

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**NGUYỄN ĐỨC**

**ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT  
THÍCH NGHI TRONG ĐIỀU KHIỂN KÍCH TỪ  
MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ BA PHA THỦY ĐIỆN**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa**  
**Mã số: 60.52.02.16**

**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Đà Nẵng - Năm 2017**

Công trình được hoàn thành tại  
**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

Người hướng dẫn khoa học: **TS. NGUYỄN HOÀNG MAI**

Phản biện 1: **TS. NGUYỄN LÊ HÒA**

Phản biện 2: **TS. GIÁP QUANG HUY**

Luận văn được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ Kỹ thuật họp tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 06 tháng 5 năm 2017.

*Có thể tìm hiểu luận văn tại:*

- Trung tâm Thông tin - Học liệu, Đại học Đà Nẵng

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Điện năng là nguồn năng lượng không thể thiếu trong phục vụ nhu cầu sản xuất và sinh hoạt của con người. Có nhiều tiêu chí để đánh giá chất lượng điện năng, trong đó một số chỉ tiêu quan trọng hàng đầu như: điện áp, tần số, độ tin cậy cung cấp điện,...

Hệ thống kích từ là bộ phận không thể thiếu đối với tổ máy phát điện đồng bộ 3 pha của nhà máy thủy điện. Do yêu cầu về cung cấp điện và chất lượng điện năng ngày càng cao, nên việc nghiên cứu, xem xét lựa chọn phương pháp điều khiển cho hệ thống kích từ là vấn đề hết sức quan trọng.

### 2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát: Nắm bắt các phương pháp điều khiển hệ thống kích từ tĩnh nguồn áp của NMTĐ, góp phần làm chủ được dây chuyền thiết bị công nghệ, phục vụ tốt hơn công tác vận hành nhà máy.

Mục tiêu cụ thể: Xây dựng bộ điều khiển trượt thích nghi cho hệ thống kích từ tĩnh nguồn áp nhà máy thủy điện; đánh giá ưu điểm và nhược điểm của bộ điều khiển xây dựng với các phương pháp điều khiển khác đã được sử dụng.

### 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là hệ thống kích từ tổ máy phát điện các NMTĐ, có xét đến tổ máy phát điện của Nhà máy thủy điện Srêpôk 3 do Công ty Thủy điện Buôn Kuốp quản lý vận hành (công suất  $2 \times 110\text{MW}$ ), thuộc địa bàn xã Tân Hoà, huyện Buôn Đôn, tỉnh Đắk Lắk.

### 4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với mô phỏng kiểm chứng.

## **5. Bố cục đề tài**

Luận văn được chia thành 4 chương:

Chương 1: Tổng quan về hệ thống kích từ.

Chương 2: Mô hình hóa các phần tử trong hệ thống kích từ.

Chương 3: Lý thuyết điều khiển trượt thích nghi và áp dụng trong điều khiển hệ thống kích từ.

Chương 4: Tính toán bộ điều khiển trượt thích nghi, mô phỏng và đánh giá kết quả..

## **6. Tổng quan tài liệu nghiên cứu**

### **CHƯƠNG 1**

#### **TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG KÍCH TỪ**

##### **1.1. NHỮNG VẤN ĐỀ CƠ BẢN CỦA CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG**

Chất lượng điện năng là các yếu tố liên quan đến tiêu chuẩn kỹ thuật và độ tin cậy của lưới điện. Lưới điện Việt Nam bao gồm các yếu tố dưới đây:

###### **1.2.1. Tần số**

###### **1.2.2. Điện áp**

###### **1.2.3. Cân bằng pha**

###### **1.2.4. Các chỉ số về độ tin cậy cung cấp điện**

###### **1.2.5. Các yếu tố khác**

##### **1.2. TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KÍCH TỪ**

###### **1.2.1. Giới thiệu chung**

Hệ thống kích từ là bộ phận có chức năng tạo ra dòng điện một chiều đưa vào cuộn dây rotor máy phát điện để tạo ra từ trường phần

cảm, chuyển động quay và quét trên cuộn dây phần ứng của stator để tạo ra điện năng cho máy phát điện.

### 1.2.2. Yêu cầu của hệ thống kích từ

Yêu cầu về tính năng của hệ thống kích từ được xem xét dựa trên máy phát và hệ thống điện.

#### a. Về máy phát điện

Cung cấp và điều chỉnh tự động dòng điện kích từ để duy trì điện áp đầu cực máy phát một cách tức thời khi có sự thay đổi của phụ tải.

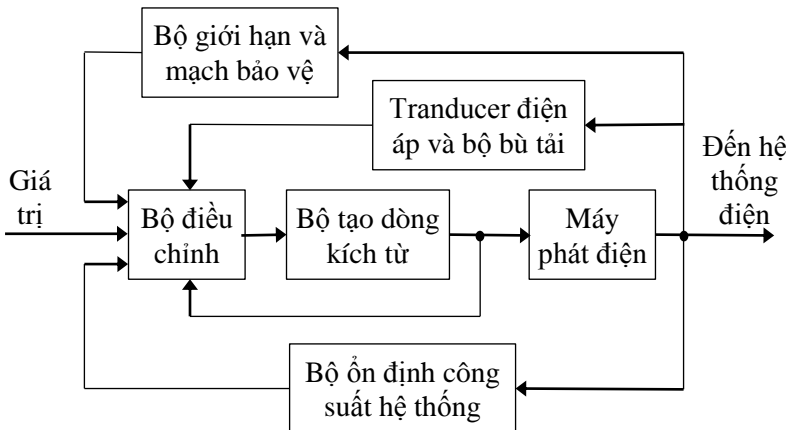
Có khả năng đáp ứng với các nhiễu loạn thoáng qua bằng cách ấn định dòng kích từ phù hợp với khả năng tức thời hoặc ngắn hạn của máy phát.

#### b. Về hệ thống điện

Đóng góp có hiệu quả trong việc điều khiển điện áp và tăng cường ổn định hệ thống.

### 1.2.3. Các phần tử của hệ thống kích từ

Sơ đồ khối chức năng hệ thống kích từ như Hình 1.1.



Hình 1.1. Sơ đồ khối chức năng hệ thống kích từ

#### 1.2.4. Các loại hệ thống kích từ:

Trải qua quá trình phát triển, có 3 loại hệ thống kích từ sau:

- a. *Hệ thống kích từ DC*
- b. *Hệ thống kích từ AC*
- c. *Hệ thống kích từ tĩnh*

### 1.3. CÁC NGHIÊN CỨU VỀ ĐIỀU KHIỂN KÍCH TỪ TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

#### 1.3.1. Các nghiên cứu trong nước

- a. *Sự ảnh hưởng của hệ thống kích từ có PSS đến ổn định hệ thống điện*
- b. *Ứng dụng lý thuyết  $RH_{\infty}$  để nâng cao chất lượng bộ PSS của hệ thống kích từ*

#### 1.3.2. Các nghiên cứu ngoài nước

- a. *Bộ điều khiển mờ (FLC - Fuzzy Logic Controller)*
- b. *Bộ điều khiển PID theo mô hình nội (IMC-PID)*
- c. *Bộ điều khiển di truyền kết hợp PID*

### 1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

## CHƯƠNG 2

### MÔ HÌNH HOÁ CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG KÍCH TỪ

#### 2.1. MÔ HÌNH MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

##### 2.1.1. Giới thiệu chung về máy phát điện

###### a. *Cấu tạo*

Máy phát điện gồm 2 phần: phần tĩnh là stator và phần quay là rotor.

###### b. *Đặc điểm và phân loại*

Dựa vào cấu tạo của rotor, máy phát điện đồng bộ được phân thành 2 loại là máy phát đồng bộ cực ẩn và máy phát đồng bộ cực lồi.

Đối với các máy phát thủy điện, do có tốc độ chậm nên hầu hết các rotor là loại cực lồi.

### c. Nguyên lý làm việc

Khi rotor quay, từ trường rotor quét qua dây quấn phần ứng stator và cảm ứng trong dây quấn stator suất điện động (sđđ) xoay chiều hình sin. Nếu rotor có số đôi cực từ là  $p$ , quay với tốc độ  $n$  thì sđđ cảm ứng trong dây quấn stator có tần số là:

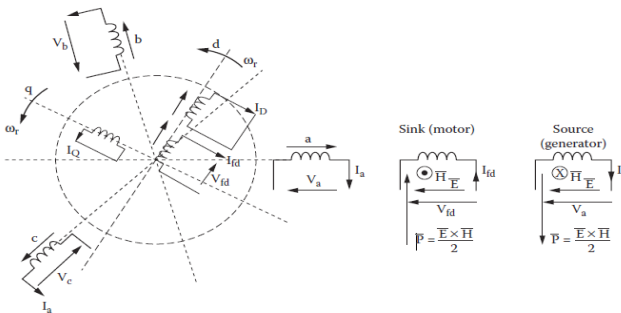
$$f = \frac{pn}{60} \quad (2.1)$$

Trị số hiệu dụng sức điện động cảm ứng trong dây quấn stator:

$$E_t = \pi \sqrt{2} f N_s \phi_f \quad (2.3)$$

### 2.1.2. Các phương trình điện áp viết trong hệ tọa độ abc

Thông thường máy phát đồng bộ được mô tả bởi 3 cuộn dây stator gắn với cuộn dây damper đặt trên hệ tọa độ vuông góc dq (cuộn D,Q) và cuộn kích từ (cuộn f) đặt trên trục d như Hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ bố trí các cuộn dây stator và rotor của máy điện đồng bộ

Phương trình ma trận điện áp/dòng điện trong máy phát điện đồng bộ:

$$\begin{aligned} \left[ I_{ABCfDQ} \right] \left[ R_{ABCfDQ} \right] + \left[ V_{ABCfDQ} \right] &= \frac{-d\Psi_{ABCfDQ}}{dt} \\ &= - \left[ L_{ABCfDQ} \theta_{er} \right] \frac{d}{dt} \left[ I_{ABCfDQ} \right] - \frac{\partial \left[ L_{ABCfDQ} \right]}{\partial \theta_{er}} \frac{d\theta_{er}}{dt} \left[ I_{ABCfDQ} \right] \end{aligned} \quad (2.13)$$

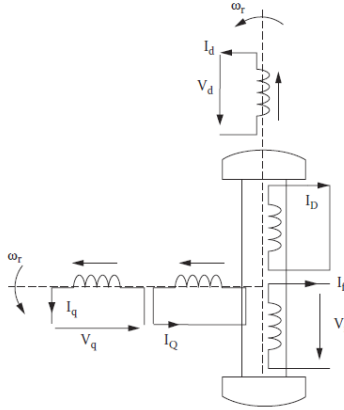
với:

$$V_{ABCfDQ} = +V_A, +V_B, +V_C, -V_f, 0, 0^T; \quad \frac{d\theta_{er}}{dt} = \omega_r \quad (2.14)$$

$$\Psi_{ABCfDQ} = \left[ \Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_f^r, \Psi_D^r, \Psi_Q^r \right]^T \quad (2.15)$$

$$I_{ABCfDQ} = \left[ I_A, I_B, I_C, I_f^r, I_D^r, I_Q^r \right]^T \quad (2.16)$$

### 2.1.3. Các phương trình điện áp viết trong hệ tọa độ dq



Hình 2.2. Mô hình d-q của máy phát điện đồng bộ

Mục đích chính của mô hình dq là triệt tiêu ảnh hưởng của thành phần điện cảm đối với vị trí rotor. Để làm được điều này cần



có hệ tọa độ gắn với trục rotor cho máy phát đồng bộ như Hình 2.2. Phương trình điện áp phía stator được chuyển sang tọa độ d-q:

$$\begin{aligned} I_d R_s + V_d &= -\frac{d\psi_d}{dt} + \omega_r \psi_q \\ I_q R_s + V_q &= -\frac{d\psi_q}{dt} - \omega_r \psi_d \end{aligned} \quad (2.28)$$

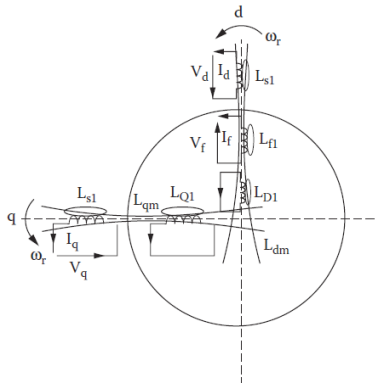
Hệ phương trình phần rotor:

$$\begin{aligned} I_f R_f - V_f &= -\frac{d\psi_f}{dt} \\ i_D R_D &= -\frac{d\psi_D}{dt} \\ i_Q R_Q &= -\frac{d\psi_Q}{dt} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Thành phần phương trình (zero) được xác định như sau:

$$\begin{aligned} I_0 R_s + V_0 &= -L_{sl} \frac{di_0}{dt} = -\frac{d\psi_0}{dt} \\ I_0 &= \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Sử dụng mô hình điện cảm như Hình 2.3



Hình 2.3. Điện cảm trên mô hình d-q

Quan hệ giữa từ thông và dòng điện:

$$\begin{aligned}
 \psi_d &= L_{sl} I_d + L_{dm} (I_d + I_D + I_f) \\
 \psi_q &= L_{sl} I_q + L_{qm} (I_q + I_Q) \\
 \psi_f &= L_{fl} I_q + L_{dm} (I_d + I_D + I_f) \\
 \psi_D &= L_{Dl} I_D + L_{dm} (I_d + I_D + I_f) \\
 \psi_Q &= L_{Ql} I_Q + L_{qm} (I_q + I_Q)
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

trong đó các giá trị dòng điện, điện cảm, điện trở được qui đổi từ rotor sang stator được xác định như sau:

$$\begin{aligned}
 I_f &= I_f^r \cdot K_f \\
 I_D &= I_D^r \cdot K_D \\
 I_Q &= I_Q^r \cdot K_Q
 \end{aligned} \tag{2.34}$$

$$\begin{aligned}
 L_{fl} &= L_{fl}^r \frac{2}{3 K_f^2} \\
 L_{Dl} &= L_{Dl}^r \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{K_D^2}
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

$$\begin{aligned}
 L_{Ql} &= L_{Ql}^r \frac{2}{3} \frac{1}{K_Q^2} \\
 R_f &= R_f^r \frac{2}{3} \frac{1}{K_f^2} \\
 R_D &= R_D^r \frac{2}{3} \frac{1}{K_D^2}
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

$$\begin{aligned}
 R_Q &= R_Q^r \frac{2}{3} \frac{1}{K_Q^2} \\
 V_f &= V_f^r \frac{2}{3} \frac{1}{K_f}
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

với:

$$K_f = \frac{M_f}{L_{dm}} \quad (2.38)$$

$$K_D = \frac{M_D}{L_{dm}} \quad (2.39)$$

$$K_Q = \frac{M_Q}{L_{qm}} \quad (2.40)$$

#### 2.1.4. Mô hình d-q trong hệ tương đối (P.U)

Phương trình (2.33) được viết lại trong hệ đơn vị tương đối như sau:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_d &= \omega_r \psi_q - i_d r_s - v_d; & \psi_d &= l_{sl} i_d + l_{dm} (i_d + i_D + i_f) \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_q &= \omega_r \psi_d - i_q r_s - v_q; & \psi_q &= l_{sl} i_q + l_{qm} (i_q + i_Q) \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_0 &= -r_s i_0 - v_0 & & (2.49) \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_f &= -i_f r_f + v_f; & \psi_f &= l_{fl} i_f + l_{dm} (i_D + i_Q + i_f) \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_D &= -i_D r_D; & \psi_D &= l_{Dl} i_D + l_{dm} (i_d + i_D + i_f) \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_Q &= i_Q r_Q; & \psi_Q &= l_{Ql} i_Q + l_{qm} (i_q + i_Q) \end{aligned}$$

#### 2.1.5. Trạng thái xác lập trên mô hình d-q

$$\bar{V}_{s0} = -r_s \bar{I}_{s0} - j\omega_r \bar{\psi}_{s0} \quad (2.56)$$

#### 2.1.6. Mô hình mạch thay thế tương đương máy phát đồng bộ

#### 2.1.7. Các thông số vận hành của máy phát điện đồng bộ

Từ mạch điện tương đương của máy phát điện, ta có thể dẫn ra mô hình máy phát đồng bộ qua các quan hệ hàm truyền như sau:

$$\begin{aligned}\psi_d \text{ s} &= l_d \text{ s} I_d \text{ s} + g \text{ s} v_{ex} \text{ s} \quad P.U. \\ \psi_q \text{ s} &= l_q \text{ s} I_q \text{ s}\end{aligned}\quad (2.61)$$

với:

$$\begin{aligned}l_d \text{ s} &= \frac{1 + sT_d' \quad 1 + sT_d''}{1 + sT_{d0}' \quad 1 + sT_{d0}''} l_d \quad P.U. \\ l_q \text{ s} &= \frac{1 + sT_q''}{1 + sT_{q0}''} l_q \quad P.U.\end{aligned}\quad (2.62)$$

trong đó:

$$\begin{aligned}T_d' &\approx \frac{1}{\omega_b r_f} \left( l_{fl} + l_{fDl} + \frac{l_{dm} l_{sl}}{l_{dm} + l_{sl}} \right) \text{ [s]} \\ T_d'' &\approx \frac{1}{\omega_b r_D} \left( l_{Dl} + \frac{l_{dm} l_{fDl} l_{fl} + l_{dm} l_{sl} l_{fl} + l_{sl} l_{fDl} l_{fl}}{l_{dm} l_{fl} + l_{fl} l_{sl} + l_{dm} l_{fDl} + l_{sl} l_{fDl} + l_{fDl} l_{fl} + l_{dm} l_{sl}} \right) \text{ [s]} \\ T_{d0}' &\approx \frac{1}{\omega_b r_f} (l_{dm} + l_{fDl} + l_{fl}) \text{ [s]} \\ T_q'' &\approx \frac{1}{\omega_b r_Q} (l_{Ql} + \frac{l_{dm} l_{sl}}{l_{qm} + l_{sl}}) \text{ [s]} \\ T_{q0}'' &\approx \frac{1}{\omega_b r_Q} (l_{Ql} + l_{qm}) \\ T_D &\approx \frac{l_{Dl}}{\omega_b r_D}\end{aligned}\quad (2.63)$$

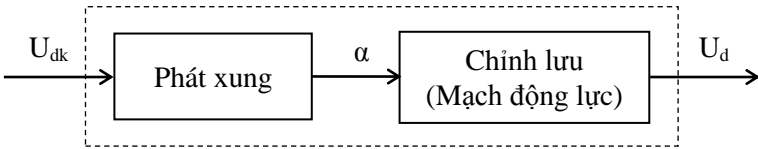
với:

- +  $T'_{d0}, T''_{q0}$ : là các hằng số thời gian hở mạch quá độ trục d, q.
- +  $T''_{d0}, T''_{q0}$ : là các hằng số thời gian hở mạch siêu quá độ trục d, q.
- +  $T''_d, T''_q$ : là các hằng số thời gian ngắn mạch siêu quá độ trục d, q.
- +  $T'_d$ : là hằng số thời gian ngắn mạch quá độ trục d.

+  $T_D$ : là hằng số thời gian tự tản nhiệt của cuộn dây damper.

## 2.2. MÔ HÌNH BỘ TẠO DÒNG KÍCH TỬ

Xét bộ chỉnh lưu bao gồm khối phát xung điều khiển như Hình 2.6.



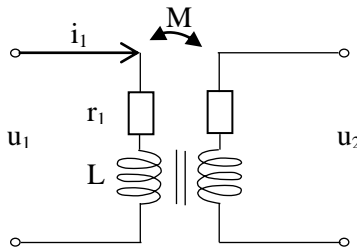
Hình 2.6 Mô hình bộ chỉnh lưu thyristor

Phương trình hàm truyền:

$$G_{cl}(s) = e^{-sT_{cl}} \approx \frac{K_{CL}}{T_{cl}s + 1} \quad (2.70)$$

## 2.3. MÔ HÌNH BỘ ĐO LƯỜNG PHẢN HỒI

Mô hình khối đo lường phản hồi như Hình 2.7



Hình 2.7. Mô hình bộ đo lường phản hồi

Phương trình hàm truyền bộ đo lường:

$$G_{ph}(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{K_{ph}}{sT_{ph} + 1} \quad (2.75)$$

## 2.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

### CHƯƠNG 3

## LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI VÀ ÁP DỤNG TRONG ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KÍCH TỬ

### 3.1. ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT (SMC)

#### 3.1.1. Khái niệm về điều khiển trượt

SMC là phương pháp điều khiển bền vững và hiệu quả đối với các hệ thống phi tuyến và bất định. SMC là phương pháp điều khiển cưỡng bức (hay áp đặt) đặc tính của hệ thống là một đặc tính quá trình định sẵn (mặt trượt). Mọi biến đổi đặc tính quá trình hệ thống trong không gian điều khiển đều được các bộ quan sát ghi nhận và bộ điều khiển tính toán thông số để thực hiện đưa chuyển động đặc tính hệ thống về lại đặc tính trượt.

#### 3.1.2. Điều kiện trượt

$$Q(s) = s\dot{s} < 0 \quad (3.1)$$

#### 3.1.3. Vấn đề xây dựng mặt trượt

#### 3.1.4. Ổn định của điều khiển trượt

### 3.1. ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MẶT TRƯỢT (SMAC)

Xét một hệ mode trượt SISO dạng:

$$s = \dot{e} + ce = 0 \quad (3.39)$$

Thay (3.29) vào (3.1) với giả thiết mặt trượt biến đổi liên tục:

$$s(\ddot{e} + c\dot{e} + ce) = s(\ddot{e} + c\dot{e}) + s\dot{c}e < 0 \quad (3.41)$$

Nếu độ dốc  $c$  không đổi thì chỉ tồn tại phần đầu trong vé trái của (3.32). Như vậy để hệ ổn định tiệm cận thì :

$$s(\ddot{e} + c\dot{e}) < 0 \quad (3.42)$$

Phương pháp biến đổi mặt trượt là dùng mặt trượt  $s(x)$  có độ dốc biến đổi theo sai lệch. Để thực hiện quá trình trượt, với cấu trúc bậc nhất:

$$s(x) = \dot{x} + cx = 0 \quad (3.43)$$

Thì các điều kiện ràng buộc sẽ là:

- $x$  phải là biến trạng thái trong hệ
- $c > 0$  trong hệ SISO hoặc phải chứa các phần tử dương trên đường chéo trong hệ MIMO.

Nếu đặt hệ thống trong dạng mô tả tổng quát bậc không hạn chế, ta có thể xây dựng mặt trượt bậc hai dạng:

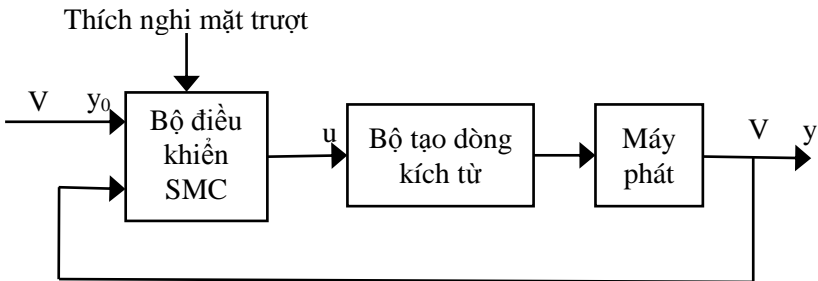
$$s(x) = \ddot{x} + \alpha\dot{x} + cx = 0 \quad (3.44)$$

Lúc này các vector tham số điều khiển được là  $\alpha$  và  $c$ . Nếu các vector này được điều khiển sao cho biến trạng thái  $x$  ổn định tiệm cận và hạn chế trong lớp biên thì hiện tượng rung sẽ suy giảm.

### 3.2. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI

Đối tượng là hệ thống kích từ trong nhà máy thủy điện, ở trong luận văn này giả thuyết các nhiễu tác động vào đối tượng ta không quan sát được. Do vậy, những ảnh hưởng của nhiễu đều thể hiện qua sai lệch  $e$  giữa tín hiệu đặt và tín hiệu đầu ra.

Cấu trúc bộ điều khiển trượt thích nghi như Hình 3.5



Hình 3.5. Cấu hình bộ điều khiển trượt thích nghi

### 3.3. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

## CHƯƠNG 4

### TÍNH TOÁN BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI, MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

#### 4.1. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI

##### 4.1.1. Tính toán các thông số của mô hình

###### a. Thông số máy phát

Theo mô hình máy phát như trình bày ở Chương 2, nếu bỏ qua điện cảm tản giữa dây quấn và trục d,  $l_{fDl}=0$ . Thay vào các phương trình (2.63) và (2.64) ta có:

$$T_d' \approx \frac{1}{\omega_b r_f} \left( l_{fl} + \frac{l_{dm} l_{sl}}{l_{dm} + l_{sl}} \right); s \quad (4.1)$$

$$T_d'' \approx \frac{1}{\omega_b r_D} \left( l_{Dl} + \frac{l_{dm} l_{sl} l_{fl}}{l_{dm} l_{fl} + l_{fl} l_{sl} + l_{dm} l_{sl}} \right); s \quad (4.2)$$

$$T_{d0}' \approx \frac{1}{\omega_b r_f} l_{dm} + l_{fl}; s \quad (4.3)$$

$$T_{d0}'' \approx \frac{1}{\omega_b r_D} \left( l_{Dl} + \frac{l_{fl} l_{dm}}{l_{fl} + l_{dm}} \right); s \quad (4.4)$$

$$T_q'' \approx \frac{1}{\omega_b r_Q} \left( l_{Ql} + \frac{l_{dm} l_{sl}}{l_{qm} + l_{sl}} \right); s \quad (4.5)$$

$$T_{q0}'' \approx \frac{1}{\omega_b r_Q} l_{Ql} + l_{qm}; s \quad (4.6)$$

$$T_D \approx \frac{l_{Dl}}{\omega_b r_D}; s \quad (4.7)$$

$$l_d' \approx l_d \frac{T_d'}{T_{d0}'} \quad (4.8)$$



$$l_d'' \approx l_d' \frac{T_d''}{T_{d0}} \quad (4.9)$$

Sử dụng bảng thông số tổ máy phát điện của NMTĐ Srêpôk 3. Xét trong hệ đơn vị tương đối, ta tính toán được các thông số sau:

$$\begin{aligned} l_d &= X_d = 0.909 \text{ pu} \\ l_d' &= X_d' = 0.36 \text{ pu} \\ l_d'' &= X_d'' = 0.26 \text{ pu} \\ l_{sl} &= X_{sl} = 0.23 \text{ pu} \\ l_{dm} &= l_d - l_{sl} = 0.909 - 0.23 = 0.679 \text{ pu} \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} T_{d0}' &= \frac{l_d'}{l_d} T_d' = \frac{0.909}{0.36} 2.161 = 5.456525 \text{ [s]} \\ T_{d0}'' &= \frac{l_d'}{l_d''} T_d'' = \frac{0.36}{0.26} 0.068 = 0.094154 \text{ [s]} \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$\begin{aligned} r_f &= \frac{0.679 - 0.1718}{(5.456525 - 2.161) \times 2\pi \times 50} = 0.00049 \text{ [pu]} \\ l_{fl} &= 2.161 \times 2\pi \times 50 \times 0.00049 - 0.1718 = 0.160783 \text{ [pu]} \\ l_{Dl} &= \frac{0.094154 \times 0.083056 - 0.068 \times 0.13}{0.068 - 0.094154} = 0.039 \text{ [pu]} \\ r_D &= \frac{0.039 + 0.083056}{0.94154 \times (2\pi \times 50)} = 0.004126 \text{ [pu]} \\ T_D &= \frac{0.094154 \times (0.094154 \times 0.083056 - 0.068 \times 0.13)}{(0.068 - 0.094154)(0.039 + 0.083056)} \\ &= 0.030085 \text{ [s]} \end{aligned} \quad (4.22)$$

### **b. Thông số bộ tạo dòng kích từ**

Vì điện áp điều khiển thông thường khoảng 10V nên từ (2.78):

$$K_{CL} = \frac{240}{10} = 24 \quad (4.23)$$

Đối với chỉnh lưu cầu 3 pha thì  $m=6$  và  $f=50\text{Hz}$  nên từ (2.72):

$$T_{cl} = \frac{1}{6.50} = 0.0033 \text{ [s]} \quad (4.24)$$

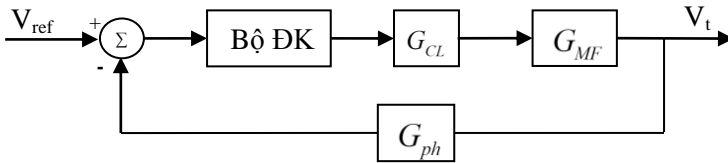
### c. Thông số bộ đo lường phản hồi

Đối với các thiết bị đo lường, thông thường có đáp ứng với thời gian trễ rất bé. Trong đơn vị tương đối, ở công thức (2.79) ta chọn:

$$K_{ph} = 1, T_{ph} = 0.001 \text{ [s]} \quad (4.25)$$

### 4.1.2. Tổng hợp hàm truyền hệ thống kích từ:

Để thiết kế bộ điều khiển ta sử dụng mô hình tổng hợp đã được xây dựng ở Chương 2 như Hình 4.1.



Hình 4.1. Sơ đồ hàm truyền hệ thống kích từ máy phát

Hàm truyền vòng lặp kín mô tả đối tượng khi chưa có bộ điều khiển:

$$G_c(s) = \frac{K_{CL}(T_D s + 1)(T_{ph} s + 1)}{K_{CL} K_{ph} (T_D s + 1) + (T_{cl} s + 1)(T_{d0}' s + 1)(T_{d0}'' s + 1)(T_{ph} s + 1)} \quad (4.27)$$

$$G_k(s) = \frac{a_1 s^2 + a_2 s + a_3}{b_1 s^4 + b_2 s^3 + b_3 s^2 + b_4 s + b_5} \quad (4.33)$$

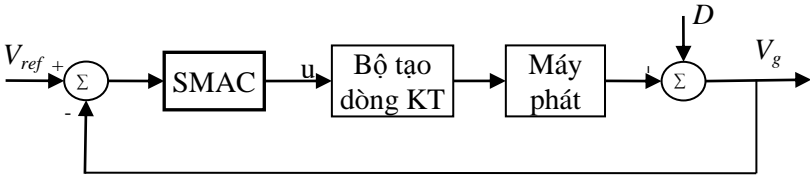
$$= \frac{0.000722s^2 + 0.746032s + 24}{0.0000017125s^4 + 0.0034614s^3 + 0.51962s^2 + 6.277044s + 25}$$

Vì các hệ số  $a_1$  rất bé so với  $a_2$  và  $a_3$ ;  $b_1, b_2$  rất bé so với  $b_3, b_4$  và  $b_5$  nên có thể bỏ qua. Do đó (4.33) có thể viết lại như sau:

$$G_k(s) = \frac{a_2 s + a_3}{b_3 s^2 + b_4 s + b_5} \quad (4.34)$$

$$= \frac{0.746032s + 24}{0.51962s^2 + 6.277044s + 25}$$

Từ sơ đồ hàm truyền hệ thống kích từ mô tả ở Hình 4.1 và bộ điều khiển trượt mô tả ở Chương 3. Nếu xem  $D$  là nhiễu hoặc ảnh hưởng của phụ tải đến điện áp ngõ ra máy phát, ta có sơ đồ hàm truyền bộ điều khiển trượt bộ hệ thống kích từ máy phát như Hình



4.2.

Hình 4.2. Sơ đồ hệ thống kích từ sử dụng bộ điều khiển trượt thích nghi

#### 4.1.3. Tính toán $u$ điều khiển của bộ điều khiển trượt

Mối quan hệ giữa tín hiệu đầu ra và tín hiệu điều khiển như sau:

$$G_k(s) = \frac{a_2 s + a_3}{b_3 s^2 + b_4 s + b_5} = \frac{y}{u} \quad (4.35)$$

Chọn mặt trượt bậc 1 và căn cứ điều kiện hút mặt trượt ta có phương trình tín hiệu điều khiển  $u$  như sau:

$$u = \frac{1}{a_3} (-b_3 \ddot{e} - b_4 \dot{e} + b_5 y_0 - b_5 e - a_2 \dot{u}) \quad (4.43)$$

Xây dựng luật thích nghi mặt trượt theo sai lệch  $e$ , theo [2] ta chọn hàm hệ số mặt trượt  $\lambda(t) = \beta |e(t)|$ , mặt trượt có dạng phi tuyến, khi sai lệch giảm thì độ dốc mặt trượt giảm theo, vì vậy biên độ rung giảm.

Như vậy điện áp đầu ra của bộ điều khiển trượt thích nghi (độ dốc mặt trượt thích nghi theo sai lệch  $e$  có dạng như sau:

$$u = \frac{1}{a_3} (b_3 K \operatorname{sgn}(S) + b_5 y_0 - b_5 e - b_4 - b_3 \beta e(t)) \dot{e} - a_2 \dot{u} \quad (4.53)$$

#### 4.1.4. Tính toán bộ điều khiển PID

Để đánh giá so sánh đáp ứng giữa bộ điều khiển trượt với bộ điều khiển PID ta xây dựng bộ điều khiển PID cho đối tượng có hàm truyền đạt:

$$G_k(s) = \frac{0.746032s + 24}{0.51962s^2 + 6.277044s + 25} = \frac{y}{u} \quad (4.54)$$

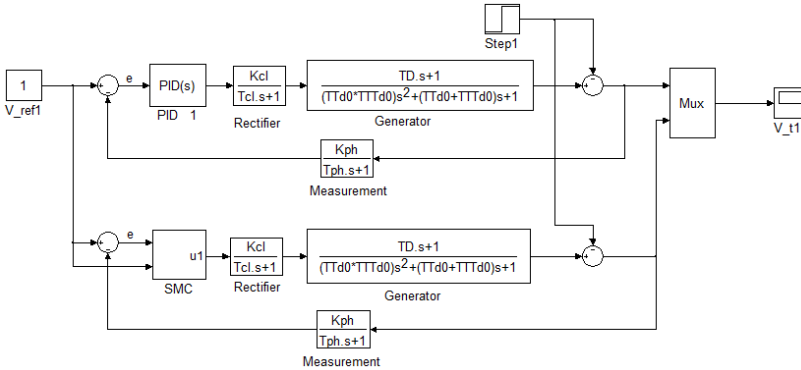
Để tối ưu hóa thông số của bộ PID ta sử dụng chức năng Tuning của khối PID Controller trong Matlab Simulink, sau khi tuning ta có hệ số:

$$K_p = 0.0658, K_I = 0.0218, K_D = -0.0474. \quad (4.55)$$

## 4.2. MÔ PHỎNG

### 4.2.1. Khi chưa thích nghi mặt trượt (SMC)

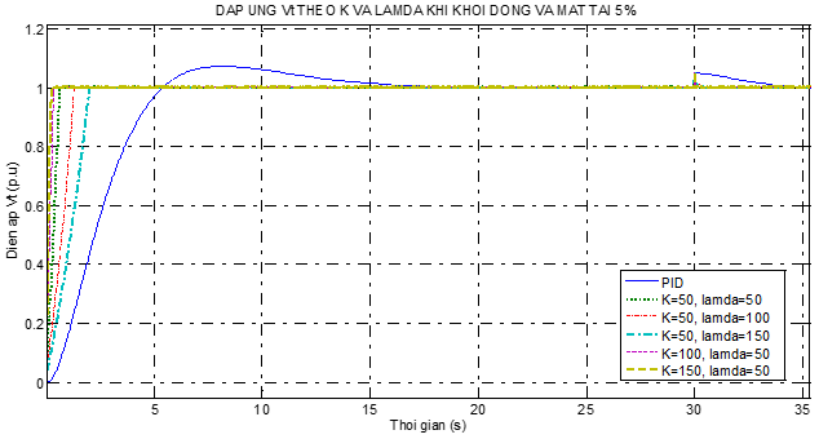
Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển SMC và PID như Hình 4.3.



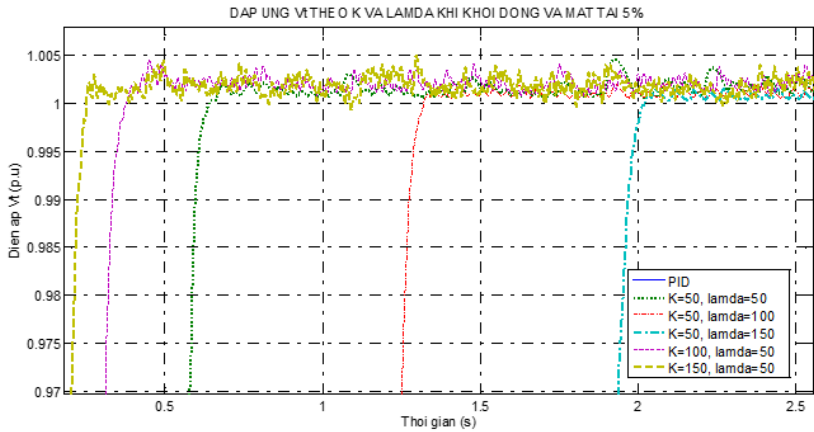
Hình 4.3. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển SMC và PID

Thay đổi các tham số K và  $\lambda$  ta có kết quả mô phỏng như Hình

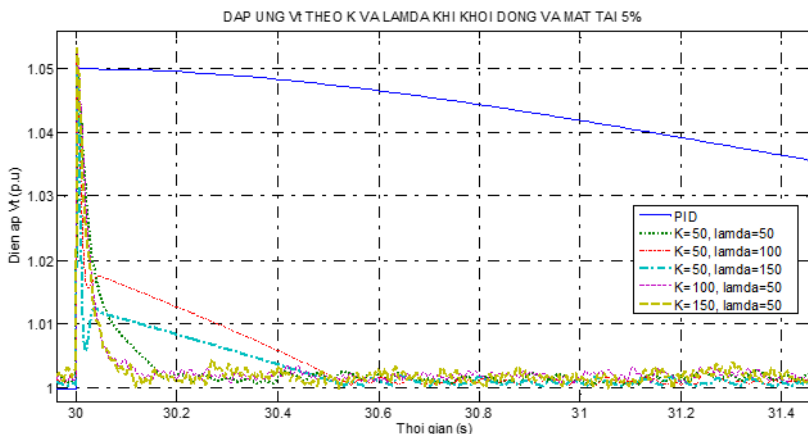
4.4.



a) Quá trình quá độ và xác lập khi khởi động và mất tải 5%



b) Quá trình xác lập khi khởi động



c) Quá trình xác lập khi mất tải 5%

Hình 4.4. Đáp ứng ngõ ra bộ PID và SMC

khi thay đổi tham số bộ SMC.

Bảng tổng hợp đáp ứng ngõ ra như Bảng 4.2.

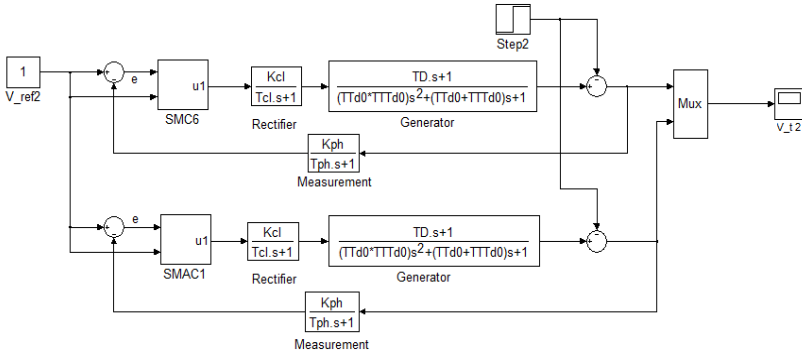
Bảng 4.2 Bảng tổng hợp đáp ứng ngõ ra bộ PID và SMC

khi thay đổi thông số bộ điều khiển trượt

Bộ điều khiển	$\lambda$	K	Khởi động			Giảm tải 5%		
			Sai số xác lập (pu)	Thời gian xác lập (s)	Độ quá điều chỉnh (pu)	Sai số xác lập (pu)	Thời gian xác lập (s)	Độ quá điều chỉnh (pu)
PID	-	-	0	21	0.073	0.0000	4.50	0.05
SMC	50	50	0.0025	0.62	0	0.0025	0.33	0
	100	50	0.0013	1.28	0	0.0013	0.55	0
	150	50	0.0010	1.98	0	0.0010	0.55	0
	50	100	0.0035	0.36	0	0.0035	0.15	0
	50	150	0.0040	0.24	0	0.0040	0.12	0

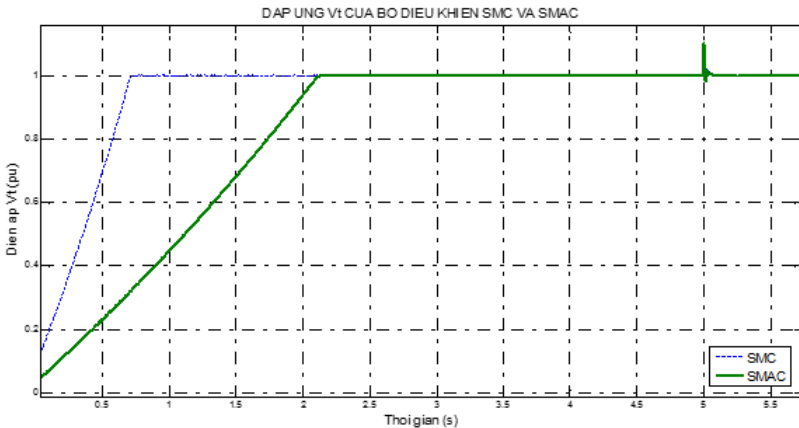
### 4.2.2. Khi thích nghi mặt trượt (SMAC)

Sơ đồ mô phỏng như Hình 4.5.

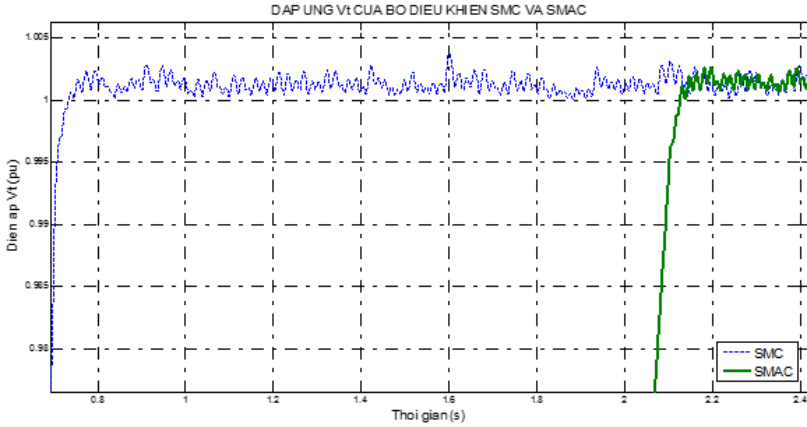


Hình 4.5. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển SMC và SMAC

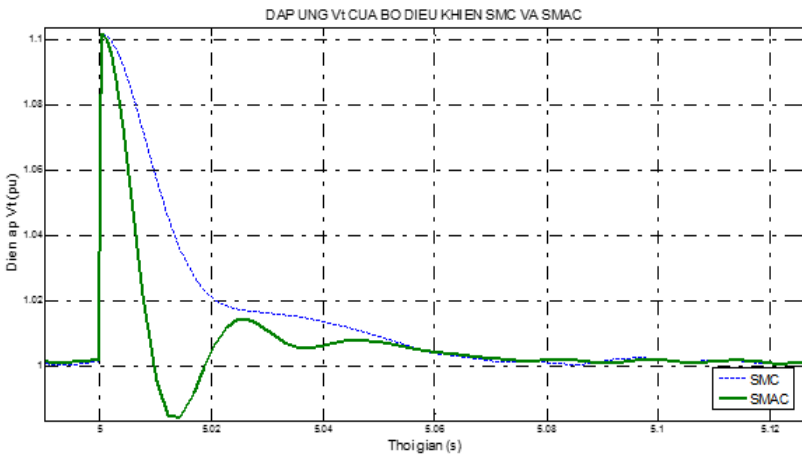
Chọn hàm hệ số mặt trượt  $\lambda(t) = \beta |e(t)| = \lambda_0 \cdot \exp(e)$ . Chọn  $K=100$ ,  $\lambda = \lambda_0 = 100$  ta có đáp ứng điều khiển trượt và trượt thích nghi theo  $\lambda$  như Hình 4.6.



a) Quá trình quá độ và xác lập khi khởi động và mất tải 10%



b) Quá trình xác lập khi khởi động



c) Quá trình xác lập khi mất tải

Hình 4.6. Đáp ứng bộ điều khiển SMC và SMAC

### 4.3. PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Sử dụng MATLAB SIMULINK mô phỏng ta có kết quả đáp ứng của bộ điều khiển PID và SMAC như Bảng 4.3.



*Bảng 4.3. So sánh các đáp ứng giữa bộ điều khiển PID và SMAC*

Chỉ số	Khởi động		Tải -5%		Tải -10%		Tải +10%	
	PID	SMAC	PID	SMAC	PID	SMAC	PID	SMAC
Sai số XL (pu)	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
Thời gian XL (s)	22	0.7	20	0.1	20	0.08	20	0.04
Độ quá đc (pu)	0.072	0.003	0.004	0.003	0.007	0.003	0	0.003
Tích phân SLXL	1.663	0.217	1.667	0.217	1.68	0.217	1.68	0.217
Tích phân SLQĐ	2.034	0.043	2.164	0.044	2.553	0.046	2.554	0.045

Từ Bảng 4.3 ta thấy: các chỉ số của bộ điều khiển SMAC trong các trường hợp khởi động và mang tải nhỏ hơn bộ điều khiển SMC.

Tóm lại, chất lượng bộ điều khiển SMAC tốt hơn bộ điều khiển SMC và chất lượng bộ điều khiển SMC tốt hơn bộ điều khiển PID.

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **1. KẾT LUẬN**

#### **Những mặt đạt được:**

Về tổng quan luận văn đã hoàn thành trong việc xây dựng mô hình hoá mô tả đối tượng bộ AVR hệ thống kích từ. Xây dựng được bộ điều khiển trượt thích nghi để điều khiển điện áp trong trường hợp tổ máy phát điện cấp cho tải độc lập. Kết quả đáp ứng tốc độ đầu ra khi sử dụng bộ điều khiển SMAC tốt hơn so với bộ điều khiển PID. Bộ điều khiển SMAC thích nghi tốt khi có sự thay đổi tham số mô hình.

#### **Hạn chế của đề tài:**

Mặc dù đã có nhiều cố gắng trong nghiên cứu tìm hiểu nhưng hạn chế về mặt thời gian cũng như kiến thức về học thuật, đề tài này vẫn còn những thiếu sót cần được khắc phục bổ sung như sau:

- Phần mô hình máy phát sử dụng mô hình lý tưởng để tính toán thiết kế bộ điều khiển. Chưa xây dựng được hệ phương trình phi tuyến mô tả đối tượng để từ đó thiết kế bộ điều khiển;
- Đề tài chưa xây dựng bộ PSS để hoàn chỉnh các chức năng của hệ thống kích từ;
- Đề tài chưa xây dựng được mô hình, mô phỏng cho trường hợp nhiều tổ máy phát được nối lưới.

### **2. KIẾN NGHỊ**

Với những hạn chế nêu trên tác giả mong muốn có điều kiện sẽ nghiên cứu phát triển, hoàn thiện đề tài này theo các hướng sau:

- Xây dựng hệ phương trình phi tuyến mô tả đối tượng có xét đến trường hợp nối lưới, thiết kế bộ điều khiển dựa trên hệ phương trình phi tuyến;
- Bổ sung bộ điều khiển PSS của hệ thống kích từ.

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
BAN ĐÀO TẠO

~~LUẬN VĂN ĐÃ ĐƯỢC KIỂM TRA~~