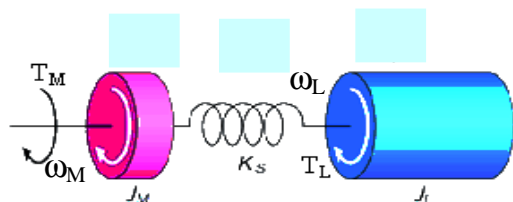


## THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI TRẠNG THÁI BẰNG PHƯƠNG PHÁP ÁP ĐẶT CỰC CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG KHỚP NỐI MỀM

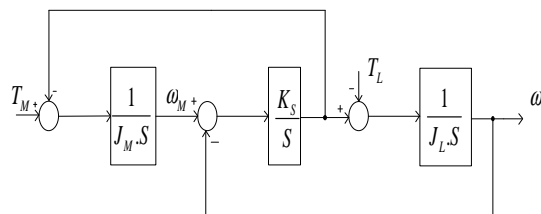
Nguyễn Như Hiền – Bùi Chính Minh (Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên)

### 1. Đặt vấn đề

Trong thực tế một hệ thống truyền động servo có các bộ phận công tác không được tạo thành một khối cứng đồng nhất với các bộ phận phát động động lực mà phải truyền động qua bộ phận dẫn động trung gian như hộp số, curoa, thanh răng, v.v.. Bộ phận dẫn động trung gian này có đặc điểm là giữa chúng có khe hở, có ma sát và chúng là các phần tử chịu các biến dạng đàn hồi, uốn, xoắn [4]. Vì thế chúng được coi là các khớp nối mềm được biểu thị bằng mô hình lò xo trên hình 1 và cấu trúc của nó như hình 2.



Hình 1: Mô hình hệ truyền động khớp nối mềm



Hình 2: Cấu trúc khớp nối mềm khi bỏ qua  $b_s$

Trên hình 1 và hình 2:  $J_M, J_L$  là mô men quán tính động cơ và tải;  $\omega_M, \omega_L$  là tốc độ động cơ và tốc độ tải;  $\theta_M, \theta_L$  là vị trí góc động cơ và vị trí góc của tải;  $K_S$  là hệ số cứng của khớp nối mềm;  $T_M$  là mô men động cơ;  $T_L$  là mô men tải;  $b_s$  là hệ số nhớt.

Khâu nối khớp mềm này đã làm cho chất lượng điều khiển của hệ servo suy giảm, vì thế có nhiều phương pháp điều khiển đã được áp dụng để hạn chế sự suy giảm chất lượng này. Cấu trúc bộ điều chỉnh dạng PID và các biến thể của nó là một trong những phương pháp đơn giản và có hiệu quả tương đối tốt [1]. Để nâng cao chất lượng hơn nữa, cần thiết kế hệ điều khiển phản hồi trạng thái.

### 2. Xây dựng cấu trúc hệ điều khiển phản hồi trạng thái cho truyền động nối khớp mềm

Phương trình trạng thái của hệ thống:

$$\dot{X}(t) = A.X(t) + B.T_M(t) + E.T_L(t)$$

$$Y(t) = C.X(t)$$

Trong đó véc tơ đầu ra là  $Y = \omega_M$ , véc tơ trạng thái là  $X = [\omega_M \quad \omega_L \quad \theta_{12}]^T$ ,  $\theta_{12} = \theta_M - \theta_L$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{K_S}{J_M} \\ 0 & 0 & \frac{K_S}{J_L} \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{J_M} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad E = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \quad 0 \quad 0].$$

Hàm truyền của hệ thống:

$$T(s) = \frac{\omega_M(s)}{T_M(s)} = \frac{s^2 + \omega_a^2}{J_M \cdot s \cdot (s^2 + \omega_0^2)}; \quad \omega_a: \text{tần số chống cộng hưởng}; \quad \omega_0: \text{tần số cộng hưởng};$$

K: tỷ lệ quán tính giữa tải và động cơ; R: tỷ lệ cộng hưởng ;

$$\omega_0 = \omega_a \cdot \sqrt{1 + K} \quad ; \quad K = \frac{J_L}{J_M} \quad ; \quad \omega_a = \sqrt{\frac{K_S}{J_L}} \quad ; \quad R = \frac{\omega_0}{\omega_a} = \sqrt{1 + K} \quad ;$$

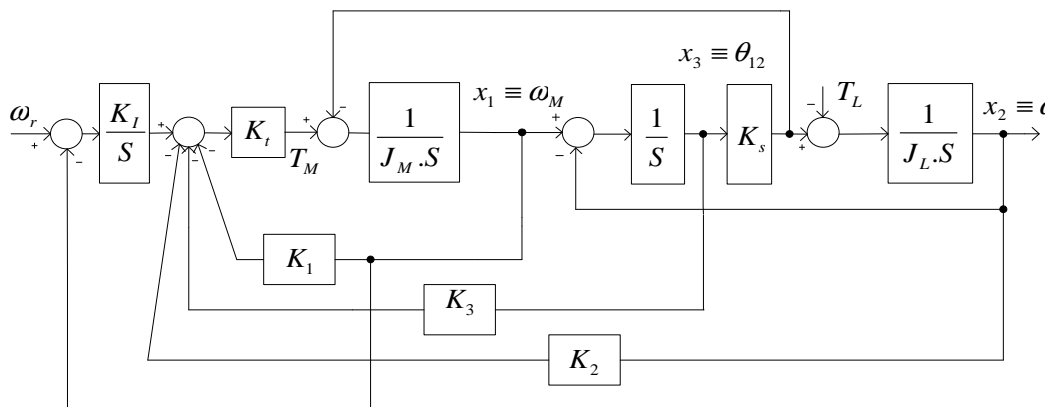
$$P = [B \quad A \cdot B \quad A^2 \cdot B] \quad \text{và} \quad V = \begin{bmatrix} C \\ C \cdot A \\ C \cdot A^2 \end{bmatrix}$$

Từ hệ trên, chứng minh được hệ thống là điều khiển được hoàn toàn vì:

$$\det(P) = -\frac{K_S}{J_M^3 \cdot J_L} \neq 0 \quad \text{và} \quad \text{hệ thống quan sát được hoàn toàn vì: } \det(V) = \left(\frac{K_S}{J_M}\right)^2 \neq 0$$

Do đó có thể áp dụng phương pháp áp đặt nghiệm cho hệ phản hồi trạng thái. Với mục tiêu làm giảm sai lệch về tốc độ của động cơ và tốc độ của tải, có thể sử dụng bộ phản hồi trạng thái bằng phương pháp áp đặt cực [3], nhưng nếu chỉ sử dụng phương pháp phản hồi trạng thái thông thường thì nó không có khả năng khử được sai lệch tĩnh. Do đó muốn cải thiện đặc tính này, có thể thêm vào bộ điều chỉnh hồi tiếp đầu ra một khâu tích phân để khử sai lệch tĩnh.

Hình 3 mô tả sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái cho hệ có khớp nối mềm với giả thiết là đo được toàn bộ các trạng thái tốc độ động cơ, tốc độ tải và sai lệch vị trí của động cơ và tải bằng các cảm biến.



Hình 3: Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái cho khớp nối mềm

Có hai phương pháp xác định vectơ  $K(K_1, K_2, K_3, K_I)$ , trong đó có phương pháp tính  $K$  bằng cách cân bằng các hệ số của phương trình đặc trưng. Ở đây sử dụng phương pháp tính điểm cực của hàm truyền của tốc độ động cơ theo tốc độ đặt bằng công thức Mason, từ đó sẽ xác định được phương trình đặc trưng của hệ thống.

Sau đó cân bằng phương trình đặc trưng mong muốn  $\prod_{i=1}^n (s - p_i) = 0$  sẽ xác định được vector K.

### 3. Xác định các hệ số $K_1, K_2, K_3, K_I$

- Xác định hàm truyền giữa tốc độ động cơ với tốc độ đặt theo công thức Mason:

$$L_1(s) = -\frac{K_I K_t}{s} \cdot \frac{1}{J_M s}; \quad L_2(s) = -\frac{K_I K_t}{J_M \cdot s}; \quad L_3(s) = -\frac{K_3 K_t}{J_M \cdot s^2}; \quad L_4(s) = -\frac{K_2 K_S K_t}{J_M J_L \cdot s^3}; \quad L_5(s) = -\frac{K_S}{J_M \cdot s^2};$$

$$L_6(s) = -\frac{K_S}{J_L \cdot s^2}; \quad \Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6) + L_1 L_6 + L_2 L_6$$

$$\Delta(s) = 1 + \frac{K_I K_t}{s} \cdot \frac{1}{J_M \cdot s} + \frac{K_1 K_t}{J_M \cdot s} + \frac{K_3 K_t}{J_M \cdot s^2} + \frac{K_2 K_S K_t}{J_M J_L \cdot s^3} + \frac{K_S}{J_M \cdot s^2} + \frac{K_S}{J_L \cdot s^2} + \frac{K_I K_t \cdot K_S}{J_M J_L \cdot s^4} + \frac{K_I K_S K_t}{J_M J_L \cdot s^3}$$

Với  $\omega_a = \sqrt{\frac{K_S}{J_L}} \Rightarrow \omega_a^2 = \frac{K_S}{J_L}; \quad K = \frac{J_L}{J_M}; \quad \omega_0 = \omega_a \cdot \sqrt{1+K} \Rightarrow \omega_0^2 = \frac{K_S}{J_L} + \frac{K_S}{J_M}$

Do đó:

$$\Delta(s) = \frac{1}{J_M \cdot s^4} \left( J_M \cdot s^4 + K_1 K_t \cdot s^3 + (K_I K_t + K_3 K_t + J_M \omega_0^2) \cdot s^2 + (K_1 + K_2) K_t \omega_a^2 s + K_I K_t \cdot \omega_a^2 \right)$$

$$P(s)_1 = \frac{K_I K_t}{J_M \cdot s^2}; \quad \Delta_1(s) = 1 - L_6 = 1 + \frac{K_S}{J_L \cdot s^2} = 1 + \frac{\omega_a^2}{s^2}$$

$$\frac{\omega_M(s)}{\omega_r(s)} = \frac{P_1 \cdot \Delta_1}{\Delta} = \frac{\frac{K_I K_t}{J_M \cdot s^2} \left( 1 + \frac{\omega_a^2}{s^2} \right)}{\frac{1}{J_M \cdot s^4} \left( J_M \cdot s^4 + K_1 K_t \cdot s^3 + (K_I K_t + K_3 K_t + J_M \omega_0^2) \cdot s^2 + (K_1 + K_2) K_t \omega_a^2 s + K_I K_t \cdot \omega_a^2 \right)}$$

$$\frac{\omega_M(s)}{\omega_r(s)} = \frac{K_I K_t}{J_M} \cdot \frac{s^2 + \omega_a^2}{s^4 + \frac{K_1 K_t}{J_M} \cdot s^3 + \frac{K_I K_t + K_3 K_t + J_M \omega_0^2}{J_M} \cdot s^2 + \frac{K_1 + K_2}{J_M} \cdot K_t \cdot s + \frac{K_I K_t \cdot \omega_a^2}{J_M}}$$

Vậy hàm truyền giữa tốc độ của động cơ với tốc độ đặt :

$$\frac{\omega_M(s)}{\omega_r(s)} = \frac{K_I K_t}{J_M} \cdot \frac{s^2 + \omega_a^2}{s^4 + \frac{K_1 K_t}{J_M} \cdot s^3 + \frac{K_I K_t + K_3 K_t + J_M \omega_0^2}{J_M} \cdot s^2 + \frac{K_1 + K_2}{J_M} \cdot K_t \cdot s + \frac{K_I K_t \cdot \omega_a^2}{J_M}} \quad (3.1)$$

Tương tự hàm truyền giữa tốc độ của tải so với tốc độ đặt:

$$\frac{\omega_L(s)}{\omega_r(s)} = \frac{\frac{K_I K_t}{J_M} \cdot \omega_a^2}{s^4 + \frac{K_1 K_t}{J_M} \cdot s^3 + \frac{K_I K_t + K_3 K_t + J_M \omega_0^2}{J_M} \cdot s^2 + \frac{K_1 K_t + K_2 K_t}{J_M} \cdot s + \frac{K_I K_t \cdot \omega_a^2}{J_M}} \quad (3.2)$$

- Phương trình đặc tính của hệ thống:

$$s^4 + \frac{K_1 K_t}{J_M} s^3 + \frac{K_1 K_t + K_3 K_t + J_M \cdot \omega_0^2}{J_M} s^2 + \frac{K_1 K_t + K_2 K_t}{J_M} s + \frac{K_1 K_t \cdot \omega_a^2}{J_M} = 0 \quad (3.3)$$

Giả sử ta áp đặt nghiệm là  $s=s_1; s=s_2; s=s_3; s=s_4; \Rightarrow (s-s_1)(s-s_2)(s-s_3)(s-s_4) = 0$

$$\Rightarrow s^4 + a_1 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_3 \cdot s + a_4 = 0 \quad (3.4)$$

Cân bằng (3.3) và (3.4) ta được:

$$a_1 = \frac{K_1 K_t}{J_M}; a_2 = \frac{K_1 K_t + K_3 K_t + J_M \cdot \omega_0^2}{J_M}; a_3 = \frac{K_1 K_t + K_2 K_t}{J_M}; a_4 = \frac{K_1 K_t \cdot \omega_a^2}{J_M} \quad (3.5)$$

Từ đó suy ra:

$$K_t = \frac{J_M \cdot a_4}{\omega_a^2 K_t}; K_1 = \frac{a_1 \cdot J_M}{K_t}; K_2 = \frac{a_3 \cdot J_M}{K_t} - \frac{a_1 \cdot J_M}{K_t}; K_3 = \frac{a_2 \cdot J_M \omega_a^2 - a_4 \cdot J_M - J_M \cdot \omega_0^2 \omega_a^2}{a_1 \cdot J_M \omega_a^2} \quad (3.6)$$

Phương trình (3.2) có dạng:  $W(s) = \frac{a_4}{s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4}$

Theo tiêu chuẩn tối ưu ITAE thì hệ thống trên sẽ tối ưu nếu mẫu số của hàm truyền kín của hệ phải có dạng:  $s^4 + 2,1 \cdot \omega_n \cdot s^3 + 3,4 \cdot \omega_n^2 \cdot s^2 + 2,7 \cdot \omega_n^3 \cdot s + \omega_n^4$  (3.7)

Từ (3.4) và (3.7) suy ra :  $a_1 = 2,1 \cdot \omega_n; a_2 = 3,4 \cdot \omega_n^2; a_3 = 2,7 \cdot \omega_n^3; a_4 = \omega_n^4$

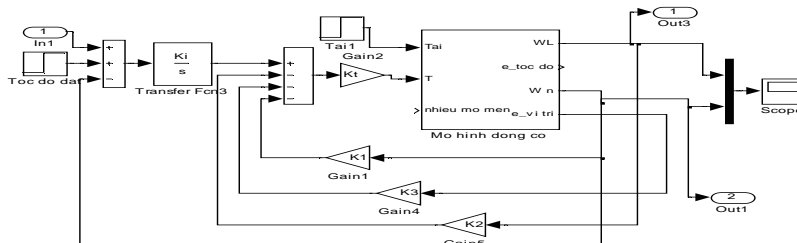
Tiến hành mô phỏng hệ thống với các thông số như sau (thông số của hệ thí nghiệm PP400 Singapore):

$J_M = 7.455 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2; J_L = 8.878 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2; K_s = 0,28 \text{ Nm/rad.}$

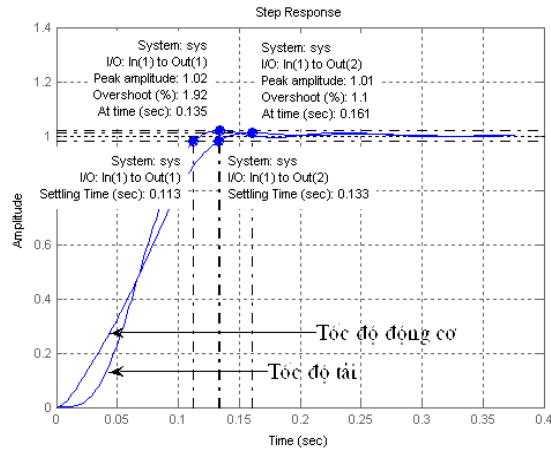
Thông số được chọn :  $\omega_n = 40$

Từ  $\omega_n$  sẽ tính được  $a_1, a_2, a_3, a_4$  qua (3.5), từ đó sẽ xác định được  $K_I, K_1, K_2, K_3$  qua (3.6).

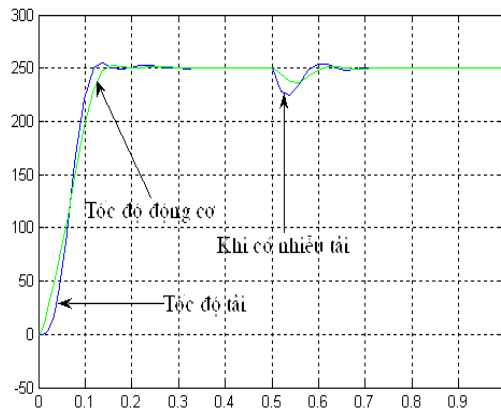
Sơ đồ mô phỏng và đặc tính của hệ thống như sau:



Hình 4: Mô phỏng hệ truyền động khớp nối mềm với bộ điều khiển phản hồi trạng thái



Hình 5: Tốc độ động cơ và tải của hệ thống khớp mềm khi áp dụng bộ phản hồi trạng thái.




Hình 6: Tốc độ động cơ và tải khi áp dụng bộ phản hồi trạng thái cho khớp nối mềm khi có nhiều tải

#### 4. Kết luận

Khi sử dụng bộ điều khiển phản hồi trạng thái như hình 3, các đường đặc tính của hệ thống là khá tốt, thời gian xác lập ngắn, ít dao động, độ quá điều chỉnh nhỏ (xem Hình 5 và Hình 6). Kết quả nghiên cứu này là cơ sở tốt cho việc nâng cao chất lượng điều khiển hệ truyền động nối khớp mềm.

Tuy nhiên sơ đồ cấu trúc của hệ điều khiển phản hồi trạng thái như hình 3 có thể thực hiện được nếu như có đầy đủ các cảm biến xác định cả ba trạng thái là tốc độ động cơ, tốc độ tải và sai lệch vị trí của động cơ và tải. Trong thực tế, người ta thường chỉ gắn cảm biến tốc độ trên

trục của động cơ, còn gắn cảm biến xác định tốc độ tải và sai lệch vị trí giữa động cơ và tải là rất khó khăn. Vì vậy, trên cơ sở sử dụng bộ điều khiển phản hồi trạng thái như trên nhưng phải kết hợp với các bộ quan sát để có khả năng quan sát được các trạng thái qua tốc độ và mô men động cơ, đó là hướng cần được tiếp tục nghiên cứu 

### Tóm tắt

Hiện tượng cộng hưởng cơ học trong hệ servo công nghiệp phần lớn gây ra bởi khớp nối mềm giữa động cơ và tải. Bài báo này trình bày mô hình khớp nối mềm và kết quả nghiên cứu về thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái bằng phương pháp áp đặt điểm cực cho hệ truyền động nối khớp mềm.

### Summary

#### DESIGN CONTROLLING STATE FEEDBACK SET USING METHOD OF POLE PLACEMENT FOR THE TRANSMISSION SYSTEM WITH A FLEXIBLE COUPLING

Mechanical resonance phenomenon in industrial servo system is considerably caused by the elasticity of transmission elements between motor and load. This paper presents a flexible coupling model and research results of designing controlling state feedback set by the use of method of pole placement for the transmission system with a flexible coupling.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Như Hiền, Bùi Chính Minh (2006), *Xây dựng cấu trúc bộ điều khiển hệ truyền động Servo nối khớp mềm*. Tạp chí KH&CN – ĐH Thái Nguyên.
- [2]. George Ellis, Robert D. Lorenz, (2000), *Resonant Load Control Methods for Industrial Servo Drives*. IEEE Industry Application Society Annual Meeting – Rome, Italy.
- [3] Gloria Suh, Dae Sung Hyun (2001), *Design of a Pole Placement Controller for Reducing Oscillation and Settling Time in a Two-Inertia Motor System*, IEEE Industrial Electronics Society.
- [4] Seung-Ho Song, Jun Keun Ji, Seung-Ki Sul (1993), *Torsional Vibration Suppression Control in 2-Mass System by State Feedback Speed Controller*, Second IEEE Conference on Control Applications.