

XÂY DỰNG ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH KÉO LÝ TƯỜNG CHO Ô TÔ

ESTABLISHING THE IDEAL TRACTION CHARACTERISTIC CURVE FOR A CAR

TS. Lưu Đức Lịch^{1,*}, TS. Ngô Sỹ Đồng², TS. Nguyễn Ngọc Tú³

¹Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Điện lực

³Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

*Email liên hệ: ldlich@dut.udn.vn

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một cách thiết lập đường đặc tính kéo lý tưởng cho ô tô trên cơ sở liên hệ giữa lực kéo tại bánh xe chủ động, vận tốc chuyển động và các lực cản xuất hiện trong quá trình xe làm việc. Thay vì trình bày theo hướng mô tả giáo trình, nghiên cứu tập trung vào bài toán lựa chọn tỷ số truyền nhằm duy trì khả năng đáp ứng lực kéo phù hợp trên toàn dải tốc độ. Hai phương án hộp số 7 cấp được khảo sát cho hai xe có thông số khai thác khác nhau để làm rõ ảnh hưởng của cấp số đến miền lực kéo và vận tốc đạt được. Kết quả tính toán cho thấy đường cong lý tưởng dạng hyperbol là cơ sở hữu ích để đánh giá sự phân bố tỷ số truyền, từ đó hỗ trợ cân bằng giữa yêu cầu khởi hành, leo dốc, tăng tốc và hành trình kinh tế.

Từ khóa: Động lực học kéo; Tỷ số truyền hộp số; Đường đặc tính kéo lý tưởng; Lực cản chuyển động; Thiết kế hệ thống truyền lực.

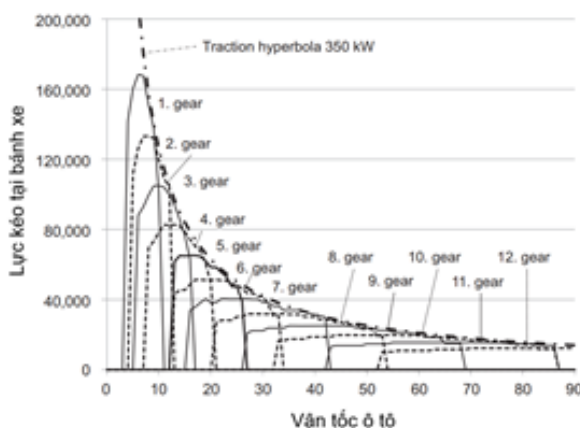
ABSTRACT

This paper develops an ideal traction-curve framework for automobiles by linking wheel tractive effort, vehicle speed and the major resistance components acting during motion. Rather than repeating textbook-style descriptions, the study uses two 7-speed transmission layouts to examine how gear-ratio distribution reshapes the useful traction region over the speed range. The comparison shows that a hyperbolic ideal envelope is a practical reference for arranging transmission ratios because it helps reconcile launch capability, gradeability, acceleration demand and economical cruising within a single design view.

Keywords: Vehicle speed; Transmission ratio; Tractive effort; Ideal traction envelope; Vehicle resistances.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với hệ thống truyền lực, lực kéo đóng vai trò quan trọng quyết định đến khả năng vận hành và khai thác hiệu quả của phương tiện [1], [2]. Lực kéo là lực tiếp tuyến tại điểm tiếp xúc giữa bánh xe và mặt đường, giúp xe chuyển động về phía trước [3]. Nghiên cứu về lực kéo và các lực cản đối với chuyển động của ô tô đã trở thành một chủ đề phổ biến, không những nhằm cải thiện khả năng tăng tốc mà còn tiết kiệm nhiên liệu và nâng cao độ bền của các bộ phận truyền động trong nhiều điều kiện khác nhau như đường bằng, đường dốc, và khi xe tăng tốc hay giảm tốc. Các lực cản chủ yếu mà ô tô cần khắc phục bao gồm: lực cản lăn, lực cản không khí, lực cản lên dốc và lực quán tính [4]. Trong đó, lực cản không khí tỷ lệ với bình phương với vận tốc chuyển động của ô tô, gây ảnh hưởng lớn đến tiêu thụ nhiên liệu khi xe di chuyển ở tốc độ cao. Bên cạnh đó, lực cản lăn phụ thuộc vào chất lượng bề mặt đường và tải trọng xe, trong khi lực cản lên dốc hình thành khi xe leo dốc với góc nghiêng nhất định. Do đó, tối ưu hóa lực kéo của phương tiện đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất hoạt động và tiết kiệm năng lượng [7], [8].



Hình 1. Mối quan hệ lực kéo - tốc độ ô tô [5]

Theo tỷ số của hộp số, đường cong mong

muốn được tạo ra trong mọi chế độ chuyển động của ô tô được gọi là hypebol lực kéo lý tưởng [5], [6], như trong hình 1. Việc xây dựng đường đặc tính kéo lý tưởng giúp tối ưu hóa sự phân bổ lực kéo trong suốt quá trình hoạt động của xe, đảm bảo xe hoạt động tốt ở nhiều điều kiện đường sá khác nhau như đường bằng, đường dốc, và cả trong các tình huống tăng tốc hoặc phanh gấp [5]. Đây là cơ sở quan trọng để thiết kế hộp số và điều chỉnh tỷ số truyền nhằm đáp ứng các yêu cầu vận hành thực tế của xe.

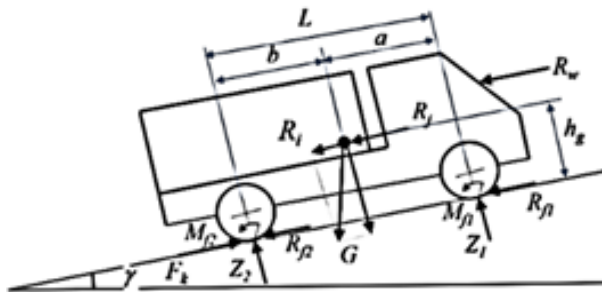
Trong bài báo này, nghiên cứu này xây dựng và so sánh các đường đặc tính kéo lý tưởng cho hai loại xe sử dụng hai hộp số 7 cấp khác nhau. Kết quả của nghiên cứu cung cấp một phương pháp tiếp cận để thiết kế và tối ưu hóa hộp số dựa trên đặc tính lực kéo lý tưởng, từ đó giúp cải thiện hiệu quả vận hành của xe và đáp ứng nhu cầu vận chuyển trong thực tế.

Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau: Phần 2 phân tích các lực cản tác dụng lên ô tô; Phần 3 trình bày về lực kéo; Phần 4 trình bày kết quả mô phỏng và xây dựng đường đặc tính kéo lý tưởng cho ô tô. Cuối cùng, đưa ra một số kết luận.

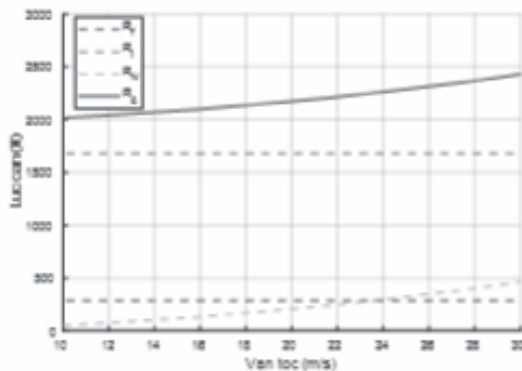
2. CÁC LỰC CẢN CHUYỂN ĐỘNG CỦA Ô TÔ

Công suất do động cơ đốt trong được sử dụng để khắc phục các lực cản như lực cản lăn, lực cản lên dốc và lực cản không khí, lực cản tăng tốc. Lực cản lăn phụ thuộc vào hệ số cản lăn trong suốt quá trình xe chuyển động. Khi xe di chuyển trên đường nghiêng dốc, xe sẽ chịu tác dụng của lực cản lên dốc. Hình 2 cho thấy tình trạng xe di chuyển trên đường nghiêng dốc. Lực cản lên dốc của xe thay đổi theo độ dốc của đường. Lực cản không khí đối với chuyển động của xe phụ thuộc vào tốc độ của xe, khi tốc độ tăng thì lực cản cũng tăng theo. Hình 3 cho thấy

sự thay đổi của nhiều lực cản khác nhau liên quan đến tốc độ của xe. Trên đường bằng, lực cản lăn và lực cản dốc là không đổi, trong khi lực cản không khí tăng theo tốc độ.



Hình 2. Các lực tác dụng lên ô tô trong quá trình chuyển động



Hình 3. Đặc tính các lực cản

Lực cản lăn của xe tại các bánh được tính dựa trên công thức sau:

$$R_f = (Z_1 + Z_2) \cdot f = f \cdot G \cdot \cos \gamma \quad (\text{N}) \quad (1)$$

Trong đó, G là tải trọng toàn bộ của ô tô (N), f là hệ số cản lăn, γ là góc nghiêng dọc của đường (rad).

Lực cản lên dốc khi xe chuyển động lên dốc được xác định theo công thức:

$$R_i = G \cdot \sin \gamma \quad (\text{N}) \quad (2)$$

Qua thực nghiệm, lực cản không khí tác

động lên ô tô trong quá trình chuyển động được xác định bằng công thức sau:

$$R_w = K \cdot F \cdot v^2 \quad (\text{N}) \quad (3)$$

Trong đó: K là hệ số cản không khí, hệ số này phụ thuộc vào hình dáng, bề mặt vỏ của ô tô ($\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$); F là diện tích cản chính diện (m^2); v là vận tốc chuyển động của ô tô (m/s).

Lực cản quán tính xuất hiện khi ô tô chuyển động tăng tốc/giảm tốc, được xác định theo công thức:

$$R_j = \delta_i \frac{G}{g} j \quad (\text{N}) \quad (4)$$

Trong đó: j là gia tốc của ô tô (m/s^2); δ_i là hệ số ảnh hưởng đến chuyển động quay trong hệ thống truyền lực, $\delta_i = 1,05 + 0,05 i_{hi}^2$, với i_{hi} là tỷ số truyền của hộp số.

3. LỰC KÉO

Lực kéo tiếp tuyến và vận tốc của ô tô được xác định theo biểu thức:

$$F_k = M_e \frac{i_0 i_{hi}}{\lambda r_b} \eta_{tl} \quad (\text{N}) \quad (5)$$

$$v_k = 0,337 \frac{\lambda r_b n_e}{i_0 i_{hi}} \quad (\text{m/s}) \quad (6)$$

Trong đó: r_b là bán kính bánh xe (m); λ là hệ số biến dạng của lốp; i_0 , i_{hi} lần lượt là tỷ số truyền của truyền lực chính, hộp số; η_{tl} là hiệu suất truyền lực; M_e , n_e lần lượt là mô men xoắn, số vòng quay của động cơ; v_k là vận tốc của ô tô.

Lực bám của ô tô được xác định như sau:

$$F_\varphi = Z_\varphi \cdot \varphi \quad (\text{N}) \quad (7)$$

Điều kiện cần và đủ cho xe ô tô chuyển động bình thường thỏa mãn hệ bất đẳng thức:

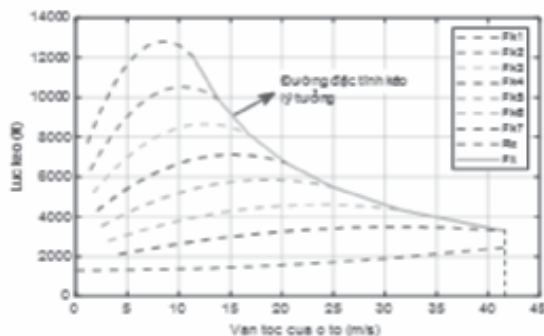
$$\begin{cases} F_k \geq R_c = R_i + R_f + R_w \\ F_k \leq F_\varphi \end{cases} \quad (8)$$

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

4.1. Đường đặc tính kéo – tốc độ đối với xe A

Thông số đặc trưng của ô tô con A: tải trọng bản thân $G = 20000\text{N}$; số chỗ ngồi $n = 7$; bán kính bánh xe $r_b = 0,25\text{m}$; hệ số cản lăn $f = 0,015$; góc dốc dọc của đường $\gamma = 5^\circ$; vận tốc lớn nhất $V_{\max} = 150\text{ km/h}$.

Chọn hộp số có 7 số tiến với $i_{h7} < 1$. Ta có: $i_{h1} = 2,9$; $i_{h2} = 2,23$; $i_{h3} = 1,7$; $i_{h4} = 1,3$; $i_{h5} = 1,0$; $i_{h6} = 0,82$; $i_{h7} = 0,65$.



Hình 4. Đồ thị lực kéo đối với ô tô A sử dụng hộp số có 7 cấp

Như có thể thấy trong hình 4, đường cong tốc độ của lực kéo có xu hướng giảm từ số 1 đến số 7. Giá trị lực kéo cao ở các vị trí số thấp và thấp hơn ở các vị trí số cao hơn. Giá trị tốc độ xe tăng lên ở các vị trí tay số cao và vận tốc cực đại của ô tô đạt tại tay số 7. Trong hộp số này của xe A, tốc độ tối đa đạt được ở tay số 7 là 150km/h , trong khi lực kéo tối đa đạt được ở số 1 là 13000 N .

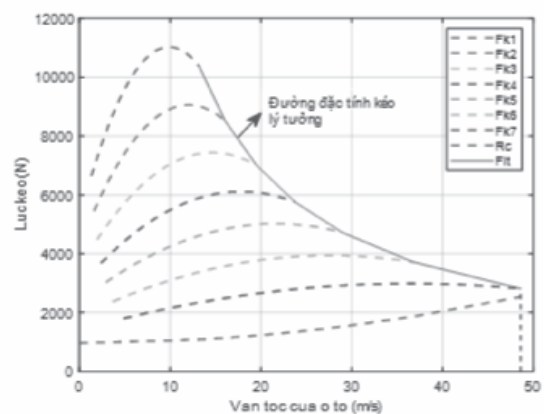
Dựa vào các đường lực kéo tương ứng với 7 tay số, thiết lập được đường đặc tính kéo lý tưởng cho xe A.

4.2. Đường đặc tính kéo – tốc độ đối với xe B

Thông số đặc trưng của ô tô con B: tải trọng bản thân $G = 35000\text{N}$; số chỗ ngồi $n = 7$; bán kính bánh xe $r_b = 0,25\text{m}$; hệ số cản lăn $f = 0,015$; góc dốc dọc của đường $\gamma = 5^\circ$; vận tốc lớn nhất $V_{\max} = 175\text{ km/h}$.

Chọn hộp số có 7 số tiến với $i_{h6}, i_{h7} < 1$. Ta có: $i_{h1} = 2,1$; $i_{h2} = 1,7$; $i_{h3} = 1,4$; $i_{h4} = 1,2$; $i_{h5} = 1,0$; $i_{h6} = 0,78$; $i_{h7} = 0,59$.

Như có thể thấy trong hình 5, đường cong tốc độ của lực kéo có xu hướng giảm từ số 1 đến số 7. Giá trị lực kéo cao ở các vị trí số thấp và thấp hơn ở các vị trí số cao hơn. Giá trị tốc độ xe tăng lên ở các vị trí tay số cao và vận tốc cực đại của ô tô đạt tại tay số 7. Trong hộp số này của xe A, tốc độ tối đa đạt được ở số 7 là 170km/h , trong khi lực kéo tối đa đạt được ở số 1 là 11000 N .



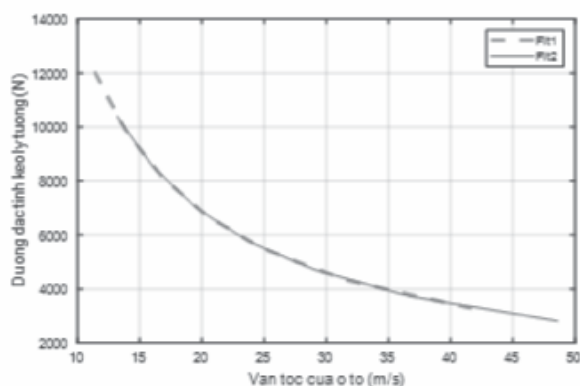
Hình 5. Đồ thị lực kéo đối với ô tô B sử dụng hộp số có 7 cấp

Dựa vào các đường lực kéo tương ứng với 7 tay số, thiết lập được đường đặc tính kéo lý tưởng cho xe B.

4.3. So sánh các đặc tính lực kéo lý tưởng dạng Hyperbol của hai xe

Kết quả cho thấy rằng, ở cấp số thấp, xe tạo ra lực kéo lớn nhằm hỗ trợ tốt cho việc khởi hành, tăng tốc và leo dốc, trong khi ở các cấp số cao, lực kéo giảm nhưng vận tốc chuyển động của ô tô tăng, nhằm nâng cao năng suất vận chuyển, tiết kiệm nhiên liệu, phù hợp chế độ ô tô chuyển động ổn định. Hai loại xe trong nghiên cứu bao gồm xe A có tải trọng 20.000 N và tốc độ tối đa 150 km/h, và xe B với tải trọng 35.000 N và vận tốc tối đa 175 km/h. Khi so sánh các đường đặc tính lực kéo lý tưởng dạng hypebol của xe A và B trong Hình 6, ta thấy rằng đường cong hypebol lực kéo lý tưởng của xe A đồng dạng với đường cong lực kéo lý tưởng của xe B. Lý do chính khiến các giá trị lực kéo ở cùng một tốc độ lại khác nhau giữa hai xe là do tỷ số truyền khác nhau của hai hộp số khác nhau.

Phân tích này cho thấy đường đặc tính lực kéo dạng hyperbol là công cụ quan trọng trong thiết kế hộp số, giúp xác định tỷ số truyền hợp lý, để đảm bảo phương tiện đạt được sự cân bằng giữa khả năng khởi hành, leo dốc và tốc độ chuyển động. Như vậy, dựa vào đường đặc tính lực kéo lý tưởng, có thể thiết kế một hộp số để đảm bảo lực kéo gần giống với đường cong hypebol.



Hình 6. So sánh đường đặc tính lực kéo lý tưởng ứng với hai xe có tỷ số truyền hộp số khác nhau

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã tập trung vào việc xây dựng đường đặc tính lực kéo lý tưởng cho ô tô nhằm tối ưu hóa khả năng vận hành của phương tiện trong nhiều điều kiện khác nhau. Đường đặc tính lực kéo lý tưởng với dạng hyperbol đã được xây dựng cho hai mẫu xe có tải trọng và đặc điểm kỹ thuật khác nhau, cho thấy sự khác biệt trong khả năng lực kéo do ảnh hưởng của tỷ số truyền hộp số. Kết quả của nghiên cứu cung cấp một phương pháp tiếp cận để thiết kế và tối ưu hóa hộp số dựa trên đặc tính lực kéo lý tưởng, từ đó tối ưu hóa tiêu hao nhiên liệu, đảm bảo hiệu suất hoạt động cao và giúp cải thiện hiệu quả khai thác của xe. Những kết quả này không chỉ đóng góp vào việc cải tiến công nghệ hộp số mà còn mang lại lợi ích trong việc giảm tiêu hao nhiên liệu và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong ngành công nghiệp ô tô. ♦

Ngày nhận bài: 15/5/2026

Ngày phản biện: 25/5/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. S. Pardhi, A. Deshmukhand and H. Ajrouche, "Modelling and simulation of detailed vehicle dynamics for development of innovative powertrains". International Journal of Automotive Science and Technology, vol.5, no.3, p.244-253, 2021.
- [2]. K. Wagh, and P. Dhatrak, "A review on powertrain subsystems and charging technology in battery electric vehicles: Current and future trends". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, vol.236, no.4, p.479-496, 2022.
- [3]. R. Isermann, "Automotive Control". Springer Berlin Heidelberg, 2022.
- [4]. G. Conway, A. Joshi, F. Leach, A. Garciaand and P. K. Senecal, "A review of current and future powertrain technologies and trends in 2020". Transportation Engineering, vol.5, p.100080, 2021.
- [5]. M. Hilgers, "Transmissions and drivetrain design". In Transmissions and Drivetrain Design. Springer Berlin Heidelberg, 2022.
- [6]. G. Lechner and H. Naunheimer, "Automotive transmissions: fundamentals, selection, design and application". Springer Science & Business Media, 1999.
- [7]. B. Piotr, "A design method of selecting gear ratios in manual transmissions of modern passenger cars". Mechanism and Machine Theory, vol.132, p.133-153, 2019.
- [8]. R. Durković, and R. Grujić, "An approach to determine the minimum specific fuel consumption and engine economical operation curve model". Measurement, vol.132, p.303-308, 2019.