NGHIÊN CỨU HIỆU ỨNG TỪ GIẢO NGHỊCH TRONG LÕI THÉP MÁY BIẾN ÁP VÔ ĐỊNH HÌNH

STUDY REVERSE MAGNETOSTRICTIVE EFFECTS IN AMORPHOUS STEEL CORE TRANSFORMER

Đỗ Chí Phi1, Nguyễn Công Thành1, Đoàn Thanh Bảo2, Châu Quang Ngọc3

1Trường CĐ Kỹ thuật Cao Thắng; dochiphi@gmail.com

2Trường Đại học Quy Nhơn; dtbao@ftt.edu.vn

*3Công ty giải pháp kỹ thuật TDK;chauquangngoc@gmail.com*

**Tóm tắt –** *Khi sử dụng vật liệu vô định hình (VĐH) để chế tạo lõi máy biến áp (MBA) phân phối cần quan tâm đến các biến dạng của lá thép khi gia công cơ khí, đặc biệt là sự tác động của ứng suất nén do các thanh kẹp cố định gông và trụ từ MBA. Bài báo đã xây dựng mô hình toán khảo sát mối liên hệ cơ - từ do hiệu ứng từ giảo nghịch dưới tác dụng của ứng suất nén của cơ cấu sắt kẹp ảnh hưởng đến độ biến dạng và rung động của lõi thép MBA VĐH và xác định được ứng suất nén tối ưu là 1,23MPa. Kết quả phân tích trên mô hình toán cho thấy biến dạng do hiệu ứng từ giảo nghịch giảm 11,4μm/m, chuyển vị giảm 4,482* *μm so với trường hợp không có tác động của ứng suất nén.* *Qua đó, khuyến cáo các nhà sản xuất MBA VĐH quan tâm thiết kế cơ cấu sắt kẹp, thực hiện cố định gông và trụ từ của lõi thép với ứng suất nén thích hợp để góp phần hoàn thiện quy trình sản xuất MBA lõi thép VĐH.*

**Từ khóa:** Máy biến áp, lõi thép vô định hình, từ giảo nghịch, biến dạng, sự rung động.

**Abstract –** *When using amorphous materials for manufac-turing distribute transformer steel core need to care about deformation of steel sheets when mechanical processing, special is the impact of the compressive stress due to clamping bars fixed magnetic legs and yokes of amorphous steel core transformer. Articles have built mathematical model investigate to Influence of compressive stress to strain and vibration of the amorphous steel core trans-former, and have defined optimal compressive stress is 1,23MPa. Results of the analysis on the mathematical model of the amorphous steel core transformer due to reverse magneto-strictive are compared with the case without compressive stress and showed strain decrease 11,4μm/m and displacement dec-rease 4,4824μm/m. Thereby, authors recommend the manu-facturers interested to design iron clamp structure, implements fixed legs anh yokes magnetic of the steel core with the appropriate compressive stress to minimize the vibration of the steel core to perfect the production processes amorphous steel core transformer.*

**Key words:** Transformer, amorphous steel core, reverse magnetostrictive, strain, vibration.

# 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, MBA phân phối sử dụng vật liệu từ VĐH được sử dụng ngày càng rộng rãi. Bên cạnh ưu điểm về giảm tổn hao không tải khoảng 70% đến 80% so với lõi thép bằng silic, những lá thép của vật liệu từ VĐH có độ dày từ 0,02mm đến 0,03mm nên cấu trúc của lõi thép MBA dạng hình chữ nhật, khả năng chịu lực kém, hệ số từ giảo bão hòa của thép VĐH cao (27μm/m) gấp khoảng 3 lần so với thép silic (8μm/m đền 10μm/m) nên sự biến dạng bởi từ trường ngoài gây ra lớn hơn nhiều so với thép silic, các rung động của lõi thép do lực từ và lực từ giảo gây ra tiếng ồn trong MBA VĐH rất lớn. Để giảm thiểu sự rung động của lõi cần khảo sát mối liên hệ giữa cơ và từ dưới tác động của ứng suất ngoài đồng thời xác định ứng suất nén của cơ cấu kẹp trên gông và trụ từ MBA sao cho các biến dạng và chuyển vị trong lõi thép nhỏ nhất.

Những năm gần đây, hiệu ứng từ giảo được quan tâm nghiên cứu rất nhiều, Các công trình nghiên cứu [1] [2] [3] [4] cho thấy thép VĐH rất nhạy cảm với sự tác động của ứng suất ngoài, mô hình toán tính lực cơ từ bằng hàm mật độ năng lượng của các tác giả [5] [6] [7] [8] đã được xây dựng để khảo sát lực cơ từ cũng như biến dạng của lõi thép bằng phương pháp PTHH nhưng chưa khảo sát đến sự ảnh hưởng của ứng suất ngoài, và cho thấy lực từ phân bố trong lõi thép với mật độ thưa và nhỏ trong khi lực từ giảo tập trung với mật độ dày và lớn hơn so với lực từ. Bên cạnh đó, các tác giả [9] [10] [11] đã dựng mô hình tính lực từ, lực từ giảo và biến dạng trên lõi thép của cuộn kháng khi có sự tác động của ứng suất ngoài và tiến hành

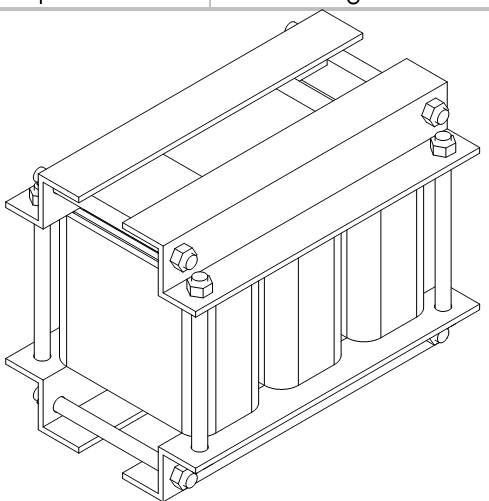
đo thực nghiệm biến dạng của thép kỹ thuật điện do hiệu

ứng từ giảo theo hướng song song và hướng vuông góc với hướng từ hóa cho thấy biến dạng theo hướng song song ( lớn gấp 2,5 lần so với hướng vuông góc , chưa nghiên cứu trên lõi thép MBA VĐH. Do đó, cần xây dựng mô hình toán khảo sát lực cơ từ và biến dạng trên lõi thép MBA VĐH do hiệu ứng từ giảo dưới tác động của ứng suất ngoài (Các thanh kẹp cố định gông và trụ từ) và được quan tâm nghiên cứu chuyên sâu để góp phần hoàn thiện quy trình sản xuất MBA lõi thép VĐH. Trong khuôn khổ của bài báo, nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình toán khảo sát đầy đủ biến dạng và chuyển vị trên gông từ, trụ từ cũng như tại các góc của lõi thép và xác định được ứng suất kẹp tối ưu để độ rung ồn trong lõi thép MBA nhỏ nhất.

**2. NỘI DUNG**

**2.1. Mô hình toán khảo sát hiệu ứng từ giảo nghịch**

Mô hình lõi thép của MBA VĐH dùng để khảo sát mối liên hệ giữa cơ và từ do hiệu ứng từ giảo thuận được cho như hình 1.



***Hình 1.*** *Mô hình MBA khảo sát*

Biến dạng từ giảo dưới tác dụng của từ trường và ứng suất ngoài là một hệ cơ và từ liên hệ mật thiết với nhau. Hàm năng lượng tổng như phương trình (1) [12]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

fms: Mật độ lực khối từ giảo (N), phương trình (1) gồm có thành phần năng lượng từ và thành phần năng lượng cơ như hệ phương trình (2):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Cực tiểu hóa hàm năng lượng từ theo từ thế vectơ A và năng lượng cơ theo chuyển vị u ta có:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Theo [13] mật độ lực khối và lực mặt được tính như sau:

Bên trong Ω

Ngược lại

Trên miền г

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Trong đó:

σma: Ten xơ ứng suất từ.

n: Vectơ đơn vị.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Tính toán trên miền Ω nếu ta xem lực khối:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Khi đó lực mặt có thể bỏ qua và phương trình (3) được viết lại trong hệ tọa độ (x,y) như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

*dR=dxdy*

S: Diện tích bề mặt chịu ứng lực (m2)

hd: Chiều dày của lõi thép (m)

Trong đó ứng suất từ giảo σms = σms// được tính từ công thức (8).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Trong đó:

υ: Tỷ số Poisson

E: Mô đun đàn hồi Young (N/mm2)

Khai triển phương trình thứ nhất trong hệ phương trình (7):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

Mặt khác:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Phương trình (9) được viết lại như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

Gọi Ni là hàm dạng tam giác trong hệ tọa độ (x,y) như hình 2

  
***Hình 2.*** *Phần tử tam giác trong hệ tọa độ (x,y)*

Với Δe diện tích của phần tử tam giác:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

Hàm dạng có công thức như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Rời rạc hóa từ thế vectơ **A**:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

Trong đó Ai là từ thế vectơ tại nút i của phần tử (phần tử tam giác có 3 nút), các thành phần đạo hàm riêng của từ thế vectơ **A** như sau [14]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

Khi đó phương trình (15) được viết lại cho nút i của phần tử e như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |
|  | (17) |

Phương trình (16) được viết lại dưới dạng ma trận như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

: Ma trận độ cứng từ của phần tử.

:Từ thế vectơ của phần tử.

: Mật độ dòng điện của phần tử.

Suất từ trở trong trường hợp này được tính theo công thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (19) |

Trong đó σ//(N/m2) là ứng suất dọc, thành phần theo phương y trong tọa độ (x,y) và được tính theo công thức:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (20) |

 Là thành phần ứng suất nén của sắt kẹp cố định gông và trụ từ theo phương y.

Do ứng suất từ giảo thay đổi theo cảm ứng từ B(T), khi B(T) = Bm(T) thì σms// = σms//-max và khi B(T) = 0 thì σms// = 0. Để biến dạng trên lõi thép nhỏ, cần xác định ứng suất đàn hồi (ứng xuất nén theo phương y) sao cho ứng suất tổng luôn ở mức cân bằng khi cảm ứng từ B(T) thay đổi từ 0 đến Bm(T).

Biến dạng theo phương song song với hướng dễ từ hóa được cho bỡi công thức [15]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (21) |

Từ phương trình (8) và (21) ứng suất từ giảo được xác định như sau:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (22) |

Khi đó, ứng suất đàn hồi σelast bằng giá trị trung bình của ứng suất từ giảo:



***Đây chính là ứng suất kẹp cố định gông và trụ của lõi thép MBA, được biễu diễn trên hình 3.***



**Hình 3.** Đồ thị ứng suất tổng theo ứng suất từ giảo và ứng suất đàn hồi

Ứng suất tổng sau khi có ứng suất ngoài (hình 3), σ// =[ σelast// 0] khi B(T)  0,8T, khi B(T)  0,8T thì ứng suất tổng sẽ là ứng suất nén, do biến dạng tỷ lệ với B(T) bình phương nên ta chỉ xét đối với σ// =[ 0 σms-max//] ứng với B(T) > 0,8T (vùng gạch ngang).

Để tính chuyển vị, xét phương trình thứ hai trong hệ (3), thành phần chuyển vị được tính theo lực và ma trận độ cứng như công thức (23):

 (23)

Trong đó:

: Ma trận độ cứng cơ của phần tử

: Chuyển vị nút của phần tử (μm)

 : Lực từ (N)

 : Lực từ giảo (N)

Khi xét trên mỗi phần tử nút thì ma trận độ cứng được xác định như sau [12]:

 (24)

Trong đó:

 : Diện tích của phần tử (m2).

N: Hàm dạng tuyến tính của phần tử tam giác.

hd: Chiều dày của lỏi thép (m)

: Tỷ số Poisson.

Lực từ và lực từ giảo được tính theo công thức [13]:

 (25)

 (26)

Với ứng suất từ giảo được tính theo công thức (22)

Hệ phương trình được thiết lập từ công thức (18) và (23) như sau:

 (27)

**2.2. Lưu đồ giải thuật**

Hệ phương trình (27) để giải bài toán cơ và từ có xét đến hiệu ứng từ giảo nghịch, được giải bằng phương pháp lặp Newton-Raphson [16] (lưu đồ giải thuật như hình 4), chương tình tính toán từ thế véc tơ **A** và chuyển vị **u** được kết hợp giữa hai phần mềm matlab và excel.

Tính toán mối liên hệ giữa cơ và từ khi xét đến hiệu ứng từ giảo nghịch được thể hiện bằng lưu đồ giải thuật như sau:



**Hình 4.** Lưu đồ giải thuật tính toán khi xét đến hiệu ứng từ giảo nghịch

**3.KẾT QUẢ KHẢO SÁT TRÊN MÔ HÌNH TOÁN**

**3.1. Biến dạng và chuyển vị do lực từ và lực từ giảo**

Ứng suất ngoài σelast// =  1,23 MPa được lấy từ kết quả tính toán, mô hình toán được khảo sát trên MBA lõi thép VĐH ba pha có công suất thiết kế 10kVA, điện áp 380V/200V, đấu Y/Y, Vật liệu từ VĐH dùng chế tạo lõi thép MBA loại mã hiệu 2605SA150Hz của Hitachi Metals.

Biến dạng và chuyển vị của lõi thép theo cảm ứng từ B(T) do lực từ tạo ra nhỏ hơn rất nhiều so với lực từ giảo (hình 5 a&b), qua đó cho thấy lực từ giảo ảnh hưởng rất lớn đến độ biến dạng và chuyển vị của lõi thép, kết quả cụ thể được trình bày trong bảng 1.



1. Biến dạng b) Chuyển vị

**Hình 5.** Biến dạng do lực cơ từ (a) và chuyển vị theo thời gian (b)

**Bảng 1.** Chuyển vị và biến dạng do lực từ và lực từ giảo gây ra trên lõi thép MBA VĐH

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Mô tả | Ảnh hưởng bởi lực từ | Ảnh hưởng bởi lực từ giảo |
| Chuyển vị (μm) | 0,51 | 6,05 |
| Biến dạng (μm/m) | 0,46 | 14,7 |

Qua phân tích cho thấy, biến dạng và chuyển vị trong lõi thép của MBA VĐH chủ yếu do lực từ giảo gây ra nên khi khảo sát biến dạng và chuyển vị tập trung phân tích hiệu ứng từ giảo trên trụ từ (điểm A), gông từ (điểm C) và tại các góc của lõi thép (điểm B) như hình 6.



***Hình 6.*** *Vị trí khảo sát trên lõi thép MBA*

**3.2. Biến dạng và chuyển vị trên trụ từ**

Chuyển vị và biến dạng khảo sát trên trụ từ (tại điểm A), khi đó hướng dễ từ hóa theo phương y (phương của trụ từ) và hướng khó từ hóa theo phương x (phương của gông từ) và khảo sát cho trường hợp không có sự tác động của ứng suất ngoài (σelast// = 0MPa) như hình 7 a&b làm cơ sở để so sánh với kết quả khảo sát hiệu ứng từ giảo nghịch (σelast// = -1,23 MPa) như hình 8 a&b, kết quả so sánh được trình bày trong bảng 2.



1. Biến dạng b) Chuyển vị

**Hình 7.** Đồ thị biến dạng và chuyển vị do hiệu ứng từ giảo nghịch khảo sát tại điểm A khi σelast// = 0MPa.



1. Biến dạng b) Chuyển vị

**Hình 8.** Đồ thị biến dạng và chuyển vị do hiệu ứng từ giảo nghịch khảo sát tại điểm A khi σelast// = -1,23MPa

**Bảng 2.** So sánh biến dạng và chuyển vị do hiệu ứng từ giảo nghịch trên trụ từ khi có và không có sự tác động của ứng suất ngoài.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mô tả | Ứng suất σelast// = 0 MPa | Ứng suất  σelast// =1,23 MPa | Độ giảm chuyển vị và biến dạng |
| Chuyển vị (μm) | 9,522 | 5,04 | 4,482 |
| Biến dạng (μm/m) | 27 | 15,6 | 11,4 |

Từ bảng 2 cho thấy, khi đưa ứng suất nén σelast// = ̶ 1,23 MPa theo hướng song song với trụ từ thì biến dạng và chuyển vị do hiệu ứng từ giảo giảm đáng kể, chuyển vị giảm 4,482 μm, biến dạng giảm 11,4 μm/m.

**3.3. Biến dạng và chuyển vị tại góc của lõi thép**

Khi khảo sát tại góc của lõi thép thì biến dạng theo phương x (phương của gông từ) εms-x = 12,3μm/m tại B(T) = 1,4T, chuyển vị umax-x = 2,5μm lớn hơn phương y (phương của trụ từ) εms-y = 4,8μm/m tại B(T) = 1,4T, chuyển vị umax-y = 1,04μm và nhỏ hơn nhiều so với trường hợp khảo sát trên trụ từ (hình 9 a&b).



1. Biến dạng b) Chuyển vị

**Hình 9.** Đồ thị biến dạng và chuyển vị do hiệu ứng từ giảo nghịch khảo sát tại điểm B

**3.4. Biến dạng và chuyển vị trên gông từ.**

Chuyển vị và biến dạng trên gông từ tại điểm C tương tự như đã khảo sát tại điểm A trên trụ từ, khi đó hướng dễ từ hóa theo phương x (phương của gông từ), và hướng khó từ hóa theo phương y (phương của trụ từ) như hình 10 a&b.



1. Biến dạng b) Chuyển vị

**Hình 10.** Đồ thị biến dạng và chuyển vị khảo sát tại điểm C

Hình 10 a&b cho thấy, biến dạng và chuyển vị trên gông từ của MBA lõi thép VĐH cao hơn trên trụ từ cụ thể được trình bày trong bảng 3.

**Bảng 3.** So sánh chuyển vị và biến dạng do hiệu ứng từ giảo tại gông và trụ từ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mô tả | Gông từ | Trụ từ | Độ chênh lệch chuyển vị giữa gông và trụ từ |
| Chuyển vị (μm) | 6,56 | 5,04 | 1,52 |
| Biến dạng (μm/m) | 16,9 | 15,6 | 1,3 |

Bảng 3 cho thấy, tại B(T) = 1,4T biến dạng εms-gông từ ̶ εms-trụ từ =1,3μm/m chuyển vị umax-gông từ ̶ umax-trụ từ = 1,52μm, Tuy vậy, chuyển vị và biến dạng vẫn cao hơn so với lõi thép silic. Công trình [12] đã công bố chuyển vị trên trụ từ của thép silic là 5μm và biến dạng là 6 μm/m. Trong khi đó, chuyển vị trên gông từ là 2,25 μm và biến dạng là 2,0μm/m tại B = 1,1T. Như vậy, biến dạng và chuyển vị trên trụ từ của thép silic lớn hơn trên gông từ. Đây cũng là điểm khác biệt so với MBA lõi thép VĐH. Do đó, khi tính toán cơ cấu sắt kẹp đối với MBA lõi thép VĐH cần quan tâm đến vị trí tiếp xúc cũng như lực kẹp trên gông từ sao cho biến dạng và chuyển vị nhỏ nhất.

**Bảng 4.** So sánh chuyển vị và biến dạng do hiệu ứng từ giảo tại gông và trụ từ của MBA VĐH với MBA lõi thép silic[12]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Mô tả | MBA lõi silic | | MBA lõi VĐH | |
| Trụ từ | Gông từ | Trụ từ | Gông từ |
| Chuyển vị (μm) | 5,0 | 2,25 | 5,04 | 6,56 |
| Biến dạng (μm/m) | 6,0 | 2,0 | 15,6 | 16,9 |

Từ kết quả phân tích trên bảng 4 cho thấy biến dạng và chuyển vị ở trụ từ và gông từ của lõi thép MBA VĐH lớn hơn nhiều so với MBA lõi thép silic. Điều này đồng nghĩa với MBA VĐH có độ rung và tiếng ồn cao hơn so với thép silic. Đây chính là vấn đề các nhà sản xuất MBA phân phối lõi thép VĐH rất quan tâm và nghiên cứu chuyên sâu nhằm giảm thiểu tiếng ồn cũng như sự rung động của lõi thép, cải thiện môi trường sống.

**4. KẾT LUẬN**

Trong bài báo nhóm tác giả đã xây dựng được mô hình toán tính lực từ, lực từ giảo, biến dạng và chuyển vị trên lõi thép vô định hình theo hiệu ứng từ giảo nghịch.

Qua kết quả phân tích trên mô hình toán nhóm nghiên cứu có những kết luận như sau:

Mô hình toán đã khảo sát đầy đủ về biến dạng, chuyển vị trên lõi thép đối với hiệu ứng từ giảo nghịch.

Xác định được ứng suất kẹp gông và trụ từ là 1,23MPa để làm cơ sở khảo sát sự rung ồn trong lõi thép MBA bằng đo đạt thực nghiệm.

Với kết quả tính trên mô hình toán khi xét đến ứng suất ngoài cho thấy biến dạng giảm 11,4 (μm/m) và chuyển vị giảm 4,482 μm so với trường hợp không có ứng suất kẹp.

Kết quả trên có ý nghĩa hết sức quan trọng khi khảo sát độ rung ồn trong lõi thép MBA.

Để có cách nhìn toàn diện hơn cần áp dụng phương pháp PTHH với mô hình 2D và 3D để thực hiện mô phỏng, xác định sự phân bố của lực từ, lực từ giảo và vị trí chịu biến dạng cũng như chuyển vị lớn nhất trên lõi thép nhằm phục vụ cho đo đạc thực nghiệm được chính xác và sẽ được công bố trong khuôn khổ của một công trình nghiên cứu khác.

Tài liệu tham khảo

[1] J. M. Barandiarán, J. Gutiérrez, and a. García-Arribas,“Magneto-elasticity in amorphous ferromagnets: Basic principles and applications,” Physica Status Solidi (a), vol. 208, no. 10, pp. 2258–2264, Oct. 2011.

[2] L. Kraus, J. Bydžovský, and P. Švec, “Continuous stress annealing of amorphous ribbons for strain sensing applications,” Sensors and Actuators A: Physical, vol. 106, no. 1–3, pp. 117–120, Sep. 2003.

[3] J. D. Livingston, “Magnetomechanical Properties of Amorphous Metals,” Phys. Status Solidi, vol. 70, pp. 591–596, 1982.

[4] V. E. Taranichev, M. N. Alenov, and O. Y. Nemova, “magnetism materials Magnetization of amorphous alloys by elastic strain,” Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 131, pp. 229–234, 1994.

[5] M. Besbes, Z. Ren, S. Member, and A. Razek, “A Generalized Finite Element Model of Magnetostriction Phenomena,” IEEE Transactions On Magnetics, vol. 37, no. 5, pp. 3324–3328, 2001.

[6] Z. R. and A. R. M. Besbes, “Finite Element Analysis of Magneto-Mechanical Coupled Phenomena in Magnetostrictive Materials,” IEEE Transactions On Magnetics, vol. 32, no. 3, pp. 2–5, 1996.

[7] H. Li and G. Chen, “Analysis of Magnetic Forces and Magnetostriction in Three-Phase Power Transformer Irons,” Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, pp. 237–240, 2009.

[8] L. Zhu, Q. Yang, and R. Yan, “Numerical Analysis of Vibration due to Magnetostriction of Three Phase Transformer Core,” pp. 3–6, 2012.

[9] S. G. Ghalamestani, T. G. D. Hilgert, L. Vandevelde, J. J. J. Dirckx, and J. A. A. Melkebeek, “Magnetostriction Measurement by Using Dual Heterodyne Laser,” IEEE Transactions On Magnetics, vol. 46, no. 2, pp. 505–508, 2010.

[10] H. Ebrahimi, Y. Gao, H. Dozono, and K. Muramatsu, “Coupled Magneto-Mechanical Analysis in Isotropic Materials Under Multiaxial Stress,” IEEE Transactions On Magnetics, vol. 50, no. 2, 2014.

[11] H. Ebrahimi, Y. Gao, A. Kameari, H. Dozono, and K. Muramatsu, “Coupled Magneto-Mechanical Analysis Considering Permeability Variation by Stress Due to Both Magnetostriction and Electromagnetism,” vol. 49, no. 5, pp. 1621–1624, 2013.

[12] L. Zhu, Q. Yang, and R. Yan, “Numerical Analysis of Vibration due to Magnetostriction of Three Phase Transformer Core,” IEEE 2012 Sixth International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications (ICEF), pp. 3–6, 2012.

[13] H. Ebrahimi, Y. Gao, A. Kameari, H. Dozono, and K. Muramatsu, “Coupled Magneto-Mechanical Analysis Considering Permeability Variation by Stress Due to Both Magnetostriction and Electromagnetism,” IEEE Transactions On Magnetics, vol. 49, no. 5, pp. 1621–1624, 2013.

[14] E. O. Virjoghe, D. Enescu, M. Stan, and M. Ionel, Finite Element Analysis of Stationary Magnetic Field. Valahia University of Targoviste, Romania, 2012, pp. 103–129.

[15] B. Zadov, a. Elmalem, E. Paperno, I. Gluzman, a. Nudelman, D. Levron, a. Grosz, S. Lineykin, and E. Liverts, “Modeling of Small DC Magnetic Field Response in Trilayer Magnetoelectric Laminate Composites,” Advances in Condensed Matter Physics, vol. 2012, no. December 2011, pp. 1–18, 2012.

[16] Đặng Văn Đào - Lê Văn Doanh, “Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu tính toán thiết kế k ỹ thuật điện, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.,” KHKT, 2001.

(BBT nhận bài: …/…/2016, phản biện xong: …/…/2016)

**Thông tin về tác giả**

|  |  |
| --- | --- |
| Description: D:\HINH THE\Hinh 5x5cm.gif | Đỗ Chí Phi:  - Năm 1998: Tốt nghiệp đại học chính quy, ngành Kỹ thuật Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;  - Năm 2004:Tốt nghiệp Thạc Sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;  - Năm tháng 9/2016: Tốt nghiệp Tiến Sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;  - Công việc hiện tại: Giảng viên, Khoa Điện – Điện Lạnh, Trường CĐKT Cao Thắng, Tp.HCM;  - Lĩnh vực quan tâm: Máy điện, Máy biến áp vô định hình tiết kiệm điện năng;  - Điện thoại: 090.6767308 |
| **C:\Users\o0o\Downloads\10x15.jpg** | Nguyễn Công Thành:  - Năm 1980: Tốt nghiệp đại học chính quy, ngành Thiết bị điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;  - Năm 2011: Tốt nghiệp Thạc Sĩ, chuyên ngành QLGD;  - Công việc hiện tại: Trưởng Khoa Điện – Điện Lạnh, Trường CĐKT Cao Thắng;  - Lĩnh vực quan tâm: Máy điện, Máy biến áp vô định hình, tiết kiệm điện năng;  - Điện thoại: 0903610888 |
| Description: D:\RELAX\Pictures\anh ca nhan\HINHTHE\Untitled.jpg | Đoàn Thanh Bảo:  - Năm 2006: Tốt nghiệp đại học chính quy, ngành Điện kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;  - Năm 2010: Tốt nghiệp Thạc Sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;  - Năm 2011-2015: Hiện đang nghiên cứu sinh chuyên ngành Thiết bị điện – điện tử, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội;  - Công việc hiện tại: Giảng viên, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn;  - Lĩnh vực quan tâm: Máy điện, Máy biến áp vô định hình tiết kiệm điện năng;  - Điện thoại: 0982379279 |
|  | Châu Quan Ngọc:  - Năm 1998: Tốt nghiệp đại học chính quy, ngành Kỹ thuật Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;  - Công việc hiện tại: Giám đốc công ty giải pháp kỹ thuật TDK.  - Lĩnh vực quan tâm: Máy điện, Máy biến áp vô định hình, tiết kiệm điện năng;  - Điện thoại: 090.2529788. |