

**NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ
BẰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TRƯỢT**
IMPROVING TRANSMISSION SYSTEM WITH GAP
BY FUZZY SLIDING CONTROLLER

Dương Quốc Hưng

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

TÓM TẮT

Hệ truyền động qua bánh răng là một trong những hệ cơ cấu chấp hành thường gặp nhất trong các loại máy móc. Với những bài toán đòi hỏi độ chính xác cao, với giả thiết không thể đo được chính xác các momen ma sát, biến dạng đàn hồi, độ xoắn trên trục truyền động và khe hở giữa các bánh răng, người ta phải sử dụng kèm thêm cùng giải pháp cơ khí là các bộ điều khiển điện, điện tử để có thể dễ dàng cài đặt được các phương pháp điều khiển chính định nhằm bù lại lượng sai lệch mà các thiết bị cơ khí không giải quyết được. Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển mới nhằm nâng cao chất lượng hệ truyền động qua bánh răng bằng bộ điều khiển mờ trượt (FSMC). Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab – Simulink đã cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất.

ABSTRACT

Transmission through the gears is a system of common actuators in machines. With these problems requires high accuracy, the assumption can not be accurately measured friction torque, resistance torque, the torque on the drive shaft and the gap between the gears. We must use mechanical solutions and electric controllers to be easily installed control methods to compensate for the deviation of the mechanical equipment that can not be settled. This paper presents a control method to improve quality of gear drive system based on Fuzzy Sliding Mode Controller (FSMC)

Key word: Fuzzy Logic Controller; Fuzzy Sliding Mode Controller, Gear systems; The method for control gear system; PID controler;

1. Đặt vấn đề

Truyền động bánh răng là một trong những hệ truyền động có khe hở được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghiệp và đời sống hiện nay. Với những ưu điểm vượt trội có thể kể đến như:

Đảm bảo tương đối độ chính xác truyền động vì ít bị trượt.

Tỉ số truyền cố định.

Có thể sắp đặt vị trí tương đối giữa cặp bánh răng ăn khớp theo ngưỡng góc mong muốn trong không gian (song song, chéo hay vuông góc với nhau).

Hiệu suất cao $0,96 \div 0,98$, thậm chí $0,99$ cho một cặp bánh răng.

Kích thước bộ truyền tương đối nhỏ gọn, khả năng tải lớn.

Tuổi thọ và độ tin cậy tương đối cao.

Làm việc trong phạm vi công suất, tốc độ và tỉ số truyền khá rộng.

Tuy nhiên dù công nghệ chế tạo bánh răng có hiện đại đến bao nhiêu đi chăng nữa thì khi lắp ráp, vận hành hệ truyền động bánh răng ít nhiều vẫn phát sinh tải trọng động lực học, gây va đập rung động gây ứng suất tập trung trên phần làm việc của răng có thể làm

gãy hoặc sút mẻ răng, gây ra tiếng ồn, đồng thời phát sinh nhiệt. Sai số cũng gây ra sự không phù hợp giữa góc quay của bánh dẫn và bánh bị dẫn, dẫn tới sai số tương đối trong các khâu, v.v...

Để khắc phục những ảnh hưởng nêu trên, người ta thường sử dụng một số biện pháp về cơ khí như tăng độ chính xác khi chế tạo; sử dụng bánh răng nghiêng, sử dụng răng có biên dạng phức tạp, v.v... Đặc biệt trong những năm gần đây, một số nghiên cứu [1], [2], [3], [4] đã đưa ra giải pháp, kết hợp với các biện pháp cơ khí là sử dụng thêm các bộ điều khiển bằng điện.

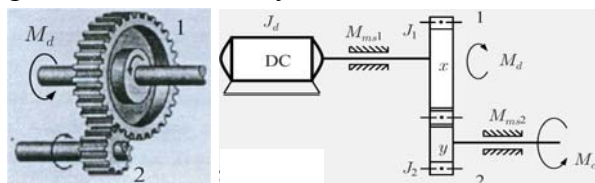
Bài báo đề xuất phương pháp sử dụng bộ điều khiển mờ lai cho hệ truyền động qua bánh răng nhằm giảm thiểu đến mức tối đa những ứng suất và rung động cơ học đồng thời bù lại những sai số về độ trượt của tốc độ quay giữa trục chủ động và trục bị động.

2. Mô tả toán học hệ truyền động bánh răng [1]

Việc xây dựng mô hình toán học là cần thiết, giúp cho ta có thể sử dụng biện pháp điều khiển để nâng cao chất lượng hệ truyền động, giảm sự ảnh hưởng của sai số cơ khí không thể khắc phục được bằng phương pháp cơ học.

2.1. Mô hình toán ở chế độ tổng quát

Xét một hệ truyền động bánh răng đơn giản có cấu trúc vật lý như hình 1.



Hình 1. Cấu trúc vật lý của hệ truyền động qua một cặp bánh răng

Trong đó: DC là động cơ phát động mômen M_d cho bánh răng 1.

J_d, J_1, J_2 lần lượt là mômen quán tính của động cơ, bánh răng 1 và bánh răng 2.

M_c là mômen cản, bao gồm cả mômen tải.

M_{ms1} và M_{ms2} là mômen ma sát trong các ổ trục bánh răng.

Nếu gọi: $\omega_1 = \dot{\varphi}_1; \omega_2 = \dot{\varphi}_2$ là vận tốc góc tương ứng của hai bánh răng.

r_{L1}, r_{L2} : Là bán kính lăn tương ứng của hai bánh răng (bán kính ngoài).

r_{01}, r_{02} : Là bán kính cơ sở của hai bánh răng (bán kính trong).

i_{12} là tỷ số truyền từ bánh răng 1 sang bánh răng 2

c : Là độ cứng của cặp bánh răng.

M_1, M_2 : Lần lượt là mômen đàn hồi trên bánh răng 1 và 2

Theo [1] thì:

$$M_1 = cr_{01}(r_{01}d\varphi_1 + r_{02}d\varphi_2)$$

$$M_2 = cr_{02}(r_{02}d\varphi_2 + r_{01}d\varphi_1)$$

Theo định luật Newton, ta có thể viết:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\varphi}_1 = M_d - (M_{ms1} + M_1) \\ J_2\ddot{\varphi}_2 = M_2 - (M_c + M_{ms2}) \end{cases}$$

Tức là:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\varphi}_1 + cr_{01}(r_{01}\varphi_1 + r_{02}\varphi_2) = M_d - M_{ms1} \\ J_2\ddot{\varphi}_2 - cr_{02}(r_{02}\varphi_2 + r_{01}\varphi_1) = -M_c - M_{ms2} \end{cases}$$

Sau khi biến đổi bằng cách đặt r_{01}^2, r_{02}^2 ra ngoài dấu ngoặc và thay thế:

$$r_{01} = r_{L1}\cos\alpha_L, r_{02} = r_{L2}\cos\alpha_L$$

$$i_{12} = r_{02} / r_{01}, i_{21} = r_{01} / r_{02}$$

vào phương trình trên, ta sẽ có mô hình toán tổng quát của hệ:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\varphi}_1 + cr_{L1}^2\cos^2\alpha_L(\varphi_1 + i_{12}\varphi_2) = M_d - M_{ms1} \\ J_2\ddot{\varphi}_2 - cr_{L2}^2\cos^2\alpha_L(\varphi_2 + i_{21}\varphi_1) = -M_c - M_{ms2} \end{cases}$$

Trong đó:

$$\bar{J}_1 = J_d + J_1$$

M_d tùy thuộc vào loại động cơ được chọn, ví dụ như khi chọn động cơ điện một chiều kích thích song song, thì:

$$M_d = M_0 - b_0 \varphi_1 = M_0 - b_0 \omega_1$$

M_c tùy thuộc vào dạng của tải trọng: ví

$$\text{dụ } M_c = M_c(\varphi_2, \varphi_1, t)$$

2.2. Mô hình toán ở chế độ xác lập

Sau đây ta sẽ xét riêng cho trường hợp hệ có ổ có bôi trơn bằng dầu và hệ đang ở chế độ xác lập (chạy đều), tức là khi mômen ma sát chỉ tỷ lệ với vận tốc góc của trục chứ không còn phụ thuộc vào gia tốc:

$$M_{ms1} = b_1 \dot{\varphi}_1 \text{ và } M_{ms2} = b_2 \dot{\varphi}_2$$

Lúc này phương trình tổng quát sẽ trở thành:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + cr^2_{L1} \cos^2 \alpha_L (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d - b_1 \dot{\varphi}_1 & (*) \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - cr^2_{L2} \cos^2 \alpha_L (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c - b_2 \dot{\varphi}_2 \end{cases}$$

Ngoài ra, có thêm:

$$i_{12} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\dot{\varphi}_1}{\dot{\varphi}_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{r_2}{r_1}$$

Đặt:

$$cr^2_{L1} \cos^2 \alpha_L = c_{z1}, \quad cr^2_{L2} \cos^2 \alpha_L = c_{z2}$$

Thay vào phương trình (*) ta có:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + b_1 \dot{\varphi}_1 + c_{z1} (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + b_2 \dot{\varphi}_2 - c_{z2} (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c \end{cases}$$

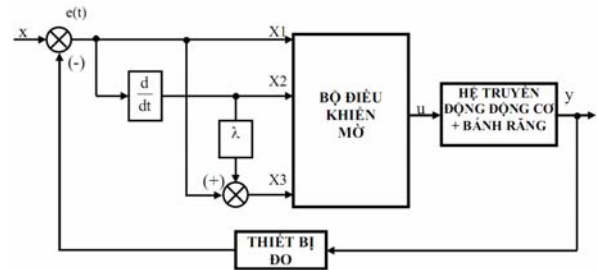
$$\Leftrightarrow \begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{z1} (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d - b_1 \dot{\varphi}_1 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - c_{z2} (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c - b_2 \dot{\varphi}_2 \end{cases}$$

Như vậy hệ phương trình toán học của hệ truyền động qua bánh răng ở chế độ xác lập được viết:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + b_1 \dot{\varphi}_1 + c_{z1} (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + b_2 \dot{\varphi}_2 - c_{z2} (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c \end{cases}$$

3. Xây dựng bộ điều khiển mờ trượt cho hệ truyền động qua bánh răng

Hệ thống điều khiển được xây dựng theo sơ đồ cấu trúc như hình 2.

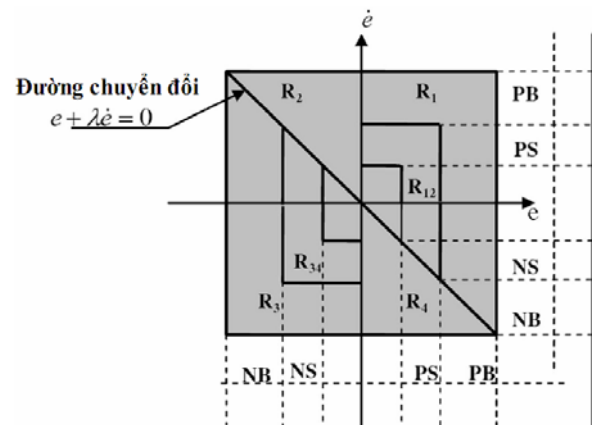


Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển mờ trượt cho hệ truyền động Động cơ – Bánh răng

Trong đó:

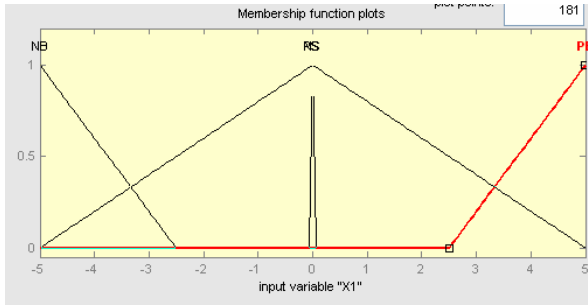
$e(t)$ là sai lệch tức thời theo thời gian, giá trị đạo hàm $e'(t)$ theo thời gian được hiểu như là giá trị sai lệch mới sẽ đạt đến hay xảy ra trong tương lai sau lần quyết định điều khiển mới nhất.

Ý tưởng của người thiết kế sẽ dựa theo e và sự phỏng đoán giá trị e' trong tương lai để ra quyết định điều khiển để từ đó bản thân giá trị e' trong tương lai sẽ dần đến 0. Để đạt được như vậy thì giá trị điều khiển $u(t)$ tác động lên đối tượng phải thay đổi có quy luật thích hợp để giá trị e tiến về 0 nhanh nhất và ổn định. Tín hiệu ra điều khiển u chỉ có thể là U_{max} nếu trạng thái $S(e, e')$ nằm phía trên đường thẳng $S = e + \lambda e'$ hoặc bằng $-U_{max}$ nếu trạng thái $S(e, e')$ nằm phía dưới đường thẳng $S = e + \lambda e'$ (Hình 3).

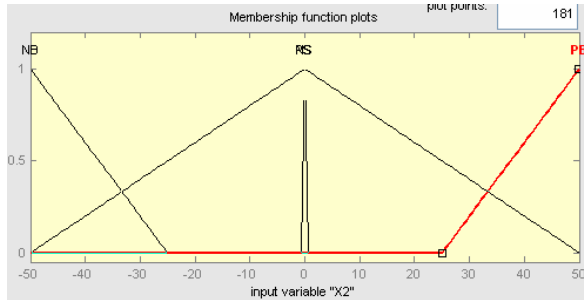


Hình 3. Phối hợp các tập mờ cho biến vào/ra của bộ điều khiển mờ trượt

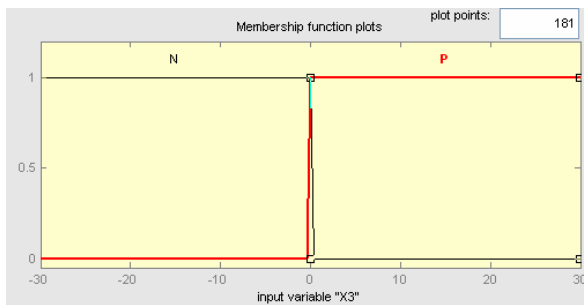
Các tập mờ đầu vào/đầu ra được xây dựng như hình 4, 5, 6, 7.



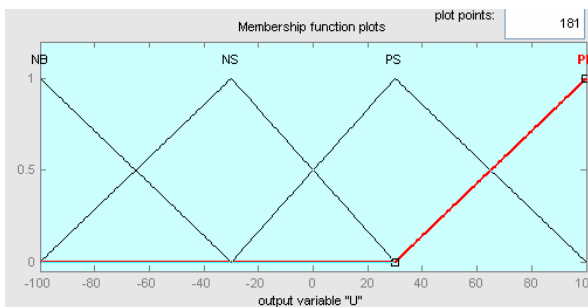
Hình 4. Các biến mờ đầu vào X_1



Hình 5. Các biến mờ đầu vào X_2



Hình 6. Các biến mờ đầu vào X_3



Hình 7. Các biến mờ đầu ra U

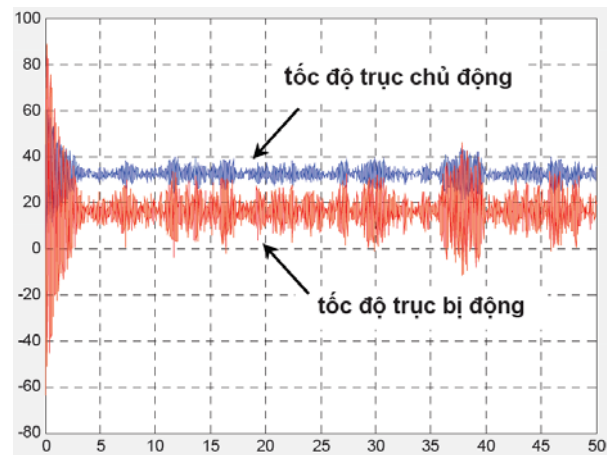
Bảng luật điều khiển trình bày như hình 8.

U		X1							
		$e + \lambda \dot{e} \geq 0$				$e + \lambda \dot{e} \leq 0$			
		NB	NS	PS	PB	NB	NS	PS	PB
X2	PB	PS	PS	PB	PB			NS	NS
	PS	PS	PS	PS	PB			NS	NS
	NS	PS	PS	PS		NB	NS	NS	NS
	NB	PS	PS			NB	NB	NS	NS

Hình 8. Bảng luật điều khiển

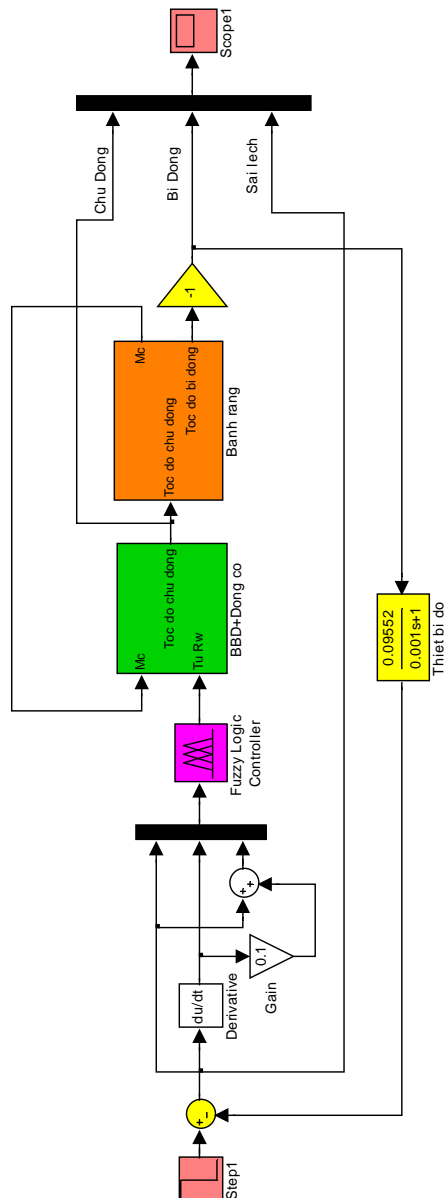
4. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng trên Matlab – Simulink, khi chưa có bộ điều khiển bằng điện được chỉ ra trên hình 9, với tỉ số truyền $i_{12} = 2$.



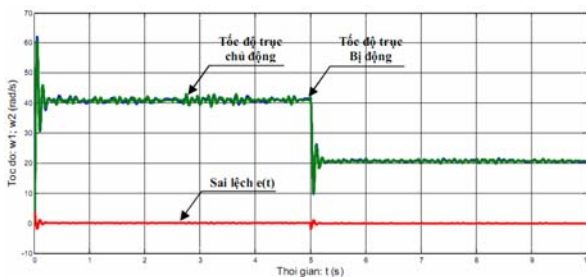
Hình 9. Chất lượng hệ thống khi chưa có bộ điều khiển điện

Sơ đồ mô phỏng Simulink khi đã có bộ điều khiển mờ trượt như hình 10.

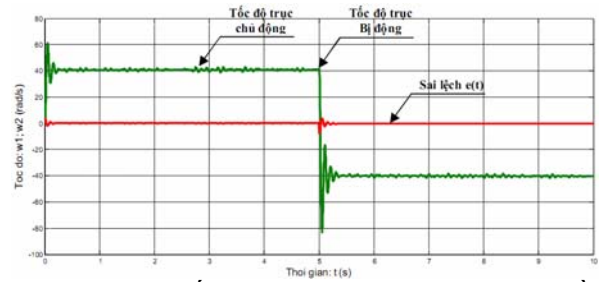


Hình 10. Sơ đồ mô phỏng hệ truyền động Động cơ – Bánh răng trên Simulink

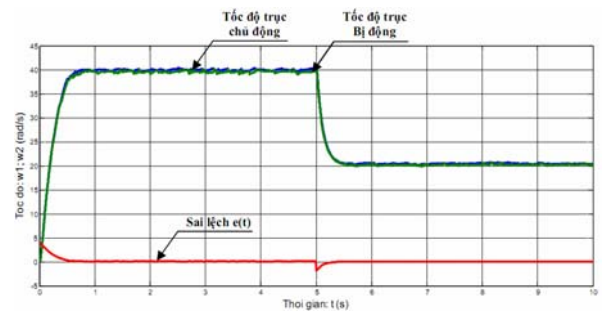
Các kết quả mô phỏng được trình bày như hình 11, 12 (khi sử dụng bộ điều khiển kinh điển PI) và hình 13, 14 (khi sử dụng bộ điều khiển mờ trượt)



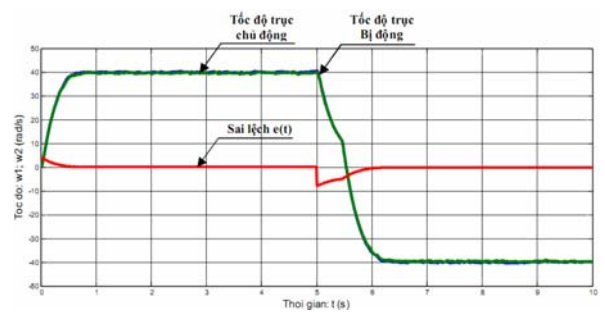
Hình 11. Hệ thống sử dụng BDK PI khi vận tốc góc chuyển từ 40 → 20 (rad/s)



Hình 12. Hệ thống sử dụng BDK PI khi đảo chiều quay từ 40 → -40 (rad/s)



Hình 13. Hệ thống sử dụng BDK mờ trượt khi vận tốc góc chuyển từ 40 → 20 (rad/s)



Hình 14. Hệ thống sử dụng BDK mờ trượt khi đảo chiều quay từ 40 → -40 (rad/s)

5. Kết luận

Kết quả mô phỏng cho thấy:

Khi chưa có bộ điều khiển điện với tỉ số truyền $i_{12} = 2$, do ảnh hưởng khe hở, đàn hồi và ma sát nên tốc độ trục bị động bị dao động rất lớn. Khi khe hở lớn, độ đàn hồi và ma sát càng lớn, hệ thống càng dao động mạnh. Sự dao động này có tính ngẫu nhiên phụ thuộc vào tốc độ làm việc của hệ.

Khi có bộ điều khiển điện với thuật toán điều khiển kinh điển PI, ở chế độ xác

lập sự dao động giữa trục chủ động và bị động đã giảm đi đáng kể, tuy nhiên ở chế độ quá độ lượng quá điều chỉnh rất lớn. số lần dao động nhiều => Gây mất ổn định.

Khi bộ điều khiển sử dụng là bộ điều khiển mờ trượt, chất lượng điều khiển của hệ thống được nâng cao rõ rệt, sự dao động giảm đi đáng kể (giảm hơn so với khi sử dụng bộ điều khiển PI), ở chế độ quá độ lượng quá điều chỉnh gần như không có, số lần dao động ít (gần như không có), sai lệch $e(t) \rightarrow 0$.

Như vậy việc xây dựng bộ điều khiển mờ trượt đã cải thiện đáng kể chất lượng của hệ truyền động qua bánh răng. Các kết quả mô phỏng của luận văn thể hiện một cách trung thực, khẳng định tính đúng đắn của

việc xây dựng các bộ điều khiển, bổ sung một phương pháp điều khiển mới trong hệ truyền động qua bánh răng.

Tài liệu tham khảo

- [1] **Lê Thị Thu Hà**: Một số giải pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở – Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên, 2013
- [2] **Lãi,L.K. và Hà,L.T.T**: Một phương pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động qua bánh răng. Tuyển tập hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về cơ điện tử, trang 134-137, 10.2010.
- [3] **Lãi,L.K. và Hà,L.T.T**: Nghiên cứu thực nghiệm điều khiển mờ áp dụng cho hệ truyền động qua bánh răng. Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hóa,VCCA-2011, trang 759-763, 11. 2011.
- [4] **Phuoc,N.D. and Ha,L.T.T.**: Robust and Adaptive Tracking Controller Design for Gearing Transmission Systems by Using its Reduced Order Model. Journal of Science and Technology. Technical Universities, Vol. 91, pp. 12-17, 2012.
- [5] **Ha,L.T.T. and Phuoc,N.D.**: A Design of an Adaptive SM Tracking Controller for Two Wheel Gearing Transmission Systems. Submitted and accepted for ISTS-2012, ThaiLand, 2012.