

Nghiên cứu, thực nghiệm và so sánh hệ thống xoay tấm pin mặt trời theo một trục và hai trục để tăng công suất phát điện của tấm pin

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

¹Khoa Cơ Khí, Trường Đại Học Bách Khoa TP. HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP.HCM, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Thế Bảo, Khoa Cơ Khí, Trường Đại Học Bách Khoa TP. HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP.HCM, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: thebao@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 13-10-2023
- Ngày chấp nhận: 18-12-2023
- Ngày đăng: 31-12-2023

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i4.1285>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Một chương trình mô phỏng kết hợp với việc tiến hành thực nghiệm với ba hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời theo một trục và hai trục sẽ được giới thiệu trong bài báo này. Hệ thống pin mặt trời ngày nay đã rất phổ biến nhưng để có thể đạt được hiệu suất cao, cần phải thiết kế hệ thống tấm pin mặt trời có khả năng tự động điều hướng theo hướng vuông góc với tia bức xạ mới có thể tối ưu được công suất cao nhất. Do đó việc ứng dụng hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời không những giúp gia tăng công suất điện mà còn giúp cải thiện tình trạng cạn kiệt nguồn tài nguyên nhiên liệu hóa thạch hiện nay. Dựa vào các kết quả đo thực tế và dữ liệu mô phỏng tính toán thu được, bài báo cho biết công suất điện của tấm pin mặt trời khi áp dụng hệ thống điều hướng hai trục sẽ tăng 3.96% so với hệ thống một trục và tăng 36.8% khi so sánh với hệ đặt cố định theo góc nghiêng 15 và hướng về phía Nam, là góc đặt trung bình tại Việt Nam. Ngoài ra, dựa vào các mối quan hệ tương quan góc hình học giữa Mặt Trời và mặt phẳng nghiêng, nhóm còn áp dụng chương trình mô phỏng vào nghiên cứu để có thể thể hiện được sự hiệu quả khác nhau của mô hình xuyên suốt trong một năm tại thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Kết quả cho thấy vào tháng 8, Mặt Trời ở vị trí cao nhất nên sự chênh lệch hiệu quả giữa hai mô hình là không cao, 3.4% nhưng vào tháng 1 thì Mặt Trời ở vị trí thấp hơn rất nhiều nên sự hiệu quả thể hiện rất rõ, loại điều hướng hai trục cao hơn 45.9% so với loại một trục.

Từ khoá: Góc cao, góc phương vị, solar tracking, tăng hiệu suất pin mặt trời, điều hướng pin mặt trời

GIỚI THIỆU

Việt Nam là một quốc gia nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa và có lượng bức xạ trung bình năm khá lớn, có vị trí địa lý khá thuận lợi, bao gồm nhiều đảo và quần đảo với đường bờ biển dài chạy dọc. Nhờ vào chính sách khuyến khích phát triển và tìm kiếm nguồn năng lượng mới của Chính Phủ, Việt Nam đã có sự phát triển nhảy vọt về việc áp dụng trong lĩnh vực năng lượng tái tạo trong những năm đổ lại đây, trong đó có điện mặt trời. Đến cuối tháng 12 năm 2021, tổng công suất lắp đặt điện mặt trời tại Việt Nam đã đạt gần 16.544 MWp, vượt công suất lắp đặt ở một số nước châu Âu và đứng đầu tại Đông Nam Á về công suất lắp đặt. Hiện nay, Việt Nam xếp thứ 8 trong top 10 quốc gia có công suất lắp đặt năng lượng mặt trời chiếm 2.3% toàn cầu¹.

Tuy nhiên, một vấn đề lớn của các hệ thống trong các nhà máy hay trang trại sử dụng điện mặt trời hiện nay vẫn sử dụng phương pháp cũ là đặt cố định theo góc tia tới mặt trời, mặc khác Mặt Trời liên tục di chuyển từ Đông sang Tây mỗi ngày cũng như sẽ thay đổi góc độ cao (altitude angle) suốt 365 ngày trong một năm.

Góc tới của tia bức xạ mặt trời q tới một mặt phẳng nằm nghiêng được tính theo công thức trong tài liệu Kalogirou (2013)²:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \Phi \cos \beta - \sin \delta \cos \Phi \cos \beta + \cos \delta \Phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma_c \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma_c \sin \omega$$

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)

γ_c : góc phương vị của tấm pin mặt trời (độ).

Từ công thức trên, thấy góc của tia tới sẽ thay đổi 8760 giá trị khác nhau ứng với 8760 giờ trong một năm. Do đó, 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 năng sinh ra của tấm pin sẽ được tăng lên đáng kể. Đây chính là mục đích chính của việc nghiên cứu và thực nghiệm hệ thống

Trích dẫn bài báo này: Khánh N Q, Khang H T, Nghị T H, Bảo N T. **Nghiên cứu, thực nghiệm và so sánh hệ thống xoay tấm pin mặt trời theo một trục và hai trục để tăng công suất phát điện của tấm pin.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2023; 6(4):2035-2047.

xoay tấm pin mặt trời theo hướng của tia bức xạ để tăng công suất phát điện của tấm pin sẽ được trình bày trong bài báo này.

Trên thế giới đã có nhiều tác giả thực hiện và nghiên cứu cơ cấu điều hướng tấm để tăng công suất phát điện của tấm pin mặt trời. Hussain Mohammad Fahad và các cộng sự³ đã sử dụng các dữ liệu sẵn có để mô phỏng tính hiệu quả của hai hệ thống một trục và hai trục tại Bangladesh có xét đến hệ số quang mây tại khu vực. Nhóm tác giả đã kết luận rằng, hệ xoay hai trục hiệu quả hơn hệ xoay một trục 3.96% và 3.44% khi không xét và có xét đến hệ số quang mây trong khi cả hai hệ thống hiệu quả hơn so với hệ đứng yên lần lượt là 36.8% và 32.2%. Tương tự, nhóm tác giả khác bao gồm Yongqiang Zhu, Jiahao Liu, Xiaohua Yang⁴ đã mô phỏng năng lượng bức xạ rơi trên mặt phẳng khi cho quay theo một trục với nhiều hướng khác nhau. Kết quả mô phỏng rất khả quan khi hiệu quả của việc điều hướng theo một trục có thể hấp thu được 78.56% đến 96.4% năng lượng bức xạ mặt trời trên Trái Đất tùy theo hướng quay trong khi ở mặt phẳng cố định chỉ nhận được 63.46% tổng năng lượng.

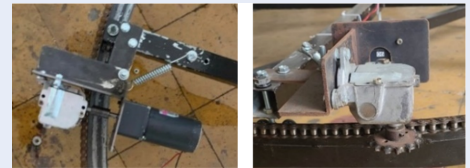
Bài báo này sẽ giới thiệu cả ba loại hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời với nguyên lý hoạt động khác nhau bao gồm xoay hai trục bằng cảm biến ánh sáng, xoay hai trục và một trục theo dữ liệu tính toán và sử dụng động cơ bước. Bài báo cũng trình bày một mô hình toán học sử dụng chức năng Simulink của phần mềm Matlab để thể hiện tính hiệu quả thông qua các mối quan hệ hình học để so sánh và xác thực tính chính xác cũng như độ tin cậy của mô hình thực nghiệm. Mục đích của bài báo này nhằm nghiên cứu các vị trí góc thuận lợi để đặt tấm pin mặt trời tại thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam và thông qua chương trình mà có thể mô phỏng dữ liệu góc cho các tình huống khác để có thể khai thác nguồn năng lượng tái tạo này một cách hiệu quả.

MÔ TẢ HÌNH THỨC VÀ CÔNG THỨC TOÁN HỌC

Cả ba mô hình đều có ba thành phần chính, bao gồm: tấm pin mặt trời, phần cơ khí và mạch điện. Trong đó, hai mô hình có khả năng xoay tấm pin theo cả hai trục thẳng đứng và nằm ngang để có thể hướng theo các tia mặt trời theo bốn hướng một cách hiệu quả nhất. Mô hình điều hướng tấm pin theo một trục có thể hướng theo từ Đông sang Tây và có nguyên lý hoạt động tương tự như vậy. Bảng 1 trình bày thông số kỹ thuật của tấm pin mặt trời được sử dụng trong phần thực nghiệm.

MÔ HÌNH ĐIỀU HƯỚNG TẤM PIN MẶT TRỜI BẰNG CẢM BIẾN ÁNH SÁNG

Hệ thống được hoạt động dựa trên sự chênh lệch giá trị điện áp giữa các tấm pin nhỏ với nhau (bộ phận cảm biến). Hình 1 và Hình 2 thể hiện cơ cấu chuyển động và Hình 3 thể hiện mô hình hoàn chỉnh.



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



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

Gọi các số 0, 1, 2, 3 là ký hiệu vị trí các tấm pin mặt trời nhỏ và [0], [1], [2], [3] được xem như giá trị điện áp tương ứng tại thời điểm đang xét. Gọi K và N là khoảng chênh lệch thời gian thiết lập cho trước và thành lập các công thức như trong Bảng 2.

Hệ thống được điều khiển qua một hệ mạch điện tử với bộ phận chính là mạch Arduino Uno R3. Ngôn ngữ lập trình được thực hiện trên máy tính bằng phần mềm Arduino IDE rồi sau đó nạp vào mạch Arduino. Cổng nhận tín hiệu của Arduino sẽ kết nối với bốn tấm pin mặt trời nhỏ đóng vai trò là cảm biến ánh sáng được ngăn cách nhau bởi một tấm chắn hình dấu

Bảng 1: Thông số kỹ thuật của tấm pin

THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA TẤM PIN	
DƯỚI MÔI TRƯỜNG VẬN HÀNH TIÊU CHUẨN: 1000 W/m ² cường độ bức xạ, 25°C nhiệt độ tấm pin	
Công suất cực đại (P_{max})	135 Wp
Hiệu điện thế tại công suất cực đại ($V_{p_{max}}$)	17,7 V
Cường độ dòng điện tại công suất cực đại ($I_{p_{max}}$)	7,63 A
Hiệu điện thế hở mạch (V_{oc})	22,4 V
Cường độ dòng điện ngắn mạch (I_{sc})	8,18 A
Hiệu điện thế cực đại	715 V
Sai số ảnh hưởng của nhiệt độ lên công suất (Br)	-0.47%/°C
Sai số ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện áp hở mạch	-0.35%/°C
Sai số ảnh hưởng của nhiệt độ lên dòng ngắn mạch	0.06%/°C
Nhiệt độ hoạt động danh nghĩa	41 ± 3°C
Sai số công suất	±5%
Kích thước	1494 664 34 ± 1 mm
Trọng lượng	11.4 kg

Bảng 2: Công thức xác định độ chênh lệch điện áp của các tấm pin nhỏ

$X[0] = ([0] + [2])/2$	$Y[0] = ([0] + [1])/2$
$X[1] = ([1] + [3])/2$	$Y[1] = ([2] + [3])/2$
$X = X[0] - X[1]$	$Y = Y[0] - Y[1]$



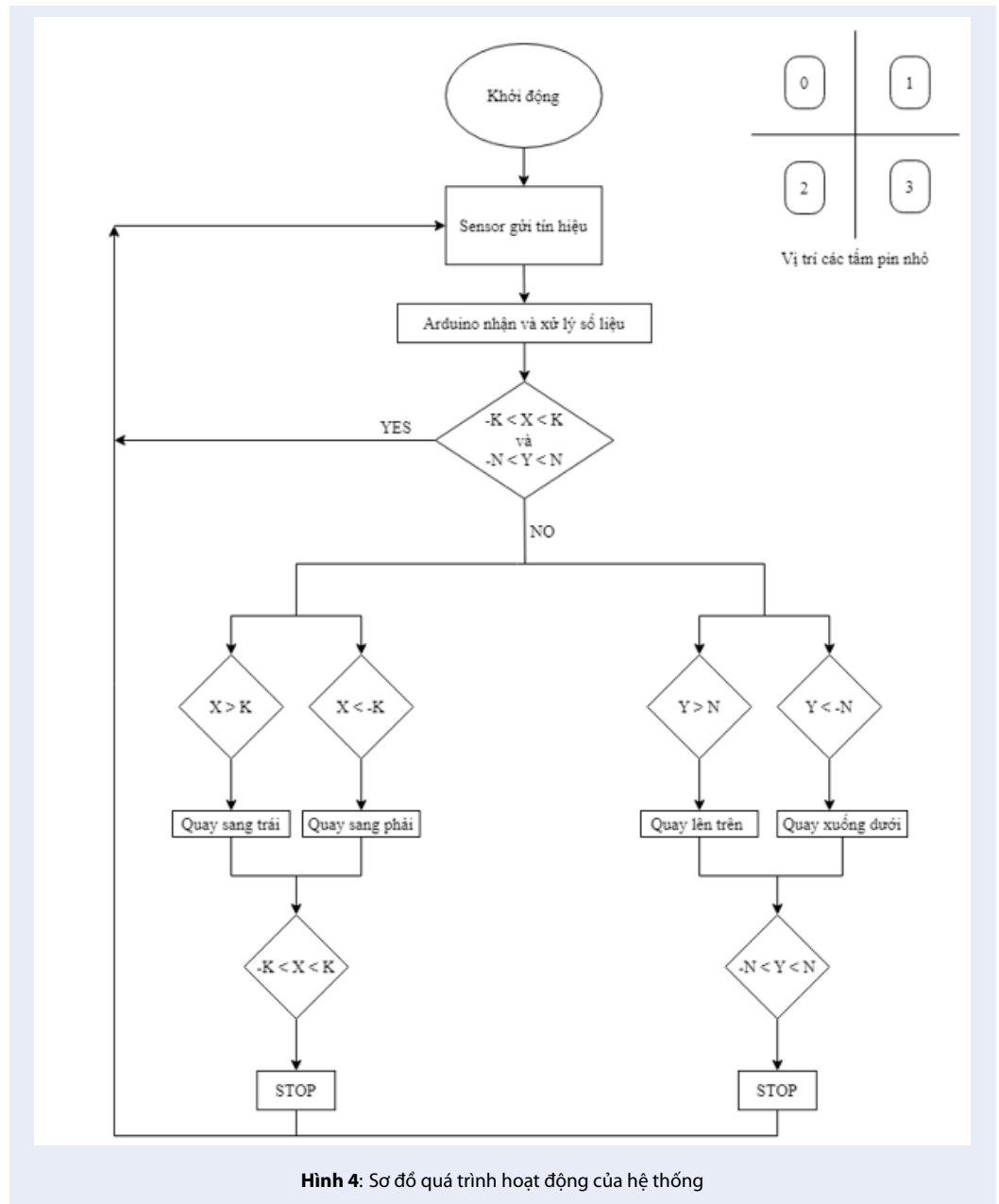
Hình 3: Mô hình điều hướng tấm pin bằng cảm biến ánh sáng

cộng, tín hiệu từ cảm biến sẽ được xử lý theo quy tắc ở Bảng 2. Nếu như $X > K$ thì có nghĩa là cường độ ánh sáng rơi trên hai tấm pin bên trái đang lớn hơn hai vị trí còn lại. Lúc này, mạch Arduino sẽ gửi tín hiệu đến bộ phận điều khiển động cơ quay theo trục thẳng đứng để khiến động cơ hoạt động và quay mô hình

sang bên trái cho đến khi $X < K$ thì dừng lại. Ngược lại, nếu hai tấm pin nhỏ bên phải đang nhận lượng bức xạ lớn hơn, X sẽ có giá trị âm và nếu $X < -K$ thì động cơ sẽ nhận tín hiệu từ mạch điều khiển và quay mô hình sang phải cho đến khi $X > -K$ thì dừng lại. Tương tự cho động cơ quay theo trục thẳng đứng, nếu giá trị của Y ngoài khoảng $[-N, N]$ thì động cơ sẽ hoạt động cho đến khi sự chênh lệch điện áp thấp hơn độ lớn của N cho trước. K và N sẽ thể hiện độ nhạy của hệ thống, độ lớn của K và N càng nhỏ thì mô hình càng nhạy. Hình 4 mô tả sơ đồ hoạt động của hệ thống.

Mô hình điều hướng tấm pin mặt trời bằng động cơ bước theo hai trục và một trục

Để có thể nhận năng lượng mặt trời một cách hiệu quả, cần phải dự đoán chính xác vị trí của mặt trời so với người quan sát trên mặt đất. Theo góc nhìn của Claudius Ptolemaeus², một nhà địa lý, toán học và thiên văn học người Hy Lạp, nếu xem Trái Đất đứng yên và Mặt Trời xoay quanh nó, sự di chuyển của Mặt Trời đối với người quan sát tại một vị trí bất kỳ trên Trái Đất sẽ bị ràng buộc bởi hai giá trị góc là góc độ cao α (solar altitude angle) và góc phương vị mặt trời



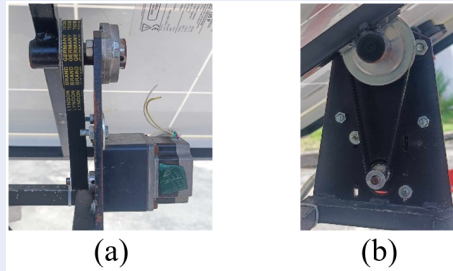
γ (solar azimuth angle). Để có thể giải được phương trình của α và γ cần phải xác định trước hai thông số là độ xích vĩ mặt trời δ và góc giờ ω . Hình 5 và Hình 6 trình bày cơ cấu truyền động của hệ thống. Hình 7 và Hình 8 thể hiện mô hình một trục và hai trục hoàn chỉnh.

Khác với mô hình trên, mô hình này không có cảm biến để nhận biết trực tiếp vị trí mà tấm pin vuông góc với bức xạ mà thay vào đó là một bảng số liệu có được từ các công thức tính toán để xác định hai góc α và γ . Phương thức tính toán sẽ được thể hiện qua các công thức (2) đến (9).

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

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

Góc giờ ω tại một vị trí được định nghĩa là góc làm cho Trái Đất quay sao cho đỉnh đầu của quan sát viên tại vị trí đang xét ngay bên dưới Mặt Trời. 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 1 góc $\omega=+15^\circ$ ứng với giờ buổi chiều¹.



Hình 5: Cơ cấu truyền động phía trên xoay theo trục nằm ngang



Hình 6: Cơ cấu truyền động phía dưới xoay theo trục thẳng đứng



Hình 7: Mô hình điều hướng tấm pin theo một trục bằng động cơ bước



Hình 8: Mô hình điều hướng tấm pin theo hai trục bằng động cơ bước

Góc độ cao α là góc biểu thị cho cao độ của mặt trời so với mặt phẳng nằm ngang và có quan hệ phụ nhau với góc thiên đỉnh θ_z , là góc giữa pháp tuyến mặt phẳng ngang với tia mặt trời. Nghĩa là $\alpha + \theta_z = 90^\circ$. Với Φ là vĩ độ tại vị trí đang xét, công thức toán học thể hiện góc độ cao là:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= \cos(\theta_z) \\ &= \cos(\phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\phi) \sin(\delta) \end{aligned} \quad (3)$$

Với cơ chế điều hướng theo hai trục thì bề mặt của tấm pin luôn vuông góc với các tia mặt trời, vì thế góc tới $\theta = 0^\circ$ tại mọi thời điểm. Để được như thế, cần phải đặt tấm pin nghiêng một góc β có giá trị bằng với góc thiên đỉnh θ_z . Với sự xuất hiện của β , có thể xem tấm pin đang được đặt trên mặt phẳng ngang với một vĩ độ nhân tạo $(\Phi - \beta)$. Đối với mặt phẳng nằm ngang thì $\theta = \theta_z$. Vì thế, công thức (3) có thể được điều chỉnh sửa như sau:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \cos(\phi - \beta) \cos(\omega) \cos(\delta) \\ &+ \sin(\phi - \beta) \sin(\delta) \end{aligned} \quad (4)$$

Tuy nhiên, chỉ một mình β thì không đủ điều kiện làm cho $\theta = 0^\circ$ tại mọi thời điểm bởi vì chỉ với θ và β trong phương trình (4), chỉ có thể đang xem như các tấm pin và Mặt Trời nằm trong một mặt phẳng đứng và Mặt Trời thay đổi độ cao theo một đường thẳng. Trong thực tế thì phức tạp hơn nhiều bởi vì Mặt Trời di chuyển theo một hình vòng cung từ Đông sang Tây. Vì thế, cần phải xác định thêm một biến số khác, góc phương vị mặt trời γ , là góc trong mặt phẳng ngang đo từ trục phương Nam đến hình chiếu của tia mặt trời lên mặt phẳng ngang. Cũng tương tự như trên, góc phương vị của tấm pin γ_c , là góc trong mặt phẳng

ngang đo từ trục phương Nam đến hình chiếu của tấm pin lên mặt phẳng ngang, phải bằng với góc phương vị mặt trời γ . Đi về hướng Tây lấy giá trị dương và ngược lại thì lấy giá trị âm. Công thức xác định góc phương vị là:

$$\sin(\gamma) = \sin(\gamma_c) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \quad (5)$$

Không cần thiết phải tính tất cả các giá trị góc ứng với 24 giờ đồng hồ mà chỉ cần xác định các góc vào khoảng thời gian mặt trời xuất hiện trên bầu trời thông qua góc giờ mặt trời mọc (ω_{sr}) và lặn (ω_{ss}) và độ dài ngày D.

Vị trí mà Mặt Trời mọc và lặn trong một ngày sẽ ứng với giá trị góc độ cao α bằng 0. Vì thế, góc mặt trời lặn ω_{ss} có thể tìm được bằng cách giải phương trình (3) khi $\alpha=0^\circ$. ω_{ss} có giá trị dương tại thời điểm Mặt Trời lặn.

$$\begin{aligned} \sin(0) &= \cos(\phi) \cos(\omega_{ss}) \cos(\delta) \\ &+ \sin(\phi) \sin(\delta) \end{aligned} \quad (6)$$

Hay

$$\cos(\omega_{ss}) = -\tan(\phi) \tan(\delta) \quad (7)$$

Bởi vì góc giờ ω tại thời điểm giữa trưa là 0° và mỗi 15° tương đương với 1 giờ, thời gian Mặt Trời mọc (H_{sr} , tính từ lúc mới mọc cho đến giữa trưa) và lặn (H_{ss} , tính từ lúc giữa trưa cho đến khi lặn hoàn toàn) theo tài liệu Kalogirou (2013)² sẽ là:

$$\begin{aligned} H_{ss} &= -H_{sr} = \\ &\frac{1}{15} \cos^{-1}[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (h) \end{aligned} \quad (8)$$

Tương tự, có thể tính được độ dài ngày là gấp đôi thời gian mọc hoặc lặn của Mặt Trời.

$$D = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (h) \quad (9)$$

Dữ liệu của hai góc β và γ tính toán được sẽ được thể hiện dưới dạng bảng và đưa vào bộ nhớ của mạch Arduino Mega 2560 CH340. Với sự hỗ trợ của module thời gian thực, mạch Arduino sẽ có dữ liệu về thời gian thực tế và từ đó tra theo hai biến là thứ tự ngày trong năm và mốc thời gian giờ trong ngày để lấy đúng chính xác hai góc β và γ cần thiết rồi gửi tín hiệu lệnh cho mạch điều khiển động cơ bước. Động cơ bước với thông số là 0.25 độ mỗi vi bước sẽ điều hướng tấm pin vào đúng vị trí góc như đã tính toán. Động cơ phía trên sẽ điều khiển tấm pin quay theo góc β và động cơ phía dưới sẽ điều khiển tấm pin theo góc γ . Hình 9 được trích từ tài liệu² sẽ làm rõ một cách trực quan về mối tương quan hình học giữa tấm pin trên bề mặt nằm ngang và các tia mặt trời.

Công thức mô phỏng

So với cường độ bức xạ được đo trên mặt phẳng tấm pin của mô hình xoay theo hai trục, cường độ bức xạ trên mặt phẳng nằm ngang sẽ tính được qua công thức (10). Khi xét ở mô hình xoay theo một trục thì không có thành phần góc phương vị γ và được thể hiện ở công thức (11).

$$E_{fix} = E_{Duel} \cos(\beta) \cos(\gamma) \quad (W/m^2) \quad (10)$$

$$E_{fix} = E_{Single} \cos(\beta) \quad (W/m^2) \quad (11)$$

Nhiệt độ tấm pin có thể tính dựa trên cường độ bức xạ rơi trên tấm pin qua công thức (8)¹. Với T_{cell} là nhiệt độ của tấm pin, T_a là nhiệt độ môi trường, NOCT là nhiệt độ hoạt động danh nghĩa của tấm pin (Nominal operating cell temperature), T_r là nhiệt độ tiêu chuẩn của tấm pin ($25^\circ C$) và E là giá trị cường độ bức xạ đo trên tấm pin.

$$T_{cell} = T_a + (NOCT - T_r) \frac{E}{1000} \quad (C) \quad (12)$$

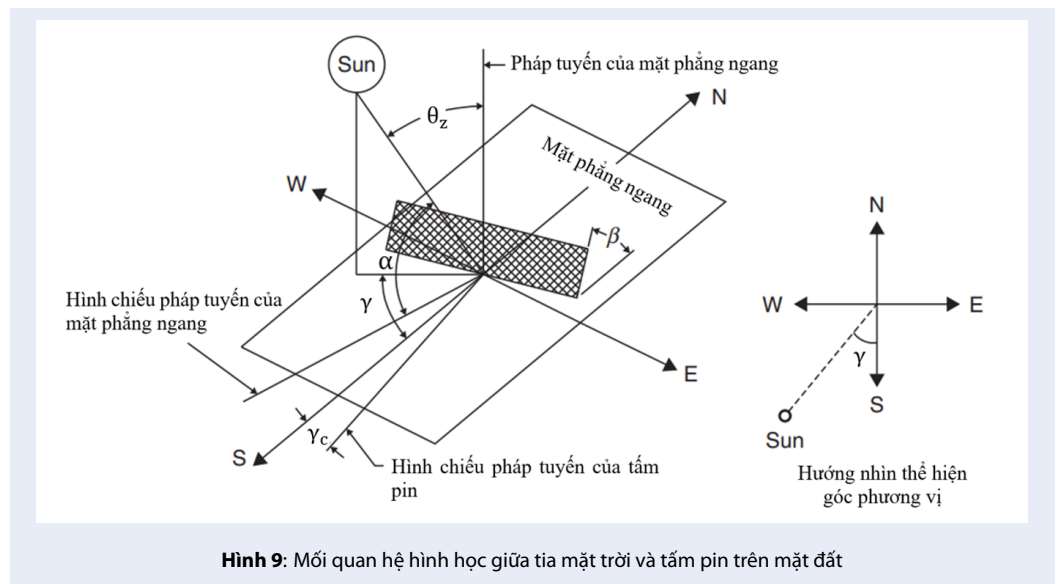
Lượng điện năng mà tấm pin sinh ra tính toán dựa theo lượng bức xạ được thể hiện ở phương trình (13)⁵. Với P là lượng điện năng sinh ra, η_r là hiệu suất của tấm pin và B_r là sai số ảnh hưởng của nhiệt độ lên công suất (Temperature coefficient of P_{max}) và được cung cấp bởi nhà sản xuất.

$$P = E \eta_r [1 - B_r (T_{cell} - T_r)] \quad (W/m^2) \quad (13)$$

KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

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. Trong phần thảo luận thực nghiệm này sử dụng kí hiệu tóm tắt của ba hệ thống (A), (B), (C) sẽ được mô tả tên gọi trong Bảng 6 ở cuối bài báo.

Đối với số liệu ở Bảng 3, vào ngày 24/08/2023, các số liệu thể hiện không mấy khả quan khi sự chênh lệch hiệu quả về mặt năng lượng sạc giữa các mô hình là không cao. (A) chỉ hiệu quả hơn (B) 3.34% trong khi so với (C) thì (A) chỉ cao hơn 1.65%. Tuy nhiên, mỗi mô hình có mức tiêu thụ tải khác nhau. Do cơ chế hoạt động của (A) khá đơn giản, chỉ cần dò vị trí nắng tốt thông qua cảm biến và hướng tấm pin theo đó nên sử dụng động cơ DC và chỉ hoạt động khi sự chênh lệch cường độ bức xạ lớn nên trong suốt một ngày, thời gian hoạt động không đáng kể. Ngược lại, do (B)



Bảng 3: Số liệu lượng điện năng ngày 24/08/2023

		24/08/2023									
Mốc thời gian (h)		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(A)	Wh (sạc)	71	143	219	299	388	475	545	603	641	679
	Wh (tiêu thụ)	1	2	3	4	6	7	8	9	10	12
	Wh (hữu ích)	70	141	216	295	382	468	537	594	631	667
(B)	Wh (sạc)	67	135	208	289	377	463	533	588	620	657
	Wh (tiêu thụ)	7	16	25	34	43	51	60	69	78	87
	Wh (hữu ích)	60	119	183	255	335	412	473	519	542	570
(C)	Wh (sạc)	69	139	213	293	381	467	536	593	629	668
	Wh (tiêu thụ)	0	10	21	32	44	55	66	78	89	101
	Wh (hữu ích)	59	118	181	249	326	401	458	504	528	557

và (C) cần phải điều hướng tấm pin theo đúng dữ liệu tính toán nên động cơ sử dụng là động cơ bước. Khác với động cơ DC, động cơ bước sẽ trượt trục khi không cấp điện nên khi đặt đúng góc tính toán thì động cơ vẫn phải hoạt động để giữ cố định tấm pin, vì vậy điện năng luôn tiêu thụ một cách liên tục. Khi đã trừ đi năng lượng hao phí cho việc vận hành, (A) hiệu quả hơn 20% so với (B) và 22% so với (C).

Để xác minh độ tin cậy của số liệu đo được trong Bảng 3, một dụng cụ đo bức xạ PCE SPM đã được sử dụng để đo cường độ bức xạ với mặt phẳng đầu đo đặt song song với mặt phẳng tấm pin của (B). Số liệu đo được lấy mỗi phút và liên tục 10 tiếng trong suốt quá trình thực nghiệm. Đơn vị của dụng cụ đo được thể hiện bằng W/m². Bảng 4 trình bày các số liệu tính toán lý thuyết từ các số liệu bức xạ đo được. Cột 2 là

tổng của 60 giá trị đo trong 1 giờ, cột 3 là trung bình cộng của 60 giá trị đo, cột 5 là sự chuyển đổi đơn vị từ cột 2 và cột 5 và 6 là kết quả tính toán theo công thức (12) và (13). Sai số giữa số liệu tính toán trong Bảng 4 và thực nghiệm của (B) theo Bảng 3 là gần bằng 7% trong khi đó, con số này là 10.2% khi xét về (C). Các số liệu tính toán của (C) hoàn toàn có thể tính được khi dựa vào công thức (10) và (11) để tìm mối quan hệ góc với góc γ có sẵn ứng với mỗi giờ. Như vậy, có thể kết luận rằng các số liệu thực nghiệm trong Bảng 3 là hoàn toàn đáng tin cậy với các kết quả sai số có thể chấp nhận được.

Hình 10 so sánh độ tăng năng lượng sạc giữa thực nghiệm và các kết quả tính toán theo số liệu bức xạ đo được của (B). Hai đường trên đồ thị tuy thể hiện sự sai số khá đáng kể tại một số thời điểm nhưng có xu

Bảng 4: Kết quả tính toán công suất phát điện của (B) dựa trên số liệu bức xạ đo được

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Thời gian (h)	Cường độ bức xạ (W/m^2)	Cường độ bức xạ trung bình (W/m^2)	Nhiệt độ tấm pin Tcell ($^{\circ}C$)	Năng lượng bức xạ (Wh)	Năng lượng P (Wh)
7-8	20278	367	49	338	50.8
8-9	24528	444	48	409	61.1
9-10	27359	495	49	456	68.4
10-11	29469	533	49	491	73.8
11-12	37233	673	52	621	94.4
12-13	36062	652	51	601	90.9
13-14	25817	467	50	430	64.9
14-15	18591	336	45	310	45.9
15-16	13049	236	48	217	32.5
16-17	13162	238	43	219	32.1

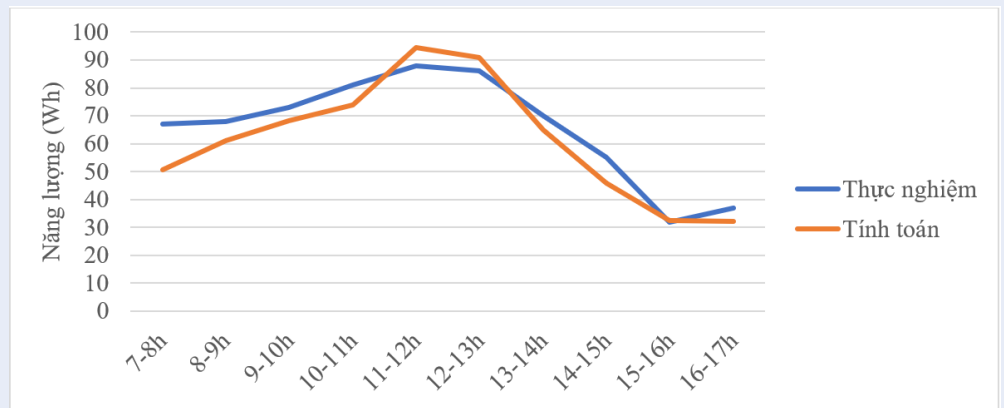
hướng tăng giảm như nhau. Nguyên nhân dẫn đến sai số có thể kể đến như ảnh hưởng từ môi trường xung quanh (nhiệt độ môi trường, tốc độ gió, hiệu suất thực của tấm pin...) và các sai số trong các bước tính trung gian.

Hình 11 trình bày xu hướng độ tăng năng lượng hữu ích qua mỗi giờ đo. Có thể thấy sự hiệu quả của (A) so với hai mô hình còn lại. (A) luôn sinh ra năng lượng nhiều hơn khoảng 10Wh ở mỗi giờ. So về năng lượng sạch, (A) so với (C) có sự chênh lệch khá đáng kể. Vì theo lý thuyết thì cả hai sẽ cho ra hiệu suất sạch như nhau khi đều đón được năng lượng bức xạ lớn nhất tại mọi thời điểm. Điều này có thể là do các thông số đầu vào và công thức không chính xác so với thực tế và nguyên nhân địa hình cũng góp phần làm sai lệch đi một chút các vị trí góc đã tính toán. Thêm một lưu ý khác, công suất năng lượng giữa (A), (B) với (C) không chênh lệch nhau nhiều là vì trong tháng 8, vị trí của Mặt Trời rất cao (góc α lớn) nên gần như cả hai mô hình nhận được bức xạ giống nhau. Trong những tháng đầu năm hoặc cuối năm, sự chênh lệch sẽ thể hiện rất rõ bởi lúc này, Mặt Trời ở vị trí thấp (góc α bé) mà (A) và (C) sẽ nghiêng thêm một góc β theo hướng Bắc – Nam để đón nắng tốt hơn so với (B) chỉ nghiêng tấm pin để xoay theo hướng Đông – Tây.

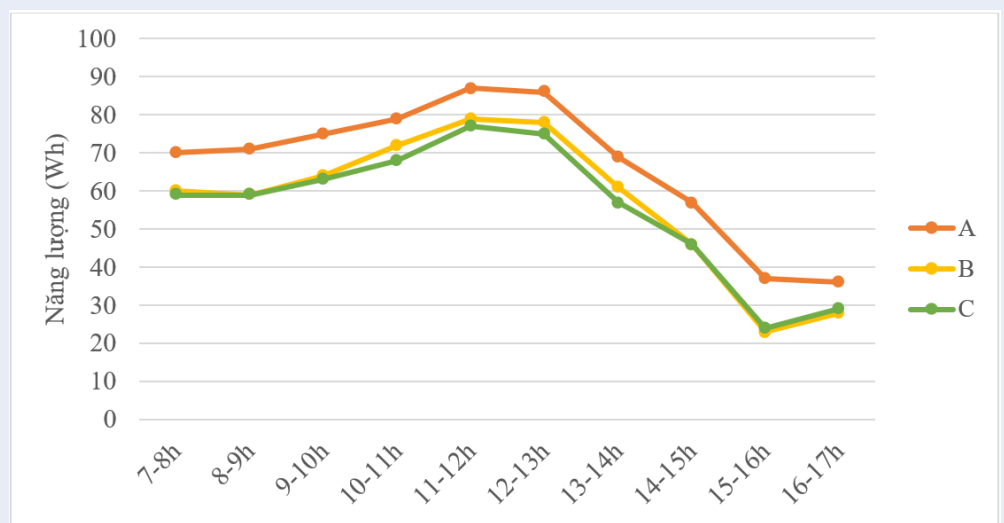
Để làm rõ hơn sự khác biệt về các khoảng chênh lệch lượng bức xạ nhận được qua các năm trên các mô hình, chức năng Simulink của phần mềm Matlab được sử dụng để mô phỏng lượng bức xạ trong suốt một năm. Số liệu bức xạ và nhiệt độ được đo từ tháng 10 năm 2017 đến tháng 9 năm 2018. Hình 12 thể hiện sơ đồ chuyển đổi công suất tấm pin dựa trên mối

quan hệ hình học, Hình 13 mô phỏng bức xạ thu được trên các mô hình trong suốt một năm và Hình 14 mô phỏng công suất phát điện lần lượt trong quý 1, quý 2, quý 3 và quý 4. Trong phần mô phỏng công suất phát điện trong một năm thì được tiến hành mô phỏng với ba loại điều hướng FIX, SINGLE, DUAL được kí hiệu tên gọi trong Bảng 6 ở cuối bài báo. Ở Hình 12, đây là sơ đồ chuyển đổi công suất tấm pin dựa trên mối quan hệ tương quan hình học, đầu tiên, sử dụng phần mềm simulink tạo bốn khối biến giá trị đầu vào bao gồm E, T_{cell}, β , γ (trong phần mềm ký hiệu là z). Từ các khối giá trị đầu vào, tính được công suất phát điện tương ứng với ba loại điều hướng FIX, SINGLE, DUAL thông qua các công thức tính toán đã được thể hiện từ công thức (10) đến công thức (13).

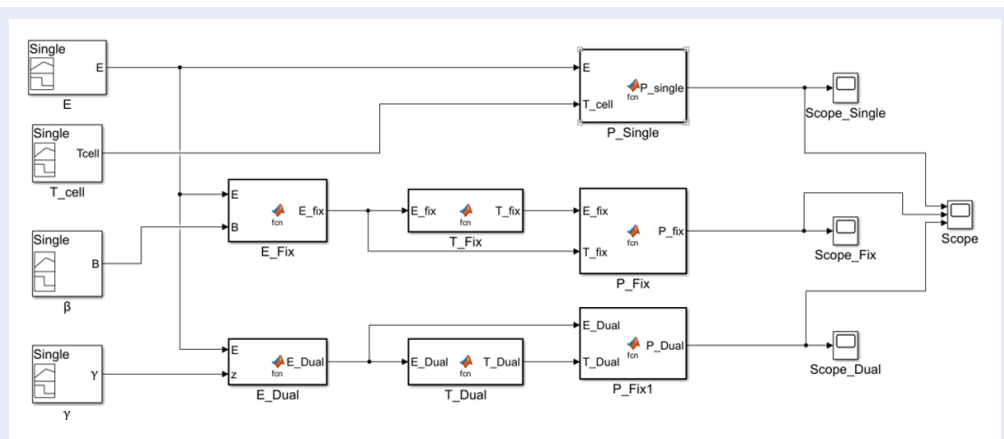
Dựa vào đồ thị ở Hình 13, dễ dàng thấy được sự chênh lệch công suất phát điện sẽ đạt giá trị cao nhất vào những tháng cuối năm vào đầu năm. Từ tháng 4 đến tháng 9 công suất phát điện giữa hai loại điều hướng SINGLE và DUAL khá tương đồng nhau. Về những tháng còn lại, có thể quan sát được rõ ràng khoảng chênh lệch công suất phát điện giữa hai loại điều hướng. Điều này xảy ra là do ảnh hưởng của góc độ cao α . Bên cạnh đó, nếu so sánh với FIX thì cả hai loại điều hướng đều thể hiện công suất hiệu quả hơn rất nhiều tại mọi thời điểm. Trong quý 1 và quý 2 có thể thấy rằng sự chênh lệch năng lượng bức xạ giữa DUAL và SINGLE là rất lớn. Tuy nhiên, vào cuối quý 2 và quý 3 thì khoảng cách ngày càng hẹp dần và dường như số liệu của hai hệ thống điều hướng tấm pin là trùng nhau do góc α lúc này rất lớn. Khi đến quý 4 thì khoảng cách này lại giãn ra và bắt đầu lại



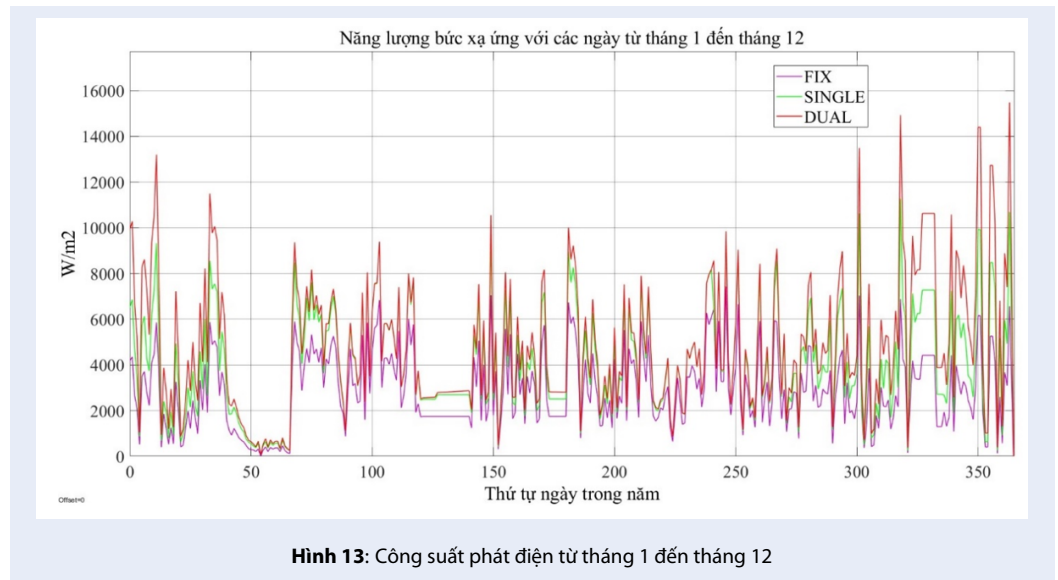
Hình 10: So sánh độ tăng năng lượng sạc được qua mỗi giờ của (B)



Hình 11: Đồ thị độ tăng năng lượng hữu ích ngày 24/08/2023



Hình 12: Sơ đồ chuyển đổi công suất điện tấm pin dựa trên mối quan hệ hình học



vòng lặp này. Về phần bức xạ trên FIX thì lượng bức xạ nhận được luôn thấp hơn so với các tấm pin được điều hướng bởi hệ thống xuyên suốt một năm.

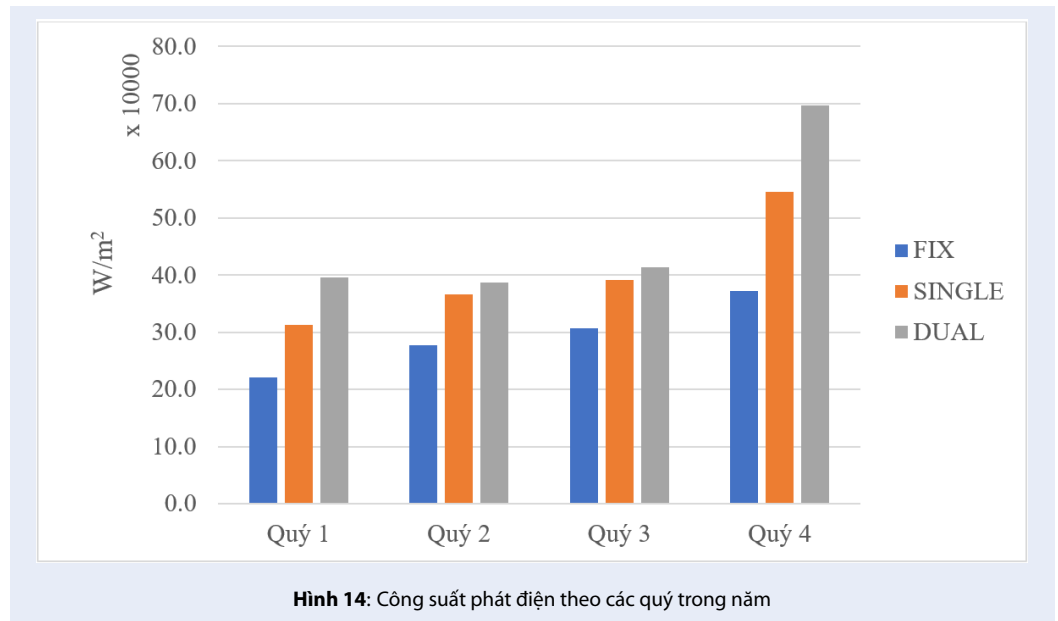
Hình 14 là sơ đồ cột mô phỏng công suất phát điện theo các quý trong năm tại Thành Phố Hồ Chí Minh. Theo kết quả thu được công suất phát điện ở quý 1 và quý 4 cho thấy được sự chênh lệch rõ ràng về công suất phát điện của loại điều hướng DUAL với FIX vì lúc này góc độ cao của Mặt Trời là khá nhỏ. Bên cạnh đó, ở quý 4, khoảng chênh lệch thể hiện rõ ràng nhất và có số liệu cao nhất vì một phần các tia bức xạ không thẳng góc và theo tài liệu¹ thì khoảng cách giữa Mặt Trời và Trái Đất trong tháng 12 là nhỏ nhất nên có lượng bức xạ lớn. Xét về quý 2 và quý 3 thì chênh lệch giữa các loại điều hướng không lớn vì vị trí Mặt Trời lúc này cao nên hướng đón nắng của DUAL và FIX không lệch nhau nhiều. Trong quý 2, tháng 6, thì khoảng cách giữa Mặt Trời và Trái Đất là xa nhất nên dù trong tháng này các tia bức xạ thẳng góc nhưng lượng bức xạ thấp hơn trong quý 4 và sự chênh lệch công suất phát cũng không được thể hiện rõ ràng. Quý 3 là khoảng thời gian mùa mưa xảy ra ở Việt Nam nên công suất phát điện sẽ bị ảnh hưởng đáng kể bởi thời tiết. Về phần công suất phát điện của tấm pin đặt cố định trên mặt phẳng nằm nghiêng thì luôn thấp hơn so với các loại điều hướng còn lại.

Như kết quả thực nghiệm phía trên cho thấy, trong tháng 8, sự hiệu quả giữa các mô hình không được thể hiện một cách rõ ràng và trong mô phỏng cũng cho ra kết quả tương tự như vậy. Tổng năng lượng bức xạ trong tháng 8 mà DUAL nhận được chỉ cao hơn so với SINGLE 3.4% với ngày chênh lệch cao nhất được ghi lại là 5.2% và thấp nhất là hơn 1%, rất sát với

kết quả thực nghiệm trên. Ngay cả trong quý 3 (gồm tháng 7, 8, 9) thì DUAL cũng chỉ nhận lượng bức xạ cao hơn 5.6% so với SINGLE và cao hơn 39.1% so với FIX. Tuy nhiên, càng gần đầu năm và cuối năm thì sự chênh lệch này thể hiện rất rõ vì vị trí của Mặt Trời tại thiên đỉnh là thấp hơn nhiều so với quý 3. Trong tháng 1, $56.2^\circ < \alpha < 61.4^\circ$ thì lượng bức xạ mà DUAL nhận được cao hơn 46% so với SINGLE. Bảng 5 trình bày chi tiết sự so sánh năng lượng bức xạ đối với các loại điều hướng theo tháng và theo quý.

KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện được cả hai việc thực nghiệm thực tế và mô phỏng hiệu quả của cả ba hệ thống solar tracking với những nguyên lý hoạt động khác nhau. Từ đó, thu được những kết quả khác nhau tương ứng với từng hiệu quả làm việc của mỗi hệ. Năng lượng nạp hữu ích đã trừ đi tải tiêu thụ thì hệ thống (A) hiệu quả hơn so với các hệ thống (B) và (C) lần lượt là 20% và 22% trong một ngày tháng 8. Năng lượng nạp hữu ích đã trừ đi tải tiêu thụ hệ thống (B) và (C) có hiệu suất nạp là tương đương nhau. Tuy nhiên nếu chỉ xét riêng về hiệu quả năng lượng nạp thì hệ thống (A) và (B) là chênh lệch không quá lớn trong một ngày. Nhưng nếu xét hệ thống được áp dụng cho một năm thì hệ thống hai trục vẫn mang lại hiệu quả cao nhất. Sự chênh lệch lượng bức xạ trong mỗi tháng là khác nhau do sự thay đổi độ cao của Mặt trời so với mặt phẳng nghiêng. Trong quý 2 và quý 3, loại điều hướng tấm pin theo hai trục không thực sự hiệu quả hơn so với loại điều hướng theo một trục khi chỉ hơn nhau chỉ 5.8%. Nhưng trong những khoảng thời gian đầu năm và cuối năm, loại điều hướng hai trục đón lượng



Bảng 5: So sánh theo ngày và quý lượng bức xạ trên tấm pin với sự điều hướng khác nhau

Tháng	Góc độ cao lúc 12h (độ)	Chênh lệch công suất phát điện giữa các loại điều hướng		
		DUAL với FIX (%)	DUAL với SINGLE (%)	SINGLE với FIX (%)
1	56.2° α <math><61.4^\circ</math>	119.6	45.9	50.5
2	61.7° α <math><70.9^\circ</math>	93.8	30.3	48.7
3	70.9° α <math><82.9^\circ</math>	41.7	7.4	31.9
4	83.2° α <math><86.2^\circ</math>	31.4	0.8	30.4
5	85.9° α <math><78.9^\circ</math>	48.1	6.2	39.4
6	78.7° α <math><77.6^\circ</math>	44.1	12.8	27.7
7	77.7° α <math><82.6^\circ</math>	41.1	9.5	28.8
8	82.9° α <math><87.3^\circ</math>	27.0	3.4	22.8
9	86.9° α <math><75.3^\circ</math>	34.9	3.8	29.9
10	75.0° α <math><64.1^\circ</math>	68.6	19.3	41.2
11	63.8° α <math><57.2^\circ</math>	119.7	39.2	57.8
12	57.1° α <math><56.1^\circ</math>	134.7	45.4	61.5
Quý 1		79.2	26.3	41.8
Quý 2		39.5	5.8	31.9
Quý 3		34.3	5.6	27.1
Quý 4		107.5	35.2	53.4

bức xạ cao hơn 26.3% trong quý 1 và lên đến 35.2% trong quý 4.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

(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 một trục.

(C): Mô hình điều hướng tấm pin mặt trời bằng động cơ bước hai trục.

Wh (sạc): Năng lượng mà tấm pin sản sinh ra.

Wh (tiêu thụ): Năng lượng cấp cho việc vận hành mô hình.

Wh (hữu ích): Năng lượng được lưu trữ trong ác quy. SINGLE: Tấm pin được điều hướng xoay quanh một trục.

DUAL: Tấm pin được điều hướng xoay quanh hai trục.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam kết không có xung đột về lợi ích nào về toàn bộ nội dung trong bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Ngô Quốc Khánh: Xây dựng mô hình, tiến hành thực nghiệm và viết bản thảo.

Hoàng Trọng Khang: Tiến hành thực nghiệm, xử lý số liệu và viết chương trình mô phỏng.

Tất Hán Nghị: Xây dựng mô hình, tiến hành thực nghiệm, xử lý số liệu, chỉnh sửa bản thảo.

Nguyễn Thế Bảo: Tư vấn công thức toán học, tư vấn thực nghiệm, chỉnh sửa bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bảo NT. 'Chương 2 BỨC XẠ MẶT TRỜI', trong: Giáo trình năng lượng tái tạo và sự phát triển bền vững, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP Hồ Chí Minh, 2020, pp. 50-109;.
2. Kalogirou S. Solar energy engineering processes and systems. 2nd ed. Elsevier; 2013;.
3. Fahad HM, Islam A, Islam M, Hasan MF, Brishty WF, Rahman MM. Comparative analysis of dual and single axis solar tracking system considering cloud cover International Conference on Energy and Power Engineering (ICEPE). Vol. 2019; 2019. p. 1-5; Available from: <https://doi.org/10.1109/CEPE.2019.8726646>.
4. Zhu Y, Liu J, Yang X. Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection. Appl Energy. 2020;264; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114647>.
5. Huy HD, Việt HV, Bảo NT. Sử dụng hệ thống PV/T để nâng cao hiệu suất pin mặt trời và sản lượng nước chưng cất. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Kỹ thuật và Công nghệ, 2022;.

Research, experiment and comparison of single axis and dual axes solar tracking to increase solar panel power capacity

Ngo Quoc Khanh^{1,2}, Hoang Trong Khang^{1,2}, Tat Han Nghi^{1,2}, Nguyen The Bao^{1,2,*}

ABSTRACT

A simulation program combined with experimental testing of three solar panel tracking systems along one axis and two dual axes will be introduced in this article. Solar panel systems are widely used today, but to achieve high performance, it is necessary to design solar panel systems that can automatically align themselves perpendicularly to the incident radiation to optimize their efficiency. Therefore, the application of solar panel tracking systems not only increases the generated electrical power but also helps improve the current state of depletion of fossil fuel resources. Based on actual measurement results and simulated data, the article demonstrates that the electrical power output of solar panels increases by 3.96% when a dual-axis tracking system is applied compared to a one-axis tracking system, and it increases by 36.8% compared to a fixed 15 tilt-angle panel, a common angle in Vietnam. Furthermore, based on the geometric angle relationships between the Sun and the inclined plane, the research team also applied a simulation program to investigate the different efficiencies of continuous tracking models throughout a year in Ho Chi Minh City, Vietnam. The results show that in August, when the Sun is at its highest position, the efficiency difference between the two models is not significant, at 3.4%. However, when the Sun is in a lower position in January, the efficiency difference is more pronounced, with the two-axis tracking system being 45.9% more efficient than the one-axis system.

Key words: Solar altitude angle, solar azimuth angle, solar tracking, increase solar panel performance, solar geometry

¹Department of Heat and Refrigeration Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam.

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Correspondence

Nguyen The Bao, Department of Heat and Refrigeration Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Email: thebao@hcmut.edu.vn

History

- Received: 13-10-2023
- Accepted: 18-12-2023
- Published Online: 31-12-2023

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v6i4.1285>



Cite this article : Khanh N Q, Khang H T, Nghi T H, Bao N T. **Research, experiment and comparison of single axis and dual axes solar tracking to increase solar panel power capacity** . *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2023; 6(4):2035-2047.