

## BÙ NHIỀU TỔNG CHO HỆ ĐIỆN CƠ BẰNG ĐIỀU KHIỂN HUẤN LUYỆN TRUYỀN THĂNG

Đàm Bảo Lộc<sup>1\*</sup>, Nguyễn Duy Cường<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Cao đẳng Công nghiệp Thái Nguyên

<sup>2</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

### TÓM TẮT

Bài báo đề xuất phương pháp xác định nhiều tổng cho hệ điện cơ dựa trên khai triển chuỗi Taylor và bù nhiều tổng bằng phương pháp huấn luyện truyền thăng. Kết quả nghiên cứu được áp dụng vào hệ thống Twin Rotor Multi-Input Multi-Output System (TRMS). TRMS là hệ thống phi tuyến với sự xen kênh đáng kể, có hai đầu vào và hai đầu ra. Bộ điều khiển thiết kế cho TRMS có hai vòng điều khiển: vòng điều khiển feedback và vòng điều khiển huấn luyện truyền thăng. Nhiều tổng của hệ thống được bù bằng phương pháp huấn luyện truyền thăng dựa trên MRAS còn những thành phần nhỏ không được bù cùng với các nhiễu (ở bên trong và bên ngoài) sẽ được bộ điều khiển PID thực hiện. Các kết quả mô phỏng cho hệ TRMS cho thấy khả năng ứng dụng của phương pháp trong thực tế.

**Từ khóa:** Nhiều tổng; Chuỗi Taylor; Điều khiển huấn luyện truyền thăng; MRAS; PID; TRMS

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán xác định nhiều và bù nhiều cho đối tượng từ lâu đã được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Trong bài báo này, nhiều tổng của đối tượng được xác định dựa trên khai triển chuỗi Taylor và được bù bằng bộ điều khiển truyền thăng. Các nghiên cứu được thử nghiệm bằng mô phỏng số cho hệ thống TRMS. Sự kết hợp giữa hai bộ điều khiển: bộ điều khiển phản hồi đầu ra và bộ điều khiển truyền thăng bù nhiều tổng cho thấy chất lượng điều khiển được cải thiện đáng kể.

### XÁC ĐỊNH NHIỀU TỔNG CỦA HỆ THỐNG DỰA TRÊN KHAI TRIỂN TAYLOR BẬC HAI

Một hệ thống bất kỳ biểu diễn dưới dạng hàm nhiều biến có thể xấp xỉ được xung quanh điểm làm việc dựa vào khai triển chuỗi Taylor [1], xấp xỉ bậc hai cho hàm nhiều biến có dạng tổng quát:

$$f(x_1, \dots, x_n) \approx f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) + \sum_{j=1}^n f_{x_j}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j) +$$

$$+ \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n f_{x_j x_k}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j)(x_k - \tilde{x}_k) \quad (1)$$

Trong đó:  $(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$  là điểm xác định và việc xấp xỉ chính xác nếu khoảng cách  $|x_j - \tilde{x}_j|$  đảm bảo đủ nhỏ, với  $j = 1, \dots, n$ .

Khi chuyển  $f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$  sang vế phải:

$$f(x_1, \dots, x_n) - f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) \approx \sum_{j=1}^n f_{x_j}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n f_{x_j x_k}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j)(x_k - \tilde{x}_k) \quad (2)$$

Như vậy nếu một hệ thống được mô tả bởi hàm  $f(\mathbf{x})$ , tại điểm làm việc  $\mathbf{x} = \tilde{\mathbf{x}}$  với  $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]^T$ ,  $\tilde{\mathbf{x}} = [\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n]^T$  thì nhiều tổng  $\mathbf{d}$  của hệ thống được xác định:

$$\mathbf{d} = f(\mathbf{x}) - f(\tilde{\mathbf{x}}) \approx \sum_{j=1}^n f_{x_j}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n f_{x_j x_k}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)(x_j - \tilde{x}_j)(x_k - \tilde{x}_k) \quad (3)$$

Công thức (3) là công thức tổng quát xác định nhiều tổng cho hệ thống, trong trường hợp khi hệ thống đạt  $f(\mathbf{x}) = f(\tilde{\mathbf{x}})$  thì nhiều  $\mathbf{d} = 0$ , có nghĩa nhiều tổng bị triệt tiêu.

\* Tel: 0913 068565, Email: dambaoloc@gmail.com

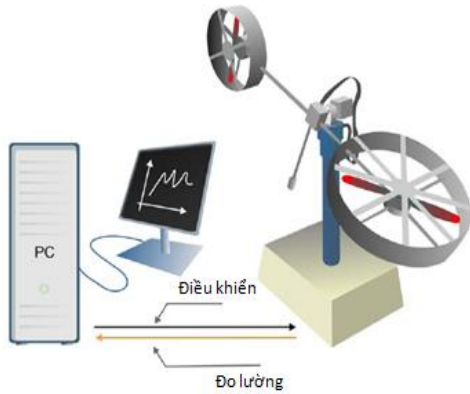
Việc xác định được nhiều tổng  $d$  sẽ giúp cho việc thiết kế một bộ điều phù hợp để khử nhiễu hệ thống nhằm nâng cao chất lượng điều khiển.

### THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN FEEDBACK VỚI FEEDFORWARD DỰA TRÊN MRAS CHO TRMS

Trên cơ sở nhận được nhiều tổng  $d$  trong trường hợp tổng quát đối với các hệ thống chuyển động điện cơ, chúng tôi áp dụng kết quả này vào TRMS - một hệ thống MIMO phi tuyến và xen kênh mạnh để tìm nhiều tổng.

#### Mô hình toán TRMS

TRMS là một hệ phi tuyến có hai đầu vào hai đầu ra, có tính phi tuyến xen kênh mạnh [2], như Hình 1.



**Hình 1.** Hệ thống Twin Rotor MIMO

Mô hình toán của TRMS được sử dụng là mô hình toán chính xác dựa theo phương trình Euler-Lagrange [3].

$$\begin{aligned} & [J_1 \cos^2 \alpha_v + J_2 \sin^2 \alpha_v + h^2(m_{T_1} + m_{T_2}) + J_3] \ddot{\alpha}_h \\ & + h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) \ddot{\alpha}_v \\ & + h(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) \dot{\alpha}_v^2 \\ & + 2\ddot{\alpha}_h \dot{\alpha}_v (J_2 - J_1) \sin \alpha_v \cos \alpha_v = \sum_i M_{ih} \quad (4) \\ & (J_1 + J_2) \ddot{\alpha}_v + h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - \\ & m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) \ddot{\alpha}_h + \dot{\alpha}_h^2 (J_1 - J_2) \sin \alpha_v \cos \alpha_v \\ & + g(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) = \sum_i M_{iv} \quad (5) \end{aligned}$$

Trong đó:

$\alpha_v, \alpha_h$ : Lần lượt là các góc chao dọc và góc đảo lái của cánh tay đòn TRMS với mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng.

$\sum_i M_{ih}$ : Tổng các mô men tác dụng trong chuyển động ngang, được tính:

$$\sum_i M_{ih} = M_{prop,h} - M_{fric,h} - M_{cable} + k_m \dot{\omega}_v \cos \alpha_v$$

$M_{prop,h} = l_t F_h(\omega_h) \cos(\alpha_v)$ : Mô men của lực đẩy của cánh quạt đuôi

$M_{fric,h}$ : Mô men ma sát của chuyển động trong chuyển động ngang

$$M_{fric,h} = k_{vfh} \Omega_h + k_{cfh} \text{sign}(\Omega_h) + \begin{cases} k_{sfh} & \text{khi } \Omega_h = 0^+ \\ -k_{sfh} & \text{khi } \Omega_h = 0^- \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases}$$

$M_{cable}$ : Mô men của cáp dẹt

$$M_{cable} = \begin{cases} k_{chp} \alpha_h & \text{nếu } \alpha_h \geq 0 \\ k_{chn} \alpha_h & \text{nếu } \alpha_h < 0 \end{cases}$$

$\sum_i M_{iv}$ : Tổng của các mô men trong chuyển động đứng, được tính:

$$\sum_i M_{iv} = M_{prop,v} - M_{fric,v} + k_t \dot{\omega}_h + M_{gyro}$$

$M_{prop,v} = l_m F_v(\omega_v)$ : Mô men của lực đẩy do cánh quạt chính

$M_{gyro} = k_g F_v \Omega_h \cos \alpha_v$ : Mô men con quay hồi chuyển

$F_h, F_v$ : Lực sinh ra bởi cánh quạt đuôi và cánh quạt chính

$$F_h = \begin{cases} k_{fhp} \omega_h |\omega_h| & \text{khi } \omega_h \geq 0 \\ k_{fhn} \omega_h |\omega_h| & \text{khi } \omega_h < 0 \end{cases}$$

$$F_v = \begin{cases} k_{fvp} \omega_v |\omega_v| & \text{khi } \omega_v \geq 0 \\ k_{fvn} \omega_v |\omega_v| & \text{khi } \omega_v < 0 \end{cases}$$

#### ❖ Xác định nhiễu tổng trong hệ TRMS

Từ các phương trình (4) và (5), thực hiện các phép biến đổi toán học, nhận được:

$$\begin{aligned} & [J_1 \cos^2 \alpha_v + J_2 \sin^2 \alpha_v + h^2(m_{T_1} + m_{T_2}) + J_3] \ddot{\alpha}_h \\ & + h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) \ddot{\alpha}_v \\ & + h(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) \dot{\alpha}_v^2 \\ & + 2\ddot{\alpha}_h \dot{\alpha}_v (J_2 - J_1) \sin \alpha_v \cos \alpha_v + (J_1 + J_2) \ddot{\alpha}_v \\ & + h(m_{T_1} l_{T_1} \sin \alpha_v - m_{T_2} l_{T_2} \cos \alpha_v) \ddot{\alpha}_h \\ & + \dot{\alpha}_h^2 (J_1 - J_2) \sin \alpha_v \cos \alpha_v \\ & + g(m_{T_1} l_{T_1} \cos \alpha_v + m_{T_2} l_{T_2} \sin \alpha_v) - M_{prop,h} \\ & + M_{fric,h} + M_{cable} - k_m \dot{\omega}_v \cos \alpha_v \\ & - M_{prop,v} + M_{fric,v} - k_t \dot{\omega}_h - M_{gyro} = 0 \quad (6) \end{aligned}$$

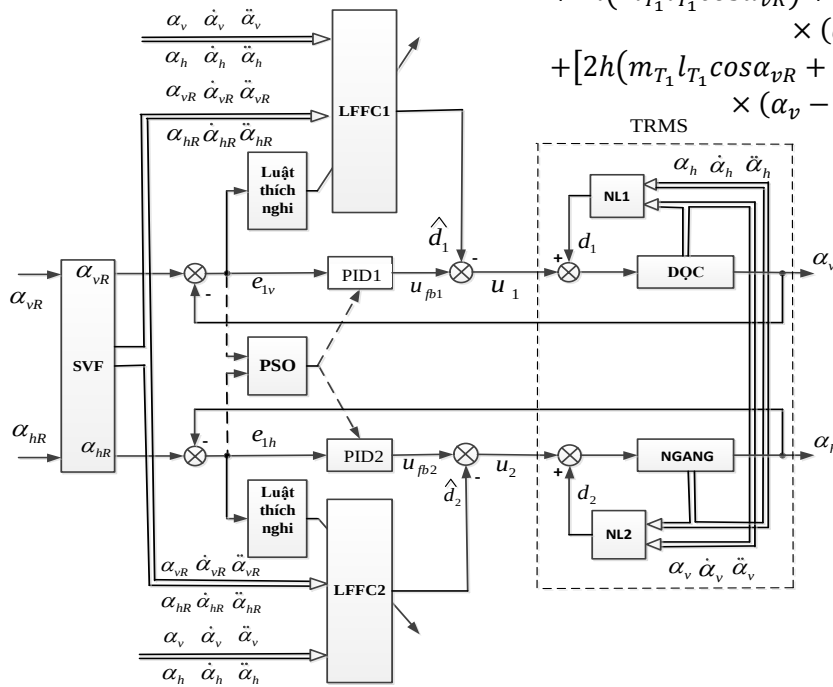
Đặt:  $f(\alpha)$  = vế trái phương trình (6) và thực hiện khai triển hàm  $f(\alpha)$  theo chuỗi Taylor bậc hai tại điểm làm việc:

$$\alpha = \alpha_R, \text{ với } \alpha = [\alpha_h, \dot{\alpha}_h, \ddot{\alpha}_h, \alpha_v, \dot{\alpha}_v, \ddot{\alpha}_v]^T \text{ và } \alpha_R = [\alpha_{hR}, \dot{\alpha}_{hR}, \ddot{\alpha}_{hR}, \alpha_{vR}, \dot{\alpha}_{vR}, \ddot{\alpha}_{vR}]^T$$

Khi đó nhiễu  $d$  được xác định:

$$d = f(\alpha) - f(\alpha_R) \approx$$

$$\begin{aligned}
& \approx \begin{cases} k_{chp}(\alpha_h - \alpha_{hR}) & n \nabla u \alpha_h \geq 0 \\ k_{chn}(\alpha_h - \alpha_{hR}) & n \nabla u \alpha_h < 0 \end{cases} \\
& + [2\dot{\alpha}_{vR}(J_2 - J_1)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} \\
& + 2\dot{\alpha}_{hR}(J_1 - J_2)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR}](\dot{\alpha}_h - \dot{\alpha}_{hR}) \\
& + [J_1\cos^2\alpha_{vR} + J_2\sin^2\alpha_{vR} + h^2(m_{T_1} + m_{T_2}) \\
& + J_3 + h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})] \times \\
& \quad \times (\ddot{\alpha}_h - \ddot{\alpha}_{hR}) \\
& + [2(J_2 - J_1)\ddot{\alpha}_{hR}\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} \\
& + h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{vR} \\
& - h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{vR}^2 \\
& + 2\dot{\alpha}_{hR}\dot{\alpha}_{vR}(J_2 - J_1)(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR}) \\
& + h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{hR} \\
& + \dot{\alpha}_h^2(J_1 - J_2)(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR}) \\
& - g(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR}) \\
& + l_t F_h \cos\alpha_{vR} + k_m \dot{\omega}_v \cos\alpha_{vR} \\
& \quad + k_g F_v \Omega_h \cos\alpha_{vR}](\alpha_v - \alpha_{vR}) \\
& + [2h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})\dot{\alpha}_{vR} \\
& + 2\dot{\alpha}_{hR}(J_2 - J_1)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR}](\dot{\alpha}_v - \dot{\alpha}_{vR}) \\
& + [h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR}) \\
& \quad + J_1 + J_2](\ddot{\alpha}_v - \ddot{\alpha}_{vR}) \\
& + [2(J_1 - J_2)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR}](\dot{\alpha}_h - \dot{\alpha}_{hR})^2 \\
& + [2(J_2 - J_1)\ddot{\alpha}_{hR}(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR}) \\
& - h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{vR} \\
& - 4\dot{\alpha}_{hR}\dot{\alpha}_{vR}(J_2 - J_1)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} \\
& - h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{hR} \\
& - 4\dot{\alpha}_{hR}^2(J_1 - J_2)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} \\
& - g(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR}) \\
& + k_m \dot{\omega}_v \cos\alpha_{vR} + k_g F_v \Omega_h \cos\alpha_{vR}] \times \\
& \quad \times (\alpha_v - \alpha_{vR})^2 \\
& - h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})\ddot{\alpha}_{hR} \\
& - 4\dot{\alpha}_{hR}^2(J_1 - J_2)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} \\
& - g(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR}) \\
& + k_m \dot{\omega}_v \cos\alpha_{vR} + k_g F_v \Omega_h \cos\alpha_{vR}] \times \\
& \quad \times (\alpha_v - \alpha_{vR})^2 \\
& + [2h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})] \times \\
& \quad \times (\dot{\alpha}_v - \dot{\alpha}_{vR})^2 \\
& + [4\dot{\alpha}_{vR}(J_2 - J_1)(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR}) \\
& + 4\dot{\alpha}_{hR}(J_1 - J_2)(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR})] \\
& \quad \times (\dot{\alpha}_h - \dot{\alpha}_{hR})(\alpha_v - \alpha_{vR}) \\
& + [4(J_2 - J_1)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR}] \times \\
& \quad \times (\dot{\alpha}_h - \dot{\alpha}_{hR})(\dot{\alpha}_v - \dot{\alpha}_{vR}) \\
& - [4h(m_{T_1}l_{T_1}\sin\alpha_{vR} - m_{T_2}l_{T_2}\cos\alpha_{vR})\dot{\alpha}_{vR} \\
& - 4\dot{\alpha}_{hR}(J_2 - J_1)(\cos^2\alpha_{vR} - \sin^2\alpha_{vR})] \times \\
& \quad \times (\alpha_v - \alpha_{vR})(\dot{\alpha}_v - \dot{\alpha}_{vR}) \\
& + [4(J_2 - J_1)\sin\alpha_{vR}\cos\alpha_{vR} + \\
& + 2h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})] \times \\
& \quad \times (\ddot{\alpha}_h - \ddot{\alpha}_{hR})(\alpha_v - \alpha_{vR}) \\
& + [2h(m_{T_1}l_{T_1}\cos\alpha_{vR} + m_{T_2}l_{T_2}\sin\alpha_{vR})] \times \\
& \quad \times (\alpha_v - \alpha_{vR})(\ddot{\alpha}_v - \ddot{\alpha}_{vR}) \quad (7)
\end{aligned}$$



Hình 2. Cấu trúc điều khiển PID\_PSO kết hợp LFFC dựa trên MRAS

**Nhận xét:** Từ phương trình (7), nhiều  $\mathbf{d}$  gồm mười bốn thành phần phụ thuộc vào các biến trạng thái  $[\alpha_h, \dot{\alpha}_h, \ddot{\alpha}_h, \alpha_v, \dot{\alpha}_v, \ddot{\alpha}_v]$ . Để khử nhiễu tổng  $\mathbf{d}$  của TRMS, dùng bộ điều khiển feedback kết hợp với feedforward dựa trên MRAS. Bộ điều khiển feedback dùng để ổn định hệ thống còn bộ điều khiển feedforward dựa trên MRAS dùng để khử nhiễu tổng  $\mathbf{d}$  để nâng cao độ chính xác của hệ thống.

#### ❖ Thiết kế bộ điều khiển feedback kết hợp feedforward dựa trên MRAS

Cấu trúc bộ điều khiển đề xuất như Hình 2, trong đó:

SVF: Bộ lọc biến trạng:  $\omega_F = 50$  (rad/s),  $z = 0.7$

LFFC 1, 2: Các bộ điều khiển truyền thẳng tạo ra nhiễu tổng  $\hat{\mathbf{d}}$  xấp xỉ với nhiễu tổng  $\mathbf{d}$  của hệ thống nhờ luật thích nghi, dùng để điều chỉnh các biến hằng, được thiết lập dựa vào lý thuyết ổn định Lyapunov [4, 5]. Luật thích nghi này được thiết lập dựa trên việc tìm ma trận P từ phương trình:  $A_m^T P + P A_m = -Q$  (8)

Trong đó: Q là ma trận xác định dương,  $A_p$  là ma trận mẫu hệ thống.

PSO: Thuật toán tối ưu bầy đàn được sử dụng để tìm bộ thông số  $K_{p1}$ ,  $K_{i1}$ ,  $K_{d1}$ ,  $K_{p2}$ ,  $K_{i2}$ ,  $K_{d2}$  của hai bộ điều khiển PID<sub>1</sub> và PID<sub>2</sub>.

#### ❖ Mô phỏng

Để kiểm chứng chất lượng của cấu trúc đề xuất, tiến hành mô phỏng trên phần mềm Matlab\_Simulink trong trường hợp tín hiệu đặt là hàm sin tổng:

$$\alpha_{vR} = 0.5 \sin 0.1256t \quad (\text{rad})$$

$$\alpha_{hR} = 0.3 \sin 0.0628t + 0.7 \sin 0.1256t \quad (\text{rad})$$

Điều khiển feedback là hai bộ điều khiển PID<sub>1</sub> và PID<sub>2</sub> cho góc chao dọc  $\alpha_v$  và góc đảo lái  $\alpha_h$  tương ứng có giá trị tìm được nhờ thuật toán PSO. Hàm tối ưu được xác định dựa theo tiêu chuẩn chất lượng ISE:

$$Fitness_{ISE} = \int_0^\infty [e_{1v}^2 + e_{1h}^2] dt \rightarrow \min \quad (9)$$

Với  $e_{1v}$ ,  $e_{1h}$ : Lần lượt là các sai lệch góc chao dọc  $\alpha_v$  và góc đảo lái  $\alpha_h$

Bộ thông số PID<sub>1</sub> có giá trị tìm được:

$$K_{p1} = 22.3063; K_{i1} = 33.9276;$$

$$K_{d1} = 25.475$$

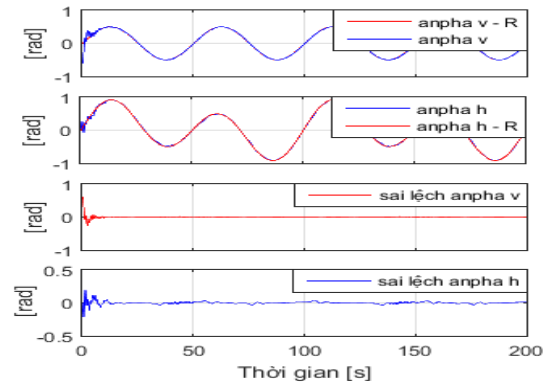
Bộ thông số PID<sub>2</sub> có giá trị tìm được:

$$K_{p2} = 4.8790; K_{i2} = 3.8867; K_{d2} = 5.194.$$

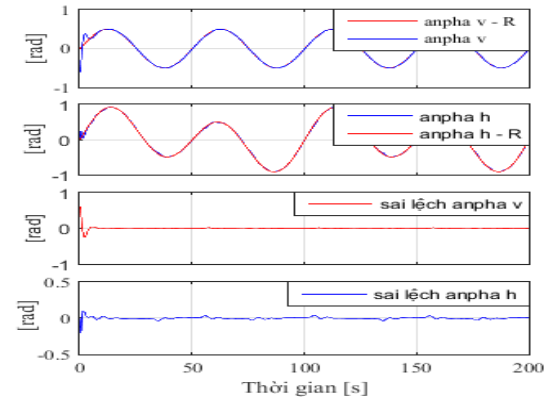
Các phần tử của ma trận P tìm được:

$$p_{21v} = 8; p_{22v} = 8; p_{21h} = 2; p_{22h} = 2$$

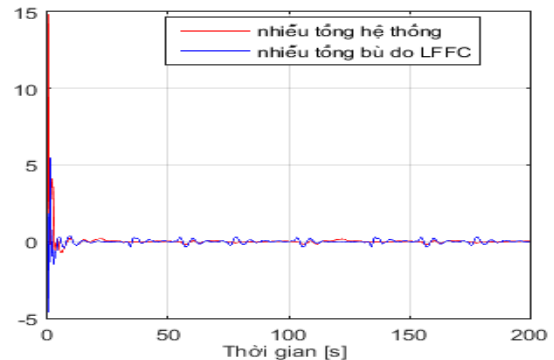
(các phần tử của ma trận P).



Hình 3. Đáp ứng góc  $\alpha_v$  và  $\alpha_h$  cùng các sai lệch khi dùng PID\_PSO



Hình 4. Đáp ứng góc  $\alpha_v$  và  $\alpha_h$  cùng các sai lệch khi dùng PID\_PSO kết hợp LFFC dựa trên MRAS



Hình 5. Nhiễu tổng hệ thống và tín hiệu bù tạo ra nhờ LFFC

So sánh kết quả mô phỏng khi dùng bộ điều khiển PID kết hợp LFFC dựa trên MRAS (Hình 4) và bộ điều khiển PID sử dụng thuật toán PSO (Hình 3): bộ điều khiển đề xuất cải thiện chất lượng điều khiển góc chao dọc  $\alpha_v$  và góc đảo lái  $\alpha_h$  đã nhanh chóng bám theo quỹ đạo đặt, sai lệch vào/ra giảm đáng kể.

#### KẾT LUẬN

Bài báo này đã đưa ra được phương pháp xác định nhiễu tổng của hệ thống điện cơ dựa trên khai triển chuỗi Taylor lân cận điểm làm việc, qua đó thực hiện bù nhiễu tổng bằng phương pháp huấn luyện truyền thẳng nhằm nâng cao chất lượng điều khiển. Kết quả nghiên cứu đã được kiểm chứng cho đối tượng TRMS thông qua cấu trúc điều khiển feedback kết hợp với điều khiển huấn luyện truyền thẳng. Các kết quả mô phỏng cho thấy chất lượng hệ thống được nâng cao đáng kể và khả năng

ứng dụng giải thuật được đề xuất cho các hệ điện cơ.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Yonatan Katznelson, 2008, "Taylor's approximation in several variables" <https://classes.soe.ucsc.edu/ams011b/Winter08/PDF/11Bsn2.pdf>
2. Twin Roto MIMO System Control Experiments 33-949S Feedback Instruments Ltd, East Sussex, U.K., 2006
3. A. Rahideh and M. H. Shahee, "Mathematical dynamic modeling of a twin-rotor multiple input – multiple output System", *Proceedings of the IMechE, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 221, pp. 89-101, 2006.
4. Van Amerongen, J., "Intelligent Control (part 1)-MRAS, Lecture notes", University of Twente, The Netherlands, March 2004
5. Đàm Bảo Lộc, Đặng Văn Huyền, Nguyễn Duy Cường, "Thiết kế bộ điều khiển feedback kết hợp feed-forward đối với hệ thống twin rotor", *Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự* ISN 1859-1043, trang 43-51, Số đặc san ACMEC\_07-2016.

#### SUMMARY

#### COMPENSATING THE TOTAL DISTURBANCE FOR MECHANICAL AND ELECTRICAL SYSTEMS USING THE LEARNING FEEDFORWARD CONTROL METHOD

Dam Bao Loc<sup>1\*</sup>, Nguyen Duy Cuong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thai Nguyen Industrial College, <sup>2</sup>University of Technology - TNU

The paper proposes a method to determine total disturbance in electromechanical systems basing on the Taylor's series expansion. In addition, the learning feed-forward control method is also used to compensate total noise disturbance. The research results are applied in the Twin Rotor Multi-Input Multi-Output System (TRMS) that is a nonlinear system and has the influence of interleaved channels with two inputs and two outputs. The designed controller for TRMS has two control loops which is combined by a feedback control loop and a learning feed-forward control loop. The total noise disturbance of the system is compensated by using the learning feed-forward method that is based on MRAS and small uncompensated disturbance (internal and external disturbance) is compensated by the classical PID controller. The simulation results for the TRMS system show the practical applicability of the proposed method.

**Keywords:** Total disturbance; Taylor series; Learning feedforward control; MRAS; PID; TRMS.

**Ngày nhận bài:** 01/11/2017; **Ngày phản biện:** 01/12/2017; **Ngày duyệt đăng:** 05/01/2018

\* Tel: 0913 068565, Email: dambaoloc@gmail.com