hiện phân tích ứng suất nhiệt trong ly hợp ma sát khô. Nghiên cứu đã thực hiện xây dựng các phương trình toán nhằm tính toán lượng nhiệt phát sinh trong quá

trình ly hợp bị trượt. Từ đó, tác giả đưa ra giải pháp nhằm tối ưu kết cấu của tấm ma sát đó là tạo ra rãnh đồng tâm trên tấm ma sát giúp giải phóng năng lượng nhiệt tốt hơn.

Trong bài báo này, mối quan hệ giữa mô-men xoắn ly hợp 1 đĩa và hành trình làm việc của đĩa ép được xây dựng dựa trên các thông số ảnh hưởng cơ bản đến quá trình ăn khớp bao gồm độ trượt, áp suất ép và lực ma sát, nhiệt độ làm việc. Mô hình mô phỏng số và kết quả đánh giá khảo sát được thực hiện trong môi trường Matlab/Simulink và Simscape. Mô hình mô phỏng này cho phép các kỹ sư và nhà thiết kế ô tô đánh giá hiệu suất của ly hợp trong các điều kiện khác nhau và tối ưu hóa nó để đảm bảo tốc độ và chuyển số trơn tru, đồng thời giảm thiểu mòn và tăng tuổi thọ của ly hợp. Mô phỏng số đặc tính động lực học ly hợp trên ô tô là một công cụ hữu ích giúp cải thiện hiệu suất của hệ thống truyền động ô tô.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Hệ thống ly hợp thông thường bao gồm hệ thống dẫn động và cụm ly hợp. Trong nghiên cứu này, cụm ly hợp ma sát khô với một đĩa ma sát sử dụng lò xo ép loại màng cùng với hệ thống dẫn động thủy lực. Để mô phỏng hệ thống ly hợp, chúng ta có thể sử dụng các phương trình tính toán mô tả đặc tính cơ bản của ly hợp. Lực ma sát của ly hợp ma sát 1 đĩa theo [1] được mô tả như sau:

$$F_r = \int_{r_i}^{r_o} 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot p \cdot r \cdot \delta r = \pi \cdot \mu \cdot p \cdot (r_o^2 - r_i^2) \quad (1)$$

Trong đó:  $F_r$  là lực ma sát,  $\mu$  là hệ số ma sát,  $r$  là bán kính đĩa ma sát,  $p$  là áp suất tác dụng lên bề mặt ma sát, và  $r_o$ ,  $r_i$  lần lượt là bán kính ngoài, bán kính trong của đĩa ma sát.

Với  $R_\mu$  là bán kính làm việc trung bình, mô-men ma sát tác dụng lên đĩa ma sát:

$$M = F_r \cdot R_\mu \quad (2)$$

Trong quá trình đóng ly hợp, ly hợp sẽ xảy ra hiện tượng trượt giữa phần chủ động và bị động. Do sự trượt ma sát giữa các bề mặt, một lượng nhiệt sẽ sinh ra trong quá trình trượt ma sát được xác định qua công thức:

$$T = \frac{vL_0}{cg_n} \quad (3)$$

Trong đó,  $T$  là nhiệt độ tăng lên của chi tiết ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $v$  là hệ số xác định phần công trượt dùng để nung nóng chi tiết cần tính,  $L_0$  là công trượt toàn bộ sinh ra khi đóng ly hợp (J),  $c$  là nhiệt dung riêng của chi tiết bị nung nóng,  $g_n$  là khối lượng chi tiết bị nung nóng (kg). Phần tính toán nhiệt độ được xác định khi tính toán thiết kế kết cấu cụm ly hợp [5].

Sau khi tính toán và chọn lựa các thông số kết cấu cho đầu vào mô phỏng số, hệ thống ly hợp trên ô tô được mô hình hóa bằng công cụ Matlab/Simulink và Simscape. Về động học chuyển động, các khối chuyển động quay với thông số như khối lượng quán tính, vận tốc góc của động cơ cũng như bộ phận của hệ thống truyền lực. Khối ma sát dạng đĩa mô phỏng mối quan hệ giữa phần chủ động và bị động của ly hợp. Trong quá trình đóng ly hợp sẽ xảy ra hiện tượng trượt, vận tốc trượt giữa phần chủ động và bị động được xác định như sau:

$$\omega = \omega_F - \omega_B \quad (4)$$

Trong đó,  $\omega_F$  là vận tốc góc phần bị động,  $\omega_B$  là vận tốc góc phần chủ động. Khi ly hợp đóng hoàn toàn, sẽ không có hiện tượng trượt, lúc này mô-men truyền qua ly hợp bao gồm mô-men ma sát tĩnh và mô-men ma sát

động. Theo thuật toán của mô hình, mô-men ma sát động được xác định:

$$M_k = \mu_v \cdot \omega + M_{contact} \quad (5)$$

Trong đó:  $M_k$  là mô-men ma sát động,  $\mu_v$  là hệ số cản nhớt,  $\omega$  là vận tốc trượt và  $M_{contact}$  là mô-men tiếp xúc được xác định dựa qua công thức sau:

$$M_{contact} = k_K \cdot D \cdot N \cdot R_\mu \cdot P_{fric} \cdot A \quad (6)$$

Trong đó:  $k_K$  là hệ số ma sát động không thứ nguyên phụ thuộc vào  $\omega$ ,  $N$  là số lượng bề mặt ma sát,  $P_{fric}$  là áp suất ma sát của ly hợp,  $A$  là diện tích ma sát,  $D$  là hệ số truyền đạt của ly hợp. Đối với ly hợp mới  $D = 1$ , đối với ly hợp sắp đạt đến trạng thái mòn đồng đều:

$$D = \frac{3}{4} \frac{(r_o + r_i)^2}{r_o^2 + r_o \cdot r_i + r_i^2} \quad (7)$$

Đối với mô-men ma sát tĩnh được xác định:

$$M_s = k_s \cdot D \cdot N \cdot R_\mu \cdot P_{fric} \cdot A \quad (8)$$

Trong đó,  $k_s$  là hệ số ma sát tĩnh không thứ nguyên phụ thuộc vào  $\omega$ , các tham số còn lại đã giải thích ở trên.

Ngoài ra, trong mô hình mô tả đầy đủ mối quan hệ giữa công suất và mô-men xoắn, khối điều khiển từ người lái qua bàn đạp ly hợp đến bộ trợ lực qua xi lanh chính đến xi lanh công tác, khối cơ cấu chấp hành lò xo màng và moay ơ, mối quan hệ về nhiệt để khảo sát lượng nhiệt sinh ra với các cụm chi tiết chính. Phương trình toán theo mô hình mô tả lượng nhiệt được truyền bằng cách dẫn nhiệt giữa hai bề mặt của cùng một vật liệu dựa trên định luật Fourier sau:



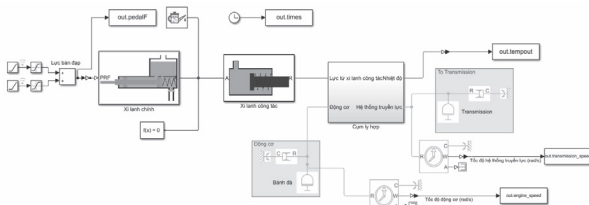
$$Q = k \cdot \frac{A_q}{D_q} \cdot (T_A - T_B) \quad (9)$$

Trong đó: Q là lượng nhiệt truyền, k là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu,  $A_q$  là diện tích bề mặt truyền nhiệt,  $D_q$  là khoảng cách giữa hai bề mặt,  $T_A$ ,  $T_B$  lần lượt là nhiệt độ của hai bề mặt.

### 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

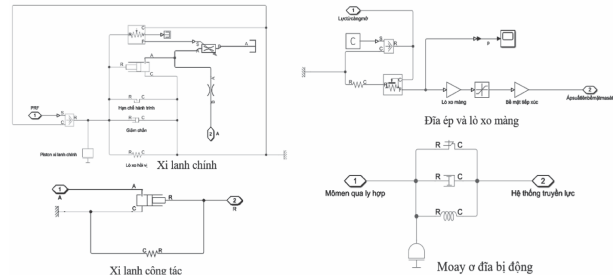
#### 3.1. Sơ đồ khối mô hình

Sơ đồ khối thuật toán trong nghiên cứu này được minh họa và mô phỏng đầy đủ theo Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối mô phỏng hệ thống ly hợp.

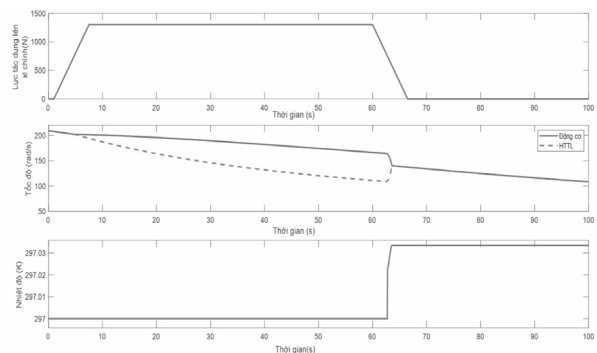
Lực bàn đạp từ người lái thông qua bộ trợ lực lên tác động vào xi lanh chính. Dòng dầu từ xi lanh chính đẩy tới xi lanh công tác làm di chuyển pít tông xi lanh công tác. Pít tông xi lanh công tác tác động vào càng mở ngắt lực ép từ lò xo ép lên đĩa ép. Khi lực ép không đủ, công suất từ bánh đà truyền qua đĩa ma sát xuống moay ơ đến hệ thống truyền lực bị ngắt hoặc truyền một phần. Các khối đặc trưng, nghiên cứu sử dụng các khối trong Simscape-Driveline. Một số khối quan trọng như xi lanh chính, xi lanh công tác, cụm ly hợp, lò xo màng, moay ơ đĩa bị động được mô tả trong Hình 2.



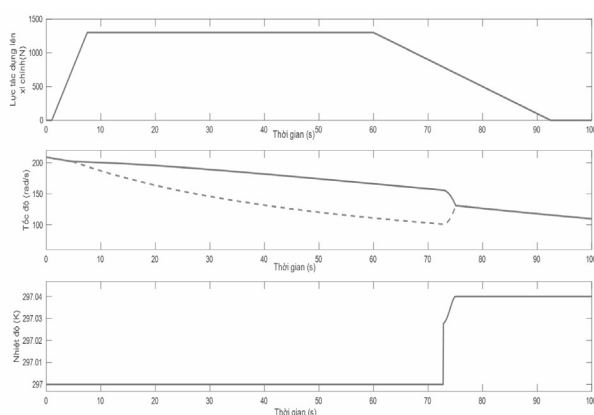
Hình 2. Các khối điều khiển, cơ cấu chấp hành của hệ thống ly hợp

### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Các thông số kết cấu được tính toán này được tính toán dựa trên lý thuyết thiết kế tính toán hệ thống ly hợp theo [4] cho xe con 5 chỗ. Một số thông số tính toán quan trọng gồm có đường kính pít tông xilanh chính, xilanh công tác lần lượt là 16 mm và 19 mm, bán kính làm việc của đĩa ma sát là 116 mm. Các thông số còn lại theo xe tham khảo và trong mô hình tham khảo thông qua bộ số liệu của thư viện để xây dựng mô hình. Để mô phỏng khảo sát đặc tính của ly hợp, mô hình này được sử dụng để xuất ra đồ thị tốc độ của động cơ và tốc độ của hệ thống truyền lực trong tình huống đóng và ngắt ly hợp. Thời gian mô phỏng được thiết lập trong 100 giây và ta thực hiện khảo sát các tình huống đóng ly hợp với trạng thái tốc độ ở vòng tua cao. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở các đồ thị dưới đây.

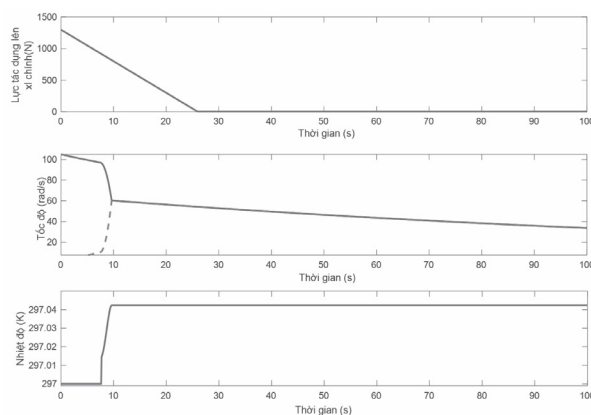


Hình 3. Kết quả mô phỏng khi người lái nhả bàn đạp nhanh



Hình 4. Kết quả mô phỏng khi người lái nhả bàn đạp từ từ

Hình 3 và Hình 4 là kết quả mô phỏng ứng với các trạng thái đóng ly hợp khác nhau. Tại thời điểm 4s, người lái bắt đầu đạp bàn đạp ly hợp, qua trọng lực tác dụng lên xi lanh chính tăng dần đến giá trị 1300 N và không đổi cho tới giây thứ 60 ứng với trạng thái giữ bàn đạp của người lái. Khi lực tác dụng lên xi lanh chính đạt giá trị khoảng 800 N, ly hợp bị ngắt, điều này được thể hiện trên đồ thị tốc độ giữa động cơ và hệ thống truyền lực khi mà hai tốc độ này không còn đồng nhất. Tại giây thứ 60, người lái bắt đầu nhả bàn đạp ly hợp, khi lực bàn đạp giảm xuống dưới 800 N, quá trình đóng ly hợp diễn ra. Trên Hình 3 là trạng thái đóng ly hợp nhanh khi mà thời gian để đóng ly hợp hoàn toàn khoảng 950 ms, tương ứng với tần số 1,05 Hz. Trong quá trình này, nhiệt độ tăng đột ngột nhưng không đáng kể từ 297°K lên 297,035°K. Trên Hình 4 là trạng thái đóng ly hợp từ từ với thời gian đóng ly hợp hoàn toàn khoảng 2,2s ứng với tần số khoảng 450 mHz và nhiệt độ tăng từ 297°K lên 297,041°K.



Hình 5. Kết quả mô phỏng trạng thái khi xe khởi hành

Kết quả mô phỏng ứng với trạng thái khi xe khởi hành được thể hiện qua Hình 5. Khi khởi hành, tốc độ động cơ ở tốc độ không tải, người lái nhả bàn đạp từ từ, khi lực tác dụng lên xi lanh chính dưới 800 N, quá trình đóng ly hợp bắt đầu diễn ra tại giây thứ 8 và sau giây thứ 10 ly hợp được đóng hoàn toàn. Quá trình này diễn ra trong khoảng 2s tương ứng với tần số 500 mHz đảm bảo độ êm dịu. Quá trình khởi hành là quá trình mà ly hợp trượt nhiều nhất nên lượng nhiệt sinh ra tăng từ 297°K lên 297,043°K. Lượng nhiệt này khá nhỏ nên đảm bảo được khả năng hoạt động của ly hợp. Như vậy, qua khảo sát, ta đánh giá được với các thông số thiết kế, ly hợp đảm bảo khả năng hoạt động. Và việc khảo sát trạng thái nhả bàn đạp ly hợp của người lái phản ánh độ êm dịu của hệ thống thiết kế và mức phát sinh nhiệt trong quá trình trượt của ly hợp rất nhỏ nên đảm bảo tuổi thọ của các chi tiết trong cụm ly hợp.

Nghiên cứu thực hiện các khảo sát tương tự và đề xuất các thông số ly hợp ma sát khô một đĩa sử dụng lò xo màng cho xe con như sau để có thể đảm bảo đặc tính động lực học theo Bảng 1.





Bảng 1. Dãy thông số điển hình ly hợp ô tô con

| Thông số                              | Khoảng giá trị (đơn vị) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Bán kính ma sát trung bình ( $R_m$ )  | 100-130 mm              |
| Đường kính piston xi lanh chính       | 15-16 mm                |
| Đường kính piston xi lanh công tác    | 19-20 mm                |
| Hệ số ma sát ( $\mu$ ) của đĩa ma sát | 0,3-0,45                |

Bán kính ma sát trung bình cho phép kết cấu gọn nhẹ nhưng ly hợp dễ trượt hoặc truyền mô-men tốt hơn kèm mô-men quán tính lớn; xi lanh chính 15-16 mm, xi lanh công tác 19 mm cân bằng giữa lực đạp nhẹ/hành trình dài và lực đạp nặng/đóng ngắt nhanh; hệ số ma sát 0,3-0,45 dao động giữa êm ái, dễ trượt và dứt khoát, dễ giặt; thời gian đóng ly hợp <1 giây gây rung, >3 giây tăng mòn và nhiệt. Tất cả đều tác động qua lại đến hiện tượng trượt, sinh nhiệt, độ êm dịu. Ngoài ra, để đảm bảo yêu cầu làm việc, ly hợp cần tối ưu hóa theo yêu cầu sử dụng, vật liệu, kỹ năng lái và môi trường sử dụng.

## 5. KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất phương pháp nghiên cứu đánh giá đặc tính động lực học của hệ thống ly hợp trên ô tô. Mô hình mô phỏng động lực học ly hợp trên ô tô là một mô hình toán học được tạo ra dựa trên nguyên lý hoạt động của ly hợp được mô phỏng số nhờ công cụ Matlab/Simulink và Simscape-Driveline.

Kết quả mô phỏng cho phép nghiên cứu đánh giá hiệu quả làm việc của ly hợp trong các điều kiện khác nhau để căn cứ vào đó, các thông số thiết kế ly hợp có thể được thay đổi nó để đảm bảo ly hợp đóng êm dịu và ngắt dứt ngoát, đồng thời giảm thiểu mòn và tăng tuổi thọ của ly hợp. Mô phỏng động lực học ly hợp trên ô tô là một trong những công cụ hữu ích giúp cải thiện hiệu suất của hệ thống truyền động ô tô. ❖

Ngày nhận bài: **05/3/2025**

Ngày phản biện: **31/3/2025**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. N., Nair & Abubakar, Shitu & Muhammad Usman, Kaisan & Mahroogi, Faisal & Grujic, Ivan & Stojanovic, Nadica (2018), “*Design and analysis of an automotive single plate clutch*”. Mechanics Research Communications, 44, 13-26. 10.24874/mvm.2018.44.01.02.
- [2]. Kartik Virmani, Tanishq Madhogaria, P. Baskar, “*Design optimization of friction lining of a clutch plate*”. Materials Today: Proceedings, Volume 46, Part 17, 2021, Pages 8009-8024.
- [3]. Abdullah, O. I., Schlattmann, J., Jobair, H., Beliardouh, N. E., & Kaleli, H. (2018), “*Thermal stress analysis of dry friction clutches*”. Industrial Lubrication and Tribology. doi:10.1108/ilt-05-2018-0176.
- [4]. Nguyễn Hữu Cẩn, Phan Đình Kiên, “*Thiết kế và Tính toán ô tô máy kéo – Tập I*”. NXB. Giáo dục, 1996.
- [5]. The MathWorks Inc., <https://www.mathworks.com/help/sdl/>, truy cập 03/2023.