

ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ TỚI QUÁ TRÌNH LÀM MÁT PHANH DÒNG ĐIỆN XOÁY 50 KW

EFFECTS OF SELECTED PARAMETERS ON COOLING OF A 50 KW EDDY CURRENT BRAKE

Nguyễn Công Thuật*, Phạm Hùng Cường

Trường Đại học Công nghiệp Việt – Hưng

*Email: Cthuatst@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo khảo sát ảnh hưởng của các thông số chính đến quá trình làm mát của phanh dòng điện xoáy công suất 50 kW sử dụng trong bộ thử động cơ. Do phần lớn công suất cơ được chuyển hóa thành nhiệt trong rotor, việc kiểm soát nhiệt độ là yếu tố quan trọng đảm bảo vận hành ổn định và độ bền hệ thống. Mô hình nhiệt đơn giản được xây dựng dựa trên các cơ chế truyền nhiệt như dẫn nhiệt và đối lưu nhằm đánh giá ảnh hưởng của công suất phanh, tốc độ quay... đến nhiệt độ của ECB. Kết quả cho thấy hệ số đối lưu và công suất phanh là các yếu tố ảnh hưởng quyết định khả năng tản nhiệt. Kết quả là cơ sở cho thiết kế và tối ưu hệ thống làm mát ECB.

Từ khóa: Phanh dòng điện xoáy; Phân tích nhiệt; Làm mát; Truyền nhiệt.

ABSTRACT

This paper investigates the influence of key parameters on the cooling process of a 50 kW eddy current brake (ECB) used in an engine test bench. Since a large portion of the mechanical power is converted into heat within the rotor, temperature control is a critical factor to ensure stable operation and system durability. A simplified thermal model is developed based on heat transfer mechanisms, including conduction and convection, to evaluate the effects of braking power and rotational speed on the temperature of the ECB. The results indicate that the convective heat transfer coefficient and braking power are the dominant factors affecting heat dissipation performance. These findings provide a basis for the design and optimization of ECB cooling systems.

Keywords: Eddy Current Brake (ECB); Thermal Analysis; Cooling Performance; Heat Transfer.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trong các hệ thống bộ thử công suất động cơ, phanh dòng điện xoáy (Eddy Current Brake – ECB) được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng hấp thụ công suất lớn, phản ứng nhanh và không có tiếp xúc cơ khí. Mô hình thiết bị tạo tải đa năng sử dụng phanh dòng điện xoáy (ECB) được nghiên cứu với mục đích tạo tải giả lập ô tô di chuyển trên đường cho mục tiêu đào tạo, nghiên cứu [1]. Tuy nhiên, trong quá trình làm việc, gần như toàn bộ năng lượng cơ học được chuyển hóa thành nhiệt năng thông qua tổn hao dòng điện xoáy trong rotor, dẫn đến sự gia tăng nhiệt độ đáng kể của hệ thống [2], [3]. Nhiệt độ cao không chỉ làm suy giảm hiệu suất phanh mà còn ảnh hưởng đến đặc tính vật liệu, gây bão hòa từ, thay đổi độ dẫn điện và làm giảm tuổi thọ của thiết bị [4]. Do đó, vấn đề kiểm soát nhiệt và thiết kế hệ thống làm mát hiệu quả là một trong những thách thức quan trọng trong phát triển ECB công suất trung bình và lớn.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng quá trình truyền nhiệt trong ECB phụ thuộc vào nhiều yếu tố như công suất phanh, tốc độ quay, đặc tính vật liệu và điều kiện trao đổi nhiệt với môi trường [5]. Trong đó, hệ số truyền nhiệt đối lưu đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định khả năng tản nhiệt của rotor, đặc biệt trong các hệ thống làm mát bằng không khí hoặc chất lỏng [6]. Bên cạnh đó, các thông số hình học như diện tích bề mặt và chiều dày rotor cũng ảnh hưởng đáng kể đến phân bố nhiệt độ và khả năng tích nhiệt của hệ thống [7].

Xuất phát từ mục tiêu cụ thể để thiết kế chế tạo, bài báo này hướng tới việc xây dựng một mô hình nhiệt đơn giản nhưng có khả năng phản ánh các đặc tính chính của quá trình làm mát trong ECB công suất 50 kW. Mục tiêu nghiên cứu là khảo sát định lượng ảnh hưởng

của một số thông số quan trọng đến nhiệt độ làm việc của hệ thống. Trên cơ sở đó, xác định các yếu tố chi phối quá trình truyền nhiệt và đề xuất các định hướng thiết kế phù hợp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

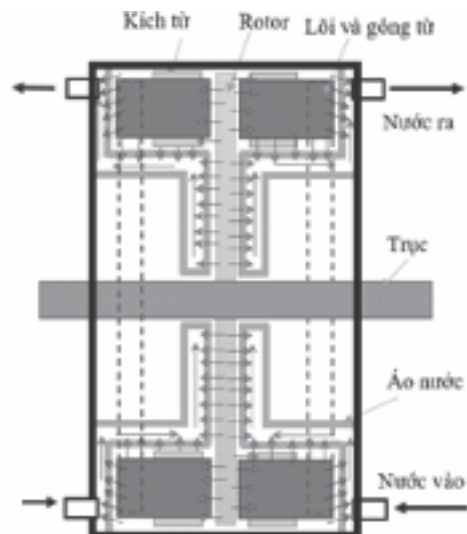
Về phương pháp nghiên cứu, bài báo sử dụng cách tiếp cận kết hợp giữa mô hình toán học và phân tích số. Trước hết, mô hình truyền nhiệt được xây dựng dựa trên phương trình dẫn nhiệt tổng quát trong vật rắn:

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + Q \quad (2-1)$$

Trên cơ sở thiết kế của ECB (hình 2), sơ đồ truyền nhiệt (hình 1) có mô hình truyền nhiệt sau:



Hình 1. Sơ đồ truyền nhiệt của ECB



Hình 2. Sơ đồ truyền nhiệt

Lượng nhiệt sinh ra từ Stator nhỏ, được bao chung với rotor nên coi lượng nhiệt sinh ra

từ rotor. Trao đổi nhiệt bức xạ được xem xét khi tính toán trở nhiệt không khí. Các phương trình vi phân truyền nhiệt như sau:

- Truyền nhiệt từ Rotor khe hở không khí:

$$C_r \frac{dT_{rotor}}{dt} = Q_{eddy} - \frac{T_{rotor} - T_{air}}{R_{air}} \quad (2-2)$$

- Dẫn nhiệt qua áo nước:

$$C_{jacket} \frac{dT_{jacket}}{dt} = \frac{T_{rotor} - T_{air}}{R_{air}} - \frac{T_{air} - T_{jacket}}{R_{jacket}} \quad (2-3)$$

- Trao đổi nhiệt đối lưu với nước:

$$C_{water} \frac{dT_{water}}{dt} = \frac{T_{air} - T_{jacket}}{R_{jacket}} - \frac{T_{jacket} - T_{water}}{R_{water}} \quad (2-4)$$

Trong đó:

- Nhiệt dung rotor: $C_r = m \cdot c_p$ (2-5)

- Trở nhiệt khe hở không khí:

$$R_{air} = \frac{\delta_{gap}}{k_{air} A_{gap}} \quad (2-6)$$

- Nhiệt trở áo nước:

$$R_{jacket} = \frac{\delta_{jacket}}{k_{jacket} A_{jacket}} \quad (2-7)$$

- Nhiệt trở đối lưu:

$$R_{water} = \frac{1}{h \cdot A_{water}} \quad (2-8)$$

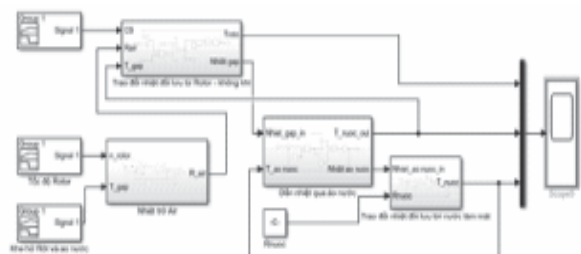
3. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu là ECB có công suất là 50kW được tính toán thiết kế cho phanh thử động cơ. Trong đó, nhiệt sinh ra từ rotor là 90%; nhiệt từ các nguồn khác là 10%. Giả thiết nhiệt phân bố đều trên rotor. Thông số kỹ thuật chính được thể hiện như trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chính của ECB

Thông số		Trị số	Thông số		Trị số
Công suất cực đại		50kW	Áo nước	Độ dày	3mm
Rotor	Bán kính	200mm		Vật liệu	Nhôm
	Độ dày	15mm	Nước làm mát	Nhiệt độ vào	30°C
	Vật liệu	Nhôm		Nhiệt độ ra	60°C
Khe hở rotor và áo nước		2mm		Tốc độ	0,8m/s

Mô hình toán học của quá trình làm mát được mô phỏng bằng MATLAB-SIMULINK nhằm thực hiện khảo sát tham số (hình 3). Phương pháp này cho phép thay đổi linh hoạt các thông số đầu vào và đánh giá nhanh ảnh hưởng của chúng đến nhiệt độ hệ thống. Các kịch bản khảo sát được xây dựng với dải giá trị phù hợp thực tế, đảm bảo phản ánh đầy đủ các chế độ làm việc của ECB.



Hình 3. Mô hình mô phỏng trên phần mềm MATLAB-SIMULINK

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Xác định thời điểm ổn định nhiệt độ của rotor ở chế độ xác định

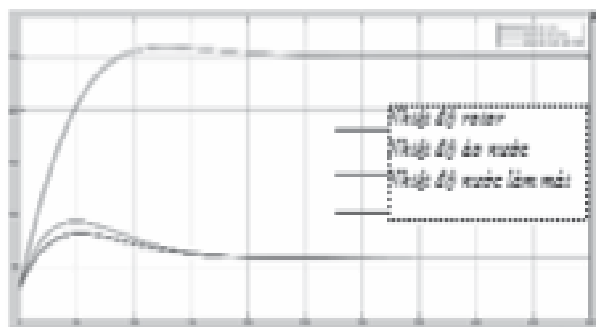
Ở chế độ này, công suất ECB là 50kW, rotor quay ở tốc độ 2700 vòng/ phút. Nhiệt độ của rotor ổn định sau 250 giây ở nhiệt độ 250°C cho phép ECB làm việc lâu dài (hình 4).

4.2. Ảnh hưởng của công suất đến nhiệt độ ECB

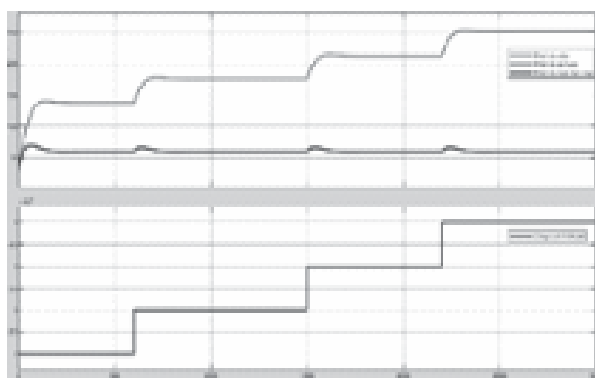
Công suất của ECB được thay đổi dạng bậc 2-3-4-5kW, các thông số khác không đổi. Khi đó nhiệt độ của rotor xác lập ở các điểm tương ứng là 140-175-225-250°C. Rõ ràng công suất ảnh hưởng lớn đến nhiệt độ rotor, công suất tăng thì nhiệt độ rotor tăng (hình 5).

4.3. Ảnh hưởng của khe hở giữa rotor và áo nước đến nhiệt độ ECB

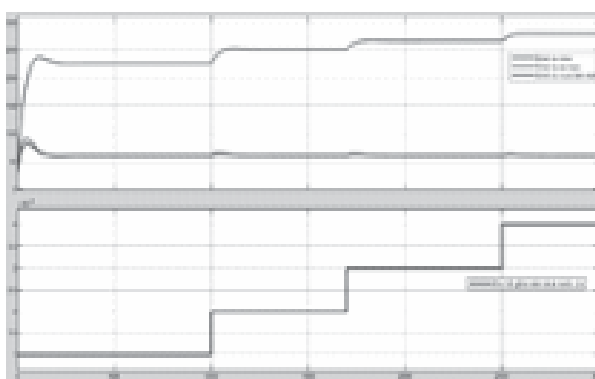
Từ kết quả khảo sát chứng minh khe hở không khí ảnh hưởng lớn đến quá trình truyền nhiệt, khe hở tăng thì nhiệt độ của rotor tăng. Trong quá trình thiết kế chế tạo cần giảm khe hở này để tăng hiệu quả quá trình làm mát (hình 6).



Hình 4. Nhiệt độ ECB

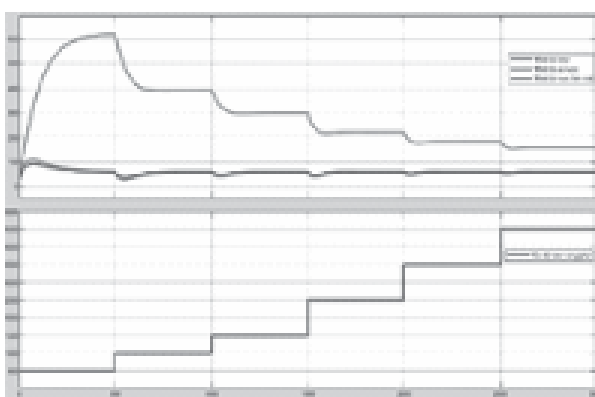


Hình 5. Ảnh hưởng CS đến nhiệt độ ECB



Hình 6. Ảnh hưởng khe hở giữa rotor và áo nước đến nhiệt độ ECB

4.4. Ảnh hưởng của tốc độ quay đến nhiệt độ ECB



Hình 7. Ảnh hưởng tốc độ quay của rotor đến nhiệt độ ECB

Trong khảo sát này, tốc độ của rotor được thay đổi dạng bậc: 500-1000-1500-2500-

3500-4500 vòng/ phút, các thông số khác không đổi. Kết quả cho thấy nhiệt độ của rotor thay đổi tương ứng: 620-390-300-220-180-160°C. Điều này được giải thích: tốc độ rotor tăng làm tăng chuyển động rối của không khí bao quanh rotor và áo nước màn tăng hệ số trao đổi nhiệt đối lưu dẫn đến nhiệt độ của rotor giảm (hình 7). Trong quá trình sử dụng cần hạn chế thời gian làm việc ở vùng tốc độ thấp.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của một số thông số chính đến quá trình làm mát của phanh dòng điện xoáy công suất 50 kW sử dụng trong bộ thử động cơ. Trên cơ sở mô hình truyền nhiệt kết hợp với phân tích tham số bằng MATLAB-SIMULINK, nghiên cứu đã đánh giá định lượng vai trò của các yếu tố như công suất phanh, tốc độ quay, khe hở giữa rotor và áo nước đối với nhiệt độ làm việc của hệ thống.

Kết quả cho thấy công suất phanh và hệ số truyền nhiệt đối lưu là hai thông số có ảnh hưởng mạnh nhất đến nhiệt độ rotor. Khi công suất tăng, nhiệt độ tăng nhanh và có thể vượt quá giới hạn cho phép nếu không có giải pháp làm mát phù hợp. Trong khi đó, việc tăng hệ số đối lưu thông qua tốc độ của rotor giúp giảm đáng kể nhiệt độ và cải thiện hiệu quả tản nhiệt. Ngoài ra, các yếu tố hình học như diện tích bề mặt và chiều dày khe hở rotor và áo nước cũng đóng vai trò quan trọng trong việc làm mát, từ đó ảnh hưởng đến độ ổn định nhiệt của hệ thống.

Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng tốc độ quay có ảnh hưởng hai chiều, vừa làm tăng công suất nhiệt, vừa góp phần cải thiện đối lưu, do đó cần được xem xét đồng thời trong quá trình thiết kế, sử dụng. Kết quả xác định ECB công suất 50 kW làm mát gián tiếp bằng nước với các thông

số đã xác định trong mô hình là phù hợp đảm bảo làm việc an toàn và ổn định. ❖

Ngày nhận bài: 12/3/2026

Ngày phản biện: 26/3/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Công Thuật, “Xây dựng mô hình thiết bị tạo tải đa năng sử dụng phanh dòng điện xoáy (ECB)”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt tháng 10, pp: 99-104, 2025.
- [2]. J. R. Brauer, “Magnetic Actuators and Sensors”. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2006.
- [3]. S. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles”, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [4]. J. Wang and K. Atallah, “Analysis of eddy-current brakes with conductive rotors”. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, no. 2, pp. 611-619, 2008.
- [5]. Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, “Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications”, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2015.
- [6]. F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
- [7]. J. F. Gieras, “Permanent Magnet Motor Technology: Design and Applications”, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2010.