

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ KẾT CẤU ĐẾN ĐẶC TÍNH CỦA HỆ THỐNG LÁI TRỢ LỰC ĐIỆN TRÊN Ô TÔ CON DẠNG C-EPS

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF STRUCTURAL PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF C-EPS STEERING SYSTEM

Vũ Văn Tấn^{1,*}, Đặng Đình Huy¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.013>

TÓM TẮT

Hệ thống lái trợ lực điện đang ngày càng được sử dụng phổ biến trên các ô tô hiện đại. Trong bài báo này, các tác giả đã tập trung nghiên cứu hệ thống lái trợ lực điện có mô tơ trợ lực đặt trên trục lái (C-EPS), từ đó xây dựng mô hình cơ học, thiết lập các phương trình động lực học và biểu diễn dưới dạng phương trình không gian trạng thái. Các thông số kỹ thuật ảnh hưởng đến đặc tính của hệ thống lái C-EPS được xem xét bao gồm: mô men quán tính trục lái, độ cứng xoắn trục lái, giảm chấn trục lái, độ cứng xoắn thanh răng, giảm chấn thanh răng, bán kính bánh răng. Kết quả mô phỏng trên miền tần số và miền thời gian đã cho thấy được mức độ ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến đặc tính hệ thống. Khi thay đổi giá trị độ lớn của các thông số kết cấu thì đặc tính của hệ thống lái thay đổi tương đối lớn. Kết quả của nghiên cứu này là tiền đề xây dựng các chiến lược điều khiển hệ thống lái trợ lực điện khi cân nhắc đến tính không chắc chắn của các thông số kết cấu.

Từ khóa: Động lực học và điều khiển ô tô; hệ thống lái trợ lực điện; hệ thống lái trợ lực điện trên trục lái; mô hình hệ thống lái; thông số không chắc chắn.

ABSTRACT

Electric power steering systems are increasingly being used in modern cars. In this paper, the authors have focused on studying the electric power steering system with the power steering motor mounted on the steering shaft (C-EPS), thereby building a mechanical model, establishing the dynamic equations and expressed these equations in the state-space form. The technical parameters affecting the performance of the C-EPS steering system to be considered include: steering column inertia, steering column stiffness, column damping, rack stiffness, rack damping, steering column pinion radius. The simulation results in the frequency domain and the time domain have shown the influence of structural parameters on the system characteristics. When changing the magnitude of the structural parameters, the characteristics of the steering system change relatively large. The results of this study are the premise to develop electric power steering control strategies considering the uncertainty of structural parameters.

Keywords: Vehicle dynamics and controls; electric power steering system; electric power steering system on the steering shaft; steering system model; uncertainty of structural parameters.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

*Email: vvtan@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/11/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

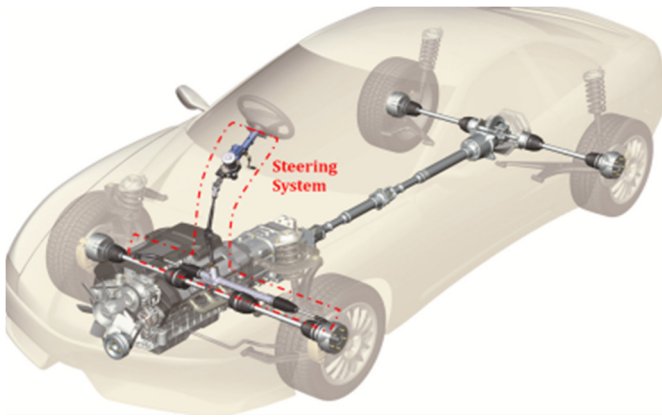
1. GIỚI THIỆU

Hệ thống lái là một trong các hệ thống cơ bản và quan trọng nhất trên ô tô được sử dụng để thay đổi hướng chuyển động hoặc giữ cho ô tô di chuyển theo quỹ đạo nhất định như đi thẳng, quay vòng, chuyển làn. Các dạng hệ thống lái phổ biến có thể kể đến như hệ thống lái không có trợ lực, hệ thống lái trợ lực thủy lực, hệ thống lái trợ lực điện và hệ thống lái trợ lực điện - thủy lực.

Năm 1988, hệ thống lái trợ lực điện (Electronic Power Steering system - EPS) được giới thiệu đầu tiên trên ô tô thương mại tuy nhiên chỉ được sử dụng trên dòng xe có tải trọng nhỏ và yêu cầu về lực trợ lực lái rất thấp [1]. Từ đó đến nay hệ thống trợ lực lái điện đã được mở rộng và phát triển rộng rãi, trang bị rộng khắp trên hầu hết các dòng xe, hướng đến việc áp dụng cho lái tự động đảm bảo các mục tiêu an toàn môi trường và giảm bớt sự vất vả của người lái xe. Hệ thống lái EPS hoạt động dựa trên tín hiệu của cảm biến mô men nằm trong cụm trợ lực lái, khi người lái tác động lên vô lăng để thực hiện việc điều chuyển hướng, dưới tác động của mặt đường thông qua bánh xe, thước lái sẽ tác dụng lên thanh xoắn nằm trong cụm trợ lực điện. Cảm biến mô men lúc này sẽ nhận tín hiệu và tiến hành đo mô men đánh lái sau đó gửi về hộp điều khiển. Căn cứ vào tín hiệu được gửi, hộp điều khiển sẽ phát ra dòng điện điều khiển hoạt động của mô tơ trợ lực với một mô men đủ lớn để hỗ trợ người lái xoay trục lái theo hướng mong muốn nhưng vẫn đảm bảo quỹ đạo chuyển động và cảm giác lái của người lái [2]. Sơ đồ bố trí chung của hệ thống lái trợ lực điện trên ô tô con được thể hiện trong hình 1. Hiện nay hệ thống lái EPS được chia làm hai loại chính: Trợ lực lái điện đặt trên trục lái (C-EPS) và trợ lực lái điện đặt tại bánh răng thanh răng (P-EPS). Mỗi loại trợ lực lái điện có những ưu nhược điểm và hiệu suất trợ lực khác nhau.

Đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến hệ thống lái trợ lực điện được công bố liên quan đến xây dựng mô hình hệ thống lái trợ lực điện và thuật toán điều khiển của nó, cụ thể như sau: 1) Xây dựng mô hình hệ thống lái trợ lực điện đã được nghiên cứu phát triển ở các mức độ khác nhau,

như mô hình hệ thống lái trợ lực điện với tín hiệu điều khiển là mô tơ trợ lực [8], với tín hiệu điều khiển là cường độ dòng điện [2]; 2) Thuật toán điều khiển hệ thống lái trợ lực điện cũng được nghiên cứu ứng dụng đa dạng như: điều khiển tối ưu [5, 6, 7], điều khiển bền vững [4,8]. Tuy nhiên các nghiên cứu trước đây chưa có nghiên cứu nào xem xét ảnh hưởng của sự không chắc chắn của các thông số kết cấu đến đặc tính của hệ thống lái trợ lực điện.



Hình 1. Sơ đồ bố trí hệ thống lái trợ lực điện trên ô tô [13]

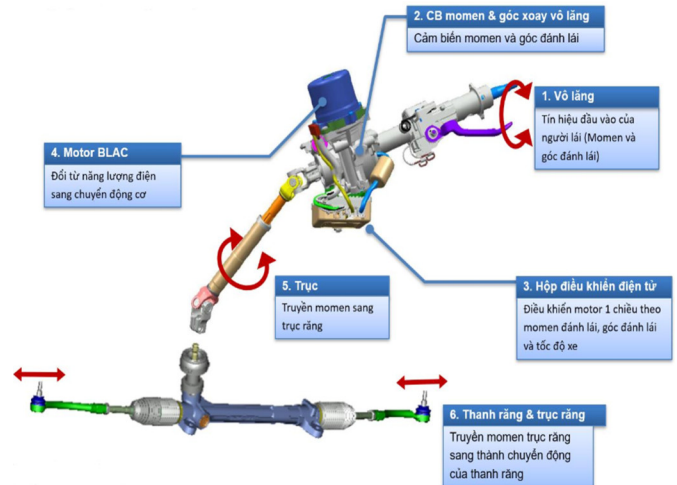
Trong bài báo này, các tác giả tập trung nghiên cứu đặc điểm kết cấu, xây dựng mô hình vật lý của hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS (mô tơ trợ lực trên trục lái). Từ đó, các tác giả xây dựng phương trình động lực học của hệ thống lái trợ lực điện và chuyển đổi thành dạng không gian trạng thái với các tín hiệu đầu vào gồm mô men kích thích từ người lái (τ_d), mô men kích thích từ mô tơ điện (τ_m) và lực kích thích từ mặt đường (F_r). Từ các tín hiệu đầu vào và mô hình không gian trạng thái của hệ thống, các tác giả đánh giá đặc tính của hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS khi thay đổi các thông số khác nhau của hệ thống gồm hai trường hợp: 1) Chỉ có mô men quán tính của trục lái J_c thay đổi và 2) Sáu thông số chính của hệ thống thay đổi (J_c - mô men quán tính trục lái, K_c - độ cứng xoắn trục lái, D_c - giảm chấn trục lái, K_r - độ cứng xoắn thanh răng, D_r - giảm chấn thanh răng, r_p - bán kính bánh răng).

2. HỆ THỐNG LÁI TRỢ LỰC ĐIỆN TRÊN Ô TÔ CON DẠNG C-EPS

Trong hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS, mô men xoắn trợ lực được cung cấp bởi động cơ điện, nhằm giảm mô men xoắn cần thiết từ người lái để quay bánh xe (đặc biệt là khi đỗ xe và khi ô tô chuyển động với tốc độ thấp). Giá trị mô men trợ lực được cung cấp cho hệ thống dựa trên các tín hiệu đầu vào (cảm biến mô men xoắn và tốc độ xe) cung cấp cho ECU. Sau đó, mô men truyền đến trục bánh răng là tổng của mô men tác động từ người lái và mô men trợ lực từ động cơ điện. Cuối cùng, cơ cấu thanh răng và bánh răng có nhiệm vụ truyền mô men từ bánh răng để di chuyển thanh răng [8].

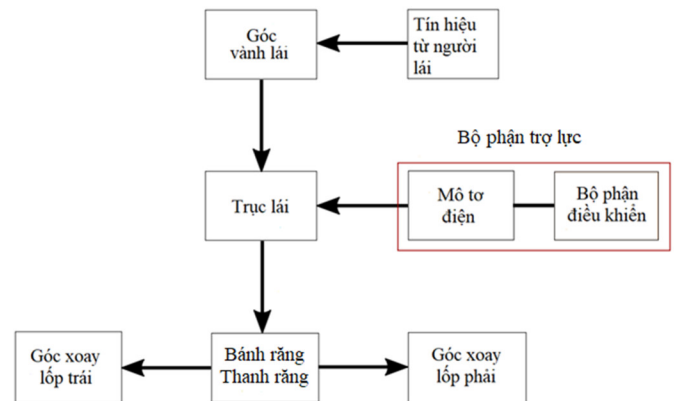
Hình 2 mô tả cấu tạo hệ thống lái trợ lực điện tại trục lái gồm 3 phần chính là: Phần 1 là tín hiệu đầu vào từ người lái tác động vào vô lăng. Phần 2 là bộ phận trợ lực gồm các cảm biến, mô tơ điện và hộp điều khiển điện tử. Bộ phận

này dùng các cảm biến tiếp nhận mô men và góc đánh lái của người lái để đưa tín hiệu đến hộp điều khiển từ đó kích hoạt mô tơ điện trợ lực cho hệ thống lái. Phần 3 là bộ phận chấp hành gồm trục lái, bánh răng thanh răng. Đây là bộ phận truyền lực chính của hệ thống lái.



Hình 2. Cấu tạo của hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS [12]

Nguyên lý làm việc của hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS được thể hiện trong hình 3. Hệ thống EPS hoạt động dựa trên tín hiệu của cảm biến mô men nằm trong cụm trợ lực lái, khi người điều khiển ô tô tác động lên vô lăng thực hiện việc điều chuyển hướng, dưới tác động của mặt đường thông qua bánh xe, thước lái sẽ tác dụng lên thanh xoắn nằm trong cụm trợ lực điện. Cảm biến mô men lúc này sẽ bắt đầu hoạt động và tiến hành đo mô men đánh lái sau đó gửi về hộp điều khiển. Căn cứ vào tín hiệu nhận được, hộp điều khiển sẽ phát ra dòng điện điều khiển hoạt động của mô tơ trợ lực với một mô men đủ lớn để hỗ trợ người lái xoay trục lái theo hướng mong muốn.



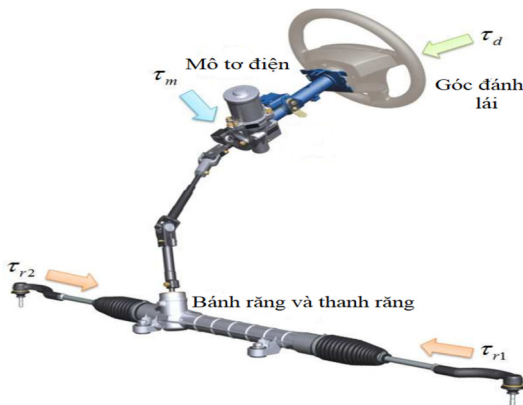
Hình 3. Sơ đồ nguyên lý làm việc của hệ thống lái dạng C-EPS [8]

Hệ thống lái điện dạng C-EPS có một số ưu điểm chính sau [8]: 1) Giảm tiêu thụ năng lượng: kết cấu của hệ thống EPS nhỏ gọn hơn so với kết cấu của hệ thống HPS (Hydraulic Power Steering system - Hệ thống lái trợ lực thủy lực). Hơn nữa, hệ thống EPS chỉ hoạt động khi người lái tác động quay vô lăng trong khi hệ thống HPS đòi hỏi mô tơ trợ lực thủy lực liên tục hoạt động để duy trì áp suất trong mạch thủy lực. 2) Hệ thống có thể điều khiển: EPS là một hệ

thống cơ điện tử được điều khiển bởi bộ phận điều khiển ECU. Vì vậy, việc cải thiện hiệu suất có thể dễ dàng thực hiện bằng cách thay đổi một số tham số của bộ điều khiển. 3) Hệ thống thân thiện với môi trường: EPS không sử dụng dầu thủy lực, do vậy không sinh ra chất ô nhiễm liên quan đến dầu thủy lực, cũng như việc sử lý dầu hoặc rò rỉ dầu trong hệ thống.

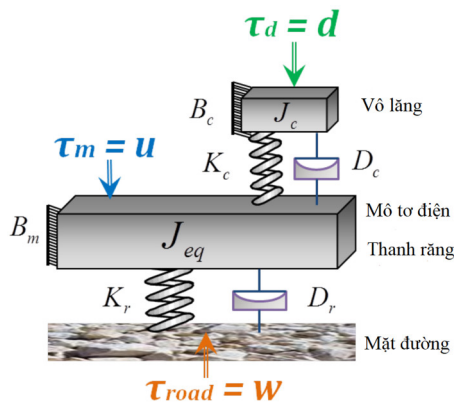
3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG LÁI TRỢ LỰC ĐIỆN TRÊN TRỤC LÁI

Mô hình thể hiện các lực, mô men tác động lên hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS của ô tô con được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Mô hình lực, mô men tác dụng lên hệ thống lái C-EPS [7]

Các lực, mô men đặt lên trục lái của hệ thống lái C-EPS bao gồm: τ_d - mô men do người lái tác dụng lên vô lăng, τ_m - mô men do mô tơ điện tác dụng lên trục lái, τ_r - mô men do mặt đường tác dụng lên thanh răng. Dựa trên cơ sở hình 4, các tác giả đưa ra mô hình cơ học của hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS như hình 5. Các kí hiệu và thông số của mô hình được thể hiện trong bảng 1.



Hình 5. Mô hình cơ học của hệ thống lái dạng C-EPS

Bảng 1. Kí hiệu và thông số của mô hình hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS [8]

| Kí hiệu | Thông số | Giá trị | Đơn vị |
|---------|---------------------------------|---------|------------------|
| J_c | Mô men quán tính trục lái | 0,04 | kgm ² |
| B_c | Độ lớn ma sát nhớt của trục lái | 0 | Nm/rad/s |
| K_c | Độ cứng xoắn của trục lái | 115 | Nm/rad |
| D_c | Giảm chấn của trục lái | 0,072 | Nm/rad/s |
| F_c | Mô men cản của trục lái | 0,027 | Nm |

| | | | |
|-------|---|--------|------------------|
| R_p | Tỷ số truyền quy đổi của bánh răng thanh răng | 1,02 | m/rad |
| r_p | Bán kính bánh răng | 0,07 | m |
| M_r | Khối lượng bánh răng thanh răng | 4 | kg |
| B_r | Độ lớn ma sát nhớt của thanh răng | 0 | Nm/rad/s |
| K_r | Độ cứng xoắn của thanh răng | 43000 | Nm/rad |
| D_r | Giảm chấn của thanh răng | 3820 | Nm/rad/s |
| R_m | Tỷ số truyền giảm tốc của mô tơ | 30 | - |
| J_m | Mô men quán tính của mô tơ | 0,0004 | kgm ² |
| B_m | Độ lớn ma sát nhớt của mô tơ | 0 | Nm/rad/s |
| F_m | Momen cản của mô tơ | 0,056 | Nm |

Phương trình động lực học tổng quát của hệ thống lái trợ lực điện tại trục lái được xác định như sau [7]:

$$J_c \ddot{\theta}_c = \tau_d - D_c \left(\dot{\theta}_c - \frac{\dot{\theta}_m}{R_m} \right) - \frac{K_c}{R_m} \left(\theta_c - \frac{\theta_m}{R_m} \right) - B_c \dot{\theta}_c \tag{1}$$

$$J_{eq} \ddot{\theta}_m = \tau_m + \frac{D_c}{R_m} \left(\dot{\theta}_c - \frac{\dot{\theta}_m}{R_m} \right) + \frac{K_c}{R_m} \left(\theta_c - \frac{\theta_m}{R_m} \right) - B_m \dot{\theta}_m - K_r \frac{R_p^2}{R_m^2} \theta_m - D_r \frac{R_p^2}{R_m^2} \dot{\theta}_m - \frac{\tau_r}{R_m} \tag{2}$$

Trong đó:

$$J_{eq} = J_m + \frac{R_p^2}{R_m^2} M_r; B_{eq} = B_m + \frac{R_p^2}{R_m^2} D_r$$

Phương trình động lực học (1-2) được viết dưới dạng không gian trạng thái tổng quát như sau:

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + Bu + Ed + Ww \\ Y = CX + DU \end{cases} \tag{3}$$

Trong đó: Vectơ trạng thái $X = [\dot{\theta}_c \ \dot{\theta}_m \ \theta_c \ \theta_m]^T$;

$$\dot{X} = [\ddot{\theta}_c \ \ddot{\theta}_m \ \dot{\theta}_c \ \dot{\theta}_m]^T$$

Lực kích thích từ mặt đường $w = F_r \in R$; tín hiệu điều khiển $u = \tau_m \in R$; kích thích từ người lái $d = \tau_d \in R$; A, B, E, C, D là các ma trận trạng thái.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

4.1. Phân tích kết quả trên miền tần số

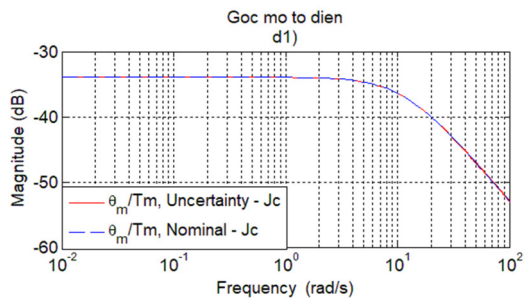
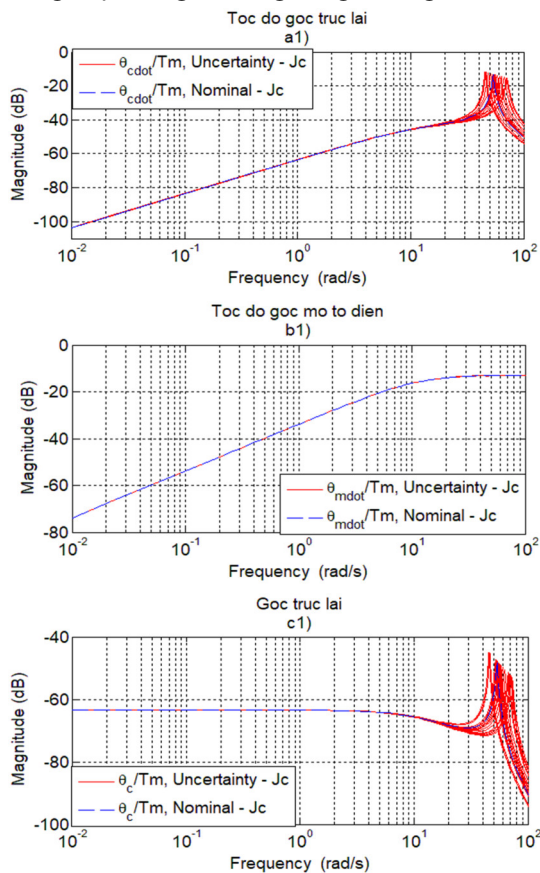
Ở phần này các tác giả đánh giá ảnh hưởng của thông số kết cấu của hệ thống khi các giá trị có độ lớn thay đổi (trong khoảng từ -50% đến 50% so với giá trị trong bảng 1) đến đặc tính của hệ thống trợ lực lái điện dạng C-EPS. Với đường nét liền - màu đỏ cho trường hợp có các giá trị thông số thay đổi (Uncertainty) và đường nét đứt - màu

xanh cho trường hợp mà giá trị của các thông số trong Bảng 1 (Nominal). Để đánh giá kết quả trên miền tần số các tác giả khảo sát với tần số giới hạn đạt đến 100 rad/s.

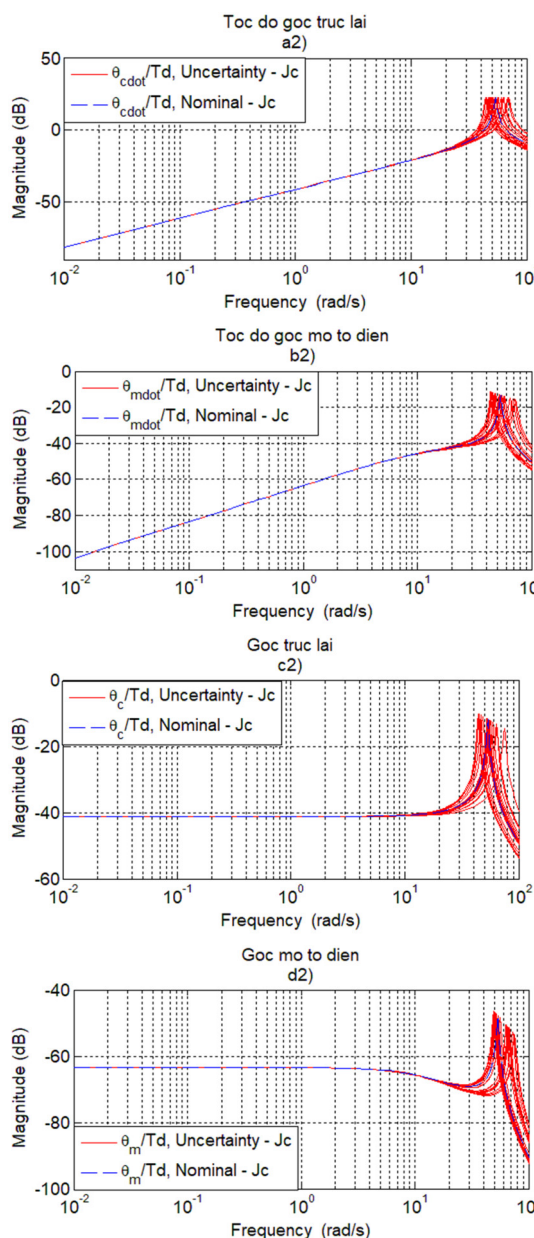
4.1.1. Khi xét sự thay đổi của mô men quán tính trục lái J_c

Hình 6, 7, 8 thể hiện hàm truyền biên độ giữa 3 tín hiệu đầu vào là: mô men kích thích từ người lái (τ_d), mô men kích thích từ mô tơ (τ_m) và lực kích thích từ mặt đường (F_r) đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$) với giá trị mô men quán tính trục lái J_c thay đổi trong phạm vi -50% đến +50% so với giá trị được thể hiện trong bảng 1.

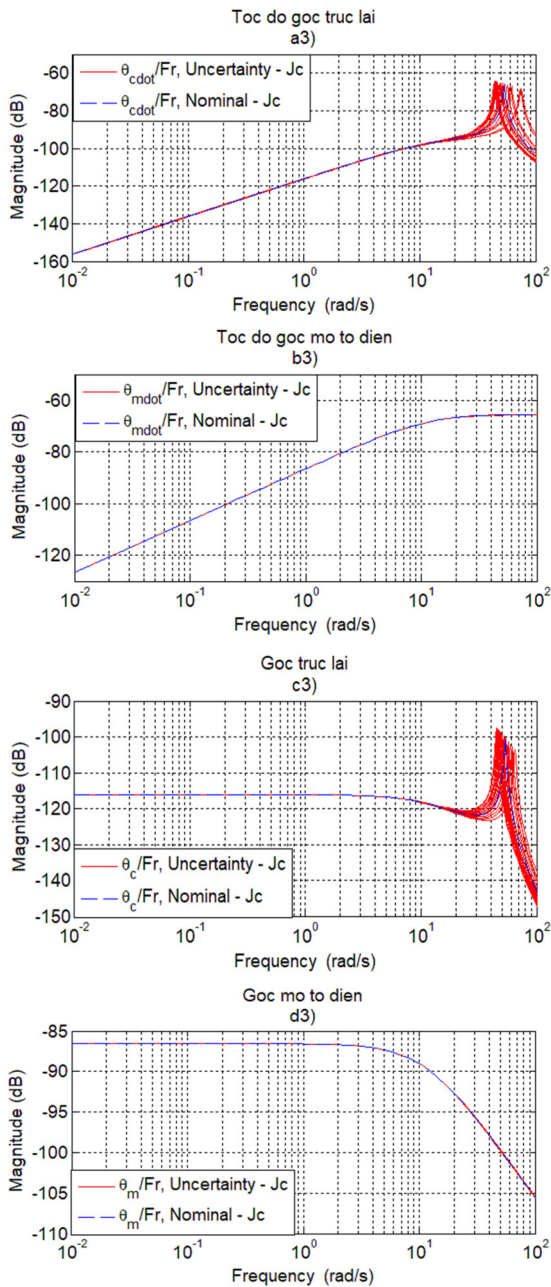
Cụ thể là khi ta thay đổi giá trị của mô men quán tính trục lái J_c thì tác động của τ_d chỉ ảnh hưởng trong miền tần số cao từ 20 rad/s đến 100 rad/s đến $\dot{\theta}_c$, θ_c (hình 6); tác động của τ_m chỉ ảnh hưởng trong miền tần số cao từ 20 rad/s đến 100 rad/s đến $\dot{\theta}_c$, $\dot{\theta}_m$, θ_c , θ_m (hình 7); tác động của F_r chỉ ảnh hưởng trong miền tần số cao từ 20 rad/s đến 100 rad/s đến $\dot{\theta}_c$, θ_c (hình 8). Với hình 6 và 8, khi giá trị J_c thay đổi thì $\dot{\theta}_m$ và θ_m không bị ảnh bởi tác động của τ_d và F_r . Khi thay đổi giá trị mô men quán tính trục lái J_c thì hàm truyền chỉ ảnh hưởng tại miền tần số cao, không ảnh hưởng tới miền tần số thấp. Với giá trị J_c càng lớn thì vùng cộng hưởng của các tín hiệu kích thích đến các thông số khảo sát càng dịch chuyển về vùng có tần số nhỏ hơn so với trường hợp thông số trong bảng 1 và ngược lại.



Hình 6. Hàm truyền biên độ từ τ_m đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi J_c thay đổi trong khoảng -50% đến 50%



Hình 7. Hàm truyền biên độ từ τ_d đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi J_c thay đổi trong khoảng -50% đến 50%

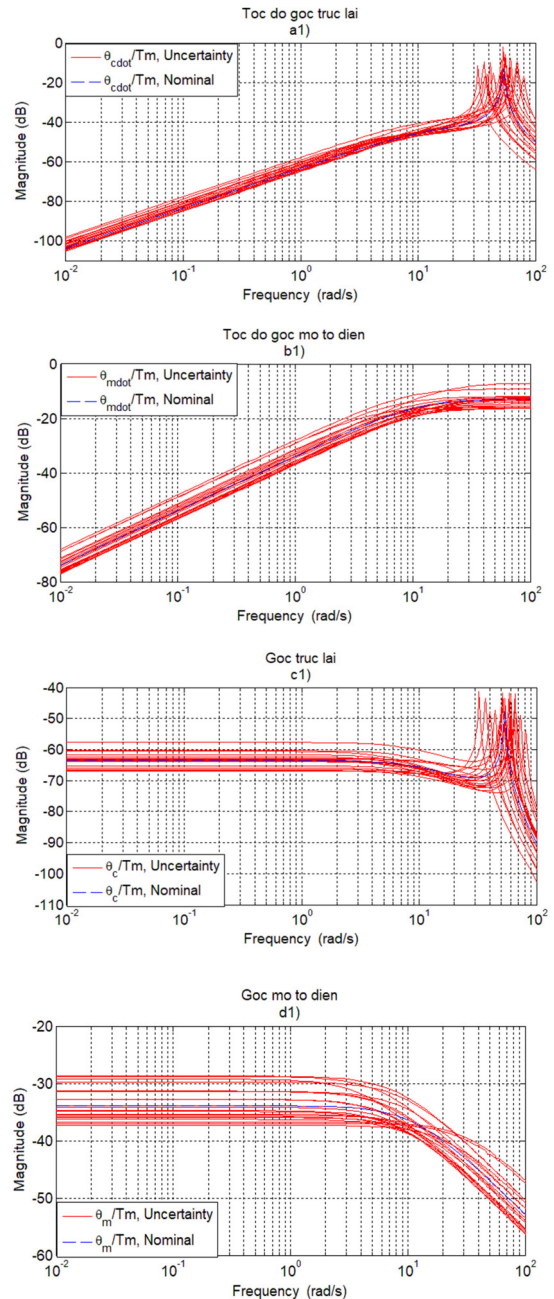


Hình 8. Hàm truyền biên độ từ F_r đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi J_c thay đổi trong khoảng -50% đến 50%

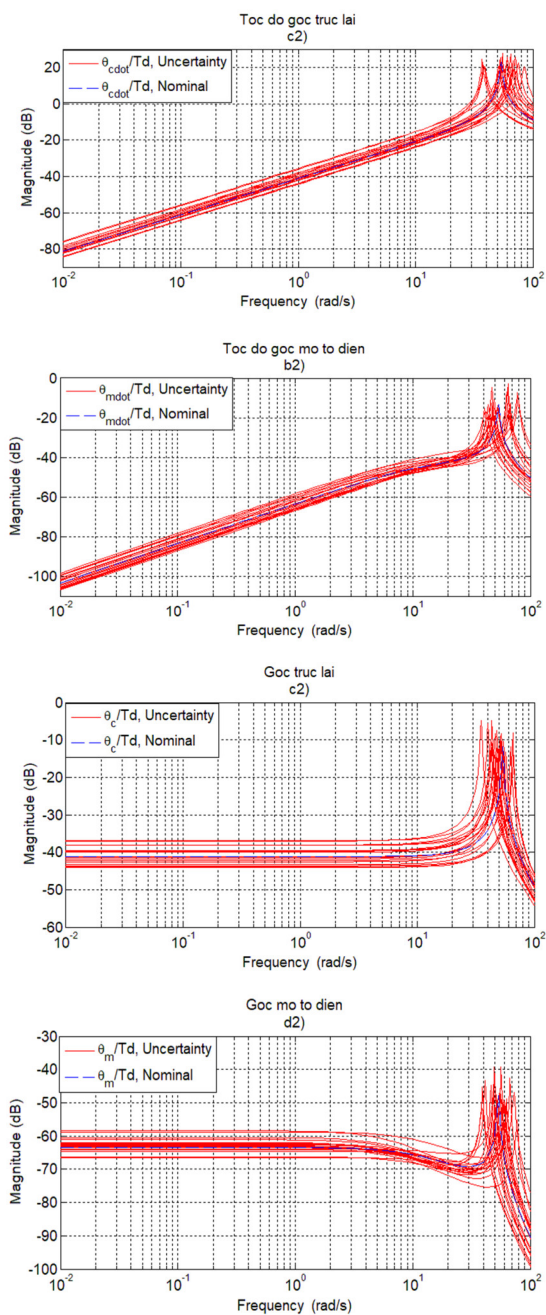
4.1.2. Khi xét sự thay đổi của sáu thông số cơ bản của hệ thống lái

Hình 9, 10, 11 thể hiện hàm truyền biên độ của ba tín hiệu đầu vào là: mô men của người lái (τ_d), mô men của mô tơ (τ_m) và lực tác dụng từ mặt đường (F_r) đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và vận tốc góc mô tơ (θ_m) với giá trị của sáu thông số chính gồm J_c - mô men quán tính trục lái, K_c - độ cứng xoắn trục lái, D_c - giảm chấn trục lái, K_r - độ cứng xoắn thanh răng, D_r - giảm chấn thanh răng và r_p - bán kính bánh răng thay đổi trong phạm vi -50% đến 50% so với giá trị trong bảng 1.

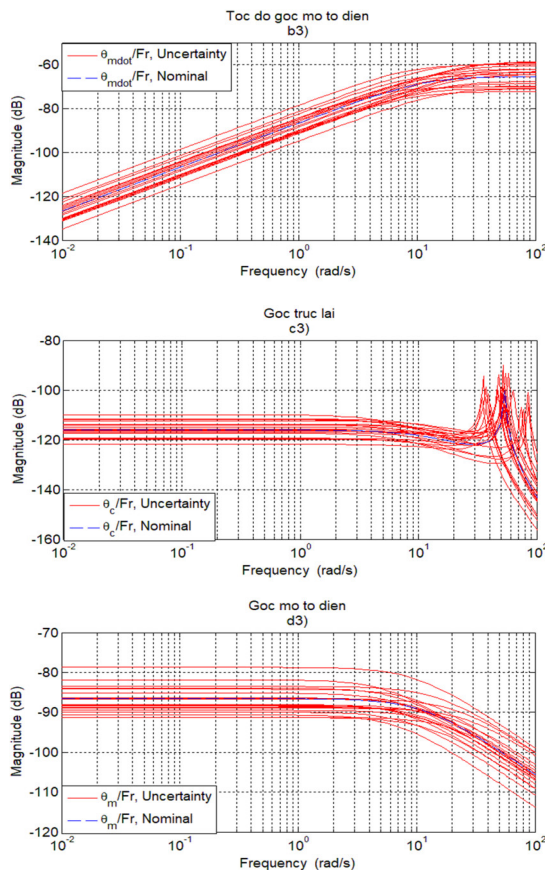
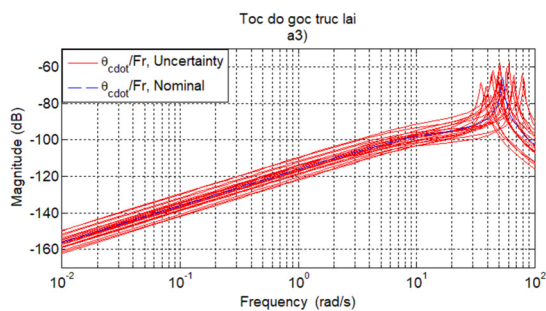
Cụ thể là khi thay đổi sáu giá trị thông số chính thì tác động của τ_d , τ_m , F_r ảnh hưởng tới tất cả miền tần số của $\dot{\theta}_c$, $\dot{\theta}_m$, θ_c , θ_m . Vùng cộng hưởng và biên độ dao động thay đổi liên tục từ 0 đến 100rad/s. Điều này cho thấy mức độ ảnh hưởng rất cao của các thông số kết cấu đến đặc tính của hệ thống trợ lực điện dạng C-EPS. Điều này đặt ra vấn đề lớn đến việc nghiên cứu điều khiển hệ thống lái trợ lực điện trên ô tô con, bởi trong quá trình làm việc, do luôn tồn tại các sai số từ thiết kế, sự suy giảm đặc tính trong quá trình sử dụng.



Hình 9. Hàm truyền biên độ từ τ_m đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi sáu thông số thay đổi trong khoảng -50% đến 50%



Hình 10. Hàm truyền biên độ từ τ_r đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi sáu thông số thay đổi trong khoảng -50% đến 50%

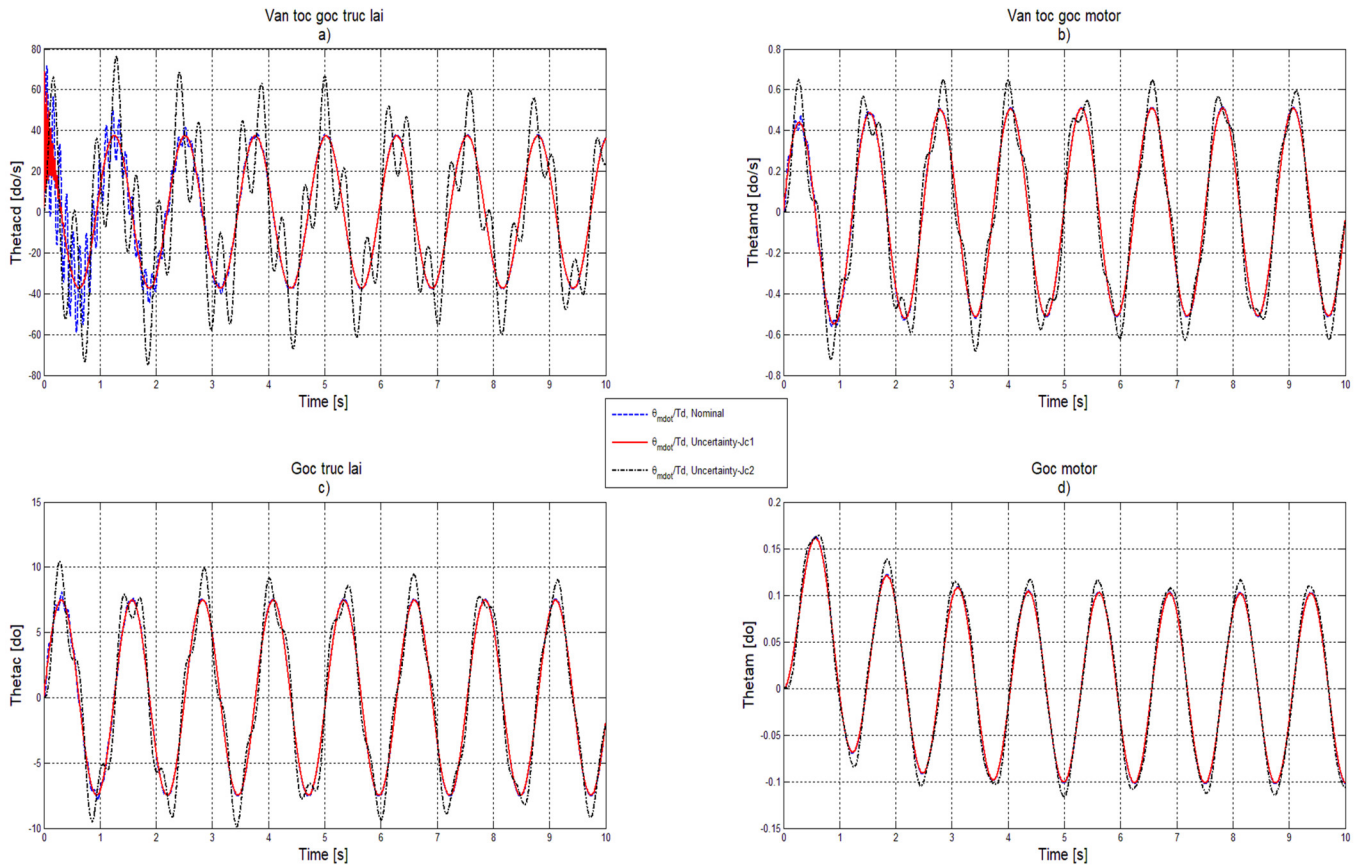


Hình 11. Hàm truyền biên độ từ F_r đến vận tốc góc trục lái ($\dot{\theta}_c$), vận tốc góc mô tơ ($\dot{\theta}_m$), góc trục lái (θ_c) và góc mô tơ (θ_m) khi sáu thông số thay đổi trong khoảng -50% đến 50%

4.2. Mô phỏng trên miền thời gian

Ở phần này, để đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến hệ thống lái trợ lực điện trên ô tô con dạng C-EPS trên miền thời gian, các tác giả thay đổi thông số mô men quán tính từ trục lái (J_c) có giá trị thay đổi bằng 10% và gấp 10 lần thông số bảng 1, kích thích từ người lái τ_d có dạng hình sin với giới hạn biên độ $\pm 15\text{Nm}$ và tần số góc 5rad/s . Trong khi đó kích thích từ motor τ_m và kích thích từ mặt đường F_r đều có giá trị bằng 0. Thời gian giới hạn khảo sát được xác định là $t = 10\text{s}$. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 12. Đường nét đứt - màu xanh biểu thị cho thông số mô men quán tính trục lái trong bảng 1 (J_{c0} - nominal), đường nét liền - màu đỏ biểu thị cho thông số mô men quán tính trục lái thay đổi với giá trị bằng 10% so với thông số trong bảng 1 (J_{c1}) và đường nét chấm gạch - màu đen biểu thị cho thông số mô men quán tính trục lái thay đổi với giá trị gấp 10 lần so với thông số trong bảng 1 (J_{c2}).

Hình 12a thể hiện vận tốc góc trục lái, với giá trị J_{c0} có biên độ dao động khoảng 40 (độ/s) và khoảng thời gian vận tốc góc trục lái mất ổn định của vận tốc góc trục lái từ 0 đến $0,5\text{s}$, với giá trị J_{c1} có biên độ dao động khoảng 40 (độ/s) và khoảng thời gian mất ổn định từ 0 đến $1,5\text{s}$, với giá trị J_{c2} có biên độ dao động không ổn định từ 50 (độ/s) đến 80 (độ/s) và mất ổn định trong cả miền thời gian khảo sát.



Hình 12. Đáp ứng thời gian của $\dot{\theta}_c, \dot{\theta}_m, \theta_c, \theta_m$ với tín hiệu kích thích τ_d khi thay đổi giá trị mô men quán tính trục lái J_c

Hình 12c thể hiện góc trục lái, với giá trị J_{c0} có biên độ dao động khoảng 8 (độ), với giá trị J_{c1} có biên độ dao động khoảng 8 (độ), với giá trị J_{c2} có biên độ dao động không ổn định từ 9 (độ) đến 10 (độ). Hình 12c thể hiện vận tốc góc mô tơ với giá trị J_{c0}, J_{c1}, J_{c2} đều có biên độ dao động khoảng 0,5 (độ/s). Hình 12d thể hiện góc mô tơ với giá trị J_{c0}, J_{c1}, J_{c2} đều có biên độ dao động khoảng 0,1 (độ).

Kết quả mô phỏng trên miền thời gian cho thấy mô men quán tính trục lái tác động mạnh đến vận tốc góc trục lái $\dot{\theta}_c$ và góc trục lái θ_c , nhưng vận tốc góc mô tơ $\dot{\theta}_m$ và góc mô tơ θ_m thay đổi không đáng kể khi thay đổi giá trị momen quán tính trục lái J_c . Điều này càng củng cố cho kết quả mô phỏng trên miền tần số.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, các tác giả đã tập trung xây dựng mô hình cơ học của hệ thống lái trợ lực điện có mô tơ trợ lực đặt trên trục lái (dạng C-EPS), từ đó thiết lập các phương trình động lực học và chuyển sang phương trình không gian trạng thái. Các thông số kỹ thuật ảnh hưởng đến đặc tính của hệ thống lái C-EPS được xem xét thông qua tính không chắc chắn về giá trị độ lớn. Kết quả mô phỏng trên miền tần số và miền thời gian đã cho thấy được mức độ ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến đặc tính hệ thống. Đối với vận tốc góc quay của trục lái thì tính ổn định không

được đảm bảo trong thời gian đầu khi chịu tác động từ vành lái, mặt đường và mô tơ điện. Khi thay đổi giá trị độ lớn của các thông số kết cấu thì đặc tính của hệ thống lái thay đổi tương đối nhiều, điều này đòi hỏi chiến lược điều khiển phải cân nhắc đến tính không chắc chắn của các thông số kết cấu.

Hướng nghiên cứu tiếp theo là xây dựng một bộ điều khiển hoàn chỉnh cho hệ thống lái trợ lực điện dạng C-EPS dựa trên các kết quả đánh giá và phương trình mô phỏng của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. <http://oto.saodo.edu.vn/tin-moi/gioi-thieu-cac-he-thong-lai-tro-luc-dien-467.html>
 [2]. Nguyen Anh Tuan, 2018. *Research to control the ratio of steering system to increase the stability of the movement trajectory vehicle*. PhD Thesis, University of Transport and Communications, Hanoi.
 [3]. Kristoffer Tagesson, Bengt Jacobson, Leo Laine, 2014. *The influence of steering wheel size when tuning power assistance*. International Journal of Heavy Vehicle Systems IJHVS.
 [3]. A.H El-Shaer, 2008. *Robust Control Design of Electric Power Steering Systems*. PhD thesis, University of California, Berkeley.
 [4]. A. El-Shaer, S. Sugita, M. Tomizuka, 2009. *Robust Fixed-Structure Controller Design of Electric Power Steering Systems*. American Control Conference, Saint-Louis, USA.

- [5]. L. Dong, P. Kandula, Z. Gao, D. Wang, 2010. *On a Robust Control System Design for an Electric Power Assist Steering System*. American Control Conference, pp. 5356-5361.
- [6]. C. Chitu, J. Lackner, M. Horn, P.S Pullagura, H. Waser, M. Kohlbock, 2011. *A robust and optimal LQR controller design for Electric Power Steering system. Nonlinear Dynamic and Synchronization*. Symposium on Theoretical Electrical Engineering.
- [7]. Saïd Mammari, Mohammed Chadli, Damien Koenig, Olivier Sename, 2017. *Control of Electromechanical Systems. Application to Electric Power Steering Systems*. Laboratoire Image Parole Signal Automatique de Grenoble.
- [8]. A. Marouf, Chouki Sentouh, Mohamed Djemai, Philippe Pudlo, 2011. *Control of an Electric Power Assisted Steering system using reference model*. 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference.
- [9]. X. Chen, K. Zhou, 2008. *A Generic Model-Based Advanced Control of Electric Power-Assisted Steering Systems*. IEEE Transactions on Control System Technology, Volume 16(6).
- [10]. Gaspar P., Szabo Z., Bokor J., 2004. *Prediction based combined control to prevent the rollover of heavy*. 13th Mediterranean Conference on Control and Automation, Limassol, Cyprus.
- [11]. M. Kurishige, T. Kifuku, 2001. *Static Steering Control System for Electric Power Steering*. Mitsubishi Electric Advance.
- [12]. Tran Van Loi, Tran Van Nhu, Nguyen Van Bang, 2016. *Simulation of car lane change using the Steer by wire system*. 46th Science and Technology Club Conference of Technical Schools.
- [13]. Kazusa Yamamoto, 2017. *Control of Electromechanical Systems, Application to Electric Power Steering Systems*. PhD thesis, University Grenoble Alpes.

AUTHORS INFORMATION

Vu Van Tan, Dang Dinh Huy

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications,
Hanoi, Vietnam