

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN ĐẶC TÍNH CHO MÁY XÚC EKG-8I

Khổng Cao Phong
Trường Đại học Mỏ - Địa Chất
 Email: khongcaophong@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Các máy xúc EKG-8I (ЭКГ-8И) của Liên Xô trước đây hiện nay vẫn đang được sử dụng rất nhiều ở các mỏ than Việt Nam với hệ thống truyền động máy phát – động cơ (F-Đ). Để cải tiến và nâng cao chất lượng điều khiển cho các máy xúc này, hệ thống điều khiển kích từ máy phát dùng mạch bán dẫn công suất (IGBT) thay thế cho hệ thống khuếch đại từ và cấu trúc điều khiển với bộ khống chế dòng điện để tạo đặc tính máy xúc đã được đề xuất. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống có khả năng điều khiển và duy trì hoạt động ổn định khi gặp tải đất đá cứng nhờ đặc tính máy xúc đã đề xuất.

Từ khóa: máy xúc điện, đặc tính máy xúc, hệ F-Đ, mô phỏng

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

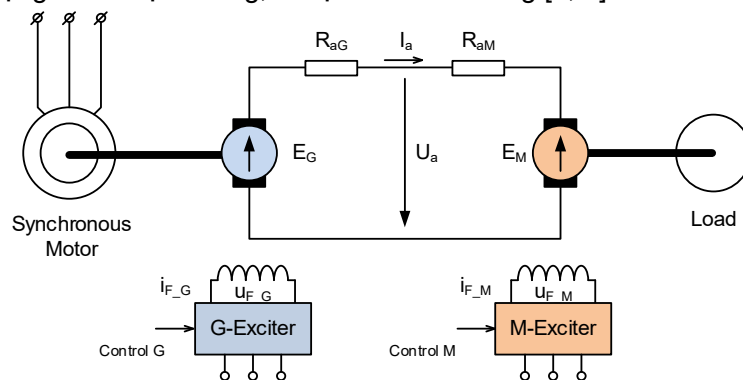
Các máy xúc điện EKG (ЭКГ) của Liên Xô trước đây và sau này của Liên bang Nga được đưa vào sử dụng trong công nghiệp mỏ Việt Nam từ những năm 60 của thế kỷ trước. Chúng có cỡ gầu trung bình từ 4-10m³ như: EKG-4,6; EKG-5A; EKG-8I; EKG-10.

Số lượng máy xúc EKG ở Việt Nam hiện nay khoảng vài trăm chiếc, tập trung chủ yếu ở các công ty khai thác than lộ thiên như Cao Sơn; Cọc Sáu; Đèo Nai; Hà Tu; Núi Béo... và một số công ty khai thác đá [1].

Mặc dù hệ thống điện của các máy xúc điện này đã cũ với nhiều sự cố khi vận hành, nhưng hệ thống cơ khí của những chiếc EKG-8I vẫn hoạt động tốt. Tình trạng này cũng xảy ra với nhiều hệ thống máy xúc điện khác trên toàn thế giới. Vì lý do đó, có rất nhiều nghiên cứu ứng dụng để cải tạo chúng, ví dụ

như các nghiên cứu cải tiến máy xúc EKG-5 trong [5, 7, 8].

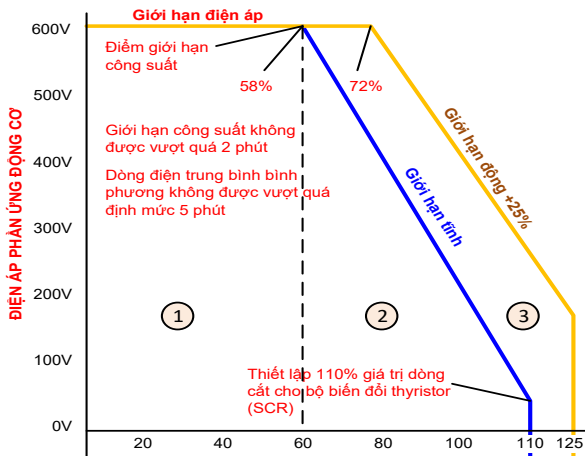
Trong các nghiên cứu, có một số giải pháp để nâng cấp hệ thống điều khiển truyền động máy phát động cơ (F-Đ) trong các máy xúc cũ (Hình H.1). Hệ thống được thay thế hoàn toàn bằng bộ biến tần của ABB. Giải pháp này được áp dụng thành công trong các dòng máy xúc BE295 BII, BE295 BIII, EKG-5, BE395 BI thuộc các công ty ở Mexico, Brazil, Mỹ, Israel, Đức, Chile [7]. Để giảm chi phí cải tạo và giữ cân bằng cơ học cho máy xúc điện, chỉ cần thay bộ điều khiển khuếch đại từ bằng bộ điều khiển dựa trên nền tảng vi điều khiển. Các bộ biến đổi điện áp một chiều (Băm xung áp một chiều) dùng IGBT được đề xuất để thay thế cho các bộ khuếch đại từ trong các mạch kích từ của máy phát và động cơ. Những đề xuất này được phân tích và so sánh trong [3, 5].



H.1. Hệ thống truyền động máy xúc

Trong [4], đề xuất cải tạo mạch điều khiển kích từ máy phát trong hệ truyền động F-Đ của máy xúc đã được trình bày. Trong đó bộ điều khiển khuếch đại từ được thay thế bằng bộ biến đổi IGBT. Bên cạnh việc thay thế phần cứng thì việc xây dựng hệ thuật toán điều khiển đáp ứng yêu cầu làm việc của máy xúc cũng hết sức cần thiết.

Hệ thống điều khiển truyền động của máy xúc phải có khả năng khắc phục được sự biến động phức tạp của tải. Một trong những yêu cầu phức tạp của điều khiển truyền động máy xúc là đặc tính máy xúc (Hình H.2) [4]. Trong quá trình hoạt động,

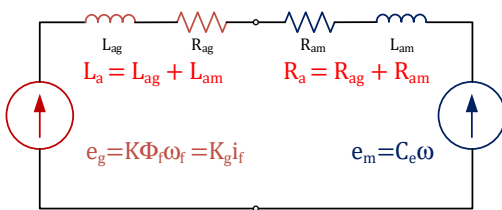


H.2. Đặc tính máy xúc

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình toán học của hệ thống

a) Mô hình hệ thống máy phát động cơ



H.3. Sơ đồ tương đương hệ F-Đ

Hệ thống F-Đ sử dụng một máy phát điện để cung cấp năng lượng cho động cơ điện một chiều như trên Hình H.1. Cấu trúc này được biểu diễn bằng sơ đồ thay thế tương đương như trên Hình H.3. Dựa vào các mối quan hệ trong máy điện một chiều và phương trình cân bằng điện áp trên mạch, hệ thống máy phát động cơ được mô tả bởi hệ phương trình.

ôi khi tay gầu gặp phải các trường hợp đất đá cứng, tải nặng vượt quá khả năng quá tải của hệ truyền động. Đối với trường hợp này đặc tính máy xúc phải đảm bảo duy trì mô men, dòng điện động cơ phải nhanh chóng giảm xuống trong giới hạn quá tải lớn mà không dừng hệ thống. Đặc tính máy xúc như vậy đã được thực hiện tốt trong hệ thống điều khiển cũ, dùng khuếch đại từ, của máy xúc EKG – 8I. Để có khả năng ứng dụng vào thực tế thì hệ thống điều khiển truyền động được đề xuất cũng cần phải có khả năng tạo đặc tính này.

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

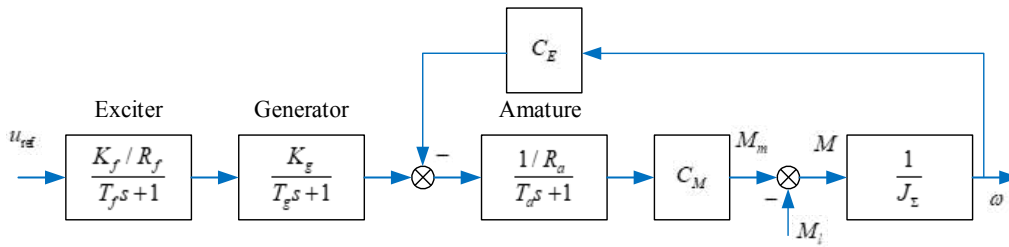
Trong đó: i_f , i_a -dòng kích từ và dòng phần ứng của động cơ; L_f , R_f , L_a , R_a là điện cảm, điện trở mạch phần ứng máy phát và mạch phần ứng động cơ; K_f , K_g là hệ số khuếch đại của máy phát và động cơ; C_e là hằng số của động cơ điện một chiều; u_{ref} là điện áp đặt cho bộ điều khiển; ω là tốc độ quay của động cơ; J_Σ là mô men quán tính quy đổi về trục động cơ; M là tổng hợp mô men và mô men cản tác động vào hệ.

Sử dụng hệ phương trình (1) sơ đồ khối cấu trúc mô tả động hệ truyền động máy phát động cơ được biểu diễn như Hình H.4.

b) Mô hình đặc tính tải của máy xúc.

Đặc tính tải của gầu xúc là đặc tính mô men cản thay đổi theo góc nâng gầu. Do quá trình nâng gầu, đất đá được chất vào gầu làm tải trọng gầu tăng lên. Tùy theo độ dày lớp cát mà tải trọng tương ứng với góc nâng lớn hay nhỏ. Phương trình động học xác định mô men cản của tay gầu được xác định như sau:

$$\begin{cases} \theta = k_\theta \int \omega(t) dt \\ M_c = k_m \theta \end{cases} \quad (2)$$



H.4. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống F-Đ

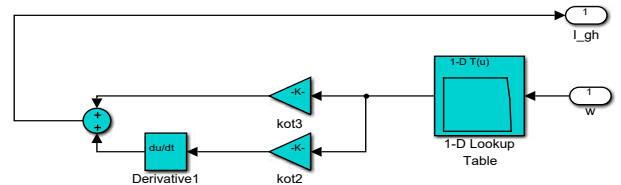
2.2. Xây dựng cấu trúc mô phỏng

Trên cơ sở mô hình toán học của hệ thống truyền động máy phát động cơ, hệ thống điều khiển với 03 vòng điều khiển như Hình H.7 đã được sử dụng. Trong đó mô hình toán học Hình H.4 được mô phỏng trong khối “Hệ thống máy phát – động cơ”. Các tín hiệu phản hồi gồm dòng kích từ, dòng điện phần ứng, tốc độ tạo thành các mạch vòng điều khiển. Mạch vòng trong cùng là mạch vòng điều khiển dòng điện kích từ, tiếp đến là mạch vòng điều khiển dòng điện phần ứng và cuối cùng là mạch vòng điều khiển tốc độ.

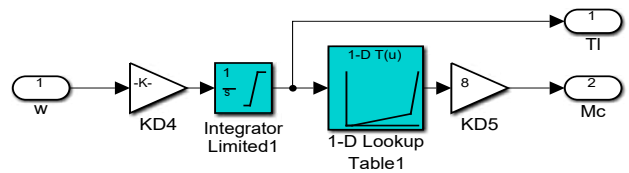
Với cấu trúc điều khiển đề xuất, thì các mạch vòng điều khiển dòng kích từ và mạch vòng điều khiển dòng điện phần ứng được sử dụng các bộ điều khiển PI. Riêng đối với mạch vòng điều khiển tốc độ để tạo cho người vận hành có cảm giác lái thì bộ điều khiển được sử dụng là bộ điều khiển loại P. Với bộ điều khiển loại P thì khi tải máy xúc tăng lên, tốc độ chuyển động sẽ giảm xuống thay vì vẫn ổn định ở một tốc độ, tạo cho người vận hành cảm giác của tải nặng so với tải nhẹ.

Thông số của các bộ điều khiển được tính toán dựa theo phương pháp tối ưu module cho các mạch vòng.

Để thực hiện đặc tính máy xúc như trên Hình H.2, dòng điện làm việc của động cơ được hạn chế theo tốc độ làm việc bởi khối bảng tra LUT. Giá trị dòng điện giới hạn theo tốc độ được đưa qua cấu trúc khuếch đại, đạo hàm để hạn chế ảnh hưởng dao động của tốc độ do đàn hồi của dây cáp treo gầu Hình H.5. Toàn bộ cấu trúc này được thực hiện trong khối “Tạo đặc tính máy xúc”. Đầu ra của khối này được sử dụng để hạn chế dòng điện phần ứng của động cơ.

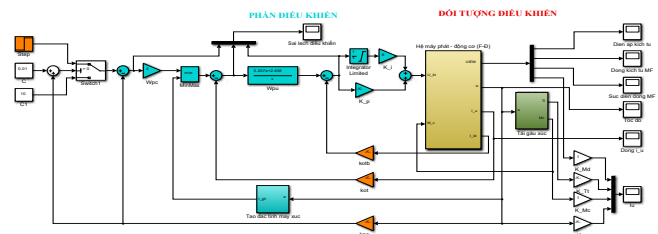


H.5. Cấu trúc tạo đặc tính máy xúc



H.6. Cấu trúc tạo tải gầu xúc

Đặc tính tải tay gầu máy xúc theo hệ phương trình (2) với giá trị mô men tải thay đổi theo góc nâng gầu được mô phỏng trong khối “Tải gầu xúc”. Sơ đồ khối cấu trúc mô phỏng được thể hiện trên Hình H.6. Trong đó khối LUT được sử dụng để hiệu chỉnh đặc tính tải và tạo đặc tính của tay gầu khi gặp đất đá cứng.



H.7. Sơ đồ khối cấu trúc mô phỏng hệ thống

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Với cấu trúc điều khiển được đề xuất, hệ thống truyền động của cơ cấu nâng hạ cho máy xúc EKG – 8I được sử dụng để mô phỏng. Thông số của hệ truyền động gồm máy phát ПЭМ-155-8K và động cơ ДПЭ-82A như cho trong Bảng 1.

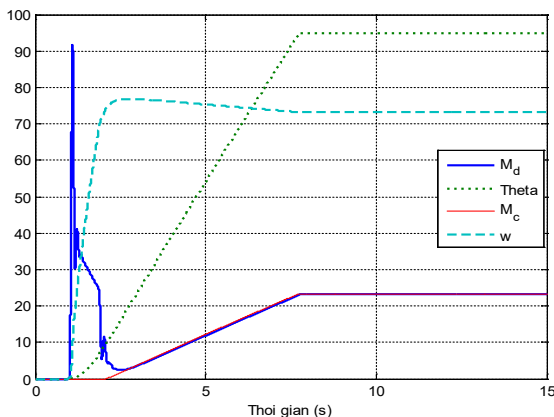
Với các thông số máy phát, động cơ nêu trên, các thông số mô phỏng hệ truyền động điện máy phát động cơ và tham số bộ điều chỉnh đã được tính toán và nhúng vào mô hình Hình H.7.

Bảng 1. Thông số máy phát – động cơ

Thông số	ПЭМ-155-8К	ДПЭ-82А
Công suất, kW	500	190
Điện áp định mức, V	560	270
Dòng điện định mức, A	895	760
Tốc độ định mức, r/min	1000	740
Số đôi cực	3	2
Điện trở phần ứng, Ω	7.5E-3	3.1E-3
Điện trở kích từ, Ω	0.96	3.5

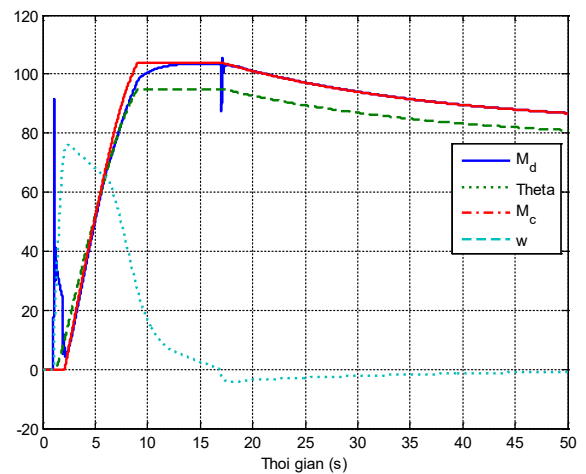
Để đánh giá khả năng điều khiển của hệ thống, thực hiện đặc tính tải máy xúc các chế độ mô phỏng đã được thực hiện với kết quả thu được từ Hình H.8 đến H.10. Các kết quả mô phỏng gồm các đường mô men dòng điện động cơ, góc nâng gầu, mô men cản của tải và tốc độ quay của động cơ được thể hiện. Trong kết quả thu được, đường đặc tính mô men, dòng điện động cơ được thể hiện với tỉ lệ 1:50 với mô men và 1:15 với dòng điện còn các đường tốc độ (ω) và góc nâng (θ) được thể hiện với tỉ lệ 1:1.

Trường hợp mô phỏng đầu tiên được thực hiện với việc điều khiển máy xúc làm việc với tốc độ định mức ($u_{ref} = 10V$) tại thời điểm $t=1s$, mô men cản của tải là hằng số và bằng mô men định mức Hình H.8. Kết quả mô phỏng cho thấy đặc tính mô men, dòng điện khởi động của động cơ được hạn chế trong giới hạn đặc tính máy xúc với dòng điện cực đại 1,5 lần dòng định mức. Tốc độ động cơ tăng lên kéo theo việc góc nâng tay gầu tăng dần tới giá trị giới hạn (95 độ). Cùng với việc góc nâng tay gầu tăng thì mô men cản của tải tăng và đường mô men dòng điện của động cơ sau khi khởi động cũng tăng theo để đáp ứng với tải.



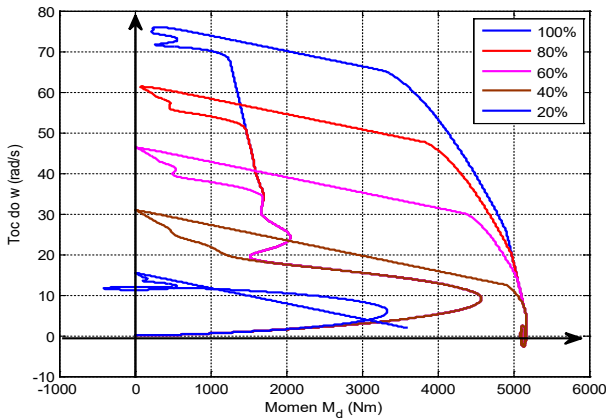
H.8. Kết quả mô phỏng điều khiển với tải định mức

Vẫn thực điều khiển máy xúc làm việc với tốc độ định mức ($u_{ref} = 10V$) tại thời điểm $t=1s$, nhưng với tải được mô tả với trường hợp tay gầu gặp đất đá cứng cho kết quả mô phỏng như Hình H.9. Kết quả mô phỏng cho thấy sau khi thực hiện quá trình khởi động như trường hợp đầu, mô men tải của tay gầu tăng nhanh thể hiện việc gặp đất đá cứng. Mô men dòng điện của động cơ tăng lên và giới hạn ở 2 lần dòng điện định mức. Đồng thời với việc đó là tốc độ động cơ gục nhanh về 0 rad/s. Như vậy hệ thống điều khiển đã thể hiện đặc tính máy xúc khi gặp đất đá cứng. Tại thời điểm 16,5s đồ thị thể hiện việc tốc độ động cơ âm và góc nâng tay gầu hạ xuống mô tả phản ứng của người vận hành máy xúc khi gặp đất đá cứng sẽ nhả tay điều khiển về, giảm điện áp điều khiển u_{ref} .



H.9. Kết quả mô phỏng với tải đất đá cứng

Để kiểm tra khả năng thực hiện đặc tính máy xúc, hệ truyền động được mô phỏng thực hiện điều khiển với các giá trị đặt tốc độ 20%, 40%, 60%, 80% và 100% tốc độ định mức. Tải của máy xúc được mô phỏng với trạng thái gặp đất đá cứng trong quá trình xúc. Với các trạng thái mô phỏng khác nhau, đồ thị quan hệ mô men, dòng điện phần ứng với tốc độ quay của hệ truyền động được mô tả như Hình H.10. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình đã thực hiện được đặc tính máy xúc. Đặc tính gục xuống khi mô men cản lớn tốc độ giảm, nhưng vẫn duy trì được trạng thái hoạt động quá dòng.



H.10. Họ đặc tính máy xúc

4. KẾT LUẬN

- Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được cấu trúc tạo ra đặc tính máy xúc cho hệ truyền động F-Đ của máy xúc EKG-81 dùng bộ biến đổi IGBT đã đề xuất. Đặc tính tải của máy xúc đã nhận được theo góc nâng tay gầu trong trường hợp hoạt động bình thường và khi gặp đất đá cứng;
- Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển đã thể hiện được tính chất làm việc của máy xúc ở các chế độ hoạt động. Đặc tính máy xúc của bộ điều khiển đã không chế dòng điện phản ứng động cơ nằm trong giới hạn cho phép;
- Kết quả thu được cho thấy khả năng ứng dụng bộ điều khiển vào thực tế □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. K.C. Phong, L.H. Quân (2016). A suggestion for renovating main drive system of electric shovel excavators - EKG in Vietnam mining industry, Hội nghị Khoa học Trái đất và Mỏ ERSD2016
2. Đào Đắc Tạo. (2011). Hệ truyền động mới của máy xúc EKG-5. Thông tin Khoa học Công nghệ Mỏ.
3. Bus, S., & Mg, I. (2007). New IGBT Exciter- Based MG Set Excavator Drive.
4. Metin Özdoğan, Hakkı Özdoğan (2016). Digging forces of Electric Rope Shovel and Adjustment made for a Better Digging Shovel Having Optimum Rake and Tooth Angles.
5. Rathmann, B. (2015). ABB Drives Retrofit Electric Shovels.
6. Rathmann, B. (2009). Refurbishment of the electrical installation of an EKG 5A shovel excavator. ZKG International, 62(4), 80–87.
7. Systems, T. A. (2009). DC-EXX IGBT Exciter-Based MG Set Excavator Drive Overview and Field Experience Presented to. Annual Meeting Clearwater Florida, 1–67.

RESEARCH ON SETTING THE CHARACTERISTIC SYSTEM DRIVE FOR SHOVEL EKG-81

Khong Cao Phong

ABSTRACT

The Soviet electric shovel EKG-81 with Ward Leonard drive systems are still widely used at the open-pit coal mines and play an importance role in Vietnam mining industry. In order to improve the quality of their control, instead of a magnetic amplifier, an IGBT DC-DC converter was suggested to control the generator excitation field and a controller with an electro-shovel characteristic structure was proposed for the EKG-81 drive system. The simulation results show that thanks for these suggestions, system is able to control and maintain stable operation when encountering hard rock loads.

Keywords: electric shovel, electric shovel characteristic, Ward Leonard drive system, simulation

Ngày nhận bài: 07/3/2023;

Ngày gửi phản biện: 09/3/2023;

Ngày nhận phản biện: 29/3/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 06/4/2023.

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.