

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA LỖI TỪ TRONG CÁC BỘ BIẾN ĐỔI DC - DC

EFFECT OF TEMPERATURE ON WORKING CHARACTERISTICS OF MAGNETIC CORE IN DC - DC CONVERTERS

Bùi Anh Tuấn¹, Nguyễn Tiến Dũng²,
Bùi Thị Duyên^{2,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/hu1h5804.2024.197>

TÓM TẮT

Nhu cầu ngày càng tăng về các thiết bị tiêu thụ điện năng thấp, hiệu suất cao đòi hỏi các nhà sản xuất cần phải phân tích chính xác tổn thất của từng thành phần cấu thành hệ thống. Các bộ phận từ tính là một phần quan trọng trong các thiết bị điện - điện tử, do đó việc nghiên cứu đặc tính của loại vật liệu này dưới những điều kiện làm việc khác nhau là rất cần thiết. Điều này không chỉ cho phép dự đoán khả năng hoạt động thực tế của hệ thống trong những điều kiện làm việc khác nhau mà còn cho biết được lĩnh vực ứng dụng phù hợp. Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu thực nghiệm sự thay đổi từ tính theo nhiệt độ của lõi từ trong các bộ biến đổi DC-DC với thành phần chính là FeNi do hãng Imphy Alloys sản xuất.

Từ khóa: Vật liệu từ; đường cong từ trễ; tổn thất sắt từ; vật liệu sắt từ; vật liệu từ mềm.

ABSTRACT

The growing demand for low-power, high-performance devices requires manufacturers to accurately analyze the losses of each system component. Magnetic materials are an important part of electrical - electronic devices, so studying the properties of this material under different working conditions is very necessary. This not only allows predicting the actual performance of the system under different working conditions but also indicates the appropriate application field. This article introduces the results of experimental research on magnetic changes with temperature of the magnetic core in DC-DC converters with the main component FeNi produced by Imphy Alloys.

Keywords: Magnetic materials; hysteresis loops; ferro-magnetic loss; ferro-magnetic; soft magnetic materials.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Thủy Lợi

²Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

*Email: duyenbt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 04/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

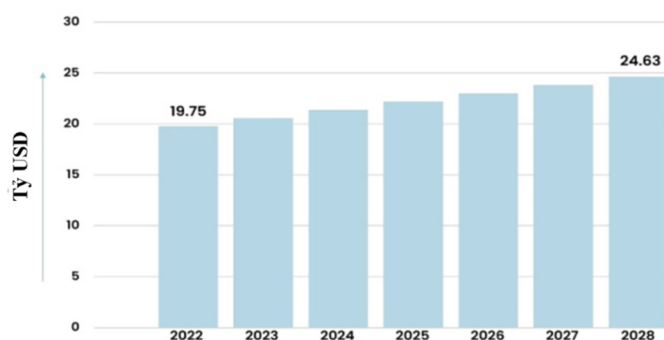
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Tiết kiệm điện năng và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng điện luôn là mối quan tâm lớn trong sự phát triển của các hệ thống điện tử công suất. Nhu cầu ngày càng tăng về các thiết bị sử dụng năng lượng thấp, hiệu suất cao buộc

các nhà thiết kế phải phân tích chính xác tổn thất trong từng thành phần cấu thành hệ thống.

Các thành phần từ tính là một phần quan trọng của các thiết bị điện tử. Do đó việc tính toán, dự đoán chính xác sự hoạt động của chúng theo điều kiện làm việc thay đổi là một yêu cầu cần thiết. Trong thực tế, do đặc tính phi tuyến của vật liệu từ tính, các hiệu ứng nhiệt động học đều có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính làm việc của lõi từ trong các mạch điện tử dẫn đến hiệu suất của thiết bị sẽ thay đổi.

Dựa trên cường độ từ trường $H(A/m)$ của vật liệu, vật liệu từ được phân thành hai nhóm chính: Vật liệu "không có từ tính" (vật liệu nghịch từ, vật liệu thuận từ và vật liệu phản sắt từ) và vật liệu từ tính (vật liệu sắt từ và vật liệu oxit từ). Như vậy chỉ vật liệu từ tính được sử dụng trong điện tử công suất. Hơn nữa vật liệu từ tính được phân loại là mềm hay cứng tùy theo mức độ khó hay dễ bị từ hóa [1]. Nếu như vật liệu dễ bị từ hóa và khử từ thì được gọi là vật liệu từ mềm (trường ứng dụng dưới 100 A/m), trong trường hợp ngược lại, nếu khó khử từ thì được gọi là vật liệu từ cứng (từ trường ứng dụng trên 1000A/m) [1].



Hình 1. Thị trường vật liệu từ mềm [3]

Các lĩnh vực ứng dụng của vật liệu từ phụ thuộc vào tính chất từ của chúng. Vật liệu từ mềm chủ yếu được sử dụng trong chuyển đổi năng lượng, điều chỉnh nguồn và truyền tín hiệu. Đối với vật liệu từ cứng thường được dùng làm nam châm vĩnh cửu. Các ứng dụng ghi từ kết hợp cả vật liệu từ mềm và vật liệu từ cứng để nâng cao khả năng lưu trữ dữ liệu [2]. Hình 1 cho thấy thị trường vật liệu từ mềm dự kiến sẽ tăng trưởng với tốc độ 3,7% từ năm 2022 đến năm 2028.

Dự kiến sẽ đạt khoảng 24,63 tỷ USD vào năm 2028 so với 19,75 tỷ USD trong 2022 [3].

Vật liệu từ mềm được sử dụng rộng rãi trong điện tử công suất, động cơ, nguồn điện, máy biến áp và cuộn cảm,... [4, 5]. Tần số hoạt động của các thiết bị này khác nhau từ DC lên tới 10MHz. Do vậy, việc nghiên cứu các tính chất từ và sự thay đổi tính chất từ của vật liệu trong các điều kiện vận hành khác nhau là điều cần thiết.

Trong khuôn khổ của bài báo, nhóm tác giả trình bày tổng quan về các vật liệu hiện đang được sử dụng trong các ứng dụng điện tử công suất cùng với các kết quả nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ đến đặc tính làm việc của vật liệu từ. Các kết quả thực nghiệm đánh giá sự thay đổi tính chất của vật liệu từ theo nhiệt độ sẽ được thực hiện trên các mẫu vật liệu với thành phần chính là FeNi do hãng Imphy Alloys sản xuất.

2. HIỆU ỨNG NHIỆT ĐỘ ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU

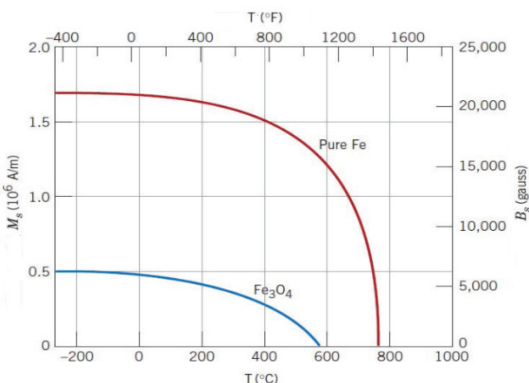
2.1. Nhiệt độ Curie

Đối với tất cả các chất rắn, kể cả vật liệu từ, sự gia tăng nhiệt độ sẽ làm tăng sự dao động của các nguyên tử. Sự dao động này có xu hướng làm các hướng của mô men từ thay đổi ngẫu nhiên và từ đó làm thay đổi tính chất từ tính của vật liệu.

Các vật liệu sắt từ và oxit từ thể hiện tính chất từ tính dưới mức nhiệt độ tới hạn gọi là nhiệt độ Curie (T_c). Trên nhiệt độ này, mômen từ được sắp xếp theo một trật tự nhất định và làm cho độ từ hoá của vật liệu bằng 0 [6, 7]. Các liên kết spin của các nguyên tử bị phá hủy hoàn toàn và vật liệu trở nên thuận từ. Giới hạn nhiệt độ Curie của vật liệu từ phụ thuộc vào thành phần cấu tạo, chẳng hạn như với sắt thì T_c ≈ 768°C, đối với Coban thì T_c ≈ 1120°C và T_c ≈ 335°C đối với Niken. Độ từ cảm của vật liệu từ thay đổi theo nhiệt độ được mô tả bằng định luật Curie-Weiss [6]:

$$\chi = \mu - 1 = \frac{C}{T - T_c} \tag{1}$$

2.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất của vật liệu từ



Hình 2. Sự thay đổi cảm ứng từ bão hoà theo nhiệt độ của Fe và Fe₃O₄ [8]

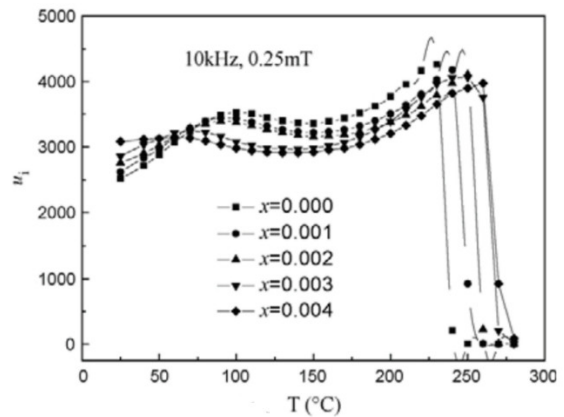
Dưới tác động của nhiệt độ, hướng chuyển động của các mô men nguyên tử thay đổi làm cho các thông số của vật liệu từ biến đổi theo. Hình 2 biểu diễn sự suy giảm của cảm ứng từ bão hoà theo nhiệt độ đối với Fe và Fe₃O₄.

Độ từ hoá bão hoà theo nhiệt độ của vật liệu từ được tính gần đúng bằng phương trình [6]:

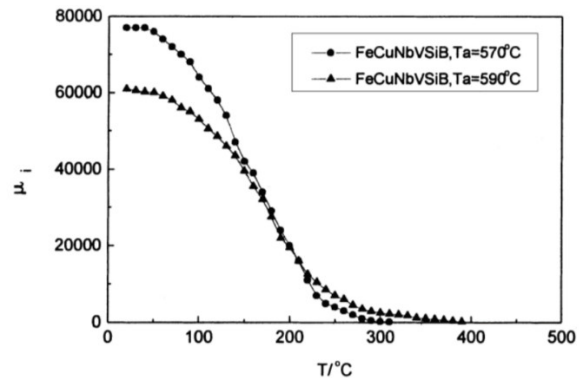
$$M_s(T) = M_s^a \cdot (1 - e^{-\frac{T-T_c}{\tau}}) \tag{2}$$

với: M_s^a là cường độ từ hoá bão hoà ở nhiệt độ môi trường; τ là hằng số.

Không giống như cảm ứng từ bão hoà, độ từ thẩm của vật liệu từ có thể tăng hoặc giảm theo nhiệt độ tùy thuộc vào vật liệu. Hình 3, 4 cho thấy sự thay đổi độ từ thẩm theo nhiệt độ đối với vật liệu oxit từ và vật liệu tinh thể nano. Độ từ thẩm của vật liệu oxit từ tăng còn của vật liệu tinh thể nano lại giảm xuống khi nhiệt độ tăng lên.



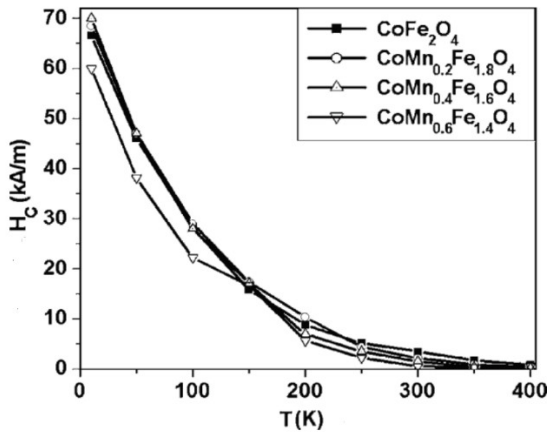
Hình 3. Sự thay đổi độ từ thẩm theo nhiệt độ của oxit từ Mn_{0,700-x}Zn_{0,233}Co_{0,067}O₄ [9]



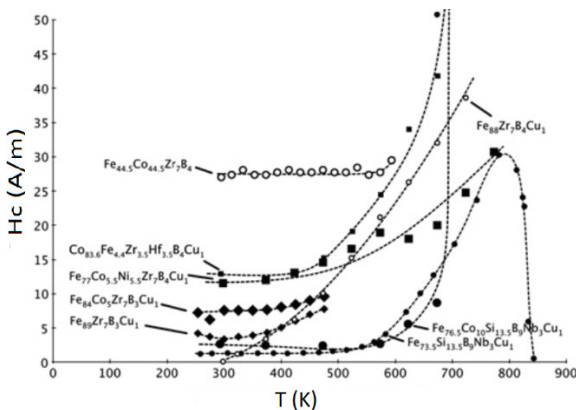
Hình 4. Sự thay đổi độ từ thẩm theo nhiệt độ của nanocrystalline Fe-Cu-Nb-V-Si-B [10]

Sự thay đổi của lực kháng từ (H_c) theo nhiệt độ cũng xảy ra tương tự như vậy, tùy vào loại vật liệu từ (hình 5, 6). Đối với coban ferit thì H_c giảm khi nhiệt độ tăng, trong khi đó đối với hầu hết các hợp kim tinh thể nano thì H_c lại tăng theo sự tăng của nhiệt độ.

Qua các kết quả nghiên cứu trên cho thấy, các vật liệu từ tính khác nhau sẽ có sự thay đổi tính chất vật liệu không giống nhau ở cùng một nhiệt độ. Điều đó cho thấy, hiệu suất của hệ thống chứa các thành phần từ tính phụ thuộc rất lớn vào nhiệt độ hoạt động. Do vậy, cần phải nghiên cứu và đưa ra các khuyến nghị trong việc ứng dụng vật liệu từ dưới tác dụng của hiệu ứng nhiệt. Bên cạnh đó, từ các đặc tính của các thông số từ tính thay đổi theo nhiệt độ thì tổn thất và sự phụ thuộc từ tính vào tần số cũng sẽ được suy ra.



Hình 5. Sự thay đổi lực kháng từ theo nhiệt độ của vật liệu coban ferit $CoMn_xFe_{2-x}O_4$ [11]

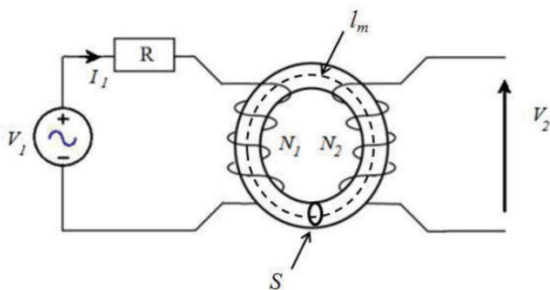


Hình 6. Sự thay đổi lực kháng từ theo nhiệt độ của vật liệu nanocrystalline [12]

3. SỰ THAY ĐỔI TÍNH CỦA VẬT LIỆU TỪ FeNi

3.1. Nguyên tắc mô tả

Đặc tính của vật liệu từ được mô tả bằng các phương pháp khác nhau trong đó việc dựa vào đường cong từ trễ B-H được sử dụng chủ yếu. Từ đường cong từ trễ ở một nhiệt độ và tần số nhất định, ta sẽ xác định và tính được các thông số như độ từ thẩm, cảm ứng từ bão hòa, cảm ứng từ dư và lực kháng từ,... Tổn hao từ cũng được xác định dựa vào đường cong từ trễ. Sau đó, các đường cong từ trễ sẽ được đo ở các nhiệt độ và tần số khác nhau để nghiên cứu ảnh hưởng của chúng.



Hình 7. Phương pháp đo đường cong từ trễ của vật liệu từ

Hình 7 mô tả phương pháp đo đường cong từ trễ của vật liệu từ. Cuộn dây thứ nhất được cấp điện bằng dòng điện xoay chiều. Dòng điện này tỷ lệ thuận với cường độ trường

H. Cuộn dây thứ hai được sử dụng để đo điện áp và mật độ từ cảm B.

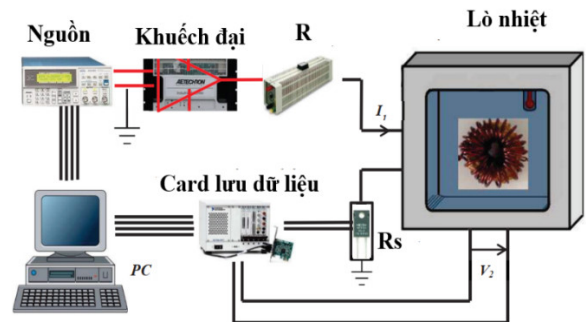
$$\oint H(t)dl = N_1 \cdot i_1(t) \Rightarrow H(t) = \frac{N_1 \cdot i_1(t)}{l_m} \quad (3)$$

$$v_2(t) = -N_2 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} \Rightarrow B(t) = -\frac{1}{S \cdot N_2} \int v_2(t) dt \quad (4)$$

với: N_1, N_2 lần lượt là số vòng dây của cuộn dây sơ và thứ; l_m và S là chu vi và tiết diện của lõi từ.

Từ phương trình (3) và (4), cường độ từ trường $H(t)$ và cảm ứng từ $B(t)$ được sử dụng để thiết lập đường cong từ trễ.

3.2. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 8. Bàn thí nghiệm khảo sát đặc tính vật liệu từ

Hình 8 là mô hình bàn thí nghiệm để nghiên cứu đặc tính của vật liệu từ trong các điều kiện hoạt động khác nhau như: cho phép thay đổi dạng sóng, cường độ từ trường cũng như tần số và nhiệt độ đặt lên mẫu vật liệu.

Trang thiết bị của bàn thí nghiệm bao gồm:

PC 3.0 GHz RAM 4 GHz;

Nguồn tín hiệu Tektronix AFG320 với giao diện GPIB (IEEE-488.2);

Bộ khuếch đại công suất tuyến tính AETECHRON 200V/10A;

Các lưu trữ và chuyển đổi dữ liệu với đầu vào analog 16-bit 32 đa chức năng DAQ mô-đun và bộ số hóa 14-bit 100 MS/s kết hợp với đầu ghi tức thời 12-bit 8 kênh với giao diện PCI;

Biến trở;

Lò nhiệt SNOL 30/1100;

Cảm biến nhiệt (cặp nhiệt điện loại k);

Cảm biến dòng điện (điện trở shunt R_s).

Bàn thử nghiệm này cho phép thực hiện các phép đo sau:
- Dạng nguồn tín hiệu: Hình sin, hình chữ nhật hoặc hình thang;

- Tần số nguồn cho phép thay đổi từ 0,1Hz đến 10MHz;

- Dải nhiệt độ từ 25°C đến 1100°C.

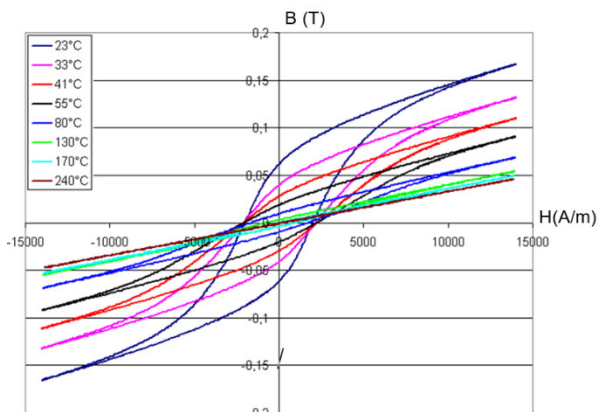
4. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Các mẫu thử nghiệm trong bài viết này được cung cấp bởi hãng công nghiệp Imphy Alloys với thành phần chính FeNi. Bảng 1 là thông số của các mẫu vật liệu.

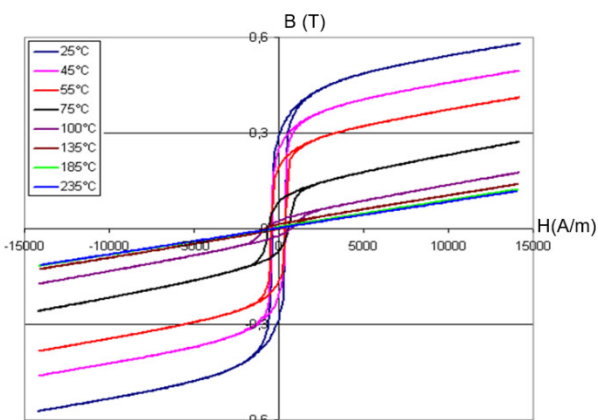
Bảng 1. Thông số các mẫu vật liệu

Mẫu vật liệu	Thành phần	B _s (T)	B _{3200A/m} (T)	H _{c1Hz} (A/m)	μ _{max}
TC760	FeNiCr	0,26	0,248	1800	14000
TC757	FeNiCrCo	0,58	0,545	460	65000
QE257	FeNiCrCu	0,77	0,730	250	35000
SUPRA 510	FeNiMnSiCr	0,75	0,710	320	30000

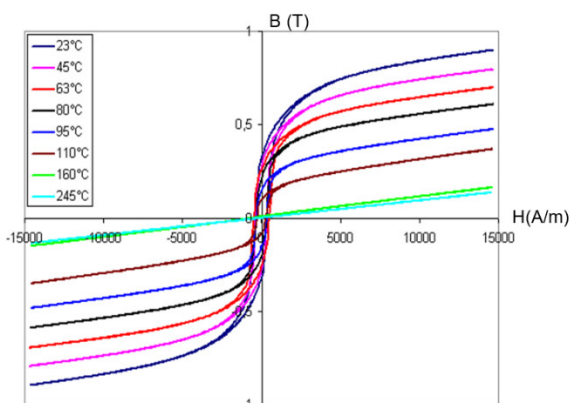
Để mô tả sự thay đổi đặc tính của các mẫu vật liệu này theo nhiệt độ, dòng điện hình sin được đặt vào vào cuộn sơ cấp để tạo ra từ trường H và cảm ứng từ B lấy từ điện áp thứ cấp được đo ở nhiệt độ từ 25°C đến 250°C. Kết quả đo đặc được thể hiện trong hình 9-12.



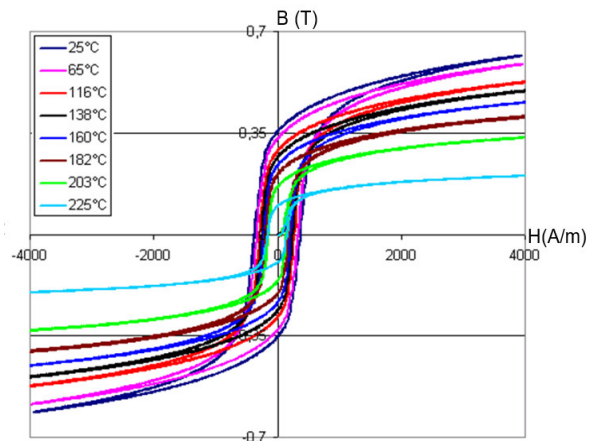
Hình 9. Sự thay đổi đường cong từ trễ theo nhiệt độ của vật liệu TC760



Hình 10. Sự thay đổi đường cong từ trễ theo nhiệt độ của vật liệu TC757



Hình 11. Sự thay đổi đường cong từ trễ theo nhiệt độ của vật liệu QE257



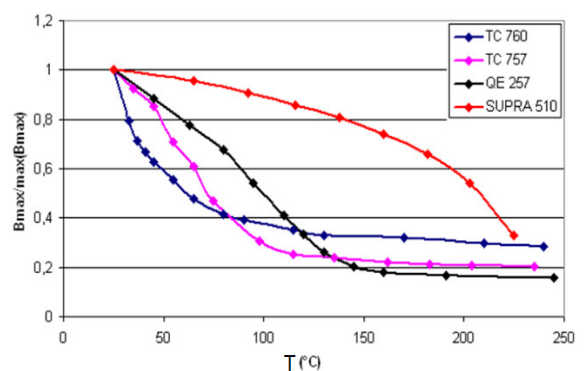
Hình 12. Sự thay đổi đường cong từ trễ theo nhiệt độ của vật liệu SUPRA 510

Qua kết quả thực nghiệm trên các mẫu vật liệu, từ tính của vật liệu từ dần mất đi khi nhiệt độ tăng lên (bảng 2).

Bảng 2. Nhiệt độ Curie (T_c) của các mẫu vật liệu thử nghiệm

Mẫu vật liệu	TC760	TC757	QE257	SUPRA 510
T _c (°C)	240	235	245	250

Ngoài ra, cảm ứng từ lớn nhất của các mẫu vật liệu trên đều có xu hướng giảm đi khi nhiệt độ tăng (hình 13).



Hình 13. Sự thay đổi cảm ứng từ bão hòa theo nhiệt độ của các mẫu vật liệu TC760, TC757, QE257 và SUPRA 510

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã giới thiệu tổng quan về vật liệu từ tính, phân loại và ứng dụng của chúng, đặc biệt tập trung vào các loại vật liệu từ mềm được sử dụng nhiều trong lĩnh vực điện - điện tử.

Mỗi một loại vật liệu từ đều có độ từ trễ, trạng thái động và nhiệt độ làm việc riêng. Những vấn đề này đã được nghiên cứu bằng cách mô tả đặc tính của vật liệu ở những nhiệt độ khác nhau thông các phép đo đường cong từ trễ B-H và các phép đo tự gia nhiệt. Từ những đặc tính này, ta đã thấy được sự thay đổi tính chất từ khi nhiệt độ biến đổi.

Các vật liệu từ khác nhau sẽ có những thay đổi từ tính không giống nhau ở cùng một nhiệt độ nên hiệu suất của các hệ thống có chứa các thành phần từ tính phụ thuộc rất lớn vào nhiệt độ hoạt động. Chính vì vậy, cần phải tính toán các hiệu ứng nhiệt lên vật liệu từ trước khi đưa vào sử dụng là hết sức cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. R. Wilson, J. N. Ross, "Definition and application of magnetic material metrics in modeling and optimization," *IEEE Trans. Magn.*, 37, 5, 3774-3780, 2001.
- [2]. W. Chandrasena, P. G. McLaren, U. D. Annakkage, R. P. Jayasinghe, D. Muthumuni, E. Dirks, "Simulation of hysteresis and eddy current effects in a power transformer," *Electr. Power Syst. Res.*, 76, 634-641, 2006
- [3]. D. C. Jiles, *Introduction to magnetism and magnetic materials*. Springer, 1990.
- [4]. Stratview Research, *Soft Magnetic Materials Market Size, Share, Trend, Forecast, Competitive Analysis, and Growth Opportunity: 2023-2028*. Market Research Report.
- [5]. F. Fiorillo, *Soft Magnetic Materials*. 2004. 10.1016/B978-012257251-7/50004-6.
- [6]. P. Marin, A. Hernando, "Applications of amorphous and nanocrystalline magnetic materials," *J. Magn. Magn. Mater.*, 215, 729-734, 2000.
- [7]. *Ferromagnetism - The Curie Temperature of Gadolinium*. in Advanced Laboratory, University of Wisconsin, 1-9, 2003,
- [8]. D. W. Van Krevelen, *Magnetic Properties*. 343-365, 1997. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82877-4.50019-6>
- [9]. L. Li, Z. Lan, Z. Yu, K. Sun, Z. Xu, "Effects of Co-substitution on wide temperature ranging characteristic of electromagnetic properties in MnZn ferrites," *J. Alloys Compd.*, 476, 1-2, 755-759, 2009.
- [10]. Z. Wang, K. He, J. Jin, J. He, L. Zhang, H. Zhang, B. Shen, "Temperature dependence of permeability for Fe-Cu-M-Si-B alloys," *Mater. Sci. Eng. A*, 304-306, 1046-1049, 2001.
- [11]. Y. Melikhov, J. E. Snyder, D. C. Jiles, A. P. Ring, J. A. Paulsen, C. C. H. Lo, K. W. Dennis, "Temperature dependence of magnetic anisotropy in Mn-substituted cobalt ferrite," *J. Appl. Phys.*, 99, 8, 08R102, 2006.
- [12]. M. A. Willard, M. Daniil, K. E. Knipping, "Nanocrystalline soft magnetic materials at high temperatures: A perspective," *Scr. Mater.*, 67, 6, 554-559, 2012.

AUTHORS INFORMATION

Bui Anh Tuan¹, Nguyen Tien Dung², Bui Thị Duyen²

¹Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Thuyloi University, Vietnam

²Faculty of Control and Automation, Electric Power University, Vietnam