

Giải pháp tự động điều hướng tấm pin mặt trời để nâng cao hiệu quả khai thác nguồn pin mặt trời

Lê Tiên Phong*, Trương Hữu Nghĩa, Dương Quang Duy,
Bùi Hoàng Việt, Nguyễn Lương Anh

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên, 666 Đường 3-2, TP Thái Nguyên, Thái Nguyên, Việt Nam.

*Tác giả liên hệ: mrphonghtd1246@tnut.edu.vn

Nhận bài: 16/8/2024; Hoàn thiện: 05/11/2024; Chấp nhận đăng: 15/11/2024; Xuất bản: 06/12/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2024.85-91>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất giải pháp thiết kế cơ khí và hệ thống điều khiển để nâng cao hiệu quả khai thác của nguồn pin mặt trời. Nguyên lý hoạt động và ảnh hưởng của bức xạ mặt trời đến khả năng bắt phá các electron của nguồn pin mặt trời sẽ được đề cập và phân tích chi tiết nhằm làm rõ vai trò của việc điều hướng tấm pin mặt trời trong quá trình vận hành. Giải pháp thiết kế cơ khí được xây dựng cho một hệ điều hướng 2 trục để bám theo sự di chuyển của mặt trời trong một ngày và giữa các ngày trong 1 năm. Hệ thống điều khiển được thiết kế để đáp ứng với yêu cầu vận hành tự động theo thời gian thực sử dụng module thời gian thực hoặc tín hiệu thu được từ các cảm biến ánh sáng. Động cơ hybrid servo step được sử dụng để điều khiển chuyển động của tấm pin theo những bước đặt cho trước, giúp chuyển động chính xác và tiêu tốn ít năng lượng. Các kết quả nghiên cứu đã được minh chứng thông qua một mô hình thiết bị thực tại trường Đại học Kỹ thuật, Đại học Thái Nguyên. Mô hình đã được thử nghiệm vận hành và cho thấy khả năng áp dụng các ý tưởng đã đề xuất vào thực tế là khả thi và có tính thực tiễn cao.

Từ khóa: Bức xạ mặt trời; Chuyển động hai trục; Điều hướng tấm pin mặt trời; Năng lượng tái tạo; Pin mặt trời.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nguồn năng lượng tái tạo nói chung và nguồn pin mặt trời nói riêng đang rất được quan tâm nghiên cứu, ứng dụng trong thời gian gần đây. Có rất nhiều loại pin mặt trời, trong đó phổ biến nhất là các cell pin mặt trời chế tạo từ Silic, đã được phát triển trong thời gian gần đây và đều có chung một nguyên lý là biến đổi năng lượng của ánh sáng thành điện năng [1, 2].

Nguồn pin mặt trời với nhiều ưu điểm như có tiềm năng lớn, phân bố rộng khắp, phát thải thấp, thời gian lắp đặt ngắn, có thể xây dựng với qui mô nhỏ hoặc lớn. Nhược điểm rõ ràng nhất của loại nguồn này là giá thành lắp đặt cao, công suất phát không ổn định và phụ thuộc vào thời tiết, chỉ phát được trong những giờ có nắng, hiệu suất chuyển đổi quang-điện thấp. Lượng điện năng phát ra phụ thuộc vào công suất của bức xạ mặt trời rơi trên bề mặt tấm pin và mức tiêu thụ của phụ tải [1, 2]. Điều này có thể được khắc phục thông qua việc điều khiển để nâng cao khả năng phát công suất từ loại nguồn này.

Các tấm pin mặt trời hiện nay được điều khiển thông qua việc điều hướng tấm pin theo hướng mặt trời và các bộ biến đổi điện tử công suất [1-7]. Các bộ biến đổi điện tử công suất sẽ được kết hợp với các kỹ thuật điều khiển để bám điểm công suất lớn nhất trên đường đặc tính điện áp-công suất. Bản chất của việc điều khiển này là đưa điện áp ở hai cực đầu ra của tấm pin về điện áp tại điểm lớn nhất. Tuy nhiên, hiệu suất hoạt động của các tấm pin mặt trời phụ thuộc vào cường độ ánh sáng mặt trời. Nếu đặt tấm pin ở vị trí cố định thì chỉ thu được mức công suất tối đa nhất trong một vài giờ cao điểm trong ngày nên hiệu suất chưa cao. Vì vậy, điều hướng tấm pin mặt trời là một giải pháp giúp thay đổi góc nghiêng của tấm pin mặt trời theo hướng vuông góc với hướng chiếu mặt trời tương ứng với sự di chuyển của mặt trời, qua đó giúp tăng hiệu suất thu năng lượng mặt trời, đồng thời có thể đạt được công suất tối đa trong toàn bộ các thời điểm trong ngày. Việc tăng hiệu suất thu năng lượng cho các hệ thống pin mặt trời có ý nghĩa rất

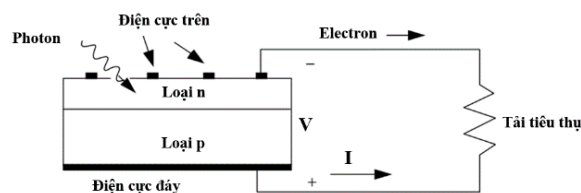
lớn cho những ứng dụng chỉ có thể lắp các tấm pin với quy mô vừa và nhỏ.

Hiện nay, có hai loại hệ thống năng lượng mặt trời định hướng, hệ thống định hướng theo trục đơn, và hệ thống định hướng theo trục kép [1-7]. Hệ thống định hướng theo một trục duy nhất sẽ định hướng theo vị trí mặt trời từ Đông sang Tây trên một trục đặt theo hướng Bắc Nam. Hệ thống trục kép định hướng Đông sang phía Tây và định hướng theo phía Bắc đến phía Nam. Vì vậy, bài báo này sẽ nghiên cứu giải pháp tự động điều hướng tấm pin mặt trời để nâng cao hiệu quả khai thác nguồn pin mặt trời. Phần tiếp theo sẽ trình bày nguyên lý hoạt động của pin mặt trời và ảnh hưởng của góc tới tia sáng đến công suất phát ra của nguồn pin mặt trời. Phần thứ ba sẽ trình bày thiết kế cơ khí và hệ thống điều khiển cho một mô hình thiết bị thực có khả năng điều hướng tự động 2 tấm pin mặt trời. Phần cuối cùng sẽ trình bày những kết luận và đóng góp của nghiên cứu.

2. PIN MẶT TRỜI VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC TỚI TIA SÁNG ĐẾN CÔNG SUẤT PHÁT RA

2.1. Nguyên lý hoạt động của pin mặt trời

Cell pin mặt trời phổ biến nhất hiện nay được chế tạo từ Si do những đặc trưng về hiệu suất, tuổi thọ và tác động đến môi trường. Để trở thành một nguồn điện một chiều, cell chế tạo từ Si phải tạo nên bản cực dương nhờ bán dẫn loại p và bán dẫn loại n. Hai bản cực này được ghép vào nhau tạo nên lớp tiếp giáp p-n. Do sự chênh lệch về mật độ hạt dẫn, các electron sẽ khuếch tán từ bán dẫn loại n sang bán dẫn loại p, còn lỗ trống thì khuếch tán ngược lại. Sự khuếch tán này làm cho phía bán dẫn n tích điện dương, còn phía bán dẫn p tích điện âm. Trong miền tiếp xúc hình thành một điện trường tiếp xúc hướng từ bán dẫn n sang p ngăn cản các quá trình khuếch tán của điện tử và lỗ trống. Sự hình thành điện trường tiếp xúc dẫn đến sự tạo ra một hàng rào thế năng ngăn cản sự khuếch tán của các hạt mang điện qua lớp tiếp xúc. Quá trình khuếch tán chấm dứt sau một thời gian kể từ khi bắt đầu tiếp xúc, đạt trạng thái cân bằng và hình thành một điện trường từ vùng điện tích dương sang vùng điện tích âm. Tuy nhiên, tại lân cận tiếp giáp p-n luôn xảy ra quá trình tái hợp giữa lỗ trống và electron khiến cho số lượng các điện tích tự do giảm đi, vì vậy, vùng này còn có tên gọi là vùng nghèo, vùng này có tính dẫn điện kém và tạo nên tính chính lưu của lớp tiếp xúc bán dẫn. Nếu một phụ tải được kết nối vào phía p và n của nguồn pin mặt trời qua dây dẫn, dòng electron sẽ đi ra từ vùng n vào dây dẫn, qua tải và trở lại vùng p như trong hình 1. Theo quy ước, dòng điện dương chạy theo hướng ngược so với dòng electron nên các mũi tên thể hiện dòng điện đi từ vùng p qua tải và trở lại vào vùng n [1, 2].



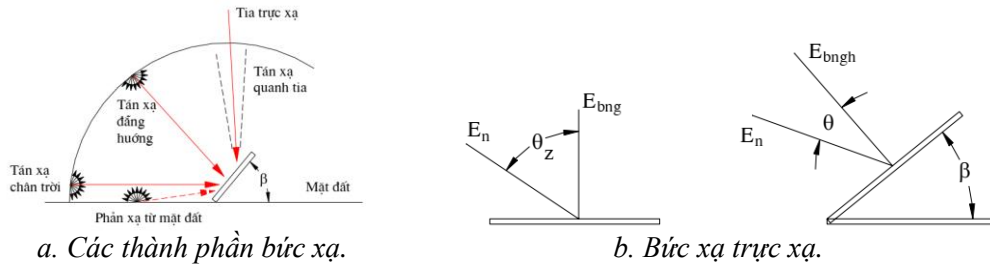
Hình 1. Dòng điện cung cấp bởi nguồn pin mặt trời khi được kết nối ra mạch ngoài.

2.2. Ảnh hưởng của tia sáng đến công suất phát ra của pin mặt trời

Các photon có đủ năng lượng (bước sóng nhỏ hơn 1,11 μm) sẽ tạo ra các cặp electron-lỗ trống trong một chất bán dẫn. Những photon có bước sóng dài hơn 1,11 μm (chiếm khoảng 20,2% năng lượng mặt trời đến) không có đủ năng lượng để kích thích các electron bứt ra khỏi liên kết nguyên tử ($h\nu < E_g$). Phần năng lượng còn lại tương ứng với những photon có bước sóng ngắn hơn 1,1 μm (trong khoảng từ 0,3 μm đến 1,1 μm) nhưng có tới 30,2% trong tổng năng lượng mặt trời bị mất mát trong khí quyển và không thể đến với PV cell.

Khi xét trên một bề mặt của tấm pin, các thành phần bức xạ trên bề mặt nghiêng được kể

đến bao gồm trực xạ, tán xạ và phản xạ từ các bề mặt lân cận như mô tả trên hình 2a [8].



Hình 2. Bức xạ trên bề mặt nghiêng.

Như vậy, tổng xạ $E_{\beta\Sigma}$ rơi trên một bề mặt nghiêng tạo một góc β so với phương nằm ngang được xác định theo (1) [8]:

$$E_{\beta\Sigma} = E_b B_b + E_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + E_{\Sigma} R_g \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (1)$$

trong đó: E_{Σ} là tổng xạ trên bề mặt nằm ngang; R_g là hệ số phản xạ bức xạ của môi trường xung quanh; E_b là bức xạ trực xạ; B_b là tỷ số bức xạ của bề mặt nghiêng so với bề mặt ngang; E_d là tổng tán xạ trên bề mặt nghiêng.

Giá trị của B_b được xác định theo (2):

$$B_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2)$$

trong đó, góc θ và θ_z được xác định như trên hình 2b.

Có thể coi cường độ bức xạ tới mặt đất là hàm của thời gian τ (s) tính từ lúc mặt trời mọc ($\tau = 0$) đến khi mặt trời lặn ($\tau = 12 \times 3600$ s). Khi đó, hàm của bức xạ mặt trời trên bề mặt trái đất được xác định theo (3) [8]:

$$E_{\Sigma}(\tau) = E_n \sin \varphi(\tau) \quad (3)$$

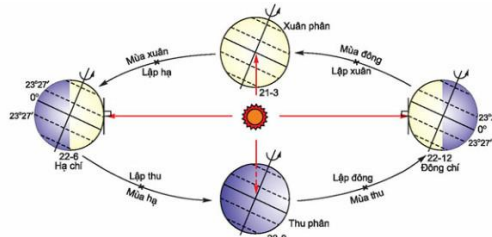
trong đó: $\varphi(\tau) = \omega\tau$ là góc nghiêng của tia sáng so với mặt đất; $\omega = 7,72 \times 10^{-5}$ rad/s là tốc độ góc tự xoay của trái đất; E_n (W/m^2) là cường độ bức xạ cực đại trong ngày tại vĩ độ xét.

Các phân tích trên cho thấy bức xạ mặt trời rơi trên bề mặt tấm pin mặt trời sẽ thay đổi khá nhiều theo thời gian trong một ngày. Điều này có ảnh hưởng đến năng lượng của photon và ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tạo nên dòng điện của tấm pin mặt trời.

3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH TỰ ĐỘNG ĐIỀU HƯỚNG TẤM PIN MẶT TRỜI

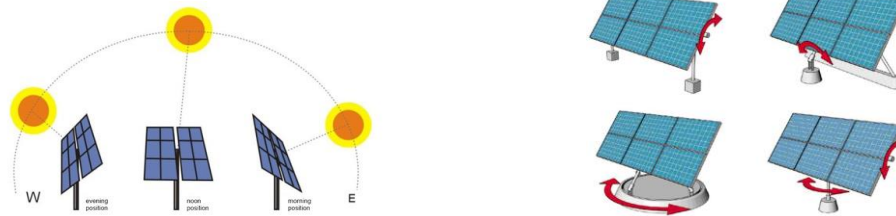
3.1. Thiết kế cơ khí

Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo hướng từ Tây sang Đông trên quỹ đạo có hình ellipse gần tròn. Trái Đất chuyển động một vòng quanh Mặt Trời trên quỹ đạo hết 365 ngày và 6 giờ. Trong khi chuyển động trên quỹ đạo quanh mặt trời, trục Trái Đất luôn nghiêng một góc và hướng nghiêng không đổi như thể hiện trên hình 3 [9].



Hình 3. Sự vận động của Trái Đất quanh Mặt Trời và các mùa ở Bắc bán cầu.

Như vậy, sự biến đổi của bức xạ mặt trời sẽ thay đổi trong ngày và giữa các mùa trong năm. Vì vậy, tấm pin mặt trời cần được thiết kế xoay 2 trục để điều chỉnh được góc nghiêng như mô tả trên hình 4 [3-6].



a. Hướng quay tấm pin theo Mặt Trời.

b. Sự chuyển động theo trục ngang và dọc.

Hình 4. Điều chỉnh góc nghiêng 2 trục.

Thiết kế cơ khí được đề xuất trong bài báo này sử dụng cơ cấu kiểu vòng bi cho kết cấu trục ngang và trục đứng. Việc trang bị vòng bi ở những khớp chuyển động và đỡ giàn pin sẽ giúp giảm ma sát, qua đó làm giảm sức tải (mức độ tiêu thụ năng lượng) của động cơ, tăng hiệu suất chung của hệ thống. Khi xét cho một hệ 2 tấm pin mặt trời, một cấu trúc thiết kế cơ khí được đề xuất như mô tả trên hình 5a và mô hình thiết bị thực trên hình 5b.



a. Cấu trúc khối 3D.



b. Mô hình thiết bị thực.

Hình 5. Cấu trúc thiết kế cơ khí đề xuất cho hệ thống xoay tấm pin.

Trục ngang là giá đỡ tấm pin, xoay từ đông sang tây. Bánh răng xoay chuyển của trục ngang được gắn cố định trên giá đỡ pin. Cấu trúc của hệ truyền động trục ngang gồm 2 bánh răng. Bánh răng thứ nhất là nửa hình tròn được hàn xích xung quanh với $R = 20$ cm và 50 mắt xích. Bánh răng thứ 2 với $R = 4$ cm và 14 răng. Tỷ số truyền 1:3.

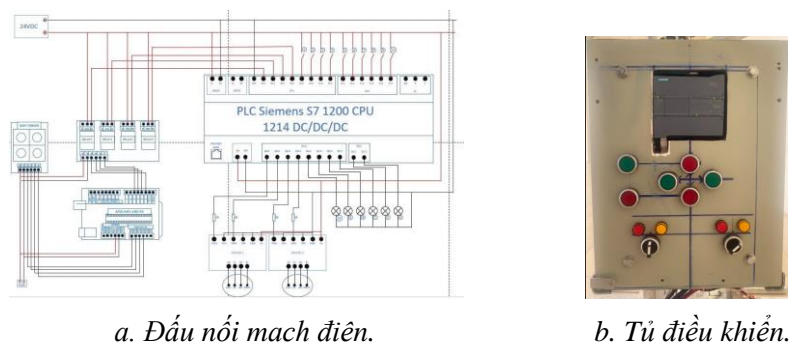
Việc thiết kế bánh răng dạng quạt lớn gắn cố định với tấm pin và bánh răng nhỏ gắn ở động cơ giúp hệ thống có thể đặt được số lượng tấm pin nhiều hơn mà vẫn đảm bảo được sự ổn định làm việc của hệ thống, điều hướng góc chính xác hơn. Đồng thời răng của bánh răng và xích giữ tấm pin chắc hơn và chống tốc tấm pin trong điều kiện thời tiết có gió lớn.

Trục đứng (theo phương dọc) đỡ trục ngang, tấm pin xoay từ hướng bắc sang hướng nam. Cấu trúc của hệ truyền động gồm 2 bánh răng. Bánh răng lớn có 55 răng với $R = 10$ cm. Bánh răng nhỏ có 19 răng, $R = 2$ cm. Tỷ số truyền 19/55.

3.2. Thiết kế phần điện và điều khiển

Các thiết bị trong hệ thống được lắp đặt theo sơ đồ như trên hình 6a. Các thiết bị trên được đặt trong tủ như trên hình 6b.

Các thiết bị chính trong hình 6: Nguồn 24V để cấp nguồn cho PLC, driver và động cơ; Nguồn 5V để cấp nguồn cho Board Arduino và cảm biến ánh sáng; Bộ vi xử lý PLC SIEMENS S7 1200 DC/DC/DC và Arduino MEGA; Động cơ hybrid servo step 57 và drive HBS57 để điều khiển động cơ. Các tấm pin mặt trời sẽ được điều khiển xoay theo thời gian thực hoặc bám theo chuyển động của mặt trời nhờ thông tin thu được từ 4 cảm biến ánh sáng.



Hình 6. Sơ đồ đấu nối mạch điện.

Toàn bộ mô hình thiết bị thực được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Tổng thể thiết kế cơ khí và phân điện cho mô hình thiết bị thực.

• Với hệ thống tự xoay theo thời gian thực:

Sử dụng module thời gian thực trong PLC SIEMENS để điều khiển động cơ và dựa vào chu trình chiếu sáng của mặt trời trong ngày và các tháng. Trong đó: Trục ngang thực hiện xoay theo giờ trong ngày với bước thời gian là 1 h. Khoảng thời gian ban ngày khoảng từ 6 h đến 18 h. Như vậy, trục ngang có 12 trạng thái xoay vào ban ngày; Trục đứng thực hiện xoay theo tháng, trong đó thực hiện 12 trạng thái ứng với 12 tháng trong năm.

Đến 18h hàng ngày, bộ điều khiển sẽ đưa tấm pin về góc ban đầu để đón ánh sáng của sáng hôm sau. Điều này có nghĩa là tấm pin sẽ đứng yên trong khoảng thời gian từ 18h ngày hôm trước đến 6h sáng hôm sau.

Việc xác định vị trí đặt ban đầu sẽ dựa vào [10] để mô hình 3D đường đi mặt trời trong năm tại vị trí lắp đặt tấm pin mặt trời. Áp dụng cho mô hình đặt tại trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp (TNUT) - Đại học Thái Nguyên, kết quả về góc nghiêng được thể hiện trên hình 8.

Sau khi có được mô phỏng đường đi của mặt trời trong năm bao gồm cao độ và vĩ độ, có thể tính được góc nghiêng của pin. Chọn vị trí đặt hệ thống điều hướng pin mặt trời tại TNUT, áp dụng công thức tính được góc nghiêng cần thiết để xoay tấm pin theo tháng như trong bảng 1 [4].



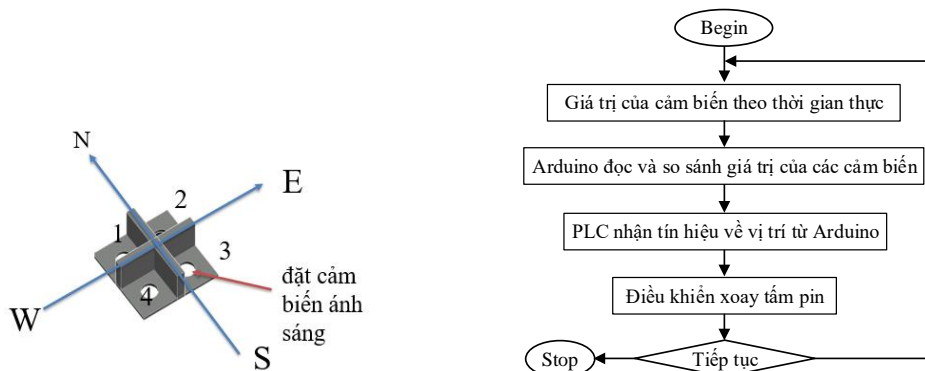
Hình 8. Kết quả về góc nghiêng điều hướng tại TNUT.

Bảng 1. Góc nghiêng xoay theo tháng.

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Góc	39°	33°	24°	12°	4°	7°	8°	3°	8°	20°	31°	38°

• Hệ thống tự động xoay theo cảm biến

Mô hình sử dụng cảm biến quang trở do có độ nhạy sáng tốt theo sự thay đổi hướng sáng của cảm biến. Các cảm biến được thiết kế tách biệt với nhau bởi các gờ cao để phát hiện chính xác vị trí của mặt trời theo thời gian thực như thể hiện trên hình 9a.



a. Thiết kế khu vực đặt cảm biến ánh sáng. b. Thuật toán điều khiển.

Hình 9. Thiết kế khu vực đặt cảm biến ánh sáng và thuật toán điều khiển.

Board Arduino Mega được sử dụng để đọc tín hiệu 4 cảm biến ánh sáng (tín hiệu analog). Arduino thực hiện phép so sánh và chuyển về PLC để điều khiển cả 2 động cơ xoay cho đến khi giá trị của 4 cảm biến ánh sáng bằng nhau. Thuật toán điều khiển được thể hiện trên hình 9b.

Trong trường hợp này, PLC sẽ thường xuyên kiểm tra, so sánh góc quay ở chế độ xoay theo cảm biến hướng sáng và khoảng góc chuẩn cố định đã cài để nhận biết sai lệch của hệ thống. Nếu sai lệch quá với khoảng góc đúng thì hệ thống tự động chuyển về chế độ chạy theo thời gian thực, trong đó, cảm biến trên/dưới sẽ quyết định điều khiển động cơ trực ngang; cảm biến trái/phải sẽ quyết định điều khiển động cơ trực dọc.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được giải pháp điều hướng tự động cho nguồn pin mặt trời. Giải pháp này là sự kết hợp của thiết kế cơ khí truyền động 2 trục và hệ thống điều khiển. Bộ điều khiển có thể sử dụng thông tin về thời gian thực hoặc thông tin thu được từ cảm biến ánh sáng để điều hướng tấm pin theo thời gian thực trong một ngày hoặc giữa các ngày trong một năm.

Một mô hình thiết bị thực đã được thiết kế và vận hành tại TNUT để minh chứng cho các đề xuất trong bài báo. Mô hình này sử dụng PLC Siemens, board Arduino Mega 2560, cảm biến ánh sáng, động cơ hybrid servo step 57 và drive HBS57 để điều khiển góc nghiêng của 2 tấm pin mặt trời. Các kết quả vận hành trên mô hình cho các ý tưởng thiết kế đề xuất hoàn toàn có thể áp dụng cho các nguồn pin mặt trời công suất vừa và nhỏ, lắp đặt trên mái nhà.

Bài báo đã có những đóng góp để giải quyết bài toán tự động điều hướng tấm pin mặt trời. Những vấn đề đặt được của bài báo sẽ cần tiếp tục cần được thử nghiệm trên mô hình trong bài báo để phát hiện những vấn đề phát sinh của hệ thống cơ khí và phần điện, từ đó đưa ra những chỉnh sửa trước khi đưa ra lắp đặt cho các hệ thống thực tế. Đồng thời, những thử nghiệm của hệ thống tự động xoay tấm pin kết hợp điều khiển bộ biến đổi điện tử công suất cũng sẽ được thực hiện trong thời gian tới để đánh giá hiệu quả năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Tiên Phong, Dương Hòa An, Ngô Đức Minh, Vũ Xuân Tùng, “*Thiết kế tích hợp hệ thống năng lượng tái tạo*”, Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên, (2021).
- [2]. Lê Tiên Phong, Ngô Đức Minh, “*Năng lượng tái tạo trong hệ thống điện*”, Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên, (2016).
- [3]. Ashok Kurmar, N.S Thakur, Rahul Makade, Maneesh Kumar Shivhare, “*Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Array*”, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Volt. 3, No. 4, (2011).
- [4]. Nguyễn Thị Bích Hạnh, Trần Văn Hiến Thông, “*Ứng dụng IoT giám sát và điều hướng hệ thống pin năng lượng mặt trời công suất nhỏ*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân, 3(52), pp. 3-13, (2022).
- [5]. Trần Văn Trường, Lê Văn Sơn, Bùi Như Phong, “*Hệ thống hướng sáng pin mặt trời*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ, Tập san Sinh viên nghiên cứu khoa học, Số 9, pp. 5-8, (2019).
- [6]. Lý Ngọc Thắng, “*Nghiên cứu thiết kế hệ thống tự động thích ứng với vị trí mặt trời nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng các thiết bị dùng năng lượng mặt trời*”, Đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ, Viện năng lượng.
- [7]. Pawan D. Kale, D.S. Chaudhari, “*A Review on Maximum Power Point Tracking (MPPT) Controlling Methods for A Photovoltaic System*”, International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE), ISSN: 2319-6378, Volume 1, Issue 5, (2013).
- [8]. Hoàng Dương Hùng, “*Năng lượng mặt trời - Lý thuyết và Ứng dụng*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, (2007).
- [9]. <https://sokhcn.haiduong.gov.vn/Trang/ChiTietTinTuc.aspx?nid=3301&title=tim-hieu-ve-su-van-dong-cua-trai-dat-quanh-mat-troi-va-hien-tuong-bon-mua-trong-nam.html>

ABSTRACT

A solution to regulate tilt angle for photovoltaic panels to improve the capability to harness power from photovoltaic power generation

This study proposes two design methods for mechanical and control systems to improve the capability to generate power from photovoltaic power generation. The operating principle of photovoltaic power generation and the effect of solar irradiance on the ability to release electrons will be considered and analysed to make clear the role of the solar tracking system in the operating process. The mechanical design will be introduced for a two-axis system to track the movement of the sun at any time in a day and days in a year. The control system is designed to meet automatic operating requirements in real time using real-time module or information collected from light sensors. Hybrid servo-step motors will be used to rotate two axes with a fixed distance corresponding to the designed angle calculations that can help to have accurate movements and low power consumption. Proposed researches will be demonstrated by an experimental model created in Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen University. This model was installed and tested in its operations for a long time to show the ability to apply scientific ideas to real systems as solar trackers.

Keywords: Photovoltaic power generation; Renewable energy; Solar irradiance; Two-axis movement; Solar tracking system.