

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN TRONG THIẾT KẾ CHẾ TẠO MÁY TUYẾN TỪ TẠI CÁC NHÀ MÁY TUYẾN THAN

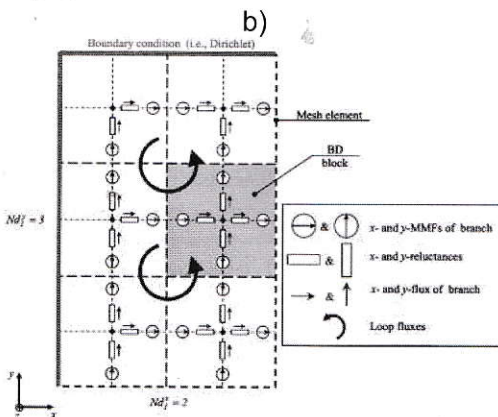
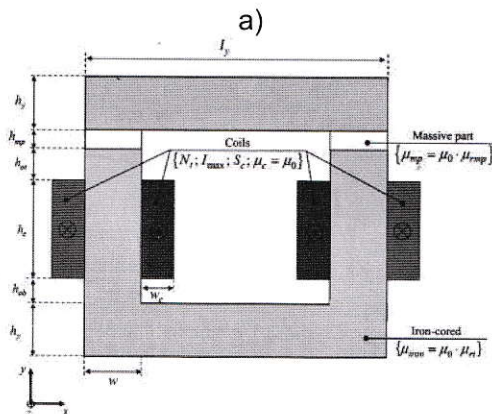
ĐỖ NHƯ Ý

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: donhuy.hung@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Nam châm điện (NCD) là bộ phận chính trong các máy tuyến từ trong các nhà máy sàng tuyển. Đây là bộ phận tạo ra từ trường để máy làm việc. Để máy tuyến từ làm việc hiệu quả, tin cậy thì việc tính toán từ trường và xác định phân bố từ trường trong không gian máy phải chính xác và hợp lý.



H.1. Mô hình và phương pháp giải tích:
a - Mạch từ hình học; b - Mạch từ thay thế

Hiện nay việc tính toán thiết kế cơ điện từ thường được tính theo phương pháp giải tích hay

còn gọi là phương pháp mạch từ tương đương, phương pháp này sử dụng rất nhiều hệ số kinh nghiệm và hệ số kết cấu của mạch từ như hình H.1 [1], [2], [6]. Tuy nhiên nhược điểm của phương pháp giải tích là khi kết cấu của nam châm điện phức tạp hoặc khi mạch từ bị bão hòa thì việc tính toán điện từ trường sẽ khó khăn, độ chính xác không cao, không xác định được phân bố của từ trường trong không gian,...

Để khắc phục những hạn chế của phương pháp giải tích, trong bài báo này tác giả trình bày một phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method-FEM) kết hợp với mô phỏng số trên phần mềm ANSYS Maxwell để tính toán phân tích điện từ trường trong máy tuyến từ, đây là một phương pháp mới, cho độ chính xác cao, giúp xác định được sự phân bố từ trường trong không gian và áp dụng được với mọi kết cấu của mạch từ kể cả trong chế độ mạch từ bị bão hòa [5].

2. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM)

Phân bố từ trường trong mạch từ và không gian xung quanh cơ cấu điện từ là nghiệm của phương trình Poisson viết cho trường điện từ của mô hình NCD. Mô hình này được xây dựng dựa trên định luật Maxwell-Ampere. Theo [3], [7] phương trình Maxwell-Faraday viết cho trường hợp của NCD ở trạng thái xác lập như sau:

$$\nabla \cdot \vec{H} = \vec{J} \quad (1)$$

Trong đó: $\vec{J}$ - Mật độ dòng điện một chiều trong dây cuộn dây nam châm điện, A/m²; $\vec{H}$ - Cường độ từ trường, A/m.

Cường độ từ trường $\vec{H}$ có liên hệ với mật độ từ thông $\vec{B}$ như biểu thức.

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \quad (2)$$

Trong đó: μ_0 - Độ từ thẩm của chân không; μ_r - Độ

từ thẩm tương đối của môi trường dẫn từ; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$.

Trong trường điện từ, $\vec{B}$ được tính toán qua đại lượng vector từ thế $\vec{A}$ như sau:

$$\vec{B} = \nabla \cdot \vec{A} \quad (3)$$

Thay (2) và (3) vào (1), ta thu được phương trình:

$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \nabla \cdot \vec{A} \right) = \vec{J} \quad (4)$$

Phương trình (4) có dạng tổng quát của phương trình Poisson, có thể được diễn giải trong mô hình phân tích ứng với hệ tọa độ Oxyz như sau:

$$\left(\frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \right) \left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \right) + J = 0 \quad (5)$$

Giải (5), tìm được $\vec{A}$ sau đó dựa vào (2) và (3) để tính được mật độ từ thông B và cường độ từ trường H như sau:

$$\begin{aligned} \vec{B} &= B_x \cdot \vec{i} + B_y \cdot \vec{j} + B_z \cdot \vec{k} \\ &= \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \cdot \vec{k} \quad (6) \end{aligned}$$

Điện áp đặt vào hai cực cuộn dây và điện trở một chiều của cuộn dây, có thể xác định được mật độ dòng điện từ các phương trình:

$$U = R_{dc} \cdot i + L \cdot (di/dt); I_{dc} = (U/R_{dc}) \quad (7)$$

Trong đó: U - Điện áp đặt vào 2 cực cuộn dây; R_{dc} - Điện trở của cuộn dây; L - Điện cảm của cuộn dây; I_{dc} - Dòng điện trong cuộn dây; S_{dq} - Tiết diện cuộn dây.

Phương pháp FEM dùng để giải phương trình (5) xác định vector từ thế $\vec{A}$, từ đó tính toán được từ cảm $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$ theo các công thức (3) và (2), qua đó xác định phân bố từ trường trong không gian với độ chính xác cao. Từ đó sẽ giúp cho người thiết kế và chế tạo trong việc hiệu chỉnh thông số của cơ cấu điện từ của máy tuyến từ, tối ưu hóa phân bố từ trường trong không gian nhằm nâng hiệu quả hoạt động của máy. Phương pháp FEM gồm 4 bước cơ bản sau đây:

➢ Rời rạc hóa miền phân tích thành các miền con (element). Các phần tử liên kết với nhau tạo thành lưới (mesh);

➢ Chọn hàm liên thuộc và xấp xỉ lời giải trên mỗi phần tử;

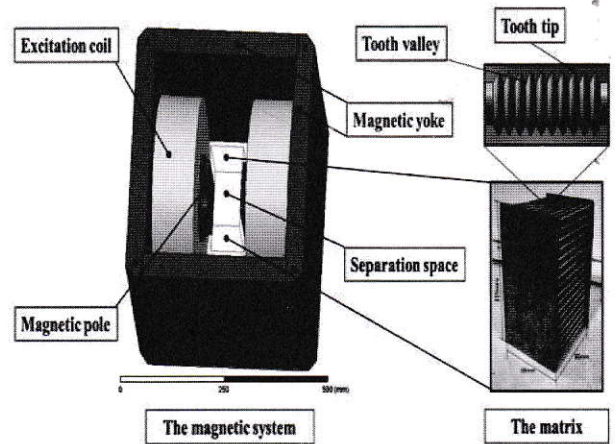
➢ Ghép tất cả các phần tử trong miền phân tích để thu được ma trận hệ thống;

➢ Giải ma trận hệ thống bằng phương pháp lặp.

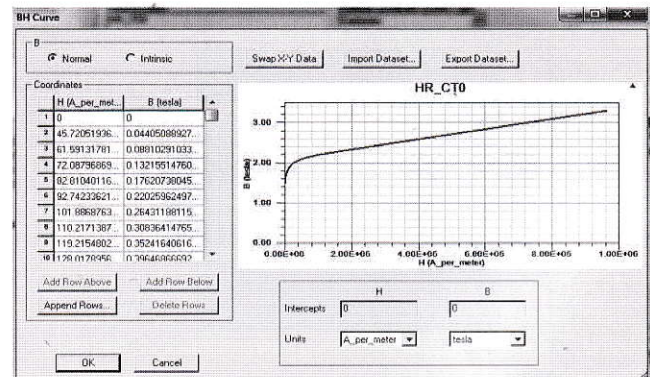
Để tính toán theo phương pháp FEM cần phải có sự hỗ trợ của các máy tính số và các chương trình phần mềm được viết dựa trên nền tảng toán học của FEM. Ở đây, tác giả sử dụng phần mềm ANSYS Maxwell để phân tích từ trường cho cơ cấu điện từ của máy tuyến từ [5].

3. Mô hình phân tích và mô phỏng

Sử dụng phương pháp FEM để phân tích phân bố từ trường trong không gian của máy tuyến từ loại biến thiên từ trường lớn (HGMS) (xem hình H.2) có các thông số kỹ thuật cơ bản sau đây: số vòng dây $W=4000$ vòng; dòng điện danh định $I=20$ A; từ cảm danh định thiết kế là $B_{dm}=70$ mT [4].



H.2. Mô hình cấu tạo nam châm điện của máy tuyến từ HGMS



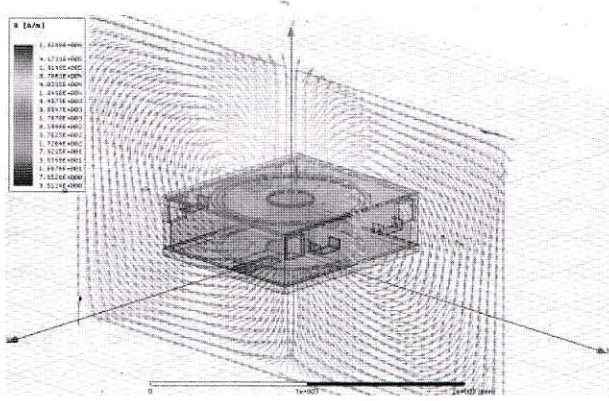
H.3. Đặc tính từ hóa của vật liệu từ CT0

Thông số, nguồn kích từ cho NCD của máy tuyến từ HGMS sử dụng nguồn điện một chiều (nguồn DC) với những thông số cơ bản của nguồn kích từ được thể hiện trong Bảng 1.

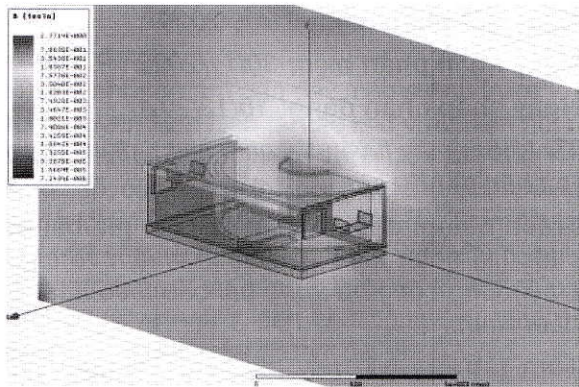
Bảng 1. Thông số nguồn kích từ của NCD

Nº	Thông số	Giá trị
1	Điện áp cấp; V	220
2	Dòng điện làm việc; A	20
3	Điện trở một chiều ở 20°C; Ω	11,6
4	Số vòng dây; Vòng	4000

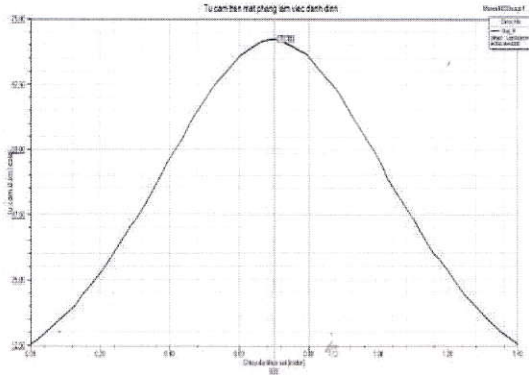
Vật liệu từ sử dụng trong máy tuyến từ HGMS là thép CT0, đặc tính dẫn từ (theo catalog) của thép CT0 được khai báo trong hình H.3. Từ đặc tính đó thấy rằng từ trường bão hòa của thép CT0 $B_{bh}=2,5$ T.



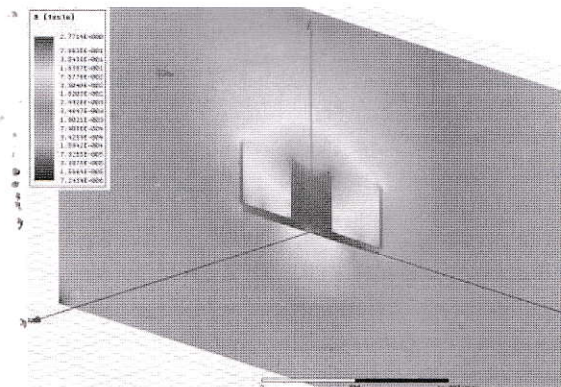
H.4. Phân bố từ trường xung quanh máy tuyến từ



H.5. Phân bố từ trường trên bề mặt máy tuyến từ



H.6. Phân bố từ cảm B trên bề mặt cắt ngang

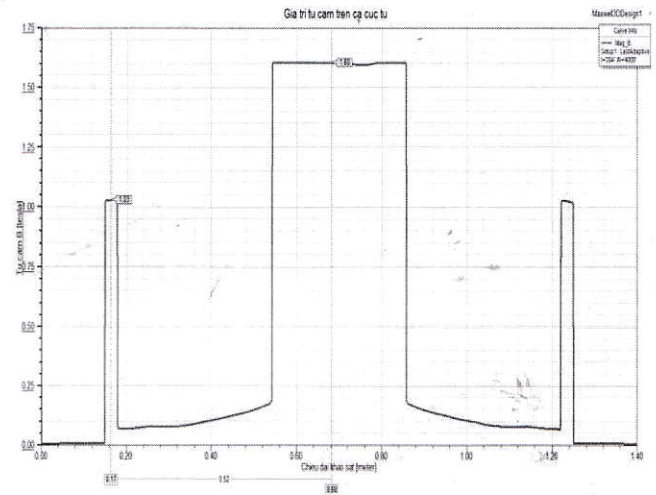


H.7. Phân bố đường sức từ trường xung quanh cực từ

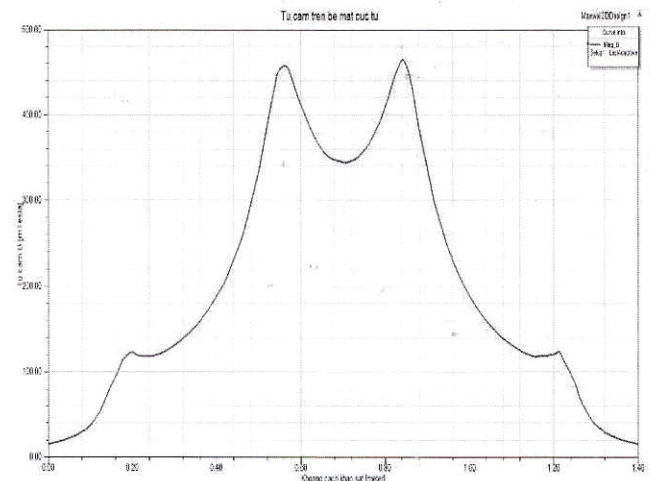
Kết quả mô phỏng với mô hình thiết kế của nam châm điện hoạt động với sức từ động bằng giá trị $IW=4.000 \times 20=80.000$ (A.vòng) như sau.

a. Giá trị và phân bố từ trường trên bề mặt và trong không gian của máy tuyến từ

Giá trị và phân bố của đường sức từ trường trong không gian xung quanh bề mặt của máy tuyến từ thể hiện như trên hình H.4. Giá trị và phân bố của cường độ từ trường H trên không gian bề mặt máy tuyến từ thể hiện như trên hình H.5. Giá trị và phân bố của từ cảm B trên bề mặt cắt ngang mặt phẳng làm việc của máy tuyến từ được thể hiện trên hình H.6. Kết quả khảo sát trên chỉ ra giá trị từ cảm B lớn nhất trên mặt phẳng làm việc xuất hiện ở tâm cực từ chính, đạt giá trị $B=71,18$ mT, giá trị này gần tương ứng với giá trị danh định thiết kế $B_{dm}=70$ mT. Tuy nhiên, để mở rộng vùng làm việc với giá trị từ cảm lớn hơn 70 mT thì cần tăng thêm giá trị dòng điện cấp cho cuộn dây.



H.8. Phân bố của từ cảm B trong cực từ chính và hai cực từ bên



H.9. Phân bố của từ cảm B trên bề mặt cực từ

b. Giá trị và phân bố từ trường trên bề mặt cực từ của cơ cấu điện từ

Giá trị và phân bố của đường sức từ trường trong không gian xung quanh cực từ của cơ cấu điện từ có thể thể hiện như trên hình H.7. Giá trị và phân bố của từ cảm B trong cực từ chính và hai cực từ bên của cơ cấu điện từ thể hiện như trên hình H.8. Giá trị và phân bố của từ cảm B trên bề mặt cực từ của cơ cấu điện từ thể hiện như trên hình H.9.

Nhận xét: Từ kết quả phân bố màu và phân bố giá trị ở các hình trên cho thấy từ cảm B trong cực từ chính là lớn nhất, có giá trị $B_{\max 1}=1,6$ T, hai cực từ bên có từ cảm là $B_{\max 2}=1,03$ T, so với giá trị bão hòa của mạch từ $B_{bh}=2,5$ T. Điều này cho thấy, khi máy tuyển từ làm việc với dòng điện 20 A thì mạch từ của nó chưa bị bão hòa. Như vậy thấy rằng, thiết bị đang sử dụng vật liệu từ quá mức, chưa tận dụng hết khả năng dẫn từ của vật liệu CT0. Vì vậy, máy tuyển từ sẽ làm việc trong điều kiện thuận lợi, tổn hao sắt nhỏ, phát nóng nhẹ hơn. Hơn nữa, có thể cho phép tăng dòng điện để tăng cường thêm độ mạnh của từ trường theo yêu cầu vận hành cụ thể.

4. Kết luận

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích từ trường của nam châm điện trong máy tuyển từ đã đưa ra được những kết quả về sự phân bố từ trường xung quanh máy tuyển từ. Kết quả phân tích này giúp cho người thiết kế chế tạo và vận hành trong việc hiệu chỉnh thông số của cơ cấu điện từ của máy tuyển từ để tối ưu hóa phân bố từ trường, từ đó nâng hiệu quả hoạt động của máy.

Phương pháp nghiên cứu đưa ra trong bài báo khi áp dụng vào việc tính toán thiết kế cơ cấu điện từ trong các máy tuyển từ nói chung và thiết bị cơ điện nói riêng sẽ mang lại hiệu quả cao, nâng cao độ tin cậy và tối ưu hóa vật liệu được sử dụng. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn Chới, Bùi Tiến Hữu, Nguyễn Tiến Tôn. Khí cụ điện. NXB Khoa học kỹ thuật, 2006.
2. Trần Bá Đề, Đỗ Như Ý. Khí cụ điện. Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 2006.
3. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh. Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu tính toán thiết kế kỹ thuật điện, NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội, 2001.
4. Wenbo Li ID, Yuexin Han, Ruiqing Xu and Enpu Gong. A Preliminary Investigation into Separating Performance and Magnetic Field Characteristic Analysis Based on a Novel Matrix, Minerals 2018.

5. Yelena G. Andreeva, Irina A. Semina, Andrey S. Orlov. The research of threedimensional magnetic field of the hybrid magnetic system in the ANSYS Maxwellprogram.

6. Youcef Benmessaoud, Frédéric Dubas and Mickael Hilaret, Combining the Magnetic Equivalent Circuit and Maxwell-Fourier Method for Eddy-Current Loss Calculation, Math. Comput. Appl. 2019.

7. Nicola Bianchi, Electrical Machine Analysis using Finite Elements, CRC Press, 2005.

Ngày nhận bài: 01/08/2020

Ngày gửi phản biện: 21/09/2020

Ngày nhận phản biện: 30/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2020

Từ khóa: máy tuyển từ, nam châm điện; phương pháp phần tử hữu hạn,

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo:
Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích từ trường cho cơ cấu điện từ trong máy tuyển từ để khắc phục những hạn chế của phương pháp giải tích. Kết quả phân tích và mô phỏng giúp cho người thiết kế, chế tạo và vận hành trong việc hiệu chỉnh thông số của cơ cấu điện từ để tối ưu hóa sự phân bố từ trường, từ đó nâng hiệu quả hoạt động của máy tuyển từ sử dụng trong các nhà máy tuyển than.

Application finite element method in designing of the magnetic separator in coal preparation plants

SUMMARY

The paper presents some research results using finite element method to analyze the magnetic field for the electromagnetic structure in the magnetic separator to overcome the limitations of the analytical method. The results of analysis and simulation help the designer, manufacturer and operator in adjusting parameters of the electromagnetic device to optimize the distribution of the magnetic field, thereby improving the efficiency of the separator used in coal preparation plants.