

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

ĐẶNG THỊ HUYỀN TRANG

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PHI TUYẾN ĐỂ ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ
KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA ROTOR**

LỒNG SÓC

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

THÁI NGUYÊN, 2017

Mở đầu

1. Mục tiêu của luận văn

Việc phát triển các phương pháp điều khiển nhằm đánh giá chất lượng điều khiển các hệ truyền động sử dụng động cơ nói chung và sử dụng động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc nói riêng vẫn là vấn đề được nhiều nhà khoa học quan tâm. Việc nghiên cứu thiết kế điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc bằng bộ điều khiển tựa theo thụ động (Passivity based) nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp này cho hệ thống từ đó có thể triển khai ứng dụng vào thực tế là điều hết sức cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao. Hơn nữa hiện nay, tôi đang giảng dạy tại Trường Cao đẳng Công Thương Thái Nguyên và đang mong muốn tìm hiểu một số mô hình điều khiển hiện đại trong đó có hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc bằng phương pháp điều khiển phi tuyến tựa theo thụ động nhằm nâng cao năng lực giảng dạy và nghiên cứu khoa học cho các giáo viên. Việc nghiên cứu hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc bằng phương pháp điều khiển tựa theo thụ động (Passivity based) sẽ giúp tôi có cơ sở để xây dựng mô hình hệ thống thí nghiệm tại Trường Cao đẳng Công Thương Thái Nguyên. Vì vậy tôi chọn đề tài: "***Thiết kế bộ điều khiển phi tuyến để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc***".

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Tìm hiểu về cấu trúc điều khiển hệ thống động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc.
- Đánh giá khả năng áp dụng bộ điều khiển tựa theo thụ động để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc .
- Thiết kế bộ điều khiển tựa theo thụ động (passivity based) và đánh giá chất lượng bằng mô phỏng Matlab-Simulink.

3. Nội dung của luận văn

Với mục tiêu đặt ra, nội dung luận văn bao gồm các chương sau:

Chương 1: Tổng quan và cấu trúc điều khiển động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc

Chương 2: Đánh giá khả năng áp dụng phương pháp điều khiển tựa theo thụ động (passivity - based) cho hệ thống

Chương 3: Thiết kế bộ điều khiển tựa theo thụ động

Chương 4: Đánh giá chất lượng điều khiển bằng mô phỏng Matlab - Simulink

Kết luận và kiến nghị

Chương 1

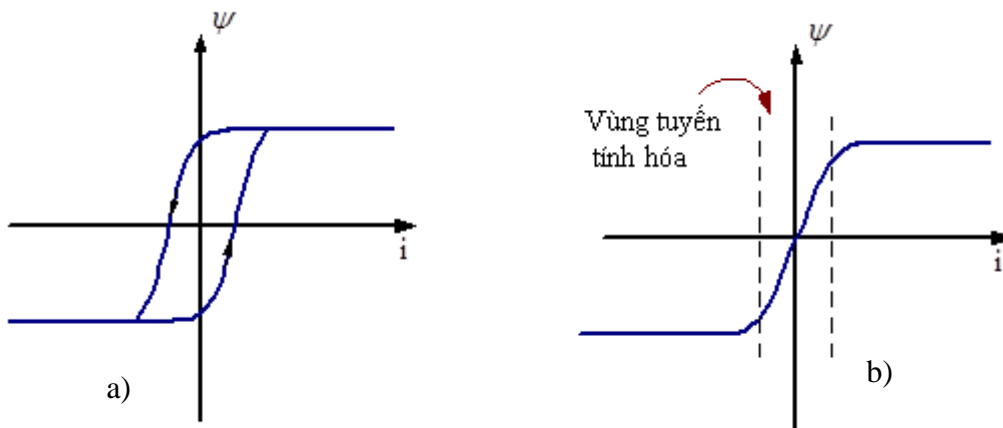
TỔNG QUAN VÀ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA ROTOR LỒNG SÓC

1.1. Tổng quan về động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc

Một đặc điểm nổi bật của động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc (KĐB-RTLS) đó là có kết cấu bền vững về mặt cơ học và giá thành tương đối rẻ. Bên cạnh đó, cùng với sự tiến bộ không ngừng của kỹ thuật điện tử và sự ra đời của nhiều phương pháp điều khiển hiện đại, động cơ KĐB-RTLS đã trở thành một cơ cấu chấp hành khó có thể thay thế trong các hệ truyền động. Tuy nhiên động cơ KĐB-RTLS lại là một đối tượng phi tuyến nên khó về mặt điều khiển. Đặc điểm phi tuyến của động cơ KĐB-RTLS không chỉ thể hiện ở cấu trúc mô hình của đối tượng mà còn thể hiện ở tham số mô hình của động cơ. Chính vì thế đã có rất nhiều công trình nghiên cứu, các phương án đề xuất nhằm giải quyết các vấn đề liên quan đến việc mô hình hóa các phần tử phi tuyến của động cơ với mục đích có được mô hình chính xác nhất, từ đó nâng cao được chất lượng điều khiển động cơ. Chính vì vậy luận văn sẽ trình bày tổng quan một số những yếu tố tạo nên đặc điểm phi tuyến tham số mô hình động cơ đã được các nhà khoa học công bố. Bên cạnh đó sẽ đi vào xây dựng mô hình của động cơ KĐB-RTLS, từ đó chỉ ra các đặc điểm phi tuyến trong mô hình động cơ.

1.1.1. Những yếu tố tạo nên đặc điểm phi tuyến của tham số mô hình động cơ

1.1.1.1. Hiện tượng bão hoà từ [4,5,11]



Hình 1.1: a) Đặc tính từ hoá và
b) đặc tính từ hoá trung bình

Để thấy được tính phi tuyến của tham số mô hình động cơ không đồng bộ 3 pha rotor lồng sóc, ta xuất phát từ hiện tượng bão hòa từ trong mạch từ của động cơ. Như ta biết rằng quan hệ giữa dòng điện từ hóa và từ thông là quan hệ phi tuyến trong các vật liệu dẫn từ, được thể hiện trên hình 1.1a. Do đó điện cảm là hàm phi tuyến của từ thông móc vòng qua mạch từ. Tuy nhiên, trong thực tế thì người ta sẽ xấp xỉ quan hệ trên bằng mô hình đường từ hóa trung bình có dạng như hình 1.1b.

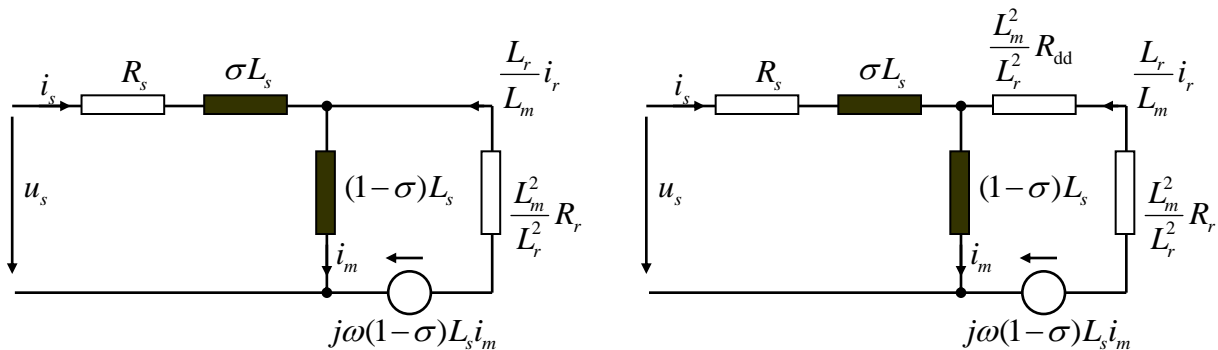
Từ hình 1.1b, ta thấy rằng đường đặc tính từ hoá có thể chia ra làm vùng: vùng tuyến tính và vùng bão hoà. Trong vùng tuyến tính, quan hệ $\psi(i)$ là tuyến tính - nghĩa là giá trị điện cảm trong vùng này là hằng số. Khi dòng từ hóa ra khỏi vùng tuyến tính thì từ thông tăng rất chậm, và đến khi dòng tăng vượt qua giá trị dòng bão hòa i_{bh} thì từ thông không tăng và có thể coi là hằng. Vì vậy nếu trong vùng này ta vẫn coi điện cảm là hằng thì sẽ có sai số trong mô hình. Hiện tượng này gọi là bão hoà từ. Do kết cấu cơ khí, các vị trí khe hở và gói sắt từ của lõi động cơ có đặc điểm không đều và từ tính khác nhau nên mức bão hoà từ có phân bố không gian còn phụ thuộc vào vị trí tức thời của vector từ thông. Do đó, điện cảm ở vị trí ngang trục và dọc trục lại có giá trị khác nhau. Đây cũng là đặc điểm mà ta cũng phải đưa vào mô hình động cơ khi phân tích ảnh hưởng của hiện tượng bão hoà từ.

Ngoài ra, trong động cơ dị bộ, hiện tượng BHT còn phân thành hai loại: bão hoà từ thông chính và bão hoà từ thông tản. Tuy nhiên trong đa số các trường hợp, người ta chỉ tập chung giải quyết hiện tượng bão hoà từ thông chính, còn bão hoà từ thông tản thường được bỏ qua và coi điện cảm tản là hằng số mà vẫn đạt được kết quả tốt. Điều này là vì từ thông tản phụ thuộc chủ yếu vào kết cấu cơ học và gần như không phụ thuộc vào dòng điện trong toàn bộ dải làm việc của động cơ.

Tóm lại khi phân tích ảnh hưởng của hiện tượng bão hoà từ ta phải xác định được quan hệ $L_m = f(|\psi_r|)$, quan hệ này thể hiện rất rõ đặc điểm phi tuyến tham số mô hình động cơ, tức là điện cảm không phải là giá trị hằng mà là phụ thuộc vào biến trạng ψ_r với quan hệ phi tuyến. Tùy vào từng mục tiêu cụ thể mà đường đặc tính từ hóa có thể được xác định bằng một số cách khác nhau. Để thuận lợi cho việc cài đặt thuật toán trong thiết bị, thì cách tốt nhất là mô tả đường đặc tính này ở dạng hàm xấp xỉ (hàm mũ hoặc hàm logarithm) hoặc ở dạng tra bảng thông qua kết quả thí nghiệm.

1.1.1.2. Hiệu ứng dẫn dòng

Theo [4,5,11], hiệu ứng dẫn dòng là hiện tượng các điện tích không chạy đều trong tiết diện của các cuộn dây mà chủ yếu tập trung trên bề mặt. Hiệu ứng này sẽ được bộc lộ rất rõ trong các mạch điện tần số cao và tiết diện cuộn dây lớn. Hiện tượng này sẽ làm cho điện trở tăng. Đối với động cơ KĐB-RTLS thì với tiết diện dây nhỏ và có thể bù bằng cơ cấu thích hợp, hiệu ứng dẫn dòng có thể được bỏ qua bên phía mạch stator. Nhưng đối với mạch rotor thì hiệu ứng khó có thể bỏ qua, bởi vì kích thước rotor thường lớn và tiết diện của các thanh dẫn ngắn mạch lớn. Hiệu ứng dẫn dòng của mạch rotor càng thể hiện rõ khi hệ số trượt của động cơ lớn, đặc biệt khi động cơ làm việc ở chế độ động, ví dụ như khi động cơ khởi động, đó đó ta có thể tận dụng hiệu ứng này để tăng mô men khi khởi động. Tuy nhiên, đối với những hệ điều khiển theo phương pháp T⁴R, thì do khả năng áp đặt được dòng nhanh, nên có thể chủ động khống chế được giới hạn của hệ số trượt. Khi áp dụng phương pháp điều chế điều chế vector để điều khiển động cơ, do công suất của các hài bậc cao khá nhỏ so với hài cơ bản, nên trong mô hình hóa động cơ ta chỉ cần khảo sát ảnh hưởng của sóng cơ bản đến hiệu ứng dẫn dòng.



Hình 1.2: Sơ đồ thay thế hình Γ của ĐC KĐB-RTLS

- Không có hiệu ứng dẫn dòng
- Có bổ sung thêm hiệu ứng dẫn dòng

Khi xét đến hiệu ứng dẫn dòng, ta có thể mắc thêm điện trở R_{dd} do hiệu ứng dẫn dòng gây ra nối tiếp với điện trở rotor R_s như sơ đồ thay thế hình Γ (hình 1.2).

Điện trở R_{dd} là một hàm phụ thuộc vào các yếu tố sau: hằng số vật liệu từ, kết cấu cơ và tần số phía mạch rotor. Theo tài liệu [11] không thể có một công thức tổng quát cho điện trở này, mà chỉ xác định được hệ số tăng điện trở k_r trong những kết cấu cơ cụ thể.

Ví dụ, theo [4,5,11] đối với thanh dẫn ngắn mạch có tiết diện hình chữ nhật có chiều cao h_l , thì hệ số tăng điện trở được tính theo công thức sau:

$$k_r = \frac{R_r + R_{dd}}{R_r} = \beta \frac{\sinh 2\beta + \sin 2\beta}{\cosh 2\beta - \cos 2\beta} \quad (1.1)$$

Trong đó β là chiều cao đã co ngắn của thanh dẫn, nó là hàm của các đại lượng sau: chiều cao của thanh dẫn, điện trở rotor, hằng số từ thẩm tuyệt đối μ_0 và điện dẫn của thanh dẫn κ .

$$\beta = h_l \sqrt{\frac{1}{2} \omega_r \mu_0 \kappa} \quad (1.2)$$

Trong trường hợp $\beta > 2$, thì có thể tính gần đúng hệ số tăng điện trở theo công thức sau:

$$k_r \approx \beta \quad (1.3)$$

1.1.1.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Ngoài hiện tượng dẫn dòng làm thay đổi điện trở của dây dẫn, thì nhiệt độ cũng làm thay đổi điện trở của dây dẫn. Tất nhiên ảnh hưởng của nhiệt độ đến điện trở không phải là nguyên nhân dẫn đến phi tuyến tham số mà nó chỉ làm cho điện trở là tham số hàm. Sự thay đổi điện trở này sẽ làm cho mô hình càng sai lệch với mô hình thực tế khi nhiệt độ tăng. Đó đó để đảm bảo chất lượng điều khiển, thì trong mô hình ta phải xét đến cả ảnh hưởng nhiệt độ đến sự thay đổi của điện trở dây dẫn. Ta cũng biết rằng, độ chính xác điện trở rotor có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng điều khiển, đó đó trong các hệ truyền động chất lượng cao việc nhận dạng điện trở rotor on-line không thể bỏ qua.

Dưới đây là biểu thức mô tả sự phụ thuộc điện trở đối với nhiệt độ của một thanh dẫn điện làm bằng vật liệu đồng:

$$R_t = R_{20}(1 + \alpha \Delta t) \quad (1.4)$$

Trong đó

R_t : điện trở tại nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$

R_{20} : điện trở tại nhiệt độ 20°C

α : hệ số nhiệt và $\alpha = 0.0039$

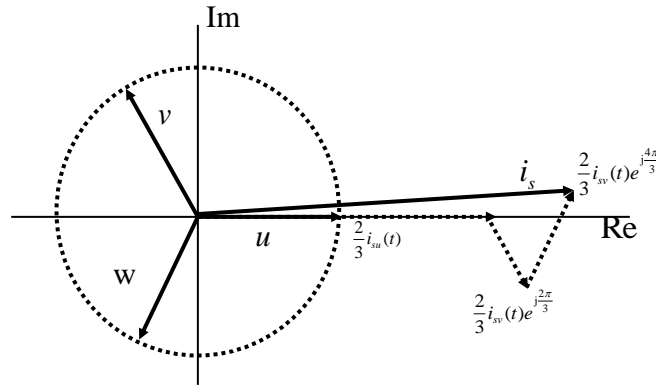
$$\Delta t = t^0 C - 20^0 C$$

1.1.2. Mô hình động cơ KĐB-RTLS

1.1.2.1. Vector không gian

Gọi i_{su}, i_{sv} và i_{sw} là ba dòng pha hình sin phía stator của ĐCXCBP không nối trung tính, giá trị tức thời của tổng ba dòng này sẽ bằng không

$$i_{su}(t) + i_{sv}(t) + i_{sw}(t) = 0 \quad (1.5)$$



Hình 1.3: Xây dựng vector dòng stator từ ba dòng pha

Do ba cuộn dây stator được bố trí lệch nhau 120^0 về điện, nên ta có thể mô tả ba dòng pha bằng một vector dòng $\mathbf{i}_s(t)$ quay trên không gian, được thể hiện trên hình 1.3 với tần số stator f_s dưới dạng sau:

$$i_s(t) = \frac{2}{3} \left[i_{su}(t) + i_{su}(t)e^{j\gamma} + i_{sw}(t)e^{j2\gamma} \right]; \quad \gamma = 120^0 \quad (1.6)$$

Như vậy hình chiếu của vector dòng stator \mathbf{i}_s nên các trục của cuộn dây chính là ba dòng pha tương ứng. Tương tự, ta cũng biểu diễn các đại lượng ba pha khác như điện áp stator, từ thông stator, từ thông rotor dưới dạng vector không gian u_s, ψ_s và ψ_r .

Với cách biểu diễn vector không gian như trên, thì các đại lượng dòng điện, điện áp ba pha của động cơ có thể được mô tả bởi một vector hai chiều trên bất kỳ một hệ tọa độ vuông góc nào.

Dưới đây là cách biểu diễn qui ước các đại lượng điện của động cơ bằng một vector hai chiều trên hệ tọa độ $\alpha\beta$.

a) Trên hệ tọa độ cố định $\alpha\beta$ của cuộn dây stator

$$\begin{cases} u_s^S = u_{s\alpha} + ju_{s\beta} \\ i_s^S = i_{s\alpha} + ji_{s\beta} \\ \psi_s^S = \psi_{s\alpha} + j\psi_{s\beta} \\ i_r^S = i_{r\alpha} + ji_{r\beta} \\ \psi_r^S = \psi_{r\alpha} + j\psi_{r\beta} \end{cases} \quad (1.7)$$

b) Trên hệ tọa độ $\alpha\beta$ của cuộn dây rotor, chú ý rằng ở đây ta đã mô hình hệ thống dây cuộn rotor thành hệ thống dây cuộn 3 pha giống như stator

$$\begin{cases} u_r^r = 0 \\ i_r^r = i_{r\alpha}^r + ji_{r\beta}^r \\ \psi_r^r = \psi_{r\alpha}^r + j\psi_{r\beta}^r \\ u_s^r = u_{s\alpha}^r + ju_{s\beta}^r \\ i_s^r = i_{s\alpha}^r + ji_{s\beta}^r \\ \psi_s^r = \psi_{s\alpha}^r + j\psi_{s\beta}^r \end{cases} \quad (1.8)$$

Tương tự, ta cũng có cách biểu diễn trên hệ tọa độ từ thông dq. Hệ tọa độ dq là hệ tọa độ quay đồng bộ với vector \mathbf{i}_s và có trục thực d trùng với trục của vector từ thông rotor ψ_r , như hình 1.4.

$$\begin{cases} u_s^f = u_{sd} + ju_{sq} \\ i_s^f = i_{sd} + ji_{sq} \\ \psi_r^f = \psi_{rd} \\ \psi_s^f = \psi_{sd} + j\psi_{sq} \end{cases} \quad (1.9)$$

Việc biểu diễn các đại lượng điện trên hệ trục tọa độ dq là cơ sở cho phương pháp điều khiển T⁴R.

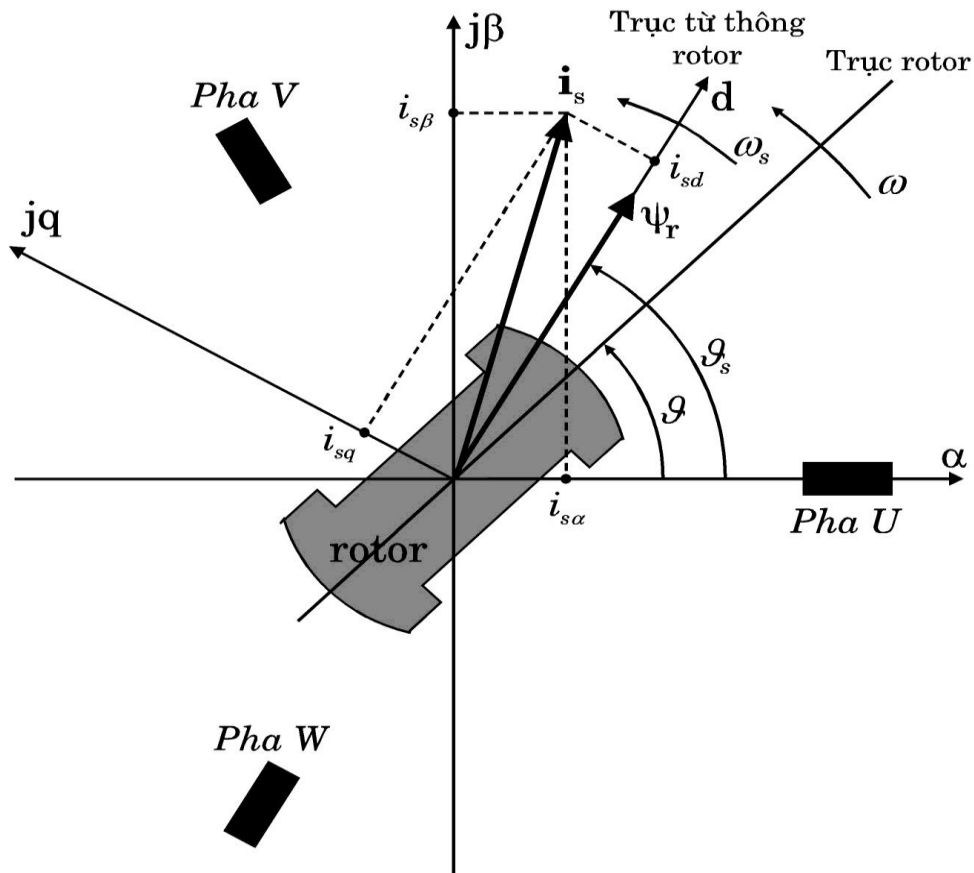
Từ hình (1.4) ta có:

$$\begin{cases} i_{s\alpha}^r = i_{s\alpha} \cos \vartheta + i_{s\beta} \sin \vartheta \\ i_{s\beta}^r = -i_{s\alpha} \sin \vartheta + i_{s\beta} \cos \vartheta \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} i_{r\alpha} = i_{r\alpha}^r \cos \vartheta - i_{r\beta}^r \sin \vartheta \\ i_{r\beta} = i_{r\alpha}^r \sin \vartheta + i_{r\beta}^r \cos \vartheta \end{cases} \quad (1.10)$$

hay

$$\begin{cases} i_r^s = e^{j\vartheta} i_r^r \\ i_s^r = e^{-j\vartheta} i_s^s \end{cases} \quad (1.11)$$

với ϑ là góc giữa hai hệ tọa độ cố định stator và hệ tọa độ rotor



Hình 1.4: Biểu diễn vector dòng trên hệ tọa độ cố định stator $\alpha\beta$ và dq