

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỆ ĐIỀU KHIỂN BẰNG PLC CHO CẦN TRỤC THÁP XÂY DỰNG

TS. Trương Quốc Thành

Khoa Cơ khí Xây dựng

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Bộ điều khiển lập trình gọi tắt là PLC có thể điều khiển linh hoạt được các trạng thái, đối tượng hay một quá trình công nghệ thông qua các thuật toán điều khiển nhờ một ngôn ngữ nhất định. Bài báo giới thiệu nội dung nghiên cứu ứng dụng hệ điều khiển PLC trong hệ thống điều khiển cần trục tháp. Việc ứng dụng hệ điều khiển PLC sẽ là cơ sở bước đầu cho việc nâng cao chất lượng thiết kế, chế tạo mới, nâng cấp các cần trục hiện đang sử dụng ở nước ta cũng như ứng dụng hệ điều khiển này cho các loại máy xây dựng khác.

Summary: Programmable logic controller (PLC) can be used to control many states, objects or technological process flexibly by using control algorithms in a certain language tool. The paper presents content and researches using PLC in tower crane control system. Using PLC is not only the first step for improving the quality of design, manufacture but also for upgrading tower cranes used in Vietnam. PLC can also be used for the other construction machines.

MỞ ĐẦU

Trong lĩnh vực điều khiển, phân biệt hai phương pháp: phương pháp điều khiển nối cứng và phương pháp điều khiển lập trình được. Bộ điều khiển lập trình được (Programmable Logic Controller) gọi tắt là PLC có thể điều khiển linh hoạt được các trạng thái, đối tượng hay quá trình công nghệ thông qua các thuật toán điều khiển nhờ một ngôn ngữ nhất định.

Hệ thống điều khiển trên Máy xây dựng nói chung và trên cần trục nói riêng đóng một vai trò quan trọng trong việc đảm bảo cho máy làm việc một cách êm thuận, an toàn, năng suất và tin cậy. Cho tới nay, các thiết kế trong nước về hệ điều khiển cần trục vẫn chủ yếu theo phương pháp điều khiển nối cứng và chưa nắm bắt kịp kỹ thuật tiên tiến trên thế giới, trong đó phương pháp điều khiển lập trình sẽ là chủ yếu. Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật mới dựa trên hệ điều khiển bằng PLC trong hệ thống điều khiển cần trục nhằm nâng cao chất lượng máy móc thiết bị được chế tạo trong nước là một việc làm cần thiết.

GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Để có thể xây dựng phần mềm điều khiển cần trục được cài đặt trên PLC, các tác giả đã đi sâu nghiên cứu một cách đầy đủ về công nghệ hoạt động và điều khiển cần trục, các yêu cầu về đảm bảo an toàn cho cần trục trong quá trình làm việc cũng như các vấn đề liên quan đến kỹ thuật điều khiển thuộc lĩnh vực cơ điện tử. Kết quả nghiên cứu được ứng dụng cho một đối tượng

cụ thể là Cần trục tháp xây dựng VICOX - CTM80 do Tổng công ty cơ khí Xây dựng chế tạo thử nghiệm lần đầu tiên ở Việt Nam.

1. NGHIÊN CỨU VỀ ĐẶC ĐIỂM CẤU TẠO, CÔNG NGHỆ HOẠT ĐỘNG VÀ CÁC YÊU CẦU VỀ AN TOÀN CỦA CẦN TRỤC THÁP

Việc nghiên cứu về quá trình làm việc của các cơ cấu công tác trên cần trục tháp là cơ sở cho việc lựa chọn thiết bị và bố trí sơ đồ điều khiển một cách phù hợp. Trên cần trục tháp, các cơ cấu làm việc độc lập và được dẫn động điện. Quá trình điều khiển sự làm việc của một cơ cấu thực chất là việc mở máy động cơ, chuyển đổi tốc độ cũng như phanh dừng động cơ cùng hệ thống chuyển động. Do vậy nghiên cứu về quá trình làm việc của động cơ là một việc làm quan trọng, ảnh hưởng lớn đến cấu tạo và chất lượng của hệ thống điều khiển.

Bằng phương pháp thống kê, phân tích trên các cần trục tháp của các hãng chế tạo khác nhau trên thế giới hiện đang có mặt tại Việt Nam, có thể rút ra một số kết luận về yêu cầu điều khiển sự làm việc của các động cơ dẫn động cơ cấu và toàn bộ cần trục như sau /9/:

- Đối với các cơ cấu công tác có khối lượng chuyển động lớn, mômen cản theo hai chiều quay là giống nhau như cơ cấu di chuyển, cơ cấu quay thì tốc độ làm việc thường nhỏ, công suất dẫn động không lớn nên yêu cầu về quá trình khởi động và phanh dừng là quan trọng. ở các cơ cấu này, quá trình tăng (giảm) tốc phải diễn ra một cách từ từ và liên tục, thời gian biến thiên tốc độ là tương đối dài (có thể đến 30s). Thậm chí khi kết thúc một pha làm việc, tốc độ động cơ chưa đạt đến tốc độ định mức. Trong quá trình mở máy, tốc độ sẽ được tăng dần lần lượt từ nhỏ đến lớn. Quá trình phanh thì ngược lại. Để đáp ứng các yêu cầu trên, thường sử dụng động cơ dây cuốn với nhiều cấp điện trở đưa vào mạch phản ứng của động cơ hoặc sử dụng động cơ lồng sóc với bộ biến đổi tần số dòng điện hay bộ biến đổi điện áp dòng điện cấp cho động cơ. Trên một số cần trục, quá trình phanh được thực hiện không chỉ nhờ phanh cơ khí mà còn có sự trợ giúp của phanh điện bằng cách sử dụng phương pháp hãm ngược.

- Cơ cấu nâng có công suất tương đối lớn, có 3-4 cấp tốc độ làm việc khác nhau. Khoảng điều chỉnh tốc độ tương đối rộng, có thể đến 1:10. Mômen quay theo hai chiều quay của động cơ là khác nhau, dòng điện mở máy lớn. Để đáp ứng được các yêu cầu trên, có nhiều phương pháp khác nhau như sử dụng động cơ dây cuốn kết hợp với điện trở đưa vào mạch rô to, dùng động cơ chuyên dùng có 3 cấp tốc độ, tổ hợp động cơ-máy phát-động cơ một chiều, tổ hợp hai động cơ kết hợp với hộp giảm tốc hành tinh-vi sai. Quá trình mở máy và phanh dừng đều thực hiện theo nguyên tắc tăng hay giảm tốc độ lần lượt từ cấp tốc độ bé đến lớn hoặc ngược lại. Quá trình hạ vật là quá trình giải phóng năng lượng do vậy trên một số cần trục sử dụng phương pháp hãm động năng, hãm ngược.

- Hệ thống điều khiển phải cho phép người vận hành thực hiện các thao tác chuyển động thông qua sự hoạt động độc lập của các cơ cấu công tác như nâng hạ vật, quay, thay đổi tầm với, di chuyển để đưa vật nâng vào vị trí theo yêu cầu cũng như giữ vật ở trạng thái treo khi cần thiết. Kiểm soát và đảm bảo cho cần trục làm việc an toàn thông qua các thiết bị an toàn kiểu cơ, cơ-điện, cơ-điện tử như:

- + Hạn chế tải trọng nâng, hạn chế mômen tải, hạn chế dịch chuyển của máy và bộ phận máy ra ngoài vùng cho phép, giới hạn góc nghiêng tay cần...

+ Dừng máy không cho phép làm việc khi các điều kiện an toàn cho máy và bộ phận máy bị phá vỡ như: gió quá lớn, mất hoặc lệch pha điện nguồn cung cấp...

2. NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỆ ĐIỀU KHIỂN BẰNG PLC CHO CẦN TRỤC THÁP XÂY DỰNG VICOX- CTM80

Cần trục tháp xây dựng VICOX- CTM80 do Tổng công ty cơ khí xây dựng chế tạo lần đầu tiên ở Việt Nam. Cần trục có sức nâng lớn nhất 60 kN khi tầm với nhỏ hơn 14,5m và sức nâng ở tầm với lớn nhất 50m là 13,2 kN. Chiều cao nâng cần trục ở trạng thái đứng tự do là 40,75m và ở trạng thái neo vào công trình là 80m. Bằng cách sử dụng 2 động cơ kết hợp với hộp giảm tốc hành tinh-vi sai, cơ cấu nâng vật có 3 tốc độ làm việc: 3,75; 15 và 30 m/ph. Các động cơ làm việc theo trình tự sau:

- Tốc độ 1: ĐC1 làm việc theo chiều nâng với 725 v/ph, ĐC2 dừng;
- Tốc độ 2: ĐC1 làm việc theo chiều nâng với 725v/ph, ĐC2 quay cùng chiều 1470v/ph;
- Tốc độ 3: ĐC1 làm việc theo chiều nâng với 1460v/ph, ĐC2 quay cùng chiều 2945v/ph;

Khi làm việc với tải nặng lớn hơn 30 kN chỉ cho phép cơ cấu làm việc ở hai cấp tốc độ nhỏ 15 và 3,75 m/ph. Di chuyển vật dọc theo tay cần nhờ cơ cấu di chuyển xe con có hai cấp tốc độ là 25 và 50 m/ph nhờ động cơ lồng sóc thay đổi số đôi cực từ.

Cơ cấu quay có hai cụm dẫn động độc lập. Mỗi cụm cơ cấu quay gồm có 1 động cơ lồng sóc thông qua 01 hộp giảm tốc đặt đứng để giảm tốc độ cho bánh răng dẫn. Do Mômen quán tính phần quay khá lớn, lựa chọn phương pháp thay đổi tốc độ động cơ bằng thiết bị biến đổi tần số. Tốc độ sẽ được điều khiển mềm thay đổi từ 0-0,8 v/ph. Phanơ cơ khí của tất cả các cơ cấu đều là phanơ đĩa thường đóng được bố trí trên đuôi trục động cơ. Mở phanơ bằng nguồn 1 chiều.

Hệ thống điều khiển cần trục được nhóm tác giả thực hiện bao gồm các mạch sau:

- Mạch điện cấp nguồn điện chính;
- Mạch chiếu sáng;
- Mạch báo động sự cố và cấp nguồn điều khiển chính;
- Mạch động lực:
 - + Mạch động lực cơ cấu nâng hạ vật đóng mở phối hợp cho 2 động cơ theo 3 cấp tốc độ đã nêu ở trên theo 2 chiều quay nâng và hạ thông qua sự đóng ngắt của các công tắc tơ;
 - + Mạch động lực động cơ xe con với 2 cấp tốc độ ở hai chiều quay, thay đổi bằng số đôi cực từ của động cơ;
 - + Mạch động lực động cơ của cơ cấu quay, gồm 2 động cơ đấu song song được nối với biến tần để thay đổi tốc độ mềm.
- Mạch điều khiển bao gồm: mạch điều khiển động cơ nâng hạ, điều khiển động cơ xe con, điều khiển động cơ cơ cấu quay và mạch điều khiển kết nối PLC.
- Mạch kết nối và các hiển thị.

Hệ thống điều khiển cho cần trục tháp VICOX -CTM80 có một số đặc điểm chính như sau:

- Cơ cấu nâng có 3 cấp tốc độ. Cấp tốc độ nhanh nhất (tốc độ 3) chỉ được phép làm việc khi tải nâng chỉ bằng 1/2 tải nâng danh nghĩa và được tự động khoá. Tay gạt điều khiển có 3 vị trí nâng tải, 3 vị trí hạ tải và 1 vị trí 0. Phanh được cài đặt đóng trễ với thời gian t khi có sự chuyển đổi tốc độ để tránh giật tải. Hạn chế tải trọng lớn nhất được đưa từ PLC tới và cài đặt nối tiếp với điều khiển động cơ nâng. Hạn chế tải trọng nâng theo tốc độ nâng lớn nhất cũng được đưa từ mạch PLC tới cài đặt nối tiếp với mạch điều khiển. Sử dụng Encoder lắp trên trục tang để hạn chế chiều cao nâng tải và cung cấp tín hiệu cho PLC và từ PLC chuyển tín hiệu tới hiển thị đặt trong ca bin.

- Cơ cấu di chuyển xe con: Việc chuyển đổi tốc độ được thực hiện bằng công tắc chuyển đổi. Các hạn chế hành trình kiểu cơ khí được đặt tại gốc và chân cần sẽ ngắt điện động cơ kéo xe con theo chiều gây nguy hiểm. Trên trục tang cơ cấu kéo xe con bố trí Encoder cung cấp tín hiệu đưa về PLC để xác định vị trí xe con trên tay cần (tầm với) và qua đó cung cấp cho hiển thị vị trí xe con bố trí trong ca bin.

- Cơ cấu quay: tốc độ của hai động cơ cơ cấu quay được điều khiển mềm nhờ một biến tần kiểu gián tiếp. Giới hạn góc quay gồm công tắc giới hạn trái và công tắc giới hạn phải không cho phép phần quay cần trục quay quá 360° . Do phần quay có mômen quán tính lớn nên quá trình mở máy được kéo dài với thời gian khá lớn (đến 15s), quá trình hãm sử dụng biến tần ở chế độ hạ tải, năng lượng hãm được xả thành nhiệt trên điện trở.

- Hệ thống an toàn:

- + Hạn chế tải trọng nâng như đã nói ở phần trên được lấy tín hiệu từ đầu đo lực (Load cell) đưa vào PLC sau đó từ PLC đưa tín hiệu ra màn hình đặt trong ca bin và kết hợp với mạch điều khiển nâng hạ tải: khi quá tải thì mạch sẽ không hoạt động. Đầu đo lực được bố trí trên cụm pu li đổi hướng của cáp nâng và được khuếch đại thông qua hệ thống tay đòn.

- + Hạn chế Mômen tải: dùng phần mềm cài đặt trong PLC để ngắt điện hệ thống khi mômen tải lớn hơn mômen tải cho phép. Các thông số đầu vào là tải trọng nâng Q được cấp thông qua Loadcell và tầm với R thông qua Encoder xác định vị trí xe con. Việc ngắt điện hệ thống được tiến hành như sau:

- * Nếu xe con đang mang tải và di chuyển ra xa trục quay của máy đến khi mômen tải lớn hơn Mômen tải cho phép $M=Q.R>[M]$ thì hệ thống sẽ tự động ngắt chiều di chuyển ra của xe con nhưng vẫn cho phép di chuyển chiều vào;

- * Nếu xe con đang ở một vị trí nào đó, tiến hành nâng tải khỏi nền và đến khi $M=Q.R>[M]$ thì hệ thống sẽ tự động ngắt chiều nâng của tời nâng, song vẫn cho phép quay theo chiều hạ tải.

- + Hệ thống đo tốc độ gió và tự động dừng làm việc của cần trục khi có gió lớn trên cấp 8. Dùng 1 Sensor đặt trên đỉnh tháp để đo tốc độ gió và đưa tín hiệu về PLC, từ PLC đưa về mạch điều khiển nguồn điện chính để cắt mạch. Lúc này còi sẽ kêu và đèn sáng.

3. LẬP TRÌNH CÀI ĐẶT CHO PLC TRÊN HỆ ĐIỀU KHIỂN CẦN TRỤC THÁP VICOX-CTM80

PLC thực hiện chương trình theo chu trình lặp. Mỗi vòng lặp được gọi là vòng quét. Mỗi vòng quét được bắt đầu bằng giai đoạn đọc dữ liệu từ các cổng vào vùng bộ đệm ảo, tiếp theo là giai đoạn thực hiện chương trình. Sau giai đoạn thực hiện chương trình là giai đoạn truyền thông nội bộ và kiểm tra lỗi. Vòng quét được kết thúc bằng giai đoạn chuyển các nội dung của bộ đệm ảo tới các cổng ra.

Lập trình cài đặt cho PLC S7-200. S7-200 biểu diễn mạch logic bằng một dãy các lệnh lập trình. Chương trình bao gồm một dãy các lệnh. S7-200 thực hiện chương trình bắt đầu từ lệnh lập trình đầu tiên và kết thúc ở lệnh lập trình cuối trong một vòng quét. Cách lập trình cho PLC nói chung dựa trên hai phương pháp cơ bản: phương pháp hình thang (Ladder logic, viết tắt là LAD) và phương pháp liệt kê lệnh (Statement List, viết tắt là STL). Phương pháp liệt kê lệnh mà nhóm tác giả sử dụng là phương pháp thể hiện chương trình dưới dạng tập hợp các câu lệnh. Mỗi câu lệnh trong chương trình, kể cả những lệnh hình thức biểu diễn một chức năng của PLC. Để tạo ra một chương trình dạng STL, người lập trình cần phải hiểu rõ phương thức sử dụng 9 bit ngắn xếp của logic S7-200.

Căn cứ vào đặc điểm cấu tạo, công nghệ hoạt động và các yêu cầu về an toàn khi hoạt động của cần trục, tiến hành xây dựng các sơ đồ khối điều khiển sự làm việc của từng cơ cấu công tác cũng như xác định các thông số điều khiển. Các sơ đồ khối được xây dựng bao gồm: "xác định tốc độ gió", "xác định góc quay", "xác định vị trí xe con", "xác định chiều cao nâng", "xác định tải trọng trung bình", "điều khiển nâng", "điều khiển hạ", "điều khiển xe vào", "điều khiển xe ra", "điều khiển quay phải", "điều khiển quay trái"...

Một trong các công việc quan trọng để có thể tiến hành lập trình cài đặt cho PLC là lựa chọn thiết bị cảm biến và chuẩn hoá tín hiệu điều khiển. Các thiết bị cảm biến gồm có: các Encoder xác định chiều cao nâng và xác định vị trí xe con, Loadcell đo tải trọng, Sensor đo gió.

Ví dụ sau đây cho thấy cách lựa chọn Encoder xác định vị trí xe con so với giới hạn trong của xe con tại chân cần (ứng với tầm với bé nhất của cần trục) như sau: Tín hiệu xung từ Encoder đưa vào bộ đếm tốc độ cao HSC (High Speed Counter) của PLC. Bộ HSC sẽ đếm được số xung phát ra từ Encoder, từ đó xác định được vị trí hiện tại của xe con. Khi xe con đi ra phía đầu cần, bộ HSC đếm tiến (tăng), khi xe con đi vào bộ HSC đếm lùi, ở vị trí tầm với nhỏ nhất, bộ đếm HSC reset về 0. Encoder lựa chọn có độ phân giải 60 xung/vòng. Ứng với một vòng quay của trục tang kéo xe con cũng là một vòng quay của Encoder, và do đó để di chuyển hết quãng đường dài L thì tang phải quay được n vòng tương ứng với số xung mà HSC đếm được sẽ là $60 \times n$. Cũng có thể chọn Encoder có độ phân giải cao hơn để tăng độ chính xác, song phải đảm bảo giới hạn biểu diễn giá trị max của HSC.

Một ví dụ khác trình bày cách lựa chọn và bố trí đầu đo lực cho cơ cấu nâng.

Theo sơ đồ bố trí cáp nâng và bố trí đầu đo lực trên cần trục, có thể xác định được lực tác dụng vào Load cell từ lực căng cáp nâng lớn nhất. Lực lớn nhất tác dụng lên Loadcell tính được là 480 daN. Chọn Loadcell có dải đo 0 đến 500 daN với hệ số quá tải 150%. Với giá trị điện áp ra khi đầy tải 2 mV/V ta chọn nguồn cung cấp cho Loadcell 15 V, do vậy điện áp ra khi đầy tải sẽ là $15V \times 2mV/V = 30\text{ mV}$, hay 500 daN tương ứng với 30 mV. Khi tải trọng nâng $Q=60\text{ kN}$ thì sẽ tương ứng với điện áp đầu ra của Loadcell sẽ là 28,8 mV. Chọn module tương tự EM235 độ

phân dải 12 bit với dải tín hiệu vào (0-50mV) tương ứng giá trị được số hoá là 0-32000. Do vậy với tải trọng $Q=60\text{ kN}$ (28,8mV) ta có giá trị số hoá là 18432.

Loadcell có các thông số kỹ thuật sau: Loại TSC-500daN, dải đo 500daN; Rate Output: 2mV/V; Non repeability <0,01% RO; nguồn cung cấp 5-15 (VDC-VAC), chọn nguồn cung cấp 15VDC; trở kháng đầu vào $381 \pm 4\Omega$; trở kháng đầu ra $350 \pm 350\Omega$; hệ số bù nhiệt độ tương ứng điện áp ra $\leq \pm 0,002$; hệ số bù nhiệt độ chỉnh không cân bằng $\leq \pm 0,002$.

Lập trình cài đặt chương trình điều khiển cho PLC S7-200 được viết bằng ngôn ngữ Microwin Step 7.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU /9/

- Đưa ra được một cách tổng quát về các yêu cầu điều khiển, công nghệ hoạt động và phương pháp điều khiển cần thực thi;
- Thiết lập được sơ đồ mạch điều khiển cần thực thi có ứng dụng bộ điều khiển lập trình được (PLC);
- Phương pháp tiến hành xây dựng phần mềm cài đặt cho PLC dùng để điều khiển cần thực thi.

KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ có hạn, bài báo mới chỉ giới thiệu một số nội dung cơ bản trong việc sử dụng hệ điều khiển bằng PLC áp dụng trên một cần trục tháp xây dựng cụ thể. Bằng kinh nghiệm bản thân của nhóm trong quá trình tham gia chế tạo thử nghiệm cần trục tháp VICOX-CTM80, các tham số điều khiển sau đây được coi là rất quan trọng ảnh hưởng đến độ êm dịu trong quá trình làm việc của cần trục và đã được tính toán, kiểm nghiệm qua thực tế như: thời gian mở máy cơ cấu quay, thời gian đóng trễ phanh cơ khí cơ cấu nâng, mômen hãm khi phanh dừng cơ cấu quay.

Các nghiên cứu ứng dụng trên đây sẽ là cơ sở bước đầu cho việc nâng cao chất lượng thiết kế, chế tạo mới cũng như nâng cấp các cần trục tháp hiện đang sử dụng ở nước ta. Điều khiển bằng PLC có thể được ứng dụng trên các loại máy móc thiết bị khác trong xây dựng như: cầu trục, cổng trục, thang máy, trạm trộn bê tông, dây chuyền sản xuất vật liệu xây dựng cỡ nhỏ...

Tài liệu tham khảo

1. *Vũ Quang Hồi*. Trang bị điện - điện tử công nghiệp. Nxb Giáo dục, Hà Nội.
2. *Bùi Quốc Khánh, Phạm Quốc Hải, Nguyễn Văn Liễn, Dương Văn Nghi*. Điều chỉnh tự động truyền động điện. Nxb Khoa học Kỹ thuật.
3. *Nguyễn doãn Phước, Phan Xuân Minh (tài liệu dịch)*. Tự động hoá với SIMATIC S7-200. Nxb Nông nghiệp. Hà Nội, 1997.
4. *Đỗ Xuân Tùng, Trương Tri Ngô, Nguyễn Văn Thanh*. Trang bị điện Máy xây dựng. Nxb Xây dựng. Hà Nội, 1998.

5. *Trương Quốc Thành, Phạm Quang Dũng*. Máy và thiết bị nâng. Nxb Khoa học kỹ thuật. Hà Nội, 2001.
6. *Trương Quốc Thành, Vũ Liêm Chính, Phạm Quang Dũng, Đỗ Xuân Đình, Nguyễn Duy Thái*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ "Nghiên cứu thiết kế chế tạo cơ cấu nâng cần trục tháp Q=6 tấn". 2002.
7. *Vũ Liêm Chính, Trương Quốc Thành, Phạm Quang Dũng, Đỗ Xuân Đình, Nguyễn Duy Thái, Nguyễn Quán Thắng*. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ "Nghiên cứu thiết kế chế tạo cần trục tháp xây dựng VICOX- CTM80" - 2005;
8. Catalog cần trục tháp họ KB, Potain, Grucomedil, Ramondi, TC501 3A...
9. *Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ, mã số B2006-03-09*. Ứng dụng kỹ thuật và công nghệ mới dựa trên bộ điều khiển PLC trong điều khiển cần trục tháp. Hà Nội, 2007.