

# NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG LÁI STEER-BY-WIRE

## DYNAMICS AND CONTROL RESEARCH STEER-BY-WIRE STEERING SYSTEM

Phạm Văn Đô<sup>1</sup>, Vũ Văn Trọng<sup>1</sup>, Nguyễn Mạnh Tuấn<sup>1</sup>,  
Nguyễn Tiến Dũng<sup>2</sup>, Văn Đức Huy<sup>3</sup>, Nguyễn Xuân Tuấn<sup>4,\*</sup>

### TÓM TẮT

Hệ thống lái Steer by wire là hệ thống lái không sử dụng trục lái cơ khí để truyền mô men từ vành tay lái đến bánh xe dẫn hướng, thay vào đó hệ thống sử dụng một bộ chấp hành lái (mô tơ điện, thủy lực,...) và một bộ điều khiển điện tử (gồm các cảm biến và bộ xử lý điện tử ECU). Vành tay lái dùng để tạo tín hiệu đổi hướng chuyển động, bánh xe dẫn hướng được dẫn động bởi bộ chấp hành của bộ điều khiển dẫn hướng. Bài báo nghiên cứu mô hình động lực học của hệ thống lái steer by wire và điều khiển hệ thống lái steer by wire bằng việc ứng dụng bộ điều khiển PID. Mô hình và luật điều khiển được mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink để đánh giá hiệu quả.

**Từ khóa:** Điều khiển hệ thống lái, steer by wire.

### ABSTRACT

Steer by wire steering system is a steering system that does not use mechanical steering shafts to transmit torque from the steering wheel to the guide wheel, instead the system uses a steering actuator (electric, hydraulic,...) and an electronic controller (including ECU sensors and electronic processors). The steering wheel rim is used to create a motion change signal, the guidance wheel is guided by the executive unit of the guide controller. The paper examines the dynamic model of the steering system by wire and steering system control by wire by the application of PID controllers. The model and control law are simulated on matlab/simulink software to evaluate efficiency.

**Keywords:** Control steering system, steer by wire.

<sup>1</sup>Lớp DH Kỹ thuật Ô tô 06 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Lớp DH Kỹ thuật Ô tô 01 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Lớp DH Kỹ thuật Ô tô 04 - K13, Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>4</sup>Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: tuannx.dhcn@gmail.com

### 1. GIỚI THIỆU

Hệ thống lái Steer by wire là hệ thống lái không sử dụng trục lái cơ khí để truyền mô men từ vành tay lái đến bánh xe dẫn hướng, thay vào đó hệ thống sử dụng một bộ chấp hành lái (mô tơ điện, thủy lực,...) và một bộ điều khiển điện tử (gồm các cảm biến và bộ xử lý điện tử ECU). Vành tay lái dùng để tạo tín hiệu đổi hướng chuyển động, bánh xe dẫn

hướng được dẫn động bởi bộ chấp hành của bộ điều khiển dẫn hướng.

Hệ thống lái Steer by wire có các ưu điểm:

- Triệt tiêu hoàn toàn các rung động từ mặt đường tác dụng lên vành tay lái do loại bỏ được sự nối cứng của trục lái.
- Khoang lái rộng rãi hơn, có thể bố trí vành lái ở các vị trí mong muốn khác;
- Điều khiển lái nhẹ nhàng, nhạy hơn do giảm bớt các liên kết, dẫn động cơ khí;
- Dễ dàng thay đổi tỷ số truyền dẫn động lái từ vành tay lái đến các bánh xe dẫn hướng;
- Ứng dụng trong việc lái xe tự động, điều khiển từ xa, trang bị trên các xe chuyên dùng...

### 2. ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG LÁI STEER-BY-WIRE

#### 2.1. Xây dựng mô hình động lực học bộ phận chấp hành của hệ thống lái Steer-by-wire

Hệ thống lái SBW là một hệ thống cơ học phức tạp gồm nhiều bậc tự do và liên kết phức tạp, trong mô hình động lực học thường bao gồm có các phần tử có khối lượng và các liên kết, để xây dựng mô hình toán có thể sử dụng nhiều phương pháp như phương trình Lagrange loại 2, nguyên lý Dаламbe, phương pháp họa đồ (bond graph), phương pháp hệ thống con... Trong nghiên cứu trình bày hai phương pháp phổ biến để xây dựng mô hình toán cho hệ thống động lực học đó là Lagrange loại 2 và nguyên lý Dаламbe để chuyển bài toán động lực học về bài toán tĩnh học bằng cách đưa các mô men quán tính khối lượng, khối lượng quán tính vào cơ hệ, khi đó phương trình chuyển động sẽ được thiết lập trên cơ sở lấy tổng các mô men, lực tác dụng lên cơ hệ.

Trong mô hình trên, động cơ điện một chiều có nhiệm vụ chính cung cấp mô men  $\tau_M$  thay thế cho mô men đánh lái. Động cơ điện một chiều có mô men quán tính  $J_0$ , được nối với cơ cấu lái qua trục có độ cứng xoắn  $C_0$  và dịch chuyển với hệ số giảm chấn  $K_0$ . Cơ cấu lái là cơ cấu thanh răng, bánh răng với  $r_p$  là khoảng cách tâm thanh răng đến điểm ăn khớp với bánh răng. Thanh răng có khối lượng  $m$ , có độ cứng  $C_1$ , dịch chuyển với hệ số giảm chấn  $K_1$ . Khoảng các từ thanh răng tới trục bánh xe  $r_1$ , bánh xe có mô men quán tính  $J_{bx}$ .



Với  $B_m$ : hệ số cản

Biến đổi Laplace phương trình (4) và (7) ta được:

$$(Ls + R) i_a(s) = V(s) - K_b s \theta_m(s) \quad (8)$$

$$(J_m s^2 + B_m s) \theta_m(s) = K_m i_a(s) - \tau_c(s) \quad (9)$$

Hàm truyền giữa hiệu điện thế và góc quay động cơ khi  $\tau_c = 0$ :

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m}{LJ_m s^3 + (B_m L + RJ_m) s^2 + (K_b K_m + B_m R) s} \quad (10)$$

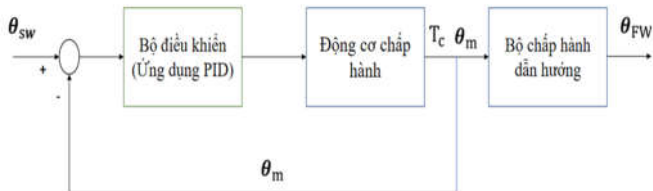
Biến đổi theo thời gian ta có phương trình vi phân bậc hai:

$$\tau_c(t) = \frac{K_m}{R} V(t) - J_m \ddot{\theta}_m(t) - (B_m + \frac{K_b K_m}{R}) \dot{\theta}_m(t) \quad (11)$$

Phương trình (11) là phương trình toán của động cơ được sử dụng trong tính toán động lực học cho hệ thống lái SBW.

### 3. ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID CHO HỆ THỐNG LÁI STEER-BY-WIRE

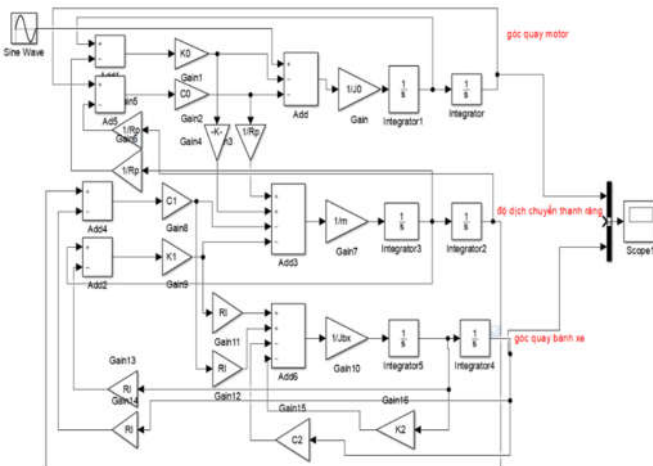
Sơ đồ điều khiển bộ chấp hành của hệ thống lái Steer by wire được thể hiện trên hình 3.



Hình 4. Sơ đồ cấu trúc điều khiển bộ chấp hành lái

Sử dụng phương pháp Zeigle-Nichols để xác định được  $K_{gh}$  và  $T_{gh}$ . Từ đó tìm ra bộ thông số  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_D$ , có  $K_p = 72$ ;  $K_i = 84,74$ ;  $K_D = 15,3$ .

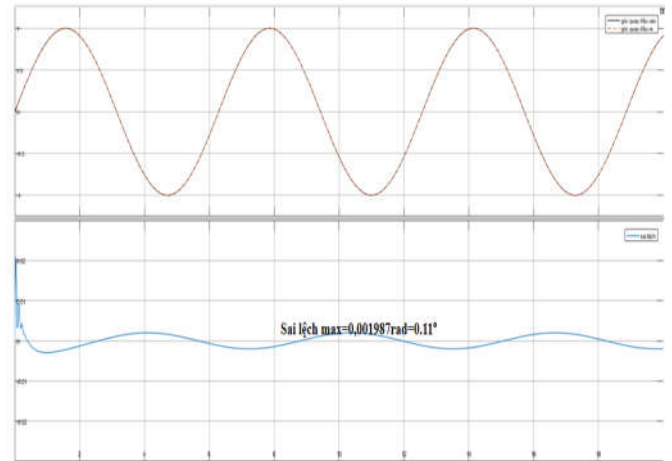
Mô hình hệ thống điều khiển bộ chấp hành được thể hiện trên hình 4.



Hình 5. Mô hình hệ thống điều khiển bộ phận chấp hành

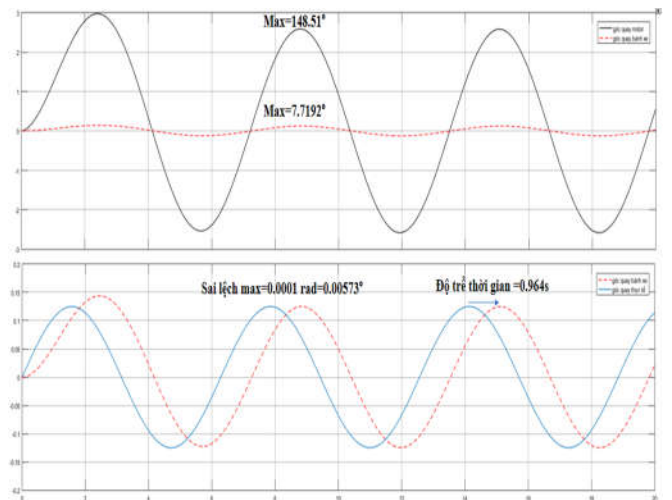
### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trên hình 5 thể hiện kết quả mô phỏng cho thấy sai lệch lớn nhất giữa tín hiệu góc quay đầu vào và tín hiệu góc quay đầu ra rất nhỏ (0,110). Nên động cơ hoạt động ổn định, có độ tin cậy cao.



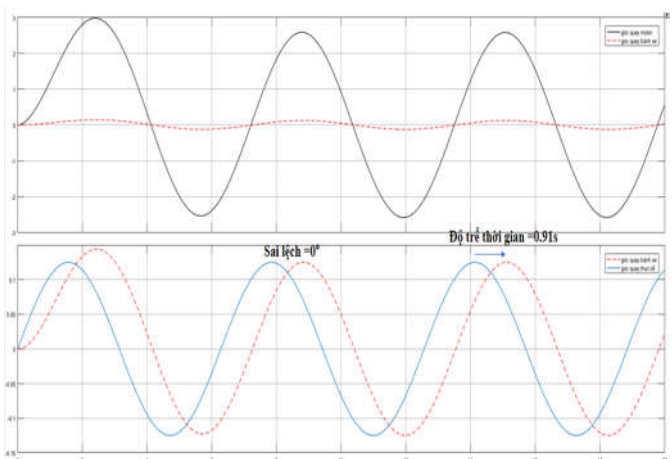
Hình 6. Kết quả mô phỏng động cơ điện DC

Trên hình 6 thể hiện sai lệch giữa tín hiệu góc quay mong muốn với tín hiệu góc quay thực tế rất nhỏ, khoảng  $0,00573^\circ$ . Độ trễ thời gian nhỏ, khoảng  $0,964s$ .



Hình 7. Kết quả mô phỏng bộ chấp hành

Trên hình 7 cho thấy khi ứng dụng bộ điều khiển PID cho hệ thống chấp hành thì sai lệch gần bằng  $0^\circ$ . Và độ trễ thời gian giảm (còn  $0,91s$ ) so với khi chưa sử dụng bộ điều khiển PID.



Hình 8. Kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng động lực học bộ phận chấp hành của hệ thống lái Steer-by-wire và ứng dụng bộ điều khiển PID cho hệ thống chấp hành. Các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink nhận được kết quả mong muốn.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Aga and A. Okada, 2003. *Analysis of vehicle stability control (VSC)'s effectiveness from accident data*. In Proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Nagoya, Japan.
- [2]. A. E. Cetin, M. A. Adli, D. E. Barkana, 2010. *Implementation and development of an adaptive steering-control system*. IEEE Trans. Vehi.Technol., vol. 59, no.1, pp. 75-83.
- [3]. J. N. Dang, 2004. *Preliminary results analyzing the effectiveness of electronic stability (ESC) systems*. NHTSA Evaluation Note DOT HS 809 790.
- [4]. C. M. Farmer, 2004. *Effecto of electronic stability control on automobile crash risk*. Traffic Injury Prevention, 5:317-325.
- [5]. Man Hyung Lee, Seung Ki Ha, 2005. *Improvement of the Steering Feel of an Electric Power Steering Sysem by Torque Map Modificantion*. 792 Journal of Mechanical Science and Technology (KSMEInt.J), Voll9, No.3, pp792-801.
- [6]. Liu A., Chang S, 1995. *Force feedback in a stationary driving simulator*. Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for the 21st Century, IEEE International Conference, Canada, vol. 2, pp. 1711-1716.
- [7]. Ba-Hai-Ngyen, Jee-Hwan Ryu, 2009. *Semi-Experimental Results on a Mwasured Current Based Method for Reproducing Realistic Steering Feel of Steer-By-Wire Systems*.
- [8]. C. L. Seacord, D. K. Vaughn, 1976. *Preliminary system design for a digital flyby- wire flight control system for an F-8C aircraft*. NASA Center for Aerospace Information NASA-CR-2609.
- [9]. Oh S-W, Chae H-C, Yun S-C, Han C-S, 2004. *The design of controller for the steer by wire system*. JSME Int Journal.Ser. Cmech Systems, Mach ElemManuf, Japan, vol 47, pp. 896-907.
- [10]. Paul Yih, 2005. *Steer by wire implications for vehicle handing and sefety*.
- [11]. Paul Yih, Jihan Ryu, J. Christian Gerdes, 2003. *Vehicle handling modification via Steer by wire*. Dynamic Design Lab, Stanford University.
- [12]. Ngô Văn Hợp. *Nghiên cứu ổn định hệ thống lái không trực lái tại vị trí giới hạn quay vòng của vành tay lái*.
- [13]. Trần Văn Lợi, 2018. *Nghiên cứu điều khiển hệ thống lái điện trên ô tô con*.
- [15]. Võ Lâm Kim Thanh, 2015. *Thiết kế mô phỏng hệ thống lái không trực lái*, tr. 3-7.
- [16]. Nguyễn Xuân Tuấn, 2020. *Nghiên cứu hệ thống lái ô tô steer by wire điện tử- thủy lực*.
- [17]. <https://www.youtube.com/watch?v=dqgQZrK4zyw>.
- [18]. <https://www.youtube.com/watch?v=x8UgdllSPTc>.