

Nâng cao chất lượng đo lường, giảm sai số cho hệ truyền động bám sát hai kênh

Hoàng Minh Sáng¹, Phan Anh Tuấn^{2*}, Nguyễn An Hải¹

¹Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 89B Lý Nam Đế, Cửa Đông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam;

²Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: phananhtuan51@gmail.com

Nhận bài: 28/01/2024; Hoàn thiện: 10/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.41-48>

TÓM TẮT

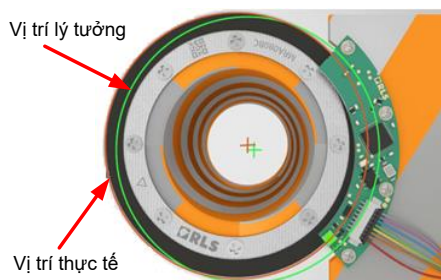
Điều khiển các hệ thống bám sát chuyên dụng đòi hỏi độ chính xác cao, các hệ thống này là một trong số các hệ thống điều khiển bám hiện đang được nghiên cứu, thiết kế, cải tiến tại nhiều đơn vị nghiên cứu, thường hoạt động trong điều kiện khắc nghiệt nên chất lượng điều khiển cũng như từng thành phần trong hệ thống phải đảm bảo các yêu cầu thiết kế. Để nâng cao độ chính xác điều khiển sử dụng thiết bị đầu đo góc khắc vạch từ, tuy nhiên, các sai số tự thân thiết bị, sai số do lắp ráp, chế tạo cơ khí dẫn đến dữ liệu nhận được của hệ thống nằm ngoài dải chất lượng yêu cầu. Bài báo trình bày phương pháp xử lý sai số đo lường để nâng cao chất lượng dữ liệu thu được từ thiết bị đo vị trí tuyệt đối đầu cuối của hệ thống, đảm bảo cho sai số hệ thống nằm trong dải yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

Từ khoá: Hệ truyền động bám; Sai số; Sai lệch vị trí; Đầu đo từ; Hệ thống điều khiển.

1. MỞ ĐẦU

Hệ truyền động bám sát hai kênh là hệ truyền động phổ biến được áp dụng cho nhiều đối tượng kỹ thuật khác nhau. Hai kênh điều khiển ở đây là bám sát theo mặt phẳng đứng và mặt phẳng ngang độ chính xác cao giúp nâng tầm các hệ thống kỹ thuật, mở rộng các khả năng cũng như lĩnh vực mà chúng có thể tham gia. Vị trí làm việc của đối tượng thường được xác định thông qua các đầu đo góc, hiện thông dụng là đầu đo góc dạng xung số có nhiều tiến bộ giúp nâng cao chất lượng hoạt động, một trong số đó là sử dụng đầu đo từ với các ưu điểm là nhỏ gọn, hoạt động bền bỉ trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt trong một thời gian rất dài, độ chính xác cao. Tuy nhiên, thực tế thiết kế, chế tạo triển khai tích hợp hệ thống luôn tồn tại sai số, sai số này làm giảm độ chính xác khi điều khiển hệ thống. Bài báo trình bày phương pháp xử lý sai số đo lường để nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ truyền động bám sát hai kênh chuyên dụng độ chính xác cao.

2. HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG ĐIỀU KHIỂN

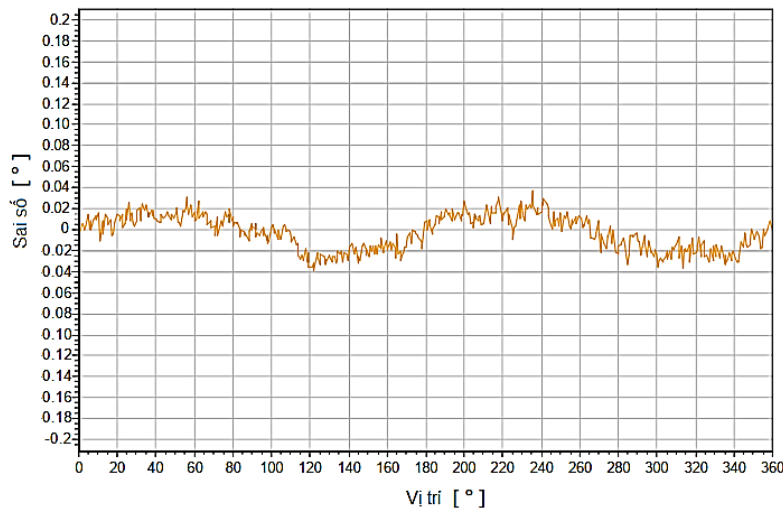


Hình 1. Sai số lắp đặt nội tại của đầu đo.

Trước đây, trên các hệ thống điều khiển thường dùng đầu đo dạng xen xil và truyền động điện EMU với độ chính xác điều khiển trong khoảng 5 mili radian (mrad). Trong điều kiện hoạt động hiện tại và tương lai, các yêu cầu về chất lượng hệ thống sẽ ngày càng cao hơn, trong đó, yêu cầu về độ chính xác điều khiển bám cần đạt khoảng 2 mrad. Để đáp ứng được yêu cầu đề ra cần có giải pháp tổng thể cho hệ thống đo lường và điều khiển cho các đối tượng kỹ thuật, với hệ thống

đầu đo sẽ thay dạng xen xil bằng đầu đo góc dạng xung vạch từ trường. Khi tích hợp hệ truyền động bám sát sẽ xuất hiện các sai số không mong muốn, trong đó có sai số của đầu đo: sai số do nhiễu điện từ gây ra cho đầu đo; sai số do lắp đặt lệch tâm (hình 1).

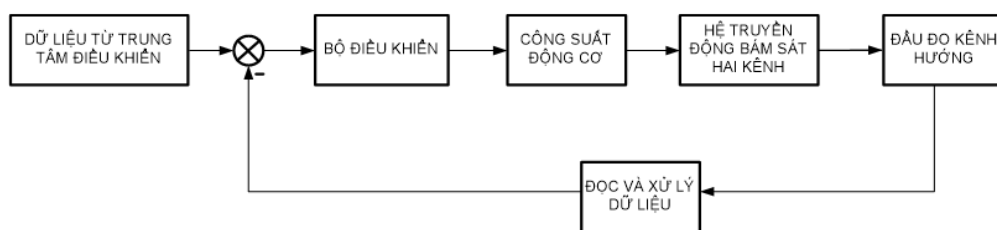
Sai số của đầu đo khi xuất xưởng của nhà máy chế tạo được thể hiện trong hình 2 dưới đây [5].



Hình 2. Sai số nhiễu điện từ và sai lệch lắp ráp gây ra cho đầu đo.

Như vậy, với đầu đo nguyên bản đã tồn tại sai số nhất định do tác động của nhiễu điện từ và sai lệch cơ khí trong quá trình lắp ráp, chế tạo, sai số tổng hợp ở vào khoảng $\pm 0,67$ ly giác. Trong điều kiện lý tưởng sai số tích hợp của toàn hệ thống sẽ tiệm cận với sai số đầu đo, thực tế khi tích hợp hệ thống nhất là với các hệ thống khối lượng lớn, có thời gian làm việc lâu năm thì sai số tổng thể thường rất lớn, điều này ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng điều khiển hệ thống.

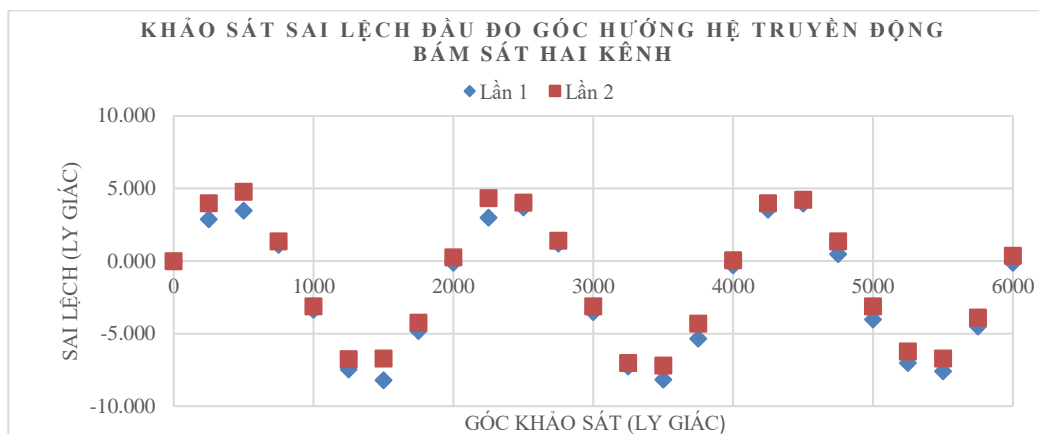
Với kênh tầm nhóm tác giả đã đề xuất giải pháp ở công trình [1]. Bài báo này tập trung vào hệ thống điều khiển kênh hướng. Góc điều khiển của kênh hướng nằm trong giới hạn từ 0 độ đến 360 độ (tương đương từ 0 đến 6000 ly giác, có thể tính gần đúng mỗi ly giác bằng 1 mrad). Sơ đồ hệ thống điều khiển kênh hướng của hệ truyền động bám được thể hiện như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống điều khiển kênh hướng hệ truyền động bám sát hai kênh.

Khảo sát sai lệch hệ thống của hệ truyền động bám sát hai kênh, xây dựng bảng sai lệch giữa góc hướng đo đầu đo hệ thống trả về và góc hướng thông qua đo đạc bằng máy kinh vĩ độ chính xác cao, kết quả thể hiện ở hình 4 dưới đây.

Sai số qua các lần đo đạc độc lập cho kết quả tương đối ổn định, do đó có khả năng giảm thiểu sai lệch bằng thuật toán. Để đơn giản và dễ dàng ứng dụng vào trong thực tiễn, nhóm tác giả lựa chọn phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn để bù sai lệch. Lý do lựa chọn phương pháp: thuật toán gồm các bước đơn giản, phù hợp với cấu hình máy tính nhúng đang trang bị; không cần bước tính toán bên ngoài, bảng dữ liệu được nạp trực tiếp vào máy tính; với tần số lấy mẫu phù hợp sẽ khôi phục tín hiệu trong khoảng sai số cho phép.

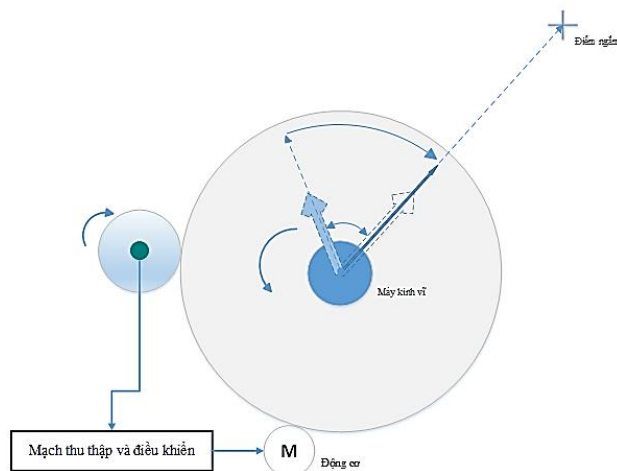


Hình 4. Kết quả đo sai lệch góc hướng hệ truyền động bám sát hai kênh so với máy kinh vĩ.

Sau đây sẽ trình bày cụ thể phương pháp xử lý sai số đo lường để nâng cao chất lượng dữ liệu thu được từ thiết bị đo sai lệch vị trí tuyệt đối đầu cuối của hệ thống, đảm bảo cho sai số hệ thống nằm trong dải yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

3. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN XỬ LÝ SAI SỐ ĐO LƯỜNG

Mô hình xác định sai số hệ thống như trong hình 5. Mặt phẳng lắp đặt hệ truyền động theo kênh hướng được chỉnh cân bằng và ổn định dựa vào các chân kích. Máy kinh vĩ gắn cố định, thẳng bằng trên trục đi qua tâm và vuông góc với mặt phẳng ngang.



Hình 5. Mô hình xác định sai số hệ thống.

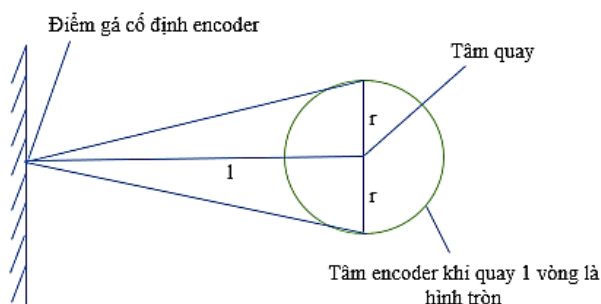
Cơ sở lựa chọn điểm ngắm: trong điều kiện cho phép thì có thể cắm bia tiêu chuẩn, độ tương phản cao sẽ dễ dàng ngắm hơn. Tuy nhiên, trong điều kiện thực tế, có thể lợi dụng địa hình địa vật để lựa chọn điểm ngắm cố định để quan sát như cột ăng ten, cột thu lôi,... Lựa chọn điểm ngắm có cự ly trên 1 ki lô mét nhằm giảm thiểu sai số quá trình đo đạc do mắt người ngắm và sai lệch do vị trí đặt máy kinh vĩ lệch.

Chỉnh hướng cần điều khiển và máy kinh vĩ đồng hướng vào điểm ngắm đã chọn. Tiến hành qui 0 giá trị đầu đo và giá trị máy kinh vĩ. Thực hiện quay mặt phẳng ngang một góc cần khảo sát, khi đó, máy kinh vĩ được gắn với vào đối tượng sẽ quay theo, tiến hành chỉnh đường ngắm máy kinh vĩ về điểm ngắm. Ghi lại số liệu góc hệ truyền động bám sát hai kênh do đầu đo hướng đo được và góc máy kinh vĩ thay đổi, quy hai góc về cùng thang đo 0,1 mrad, hiệu số 2 góc chính là sai lệch hệ thống. Thiết bị tiêu chuẩn để lấy dữ liệu chính xác là máy kinh vĩ có độ phân giải đến

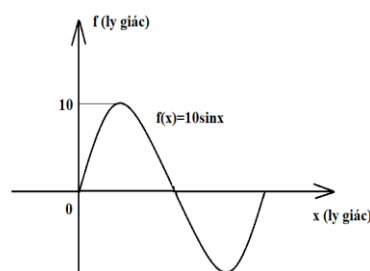
1 giây góc. Lựa chọn máy kinh vĩ độ chính xác cao Satlab SDT2 (độ chính xác 2 giây góc) [6], đáp ứng yêu cầu, dễ lắp đặt, có hỗ trợ cân bằng cơ học.

Phân tích tìm nguyên nhân sai số gồm các nguyên nhân chính: sai số do biến dạng cơ khí (hệ thống cơ khí khối lượng lớn, hoạt động lâu gây ra rơ rã, biến dạng cơ khí); sai số gá lắp đặt đầu đo lệch tâm bởi hộp số tỷ lệ truyền 1:3; sai số ngẫu nhiên do các nguyên nhân: khe hở bánh răng, độ rơ cơ khí, sai số encoder, sai số đầu đo, phép đo.

Nghiên cứu trong bài báo này tập trung vào xác định nguyên nhân và giảm thiểu sai số hệ thống. Sai số chính gây ra bởi hộp số, bởi sai số gia công bánh răng và gá lắp encoder chưa chính tâm. Do cải tiến thiết bị cũ, hộp số được chế tạo trong nước độ đồng đều và chính xác chưa cao nhưng do sai lệch trên mỗi thiết bị là ổn định nên có khả năng bù bằng thuật toán.



Hình 6. Sai lệch lắp đặt tâm đầu đo với tâm quay.



Hình 7. Đồ thị hàm sai số.

Với gá lắp cơ khí như trên hình 6, encoder được giữ bằng giá đỡ mềm, khoảng cách từ tâm trục encoder đến tâm quay là $l = 50$ mm, sai số do lắp đặt lệch tâm r . Sai số tối đa do lắp đặt lệch tâm là $r = 0,5$ mm.

Do sai số lắp đặt lệch tâm, trong quá trình hoạt động trục của encoder quay tròn quanh tâm gây ra sai số theo chu kỳ, hình sin với biên độ là:

$$\varepsilon(\max) = (r/l) \times 1000 = (0,5/50) \times 1000 = 10 \text{ (ly góc)}$$

Hàm sai số có thể biểu diễn dưới dạng: $f(x) = 10\sin(x)$ (hình 7)

Để giảm sai số xuống dưới 1 ly góc thì cần tần số lấy mẫu đủ lớn. Cần tính toán khoảng cách lấy mẫu tối thiểu đảm bảo sai số trong khoảng cho phép.

Sai số của phép tính nội suy tuyến tính được tính theo công thức: $R_T = f(x) - p(x)$

Trong đó, $p(x)$ biểu thị kết quả tính theo phương pháp nội suy tuyến tính, $f(x)$ là hàm biểu diễn giá trị sai số.

Trong đó, p biểu thị đa thức nội suy tuyến tính được xác định bởi:

$$p(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Sử dụng định lý Rolle [7], nếu f có đạo hàm bậc hai liên tục thì sai số được giới hạn bởi:

$$|R_T| \leq \frac{(x_1 - x_0)^2}{8} \max_{x_0 \leq x \leq x_1} |f''(x)|$$

Để đảm bảo sai số dưới 1 ly góc thì khoảng cách lấy mẫu thỏa mãn:

$$\frac{(x_1 - x_0)^2}{8} \max_{x_0 \leq x \leq x_1} |f''(x)| = 1 \quad (1)$$

Do

$$f(x) = 10 \times \sin(x) \Rightarrow \max_{x_0 \leq x \leq x_1} |f'(x)| = 10 \quad (2)$$

Gọi h là khoảng cách lấy mẫu thì $h = x_1 - x_0$. Từ (1) và (2) có $h \approx 0,8944$.

Số mẫu cần lấy trong một vòng quay của encoder 2π là: $N = 2\pi / h \approx 7,025$. Hệ truyền động thông qua hộp số tỷ lệ truyền 1:3, do đó, số mẫu cần lấy cho toàn dải là: $N^* = 3 \times N \approx 21,07$

Vậy số mẫu cần thiết khảo sát toàn dải cho hệ thống lớn hơn N^* , lựa chọn số mẫu là 24 để khoảng cách các mẫu là 250 ly giác thuận tiện trong việc đo đạc. Do chọn là 24 mẫu thì sau 8 lần đo các kết quả sẽ lặp lại nên đồ thị sai số có kết quả như trên hình 4 là hợp lý.

Quá trình xác định sai số là quá trình xây dựng tập dữ liệu được tiến hành theo các bước sau:

Bước 1: Lắp đặt, thiết lập hệ thống, quy “0” máy kinh vĩ và mạch đo đầu đo hướng;

Bước 2: Điều khiển hệ thống quay theo các góc nằm trong dải đo, bước đo 250 ly giác, thực hiện khảo sát 1 vòng quay. Số liệu thu được là hiệu số giữa máy kinh vĩ và đầu đo góc hướng;

Bước 3: Tiến hành lặp lại đo đạc ở Bước 2, thực hiện độc lập để lấy số liệu.

Bước 4: Lấy trung bình sai số tại các điểm đo, đây là giá trị tối ưu nhằm khử sai lệch lặp lại là thấp nhất. Lập bảng sai lệch, là bảng các giá trị trung bình sai số ứng với các điểm đo.

Từ các giá trị đo thu được xây dựng tập các giá trị bù sai số khi hệ thống hoạt động. Tập có n giá trị đo x_1, x_2, \dots, x_n tương ứng với n giá trị sai số e_1, e_2, \dots, e_n được xác định bởi công thức:

$$e_i = a_i x_i, \text{ với } x_i \in [x_k, x_{k+1}], k = \overline{1, n-1}, \text{ trong đó, } a_i = \arctan\left(\frac{e_{k+1} - e_k}{x_{k+1} - x_k}\right)$$

(Góc hệ truyền động bám sát hai kênh) = (Giá trị đầu đo) + e_i .

Lưu đồ thuật toán được thể hiện trên hình 8 dưới đây.

Sau khi chuẩn bị tập dữ liệu đầu vào, tiến hành xây dựng thuật toán xử lý sai số theo các bước sau:

Bước 1: Tiền xử lý dữ liệu đo đạc: dữ liệu sai số của đầu đo hướng tương ứng các góc được phát triển từ bảng dữ liệu đo đạc với 24 giá trị đo thành bảng với 6000 giá trị đo. Việc xử lý giá trị đo tại thời điểm khởi động mục đích nhằm giảm thời gian tính toán ở các bước sau, đảm bảo yếu tố thời gian thực của hệ thống.

Bước 2: Kiểm tra gói dữ liệu thu được từ đầu đo, kiểm tra bit lỗi, quy đổi giá trị góc về độ phân giải 0,1 ly giác.

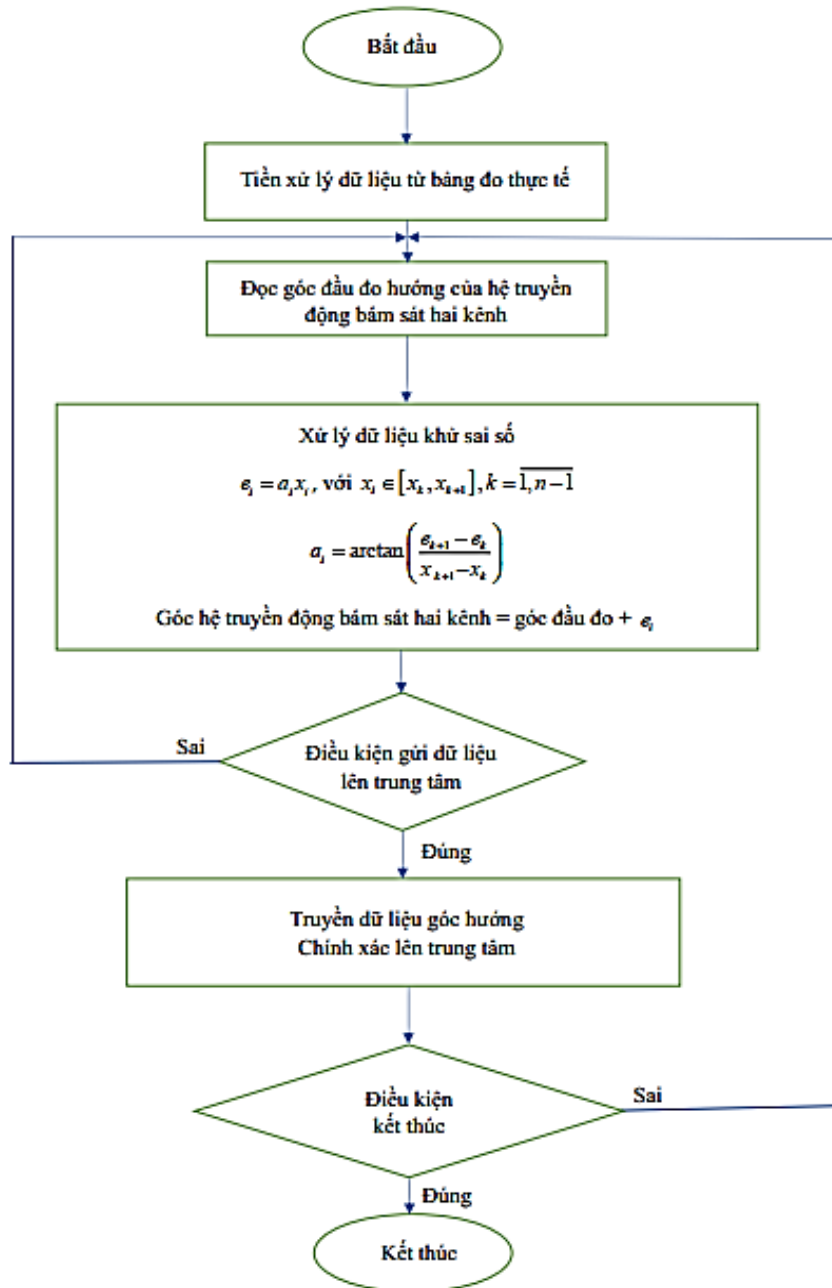
Bước 3: Ánh xạ giá trị đo qua bảng giá trị khử sai lệch để lấy giá trị bù, thực hiện bù sai lệch bằng cách lấy giá trị đo cộng với giá trị bù.

Bước 4: Kiểm tra điều kiện gửi dữ liệu lên trung tâm: thủ tục gửi dữ liệu theo cơ chế hỏi-đáp, trung tâm gửi lệnh xuống hỏi thì mạch xử lý gửi dữ liệu góc hướng lên trung tâm. Nếu điều kiện sai thì quay lại Bước 2, nếu đúng thì thực hiện Bước 5.

Bước 5: Giá trị góc hướng được đóng gói dữ liệu vào bản tin gửi lên trung tâm điều khiển của hệ truyền động bám sát hai kênh.

Bước 6: Kiểm tra điều kiện kết thúc chương trình, nếu đúng thì kết thúc, nếu sai thì quay lại Bước 2.

Quá trình tính toán bước 2, bước 3 được lặp lại liên tục theo thời gian thực, đồng thời dữ liệu sau khi tính toán khử sai số được đóng gói và truyền lên trung tâm điều khiển của hệ truyền động bám sát hai kênh.



Hình 8. Lưu đồ thuật toán khử sai số đo góc kênh hướng hệ truyền động bám sát hai kênh.

4. KẾT QUẢ KHI ÁP DỤNG THUẬT TOÁN

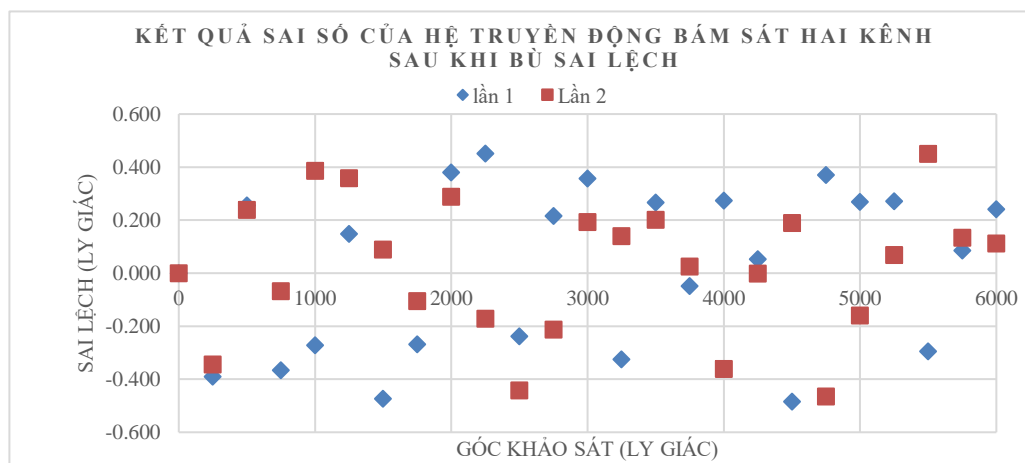
Áp dụng thuật toán trên, xác định góc hướng của hệ truyền động bám sát hai kênh, khảo sát sai lệch với 24 điểm lấy mẫu đủ để mô tả sự biến thiên của sai lệch trong toàn dải.

Từ các kết quả quá trình khảo sát thu được trên hình 4, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến sai lệch phép đo đưa ra một số nhận xét:

- Đường đồ thị thể hiện sai số trong các lần đo tương đối đồng dạng, thể hiện sai số do cơ cấu truyền dẫn động, nguyên nhân gây ra sai lệch là do lắp đặt cơ khí, độ lệch tâm, uốn vắn, biến dạng cơ khí của các cơ cấu dẫn động như hộp số, bánh răng.

- Các đường sai số đồng dạng, tuy nhiên, tại một điểm ngắm ở các lần đo khác nhau có sai số khác nhau, đây là sai lệch do độ rơ cơ khí, khe hở bánh răng và sai số do phương pháp tính điều này gây ra sai số ngẫu nhiên của phép đo nhưng sai số này nhỏ dưới 1 ly giác, sử dụng phương pháp lấy trung bình để giảm sai số ngẫu nhiên.

Để giảm các sai số của hệ thống cần áp dụng thuật toán bù sai lệch. Sau khi xây dựng thuật toán, lập trình và cài đặt hệ thống cho hệ truyền động bám sát hai kênh, tiến hành kiểm tra sai số hệ thống thu được các kết quả như trên đồ thị hình 9.



Hình 9. Sai số hệ thống sau khi thực hiện phép toán khử sai lệch.

Từ đồ thị, so sánh trước và sau khi áp dụng thuật toán ta thấy sai số của hệ thống đã giảm đi, biên độ sai số đã giảm từ 8,2 ly giác xuống còn dưới 1 ly giác. Sai số phép đo còn tồn tại là sai số ngẫu nhiên do độ rơ cơ khí, khe hở bánh răng,... và có thể cải thiện thêm bằng cách nâng cấp hệ truyền động cơ khí. Các kết quả khảo sát trên chứng tỏ thuật toán đã có tác dụng giảm sai số đo lường phù hợp với lý thuyết.

5. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thực nghiệm và kiểm tra trên hệ thống ta thấy được thuật toán khử sai số đã hoạt động đúng như mong muốn, giúp giảm sai số hệ thống về ngưỡng yêu cầu, nâng cao chất lượng điều khiển, bám của hệ truyền động bám sát hai kênh. Thuật toán đã được thử nghiệm và ứng dụng vào thực tế, kết quả đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đề ra, trong tương lai sẽ tiếp tục nghiên cứu phát triển và so sánh kết quả của thuật toán với các thuật toán nhận dạng sai số khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Trần Thắng, Nguyễn An Hải, Nguyễn Thị Lê Na, “Nghiên cứu nâng cao chất lượng dữ liệu trong điều khiển bộ hòa lực độ chính xác cao,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CNQS, số Đặc san, tr. 55-60, (2021).
- [2]. Chu Đức Chinh, Hoàng Minh Sáng, Nguyễn Thị Lê Na, Nguyễn Văn Vũ, “Nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển truyền động bám tốc độ kênh tầm cho tháp pháo trên tổ hợp PPK tự hành ZSU-23-4 cải tiến,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CNQS, số Đặc san, tr. 47-54, (2021).
- [3]. Nguyễn Phú Đăng, Phạm Tuấn Thành, Vũ Đức Tuấn, “Tổng hợp riêng biệt các bộ điều chỉnh của các hệ thống điều khiển tự động nhiều vòng,” Tạp chí Nghiên cứu KH&CNQS, số 50, tr. 36-44, (2017).
- [4]. E.R. Collines Jr. And R.E. Ashley III, “Operating Characteristics of single-phase capacitor motor driven from variable frequency supplies” in Proc. Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Society Annu. Meeting, vol.1, pp. 52-57, (1991).
- [5]. <https://www.rls.si/eng/fileuploader/download/download/?d=1&id=267&title=Data+sheet%3A+AksIM-2%E2%84%A2+off-axis+rotary+absolute+magnetic+encoder+%28MBD01%29>
- [6]. <https://www.satlab.com.se/product/sdt2-electronic-digital-theodolite/>

- [7]. Revathy Parameswaran, “Understanding Rolle’s Theorem”, The Mathematics Educator, Vol. 19, No. 1, 18-26, (2009).

ABSTRACT

**Improving measurement quality, reduce errors
for two-channel tracking transmission systems**

Controlling specialized tracking systems requires high accuracy. These systems often operate in harsh conditions, so the control quality as well as each component in the system must meet design requirements. The two-plane tracking transmission system is one of the tracking control systems currently being researched, designed and improved at many research institutions. To improve control accuracy, use an angle measuring device with engraved magnetic lines. However, errors in the device itself, errors due to assembly and mechanical manufacturing lead to data received from the system being outside the required quality range. This article presents a method for handling measurement errors to improve the quality of data obtained from the system's terminal absolute position measuring device, ensuring that the system error is within the range of set technical requirements.

Keywords: Tracking transmission system; Error; Position error; Magnetic measuring head; Control system.