

XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI HỆ TRUYỀN ĐỘNG BÁM VỚI 2 ĐỘNG CƠ GHÉP NỐI SONG SONG LIÊN KẾT ĐÀN HỒI KÊNH HƯỚNG PHÁO AK-230

BUILDING AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR THE TRACTION DRIVE SYSTEM WITH 2 PARALLEL-COUPLED ENGINES WITH ELASTIC LINKS FOR THE DIRECTION CHANNEL OF THE AK-230 CANNON

Phạm Tuấn Thành¹, Hoàng Hải Sơn²,
Trần Văn Tuyên¹, Lê Minh Dương^{3,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.074>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố đàn hồi, khe hở và ma sát phi tuyến tới hoạt động của hệ thống truyền động bám hướng pháo AK-230 để đưa ra bài toán nghiên cứu cũng như lựa chọn công cụ giải bài toán đặt ra. Ứng dụng phương pháp điều khiển thích nghi - Modal và các công cụ mô tả toán các phần tử và hệ thống truyền động phi tuyến có tham số bất định nhằm xây dựng mô hình toán học cho hệ thống truyền động bám hướng pháo AK-230 trên tàu hải quân được nghiên cứu trong bài báo. Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi - Modal cho hệ thống truyền động bám hướng pháo AK-230 với hai động cơ ghép nối song song khi kể đến phần tử liên kết đàn hồi có tham số hằng bất định. Mô phỏng khảo sát các thuật toán và bộ điều khiển được tổng hợp trên môi trường Matlab-Simulink.

Từ khóa: Hệ truyền động bám hướng pháo AK-230, Bộ điều khiển thích nghi - Modal, khe hở, đàn hồi.

ABSTRACT

This paper presents research results investigating the influence of elastic factors, gap, and nonlinear friction on the operation of the cannon direction trace drivetrain AK 230 to propose a research problem as well as select a problem-solving tool. Application of Adaptive control method - Modal and mathematical description tools of elements and nonlinear drivetrain with uncertain parameters to build a mathematical model for the cannon direction trace drivetrain AK 230 on a naval ship studied in this paper. Synthesis of Adaptive controller - Modal for cannon direction trace drivetrain AK 230 with two parallel coupling motors when it comes to flexible coupling element with indeterminate constant parameter. Simulation survey algorithms and controllers are synthesized in a Matlab-Simulink environment.

Keywords: Cannon direction trace drivetrain AK-230, Adaptive controller-Modal, gap, elastic.

¹Khoa Kỹ thuật điều khiển, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

³Lớp Cao học Tự động hóa, Khóa 33, Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: leduonghvkts@gmail.com

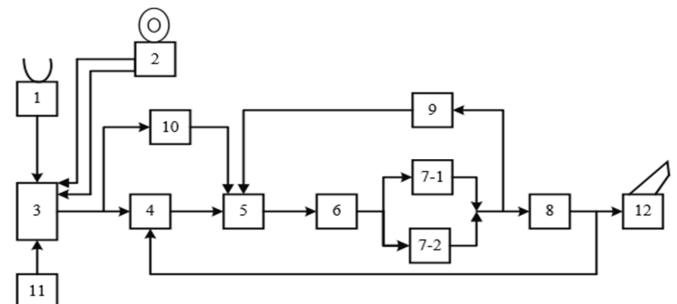
Ngày nhận bài: 28/2/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Pháo tàu AK-230 được thiết kế bắn tự động bằng điện hoặc bằng cơ và được trang bị cho tàu mặt nước để tiêu diệt mục tiêu trên không, trên biển, trên bờ. Việc điều khiển pháo tới mục tiêu được thực hiện nhờ radar điều khiển bắn hoặc bằng tay thông qua cột ngắm, kính ngắm. Sơ đồ nguyên lý chung được trình bày trên hình 1 [1].



Hình 1. Sơ đồ chức năng chung của hệ bám pháo tàu AK-230

1. Radar điều khiển; 2. Cột ngắm (chế độ dự phòng); 3. Máy tính trung tâm; 4. Cơ cấu đo lường; 5. Khuếch đại tín hiệu; 6. Khuếch đại công suất; 7-1. Động cơ chấp hành 1; 7-2. Động cơ chấp hành 2; 8. Hộp đổi tốc; 9. Hiệu chỉnh thu; 10. Hiệu chỉnh phát; 11. Máy đo góc lắc; 12. Pháo.

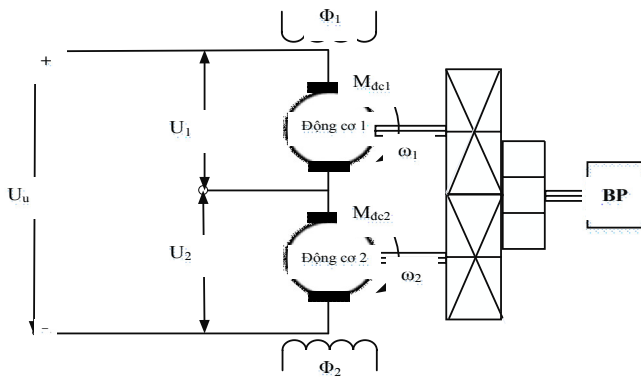
Hệ truyền động pháo tàu hoạt động theo hai chế độ: Chế độ tự động (điều khiển từ xa) và chế độ bán tự động (điều khiển từ cột ngắm).

Tín hiệu mục tiêu từ radar được truyền về máy tính trung tâm, tại đây tín hiệu mục tiêu được xử lý và biến đổi sau đó nó được cộng với tín hiệu lấy từ máy đo góc lắc và tín hiệu phản hồi để tạo thành tín hiệu điều khiển. Tín hiệu này được đưa vào cơ cấu đo lường của hệ truyền động bám dưới dạng góc quay. Qua cơ cấu đo lường nó được biến đổi thành tín hiệu điện để đưa tới bộ khuếch đại điện tử rồi đưa tới khuếch đại công suất và làm cho động cơ chấp hành quay và do đó làm cho pháo quay theo.

Các cơ cấu hiệu chỉnh giúp cho pháo làm việc ổn định và chính xác hơn. Chế độ dự phòng (điều khiển pháo bằng

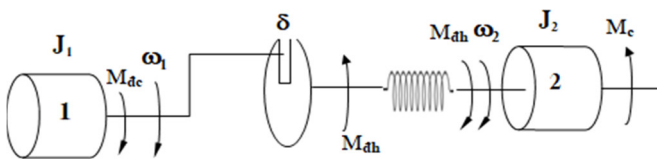
cột ngắm hoặc kính ngắm bởi pháo thủ) được sử dụng khi hệ thống radar hồng hoặc là máy tính trung tâm hồng. Ở chế độ này tín hiệu từ cột ngắm được đưa thẳng đến cơ cấu đo lường của hệ truyền động bám. Sau đó quá trình điều khiển pháo tới mục tiêu giống như khi làm việc với radar [2].

Đối với hệ bám hướng pháo AK-230 ở trên, sau bộ biến đổi 6, tín hiệu được đưa tới hai động cơ một chiều kích từ độc lập ghép nối song song qua hộp số liên kết với phần quay bộ pháo như hình 2.



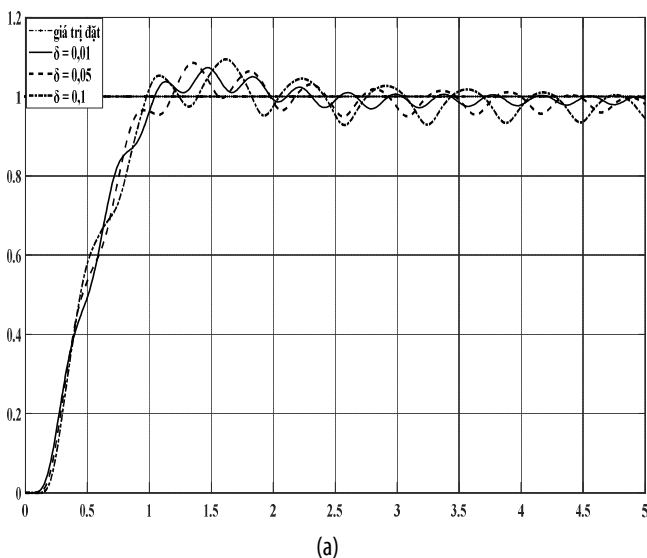
Hình 2. Mô hình gồm hai động cơ một chiều ghép nối song song

Ta biểu diễn phần cơ của bộ truyền động cho một động cơ tương đương (gồm động cơ 1 và động cơ 2) - hộp số - phần quay bộ pháo ở dạng hệ truyền động hai khối lượng liên kết đàn hồi như hình 3.

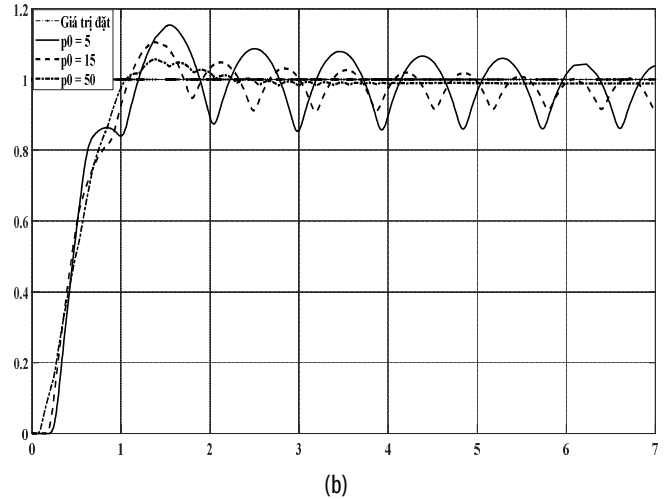


Hình 3. Sự liên kết hai khối lượng có phần tử đàn hồi và khe hở

M_{dc} - mô men điện từ động cơ tương đương; J_1 - mô men quán tính của động cơ tương đương (gồm động cơ 1 và động cơ 2); p_0 - hệ số liên kết đàn hồi giữa hai khối lượng; ω_1 - tốc độ quay của động cơ tương đương; δ - khe hở bộ truyền động; M_{ah} - mô men của phần tử đàn hồi; ω_2 - tốc độ quay của bộ pháo; J_2 - mô men quán tính của bộ pháo; M_c - mô men cản của động cơ



(a)



Hình 4. Đáp ứng vị trí của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 khi ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến khe hở, đàn hồi

(a) khe hở nhỏ ($\delta = 0,01[\text{rad}]$); khe hở vừa ($\delta = 0,05[\text{rad}]$); khe hở lớn ($\delta = 0,1[\text{rad}]$). (b) Hệ số đàn hồi ($p_0 = 5 [\text{Kg.m/rad}]$); Hệ số đàn hồi ($p_0 = 15 [\text{Kg.m/rad}]$); Hệ số đàn hồi ($p_0 = 50 [\text{Kg.m/rad}]$)

Sau thời gian làm việc, hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 xuất hiện khe hở, đàn hồi giữa các động cơ và hộp số sẽ khác nhau. Dẫn đến ảnh hưởng sai lệch trong quá trình hoạt động.

Khảo sát hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 khi kể đến ảnh hưởng của khe hở, đàn hồi của phần cơ như hình 4.

* Qua kết quả khảo sát nhận thấy:

- Khi khe hở nhỏ, các chỉ tiêu chất lượng của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 hầu như không thay đổi so với khi hệ chưa có khe hở;

- Khi khe hở tăng lên, hệ truyền động bám hướng có hiện tượng giật cục khi đáp ứng quá độ đạt tới giá trị cực đại và có các dao động nhỏ khi kết thúc quá trình quá độ. Giá trị này nhỏ hơn 5% so với giá trị cực đại;

- Khi khe hở tiếp tục tăng thì hiện tượng giật cục cũng tăng lên, nếu tiếp tục tăng thì hệ truyền động bám sẽ không ổn định.

- Qua mô phỏng cũng cho ta thấy sự ảnh hưởng tính đàn hồi đến chất lượng của hệ truyền động bám trong quá trình quá độ và trong cả trạng thái xác lập. Sự ảnh hưởng của tính đàn hồi đến chất lượng điều khiển hầu như phụ thuộc vào độ rơ (đặc tính khe hở) của bộ truyền.

Để đảm bảo và nâng cao chất lượng điều khiển của hệ thống khi có sự xuất hiện của các yếu tố bất định hoặc biến đổi không biết trước giải pháp của bài báo đưa ra là xây dựng bộ điều khiển thích nghi- Modal cho hệ truyền động kênh hướng pháo AK-230.

2. MÔ HÌNH HỆ TRUYỀN ĐỘNG BẮM HƯỚNG PHÁO AK-230 VỚI 2 ĐỘNG CƠ GHÉP NỐI SONG SONG LIÊN KẾT ĐÀN HỒI

Phương trình toán học mô tả động cơ một chiều kích từ độc lập có dạng như sau:

$$\begin{cases} U_u = i_u r_u + L_u \frac{di_u}{dt} + e_u \\ \dot{\omega} = J^{-1}(M_{dc} - M_c); \\ M_{dc} = k_m i_u \\ e_u = k_e \omega \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: U_u , i_u , r_u , L_u , e_u tương ứng với điện áp, dòng điện, điện trở, điện cảm, suất điện động phản ứng; k_m - hằng số kết cấu động cơ; k_e - hệ số suất điện động.

J : momen quán tính động cơ.

Từ hình 3 ta có hệ phương trình mô tả phần cơ liên kết đàn hồi giữa động cơ, hộp số, phần quay bộ phận như sau:

Để đơn giản hóa ta có thể bỏ qua các khe hở liên kết δ , độ giảm chấn b và mô men cản M_c .

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = J_1^{-1}(M_{dc} - M_{dh}); \\ \dot{M}_{dh} = p_0 \cdot (\omega_1 - \omega_2) \\ \dot{\omega}_2 = J_2^{-1} \cdot M_{dh} \end{cases} \quad (2)$$

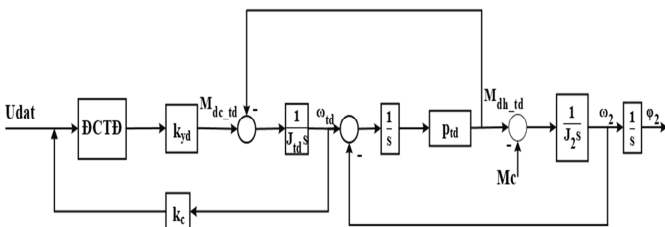
Kết hợp (1) và (2) ta có hệ phương trình mô tả động cơ và phần cơ hệ truyền động:

$$\begin{cases} U_u = i_u r_u + L_u \frac{di_u}{dt} + e_u; e_u = k_e \omega \\ \dot{\omega}_1 = J_1^{-1}(M_{dc} - M_{dh}); M_{dc} = k_m i_u \\ \dot{M}_{dh} = p_0 \cdot (\omega_1 - \omega_2); \dot{\omega}_2 = J_2^{-1} \cdot M_{dh} \end{cases} \quad (3)$$

Để thuận lợi cho việc nghiên cứu và thiết kế ta xem xét nó là các phương trình tuyến tính gần đúng, dùng với các số không đổi trung bình:

Khi đó: $J_1 = J_1(t)$; $J_2 = J_2(t)$; $p = p_0(t)$; $J_1(t) \rightarrow J_{01}$; $J_2(t) \rightarrow J_{02}$; $p_0(t) \rightarrow p_0$

Khi xem xét cấu trúc bộ điều khiển theo dạng các vòng điều chỉnh lệ thuộc, khi đó coi sơ đồ cấu trúc hệ truyền động hai khối lượng liên kết đàn hồi với một động cơ tương đương có dạng thể hiện trên hình 5: $M_{dc} = M_{dc1} + M_{dc2}$ là mô men động cơ tương đương; $M_{dh} = M_{dh1} + M_{dh2}$ là mô men đàn hồi tương đương; $\omega_1 = (\omega_{1-1} + \omega_{1-2})/2$ là tốc độ động cơ tương đương; $J_1 = 2J_{1-1} = 2J_{1-2}$ là mô men quán tính của động cơ tương đương; $p_0 = 2p_{1-1} = 2p_{1-2}$ là hệ số liên kết đàn hồi giữa động cơ tương đương và phần quay của bộ phận [13,14].



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động hai khối lượng liên kết đàn hồi hai động cơ ghép nối song song chuyển thành một động cơ tương đương

J_1 : Mô men quán tính của động cơ tương đương (khối lượng thứ nhất)

J_2 : Mô men quán tính của phần quay bộ phận (khối lượng thứ hai) khi quy đổi về đầu ra của hộp số.

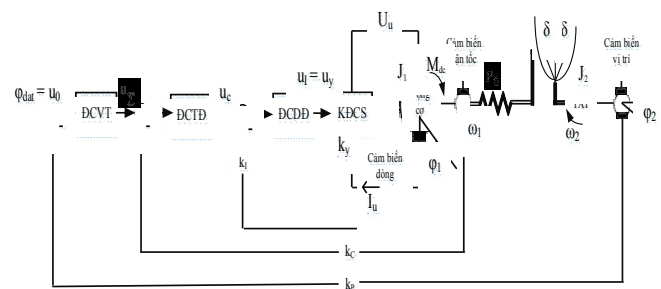
k_m : Hệ số kết cấu của động cơ; k_c : Hệ số phản hồi vòng tốc độ; M_{dc} : Mô men động cơ tương đương.

ω_1 : Vận tốc góc của động cơ tương đương; ω_2 : Vận tốc góc của khối lượng thứ hai.

M_{dh} : Mô men đàn hồi tương đương giữa khối lượng thứ nhất và khối lượng thứ hai khi không có khe hở.

p_0 : Hệ số liên kết đàn hồi tương đương giữa khối lượng thứ nhất và khối lượng thứ hai.

Ở đây ta chỉ xét liên kết đàn hồi giữa động cơ điện và phần quay bộ phận; khi đó sơ đồ cấu trúc hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 với các vòng điều chỉnh lệ thuộc như hình 6.



Hình 6. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động bám điện cơ hai khối lượng liên kết đàn hồi với các vòng điều chỉnh

Ở đầu vào của hệ truyền động là tín hiệu $u_0 = \phi_{dat}$ trong đó:

ĐCVT (β_p): Điều chỉnh vị trí; ĐCCTĐ (β_c): Điều chỉnh tốc độ; ĐCCTĐ: Điều chỉnh dòng điện; KĐCS (k_y): Khuếch đại công suất.

Trong đó các bộ điều chỉnh được tính toán theo các phương pháp tối ưu mô đun hoặc tối ưu đối xứng [13].

Từ sơ đồ cấu trúc hình 6 và để đơn giản hóa có thể bỏ qua các khe hở liên kết δ , độ giảm chấn b và Mô men cản M_c ta có hệ phương trình như sau [3]:

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = J_1^{-1}(M_{dc} - M_{dh}); \dot{M}_{dh} = p_0 \cdot (\omega_1 - \omega_2) \\ \dot{\omega}_2 = J_2^{-1} \cdot M_{dh}; u_1 = u_y = b_1 \cdot (u_c - k_1 \cdot i_u); u_u = k_y \cdot u_y \\ M_{dc} = r_u^{-1} k_m (k_y u_c - k_e \omega_1); u_c = (u_\Sigma - k_c \omega_1) \cdot \beta_c \\ u_0 = \phi_{dat}; \dot{\phi}_2 = \omega_2; \end{cases} \quad (4)$$

Đặt các biến ở hệ phương trình (4) như sau:

$$\begin{cases} a_1 = J_1^{-1}; a_2 = p_0; a_3 = -J_2^{-1} \\ a_4 = -J_1^{-1} r_u^{-1} k_m (k_y \beta_c + k_e) \\ b = J_1^{-1} r_u^{-1} k_m k_y \beta_c; \end{cases} \quad (5)$$

Kết hợp (4) và (5) suy ra:

$$\begin{cases} \dot{\omega}_2 = a_1 M_{dh}; \\ \dot{M}_{dh} = a_2 (\omega_1 - \omega_2); \\ \dot{\omega}_1 = a_3 M_{dh} + a_4 \omega_1 + b u_\Sigma; \end{cases} \quad (6)$$

Mô tả toán học hệ truyền động tám hướng pháo AK-230 dưới dạng hệ thống điện cơ 2 khối lượng liên kết đàn hồi dạng phương trình trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{x} = A.x + B.u_x \\ y = C^T.x \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Với: } A = \begin{bmatrix} 0 & a_1 & 0 \\ -a_2 & 0 & a_2 \\ 0 & a_3 & a_4 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ c \end{bmatrix}; x = \begin{bmatrix} \omega_2 \\ M_{dh} \\ \omega_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ở đây: x là vector trạng thái, y là vector đầu ra của hệ tám hướng, A là ma trận trạng thái, B là ma trận điều khiển, C là ma trận đo với c = k_c

Hệ truyền động hai khối lượng liên kết đàn hồi, véc tơ trạng thái của hệ gồm ba biến, ở đây chỉ cần đo 1 biến là: tốc độ góc động cơ ω₁. Các biến còn lại có thể đánh giá chúng thông qua bộ quan sát đủ bậc.

3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI HỆ TRUYỀN ĐỘNG BĂM KÊNH HƯỚNG PHÁO AK-230

3.1. Xây dựng bộ quan sát trạng thái

Theo như hệ phương trình (6): các tham số cần phải đánh giá là momen đàn hồi M_{dh}, tốc độ quay bệ pháo ω₂. Từ hệ phương trình (7), bộ quan sát đủ bậc được biểu diễn như sau [11]:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu_x + LC^T(\hat{x} - x) \\ L = [l_1 \ l_2 \ l_3]^T \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó: \hat{x} : Vector biến đánh giá; A: Ma trận trạng thái đối tượng; B: Ma trận đầu vào điều khiển. C: Ma trận đo; L: Ma trận hệ số bộ quan sát.

Với $\hat{\omega}_2, \hat{M}_{dh}, \hat{\omega}_1$ là các biến đánh giá trạng thái của hệ truyền động. Khi đó phương trình (6) viết ở dạng vô hướng như sau:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\omega}}_2 = a_1\hat{M}_{dh} + l_1c\hat{\epsilon}_\omega; \\ \dot{\hat{M}}_{dh} = -a_2\hat{\omega}_2 + a_2\hat{\omega}_1 + l_2c\hat{\epsilon}_\omega; \\ \dot{\hat{\omega}}_1 = a_1\hat{M}_{dh} + a_4\hat{\omega}_1 + l_3c\hat{\epsilon}_\omega + bu_x \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó: $\hat{\epsilon}_\omega = \hat{\omega}_1 - \omega_1$ là sai số quan sát; c = k_c;

Phương trình đặc trưng của bộ quan sát đủ bậc có dạng:

$$\Delta_H = \det(A + LC^T - sI) \quad (11)$$

Ma trận hệ số L của bộ quan sát được chọn từ quá trình quá độ, do vậy cần phải lựa chọn các hệ số của ma trận L để phương trình đặc trưng của bộ quan sát bằng với đa thức mẫu. Đa thức mẫu được lựa chọn trong trường hợp này chính là đa thức ButterWorth bậc 3. Chính vì vậy ta có biểu thức sau: $\Delta_H = s^3 + \alpha_1.\omega_H.s^2 + \alpha_2.\omega_H^2.s + \omega_H^3$ (12)

Ở đây ω_H = q.ω₀ là dải thông bộ quan sát; q = 1...3 - là hệ số nhân.

Cân bằng hệ số các bậc của s và giải hệ phương trình trên, ta nhận được công thức ký hiệu các hệ số của bộ quan sát cho hệ truyền động tám hai khối lượng liên kết đàn hồi như sau:

$$\begin{cases} l_1 = [\omega_H^3 + a_1a_2a_4 - a_1a_2(\alpha_1\omega_H + a_4)](a_2a_3c)^{-1}; \\ l_2 = -(\alpha_2\omega_H^2 + a_2a_3 - a_1a_2)(a_3c)^{-1}; \\ l_3 = -(a_4 + \alpha_1\omega_H)c^{-1}; \end{cases} \quad (13)$$

Ở đây α₁, α₂ là các hệ số của đa thức ButterWorth bậc 3. Với α₁ = α₂ = 2

3.2. Xây dựng bộ điều khiển tuyến tính (modal)

Ta xây dựng bộ điều khiển modal hệ truyền động tám hướng pháo AK-230 gồm 2 khối lượng liên kết đàn hồi, dựa vào bộ quan sát ta thu được véc tơ trạng thái của hệ gồm 3 biến: ω₂ vận tốc góc hướng của bệ pháo; M_{dh} mô men đàn hồi giữa phần quay bệ pháo (khối lượng thứ hai) và khối lượng thứ nhất; ω₁ vận tốc góc của khối lượng thứ nhất.

Điều kiện cần và đủ để hệ tuyến tính ổn định tiệm cận chính là tìm ra các điểm cực ở nửa bên trái mặt phẳng phức. Đặc tính của quá trình quá độ trong hệ phụ thuộc vào sự phân bố của các điểm cực [11, 12].

Điều khiển Modal là xác định giá trị các hệ số tín hiệu phản hồi cho tất cả các biến trạng thái của đối tượng để đảm bảo sự phân bố nghiệm của phương trình đặc trưng của hệ điều khiển tự động kín.

Từ hệ phương trình (7) thì sự phân bố mong muốn của các điểm cực có thể đạt được với cách đưa vào tín hiệu phản hồi theo trạng thái:

$$u(t) = u_0(t) + u_1(t) = u_0(t) + K^T.x(t) \quad (14)$$

Với u₀ chính là tác động đầu vào. K là ma trận chuyển vị và nó có dạng K = [k₁ k₂ k₃]^T các thành phần của nó là các hệ số của tín hiệu phản hồi theo véc tơ trạng thái \bar{x} . Thay phương trình (14) vào hệ phương trình (7) ta nhận được phương trình sau:

$$\dot{x}(t) = A.x(t) + B.[u_0(t) + K^T.x(t)] = (A + B.K^T)x(t) + B.u_0(t) \quad (15)$$

Như vậy, tính chất động học của hệ truyền động hở được xác định bằng ma trận A, thì các tính chất động học của hệ truyền động kín theo trạng thái cũng sẽ được đặc trưng bởi ma trận tương ứng: $\tilde{A} = (A + BK^T)$ (16)

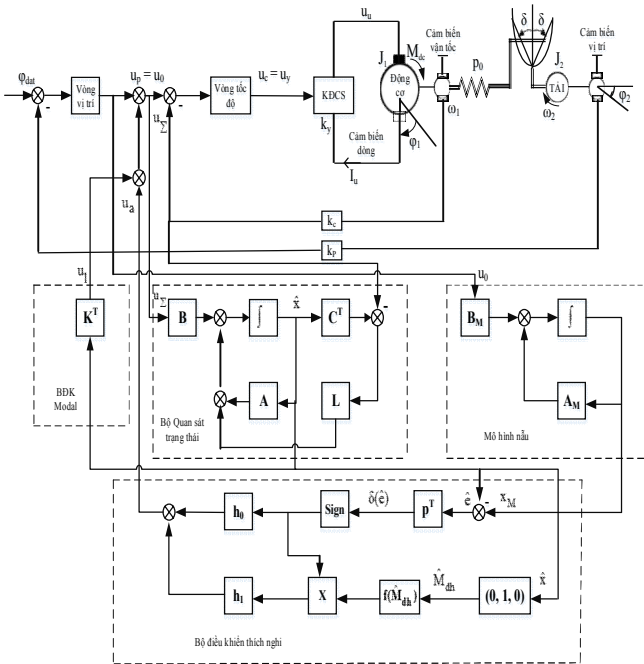
Như vậy, để quá trình quá độ trong hệ được như mong muốn cần chọn ma trận hệ số của tín hiệu phản hồi K để hạng $\det(\tilde{A} - sI) = H_0$, với H₀ là đa thức đặc trưng mong muốn.

Để đạt được sự phân bố mong muốn của các điểm cực trên mặt phẳng phức, cần để đa thức đặc trưng hệ truyền động kín theo véc tơ trạng thái của vòng tốc độ bằng đa thức mẫu mong muốn. Phương trình điều khiển modal:

$$u_1 = K^T x = k_1\omega_2 + k_2M_{dh} + k_3\omega_1 \quad (17)$$

G là ma trận xác định dương đối xứng tùy chọn.

Sơ đồ cấu trúc của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 với bộ điều khiển thích nghi- Modal cùng với bộ quan sát được thể hiện trên hình 8.



Hình 8. Sơ đồ cấu trúc hệ truyền động bám hướng pháo AK-230

4. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để mô phỏng ta có tham số của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 (trong đó hai động cơ có thông số giống nhau) như bảng 1.

Bảng 1. Tham số mô phỏng

Tham số	Kí hiệu	Đơn vị	Giá trị
Mô men quán tính của động cơ	J_{01}	Kg.m ²	0,006
Mô men quán tính của phần quay bệ pháo	J_{02}	Kg.m ²	0,0089
Hệ số liên kết đàn hồi giữa động cơ và phần quay bệ pháo	p_0	Kg.m/rad	20
Điện trở phản ứng của động cơ	r_u	Ω	0,4
Cuộn cảm phản ứng	L_u	H	0,004
Hệ số suất điện động	k_e	V.s/rad	0,273
Hằng số kết cấu động cơ	k_m	V.s	0,0273
Hệ số khuếch đại công suất	k_v		5,87
Hệ số phản hồi vòng tốc độ	k_c	V.s/rad	0,04
Hệ số phản hồi vòng vị trí	k_p	V/rad	0,04
Hệ số bộ điều chỉnh tốc độ	β_c		46,48
Hệ số bộ điều chỉnh vị trí	β_p		25
Hệ số tối ưu modul	a_c		2
Hệ số tối ưu đối xứng	a_p		2

Tính toán hệ số ma trận và các ma trận:

$a_1 = 112,35; a_2 = 20; a_3 = -166,67; a_4 = -127,27; b = 3,1.10^3;$
 $J_{sum} = 0,0149 \text{ (Kg.m}^2\text{)};$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 112,35 & 0 \\ -20 & 0 & 20 \\ 0 & -166,67 & -127,27 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3,102.10^3 \end{bmatrix};$$

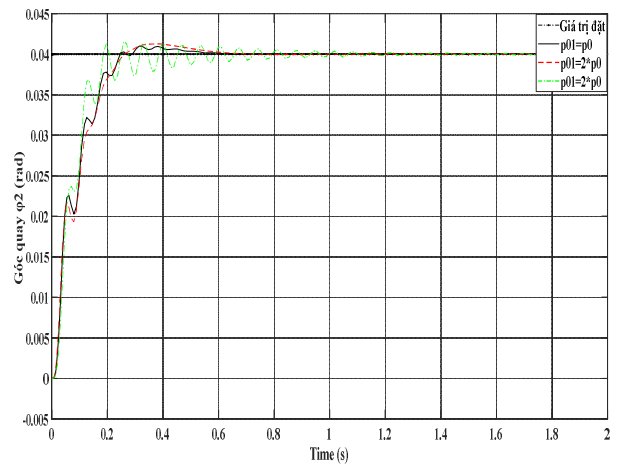
$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,04 \end{bmatrix}; K = \begin{bmatrix} 0,0252 \\ 0,0177 \\ 0,0087 \end{bmatrix}$$

$$A_M = \begin{bmatrix} 0 & 112,4 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -233,3 & -3248,4 & -100,4 \end{bmatrix}; B_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3,1042.10^3 \end{bmatrix};$$

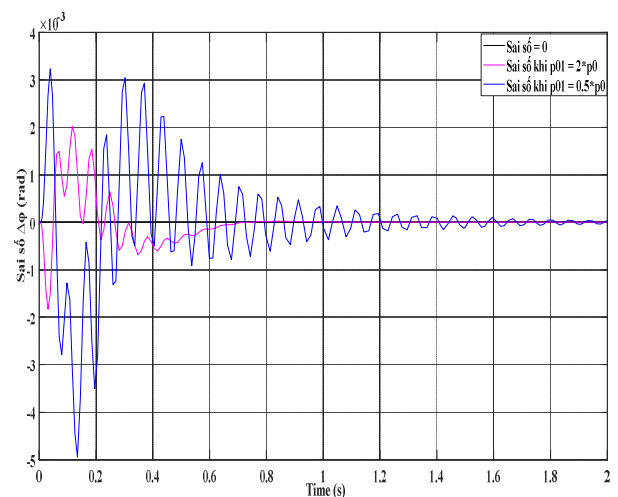
$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} 0,197 & 1,0471 & -0,0023 \\ 1,0471 & 21,2678 & 0,0364 \\ -0,0023 & 0,0364 & 0,0053 \end{bmatrix}$$

Chọn: $\gamma_A = 5.10^6; \lambda_A = 0,01; \gamma_B = 0,01; \lambda_B = 5.10^6$

Đáp ứng của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 dưới ảnh hưởng của các yếu tố đàn hồi như hình 9.



(a)



(b)

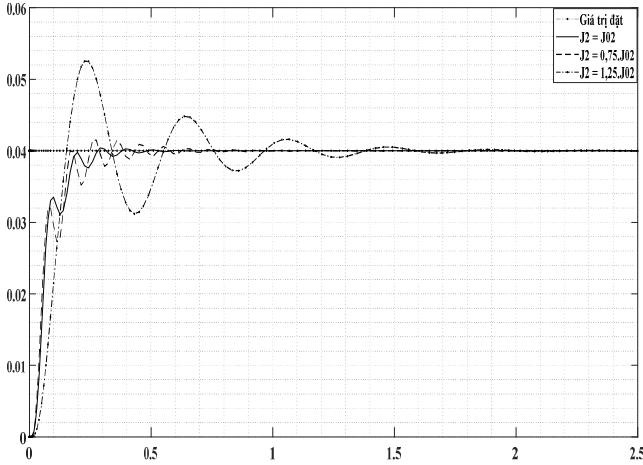
Hình 9. Mô phỏng góc quay φ_2 được điều khiển bằng bộ điều khiển Modal và bộ điều khiển thích nghi - Modal khi thay đổi các hệ số đàn hồi p_0

(a) Dùng bộ Điều khiển thích nghi - Modal: 1- Khi $p_{01} = p_0$; 2- Khi $p_{01} = 2p_0$; 3- Khi $p_{01} = 0,5p_0$.

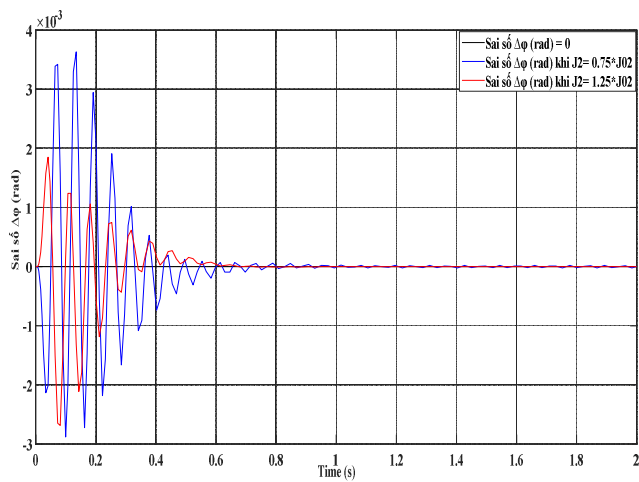
(b) Sai số $\Delta\varphi$ (rad): 1- Khi $p_{01} = p_0$; 2- Khi $p_{01} = 2p_0$; 3- Khi $p_{01} = 0,5p_0$.

Nhận xét: Ta có thể thấy khi tăng hệ số liên kết đàn hồi p_0 thì kết quả hệ bám càng ổn định. Khi càng giảm hệ số liên kết đàn hồi 2 lần thì độ vọt lớn, thời gian xác lập lâu.

Đáp ứng của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 khi thay đổi mô men quán tính của phần quay bộ pháo như hình 10.



(a)



(b)

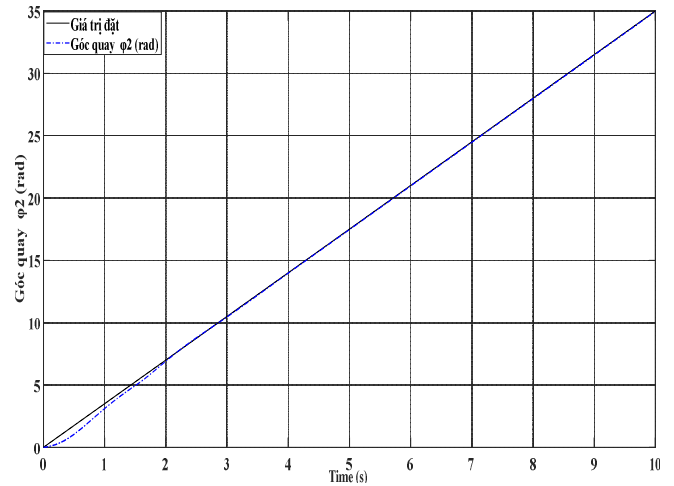
Hình 10. Mô phỏng vị trí góc φ_2 của phần quay bộ pháo với bộ điều khiển Modal và bộ điều khiển thích nghi với mô hình mẫu khi thay đổi mô men quán tính phần quay bộ pháo J_2

(a) Dùng bộ Điều khiển thích nghi - Modal: 1- Khi $J_2 = J_{02}$; 2- Khi $J_2 = 0,75J_{02}$; 3- Khi $J_2 = 1,25J_{02}$.

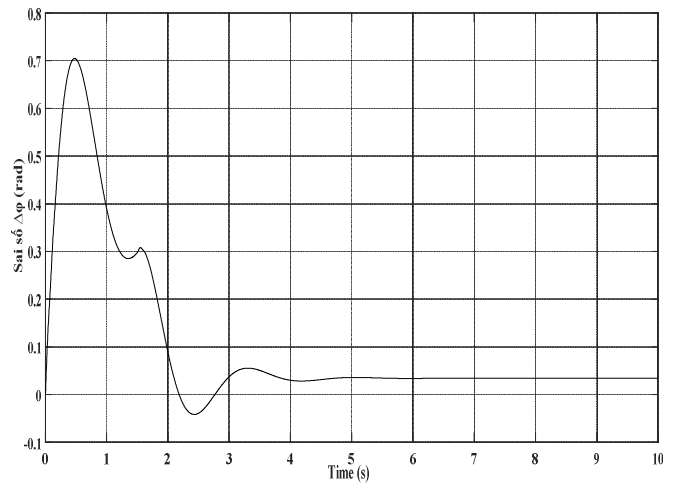
(b) Sai số $\Delta\varphi$ (rad): 1- Khi $J_2 = J_{02}$; 2- Khi $J_2 = 0,75J_{02}$; 3- Khi $J_2 = 1,25J_{02}$.

Nhận xét: Ta thấy rằng khi tăng hoặc giảm mô men quán tính của phần quay bộ pháo J_2 (do ảnh hưởng của ngoại lực, thời tiết trên biển,...). Ta thấy rằng hệ bám hướng pháo AK-230 với bộ điều khiển thích nghi-Modal, khi ta giảm $J_2 = 0,75J_{02}$ thì độ vọt lớn tăng lên và sau một thời gian hệ thống dần ổn định. Còn khi ta tăng $J_2 = 1,25J_{02}$ thì độ vọt lớn giảm xuống và thời gian xác lập ngắn hơn.

Đáp ứng của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 ở chế độ bám sát khi tác động đầu vào là hàm ramp có độ dốc là $3,5^\circ$ như hình 11.



(a)

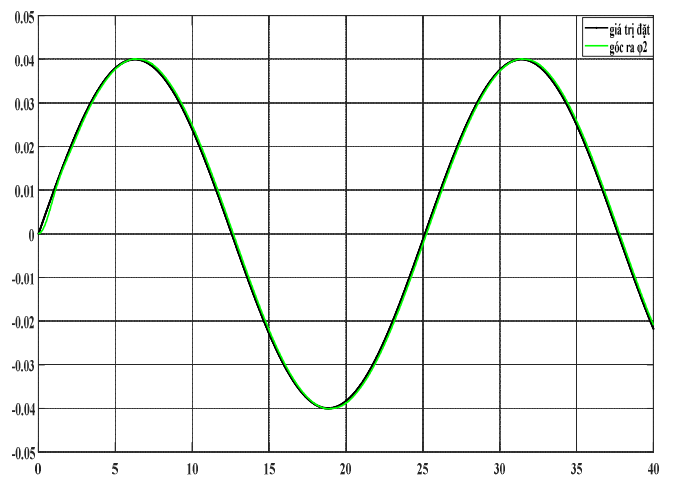


(b)

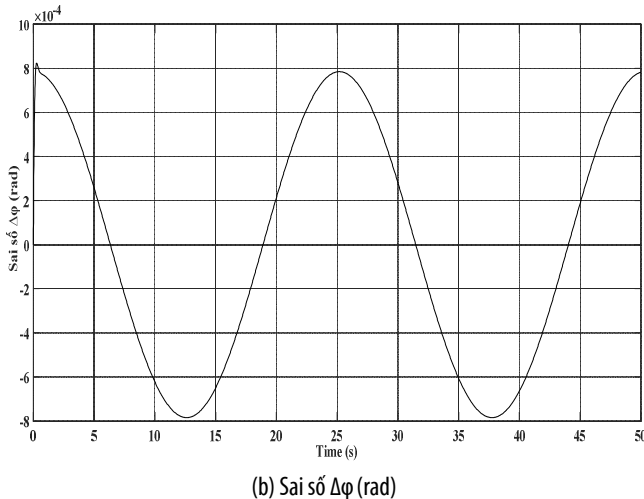
Hình 11. Mô phỏng vị trí góc φ_2 của phần quay bộ pháo ở chế độ bám sát khi tác động đầu vào là hàm ramp

(a) Góc quay φ_2 (rad) khi $M_c \neq 0$; (b) Sai số $\Delta\varphi$ (rad).

Nhận xét: Khi $M_c \neq 0$ sau 5(s) thì đáp ứng đầu ra bám sát tác động đầu vào, sai số lớn nhất của hệ thống là 0,7 (rad), sai số bé nhất 0,1 (rad).



(a) Góc quay φ_2 (rad) khi $M_c \neq 0$



Hình 12. Mô phỏng vị trí góc φ_2 của phần quay bộ pháo ở chế độ bám sát khi tác động đầu vào là hàm sine

Đáp ứng của hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 ở chế độ bám sát khi tác động đầu vào là hàm sine có tốc độ quay là 0,25 (rad/s) như hình 12.

Nhận xét: Khi $M_c \neq 0$ sau 1(s) thì đáp ứng đầu ra bám sát tác động đầu vào, sai số lớn nhất của hệ thống là $8 \cdot 10^{-4}$ (rad).

5. KẾT LUẬN

Đặc điểm cơ học của bộ pháo AK-230 gây ra các vấn đề giới hạn các tham số vật lý của hệ truyền động bám hướng như: dòng điện và tốc độ của động cơ như thế nào khi sự dịch chuyển góc lớn hoặc trung bình. Vấn đề ảnh hưởng của khe hở đàn hồi tới sự làm việc của hệ truyền động bám hướng. Bài báo sử dụng phương pháp điều khiển thích nghi nhằm dập và hạn chế những ảnh hưởng của dao động đàn hồi. Những kết quả mô phỏng thể hiện hiệu quả của việc ứng dụng các phương pháp này.

Trong kết quả đánh giá chất lượng làm việc hệ truyền động bám hướng pháo AK-230 đã sử dụng đánh giá ước tính độ lệch chuẩn của sai lệch về góc giữa giá trị đặt và giá trị đo được khi hệ thống thực hiện quỹ đạo theo dạng đặt Step, Ramp, Sine tương đương với độ lớn là 0,04 (rad), 3,5^o và 0,25(rad/s). Nói chung toàn bộ tương ứng với yêu cầu đã nêu trong nhiệm vụ kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. *Thuyết minh kỹ thuật và hướng dẫn sử dụng pháo AK-230 trên tàu tên lửa 205*. 2002.
 [2]. *Thuyết minh kỹ thuật và hướng dẫn sử dụng pháo AK-230 trên tàu tên lửa 205U*. 2002.
 [3]. Huynh Van Dong, 2009. *Tổng hợp điều khiển thích nghi dựa trên phương pháp backstepping cho hệ truyền động cơ đạn hồi, khe hở và ma sát kho phi tuyen*. PhD Thesis, Military Technical Academy.
 [4]. Dao Hoa Viet, Huynh Van Dong, 2006. *Nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở và biến dạng đạn hồi trong bộ truyền động den chat luong lam viec cua he thong vu*

chi. Journal of Science and Technology, Le Quy Don Technical University, 116, 126-133.

[5]. Nguyen Cong Dinh, Huynh Van Dong, Tran Xuan Kien, 2008. *Tong hop bo dieu khien backstepping thich nghi doi tuong hai khoi luong tham so khong xac dinh*. Journal of Science and Technology, Le Quy Don Technical University, 123, 49-55.

[6]. Huynh Van Dong, Tran Xuan Kien, Nguyen Cong Dinh, 2009. *Dieu khien backstepping thich nghi he thong truyen dong dien co tinh den dan hoi va khe ho phi tuyen*. Journal of Science and Technology, Le Quy Don Technical University, 4, 321-331.

[7]. Sastry S., 1999. *Nonlinear System: Analysis, Stability and Control*. Springer Verlag, New York, Inc.

[8]. Gang Tao, 2003. *Adaptive Control Design and Analysis*. University of Virginia.

[9]. Z. Chen, "Sensorless Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor by Estimation of an Extended Electromotive Force", IEEE IAS, 2000.

[10] Bortsov Y.A, Polyahov N.D, Putov V.V, 1984. *Electromechanical systems with adaptive and FSF control*. L: Energoatomizdat, p. 216.

[11]. Tao G, 2003. *Adaptive control design and analysis*. New York: John & Willey Sons, p. 210.

[12]. Tae-Chung Kim, 2003. *Analysis of Clearance Non-Linearities and Vibro-Impacts in Torsional Systems*. The Ohio State University, p. 310.

[13]. Putov V.V, 2001. *Adaptive control for dynamic systems: systems with reference models*. SPb: Publisher Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", p. 92.

[14]. Putov V.V, 1993. *Methods for design of adaptive control systems for nonlinear time-variant dynamic plants with functional-parameter uncertainties*. Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", p. 590.

AUTHORS INFORMATION

Pham Tuan Thanh¹, Hoang Hai Son², Tran Van Tuyen¹, Le Minh Duong³

¹Department of Control Engineering, Military Technical Academy

²Department of Weapons, Military Technical Academy

³Automation Master's Class, Course 33, Military Technical Academy