

TỐI ƯU BIẾN ÁP XUNG CHO BỘ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG MỘT CHIỀU-MỘT CHIỀU

Võ Thành Vinh^{1,3,*}, Phạm Ngọc Thắng¹,
Nguyễn Thế Vĩnh², Trần Ngọc Thái¹

¹Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Hưng Yên;

²Đại học Công Nghiệp Quảng Ninh; ³Đại học Đồng Tháp

TÓM TẮT

Trở kháng bên trong của cuộn dây máy biến áp có ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số khớp nối, điều này ảnh hưởng đến đặc tính thiết kế máy biến áp. Bài báo này đề cập chi tiết đến việc cải tiến cấu trúc cuộn dây đồng tâm áp dụng cho máy biến áp xung. Xem xét hạn chế của các công thức chung tính toán cho máy biến áp từ trường đối xứng theo hướng tiếp cận khác, cho phép dự báo điện cảm rò rỉ trong trường hợp bố trí từ trường cuộn dây của máy biến áp. Sự ảnh hưởng của điện cảm rò rỉ và điện cảm từ hóa đến hệ số khớp nối được thảo luận. Các công thức tính toán được chuyển hóa và thay đổi các phương pháp khác nhau để tăng hoặc giảm điện cảm rò rỉ được đề xuất thông qua cấu trúc cuộn dây sơ cấp máy biến áp.

Từ khóa: Mạch ghép nối, Bộ chuyển đổi DC-DC, Điện cảm rò rỉ, Từ cảm, Biến áp xung.

GIỚI THIỆU

Trong [1-2] cho thấy việc thiết lập mô hình chính xác và tính toán điện cảm rò rỉ là cần thiết để thiết kế mạch ghép nối tụ điện biến áp hiệu quả. Hơn nữa, quá trình truyền năng lượng qua mạch ghép này bị hủy hoại nếu máy biến áp bão hòa, và vì lý do này, thiết kế điện cảm từ hóa chính xác là cần thiết. Mặc dù hiểu biết lý thuyết là cần thiết cho việc thiết kế biến áp xung, nhưng kiến thức thực tế lại cần để thay đổi một vài tham số thiết kế. Do đó, các phương pháp thực nghiệm khác nhau sẽ cho ra giải pháp tăng hoặc giảm các giá trị trở kháng trong biến áp xung. Các thông số của mạch điện tử ghép với máy biến áp xung bị ảnh hưởng đáng kể bởi điện cảm rò rỉ của các cuộn dây bên trong máy biến áp tương ứng. Ví dụ, điện cảm rò rỉ liên quan đến hiệu suất truyền tải điện và các thông số linh kiện bán dẫn công suất [3].

Thông thường, các yếu tố không đổi như từ thẩm tuyệt đối và các giá trị khác được hợp nhất thành một hệ số, do đó nên tăng vật lý của công thức không thể nhận ra được nữa [4]. Trong một số trường hợp, các công thức khác nhau được đưa ra cho một thiết kế biến áp mà không cần xen kẽ cuộn dây hay cho các

biến áp với cuộn dây được sắp xếp xen kẽ [5]. Mức độ xen kẽ được xem xét bởi số lượng cặp cuộn dây [6-7] hoặc bởi số lượng lớp cách điện giữa các cuộn dây [8-9]. Trích dẫn các phương trình phù hợp để thực hiện thiết kế, tính toán điện cảm rò rỉ của máy biến áp hình xuyên [10]. Công thức được đề xuất trong [11] thu được từ sự thay đổi của điện cảm rò rỉ khi các thông số chế tạo của các máy biến áp lõi hình xuyên khác nhau. Việc đánh giá được thực hiện từ các mô hình lý thuyết và các mô hình phân tích phần tử hữu hạn (FEMM) khác nhau liên quan đến kết quả đo được để cho phép lựa chọn thông số thích hợp mà mô hình yêu cầu [12].

Với phương pháp phân tích phần tử hữu hạn bằng phần mềm FEMM chúng ta có hai vấn đề cần xem xét. Thứ nhất là kích thước và độ phức tạp của mô hình máy biến áp xung. Nếu mô hình có số lượng lớn các yếu tố đầu vào, thì có thể ảnh hưởng đến sự hội tụ kết quả và thời gian mô phỏng. Vấn đề thứ hai là tách các phần tử mô hình khỏi mô hình vật lý ban đầu. Nếu một mô hình được xây dựng đầy đủ, chi tiết thì giá trị của các thông số quan trọng như khoảng cách xen kẽ hoặc kích thước cuộn dây có thể được xác định một cách nhanh chóng mà không yêu cầu sửa chữa thiết bị thực. Với kỹ thuật này, tự cảm rò rỉ của cuộn

* Email: thanhvinhdhspdt@gmail.com

dây sơ cấp cùng với ảnh hưởng của tần số đóng cắt trong các thiết bị điện tử được xác định, là cơ sở để tăng hoặc giảm giá trị điện cảm rò rỉ trong biến áp xung của bộ chuyển đổi DC-DC. Đây là vấn đề sẽ được thảo luận cụ thể trong bài báo này.

TÍNH TOÁN ĐIỆN CẢM RÒ RỈ CHO SỰ PHÂN BỐ MẠCH TỪ

Ý nghĩa của các ký hiệu tham số và sự phát sinh từ thông rò rỉ Φ_1 trong cửa sổ lõi được minh họa theo nguyên lý trong hình 1. Giả định rằng dòng rò rỉ được tập trung trong các tiếp giáp cách điện giữa cuộn dây sơ cấp và thứ cấp trong máy biến áp xung. Hơn nữa máy biến áp (biểu diễn trong hình 1) được đặc trưng bởi các tính năng sau: Lõi: ETD 59/31/22 [13], vật liệu N87, cuộn dây sơ cấp gồm 4 cuộn dây được ghép nối song song, tổng số vòng: $N_1 = 45$ vòng. Cuộn dây thứ cấp gồm một cuộn, tổng số vòng: $N_2 = 145$, độ dày của khoảng cách cách điện giữa các cuộn dây: 0.2 mm.

Để áp dụng chính xác công thức tính toán điện kháng rò rỉ cho cả máy biến áp xung đồng tâm và máy biến áp với cuộn dây hình bánh, chúng ta dựa vào sự phân bố các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp để chọn các tham số kích thước tương ứng với cách bố trí cuộn dây. Do đó, dựa trên các thay đổi về cách bố

trí cuộn dây mà ta có giá trị điện kháng rò rỉ cho từng loại biến áp xung (có cuộn dây xen kẽ hoặc không xen kẽ), chúng tôi đề xuất các công thức tính điện kháng rò rỉ như sau:

Điện kháng rò rỉ giữa hai cuộn dây sơ cấp:

$$X_{P12} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{2a}{3} + c_1\right)}{h} \quad (1)$$

Điện kháng rò rỉ giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp:

$$X_{P4S} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{a+b}{3} + c_4\right)}{h} \quad (2)$$

Điện kháng rò rỉ giữa cuộn thứ cấp với mạch từ:

$$X_{SL} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{b}{3} + c_5\right)}{h} \quad (3)$$

Điện kháng rò rỉ giữa hai cuộn dây xen kẽ phía sơ cấp:

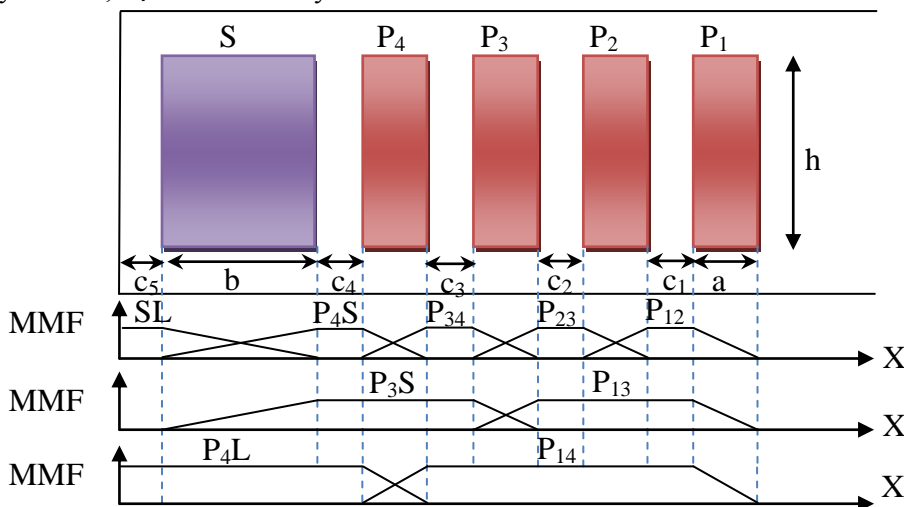
$$X_{P13} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{5a}{3} + c_1 + c_2\right)}{h} \quad (4)$$

Điện kháng rò rỉ giữa hai cuộn xen kẽ sơ cấp và thứ cấp:

$$X_{P3S} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{3} + c_3 + c_4\right)}{h} \quad (5)$$

Điện kháng rò rỉ giữa hai cuộn xen kẽ hai cuộn phía sơ cấp:

$$X_{P14} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{8a}{3} + c_1 + c_2 + c_3\right)}{h} \quad (6)$$



Hình 1. Minh họa các thuộc tính kích thước của cuộn dây được sử dụng trong công thức (1) - (7) và sự ảnh hưởng lẫn nhau của điện kháng rò rỉ trong cửa sổ lõi.

Điện kháng rò rỉ giữa cuộn sơ cấp với mạch từ:

$$X_{P4L} = \frac{\mu_0 2\pi f N^2 L_{mt} \left(\frac{a}{3} + b + c_4 + c_5\right)}{h} \quad (7)$$

Trong đó: a: Độ dày xuyên tâm của cuộn dây sơ cấp;

b: Độ dày xuyên tâm của cuộn dây thứ cấp;

c_i: Chiều rộng xuyên tâm của lõi (i=1÷5);

h: Chiều cao trục của cuộn dây và lõi;

P_j: Cuộn dây sơ cấp (j=1÷4);

S: Cuộn dây thứ cấp; f: Tần số dao động (1000÷50000)Hz;

X: Điện kháng rò rỉ; L_{mt}: Điện cảm từ hóa.

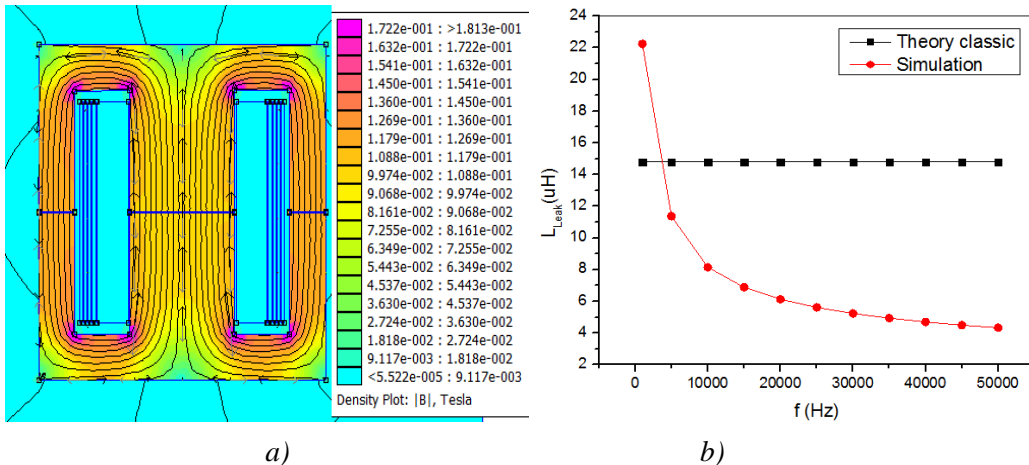
MMF (Magnetomotive force): Lực từ động.

Trong trường hợp này, các công thức được đề cập sẽ cho kết quả nhỏ hơn giá trị điện kháng rò rỉ thực mà chỉ có thể biểu diễn một cách xấp xỉ. Dự đoán điện kháng rò rỉ với độ chính xác cao hơn ngay cả trong trường hợp máy biến áp không đối xứng từ tính, có thể dựa trên việc tính giá trị điện kháng rò rỉ riêng lẻ của tất cả các cặp cuộn dây được sắp xếp trong biến áp từ đó tính tổng điện kháng rò rỉ của máy biến áp.

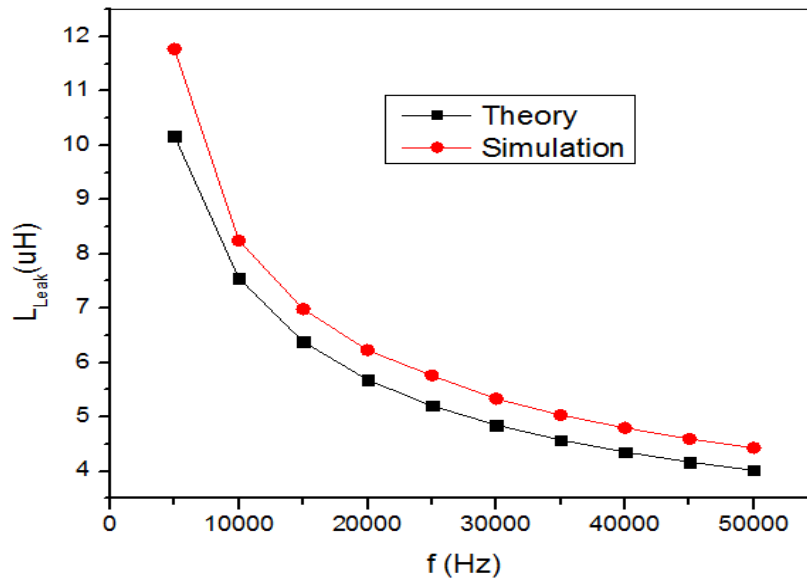
CHỌN TẦN SỐ THÍCH HỢP CHO ĐIỆN KHÁNG RÒ RỈ

Việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEMM) để ước tính điện kháng rò rỉ từ lâu đã là một kỹ thuật tiêu chuẩn, nhưng có sự cân bằng giữa thời gian mô phỏng (tùy thuộc vào độ phức tạp của mô hình) và độ chính xác tối ưu của tham số gốc. Một nghiên cứu về các mô hình phổ biến gần đúng được sử dụng trong việc ước lượng các thông số tần số cao được đề xuất, để thiết lập độ chính xác và thời gian mô phỏng biến áp được trình bày trong hình 1.

Kết quả mô hình mô phỏng được trình bày trong hình 2.a. Lõi được sử dụng trong mô hình là loại ETD59, là vật liệu từ tuyến tính có độ từ thẩm hiệu dụng 1590. Điện cảm rò rỉ, liên quan đến cuộn sơ cấp có thể được tính bằng cách cân bằng và qui đổi cuộn thứ cấp về phía sơ cấp (nếu tăng tỉ lệ số vòng dây thì điện áp tăng, trong khi dòng điện thì ngược lại). Năng lượng lưu trữ là năng lượng hiệu dụng được lưu trữ trong các cuộn dây mà từ đó điện cảm rò rỉ có thể được tính toán trực tiếp. Kết quả điện cảm rò rỉ mô phỏng thay đổi ứng với tần số. Tuy nhiên, theo tính toán cổ điển [1,2], giá trị của điện cảm là không đổi, và giá trị này cao hơn mô phỏng khi tần số cao hơn được thể hiện trong hình 2.b.



Hình 2. Điện cảm rò rỉ phụ thuộc vào tần số: a) Mô hình 4 cuộn sơ cấp song song, b) Điện cảm rò rỉ tương ứng với tần số bởi phần mềm FEMM và theo lý thuyết [1-2].



Hình 3. Trình bày điện cảm rò rỉ phụ thuộc tần số dùng phương pháp tính toán lý thuyết và mô phỏng.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài báo đề xuất các máy biến áp xung được sử dụng trong bộ chuyển đổi DC-DC với cấu trúc cuộn dây sơ cấp được chia thành bốn cuộn dây song song. Thực tế, bộ chuyển đổi DC-DC được sử dụng cho các nguồn năng lượng tái tạo có dòng đầu vào lớn [3,14]. Với cấu trúc này, dòng điện trong mỗi cuộn dây sơ cấp được giảm, điều đó có nghĩa là dây dẫn nhỏ, do đó làm giảm yêu cầu về công nghệ trong sản xuất máy biến áp xung.

Mặt khác, điện cảm rò rỉ tính toán theo lý thuyết được so sánh với điện cảm rò rỉ trong mô phỏng. Thay đổi tần số hoạt động để chọn tần số tối ưu cho cuộn dây biến áp để giảm thiểu điện cảm rò rỉ. Giảm điện cảm rò rỉ của cấu trúc máy biến áp có nghĩa là giảm tổn thất năng lượng trên các công tắc điện tử bật/tắt, nâng cao hiệu suất của bộ chuyển đổi DC-DC được sử dụng trong các nguồn năng lượng tái tạo.

Kết quả điện cảm rò rỉ tính theo lý thuyết (mục 2) và theo kết quả mô phỏng (mục 3) được trình bày trong hình 3. Các kết quả sử dụng trong mô hình 4 cuộn dây sơ cấp này tốt hơn đáng kể so với trong các mô hình một cuộn dây sơ cấp (Do điện kháng tương đương của 4 cuộn dây song song nhỏ hơn điện kháng do một cuộn sinh ra với cùng công suất

MBA), nhưng chi phí được tính toán cao hơn. Để phân tích thành phần cấu trúc này bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn sẽ mất nhiều giờ mô phỏng. Kết quả ở tần số 50kHz điện cảm rò rỉ > 10% là hợp lý, ứng với dung sai trong vật liệu và hình học.

KẾT LUẬN

Việc sử dụng kết hợp cả hai phương pháp lý thuyết và số đã cho thấy thiếu sót trong cách dự đoán kết quả, và cấu trúc mô hình mô phỏng đề xuất trong bài báo này đã được trình bày một cách chính xác hơn, sự biến thiên điện cảm rò rỉ ứng với tần số được biểu diễn rất cụ thể. Các kết quả của mô hình được mô tả đơn giản bằng cách sử dụng lý thuyết hoặc dùng các giá trị ổn định và hiệu quả để mô phỏng. Cấu trúc cuộn dây trong biến áp xung mà chúng tôi đề xuất sẽ là kết quả thích hợp dùng trong bộ biến đổi DC-DC cuộn dây đồng tâm, áp dụng cho các nguồn năng lượng tái tạo.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi kinh phí thực hiện đề tài mã số B2018-SKH-06.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. P. A. Janse van Rensburg, H. C. Ferreira, "Coupling circuitry: understanding the functions of different components," Proc. 7th Int. Symp. Power-Line Comm, pp. 204-209, (2003).

2. P. A. Janse van Rensburg, H. C. Ferreira, "Step-by-step design of a coupling circuit with bi-directional transmission capabilities," Submitted for 8th Int. Symp. Power-Line Comm., (2004).
3. Nguyen The Vinh, Petit Pierre, Aillerie Michel, Salame Chafic, Charles Jean-Pierre. "Efficiency of magnetic coupled boost DC-DC converters mainly dedicated to renewable energy systems: Influence of the coupling factor". International Journal of Circuit Theory and Applications, **Vol 43**, pp1042–1062, (2015).
4. Arthur Williams, "Magnetics design: inductors and transformers", Thursday September 15, (2011).
5. Flanagan, W. M., "Handbook of Transformer Design and Applications," McGraw-Hill, (1992).
6. Mecke, H., "Transformatoren für das Lichtbogenschweissen," Dissertation B, TH Magdeburg, (1978).
7. Schuelting, L., "Optimierte Auslegung induktiver Bauelemente für den Mittelfrequenzbereich," Dissertation, RWTH Aachen, (1993).
8. Snelling, E. C., "Soft Ferrites," Butterworth & Co., (1988).
9. Tarter, R. E., "Solid-state Power Conversion Handbook," Wiley-Interscience, (1993).
10. Iván Hernández, Francisco de León, Pablo Gómez, "Design Formulas for the Leakage Inductance of Toroidal Distribution Transformers", iee transactions on power delivery, vol. 26, no. 4, october (2011).
11. Francisco de León, Sujit Purushothaman, Layth Qaseer "Leakage Inductance Design of Toroidal Transformers by Sector Winding", iee transactions on power electronics, vol. 29, no. 1, January (2014).
12. Peter R. Wilson and Reuben Wilcock, "Frequency Dependent Model of Leakage Inductance for Magnetic Components", advanced electromagnetics, Vol. 1, No. 3, October (2012).
13. https://en.tdk.eu/inf/80/db/fer_13/etd_59_31_22.pdf.
14. The Vinh Nguyen, Michel Aillerie, Pierre Petit, Hong Thang Pham, and Thanh Vinh Vo, "Push-pull with recovery stage high-voltage DC converter for PV solar generator", AIP Conference Proceedings 1814, 020058 (2017).

ABSTRACT

OPTIMIZATION PULSE TRANSFORMER FOR DC-DC CONVERSION ENERGY

**Vo Thanh Vinh^{1,3*}, Pham Ngoc Thang¹,
Nguyen The Vinh², Tran Ngoc Thai¹**

¹Hung Yen University of Technology and Education;

²Quang Ninh University of Technology; ³Dong Thap University

The internal impedances of a coupling transformer can have a detrimental effect on coupling, these have to be properly designed. In the paper, the meaning of included terms and details of the application for concentric and pie windings pulse transformer. Considering the limitation of common formulas to magnetically symmetric transformers an alternative approach shall be demonstrated, which enables leakage inductance prediction also in the case of transformers with magnetically arrangements of windings. The effect of both leakage and magnetizing inductance on coupling is discussed. Design equations are derived and various methods to increase and decrease these inductances are given in the proposed structure of primary winding transformer.

Keywords: coupling circuits, DC-DC converter, leakage inductance, magnetizing inductance, pulse transformers

Ngày nhận bài: 08/10/2018; Ngày hoàn thiện: 22/11/2018; Ngày duyệt đăng: 30/11/2018

* Email: thanhvinhdhspdt@gmail.com