

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ ĐỂ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG GƯƠNG MẶT TRỜI

RESEARCH AND APPLICATION OF HEDGE ALGEBRA TO CONTROL THE SOLAR MIRROR SYSTEM

Trần Hữu Châu Giang¹, Lê Thành Bắc²

¹Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế; thcgiang@hueic.edu.vn

²Đại học Đà Nẵng; lethanhbac2012@yahoo.com

Tóm tắt - Nghiên cứu sử dụng và khai thác hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo nói chung, nguồn năng lượng mặt trời nói riêng có ý nghĩa thiết thực đến việc giảm biến đổi khí hậu và giảm sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng hóa thạch đang ngày càng cạn kiệt. Để điều khiển hướng gương mặt trời được tối ưu thì hệ thống gương phải tự điều chỉnh theo sự thay đổi hướng chiếu và tốc độ của nguồn sáng mặt trời. Công nghệ sử dụng các bộ điều khiển kinh điển còn gặp nhiều hạn chế trong hệ thống tự động điều chỉnh vị trí gương. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu phương pháp mới trong việc thiết kế bộ điều khiển, đó là ứng dụng đại số gia tử để đại số hóa ngôn ngữ của các tập mờ nhằm nâng cao chất lượng hệ thống điều khiển gương mặt trời.

Từ khóa - đại số gia tử (ĐSGT); logic mờ; năng lượng tái tạo; năng lượng mặt trời; gương mặt trời.

1. Đặt vấn đề

Năng lượng mặt trời - nguồn năng lượng sạch và tiềm tàng nhất đang được loài người đặc biệt quan tâm. Do đó việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả các thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời và triển khai ứng dụng vào thực tế là vấn đề có tính thời sự.

Hầu hết các hệ thống điều khiển gương mặt trời hiện nay là các hệ hở với 3 mô hình điều khiển phổ biến là: điều khiển tỷ lệ cố định, điều khiển bằng thuật toán Almeria (*Plataforma Solar de Almeria: PSA*), điều khiển thông minh bằng logic mờ. Trong mô hình điều khiển tỷ lệ cố định, biến tốc độ lập trình để xoay gương mặt trời có trị số không đổi theo sự chuyển động của mặt trời. Trong mô hình điều khiển PSA, thuật toán được xác định bằng các phương trình toán học dựa trên vị trí hiện tại của mặt trời. Trong cả hai mô hình trên, phản hồi vị trí được dùng như một tham số mẫu, tuy nhiên thực tế điều này không thật hợp lý trong bài toán điều khiển. Trong mô hình sử dụng bộ điều khiển logic mờ, dựa trên một thuật toán điều khiển thông minh để xác định các tín hiệu đầu ra là tốc độ động cơ truyền động; mô hình điều khiển này được dựa trên nền tảng với ba biến đầu vào là vị trí gương, nhiệt độ của chất lỏng khi nó chảy qua ống dẫn của bộ thu năng lượng khi mặt trời chiếu trực tiếp vào bộ thu, tốc độ gió và biến đầu ra là tốc độ động cơ. Tuy nhiên thời gian quá độ của các hệ thống điều khiển mờ kiểu này hiện nay còn khá lớn, cần thiết phải giảm nhỏ hơn [3, 5].

Logic mờ và lý thuyết mờ đang chiếm một vị trí rất quan trọng trong kỹ thuật điều khiển hiện đại. Nhưng với nhiều bài toán điều khiển đòi hỏi tính trật tự theo ngữ nghĩa của hệ luật điều khiển để giảm thời gian tính toán của vi điều khiển nhằm giảm thời gian quá độ thì điều khiển mờ lại chưa đáp ứng được [3]. Để khắc phục hạn chế này, bài báo nghiên cứu đề xuất ứng dụng lý thuyết đại số gia tử, là

Abstract - The research on effectively using and exploiting renewable energy sources in general and solar energy sources in particular has practical significance to reducing the climate change and dependence on fossil energy sources which are running out and causing environmental pollution. To operate efficiently, the solar mirror system must be self-adjusted to the change of projection direction and speed of the sun. Controlling technology based on conventional controllers still has many drawbacks in self-adjusting controlling system. The article presents a new approach in the design of the controller; that is using the algebraic language of fuzzy sets or hedge algebra to increase the quality of the solar mirror system.

Key words - hedge algebra (HA); fuzzy logic; renewable energy; solar energy; solar mirror system.

công cụ đảm bảo tính trật tự ngữ nghĩa để hỗ trợ cho logic mờ trong các bài toán suy luận nói chung và điều khiển mờ nói riêng nhằm nâng cao chất lượng điều khiển và giảm thời gian quá độ của hệ thống.

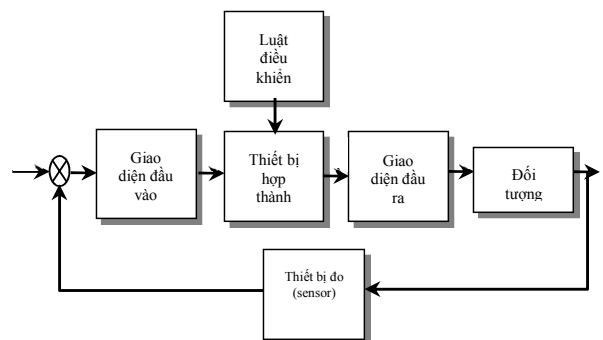
2. Thiết kế bộ điều khiển và mô phỏng hệ thống

2.1. Các bước thiết kế thuật toán điều khiển

2.1.1. Các bước thực hiện thuật toán điều khiển dùng logic mờ [1], [2]

Bước 1. Xác định biến vào, biến trạng thái và biến điều khiển (biến ra) và xác định tập nền của các biến.

Bước 2. Phân hoạch tập nền và gán nhãn ngôn ngữ cho mỗi tập mờ (mờ hoá).



Hình 1. Hệ kín, phản hồi âm và bộ điều khiển mờ

Bước 3. Xác định dạng hàm thuộc cho mỗi tập mờ.

Bước 4. Xây dựng quan hệ mờ giữa các tập mờ đầu vào, tập mờ trạng thái và tập mờ điều khiển tạo thành hệ luật điều khiển (bảng điều khiển trên cơ sở tri thức chuyên gia).

Bước 5. Giải bài toán lập luận xấp xỉ, xác định tập mờ đầu ra điều khiển theo từng luật (phép hợp thành).

Bước 6. Kết tăng các đầu ra điều khiển mờ.

Bước 7. Giải mờ, xác định giá trị điều khiển thực.

2.1.2. Các bước thực hiện thuật toán điều khiển dùng đại số gia tử [3, 6]

Bước 1. Xác định biến vào, biến trạng thái và biến điều khiển (biến ra) và xác định khoảng làm việc của các biến. Xác định các điều kiện tính toán (chọn các bộ tham số tính toán của đại số gia tử).

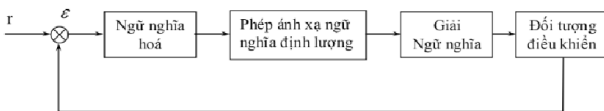
Bước 2. Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa của biến đầu vào, biến trạng thái và biến điều khiển (áp các giá trị lên các khoảng làm việc của các biến).

Bước 3. (Tương đương với bước 3 và 4 mục 2.1.1.) Chuyển luật điều khiển mờ sang luật điều khiển với các tham số ngữ nghĩa định lượng của đại số gia tử.

Bước 4. (Tương đương với bước 5 mục 2.1.1.) Giải bài toán lập luận xấp xỉ trên cơ sở đại số gia tử để xác định ngữ nghĩa định lượng của điều khiển, trạng thái.

Bước 5. (Tương đương với bước 6 mục 2.1.1.) Từ các giá trị ngữ nghĩa định lượng của điều khiển và trạng thái xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng.

Bước 6. (Tương đương với bước 7 mục 2.1.1.) Trên cơ sở điều kiện ban đầu và đường cong ngữ nghĩa định lượng, giải bài toán nội suy đường cong ngữ nghĩa định lượng để xác định giá trị điều khiển thực.



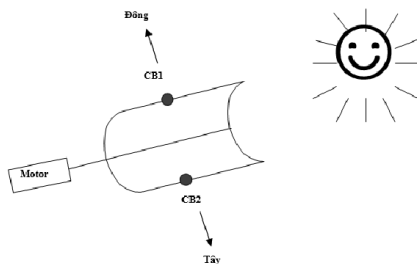
Hình 2. Bộ điều khiển dựa trên đại số gia tử

2.2. Thiết kế hệ thống điều khiển

2.2.1. Mô hình toán học của hệ thống [4]

a. Sensor và chuẩn hóa tín hiệu

Bộ nhận ánh sáng mặt trời bao gồm 2 cảm biến ánh sáng được lắp đặt trên các tấm gương mặt trời. Mỗi cảm biến được đặt trong 1 ống hình trụ như Hình 3:



Hình 3. Vị trí bộ nhận ánh sáng mặt trời

Các cảm biến CB₁ và CB₂ được bố trí để bám theo chuyển động của mặt trời. Tín hiệu đầu ra của mỗi cảm biến và cặp cảm biến CB₁-CB₂ được liên kết với một bộ khuếch đại vi sai. Các điện áp đầu ra Ch tương ứng với các sai lệch so với điện áp đặt U₀. Chúng xác định các đáp ứng phản hồi được sử dụng làm các biến đầu vào cho bộ điều khiển để tạo ra các đại lượng điều khiển theo mong muốn. Từ đó điều khiển tốc độ và hướng cho động cơ một chiều thích hợp.

$$Ch = \frac{R_2}{R_1} (U_{s2} - U_{s1}) + U_0 \quad (1)$$

Trong đó:

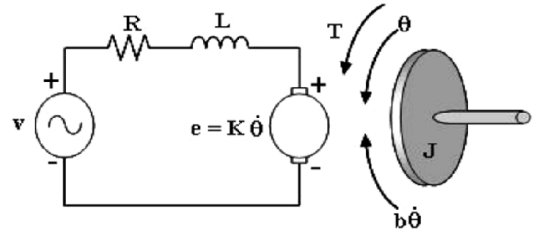
Ch: điện áp mạch đầu vào vi điều khiển;

U_{s1}, U_{s2}: điện áp đầu ra CB₁, CB₂;

Điện áp đặt U₀ được thêm vào để phù hợp với cấp làm việc của vi xử lý.

b. Cơ cấu chấp hành

Bộ điều khiển được đặc trưng bởi sơ đồ nguyên lý trên Hình 2 và mô hình cơ cấu Hình 4:



Hình 4. Mô hình động cơ 1 chiều

Phương trình vi phân mô hình hóa động cơ điện 1 chiều là:

$$J \left(\frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} \right) + B \left(\frac{d\theta(t)}{dt} \right) = K i(t)$$

$$L \left(\frac{di(t)}{dt} \right) + R i(t) = v(t) - K \left(\frac{d\theta(t)}{dt} \right)$$

Tính với các thông số hệ cụ thể [3]:

J = 0,01 kgm²/s² : Momen quán tính;

B = 0,1 Nms: Momen ma sát;

K = 0,01 Nm/Amp: Lực điện động;

R = 1 Ω: Điện trở mạch phản ứng;

L = 0,5 H: Điện cảm phản ứng.

Ta có hàm truyền của đối tượng [4]:

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s \cdot [LJs^2 + (LB + RJ) \cdot s + BR + K^2]} \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow LJ \cdot s^3 \cdot \theta(s) + (LB + RJ) \cdot s^2 \theta(s) + (BR + K^2) \cdot s \cdot \theta(s) = K V(s)$$

Thay các thông số hệ trên vào (2) ta được hàm truyền của đối tượng:

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0,01}{(0,005s^2 + 0,06s + 0,1001)s}$$

$$= \frac{0,01}{s} \cdot \frac{1}{0,005s^2 + 0,06s + 0,1001} \quad (3)$$

2.2.2. Thiết kế hệ thống sử dụng bộ điều khiển mờ

a. Định nghĩa các biến vào ra

Bộ điều khiển mờ gồm có hai đầu vào và một đầu ra:

- Đầu vào thứ 1 là điện áp đặt vào bộ điều khiển, đại lượng này được ký hiệu là Ch.

- Đầu vào thứ 2 là đạo hàm của đầu vào thứ nhất, đại lượng này được ký hiệu là dCh.

- Đầu ra của bộ điều khiển mờ là giá trị điện áp một chiều, đại lượng này được ký hiệu là U.

b. Định nghĩa tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho các biến vào ra

Điện áp vào Ch được chọn trong miền giá trị [-1,+1] V;

Đạo hàm dCh có miền giá trị nằm trong khoảng: [-1,2; +1,2] V;

Điện áp một chiều U nằm trong khoảng: $[-4,286, +4,286]$ V;

Âm nhiều NB;

Âm vừa NM;

Âm ít NS;

Không ZE;

Dương ít PS;

Dương vừa PM;

Dương nhiều PB.

Với những ký hiệu như trên thì miền xác định ngôn ngữ của các biến vào là:

$Ch \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

$dCh \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

Bộ điều khiển mờ được khi thiết kế theo mô hình mờ của Sugeno bậc "0" nên biến ra của nó có dạng các hằng số như sau:

$U \in \{-4.286, -2.857, -1.429, 0, 1.429, 2.857, 4.286\}$

Tương ứng là:

$U \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

Ở đây ta chọn các hàm liên thuộc đầu vào hình tam giác, đầu ra là hằng số.

c. Xây dựng các luật điều khiển

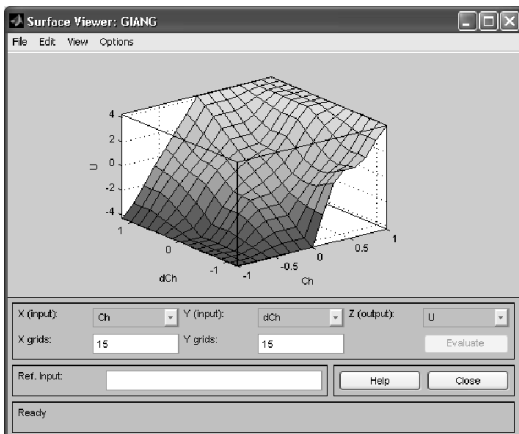
Theo kinh nghiệm thiết kế, các luật điều khiển được xây dựng theo bảng 1, tổng cộng có 49 luật điều khiển:

Bảng 1. Luật điều khiển mờ

U_{dk}		Ch						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
dCh	NB	NB	NB	NB	NB	NS	PS	PB
	NM	NB	NB	NM	NM	ZE	PS	PB
	NS	NB	NB	NS	NS	ZE	PM	PB
	ZE	NB	NB	NS	ZE	PS	PB	PB
	PS	NB	NM	ZE	PS	PS	PB	PB
	PM	NB	NS	ZE	PM	PM	PB	PB
	PB	NB	NS	PS	PB	PB	PB	PB

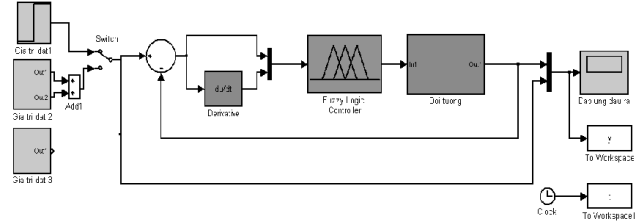
d. Chọn thiết bị hợp thành và nguyên lý giải mờ

Triển khai luật hợp thành và tổng hợp các giá trị mờ, thiết bị hợp thành ta chọn theo nguyên tắc Prod – Probor. Chọn giải mờ theo phương pháp Wtaver [2].

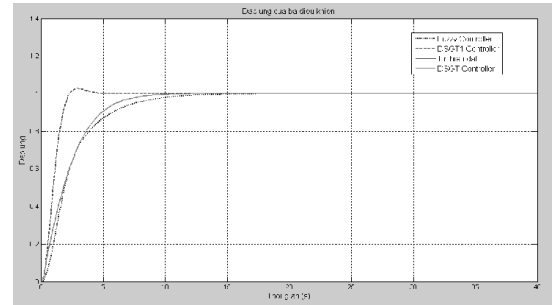


Hình 5. Bề mặt đặc trưng cho quan hệ vào ra của bộ điều khiển mờ

e. Sơ đồ cấu trúc và kết quả mô phỏng



Hình 6. Sơ đồ cấu trúc của bộ điều khiển mờ động



Hình 7. Đáp ứng của các bộ điều khiển khi tín hiệu đặt có dạng $1(t)$

2.2.3. Thiết kế bộ điều khiển Đại số gia tử có $\alpha = \beta$ (α và β là 2 điểm chia bán kính mờ $[4,5]$)

Bước 1. Chọn bộ tham số tính toán:

$G = \{0, Small, W, Large, 1\};$

$H = \{Little\} = \{h_{-1}\}; q = 1;$

$H^+ = \{Very\} = \{h_1\}; p = 1;$

$fm(Small) = \theta = 0,5;$

$\mu(Very) = \mu(h_1) = 0,5; \mu(Little) = \mu(h_{-1}) = 0,5.$

Như vậy: $\alpha = \beta = 0,5;$

$fm(Large) = 1 - fm(Small) = 1 - 0,5 = 0,5.$

Bước 2. Chuyển các nhãn ngôn ngữ sang các nhãn ngôn ngữ trong đại số gia tử cho ba biến như sau:

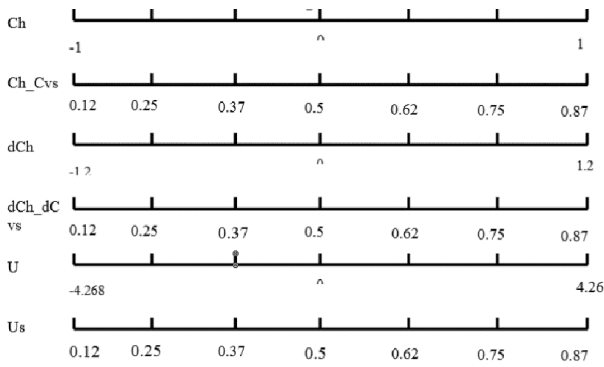
Đối với biến đầu vào Ch, dCh, biến đầu ra U:

$NB \Rightarrow Small$
 $NM \Rightarrow Little \ Small$
 $NS \Rightarrow Very \ Small$
 $ZE \Rightarrow W$
 $PS \Rightarrow Large$
 $PM \Rightarrow Little \ Large$
 $PB \Rightarrow Very \ Large$

Bước 3. Dùng hàm định lượng ngữ nghĩa trong ĐSGT đã xác định tại Bước 1, chuyển bảng FAM (Fuzzy Associative Memory) sang bảng SAM (Semantization Association Memory) (Bảng 2).

Bảng 2. SAM (Semantization Association Memory)

C_h	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875
dC_h							
0,125				0,125			
0,375				0,25			
0,25				0,375			
0,5	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875
0,625				0,625			
0,75				0,75			
0,875				0,875			

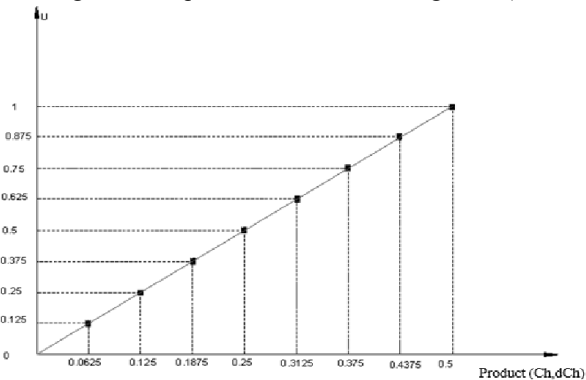
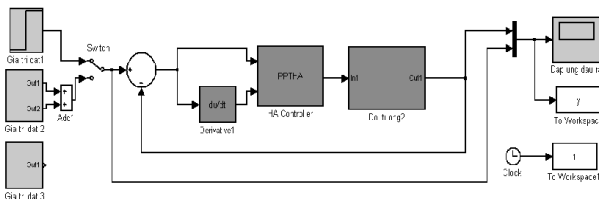
Bước 4. Ngữ nghĩa hóa và giải nghĩa**Hình 8.** Chuyển tuyến tính cho các biến Ch , dCh , U **Bước 5. Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng**

Trước hết, từ các giá trị trong Bảng 2, sử dụng phép tích hợp các thành phần là phép lấy *Product*, tức là phép AND trong các mệnh đề điều kiện của các luật chính là phép lấy *Product*, ta tính toán được tọa độ các điểm trong mặt phẳng thực (Bảng 3). Sau đó là việc xác định đường cong thực từ các điểm.

Bảng 3 Tọa độ các điểm trong mặt phẳng thực

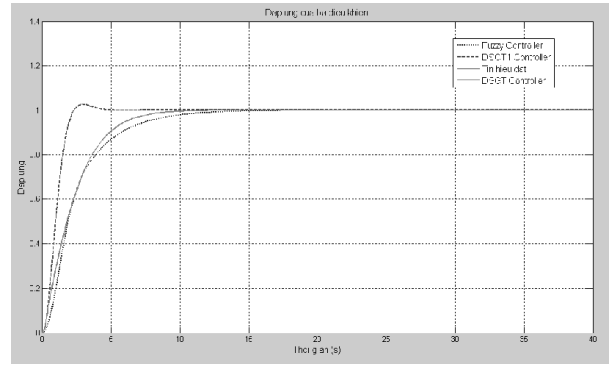
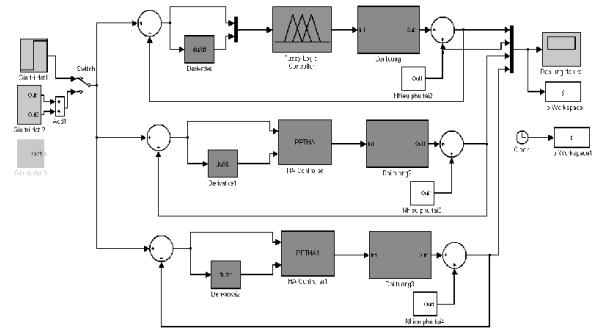
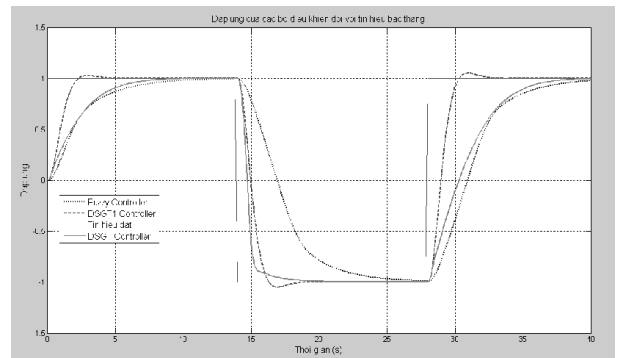
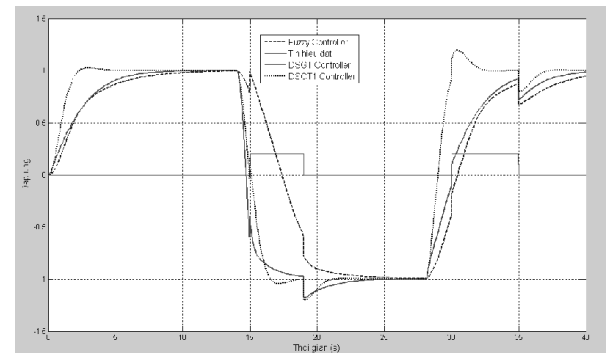
Hoành độ: $Product(Ch, dCh)$	Tung độ U
$Product(0.5; 0) = 0$	0
$Product(0.5; 0.125) = 0.0625$	0.125
$Product(0.5; 0.25) = 0.125$	0.25
$Product(0.5; 0.375) = 0.1875$	0.375
$Product(0.5; 0.5) = 0.25$	0.5
$Product(0.5; 0.625) = 0.3125$	0.625
$Product(0.5; 0.75) = 0.375$	0.75
$Product(0.5; 0.875) = 0.4375$	0.875
$Product(0.5; 1) = 0.5$	1

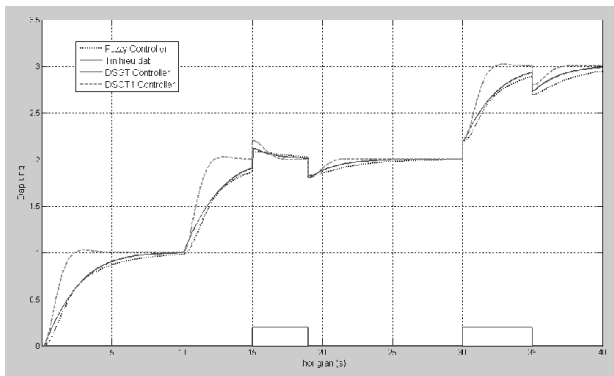
Đường cong ngữ nghĩa định lượng là đường cong tuyến tính từng khúc đi qua các luật - điểm trung bình (Hình 9).

**Hình 9.** Đường cong ngữ nghĩa định lượng**Hình 10.** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển Đại số gia tử

Chúng tôi tiến hành thay đổi giá trị của α , β . Sau đó

tiến hành mô phỏng và nhận thấy bộ điều khiển Đại số gia tử có $\alpha = 0,4$, $\beta = 0,6$ cho kết quả tốt nhất.

**Hình 11.** Đáp ứng của các bộ điều khiển khi tín hiệu đặt có dạng 1(t)**2.3. Kết quả mô phỏng đáp ứng hệ thống với 3 bộ điều khiển: mờ, ĐSGT ($\alpha=\beta$) và ĐSGT 1 ($\alpha\neq\beta$)****Hình 12.** Sơ đồ mô phỏng 3 bộ điều khiển khi có nhiều phụ tải**Hình 13.** Đáp ứng của các bộ điều khiển khi tín hiệu đặt có dạng xung vuông**Hình 14.** Đáp ứng của các bộ điều khiển khi tín hiệu đặt có dạng xung vuông và có nhiều phụ tải



Hình 15. Đáp ứng của các bộ điều khiển khi tín hiệu đặt có dạng bậc thang và có nhiễu phụ tải

3. Đánh giá kết quả và thảo luận

Với bộ điều khiển mờ, khi thông số của đối tượng như trên, thiết kế bộ điều khiển mờ động PD theo mô hình Sugeno bậc không hai đầu vào (đầu vào thứ hai là đạo hàm của đầu vào thứ nhất) và một đầu ra. Kết quả mô phỏng đáp ứng step khá tốt, cụ thể sai lệch tĩnh bằng không, thời gian quá độ bằng khoảng 12 (s).

Kết quả khảo sát nhiễu phụ tải, và thay đổi các giá trị đặt khác nhau, tương ứng tín hiệu vào step; tín hiệu bậc thang... đáp ứng của bộ điều khiển mờ tương đối tốt, thời gian đáp ứng khoảng 10 (s) sau khi có tín hiệu áp đặt vào mạch vòng điều khiển. Đối với tín hiệu nhiễu phụ tải có dạng xung vuông có biên độ vào khoảng 20% điện áp đặt, thì thời gian triệt tiêu được nhiễu phụ tải khoảng 12(s).

Đối với bộ điều khiển Đại số gia tử, thiết kế theo 2 cách: cách 1 cho $\alpha = \beta$ và cách 2 cho $\alpha \neq \beta$. Qua quá trình khảo sát thực nghiệm trên máy tính với các tín hiệu đặt khác nhau, dựa trên kết quả đánh giá các tiêu chí thời gian đáp ứng, độ quá điều chỉnh, thời gian triệt tiêu nhiễu phụ tải với sự tăng giảm α và β khác nhau, kết quả mô phỏng cho thấy $\alpha = 0,4$, $\beta = 0,6$ cho kết quả khả quan nhất. Với độ quá điều chỉnh là 4,3%, thời gian đáp ứng quá độ là 5(s) và sai lệch tĩnh bằng không.

Ở đây chúng tôi đưa ra phương pháp thiết kế bộ điều khiển mới dựa trên phương pháp luận xấp xỉ trong Đại số gia tử, xây dựng thành công một modul S – funtions dành

riêng cho lập trình bộ điều khiển ĐSGT dựa trên phần mềm chuyên dụng Matlab.

Kết quả khảo sát khi có nhiễu phụ tải và thay đổi các giá trị đặt khác nhau, tương ứng tín hiệu vào step, tín hiệu bậc thang,... chúng tôi nhận thấy đáp ứng của bộ điều khiển ĐSGT 1 tương đối tốt, thời gian đáp ứng khoảng 5 (s) sau khi có tín hiệu áp đặt vào mạch vòng điều khiển. Đối với tín hiệu nhiễu phụ tải có dạng xung vuông có biên độ vào khoảng 20% điện áp đặt, thì thời gian triệt tiêu hoàn toàn được nhiễu phụ tải vào khoảng 5 (s).

4. Kết luận

Các kết quả nhận được cho thấy nghiên cứu ứng dụng đại số gia tử để đại số hóa ngôn ngữ của các tập mờ, kết nhập các giá trị định lượng ngữ nghĩa trong việc thiết kế bộ điều khiển gương mặt trời đã góp phần nâng cao chất lượng điều khiển. Bộ điều khiển gương mặt trời thiết kế trên cơ sở của Đại số gia tử đã giảm độ phức tạp của thuật toán, giảm khối lượng tính toán so với bộ điều khiển mờ nên dẫn đến giảm thời gian quá độ hệ thống. Các kết quả mô phỏng nhận được cho thấy phương pháp điều khiển này đáp ứng khá tốt với các tín hiệu đầu vào khác nhau, kể cả khi có các tín hiệu nhiễu. Hướng nghiên cứu này góp phần mở ra khả năng ứng dụng lý thuyết đại số gia tử trong việc thiết kế hệ thống điều khiển quay gương mặt trời nói riêng, các hệ thống tự động trong công nghiệp nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Xuân Minh & Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển mờ*, NXB KH & KT, 2004.
- [2] Vũ Như Lân, *Điều khiển sử dụng logic mờ, mạng nơron và đại số gia tử*, NXB KH & KT, 2006.
- [3] Đinh Việt Cường CH-K9, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, ngành tự động hoá, *Nghiên cứu ứng dụng logic mờ và đại số gia tử cho bài toán điều khiển*, 2009.
- [4] Trần Hữu Châu Giang, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, ngành tự động hoá, *Nghiên cứu ứng dụng Đại số gia tử để điều khiển hệ thống gương mặt trời*, 2010.
- [5] Ming Qu, David H.Archer and Sophie V.Masson, *A Linear Parabolic Trough Solar Collector Performance Model, Renewable Energy Resources and a Greener Future*, Vol.VIII-3-3.
- [6] Nguyen Cat Ho and W.Weichler, Extended hedge algebras and their application to fuzzy logic, *Fuzzy sets and Ssystems* 52, 1992, 259-281.

(BBT nhận bài: 03/01/2015, phản biện xong: 15/01/2015)