



NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN NAM CHÂM ĐIỆN CỦA MÁY HÚT SẮT SỬ DỤNG CHO BĂNG TẢI

Trần Ngọc Minh^{1,*}, Nguyễn Đức Hạnh¹, Trần Đức Huân²

¹Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin, Số 565 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Số 18, Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 14/8/2024

Ngày nhận bài sửa: 20/9/2024

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2024

^{1,*}Tác giả liên hệ:

Email: mr.ngocminh2709@gmail.com

TÓM TẮT

Trong các thiết bị sử dụng trong ngành công nghiệp mỏ, máy hút sắt được sử dụng nhiều trên băng tải vận chuyển than với nhiệm vụ tách vật bằng sắt ra khỏi than, trước khi chuyển than tới các bước công nghệ tiếp theo. Đồng thời cũng tránh các vật này gây rách băng. Hiệu quả máy hút sắt phụ thuộc nhiều vào chất lượng chế tạo hộp nam châm điện. Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính toán mô phỏng nam châm điện của máy hút sắt bằng phương pháp phần tử hữu hạn với sự trợ giúp của phần mềm ANSYS Maxwell. Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng trong thiết kế nam châm máy hút sắt dùng cho băng tải và các thiết bị khác.

Từ khóa: tính toán mô phỏng, nam châm điện, máy hút sắt, phần tử hữu hạn.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quy trình thiết kế máy hút sắt, bước tính toán, thiết kế và chế tạo được một nam châm đảm bảo độ mạnh của từ trường trên mặt phẳng làm việc là rất quan trọng. Nếu vì một lý do nào đó, cường độ từ trường trong vùng làm việc nhỏ hơn giá trị thiết kế có thể dẫn đến việc máy hút sắt không hút được các đối tượng kim loại cần hút. Điều này làm ảnh hưởng rất lớn đến khả năng làm việc và hiệu suất của thiết bị. Do đó, công đoạn tính toán, thiết kế và chế tạo nam châm trong máy hút sắt luôn cần đảm bảo độ chính xác cao nhất có thể. Phương pháp tính toán, thiết kế áp dụng cho máy hút sắt chủ yếu hiện nay là: phương pháp mạch từ tương đương (phương pháp giải tích) và phương pháp phần tử hữu hạn (hay còn gọi là phương pháp số) [2]. Trong ngành công nghiệp mỏ, máy hút sắt được lắp trên băng tải để loại bỏ các vật bằng sắt khỏi than trước khi đưa than vào các bước xử lý tiếp theo. Bài báo trình bày việc áp dụng phần mềm ANSYS Maxwell trong tính toán. Trong

bài báo này, chúng tôi đề cập nội dung nghiên cứu nói trên.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Các bước tính toán nam châm điện máy hút sắt bằng phần mềm ANSYS Maxwell

Bài toán mô phỏng nam châm điện được thực hiện qua trình tự cơ bản sau: 1. Xác định thông số đầu vào của bài toán; 2. Xây dựng mô hình phân tích; 3. Thiết lập chia lưới; 4. Thiết lập điều kiện biên; 5. Thiết lập điều kiện hội tụ lời giải; 6. Thiết lập tham số tính toán; 7. Chạy phân tích; 8. Xuất báo cáo và xử lý kết quả phân tích. Cụ thể:

1. Xác định thông số đầu vào của bài toán phân tích, bao gồm: xác định các kích thước hình học theo bản vẽ thiết kế; xác định đặc tính vật liệu chế tạo trên mô hình phân tích; Xác định điều kiện liên quan đến nguồn kích từ (sức từ động);

Vật liệu chế tạo máy hút sắt gồm: vật liệu dẫn từ; vật liệu dẫn điện; số vòng dây; vật liệu cách điện; vật liệu làm tấm chắn, nắp đậy; vật liệu chế

tạo vỏ, cánh làm mát. Tất cả các vật liệu này được khai báo đặc tính dẫn điện và dẫn từ trong phần mềm ANSYS Maxwell để đáp ứng thông số tính toán.

Nguồn kích từ cho máy hút sắt: nguồn điện một chiều (nguồn DC). Dòng điện và số vòng dây cần được tham số hóa để có thể thay đổi trong quá trình tiến hành phân tích.

2. Xây dựng mô hình phân tích, bao gồm các nội dung:

- Vẽ và tạo hình 3D cho mô hình phân tích dựa trên bản vẽ thiết kế.

- Cài đặt vật liệu tương ứng cho mô hình phân tích

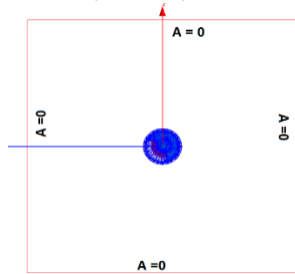
- Thiết lập tham số hình học, sự dịch chuyển của đối tượng trên mô hình phân tích.

3. Thiết lập chia lưới cho mô hình phân tích

Cũng như các phần mềm khác, việc chia lưới và xác định vùng phân tích hết sức quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác tính toán.

4. Thiết lập điều kiện biên

Trên biên của vùng phân tích, điều kiện biên cần được xác định. Điều kiện biên cho mô hình phân tích được thiết lập trên biên dạng của một vùng Region đủ lớn để trên biên dạng đó vectơ từ thế có giá trị $A = 0$ (Hình 1).



Hình 1. Điều kiện cho miền phân tích

Điều kiện biên được coi như điều kiện đầu của các phương trình vi tích phân để từ đó có cơ sở tìm nghiệm của các phương trình vi tích phân. Do

đó, điều kiện biên cần được thiết lập đúng đắn, chính xác. Nếu chọn kích thước vùng region quá nhỏ, hoặc quá sát đối tượng cần phân tích thì có thể gây ra sai số tính toán. Nhưng nếu chọn quá xa thì kích cỡ mô hình sẽ tăng, thời gian tính toán sẽ quá lâu so với yêu cầu cần có. Theo kinh nghiệm, chọn kích thước vùng biên lớn hơn 2-5 lần kích thước cơ bản mô hình phân tích tùy vào từng trường hợp cụ thể.

5. Thiết lập điều kiện hội tụ cho lời giải

Việc tính toán trên các phần mềm mô phỏng được thực hiện thông qua phương pháp giải lặp nên cần xác định điều kiện dừng của lời giải. Điều kiện dừng xác định độ chính xác cho phép của bài toán phân tích và có thể được thiết lập trên phần mềm. Độ hội tụ của lời giải thể hiện thông qua sự suy giảm sai số của mỗi bước lặp. Một lời giải không hội tụ là lời giải không được chấp nhận. Thông thường, thông số Percent Error được đặt nhỏ hơn 1% trong tính toán.

6. Thiết lập các tham số tính toán

Quá trình thiết lập này nhằm khai báo về các tham số cần tính toán khi tiến hành phân tích.

7. Xuất báo cáo và xử lý kết quả phân tích

2.2. Áp dụng phần mềm ANSYS Maxwell tính nam châm điện máy hút sắt dùng cho băng tải

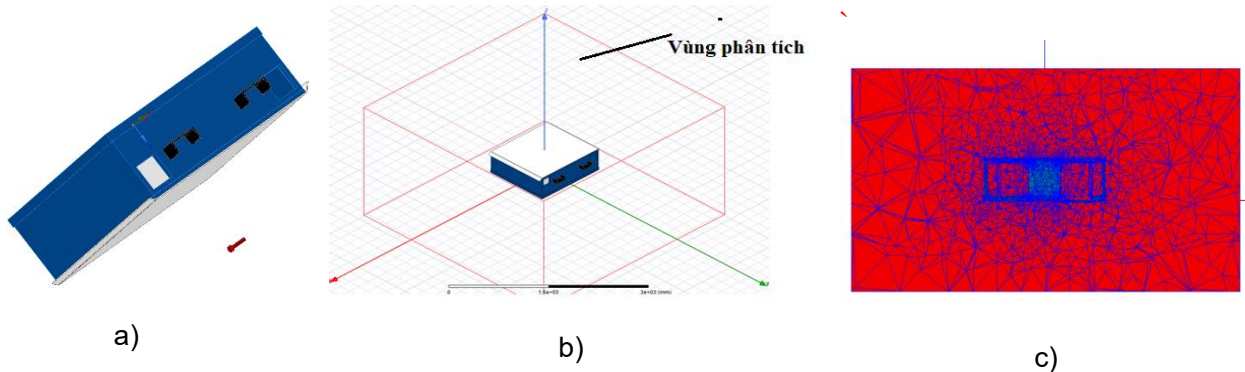
Các thông số tính toán:

- Vật liệu dẫn từ là thép CT0; Vật liệu dẫn điện là dây nhôm; Vật liệu cách điện là mica; Vật liệu làm tấm chắn, nắp đáy là thép không rỉ 406; Vật liệu chế tạo vỏ, cánh làm mát là inox 304.

- Nguồn kích từ được thể hiện trong bảng sau: Điện áp cấp 220 V; Dòng điện làm việc 20 A; Điện trở một chiều ở 20°C là 11,6 Ω ; Số vòng dây là 4000 vòng.

- Sức từ động: $IW = 4000 \times 20 = 80000$ (A.vòng).

- Mô hình và miền phân tích, chia lưới thể hiện trên Hình 2.

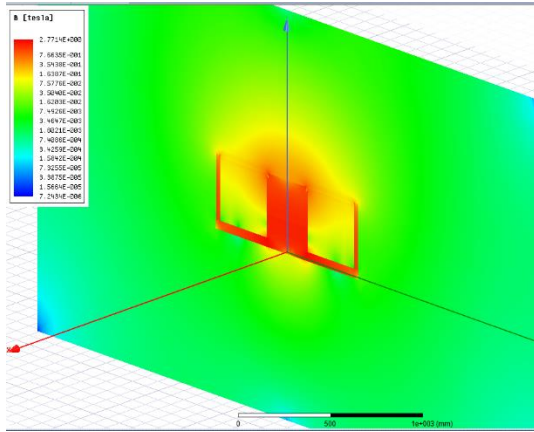


Hình 2. Mô hình (a), miền phân tích (b), chia lưới (c)

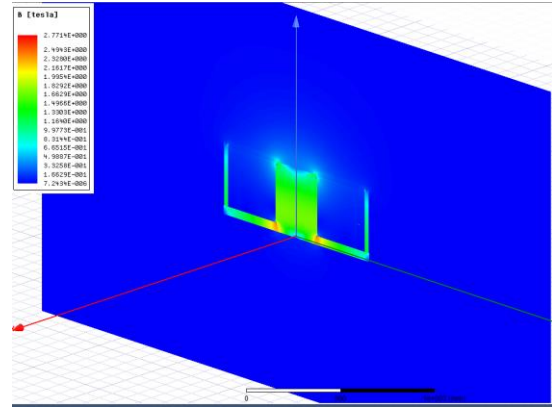
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả phân bố từ trường

Kết quả mô phỏng với mô hình thiết kế sơ bộ của nam châm máy hút sắt, hoạt động với sức từ động $IW = 4000 \times 20 = 80000$ (A.vòng) như sau:



Hình 3. Phân bố từ cảm trên một mặt cắt ngang

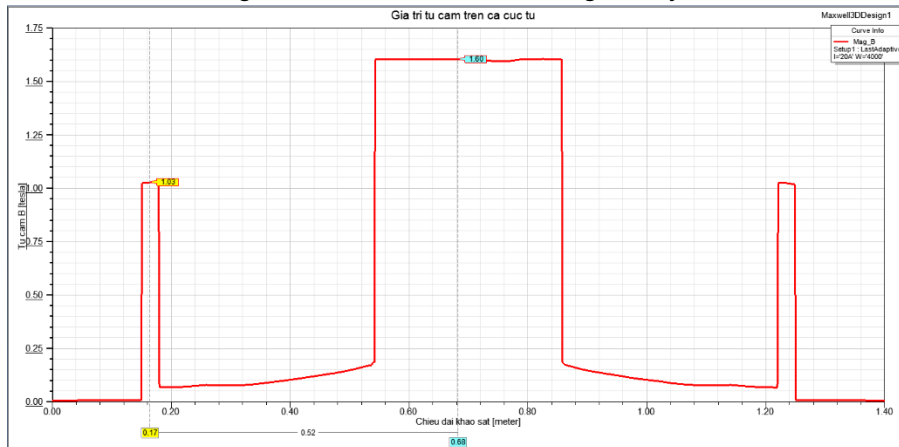


Hình 4. Phân bố từ cảm của máy hút sắt theo thang tuyến tính

Giá trị từ cảm trong cực từ chính và hai cực từ bên được thể hiện trên Hình 15.

Từ kết quả phân bố dạng màu (Hình 3, 4) và phân bố giá trị (Hình 5) cho thấy từ cảm B trong cực từ chính là lớn nhất, có giá trị 1,6 Tesla (T), hai cực từ bên có từ cảm là 1,03 T. Điều này cho thấy, khi máy hút sắt làm việc với dòng điện 20 A thì

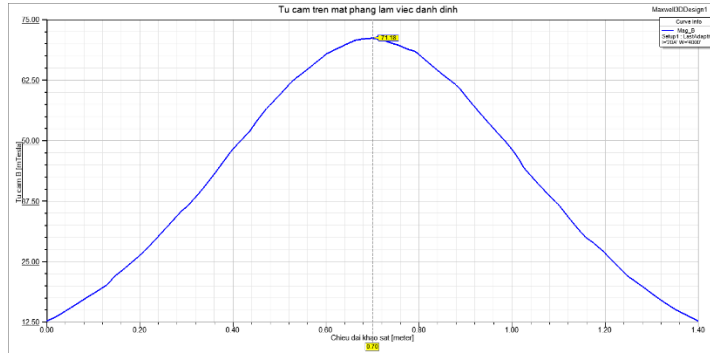
mạch từ của nó chưa bị bão hòa. Tham khảo đặc tính từ của lõi thép CT0 cho thấy từ cảm bão hòa của lõi thép CT là từ 2,0 đến 2,5 T. Vì vậy, máy hút sắt sẽ làm việc trong điều kiện thuận lợi, tổn hao sắt nhỏ, phát nóng nhẹ hơn. Hơn nữa, cho phép tăng dòng điện để tăng cường thêm độ mạnh của từ trường theo yêu cầu vận hành cụ thể.



Hình 5. Giá trị từ cảm trong các cực từ chính (giữa) và cực từ bên (vỏ máy)

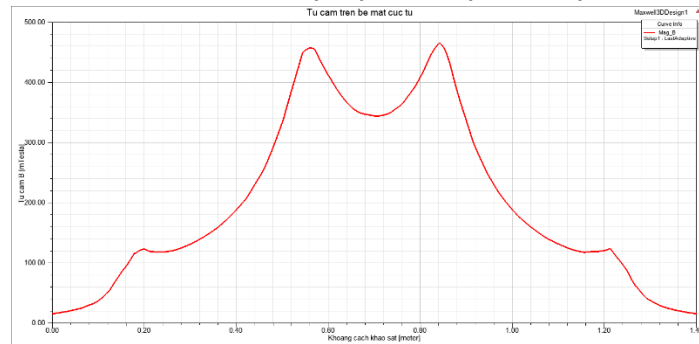
Giả thiết mặt phẳng làm việc danh định của máy hút sắt cách bề mặt cực từ chính 300mm (còn gọi là chiều cao treo băng danh định). Khảo sát từ cảm tại bề mặt này, ta có kết quả phân bố giá trị từ cảm như Hình 6. Kết quả khảo sát trên Hình 6 chỉ ra giá trị từ cảm lớn nhất trên mặt phẳng làm việc xuất hiện ở tâm cực từ chính, đạt giá trị 71,18 mT.

So sánh giá trị này với yêu cầu thiết kế, từ cảm cần đạt được là 70 mT có nghĩa là rằng thiết kế sơ bộ đã đạt yêu cầu về độ mạnh từ trường tạo ra. Tuy nhiên, để vùng làm việc phía dưới máy hút sắt đạt được từ cảm lớn hơn 70 mT với diện tích phủ lớn hơn thì cần tăng thêm giá trị dòng điện cấp cho cuộn dây.



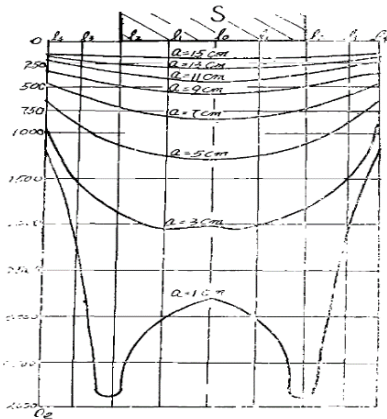
Hình 6. Phân bố từ cảm B trên mặt phẳng làm việc danh định, cách bề mặt cực từ 300 mm

Giá trị và phân bố của từ cảm B trên bề mặt cực từ được thể hiện trên Hình 7.

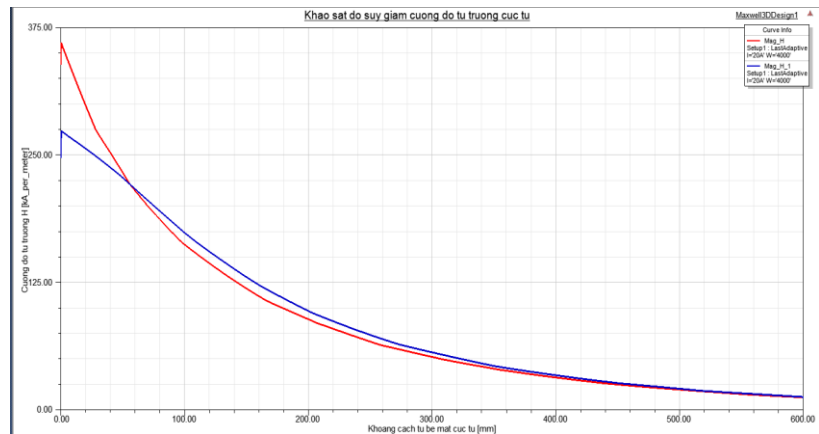


Hình 7. Giá trị từ cảm B trên bề mặt cực từ

So sánh kết quả này với kết quả khảo cứu về phân bố từ cảm trên bề mặt cực từ của máy hút sắt (Hình 18), theo tài liệu [3] cho thấy có sự tương đồng về dạng phân bố. Giá trị từ cảm lớn nhất trên bề mặt cực từ là 468,2 mT.



Hình 8. Dạng phân bố từ cảm dưới cực từ chính S khi khoảng cách khảo sát thay đổi



Hình 9. Kết quả khảo sát sự suy giảm từ trường phía dưới cực từ

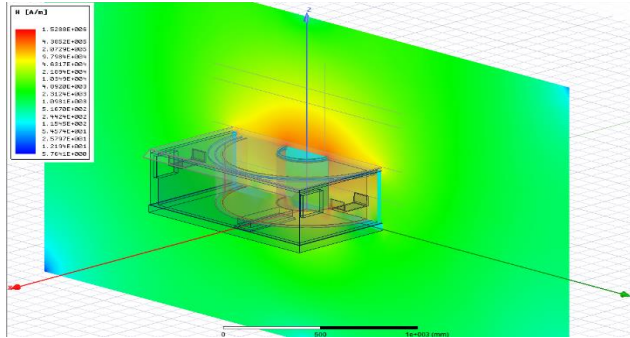
Khảo sát độ suy giảm cường độ từ trường tính từ mặt cực từ chính tới vùng không gian phía dưới cực từ chính theo phương vuông góc tại hai vị trí của từ cảm đỉnh $H_{01} = 273,5 \text{ kA/m}$ và $H_{02} = 338,7 \text{ kA/m}$ ta thu được dạng đặc tính như Hình 9.

Kết quả khảo sát này chỉ ra, cường độ từ trường H phía dưới cực từ chính suy giảm theo dạng hàm mũ $H_x = H_0 \cdot e^{-Cx}$, trong đó x là khoảng cách từ điểm khảo sát tới bề mặt cực từ, phù hợp với lý thuyết. Tuy nhiên, mức độ suy giảm ở mỗi tọa độ phía dưới cực từ chính là khác nhau, do đó



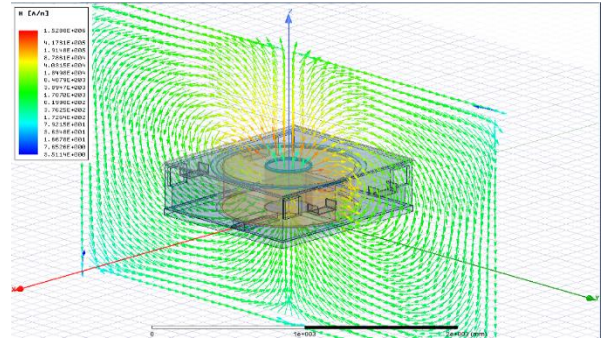
trong tính toán sơ bộ nếu ta sử dụng một hệ số C duy nhất để đánh giá mức độ suy giảm này thì sẽ dễ mắc phải sai số tính toán.

Phân bố của cường độ từ trường H trên mô hình phân tích được thể hiện như trên Hình 10.



Hình 10. Phân bố cường độ từ trường H trên máy hút sắt

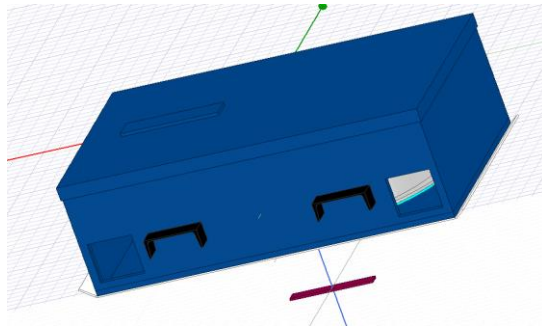
Phân bố của cường độ từ trường H và và từ cảm B có dạng tương tự nhau. Dạng đường đi của các đường sức từ trên mô hình phân tích được thể hiện như trên Hình 11.



Hình 11. Dạng đường sức từ của từ trường trên mô hình phân tích

2. Kết quả lực nâng vật ứng với dòng điện I = 20 A

Giả định máy hút sắt sẽ hút một tấm thép có kích thước 6x55x280 mm với khối lượng là 720 g như Hình 12.



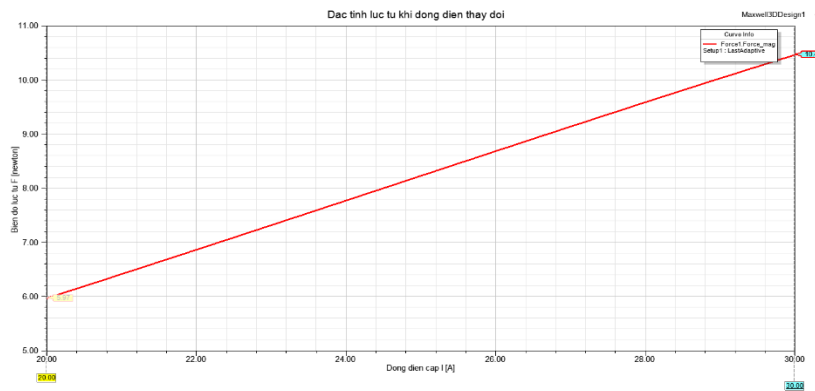
Hình 12. Mô hình giả định hút tấm thép có kích thước 6x55x280 mm

Thiết lập mô hình phân tích để tính toán lực hút lên tấm thép này, ta thu được kết quả tính toán:

Giá trị lực từ mô phỏng được là 5,9743 N. So với trọng lực của thanh thép = 0,72x9,81 = 7.06 N, tức là lực từ chưa đủ để hút thanh thép này. Tăng giá trị dòng điện I lên thành 23 A, ta thu được lực

từ mới là 7,321 N đã đủ lớn để hút được tấm thép thử nghiệm.

Khảo sát giá trị lực từ tác động lên tấm thép khi thay đổi trị số dòng điện cấp cho cuộn dây trong dải làm việc từ 20 – 30 A, ta có đặc tính (Hình 13)



Hình 13. Đặc tính lực từ thay đổi khi thay đổi dòng điện điều khiển cấp cho cuộn dây

3. Kết quả khi thay đổi dòng điện cấp cho cuộn dây

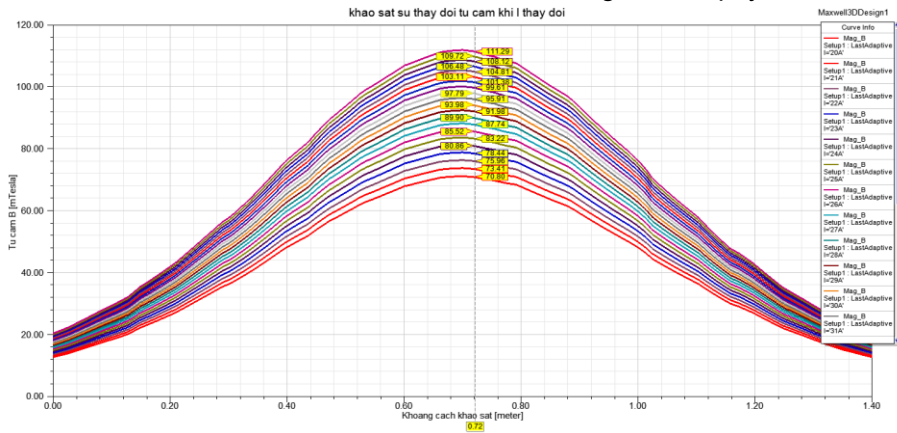
Khi tăng dòng điện cấp cho cuộn dây của nam châm điện, đồng thời giữ cố định số vòng dây quấn $W = 4000$ vòng thì sức từ động cấp vào cuộn dây sẽ tăng lên. Nhờ đó mà độ lớn từ trường trong máy sẽ gia tăng để đáp ứng lực từ trong các điều kiện làm việc nặng nề của tải. Với tiết diện dây quấn đã chọn là 18mm^2 , mật độ dòng điện cho phép $2 - 4 \text{ A/mm}^2$ thì dòng điện một chiều cho phép cấp vào cuộn dây có thể giả định thay đổi từ $20 - 40 \text{ A}$. Sau đây, nhóm tác giả tiến hành khảo sát sự gia tăng từ trường làm việc của máy hút khi dòng điện tăng lên.

Kết quả khảo sát từ trường trên mặt phẳng làm việc danh định được thể hiện trên Hình 14. Từ kết quả khảo sát này cho thấy, từ cảm định nhỏ nhất là $70,8 \text{ mT}$ khi $I = 20 \text{ A}$ và từ cảm định lớn nhất là

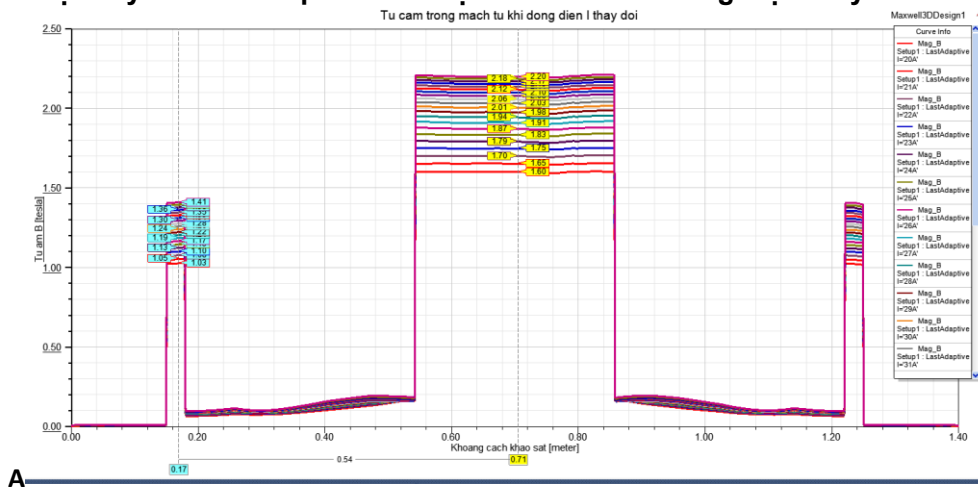
$111,29 \text{ mT}$ khi $I = 40 \text{ A}$. Khi dòng điện tăng gấp đôi thì từ cảm tăng một lượng nhỏ hơn, chỉ đạt $1,57$ lần.

Tiếp tục, khảo sát sự thay đổi từ cảm trong lõi thép khi dòng điện từ hóa thay đổi ta nhận được kết quả như Hình 15.

Như vậy, khi dòng điện I chạy qua cuộn dây tăng lên thì từ cảm trong mạch từ sẽ tăng theo. Từ cảm trong cực từ chính bé nhất là $1,6\text{T}$ khi $I = 20 \text{ A}$ và từ cảm cực từ chính lớn nhất là 2.2T khi $I = 40 \text{ A}$. Qua đó, thấy được rằng khi dòng điện tăng lên, khả năng mạch từ của máy hút sắt sẽ bị bão hòa mạnh, tổn hao sắt từ tăng nhanh, khả năng phát nhiệt lớn, có thể phát sinh những nguy cơ gây hư hại cho thiết bị. Kết quả khảo sát này cũng chỉ ra khi $I = 30 \text{ A}$ thì từ cảm trong lõi đạt giá trị 2T , bắt đầu bước vào vùng bão hòa mạch từ nên dải điều chỉnh dòng điện hợp lý là từ $20 \div 30 \text{ A}$.



Hình 14. Sự thay đổi từ cảm phía dưới cực từ chính khi dòng điện thay đổi từ $20 - 40 \text{ A}$



Hình 15. Kết quả khảo sát từ cảm bên trong mạch từ khi tăng dòng điện

Trên cơ sở tính toán bằng phần mềm ANSYS Maxwell đã thiết kế và chế tạo nam châm điện hút

sắt. Kết quả thử nghiệm cho thấy nam châm có đặc tính như trong Bảng 1 [1].

**Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật nam châm điện dùng cho băng tải**

| TT | Vật hút | Khối lượng, g | Khoảng cách hút, mm |
|----|--------------------|---------------|---------------------|
| 1 | Đinh 12 cm | 10 | 400 |
| 2 | Bu lông 10x70 | 40 | 325 |
| 3 | Bu lông 16x100 | 60 | 300 |
| 4 | Bu lông 20x100 | 280 | 275 |
| 5 | Đai ốc M20 | 20 | 150 |
| 6 | Thép tròn 20x200 | 480 | 350 |
| 7 | Thép 25x30x65 | 350 | 200 |
| 8 | Thép tấm 6x55x280 | 720 | 400 |
| 9 | Thép góc 40x40x350 | 930 | 400 |

4. KẾT LUẬN

➤ Nội dung bài báo đã trình bày một số vấn đề chính trong tính toán mô phỏng hộp nam châm điện của máy hút sắt, cụ thể như sau: giới thiệu phương pháp tính toán mô phỏng; luận giải và đưa ra những kết quả định tính và định lượng có giá trị và ý nghĩa thực tiễn cao trong công tác thiết kế máy hút sắt; áp dụng tính toán thiết kế, chế tạo nam châm điện dùng cho băng tải. Những kết quả thu được sẽ được ứng dụng vào trong công tác thiết kế máy hút sắt để hoàn thiện hơn quy trình tính toán, thiết kế máy hút sắt nhằm áp dụng vào thực tiễn nghiên cứu, sản xuất và chế tạo ở Việt Nam

➤ Kết quả thu được là cơ sở dữ liệu trong công tác thiết kế, chế tạo máy hút sắt để hoàn thiện hơn quy trình tính toán, thiết kế máy hút sắt nhằm áp dụng vào thực tiễn nghiên cứu, sản xuất và chế tạo ở Việt Nam □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Ngọc Minh và nhóm tác giả (2020). Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thử nghiệm máy hút sắt lắp trên băng tải. *Báo cáo đề tài nghiên cứu cấp Tập đoàn của Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ-Vinacomin*.
- [2]. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh (2001). Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu tính toán thiết kế kỹ thuật điện. *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*.
- [3]. Triệu Ứng Hàm (2012). Máy hút sắt nam châm điện kiểu dây băng tải. *Nhà máy cơ khí nặng Thiểm Tây-Trung Quốc (Tiếng Trung)*.

RESEARCH ON CALCULATING ELECTROMAGNET IRON LIFTER USED FOR BELT CONVEYORS

Minh Ngọc Tran^{1,*}, Hanh Duc Nguyen¹, Huan Duc Tran²

¹Vinacomin- Institute of Energy and Mining Mechanical Engineering, 565 Nguyen Trai, Ha Noi, Vietnam

²Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Duc Thang, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 14/8/2024

Revised: 20/9/2024

Accepted: 28/9/2024

^{1,*} Corresponding author:

Email: mr.ngocminh2709@gmail.com

ABSTRACT

In the equipment used in the mining industry, electromagnet iron lifter are widely used on coal conveyor belts with the task of separating iron objects from the coal, before transferring the coal to the next technological steps. At the same time, it also prevents these objects from tearing the belt. The efficiency of electromagnet iron lifter depends largely on the quality of the electromagnet. The content of the article presents the results of the study of calculating and simulating the electromagnet iron lifter using the finite element method with the help of ANSYS Maxwell software. The research results can be applied in the design of electromagnet iron lifter for belt conveyors and other equipment.

Keywords: simulation, electromagnetic coil, magnetic iron lifter, finite element method

@ Vietnam Mining Science and Technology Association