

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC CỦA BỘ CHẤP HÀNH HỆ THỐNG LÁI BỐN BÁNH DẪN HƯỚNG

RESEARCHING THE DYNAMICS OF FOUR-WHEEL STEERING SYSTEM ACTUATOR

Nguyễn Hữu Mạnh¹, Đào Mạnh Hùng²

¹Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng, Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Hệ thống lái 4 bánh dẫn hướng (4WS), các bánh xe dẫn hướng cầu sau được dẫn động bởi động cơ điện khi nhận tín hiệu điện áp từ bộ điều khiển ECU. Bài báo tập trung nghiên cứu mô hình động lực học động cơ điện, mô hình động lực học bộ chấp hành cơ khí. Mô hình động lực học của bộ chấp hành 4WS với mô-tơ điều khiển được mô phỏng bằng phần mềm Matlab Simulink cho thấy hiệu quả hoạt động cũng như sự làm việc ổn định của hệ thống dẫn động lái cầu sau.

Từ khóa: Động lực học bộ chấp hành hệ thống lái bốn bánh; 4WS; Simulink; Bộ chấp hành 4WS.

ABSTRACT

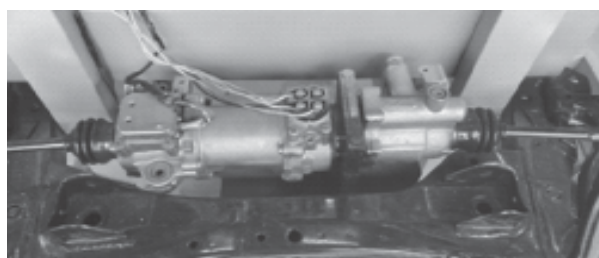
When multiplying the voltage signal from the ECU controller, four-wheel steering (4WS), the on-demand guide wheels, are driven by an electric motor. The article focuses on studying the electromechanical dynamics and mechanical actuator dynamic models. The dynamic model of the 4WS actuator with the control motor is simulated using Matlab Simulink software to see the performance and stability of the drive system.

Keywords: Active safety systems; Automotive dynamics; Anti-lock braking system.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, sự phát triển của khoa học công nghệ như công nghệ thông tin, điều khiển tự động, cơ điện tử, chế tạo máy, công nghệ vật liệu, ngành công nghiệp chế tạo ô tô đang có những bước phát triển rất mạnh mẽ. Bộ chấp hành điều khiển lái phía sau sử dụng động cơ điện một chiều (DC motor) biến chuyển động quay của động cơ điện thành chuyển động tịnh

tiến của thanh răng thông qua hộp giảm tốc truyền chuyển động đến các bánh sau.



Hình 1. Bộ chấp hành hệ thống lái 4WS

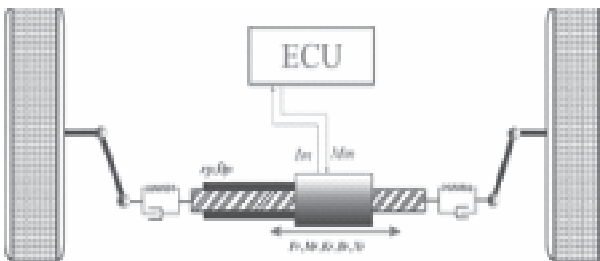
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC BỘ CHẤP HÀNH HỆ THỐNG LÁI BÓN BÁNH DẪN HƯỚNG (4WS)

2.1. Mô hình toán học hệ thống lái 4WS với mô-tơ điều khiển

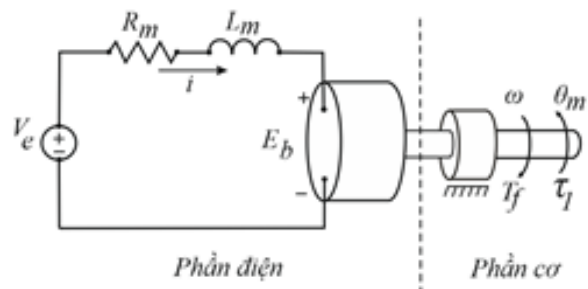
Xe được khảo sát là HONDA Prelude [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] có các thông số như:

Bảng 1. Thông số mô hình xe khảo sát HONDA Prelude

Kí hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị	Kí hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị
m	Khối lượng toàn bộ ô tô	1070	Kg	r_{bx}	Bán kính bánh xe	0,3	m
J	Mô-men quán tính đối với trục thẳng đứng đi qua trọng tâm của ô tô	2100	kg.m ²	J_b	Mô-men quán tính bánh xe	3,6	kg.m ²
l_1	Khoảng cách từ trọng tâm đến trục trước	1,1	m	K	Hệ số cản không khí	0.4	Ns ² /m ⁴
l_2	Khoảng cách từ trọng tâm đến trục sau	1,3	m	F	Diện tích cản chính diện	2	m ²



Hình 2. Mô hình toán học bộ chấp hành hệ thống lái 4WS



Hình 3. Mô hình mô-tơ DC của bộ chấp hành hệ thống lái 4WS

2.2. Mô hình toán học bộ chấp hành hệ thống lái 4WS

Mô hình bộ chấp hành gồm hai phần: Động cơ điện và hệ thống cơ khí. Động cơ một chiều được sử dụng khá phổ biến trong các hệ điều khiển nhờ đặc tính cơ là tuyến tính, khoảng điều chỉnh vận tốc rộng, khả năng mang tải lớn ở vùng vận tốc nhỏ. Sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều được trình bày ở Hình 2 [9, 10, 11, 12].

Phần điện:

$$V_e = L_m \frac{di}{dt} + R_m i + E_b \quad \left(\text{với } E_b = K_b \omega = Kb \frac{d\theta_m}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\begin{cases} V_e = L_m \frac{di}{dt} + R_m i + Kb \frac{d\theta_m}{dt} \\ J_m \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = K_t i - C_m \frac{d\theta_m}{dt} - \frac{\tau_l}{i_m} \end{cases} \quad (2)$$



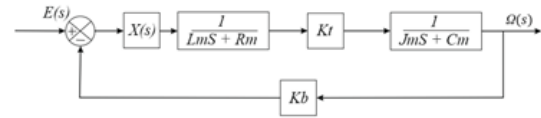
Phần cơ khí:

$$J_m \frac{d\omega}{dt} = \tau_m - T_f - C_m \omega - \frac{\tau_1}{i_m} \quad (\text{với } \tau_m = K_t i)$$

$$= K_t i - T_f - C_m \omega - \frac{\tau_1}{i_m} \quad (3)$$

$$\begin{cases} E(s) = (L_m s + R_m) I(s) + K_b \Omega(s) \\ \frac{\tau_1(s)}{i_m} = K_t I(s) - (J_m s + C_m s) \Omega(s) \end{cases} \quad (4)$$

Hàm truyền của hệ thống:



Ta thu được hàm truyền giữa điện áp và góc quay động cơ khi $\tau_1 = 0$ (Bỏ qua ma sát và tải):

$$\frac{\Omega(s)}{E(s)} = \frac{K_t}{(L_m J_m) s^2 + (R_m J_m + C_m L_m) s + (R_m C_m + K_b)} \quad (5)$$

Bảng 2. Thông số mô phỏng bộ chấp hành

Kí hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị	Kí hiệu	Thông số	Giá trị	Đơn vị
J_m	Mô-men quán tính động cơ	0.0004	kgm ²	C_p	Hệ số cản bánh răng	0.36042	N.m/(rad/s)
C_m	Hệ số cản động cơ	0.19	N.m/(rad/s)	K_p	Hệ số cứng bánh răng	42057	N.m/rad
K_m	Hệ số cứng trục động cơ	42057	N.m/rad	r_p	Bán kính trục vít cơ cầu lái	0,18	m
B_m	Hệ số ma sát nhớt động cơ	0,19	N.m/(rad/s)	C_p	Hệ số cản thanh xoắn	0.36042	N.m/(rad/s)
k_m	Hệ số mô-men động cơ	0.3	N.m/A	m_R	Khối lượng thanh răng	2.5	kg
R_m	Điện trở phản ứng	0.39	ohm	K_{TR}	Độ cứng thanh răng	206000	N.m/rad
i_m	Tỷ số truyền hộp giảm tốc	16,33	-	C_{TR}	Hệ số cản thanh răng	450	N.m/(rad/s)
J_{tb}	Mô-men quán tính thanh xoắn	0.0344	kgm ²	l	Đòn quay bánh xe dẫn hướng	0,195	m
C_{tb}	Hệ số cản thanh xoắn	0,36042	N.m/(rad/s)	J_{FW}	Mô-men quán tính bánh xe	0,18	kgm ²
K_{tb}	Hệ số cứng thanh xoắn	14878	N.m/ rad	J_p	Mô-men quán tính bánh răng	0.0344	kgm ²

Áp dụng nguyên lý D'Alembert đối với động cơ điện, hộp giảm tốc, thanh răng cơ cấu lái, ta nhận được phương trình mô tả động lực học của hệ thống 4WS như sau:

$$M_r \ddot{x}_r + B_r \dot{x}_r + K_r x_r = \frac{T_a}{r_p} - F_r \quad (6)$$

$$\text{Với: } T_a = T_m G_m \quad (7)$$

Độ dịch chuyển thanh răng:

$$x_r = \omega / (G_s G_m) \quad (8)$$

$$r_p = \frac{x_r}{\theta_p} \quad (9)$$

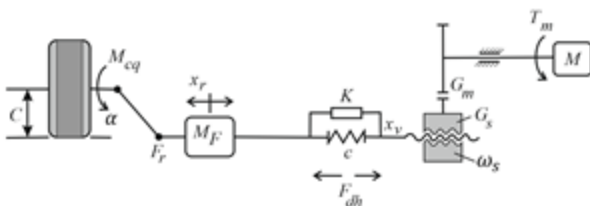
$$T_m = K_I I_m \quad (10)$$

T_m, T_a [Nm]: tương ứng là mô-men của động cơ điện và mô-men thanh dịch chuyển ngang.

Cường độ dòng điện I_m cung cấp cho động cơ điện được xác định từ định luật Kirchhoff theo phương trình:

$$U = R_m I_m + L_m \dot{I}_m + K_\theta \dot{\theta}_m \quad (11)$$

Kết hợp các phương trình, sau một số biến đổi, ta có:



Hình 4. Sơ đồ truyền lực từ mô-tơ DC đến bánh xe dẫn hướng

M_{cq} : Mô-men cản quay [Nm].

Mô-men cản quay của bánh xe được xác định:

$$M_{cq} = \alpha \cdot K \quad (12)$$

Lực đàn hồi được xác định:

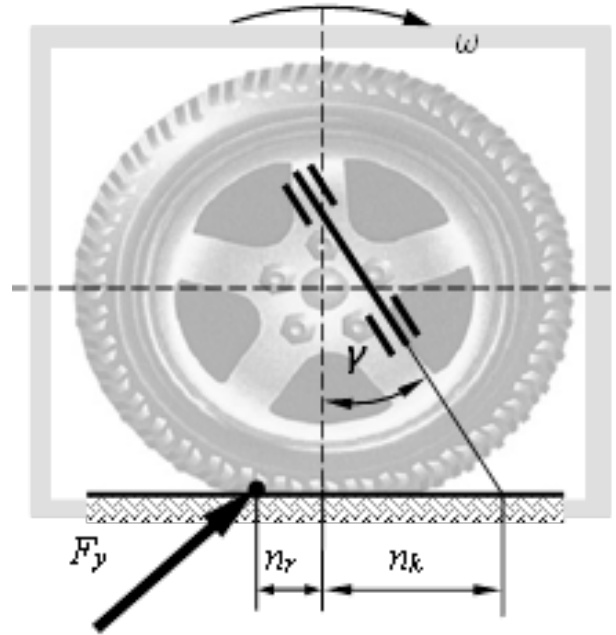
$$F_{dh} = c \cdot (x_v - x_r) + K \cdot (x_v - x_r) \quad (13)$$

Mô-men của động cơ điện được xác định:

$$J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega_m + F_{dh} G_s G_m = T_m \quad (14)$$

Giá trị lực cản quay vòng quy dẫn về thanh răng cơ cấu lái F_r tác dụng lên các bánh xe dẫn hướng theo công thức:

$$F_r = \frac{F_y (n_r + n_k)}{n_\gamma} \quad (15)$$



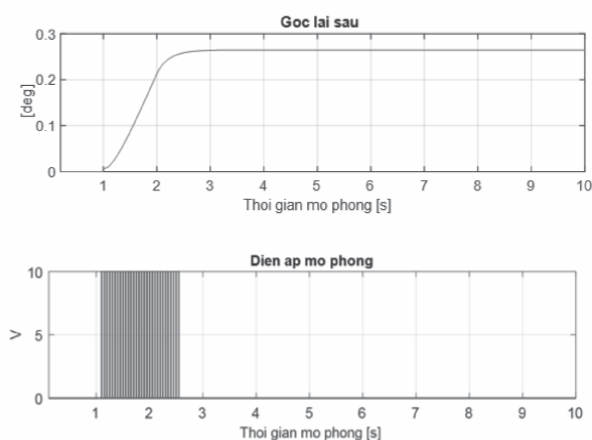
Hình 5. Sơ đồ xác định lực cản quay vòng

Quan hệ phi tuyến giữa lực ngang F_y phụ thuộc vào góc lệch bên của các bánh xe dẫn hướng được xác định theo công thức Pacejka dựa trên mô hình động lực học tổng quát của ô

tô kết hợp mô hình chuyển động của ô tô trong mặt phẳng (3 bậc tự do) và mô hình dao động của ô tô trong không gian (7 bậc tự do).

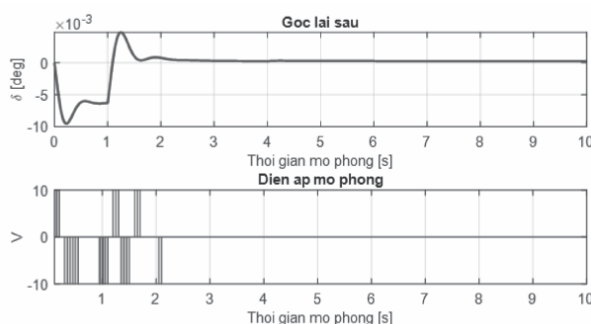
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Kết quả mô phỏng ở chế độ chạy thẳng có gió ngang với tốc độ 10 [km/h]. Gió ngang tác dụng lên ô tô một lực ổn định là 500 [N] và độ cứng bên của lốp là $C_{af} = 30000$ [N/m] và $C_{ar} = 22000$ [N/m].



Hình 5. Tín hiệu điện áp mô phỏng trong chế độ chạy thẳng có gió ngang với vận tốc 10 [km/h]

Kết quả mô phỏng ở chế độ quay vòng thiếu với vận tốc 60 km/h, góc quay bánh xe dẫn hướng δ_0 đạt giá trị ổn định xung quanh ngưỡng 0,08 rad sau 2 giây. Trạng thái quay vòng thiếu tạo ra bằng cách thay đổi độ cứng bên lần lượt là $C_{af} = 20000$ N/m và $C_{ar} = 30000$ N/m.



4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng từ tín hiệu điện áp ra góc lái bánh sau cho thấy mô hình động lực học bộ chấp hành được giới thiệu trong bài báo phù hợp với thực tế và đảm bảo độ tin cậy. Mô hình có thể được sử dụng để kết hợp với mô hình động lực học chuyển động của ô tô để nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển nhằm ổn định quỹ đạo chuyển động ô tô bằng hệ thống lái 4WS. ❖

Ngày nhận bài: 27/4/2023

Ngày phản biện: 17/5/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Oldham, Scott (17 May 2019); “The 1999 Honda Prelude Type SH Was Great 20 Years Ago. How Good Is it Now?”. Car and Driver. Hearst Autos, Inc. Archived from the original on 26 November 2020.
- [2]. Heitz, Rudolf, ed. (1982); “Auto Katalog 1983 (in German)”. Vol. 26. Stuttgart: Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG. p. 47.
- [3]. De Leener, Philippe (2 June 1983); “Essai Détail: Honda Prelude EX”. Le Moniteur de l'Automobile (in French). Brussels, Belgium: Editions Auto-Magazine. 33 (770): 16–17.
- [4]. Enklaar, Gert (24 March 1979); “Rijden met Honda Prelude” [Test drive: Honda Prelude]. Autovisie (in Dutch). Amersfoort, Netherlands: Arnold van der Wees. 24 (6): 32.
- [5]. Honda Motor Company; “New release, sporty two-door fixed-head coupe: the Honda Prelude” (Press Release) (in Japanese). 24 November 1978.
- [6]. McCourt, Mark; “Prelude to Love - 1983-'87 Honda Prelude”. Hemmings. Retrieved 28 December 2019.
- [7]. “Honda online store: 1998 prelude a/c unit parts”. estore.honda.com. Retrieved 14 January 2021.
- [8]. American Honda Motor Co.; “2000 Prelude Owner's Manual”. Inc., 1999, p. 264, 31S30630.
- [9]. Nguyễn Thị Phương Hà, Huỳnh Thái Hoàng; “Lý thuyết điều khiển tự động”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [10]. Huỳnh Thái Hoàng; “Hệ thống điều khiển thông minh”. NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [11]. G. Madhumitha, R. Srividhya, Joe Johnson, D. Annamalai; “Physical modeling and control of self-balancing platform on a cart”. 2016 International Conference on Robotics: Current Trends and Future Challenges (RCTFC).
- [12]. Khaled sailan, Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Kuhnert; “DC Motor Angular Position Control using PID Controller for the purpose of controlling the Hydraulic Pump”. International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'13).