

## Combination of ADRC and Input Shaping and Its Application for Vibration Suppression control of Flexible Link Robot

Kết hợp bộ điều khiển ADRC và tạo dạng tín hiệu đầu vào để điều khiển chống rung ứng dụng cho robot thanh mềm

Đỗ Trọng Hiếu\*, Nguyễn Minh Tuấn, Đinh Văn Vương, Dương Minh Đức

<sup>1</sup> Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

\* [hieu.dotrong@hust.edu.vn](mailto:hieu.dotrong@hust.edu.vn)

### Abstract

With many advantages such as robustness, fast response, easy turning, ADRC controllers are considered as replacement for traditional PID controllers. However, in many flexible systems, ADRC alone cannot suppress the system's residual vibration. Input shaping is a simple feedforward technique that is widely used for vibration suppression control. This paper proposes the combination of ADRC and Input shaping technique to precisely control the position of a 1 DOF flexible link robot while suppress the vibration of the robot link. The simulations show the effectiveness of the proposed approach.

**Keywords:** ADRC; Input shaping; Flexible link robot; vibration suppression;

### Abbreviations

ADRC	Active Disturbance Rejection Control
ESO	Extended State Observer

### Tóm tắt

Nhờ các ưu điểm như dễ chỉnh định, cho đáp ứng nhanh và tính bền vững khi tham số quá trình thay đổi, bộ điều khiển loại bỏ nhiễu chủ động (ADRC) đang được quan tâm nghiên cứu để thay thế cho bộ điều khiển PID truyền thống. Tuy nhiên, đối với nhiều hệ linh hoạt, bộ điều khiển ADRC không có khả năng làm suy giảm dao động dư. Phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào là một phương pháp điều khiển tiên định được sử dụng rộng rãi cho mục đích chống rung. Bài báo này đề xuất kết hợp bộ điều khiển ADRC và bộ điều khiển tạo dạng tín hiệu đầu vào để điều khiển chính xác vị trí cho tay máy linh hoạt một bậc tự do đồng thời suy giảm nhanh dao động dư của tay máy. Các kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả của phương pháp được đề xuất.

### 1. Giới thiệu chung

Robot ngày càng được sử dụng rộng rãi trong rất nhiều lĩnh vực từ công nghiệp, quân sự, xây dựng đến y tế, chăm sóc sức khỏe hay trong cuộc sống hằng ngày. Với yêu cầu ngày càng cao về sự an toàn, tiêu tốn ít năng lượng, giá thành rẻ, trọng lượng nhẹ, các robot với thanh nối nhẹ, linh hoạt ngày càng được xem xét nghiên cứu phát triển. Một trong những vấn đề đối với việc điều khiển các robot thanh nối mềm này là vấn đề dao động của thanh nối robot. Việc điều khiển tay máy dạng thanh mềm phức tạp do tính chất linh hoạt của hệ thống, phụ thuộc vào động lực học và quán tính của đối tượng. Yêu cầu đối với bộ điều khiển là làm cho robot đạt

đến được vị trí mong muốn trong thời gian dự kiến với độ rung tối thiểu của kết cấu mềm. Dao động chỉ giảm khi thanh nối robot có độ cứng cao, hoặc chuyển động của hệ thống rất chậm. Tuy nhiên, robot thanh nối mềm lại có độ cứng không cao, và robot cũng không thể chuyển động quá chậm. Vì vậy để điều khiển được robot thanh nối mềm, cần sử dụng phương pháp điều khiển phù hợp đảm bảo tốc độ và độ chính xác cao. Đã có một số phương pháp điều khiển cho hệ thống tay máy dạng thanh mềm được đề xuất như điều khiển PID [1], điều khiển trượt [2], và điều khiển thích nghi [3]. Hầu hết các phương pháp tiếp cận trong tài liệu đều yêu cầu việc đo lường tất cả các biến trạng thái và độ bền vững của bộ điều khiển thường phụ thuộc nhiều vào mô hình. Bên cạnh đó một số phương pháp điều khiển đòi hỏi việc tính toán các tham số khá phức tạp.

Trong những năm gần đây, điều khiển loại bỏ nhiễu chủ động (ADRC) đang được quan tâm để thay thế bộ điều khiển PID truyền thống. Khái niệm về ADRC được đề xuất bởi J. Han [4, 5] nhưng chỉ trở nên tương minh đối với việc ứng dụng phương pháp này kể từ khi một cách thức chỉnh định tham số bộ điều khiển được đề xuất trong [6]. ADRC là một phương pháp điều khiển mạnh mẽ trong đó các mô hình hệ thống được mở rộng với một biến trạng thái mới, bao gồm tất cả động học và nhiễu loạn chưa biết. Trạng thái mới được ước lượng bằng cách sử dụng một bộ quan sát trạng thái mở rộng (ESO). Ứng dụng của ADRC cho hệ thống điều khiển chuyển động khớp nối cứng có thể được tìm thấy trong [7]. Ngoài ra, [8] và [9] nghiên cứu bài toán điều khiển hệ thống linh hoạt với sự hỗ trợ của ESO để cung cấp ước lượng của trạng thái không đo được. Tuy nhiên, quá trình thiết kế điều khiển khá phức tạp. Trong [10] các tác giả đã nghiên cứu điều khiển thanh nối mềm sử dụng ADRC tuy nhiên dao động của thanh nối mềm sau khi đến vị trí đặt còn khá lớn.

Trong những thập kỷ qua, điều khiển chống rung lắc hoặc dập dao động đã được nghiên cứu rộng rãi, từ điều khiển vòng hở (phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào [11], điều khiển hình dạng lai [12]), điều khiển vòng kín (điều khiển tuyến tính, điều khiển tối ưu, điều khiển thích ứng [13]), đến điều khiển thông minh (điều khiển mờ, mạng nơ-ron, thuật toán di truyền [14]). Các phương pháp điều khiển vòng kín và điều khiển thông minh rất phức tạp và khó triển khai trong thực tế. Điều khiển vòng hở như với phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào (Input Shaping) nhìn chung có thiết kế đơn giản hơn tuy nhiên, hiệu suất của nó dễ bị suy giảm do nhiễu và độ không chính xác của tham số mô hình. Trong một số nghiên cứu về điều khiển chống rung, bộ điều khiển vòng hở Input Shaping thường được sử dụng kết hợp với bộ điều khiển PID [11] vì tính đơn giản trong thiết kế. Do những ưu điểm của bộ điều khiển ADRC so với bộ điều khiển PID, bài báo này đề xuất việc thay thế bộ điều khiển PID bằng bộ điều khiển ADRC trong việc kết hợp với phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào, ứng dụng cho việc điều khiển thanh mềm. Bộ điều khiển ADRC sẽ đóng vai trò điều khiển vị trí thanh mềm đến vị trí đặt mong muốn còn phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào sẽ giúp hạn chế sự dao động của thanh. Việc kết hợp này vẫn đảm bảo tính đơn giản, hiệu quả trong thiết kế và triển khai.

## 2. Bộ điều khiển ADRC

Phương pháp ADRC (Active Disturbance Rejection Control) là phương pháp điều khiển trong đó mô hình của hệ thống được mở rộng với một biến trạng thái mới. Biến trạng thái này bao gồm tất cả các động học chưa rõ và các nhiễu hệ thống chưa được tính đến trong mô tả đối tượng thông thường. Việc ước lượng biến trạng thái mới này được thực hiện bằng cách sử dụng bộ quan sát trạng thái mở rộng (Extended State Observer – ESO). Bộ quan sát này có vai trò ước lượng các nhiễu tác động trực tiếp, các sai số của việc mô hình hóa đối tượng so với thực tế. Bằng cách đó, chúng ta vẫn có thể thiết kế được một bộ điều khiển có chất lượng tốt, do đó gián tiếp giúp đơn giản hoá mô hình. Cơ sở lý thuyết của bộ điều khiển ADRC được trình bày tại [5] và được tóm tắt như sau.

Xét đối tượng bậc hai như sau:

$$\ddot{y}(t) = a_1 y(t) + a_2 \dot{y}(t) + d(t) + b u(t) \quad (1)$$

Trong đó  $u(t)$  là tín hiệu điều khiển,  $d(t)$  được coi là nhiễu và sai số mô hình hóa. Đặt  $b = b_0 + \Delta b$  với  $b_0$  là thành phần đã biết trong mô hình của đối tượng,  $\Delta b$  được coi là thành phần chưa biết đến; các thành phần  $y(t), \dot{y}(t), d(t), \Delta b u(t)$ , được tổng hợp lại thành nhiễu tổng quát  $f(t)$ , để từ đó ta có phương trình:

$$\ddot{y}(t) = f(t) + b_0 u(t) \quad (2)$$

Phương trình (2) có thể được viết lại dưới dạng hệ phương trình không gian trạng thái như sau:

$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{x}}_1(t) \\ \dot{\hat{x}}_2(t) \\ \dot{\hat{x}}_3(t) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_A \begin{pmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \\ \hat{x}_3(t) \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix}}_B u(t) + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}}_L \dot{f}(t) \quad (3)$$

$$y(t) = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_C \begin{pmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \\ \hat{x}_3(t) \end{pmatrix}$$

Từ đó bộ quan sát trạng thái mở rộng ESO có dạng như sau:

$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{x}}_1(t) \\ \dot{\hat{x}}_2(t) \\ \dot{\hat{x}}_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \\ \hat{x}_3(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix} u(t) + \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} (y(t) - \hat{x}_1(t)) \quad (4)$$

$$= \underbrace{\begin{pmatrix} -l_1 & 1 & 0 \\ -l_2 & 0 & 1 \\ -l_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{A-LC} \begin{pmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \\ \hat{x}_3(t) \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix}}_B u(t) + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{pmatrix}}_L y(t)$$

Sử dụng bộ ESO ta có thể ước lượng:

$$\hat{x}_1(t) = \hat{y}(t) \approx y(t) \quad (5)$$

$$\hat{x}_2(t) = \dot{\hat{y}}(t) \approx \dot{y}(t)$$

$$\hat{x}_3(t) = \hat{f}(t) \approx f(t)$$

Tính hội tụ của bộ quan sát ESO tuyến tính ở trên được thảo luận trong [17].

Dựa theo cách ước lượng này, việc loại bỏ nhiễu được thực hiện thông qua luật điều khiển sau:

$$u(t) = (u_0 - \hat{f}(t)) / b_0 \quad (6)$$

Với

$$u_0(t) = K_p(r(t) - \hat{y}(t)) - K_D \dot{\hat{y}}(t) \quad (7)$$

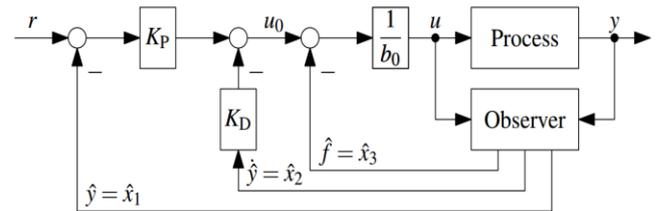
Thay phương trình (6) và (7) vào (2), ta được:

$$\ddot{y}(t) = f(t) - \hat{f}(t) + u_0(t) \approx K_p(r(t) - y(t)) - K_D \dot{\hat{y}}(t) \quad (8)$$

Từ đó ta có hàm truyền

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s^2 + K_D s + K_p} \quad (9)$$

Sơ đồ khối của bộ điều khiển ADRC được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1: Cấu trúc bộ điều khiển ADRC cho đối tượng bậc hai.

Các tham số của bộ điều khiển cần xác định là  $K_p, K_D, l_1, l_2, l_3$ . Một phương pháp để xác định các tham số này được trình bày trong tài liệu [15] trong đó  $T_{set}$  là thời gian xác lập mong muốn của hệ kín (9):

$$K_p = (s^{CL})^2, K_D = -2s^{CL}, s^{CL} \approx -6 / T_{set} \quad (10)$$

$$l_1 = -3 \cdot s^{ESO}, l_2 = 3(s^{ESO})^2, l_3 = (s^{ESO})^3, s^{ESO} = (3 \dots 10) s^{CL}$$

### 3. Phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào Input Shaping

Phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào là phương pháp sử dụng một bộ lọc ở đầu vào để triệt tiêu dao động của hệ thống. Cơ sở toán học của phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào được tóm tắt như sau.

Xét hệ thống dao động bậc hai có hàm truyền như sau [11]:

$$H(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (11)$$

Trong đó:  $F(s)$  là đầu vào vào hệ thống.

$X(s)$  là đầu ra của hệ thống.

$\zeta$  là hệ số giảm chấn.

$\omega_n$  là tần số giao động tự nhiên của hệ.

Nếu đầu vào của hệ thống có dạng 1 xung ( $F(s) = 1$ ) thì đáp ứng đầu ra của hệ (11) được xác định như sau:

$$X(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (12)$$

Trên miền thời gian đáp ứng đầu ra sẽ có dạng:

$$x(t) = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_d t \quad (13)$$

Với

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \quad (14)$$

Có thể thấy đáp ứng đầu ra của hệ thống với 1 xung đầu vào sẽ là một tín hiệu dao động tắt dần. Ý tưởng của phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào là sẽ phát thêm một tín hiệu xung nữa tại một thời điểm và với biên độ thích hợp sao cho đáp ứng của xung thứ 2 này sẽ triệt tiêu đáp ứng của xung đầu tiên và như vậy dao động sẽ bị triệt tiêu, như minh họa trong Hình 2. Hai xung này ghép thành một bộ lọc tần số dao động. Các tín hiệu đầu vào sẽ được cho qua bộ lọc này trước khi đi vào hệ thống và dao động sẽ bị suy giảm/triệt tiêu. Tuy vậy việc sử dụng thêm một xung để triệt tiêu dao động của xung ban đầu lại khá nhạy với sai lệch mô hình dao động. Để tăng tính bền vững của phương pháp này, các xung thứ 3, thậm chí xung thứ 4 có thể được sử dụng thêm.

Để xác định được thời gian và biên độ của các xung thứ 2, 3, 4, ta sử dụng công thức (13) để tính tổng đáp ứng đầu ra của xung này và cho giá trị biên độ của đáp ứng này bằng 0 từ thời điểm phát xung cuối cùng. Thêm vào đó, các xung đầu vào này cũng cần được chuẩn hóa (tổng biên độ các xung phải bằng 1). Cuối cùng ta thu được kết quả như sau (trong đó  $A_i$  là biên độ và  $t_i$  là thời gian phát của xung thứ  $i$ ):

- Trường hợp 2 xung đầu vào (Zero Vibration - ZV)

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ t_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+K} & \frac{K}{1+K} \\ 0 & \pi / \omega_d \end{bmatrix} \quad (15)$$

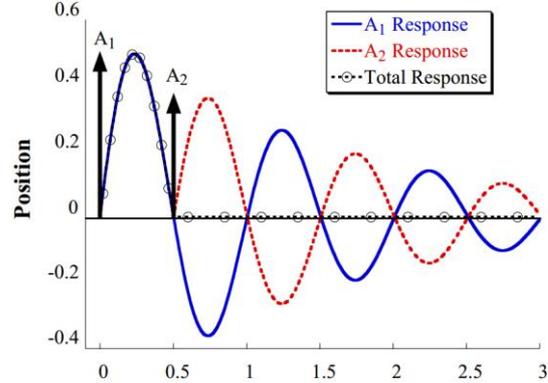
- Trường hợp 3 xung đầu vào (Zero Vibration Derivative - ZVD)

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ t_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{(1+K)^2} & \frac{2K}{(1+K)^2} & \frac{K^2}{(1+K)^2} \\ 0 & \frac{\pi}{\omega_d} & \frac{2\pi}{\omega_d} \end{bmatrix} \quad (16)$$

- Trường hợp 4 xung đầu vào (Zero Vibration Derivative Derivative - ZVDD)

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ t_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{(1+K)^3} & \frac{3K}{(1+K)^3} & \frac{3K^2}{(1+K)^3} & \frac{K^3}{(1+K)^3} \\ 0 & \frac{\pi}{\omega_d} & \frac{2\pi}{\omega_d} & \frac{3\pi}{\omega_d} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Trong đó  $K = e^{-\frac{\zeta\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}}$



Hình 2: Đáp ứng dao động của cả hai đầu vào và tổng hợp hai đầu vào.

## 4. Kết hợp bộ điều khiển ADRC và tạo dạng tín hiệu đầu vào cho thanh mềm

### 4.1. Mô hình hệ thống

Đối tượng được xét đến trong bài báo này là hệ thống gồm một thanh mềm, mảnh gắn một đầu với trục động cơ. Khi động cơ quay, thanh mềm cũng sẽ quay, tuy nhiên do không cứng tuyệt đối, thanh mềm sẽ dao động. Giả sử động cơ quay một góc  $\theta$ . Khi đó phần đầu của thanh mềm nối với trục động cơ cũng bị quay một góc  $\theta$ . Tuy nhiên phần đầu còn lại sẽ vừa quay vừa dao động. Khoảng cách sai khác giữa vị trí của đầu thanh mềm và vị trí mong muốn là  $D$ . Sai lệch góc mong muốn và góc của thanh mềm là  $\alpha$ . Hệ thống được mô tả theo đề xuất của [2] như hình 3 với các tham số như bảng sau.

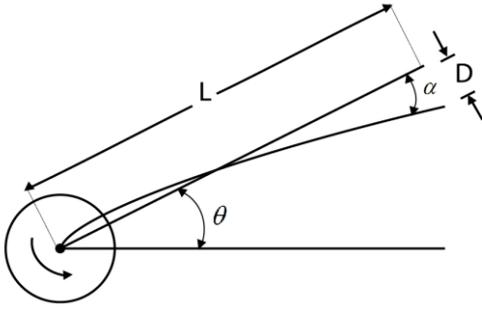
Bằng các biến đổi toán học theo các định lý vật lý của thanh mềm và hệ truyền động điện, ta thu được phương trình mô tả đối tượng, với các hệ số phương trình được tính toán từ các giá trị thông số của mô hình hệ thống tay máy dạng thanh mềm trong [10] như sau:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} &= -p_1 \dot{\theta} + p_2 \alpha + p_3 V_m \\ \ddot{\alpha} &= p_1 \dot{\theta} - p_4 \alpha - p_3 V_m \end{aligned} \quad (18)$$

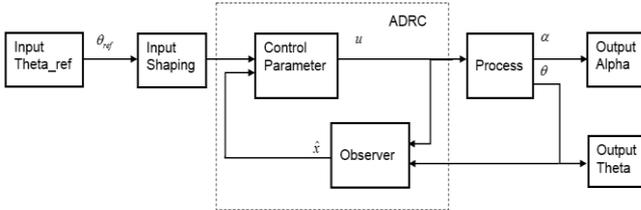
Trong đó:

$$p_1 = 37.5147, p_2 = 487.5357, p_3 = 66.6224, p_4 = 842.8414$$

Trong bài báo này, bộ điều khiển ADRC kết hợp với tạo dạng tín hiệu đầu vào kiểu ZVDD sẽ được thiết kế ứng dụng cho bài toán điều khiển thanh mềm như hình 4.



Hình 3: Mô hình cánh tay robot thanh mềm.



Hình 4: Cấu trúc điều khiển kết hợp tạo dạng tín hiệu đầu vào và ADRC

#### 4.2. Thiết kế bộ điều khiển ADRC

Áp dụng lý thuyết xây dựng bộ điều khiển ADRC được trình bày mục 2, ta viết lại phương trình đầu tiên của (18) như sau:

$$\ddot{\theta}(t) = f(t) + b_0 u(t) \quad (19)$$

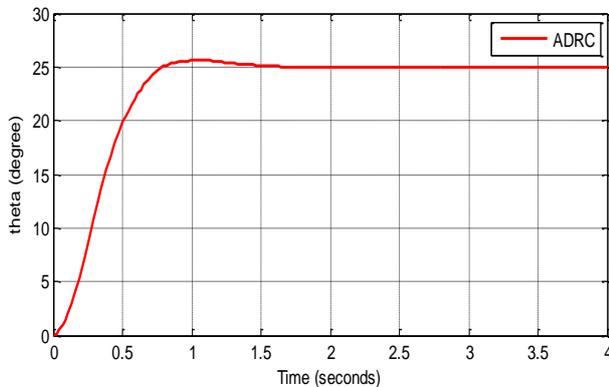
Trong đó  $f(t) = -p_1 \dot{\theta}(t) + p_2 \alpha(t)$  được coi là thành phần nhiễu và  $u(t) = V_m$  là tín hiệu điều khiển

Ta lựa chọn  $b_0 = p_3 = 66.6224$  và  $T_{set} = 1(s)$ . Từ (10) ta có như sau:

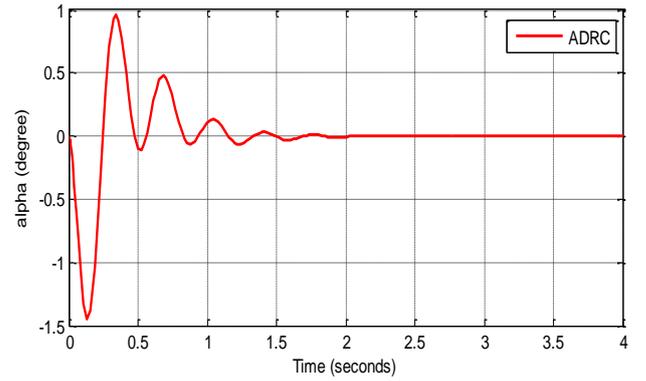
$$s^{CL} \approx -6, s^{ESO} = 10, s^{CL} = -60 \quad (20)$$

$$K_p = 36, K_D = 12, l_1 = 180, l_2 = 10800, l_3 = 216000$$

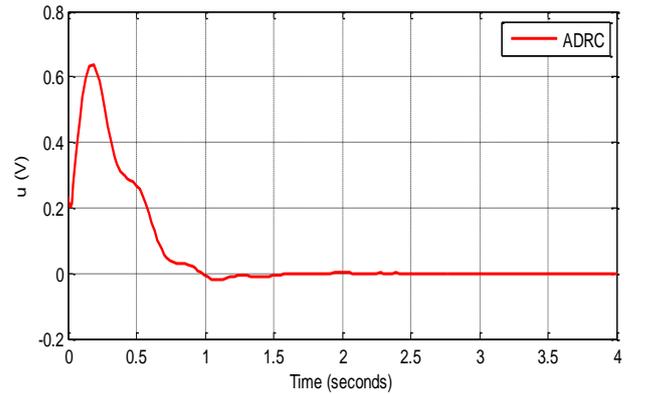
Các kết quả mô phỏng được thể hiện ở các hình 5, 6 và 7. Kết quả mô phỏng cho thấy vị trí của tay máy – góc theta ( $\theta$ ) đã bám tín hiệu đặt, và sau thời gian  $T_{set} = 1(s)$  thì đáp ứng đã đạt yêu cầu với độ quá điều chỉnh là 2%. Góc alpha ( $\alpha$ ) dao động tắt dần trong thời gian đáp ứng nhanh khoảng 2s, tuy nhiên biên độ dao động vẫn còn lớn do vậy phương pháp ZVDD sẽ được kết hợp với ADRC để giảm góc dao động  $\alpha$ .



Hình 5: Góc quay  $\theta$  của động cơ.



Hình 6: Góc sai lệch  $\alpha$  của thanh mềm so với vị trí mong muốn.



Hình 7: Tín hiệu điều khiển  $u$ .

#### 4.3. Thiết kế tạo dạng tín hiệu đầu vào kiểu ZVDD

Việc tính toán thiết kế ZVDD theo (17) đòi hỏi phải xác định được  $K, \omega_d$  hay nói cách khác là ta phải xác định giá trị của tần số dao động tự nhiên  $\omega_n$  và độ giảm chấn  $\zeta$  của dao động. Trong bài báo này,  $\omega_n$  và  $\zeta$  được tính toán dựa theo phương pháp “logarit decrement” [16], nghĩa là dựa vào độ thị dao động tự nhiên đầu ra  $\alpha$  của đối tượng để tìm tần số dao động tự nhiên và hệ số giảm chấn. Khi đó, ta có công thức tính được trình bày dưới đây:

- Chu kỳ dao động được tính như sau:

$$T_{osc} = \frac{t_{n+1} - t_1}{n} \quad (21)$$

Trong đó  $t_{n+1}$  là thời gian tại tọa độ đỉnh của biên độ giao động thứ  $n+1$ ,  $t_1$  là thời gian tại tọa độ đỉnh của biên độ giao động thứ nhất,  $n$  là số lần dao động được trích mẫu.

- Tần số dao động tự nhiên tắt dần của đối tượng được tính như sau:

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T_{osc}} = \frac{2\pi n}{t_{n+1} - t_1} \quad (22)$$

- Hệ số suy giảm biên độ dao động được xác định như sau:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{O_1}{O_n} \quad (23)$$

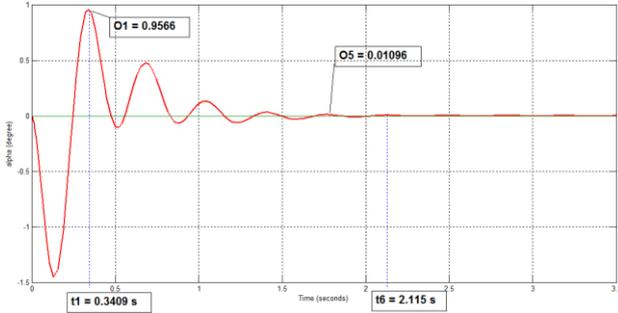
Với  $O_1$  và  $O_n$  là biên độ dao động của đỉnh thứ 1 và đỉnh thứ  $n$

- Hệ số giảm chấn và tần số dao động của đối tượng được xác định như sau:

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2\pi^2}{\delta}}} \quad (24)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

Áp dụng cho thanh mềm, từ đồ thị đầu ra dao động tự nhiên của đối tượng trong hình 6, ta có thể tính được các biên độ dao động và thời gian đạt đỉnh của các dao động thứ 1 và 5 như ở hình 8. Và ta có thể xác định được các thông số của dao động như sau:



Hình 8: Biên độ đỉnh và thời gian đạt đỉnh dao động thứ 1 và thứ 5.

$$T_{osc} = \frac{t_5 - t_1}{5} = 0.3548$$

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T_{osc}} = 17.7081$$

$$\delta = \frac{1}{5} \ln \frac{O_1}{O_5} = 0.8938$$

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2\pi^2}{\delta}}} = 0.2081 \quad (25)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = 18.1044$$

Từ đó:

$$K = e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} = 0.5125 \quad (26)$$

$$\tau_d = \frac{\pi}{\omega_d} = 0.1774$$

Khi đó, biên độ xung và thời gian tác động của kỹ thuật ZVDD tính theo công thức (17) có giá trị như sau:

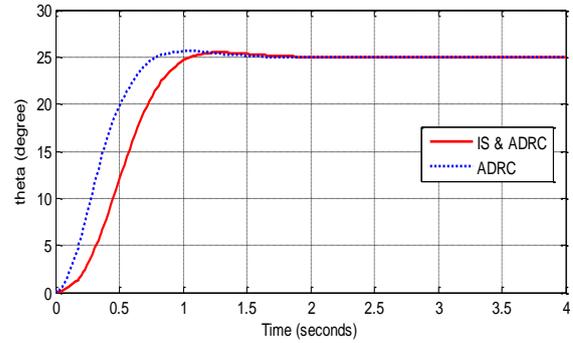
$$\begin{bmatrix} A_i \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2890 & 0.4444 & 0.2277 & 0.0389 \\ 0 & 0.1774 & 0.3548 & 0.5322 \end{bmatrix} \quad (27)$$

#### 4.4. Mô phỏng ADRC kết hợp ZVDD

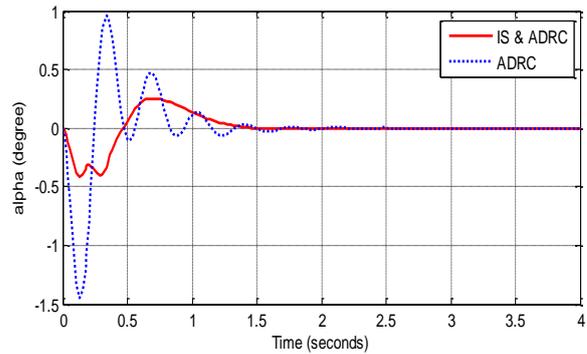
Từ số liệu đã tính toán được cho ADRC và ZVDD, sử dụng phần mềm Matlab Simulink để mô phỏng ta thu được các kết quả như hình 9, 10 và 11.

Kết quả mô phỏng cho thấy khi thêm thành phần tạo dạng tín hiệu đầu vào vào ZVDD, đáp ứng của vị trí tay máy góc  $\theta$  vẫn đảm bảo được tính chất của bộ điều khiển ADRC. Đáp ứng góc  $\alpha$  đã được cải thiện nhiều so trường hợp chỉ với bộ điều khiển ADRC, biên độ dao động giảm còn  $0.2^\circ - 0.5^\circ$  bởi tín hiệu dao động của  $\alpha$  đã được triệt tiêu bởi 4 xung theo phương pháp ZVDD. Số lần dao động của  $\alpha$  cũng giảm. Tín hiệu điều khiển  $u$  giảm, giúp động cơ không phải tiêu tốn một năng lượng lớn cho góc quay nhỏ. Do đó, chất lượng điều khiển đã được cải thiện khá nhiều khi sử dụng phương pháp tạo dạng tín hiệu đầu vào.

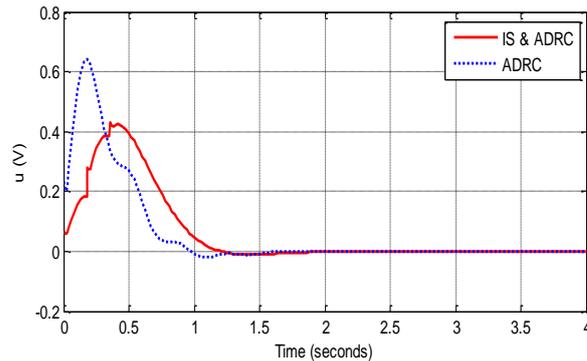
Mô hình thực tế có thể có sai khác về các thông số hệ thống như khối lượng thanh mềm, điện trở phản ứng của động cơ hay hiệu suất động cơ có thể không đạt được theo thông số nhà sản xuất. Điều này dẫn đến sự sai khác trong việc mô hình hóa hệ thống và ảnh hưởng tới chất lượng của bộ điều khiển. Các mô phỏng dưới đây sẽ cho thấy tác động của việc thay đổi thông số mô hình đến việc điều khiển hệ thống khi khối lượng thanh mềm thực tế tăng lên lần lượt là 100% và 200% nhưng bộ điều khiển vẫn giữ nguyên như tính toán trong mục 4.2 và 4.3. Kết quả ở hình 12 và 13 cho thấy bộ điều khiển kết hợp vẫn đáp ứng tốt.



Hình 9: Đáp ứng góc  $\theta$  khi kết hợp ZVDD và ADRC.



Hình 10: Đáp ứng góc  $\alpha$  khi kết hợp ZVDD và ADRC.

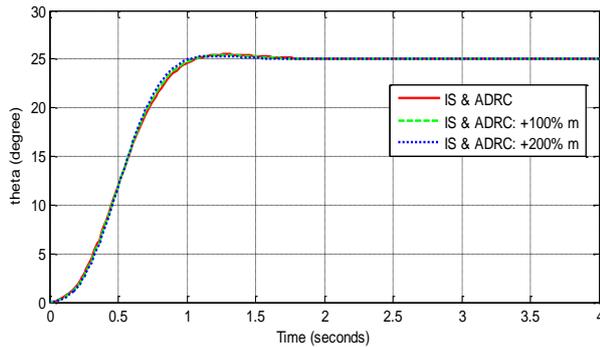


Hình 11: Tín hiệu điều khiển  $u$  khi kết hợp ZVDD và ADRC.

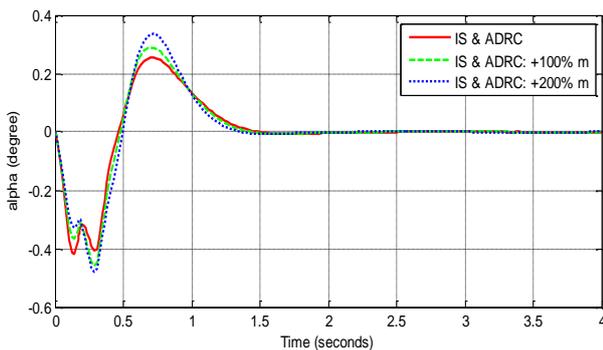
### 5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một phương pháp điều khiển kết hợp điều khiển ADRC và tạo dạng tín hiệu đầu vào nhằm tăng chất lượng hệ thống điều khiển chống rung. Phương pháp thiết kế này sau đó được ứng dụng cho bài toán điều khiển robot thanh mềm. Ưu điểm của bộ điều khiển kết hợp này là việc tính toán các thông số khá đơn giản, có khả năng triển khai dễ dàng trong thực tế. Kết quả mô phỏng cho thấy phương

pháp điều khiển đề xuất vẫn đảm bảo tính bền vững của phương pháp ADRC trong khi làm suy giảm dao động đáng kể so với phương pháp ADRC. Trong các nghiên cứu tiếp theo, phương pháp trên sẽ được tiến hành trên các thiết bị thật để xác thực tính ưu việt của phương pháp trên hệ thống thực. Thêm vào đó, phương pháp đề xuất cũng sẽ được nghiên cứu áp dụng cho các đối tượng đa biến có cấu trúc phức tạp hơn ví dụ như hệ tay máy linh hoạt nhiều bậc tự do. Đối với hệ tay máy này thì dao động sẽ là đa tần nên sẽ phải thiết kế bộ Input Shaping đa tần. Ngoài ra có thể thiết kế ADRC cho riêng rẽ từng khớp. Đây sẽ là một trong các hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả.



Hình 12: Đáp ứng góc  $\theta$  khi thay đổi khối lượng thanh mềm.



Hình 13: Đáp ứng góc  $\alpha$  khi thay đổi khối lượng thanh mềm.

## Tài liệu tham khảo

- [1] M. Tzu and Y.W. Tu (2005), *PID Control Design for Flexible Link Manipulator*, Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, pp.6841-6846.
- [2] S. Kurode and P. Dixit (2013), *Sliding mode control of flexible link manipulator using states and disturbance estimation*, Int. J. Advanced Mechatronic Systems, Vol. 5, No. 2.
- [3] R. K. Moolam (2013), *Dynamic Modeling And Control Of Flexible Manipulators*, Doctoral Dissertation, Politecnico Di Milano
- [4] Z.Gao, Y.Huang, J.Han (2001), *An alternative paradigm for control system design*. Proceedings of 40th IEEE Conference on Decision and Control, Orlando, Florida, December 4-7, pp. 4578-4585.
- [5] J. Han (2009), *From PID to active disturbance rejection control*. IEEE Trans. Ind. Electronics., Vol 56, No.3, pp. 900-906.
- [6] Z.Gao (2003), *Scaling and Parameterization Based Controller Tuning*, Proceedings of the 2003 American Control Conference, pp. 4989-4996.
- [7] Y. X. Su, C. H. Zheng, B. Y. Duan (2005), *Automatic disturbances rejection controller for precise motion control of permanent-magnet synchronous motors*. IEEE Trans. Ind. Electron. 52, 814-823

- [8] S. E. Talole, S. B. Phadke (2008), *Extended state observer based control of flexible joint system*, in Proc. IEEE ISIE, U.K., Cambridge:Univ. Cambridge, vol. 30, pp. 2514-2519, Jun. 30 - Jul. 2.
- [9] H. Yang et al. (2015), *Back-stepping control of two-link flexible manipulator based on an extended state observer*, Advance in Space Research, Vol.56, No.10, pp. 2312-2322.
- [10] Hieu DT, Tuan NM, Viet VH, Lam NT (2018), *An Application of Active Disturbance Rejection Control for a 1 DoF-Flexible Link Manipulator*, Special issue on Measurement, Control and Automation, Vol.21, No.1, pp. 10-15.
- [11] J. R. Huey (2006), *The intelligent combination of input shaping and PID feedback control*, PhD diss., Georgia Institute of Technology.
- [12] K. Yano and K. Terashima (2009), *Development and evaluation of operator support system for rotary crane*, 18th IEEE International Conference on Control Applications, pp. 1637-1642.
- [13] E. Abdel-Rahman, A. Nayfeh, and Z. Masoud (2003), *Dynamics and control of cranes: A review*, Journal of Vibration and Control, vol. 9, no. 7, pp 863-908.
- [14] P. Hyla (2012), *The crane control systems: A survey*, 17th International Conference on Methods & Models in Automation & Robotics (MMAR), Miedzyzdrojcie, pp. 505-509.
- [15] G. Herbs (2013), *A Simulative Study on Active Disturbance Rejection Control as a Control Tool for Practitioners*, In Siemens AG, Clemens-Winkler-Strabe 3, Germany.
- [16] Quanser Inc "Rotary Flexible Link Workbook Flexgate", <http://www.quanser.com/>.
- [17] D. Yoo, S. S. T. Yau, Z.Gao (2006), *On convergence of the linear extended observer*. Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control, Munich, Germany. pp. 1645-1650.