



THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PID CHO ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG TRÊN HỆ THỐNG LÁI CÓ TRỢ LỰC ĐIỆN

Vũ Ngọc Tuấn^{1*}, Vũ Quốc Bảo¹

Tóm tắt: Hệ thống lái có trợ lực điện ngày càng được xem như một trang bị tiêu chuẩn trên ô tô du lịch. Để điều khiển được động cơ điện trợ lực theo các tín hiệu đầu vào, bộ điều khiển trung tâm được thiết kế với các quy luật điều khiển khác nhau do các nhà sản xuất phát triển dưới dạng hộp đen không can thiệp. Để có thể hiểu sâu hơn về nguyên lý làm việc cũng như tiến tới tự thiết kế chế tạo bộ điều khiển này, điều đầu tiên cần phải quan tâm đó là nắm chắc được thuật toán điều khiển. Bài báo trình bày phương pháp xây dựng bộ điều khiển PID để điều khiển mô men của động cơ điện trợ lực. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở thiết kế chế tạo bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống lái có trợ lực điện.

Từ khóa: Trợ lực điện; bộ điều khiển PID; hệ thống lái.

Pid controller design for electric motor used in electric power assisted steering system

Abstract: The electronic power assisted steering system is increasingly being considered as a standard option on the passenger cars. The control laws are integrated into ECU which is seen as non-interference black-box to control the electric power steering motor based on the input signals. Firmly grasping this control algorithm will allow us to better understand the working principle as well as proceed to self-design of this controller. This article presents the method of constructing a PID controller to control the electronic motor torque. Research results may serve as the basis for the design and manufacture of ECU for electric power assisted steering systems.

Keywords: Electric power assisted; PID controller; Steering system.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 7/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Hệ thống lái trên ô tô đảm nhận hai chức năng chính: (i) giúp cho người lái có thể điều khiển ô tô chuyển động theo các quỹ đạo mong muốn; (ii) tạo cảm giác mặt đường cho người lái [1]. Để đảm bảo được hai chức năng nêu trên, ô tô được trang bị nhiều loại hệ thống lái khác nhau như hệ thống lái cơ khí, hệ thống lái cơ khí có trợ lực thủy lực (HPAS) hoặc trợ lực điện (EPAS), hệ thống lái không trợ lái (SBW). Do lượng phát thải gần như bằng không, tiêu hao năng lượng thấp và có khả năng tự chẩn đoán, hệ thống lái có trợ lực điện (EPAS) đang dần thay thế hệ thống lái có trợ lực thủy lực trên ô tô. Hệ thống này có thể cung cấp mô men trợ lực lái theo thời gian thực tùy thuộc vào điều kiện đường chuyển động của ô tô. Điều này giúp cho người lái có khả năng điều khiển xe nhẹ nhàng, chính xác theo quỹ đạo chuyển động mong muốn.

Hiện nay, có hai phương pháp chính để điều khiển động cơ điện của hệ thống lái có trợ lực điện. Một là, sử dụng phương pháp điều khiển truyền thống. Hai là, sử dụng các phương pháp điều khiển hiện đại dựa trên không gian trạng thái, trong đó có thể kể đến nguyên lý điều khiển H_∞ . Phương pháp điều khiển H_∞ giúp nâng cao độ ổn định của hệ thống, có khả năng lọc nhiễu tuy nhiên cũng làm cho hệ thống điều khiển trở nên phức tạp hơn và đòi hỏi rất cao về cấu hình phần cứng cho bộ điều khiển. Phương pháp điều khiển truyền thống sử dụng bộ điều khiển PID có khả năng điều khiển chính xác động cơ đồng thời hệ thống điều khiển có kết cấu đơn giản hơn rất nhiều [2].

Dựa trên những phân tích đánh giá trên đây, bài báo trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển PID cho động cơ sử dụng trên hệ thống lái có trợ lực điện trên ô tô. Cấu trúc các phần tiếp theo của bài báo như sau: Trong mục 2, cấu trúc mô hình hệ thống lái có trợ lực điện C-EPAS và mô hình toán học sẽ được

¹TS, Học viện Kỹ thuật quân sự.

*Tác giả chính. E-mail: tuanvantri@gmail.com.

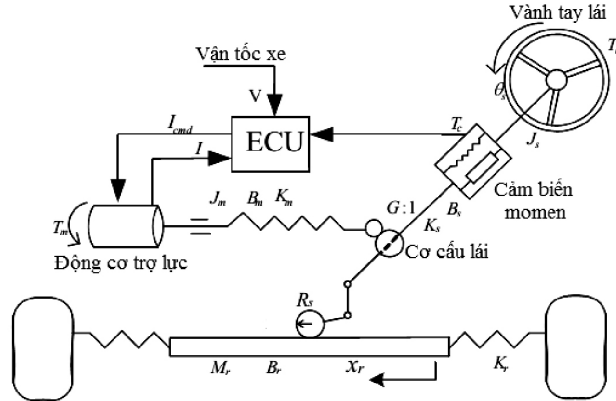
xây dựng và mô tả. Trong mục 3, bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình bộ điều khiển PID. Trong mục 4 sẽ là các kết quả tính toán mô phỏng và những đánh giá nhận xét.



2. Mô hình khảo sát động lực học hệ thống lái C-EPAS

2.1 Mô hình hệ thống lái C-EPAS

Cấu trúc C-EPAS hình thành dựa trên: Trục vành tay lái, cảm biến tốc độ, cảm biến mô men, bộ điều khiển trung tâm (ECU), mô tơ trợ lực, li hợp điện từ, hộp giảm tốc và thanh răng. Li hợp điện từ đóng khi hệ thống làm việc và mở khi hệ thống xuất hiện lỗi. Hệ thống sẽ nhận tín hiệu đầu vào là vận tốc ô tô từ các cảm biến của hệ thống phanh ABS, tín hiệu mô men và chiều quay của vành tay lái. Bộ điều khiển ECU sẽ tính toán và điều khiển mô men trợ lực, thông qua hộp giảm tốc cung cấp mô men lái để trợ giúp người lái điều khiển xe (Hình 1).



Hình 1. Mô hình hệ thống lái có trợ lực điện với động cơ điện bố trí trên trục vành tay lái C-EPAS [2]

2.2 Mô hình toán học mô tả động lực học hệ thống lái C-EPAS

Sau khi phân tích động lực học hệ thống lái có trợ lực điện C-EAPS, mô hình toán học được xây dựng lần lượt cho các cụm trong hệ thống như sau:

Mô hình trục vành tay lái, thanh răng:

$$T_s \ddot{\theta}_s + B_s \dot{\theta}_s + T_c = T_d \quad (1)$$

trong đó: T_s , T_d , T_c lần lượt là mô men trên trục tay lái, mô men trên vành tay lái và mô của cảm biến; θ_s là góc quay vành tay lái thực tế.

$$M_r \ddot{x}_r + B_r \dot{x}_r - \frac{T_c}{R_s} = \frac{T_a}{R_a} - F_{TR} \quad (2)$$

trong đó: M_r là khối lượng rotuyn lái; B_r là hệ số cản đàn hồi của rotuyn; x_r là dịch chuyển ngang của thanh răng; R_s và R_a là điện trở trong của cảm biến và mô tơ trợ lực; F_{TR} là lực cản quay vòng quy dẫn lên thanh răng.

Mô hình bộ cảm biến mô men:

$$T_c = K_s \left(\theta_s - \frac{x_r}{R_s} \right) \quad (3)$$

trong đó: K_s là độ cứng xoắn của trục tay lái.



3. Mô hình mô tơ điện trợ lực và bộ điều khiển PID

Theo [3], mô hình toán học cho mô tơ điện trợ lực được xây dựng như sau:

$$T_m \ddot{\theta}_m + B_m \dot{\theta}_m = T_m - T_a \quad (4)$$

$$T_m = K_a i_a \quad (5)$$

$$U = R i_a + L \dot{i}_a + K_b \dot{\theta}_m \quad (6)$$

$$T_a = G K_m \left(\theta_m - G \frac{x_r}{R_s} \right) \quad (7)$$

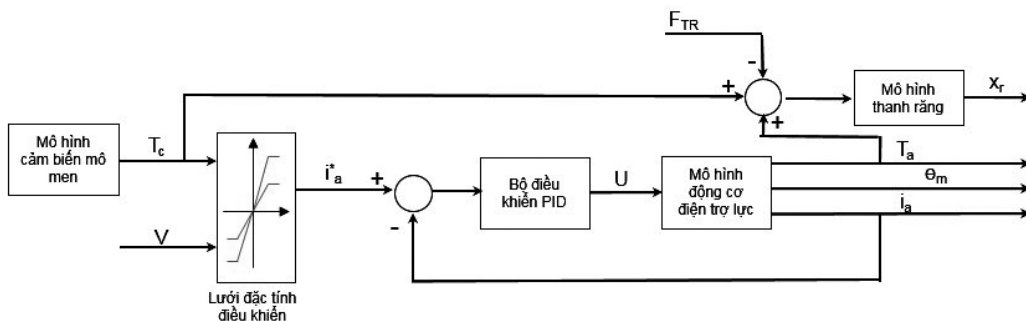
trong đó: T_a , T_m lần lượt là mô men của mô tơ trợ lực, mô men của mô tơ điện; θ_m là các thông số đầu góc đánh vòng tay lái thực tế, góc quay mô tơ; U , L , R , i_a là điện áp, điện cảm, điện trở, cường độ dòng điện tức thời; B_m là cản đàn hồi mô tơ; K_a , K_b là hệ số mômen và hệ số chống sức điện động cảm ứng (Electromotive force-EMF) của mô tơ điện; G là tỷ số truyền.

Để xây dựng bộ điều khiển PID, ta coi hệ thống có người lái ảo, khi đó ta có thể xây dựng được mô hình bộ điều khiển này thông qua mô hình toán học sau đây:

$$U = (i_a^* - i_a) \left(K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \right) \quad (8)$$

trong đó: i_a^* là giá trị dòng điện định mức; K_p , K_i , K_d là hệ số của bộ điều khiển PID [4].

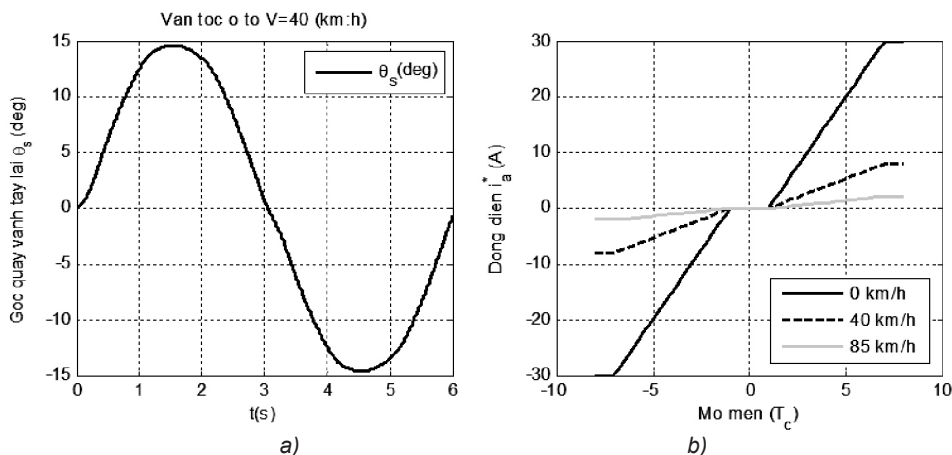
Bộ điều khiển PID thực hiện so sánh giá trị của dòng điện yêu cầu với giá trị dòng điện thực tế của mô tơ trợ lực, từ đó thực hiện quy tắc điều khiển bám để đưa ra giá trị ngưỡng của điện áp đưa vào điều khiển động cơ (8). Sơ đồ nguyên lý của hệ thống có bộ điều khiển PID với phản hồi kín được thể hiện trên và sơ đồ cấu trúc nguyên lý điều khiển hệ thống lái có trợ lực điện C-EPAS được thể hiện trên Hình 2. Xuất phát từ mô hình vật lý (Hình 1) và sơ đồ hệ thống có điều khiển (Hình 2), mô hình mô phỏng để khảo sát động lực học hệ thống lái có trợ lực điện được xây dựng nhờ công cụ Simulink.



Hình 2. Nguyên lý bộ điều khiển PID

4. Khảo sát động lực học hệ thống lái có trợ lực điện

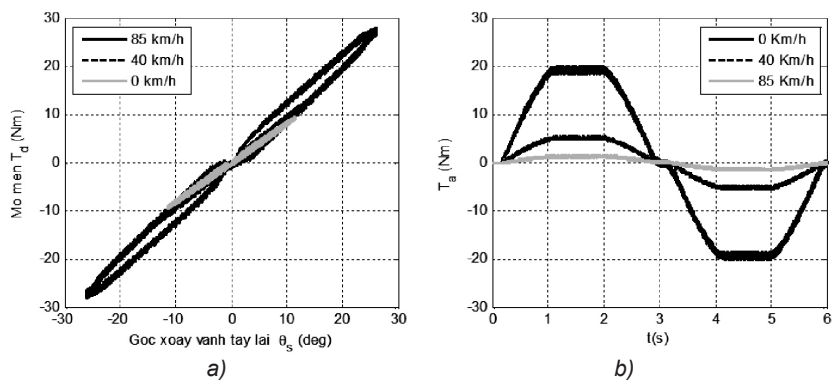
Trên cơ sở mô hình toán, mô hình mô phỏng của C-EPS được xây dựng trong Matlab/Simulink. Chương trình sẽ giả lập điều kiện đường khác nhau tác động lên xe mô phỏng, giả lập rung động và đập, cảm giác mặt đường với các tốc độ khác nhau. Quy luật thay đổi góc quay của vành tay lái được giả định làm điều kiện đầu vào cho bài toán mô phỏng là quy luật hình sin (Hình 3.a). Lưới đặc tính điều khiển của động cơ điện được xây dựng theo dải tốc độ hoạt động của ô tô và cường độ dòng điện đầu ra để điều khiển động cơ điện trợ lực lái (Hình 3.b). Để đơn giản cho quá trình tính toán, lưới đặc tính điều khiển này được xây dựng ở dạng tuyến tính. Mô men trên vành tay lái T_c được cảm biến mô men đo và ghi nhận thành giá trị T_c . Mô men T_c và vận tốc chuyển động của ô tô là hai tín hiệu đầu vào cho ma trận lưới đặc tính điều khiển nhằm xác định được dòng điện cần thiết để điều khiển động cơ điện trợ lực lái i_a^* .



Hình 3. Quy luật thay đổi góc lái và lưới đặc tính điều khiển động cơ [5,6]

4.1 Khảo sát sự đáp ứng của hệ thống trợ lực lái C-EPAS

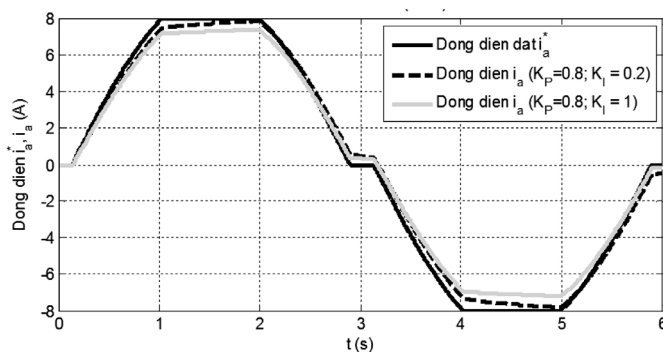
Với đầu vào giả lập như trên, tiến hành khảo sát đáp ứng của động lực học của hệ thống lái có trợ lực điện C-EPAS theo một số giá trị vận tốc chuyển động của ô tô. Kết quả mô phỏng cho thấy, khi xe chuyển động ở tốc độ thấp mô men tác dụng của người lái nhỏ và mô men của mô tơ trợ lực lớn, làm cho người lái điều khiển nhẹ nhàng, linh hoạt. Khi xe chuyển động ở tốc độ cao, mô men người lái tăng còn mô men trợ lực giảm làm hệ thống lái nặng hơn để đảm bảo ổn định, an toàn. Vì vậy, hệ thống lái có trợ lực điện đã giải quyết được vấn đề đảm bảo điều khiển nhẹ nhàng và linh hoạt, làm cho người lái có cảm giác mặt đường tốt hơn (Hình 4).



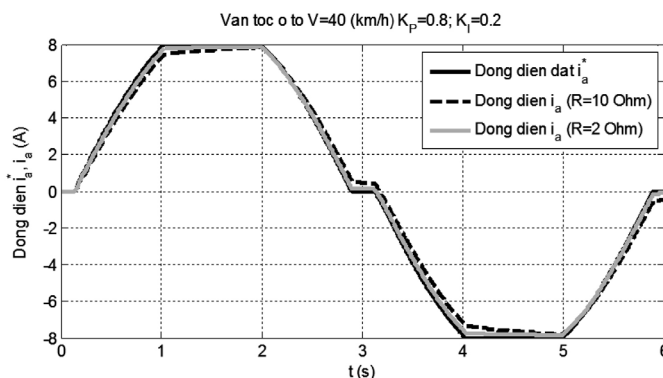
Hình 4. Quy luật thay đổi mô men tác động và mô men trợ lực lái

4.2 Khảo sát độ nhạy và khả năng của bộ điều khiển PID

Theo công thức (8), bộ điều khiển PID so sánh sai lệch giữa hai giá trị dòng điện đặt i_a^* được xác định thông qua tra bảng lưới đặc tính và dòng điện thực tế của động cơ i_a . Căn cứ vào giá trị độ lệch này, bộ điều khiển PID xác định được giá trị điện áp điều khiển U đặt vào động cơ.



Hình 5. Quy luật thay đổi dòng điện đặt i_a^* và dòng điện động cơ điện trợ lực i_a khi vận tốc ô tô $V=40\text{km/h}$ với các giá trị khác nhau của hệ số của bộ điều khiển PID



Hình 6. Quy luật thay đổi dòng điện đặt i_a^* và dòng điện động cơ điện trợ lực i_a khi vận tốc ô tô $V=40\text{km/h}$ với các giá trị điện trở khác nhau trong động cơ điện điều khiển

Trên Hình 5, nhận thấy khi thay đổi các thông số của bộ điều khiển tuyến tính PID, dòng điện điều khiển động cơ có sự sai khác. Khi hệ số K_i tăng lên làm cho độ lệch so với giá trị yêu cầu của dòng điện điều khiển cũng tăng theo. Để khảo sát hiệu năng của bộ điều khiển, tác giả thay đổi một số tham số kết cấu của hệ thống. Trên Hình 6 thể hiện quy luật thay đổi giá trị dòng điện điều khiển khi thay đổi giá trị điện trở trong của mô tơ điện trở lực. Kết quả khảo sát cho thấy bộ điều khiển hoàn toàn có thể đáp ứng được yêu cầu sinh ra tín hiệu điều khiển động cơ điện trở lực cho các loại động cơ khác nhau. Như vậy, đối với hệ thống này khi ta thay đổi động cơ điện có thể không cần tác động hiệu chỉnh tới bộ tham số của bộ điều khiển PID đã xây dựng.



5. Kết luận

Dựa trên những khảo sát về điều khiển động cơ điện trở lực cho hệ thống lái có trợ lực điện, nhóm nghiên cứu đã đi xây dựng thuật toán và thiết kế bộ điều khiển PID. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy tính đúng đắn của phương pháp cũng như thuật toán điều khiển đã được xây dựng. Bộ điều khiển đã đưa ra được dòng điện để điều khiển động cơ theo đúng các chế độ hoạt động của hệ thống lái. Đồng thời, bộ điều khiển cũng có khả năng thích ứng với một số thay đổi trong kết cấu của hệ thống. Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu nhóm tác giả mới chỉ dừng lại ở việc lựa chọn các thông số của bộ điều khiển PID theo kinh nghiệm. Vì vậy, cần phải xây dựng một phương pháp để xác định được các giá trị tối ưu của bộ điều khiển và đó cũng chính là hướng phát triển trong thời gian tiếp theo. Đồng thời, cần thiết phải thiết kế được một bộ ECU thực bằng cách mã hóa hệ điều khiển đã được xây dựng bằng công cụ Simulink và tích hợp vào bộ chip điều khiển để thử nghiệm đánh giá thực tế khả năng của bộ điều khiển PID cũng như tính thích ứng của lưới đặc tính điều khiển đã được lựa chọn.

Tài liệu tham khảo

1. Rahman M.F. (2012), "Electric power assisted steering system for automobile", *Electrical Engineering, Electric Power Assisted Steering System for Automobiles*, 3.
2. Zang H., Chen S. (2011), "Electric Power Steering Simulation Analyze Based on Fuzzy PID Current Tracking Control", *Journal of Computational Information Systems*, 7(1):119-126.
3. Chatterjee M., Rajguru C., Wadkar A. (2013), "Mathematical modelling of automotive electric power assist steering system", *Conference: Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, DOI: 10.1109/ICACCI.2013.6637382.
4. Pang D.Y., Jang B.C., Lee S.C. (2005), "Steering wheel torque control of electric power steering by PD-control", *ICCAS2005 June 2-5, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea*, 2:1366-1370.
5. Zhao J., Chen L., Jiang H., Niun L. (2009), "Design and full-car tests of electric power steering system", *IFIP TC 12 International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 1, DOI: 10.1109/IFCSTA.2009.146.
6. Silvas E., Backx E., Hofman T., Voets H., Steinbuch M. (2014), "Design of power steering systems for heavy-duty long-haul vehicles", *The 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa, 47(3): 3930-3935.