

TIẾT KIỆM ĐIỆN NĂNG TRONG SẢN XUẤT CÔNG NGHIỆP KHI ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

SAVING ELECTRICITY IN INDUSTRIAL PRODUCTION WHEN APPLYING TECHNOLOGY TO CONTROL THE SPEED OF ELECTRIC MOTORS

Phạm Trung Sơn

Bộ môn Điện khí hóa, Khoa Cơ điện, Trường Đại học Mở – Địa chất

Email: phamtrungson@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Điện năng có vai trò rất quan trọng đối với sự phát triển của nền kinh tế. Tuy nhiên, điện năng không phải là nguồn tài nguyên vô hạn. Theo xu hướng nhu cầu năng lượng điện toàn cầu đang tăng nhanh. Việt Nam cũng là một trong những quốc gia có nhu cầu sử dụng điện tăng nhanh do sự phát triển của nền kinh tế, dân số, đặc biệt là trong lĩnh vực công nghiệp và dịch vụ. Vì vậy, các doanh nghiệp công nghiệp cần đầu tư vào công nghệ tiết kiệm năng lượng và tối ưu hóa quá trình sản xuất để giảm chi phí và tiêu thụ điện năng. Bài báo tập trung vào phân tích, so sánh, đánh giá... lợi ích của việc áp dụng biến tần vào việc cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho các hệ thống truyền động điện tại các nhà máy công nghiệp. Việc lắp đặt điều khiển bằng biến tần sẽ làm tăng hiệu quả sử dụng năng lượng, tiết kiệm năng lượng điện tiêu thụ, cải thiện hệ số công suất và độ chính xác của quy trình, khởi động mềm và khả năng quá tốc đem lại lợi ích về kinh tế, kỹ thuật và an toàn.

Từ khóa: Tiết kiệm điện năng; Xí nghiệp công nghiệp; Biến tần; Hệ thống truyền động điện.

ABSTRACT

Electricity plays a very important role in the development of the economy. However, electricity is not an unlimited resource. According to the trend of global demand for electricity is increasing rapidly. Vietnam is also one of the countries with rapidly increasing demand for electricity due to economic and population development, especially in the industrial and service sectors. Therefore, industrial enterprises need to invest in energy-saving technology and optimize production processes to reduce costs and electricity consumption. The paper focuses on analyzing, comparing, evaluating... the benefits of applying frequency converters to improve performance and save energy for electric drive systems in industrial plants. The installation of inverter control will increase energy efficiency, save electricity consumption, improve power factors and process accuracy, soft start and overspeed capability, bringing economic, technical and safety benefits.

Keywords: Energy saving; Industrial enterprise; Inverter; Electric drive system.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm qua, nhiều phương pháp điều khiển cho hệ thống truyền động điện khác nhau đã được sử dụng nhằm tăng cường tính linh hoạt và tính nhất quán của quy trình sản xuất, như: điều khiển tốc độ của thiết bị, thay đổi tỷ số truyền động hoặc puli và sử dụng các bộ truyền động thủy lực. Trong nhiều trường hợp, hệ thống bơm, ép, quạt có dòng lưu lượng được điều chỉnh bằng van hoặc điều chỉnh góc lắp của cánh quạt trong khi tốc độ của chính động cơ truyền động là không đổi. Các phương pháp điều khiển thông thường, như: điều khiển động cơ bằng cách đóng và cắt ở hai cấp tốc độ là những cách không hiệu quả gây lãng phí một lượng lớn năng lượng. Một trong những lý do chính khiến bộ truyền động động cơ điện sử dụng biến tần trở nên phổ biến trong sử dụng là chúng có thể giúp tiết kiệm năng lượng trong vận hành bằng cách thay đổi tốc độ của động cơ điện của hệ thống truyền động và điều khiển công suất điện đưa vào máy. Hơn nữa, việc sử dụng bộ truyền động động cơ điện giúp giảm lượng khí thải carbon dioxide hàng triệu tấn mỗi năm [1].

Bộ điều khiển thay đổi tốc độ sử dụng biến tần là thiết bị điều chỉnh tốc độ và lực quay hoặc mô men xoắn đầu ra của thiết bị cơ khí. Hiện nay, các thiết bị truyền động cơ khí phổ biến được tích hợp công nghệ biến tần là máy bơm, quạt, máy nén và băng tải. Trong quá khứ, đã có nhiều loại thiết bị, phương tiện được sử dụng để điều khiển cần được cải tiến vì chúng hoạt động không hiệu quả; tuy nhiên, với sự phát triển nhanh của khoa học công nghệ hiện đại, các nhà sản xuất đang tích cực giới thiệu công nghệ mới, truyền động biến tần nhằm giảm tổn thất điện năng cho các hệ thống truyền động [2]. Điều khiển bằng biến tần làm tăng hiệu quả vận hành bằng cách cho phép động cơ hoạt động ở tốc độ lý tưởng cho mọi điều

kiện tải. Trong nhiều ứng dụng, điều khiển thay đổi tốc độ giúp giảm mức tiêu thụ điện năng của động cơ từ 30÷60%. Tiềm năng tiết kiệm năng lượng điện là rất lớn vì các hệ thống động cơ trong ngành công nghiệp sử dụng hơn 60% trong tổng số điện năng tiêu thụ [3]. Có hàng triệu động cơ được dùng trong các ngành công nghiệp trong nhiều ứng dụng khác nhau như các động cơ trong các hệ thống truyền động, máy bơm, băng tải, cáp treo, xường cưa và hệ thống thông gió... Biến tần có thể cải thiện hiệu quả quy trình, đặc biệt là khi liên quan đến kiểm soát dòng điện tải.

Hiện nay, bộ truyền động biến tần là bộ điều khiển tiết kiệm năng lượng hiệu quả nhất khi áp dụng cho máy móc cơ khí trong ngành công nghiệp. Bộ truyền động biến tần có giá cả phải chăng, tin cậy và linh hoạt trong vận hành, đồng thời tiết kiệm lượng lớn năng lượng điện, góp phần giảm đáng kể hóa đơn tiền điện.

Hầu như tất cả các quy trình vận hành của các máy móc công nghiệp đều cần điều chỉnh để hoạt động theo đúng chu trình công nghệ với hiệu suất tối ưu. Những điều chỉnh như vậy thường được thực hiện bằng bộ điều khiển thay đổi tốc độ. Chúng là một phần quan trọng của quá trình tự động hóa và giúp tối ưu hóa quy trình trong khi giảm chi phí đầu tư, mức tiêu thụ năng lượng, chi phí năng lượng và lượng khí thải nhà kính [1].

Thông thường, hầu hết các động cơ được thiết kế để hoạt động ở tốc độ không đổi và cung cấp công suất điện không đổi. Lợi ích của việc áp dụng bộ điều khiển thay đổi tốc độ là cải thiện hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho các hệ thống truyền động điện tại các nhà máy công nghiệp [2]. Việc lắp đặt điều khiển thay đổi tốc độ làm tăng hiệu quả năng lượng, tiết kiệm năng lượng điện tiêu thụ, cải thiện hệ số công suất và độ chính xác của quy trình, khởi

động mềm và khả năng quá tốc. Chúng cũng loại bỏ cơ chế điều tiết và tổn thất ma sát liên quan đến công nghệ điều chỉnh tốc độ cơ học hoặc cơ điện và lãng phí năng lượng tổn kém. Những lợi ích khác của bộ truyền động thay đổi tốc độ mang lại bao gồm kéo dài tuổi thọ của thiết bị bằng cách điều chỉnh tốc độ động cơ để đáp ứng yêu cầu tải. Nhìn chung, tiết kiệm năng lượng góp phần tiết kiệm chi phí và giảm phát thải khí nhà kính ở một mức nhất định [1, 2].

2. ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Ngày nay, trong sản xuất công nghiệp, công nghệ vận hành trong nhiều hệ thống truyền động sử dụng động cơ điện đòi hỏi nhiều cấp tốc độ chuyển động khác nhau. Trong khi đó, phương pháp điều khiển truyền thống sử dụng cho động cơ điện chủ yếu có hai trạng thái: dừng hoặc quay ở tốc độ cực đại. Trong hầu hết các chương trình điều khiển động cơ được thiết kế, động cơ được định cỡ để cung cấp công suất đầu ra cực đại cần thiết. Nếu tốc độ quay không đổi ở giá trị cực đại cho tải thiết kế cực đại, thì công suất đầu vào của động cơ vẫn không đổi ở giá trị cực đại. Tuy nhiên, nếu tải giảm, có thể tiết kiệm năng lượng đáng kể khi tốc độ quay của động cơ giảm xuống để phù hợp với yêu cầu tải [2, 4]. Trong vận hành thực tế, nhiều động cơ chỉ hoạt động ở tốc độ 100% trong thời gian ngắn, điều này thường dẫn đến nhiều hệ thống hoạt động kém hiệu quả trong thời gian dài. Do đó, có tổn thất năng lượng đáng kể trong thời gian vận hành. Để giảm tổn thất hệ thống, có thể thực hiện bằng cách lắp đặt hệ thống truyền động tốc độ thay đổi thông qua biến tần để phù hợp với tốc độ của động cơ tương ứng với tải. Truyền động tốc độ thay đổi đã trở nên rất phổ biến vì những ưu điểm của chúng so với các phương pháp điều khiển truyền thống. Bằng cách sử dụng truyền động thay đổi tốc độ, tốc độ của động cơ hoặc máy

phát điện có thể được kiểm soát và điều chỉnh ở bất kỳ tốc độ mong muốn nào. Bên cạnh việc điều chỉnh tốc độ của động cơ điện, điều khiển thay đổi tốc độ cũng có thể duy trì tốc độ động cơ điện ở mức không đổi khi tải thay đổi [2, 4, 5].

Có rất nhiều lý do khác nhau nhằm khuyến khích sử dụng điều khiển truyền động thay đổi tốc độ trong nền sản xuất công nghiệp. Nhìn chung, điều khiển thay đổi tốc độ được sử dụng để khớp tốc độ hoặc mô-men xoắn của bộ điều khiển với các yêu cầu của quy trình công nghệ sản xuất cũng như tiết kiệm năng lượng và cải thiện hiệu quả vận hành [2].

Bộ truyền động thay đổi tốc độ bằng cách thay đổi tần số là bộ điều khiển sử dụng các thiết bị điện tử công suất, vi xử lý hiện đại, giúp điều chỉnh tốc độ động cơ theo tốc độ yêu cầu của hệ thống truyền động điện [5]. Điện áp và tần số đầu ra được xác định bởi công suất đầu vào của động cơ. Hầu hết các động cơ đều có thể hưởng lợi từ biến tần nhờ được cung cấp các tần số đầu ra khác nhau, cho dù tốc độ của cơ cấu truyền động được người vận hành cài đặt thủ công hay tự động bởi hệ thống điều khiển.

Bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần là một lựa chọn thay thế hiệu quả và tiết kiệm nên được ưu tiên sử dụng cho tất cả các hệ thống truyền động điện cần thay đổi tốc độ. Bộ truyền động biến tần cho phép linh hoạt thay đổi tốc độ động cơ tùy thuộc vào điều kiện vận hành thực tế, thay vì hoạt động liên tục ở tốc độ tối đa. Tốc độ thay đổi cho phép nó phù hợp hơn với các yêu cầu tải thay đổi và vì công suất tiêu thụ tỷ lệ thuận với lập phương tốc độ của nó, nên việc giảm tốc độ có thể tiết kiệm rất nhiều năng lượng. Ví dụ, giảm tốc độ của quạt 20% có thể giảm nhu cầu năng lượng của quạt gần 50%. Việc lắp bộ truyền động biến tần thay đổi tốc độ trên động cơ quạt cho phép quạt

tự động thay đổi tốc độ phù hợp với công suất tải, giảm tốc độ để đáp ứng nhu cầu giảm công suất, do đó tiết kiệm năng lượng [2, 4].

Nhu cầu về kiểm soát tốc độ và mô-men xoắn là thực tế và cấp thiết. Các bộ truyền động điện tốc độ biến thiên hiện đại có thể được sử dụng để duy trì chính xác tốc độ của máy được truyền động trong phạm vi 0,1%, không phụ thuộc vào tải, so với khả năng điều chỉnh tốc độ có thể có với động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc cảm ứng tốc độ cố định thông thường, khi sử dụng biến tần tốc độ động cơ được điều chỉnh có thể thay đổi tới 3% từ không tải đến đầy tải.

Do có nhiều lợi thế, hầu hết biến tần có thể điều chỉnh ngày nay đều sử dụng điều chế độ rộng xung (PWM) để tạo ra điện áp, dòng điện và tần số đầu ra thay đổi.

3. CHI PHÍ LẮP ĐẶT BỘ ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ SỬ DỤNG BIẾN TẦN

Chi phí lắp đặt bộ biến tần điều khiển thay đổi tốc độ bằng biến đổi tần số là tương đối thấp. Chi phí dao động từ 5 triệu đồng cho động cơ 5kW và 300 triệu đồng cho động cơ có công suất trên 200kW. Chi phí tăng mạnh đối với các phiên bản có công suất lớn hơn. Giá biến tần mới nhất phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại biến tần, công suất, thương hiệu.

Bảng 1. Bảng so sánh giá bán các loại biến tần của các hãng công nghệ

Tên biến tần	Loại biến tần	Công suất	Giá (VNĐ)
Schneider Electric Altivar ATV326H7	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	12,000,000 – 35,000,000
Mitsubishi Electric M700	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	13,000,000 – 36,000,000
Fuji Electric G7S	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	12,000,000 – 35,000,000
ABB ACS880	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	13,000,000 – 36,000,000
Yaskawa GA800	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	14,000,000 – 66,000,000
Yaskawa L1000	Vector không cảm biến	1.5 – 315kW	24,000,000 – 500,000,000
Hyundai Elevator HYV-VT	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	11,000,000 – 34,000,000
Inovance IVS-H	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	10,000,000 – 33,000,000
Chint NTD	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	8,000,000 – 31,000,000
MacroTech MVT	Vector không cảm biến	5.5 – 30kW	9,000,000 – 22,000,000

Thời gian lắp đặt bộ truyền động biến tần mất 10÷70 giờ lao động, tùy thuộc vào quy mô và độ phức tạp của hệ thống; tuy nhiên, thời gian hoàn vốn dao động từ vài tháng đến dưới 3 năm đối với các mẫu dưới 180kW. Mỗi bộ truyền động biến tần có thể truyền động cho nhiều hơn một động cơ; do đó chi phí có thể được tính gộp chung lại. Ngoài ra, khoản tiết kiệm từ việc giảm chi phí cho công tác bảo trì và nâng cao tuổi thọ thiết bị góp phần đáng kể vào việc hoàn vốn nhanh chóng và tiết kiệm dài hạn. Do công nghệ hiện đại luôn phát triển, nhiều công ty sản xuất thiết bị điện đưa ra các ưu đãi tài chính để giảm chi phí lắp đặt bộ truyền động biến tần.

Chi phí dành cho một động cơ có thể điều chỉnh thay đổi tốc độ tùy thuộc vào các tính năng cụ thể và độ bền. Chi phí cho mỗi kW giảm đáng kể theo kích thước.

4. TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG THÔNG QUA ĐIỀU KHIỂN THAY ĐỔI TỐC ĐỘ BẰNG THIẾT BỊ BIẾN TẦN

Sử dụng hệ thống điều khiển thay đổi tốc độ bằng biến tần là cách tốt nhất để giảm mức tiêu thụ năng lượng của động cơ điện. Mức tiêu thụ năng lượng của động cơ điện chiếm tới 75% tổng mức tiêu thụ năng lượng của nhà máy. Theo thống kê, khoảng hai phần ba động cơ vận hành trong công nghiệp được sử dụng làm quạt và máy bơm có tốc độ quay không đổi [3]. Một thay đổi nhỏ về tốc độ quay có thể tạo ra sự thay đổi đáng kể về mức tiêu thụ năng lượng [4]. Sử dụng hệ thống truyền động biến tần mang lại cơ hội tiết kiệm khoảng 15÷40% năng lượng và kéo dài tuổi thọ thiết bị bằng cách cho phép khởi động và dừng máy nhẹ nhàng [4].

Lượng năng lượng mà động cơ tiết kiệm được khi lắp đặt bộ truyền động biến tần có thể

được tính toán theo công thức thực nghiệm (1) hoặc (2) [6]:

$$\Delta W_{tk} = n \cdot P \cdot 0,746 \cdot T_{tbsd} \cdot k_{tltg} \quad (1)$$

$$\Delta W_{tk} = (1 - k_{tltg}^3) \cdot 100\% \quad (2)$$

Trong đó:

- k_{tltg} – Hệ số tỉ lệ phần trăm tiết kiệm năng lượng liên quan đến phần trăm nhất định của việc giảm tốc độ;
- T_{tbsd} – Số giờ sử dụng trung bình hàng năm;
- n – Số lượng động cơ;
- P – Công suất của động cơ, kW.

Chi phí tiết kiệm hàng năm do tiết kiệm được năng lượng điện có thể được tính bằng công thức [4]:

$$\Delta C_{tk} = \Delta W_{tk} \cdot c \text{ (đồng)} \quad (3)$$

Thời gian hoàn vốn là hàm của chi phí gia tăng khi đầu tư đưa hệ thống biến tần vào vận hành chia cho khoản tiết kiệm điện năng hàng năm khi sử dụng biến tần trong một năm cụ thể. Do đó, thời gian hoàn vốn có thể được biểu thị bằng toán học từ phương trình sau:

$$T_{thv} = \frac{V_{gt}}{\Delta C_{tk}} \text{ (năm)} \quad (4)$$

Trong đó: V_{gt} – Chi phí gia tăng khi đầu tư đưa hệ thống biến tần vào vận hành.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc thay thế các động cơ thông thường bằng các động cơ có thể điều chỉnh tốc độ trong các ứng dụng phù hợp sẽ tiết kiệm được 41% năng lượng được sử dụng tại các xí nghiệp công nghiệp. Mức tiêu thụ điện thực tế giảm nhiều hơn mức giảm tốc độ động cơ, do đó, khoản tiết kiệm có thể tích lũy nhanh chóng. Giảm 10% tốc độ động cơ sẽ dẫn đến giảm 27% mức tiêu thụ năng lượng điện [4].

5. KẾT LUẬN

Bộ truyền động thay đổi tốc độ sử dụng biến tần là phương tiện đáng tin cậy và tiết kiệm chi phí để kiểm soát tốc độ của động cơ điện. Việc lắp đặt bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần trên các hệ thống truyền động động cơ điện giúp cải thiện hiệu quả vận hành của hệ thống và tiết kiệm một lượng lớn năng lượng điện. Chúng tôi đòi hỏi phải bảo trì, cung cấp khả năng kiểm soát hiệu quả năng lượng nhất, có dòng điện khởi động thấp nhất so với bất kỳ loại thiết bị khởi động nào, giảm ứng suất nhiệt và cơ học trên động cơ và dây đai. Ngoài ra, chúng bảo vệ động cơ trong khi vẫn duy trì quá trình hoạt động, giảm hỏng bơm do hiện tượng rỗ bơm và giảm bảo trì đường ống và van. Áp dụng bộ truyền động tốc độ thay đổi cho hệ thống điện xoay chiều cao áp và khí nén mang lại cơ hội tuyệt vời về giảm mức năng lượng tiêu thụ. Bộ truyền động tốc độ thay đổi sử dụng biến tần là một tùy chọn để phù hợp với tải yêu cầu, do đó tiết kiệm năng lượng và cải thiện chi phí kinh tế của động cơ. ❖

Ngày nhận bài: **10/11/2025**

Ngày phản biện: **20/11/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. <https://tietkiemnangluong.com.vn/tin-tuc/dien-hinh/t21480/tiet-kiem-dien-giam-phat-thai-khi-co2>
- [2]. <https://tietkiemnangluong.com.vn/tin-tuc/pho-bien-kien-thuc/t6261/su-dung-bien-tan-giai-phap-giam-ton-that-dien-nang-trong-san-xuat-nong-nghiep>
- [3]. <https://enertechvn.com/detail/tieu-chuan-tiet-kiem-nang-luong-cho-dong-co-dien-269.html>
- [4]. Phạm Trung Sơn, Nguyễn Đình Tiến, “Điều khiển bằng bộ biến tần cho các hệ thống truyền động nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng và tối ưu hóa các dây chuyền công nghệ trong các mỏ than hầm lò”. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, Số 1 (02-2025).
- [5]. Thân Ngọc Hoàn, Nguyễn Tiên Ban, Trương Mỹ, Nguyễn Hoàng Hải, “Giáo trình hệ thống tự động điều khiển truyền động điện”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2022.
- [6]. R. Saidur, S. Mekhilef, “Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries”. Energy 87 (2010) 2746-2758.