

NGHIÊN CỨU BỘ ĐIỀU KHIỂN VI TÍCH PHÂN TỶ LỆ MỜ LAI (HYBRID FUZZY-PID) TRÊN MÁY XÚC MỘT GÀU ĐỂ TỐI ƯU KHẢ NĂNG ĐÁP ỨNG ĐIỀU KHIỂN

Lưu Hồng Quân
Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai
Email: luuhongquan@dntu.edu.vn

TÓM TẮT

Máy xúc một gầu là thiết bị đóng vai trò rất quan trọng trong ngành công nghiệp khai thác mỏ tại Việt Nam. Bài báo trình bày nghiên cứu về máy xúc điện EKG-8I với mục tiêu nâng cao hiệu quả của nó với hệ thống điều khiển mới có mạch kích từ sử dụng các thiết bị điện tử công suất đã được thí nghiệm cho hệ thống truyền động. Một thiết kế bộ điều khiển vi tích phân tỷ lệ mờ - lai (Hybrid Fuzzy-PID) ứng dụng cho các mạch vòng điều khiển dòng điện và tốc độ đã được nghiên cứu, mô phỏng bằng MATLAB. Kết quả mô phỏng cho thấy chất lượng điều khiển của truyền động đã được cải thiện đáng kể khi có Hybrid Fuzzy-PID, so với bộ điều khiển vi tích phân tỷ lệ (PID) thông thường.

Từ khóa: máy xúc gầu điện, EKG - 8I, hệ thống điều khiển mờ- lai, Hybrid Fuzzy-PID.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy xúc một gầu được nhập khẩu từ Liên Xô từ những năm 60 của thế kỷ trước và từ LB Nga trong thời gian gần đây, được sử dụng rộng rãi ở các mỏ lộ thiên. Máy xúc một gầu trong ngành than ở Việt Nam có dung tích gầu trung bình $(4\div 10)m^3$ với các loại phổ biến như: EKG-5A, EKG-8I. Các máy xúc này vẫn sử dụng các hệ thống điều khiển truyền động máy phát- động cơ (MF-DC) hay các hệ điều khiển dùng khuếch đại từ. Các hệ thống này có nhược điểm là cồng kềnh và có tổn hao công suất lớn [1, 5].

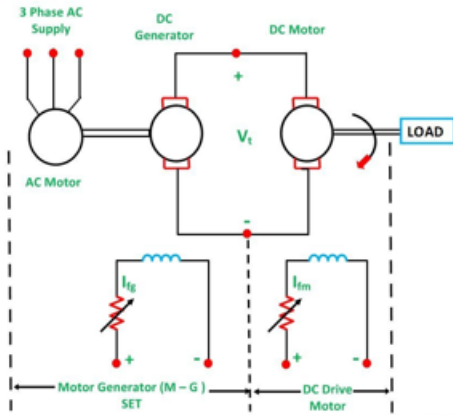
Cùng với sự phát triển của lĩnh vực điện tử công suất, các thiết bị điều khiển truyền động điện đã dần được thay thế từ các hệ thống cồng kềnh phức tạp sang các hệ thống điều khiển nhỏ gọn, đơn giản như sử dụng các phần tử bán dẫn. Ngày nay kết hợp với sự tiến bộ về khả năng tính toán điều khiển của các hệ vi xử lý, các bộ biến đổi công suất đã có những tiến bộ lớn về khả năng điều khiển cho động cơ điện. Với các thuật toán điều khiển mới dựa trên nền tảng về khả năng xử lý của các hệ vi xử lý, hệ thống điều khiển truyền động điện đã có những ưu điểm vượt trội so với các thế hệ sử dụng mạch tương tự trước đây [4;6].

Giải pháp truyền động điện máy phát- động cơ được áp dụng thành công trong máy xúc một gầu

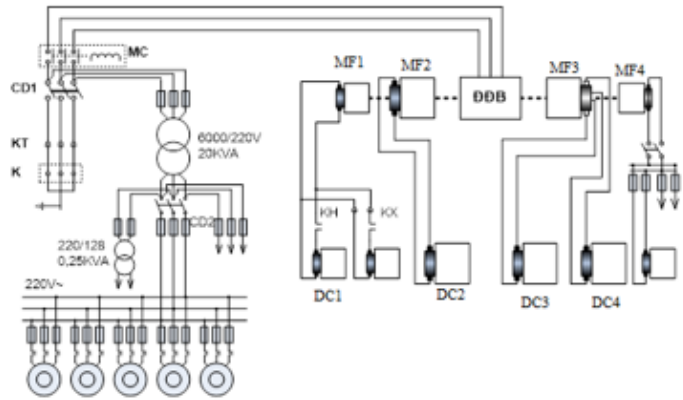
BE295 BII, BE295 BIII, EKG -5, BE395 BI thuộc các công ty Mexico, Brazil, Mỹ, Isarel, Đức, Chile. Để giảm chi phí cải tạo và giữ cân bằng cơ học cho máy xúc, người ta chỉ thay mạch kích từ của máy phát điện một chiều và động cơ điện một chiều. Các bộ chuyển đổi bán dẫn công suất được đề xuất để thay thế các bộ khuếch đại từ trong các mạch kích từ. Với sự trợ giúp của bộ truyền động điều khiển được đề xuất, gầu xúc có thể phản hồi nhanh hơn với các tín hiệu tham chiếu từ quá trình điều khiển.

Tuy nhiên, nó đòi hỏi nghiên cứu để tối ưu hóa đặc tính điều khiển. Trong điều khiển thông thường, bộ điều khiển vi tích phân tỷ lệ (PID) được sử dụng để điều chỉnh động cơ điện vì tính đơn giản, tính ứng dụng và độ tin cậy của nó. Trong các hệ thống phức tạp và phi tuyến tính, điều khiển logic mờ- lai là lựa chọn tốt hơn điều khiển PID.

Trong bài báo này, chúng tôi đã nghiên cứu, cải tiến một hệ thống kích từ sử dụng trên máy xúc một gầu EKG-8I, đang sử dụng ở Việt Nam. Với hệ thống điều khiển sử dụng thuật toán điều khiển logic mờ - lai đã xây dựng được mô hình toán học và mô phỏng. Kết quả nghiên cứu thể hiện những cải tiến tối ưu khi so sánh với điều khiển PID thông thường.



a)



b)

H.1. Sơ đồ nguyên lý hệ truyền động máy xúc

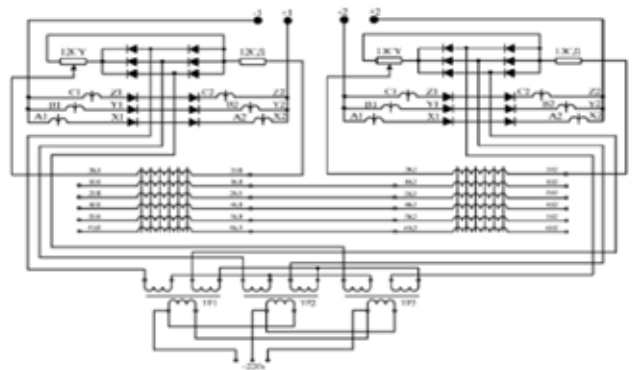
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Hệ thống điều khiển của máy xúc

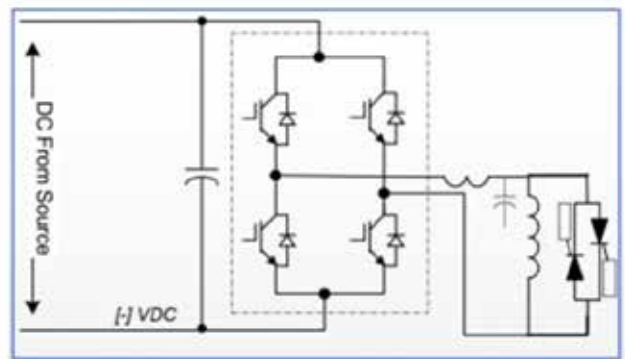
Trong máy xúc EKG-8I có bốn hệ thống truyền động chính. Đó là truyền động ấn đẩy, nâng/hạ tay gầu, quay và di chuyển. Ở Việt Nam, tất cả các máy xúc EKG-8I đều đang hoạt động với hệ thống truyền động DC. Mỗi động cơ điện được điều khiển bởi một máy phát điện một chiều. Máy phát cung cấp điện một chiều, được điều chỉnh bằng dòng điện kích từ với rôto có tốc độ không đổi, để điều khiển động cơ. Cấu trúc hệ điều khiển truyền thống thể hiện ở Hình H.1a và cấu trúc hệ thống truyền động điện cho máy xúc thể hiện Hình H.1b.

Hiện tại, trong hệ điều khiển của máy EKG-8I, dòng điện kích từ vẫn được cấp bởi bộ khuếch đại từ. Sơ đồ mạch chỉnh lưu khuếch đại được trình bày trên Hình H.2. Phương pháp điều khiển này có nhược điểm là mạch khá phức tạp, thời gian phản ứng chậm, sai số đầu ra cao. Do các mạch từ có lõi sắt và cuộn dây đồng nên nó có kích thước lớn và nặng. Hệ điều khiển cũng có phản ứng chậm vì đặc tính khuếch đại từ. Từ những nhược điểm và hạn chế của bộ điều khiển khuếch đại từ, đã có những nghiên cứu thay thế sử dụng các linh kiện bán dẫn dựa trên Thyristor và transistor lưỡng cực có công cách ly (IGBT). Bộ điều khiển IGBT có một số ưu điểm hơn so với bộ chuyển đổi Thyristor và để tối ưu hiệu suất làm việc của bộ kích từ của động cơ điện một chiều và máy phát điện. Bộ kích từ là một bộ chuyển đổi IGBT với điện áp DC vào và điện áp DC ra (Bộ chuyển đổi DC-DC Hình H.3). Sử dụng tần số cắt nhỏ (20÷25)kHz, bộ kích từ trong nghiên

cứu có thể cải thiện thời gian phản hồi nhanh hơn so với bộ điều khiển truyền thống và bộ điều khiển dùng Thyristors.



H.2. Bộ chỉnh lưu khuếch đại từ tĩnh

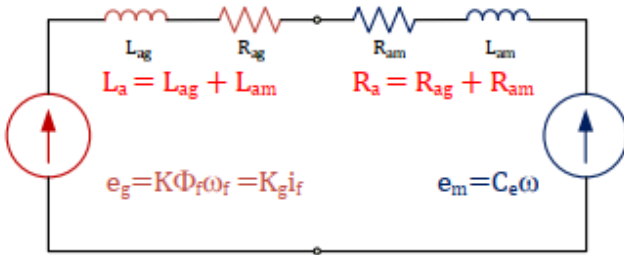


H.3. Bộ chuyển đổi DC-DC dùng transistor lưỡng cực có công cách ly (IGBT)

2.2. Mô hình toán học của hệ thống truyền động máy xúc

Hệ thống truyền động máy xúc là một máy phát điện một chiều và một động cơ DC. Trong phương

pháp điều khiển này, điện áp đầu ra của máy phát được cấp cho động cơ để điều khiển tốc độ đầu ra có thể được mô tả bằng một mạch tương đương như trên Hình H.4.



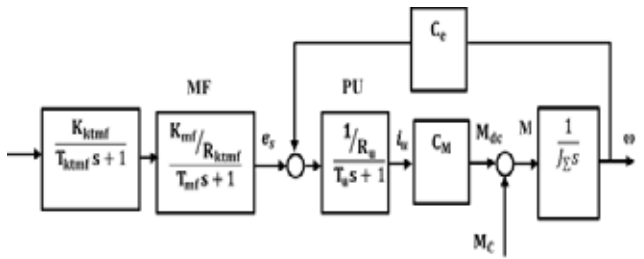
H.4. Mạch tương đương Ward-Leonard

Mô hình toán học của hệ thống truyền động máy phát - động cơ này có thể được mô tả như sau:

$$\begin{cases} \frac{di_f}{dt} = \frac{R_f}{L_f} i_f + \frac{K_f}{L_f} u_{ref} \\ \frac{di_a}{dt} = \frac{K_G}{L_a} i_f - \frac{R_a}{L_a} i_a - \frac{C_e}{L_a} \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_\Sigma} M \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: i_a là dòng điện phản ứng của máy phát; L_f, R_f, L_a, R_a là điện cảm và điện trở của mạch trường máy phát và mạch phản ứng của máy điện; K_f, K_g là hệ số khuếch đại của mạch trường máy phát và suất điện động máy phát (emf); C_e là hệ số khuếch đại của động cơ điện một chiều; u_{ref} là điện áp điều khiển tham chiếu; ω là tốc độ quay của động cơ; J là mômen quán tính của máy điện một chiều; M là mômen tải cho mômen động cơ.

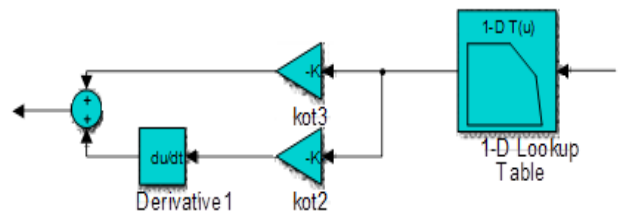
Sử dụng hệ phương trình (1), có thể xây dựng sơ đồ khối bộ điều khiển mờ- lai như ở Hình H.5.



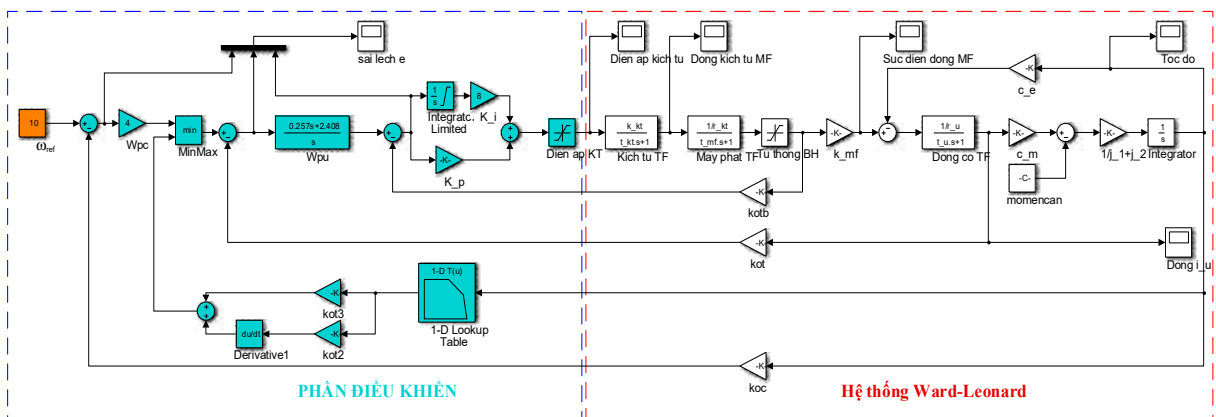
H.5. Sơ đồ khối bộ điều khiển mờ- lai

2.3. Thuật toán PID

Sơ đồ mô phỏng hệ thống điều khiển truyền động điện máy xúc trên Matlab Simulink được xây dựng như trên Hình H.6. Cấu trúc của mô hình mô phỏng được thực hiện dựa trên cấu trúc hệ truyền động điện máy phát- động cơ của máy xúc. Mô hình mô phỏng được chia thành 02 phần: mô hình của đối tượng điều khiển, máy phát- động cơ và bộ biến đổi điện áp kích từ; mô hình của các bộ điều chỉnh P, PI, PU. Bộ điều chỉnh và mô hình hệ thống tạo thành 03 mạch vòng điều khiển: mạch vòng dòng điện kích từ; mạch vòng dòng điện phản ứng; mạch vòng điện áp phản ứng. Trong mạch vòng dòng điện, để thực hiện đặc tính máy xúc một cấu trúc giới hạn dòng điện phản ứng được thực hiện như trên Hình H.7.



H.7. Cấu trúc giới hạn dòng điện theo đặc tính máy xúc



H.6. Mô hình mô phỏng hệ điều khiển PID cho máy xúc

Mô phỏng cho hệ thống truyền động điện của máy xúc được thực hiện với các trường hợp thay đổi tải khác nhau: khởi động động cơ với điện áp điều khiển 10V; thay đổi từ non tải (mô-men cản 50% định mức) đến quá tải (mô-men cản 150% định mức); khởi động động cơ với điện áp điều khiển 10V; thay đổi từ mô men định mức (mô men cản 100% định mức) đến quá tải (mô men cản 150% định mức); khởi động động cơ với điện áp điều khiển 10V; thay đổi từ quá tải (mô men cản 150% định mức) đến định mức (mô men cản 100% định mức); Khởi động động cơ với: Điện áp điều khiển 10V; thay đổi từ quá tải (mô men cản 150% định mức) đến non tải (mô men cản 50% định mức). Kết quả mô phỏng thể hiện như trong Bảng 1 và Bảng 2.

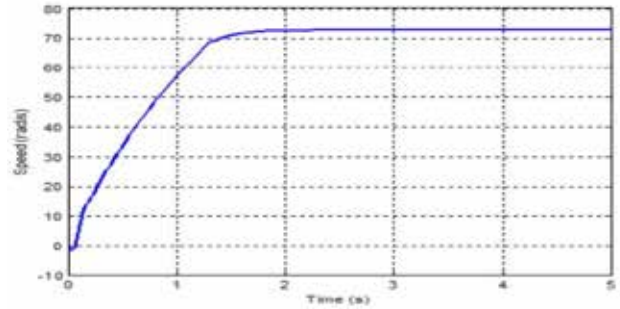
Bảng 1. Thông số các thành phần ứng với mômen khác nhau

Tải	Non tải	Định mức	Quá tải
Tốc độ ω (rad/s)	75,6	72,63	0
Sức điện động máy phát E_v (V)	520	514	0
Dòng điện phản ứng I_v (A)	463	740	1850
Dòng điện kích từ máy phát I_{kt} (A)	35,5	33,4	6

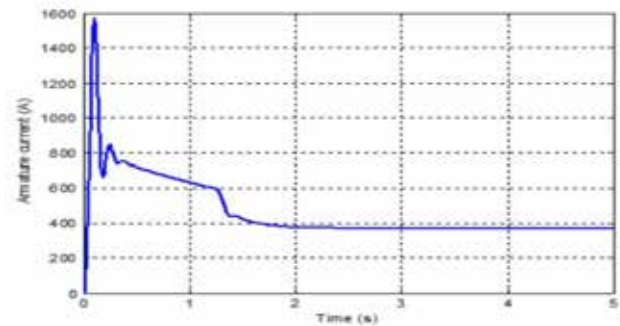
Bảng 2. Sai lệch e khi tải khác nhau

Tải	Non tải	Định mức	Quá tải
Sai lệch Tốc độ (rad/s)	0,25	0,3	10,5
Sai lệch dòng điện phản ứng (A)	0,05	0,03	0
Sai lệch Dòng điện kích từ (A)	1,76	2,884	3

Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ đầu ra của động cơ ổn định sau thời gian đáp ứng 1,5 giây. Dòng điện đầu ra của động cơ DC cũng bị giới hạn bởi hạn chế về điện và cơ. Sau đỉnh khoảng 1.600A, dòng điện giảm xuống đột ngột và mất ổn định. Kết quả dòng điện đầu ra phản ứng PID ở Hình H.9 thể hiện khả năng điều khiển của hệ thống đề xuất với bộ điều khiển P, PI.



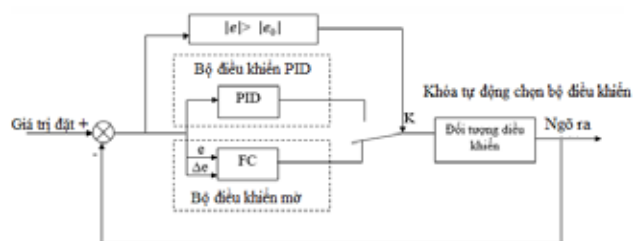
H.8. PID tốc độ đầu ra của động cơ



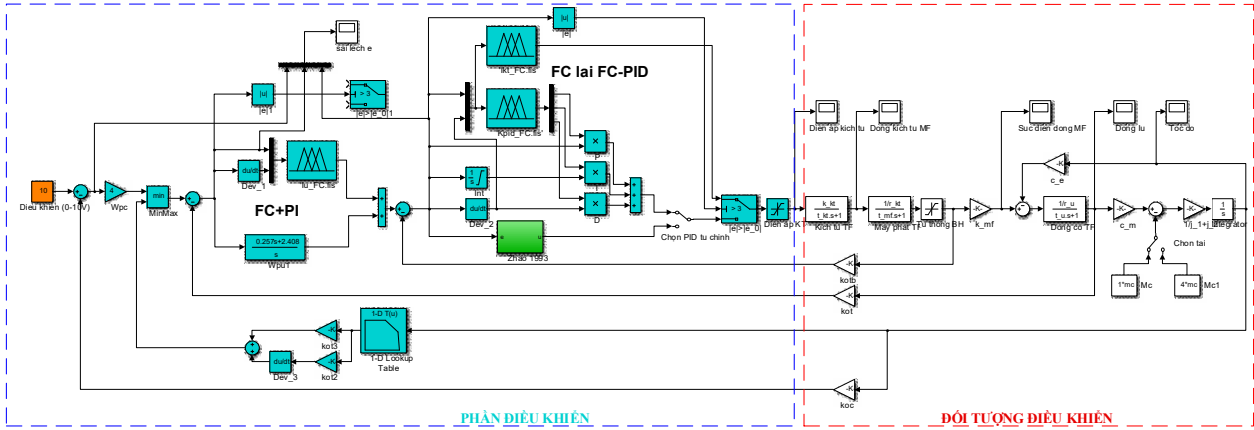
H.9. Dòng điện đầu ra phản ứng PID

2.4. Điều khiển vi tích phân tỷ lệ mờ- lai

Trong nhiều nghiên cứu trước đây, các bộ điều khiển PID thông thường tạo ra thời gian xác lập, độ vọt lố. Điều này là do các bộ điều khiển thông thường sử dụng các tham số cố định và tĩnh như hệ số tỷ lệ. Để thực hiện so sánh giữa bộ điều khiển PID kinh điển với lai (điều khiển mờ với PID), bộ điều khiển mờ- lai (điều khiển mờ và PID tự chỉnh). Sơ đồ mô phỏng bằng Matlab Simulink cho các bộ điều khiển đề xuất đã được thực hiện như trên Hình H.9 và Hình H.10. Trong đó: mạch vòng dòng điện kích từ máy phát được thực hiện bởi bộ điều khiển lai (điều khiển mờ với PID tự chỉnh); mạch vòng dòng điện phản ứng được thực hiện bởi "lai" (điều khiển mờ với PID); mạch vòng tốc độ thực hiện bằng bộ điều khiển PID. Các kết quả mô phỏng được thể hiện trong các Bảng 3, Bảng 4, Bảng 5.



H.9. Sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển vi tích phân tỷ lệ mờ- lai



H.10. Mô hình mô phỏng hệ điều khiển Fuzzy - PID

Bảng 3. So sánh dòng kích từ máy phát (I_{kt}) khi thực hiện điều khiển PID và điều khiển lai (điều khiển mờ - PID thích nghi)

Tải	Bộ điều khiển	Thời gian xác lập (s)
Non tải	PID	1,6
	Điều khiển lai	1,4
Định mức	PID	1,7
	Điều khiển lai	1,5

Bảng 4. So sánh dòng phản ứng (I_u) khi thực hiện điều khiển PID và lai.

Tải	Bộ điều khiển	Thời gian xác lập (s)	Độ vọt lố% dòng điện phản ứng
Non tải	PID	1,5	2,432519
	Lai	1,2	2,012821
Định mức	PID	1,7	1,326846
	Lai	1,4	1,026846
Quá tải	PID	3	0,012062
	Lai	2	0,007542

Bảng 5. So sánh các thông số tốc độ của PID kinh điển và Hybrid.

Tải	Bộ điều khiển	Thời gian tăng tốc (s)
Non tải	PID	1,4
	Hybrid	1
Định mức	PID	1,5
	Hybrid	1,2
Quá tải	PID	2,05
	Hybrid	1,9375

Tác động của tải khác nhau làm thay đổi các thông số đầu ra trên hệ thống truyền động của máy xúc được thể hiện thời gian tăng tốc, thời gian xác lập, độ vọt lố đã được trình bày trong các Bảng 3, Bảng 4, Bảng 5. Để hoạt động ổn định và đáp ứng điều khiển nhanh các bộ điều khiển dòng kích từ, dòng phản ứng, điện áp phản ứng đã thực hiện kết hợp điều khiển mờ và PID khi so sánh bộ điều khiển PID kinh điển với các bộ lai, điều khiển lai, thì tất cả các thông số thu được đều có kết quả vượt trội;

3. KẾT LUẬN

> Trong hệ thống điều khiển hiện tại của các máy xúc một gầu, để tránh sự ảnh hưởng của các yếu tố như: gầu xúc cắt vào lớp đất đá; chuyển động của các cơ cấu khác (ra/vào tay gầu, quay)... gây thay đổi tính chất tải, người ta nâng cao chất lượng điều khiển bằng cách sử dụng các khâu bù;

> Thay vì sử dụng các khâu bù, sử dụng các bộ điều khiển mờ, mờ- lai, để nâng cao chất lượng của bộ điều khiển PID kinh điển sử dụng cho hệ truyền động của máy xúc một gầu. Ưu điểm của phương pháp này là thiết kế đơn giản mà không cần quan tâm đến cấu trúc bên trong của đối tượng điều khiển;

> Từ các kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển mờ - lai đã cải thiện được một loạt các chỉ tiêu chất lượng so với bộ điều khiển PID kinh điển; đáp ứng của hệ thống có thời gian quá độ và thời gian xác lập phù hợp, độ vọt lố và sai số xác lập không đáng kể. Ngoài ra bộ điều khiển còn đáp ứng tốt khi các trường hợp tải thay đổi, cũng như sự ổn định dưới sự tác động của nhiễu vào hệ thống □



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kholid, Aviseno, Rifky Ahmad Fauzi, Yul Yunazwin Nazaruddin, and Endra Joelianto (2019), "Power optimization of electric motor using PID-fuzzy logic controller." In 2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), pp. 189-195. IEEE, 2019.
2. Thao, Nguyen Gia Minh, Mai Tuan Dat, Tran Cong Binh, Nguyen Huu Phuc (2010), "PID-fuzzy logic hybrid controller for grid-connected photovoltaic inverters." In International Forum on Strategic Technology 2010, pp. 140-144. IEEE, 2010.
3. Malafeev, S. I., A. A. Novgorodov (2016), "Design and implementation of electric drives and control systems for mining excavators." Russian Electrical Engineering 87, no. 10 (2016): 560-565.
4. Le Hanh, Duc, Kyoung Kwan Ahn, Nguyen Bao Kha, and Woo Keun Jo. (2009), "Trajectory control of electro-hydraulic excavator using fuzzy self tuning algorithm with neural network." Journal of Mechanical Science and Technology 23, no. 1 (2009): 149-160.
5. Zhang, Jun, Shengjie Jiao, Guimao Si, Xuepeng Cao, Min Ye, Jinping Li, Xinxin Xu, Daopei Zhang (2014), "Engine Speed Control of Excavator With PID Method." TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering 12, no. 5 (2014): 3423-3430.
6. Sheikhha, F. H., A. Afzalaghaeinaeini, and J. Seo (2021), "Collaborative Tracking Control Strategy for Autonomous Excavation of a Hydraulic Excavator. 2021, 3, x." (2021).

RESEARCH ON APPLICATION OF THE HYBRID FUZZY- PID CONTROLLER IN SINGLE-BUCKET EXCAVATOR TO OPTIMIZE CONTROL RESPONSIVENESS

Luu Hong Quan

ABSTRACT

The electric excavator is one of the equipment that plays very important role in Vietnam's mining industry. The article mentions some research results on the EKG-8I electric excavator in order to increase its efficiency. The study shown that a new control system with excitation circuit using power electronics has been tested. The design of a Hybrid Fuzzy-PID controller for current and speed control loops has been studied and simulated by MATLAB. The simulation results show that the control quality of the drive system has been significantly improved in the Hybrid Fuzzy-PID controller compared to the conventional PID controller.

Keywords: *Electric bucket excavator, EKG-8I, Hybrid fuzzy control system, Hybrid Fuzzy-PID controller.*

Ngày nhận bài: 06/10/2022;

Ngày gửi phản biện: 08/10/2022;

Ngày nhận phản biện: 28/11/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 03/12/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: *Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.*