

XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ ĐỘNG CƠ XOAY CHIỀU VỚI CẤU TRÚC BIẾN ĐỔI SỬ DỤNG CARD dSPACE 1104

Trần Đức Chuyên^{1*}, Nguyễn Đức Điền¹, Trần Ngọc Sơn¹,
Lê Văn Ánh¹, Đỗ Mạnh Dân²

Tóm tắt: Trong các hệ thống truyền động điện công nghiệp, thường gặp các đối tượng cần giải quyết bài toán điều khiển vị trí góc, dịch chuyển đối tượng từ vị trí này sang vị trí khác một cách tiệm cận không có độ quá chỉnh và bảo đảm tính tác động nhanh cực đại. Đây là bài toán tối ưu đa mục tiêu có nhiều cách giải quyết khác nhau. Bài báo này trình bày một phương pháp xây dựng bộ điều khiển vị trí động cơ xoay chiều với cấu trúc biến đổi sử dụng card dSPACE 1104. Để giải quyết bài toán này, việc sử dụng phần mềm mô phỏng, lập trình thực nghiệm với máy vi tính, thu thập dữ liệu và điều khiển là các công cụ trợ giúp đắc lực và có hiệu quả.

Từ khóa: Điều khiển vị trí động cơ xoay chiều đồng bộ; Điều khiển vị trí; Cấu trúc biến đổi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những năm gần đây, động cơ xoay chiều (ĐCXC) đồng bộ ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền động điện công nghiệp, nhằm thay thế các động cơ một chiều chứa nhiều nhược điểm. ĐCXC được chế tạo thành các module chứa sẵn với nhiều chế độ điều khiển khác nhau: chế độ tốc độ làm việc nhanh, chế độ làm việc chậm,... Để ứng dụng các động cơ xoay chiều vào các hệ thống truyền động điều khiển vị trí, đặc biệt là các hệ thống điều khiển đòi hỏi cần có chất lượng cao như các hệ truyền động điện bám trong công nghiệp, thì còn nhiều vấn đề phải giải quyết, [2, 3, 4]. Trên cơ sở cấu trúc điều khiển tựa véc tơ từ thông rô to (FOC), ta nhận thấy: Mạch vòng điều khiển mô men thông qua bộ điều khiển dòng stator; Mạch vòng điều khiển tốc độ lại có ưu điểm là phân ly được quá trình điều khiển từ thông và quá trình sinh ra mô men của động cơ, [3, 5]. Ưu điểm cơ bản của phương pháp điều khiển tựa véc tơ từ thông rô to của động cơ xoay chiều là khả năng điều khiển tách biệt dòng kích thích và dòng tạo mô men giống động cơ một chiều. Vì thế, nó mang lại cho động cơ xoay chiều các tính năng điều khiển tốt. Vì vậy, phương pháp này nhận được sự quan tâm nhiều từ trước đến nay.

Hơn nữa, ngày nay, kỹ thuật điều khiển số có nhiều ưu điểm vượt trội so với kỹ thuật điều khiển tương tự, do đó, kỹ thuật điều khiển số sử dụng ngày càng phổ biến trong công nghiệp và dân dụng, các nghiên cứu hiện nay đều sử dụng hoặc có liên quan đến kỹ thuật điều khiển số. Mục tiêu đảm bảo chất lượng là sự thỏa mãn nhu cầu thị trường với chi phí thấp nhất, ứng dụng những kỹ thuật cao chính xác của các máy công nghiệp như: máy cắt gọt kim loại, rô bốt công nghiệp,... để làm tăng năng suất lao động, giảm giá thành sản phẩm. Vì vậy, việc nghiên cứu và ứng dụng card xử lý tín hiệu số đa năng nói chung và card dSPACE 1104 nói riêng mục đích để kiểm chứng việc tính toán xây dựng bộ điều khiển (BĐK) vị trí, cho phép thực hiện các thuật toán trong điều khiển chuyển động dưới dạng mã thời gian thực, [1, 5]. Các quá trình thực nghiệm với thời gian thực là vấn đề mới cần thiết và có nhiều ý nghĩa trong công nghiệp và dân dụng, [1, 7, 8]. Trong [12] đã đi nghiên cứu về hệ thống điều khiển có cấu trúc biến đổi sử dụng thuật toán điều khiển trượt, sử dụng dSPACE 1104, nhưng chưa điều khiển vị trí mà với dừng ở điều khiển tốc độ ĐCXC công suất nhỏ 1,1kW. Tiếp theo, tài liệu [11] nghiên cứu về một hệ thống điều khiển có cấu trúc biến đổi thiết kế BĐK trượt với mô hình thực nghiệm chỉ có ĐCXC công suất nhỏ dưới 1kW kéo theo các ổ trục có tải công suất nhỏ. Hơn nữa, một số công trình nghiên cứu khác như [10] và ở trong nước chỉ dừng lại ở kết quả mô phỏng mà chưa thể

hiện được thực nghiệm với bộ điều khiển vị trí, hoặc chỉ thực nghiệm BDK vị trí động cơ một chiều công suất nhỏ (động cơ xoay chiều công suất nhỏ hơn 1kW).

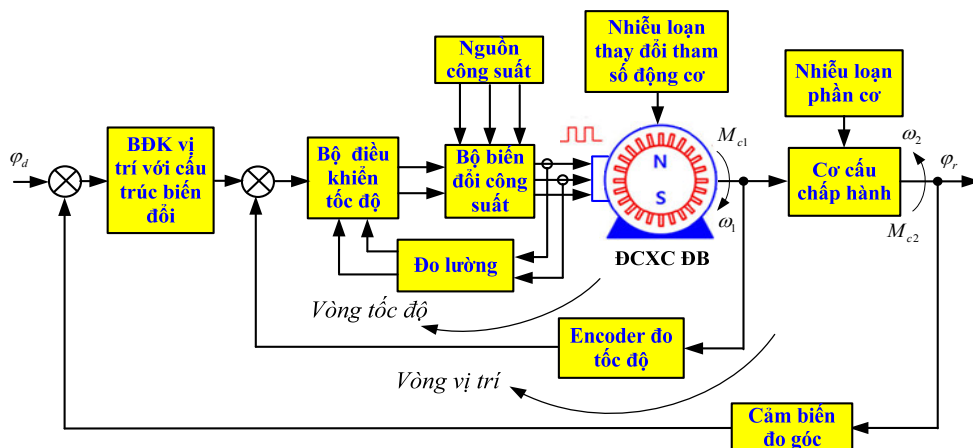
Nhằm tạo ra các cấu trúc thích hợp bảo đảm tối ưu cho hệ thống, bài báo này trình bày phương pháp xây dựng hệ thống điều khiển truyền động với cấu trúc biến đổi cho bộ điều khiển vị trí sử dụng động cơ xoay chiều đồng bộ, để nâng cao chất lượng điều khiển như: kỹ thuật điều khiển rô bốt, điều khiển chính xác máy cắt gọt kim loại CNC, điều khiển quá trình, điều khiển các cơ cấu chấp hành bằng điện khí nén và thủy lực,... nhằm tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều khiển truyền động điện, [2, 4, 5, 7, 9].

2. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ VỚI CẤU TRÚC BIẾN ĐỔI

Chế độ làm việc sai lệch góc giữa lượng vào và lượng ra là rất lớn, nên quá trình hoạt động của hệ thống thường trải qua hai giai đoạn: Giai đoạn vượt chuyển động với tốc độ lớn để bảo đảm tính tác động nhanh và giai đoạn bám. Hệ thống cần phải vào đồng bộ êm và chính xác. Để bảo đảm chất lượng cao cho quá trình điều khiển, hệ thống cần được thiết kế sao cho mỗi giai đoạn có cấu trúc thích hợp với đặc trưng động học là tốt nhất. Như vậy, hệ thống sẽ có cấu trúc biến đổi [3, 5, 9]. Ở đây cần giải quyết hai bài toán:

- Bài toán tổng hợp cấu trúc tối ưu tương ứng cho mỗi giai đoạn;
- Bài toán lựa chọn thời điểm chuyển đổi cấu trúc.

Phương pháp giải hai bài toán này cho hệ thống truyền động bám với động cơ xoay chiều, sơ đồ khối của hệ thống truyền động bám vị trí sử dụng động cơ xoay chiều với cấu trúc điều khiển như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống truyền động bám vị trí với cấu trúc biến đổi.

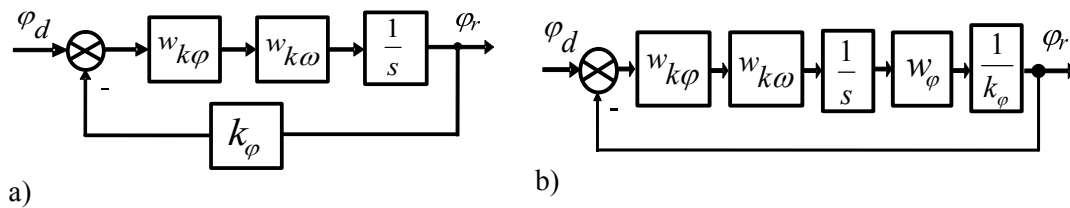
Hệ thống ở trong hình 1 gồm vòng điều khiển vị trí với cấu trúc biến đổi và vòng tốc độ. Vòng tốc độ được thiết kế theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun hoặc tối ưu đối xứng, để đảm bảo tốc độ của động cơ luôn bám sát tốc độ đặt khi có tính đến các yếu tố phi tuyến bất định của mô hình như sự thay đổi các thông số động cơ, sự biến đổi của mômen ma sát, cũng như khi các giá trị đặt và nhiễu phụ tải thay đổi. Ngoài ra, còn có nguồn và bộ biến đổi công suất, ĐCXC và một số các thiết bị đo lường phụ trợ khác.

Khi sử dụng bộ dSPACE hoặc biến tần công nghiệp để xây dựng hệ thống điều khiển truyền động bám thì vấn đề cơ bản nhất là thiết kế động học cho các BDK vị trí. Khi góc sai lệch nhỏ, BDK vị trí được xây dựng theo nguyên lý thiết kế các hệ truyền động điện nhiều vòng với các vòng điều chỉnh lệ thuộc [3, 5]. Khi thiết kế động học, BDK vị trí ta coi rằng vòng tốc độ được thiết kế theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun hoặc tối ưu đối xứng. Khi đó, vòng dòng điện có hằng số thời gian điện từ (T_u) và hằng số thời gian bộ biến đổi T_{bd} được thay

bằng tổng của chúng là T_μ . Vòng tốc độ tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun, [3, 5]. Khi xây dựng BĐK truyền động cho ĐCXC, một yêu cầu cơ bản là có vòng kín điều chỉnh dòng i_d và i_q . Điều này cho phép giữ cho $i_d = \text{const}$ trong chế độ quá độ và cân bằng, cải thiện đặc tính năng lượng, i_q là thành phần dòng điện tạo ra mô men [5].

Thực hiện tổng hợp vòng vị trí, cho rằng vòng tốc độ đã được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun hoặc tối ưu đối xứng [2, 3]. Tổng hợp vòng vị trí theo phương pháp Ziegler - Nichols hoặc phương pháp sử dụng phần mềm thiết kế BDK PID Design như trong tài liệu [3],... để thiết kế BDK vị trí PI và PID.

Khi đó, sơ đồ cấu trúc được biến đổi thành sơ đồ trong hình 2a, sau đó tiếp tục biến đổi sơ đồ khối ta có sơ đồ trong hình 2b. Trong đó: $w_{k\omega}$ là hàm truyền BDK tốc độ, $w_{k\varphi}$ là hàm truyền BDK vị trí; k_φ hệ số hàm truyền của phần đo lường.



Hình 2. a) sơ đồ cấu trúc hệ truyền động điều khiển vị trí,
b) biến đổi sơ đồ cấu trúc hệ truyền động bám vị trí.

Xét hệ thống ở vùng sai lệch với góc đặt 0,1 rad. Gọi T_μ là tổng hằng số thời gian nhỏ không bù ($T_\mu = T_u + T_{bd}$). Do hệ có quán tính cơ học khá lớn nên hằng số thời gian cần bù là hằng số thời gian điện cơ của hệ thống T_M . Đối tượng của bộ điều chỉnh vòng vị trí có dạng:

$$W_{0\varphi} = W_{k\omega} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1/K_\omega}{a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu s + 1} \cdot \frac{1}{s} \quad (1)$$

Khi đó hàm truyền kín được viết.

$$W_{k\omega} = \frac{1/K_\omega}{(a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu s + 1)} \quad (2)$$

Biểu thức (2) đã được đơn giản gần đúng bỏ qua số hạng bậc cao ở mẫu số hàm truyền. Tổng hợp bộ điều khiển vị trí theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun [2, 3], hàm truyền mong muốn của hệ có dạng sau:

$$W_{H\varphi} = \frac{1/K_\varphi}{a_\varphi \cdot a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu \cdot s \cdot (a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu s + 1)} \quad (3)$$

Hàm truyền bộ điều chỉnh vị trí là:

$$W_\varphi = \frac{W_{H\varphi}}{W_{0\varphi}} = \frac{K_\omega}{K_\varphi \cdot a_\varphi \cdot a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu} = K_{d\varphi} \quad (4)$$

Lúc này hàm truyền vòng kín hệ thống điều khiển vị trí được viết lại là:

$$W_{k\varphi} = \frac{1/K_\varphi}{a_\varphi \cdot a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu \cdot s \cdot (a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu s + 1) + 1} \quad (5)$$

Khi sai lệch góc ban đầu có giá trị lớn, hệ thống làm việc với hai giai đoạn tương ứng với giá trị lớn nhỏ của góc sai lệch. Vấn đề đặt ra là cần lựa chọn thời điểm chuyển điều khiển thế nào để hệ thống đạt được tiêu chuẩn tối ưu theo tác động nhanh và tiệm cận vị trí cuối không có độ quá chỉnh [3]. Xét điều kiện ưu tiên ở thời điểm dừng, khi hệ thống vào vùng sai lệch nhỏ (gần đến đích) cần nâng cao độ chính xác. Ở thời điểm hệ thống chuyển sang cấu trúc kín bắt đầu làm việc ta có: Tốc độ ban đầu $\omega = \omega_{bd}$; Sai lệch $\Delta\varphi_{bd} = \varphi_d - \varphi_{bd}$. Khi chỉnh định hệ thống theo tiêu chuẩn giảm va đập, ta lựa chọn $a_\varphi = 4$, [2, 3]. Ta thấy tín hiệu ra bộ điều chỉnh vị trí là tín hiệu đặt cho bộ điều chỉnh tốc độ. Tín hiệu vào BDK tốc độ là:

$$U_{d\omega} - K_\omega \cdot \omega = K_{d\varphi} \Delta\varphi - K_\omega \cdot \omega_k \quad (6)$$

Khi điều khiển theo sai lệch:

$$K_{d\varphi} \Delta\varphi - K_\omega \cdot \omega_k = 0; \quad K_{d\varphi} \Delta\varphi = K_\omega \cdot \omega_k \quad (7)$$

Theo (7) có thể xác định gia tốc trong quá trình khử sai lệch vị trí $\Delta\varphi$ như sau:

$$\frac{d\omega_k}{dt} = \frac{K_{d\varphi}}{K_\omega} \cdot \frac{d}{dt} (\varphi_d - \varphi) = \frac{K_{d\varphi}}{K_\omega} \left[-\frac{d(K_\varphi \cdot \varphi)}{dt} \right] = \frac{K_{d\varphi}}{K_\omega} \left[-K_\varphi \frac{d(\varphi)}{dt} \right] = \frac{-K_{d\varphi}}{K_\omega} \cdot K_\varphi \cdot \omega \quad (8)$$

Như vậy, gia tốc chậm dần cực đại của chuyển động trong hệ truyền động điện càng lớn khi tốc độ ban đầu càng lớn (7). Gia tốc này tăng khi tăng sai lệch góc ban đầu $\Delta\varphi_{bd}$ lúc hệ thống chuyển động sang hệ kín vào vị trí đồng bộ, vì vậy dòng phản ứng cực đại cũng tăng.

$$I_{max} = \frac{1}{C} \cdot \left[J \Sigma \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{max} + M_C \right] \quad (9)$$

Giá trị I_{max} tính theo (9) cần bảo đảm điều kiện hạn chế dòng $I_{max} \leq I_{cf}$ và hệ thống là tuyến tính. Nếu $\Delta\varphi_{bd}$ và ω_{bd} lớn thì sẽ làm cho điều kiện sau tồn tại:

$$I_{max} > I_{cf} (I_{hạn\ chế}) \quad (10)$$

Bộ điều chỉnh ω sẽ chuyển sang giai đoạn bão hòa của đặc tính sau:

$$U_{dl} = U_d \cdot I_{max} = K_I \cdot I_{cf} = const \quad (11)$$

Khi đó, hệ thống làm việc như mạch hở với dòng cực đại $I_{max} = I_{cf}$.

Do gia tốc hãm tương ứng với mô men hãm cho phép nhỏ hơn giá trị yêu cầu để dừng êm chính xác đã tính trên nên cuối quá trình sẽ xảy ra hiện tượng quá chỉnh.

Như vậy, vòng điều chỉnh vị trí tối ưu với bộ điều chỉnh tỷ lệ khi $W_\varphi = K_{\varphi d}$ sẽ được thực hiện với yêu cầu cần phải hạn chế giá trị ban đầu của sai lệch và tốc độ ($\Delta\varphi_{bd}$, ω_{bd}) ở thời điểm khi hệ thống chuyển sang giai đoạn làm việc với cấu trúc hệ kín để vào đồng bộ. Khi đó, dòng điều khiển mô men cực đại chưa đạt tới giá trị hạn chế cho phép [3, 4, 5, 7, 9]. Theo (8) và (9) xác định được giá trị cho phép của tốc độ ở thời điểm dòng điều khiển mô men cực đại là:

$$\omega_{maxcf} = \frac{K_\omega \cdot \varepsilon_{Tmax}}{K_{\varphi d} \cdot K_\varphi} = \frac{K_\omega}{K_{\varphi d} \cdot K_\varphi} - \frac{C \cdot I_{cf} + M_C}{\beta_C \cdot T_M} = \frac{K_\omega}{K_{\varphi d} \cdot K_\varphi} - \frac{C \cdot I_{cf} + M_C}{\beta_C \cdot T_M} \quad (12)$$

Ở đây: β_C là độ cứng đặc tính cơ; I_{cf} là dòng hạn chế cho phép. Nếu cho rằng thời gian để dòng điện tăng đến I_{max} là $t_{max} = 2a_I \cdot T_\mu$ thì ta có:

$$\omega_{maxcf} = \omega_{bdcf} - \frac{\varepsilon_{Tmax} \cdot t_{max}}{2} = \omega_{bdcf} - a_I \varepsilon_{Tmax} \cdot T_\mu \quad (13)$$

Vậy tốc độ ban đầu cho phép ω_{bdcf} được tính là:

$$\begin{aligned}\omega_{bdcf} &= \omega_{maxcf} + a_I \cdot \varepsilon_{Tmax} \cdot T_\mu = \frac{K_\omega}{K_{\varphi_d} \cdot K_\varphi} \varepsilon_{max} + a_I \cdot \varepsilon_{Tmax} \cdot T_\mu \\ &= \frac{K_\omega}{K_{\varphi_d} \cdot K_\varphi} \cdot \frac{C \cdot I_{cf} + M_c}{\beta_c \cdot T_M} \cdot \left(1 + \frac{K_{d\varphi} \cdot K_\varphi \cdot a_I \cdot T_\mu}{K_\omega} \right) \\ &= \frac{a_\varphi \cdot a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu}{\beta_c \cdot T_M} \cdot (C \cdot I_{cf} + M_c) \cdot \left(1 + \frac{1}{a_\varphi \cdot a_\omega} \right).\end{aligned}\quad (14)$$

Biểu thức (14) là cơ sở lựa chọn tốc độ ban đầu cho giai đoạn bám vào đồng bộ chính xác. Từ (14) ta thấy, mômen cản làm tăng giá trị tốc độ ban đầu cho phép vì thế khi tính toán cần lựa chọn M_C nhỏ nhất với M_C thay đổi trong giới hạn rộng.

Xét hệ thống khi quay một góc đặt cho trước. Hệ thống bắt đầu hoạt động khi điều kiện đầu bằng 0. Hệ thống gồm các giai đoạn chuyển động sau:

- Gia tốc đến tốc độ ω_{max} ($\Delta\varphi$);
- Chuyển động với tốc độ cực đại cho phép;
- Hãm và dừng chính xác.

Gia tốc góc đặt càng lớn thì dòng điện khi khởi động càng lớn. Khi ω_{max} càng lớn thì dòng cực đại khi hãm càng lớn. Tính chất động học của hệ điều khiển vị trí chỉ được bảo toàn khi giá trị dòng điện $I_{max} < I_{cf}$ hệ thống là tuyến tính.

Để tránh hiện tượng quá chỉnh khi hãm với tốc độ ban đầu cực đại, có thể chọn hệ số khuếch đại bộ điều chỉnh vị trí theo (7) khi coi tốc độ định mức hệ truyền động là tốc độ ban đầu và cho giá trị $|\varepsilon_{tbl}| = \varepsilon_{hmax} = \text{const}$ [2, 3, 5].

Ta có:

$$\frac{\Delta\varphi}{K_\varphi} = \frac{\omega_{dm}^2}{2\varepsilon_{hmax}} \quad (15)$$

Thay (15) vào (7) thu được:

$$K_{d\varphi} = \frac{2 \cdot K_\omega \cdot \varepsilon_{hmax}}{K_\varphi \cdot \omega_{dm}} \quad (16)$$

- Khi $\Delta\varphi$ lớn ($\Delta\varphi_{dmax}$ - Sai lệch khi bắt đầu trạng thái hãm), lựa chọn $K_{d\varphi}$ theo điều kiện (16).
- Khi $\Delta\varphi$ nhỏ, $K_{d\varphi}$ lựa chọn tỉ lệ nghịch với tốc độ:

$$K_{d\varphi} = \frac{K_\omega \cdot \varepsilon_{Tmax}}{K_\varphi \cdot \omega} \quad (17)$$

Tính toán và rút gọn lại, ta thu được hàm truyền BĐK vị trí là:

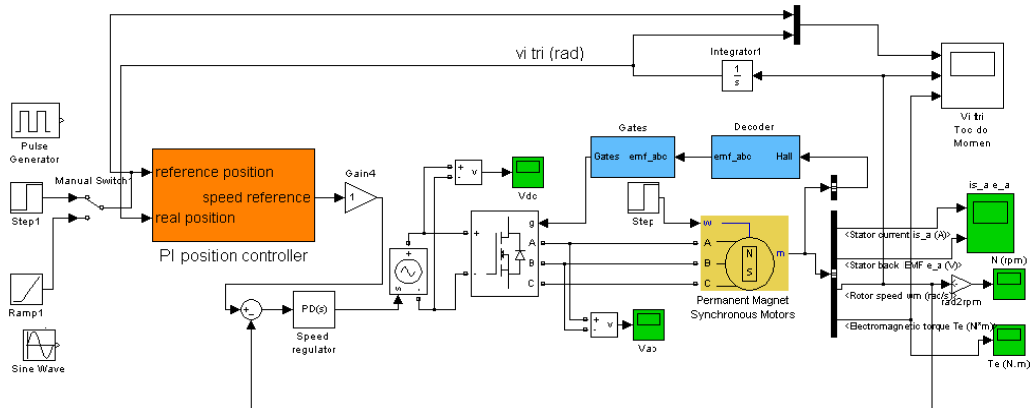
$$W_\varphi = K_{d\varphi} + \frac{K_{d\varphi}}{2a_\varphi T_\omega s} \quad (18)$$

Biểu thức (18) là BĐK tỷ lệ tích phân. Khi tổng hợp BĐK vị trí PI, ta có thể tính toán theo phương pháp Ziegler-Nichols hoặc phương pháp sử dụng phần mềm chuyên dụng PID Design ở [3] để tính toán lựa chọn tham số phù hợp với các giá trị cần thiết để mô phỏng và thực nghiệm của bộ điều khiển có được là: $a_\varphi = 0,2$; $K_\omega = 0,002$; $T_\omega = 0,079$. Đến đây ta tính được thành phần K_P và K_I là: $K_P = 2900$; $K_I = 8200$. Khi đó,

việc biến đổi cấu trúc điều khiển được thực hiện theo hàm các thông số trạng thái (tốc độ và sai lệch góc) của hệ thống, [5, 7, 8].

3. MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Sau khi nghiên cứu tính toán, xây dựng BDK vị trí, dựa vào các tham số đã tính toán và lựa chọn ở trên. Tiến hành thực hiện xây dựng chương trình mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink để tiến hành mô phỏng, đánh giá kết quả nhằm kiểm chứng tính đúng đắn của phương pháp nghiên cứu, sơ đồ có dạng như trên hình 4.



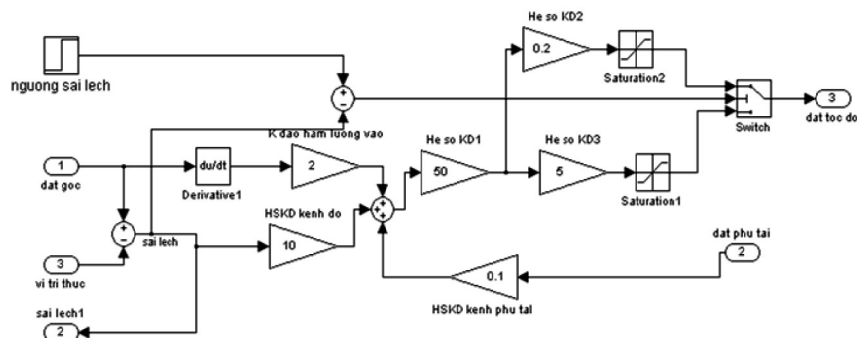
Hình 3. Sơ đồ khối cấu trúc điều khiển hệ thống truyền động sử dụng động cơ xoay chiều đồng bộ được xây dựng trên Matlab – Simulink.

Các tham số mô phỏng ĐCXĐ đồng bộ ký hiệu HASA 102 dùng để mô phỏng và thực nghiệm, gồm có: Công suất $P = 3,7 \text{ kW}$; Tốc độ định mức 1500 vòng/phút; Điện áp $U = 220\text{V}$; $I = 4,5\text{A}$; Đôi cực $p = 4$; Điện trở stato $R_s = 14,85 \cdot 10^{-3} \Omega$; Điện trở rô to $R_r = 9,295 \cdot 10^{-3} \Omega$; Hệ số ma sát nhớt $B = 0,0001 \text{ N.m.s/rad}$; Mô men quán tính $J = 1,55 \cdot 10^{-4} \text{ Kg.m}^2$. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống bám điều chỉnh tổng hợp có tích hợp thêm điều khiển theo đạo hàm lượng vào như hình 3.

- Khảo sát đánh giá các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống khi tác động vào là hàm bậc thang. Mô phỏng thực hiện với các giá trị lớn nhỏ khác nhau của lượng vào (góc đặt trước).

- Nghiên cứu ảnh hưởng các thông số bộ điều chỉnh đến chất lượng hệ thống (tính tác động nhanh và khả năng tiệm cận không có dao động đến vị trí cuối). Lựa chọn được thông số bộ điều chỉnh để đạt được giá trị mong muốn [3, 5, 8].

- Khảo sát hệ thống bám điều chỉnh tổng hợp có thêm kênh điều khiển theo đạo hàm lượng vào, lựa chọn được hệ số của kênh. Nó gồm mạch chính là BDK tỉ lệ và phân bù theo đạo hàm lượng vào như hình 4.

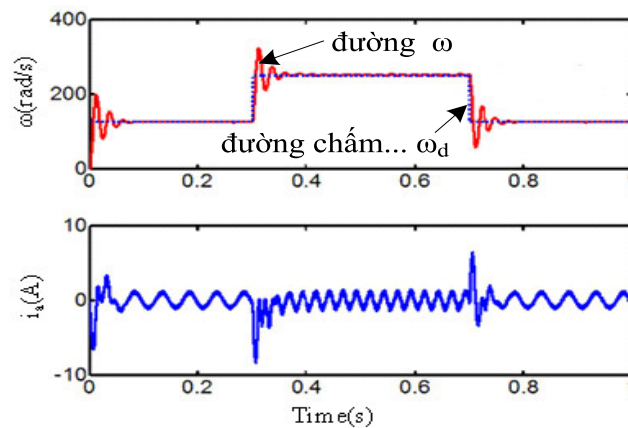


Hình 4. Khai triển mô hình mô phỏng bộ điều khiển vị trí.

Thiết kế bộ điều khiển tổng hợp để nâng cao chất lượng hệ truyền động bám, khi có thêm kênh điều khiển theo đạo hàm lượng vào bảo đảm cho hệ thống là vô sai khi tín hiệu vào thay đổi với tốc độ không đổi. Trong quá trình mô phỏng có thể bỏ kênh bù để xét riêng BDK tỉ lệ. Với sơ đồ hình 4 có thể mở rộng thêm kênh điều khiển theo nhiều là mômen cần, [2, 3].

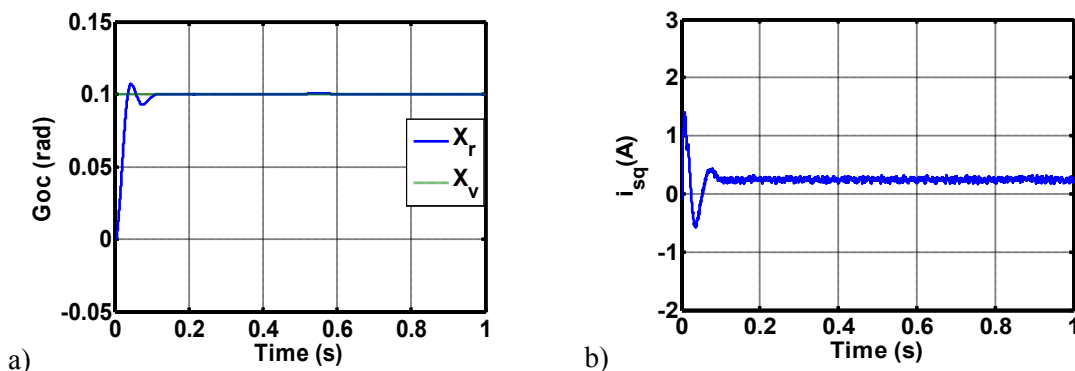
Hệ thống điều khiển đã xây dựng làm việc khi chuyển đổi cấu trúc với giá trị sai lệch khác nhau và được mô phỏng một số trường hợp sau:

Trường hợp 1: Đánh giá quá trình điều khiển khi thay đổi tốc độ, tốc độ đặt là ω_d tăng từ 126 rad/s đến 256 rad/s, sau đó, giảm từ 256 rad/s đến 126 rad/s, lượng ra bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng; đáp ứng dòng điện i_a thể hiện đúng quá trình thay đổi tốc độ, hệ thống làm việc ổn định, ta có kết quả mô phỏng như hình 5.



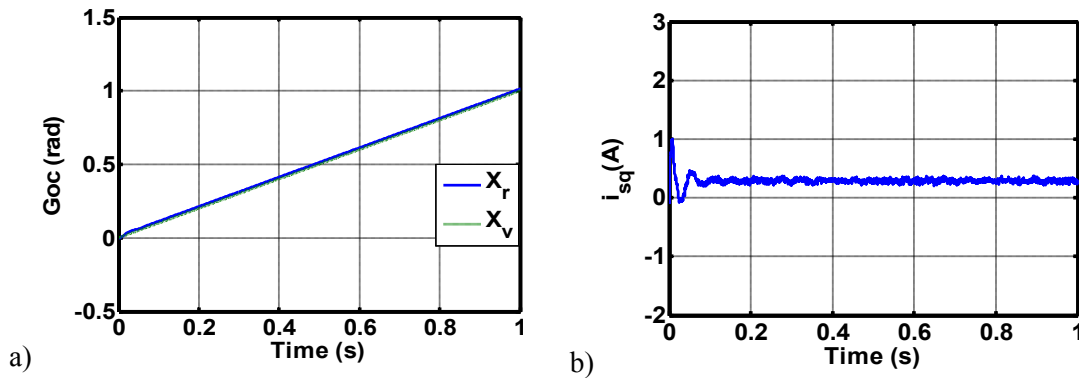
Hình 5. Kết quả mô phỏng khi thay đổi tốc độ đặt; tốc độ đáp ứng và dòng điện i_a của hệ thống.

Trường hợp 2: Nghiên cứu ảnh hưởng của thời điểm chuyển đổi cấu trúc: hệ thống làm việc với góc sai lệch khi chuyển đổi cấu trúc với giá trị tối ưu là lượng đặt cho trước lượng vào là hàm bậc thang $X_v = 0.1$ rad, khi mô men tải không đổi $M_c = 5$ Nm. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng vào ra theo góc có thời gian đạt giá trị cân bằng 0,1 s như hình 6a, lượng ra luôn bám sát lượng vào, giá trị dòng điện i_{sq} trên hình 6b thể hiện đúng quá trình làm việc của hệ thống. Ta có kết quả:



Hình 6. Đáp ứng vào ra BDK vị trí theo: a) góc 0,1 rad; b) giá trị dòng i_{sq} trường hợp 2.

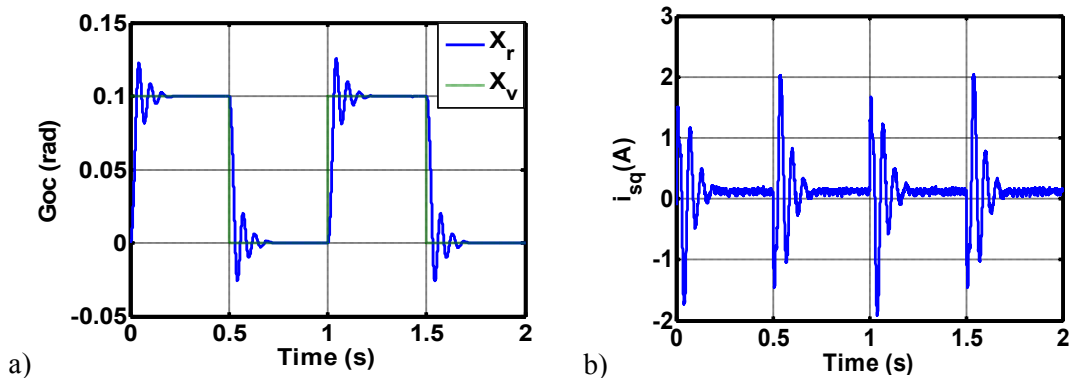
Trường hợp 3: Nghiên cứu phản ứng của hệ thống khi góc đặt vào là hàm thay đổi biến thiên tốc độ không đổi theo quy luật hàm $X_v = V.t$, ($V = 1$ rad/s) mô men tải không đổi $M_c = 5$ Nm, như trong hình 7.



Hình 7. Đáp ứng vào ra BDK vị trí theo: a) góc 1 rad; b) giá trị dòng i_{sq} trường hợp 3.

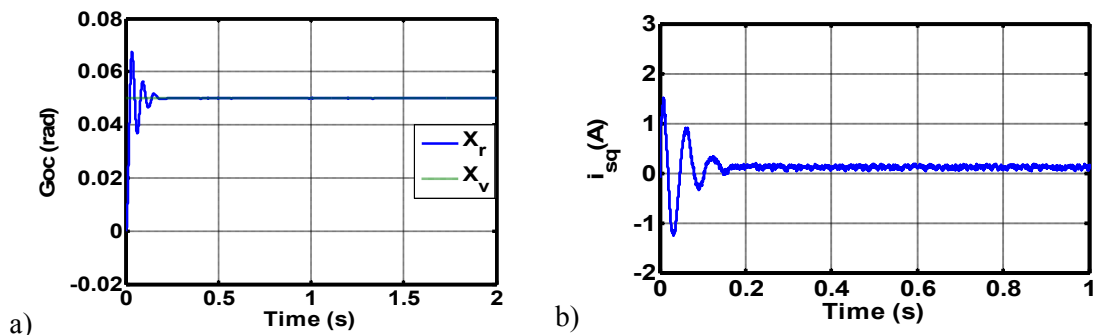
Khi góc đặt là hàm V.t thời gian đạt giá trị cân bằng khoảng 0,1%. Sai số bám sát gần như bằng không, ta thấy thời gian đáp ứng bộ điều khiển khá nhanh. Bộ điều khiển vị trí nêu ra ở đây là bộ điều khiển tổng hợp, [3, 5, 11].

Trường hợp 4: Khi lượng vào thay đổi góc sai lệch khi chuyển đổi cấu trúc là 0,1 rad; với biên độ có dạng xung vuông; chu kỳ $T = 1$ s; mô men cân không thay đổi. Hệ thống làm việc cả ở chế độ tăng giảm lượng vào; số lần dao động bằng 2, lượng ra vẫn bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng như trong hình 8.



Hình 8. Đáp ứng vào ra BDK vị trí theo: a) góc; b) giá trị dòng i_{sq} trường hợp 4

Trường hợp 5: Góc đặt vào bé $X_v = 0.05$ rad, hệ thống làm việc với lượng ra hệ thống có sự thay đổi trong quá trình quá độ, thì độ dao động của hệ thống có số lần dao động = 2 lần; thời gian quá độ $t_{qd} = 0,16$ s; lượng ra vẫn bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng. Ta có kết quả trong hình 9.

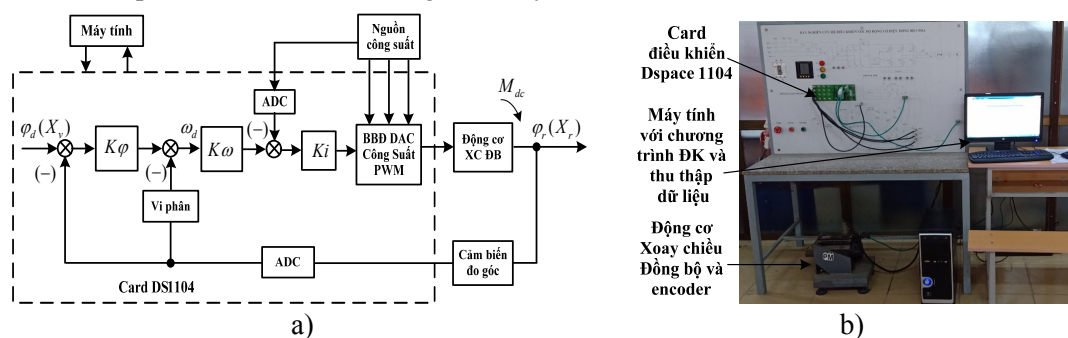


Hình 9. Đáp ứng vào ra BDK vị trí theo: a) góc 0,05 rad; b) giá trị dòng i_{sq} trường hợp 5.

Quan sát các kết quả mô phỏng ta thấy việc lựa chọn thời điểm chuyển đổi cấu trúc ảnh

hường rất lớn đến chất lượng động học của hệ thống truyền động điện: Góc sai lệch khi chuyển đổi cấu trúc (góc đặt lớn 0,1 rad; 1rad hay góc đặt nhỏ 0,06 rad), lượng vào biến thiên tốc độ không đổi,... Ở đây, BĐK vị trí đã xét sự thay đổi của góc đặt vào hệ thống với nhiều trường hợp khác nhau. Điều này cho thấy tính bền vững của bộ điều khiển trước những tác động thành phần phi tuyến bất định thì hệ thống làm việc ổn định. BĐK bảo đảm bền vững với sự thay đổi của tốc độ đặt, góc đặt hệ thống làm việc ổn định cho hệ thống. [2-4].

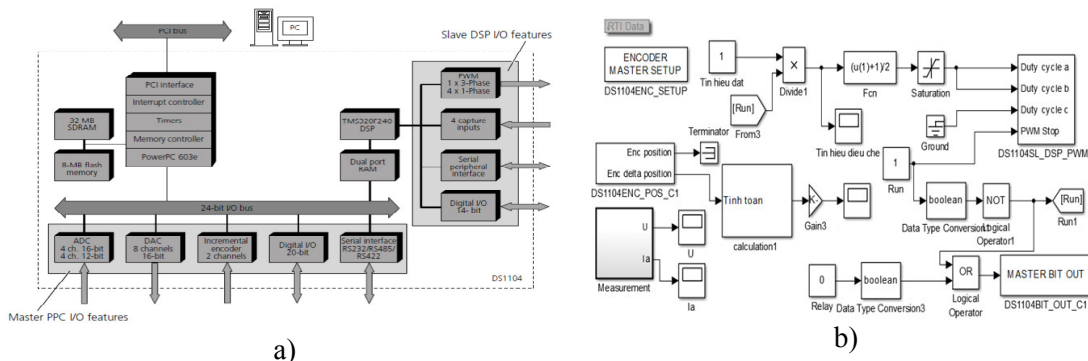
Hệ thống được triển khai thực nghiệm như sau: Cấu trúc chung BDK vị trí điều khiển động cơ xoay chiều đồng bộ sử dụng thiết bị Dspace 1104 như trên hình 10a; và bàn thực nghiệm như hình 10b. Trong đó, các tín hiệu phản hồi dòng điện và tốc độ của động cơ được đưa vào Dspace 1104 qua các kênh chuyển đổi tương tự số. Các tín hiệu này được card xử lý tính toán ra các giá trị thực của dòng điện, tốc độ và vị trí. Giá trị thực của dòng điện, tốc độ và vị trí được đưa vào các bộ điều chỉnh được lập trình để tính toán so sánh với giá trị đặt. Giao diện được thiết kế trên phần mềm Matlab, Control Desk dùng để giám sát, thu thập và điều khiển đối tượng trên máy tính.



Hình 10. a) Cấu trúc chung hệ thống điều khiển vị trí động cơ xoay chiều đồng bộ sử dụng thiết bị Dspace 1104, b) bàn điều khiển.

Cấu trúc của hệ thống như hình 10a: BDK vị trí K ϕ ; Tốc độ K ω ; Dòng điện K i ; khuếch đại công suất và bộ điều chế tín hiệu điều khiển PWM; Động cơ xoay chiều đồng bộ; cảm biến đo góc (vị trí); ADC: bộ chuyển đổi tương tự - số.

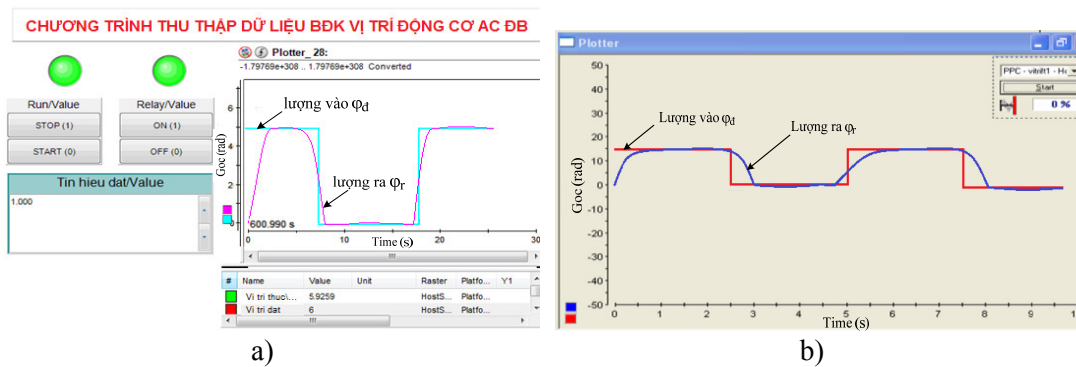
Thiết bị phần cứng Dspace 1104 là thiết bị điều khiển số do hãng Dspace của Đức sản xuất dựa trên bộ xử lý tín hiệu số DSP dấu phẩy động thế hệ thứ ba, họ TMS320Cxx của hãng Texas Instruments (Mỹ). Dspace 1104 được thiết kế đặc biệt để phát triển các bộ điều khiển số đa biến tốc độ cao và mô phỏng thời gian thực. Sơ đồ khối thiết bị Dspace 1104 [6] như hình 11a.



Hình 11. a) Sơ đồ khối thiết bị Dspace 1104,
b) Chương trình Simulink thu thập dữ liệu vào/ra của đối tượng.

Mục tiêu quá trình thực nghiệm là để chứng minh khả năng làm việc BDK vị trí đã xây dựng, không những làm việc tốt trong mô phỏng Matlab Simulink mà còn làm việc tốt được cả trong thời gian thực đây là vấn đề khoa học mới có ý nghĩa.

Mô hình thực nghiệm bài báo áp dụng là “Bàn thực nghiệm nghiên cứu điều khiển vị trí động cơ điện xoay chiều đồng bộ” (hình 10b) bao gồm: Phần cứng Dspace 1104, máy tính nhúng cấu hình cao: Mainboard H110; Bộ vi xử lý/Chip Intel G4400 (3M Cache, 3.30 GHz); Ram 8G; được cài đặt với phần Driver đi kèm của card Dspace, động cơ xoay chiều đồng bộ có tham số như phần đã mô phỏng, động cơ có gắn encoder có độ phân giải cao 1024 xung/1vòng; thời gian trích mẫu $t = 10^{-3}$ s, các tham số của BDK vị trí được tính toán lựa chọn, [2-4]: $K_{\omega} = 8561$, $K_{\varphi} = 2,381$, $K_i = 6,851$, kết hợp các phần mềm chuyên dụng Matlab R2019; phần mềm lập trình các thuật toán bằng ngôn ngữ C và CCS (code composer studio); ngoài ra còn có hệ thống nguồn công suất, thiết bị đo lường, máy hiện sóng,...



Hình 12. a) Đáp ứng thực nghiệm thu thập dữ liệu BDK vị trí động cơ xoay chiều đồng bộ, b) Điều khiển thực trên Control Desk với BDK vị trí khi có giá trị góc đặt là 15 rad.

Chương trình điều khiển kết hợp thời gian thực trên Simulink với bộ điều khiển vị trí như trên hình 10b.

Chương trình này được biên dịch và được nạp vào thiết bị Dspace 1104 để điều khiển động cơ xoay chiều trên thời gian thực, với số liệu động cơ như đã cho ở mô phỏng. Kết quả thu thập dữ liệu trên Control Desk như trong hình 12a, giá trị góc thực luôn bám sát giá trị góc đặt 5 rad ở quá trình cân bằng.

Kết quả nghiên cứu điều khiển thời gian thực với bộ điều khiển BDK vị trí được thu thập dữ liệu trên Control Desk khi tín hiệu góc có giá trị đặt là 15 rad, lượng ra bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng như trong hình 12b.

Quan sát kết quả thực nghiệm với BDK vị trí sử dụng card Dspace 1104 cho thấy, việc xây dựng hệ thống điều khiển đã đem lại chất lượng làm việc tốt lượng ra bám sát lượng vào ở quá trình cân bằng. Cụ thể là, thời gian đạt đến giá trị cân bằng 0,07s trong tổng thời gian đáp ứng 10s (như trong hình 12b). Hơn nữa, BDK vị trí được xây dựng có khả năng giữ được tốc độ động cơ ổn định khi thay đổi lượng vào và mô men cản thì đáp ứng BDK vẫn luôn ổn định. Đây là vấn đề khoa học có tính mới, hoàn toàn áp dụng được vào thực tế sản xuất. So sánh kết quả với các nghiên cứu trong [10] và trong các nghiên cứu trước đó [12] thì kết quả đạt được của bài báo tốt hơn với phần mô phỏng có thời gian đạt tới giá trị cân bằng nhỏ hơn (0,8s), ở trong [11] dòng điện dao động lớn hơn 0,25A (hình 4b và hình 6b của [11]). Vì vậy, đáp ứng BDK của phần thực nghiệm trong bài báo luôn làm việc tốt với động cơ có công suất lớn hơn nhiều lần so với các nghiên cứu trước đây.

Do đó, BDK vị trí phần nào đã đạt được mục tiêu đảm bảo chất lượng để thỏa mãn nhu cầu điều khiển các máy công nghiệp có độ chính xác cao như: máy cắt gọt kim loại, rô bốt công nghiệp,... để làm tăng năng suất lao động, giảm giá thành sản phẩm đáp ứng nhu cầu thị trường với chi phí thấp nhất.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống điều khiển vị trí ĐCXC với cấu trúc biến đổi dùng trong hệ truyền động điện bám cho các đối tượng điều khiển chính xác trong công nghiệp và quân sự cần đòi hỏi độ tin cậy và độ chính xác rất cao, việc thay thế các hệ thống điều khiển cũ là cần thiết và cấp bách trong các hệ thống bám điện cơ đang được sử dụng nhiều trên thực tế hiện nay. Bài báo này đã trình bày về cách tiệm cận mới, có thể ứng dụng thực tế cho hệ thống truyền động bám công nghiệp hiện nay như: hệ thống điều khiển rô bốt, hệ thống điều khiển chính xác cho máy đóng viên thuốc trong ngành dược, hệ thống điều khiển máy cắt gọt kim loại CNC, hệ thống bám vũ khí, hệ thống điều khiển chấp hành bằng điện khí nén và thủy lực,... Dựa trên phương pháp tổng hợp, bộ điều khiển theo tiêu chuẩn tối ưu mô đun và cấu trúc biến đổi. Các kết quả cho thấy, luật điều khiển đưa ra là đúng đắn là cơ sở để sử dụng trong tính toán thiết kế các bộ điều khiển vị trí cho hệ thống bám trong công nghiệp và quân sự. Hướng phát triển tiếp ta có thể xét thêm cho trường hợp: tổng hợp hệ thống truyền động bám sát theo góc với cấu trúc biến đổi cho các đối tượng điều khiển trực tiếp mô men: sử dụng động cơ chấp hành dạng một chiều không tiếp xúc - BLDC, động cơ từ trở - SRM,...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Công Định, “*Phân tích và tổng hợp các hệ thống điều khiển bằng máy tính*”, NXB KH KT (2002).
- [2]. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi, “*Điều chỉnh tự động truyền động điện*”, NXB KH KT (2008).
- [3]. Đào Hoa Việt, “*Phân tích và tổng hợp hệ thống truyền động điện*”, HVKTQS, NXB Quân Đội Nhân Dân (2010).
- [4]. Trần Đức Chuyển, “*Truyền động điện*”, NXB KH KT (2016).
- [5]. Nguyen Phung Quang, Jörg - Andreas Dittrich, “*Vector Control of Three-Phase AC Machines*”, Springer Science & Business Media, (2008).
- [6]. dSPACE GmbH, “*Hardware Installation and Configuration For DS1104 and CP1104/CLP1104 Connector Panels*”, System Manual, (2012).
- [7]. Asif Sabanovic, Leonid M. Fridman and Sarah Spurgeon, “*Variable Structure Systems from principles to implementation*”, first published, Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, (2004).
- [8]. Stanislaw H. Zak, “*Systems and control*”. Oxford university Press 2003.
- [9]. Malcolm Barnes CPEng, BSc(ElecEng), “*Automated Control Systems - Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*”, Australia, First published 2003.
- [10]. Oscar Barambones, Aitor J Garrido, “*A sensorless variable structure control of induction motor drives*”, Electric Power Systems Research 72(1): 21-32. November (2004).
- [11]. S. Basaran & S. Sivrioglu, “*Robust Variable Structure Controllers for Axial Active Magnetic Bearing*”. IJAMEC, 4(Special Issue), pp. 178-183, (2016).
- [12]. M. Zaky, E. Touti, & H. Azazi, “*Two-Degrees of Freedom and Variable Structure Controllers for Induction Motor Drives*”. Advances in Electrical & Computer Engineering; Vol. 18 Issue 1, p71-80, (2018).

ABSTRACT

THE CONSTRUCTION POSITION CONTROLLER SYSTEM OF SYNCHRONOUS AC MOTOR WITH VARIABLE STRUCTURE USING dSPACE 1104 CARD

In the electric drive systems of industrial, often meet the objects that need to solve the angular position control problem, moving the object from one position to another in an asymptotic manner without over adjustment and ensure maximum impact quick. This is the multi-objective optimization problem with many different solutions. This paper presents a method of constructing the position controller of synchronous AC motors with a variable structure using dSPACE 1104. To solve this problem, the use of simulation software, experimental programming with computers, to collect data and control are effective and effective tools.

Keywords: Position control of synchronous AC motor; Position control; Variable structure.

Nhận bài ngày 28 tháng 12 năm 2019

Hoàn thiện ngày 29 tháng 01 năm 2020

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 4 năm 2020

Địa chỉ: ¹Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp, Bộ Công thương;

²Khoa Kỹ thuật cơ sở, Học viện Hải quân.

*Email: tdchuyen@uneti.edu.vn.