

THIẾT KẾ TỐI ƯU MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA

Nguyễn Chu Hùng, Phạm Đăng Mạnh Quỳnh

Khoa Điện – Điện tử Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia – Tp. HCM

(Bài nhận ngày 01 tháng 07 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 30 tháng 07 năm 2005)

TÓM TẮT: Thiết kế thiết bị điện tử nói chung và thiết kế máy biến áp lực nói riêng là lĩnh vực chuyên môn sâu có liên quan đến nhiều lĩnh vực và ngành khoa học kỹ thuật khác nhau như: khoa học vật liệu, ngành kỹ thuật điện, công nghệ chế tạo máy,...Thậm chí ngày nay sản xuất máy biến áp còn đòi hỏi quá trình thiết kế phải được tự động hoá thì việc xuất hiện ngày càng nhiều các phần mềm ứng dụng nhằm vào các mục đích kể trên là điều hết sức bình thường. Tuy nhiên nhà sản xuất khó có thể chọn cho mình những phần mềm có sẵn thích hợp, bởi vì đơn giản là không tồn tại các phần mềm đa năng, có thể phù hợp cho mọi đối tượng và yêu cầu. Vì vậy, mục tiêu chính của bài báo là xây dựng phần mềm **Thiết Kế Tối Ưu Máy Biến Áp Lực Một Pha** giúp cho các hoạt động sản xuất và kinh doanh mặt hàng này của một vài nhà máy sản xuất máy biến áp trên địa bàn Tp. Hồ Chí Minh trở nên thuận lợi hơn.

I. Đôi nét về vấn đề thiết kế máy biến áp

Công việc thiết kế máy biến áp có thể được chia làm 3 giai đoạn như sau:

1. Xác định nhiệm vụ kỹ thuật

Việc xác định nhiệm vụ thiết kế phụ thuộc vào các yêu cầu của nhà sản xuất đưa ra, ví dụ như: công suất, điện áp định mức, chế độ làm việc, chế độ phát nóng,... ngoài ra còn phải đảm bảo các yêu cầu trong tiêu chuẩn (TCVN, IEC,...) và còn có thể là phải đảm bảo giá thành của máy biến áp sản xuất ra là nhỏ nhất trong các sản phẩm cùng loại. Rõ ràng, với các đòi hỏi cao như vậy, thiết kế theo phương pháp kinh điển khó lòng có thể đáp ứng được. Ở đây, các tác giả đã thành lập bài toán thiết kế tối ưu dựa trên cơ sở áp dụng các phương pháp trong phép quy hoạch phi tuyến.

2. Thành lập bài toán thiết kế tối ưu

Phải cực tiểu hoá (cực đại hoá) hàm mục tiêu (trong trường hợp này là hàm giá thành) sao cho có thể đảm bảo được các điều kiện ràng buộc (hiệu suất, tổn hao, hệ số công suất, ...) nằm trong các phạm vi quy định của tiêu chuẩn máy biến áp tương ứng. Vấn đề phức tạp ở đây là tập biến của hàm mục tiêu và của các hàm ràng buộc phải cùng là một và được lựa chọn trên cơ sở kết cấu máy biến áp cho trước và chúng phải độc lập với nhau.

3. Xây dựng phần mềm thiết kế tối ưu

Đó là việc giải bài toán thiết kế tối ưu theo một trong các phương pháp của quy hoạch phi tuyến bằng việc áp dụng một trong các ngôn ngữ lập trình như Pascal, C++, Matlab,....Việc chọn ngôn ngữ lập trình nào là tùy thuộc vào mức độ tiện ích của nó đối

với mục đích thiết kế như khả năng thành lập các giao diện nhập-xuất dữ liệu, khả năng đồ họa, phân tích số liệu nhận được,....

II. Lý thuyết cơ sở về tối ưu hoá các thiết bị điện tử

Việc đầu tiên của thiết kế tối ưu (TKTU) thiết bị điện tử là lựa chọn hàm mục tiêu. Hàm này có thể là một trong các chỉ tiêu kinh tế của thiết bị điện như: Giá thành, chi phí sản xuất, khấu hao thiết bị, khả năng cạnh tranh thị trường tiêu thụ sản phẩm,... hoặc là một trong các thông số kỹ thuật của thiết bị như: máy có giá trị từ thông tản nhỏ nhất, có khả năng chịu nhiệt tốt nhất, có hiệu suất làm việc cao nhất,... Nói chung, trong tập hợp các chỉ tiêu kinh tế và các thông số kỹ thuật nêu ra ở trên có thể chọn về nguyên tắc bất cứ hàm nào. Những hàm còn lại đều có thể xem là tập hợp các ràng buộc cho bài toán tối ưu hoá.

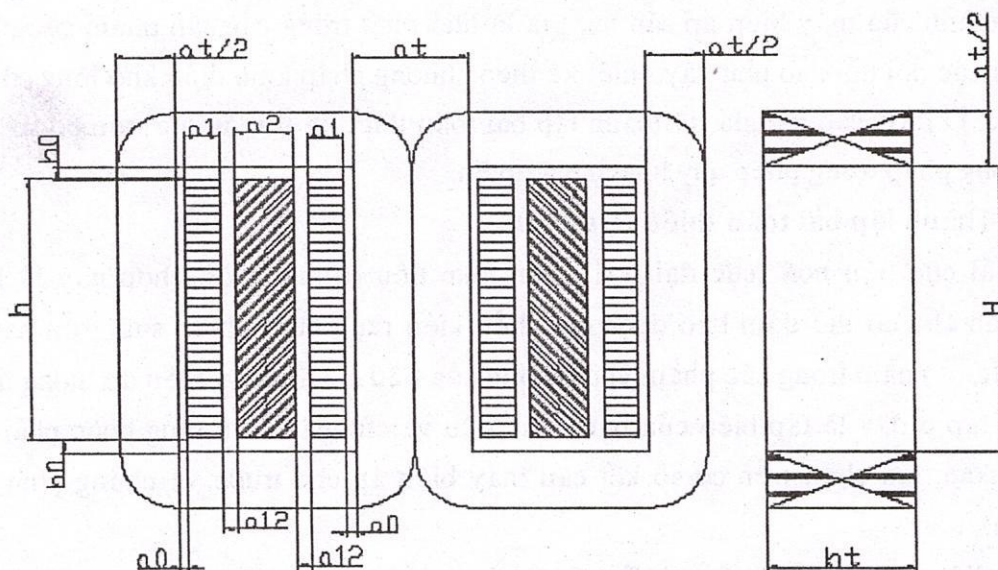
Bài toán được phát biểu như sau:

Cực tiểu hoá (cực đại hoá) hàm mục tiêu $F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ với $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ là số lượng các biến số độc lập, thoả mãn các điều kiện ràng buộc dạng $Y_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \leq$ hoặc $> B_i$ với $i \leq n$, B_i là các giá trị hằng.

Có thể áp dụng các phương pháp quy hoạch phi tuyến sau đây để giải bài toán trên: các phương pháp tìm kiếm thụ động (phương pháp quét), các phương pháp tìm kiếm theo thứ tự, các phương pháp gradient bao gồm phương pháp với bước tiến cố định, phương pháp đường dốc nhất....

III. Bài toán tối ưu hoá máy biến áp một pha

1. Sơ đồ lõi thép và dây quấn của MBA 1 pha với các kích thước của nó



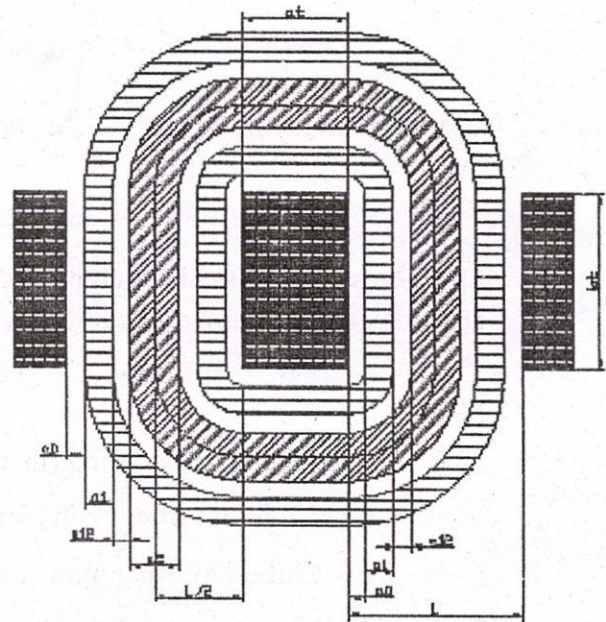
Hình 1: Sơ đồ lõi thép.

Các thông số kích thước:

- h: Chiều cao các cuộn dây.
- a_t : Bề rộng trụ thép chính giữa.
- b_t : Bề dày lõi thép.
- a_1 : Bề dày cuộn hạ.
- a_2 : Bề dày cuộn cao.
- h_0 : Cách điện giữa cuộn dây với gông.
- a_0 : Cách điện giữa cuộn hạ với trụ.
- a_{12} : Cách điện cao - hạ.
- Bề rộng cửa sổ:

$$C = 2(a_0 + a_1 + a_{12}) + a_2.$$

- Chiều cao cửa sổ: $H = h + 2h_0$.



Hình 2: Sơ đồ mặt cắt dây quấn.

2. Xây dựng hàm mục tiêu

Sau khi xác định các thông số của máy, ta tiến hành xây dựng hàm mục tiêu:

- Chọn các biến độc lập của bài toán là a_1, a_2, h, a_t, b_t .
- Thông thường, đối với một máy biến áp thì bề dày lõi thép b_t là một thông số không đổi. Từ cơ sở này cho phép lập các biến không thứ nguyên như sau:

$$X = \frac{a_1}{b_t}; Y = \frac{a_2}{b_t}; Z = \frac{a_t}{b_t}; W = \frac{h}{b_t} \quad (3.1)$$

Thành lập hàm mục tiêu là hàm giá thành vật liệu tích cực:

$$G = G_t \cdot C_t + G_d \cdot C_d \quad (3.2)$$

Với:

G_t, G_d - lần lượt là khối lượng thép KTĐ và khối lượng dây đồng, (Kg).

C_t, C_d - lần lượt là đơn giá thép KTĐ và đơn giá của dây đồng, (đồng VN/Kg).

$$G_t = k_t \cdot \gamma_t \cdot V_t \quad (3.3)$$

$$G_d = \gamma_d V_d \quad (3.4)$$

Trong đó:

- + k_t - Hệ số ép chặt lõi thép.
- + γ_t - Khối lượng riêng của thép KTĐ, ($= 7650 \text{Kg/m}^3$).
- + V_t - Thể tích lõi thép máy biến áp, (m^3).
- + γ_d - Khối lượng riêng của đồng, ($= 8900 \text{Kg/m}^3$).
- + V_d - Thể tích của các cuộn dây, (m^3).

2.1. Thành lập hàm thể tích lõi thép

Từ hình vẽ sơ đồ lõi thép máy biến áp, thể tích mạch từ được xác định như sau:

$$V_t = S_t \cdot b_t \quad (3.5)$$

Trong đó:

S_t - tiết diện mạch từ (m^2).

$$S_t = 2*[a_t*(H + C) + \frac{\pi a_t^2}{4}] \quad (3.6)$$

b_t - bề dày mạch từ (m).

$$\text{Vậy: } V_t = 2*[a_t*(H + C) + \frac{\pi a_t^2}{4}] * b_t. (m^3) \quad (3.7)$$

$$= 2*[a_t*(h + 2h_0 + 2a_0 + 2a_1 + 2a_{12} + a_2) + \frac{\pi a_t^2}{4}] * b_t. (m^3) \quad (3.8)$$

2.2. Thành lập hàm thể tích của dây đồng

Thể tích của các cuộn dây cao áp và hạ áp được xác định như sau:

$$V_d = h(l_1 * 2 * a_1 + l_2 a_2) \quad (3.9)$$

Với:

V_d - Thể tích dây đồng (m^3).

l_1 - Chiều dài trung bình của cuộn hạ (m).

l_2 - Chiều dài trung bình của cuộn cao (m).

Từ hình 2, có nhận xét là chiều dài trung bình của cuộn hạ cũng bằng chiều dài trung bình của cuộn cao, vì vậy:

$$l_1 = l_2 = 2(a_t + b_t) + 2 * \pi \frac{C}{2} \quad (3.10)$$

$$= 2[(a_t + b_t) + \pi(a_0 + a_{12} + a_1 + \frac{a_2}{2})] \quad (3.11)$$

$$\text{Vậy: } V_d = 2 * h * (2a_1 + a_2) * [(a_t + b_t) + \pi(a_0 + a_{12} + a_1 + \frac{a_2}{2})] \quad (3.12)$$

Đặt $a_0 + a_{12} = A = \text{const.}$

$$V_d = 2 * h * (2a_1 + a_2) * [(a_t + b_t) + \pi(A + a_1 + \frac{a_2}{2})] \quad (3.13)$$

Nhận xét

Hàm giá thành vật liệu tích cực của máy biến áp phụ thuộc vào các thông số sau:

- + Đơn giá thép KTD và đơn giá dây đồng.
- + Khối lượng riêng của thép và khối lượng riêng của đồng.
- + Thể tích của toàn bộ lõi thép và của các bộ dây quấn.

Trong các tham số trên thì đơn giá của thép, của đồng, khối lượng riêng của thép và đồng có thể được xem như là các hằng số. Vì vậy giá thành chỉ có thể đạt giá trị thấp nhất khi thể tích của thép và đồng là nhỏ nhất.

Tóm lại hàm mục tiêu là hàm thể tích của lõi thép và thể tích dây quấn.

$$\text{Đặt: } V_t^* = \frac{V_t}{b_t^3} \text{ và } V_d^* = \frac{V_d}{b_t^3}$$

Vậy:

$$V_t^* = \frac{2*[a_t*(h + 2h_0 + 2A + 2a_1 + a_2) + \frac{\pi a_t^2}{4}] * b_t}{b_t^3} \quad (3.14)$$

$$= 2*[Z(W + \frac{2h_0}{b_t} + \frac{2A}{b_t} + 2X + Y) + 0,785Z^2] \quad (3.15)$$

$$V_d^* = \frac{2 * h^* (2a_1 + a_2) * [(a_i + b_i) + \pi(A + a_1 + \frac{a_2}{2})]}{b_i^3} \quad (3.16)$$

$$= 2W(2X + Y) * [(Z + 1) + \pi(\frac{A}{b_i} + X + \frac{Y}{2})] \quad (3.17)$$

Tiếp theo, ta đặt: $\frac{h_0}{b_i} = A_0$, $\frac{A}{b_i} = A_1$, lúc đó ta có:

$$V^* = V_i^* + V_d^* \quad (3.18)$$

$$V^* = 2[Z(W + 2A_0 + 2A_1 + 2X + Y) + 0,785Z^2] + 2W(2X + Y)(Z + 1 + 3,14A_1 + 3,14X + 1,57Y) \quad (3.19)$$

$$\text{Vậy: } V^*(X, Y, Z, W) = 4(A_0 + A_1)Z + 4XZ + 2YZ + 2ZW + 1,57Z^2 + 4(1 + 3,14A_1)XW + 2(1 + 3,14A_1)YW + 12,56XYW + 4XZW + 2YZW + 12,56X^2W + 3,14Y^2W \quad (3.20)$$

Đồng thời, các ràng buộc như: *Tổn hao ngắn mạch* (P_n), *tổn hao không tải* (P_0), *dòng điện không tải* (I_0), *hệ số công suất* ($\cos\varphi$), *hiệu suất* (η) cũng phải theo tiêu chuẩn.

IV. Giải thuật, giao diện và kết quả tính toán

1. Chuyển đổi biến

Sau khi đã có được hàm mục tiêu thì việc lựa chọn phương pháp giải cũng như phần mềm để hỗ trợ thực hiện là khá quan trọng. Chúng tôi đã có thử qua một số phương pháp và quyết định sử dụng phương pháp quy hoạch phi tuyến, cụ thể là sử dụng phương pháp tìm kiếm thụ động (phương pháp quét) để giải bài toán đa biến dạng (3.20) trên cơ sở sử dụng phần mềm hỗ trợ MATLAB.

Ta biết rằng các biến X, Y, Z và W đều có một phạm vi biến thiên xác định tương ứng với khoảng biến thiên của các kích thước thực:

$$a_i \leq X \leq a_j; b_i \leq Y \leq b_j; c_i \leq Z \leq c_j; d_i \leq W \leq d_j. \quad (4.1)$$

Tiếp theo ta thực hiện việc chuyển đổi tất cả các biến X, Y, Z và W về dạng các biến giá trị tương đối (không thứ nguyên) và biến thiên trong cùng một khoảng xác định: $0 \leq Z_i \leq 1$. Với ($i = 1, 2, 3, 4$).

Công thức chuyển đổi biến như sau:

$$Z_1 = \frac{X - a_i}{a_j - a_i}; Z_2 = \frac{Y - b_i}{b_j - b_i}; Z_3 = \frac{Z - c_i}{c_j - c_i}; Z_4 = \frac{W - d_i}{d_j - d_i} \quad (4.2)$$

Bây giờ hàm mục tiêu có dạng:

$$V^*(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) = 4(A_0 + A_1)Z_3 + 4Z_1Z_3 + 2Z_2Z_3 + 2Z_3Z_4 + 1,57Z_3^2 + 4(1 + 3,14A_1)Z_1Z_4 + 2(1 + 3,14A_1)Z_2Z_4 + 12,56Z_1Z_2Z_4 + 4Z_1Z_3Z_4 + 2Z_2Z_3Z_4 + 12,56Z_1^2Z_4 + 3,14Z_2^2Z_4. \quad (4.3)$$

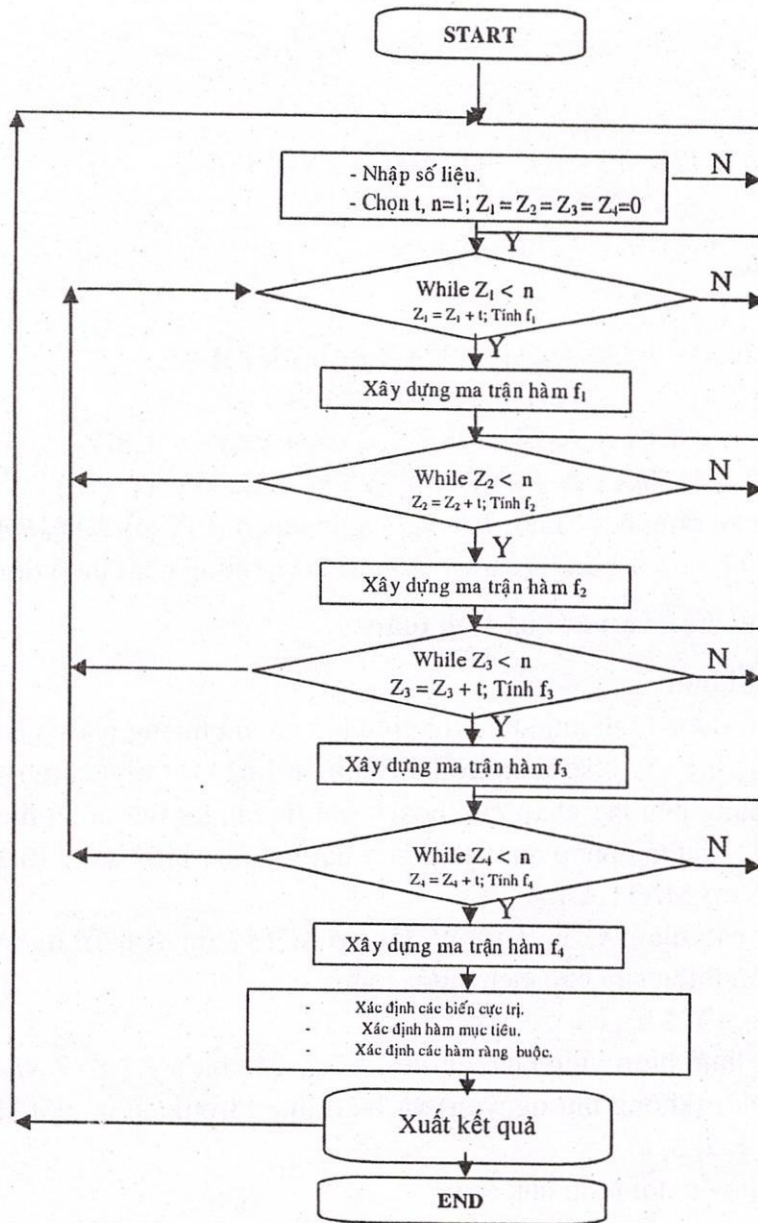
2. Giải thuật điều khiển trong Matlab

Giải thuật được áp dụng cho các máy biến áp một pha có các gam công suất từ 10 KVA đến 1000 KVA, trong thời điểm hiện tại các kết quả nhận được là dựa trên cơ sở đơn giá vật liệu tích cực như sau:

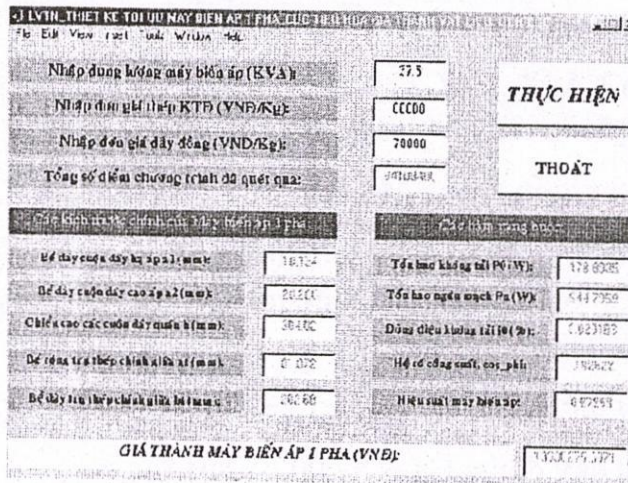
+ Đơn giá vật liệu thép Kỹ thuật điện: $C_t = 66000$ (VNĐ)/Kg

+ Đơn giá vật liệu dây đồng: $C_d = 70000$ (VNĐ)/Kg

Các thông số khác được chọn theo tiêu chuẩn kỹ thuật của Việt Nam (TCVN).



3. Giao diện nhập xuất dữ liệu



Hình 3: Giao diện nhập kết quả tính toán cho máy có dung lượng 37,5KVA.

V. Kết quả khảo sát phân bố từ trường trong máy biến áp một pha bằng phần mềm Ansoft

Sau khi đã có kết quả tính toán sơ đồ lõi thép và dây quấn với đầy đủ các kích thước, có thể sử dụng phần mềm Ansoft để mô phỏng phân bố từ trường chế độ tải định mức của máy.

Ví dụ đối với máy có dung lượng 37,5kVA; $U_1/U_2 = 12,7KV/0,23KV$, chọn $B_t = 1,5(T)$. Ta có:

- Dòng điện sơ cấp:

$$I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{37,5}{12,7} = 3(A).$$

- Dòng điện thứ cấp:

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{37,5}{0,23} = 163(A).$$

- Số vòng dây sơ cấp:

$$N_1 = \frac{0,95 \cdot U_1}{4,44 \cdot f \cdot B_t \cdot a_1 \cdot b_1} = 2203 (Vòng).$$

- Số vòng dây thứ cấp:

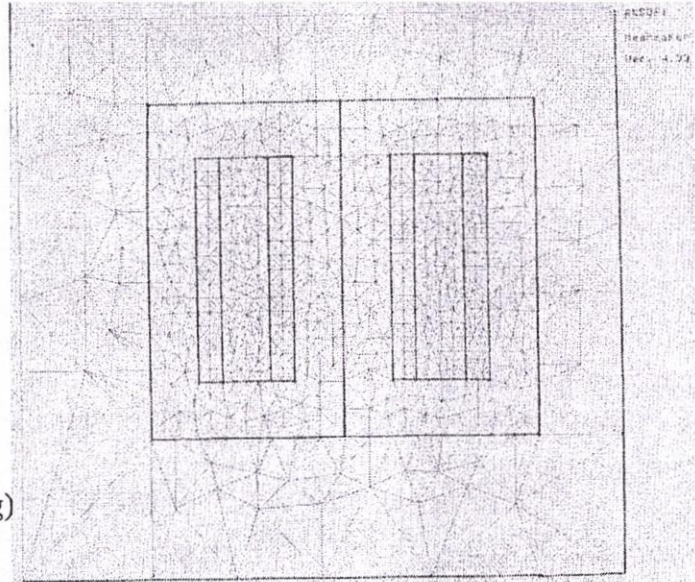
$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{0,23}{12,7} \cdot 2203 = 40 (Vòng)$$

- Sức từ động sơ cấp:

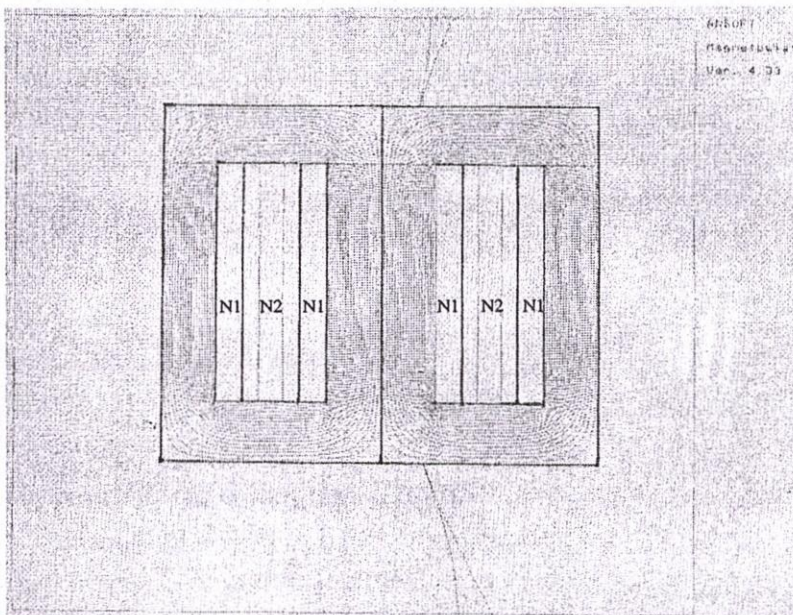
$$F_1 = I_1 \cdot N_1 = 3 \cdot 2203 = 6609 (A \cdot vòng)$$

- Sức từ động thứ cấp:

$$F_2 = I_2 \cdot N_2 = 163 \cdot 40 = 6520 (A \cdot vòng).$$



Hình 4: Chia lưới mạch từ MBA 1 pha, dung lượng 37,5KVA thành 1677 phần tử tam giác.



Hình 5: Phân bố từ trường trong MBA 1 pha, dung lượng 37,5KVA, chế độ tải định mức

Từ thông tại các góc có dạng cung tròn và không thấy xuất hiện từ tản tại các góc. Điều này sẽ là cơ sở để ta thực hiện thay đổi kết cấu lõi thép bằng cách sử dụng mạch từ dạng cuộn như hình 1 thay cho mạch từ dạng hình chữ nhật như hình 5.

VI. Kết luận

1. Việc TKTU MBA một pha thông qua xây dựng hàm mục tiêu đối với máy có lõi thép dạng cuộn như hình 1 sẽ giúp cắt giảm một phần đáng kể khối lượng thép kỹ thuật điện, qua đó sẽ góp phần làm giảm bớt giá thành sản phẩm mà vẫn không ảnh hưởng đến các thông số kỹ thuật ràng buộc khác. Đây là cơ sở cho sự cạnh tranh ngày càng gay gắt nhất là trong giai đoạn như hiện nay.

Phần khối lượng thép có thể tiết kiệm được được tính như sau:

$$M_{th} = \left(8 \frac{a_l}{2} \frac{a_l}{2} - 2\pi \frac{a_l}{2} \frac{a_l}{2} \right) b_l \gamma_l = 0,43 a_l^2 b_l \gamma_l \quad (Kg)$$

Ví dụ đối với máy có dung lượng 37,5KVA thì chi phí có thể tiết giảm được là:

$$M_{th} = 0,43 \cdot (0,081)^2 \cdot 0,203 \cdot 7650 = 4,4 \quad (Kg)$$

Chi phí cắt giảm = $M_{thép\ cắt\ giảm} \cdot \text{Giá thành thép KTD} = 4,4 \cdot 66000 = 290400\text{VNĐ}$.

2. Mặt khác, cũng với dạng lõi thép này thì từ trường phân bố qua lõi thép khá đồng đều, như khảo sát trong trường hợp tải định mức với kết quả mô phỏng phân bố từ trường ở hình 5. Ta có thể thấy là phần từ tản là khá ít.

3. Công cụ mô phỏng phân bố từ trường bằng phần mềm Ansoft rất hữu dụng cho ta khảo sát ở nhiều chế độ làm việc khác nhau của máy như chế độ không tải, chế độ ngắn mạch và ứng với bất kỳ một mức tải nào đó.

OPTIMAL DESIGN OF SINGLE PHASE TRANSFORMERS

Nguyen Chu Hung, Pham Dang Manh Quynh

University of Technology – Vietnam National University – Ho Chi Minh City

ABSTRACT: *The design of the electromagnetic devices is a deep specialized area, it includes different fields of technical science, such as: science of materials, electrical engineering, technology of machine manufacturing... Nowadays the process of design is demanded to be automatized by different softwares, but with the existing technical documentation in the world wide market, the manufactory can not easy to choose the comfortable for it's satisfactory. The purpose of this paper is to present to manufactories of transformers the software named "Optimal design of the single phase transformers". The authers hope that the product can help them perfectly in their manufacturing and business of this kind of transformer.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hung, N.C *Research on leakage flux in the single phase transformers by the Ansoft software*, Revue of Science & Development, VN national university- Hochiminh city, 2003.
- [2] Hung, N.C., Hung, T.T.C *Kỹ thuật điện I*, ĐHQG TP.HCM, 2001.
- [3] Binh, P.V., Doanh, L.V *Máy biến áp*, nxb Khoa học & Kỹ thuật, 2002.
- [4] Hung, N.C. *Điện công nghệ*, nxb ĐHQG TP.HCM, 2001.
- [5] Binh, P.V., Doanh, L.V *Thiết kế máy biến áp*, nxb Khoa học & Kỹ thuật, 2003.
- [6] Tâm, B.T, Thiệu, T.V *Các phương pháp tối ưu hóa*, nxb GTVT, 1998.