Ứng dụng điều khiển cưỡng bức động trong vòng điều khiển tốc độ cho hệ truyền động với ghép nối mềm

Applying forced dynamic control in speed controller for drive system with flexible joint

Trần Văn Thân, Đại học Trần Đại Nghĩa

E-mail: tranthanpkkq@gmail.com; tranthanvhp@gmail.com

Lê Trung Hòa, Học viện Phòng Không – Không Quân

E-mail: trunghoapkkq@gmail.com;

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này sẽ thực hiện việc ứng dụng lý thuyết điều khiển cưỡng bức động (*FDC*) trong vòng điều khiển tốc độ đối với hệ truyền động với ghép nối mềm. Sau phần giới thiệu ngắn gọn, bài báo sẽ đi mô tả về đối tượng nghiên cứu và phương trình toán học của nó, tiếp theo sẽ trình bày việc ứng dụng lý thuyết trên cũng như việc xây dựng cấu trúc điều khiển *FDC* cho hệ truyền động với ghép nối mềm. Kế tiếp nghiên cứu sẽ tiến hành đánh giá chất lượng điều khiển hệ thống thông qua kết quả mô phỏng trên phần mềm *Matlab & Simulink* và kiểm định trên đối tượng thực tại phòng thí nghiệm (*tại Viện máy đo lường và truyền động điện – khoa Điện – Đại học Bách khoa Wrocław – Ba Lan*). Cuối cùng là kết luận đồng thời định hướng ứng dụng của kết quả nghiên cứu trên vào trong thực tế.

Từ khóa

Điều khiển, cưỡng bức, ghép nối mềm, động, tốc độ.

Abstract

This paper presents the issue of applying forced dynamic control theory (FDC) in speed controller for drive system with flexible joint. Following the brief introduction, the paper affirms the research objectives and its mathematic equation. After that, it explains the above theory application as well as building up FDC for drive system with flexible joint. Subsequently, the authors assess the quality of system control using the simulation results shown on *Matlab & Simulink* software and verification on real objectives at the Laboratory (*Institute of Electrical Machines, Drives and Measurements, Faculty of Electrical, Wrocław University of Technology, Poland*). The conclusion and application orientation are at the end of the paper.

Key words

Control, forced, flexible joint, damping, dynamic, speed.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
ω_1, ω_2	[p.u]	Tốc độ động cơ, tốc độ tải
m_e	[p.u]	Mô men điện từ
m_s	[p.u]	Mô men xoắn trên trục ghép nối
m_L		Mô men tải tác động
T_1, T_2, T_c	[s]	Hằng số thời gian của cơ khí động cơ phát sinh truyền động, của máy công cụ (máy tải), và thành phần đàn hồi hệ thống (trục ghép nối)
ξ_r		Hệ số dao động tắt dần
ω_r		Tần số dao động cộng hưởng của mô hình

Chữ viết tắt

FDC	Forced Dynamic Control
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor

1. Phần mở đầu

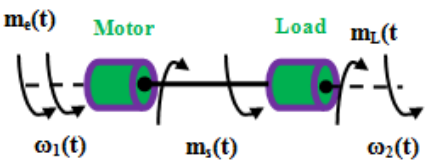
Điều khiển hệ thống truyền động ngày càng đòi hỏi yêu cầu cao hơn về đặc tính động, đặc tính động tốt đảm bảo cho hệ thống đáp ứng nhanh, giảm thời gian quá trình quá độ khi có sự thay đổi đột biến mô men tác động lên hệ truyền động. Với hệ thống truyền động với ghép nối mềm, vấn đề thiết kế khâu điều khiển làm việc ổn định, đạt các chỉ tiêu chất lượng tốt, đặc biệt là đáp ứng về đặc tính động đó yêu cầu hết sức cần thiết cho các nhà nghiên cứu và thiết kế hệ thống. Điều khiển hệ thống truyền động với ghép nối mềm được biết đến trong rất nhiều nghiên cứu với nhiều thuật toán điều khiển khác nhau như: điều khiển cổ điển (cấu trúc điều khiển *PI*, *PID*) [3], [7], các phương pháp điều khiển mới (điều khiển dự báo) [6], phương pháp mới dựa trên cấu trúc điều khiển thông minh (điều khiển mờ) [5], (điều khiển sử dụng mạng

nơ ron) [1]... Qua nghiên cứu các tài liệu chúng ta nhận thấy, tiếp cận với mỗi phương pháp thiết kế khâu điều khiển cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm, chúng đều có ưu và nhược điểm riêng, để đảm bảo khả năng đáp ứng tốt cho hệ thống trong quá trình động, trong bài báo này tác giả sẽ giới thiệu một phương pháp mới đó là việc ứng dụng lý thuyết điều khiển *FDC* cho việc thiết kế khâu điều khiển trong vòng điều khiển tốc độ đối với hệ thống truyền động với ghép nối mềm.

2. Nội dung chính

2.1. Mô hình toán đối tượng nghiên cứu

Mô hình đối tượng nghiên cứu là hệ thống truyền động với ghép nối mềm, trong các nghiên cứu hiện nay hệ thống truyền động này được biết đến với nhiều tên gọi khác nhau như: hệ thống truyền động hai khối (*two-mass system*) [6]; hệ truyền động với ghép nối đàn hồi [2]…. Những hệ thống điều khiển thông thường, không đòi hỏi đến độ chính xác điều khiển quá trình quá cao, chúng ta không tính đến hiện tượng mô men xoắn gây ra trên trục ghép nối giữa động cơ phát động và máy công cụ, nhưng trong những hệ thống yêu cầu đến tính chính xác cao trong quá trình điều khiển, đặc biệt là trong quá trình động (quá trình quá độ) chúng ta phải tính đến mô men xoắn gây ra trên trục ghép nối [3]. Khi tính đến mô men xoắn gây ra trên trục ghép nối, ảnh hưởng rất lớn đến quá trình điều khiển hệ thống truyền động với ghép nối mềm, trong nhiều trường hợp có thể dẫn đến mất ổn định hay nguy hiểm còn có thể gây ra dao động và dẫn tới phá hủy hệ thống. Hệ truyền động với ghép nối mềm về cơ bản có ba thành phần chính: thứ nhất (hay còn gọi khối thứ nhất) đó là động cơ điện gây ra truyền động cho hệ thống, chúng ta có thể sử dụng động cơ điện một chiều, xoay chiều, *PMSM*…; thành phần thứ hai (khối thứ hai) của hệ thống là máy công cụ hay có thể gọi là máy tải; thứ ba là trục ghép nối giữa hai khối này được đặc trưng bởi hiện tượng không cứng tuyệt đối. Sơ đồ vật lý hệ truyền động với ghép nối mềm thể hiện trên *hình 1*.



H. 1 *Sơ đồ vật lí hệ thống truyền động với ghép nối mềm*

Qua nghiên cứu [3] chúng ta nhận được hệ phương trình vi phân mô tả hệ thống truyền động với ghép nối mềm như sau (1) – (3):

$$T_1 \frac{dw_1(t)}{dt} = m_e(t) - m_s(t) \quad (1)$$

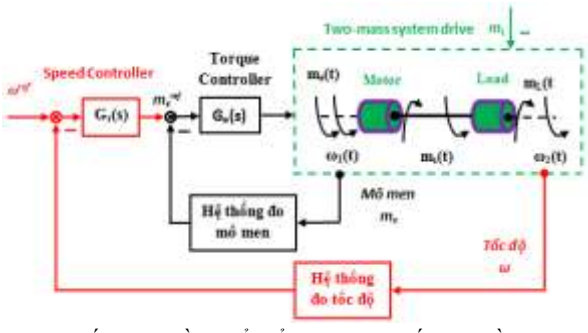
$$T_2 \frac{dw_2(t)}{dt} = m_s(t) - m_L(t) \quad (2)$$

$$T_c \frac{dm_s(t)}{dt} = w_1(t) - w_2(t) \quad (3)$$

Hệ thống đã được nghiên cứu trên phần mềm mô phỏng *Matlab & Simulink* và đặc biệt được kiểm nghiệm trên đối tượng thực ở phòng thí nghiệm [(*)] với các giá trị hằng số thời gian danh định là: $T_1 = T_2 = 203ms$ và $T_c = 2.6ms$.

2.2. Cấu trúc điều khiển tổng quát hệ thống truyền động với ghép nối mềm

Sơ đồ cấu trúc điều khiển cho hệ truyền động tổng quát, cũng như áp dụng riêng cho hệ truyền động với ghép nối mềm bao gồm hai vòng điều khiển chính được thể hiện trên *hình 2*. Vòng thứ nhất (bên trong, màu đen) là vòng điều khiển mô men, nó bao gồm khâu điều khiển mô men, hệ thống đo mô men phản hồi và các thiết bị tính toán. Tác dụng của vòng điều khiển này nhằm thiết lập giá trị mô men thích hợp cung cấp cho động cơ của hệ truyền động theo từng trạng thái làm việc, tuy nhiên vòng điều khiển này được xét ở một nghiên cứu khác. Trong nghiên cứu này chúng ta sẽ xét đến vòng điều khiển thứ hai, đó là vòng điều khiển tốc độ (vòng bên ngoài, màu đỏ), với vòng điều khiển tốc độ cho hệ truyền động chúng ta có thể sử dụng nhiều phương pháp điều khiển khác nhau như ứng dụng các thuật toán điều khiển *PI, PID*, mờ, mờ trượt… Để đảm bảo đặc tính động cho hệ thống, như đã nói ở trên nghiên cứu này với trọng tâm sẽ sử dụng điều khiển *FDC* cho vòng điều khiển tốc độ, những nội dung trọng tâm này sẽ được thể hiện ở phần tiếp theo của bài viết.

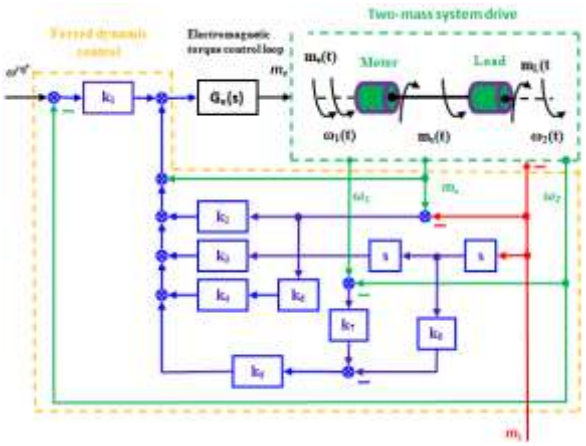


H. 2 *Cấu trúc điều khiển tổng quát hệ thống truyền động với ghép nối mềm*

2.3. Cấu trúc điều khiển động cưỡng bức cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm

Như đã nói trên, nghiên cứu này tác giả chỉ xét đến vòng điều khiển tốc độ, vòng điều khiển này ứng dụng thuật toán điều khiển *FDC* cho hệ truyền động

ghép nối mềm, sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển dạng này được thể hiện trên *hình 3*.



H. 3 *Cấu trúc điều khiển cưỡng bức động hệ thống truyền động với ghép nối mềm*

Ngoài các tín hiệu phản hồi về khâu điều khiển như tốc độ tải ω_2 về đầu vào khâu điều khiển, sai lệch tốc độ động cơ với tốc độ tải (ω_1-ω_2) qua hệ số k_7, k_5; mô men xoắn m_s phản hồi về đầu vào khâu điều khiển. Trên thực tế, vấn đề đo lường các tín hiệu như tốc độ động cơ ω_1, tốc độ tải ω_2 và đặc biệt mô men xoắn m_s rất khó khăn, tuy nhiên vấn đề này đã được giải quyết triệt để bởi các nghiên cứu [1], [2], [3], [11] về ước lượng các biến trạng thái cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm bằng các phương pháp "đo lường mềm", đảm bảo độ chính xác rất cao và giá thành rất rẻ. Luật điều khiển *FDC* phải mô tả phải được thiết lập dưới dạng phương trình động cho tín hiệu điều khiển đối tượng, các phương trình thể hiện tính chất động cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm mô tả như sau:

Vi phân cấp một (4-6):

$$\dot{w}_1 = \frac{1}{T_1}(m_e - m_s) \tag{4}$$

$$\dot{w}_2 = \frac{1}{T_2}(m_s - m_L) \tag{5}$$

$$\dot{m}_s = \frac{1}{T_c}(w_1 - w_2) \tag{6}$$

Những giá trị này lại được xem như những biến điều khiển của vi phân cấp tiếp theo:

$$\ddot{w}_2 = \frac{1}{T_2}(\dot{m}_s - \dot{m}_L) \tag{7}$$

Thế phương trình (6) vào phương trình (7) ta nhận được:

$$\dddot{w}_2 = \frac{1}{T_2}\left(\frac{1}{T_c}(w_1 - w_2) - \dot{m}_L\right) \tag{8}$$

Bởi vì trong phương trình (8) chưa có thành phần tín hiệu điều khiển mô men điện từ m_e, nên chúng ta tiếp tục tính vi phân cấp ba của tốc độ tải:

$$\ddddot{w}_2 = \frac{1}{T_2}\left(\frac{1}{T_c}(\dot{w}_1 - \dot{w}_2) - \ddot{m}_L\right) \tag{9}$$

Thế (4) và (5) vào phương trình (9) ta nhận được (10):

$$\ddddot{w}_2 = \frac{1}{T_2}\left(\frac{1}{T_c}\left(\frac{1}{T_1}(m_e - m_s) - \frac{1}{T_2}(m_s - m_L)\right) - \ddot{m}_L\right) \tag{10}$$

Trong phương trình (10) có sự tham gia của biến điều khiển mô men điện từ m_e, chính vì vậy nó đảm bảo để chúng ta xây dựng luật điều khiển cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm. Từ những hệ phương trình phân tích ở trên qua tính toán chúng ta nhận được phương trình điều khiển hệ thống như sau (11):

$$m_e = T_1T_2T_c w_r^3\left(w^{ref} - w_2\right) + T_1T_2^{-1}(m_s - m_L) + T_1T_c\ddot{m}_L + m_s + \ddot{w}_2T_1T_2T_c(2x_r w_r + w_r) + \ddot{w}_2T_1T_2T_c\left(2x_r w_r^2 + w_r^2\right) \tag{11}$$

Mặt khác tính toán theo sơ đồ cấu trúc điều khiển (trên *hình 3*) chúng ta nhận được phương trình điều khiển có dạng như sau (12):

$$m_e = k_1\left(w^{ref} - w_2\right) + k_2(m_s - m_L) + k_3\ddot{m}_L + m_s + k_4\ddot{w}_2 + k_5\dddot{w}_2 \tag{12}$$

Đồng nhất hệ số hai phương trình (11) với (12) chúng ta nhận được hệ phương trình mô tả khâu điều khiển *FDC* cho hệ truyền động ghép nối mềm như sau (13-20):

$$k_1 = T_1T_2T_c\omega_r^3 \tag{13}$$

$$k_2 = \frac{T_1}{T_2} \tag{14}$$

$$k_3 = T_1T_c \tag{15}$$

$$k_4 = T_1T_2T_c(2x_r w_r + w_r) \tag{16}$$

$$k_5 = T_1T_2T_c\left(2x_r w_r^2 + w_r^2\right) \tag{17}$$

$$k_6 = \frac{1}{T_2} \tag{18}$$

$$k_7 = \frac{1}{T_2T_C} \tag{19}$$

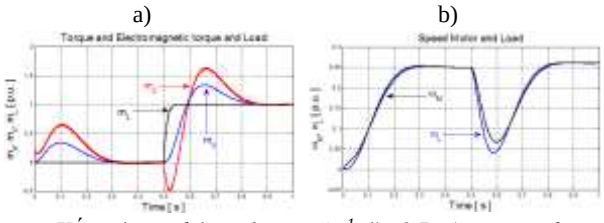
$$k_8 = \frac{1}{T_2} \tag{20}$$

Với các kết quả tính toán trên cho khâu điều khiển cưỡng bức động cho hệ thống truyền động với ghép

nối mềm, thay các kết quả đó vào mô hình xây dựng trên phần mềm *Matlab & Simulink* chúng ta nhận được kết quả mô phỏng thể hiện ở mục tiếp theo của nghiên cứu.

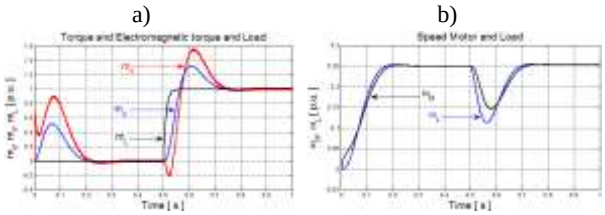
2.4. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Nhằm đánh giá chất lượng làm việc của khâu điều khiển *FDC* được thiết kế, trong mục này sẽ trình bày kết quả mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm trên đối tượng thực. Trên *hình 4* là kết quả mô phỏng cho trường hợp tần số dao động cộng hưởng $\omega_r=20s^{-1}$ và $\xi_r=0,7$, với trường hợp này, quan sát chúng ta nhận thấy mô men điện từ m_e (màu đỏ trên *hình 4a*) tăng chậm, đó chính là nguyên nhân chính dẫn đến quá trình quá độ kéo dài cho



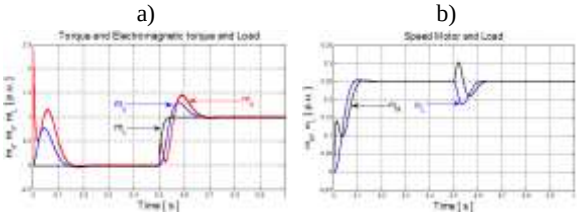
H. 4 *Kết quả mô phỏng với $\omega_r=20s^{-1}$, $\xi_r=0.7$. a) mô men điện từ (màu đỏ); mô men xoắn (màu xanh); mô men tải (màu đen), b) tốc độ động cơ (màu đen); tốc độ tải (màu xanh)*

biến tốc độ động cơ và tốc độ tải, cũng như bị ảnh hưởng khá lớn (giảm trị số tốc độ) khi có mô men tải tác động (thời điểm $t=0,5s$).Tiếp theo kết quả mô phỏng trên *hình 5* chúng ta tăng tần số đặt cho hệ thống $\omega_r=30s^{-1}$ và $\xi_r=0,7$, trong trường hợp này do mô men điện từ m_e có giá trị đủ lớn trong trạng thái động nên đã rút ngắn được thời gian quá trình quá độ cho hệ thống. Trong trạng thái có tác động của mô men tải ($t=0,5s$) tín hiệu tốc độ ít chịu ảnh hưởng của mô men tải (tốc độ giảm ít hơn trường hợp trên).



H. 5 *Kết quả mô phỏng với $\omega_r=30s^{-1}$, $\xi_r=0.7$. a) mô men điện từ (màu đỏ); mô men xoắn (màu xanh); mô men tải (màu đen), b) tốc độ động cơ (màu đen); tốc độ tải (màu xanh)*

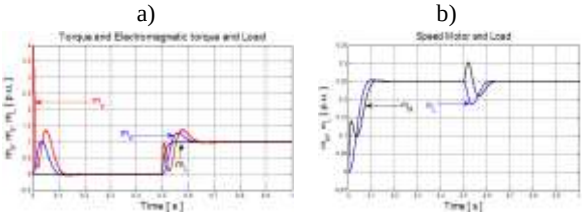
Kết quả mô phỏng trên *hình 6* và *hình 7* với sự tăng giá trị tần số đặt lần lượt cho khâu điều khiển là $\omega_r=45s^{-1}$ và $\omega_r=60s^{-1}$. Với những giá trị này, mô men điện từ tăng nhanh, có giá trị lớn trong trạng thái khởi động, chính sự đột biến quá nhanh của m_e dẫn đến tốc độ động cơ thăng giáng trong trạng thái này khá lớn, còn thời điểm có tác động của mô men tải thì tốc độ động cơ có xu hướng chống lại sự thay đổi của mô men tải.



H. 6 *Kết quả mô phỏng với $\omega_r=45s^{-1}$, $\xi_r=0.7$. a) mô men điện từ (màu đỏ); mô men xoắn (màu xanh); mô men tải (màu đen), b) tốc độ động cơ (màu đen); tốc độ tải (màu xanh)*

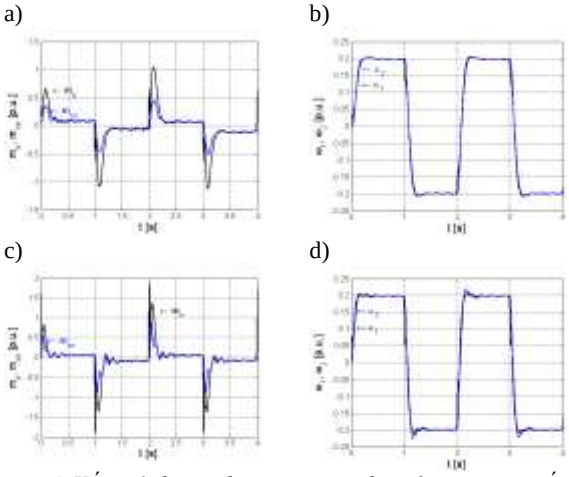
Với các kết quả mô phỏng ta nhận thấy, khâu điều khiển FDC làm việc tốt nhất ứng với trường hợp $\omega_r=30s^{-1}$ kết quả trên *hình 6*. Thử nghiệm mô phỏng được thực hiện với nhiều giá trị đặt của tần số khác nhau cho ta kết quả hệ thống làm việc tốt khi tần số đặt nằm trong khoảng $\omega_r=25s^{-1}$ đến $\omega_r=35s^{-1}$ hệ thống làm việc tốt nhất. Còn với trường hợp tần số đặt nhỏ hơn sẽ kéo dài thời gian quá trình quá độ cho hệ thống hay tăng cao tần số đặt sẽ dẫn đến hiện tượng mô men điện từ tăng quá cao trong trạng thái động, gây nên hiện tượng mất ổn định cho tốc độ động cơ.

Với các kết quả mô phỏng ở trên, khâu điều khiển *FDC* vừa thiết kế đã đảm bảo được đặc tính động cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm, tuy nhiên để nghiên cứu trên được sát thực tế, hệ thống thiết kế trên



H. 7 *Kết quả mô phỏng với $\omega_r=60s^{-1}$, $\xi_r=0.7$. a) mô men điện từ (màu đỏ); mô men xoắn (màu xanh); mô men tải (màu đen), b) tốc độ động cơ (màu đen); tốc độ tải (màu xanh)*

còn được kiểm nghiệm trên đối tượng thực tại phòng thí nghiệm [(*)]. Những kết quả này được thể hiện trên *hình 8*, với các giá trị tần số đặt là $\omega_r=27s^{-1}$ và $\omega_r=33s^{-1}$, hai giá trị đều cho chúng ta đặc tính điều khiển cho hệ thống ghép nối mềm tốt, hệ thống đảm bảo về thời gian quá trình quá độ ngắn, độ quá điều chỉnh nhỏ cũng như cho ta đặc tính động hệ thống trong các trạng thái hoạt động tốt. Khâu điều khiển *FDC* thiết kế được kiểm nghiệm làm việc ổn định với chất lượng điều khiển tốt trên cả đối tượng thực tại phòng thí nghiệm.



H. 8 *Kết quả thực nghiệm:mô men điện từ, mô men xoắn (a,c); tốc độ động cơ, tốc độ tải (b,d). Với* $\omega=27s^{-1}$, $\xi=0,7$ *(a,b),* $\omega_r=33s^{-1}$, $\xi_r=0,7$.

3. Kết luận

Qua nghiên cứu phân tích quá trình thiết kế khâu điều khiển *FDC* với sự đánh giá trên cơ sở kết quả nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm trên đối tượng thực có thể rút ra những kết luận sau:

Khâu điều khiển *FDC* đảm bảo đặc tính động rất tốt cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm, thiết kế và lựa chọn giá trị tham số đặt (tần số ω_r và hệ số dao động tắt dần ξ_r) thích hợp sẽ đảm bảo đặc tính và chất lượng điều khiển hệ thống rất tốt;

Những giá trị tham số đặt tốt nhất cho hệ thống truyền động với ghép nối mềm là tần số $\omega_r=30s^{-1}$ và hệ số dao động tắt dần $\xi_r=0,7$;

Chất lượng điều khiển hệ thống rất tốt trong thiết kế mô phỏng cũng như trên đối tượng thực, đây là cơ sở cho việc ứng dụng việc thiết kế khâu *FDC* cho những đối tượng điều khiển thực có tính đến hiện tượng ghép nối mềm trong các hệ thống truyền động trong thực tế như truyền động robot, truyền động anten quân sự, anten dẫn đường bay…/

H. 9 *Mô hình đối tượng nghiên cứu thực tại phòng thí nghiệm*

(*)Phòng thí nghiệm tại bộ môn Cơ điện tử và Tự động hóa công nghiệp – Viện Máy, Đo lường và Truyền động điện – Khoa Điện - Đại học Bách Khoa Wrocław – Cộng Hòa Ba Lan.

Tài liệu tham khảo

[1] Trần Văn Thân, Marcin Kamiński, Krzysztof Szabat, *Ứng dụng mô hình mờ nơ ron trong ước lượng biến trạng thái hệ thống truyền động điện với ghép nối đàn hồi,* Tạp chí Khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, trang *41-48.* Số *52, 2012*.

[2] Trần Văn Thân, Marcin Kamiński, Krzysztof Szabat., *Ước lượng các trạng thái không thể đo lường trong hệ truyền động điện với ghép nối đàn hồi sử dụng lô gic mờ cho khâu quan sát Luenberger*. Tạp chí Khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng, trang *79-84*. Số *66, 2013*.

[3] Trần Văn Thân., *Zastosowanie logiki rozmytej w estymatorach zmiennych stanu układu napędowego z połączeniem sprężystym.* Rozprawa doktorska (27.09.2013) Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Wrocław

[4] John H Lilly; *Fuzzy control and identification*; John Wiley & Sons, 4, October, 2010 – p.300

[5] Krzysztof Szabat., *Analiza układów sterowania napędu pradu stałego z połączeniem sprężystym z regulatorami klasycznymi i rozmytymi.* Rozprawa doktorska Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Wrocław (20.09.2003)

[6] Krzysztof Szabat., Serkies P., Cychowski M.; *Application of the MPC to the robust control of the two- mass drive system*; Industrial Electronics (ISIE) page(s): 1901 - 1906, IEEE International Symposium on Date of Conference: 27-30 June 2011; Conference Publications 2011.

[7] Krzysztof Szabat., *Struktury sterowania elektrycznych układów napędowych z połączeniem sprężystym.,* Praca naukowe instytutu Maszyny, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechnika Wrocławskiej., 2008

[8] Muszynski R., Deskur J., *Damping of Torsional Vibrations in High-Dynamic Industrial Drives*, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 57, no. 2, pp. 544-552, 2010.

[9] Marcin Cychowski, Member, IEEE, Krzysztof Szabat, and Teresa Orlowska-Kowalska, Senior Member, IEEE.; *Constrained model predictive control of the drive system with mechanical elasticity*.; IEEE transactions on industrial electronics, Vol. 56, No. 6, June 2009 1963

[10] Erenturk K., *Gray-fuzzy control of a nonlinear two-mass system,* Journal of the Franklin Institute, vol. 347, no. 7, pp. 1171-1185, 2010

[11] Tran Van Than., Krzysztof Szabat, Marcin Kamiński., *A Modified Fuzzy Luenberger Observer for a Two-Mass Drive System*., IEEE Transactions on Industrial Informatics. *2015, vol. 11, nr 2, p. 531-539*

Thông tin về tác giả

Trần Văn Thân sinh năm 1982 tại Hà Tĩnh, tốt nghiệp Đại học năm 2005 và bắt đầu làm trợ giảng rồi giảng viên tại Khoa Kỹ Thuật Cơ Sở - Học viện Phòng Không – Không Quân. Năm 2008 bắt đầu học Thạc sỹ và nghiên cứu sinh tại Đại Học Bách khoa Wrocław, Cộng hòa Ba Lan. Tới tháng 7 năm 2010 đã nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Tự động hóa và Robot tại Viện Máy, Đo lường và Truyền động điện – Khoa Điện – Đại học Bách Khoa Wrocław – Ba Lan, tháng 9 năm 2013 đã bảo vệ thành công luận án Tiến sĩ và nhận bằng Tiến sĩ tại đây.

Hiện nay Tiến sĩ Trần Văn Thân tham gia giảng dạy và nghiên cứu khoa học tại Khoa Kỹ Thuật Cơ Sở – Trường Sĩ Quan Kỹ Thuật Quân Sự (Đại học Trần Đại Nghĩa) và hợp tác nghiên cứu với nhóm nghiên cứu tại Viện Máy, Đo lường và Truyền động điện – Khoa Điện – Đại học Bách Khoa Wrocław – Ba Lan do GS, TSKH Krzysztof Szabat làm trưởng nhóm. Chú trọng quan tâm nghiên cứu tới các lĩnh vực như: Điều khiển hệ thống điện – cơ; hệ thống truyền động với ghép nối đàn hồi, điều khiển mờ, nơ ron; ước lượng tham số và biến trạng thái hệ thống truyền động điện.

Lê Trung Hòa sinh năm 1985 tại Hà Tĩnh, tốt nghiệp chuyên ngành Điều khiển Tên lửa và bắt đầu làm trợ giảng rồi giảng viên tại Khoa Tên Lửa – Học viện Phòng Không – Không Quân năm 2008, tới năm 2014 nhận bằng Kỹ sư chuyên ngành Điện – Điện tử tại Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự, Đại học Lê Quý Đôn.

Từ năm 2008 đến nay Kỹ sư Lê Trung Hòa làm giảng viên tại Bộ môn Binh khí Tên lửa C-125, Khoa Tên Lửa – Học viện Phòng Không – Không Quân. Lĩnh vực quan tâm: hệ thống truyền động điện, điều khiển cổ điển và thông minh.