

THIẾT KẾ CỤM DẪN ĐỘNG CHO ROBOT VỆ SINH PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI DỰA TRÊN CƠ CẤU CAMSO TTS

DESIGN OF TRACK ASSEMBLY FOR SOLAR PANEL CLEANING ROBOT BASED
ON CAMSO TTS MECHANISM

Phan Trung Đạt¹, Nguyễn Minh Đức¹, Nguyễn Huy Hùng², Dương Văn Tú^{1,2}

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

²DCSELab, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo trình bày thiết kế cơ khí cụm track cho robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời dựa trên cơ cấu CAMSO TTS. Phương án thiết kế phù hợp được lựa chọn từ các phương án khả thi ban đầu. Từ phương án được chọn, sơ đồ nguyên lý và một số thông số quan trọng được đặt ra cho bài toán thiết kế kết cấu cụm track. Các chi tiết cơ khí được tính toán, thiết kế và lựa chọn để đảm bảo nguyên lý cũng như điều kiện vận hành của cụm track. Sau đó, cụm track được mô phỏng để khảo sát khả năng bám của các bánh với các mặt pin cong khác nhau cũng như quỹ đạo của tâm các bánh xe. Kết quả mô phỏng là cơ sở để giới hạn các khớp xoay của cơ cấu trong quá trình thiết kế.

Từ khóa: Robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời; CAMSO TTS.

ABSTRACT

This paper presents the mechanical design of a track assembly for solar panel cleaning robot, based on the CAMSO TTS mechanism. The appropriate design solution is selected from initial feasible options. From the chosen one, a kinematic diagram and some important parameters are set for the design of the track assembly. Mechanical components are calculated, designed, and selected to ensure the principles and operational conditions of the robot. Subsequently, the track assembly is simulated to investigate the traction capability of the wheels on various curved surfaces as well as the trajectory of the wheel centers. The simulation results serve as a basis to limit the joints's angle of the mechanism during design process.

Keywords: Solar panel cleaning robot; CAMSO TTS.

1. TỔNG QUAN

Ngày nay, robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời (Solar Panel Cleaning Robot – SPCR) đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong việc vệ sinh các hệ thống pin quang điện từ quy mô nhà xưởng đến trang trại. Địa hình hoạt động của SPCR khá phức tạp, tùy thuộc vị trí địa lý và cấu trúc lắp đặt của hệ thống điện mặt trời tại nơi đó. Nhìn chung, địa hình hoạt động của SPCR là một bề mặt cong [1], trơn ướt và có một độ nghiêng so với mặt đất. Do đó, các SPCR cần phải được thiết kế để có khả năng bám được trên các địa hình như thế mà không bị trượt khi vận hành. Ngoài ra, với một khối lượng nặng như thế, vấn đề về tuổi thọ của các tấm pin cũng cần được quan tâm. Một số nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng các tấm pin sẽ bị giảm cấp và hình thành các “microcrack” gây ra bởi các rung động bên ngoài [2]. Để giải quyết các vấn đề trên, một số mẫu SPCR trên thế giới được thiết kế tích hợp cơ cấu giảm chấn vào trong cụm bánh của chúng.

Năm 2019, Công ty CleanSR của Thái Lan đã cho ra mắt mẫu SPCR có cơ cấu giảm chấn bằng lò xo và các cặp bánh xe có khớp xoay ngoài [3]. Mặc dù cơ cấu giảm chấn này có khả năng bám theo biên dạng cong của bề mặt pin nhưng sự tiếp xúc giữa 4 cặp bánh xe của robot này và mặt pin chỉ là tiếp xúc đường nên dễ bị trượt khi bề mặt pin ướt. Một thiết kế khác sử dụng các phuộc nhún để tạo lực đẩy giúp đai bám bề mặt pin được sử dụng trong các mẫu SPCR của Serbot PVClean (Thụy Sĩ) và DCSELAB (Việt Nam) [4], [5]. So với cơ cấu trước, cơ cấu này tận dụng được ưu điểm của đai cao su để tăng diện tích tiếp xúc giữa đai và bề mặt pin, giúp hấp thụ rung động và tăng khả năng bám cho robot. Tuy nhiên, với những bề mặt pin có độ võng khác nhau thì cụm giảm chấn cần phải được tính toán lại để

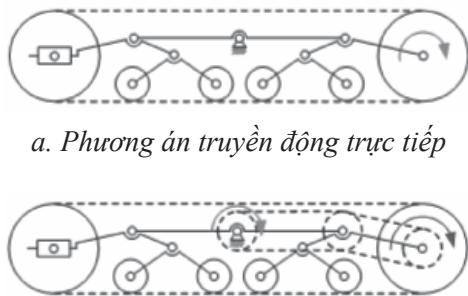
đảm bảo hiệu quả hoạt động. Ngoài ra, khi hoạt động môi trường bụi bẩn và khắc nghiệt như bề mặt pin, cụm giảm chấn cũng cần phải được bảo dưỡng một cách phù hợp để tránh kẹt lò xo. Năm 2016, CAMSO – một công ty chế tạo máy đã cho ra đời thiết kế cụm bánh TTS (Trailed Track System) cho các đầu máy nông nghiệp của họ. Mặc dù cơ cấu này không được thiết kế dành cho SPCR nhưng nó thừa hưởng được các ưu điểm của các cụm giảm chấn đã có và khắc phục được những nhược điểm còn tồn tại. Đó chính là khả năng bám theo mọi địa hình không bằng phẳng cực kì tốt và không cần hiệu chỉnh lại thông số như giảm chấn lò xo đã đề cập ở trên nhờ vào hệ bánh 9 bậc tự do. Ngoài ra, áp lực tác dụng lên bề mặt đai tại các bánh đồng đều, giúp duy trì lực ma sát đồng đều trên khắp bề mặt tiếp xúc [6]. Từ những phân tích trên có thể thấy rằng những đặc điểm cơ học của CAMSO TTS rất phù hợp đối với địa hình di chuyển là bề mặt tấm pin PV.

Tuy nhiên, thiết kế nguyên bản của cơ cấu TTS dành cho bánh bị động của đầu máy nông nghiệp, vì thế để phù hợp cho SPCR, cơ cấu TTS cần được thiết kế thêm chức năng dẫn động và lược bỏ một số bậc tự do không cần thiết để giảm khối lượng cho SPCR. Bài báo này đề xuất một thiết kế cụm bánh cho SPCR dựa trên nguyên lý của cơ cấu TTS. Sau đó, vùng không gian hoạt động của cụm bánh này cũng được mô phỏng bằng phần mềm GeoGebra.

2. PHƯƠNG ÁN TRIỂN KHAI

Tài liệu [6] đã mô tả chi tiết cấu trúc bên trong của cơ cấu TTS bao gồm các khớp xoay và chi tiết cơ khí. Mục tiêu của bài toán thiết kế là phải tích hợp được động cơ dẫn động vào cụm track mà vẫn bảo toàn nguyên lý động học của cơ cấu TTS. Ngoài ra, việc giảm thiểu sự rung lên tấm pin cũng cần được quan tâm. Do

đó, nhóm tác giả đề xuất hai phương án khả thi có thể đáp ứng được đầu bài thiết lập: đặt động cơ trực tiếp và truyền động vào bánh chủ động (Hình 1a); hoặc đặt động cơ ở tâm xoay trung tâm của cơ cấu và truyền động xuống bánh chủ động (Hình 1b).



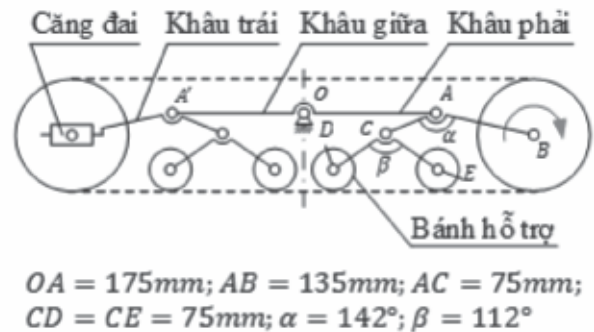
a. Phương án truyền động trực tiếp
b. Phương án truyền động gián tiếp
Hình 1. Các phương án khả thi đối với đầu bài thiết kế

Phương án truyền động trực tiếp có hiệu suất truyền động cao, thiết kế đơn giản tuy nhiên động cơ đặt tại tâm bánh sẽ có khả năng lắc cùng với bánh gây ra các ứng lực dư một bên, phân bố áp lực không đồng đều lên các bánh và tăng rung động cho pin. Phương án truyền động gián tiếp mặc dù có kết cấu phức tạp hơn nhưng động cơ đặt ngay tại tâm xoay sẽ giúp cố định vị trí tương đối của động cơ so với khung robot, cân đối áp lực lên các bánh và ít gây rung động hơn. Từ các phân tích trên, phương án truyền động gián tiếp phù hợp với những điều kiện vận hành của SPCR. Nhược điểm về khối lượng của phương án này sẽ được giải quyết bằng lựa chọn vật liệu, kết cấu cơ khí,...

3. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Tham khảo các tài liệu về sơ đồ bố trí các dây pin [7], quá trình tính toán và tham khảo các mẫu SPCR trên thế giới, kích thước cơ bản của cụm bánh có thể đặt ra như sau: Khoảng

cách tâm hai pulley là $a = 610\text{mm}$, đường kính vòng chia pulley $d = 150\text{mm}$, bề rộng pulley $b = 100\text{mm}$. Từ đó, kích thước cơ bản của các khâu được thể hiện trong Hình 2.

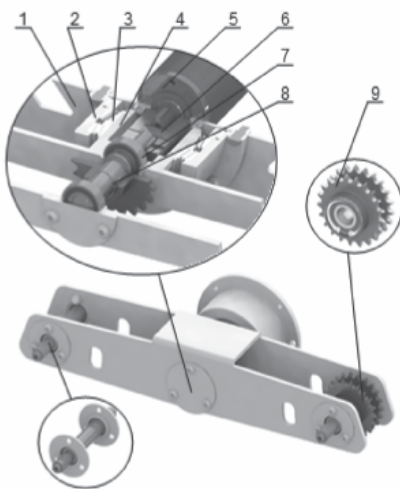


Hình 2. Kích thước cơ bản các khâu của cụm track

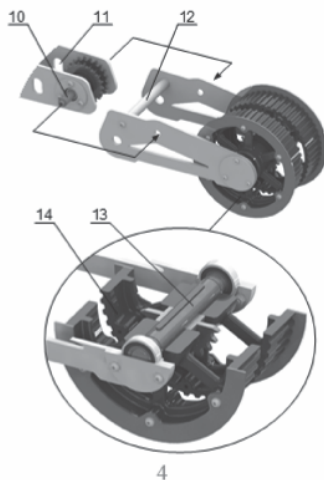
Thiết kế của khâu giữa được cho ở Hình 3. Đây là thành phần quan trọng nhất trong cơ cấu vì nó không chỉ có chức năng truyền động cho bánh đai mà còn là khớp xoay trung tâm của cơ cấu CAMSO. Trong kết cấu này, động cơ (5) được cố định trên vách (1) của robot và truyền động cho trục (8) thông qua nối trục (6). Trục này quay trên 2 ổ bi đỡ (7) được cố định vào cốc xoay (4). Cốc xoay (4) có thể quay độc lập với trục (8) nhờ vào ổ đĩa côn hai dây (3). Vòng ngoài của ổ được siết chặt vào khối (2), cố định trên vách (1). Ổ đĩa côn này chịu toàn bộ các tải trọng dọc trục và hướng tâm của cơ cấu CAMSO khi robot di chuyển và trong quá trình vận chuyển robot lên mái pin. Bánh xích đôi (9) là bánh xích bị động có thể quay tự do trên trục, có tác dụng truyền momen đến cho bánh pulley chủ động.

Thiết kế của khâu phải được cho ở Hình 4. Khâu này là khâu mang bánh pulley chủ động làm nhiệm vụ truyền chuyển động cho đai cao su của SPCR. Khâu này được liên kết với khâu giữa nhờ vào trục xoay (10). Trục (12) được lắp xuyên qua rãnh (11) và liên kết hai vách của khâu giữa với nhau. Nó vừa có tác dụng tăng

độ cứng vững cho khâu phải, vừa có tác dụng để giới hạn góc xoay bánh pulley để tránh cho đai cao su chạm vào bề mặt các chi tiết, vừa có tác dụng giúp bánh đai không bị hụp tại khoảng giữa các dây pin. Bánh đai chủ động (14) được thiết kế tách làm đôi và chính giữa là đĩa xích bị động nhận momen xoắn từ đĩa xích chủ động trên trục (10). Các đĩa xích và bánh đai được lắp lên trục (13) sử dụng then bằng và trục này quay trên hai ổ bi đỡ tại hai đầu.



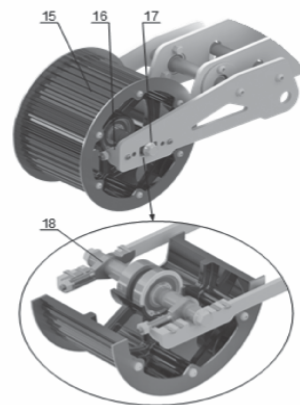
Hình 3. Thiết kế 3D của khâu trung tâm



Hình 4. Thiết kế 3D của khâu phải

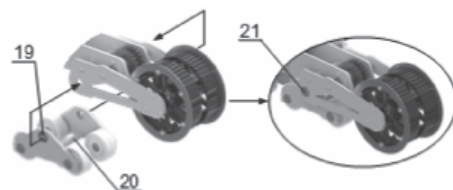
Thiết kế của khâu trái được thể hiện trong Hình 5. Khâu này có kết cấu tương tự với

khâu bên phải chỉ khác ở chỗ là nó mang bánh đai bị động cùng với bộ phận căng đai. Giá căng đai (16) được lắp vào hai bên vách của khâu trái bằng các chốt định vị. Bu lông căng đai (18) có phần tai được lắp vào trục bị động, phần còn lại được giữ bởi đai ốc. Khi xoay đai ốc, bu lông căng đai di chuyển tịnh tiến và kéo theo bánh đai bị động (15) giúp tạo lực căng trên dây đai và đảm bảo độ song song giữa hai trục bánh đai. Trục bị động được vát phẳng hai đầu để có thể trượt tự do trên rãnh của giá (16). Sau khi căng đai, trục được siết chặt bằng bu lông (17).



Hình 5. Thiết kế 3D của khâu trái

Hình 6 thể hiện lắp ghép của cụm bánh hỗ trợ với các khâu còn lại của cơ cấu. Cụm bánh xe có thể xoay được nhờ vào ổ lăn (19) và cả cụm được lắp với khâu phải bằng mối ghép chốt (21). Thanh (20) có tác dụng liên kết và tăng cứng cho cụm bánh. Kết cấu tổng thể sau khi lắp một số chi tiết còn lại như dây đai, xích,... được thể hiện ở Hình 7.



Hình 6. Lắp ghép cụm bánh hỗ trợ với khâu phải của cơ cấu



Hình 7. Kết cấu tổng thể của cụm bánh thiết kế

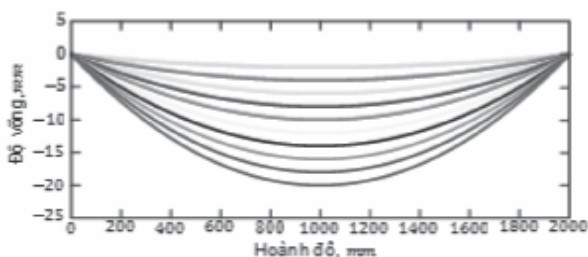
4. CÁC KỊCH BẢN MÔ PHỎNG

Để kiểm tra khả năng bám của cụm track theo các biên dạng cong khác nhau của tấm pin, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng động học của các bánh. Theo [1], biên dạng mặt pin khi robot di chuyển có dạng parabol đối xứng tại vị trí biến dạng lớn nhất. Mặt khác, theo khảo sát từ [7], các tấm pin phổ biến được sử dụng có chiều dài khoảng 2m. Vì thế, quỹ đạo của các bánh sẽ được khảo sát trên các bề mặt cong có dạng như phương trình (1) với hoành độ $x \in [0; 2000]$.

$$y = a(x - 1000)^2 + b \quad (1)$$

$$\text{Với, } a = \{2; 4; 6; 8 \dots; 20\} \times 10^{-6};$$

$$b = \{-2; -4; -6; \dots; -20\}.$$



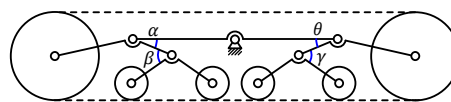
Hình 8. Các biên dạng cong khảo sát

Ứng với từng mặt pin, ta xác định được tọa độ tâm của các bánh và suy ra quỹ tích của chúng. Đây là cơ sở để đặt giới hạn cho các khớp xoay của cụm track.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

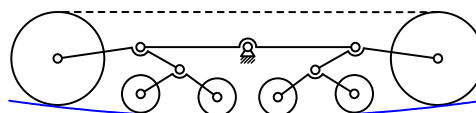
Phần mềm GeoGebra được sử dụng để mô phỏng khả năng bám mặt pin của cụm track và ghi lại quỹ tích các tâm của bánh xe với các

thông số góc quay của các khớp của cụm track.



Hình 9. Các khớp xoay của cụm track

Dựa vào kết quả mô phỏng từ GeoGebra, nhóm tác giả nhận thấy cụm track có khả năng bám tốt với tất cả các biên dạng mặt cong được đưa ra, nhờ đó đảm bảo được diện tích tiếp xúc của đai đối với mặt pin. Hình 10 mô tả sự tiếp xúc của các bánh với mặt pin cong trong trường hợp biến dạng lớn nhất.



Hình 10. Mô phỏng khả năng bám biên dạng pin đối với độ biến dạng 20mm

Bên cạnh đó, kết quả về lượng dịch chuyển của các góc khớp ứng với từng độ biến dạng mặt cong cũng được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Góc quay của các khớp so với góc ban đầu theo độ biến dạng của tấm pin

Độ võng (mm)	$\Delta\alpha$ (°)	$\Delta\theta$ (°)	$\Delta\beta$ (°)	$\Delta\gamma$ (°)
2	1,1	1,0	0,15	0,2
4	1,2	1,2	0,3	0,4
6	1,92	1,7	0,5	0,7
8	2,0	2,2	1,0	1,0
10	2,72	2,7	1,3	1,4
12	3,3	3,4	1,6	1,5
14	3,7	3,6	2,0	1,8
16	4,3	4,1	2,2	2,0
18	4,8	4,6	2,2	2,0
20	5,2	5,15	2,8	2,5

Từ kết quả của Bảng 1, các cặp góc khớp α - θ ; β - γ thay đổi một lượng lần lượt là $5,2^\circ$ và $2,8^\circ$ khi độ võng tấm pin là 20mm. Trong hai cặp góc này, cặp góc α - θ đóng vai trò quan trọng trong việc giúp robot vượt qua khe hở 30 ÷ 50cm giữa hai dãy pin liên tiếp nhau. Việc khảo sát sự thay đổi của các góc khớp đối với từng biên dạng mặt pin khác nhau là cơ sở để giới hạn các góc xoay của các khâu thành phần trong thiết kế cơ khí, giúp đảm bảo khả năng vận hành cũng như thuận tiện cho người sử dụng trong việc vận chuyển robot lên trên các mái pin cao.

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thiết kế cơ khí cụm track cho robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời dựa trên cơ cấu CAMSO TTS. Cấu trúc cơ khí được thiết kế và hiệu chỉnh từ thiết kế gốc để phù hợp với robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời dựa trên các thông số được đặt ra ban đầu. Các mô phỏng được thực hiện để kiểm tra khả năng bám theo địa hình của cụm track cũng như xác định các góc giới hạn tại các khớp. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra cụm track bám rất tốt tại vị trí tấm pin bị võng nhiều nhất. Điều đó cho thấy tính khả thi và phù hợp của thiết kế được đề xuất.

Tuy nhiên, bài báo cũng tồn tại một số hạn chế như chưa khảo sát các biên dạng của tấm pin khi robot di chuyển gần mép pin cũng như chưa khảo sát góc xoay của khâu trung tâm trong quá trình robot vận hành cũng như vượt qua khe hở giữa các dãy pin. Do đó, các yếu tố này sẽ được nghiên cứu và xem xét trong tương lai để có một cái nhìn tổng quát hơn về vấn đề đã được nêu.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống và được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2023-20b-01. ❖

Ngày nhận bài: **25/6/2023**

Ngày phản biện: **24/7/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. T. D. Phan, M. D. Nguyen, M. Auffray, N. T. Le, C. T. Truong, “Research Impact of Solar Panel Cleaning Robot on Photovoltaic Panel’s Deflection”, in ICACE, 2023. doi: 10.48550/arXiv.2306.05340.
- [2]. M. Dhimish, V. Holmes, M. Dales, B. Mehrdadi, “Effect of micro cracks on photovoltaic output power: Case study based on real time long term data measurements”, Micro Nano Lett., vol. 12, no. 10, pp. 803–807, Oct. 2017, doi: 10.1049/mnl.2017.0205.
- [3]. “Solar Cleaning Robot Thailand ALL prototypes” 2021. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.youtube.com/watch?v=7p6mtpjMmuw>. [Truy cập 4/7/2023].
- [4]. “pvClean Robot” 2018. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.serbot.ch/en/solar-panels-cleaning/pvclean-robot>. [Truy cập 4/7/2023].
- [5]. N. T. Le, P. T. Dong, “Thiết kế robot lau tấm pin năng lượng mặt trời”, Luận văn đại học, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2022.
- [6]. CAMSO, “Trailed Track Systems Parts Manual”, vol. 44, no. October. 2009.
- [7]. N. V. B. Dương, P. H. Long, N. T. Tiên, “Khảo sát thực trạng các cấu trúc lắp đặt pin mặt trời thông dụng ở Việt Nam”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, tr. 1–3, 2023.