

## THIẾT KẾ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU DESIGNING HYBRID FUZZY CONTROLLER FOR DC DRIVER SYSTEM

TS. TRẦN ANH DŨNG; ThS. PHẠM TUẤN ANH  
Khoa Điện- ĐTTB - Trường ĐHHH

### Tóm tắt

Bài viết này đề cập đến vấn đề xây dựng bộ điều khiển mờ lai trên Matlab-Simulink kết hợp với card PCI – 1711 của Advantech, trong đó các thông số của hệ truyền động điện De Lorenzo trang bị tại phòng thí nghiệm Truyền động điện (Khoa Điện – ĐTTB) được chỉnh định thời gian thực. Bộ điều khiển mờ lai tổng hợp được đã đáp ứng tốt các chỉ tiêu chất lượng điều khiển và đã khắc phục được những tồn tại mà bộ điều khiển PID truyền thống chưa đáp ứng được.

### Abstract

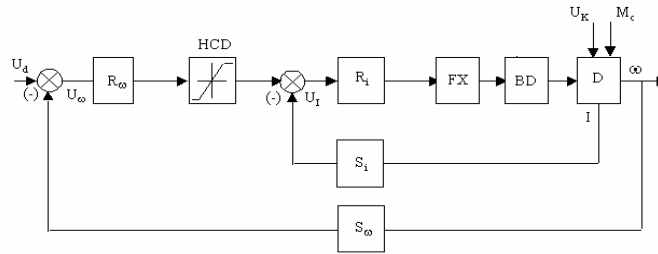
This paper touches upon about the method of designing a hybrid fuzzy logic controller on Matlab-Simulink with Advantech PCI – 1711 Card, in which the parameters of De Lorenzo DC driver system equipped at the electrical driver system LAB (The faculty of marine electric and electronic in VIMARU) are realtime adjusted. The hybrid fuzzy logic controller satisfies all the close loop control system's qualitative parameters and remove the defects of the PID controller.

### 1. Đối tượng nghiên cứu

Động cơ điện 1 chiều hiện nay vẫn đang được sử dụng rộng rãi trong sản xuất công nghiệp, nó được dùng trong các hệ truyền động điện có yêu cầu ổn định tốc độ cao như truyền động tay máy robot, CNC, cán thép, v.v... Về phương diện điều chỉnh tốc độ, động cơ điện một chiều có nhiều ưu việt hơn so với các loại động cơ khác, không những nó có khả năng điều chỉnh tốc độ một cách dễ dàng, mà cấu trúc mạch lực, mạch điều khiển đơn giản hơn đồng thời lại đạt chất lượng điều chỉnh cao trong dải điều chỉnh tốc độ rộng. Hệ truyền động điện một chiều của hãng De Lorenzo (Italy) được trang bị tại phòng thí nghiệm Truyền động điện của Khoa Điện-Điện tử tàu biển là đối tượng nghiên cứu chính của bài viết. Cấu trúc của hệ thống được thể hiện như trên hình 1. Động cơ điện một chiều DL1023P là loại kích từ độc lập có các thông số sau:  $P_{dm} = 1,1$  [kw];  $I_{dm} = 6,7$  [A];  $U_{dm} = 220$  [V];  $I_{kdm} = 0,3$  [A];  $U_{kdm} = 170$  [V];  $N_{dm} = 3000$  [kg/ph]. Tải động ở dạng phanh điện xoay có các thông số  $P_{dm} = 1,4$  [kw];  $U_{max} = 250$  [V];  $N_{max} = 4000$  [kg/ph]. Việc thiết kế bộ điều khiển tốc độ động cơ một chiều được thực hiện với cấu trúc như trên hình 2.



Hình 1. Hệ thống truyền động điện một chiều De Lorenzo trong PTN.



**Hình 2. Cấu trúc cascade khi thiết kế các bộ điều chỉnh dòng điện và tốc độ.**

- Đ: Động cơ điện một chiều kích từ độc lập;
- BĐ: Bộ biến đổi Tiristor cấp nguồn cho động cơ;
- FX: Bộ phát xung điều khiển góc mở của Tiristor;
- R<sub>i</sub>, R<sub>ω</sub>: Bộ điều chỉnh dòng điện và tốc độ;
- HCD: Khâu hạn chế dòng điện trong quá trình quá độ;
- S<sub>i</sub>: Cảm biến dòng điện;
- S<sub>ω</sub>: Cảm biến tốc độ;

U<sub>d</sub>: Điện áp đặt, ω: Tốc độ động cơ, M<sub>c</sub>: Mômen cản đóng vai trò là nhiễu chính tác động lên động cơ;

U<sub>k</sub>: Điện áp kích từ của động cơ.

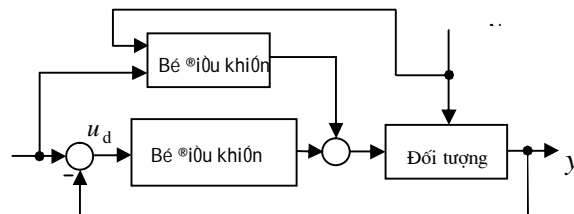
Thông thường, bộ điều chỉnh tốc độ có cấu trúc PI được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu đối xứng còn bộ điều chỉnh dòng được thiết kế theo tiêu chuẩn tối ưu module cho kết quả như sau:

Bộ điều chỉnh dòng điện	Bộ điều chỉnh tốc độ
$R_i(p) = \frac{R_u \cdot T_u}{2 \cdot K_{cl} \cdot K_i \cdot T_{si}} + \frac{R_u}{2 \cdot K_{cl} \cdot K_i \cdot T_{si}} \frac{1}{p}$	$R_\omega(p) = \frac{4 \cdot T_{s\omega} \cdot K_i \cdot K\varphi \cdot T_c}{R \cdot K_\omega \cdot 8 \cdot T_{s\omega}^2} + \frac{K_i \cdot K\varphi \cdot T_c}{R \cdot K_\omega \cdot 8 \cdot T_{s\omega}^2} \frac{1}{p}$

Các tham số tính toán được xác định từ mô hình hệ thống như sau:

T <sub>u</sub> = 0.1(s)	T <sub>c</sub> = 0,042	T <sub>i</sub> = T <sub>m</sub> = 0.005(s)	T <sub>vo</sub> = 0.0025(s)	T <sub>đk</sub> = 0.0025(s)
T <sub>si</sub> = T <sub>i</sub> + T <sub>vo</sub> + T <sub>đk</sub> = 0.005 + 0.0025 + 0.0025 = 0.01(s) << T <sub>u</sub>	T <sub>sm</sub> = 2 · T <sub>si</sub> + T <sub>m</sub> = 0.025 (s)	K <sub>cl</sub> = 30,3	K <sub>i</sub> = 0,25	K <sub>w</sub> = 1/105

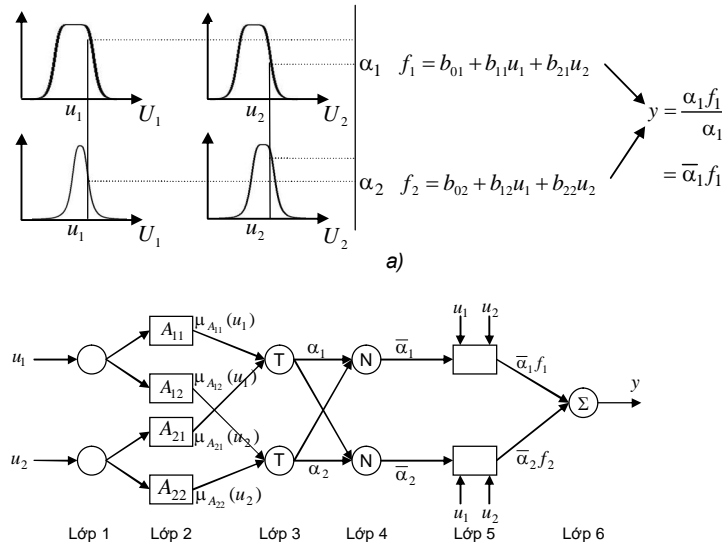
Bộ điều khiển kinh điển PID tổng hợp theo các tiêu chuẩn trên đã được chứng minh chặt chẽ về cơ sở lý thuyết. Tuy nhiên các số liệu tính toán được của bộ PID khi đưa vào đối tượng thực đã không cho chất lượng tốt, thậm chí có thể còn làm mất ổn định hệ thống (xem các kết quả thực nghiệm dưới đây). Điều đó dẫn đến việc phải đưa thêm vào hệ bộ điều khiển mờ (trong trường hợp này là bộ điều khiển mờ Sugeno) để nâng cao chất lượng điều khiển. Cấu trúc chung của bộ điều khiển mờ lai điều khiển tốc độ hệ truyền động điện 1 chiều có dạng như hình 3.



**Hình 3. Cấu trúc hệ mờ lai.**

Bộ điều khiển mờ đóng vai trò như một khâu bù nhiễu, tức là lấy chính nguyên nhân gây ra sai lệch điều khiển đưa về phân hồi, thông qua bộ điều khiển tác động lên đối tượng để bù lại sai lệch đó. Các bộ điều khiển PID và Sugeno đều được thiết kế làm việc trên thời gian thực.

**2. Nguyên lý điều khiển mờ Sugeno**

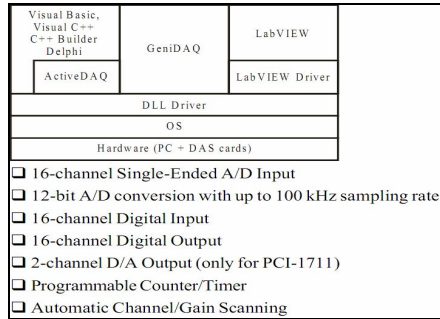


**Hình 4. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ với luật Sugeno**  
(a - Thuật giải mờ, b - Cấu trúc ANFIS).

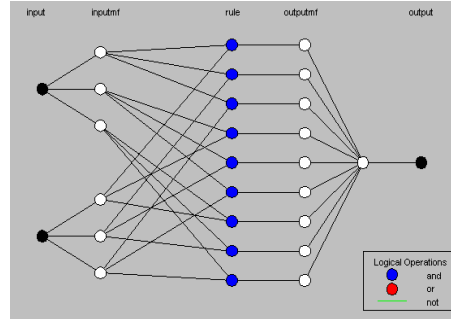
Bộ điều khiển mờ Sugeno là bộ điều khiển nằm trong nhóm nơ-ron-mờ, kết hợp các nguyên lý điều khiển mờ với mạng nơ-ron. Hệ nơ-ron-mờ vừa có ưu điểm của mạng nơ-ron (như khả năng huấn luyện, khả năng tối ưu hoá), vừa có những ưu điểm của hệ mờ (như khả năng suy nghĩ “nếu – thì”, khả năng tích hợp các kinh nghiệm điều khiển của con người). Cấu trúc của bộ điều khiển nơ-ron - mờ được trình bày ở hình 4. Mạng này tương ứng với phương án cấu trúc hệ nơ-ron- mờ với số lượng mệnh đề ẩn định (2 mệnh đề), nhỏ hơn số lượng lớn nhất có thể (4 mệnh đề). Mỗi một nút (nơ-ron) của mạng được đặc trưng bởi một hàm số. Các thông số của các nút này sẽ được chỉnh định bằng các phương pháp luyện thông số. Có thể xây dựng được mạng nơ-ron hoạt động tương đương bộ điều khiển mờ với luật Sugeno. Cấu trúc của mạng nơ-ron - mờ trên đây có thể được huấn luyện trên cơ sở thuật toán kép với việc sử dụng phương pháp lan truyền ngược và phương pháp sai số bình phương nhỏ nhất. Trong thời gian luyện thuận trên cơ sở phương pháp sai số bình phương nhỏ nhất chỉnh định các thông số của lớp 5 - các thông số kết luận của luật mờ. Trong thời gian luyện ngược trên cơ sở phương pháp lan truyền ngược chỉnh định các thông số của lớp 2 – các thông số của các hàm thuộc.

**3. Xây dựng chương trình điều khiển Realtime trên Matlab Simulink**

Chương trình điều khiển đối tượng thực trong chế độ thời gian thực (Realtime) được thực hiện trên Matlab-Simulink với công cụ *Real-Time Windows Target* kết hợp với card DAQ PCI – 1711 của hãng Advantech. Advantech cung cấp tập hợp thư viện DLL phong phú cho các phần mềm lập trình như Visual C, Visual Basic, Delphi, Borland C, WinCE và tương thích với các phần mềm hỗ trợ như: Matlab, Labview, Advantech ActiveDAQ, Advantech GeniDAQ (hình 5). Các tín hiệu từ các cảm biến được thu thập và xử lý thông qua khối AI, chương trình điều khiển tính toán theo các thuật toán và xác định giá trị của tín hiệu điều khiển được đưa ra khỏi AO để tác động lên đối tượng điều khiển bên ngoài. Tất cả quá trình trên được thực hiện trong chế độ thời gian thực. Cấu hình mạng của bộ điều khiển mờ Sugeno trong công cụ ANFIS được trình bày ở hình 6.



Hình 5. Tài nguyên card PCI – 1711.



Hình 6. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ Sugeno trong ANFIS.

Dữ liệu dùng để luyện bộ điều khiển mờ nhận được thông qua thực nghiệm theo cách như sau: ứng với từng giá trị của tín hiệu đặt tốc độ và mô men tải thì đầu ra của bộ điều khiển mờ phải tác động lên đối tượng một lượng là bao nhiêu để duy trì tốc độ của động cơ như giá trị đặt. Quá trình thực nghiệm trên đối tượng thực đưa ra bộ dữ liệu dùng để luyện như sau:

Giá trị đặt (Ud)	Mô men tải (Mc)	Đầu ra (Um)	Giá trị đặt (Ud)	Mô men tải (Mc)	Đầu ra (Um)	Giá trị đặt (Ud)	Mô men tải (Mc)	Đầu ra (Um)
0	0	0	1	2.06	0.55	2.5	0.06	0.3
0.5	0.03	0.1	1	2.95	0.68	2.5	0.28	0.35
0.5	0.22	0.18	1.5	0.05	0.2	2.5	0.98	0.45
0.5	0.82	0.28	1.5	0.28	0.25	2.5	2.08	0.63
0.5	1.71	0.45	1.5	1,0	0.38	2.5	0.06	0.3
0.5	2.21	0.55	1.5	2.13	0.58	2.5	3.27	0.83
1	0.05	0.15	1.5	3.15	0.75	2	0.98	0.42
1	0.26	0.2	2	0.06	0.23	2	2.11	0.62
1	0.95	0.35	2	0.29	0.29	2	3.18	0.8

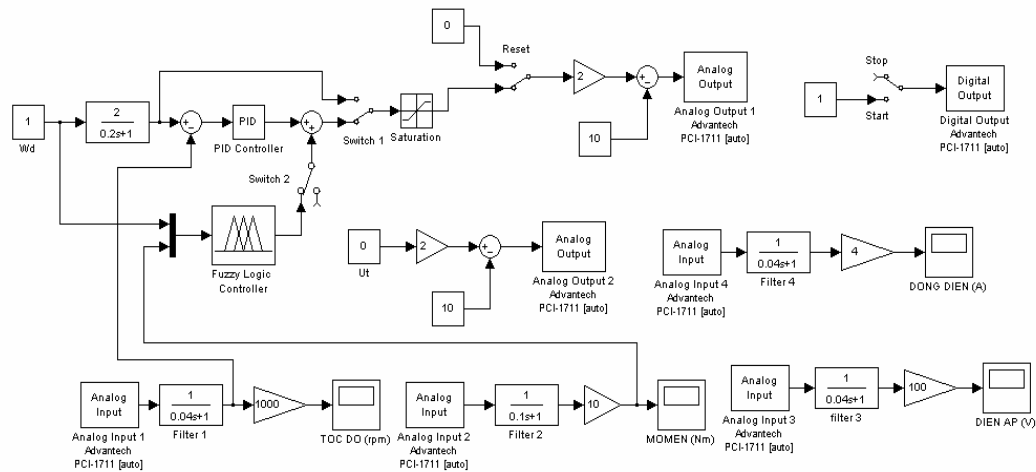
Bộ dữ liệu luyện cùng với cấu trúc mạng đưa ra ở trên được đưa vào công cụ luyện của ANFIS, hình ảnh của nó được trình bày ở hình 7. Chọn thuật toán kép để luyện (hybrid) và số lần luyện (Epochs), sau đó cho chạy quá trình luyện (Train Now). Kết quả luyện thông số của lớp 2 (tọa độ của các hàm thuộc hình tam giác) và lớp 5 (hệ số của các phương trình tuyến tính bậc nhất) được đưa ra lần lượt ở các bảng dưới đây:



Hình 7. Công cụ luyện của ANFIS.

$U_d$	$a$	$b$	$c$		$f$	$b_0$	$b_1$	$b_2$
N	-1.25	-0.0028	1.232		$f_1$	2.001	0.8334	0.0002
T	0.0073	1.248	2.494		$f_2$	0.2082	0.7762	-0.9975
L	1.258	2.501	3.75		$f_3$	-0.0777	0.604	-1.387
$M_c$	$a$	$b$	$c$		$f_4$	1.867	0.5674	-2.168
N	-1.635	-0.001	1.628		$f_5$	-0.0909	0.5144	-0.2869
T	0.0035	1.634	3.27		$f_6$	-0.0714	0.4727	-0.7169
L	1.636	3.27	4.905		$f_7$	1.932	0.6022	-4.547
					$f_8$	-0.1776	0.4469	0.177
					$f_9$	-0.1093	0.2434	0.3076

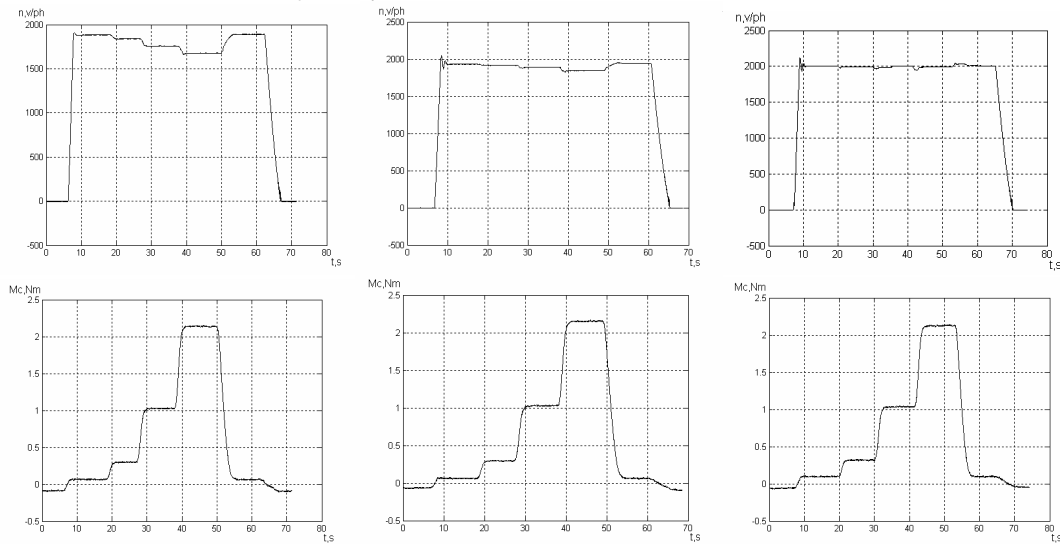
Từ những dữ liệu, cấu trúc thu được trên đây, ta tiến hành xây dựng chương trình điều khiển thời gian thực trong môi trường Matlab-Simulink như hình 8.



Hình 8. Hệ mờ lai điều khiển truyền động điện 1 chiều trong chế độ thời gian thực.

Hệ điều khiển trên làm việc trong chế độ thời gian thực với sự trợ giúp của card ghép nối Advantech PCI-1711. Như đã nói ở phần đầu của bài viết, bộ điều khiển PID tính toán cho đối tượng thực ở chương 1 khi đưa vào hệ điều khiển ở hình 8 đã không cho chất lượng điều khiển đạt yêu cầu. Cụ thể là khâu tích phân làm cho hệ mất ổn định, còn khâu tỉ lệ của bộ điều chỉnh tốc độ với hệ số  $p=2.81$  làm cho đặc tính quá độ của hệ dao động mạnh. Nguyên nhân của các hiện tượng trên là khi tính toán các bộ điều khiển PID, ta phải tuyến tính hoá đối tượng, nhiều yếu tố phi tuyến mạnh và không xác định đã bị bỏ qua. Trong hệ truyền động điện đang nghiên cứu, gia tốc của động cơ bị hạn chế mạnh do các yêu cầu về cơ học đưa ra bởi hãng sản xuất mà ta không thể can thiệp vào được. Điều đó dẫn đến mô hình toán của đối tượng thay đổi, tính tác động nhanh bị giới hạn mạnh. Do đó, việc cần thiết phải đưa vào hệ bộ điều khiển mờ để bù sai lệch điều khiển

thông qua tác động bù nhiễu tải và đã được kiểm nghiệm qua các kết quả thực nghiệm các chế độ làm việc khác nhau của hệ (hình 9).



**Hình 9. Kết quả thực nghiệm thời gian thực với tốc độ đặt là 2000 vg/ph.**

Trên hình 9 là các kết quả thực nghiệm các chế độ làm việc khác nhau trên mô hình thực được lấy ra từ các đồ thị của chương trình điều khiển ứng với tốc độ đặt là 2000 vg/ph, trong đó ở cột thứ nhất là đặc tính quá độ và xác lập khi khởi động, khi thay đổi tải và khi dừng của tốc độ (đồ thị ở trên) và mô men động cơ (đồ thị ở dưới) khi hệ thống làm việc ở chế độ mạch hở (không có phản hồi); ở cột thứ hai là đặc tính quá độ và xác lập khi khởi động, khi thay đổi tải và khi dừng của tốc độ (đồ thị ở trên) và mô men động cơ (đồ thị ở dưới) khi hệ thống làm việc ở chế độ điều khiển PID; ở cột thứ ba là đặc tính quá độ và xác lập khi khởi động, khi thay đổi tải và khi dừng của tốc độ (đồ thị ở trên) và mô men động cơ (đồ thị ở dưới) khi hệ thống làm việc ở chế độ điều khiển mờ lai.

**4. Kết luận**

Từ các kết quả thực nghiệm ta thấy rằng, ở chế độ mạch hở sai số tĩnh của hệ rất lớn khi tăng tải, điều này phù hợp với dạng đặc tính cơ của động cơ điện 1 chiều; ở chế độ điều khiển PID sai số tĩnh giảm so với chế độ mạch hở, tuy nhiên nó vẫn tồn tại tương đối đáng kể do không còn khâu tích phân trong bộ điều chỉnh; ở chế độ điều khiển mờ lai sai số tĩnh đã bị triệt tiêu, tốc độ động cơ được duy trì khi tải thay đổi tăng hoặc giảm ở các giá trị tốc độ đặt khác nhau. Trong điều khiển mờ lai, tính tác động nhanh của hệ không hề suy giảm do vẫn giữ lại bộ điều khiển PID, bên cạnh đó việc đưa vào bộ điều khiển mờ Sugeno đã làm tăng độ chính xác trong điều khiển lên đáng kể mà không cần khảo sát đến các yếu tố phi tuyến và các yếu tố không xác định khác của đối tượng. Ngoài ra, do tính chất có thể huấn luyện được của bộ điều khiển mờ Sugeno, chúng ta có thể nâng cao hơn nữa chất lượng điều khiển nếu thu thập được bộ dữ liệu hoàn thiện hơn trong quá trình làm việc của hệ thống.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn - *Điều chỉnh tự động truyền động điện* - Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà nội - 2002.  
 [2] Trần Anh Dũng - *Điều khiển nơ ron-mờ hệ điện-cơ phi tuyến có biến dạng đàn hồi* - Tạp chí khoa học - công nghệ hàng hải - 2008, số 15, tr. 18-23.  
 [3] Chin-Teng Lin, C. S. George Lee - *Neural Fuzzy Systems – A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems* - NJ.: Prentice-Hall International, Inc. - 1996.

**Người phản biện: TS. Trần Sinh Biên**