

# ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT BACKSTEPPING XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ỔN ĐỊNH TẦN SỐ QUAY TURBINE Ở NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN VỪA VÀ NHỎ

USING BACKSTEPPING APPROACH TO DESIGN ALGORITHM FOR STABILIZING THE  
FREQUENCY OF TURBINE IN SMALL AND MEDIUM HYDROELECTRIC POWER PLANT

**Đặng Tiến Trung**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 03/01/2019, Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2019, Phản biện: PGS.TS. Trần Đức Thuận

## Tóm tắt:

Một thuật toán điều khiển cánh lái hướng cấp nước cho turbin dựa trên giải thuật backstepping đã được xây dựng. Trên cơ sở thuật toán đề xuất này tần số quay của turbin trong tổ máy phát điện với công suất vừa và nhỏ được điều khiển ổn định.

## Từ khóa:

Thủy điện vừa và nhỏ, cánh lái hướng cấp nước, điều khiển, giải thuật backstepping.

## Abstract:

An algorithm to control the water inlet valves of turbine based on backstepping approach is designed. Using proposed algorithm the frequency of turbine in the small and medium hydroelectric power plant will be stability controlled.

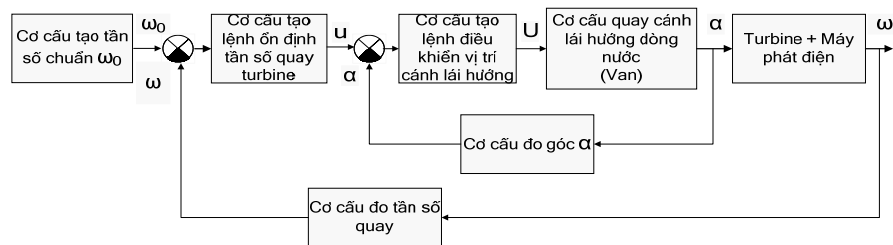
## Keywords:

Small and medium hydroelectric plant, water inlet valves, control, backstepping approach.

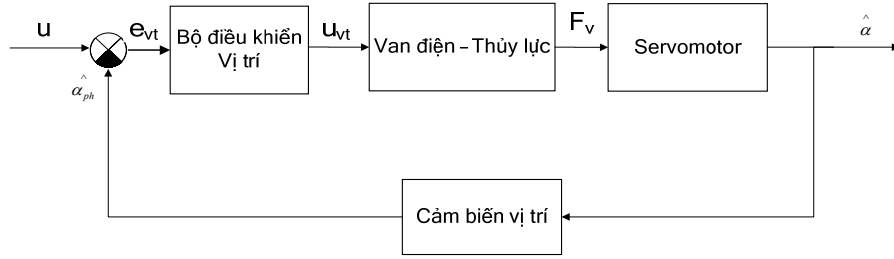
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sơ đồ chức năng quá trình điều khiển ổn định tần số quay cho tổ máy “turbine + máy phát điện” thường có cấu trúc như hình 1 [1].

Đối với các nhà máy thủy điện công suất vừa và nhỏ ở Việt Nam hiện nay phần thiết bị thường là nhập ngoại. Đối với các thiết bị nhập ngoại này thì thiết bị điều khiển vị trí cánh lái hướng thường có cấu trúc [1, 3] như hình 2.



Hình 1. Sơ đồ chức năng quá trình điều khiển quay turbine máy phát điện



Hình 2. Sơ đồ mạch vòng điều khiển vị trí cánh lái hướng

Cũng theo tài liệu [3] cho thấy, “mạch vòng điều khiển vị trí cánh lái hướng” được rút gọn và xấp xỉ về khâu quán tính bậc nhất với hàm truyền có dạng như sau:

$$G_{vt}(s) = \frac{\alpha(s)}{u(s)} = \frac{K_a}{T_a s + 1} \quad (1)$$

Từ hàm truyền (1) cho phương trình sau:

$$T_a \frac{d\alpha}{dt} + \alpha = K_a u \quad (2)$$

Đối với tổ máy “turbine + máy phát điện” phương trình động học được viết như sau [1]:

$$T \frac{d\omega}{dt} + \omega = K\alpha + z_1 \quad (3)$$

Nhiệm vụ điều khiển ở đây là cần xác định quy luật thay đổi tín hiệu  $u$  để tần số  $\omega$  ổn định xung quanh giá trị danh định  $\omega_0$ . Giá trị danh định phụ thuộc vào tần số điện lưới quốc gia và số cặp cực của nam châm điện ở rotor máy phát điện:

$$\omega_0 = 2\pi \frac{f_0}{p} \quad (4)$$

trong đó đối với Việt Nam  $f_0 = 50$  Hz,  $p$ - số cặp cực nam châm điện.

Hiện nay luật điều khiển ở các thiết bị nước ngoài chuyển giao thường là luật PID:

$$u(t) = K_p(\omega - \omega_0) + K_I \int_0^t (\omega(\tau) - \omega_0) d\tau + K_D \frac{d(\omega - \omega_0)}{dt} \quad (5)$$

Các hệ số  $K_p, K_I, K_D$  trong luật điều khiển PID được cứng hóa (là các số được nhập vào thiết bị và không đổi trong quá trình vận hành) nên không tương thích với sự thay đổi của các tham số  $K_a, T_a, T, K, z_1$  trong các phương trình mô hình (3) và (2). Trong khi đó, đối với nhà máy thủy điện công suất vừa và nhỏ, các tham số này thường thay đổi theo năng lượng cột nước nơi đặt turbine. Vì vậy trong bài báo này sẽ tổng hợp luật điều khiển  $u$  có đầy đủ thông tin về sai lệch  $(\omega(\tau) - \omega_0)$  và các giá trị của các tham số  $K_a, T_a, T, K, z_1$ . Tức là luật điều khiển có tính thích nghi.

## 2. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ỔN ĐỊNH TẦN SỐ QUAY TURBINE TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT BACKSTEPPING

Giải thuật backstepping là giải pháp thiết kế luật điều khiển theo thứ tự cuốn chiếu [2], [4], [5], [6] áp dụng tốt cho các hệ truyền ngược offline dạng như hệ (2) và (3). Sau đây sẽ áp dụng giải thuật backstepping cho việc tổng hợp lệnh ổn định tần số quay turbine.

Gọi sai số giữa tần số quay thực của turbine  $\omega$  và tần số chuẩn  $\omega_0$  là  $\delta_1$ , tức là:

$$\delta_1 = \omega - \omega_0 \quad (6)$$

Xây dựng hàm Lyapunov cho sai lệch

bám tần số chuẩn như sau:

$$V_1 = \frac{1}{2} \delta_1 \delta_1 \quad (7)$$

Tiến hành phép toán lấy đạo hàm đối với hàm Lyapunov  $V_1$ :

$$\dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 (\dot{\omega} - \dot{\omega}_0) \quad (8)$$

Vì  $\omega_0$  là hằng số nên  $\dot{\omega}_0 = 0$ , vì vậy:

$$\dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 \dot{\omega} \quad (9)$$

Từ phương trình (3) có:

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = \left[ \frac{1}{T} (K\alpha + z_1 - \omega) \right] \quad (10)$$

Thay (10) vào (9) nhận được:

$$\dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 \dot{\omega} = \delta_1 \left[ \frac{1}{T} (K\alpha + z_1 - \omega) \right] \quad (11)$$

Không thay đổi giá trị  $\dot{V}_1$  khi thêm và bớt vào biểu thức (11) giá trị  $c_1 \delta_1$  (trong đó  $c_1$  là hằng số dương được chọn):

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 \dot{\omega} = \\ \delta_1 [-c_1 \delta_1 + c_1 \delta_1 \\ + \frac{1}{T} (K\alpha + z_1 - \omega)] \end{aligned} \quad (12)$$

Triển khai (12) nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 \dot{\omega} = -c_1 \delta_1^2 + \\ \delta_1 [c_1 \delta_1 + \frac{1}{T} (K\alpha + z_1 - \omega)] \end{aligned} \quad (13)$$

Đặt điều khiển ảo là  $\beta$ , sai lệch giữa điều khiển ảo và góc mở cánh lái hướng sẽ là  $\delta_2$ :

$$\delta_2 = \alpha - \beta \quad (14)$$

Từ (14) sẽ có:

$$\alpha = \delta_2 + \beta \quad (15)$$

Thay  $\alpha$  theo (15) vào vế phải (13) nhận

được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 = \delta_1 \dot{\delta}_1 = \delta_1 \dot{\omega} = -c_1 \delta_1^2 \\ + \delta_1 [c_1 \delta_1 + \frac{1}{T} (K(\delta_2 + \beta) + z_1 - \omega)] \\ = -c_1 \delta_1^2 + \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 + \delta_1 [c_1 \delta_1 \\ + \frac{1}{T} (K\beta + z_1 - \omega)] \end{aligned} \quad (16)$$

Nếu điều khiển ảo  $\beta$  được xác định sao cho tổng:

$$c_1 \delta_1 + \frac{1}{T} (K\beta + z_1 - \omega) = 0 \quad (17)$$

Tức là:

$$\beta = \frac{1}{K} [\omega - z_1 - c_1 \delta_1 T] \quad (18)$$

Khi này:

$$\dot{V}_1 = -c_1 \delta_1^2 + \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 \quad (19)$$

Xây dựng hàm Lyapunov cho tổng sai lệch bám tần số chuẩn và sai lệch giữa điều khiển ảo và góc mở cánh lái hướng:

$$V_2 = V_1 + \frac{1}{2} \delta_2 \delta_2 \quad (20)$$

Tiến hành phép lấy đạo hàm theo biến thời gian đối với hàm  $V_2$ :

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 + \delta_2 \dot{\delta}_2 \quad (21)$$

Từ (14) có:

$$\dot{\delta}_2 = \dot{\alpha} - \dot{\beta} \quad (22)$$

Từ phương trình (2) có thể xác định  $\dot{\alpha}$  như sau:

$$\dot{\alpha} = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha \quad (23)$$

Thay  $\dot{\alpha}$  ở phương trình (22) bằng vế phải (23) nhận được:

$$\dot{\delta}_2 = \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha - \dot{\beta} \quad (24)$$

Thay  $\dot{\delta}_2$  ở phương trình (21) bằng vế phải (24) nhận được:

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 + \delta_2 \left( \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha - \dot{\beta} \right) \quad (25)$$

Không thay đổi giá trị  $\dot{V}_2$  khi thêm và bớt vào biểu thức (25) giá trị  $c_2 \delta_2$  (trong đó  $c_2$  là hằng số dương được chọn):

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_1 + \delta_2 (-c_2 \delta_2 + c_2 \delta_2) \\ &+ \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha - \dot{\beta} \\ &= \dot{V}_1 - \delta_2 c_2 \delta_2 + \delta_2 (c_2 \delta_2) \\ &+ \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha - \dot{\beta} \end{aligned} \quad (26)$$

Nếu điều  $u$  được xác định sao cho tổng:

$$(c_2 \delta_2 + \frac{K_a}{T_a} u - \frac{1}{T_a} \alpha - \dot{\beta}) = 0 \quad (27)$$

Tức là:

$$u = \frac{1}{K_a} (\alpha + T_a \dot{\beta} - T_a c_2 \delta_2) \quad (28)$$

Khi này  $\dot{V}_2$  sẽ là:

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 - c_2 \delta_2^2 \quad (29)$$

Thay  $\dot{V}_1$  ở vế phải phương trình (29) bằng vế phải (19) nhận được:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= -c_1 \delta_1^2 + \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 - c_2 \delta_2^2 \\ &= -(c_1 \delta_1^2 - \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 + c_2 \delta_2^2) \end{aligned} \quad (30)$$

Có thể chứng minh bổ đề sau:

**Bổ đề.** Với bất kỳ các giá trị dương nào

của thương số  $\frac{K}{T}$  đều chọn được hai hệ

số  $c_1$  và  $c_2$  để hàm số:

$$y = y(\delta_1, \delta_2) = (c_1 \delta_1^2 - \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 + c_2 \delta_2^2) \quad (31)$$

Luôn luôn dương, tức là  $\dot{V}_2$  luôn luôn âm.

**Chứng minh.** Vì hai tham số  $K$  và  $T$  là hai số dương, nên thương số  $\frac{K}{T}$  cũng sẽ

luôn luôn dương, khi đó có thể chọn hai số  $c_1$  và  $c_2$  là hai số dương như sau:

$$c_1 = \frac{K}{2T} + \Delta c_1, \quad c_2 = \frac{K}{2T} + \Delta c_2 \quad (32)$$

Trong đó  $\Delta c_1, \Delta c_2$  là hai số dương tùy chọn. Thay  $c_1$  và  $c_2$  ở vế phải phương trình (31) vào bằng vế phải phương trình (32) sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} y &= y(\delta_1, \delta_2) = ((\frac{K}{2T} + \Delta c_1) \delta_1^2 \\ &- \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 + (\frac{K}{2T} + \Delta c_2) \delta_2^2) \\ &= (\frac{K}{2T} \delta_1^2 - \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 \\ &+ \frac{K}{2T} \delta_2^2) + (\Delta c_1 \delta_1^2 + \Delta c_2 \delta_2^2) \end{aligned} \quad (33)$$

Có thể biến đổi các số hạng trong tổng thứ nhất ở vế phải (33) như sau:

$$\frac{K}{2T} \delta_1^2 = (\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1)^2 \quad (34)$$

$$\frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 = 2(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1)(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2) \quad (35)$$

$$\frac{K}{2T} \delta_2^2 = (\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2)^2 \quad (36)$$

Thay các số hạng trong tổng thứ nhất ở vế

phải (33) bằng các biểu thức ở vế phải (34), (35), (36). Khi đó hàm  $y(\delta_1, \delta_2)$  sẽ có dạng:

$$y = y(\delta_1, \delta_2) = \left(\frac{K}{2T} \delta_1^2 - \frac{K}{T} \delta_1 \delta_2 + \frac{K}{2T} \delta_2^2\right) + (\Delta c_1 \delta_1^2 + \Delta c_2 \delta_2^2) = \left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1\right)^2 - 2\left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1\right)\left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2\right) + \left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2\right)^2 + (\Delta c_1 \delta_1^2 + \Delta c_2 \delta_2^2) \quad (37)$$

Theo quy tắc tam thức bậc hai, hàm  $y(\delta_1, \delta_2)$  ở (37) sẽ được biểu diễn dưới dạng sau:

$$y = y(\delta_1, \delta_2) = \left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1\right)^2 - 2\left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1\right)\left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2\right) + \left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2\right)^2 + (\Delta c_1 \delta_1^2 + \Delta c_2 \delta_2^2) = \left(\sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_1 - \sqrt{\frac{K}{2T}} \delta_2\right)^2 + (\Delta c_1 \delta_1^2 + \Delta c_2 \delta_2^2) \quad (38)$$

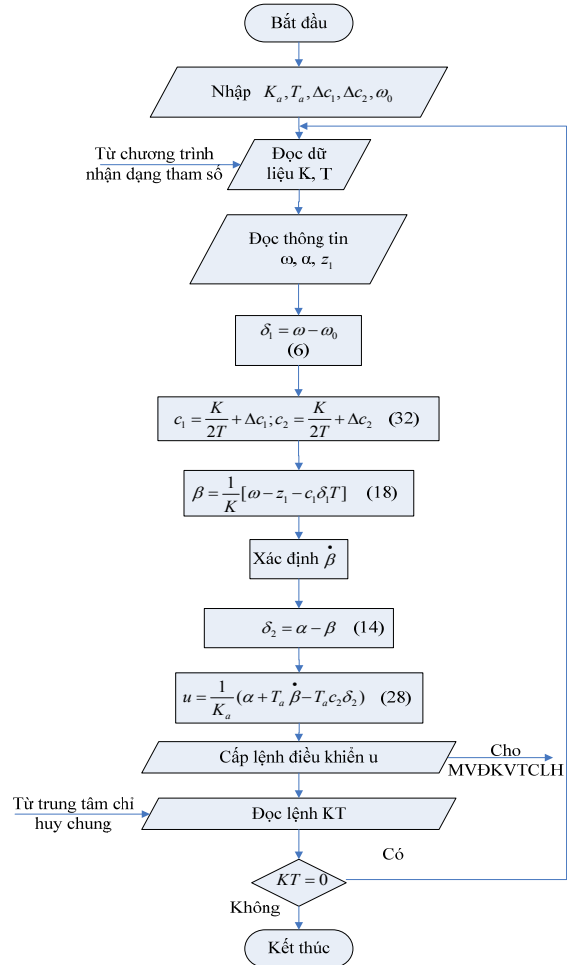
Vì  $\Delta c_1$  và  $\Delta c_2$  là các số dương tùy chọn, nên dễ dàng nhận thấy nếu chọn  $c_1$  và  $c_2$  theo biểu thức (32) thì hàm  $y(\delta_1, \delta_2)$  luôn luôn là số dương. Bổ đề đã được chứng minh.

Khi  $y(\delta_1, \delta_2)$  luôn dương thì  $\dot{V}_2$  luôn âm.

Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, các sai số  $\delta_1$  và  $\delta_2$  sẽ tiệm cận về giá trị 0. Tức là tần số quay turbine sẽ tiệm cận ổn định về giá trị chuẩn  $\omega_0$ .

Như vậy với luật điều khiển  $u$  của cơ cấu tạo lệnh ổn định tần số quay turbine được thiết lập theo biểu thức (28) và (18) với các hệ số  $c_1, c_2$  được xác định theo biểu thức (32) thì hệ thống đảm bảo tần số

quay turbine  $\omega$  ổn định xung quanh giá trị chuẩn  $\omega_0$ . Hình 3 thể hiện lưu đồ thuật toán backstepping ổn định tần số quay turbine.



Hình 3. Lưu đồ thuật toán tổng hợp lệnh ổn định tần số quay turbine

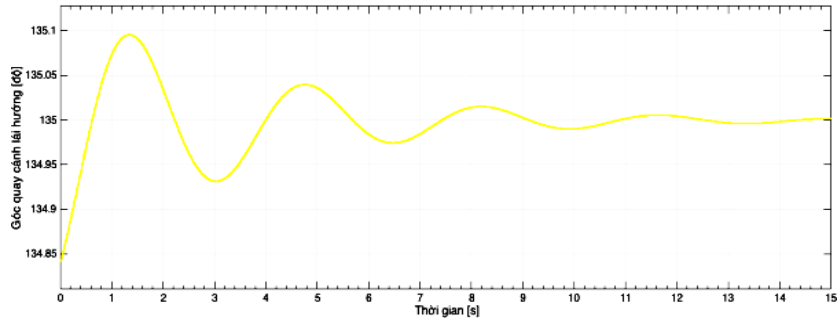
Trong lưu đồ thuật toán ở hình 3 có các lưu ý sau:

- Việc xác định  $\dot{\beta}$  trên cơ sở chuỗi thông tin về  $\beta(i), i = 1, 2, \dots, N$  được thực hiện theo các thuật toán đã có;
- MVĐKVTCLH viết tắt của cụm từ “Mạch vòng điều khiển vị trí cánh lái hướng”;
- KT là lệnh kết thúc, được đọc từ Trung

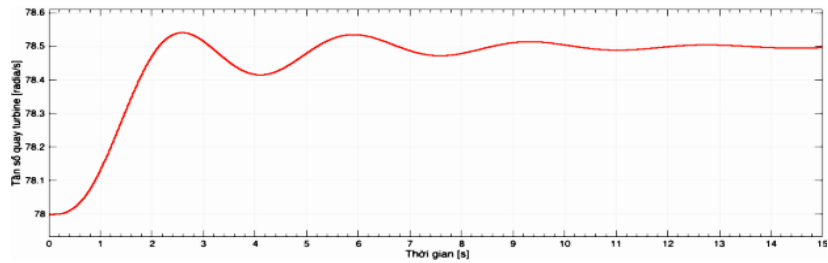
tâm chỉ huy chung.

Trên hình 4 và hình 5 là đồ thị kết quả mô phỏng quá trình ổn định tần số quay một

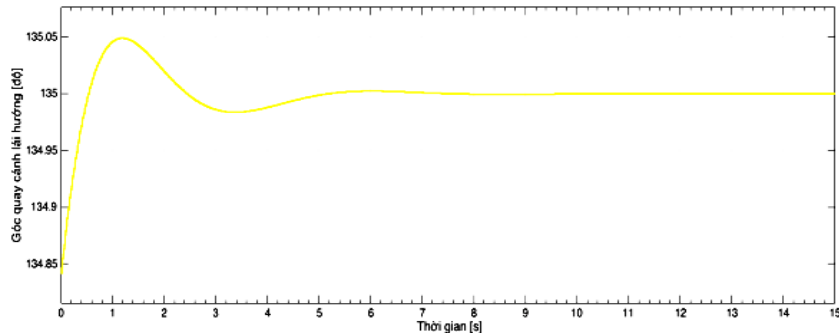
chủng loại tổ máy với luật điều khiển PID, còn trên hình 6 và hình 7 là đồ thị với luật điều khiển backstepping.



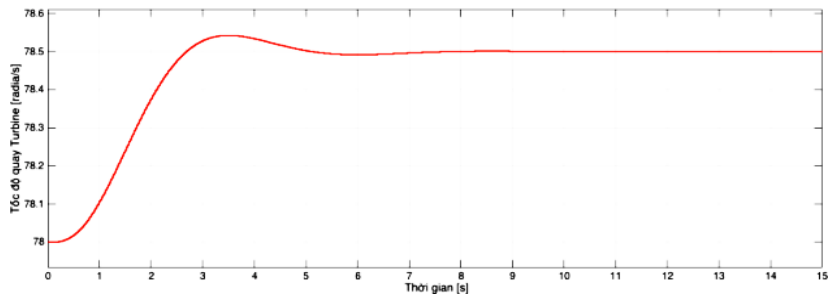
Hình 4. Góc mở cánh lái hướng với luật điều khiển PID



Hình 5. Tần số quay turbine với luật điều khiển PID



Hình 6. Góc mở cánh lái hướng với luật điều khiển backstepping



Hình 7. Tần số quay turbine với luật điều khiển backstepping

### 3. KẾT LUẬN

Qua kết quả mô phỏng cho thấy với luật điều khiển backstepping tần số quay turbine ổn định nhanh chóng về giá trị chuẩn, còn luật điều khiển PID tần số quay turbine cũng ổn định về giá trị chuẩn xong thời gian dao động lớn. Như vậy chất lượng luật điều khiển backstepping tốt hơn. Điều này là hợp lý vì luật điều khiển backstepping có tính thích nghi với sự biến động của các tham số trong mô hình mô tả đối tượng điều khiển. Đối với

các nhà máy thủy điện công suất vừa và nhỏ thì các tham số mô hình thường thay đổi theo sự thay đổi của năng lượng cột nước nơi đặt turbine. Tuy nhiên, để ứng dụng được luật điều khiển backstepping cần phải có phương tiện và giải pháp thường xuyên cập nhật các tham số của mô hình mô tả hệ cánh lái hướng và tổ máy. Áp dụng luật điều khiển backstepping sẽ khai thác hiệu quả năng lượng thủy năng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lã Văn Út, Đặng Quốc Thống, Ngô Văn Dưỡng (2005), *Nhà máy thủy điện*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Doãn Phước (2007), *"Lý thuyết điều khiển nâng cao"*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Nguyễn Đắc Nam (2017), *"Nghiên cứu ứng dụng mạng mờ neuron để xây dựng thuật toán điều khiển hệ điều tốc turbine - máy phát thủy điện"*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [4] Nguyễn Thương Ngô (2001), *"Lý thuyết điều khiển hiện đại. Phần tối ưu và thích nghi"*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [5] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (2003), *"Lý thuyết điều khiển phi tuyến"*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [6] Stengel, R. Optimal Control and Estimation. Dover Publication Inc, New York, 1994.

#### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Đặng Tiến Trung tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ ngành tự động hóa tại Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2008. Tác giả đang là nghiên cứu sinh tại Học viện Kỹ thuật quân sự và là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: ứng dụng các giải pháp điều khiển hiện đại trong hệ thống điện.

