

ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU TỰA THEO VÉC TƠ TỪ THÔNG ROTO

VECTOR CONTROL OF A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

Đỗ Đức Tuấn

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về véc tơ không gian. Lập các mô hình toán học cho động cơ đồng bộ để phục vụ cho việc xây dựng các thuật toán điều khiển ĐCĐBNCVC theo phương pháp tựa theo véc tơ từ thông rôto. Thiết kế, tổng hợp hệ thống điều khiển cho ĐCĐBNCVC. Tiến hành mô phỏng hệ thống này bằng phần mềm Matlab / Simulink.

ABSTRACT

This paper presents results of research on vector space control. Establish the mathematical model for synchronous motors to construct control algorithms for permanent magnet synchronous motor which is using field oriented method. Design and control system synthesis for permanent magnet synchronous motor. The system simulation is conducted by Matlab / Simulink software.

Ký hiệu

Ký hiệu	Ý nghĩa
Lsd, Lsq	Điện cảm stator theo trục d và q
Rs	Điện trở cuộn dây stator
Tsd, Tsq	Hằng số thời gian của động cơ
m_M	Mô men điện từ của động cơ
m_T	Mô men tải đặt lên động cơ
p_C	Số đôi cực từ

Chữ viết tắt

ĐCĐBNCVC	Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu
ĐCMC	Động cơ một chiều
ĐCXCBP	Động cơ xoay chiều 3 pha
ĐCD	Điều chỉnh dòng

1. Mở đầu

Trong khoảng vài thập kỷ gần đây, các phương pháp điều khiển cho động cơ ba pha liên tục phát triển đã khiến cho động cơ xoay chiều gần như đã thay thế hoàn toàn các hệ thống động cơ một chiều trước kia. 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. 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, một hệ thống như vậy phải có khả năng áp đặt mômen quay của động cơ thật nhanh và chính xác. Chính vì vậy, khoảng 20 năm gần đây, 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 véc tơ (Vector control).
- + Điều khiển trực tiếp (Direct Control).

2. Phương pháp điều khiển ĐCĐBNCVC tựa theo véc tơ từ thông rôto

2.1. Cơ sở lý luận của phương pháp điều khiển

Sau khi mô tả tất cả các đại lượng điện 3 pha (dòng

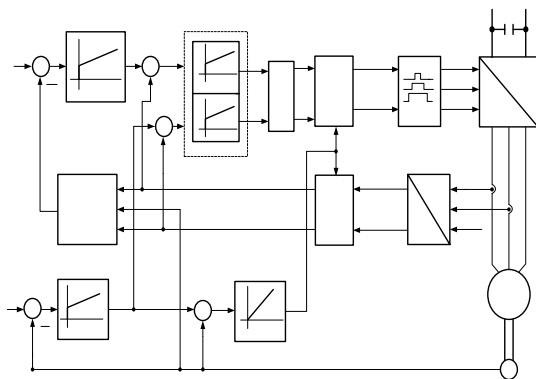
điện, điện áp, từ thông v.v...) dưới dạng vector, ta biểu diễn tất cả các vector đó trên một hệ tọa độ quay (hệ tọa độ dq) có trục thực d trùng với trục vector từ thông Ψ_r . Ta có thể tách vector i_s thành hai thành phần i_{sd} và i_{sq} , trong đó i_{sd} giữ vai trò tạo từ thông Ψ_s tương tự như dòng kích từ I_k , i_{sq} giữ vai trò tạo mômen m_M tương tự như dòng phản ứng I_r của động cơ 1 chiều (ĐCMC) kích từ độc lập. Trong đó hai dòng I_k và I_r được sử dụng trực tiếp làm đại lượng điều khiển cho từ thông và mômen quay động cơ.

Như vậy, tư tưởng xuyên suốt của phương pháp điều khiển tựa theo từ thông roto chính là việc áp đặt chính xác từ nhanh hai thành phần dòng i_{sd} tạo mômen và i_{sq} tạo từ thông nhằm đem lại cơ chế truyền động dùng động cơ xoay chiều ba pha (ĐCXCBP) các tính năng giống như, thậm chí tốt hơn truyền động điện sử dụng ĐCMC.

Trên hệ tọa độ từ thông rotor (tọa độ dq) ta thu được các quan hệ đơn giản giữa mômen quay, từ thông và các phần tử của vector dòng stator :

$$m_M = \frac{3}{2} p_c [\Psi_r i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})]$$

$$= \frac{3}{2} p_c [\Psi_p i_{sq} + i_{sd} i_{sq} (L_{sd} - L_{sq})]$$



Hình 1 Cấu trúc cơ bản của một hệ thống truyền động cho ĐCĐBNCVC điều chỉnh tựa theo từ thông rotor

2.2. Áp dụng phương pháp để thiết kế bộ điều khiển

2.2.1. Xây dựng cấu trúc mạch tính điện áp MTu

Nhiệm vụ của khối này là tính toán điện áp ra u_{sd} , u_{sq} từ các tín hiệu đầu vào y_d , y_q của khâu điều chỉnh dòng (ĐCD) đưa tới. Ta có công thức:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s i_{sd} + L_{sd} \frac{di_{sd}}{dt} - \omega_s L_{sq} i_{sq} \\ u_{sq} = R_s i_{sq} + L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} - \omega_s L_{sd} i_{sd} + \omega_s \Psi_p \end{cases}$$

Chuyển sang không gian Laplace ta có:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s (1 + pT_{sd}) i_{sd} - \omega_s L_{sq} i_{sq} \\ u_{sq} = R_s (1 + pT_{sq}) i_{sq} - \omega_s L_{sd} i_{sd} + \omega_s \Psi_p \end{cases}$$

Với $T_{sd} = L_{sd}/R_s = 5,1$ (ms)

$T_{sq} = L_{sq}/R_s = 5,1$ (ms)

Các đại lượng đầu vào của MTu là y_d ; y_q đồng nhất với các dòng i_{sd} ; i_{sq} sau thời gian trễ T_{sd} ; T_{sq} ; y_d và y_q phải thỏa mãn phương trình sau:

$$\frac{i_{sd}}{y_d} = \frac{1}{1 + pT_{sd}} \quad ; \quad \frac{i_{sq}}{y_q} = \frac{1}{1 + pT_{sq}}$$

Thay vào các công thức trên ta được:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s y_d - \omega_s L_{sq} \frac{y_q}{1 + pT_{sq}} \\ u_{sq} = R_s y_q - \omega_s L_{sd} \frac{y_d}{1 + pT_{sd}} + \omega_s \Psi_p \end{cases}$$

2.2.2. Tổng hợp mạch vòng điều chỉnh dòng điện (Risid và Risq) :

Từ sơ đồ khối cấu trúc hệ thống điều khiển véc tơ ĐCĐBNCVC tựa theo từ thông rotor (hình 1) và mô hình ĐCĐBNCVC (hình 2) ta thành lập được sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động điện (hình 3) ở trang sau.

Vì hệ thống truyền động thường có hằng số thời gian cơ học rất lớn hơn hằng số thời gian điện từ .

Khi đó ta coi sức điện động của động cơ không ảnh hưởng đến quá trình điều chỉnh của mạch vòng dòng điện (coi như $E = 0$). Nhìn vào sơ đồ *hình 3* ta thấy hai bộ điều chỉnh dòng điện $Risd$ và $Risq$ hoàn toàn giống nhau về cấu trúc nên ta chỉ cần tính toán thiết kế cho một bộ điều chỉnh dòng điện $Risd$ và suy ra bộ còn lại. Sơ đồ khối mạch vòng dòng điện i_{sd} của động cơ được mô tả như *hình 4*.

Trên thực tế trong mạch vòng dòng điện còn có các khâu: lọc tín hiệu, tính toán, quy đổi, đo lường, lấy mẫu... là những khâu quán tính bậc nhất có hằng số thời gian nhỏ. Bộ nghịch lưu coi như bộ khuếch đại có hệ số khuếch đại K_u . Sơ đồ khối mạch vòng dòng điện thực tế được mô tả

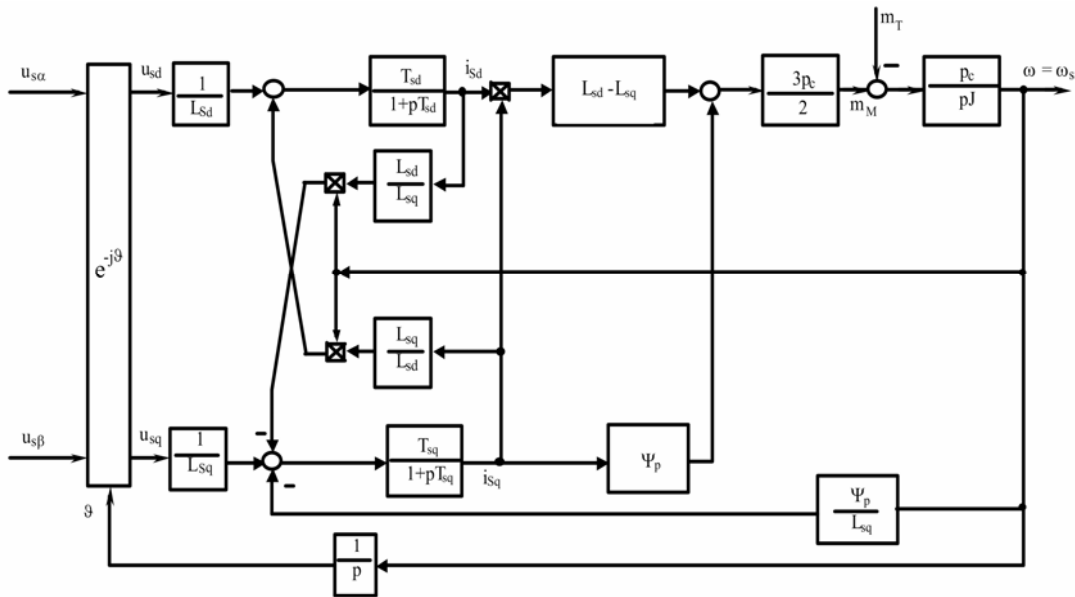
trên *hình 5*.

2.2.3. Tổng hợp bộ điều chỉnh tốc độ (ĐC ω)

Trong phần trên ta đã tổng hợp được mạch vòng dòng điện có hàm truyền như trong công thức

$$W_i(P) = \frac{1}{K_i} \cdot \frac{1}{1 + 2T_s p + 2T_s^2 p^2}$$

Từ sơ đồ *hình 3* ta có sơ đồ khối cấu trúc hệ điều chỉnh tốc độ (*hình 6*)



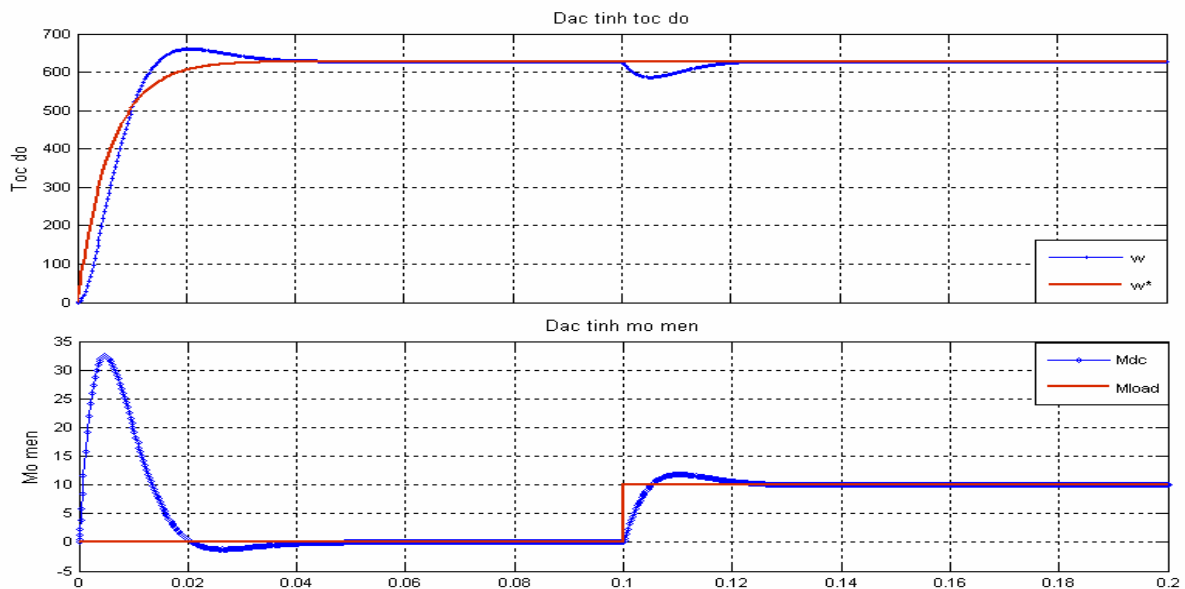
Hình 2: Mô hình ĐCĐBNCVC ba pha trên hệ tọa độ dq

Thông số kỹ thuật
 Công suất định mức
 Điện áp pha định mức
 Điện trở cuộn dây Stator
 Điện cảm dọc trục
 Điện cảm ngang trục
 Mô men quán tính
 Từ thông cực
 Tốc độ định mức
 Số đôi cực từ

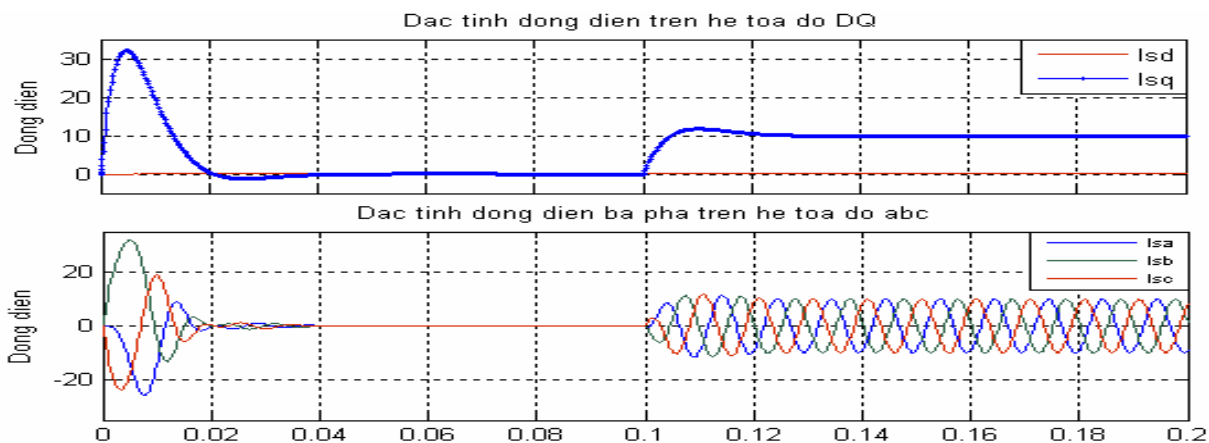
Giá trị
 $P_{đm} = 45 \text{ kW}$
 $U_{đm} = 220 \text{ V}$
 $R_s = 0,08 \Omega$
 $L_{sd} = 4,09 \text{ mH}$
 $L_{sq} = 5,13 \text{ mH}$
 $J = 0,0002 \text{ Kg.m}^2$
 $\Psi_p = 0,951 \text{ Wb}$
 $n = 3000 \text{ v/p}$
 $p_c = 4$

Trong hệ trên ta bổ xung thêm các khâu khởi động mềm Soft_start và khâu hạn chế dòng điện Limiter.

Ta áp cho hệ thống tín hiệu đặt $\omega^* = 628 \text{ (rad/s)}$. Sau khi động cơ khởi động không tải được 0,1 giây ta sẽ cho động cơ mang tải là $m_T = 10 \text{ Nm}$. Kết quả mô phỏng như sau :



Hình 8: Đặc tính tốc độ và đặc tính mô men



Hình 9: Đặc tính dòng điện trên hệ tọa độ dq và hệ tọa độ abc

3. Kết luận

- Thời gian để động cơ ổn định tốc độ là 0,047 s.
- Độ quá điều chỉnh là khoảng 5 %, tốc độ lớn nhất là 660 rad/s.
- Khi hệ thống làm việc ổn định tốc độ động cơ luôn bám theo giá trị đặt, như vậy sai lệch tĩnh của hệ thống gần như bằng không.

- Khi động cơ làm việc có tải ở thời điểm 0,1 giây, tốc độ động cơ giảm xuống nhưng ngay sau đó lại được ổn định bám trở lại tốc độ đặt.
- Dòng điện khởi động nằm trong phạm vi cho phép.

Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS. TS. Nguyễn Văn Liễn, ThS. Nguyễn Tiến Ban (2005), “ HÃM TÁI SINH VÀ MỘT SỐ GIẢI PHÁP THỰC TẾ TRONG CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN DÙNG BIẾN TẦN IGBT ”, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ VI về Tự động hoá.
- [2]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi (2004), *Điều chỉnh tự động truyền động điện*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Mạnh Tiến, Đoàn Quang Vinh (2003), *Điều khiển động cơ xoay chiều cấp từ biến tần bán dẫn*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Vũ Gia Hạnh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thu, Nguyễn Văn Sáu (2003), *Máy điện 2*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Phạm Văn Diễm, Nguyễn Văn Liễn (2000), *Điện tử công nghiệp và truyền động điện tự động*, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [6]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Thị Hiền (2004), *Truyền động điện*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [7]. Nguyễn Phùng Quang, Andreas Dittrich (2002), *Truyền động điện thông minh*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

ThS. Đỗ Đức Tuấn

- Sinh năm 1984
- Điện thoại: 0913.784.228.
- Email: doductuan-tdh@tnut.edu.vn
- **Công tác:** Khoa Điện - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.