

**LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA**

Phân tích động học ngược cho tay máy robot hàn 6 bậc tự do	5	Dương Văn Toàn Ninh Nguyễn Tấn Tại Nguyễn Văn Cường Nguyễn Trọng Các
Điều khiển bền vững thích nghi trên cơ sở mờ Nơron điều khiển cho tay máy robot	13	Nguyễn Phương Tỵ Vũ Thị Yến Nguyễn Thị Thảo Nguyễn Thị Phương
Điều khiển truyền động động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp tựa theo vectơ từ thông rôto (foc)	20	Phạm Văn Tuấn Hoàng Thị Phượng Đặng Văn Tuệ

**LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC**

Nghiên cứu đặc tính tốc độ của động cơ diesel hiện đại	28	Vũ Thành Trung Ngô Thị Mỹ Bình
Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ đến khả năng hồi phục mòn của phụ gia nano $TiO_2$ trong dầu bôi trơn	34	Nguyễn Đình Cường
Nghiên cứu sự ảnh hưởng của phương pháp lấy mẫu đến chất lượng của phương pháp Monte Carlo	40	Đào Đức Thụ
Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ miết ép đến ứng suất dư của chi tiết máy	45	Nguyễn Văn Hình

**NGÀNH TOÁN HỌC**

Điều kiện đủ tối ưu cho bài toán điều khiển tối ưu của hệ phương trình g-Navier-Stokes hai chiều	51	Nguyễn Việt Tuấn Lưu Trọng Đại Lê Thị Liễu
--	----	--

**NGÀNH KINH TẾ**

Giải pháp nâng cao hiệu quả thực thi các công cụ chính sách tiền tệ trong giai đoạn hiện nay	58	Nguyễn Thị Quỳnh Vũ Thị Lý
Nguồn nhân lực Việt Nam - góc nhìn từ thực trạng giáo dục phổ thông	67	Phạm Thị Hồng Hoa Nguyễn Thị Tình

**TẠP CHÍ**  
**NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**  
**ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

**TRONG SỐ NÀY**  
**SỐ 1(76) 2022**

**NGÀNH KINH TẾ**

- Tác động của đại dịch COVID-19 đến hoạt động sản xuất kinh doanh và báo cáo tài chính của doanh nghiệp 76 Đinh Thị Kim Thiết
- Các nhân tố ảnh hưởng đến thu nhập của các hộ trồng chè: Nghiên cứu trường hợp tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam 84 Trần Thị Quý Chinh  
Nguyễn Thị Ngọc Mai

**NGÀNH GIÁO DỤC HỌC**

- Áp dụng các hoạt động ngoại khóa trong dạy học Tiếng Anh nhằm nâng cao kỹ năng giao tiếp cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 92 Vũ Thị Lương  
Trịnh Thị Chuyên

**LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC**

- Giảng dạy Triết học Mác - Lênin trong bối cảnh Cách mạng công nghiệp 4.0 100 Nguyễn Thị Nhan
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về xây dựng Đảng và sự vận dụng của Đảng bộ thành phố Chí Linh hiện nay 106 Phạm Xuân Đức
- Xây dựng và phát triển con người theo tinh thần Đại hội XIII của Đảng - liên hệ trong giảng dạy học phần Triết học Mác - Lênin tại Trường Đại học Sao Đỏ 113 Đỗ Thị Thùy  
Đặng Thị Dung
- Tác động của chính sách an sinh xã hội đến lao động và việc làm trong đại dịch COVID-19 tại Việt Nam 120 Nguyễn Minh Tuấn  
Phạm Xuân Đức

**TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION**

- |   |    |   |
|---|----|---|
| Inverse kinematics analysis of six degrees of freedom of a welding robot arm        | 5  | Duong Van Toan Ninh<br>Nguyen Tan Tai<br>Nguyen Van Cuong<br>Nguyen Trong Cac |
| Adaptive robust control based on fuzzy neural network control robot manipulator     | 13 | Nguyen Phuong Ty<br>Vu Thi Yen<br>Nguyen Thi Thao<br>Nguyen Thi Phuong        |
| The controlling methods for three-phase asynchronous mô tơ models based on foc roto | 20 | Pham Van Tuan<br>Hoang Thi Phuong<br>Dang Van Tue                             |

**TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING**

- |   |    |                                   |
|---|----|-----------------------------------|
| Research on performance characteristics of modern diesel engine                                   | 28 | Vu Thanh Trung<br>Ngo Thi My Binh |
| Research influence of speed on self-repair of TiO <sub>2</sub> nanoparticles as lubricating       | 34 | Nguyen Dinh Cuong                 |
| Study on the effects of sampling method on the quality of Monte Carlo method                      | 40 | Dao Duc Thu                       |
| Research on the influence of mode oscillating smoothing on the residual stresses of machine parts | 45 | Nguyen Van Hinh                   |

**TITLE FOR MATHEMATICS**

- |  |    |  |
|--|----|--|
| Sufficient optimality conditions for the optimal control problem of 2D g-Navier-Stokes equations | 51 | Nguyen Viet Tuan<br>Luu Trong Dai<br>Le Thi Lieu |
|--|----|--|

**TITLE FOR ECONOMICS**

- |   |    |                                      |
|---|----|--------------------------------------|
| Solutions to improve the effectiveness of monetary policy tools in the current period | 58 | Nguyen Thi Quynh<br>Vu Thi Ly        |
| Vietnam's human resources in terms of achievement in general education                | 67 | Pham Thi Hong Hoa<br>Nguyen Thi Tinh |

**TITLE FOR ECONOMICS**

- |   |    |   |
|---|----|---|
| The impact of the COVID-19 pandemic on enterprises's business activities and presentation of financial statements | 76 | Dinh Thi Kim Thiet                        |
| Factors Affecting to Tea-growing Household's Income: A Case Study in Thai Nguyen Province                         | 84 | Tran Thi Quy Chinh<br>Nguyen Thi Ngoc Mai |

**TITLE FOR STUDY OF EDUCATION**

- |   |    |                                  |
|---|----|----------------------------------|
| Applying extracurricular activities in teaching English to improve communication ability for Sao Do University's students | 92 | Vu Thi Luong<br>Trinh Thi Chuyen |
|---|----|----------------------------------|

**TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE**

- |  |     |                                   |
|--|-----|-----------------------------------|
| Teaching Marxist-Leninist Philosophy in the context of Industrial Revolution 4.0   | 100 | Nguyen Thi Nhan                   |
| Ho Chi Minh's thought on Party building and the application of the Party Committee of Chi Linh City today  | 106 | Pham Xuan Duc                     |
| Teaching the Marxist-Leninist Philosophy module at Sao Do University on human construction and development in the light of the XIII Party Congress | 113 | Do Thi Thuy<br>Dang Thi Dung      |
| Impacts of social security policies on labor and employment during the COVID-19 pandemic in Vietnam  | 120 | Nguyen Minh Tuan<br>Pham Xuan Duc |

# Điều khiển truyền động động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp tựa theo vectơ từ thông rôto (Foc)

## The controlling transmission system for three-phase asynchronous motor models based on rotor field oriented control (foc)

Phạm Văn Tuấn, Hoàng Thị Phượng, Đặng Văn Tuệ

Email: ptuandhsd@gmail.com

Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 27/7/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2022

### Tóm tắt

Điều khiển truyền động động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp điều khiển tựa từ thông rôto (Field-Oriented Control - FOC) đang thu hút sự quan tâm nghiên cứu ở trong nước và quốc tế.

Bài báo này đề xuất phương pháp điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp điều khiển tựa từ thông rôto sử dụng tuyến tính hóa bằng phản hồi trạng thái và đạo hàm của biến trạng thái. Kết quả mô phỏng cho một hệ lò quay nung clinker cho thấy hệ thống đáp ứng tốt với mạch vòng từ thông và mạch vòng tốc độ (hoặc mạch vòng vị trí), không phụ thuộc vào nhiễu mômen phụ tải và tham số thay đổi như mômen quán tính. Qua đó cho thấy với một hệ cơ học kích cỡ lớn, mômen quán tính rất lớn, thay đổi theo thời gian đồng thời mômen tải cũng có dạng đập mạch thì cấu trúc điều khiển này là phù hợp.

*Từ khóa:* Điều khiển tựa từ thông rôto; động cơ không đồng bộ ba pha; điều khiển tốc độ động cơ; lò nung clinker.

### Astract

This paper analyzes the controlling methods for three-phase asynchronous motor models based on foc rotor flux. The method, basing on linearization by feedback states and derivative of the state variables, responded very well to magnetic flux and speed loops (or position loops), resistant to load torque disturbance and parameter changes such as inertial momens. The simulation results for a large-scale mechanical system with great momen of inertia changing over time have shown that this control structure is suitable.

*Keyword:* Field-Oriented Control - foc; three-phase asynchronous motor; speed control motor; clinker kiln.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, các phương pháp điều khiển cho động cơ ba pha liên tục được phát triển, động cơ xoay chiều gần như đã thay thế hoàn toàn các hệ thống động cơ một chiều trước kia [1], [2]. Phương pháp điều khiển tần số theo luật v/f không đổi là phương pháp được áp dụng đầu tiên cho các động cơ ba pha [2], [3]. Tuy nhiên, phương pháp sớm bộc lộ nhược điểm là chất lượng điều khiển thấp, khả năng đáp ứng theo tải chậm, hiệu suất kém. Thực tế đòi hỏi cần có các hệ thống có thể đáp ứng yêu cầu truyền động chất lượng cao để thay thế truyền động một chiều. Chính vì vậy, các phương pháp điều khiển mới đã được nghiên cứu và áp dụng trong thực tế, đáp ứng yêu cầu trên một cách rất hiệu quả. Các phương pháp này

chia thành hai nhóm chính là: Điều khiển vectơ và điều khiển trực tiếp [3], [4]. Những nghiên cứu gần đây đã đưa ra nguyên lý điều khiển định hướng theo vectơ từ thông dựa trên phương pháp phân tích phi tuyến được sử dụng trong điều khiển các hệ thống phi tuyến hoặc bộ điều khiển dòng đảm bảo điều kiện tác động nhanh, chính xác hệ thống điều khiển FOC ứng dụng cho quạt gió... [5], [6]. Nhưng những nghiên cứu mô phỏng ứng dụng điều khiển FOC cho tải lò quay Clinker trong các dây chuyền sản xuất xi măng vẫn còn rất hạn chế.

### 2. KHÁI NIỆM ĐIỀU KHIỂN VECTƠ ĐỊNH HƯỚNG THEO TỪ THÔNG RÔTO FOC

Phương pháp điều khiển vectơ tựa từ thông rôto dựa trên mô hình động cơ trong hệ trục tọa độ quay đồng bộ, trong đó hệ trục được gắn vào vectơ từ thông rôto, có thể làm được như vậy là do vectơ không gian của từ thông rôto quay với tốc độ đồng bộ, vectơ từ thông

Người phản biện: 1. PGS. TSKH. Trần Hoài Linh

2. PGS. TS. Nguyễn Tùng Lâm

rôto nằm ở rôto nên sự biến thiên vị trí góc của nó phụ thuộc vào tốc độ góc của rôto, hơn nữa vectơ từ thông rôto chịu ảnh hưởng của dòng điện mạch rôto, trong đó hằng số thời gian điện từ của mạch rôto ( $L_r/R_r$ ) nói chung là khá lớn hơn hằng số thời gian điện từ của mạch stato ( $L_s/R_s$ ), những đặc trưng này cho thấy rằng vectơ từ thông rôto biến thiên (cả về biên độ và vị trí pha) chậm hơn các vectơ không gian còn lại. Đó là lý do tại sao lại "tựa" vào từ thông rôto [3].

Bằng việc mô tả các thành phần của động cơ không đồng bộ ba pha trên hệ tọa độ d-q với trục d trùng với vectơ từ thông rôto, vectơ dòng stato  $i_s$  được chia thành hai thành phần:

- Thành phần dọc trục của dòng điện stato  $i_{sd}$  trùng phương với vectơ từ thông nên ta gọi nó là "thành phần dòng điện sinh ra từ thông rôto" khi cần giữ từ thông rôto không đổi, ta chỉ cần điều chỉnh sao cho đầu mút vectơ dòng điện stato di chuyển trên một đoạn quỹ đạo vuông góc với trục od.

- Nếu giữ được biên độ vectơ từ thông rôto là không đổi và luôn tựa vào trục [od] (bằng các bộ điều chỉnh tương ứng) thì mômen điện từ của động cơ sẽ tỷ lệ thuận với thành phần dòng điện stato chiếu lên trục [oq], và do đó  $i_{sq}$  được gọi là "thành phần dòng điện sinh ra mômen".

### 3. MÔ HÌNH ĐỘNG CƠ TRONG KHÔNG GIAN VECTƠ

Phương trình trạng thái trên hệ tọa độ tựa theo từ thông rôto dq [1, 3]:

Ta có mô hình toán học mô tả động cơ không đồng bộ trên hệ tọa độ  $\alpha, \beta$ .

$$\begin{cases} \left( p + \frac{1}{T_\sigma} \right) i_{s\alpha} = \frac{1-\sigma}{\sigma T_r L_m} \omega \Psi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \Psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\alpha} \\ \left( p + \frac{1}{T_\sigma} \right) i_{s\beta} = -\frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r} \Psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\beta} \\ (1 + T_r p) \Psi_{r\alpha} = L_m i_{s\alpha} - T_r \omega \Psi_{r\beta} \\ (1 + T_r p) \Psi_{r\beta} = L_m i_{s\beta} - T_r \omega \Psi_{r\alpha} \end{cases} \quad (1)$$

Tương tự trên, khi chiếu trên hệ tọa độ 0dq thì các phương trình từ thông vẫn không đổi, chỉ có các phương trình điện áp thay đổi như sau:

- Tọa độ từ thông rôto quay tốc độ  $\omega_s$  so với stato.

- Hệ tọa độ chuyển động vượt trước so với rôto một tốc độ góc  $\omega_r = \omega_s - \omega$ .

Từ đó ta thu được hệ phương trình:

$$\begin{cases} \overline{u}_s = R_s \overline{i}_s + \frac{d\overline{\Psi}_s^f}{dt} + J\omega_s \overline{\Psi}_r^f \\ 0 = R_s \overline{i}_s + \frac{d\overline{\Psi}_s^f}{dt} + J\omega_s \overline{\Psi}_r^f \\ \overline{\Psi}_r^f = \overline{i}_s^f L_s + \overline{i}_s^f L_m \\ \overline{\Psi}_r^f = \overline{i}_s^f L_m + \overline{i}_r^f L_r \end{cases} \quad (2)$$

Tìm cách loại bỏ  $\overline{i}_r^f$  và  $\overline{\Psi}_s^f$ , từ phương trình 3, 4 của hệ (2) rút ra  $\overline{i}_r^f$  và  $\overline{\Psi}_s^f$ :

$$\begin{cases} \overline{i}_r^f = \frac{1}{L_r} (\overline{\Psi}_r^f - \overline{i}_s^f L_m) \\ \overline{\Psi}_s^f = \overline{i}_s^f L_s + \frac{L_m}{L_r} (\overline{\Psi}_r^f - \overline{i}_s^f L_m) \end{cases} \quad (3)$$

Thế trở lại phương trình thứ 1 và 2 của (1) và viết dưới dạng thành phần, mỗi phương trình đối với vectơ viết được thành hai phương trình, ta được:

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\left( \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r} \Psi_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sd} - \left( \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r} \right) i_{sq} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r} \Psi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \\ \frac{d\Psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rd} + \omega_r \Psi_{rq} \\ \frac{d\Psi_{rq}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sq} - \omega_r \Psi_{rd} - \frac{1}{T_r} \Psi_{rq} \end{cases} \quad (4)$$

Biến đổi tiếp hệ (3) với điều kiện chọn trục d trùng với vectơ  $\Psi_r$ , tức là  $\Psi_{rq} = 0$ .

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{T_\sigma} + p \right) i_{sd} = \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r} \Psi_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \Psi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sd} \\ \left( \frac{1}{T_\sigma} + p \right) i_{sq} = -\omega_s i_{sd} - \frac{1-\sigma}{\sigma L_m} \omega \Psi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq} \\ (1 + T_r p) \Psi_{rd} = L_m i_{sd} \\ \omega_r = \frac{T_r}{\Psi_{rd}} \end{cases} \quad (5)$$

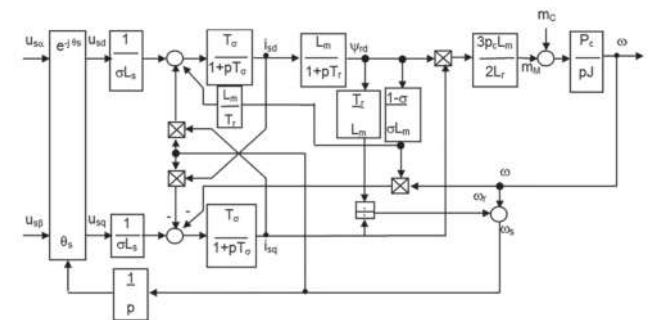
Tương tự trên tọa độ  $\alpha, \beta$ , ta cũng có phương trình mômen cho tọa độ dq:

$$m_M = \frac{3}{2} p_c \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rd} i_{sq} \quad (6)$$

Phương trình động học.

$$m_M - m_{Mc} = J \frac{d\omega}{dt}$$

Từ (5), (6) ta có sơ đồ cấu trúc động cơ trên hệ tọa độ từ thông rôto dq (Hình 1).

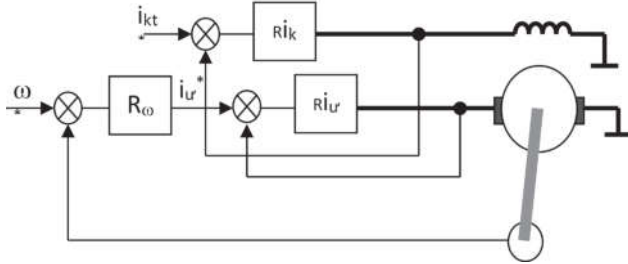


Hình 1. Sơ đồ cấu trúc động cơ trên hệ tọa độ quay dq

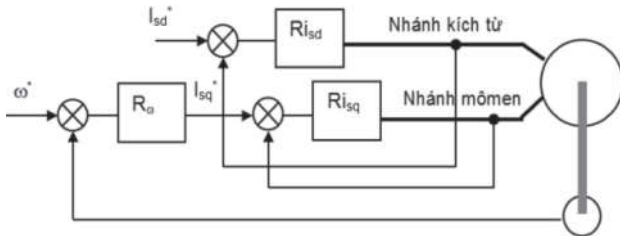
### 4. CẤU TRÚC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VECTƠ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Theo công thức ta có thể điều khiển được chính xác động cơ ba pha không đồng bộ tương tự như động cơ một chiều (điều khiển độc lập thành phần kích từ  $\Psi_r$  và thành phần dòng phản ứng  $i_s$ ) [3]. Hệ điều khiển cho động cơ điện một chiều, như trên Hình 2. Hệ điều khiển tương tự cho động cơ không đồng bộ trên tọa độ

dq, lượng đặt là  $\omega$  và  $i_{sd}$ , như trên Hình 3. Nhưng trong hệ thống thực, nguồn cung cấp cho động cơ là ba pha abc và các đại lượng dòng phản hồi đo về được cũng là trên tọa độ abc, vậy giữa hai hệ tọa độ đó phải có các bộ chuyển đổi tọa độ, cụ thể là từ bộ điều chỉnh lượng đặt để thành tín hiệu đưa vào biến tần nuôi động cơ phải có một bộ chuyển đổi dq/abc từ các đại lượng dòng đo được đem phản hồi có một bộ chuyển đổi ngược từ abc/dq. Vấn đề nảy sinh là khi chuyển đổi giữa hai tọa độ cần phải có góc lệch giữa chúng ( $\theta_s$ ).



Hình 2. Mô hình điều khiển động cơ một chiều



Hình 3. Tư tưởng điều khiển ĐCKĐB

Để xác định góc  $\theta_s$ , có hai giải pháp:

Vì hệ tọa độ quay dq có trục thực gắn với  $\psi_r$  nên góc  $\theta_s$  có thể xác định bằng cách tính trực tiếp góc của  $\psi_r$  trên hệ tọa độ  $\alpha\beta$ ,  $\theta_s = \arctg(\psi_{r\beta}/\psi_{r\alpha})$ , hoặc gián tiếp bằng tích phân tốc độ góc của dòng, áp stato  $\theta_s = \int \omega_s dt + \alpha_0$ . Góc  $\theta_s$  dùng để chuyển tọa độ từ tĩnh sang quay và phép biến đổi ngược lại ( $\alpha\beta \rightarrow dq$  và  $dq \rightarrow \alpha\beta$ ).

Theo điều khiển gián tiếp, tức là tính góc bằng tích phân tốc độ góc:

$$\theta_s = \int \omega_s dt + \alpha_0 \quad (7)$$

Trong đó:

$\omega_s$ : tốc độ quay của vectơ dòng điện stato, từ thông rôto và tốc độ quay của hệ trục tọa độ dq.

Từ phương trình cân bằng điện áp rôto theo (2). Xét trên hai trục d và q tương ứng ta được:

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{rd} + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - \omega_r \Psi_{rq} \\ 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + \omega_r \Psi_{rd} \end{cases} \quad (8)$$

Từ công thức  $\psi_r = L_{\sigma r} i_r + L_m i_s$  ta suy ra:

$$\begin{aligned} i_{rd} &= \frac{\Psi_{rd} - L_m i_{sd}}{L_{\sigma r}} \\ i_{rq} &= \frac{\Psi_{rq} - L_m i_{sq}}{L_{\sigma r}} \end{aligned} \quad (9)$$

Thay (9) vào (8) được:

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{rd} + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - \omega_r \Psi_{rq} \\ 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + \omega_r \Psi_{rd} \end{cases} \quad (10)$$

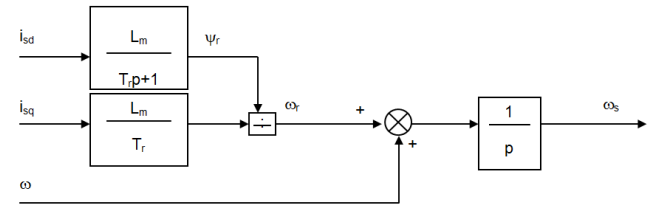
Vì hệ tọa độ dq gắn vào vectơ từ thông rôto và các điều kiện sau giả sử được đảm bảo:

$$\begin{aligned} \Psi_{rq} &= \frac{d\Psi_{rq}}{dt} = 0; \\ \Psi_{rd} &= \Psi_r = const. \end{aligned}$$

Thay các điều kiện đó vào (10) và biến đổi được:

$$\begin{aligned} \omega_r &= \frac{L_m i_{sq}}{T_r \Psi_r} \\ T_r \frac{d\Psi_r}{dt} + \Psi_r &= L_m i_{sd} \end{aligned} \quad (11)$$

Khi đã tính được  $\omega_r$  ta có công thức tính góc quay  $\theta_s$  dựa vào  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  và tốc độ  $\omega$ , theo sơ đồ như trên Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ tính toán góc quay từ trường theo phương pháp gián tiếp

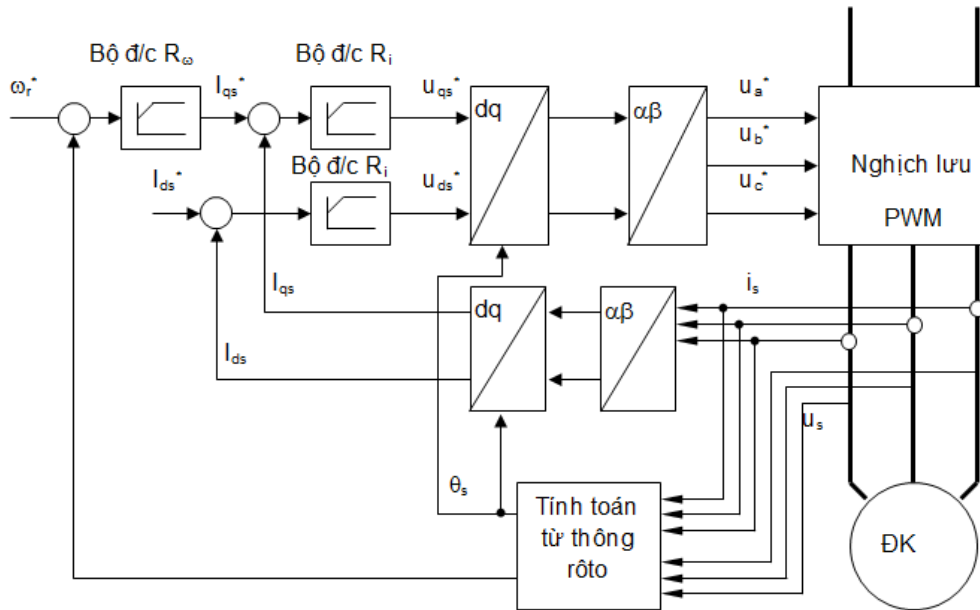
Phương pháp xác định trực tiếp góc quay từ trường  $\theta_s$  từ từ thông rôto  $\psi_r$ , hoặc từ thông khe hở  $\psi_0$  trên hai trục của hệ tọa độ vuông góc:  $\psi_r$  có thể được xác định bằng cảm biến từ thông Hall hoặc bằng tính toán. Việc dùng cảm biến thường tín hiệu thu được dễ bị nhiễu trong quá trình động cơ làm việc nên thường người ta xác định  $\psi_r$  bằng tính toán, có thể thông qua các khâu quan sát.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A\dot{X} + Bu_s + G(i_s - i_s) \\ \Leftrightarrow \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_s \\ \hat{\psi}_r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_s \\ \hat{\psi}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} u_s + \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} (i_s - i_s) \end{aligned} \quad (12)$$

Từ các giá trị quan sát được  $\psi_{r\alpha}$ ,  $\psi_{r\beta}$  ta ước lượng góc quay từ trường bằng các công thức:

$$\begin{aligned} \cos \theta_s &= \frac{\Psi_{r\alpha}}{\Psi_r}; \\ \sin \theta_s &= \frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_r} \end{aligned} \quad (13)$$

Từ đó ta có được mô hình toàn bộ hệ thống điều khiển trực tiếp như trên Hình 5. Sơ đồ dưới dạng vectơ gồm hai nhánh song song: Một là động cơ thực tế và một là mô hình quan sát động cơ lấy thông số là dòng điện, điện áp stato, sau khi tính toán được vectơ dòng điện stato mẫu  $i_s$  đem so với dòng stato thực tế từ đó tính ra vectơ từ thông  $\psi_r$ .



Hình 5. Mô hình điều khiển vectơ kiểu trực tiếp lấy  $\theta_s$  từ bộ quan sát

## 5. MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN FOC DÙNG TUYẾN TÍNH HÓA CHÍNH XÁC BẰNG PHẢN HỒI TRẠNG THÁI VÀ ĐẠO HÀM CỦA BIẾN TRẠNG THÁI

### 5.1. Mô hình phi tuyến động cơ không đồng bộ

Mô hình không gian trạng thái phi tuyến của động cơ không đồng bộ trên hệ tọa độ  $0dq$  tựa theo từ thông rôto đã xây dựng như (5), với một vài phép biến đổi và thêm vào biến trạng thái là góc pha của từ thông rôto  $\theta_r$ . Ý nghĩa của xét hệ phương trình trạng thái này sẽ được giải thích dưới đây [3].

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \Psi_{rd} \\ \theta_{rf} \\ i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu\Psi_{rd}i_{sq} - \left(\frac{D}{J}\right)\omega_r - \left(\frac{1}{J}\right)T_L \\ -\alpha\Psi_{rd} + \alpha L_m i_{sd} \\ n_p \omega_r + \frac{\alpha L_m i_{sq}}{\Psi_{rd}} \\ -\gamma i_{sd} + \alpha\beta\Psi_{rd} + n_p \omega_r i_{sq} + \frac{\alpha L_m i_{sq}^2}{\Psi_{rd}} \\ -\gamma i_{sq} + \beta n_p \omega_r \Psi_{rd} - n_p \omega_r i_{sd} - \frac{\alpha L_m i_{sq} i_{sd}}{\Psi_{rd}} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$+ \frac{1}{\sigma L_s} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix}$$

Trong đó:

Từ thông rôto trong trục  $0d$  là  $\Psi_{rd}$ , trong khi ở trục  $0q$  bằng 0 (tức là  $\Psi_{rq} = 0$ ). Tốc độ rôto được thể hiện bởi  $\omega_r$  và góc của vectơ từ thông rôto thể hiện bằng  $\theta_r$ .

$D$  là hệ số ma sát,  $J$  là mômen quán tính của động cơ và của tải, quy đổi về trục động cơ,  $T_L$  là mômen tải;  $v_{sd}$  và  $v_{sq}$  là các điện áp được đặt vào cho các pha  $d$  và  $q$  của stato, tương ứng, và  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  là các dòng stato tương ứng.  $R_s$ ,  $R_r$  là điện trở stato và rôto;  $L_s$ ,  $L_r$  là điện cảm stato và rôto và là hồ cảm giữa stato và rôto,  $n_p$  là số đôi cực động cơ.

### 5.2. Điều khiển tốc độ theo mô hình phi tuyến

Giả sử mạch vòng dòng điện có thể đảm bảo tác động nhanh và chính xác để dòng điện bám theo lượng đặt  $i_{sd}^* = i_{sd}$ ,  $i_{sq}^* = i_{sq}$ . Điều này luôn có thể thực hiện được bằng việc sử dụng bộ điều khiển PI tuyến tính có dạng [2]:

$$v_{sd} = K_{ap}(i_{sd}^* - i_{sd}) + K_{al} \int (i_{sd}^* - i_{sd}) dt \quad (15)$$

$$v_{sq} = K_{qp}(i_{sq}^* - i_{sq}) + K_{ql} \int (i_{sq}^* - i_{sq}) dt$$

Khi đó, mô hình động cơ không đồng bộ còn lại là mô hình bậc ba sau.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \Psi_{rd} \\ \theta_{rf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu\Psi_{rd}i_{sq}^* - \left(\frac{D}{J}\right)\omega_r - \left(\frac{1}{J}\right)T_L \\ -\alpha\Psi_{rd} + \alpha L_m i_{sq}^* \\ n_p \omega_r + \frac{\alpha L_m i_{sq}^*}{\Psi_{rd}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Phương pháp điều khiển tuyến tính thông thường sẽ sử dụng bộ điều chỉnh PI tuyến tính cho mạch vòng từ thông và mạch vòng tốc độ.

Tuy nhiên, ở đây sẽ tiếp cận vấn đề theo phương pháp phi tuyến. Có thể thấy rằng hệ (16) được chia thành hai hệ thống con: Một hệ thống có chứa nhiều (mômen tải  $T_L$ ) và một trong đó không có. Hệ thống con đầu tiên bao gồm phương trình đầu tiên trong (16), có chứa thành phần nhiều tải không thể xác định rõ và mômen quán tính của hệ thống có thể có biến động theo thời gian, trong khi hệ thống con thứ hai bao gồm hai phương trình còn lại. Hành động điều khiển sẽ chỉ được thực hiện với hệ thống phụ thứ hai, vì nó không chứa bất kỳ sự không chắc chắn nào. Hệ thống con này có thể được biểu diễn dưới dạng nhỏ gọn sau:

$$\dot{x}_1 = f_{x1}(x) + g_1(x)u(t) \quad (17)$$

$$y = h(x)$$



Mục tiêu là tìm thuật toán điều khiển thích hợp để có thể tách được đầu ra và đầu vào.

$$y(t) = u^*(t) \quad (18)$$

Hoặc nói cách khác, vector đầu ra của hệ thống vòng kín  $y(t)$  phải bằng với vector đầu vào bên ngoài  $u^*(t)$ . Bộ điều khiển này có dạng sau:

$$u(t) = g_1^{-1}(x)[x_1 - f_1(x) + (u^* - h(x))] \quad (19)$$

Trong đó:

$$u^* = \begin{bmatrix} \omega_r^* \\ \Psi_{rd}^* \end{bmatrix}, g_1^{-1}(x) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha L_m} & 0 \\ 0 & \frac{\Psi_{rd}}{\alpha L_m} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Sau khi biến đổi đại số, (19) được đơn giản hóa thành dạng sau:

$$\begin{aligned} i_{sd}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} \left[ \left( \frac{d\Psi_{rd}}{dt} + \alpha \Psi_{rd} \right) + (\Psi_{rd}^* - \Psi_{rd}) \right] \\ i_s^* &= \frac{\Psi_{rd}}{\alpha L_m} \left[ \left( \frac{d\theta_{rf}}{dt} + n_p \omega_r \right) + (\omega_r^* - \omega_r) \right] \end{aligned} \quad (21)$$

Thay thế (21) vào mô hình động cơ (16) ta được hệ kín sau:

$$\begin{aligned} \Psi_{rd} &= \Psi_{rd}^* \\ \omega_r &= \omega_r^* \\ \frac{d\theta_{rf}}{dt} &= n_p \omega_r^* + \frac{\alpha L_m}{\mu \Psi_{rd}^*} \left[ \frac{d\omega_r^*}{dt} + \left( \frac{D}{j} \right) \omega_r^* + \left( \frac{1}{j} \right) T_L \right] \end{aligned} \quad (22)$$

Trong đó:

$\Psi_{rd}^*$ ,  $\omega_r^*$  là các đầu vào lượng đặt từ thông rôto và tốc độ rôto tương ứng. Từ (22) chúng ta thấy rằng đầu ra (tốc độ, từ thông) bằng lượng đặt đầu vào, hoặc sai lệch đầu ra bằng không. Bộ điều khiển này là dạng PD (tỷ lệ đạo hàm) và thực tế chỉ sử dụng các đạo hàm của từ thông và góc pha giúp dễ dàng thực hiện. Lưu ý rằng bộ điều khiển sử dụng khâu ước lượng cho cường độ từ thông, góc pha và các đạo hàm của chúng.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{rd} \\ \hat{\theta}_{rf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha \Psi_{rd} + \alpha L_m i_{sd} \\ n_p \omega_r + \alpha L_m i_{sq} / \Psi_{rd} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Với việc sử dụng mô hình quan sát từ thông, thể hiện trên Hình 6, chúng ta đã loại bỏ được nhiễu và sự suy giảm hiệu quả của hệ thống vòng kín. Cấu trúc sơ đồ của sơ đồ điều khiển động cơ không đồng bộ tổng thể có thể được nhìn thấy trong Hình 7. Rõ ràng là việc điều chỉnh các tham số trong vòng điều khiển tốc độ và từ thông đã được loại bỏ. Đây là một trong những ưu điểm chính của bộ điều khiển này vì nó cho phép động cơ hoạt động tối ưu dưới bất kỳ lệnh đặt tốc độ bên ngoài nào, bất kỳ mômen tải nào và bất kỳ quán tính hệ thống nào (tất nhiên trong giới hạn vận hành của động cơ). Bộ điều khiển (21) chỉ cần biết các giá trị của  $n_p$ ,  $a$ ,  $L_m$  được sử dụng bởi bộ quan sát (23). Do đó, có thể nói rằng sơ đồ điều khiển này chỉ sử dụng số tham số động cơ tối thiểu, vì việc sử dụng bộ quan sát này gần như bắt buộc trong nhiều mô hình điều khiển hiện có. Ngoài ra, nó sẽ thể hiện được sự kết hợp của bộ điều khiển với bộ quan sát làm cho hệ thống vòng kín

trở lên chính xác và không phụ thuộc vào độ lệch tham số và những tham số không thể xác định được ( $J$ ,  $T_L$ ).

### 5.3. Điều khiển vị trí

Phần trên trình bày việc áp dụng mô hình điều khiển phi tuyến để điều khiển tốc độ. Phần này cho thấy cách chúng ta có thể điều khiển vị trí với những thay đổi nhỏ của mô hình điều khiển tốc độ được trình bày trước đây. Các vector đầu vào và đầu ra bên ngoài giờ trở thành [1, 3].

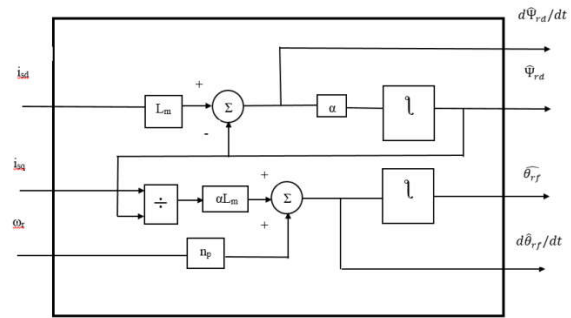
$$h(x) = \begin{bmatrix} \theta_r \\ \Psi_{rd} \end{bmatrix}, u^* = \begin{bmatrix} \theta_r^* \\ \Psi_{rd}^* \end{bmatrix} \quad (24)$$

Trong đó:

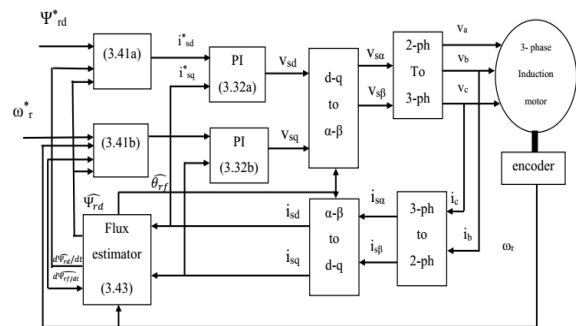
$\theta_r$  là góc pha rôto (tức là  $d\theta/dt = \omega$ ).

Khâu tính toán đầu vào điều khiển, chính là lượng đặt dòng điện, thay đổi như sau:

$$\begin{aligned} i_{sd}^* &= \frac{1}{\alpha L_m} \left[ \left( \frac{d\Psi_{rd}}{dt} + \alpha \Psi_{rd} \right) + (\Psi_{rd}^* - \Psi_{rd}) \right] \\ i_{sq}^* &= \frac{\Psi_{rd}}{\alpha L_m} \left[ \left( \frac{d\theta_{rf}}{dt} - n_p \omega_r \right) + (\theta_r^* - \theta_r) \right] \end{aligned} \quad (25)$$



Hình 6. Mô hình quan sát từ thông

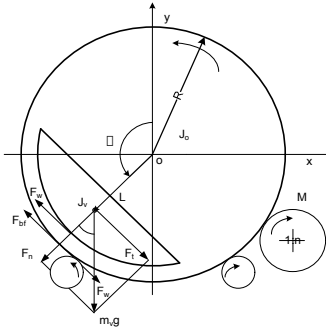


Hình 7. Sơ đồ hệ thống điều khiển tổng thể

Có thể thấy rằng mô hình điều khiển từ thông (25) giống hệt với (21) trong khi các phần điều khiển vị trí không khác phần điều khiển tốc độ mấy. Sơ đồ này sử dụng cả phản hồi tốc độ và dòng điện. Các phần khác của sơ đồ điều khiển vẫn giữ nguyên như trong Hình 7.

## 6. MÔ PHỎNG ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN FOC CHO TẢI LÒ QUAY CLINKER

### 6.1. Mô hình mô phỏng



Hình 8. Mô hình hóa lò quay

Khối lò được đỡ bởi hệ puli và giá đỡ, phần quay được đảm bảo bằng mô tơ M qua hộp số tỷ lệ 1:n. Oxy là hệ trục tọa độ cố định với ox là trục ngang và oy là trục đứng. Khối vật liệu bám trong thành lò giả sử có dạng hình bán nguyệt, có trọng lượng  $P = m_v g$  [N]. Khối vật liệu vẫn bám vào thành lò khi thành phần của trọng lực P, có hướng tiếp tuyến với bán kính quay  $F_t$  còn nhỏ hơn lực ma sát tĩnh  $F_{bf}$ . Lực ma sát tĩnh  $F_{bf}$  tỷ lệ với thành phần lực ép thẳng góc với mặt quay, tức là mặt trong của lò. Nếu  $\Phi$  là góc của bán kính đặt trọng tâm của khối vật liệu so với trục thẳng đứng oy, theo hình 8 ta có các lực thành phần như sau:

$$\begin{aligned} F_t &= m_v g \sin(\pi - \Phi); \\ F_n &= m_v g \cos(\pi - \Phi) \end{aligned} \quad (26)$$

Lực ma sát tĩnh bằng  $F_{bf} = m_c F_n = m_c m_v g \cos(\pi - \Phi)$ , có chiều ngược với chiều của chuyển động.

Khi lực tiếp tuyến  $F_t$  nhỏ hơn lực ma sát tĩnh  $F_{bf}$  khối vật liệu bám vào thành lò và quay cùng với lò, mômen quán tính của lò sẽ bằng tổng mômen quán tính vỏ lò và mômen quán tính khối vật liệu  $J_o + J_v$ . Khi lực tiếp tuyến  $F_t$  lớn hơn lực ma sát tĩnh nó sẽ kéo trượt khối giữa hai bề mặt với hệ số ma sát lực Coulomb  $m_c$ . Như vậy, ta sẽ có lực ma sát theo điều kiện lớn hơn hay nhỏ hơn lực ma sát tĩnh giữa vật như sau:

$$\begin{aligned} F_w &= -F_t & F_t &\leq F_{bf} \\ F_w &= m_c m_v g \cos(\pi - \Phi) & F_t &> F_{bf} \end{aligned} \quad (27)$$

Theo (27) trong điều kiện thứ nhất khối vật liệu và thành lò cùng với động cơ quay lò và hộp số tạo nên một vật thể quay duy nhất. Còn ở điều kiện thứ hai chỉ có động cơ quay phần vỏ lò, còn khối vật liệu tự chuyển động riêng. Chính điều này làm cho hệ thống quay lò có mômen tải thay đổi và mômen quán tính của hệ thống thay đổi.

**\* Phương trình chuyển động trong điều kiện khối vật liệu dính vào thành lò**

Phương trình chuyển động của khối lò là:

$$T_o = J_o \ddot{\theta}_o + F_w R \quad (28)$$

$T_o$  là mômen quay lò do động cơ qua hộp số tỷ lệ số truyền 1:n đưa đến. Đối với động cơ, mômen và góc quay tương ứng sẽ là:

$$T_m = \frac{1}{n} T_o \quad (29)$$

$$\theta_o = \frac{1}{n} \theta_m$$

Phương trình chuyển động của khối vật liệu:

$$F_w R = -J_v \ddot{\Phi} + F_t L \quad (30)$$

Khi khối vật liệu dính vào thành lò, nghĩa là đứng yên so với thành lò, ta có:

$$\theta_o = -\Phi \quad (31)$$

Vậy từ (28), (30) ta có:

$$T_o = J_o \ddot{\theta}_o + J_v \ddot{\theta}_o + F_t L = (J_o + J_v) \ddot{\theta}_o + F_t L \quad (32)$$

Theo (32) mômen quán tính là tổng của mômen quán tính vỏ lò và của khối vật liệu, còn thành phần mômen cân sinh ra bởi lực tiếp tuyến  $F_t$  với cánh tay đòn là L, điểm đặt của trọng tâm khối vật liệu.

**\* Phương trình chuyển động trong điều kiện khối vật liệu trượt trong thành lò**

Khi khối vật liệu trượt trong thành lò phương trình chuyển động của vỏ lò là:

$$T_o = J_o \ddot{\theta}_o + F_w R \quad (33)$$

Trong (33) lực ma sát  $F_w$  sẽ là ma sát trượt với hệ số ma sát Coulomb:

$$F_w = m_c m_v g \cos(\pi - \Phi) \quad (34)$$

Theo (33), (34) mômen quán tính của cả hệ chỉ còn là mômen quán tính vỏ lò  $J_o$ . Thành phần mômen cân sinh bởi lực ma sát trượt  $F_w$  với hệ số ma sát trượt Coulomb  $m_c$  và cánh tay đòn là bán kính của vỏ lò R.

Khi khối vật liệu bị trượt theo thành lò nó sẽ chuyển động tự do theo phương trình:

$$\begin{aligned} F_w R &= -J_v \ddot{\Phi} + F_t L \\ F_w &= m_c m_v g \cos(\pi - \Phi) \\ F_t &= m_v g \sin(\pi - \Phi) \end{aligned} \quad (35)$$

Thông số tải lò quay

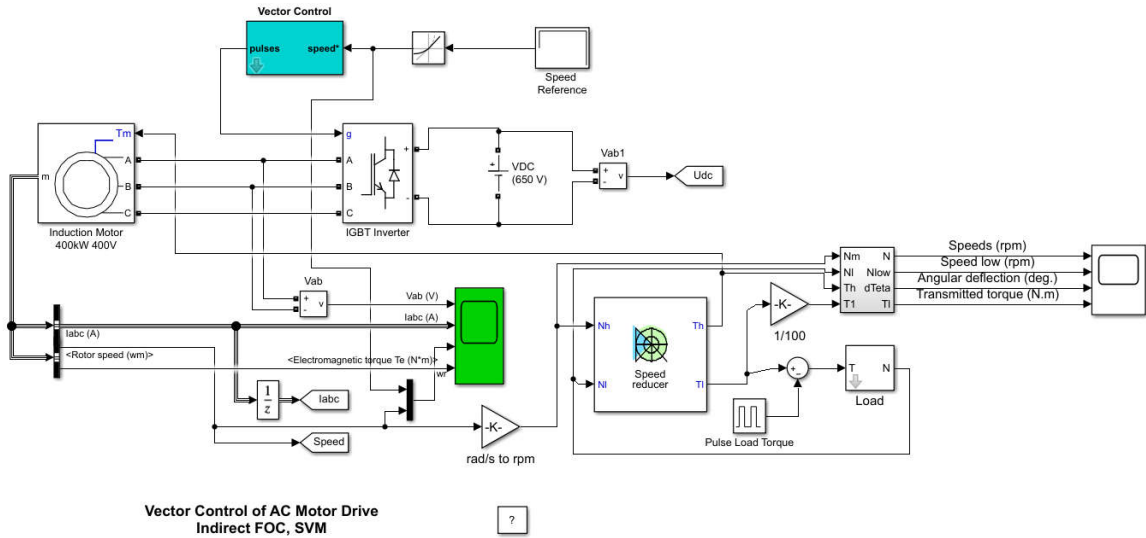
r = 0,6 m	Bán kính trục puli
R = 1,6 m	Bán kính lò tải
x = 0,4 m	Độ dày vỏ lò tải
h = 50 m	Chiều dài lò tải
$\alpha = 30^\circ$	Góc giữa puli và lò tải
m = 197192 kg	Khối lượng riêng của lò
i = 125	Tỷ số truyền
$n_1 = 3v/p$	Tốc độ quay của lò
f = 0,7	Hệ số ma sát giữa puli và lò tải

Thông số động cơ không đồng bộ cho tải quay lò nung clinker.

$P_{dm} = 400$ kW	Công suất định mức
$U_{dm} = 400$ V	Điện áp định mức

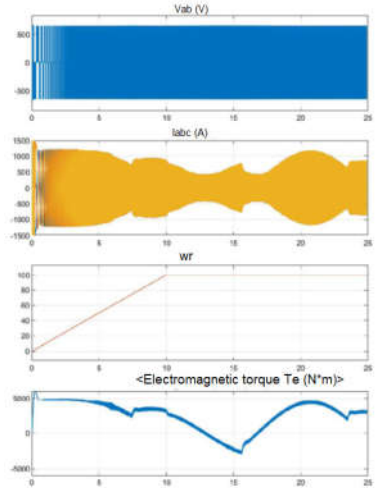
$I_{dm} = 570 \text{ A}$	Dòng điện định mức
$\eta = 95,9 \%$	Hiệu suất
$f = 50 \text{ Hz}$	Tần số
$n_{dm} = 993 \text{ rpm}$	Tốc độ định mức
$\cos \varphi = 0,83$	Hệ số công suất
$p_p = 3$	Số đôi cực
$J = 15 \text{ kg.m}^2$	Mômen quán tính

$M_{dm} = 3029 \text{ Nm}$	Mômen định mức
$R_s = 2,879 \times 10^{-3} \Omega$	Điện trở stato
$R_r = 2,879 \times 10^{-3} \Omega$	Điện trở rôto
$L_s = 2,926 \text{ mH}$	Điện cảm stato
$L_r = 2,893 \text{ mH}$	Điện cảm rôto
$L_m = 2,825 \text{ mH}$	Hỗ cảm giữa stato và rôto

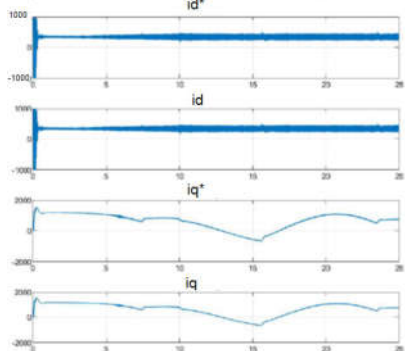


Hình 9. Sơ đồ mô phỏng ứng dụng điều khiển FOC cho lò quay clinker

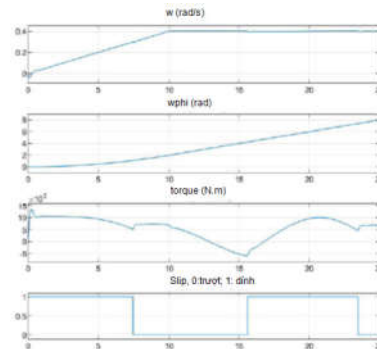
6.2. Kết quả mô phỏng



Hình 10. Kết quả mô phỏng đáp ứng phía động cơ



Hình 11. Đáp ứng của bộ điều khiển dòng điện id, iq



Hình 12. Đáp ứng của mô hình tải lò quay clinker

Nhận xét:

- Về tốc độ: Thời gian đáp ứng và thời gian xác lập nhanh.
- Về mômen: Giá trị của mômen khởi động tăng, nhưng sau một thời gian ngắn mômen được xác lập về giá trị ổn định.
- Về từ thông rôto: Khi khởi động, sau một thời gian ngắn đạt giá trị ổn định gần bằng giá trị đặt. Tuy có tăng lên một chút nhưng vẫn đảm bảo có thể sử dụng được.

7. KẾT LUẬN

Bài báo này đưa ra ứng dụng bộ điều khiển vectơ dựa trên thông rôto (FOC) để điều khiển tốc độ của động cơ không đồng bộ (động cơ cho tải quay lò nung clinker). Mục đích điều khiển cho động cơ điện chạy êm hơn, điều khiển mượt hơn và hoạt động ổn định nhanh. Qua phần mô phỏng ta thấy hệ thống đạt được sự ổn định

nhanh và sai lệch bám nhỏ với sự biến đổi tham số động cơ, tham số tải cũng như nhiều bên ngoài tác động.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Thị Hiền (2001), *Truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - Hà Nội.
- [2]. Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu (1998), *Máy điện I, II*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - Hà Nội.
- [3]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghị (2006), *Điều chỉnh tự động truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Trần Trọng Minh, Võ Minh Chính, Phạm Quốc Hải (2004), *Điện tử công suất*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - Hà Nội.
- [5]. Lê Thị Thu Phương, Lê Thị Thu Huyền, Phạm Thị Hồng Anh (2017), *Ứng dụng điều khiển vector tựa từ thông rôto cho động cơ không đồng bộ*, Tạp chí KH&CN, 172(12/1): 115 - 119.
- [6]. Phạm Thị Hồng Hạnh, Trần Thị Hồng Thắm, Đặng Đình Chung (2021), *Xây dựng phương pháp điều khiển FOC-IM cấp nguồn bởi nghịch lưu đa mức cầu H nối tầng điều chế vectơ không gian với số mức mong muốn*, Tạp chí KH&CN, Tập 57-số 2 (4/2021).
- [7]. Fengxiang Wang, Zhenbin Zhang, Xuezhu Mei, José Rodriguez, Ralph Kennel (2018), *Advanced Control Strategies of Induction Machine: Field Oriented Control, Direct Torque Control and Model Predictive Control*, Energies 2018, 11, 120; doi:10.3390/en11010120.
- [8]. Ayman Y. Yousef, S.M. Abdelmaksoud (2015), *Review on Field Oriented Control of Induction Mô tơ*, International journal for research in emerging science and technology, volume 2, issue 7 July 2015.

### THÔNG TIN TÁC GIẢ



#### Phạm Văn Tuấn

- Năm 2005: Tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Tự động hóa, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Tự động hóa.
- Điện thoại: 0912298923                                      Email: ptuandhsd@gmail.com



#### Hoàng Thị Phương

- Năm 2015: Tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Chuyên viên phòng Quản lý Đào tạo, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Tự động hóa.
- Điện thoại: 0366948135                                      Email: phuongdt1972@gmail.com



#### Đặng Văn Tuệ

- Năm 2010: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Đo lường và Các hệ thống điều khiển, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ.
- Lĩnh vực quan tâm: Tự động hóa.
- Điện thoại: 0989543597                                      Email: tuedv1977@gmail.com