

DOI:10.22144/ctujos.2025.209

NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG THEO DÕI MẶT TRỜI TRỤC KÉP SỬ DỤNG ĐIỀU KHIỂN ARDUINO

Nguyễn Thái Sơn^{1*}, Nguyễn Thái Hòa², Nguyễn Trần Đăng Khoa², Tăng Thành Tính², Nguyễn Văn Ngây³, Nguyễn Thị Hồng Bích³, Quách Ngọc Thịnh¹ và Trần Trung Tính⁴

¹Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

²Sinh viên ngành Kỹ thuật Điện, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Trường trung học phổ thông Lương Thế Vinh, Việt Nam

⁴Ban Quản lý dự án ODA, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): thaison@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 09/04/2025

Sửa bài (Revised): 11/05/2025

Duyệt đăng (Accepted): 22/09/2025

Title: A study on a dual-axis solar tracking system utilizing Arduino-based control

Author: Nguyen Thai Son^{1*}, Nguyen Thai Hoa², Tang Thanh Tinh², Nguyen Tran Dang Khoa², Nguyen Van Ngay³, Nguyen Thi Hong Bich³, Quach Ngoc Thinh¹ and Tran Trung Tinh⁴

Affiliation(s): ¹Faculty of Electrical Engineering, College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; ²Student of Electrical Engineering, College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; ³Luong The Vinh High School, Viet Nam; ⁴ODA Project Management Unit, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Hiện nay, nhu cầu về năng lượng tái tạo trên toàn cầu đang gia tăng mạnh mẽ, đặc biệt là năng lượng mặt trời, một lĩnh vực đang thu hút nhiều sự chú ý. Tuy nhiên, khả năng thu năng lượng của các tấm pin mặt trời vẫn chưa đạt được tối ưu khi để ở một vị trí cố định. Để khắc phục điều này, nhiều nghiên cứu được thực hiện đã phát triển cơ chế trục kép cho tấm pin, giúp điều chỉnh góc nghiêng của tấm pin theo hướng ánh sáng mặt trời. Kết quả là tấm pin tự động xoay để tối đa hóa lượng năng lượng thu nhận. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm tập trung vào việc khảo sát công suất thu được của tấm pin mặt trời kết hợp hệ thống theo dõi mặt trời trục kép tại Khoa Kỹ thuật Điện, Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ bằng cách sử dụng vi điều khiển Arduino để nhận tín hiệu từ quang trở sau đó xử lý tín hiệu và điều khiển động cơ xoay tấm pin tới vị trí chính diện Mặt trời để nhận bức xạ tốt nhất. Kết quả thực nghiệm cho thấy công suất thu được của hệ thống trục kép theo dõi điện mặt trời cao hơn hệ thống theo dõi điện mặt trời cố định khoảng 22%.

Từ khóa: Hệ thống theo dõi mặt trời, phương pháp theo dõi quang điện, thiết bị theo dõi mặt trời, trục kép

ABSTRACT

Currently, the global demand for renewable energy is increasing significantly, particularly solar energy, which has garnered considerable attention. However, the energy harvesting capability of solar panels remains suboptimal when positioned in a fixed location. To address this issue, numerous studies have developed dual-axis tracking mechanisms for solar panels, enabling the adjustment of the panel's tilt angle to follow the direction of sunlight. As a result, the panel automatically rotates to maximize the harvested energy. This study focuses on evaluating the power output of a dual-axis solar tracking system implemented at the Faculty of Electrical Engineering, Can Tho University, using an Arduino microcontroller to receive signals from light-dependent resistors (LDRs), process the signals, and control the motors to rotate the panel to the position that achieves the highest power output. Experimental results indicate that the power output of the dual-axis solar tracking system is approximately 22% higher on average compared to a fixed solar system.

Keywords: Dual-axis, photovoltaic tracking method, Solar tracker, Solar tracking system

1. GIỚI THIỆU

Việc sử dụng nhiên liệu truyền thống như than đá và dầu khí gây tác động tiêu cực đến môi trường, làm tăng khí thải, suy thoái không khí và thúc đẩy biến đổi khí hậu (Pamuk, 2023; Ritchie & Max, 2020; Kang et al., 2020; Ucal & Xydis, 2020). Năng lượng tái tạo, với khả năng tái tạo vô hạn và ít phát thải CO₂, trở thành giải pháp quan trọng để giảm hiệu ứng nhà kính và ô nhiễm. Theo IRENA (2024), sử dụng năng lượng tái tạo toàn cầu tăng 13,9% trong 2023, cung cấp khoảng 130.000 TWh năng lượng mỗi năm (IRENA, 2020), giảm phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống và hỗ trợ phát triển bền vững.

Năng lượng mặt trời ngày càng được quan tâm nhờ vai trò quan trọng trong mục tiêu đạt phát thải ròng bằng 0 và thúc đẩy phát triển bền vững dài hạn (Sun, 2024; Ali & Alabid, 2022). Nhiều quốc gia đã xây dựng chiến lược phát triển năng lượng mặt trời để đảm bảo nguồn cung năng lượng sạch, ổn định. Tuy nhiên, hiệu suất tấm pin quang điện (PV) bị hạn chế do vị trí cố định (Amelia et al., 2020). Hệ thống theo dõi mặt trời gồm trục đơn và trục kép, được phát triển để tăng hiệu suất thu năng lượng (Awasthi et al., 2020; Lamoureux et al., 2015). Poulek và Libra (2000) đã đề xuất hệ thống trục đơn dùng động cơ DC, trong khi Abdallah and Nijmeh (2004) phát triển hệ thống trục kép với bộ điều khiển PLC. Laseinde and Remere (2019) cải tiến hệ thống trục kép bằng thuật toán theo dõi điểm công suất tối đa trên Arduino, tăng hiệu suất và tiết kiệm không gian. Chaowanan et al. (2020) sử dụng bộ điều khiển vòng kín với Arduino Mega 2560, tối ưu hóa hiệu suất và chi phí. Kết quả các nghiên cứu này nâng cao hiệu quả, giảm chi phí và tăng tính ổn định, đưa công nghệ theo dõi mặt trời thành giải pháp quan trọng trong năng lượng tái tạo. Kết quả ở một số nghiên cứu đạt được hiệu suất tăng từ 20% đến 30% so với hệ thống cố định (Ali & Alabid, 2022).

Các nghiên cứu trước đây khi được thực hiện nhằm tìm hiểu về hệ thống theo dõi mặt trời trục đơn và trục kép chưa tập trung vào giải pháp chi phí thấp và điều kiện khí hậu miền Tây Nam Bộ. Trong bài báo này, tính mới nằm ở hệ thống theo dõi năng lượng mặt trời trục kép chi phí thấp, sử dụng vi xử lý Arduino Uno R3 kết hợp cảm biến quang điện trở để tối ưu hóa thu nhận năng lượng. Hệ thống được thiết kế để liên tục theo dõi vị trí mặt trời, điều chỉnh tấm pin đến hướng nhận được tối đa bức xạ mặt trời, với khảo sát thực hiện tại Đại học Cần Thơ.

Trong nghiên cứu này, hệ thống theo dõi mặt trời trục kép đã được thiết kế, tập trung đo lường công suất thu được và so sánh với hệ thống pin mặt trời cố định, nhằm đánh giá hiệu suất và cung cấp dữ liệu khoa học cho việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo tại khu vực khảo sát, định hướng cho các nghiên cứu và ứng dụng tương lai.

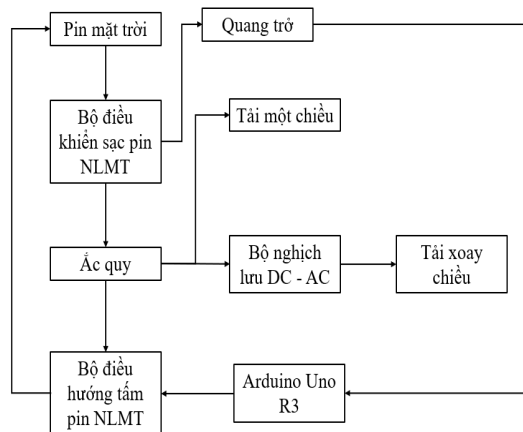
2. TIẾN HÀNH THIẾT KẾ VÀ THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm tập trung vào quá trình thiết kế hệ thống theo dõi mặt trời trục kép dựa trên điều khiển bằng Arduino Uno R3, từ mô hình đó tiến hành thực nghiệm bằng cách đo đặc công suất thực tế của hệ thống tại Ninh Kiều, Cần Thơ cũng như so sánh nó với hiệu suất của hệ thống pin năng lượng mặt trời cố định truyền thống ở các công trình nghiên cứu trong quá khứ. Với những mục tiêu như trên, một số phương pháp đã được sử dụng để tiến hành nghiên cứu đề tài với phương pháp nghiên cứu lý thuyết và phương pháp mô hình thực nghiệm.

2.1. Thiết kế nguyên lý

Với việc tìm hiểu về nguyên lý hoạt động cũng như công suất của việc điều hướng tấm pin mặt trời sử dụng trục kép. Trong bài báo này, mạch vi điều khiển Arduino Uno R3, cảm biến quang trở, bộ nghịch lưu Inverter, bộ điều khiển sạc, ắc quy, động cơ bước, tấm pin NLMT và tải xoay chiều đã được sử dụng. Cảm biến quang trở có thể đưa ra tín hiệu Analog và Digital giúp cho việc xử lý tín hiệu trở nên dễ dàng với chi phí thấp.

Chúng tôi tiến hành thiết kế hệ thống dựa trên sơ đồ nguyên lý được nêu như ở Hình 1. Nguyên lý hệ thống có thể được mô tả sơ lược như sau. Đầu tiên, tín hiệu nhận được từ các module quang trở trên bộ quang trở đã thiết kế sẽ chuyển đến bộ Arduino được sử dụng, bộ Arduino này sẽ chuyển đổi tín hiệu và truyền đến bộ điều hướng tấm pin NLMT. Ở đây, bộ điều hướng bắt đầu điều khiển các động cơ bước theo tín hiệu đã nhận được, làm thay đổi vị trí của tấm pin để tối ưu hóa góc nghiêng của tấm pin thu được nguồn năng lượng lớn nhất. Ắc quy của hệ thống sẽ được sạc thông qua năng lượng thu được từ tấm pin mặt trời, việc điều khiển quá trình sạc bằng bộ điều khiển sạc pin. Nguồn năng lượng của ắc quy cung cấp để nuôi các cảm biến ánh sáng, vi điều khiển và động cơ bước (các tải một chiều). Nguồn năng lượng còn lại sẽ được di chuyển qua bộ nghịch lưu Inverter và cấp cho tải xoay chiều.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống

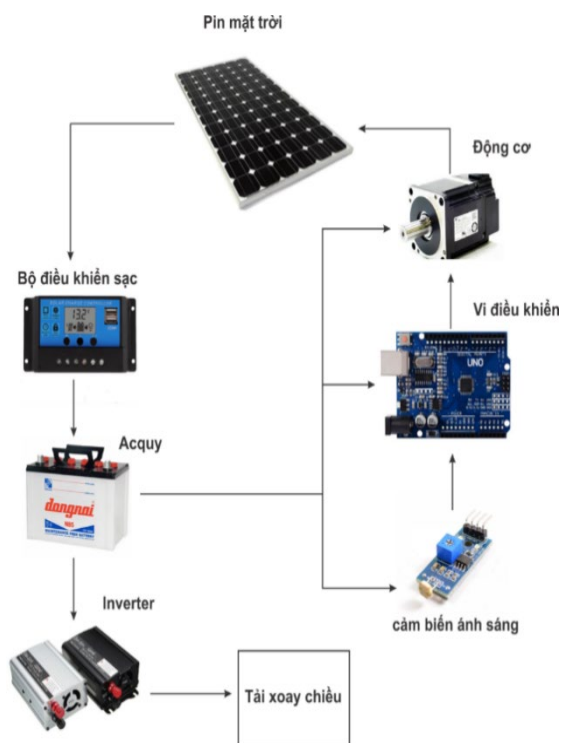
2.2. Tiến hành thiết kế mô hình thực tế

Trong nghiên cứu, mô hình điều hướng pin mặt trời theo trục kép đã được thiết kế, vi điều khiển Arduino Uno R3, cảm biến quang trở, động cơ bước và các linh kiện điện tử khác được sử dụng để điều khiển tấm pin năng lượng mặt trời tự động điều chỉnh phương hướng sao cho vuông góc với ánh sáng mặt trời. Mô hình thành phần của bộ điều hướng pin mặt trời trục kép được mô tả trong Hình 2.

Hệ thống hoạt động một trong hai trạng thái sau: nếu có ánh nắng, hệ thống tự nhận biết ánh nắng bằng cảm biến quang trở được chiếu sáng, thiết bị sẽ tự động dò tìm vị trí mặt trời và điều chỉnh để cho mặt phẳng tấm pin mặt trời vuông góc với tia sáng của mặt trời. Khi mặt trời di chuyển vị trí, hệ thống sẽ tự động nhận biết và thay đổi theo. Nếu trời không có nắng, hệ thống sẽ tự động chuyển sang chế độ dừng lại, do lúc này bộ cảm biến quang trở không nhận được tín hiệu từ ánh sáng chiếu vào.

Thành phần cảm biến của hệ thống có cấu tạo gồm các quang trở, được gắn lên mặt phẳng tấm pin. Hướng đón ánh sáng của quang trở cũng là hướng thu năng lượng Mặt Trời của tấm pin.

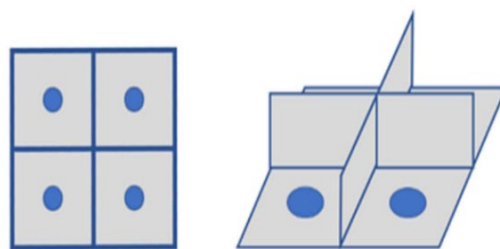
Sau khi quá trình thu năng lượng từ tấm pin NLMT để sạc cho ắc quy, từ ắc quy qua bộ chỉnh lưu Inverter để cấp cho tải xoay chiều là 01 bóng đèn LED Rạng Đông Bulb A60N3/7W.H E27 6500K hiện hữu trong phòng thí nghiệm. Khi trời mưa hay bị mây che phủ công suất của tấm pin NLMT bị giảm, bóng đèn tiếp tục hoạt động và tiêu thụ điện năng tích trữ trên ắc quy.



Hình 2. Thành phần của hệ thống

2.3. Bố trí quang trở

Cảm biến hướng sáng được thiết kế với bốn quang trở có thông số giống nhau, được phân chia bởi hai vách ngăn, sơ đồ bố trí quang trở được thể hiện như Hình 3.



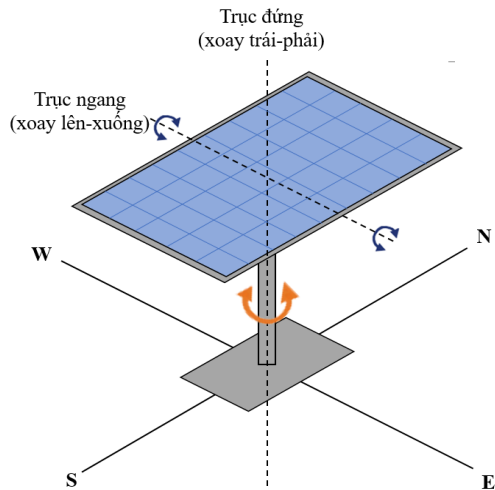
Hình 3. Sơ đồ bố trí của các quang trở

Trong hệ thống theo dõi mặt trời trục kép, bốn quang trở này được sắp xếp thành hai cặp cung cấp tín hiệu điều khiển độc lập cho hai trục của hệ thống. Trong hệ thống mỗi cặp quang trở được đặt đối diện nhau (trái - phải hoặc trên - dưới) để đo cường độ ánh sáng từ hai hướng. Tín hiệu từ hai quang trở được đưa vào op-amp hoạt động ở chế độ so sánh. Nếu cường độ ánh sáng ở một quang trở lớn hơn, op-amp xuất tín hiệu mức cao (1), ngược lại là mức thấp (0). Tín hiệu ra từ op-amp được đưa vào Arduino để xác định hướng ánh sáng mạnh hơn,

giúp điều chỉnh tấm pin tối ưu. Góc tối ưu là góc 90° được tạo nên từ tia tới của ánh sáng Mặt Trời đến mặt phẳng chứa tấm pin. Tại vị trí này, điện áp của hai quang trở trong mỗi cặp sẽ bằng nhau, đảm bảo rằng hệ thống theo dõi mặt trời hoạt động hiệu quả nhất.

2.4. Cấu hình trục xoay

Cấu trúc trục xoay của hệ thống theo dõi trục kép được mô tả trong Hình 4.

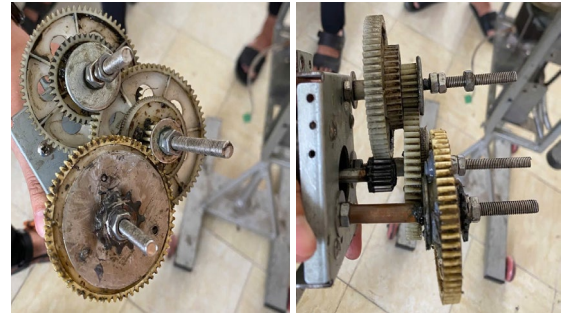


Hình 4. Cấu trúc trục xoay của hệ thống

Để có thể làm quay được tấm pin, dựa vào hai động cơ bước với thông số kỹ thuật của động cơ bước Japan Servo KH56QM2U038 được thể hiện qua Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của động cơ bước Japan Servo KH56QM2U038

Tên tiêu chí	Tham số
Kích thước	56 x 56 x 76 mm
Điện áp	36 V – 40 V
Moment xoắn	1,373 Nm
Góc bước	1,8 độ (quay 1 vòng với giá trị là 200 xung)
Số dây	6 dây
Đường kính trục quay	6,35mm
Dòng điện	2 Ampe
Nội trở	2 Ohm
Điện cảm	7,35 mH
Khối lượng	1 kg



Hình 5. Cấu trúc bánh răng của hệ thống

Với cấu trúc truyền động thông qua các bánh răng để làm giảm tốc và tăng mô-men được thể hiện qua Hình 5.

Dựa vào việc tính toán độ chênh lệch cường độ ánh sáng giữa các cảm biến trên, động cơ trục đứng và động cơ trục ngang sẽ hoạt động để giảm độ chênh lệch giữa tín hiệu các cặp quang trở, đồng thời hướng tấm pin đến góc tối ưu.

2.5. Tiến hành lập trình cho Arduino

Chu trình điều khiển được lập trình cho module Arduino được mô tả trong Hình 6.

Nguyên lý hoạt động chi tiết được giải thích như sau:

Bắt đầu quá trình: Các giá trị cảm biến được được đọc thông qua các cảm biến ánh sáng đã bố trí bao gồm phía trên - trái (LT), trên - phải (RT), dưới trái (LD) và dưới - phải (RD).

Tính toán các giá trị trung bình:

Trung bình trên (dit), trung bình dưới (did), trung bình trái LT, LD (dil), trung bình phải RT, RD (dir).

$$dit = \frac{LT + RT}{2} \quad (2)$$

$$did = \frac{LD + RD}{2} \quad (3)$$

$$dil = \frac{LT + LD}{2} \quad (4)$$

$$dir = \frac{RT + RD}{2} \quad (5)$$

Tính toán độ chênh lệch ánh sáng:

Chênh lệch giữa cường độ ánh sáng phía trên và dưới:

$$diff1 = dit - did \quad (6)$$

Chênh lệch giữa cường độ ánh sáng phía bên trái và phải:

$$diff2 = dil - dir \quad (7)$$

Kiểm tra điều kiện dừng:

- Hệ thống dừng khi độ chênh lệch cường độ ánh sáng nhỏ hơn ngưỡng đã đặt.
- Công tắc hành trình (UP hoặc DOWN) đều đã kích hoạt.

Kiểm tra và điều khiển động cơ trực ngang:

Việc kiểm tra chênh lệch ánh sáng giữa trên và dưới được thực hiện trong điều kiện là giá trị $diff1$ vượt qua ngưỡng đặt.

- Nếu $diff1 > 0$ (ánh sáng phía trên lớn hơn).
- Kiểm tra công tắc hành trình UP: chưa kích hoạt (HIGH) thì quay động cơ quay lên, đến khi chạm kích hoạt (LOW) thì dừng động cơ.
- Nếu $diff1 < 0$ (ánh sáng dưới lớn hơn). Kiểm tra công tắc hành trình DOWN: chưa kích hoạt

(HIGH) thì quay động cơ quay xuống, đến khi chạm điểm kích hoạt (LOW) thì dừng động cơ.

Kiểm tra và điều khiển động cơ trực đứng:

Kiểm tra chênh lệch ánh sáng giữa trái và phải ($diff2$) trên điều khiển vượt ngưỡng đặt.

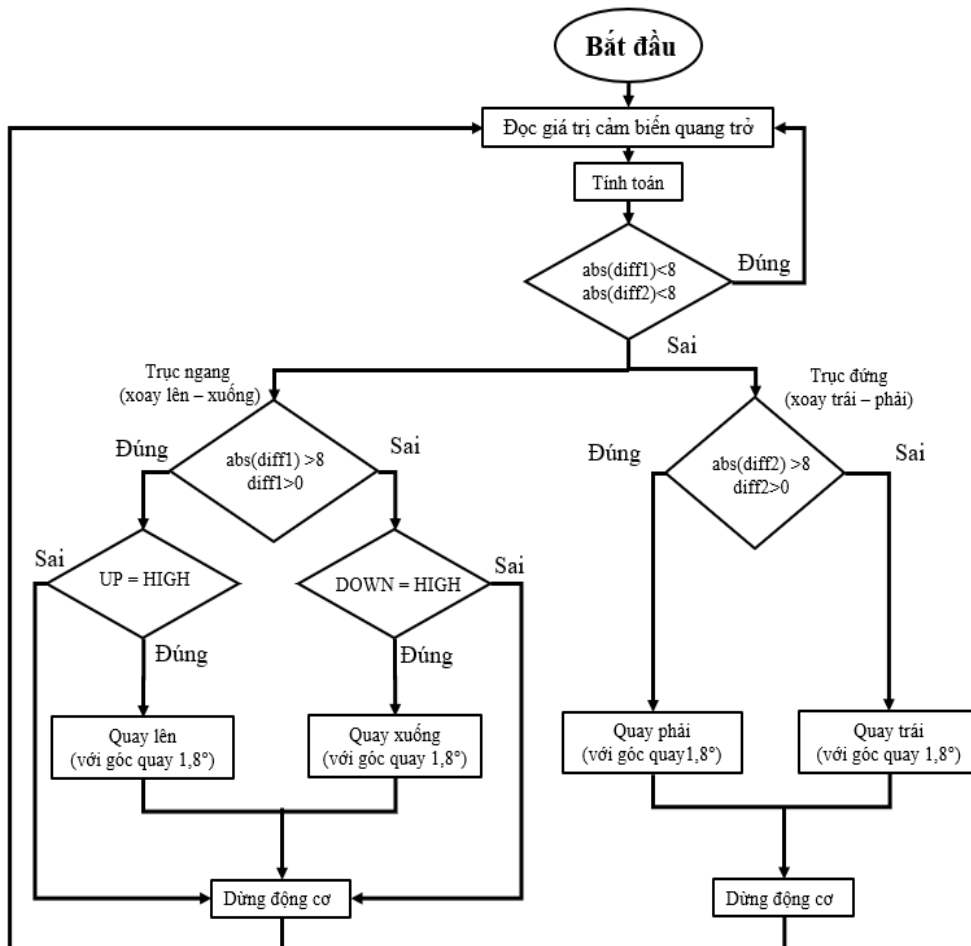
- Nếu $diff2 > 0$ (ánh sáng phía phải lớn hơn), Xoay động cơ về bên phải.
- Nếu $diff2 < 0$ (ánh sáng phía trái lớn hơn), xoay động cơ về bên trái.
- Nếu giá trị $diff2 \leq \text{sen}$ thì dừng động cơ.

Vòng lặp:

Sau mỗi chu kỳ kiểm tra và điều khiển, hệ thống quay lại đọc cảm biến và tiếp tục vận hành.

Kết thúc.

Với sơ đồ được biểu diễn được thể hiện qua Hình



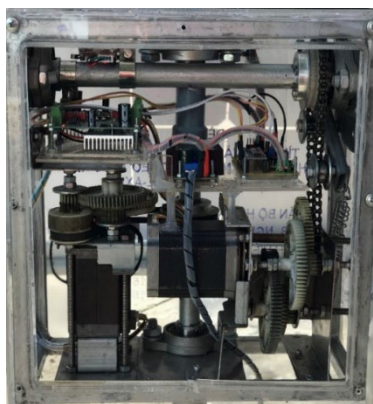
Hình 6. Lưu đồ điều khiển động cơ trực kép hoạt động

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



3.1. Mô hình thực tế

Sản phẩm thực tế cùng kết cấu truyền động được mô tả qua Hình 7.



Hình 7. Sản phẩm thực tế và kết cấu truyền động

3.2. Kết quả đo đạc thực tế

Việc thực nghiệm mô hình được tiến hành trong điều kiện thực tế tại khu 2 - Đại học Cần Thơ. Trong nghiên cứu này, hai tấm pin mặt trời World energy 100 W (WE100M-36) được sử dụng có thông số điện áp khi mang tải là 18V và điện áp khi hở mạch là 21,75V để đo song song và thu thập số liệu công suất của dàn pin mặt trời cố định (P_{cd}) và công suất dàn pin mặt trời có tích hợp hệ thống điều hướng ($P_{kép}$) trong khoảng thời gian từ 9h đến 16h với mỗi khoảng lấy mẫu cách nhau 15 phút trong ngày 27/04/2025. Thiết bị đo được sử dụng là Watt meter 100 A, với giá trị dòng điện có thể đo tới 100 A, điện áp có thể đo tới 60 VDC để tiến hành thu thập số liệu.

Dựa vào quá trình thực nghiệm và các số liệu thu thập được trong ngày 27/05/2025, như được trình bày trong Bảng 2, ta có thể trình bày trong dạng biểu đồ ở Hình 8, trong đó biểu đồ cột thể hiện công suất thu được của hệ thống trục kép và cố định, còn đường biểu diễn thể hiện tỷ lệ phần trăm chênh lệch công suất giữa hai hệ thống. Thí nghiệm bắt đầu vào lúc 9h, tại thời điểm này, năng lượng thu được từ tấm pin mặt trời cố định và tấm pin tích hợp hệ thống trục kép theo dõi mặt trời chênh lệch lên đến 50%. Nguyên nhân cho sự chênh lệch này là do tại thời điểm 9h, góc chiếu của mặt trời tới tấm pin cố định không đạt được giá trị tối ưu (tại 90°), dẫn đến thu được công suất thấp. Trong khi đó, tấm pin với hệ

thống theo dõi mặt trời trục kép được điều chỉnh để đạt góc tối ưu, nhờ vậy mà thu được công suất cao hơn đáng kể.

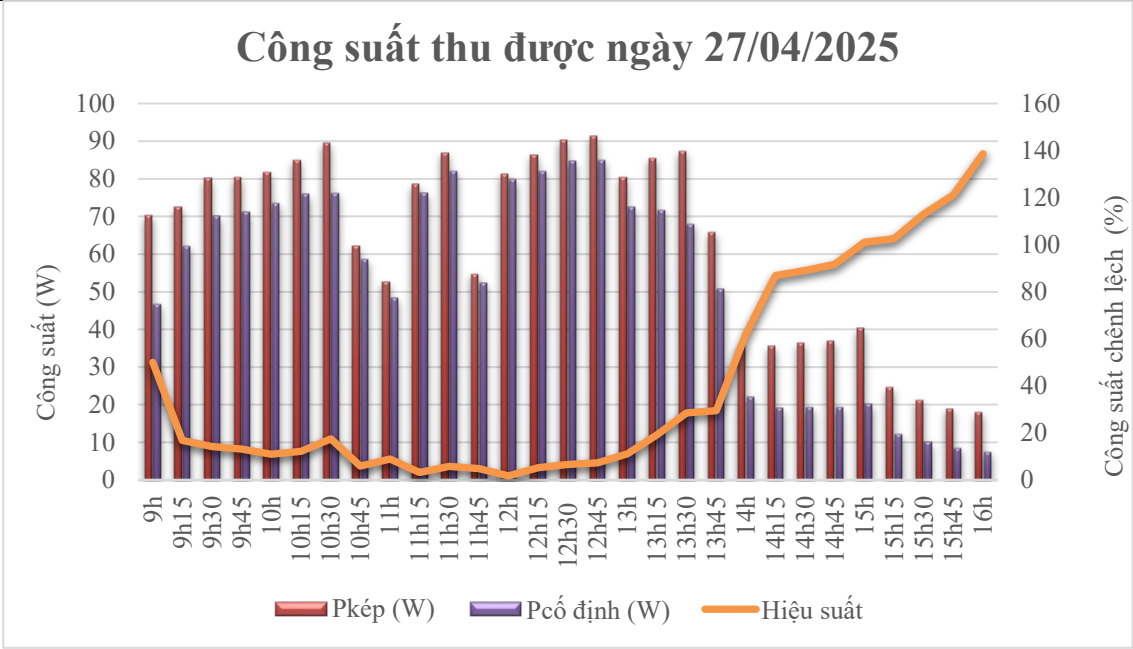
Trong khoảng thời gian tiếp theo, từ 9h15 đến 10h30, sự chênh lệch công suất giữa hệ thống trục kép và cố định dần giảm. Sự thay đổi này xuất phát từ việc mặt trời di chuyển, khiến góc nghiêng của tấm pin cố định ngày càng gần với góc tối ưu hơn, dẫn đến công suất thu được tối ưu hơn.

Từ 10h45 đến 11h45, độ chênh lệch công suất giảm nhanh chóng. Điều này là do trong khoảng thời gian này, góc chiếu của mặt trời ngày càng tiệm cận góc tối ưu. Khoảng thời gian 12h, sự khác biệt về phần trăm công suất chênh lệch gần như không còn, vì mặt trời đã đạt đến vị trí tối ưu cho tấm pin mặt trời cố định. Sau đó, từ 12h15 đến 12h45, hiệu suất chênh lệch tương tự như giai đoạn từ 10h45 đến 11h45, nhưng có chiều ngược lại là tăng nhanh chóng, do mặt trời bắt đầu di chuyển khỏi vị trí tối ưu nhất đối với hệ thống pin mặt trời cố định.

Trong giai đoạn cuối, từ 13h đến 16h, tình hình có phần khác biệt. Công suất chênh lệch lại tăng dần theo thời gian, do mặt trời di chuyển về phía tây, tạo ra góc nghiêng cách góc tối ưu của tấm pin cố định ngày càng lớn, khiến cho công suất sản sinh của tấm pin NLMT có hệ thống theo dõi thu được lớn hơn. Đỉnh điểm là vào lúc 16h, sự chênh lệch công suất đạt tới 138,67%.

Bảng 2. Công suất thu được qua thực nghiệm ngày 27/04

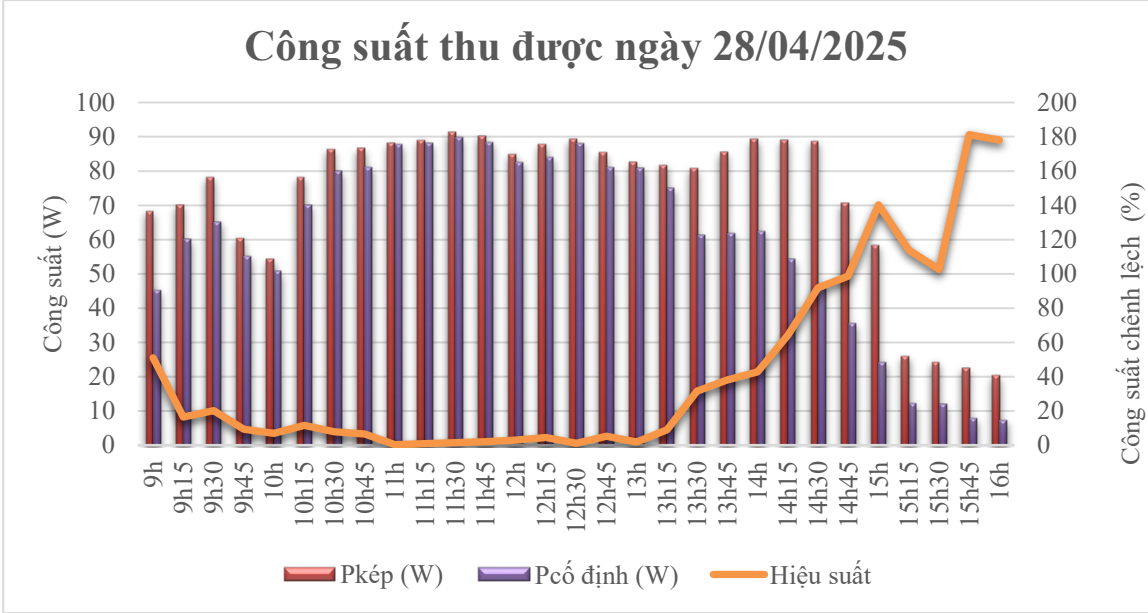
STT	Thời gian	$P_{k\acute{e}p}$ (W)	$P_{c\acute{o} \acute{d}\acute{i}nh}$ (W)	% Công suất chênh lệch
1	09h00	70,2	46,8	50
2	09h15	72,5	62,1	16,75
3	09h30	80	70	14,29
4	09h45	80,3	71	13,1
5	10h00	81,6	73,5	11,02
6	10h15	85	75,8	12,14
7	10h30	89,5	76,2	17,45
8	10h45	62	58,5	5,98
9	11h00	52,5	48,2	8,92
10	11h15	78,5	76,1	3,15
11	11h30	86,8	82	5,85
12	11h45	54,8	52,3	4,78
13	12h00	81,2	79,8	1,75
14	12h15	86,3	82	5,24
15	12h30	90,2	84,6	6,62
16	12h45	91,2	85	7,29
17	13h00	80,4	72,4	11,05
18	13h15	85,5	71,8	19,08
19	13h30	87,4	68	28,53
20	13h45	65,8	50,8	29,53
21	14h00	35,6	22	61,82
22	14h15	35,5	19	86,84
23	14h30	36,3	19,2	89,06
24	14h45	36,8	19,2	91,67
25	15h00	40,2	20	101
26	15h15	24,5	12,1	102,48
27	15h30	21,3	10	113
28	15h45	18,8	8,5	121,18
29	16h	17,9	7,5	138,67



Hình 8. Biểu đồ công suất thu được và độ chênh lệch ngày 27/04/2025

Bảng 3. Công suất thu được qua thực nghiệm ngày 28/04

STT	Thời gian	P _{kép} (W)	P _{cố định} (W)	%Công suất chênh lệch
1	09h00	68,3	45,2	51,11
2	09h15	70,1	60,2	16,45
3	09h30	78,2	65,1	20,12
4	09h45	60,5	55,3	9,4
5	10h00	54,2	50,7	6,9
6	10h15	78,2	70,1	11,55
7	10h30	86,3	80	7,88
8	10h45	86,5	81,2	6,53
9	11h00	88,2	87,9	0,34
10	11h15	89,1	88,2	1,02
11	11h30	91,2	89,8	1,56
12	11h45	90,3	88,5	2,03
13	12h00	85	82,5	3,03
14	12h15	87,8	84	4,52
15	12h30	89,2	88,1	1,25
16	12h45	85,3	81	5,31
17	13h00	82,4	80,8	1,98
18	13h15	81,8	75	9,07
19	13h30	80,7	61,3	31,65
20	13h45	85,6	62	38,06
21	14h00	89,2	62,5	42,72
22	14h15	89	54,2	64,21
23	14h30	88,7	46,2	91,99
24	14h45	70,5	35,5	98,59
25	15h00	58,4	24,3	140,33
26	15h15	25,9	12,1	114,05
27	15h30	24,3	12	102,5
28	15h45	22,5	8	181,25
29	16h00	20,3	7,3	178,08



Hình 9. Biểu đồ công suất chênh lệch ngày 28/04/2025

Tiếp theo là số liệu đo đạc được của hệ thống trực tiếp theo dõi mặt trời và hệ thống pin mặt trời cố định trong ngày 28/04/2025 tại cùng địa điểm như ngày 27/04/2025, số liệu thu được được thể hiện qua Bảng 3 bên dưới. Cùng với đó là biểu đồ so sánh các công suất này được trình bày qua Hình 9.

Dựa vào dữ liệu từ Bảng 3 và biểu đồ được thể hiện qua Hình 9 thì ta có thể thấy được công suất của tấm pin trực tiếp cao hơn so với tấm pin khi đặt

cố định, độ chênh lệch công suất nhỏ nhất 0,34% vào lúc 11h. Công suất lệch cao nhất rơi vào lúc 15h45 với giá trị 181,25% vì do lúc này mặt trời di chuyển không còn ngay vị trí tối ưu đối với tấm pin cố định, nên độ chênh lệch dẫn đến lớn nhất.

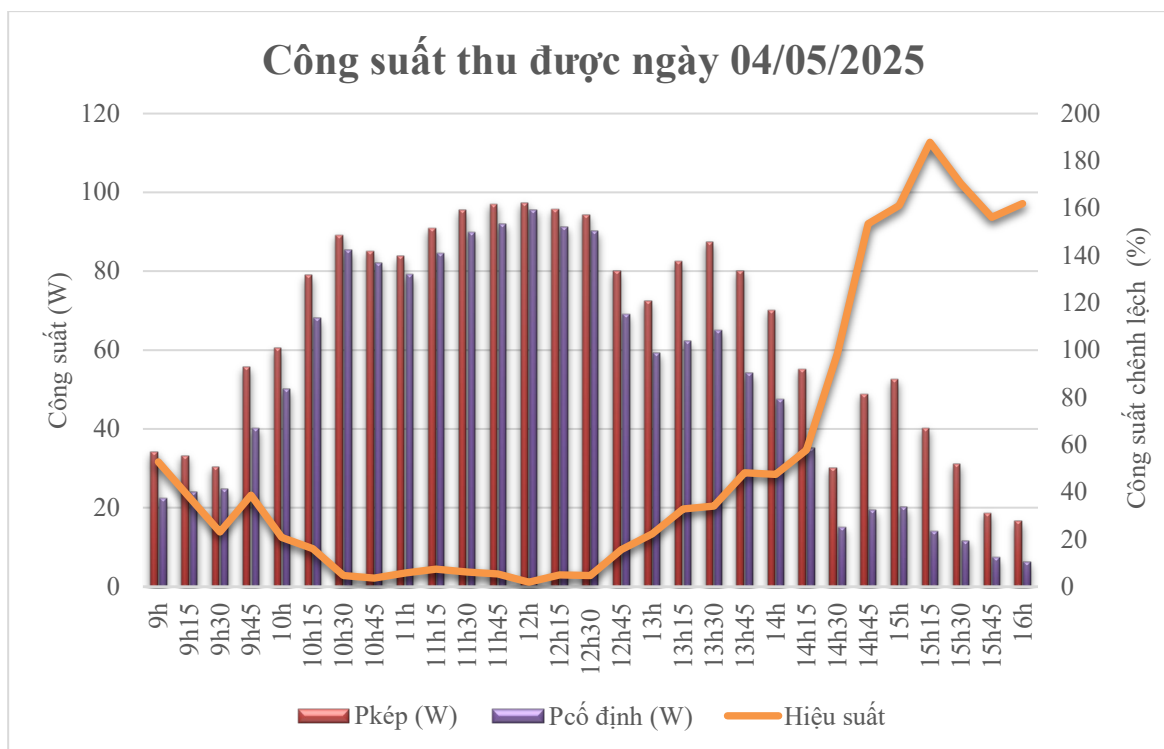
Tiếp theo, là quá trình thực nghiệm vào ngày 04/05/2025 được mô tả qua Bảng 4 và biểu đồ so sánh ở Hình 10.

Bảng 4. Công suất thu được qua thực nghiệm ngày 04/05/2025

STT	Thời gian	P _{kép} (W)	P _{Cố định} (W)	%Công suất chênh lệch
1	09h00	34,2	22,4	52,68
2	09h15	33,1	24	37,92
3	09h30	30,3	24,6	23,17
4	09h45	55,6	40,1	38,65
5	10h00	60,5	50,1	20,76
6	10h15	78,9	68	16,03
7	10h30	89,2	85,2	4,69
8	10h45	85,1	82,1	3,65
9	11h00	83,7	79,1	5,82
10	11h15	90,8	84,5	7,46
11	11h30	95,6	90	6,22
12	11h45	97	92	5,43
13	12h00	97,2	95,4	1,89
14	12h15	95,7	91,2	4,93
15	12h30	94,3	90,1	4,66
16	12h45	80	69,2	15,61
17	13h00	72,4	59,2	22,3
18	13h15	82,5	62,1	32,85
19	13h30	87,3	65,1	34,1
20	13h45	80	54	48,15
21	14h00	70,2	47,6	47,48
22	14h15	55,2	35	57,71
23	14h30	30	15,1	98,68
24	14h45	48,9	19,3	153,37
25	15h00	52,5	20,1	161,19
26	15h15	40,3	14	187,86
27	15h30	31,1	11,5	170,43
28	15h45	18,7	7,3	156,16
29	16h00	16,5	6,3	161,9

Số liệu thu được ở Bảng 4, cùng với độ chênh lệch được thể hiện qua Hình 10, có thể thấy rằng dạng biểu đồ chênh lệch công suất ở ngày 04/05/2025 vẫn giống với hình dạng biểu đồ ở các ngày 27/04/2025 và ngày 28/04/2025 trong Hình 8

và Hình 9. Độ chênh lệch công suất cao rơi vào các khoảng thời gian từ 9h đến 10h15 và từ 13h đến 16h. Còn các khoảng thời gian còn lại có sự chênh lệch công suất rất thấp giữa hệ thống trực tiếp so với tấm pin cố định.



Hình 10. Biểu đồ công suất chênh lệch ngày 04/05

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, việc thiết kế, phát triển và thử nghiệm một hệ thống theo dõi mặt trời trực tiếp chi phí thấp đã được thực hiện, vì điều khiển Arduino Uno R3 được sử dụng kết hợp với cảm biến quang trở, nhằm tối ưu hóa việc thu nhận năng lượng mặt trời tại quận Ninh Kiều, Thành phố Cần Thơ. Kết quả thực nghiệm được tiến hành trong các ngày 27/04/2025, ngày 28/04/2025 và ngày 04/05/2025 cho thấy hệ thống trực tiếp mang lại hiệu suất vượt trội so với hệ thống pin mặt trời cố định. Cụ thể, công suất thu được từ hệ thống trực tiếp trung bình cao hơn 30% so với hệ thống cố định, với các mức chênh lệch đáng kể vào buổi sáng sớm và chiều muộn. Đỉnh điểm, vào lúc 16h ngày 27/04/2025, công suất chênh lệch đạt 138,67%, và vào 15h45 ngày 28/04/2025, con số này lên tới 181,25%. Những thời điểm này, góc chiếu của mặt trời không tối ưu đối với hệ thống cố định, trong khi hệ thống

trực tiếp liên tục điều chỉnh để đạt góc 90° , đảm bảo thu nhận bức xạ mặt trời tối đa.

Hệ thống nổi bật với việc sử dụng cảm biến quang trở chi phí thấp và vi điều khiển Arduino Uno R3, giúp giảm đáng kể chi phí chế tạo. Ngoài ra, việc bố trí bốn quang trở đa hướng và thuật toán điều khiển tinh chỉnh cho phép hệ thống hoạt động hiệu quả, cung cấp dữ liệu thực nghiệm có giá trị cho Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ.

Tóm lại, hệ thống theo dõi mặt trời trực tiếp được đề xuất mang lại giải pháp hiệu quả và kinh tế cho việc khai thác năng lượng mặt trời tại khu vực miền Tây Nam Bộ. Kết quả nghiên cứu đóng góp vào việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng tái tạo và mở ra hướng đi cho các cải tiến tiếp theo, như tối ưu hóa chi phí và tích hợp công nghệ điều khiển thông minh hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Abdallah, S., & Nijmeh, S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, 45, 1931–1939. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.10.007>
- Ali, O. M., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6, 476–483. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
- Amelia, A. R., Irwan, Y.M., Safwati, I., Leow, W. Z., Mat, M.H., & Abdul Rahim, M. S. (2020). Technologies of solar tracking systems: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 767, 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/767/1/012052>
- Awasthi, A., Shukla, A. K., Manohar, M. S. R., Dondariya, C., Shukla, K. N., Porwal, D., & Richhariya, G. (2020). Review on sun tracking technology in solar PV system. *Energy Reports*, 6, 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.004>
- Chaowanan, J., Komkum, P., Kohsri, S., Himananto, W., Panupintu, S., & Unkat, S. (2020). A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100618>
- IRENA. (2020). *Global renewables outlook: Energy transformation 2050 (Edition: 2020)*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA. (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Kang, J. N., Wei, Y. M., Liu, L. C., Han, R., Yu, B. Y., & Wang, J. W. (2020). Energy systems for climate change mitigation: A systematic review. *Applied Energy*, 263, 114602. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114602>
- Lamoureux, A., Lee, K., Shlian, M., & et al. (2015). Dynamic kirigami structures for integrated solar tracking. *Nature Communications*, 6, 8092. <https://doi.org/10.1038/ncomms9092>
- Laseinde, T., & Ramere, D. (2019). Low-cost automatic multi-axis solar tracking system for performance improvement in vertical support solar panels using Arduino board. *International Journal of Low-Carbon Technology*, 14, 76–82. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cty058>
- Pamuk, N. (2023). Performance analysis of different optimization algorithms for MPPT control techniques under complex partial shading conditions in PV systems. *Energies*, 16, 3358. <https://doi.org/10.3390/en16083358>
- Poulek, V., & Libra, M. (2000). A very simple solar tracker for space and terrestrial applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 60(2), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(99\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(99)00071-9)
- Ritchie, H., & Max, R. (n.d.). CO₂ emissions by fuel. *Our World in Data*. Retrieved from <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>
- Sun, J., Xie, Y., & Zhou, S., et al. (2024). The role of solar energy in achieving net-zero emission and green growth: A global analysis. *Economic Change and Restructuring*, 57, 46. <https://doi.org/10.1007/s10644-024-09641-w>
- Ucal, M., & Xydis, G. (2020). Multidirectional relationship between energy resources, climate changes, and sustainable development: Technoeconomic analysis. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102210. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102210>