

NGHIÊN CỨU, THỰC NGHIỆM VÀ SO SÁNH HAI HỆ THỐNG XOAY TÂM PIN MẶT TRỜI THEO HAI TRỤC VỚI NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG KHÁC NHAU

RESEARCH, EXPERIMENT AND COMPARISON OF TWO DIFFERENT DUAL AXIS SOLAR TRACKING SYSTEMS

Ngô Quốc Khánh^{1,2}, Hoàng Trọng Khang^{1,2}, Tất Hán Nghi^{1,2}, Nguyễn Thế Bảo^{1,2,*}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Đứng trước tình trạng ô nhiễm môi trường do việc khai thác và sử dụng nhiên liệu hóa thạch, cùng với đó thực trạng cạn kiệt các nguồn nhiên liệu hóa thạch, các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó có pin Mặt Trời, đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng ngày càng rộng rãi trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Mục đích của đồ án này chính là so sánh lượng điện năng cung cấp giữa hai hệ thống xoay tâm pin theo hướng tia bức xạ Mặt Trời (Solar Tracking) với các nguyên lý hoạt động khác nhau. Một mô hình hoạt động dựa trên sự chênh lệch điện áp hoạt động của các thiết bị cảm biến ánh sáng và mô hình còn lại vận hành theo bảng số liệu có được thông qua các công thức tính toán. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình điều hướng tâm pin bằng cảm biến ánh sáng có sản lượng điện cao hơn 24% so với mô hình sử dụng số liệu từ các công thức tính toán.

Từ khóa: Pin Mặt Trời; Tia tới bức xạ Mặt Trời; Hệ thống Solar Tracking; Góc độ cao; Góc giờ.

ABSTRACT

Faced with environmental pollution caused by the exploitation and use of fossil fuels and the depletion of fossil fuel sources, renewable energy sources, including solar cells, have been being studied and applied more and more widely in the world as well as in Vietnam. The purpose of this project is to compare the amount of power supplied between the two solar tracking systems with different operating principles. The first system operates on the difference in operating voltage of light sensors and the other one operates according to the data table obtained through calculation formulas. Experimental results show that the solar tracking with light sensors has a 24% higher power output than the system using data from the calculation formulas.

Keywords: Solar cells; Irradiance; Solar Tracking system; Altitude angle; Hour angle.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là quốc gia nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa có lượng bức xạ trung bình năm lớn, có đường bờ biển dài, nhiều đảo và quần đảo. Nhờ chính sách khuyến khích phát triển của Chính phủ, Việt Nam đã có sự phát triển nhảy vọt về việc áp dụng và phát triển các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó có điện Mặt Trời, trong những năm gần đây. Đến cuối tháng 12 năm 2020, tổng công suất lắp điện Mặt Trời tại Việt Nam đã đạt gần 9.731 MWp, vượt công suất lắp đặt của toàn nước Úc trong hơn 30 năm [1].

Tuy nhiên, một vấn đề lớn của các hệ thống pin Mặt Trời hiện nay là được lắp cố định, trong khi Mặt Trời liên tục quay từ Đông sang Tây mỗi ngày cũng như thay đổi góc độ cao (altitude angle) suốt 365 ngày trong một năm. Góc tới của tia bức xạ Mặt Trời θ tới một mặt phẳng nằm nghiêng được tính theo công thức:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\Phi \cos\beta - \sin\delta \cos\Phi \cos\beta + \cos\delta \cos\Phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma_c \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma_c \sin\omega \quad (1)$$

Trong đó:

θ : Góc tới của tia bức xạ Mặt Trời tới mặt phẳng (độ);

β : Góc nghiêng của tấm pin Mặt Trời (độ);

δ : Độ xích vĩ (độ);

Φ : Vĩ độ (độ); tại Thành phố Hồ Chí Minh thì $\Phi = 10.8^\circ$;

ω : Góc giờ (độ), với $\omega = 0^\circ$ vào 12 giờ trưa; Mỗi giờ thay đổi thì góc giờ giảm một góc $\omega = -15^\circ$ vào buổi sáng và tăng thêm một góc $\omega = +15^\circ$ ứng với giờ buổi chiều;

γ_c : Góc phương vị của tấm pin Mặt Trời (độ).

Từ công thức trên ta thấy, về mặt lý thuyết, góc của tia tới sẽ thay đổi 8760 giá trị khác nhau ứng với 8760 giờ trong một năm. Vì vậy, việc xoay tấm pin theo hướng của tia tới Mặt Trời sẽ giúp tia tới càng gần trùng với phương pháp tuyến của tấm pin Mặt Trời thì lượng điện sinh ra của tấm pin sẽ được tăng lên. Đó là lý do của việc nghiên cứu và thực nghiệm hệ thống xoay tấm pin Mặt Trời theo hướng của tia bức xạ để tăng công suất phát điện của pin, sẽ được trình bày trong bài báo này.

Đã có nhiều bài báo khoa học về chủ đề này nhưng đa phần là về hệ thống xoay theo một trục hoặc mô hình hai trục. Raviduth Ramful và Nashil Sowaruth [2] đã ghi nhận rằng, năng lượng thu được từ mô hình thực nghiệm (mô hình xoay một trục) cao hơn khoảng 37% so với tấm pin đặt đứng yên. Ở đây, tác giả đã sử dụng tấm hệ thống tương đối nhỏ phù hợp với mục đích nghiên cứu cho việc cấp điện các thiết bị như điện thoại, laptop hoặc các thiết bị điện tử nhỏ và hệ thống cũng phải phù hợp cho việc dễ dàng mang theo.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Mô hình thực nghiệm

Cả hai mô hình đều có ba thành phần chính, bao gồm: tấm pin Mặt Trời, phần cơ khí và mạch điện. Cả hai mô hình đều có thể xoay tấm pin theo cả hai trục thẳng đứng và nằm ngang để có thể hướng theo các tia Mặt Trời một cách hiệu quả nhất. Tấm pin được sử dụng là loại poly với công suất là 135Wp.

a. Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng

Phần cơ khí:

Hệ thống sử dụng hai động cơ DC để điều khiển tấm pin xoay theo hai trục thẳng đứng và nằm ngang. Phần khung phía trên được gắn bạc đạn hai bên đầu và có hai giá đỡ để cố định tấm pin. Một bên giá đỡ sẽ được nối vào bộ phận giảm tốc trực vít rồi kết nối với trục của động cơ DC. Bộ phận giảm tốc trực vít nhằm tăng momen xoắn và giữ tấm pin cố định khi động cơ ngừng hoạt động. Phần khung phía dưới được thiết kế với khung tròn cùng bộ truyền động dây xích-bánh răng để hỗ trợ cho việc xoay theo phương nằm ngang. Có một bộ phận lò xo sẽ kéo động cơ lại để bánh răng luôn ăn khớp với dây xích một cách hiệu quả.



Hình 1. Động cơ DC hỗ trợ quay theo trục thẳng đứng



Hình 2. Động cơ DC hỗ trợ quay theo trục nằm ngang

Phần mạch điện:

Mô hình được điều khiển bằng việc lập trình trên bo mạch Arduino và các linh kiện điện tử được liệt kê ở bảng dưới.

Bảng 1. Các thiết bị điện sử dụng cho mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng

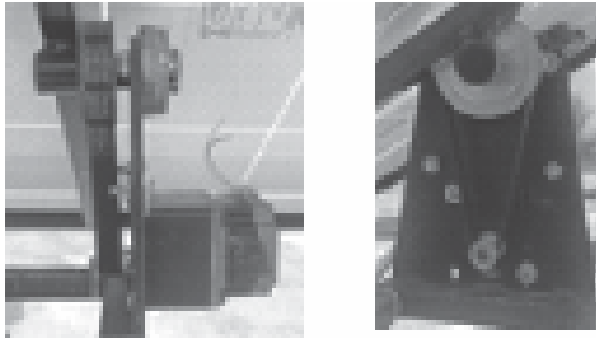
Cảm biến ánh sáng Đầu tiên là cảm biến ánh sáng bằng tấm pin Mặt Trời nhỏ được hoạt động theo quy luật sự chênh lệch giá trị điện áp giữa các tấm pin.	Hình 3. Cảm biến ánh sáng bằng tấm pin Mặt Trời
Mạch Arduino UNO R3 Sự chênh lệch điện trở được thiết lập trên Arduino UNO R3. Mạch Arduino UNO R3 nhận và xử lý thông tin điện áp để điều khiển hai động cơ.	Hình 4. Mạch Arduino UNO R3
Mạch điều khiển động cơ DC BTS7960 43A Mạch điều khiển có điện áp đầu ra là 12V nhận tín hiệu từ Arduino UNO R3 để điều khiển hai động cơ.	Hình 5. Mạch điều khiển động cơ DC BTS7960 43A

b. Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước

Phần cơ khí:

Khác với mô hình trước, mô hình này sử dụng động cơ bước thay vì động cơ DC nhằm mục đích điều chỉnh góc quay theo đúng như số liệu đã tính toán. Phần khung phía trên được thiết kế ôm sát vào tấm pin để giữ cố định, hai bên được gắn thêm ổ đỡ dọc trục nhằm để giúp cho tấm pin có thể xoay theo trục ngang. Phần khung phía dưới được thiết kế dạng trụ đứng được lắp ổ bi nhào để hỗ trợ cho phần xoay theo

trục thẳng đứng. Hai động cơ được kết nối với các pulley và dây đai tạo thành các hệ truyền động.



Hình 6. Cơ cấu truyền động phía trên xoay theo trục nằm ngang



Hình 7. Cơ cấu truyền động phía dưới xoay theo trục thẳng đứng

Phần mạch điện:

Mô hình cũng được điều khiển bằng việc lập trình trên bo mạch Arduino và các linh kiện điện tử như được liệt kê ở bảng dưới.

Bảng 2. Các thiết bị điện sử dụng cho mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước

Driver điều khiển động cơ bước 3.5A 40VDC Mô hình sử dụng hai driver có cùng chức năng để điều khiển động cơ.	Hình 8. Driver điều khiển động cơ bước 3.5A 40VDC
---	--

Mạch Arduino Mega 2560 CH340

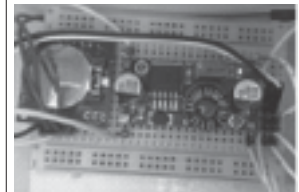
Dùng để điều khiển động cơ thông qua lập trình. Sau khi tính toán các góc theo giờ và ngày sẽ nhập dữ liệu vào Arduino.



Hình 9. Mạch Arduino Mega 2560 CH340

Module thời gian thực DS1302 và module hạ áp

Module thời gian thực được sử dụng để xác định thời gian thực tế. Module hạ áp dùng để giảm điện áp cấp phù hợp với một số bo mạch.



Hình 10. Module thời gian thực DS1302 và module hạ áp

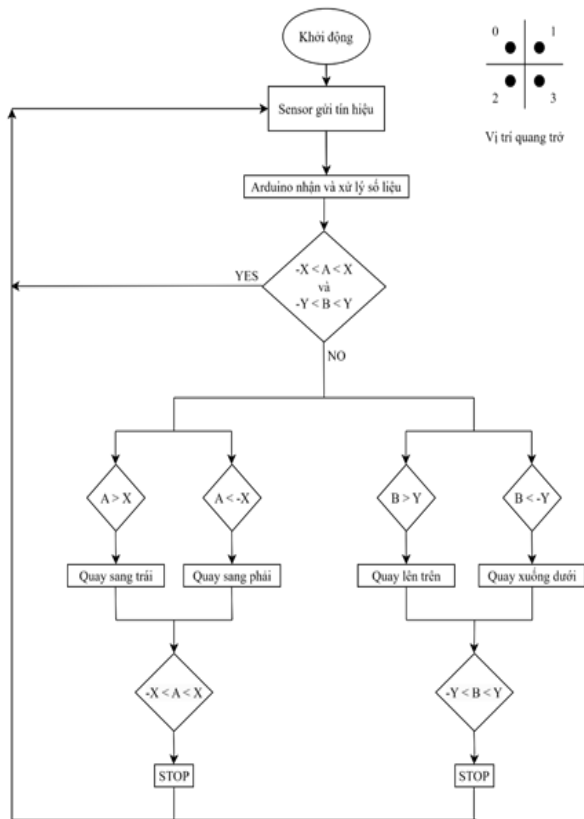
2.2. Nguyên lý hoạt động

a. Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng

Như đã nói ở trên, hệ thống hoạt động dựa trên sự chênh lệch giá trị điện áp giữa các tấm pin với nhau. Sơ đồ ở Hình 11 diễn tả trực quan quá trình hoạt động của hệ thống. Ta ký hiệu 0, 1, 2, 3 là các tấm pin Mặt Trời nhỏ và [0], [1], [2], [3] là giá trị điện áp của các điện áp tương ứng tại thời điểm đang xét. Gọi X và Y là khoảng chênh lệch thiết lập cho trước. Như vậy, ta có các công thức như bảng bên dưới.

Bảng 3. Công thức xác định độ chênh lệch điện áp của các tấm pin nhỏ

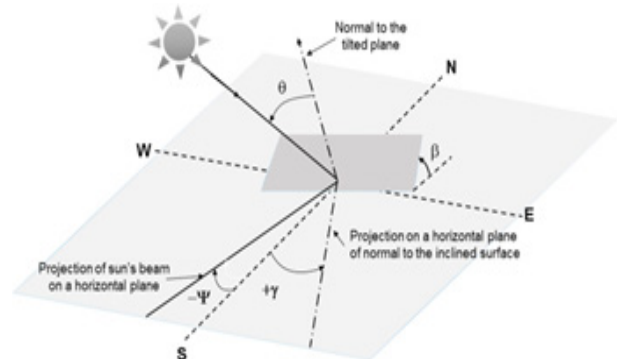
$A[0] = ([0] + [2])/2$	$B[0] = ([0] + [1])/2$
$A[1] = ([1] + [3])/2$	$B[1] = ([2] + [3])/2$
$A = A[0] - A[1]$	$B = B[0] - B[1]$



Hình 11. Sơ đồ quá trình hoạt động của hệ thống Solar Tracking

b. Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước

Nguyên lý hoạt động của mô hình này sử dụng công thức tính toán để có được các số liệu góc và gửi tín hiệu cho động cơ một cách chính xác. Điều này giúp cho mô hình hoạt động ổn định hơn khi thời tiết có nắng, mây thất thường. Các dữ liệu có được sẽ tính theo các công thức trong tài liệu [1]. Các phương trình tính toán sẽ phụ thuộc vào thứ tự ngày trong năm và vị trí hình học tương quan giữa Mặt Trời và Trái Đất cũng như giữa tấm pin và mặt đất. Hình ảnh minh họa của các góc sẽ được trình bày trong Hình 12.



Hình 12. Các góc hình học giữa tia Mặt Trời và tấm pin trên mặt đất [3]

Đầu tiên, cần phải tính độ xích vĩ Mặt Trời δ dựa theo thứ tự ngày trong năm. Với n là thứ tự ngày trong năm ($n = 1$ ứng với 01/01 và $n = 365$ ứng với 31/12).

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

Xác định thời gian Mặt Trời mọc và lặn trong ngày ω_s tại một vị trí cụ thể thông qua công thức (3). Với $-\omega_s$ là giá trị góc khi Mặt Trời mọc và ω_s là giá trị góc khi Mặt Trời lặn tại vị trí đang xét.

$$\cos \omega_s = -\tan \Phi \cdot \tan \delta \quad (3)$$

Để tấm pin có thể hấp thu năng lượng bức xạ một cách hiệu quả, bề mặt tấm pin phải vuông góc với các tia tới bức xạ. Nghĩa là phải xác định được độ nghiêng của tấm pin trên so với mặt đất δ sao cho góc của tia tới lên mặt phẳng tấm pin θ có giá trị là 0° .

$$\cos \theta = \cos(\Phi - \beta) \cos \omega \cos \delta + \sin(\Phi - \beta) \sin \delta \quad (4)$$

Để tính toán góc quay theo trục thẳng đứng, ta cần có giá trị α là góc trong mặt phẳng thẳng đứng giữa các tia Mặt Trời và hình chiếu này trên mặt phẳng nằm ngang.

$$\sin \alpha = \cos \Phi \cos \omega \cos \delta + \sin \Phi \sin \delta (5)$$

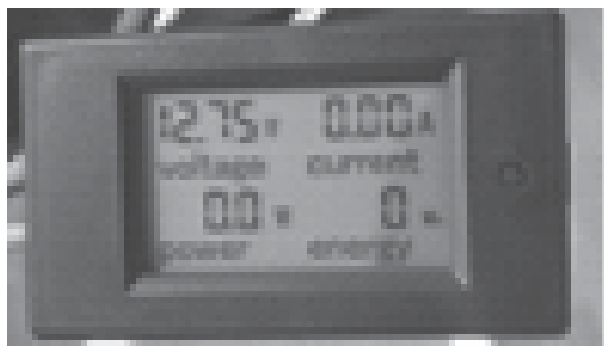
Giá trị góc quay theo trục thẳng đứng chính là góc phương vị γ_c , là góc nằm trong mặt phẳng nằm ngang được đo từ phương Nam (0°) đến hình chiếu pháp tuyến của tấm pin lên mặt phẳng nằm ngang. Xoay sang hướng Đông sẽ có giá trị dương và ngược lại, quay về hướng Tây sẽ có giá trị âm.

$$\sin \gamma = \frac{1}{\cos \alpha} \cos \delta \sin \omega \quad (6)$$

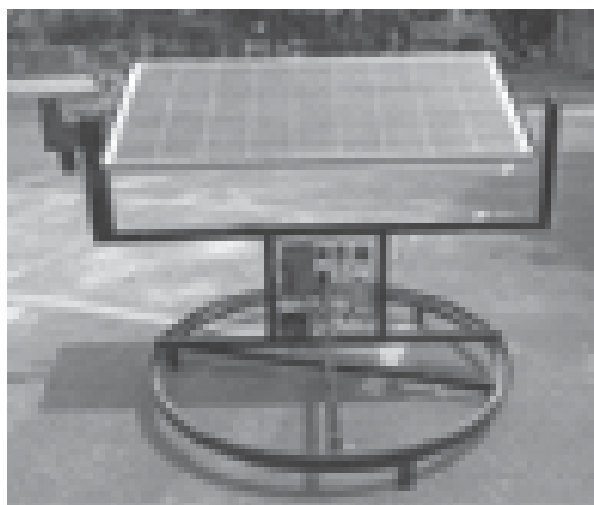
2.3. Phương pháp thực nghiệm

Địa điểm tiến hành đo thực nghiệm là trong khuôn viên Đại học Quốc Gia – Trường Đại học Bách Khoa, thành phố Hồ Chí Minh. Khoảng thời gian đo là vào tháng 8 có độ dài ngày lớn trong suốt 1 năm theo tính toán (12 giờ). Khoảng thời gian tiến hành đo đặc là từ 7 giờ sáng đến 17 giờ chiều.

Hệ thực nghiệm sử dụng đồng hồ đo mức năng lượng để theo dõi năng lượng điện sản sinh và tiêu thụ trong suốt thời gian đo đặc. Các đèn có tổng công suất là 150W cùng với ắc quy có dung tích 50Ah được sử dụng nhằm tiêu thụ và tích trữ tải điện để số liệu hiển thị trên đồng hồ đo luôn là dữ liệu tức thời lớn nhất.



Hình 13. Đồng hồ đo với sai số là 0.1W



Hình 14. Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng



Hình 15. Mô hình điều hướng tấm pin theo động cơ bước hoàn chỉnh

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

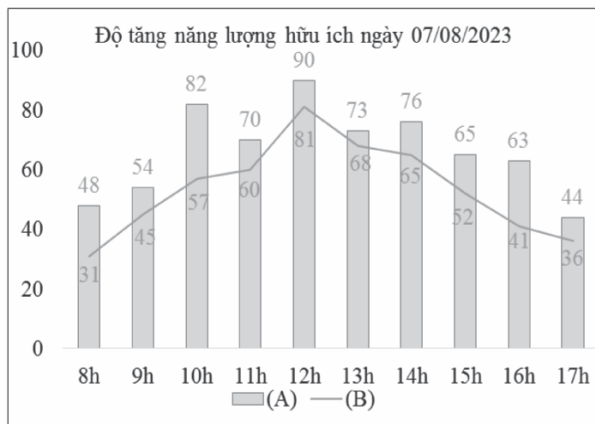
Chú thích:

(A) – Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng;

(B) – Mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước.

Bảng 4. Số liệu lượng điện năng ngày 07/08/2023

07/08/2023											
Mốc thời gian (h)		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(A)	Wh (sạc)	49	104	187	258	350	425	503	570	635	680
	Wh (tiêu thụ)	1	2	3	4	6	8	10	12	14	15
	Wh (hữu ích)	48	102	184	254	344	417	493	558	621	665
(B)	Wh (sạc)	41	97	165	237	329	408	485	548	601	647
	Wh (tiêu thụ)	10	21	32	44	55	66	78	89	101	111
	Wh (hữu ích)	31	76	133	193	274	342	407	459	500	536



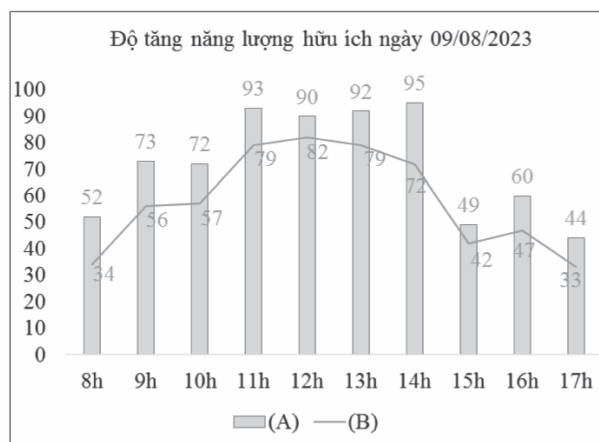
Hình 16. Đồ thị độ tăng năng lượng hữu ích ngày 07/08/2023

Đối với số liệu ở Bảng 4 vào ngày 07/08/2023, có thể thấy lượng điện năng thu được của (A) về tổng thể cao hơn so với (B). Trong quá trình tiến hành thực nghiệm đo đạc trong ngày này thì thời tiết không thuận lợi do thời tiết mây, nắng thất thường.

Ở đồ thị về độ tăng năng lượng hữu ích ở Hình 16, sự chênh lệch thể hiện rõ ràng hơn với sản lượng điện hữu ích từ (A) là lớn hơn nhiều so với (B) vì lúc này đã trừ đi phụ tải các thiết bị điện. Do (B) cần phải duy trì lượng điện cấp cho các thiết bị vận hành cao là 10-11Wh mỗi giờ. Ngược lại, đối với (A) là chỉ cần duy trì đều hằng giờ khoảng 1Wh nên mới có thể thấy rõ được sự chênh lệch này.

Bảng 5. Số liệu lượng điện năng ngày 09/08/2023

09/08/2023											
Mốc thời gian (h)		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(A)	Wh (sạc)	53	127	200	294	385	479	576	627	688	733
	Wh (tiêu thụ)	1	2	3	4	5	7	9	11	12	13
	Wh (hữu ích)	52	125	197	290	380	472	567	616	676	720
(B)	Wh (sạc)	44	111	179	270	363	453	537	590	649	693
	Wh (tiêu thụ)	10	21	32	44	55	66	78	89	101	112
	Wh (hữu ích)	34	90	147	226	308	387	459	501	548	581



Hình 17. Đồ thị độ tăng năng lượng hữu ích ngày 09/08/2023

Đối với số liệu ở Bảng 5 vào ngày 09/08/2023 là một ngày nắng đều. Nhìn vào bảng số liệu nếu ta xét về mặt tổng thể có thể thấy được sự chênh lệch một cách rõ ràng qua từng khung giờ vào những ngày nắng đều như vậy. (A) thể hiện một hiệu suất làm việc trội hơn hẳn so với (B).

Ở đồ thị so sánh độ tăng năng lượng hữu ích ngày 09/08/2023, ta vẫn có thể thấy rõ hơn về tính đặc trưng hiệu quả của (A) so với (B). Sau khi trừ đi tải tiêu thụ thì vào những khung giờ bức xạ Mặt Trời lớn như 10-14h, thấy rõ hiệu năng cao hơn vì tải tiêu thụ khác nhau của hai mô hình và đặc trưng về nguyên lý hoạt động khác nhau.

4. KẾT LUẬN

Cả hai mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng và điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước được đề xuất trong bài nghiên cứu này đều đã cho ra một kết quả khả quan hơn về mặt năng lượng. Bằng những số liệu thực tế đo được, mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng có hiệu quả năng lượng hữu ích cao

hơn 24% so với mô hình vận hành bằng động cơ bước và dữ liệu tính toán khi đã trừ đi tải tiêu thụ.

Tuy rằng cả hai mô hình đều mang lại hiệu quả về mặt năng lượng nhưng vẫn còn nhiều bất cập. Đối với mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng cảm biến ánh sáng, do mô hình sử dụng cảm biến bằng 04 tấm pin mặt trời nhỏ rất nhạy với ánh sáng nên vào những khi thời tiết nắng không đều và nhiều mây thì mô hình có xu hướng hoạt động không ổn định (tấm pin không được điều hướng để vuông góc với các tia Mặt Trời), hoặc là đứng yên khi không có sự chênh lệch lớn điện áp giữa các tấm pin, điều này làm giảm đáng kể hiệu suất của mô hình. Đối với mô hình điều hướng tấm pin Mặt Trời bằng động cơ bước, mô hình này chưa thật sự hiệu quả về mặt thực tế do các động cơ bước luôn phải hoạt động liên tục để giữ tấm pin cố định một góc cụ thể, do đó ta phải tiêu hao rất nhiều điện năng để vận hành thiết bị.❖

Ngày nhận bài: **12/9/2023**

Ngày phản biện: **12/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. N. T. Bảo; “Chương 2: Bức xạ Mặt Trời”, trong Giáo trình năng lượng tái tạo và sự phát triển bền vững, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2020, pp. 50-109.
- [2]. R. Ramful và N. Sowaruth; “Low-cost solar tracker to maximize the capture of solar energy in tropical countries”, Energy Reports, pp. 295-302, 2022.
- [3]. G. Notton, "Solar Radiation for Energy Applications", Encyclopedia of Sustainable Technologies, pp. 339-356, 2017.