

## MÔ PHỎNG BẮM SÁT ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI DÀN PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI DỰA TRÊN ĐIỀU KHIỂN MỜ

Simulation of Maximum Power Point Tracking for Solar Cells Based on Fuzzy Control

Nguyễn Việt Ngự<sup>1,2</sup>✉, WANG Hong-hua<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Trường<sup>1,3</sup>,  
Võ Văn Nam<sup>3</sup>, Lê Thị Minh Tâm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Viện Năng lượng và công trình điện, Trường Đại học Hà Hải, Nam Kinh, Trung Quốc (College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P.R.China)

<sup>2</sup> Khoa Điện và Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, Việt Nam (Electrical and electronic department Hung Yen University of Technology and Education, Vietnam)

<sup>3</sup> Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội, Việt Nam (Hanoi University of Agriculture, Hanoi city, Vietnam)

✉ Địa chỉ email tác giả liên lạc: [ngunguyenviet@yahoo.com](mailto:ngunguyenviet@yahoo.com)

Ngày gửi đăng (Received date): 15.9.2010; Ngày chấp nhận (Accepted date): 18.3.2011

### TÓM TẮT

Việt Nam nằm trong khu vực có cường độ ánh sáng mặt trời trung bình khá cao, có nhiều lợi thế sử dụng năng lượng mặt trời. Đây là nguồn năng lượng sạch, thân thiện với môi trường, trữ lượng gần như vô tận, đã và đang được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của sản xuất và đời sống. Năng lượng mặt trời có thể sử dụng trực tiếp ở dạng nhiệt hoặc chuyển đổi thành năng lượng điện nhờ pin năng lượng mặt trời. Mặc dù có nhiều ưu điểm, nhưng dàn pin năng lượng mặt trời lại phụ thuộc nhiều vào cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi trường. Vì vậy, vấn đề bảo đảm dàn pin năng lượng mặt trời luôn làm việc bám sát điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking) được nhiều người quan tâm. Bài báo này trình bày đặc tính công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời, xây dựng mô hình mô phỏng bám sát điểm công suất cực đại của dàn pin năng lượng mặt trời dựa trên điều khiển mờ.

Từ khóa: Bám sát công suất cực đại, cường độ ánh sáng mặt trời, điều khiển mờ, nhiệt độ môi trường, pin năng lượng mặt trời.

### SUMMARY

Vietnam is located in Southeast Asia having high sunlight intensity in average and advantages to use solar energy. Solar energy, a clean and sustainable energy resource and environment friendly, has been studied and applied in many fields of life. Solar energy can be used directly as a heat source or converted to electricity by solar cells. Although of its advantages, the solar energy depends a lot on sunlight intensity and ambient temperature. Adjustment the solar cells how to work at maximum power point tracking (MPPT) is one of the issues of great interest. This paper presents characteristics of the power output and simulation model of MPPT for solar cells based on fuzzy control.

Key words: Environmental temperature, fuzzy control, light intensity, maximum power point tracking (MPPT), solar cell.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời phụ thuộc vào cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi trường (Nguyễn Văn Đường, 2005). Ở điều kiện cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi

trường biến đổi thì điện áp và công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời có quan hệ phi tuyến tính và chỉ có duy nhất một điểm công suất cực đại. Mục tiêu của MPPT là điều khiển dàn pin năng lượng mặt trời luôn làm việc ở điểm công suất cực đại khi cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi

trường biến đổi. Có nhiều phương pháp MPPT như: phương pháp ổn định điện áp, phương pháp quan sát dao động nhiễu, phương pháp tăng lượng điện dẫn, phương pháp tối ưu Gradient, phương pháp điều khiển mờ và phương pháp mạng nơon nhân tạo, v.v... Bài báo giới thiệu kết quả đặc tính công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời, mô phỏng bằng Matlab Simulink /Power System và áp dụng phương pháp quan sát dao động dựa trên điều khiển mờ để thực hiện MPPT của dàn pin năng lượng mặt trời. Kết quả mô phỏng của bài báo cho thấy, dàn pin năng lượng mặt trời luôn làm việc MPPT ( $P_m = 55 \text{ W}$ ) khi điều kiện môi trường bên ngoài thay đổi.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Từ cơ sở lí thuyết của dàn pin năng lượng mặt trời và hệ thống phát điện năng lượng mặt trời kết hợp với phần mềm Matlab/Simulink thiết lập mô hình mô phỏng, xác định đường đặc tính của dàn pin năng lượng mặt trời và đặc tính của phương pháp điều khiển bám sát điểm công suất cực đại dàn pin năng lượng mặt trời.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xây dựng mô hình và mô phỏng dàn pin năng lượng mặt trời

#### 3.1.1. Xây dựng mô hình dàn pin năng lượng mặt trời

Pin năng lượng mặt trời (hay pin quang điện), là thiết bị bán dẫn chứa lượng lớn các diod  $p-n$ , có khả năng chuyển đổi năng lượng

ánh sáng mặt trời thành năng lượng điện. Đặc tính cơ bản của pin năng lượng mặt trời gần giống với diod  $p-n$ .

Mạch điện tương đương của dàn pin năng lượng mặt trời theo Zhao zheng Ming, Liu Jian Zheng, Sun Xiao Ying (2005) và Li Ji Yong (2010) được thể hiện ở hình 1.

Từ sơ đồ mạch điện tương đương của dàn pin năng lượng mặt trời, ta có dòng điện  $I_L$  là:

$$I_L = I_{ph} - I_D - I_{sh} \\ = I_{ph} - I_0 \left( \exp\left(\frac{q(U_L + I_L R_s)}{nkT}\right) - 1 \right) - \frac{U_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Trong đó:

$I_{ph}$ - dòng điện do ánh sáng mặt trời và dàn pin năng lượng mặt trời sinh ra, (A)

$I_D$ - dòng điện chạy qua diod D, (A)

$I_{sh}$ - dòng điện chạy qua nội trở song song  $R_{sh}$ , (A)

$I_L$ - dòng điện chạy qua điện trở tải  $R_L$  và nội trở nối tiếp  $R_s$ , (A)

$I_0$ - dòng điện bão hòa của diod D, (A), (giá trị của nó rất nhỏ thường lấy  $I_0 = 8 \times 10^{-4} \text{ A}$ )

$R_{sh}, R_s$ - nội trở song song và nội trở nối tiếp của dàn pin năng lượng mặt trời, ( $\Omega$ )

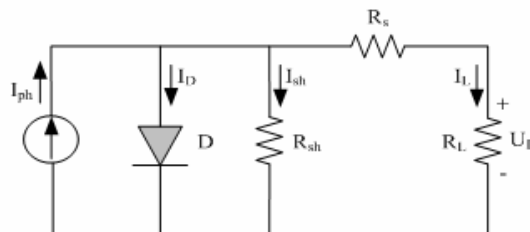
$U_L$  - điện áp trên tải  $R_L$ , (V)

$Q$ - điện tích, (C), ( $Q = 1,6 \times 10^{19} \text{ C}$ )

$n$ - hệ số mặt ghép  $p-n$  trong dàn pin năng lượng mặt trời

$T$ - nhiệt độ tuyệt đối của bề mặt dàn pin năng lượng mặt trời, (K), ( $T = 300 \text{ K}$ )

$k$ - hệ số Boltzman's, (J/K), ( $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ).



Hình 1. Mạch điện tương đương của dàn pin năng lượng mặt trời

Thông thường  $R_{sh}$  có giá trị rất lớn và  $R_s$  có giá trị rất nhỏ vì vậy ta có thể bỏ qua lượng  $\frac{U_L + I_L R_s}{R_{sh}}$  từ đó biểu thức (1) được rút gọn là:

$$I_L = I_{ph} - I_D - I_{sh}$$

$$= I_{ph} - I_0 \left( \exp\left(\frac{qU_L}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (2)$$

Trong công thức (2) có nhiều tham số khó xác định và không cần thiết cho lên có thể bỏ qua.

Theo Su Jian Hui (2001), mô hình số học đơn giản hóa dàn pin năng lượng mặt trời là:

$$I_L = I_{sc} \left( 1 - C_1 \left( \exp\left(\frac{U_L}{C_2 U_{oc}}\right) \right) - 1 \right) \quad (3)$$

$$C_1 = \left( \frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) \exp\left(\frac{-U_m}{C_2 U_{oc}}\right) \quad (4)$$

$$C_2 = \left( \frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) \left( \ln\left( 1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right)^{-1} \quad (5)$$

Để tính toán các tham số  $T_{amb}$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta S$ ,  $I'_{sc}$ ,  $U'_{oc}$ ,  $I'_m$ ,  $U'_m$  dưới điều kiện cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi trường biến đổi sẽ dựa vào các công thức:

$$T_{amb} = T_{air} + KS \quad (6)$$

$$\Delta T = T_{amb} - T_{ref} \quad (7)$$

$$\Delta S = \frac{S}{S_{ref}} - 1 \quad (8)$$

$$I'_{sc} = I_{sc} \frac{S}{S_{ref}} (1 + a\Delta T) \quad (9)$$

$$U'_{oc} = U_{oc} (1 - c\Delta T)(1 + b\Delta S) \quad (10)$$

$$I'_m = I_m \frac{S}{S_{ref}} (1 + a\Delta T) \quad (11)$$

$$U'_m = U_m (1 - c\Delta T)(1 + b\Delta S) \quad (12)$$

Trong đó:

$S_{ref}$ - cường độ ánh sáng mặt trời chuẩn, ( $W/m^2$ ), (lấy  $S_{ref}=1000 W/m^2$ )

$S$ - cường độ ánh sáng mặt trời thực tế, ( $W/m^2$ )

$T_{ref}$ - nhiệt độ môi trường chuẩn, ( $25^\circ C$ ,  $298K$ )

$T_{amb}$ - nhiệt độ môi trường thực tế, ( $^\circ C$ )

$\Delta S$ - giá trị sai lệch giữa cường độ ánh sáng mặt trời thực tế với cường độ ánh sáng mặt trời chuẩn, ( $W/m^2$ )

$\Delta T$ - giá trị sai lệch giữa nhiệt độ môi trường thực tế với nhiệt độ môi trường chuẩn, ( $K$ )

$K$ - hệ số nhiệt độ của dàn pin năng lượng mặt trời, giá trị điển hình là  $0,3^\circ C \times (m^2/W)$

$I'_{sc}$  - dòng điện ngắn mạch của dàn pin năng lượng mặt trời dưới cường độ ánh sáng mặt trời  $S$  và nhiệt độ môi trường  $T$ , (A)

$U'_{oc}$  - điện áp hở mạch của dàn pin năng lượng mặt trời dưới cường độ ánh sáng mặt trời  $S$  và nhiệt độ môi trường  $T$ , (V)

$I'_m$  - dòng điện công suất cực đại của dàn pin năng lượng mặt trời dưới cường độ ánh sáng mặt trời  $S$  và nhiệt độ môi trường  $T$ , (A)

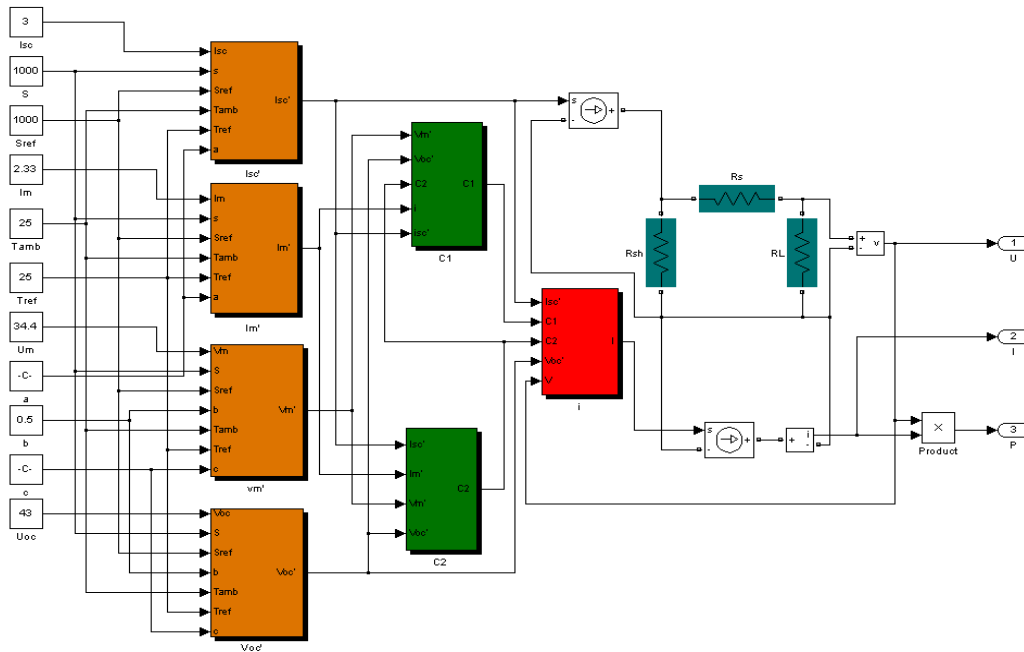
$U'_m$ - điện áp ứng với công suất cực đại của dàn pin năng lượng mặt trời dưới cường độ ánh sáng mặt trời  $S$  và nhiệt độ môi trường  $T$ , (V)

$a, b, c$  là các hằng số có giá trị:

$a = 0,0025; b = 0,5; c = 0,00288.$

### 3.1.2 Mô phỏng dàn pin năng lượng mặt trời

Mô hình mô phỏng được xây dựng dựa theo mô hình toán học của dàn pin năng lượng mặt trời trên cơ sở của Matlab Simulink/Power System (Hình 2). Dàn pin năng lượng mặt trời được chọn mô phỏng là STP040S-12/C của Hãng Suntech (Dai Chen Jun, 2010), với  $U_m = 17,2 V; I_m = 2,33 A; U_{oc} = 21,5 V; I_{sc} = 3 A.$



Hình 2. Mô hình mô phỏng dàn pin năng lượng mặt trời

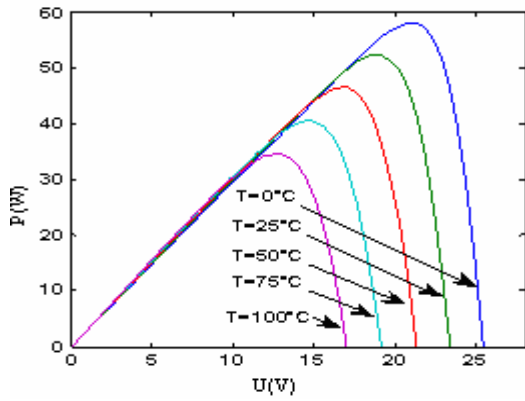
Dựa vào mô hình mô phỏng đã tiến hành mô phỏng được đặc tính của dàn Pin năng lượng mặt trời dưới cường độ ánh sáng và nhiệt độ môi trường khác nhau. Hình 3 là đường cong mô phỏng  $P-V$  và  $V-I$  khi nhiệt độ môi trường thay đổi, cường độ ánh sáng mặt trời không đổi. Hình 4 đường cong mô phỏng  $P-V$  và  $V-I$  khi cường độ ánh sáng mặt trời thay đổi, nhiệt độ môi trường không đổi.

Từ hình 3 cho thấy, khi cường độ ánh sáng mặt trời không đổi, nhiệt độ môi trường tăng lên, dòng điện  $I$  ngắn mạch tăng lên không đáng kể, điện áp  $U$  hở mạch giảm xuống rất thấp. Từ đó, làm cho công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời giảm. Như vậy, khi nhiệt độ môi trường biến đổi cũng có ảnh hưởng trực tiếp đến công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời. Từ hình 4 cho thấy, khi nhiệt độ môi trường không đổi, cường độ ánh sáng mặt trời tăng lên, điện áp  $U$  hở mạch tăng lên không đáng kể, dòng điện  $I$  ngắn mạch tăng lên rất cao. Từ đó, công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời tăng lên rất cao. Do đó, cường

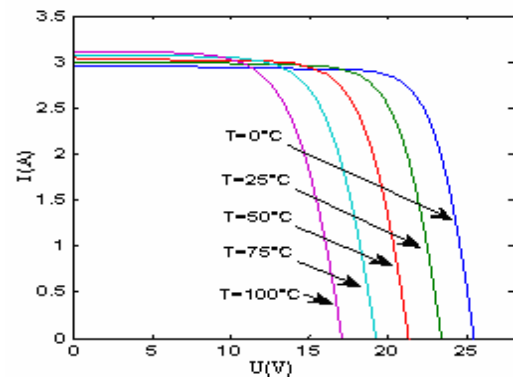
độ ánh sáng mặt trời là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến năng lượng điện phát ra của dàn pin năng lượng mặt trời. Từ hình 3 và 4 cho thấy, nhiệt độ môi trường và cường độ ánh sáng mặt trời là hai tham số quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời.

### 3.2 Phương pháp quan sát dao động dựa trên điều khiển mờ

Phương pháp quan sát dao động là dùng điện áp và dòng điện đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời để tính công suất đầu ra, sau đó so sánh với công suất lần trước. Nếu giá trị tính toán nhỏ hơn giá trị công suất lần trước thì điều khiển điện áp đầu ra biến đổi theo hướng ngược lại. Nếu không thì duy trì giá trị điện áp đầu ra không đổi (Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, 2005). Trong ứng dụng thực tế, có thể thay đổi điện áp đầu ra bằng cách thay đổi độ rộng xung (PWM) để dàn pin năng lượng mặt trời làm việc luôn bám sát điểm công suất cực đại. Sơ đồ khối cấu trúc được thể hiện trên hình 5.

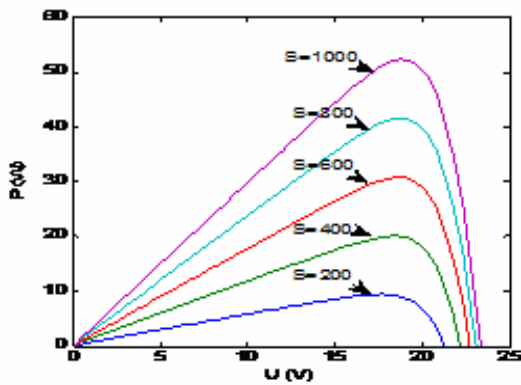


(a) Đường đặc tính của quan hệ giữa  $P$ - $V$  khi nhiệt độ môi trường thay đổi

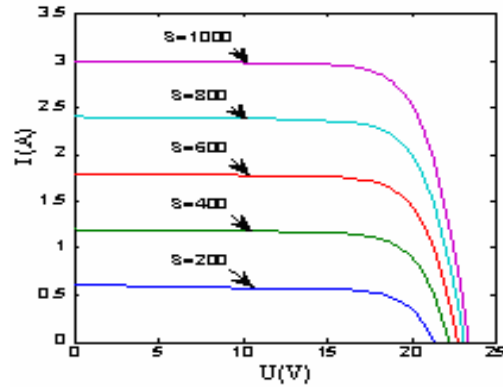


(b) Đường đặc tính của quan hệ giữa  $V$ - $I$  khi nhiệt độ môi trường thay đổi

Hình 3. Đường đặc tính của quan hệ giữa  $P$ - $V$  và  $V$ - $I$  khi nhiệt độ môi trường biến đổi và cường độ ánh sáng mặt trời không đổi ( $S = 1000\text{W/m}^2$ )



(a) Đường cong đặc tính  $P$ - $V$  khi cường độ sáng mặt trời thay đổi

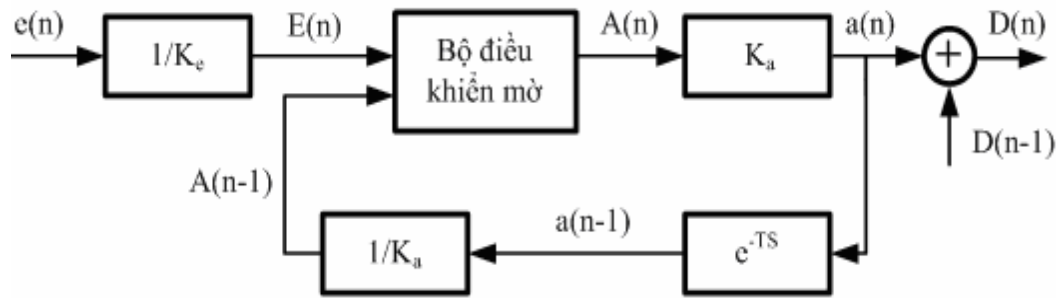


(b) Đường cong đặc tính  $V$ - $I$  khi cường độ sáng mặt trời thay đổi

Hình 4. Đường cong đặc tính khi cường độ sáng mặt trời biến đổi và nhiệt độ môi trường không khí ( $T_{amb}=25^\circ\text{C}$ )



Hình 5. Sơ đồ khối cấu trúc phương pháp quan sát dao động



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

Điều chỉnh điện áp bằng cách thay đổi chu kỳ đóng cắt PWM thông thường có nhược điểm là: Nếu chu kỳ đóng cắt quá lớn sẽ làm mức điều chỉnh công suất đầu ra lớn, độ chính xác thấp, sai lệch tĩnh lớn. Nếu chu kỳ đóng cắt quá nhỏ thì thời gian bám sát dài, thời gian điều chỉnh lớn. Để khắc phục nhược điểm này, có thể sử dụng bộ điều khiển mờ để thay đổi chu kỳ đóng cắt nhằm mục đích tối ưu hóa quá trình điều chỉnh.

Lấy công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời gọi là hàm số mục tiêu của bộ điều khiển mờ, thay đổi chu kỳ đóng cắt của tín hiệu PWM, sai lệch công suất đầu ra của thời điểm thứ  $n$  của dàn pin năng lượng mặt trời với giá trị chu kỳ đóng cắt của thời điểm thứ  $n-1$  gọi là biến đầu vào của bộ điều khiển mờ. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển được thể hiện ở hình 6 (Yan Wan Juan, 1996).

Trên sơ đồ cấu trúc, ta có:

$e(n)$ - sai lệch giữa công suất đầu ra thời điểm thứ  $n$  với công suất đầu ra thời điểm thứ  $n-1$

$E(n)$ ,  $A(n)$ - giá trị trong miền tập mờ của  $e(n)$ ,  $a(n)$

$a(n)$ - giá trị thực tế bước thời điểm thứ  $n$

$D(n)$  và  $D(n-1)$ - chu kỳ đóng cắt thời điểm thứ  $n$  và  $n-1$

$K_e$ ,  $K_a$ - hệ số biến đổi, hệ số tỉ lệ

Ở mô hình này, khi bắt đầu mỗi một chu kỳ tối ưu hóa, đầu tiên tính toán giá trị công suất đầu ra  $P(n)$  thời điểm này, sau đó lấy giá trị sai lệch  $e(n)$  giữa  $P(n)$  và  $P(n-1)$  làm đầu vào của bộ điều khiển mờ, qua bộ biến đổi xử lý mờ hóa trở thành biến  $E(n)$  và  $A(n-1)$  trong miền tập mờ. Xác định bảng quy tắc điều khiển phù hợp thu được giá trị bước  $A(n)$  tối ưu hóa của thời điểm này, chu kỳ đóng cắt của ngay thời điểm sau tăng tương đương với chu kỳ đóng cắt của thời điểm ngay trước đó. Như vậy, có thể điều chỉnh điện áp đầu ra của dàn Pin năng lượng mặt trời cho đến khi chu kỳ tối ưu hóa tiếp theo được bắt đầu. Quá trình mô tả ở trên được tiến hành nhiều lần cho đến khi điện áp đầu ra được điều chỉnh tới điểm điện áp công suất cực đại của dàn Pin năng lượng mặt trời thì dừng lại.

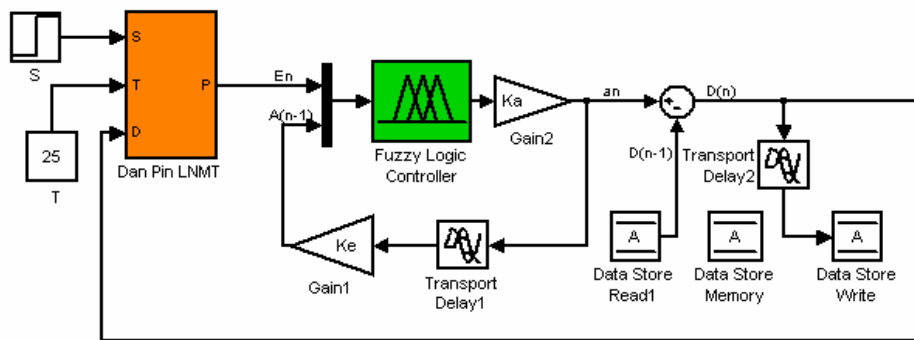
### 3.3 Mô phỏng phương pháp quan sát dao động dựa trên điều khiển mờ

Định nghĩa biến ngôn ngữ đầu vào-ra  $E(n)$ ;  $A(n-1)$ ;  $A(n)$  là: 8 giá trị mờ; 6 giá trị mờ; 6 giá trị mờ, miền của nó đều là  $(-6, +6)$  (Ying, 1993; Phan Xuân Minh & Doãn Phước, 1999). Để dàn pin năng lượng mặt trời luôn làm việc ở lân cận điểm công suất cực đại thì quy tắc điều khiển mờ được biểu thị ở bảng 1.

**Bảng 1. Quy tắc điều khiển mờ**

A(n)	E(n)							
	NB	NM	NS	NO	PO	PS	PM	PB
NB	PB	PM	PS	PS	NS	NS	NS	NS
NM	PB	PB	PM	PS	NS	NS	NS	NS
NS	PB	PB	PM	PS	NS	NS	PB	NS
PS	NS	NS	NS	NS	PS	PM	PB	PB
PM	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PB	PB
PB	NS	NS	NS	NM	PM	PS	PM	PB

Ghi chú: NB-negative small; NM-negative medium; NS-negative small; NO-negative zero; PO-positive zero; PS-positive small; PM-positive medium; PB-positive big.



**Hình 7. Hệ thống mô phỏng phương pháp quan sát dao động dựa trên điều khiển mờ**

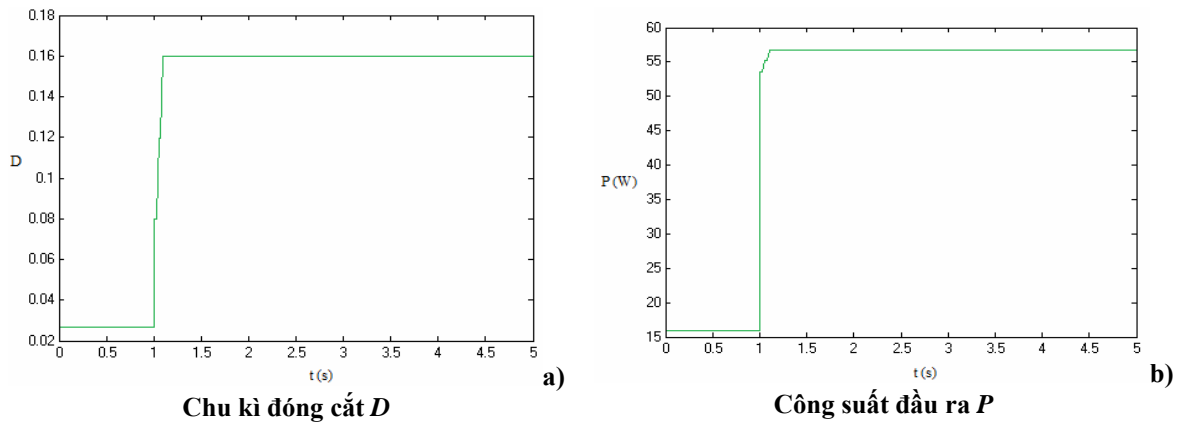
Chọn bộ điều khiển loại Mamdani, giải mờ bằng phương pháp điểm trọng tâm. Hệ thống mô phỏng bám sát công suất cực đại dàn pin năng lượng mặt trời dựa trên điều khiển mờ (Hình 7). Đầu vào của bộ điều khiển mờ là giá trị của chu kỳ đóng cắt  $D$  ở thời điểm thứ  $n-1$  cùng với giá trị sai lệch công suất của thời điểm thứ  $n$  và  $n-1$ , đầu ra là giá trị của chu kỳ đóng cắt  $D$  thời điểm thứ  $n$ . Giá trị của  $K_e$ ,  $K_a$  được chọn là: 100 và 0,01.

**3.4. Kết quả mô phỏng và thảo luận**

Nhiệt độ bề mặt ở dàn pin năng lượng mặt trời là 25°C, thay đổi cường độ ánh sáng từ 500 W/m<sup>2</sup> lên mức 1000 W/m<sup>2</sup>, công suất đầu ra  $P$  và chu kỳ đóng cắt  $D$  (Hình 8).

Từ hình 8 cho thấy, phương pháp quan

sát dao động dựa trên điều khiển mờ để thay đổi chu kỳ đóng cắt phản ứng với tốc độ rất nhanh đối với sự thay đổi của cường độ ánh sáng mặt trời. Thời gian quá độ rất ngắn, sai lệch tĩnh rất nhỏ. Như vậy, sử dụng điều khiển mờ để điều khiển bám sát công suất cực đại dàn pin năng lượng mặt trời có khả năng MPPT với thời gian rất nhanh, độ chính xác cao, giảm dao động công suất đầu ra của dàn pin năng lượng mặt trời ở lân cận điểm công suất cực đại (kể cả dưới sự thay đổi của cường độ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ môi trường). Từ đó, giảm thiểu được hao tổn công suất do dao động sóng công suất phát sinh dẫn tới công suất đầu ra của dàn pin lớn. Trên đây là những ưu điểm của điều khiển mờ mà những phương pháp điều khiển kinh điển khó đạt được.



Hình 8. Đáp ứng đầu ra dưới bước nhảy của cường độ ánh sáng

#### 4. KẾT LUẬN

Sử dụng điều khiển mờ để điều khiển bám sát công suất cực đại không chỉ nâng cao tốc độ MPPT mà còn không phát sinh ra dao động lớn. Công suất phát ra của dàn pin năng lượng mặt trời có trạng thái tĩnh và động rất tốt. Từ kết quả mô phỏng ở hình 8 cho thấy công suất đầu ra dàn pin năng lượng mặt trời luôn làm việc MPPT ( $P_m = 55$  W) với tốc độ nhanh và chính xác khi điều kiện môi trường bên ngoài thay đổi, tác động của nhiễu gần như triệt tiêu hoàn toàn, hệ thống làm việc ổn định.

Do đó, sử dụng điều khiển mờ kết hợp tương đương với phương pháp quan sát dao động để điều khiển MPPT của dàn pin năng lượng mặt trời là con đường hữu hiệu để nâng cao chất lượng và hiệu suất của hệ thống năng lượng mặt trời phát điện. Hệ thống quang năng của bài báo có thể sử dụng là nguồn cung cấp điện hỗ trợ, dự phòng rất tốt trong các lò ấp trứng gia cầm, lò sấy nông sản sau thu hoạch..., có công suất nhỏ nhằm tiết kiệm nguồn năng lượng, giảm giá thành sản phẩm và giải quyết vấn đề an ninh năng lượng quốc gia.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

Nguyễn Văn Đường (2005). Nghiên cứu tổng hợp hệ thống điều khiển quá trình nhiệt

ấm trong máy ấp trứng gia cầm có sử dụng năng lượng mặt trời. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội, tr. 41-47.

Phan Xuân Minh & Doãn Phước (1999). Lý thuyết điều khiển mờ, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, tr 95-101

Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo (2005). Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method. IEEE Trans. On Power Electronics, 20(4), p.963-973.

H.Ying (1993). A nonlinear fuzzy controller with linear rules is the sum of a global two-dimensional multilevel relay and a local nonlinear PI controller. Automatica, vol. 29, no. 2.p. 499-505.

赵争鸣, 刘建政, 孙晓瑛, 等 (2005). 太阳能光伏发电 及其应用. 北京:科学出版社, p.1-8.

苏建徽,等 (2001). 硅太阳能工程用数学模型. 太阳能学报, (22), p.409-412.

鄢婉娟 (1996). 一种实现太阳阵峰值功率跟踪的智能控制方法. 航天器工程, (1), p.15-26.

李畴勇 (2010). 基于模糊控制的最大功率点跟踪三相光伏发电系统研究, p.19-20.

戴晨骏 (2010). 基于智能控制技术的光伏阵列最大功率跟踪研究, p.21-23.