

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BỘ THÍ NGHIỆM CAO ÁP 70/50 kV

RESEARCH AND MANUFACTURING HIGH VOLTAGE TEST SYSTEM 70/50 kV

Lê Xuân Sanh

Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Thiết bị thử cao áp xoay chiều, một chiều là một trong những thiết bị thí nghiệm chủ yếu của các công ty điện lực hay phòng thí nghiệm. Trong công tác thí nghiệm định kỳ, sau sự cố và đại tu máy được dùng để thí nghiệm điện áp tăng cao thử nghiệm cách điện, các thành phần và cấu trúc cách điện của thiết bị điện, từ đó xác định các khuyết tật (như phóng điện cục bộ)... Tuy nhiên, hiện nay trên thị trường Việt Nam có rất ít đơn vị sản xuất bộ thí nghiệm cao áp, mà chủ yếu mua từ nước ngoài với giá cao. Trước tình hình thực tế đó, tác giả đã nghiên cứu chế tạo bộ thí nghiệm cao áp nhằm làm chủ công nghệ và giảm giá thành, nâng cao tính thực tiễn, ứng dụng trong công tác giảng dạy tại trường đại học. Bài báo là kết quả nghiên cứu, tính toán, thiết kế và chế tạo bộ thí nghiệm 50 kV AC, 70 kV DC.

Từ khóa:

Máy thí nghiệm cao áp, thiết bị thí nghiệm, 70/50 kV.

Abstract

The high AC and DC voltage tester are one of the major equipment of power companies or laboratories. In routine laboratory work, after failure and overhaul, the machine is used to test the high voltage, insulation test, components and electrical structure of the electrical equipment, in order to identify defects such as partial discharge etc. However, there are very few units producing high voltage machines in Vietnam, mainly from foreign countries at high prices. In the face of that reality, the author has studied and built high voltage tester machines to master technology, reduce costs and improve practicality and application in teaching at university. The article is the result of reseaching, calculating, designing and manufacturing high voltage tester 50kV AC, 70kV DC.

Keywords :

High voltage tester, exprimental equipment, 70/50 kV.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phụ tải điện ngày càng tăng, các công ty điện lực quản lý vận hành với khối lượng máy biến áp, đường dây và các thiết bị

điện ngày càng lớn. Công tác thí nghiệm điện ở các công ty điện lực luôn cần phải sẵn sàng để đáp ứng nhu cầu khi có sự cố hay thí nghiệm định kỳ. Hiện nay, theo khảo sát của tác giả thì các công ty điện lực đang được trang bị các máy của Trung Quốc, Ukraina... có giá thành cao so với

Ngày nhận bài: 6/11/2017, ngày chấp nhận đăng: 8/12/2017, phản biện: TS. Trần Quang Khánh.

tự sản xuất; các chế độ bảo hành, sửa chữa phức tạp, mất nhiều thời gian. Vì vậy tác giả đã đề xuất nghiên cứu, sản xuất bộ thí nghiệm cao áp, nhằm làm chủ công nghệ, thuận lợi trong sử dụng, sửa chữa và từ đó có thể phát triển các sản phẩm khác. Bài báo trình bày quá trình tính toán, thiết kế và kiểm nghiệm bộ thí nghiệm (vì giới hạn dài của bài viết nên tác giả đã giản lược, chỉ trình bày các ý chính, hoặc công thức và kết quả cuối).

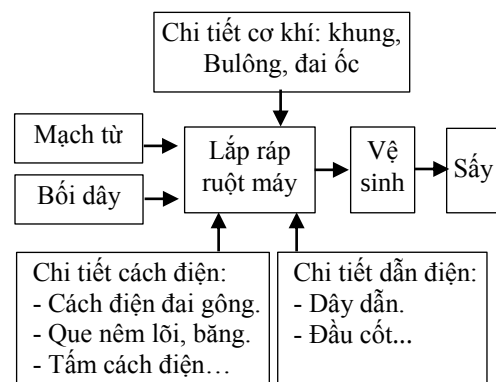
2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ TÍNH TOÁN

2.1. Các số liệu cơ sở, nguyên lý hoạt động và đề xuất quá trình chế tạo

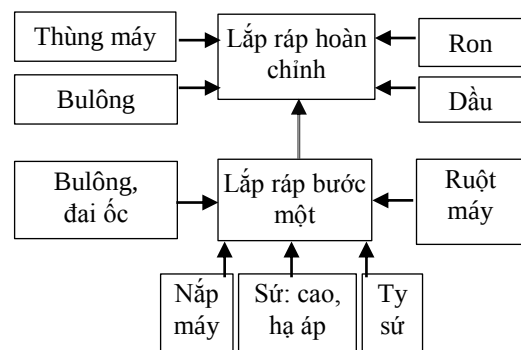
Các số liệu ban đầu: Công suất máy $S = 5 \text{ kVA}$; điện áp sơ cấp: $U_1 = 0 \div 220 \text{ V}$; Điện áp thứ cấp: $U_2 = 0 \div 50 \text{ kVAC}/70 \text{ kVDC}$; Tần số: $f = 50 \text{ Hz}$. Từ các số liệu trên, ta có các số liệu cơ bản: $I_1 = 22,7 \text{ A}$; $I_2 = 0,1 \text{ A}$. Máy sử dụng dầu biến áp làm môi chất cách điện và làm mát.

Nguyên lý hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ, tương tự các máy biến áp điện lực, nên thành phần cấu tạo chính của máy gồm: mạch từ, cuộn dây sơ - thứ cấp (hạ áp, cao áp), cách điện và các hệ thống đo lường, bảo vệ.

Khác cơ bản với máy biến áp điện lực là chế độ làm việc của máy, chỉ làm việc ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại, nên không cần bình dầu phụ và các chi tiết liên quan, nhóm tác giả đề xuất quá trình sản xuất máy gồm các bước chính: (1) sản xuất mạch từ, cuộn dây; (2) lắp ráp ruột máy; (3) Lắp ráp bước một; (4) Lắp ráp hoàn chỉnh và thử nghiệm, sơ đồ khối được thể hiện hình 1 và hình 2 [1].



Hình 1. Sơ đồ khối lắp ráp ruột máy

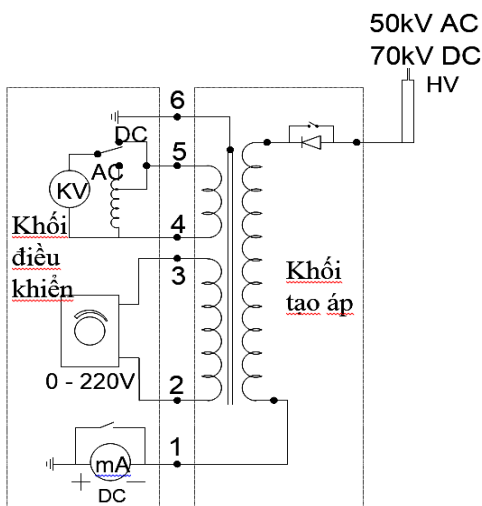


Hình 2. Sơ đồ khối lắp ráp hoàn chỉnh

2.2. Sơ đồ nguyên lý

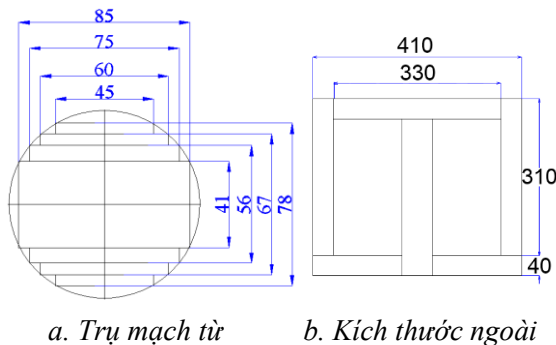
Mục đích máy làm công tác thí nghiệm, công suất 5 kVA , điện áp ra lớn nhất 50 kVAC , nên đề xuất sơ đồ nguyên lý như hình 3, gồm:

- Khối tạo áp: Máy biến áp tăng áp $220/50000 \text{ V}$ ($S = 5 \text{ kVA}$), dùng diot chỉnh lưu và tụ để tạo ra 70 kV DC (thiết bị thử nghiệm chủ yếu là tải mang tính dung như cáp thì không cần tụ, nếu là tải không có tính dung người thí nghiệm cần mang thêm tụ như thử chống sét...), các đầu ra là cuộn hạ áp, đo lường và nối đất.
- Khối điều khiển: Dùng máy biến áp tự ngẫu $220/(0 \div 250 \text{ V})$, các thiết bị bảo vệ, đóng cắt và đo lường.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý

2.3. Tính toán mạch từ



Hình 4. Kích thước mạch từ

Để thuận lợi trong chế tạo và cân đối, lựa chọn mạch từ hình chữ E, có 1 trụ tác dụng.

- Đường kính của trụ [2]:

$$d = 16 \cdot \sqrt[4]{\frac{S_t \cdot a_r \cdot k_r \cdot \beta}{f \cdot U_{ux} \cdot B_T^2 \cdot k_L^2}} \quad (1)$$

Trong đó:

$S_t = 5$ kVA: công suất trụ của máy;

$a_r = 3,17$ cm: chiều rộng quy đổi rãnh từ tản;

$k_r = 0,95$: hệ số Rogowski;

$\beta = 1,2$: hệ số hình dáng;

$f = 50$ Hz: tần số điện lưới;

$U_{nx} = 3,5\%$: thành phần phần trăm điện áp ngắn mạch phản kháng; (với $S = 5$ kVA, $U_C = 50$ kV, nên sơ bộ chọn là 3,5%);

$B_T = 1,1$ T: mật độ từ cảm trong trụ;

$k_L = 0,82$: hệ số lợi dụng.

Thay vào ta được:

$$d = 16 \cdot \sqrt[4]{\frac{5 \times 3,17 \times 0,95 \times 1,2}{50 \times 3,5 \times 1,1^2 \times 0,82^2}} = 9,47 \text{ cm},$$

chọn $d = 9,5$ cm.

- Lựa chọn hệ số hình dáng β : Cần chọn β sao cho tỉ lệ đồng và sắt phù hợp với nhau, máy biến áp thử nghiệm cần phân bố cuộn dây dọc theo chiều trụ sao cho phân bố điện trường đều đặn trên máy, sơ bộ chọn $\beta = 1,2$.

- Tiết diện hữu hiệu của trụ [2]:

$$T_T = k_L \cdot \pi \frac{d^2}{4} = 0,82 \cdot \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} = 58 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

Lựa chọn tôn cán lạnh mã hiệu 3404, dày 0,3 mm; thiết kế trụ có 4 bậc (hình 4a), gông tiết diện hình chữ nhật.

Bằng các công thức [2,3] tính toán, ta có các kích thước của mạch từ thể hiện trên hình 4b.

2.4. Tính toán dây dẫn

Tác giả áp dụng một số công thức trong [2,3,4,5], để tính các thông số của dây sơ cấp (hạ áp) và thứ cấp (cao áp).

2.4.1. Cuộn dây hạ áp

- Sức điện động của một vòng dây

$$U_V = 4,44 \cdot f \cdot B_T \cdot T_T \cdot 10^{-4} \text{ (V)} \quad (3)$$

Trong đó: $f = 50 \text{ Hz}$; $B_T = 1,1 \text{ T}$;

$$T_T = 58 \text{ cm}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } U_V &= 4,44 \times 50 \times 1,1 \times 58 \cdot 10^{-4} = \\ &= 1,41 \text{ (V)} \end{aligned}$$

- Số vòng dây của dây quấn hạ áp:

$$w_1 = \frac{U_1}{U_V} = \frac{220}{1,41} = 156 \text{ (vòng)} \quad (4)$$

- Mật độ dòng điện trung bình:

$$\begin{aligned} \Delta_{tb} &= 0,764 \cdot k_f \cdot \frac{p_n \cdot u_v}{S \cdot d_{12}} = \\ &= 0,764 \times 0,91 \cdot \frac{200 \times 1,41}{5 \times 10,93} = 3,59 \text{ (A/mm}^2\text{)} \quad (5) \end{aligned}$$

(Trong đó: $d_{12} = 10,93 \text{ cm}$ - đường kính rãnh dầu).

- Tiết diện sơ bộ của một vòng dây:

$$T'_1 = \frac{I_1}{\Delta_{tb}} = \frac{22,7}{3,59} = 6,32 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (6)$$

Với máy biến áp thí nghiệm, thời gian làm việc ngắn (ngắn hạn lặp lại), mục đích để giảm kích thước máy, nên lấy mật độ dòng điện lớn hơn ($6 \div 8 \text{ A/mm}^2$, sử dụng dây đồng, chịu nhiệt đến 180°C) so với máy biến áp thông thường. Do đó lựa chọn dây đồng tròn có đường kính $1,4 \text{ mm}$, tiết diện $1,539 \text{ mm}^2$, chập làm 2.

- Mật độ dòng điện thực tế dây hạ áp:

$$\Delta_1 = \frac{I_1}{T_{tt}} = \frac{22,7}{3,077} = 7,34 \text{ (A/mm}^2\text{)} \quad (7)$$

- Số vòng dây trong một lớp:

$$W_{11} = \frac{W_1}{n} = \frac{156}{2} = 78 \text{ (vòng)} \quad (8)$$

- Chiều cao dây quấn hạ áp:

$$\begin{aligned} l_1 &= h_{v1}(W_{11} + 1) + 1 = 2,9(78 + 1) + 1 \\ &= 230,1 \text{ (mm)} = 23 \text{ cm.} \end{aligned} \quad (9)$$

- Bề dày dây quấn hạ áp:

$$a_1 = 2 \cdot a' + a_{11} = 2 \times 0,145 + 0,6 = 0,89 \text{ (cm)} \quad (10)$$

- Đường kính trong cuộn dây hạ áp:

$$\begin{aligned} D'_1 &= d + 2 \cdot a_{01} \\ &= 9,5 + 2 \times 0,4 = 10,3 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (11)$$

- Đường kính ngoài cuộn dây hạ áp:

$$\begin{aligned} D''_1 &= D'_1 + 2 \cdot a_1 \\ &= 10,3 + 2 \times 0,89 = 12,08 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (12)$$

Cuộn dây hạ áp sau khi sản xuất như hình 5.



Hình 5. Cuộn hạ áp

2.4.2. Dây quấn cao áp

- Số vòng dây cuộn cao áp: Tính sơ bộ, theo tỉ số biến điện áp (chưa tính đến tổn hao):

$$W_2 = W_1 \frac{U_2}{U_1} = 156 \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{220} = 35454 \text{ (vòng)} \quad (13)$$

- Mật độ dòng điện sơ bộ:

$$\begin{aligned} \Delta'_2 &= 2 \cdot \Delta_{tb} - \Delta_1 \text{ (A/mm}^2\text{)} \\ &= 2 \times 3,1 - 3 = 3,2 \text{ (A/mm}^2\text{)} \end{aligned} \quad (14)$$

- Tiết diện vòng dây sơ bộ:

$$T'_2 = \frac{I_2}{\Delta'_2} = \frac{0,1}{3,2} = 0,031 \text{ (mm}^2\text{)} \quad (15)$$

- Lựa chọn dây dẫn: Vì dây quấn cao áp của máy biến áp thử nghiệm có tiết diện tương đối nhỏ. Do đó dây quấn phía cao áp của máy được chọn theo độ bền về cơ khí, không chọn độ bền về điện và với

mục đích để phòng ngắn mạch nên dây quấn phía cao áp được chọn có tiết diện lớn hơn từ 1,2÷1,5 lần so với tiết diện sơ bộ. Chọn dây đồng, có đường kính $d_2 = 0,25 \text{ mm}$, tiết diện $T_2 = 0,049 \text{ mm}^2$. Dây dẫn được tráng lớp êmay cách điện.

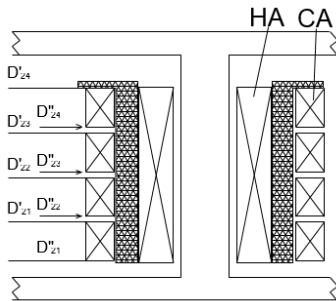
- Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = \frac{I_2}{T_2} = \frac{0,1}{0,049} = 2,04 \text{ (A/mm}^2\text{)} \quad (16)$$

- Tính số bánh dây:

$$n_{b2} = \frac{I_2 - \delta_d}{h_{b2} + \delta_d} - 1 = \frac{23}{5,84} = 3,9 \text{ (bánh)} \quad (17)$$

Lựa chọn 4 bánh vì ở giữa các bánh dây có tấm đệm nên ta chọn n_{b2} phải nhỏ, cách bố trí cuộn dây như hình 6.



Hình 6. Sơ đồ cách bố trí dây quấn cao áp (CA)

- Số vòng dây trong mỗi lớp bánh dây:

$$W_{12} = \frac{170}{U_v} = \frac{170}{1,41} = 145 \text{ (vòng)} \quad (18)$$

- Chiều cao một bánh dây: Để thuận tiện trong sản xuất nên các bánh dây được thiết kế như nhau:

$$h'_{b2} = \frac{l_2 - 5\delta_d}{n_{b2}} = \frac{23 - 5 \times 0,35}{4} = 5,31 \text{ (cm)} \quad (19)$$

- Số vòng dây trong mỗi lớp bánh dây:

$$W'_{12} = \frac{h_{b2}}{d'_2} - 1 = \frac{5,31}{0,04} - 1 = 132 \text{ (vòng)} \quad (20)$$

- Số vòng dây ở mỗi bánh:

$$W_{wb} = \frac{U_b \cdot 10^3}{U_v} = \frac{12 \times 5 \cdot 10^3}{1,41} = 8865 \text{ (vòng)} \quad (21)$$

- Số lớp trong mỗi bánh dây:

$$n_1 = \frac{w_b}{w'_{12}} = \frac{8865}{132} = 67 \text{ (lớp)} \quad (22)$$

- Chiều dày của dây quấn:

$$\begin{aligned} a_2 &= n_2 \cdot d'_2 + (n_1 - 1) \cdot \delta_{12} \\ &= 67 \times 0,04 + (67 + 1) \times 0,024 = 4,4 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (23)$$

- Đường kính trong dây quấn:

$$\begin{aligned} D'_2 &= D'_1 + 2 \cdot a_{12} \\ &= 12,08 + 2 \times 3 = 18,08 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (24)$$

- Đường kính ngoài dây quấn:

$$\begin{aligned} D''_2 &= D'_2 + 2 \cdot a_2 = 18,08 + 2 \times 4,4 \\ &= 25,88 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (25)$$

Cuộn dây cao áp sau khi sản xuất như hình 7. Quá trình lắp ráp ruột máy được thể hiện như hình 8.



Hình 7. Cuộn cao áp

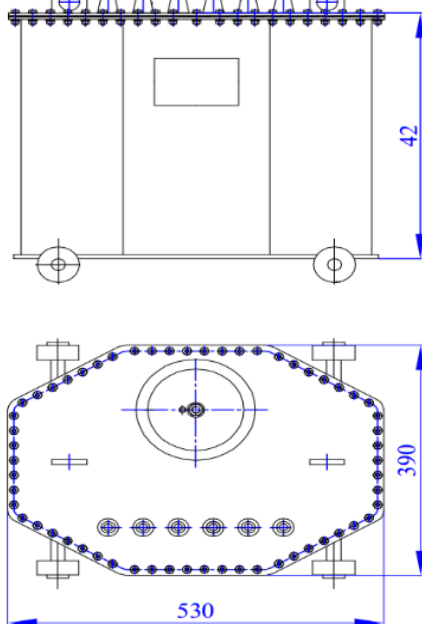


Hình 8. Lắp ráp ruột máy

2.5. Thiết kế thùng máy và khối điều khiển

2.5.1 Thùng máy

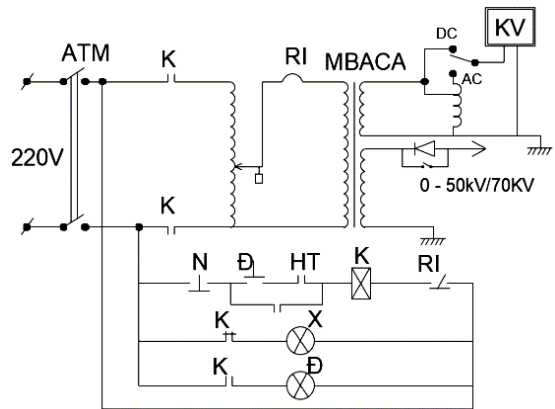
Với máy biến áp có điện áp 50 kV, dùng dầu biến áp làm cách điện ($E_{cđầu} = 14$ kV/mm), áp dụng các công thức [2,3,6], ta có được các kết quả: rộng × dài × cao (mm)



Hình 9. Kích thước thùng máy

2.5.2. Khối điều khiển

▪ *Phương án đo:* Để đơn giản trong chế tạo và lựa chọn phụ kiện, sử dụng phương pháp đo vôn gián tiếp (như sử dụng máy biến điện áp), tức là quấn thêm một cuộn đo lường ngoài cuộn hạ áp, sơ đồ nguyên lý như hình 1, (tính toán được số vòng là 36). Đo điện áp một chiều sử dụng công tắc trên khối điều chỉnh thay đổi số vòng dây của điện áp ra (đo lường) để đầu ra tương ứng tỉ lệ với 70:50.



Hình 10. Sơ đồ nguyên lý khối điều khiển

▪ *Phương án bảo vệ:* Sơ đồ nguyên lý đề xuất như hình 10, khi máy biến áp tự ngẫu điều chỉnh về 0 thì đóng công tắc hành trình (HT), mới có thể cấp điện (ấn Đ) cho khối cao áp, tránh cấp điện đột ngột với nguồn điện áp lớn vào khối tạo cao áp, có thể nguy hiểm cho thiết bị và người thí nghiệm.

Bảo vệ quá dòng đầu vào sử dụng role quá dòng RI, khối điều khiển hoàn thành như hình 11.



Hình 11. Mặt trên khối điều khiển

2.6. Kết quả và thảo luận

Khối tạo cao áp hoàn thành như hình 12, kết quả đo thử nghiệm bởi Viện Đo lường Việt Nam (VMI), kết quả đo như bảng 1:

Bảng 1. Kết quả đo của Viện Đo lường

Thang 50 kV AC (kV)				Thang 70 kV DC (kV)			
Giá trị đặt	Giá trị thực tế	Giá trị khi có tải	Sai số (%)	Giá trị đặt	Giá trị thực tế	Giá trị khi có tải	Sai số (%)
10.3	9.13	9.77	5.15	10.2	8.99	9.61	5.78
20.3	18.64	19.94	1.75	20.3	18.52	19.81	2.41
30.2	27.73	29.67	1.75	31.7	29.00	31.03	2.11
40.0	36.53	39.08	2.28	40.2	37.70	40.33	0.35
50.0	45.79	49.00	2.01	50.5	46.70	49.96	1.05
				60.5	55.93	59.84	1.08
				70.6	65.00	69.55	1.49

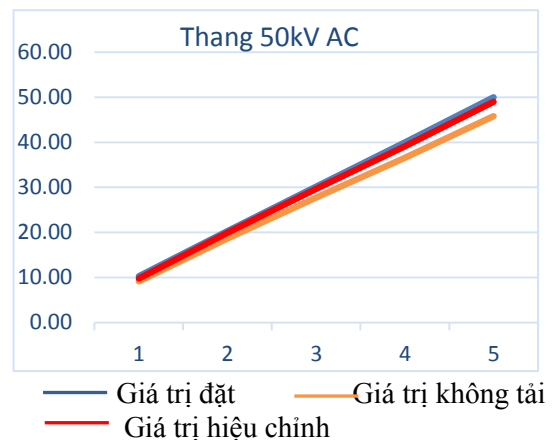
Giá trị đặt là giá trị hiển thị trên bộ thí nghiệm sản xuất; *giá trị thực tế* là giá trị hiển thị trên bộ đo chuẩn của VMI khi thử không tải; *giá trị khi có tải* là giá trị đo khi có tải được hiển thị trên đồng hồ của VMI. Cột tiếp theo là sai số phần trăm (của giá trị đo có tải và giá trị đặt). Kết quả thể hiện ta thấy các giá trị đều nhỏ hơn 3% (trừ giá trị hàng thứ nhất, có thể do sai số trong quá trình thực hiện), hiển thị dưới dạng đồ thị thang đo 50 kV AC như hình 13.

Trong quá trình tính toán, cần hiệu chỉnh các giá trị: tổn hao trong máy; điện áp tăng cao khi tải thử là tải tính dung. Trong thực tế, tùy thuộc tải tính dung lớn hay bé, tính chất của thiết bị, yêu cầu trị số điện áp thí nghiệm mà người thí nghiệm điều chỉnh điện áp ra phù hợp và theo yêu cầu.

Trong tính toán và lựa chọn giá trị để chế tạo các chi tiết, tác giả chưa thực hiện được (mô phỏng, thử nghiệm thực tế từng chi tiết để tìm giá trị tối ưu nhất), dựa trên tính toán và kinh nghiệm để chế tạo, nên nhiều chi tiết lựa chọn có thể chưa tối ưu theo lý thuyết.



Hình 12. Khối tạo cao áp hoàn thiện



Hình 13. Đồ thị thể hiện kết quả đo

Bài báo chưa đóng góp nhiều về ý nghĩa khoa học mới, chỉ đóng góp về mặt công nghệ chế tạo, từ tính toán lý thuyết đến làm thực tiễn, và khẳng định trình độ, kỹ thuật của chúng ta, sản xuất với giá thành chưa bằng nửa sản phẩm mua từ nước ngoài, có thể tiết kiệm ngoại tệ, nắm công nghệ chế tạo, chủ động sửa chữa. Tuy nhiên sản phẩm được phát triển hay không còn phụ thuộc chính sách, quan điểm của khách hàng.

3. KẾT LUẬN

Sau quá trình nghiên cứu và sản xuất, tác giả đã hoàn thành bộ thí nghiệm cao áp 70/50 kV với kích thước, trọng lượng và các thông số đạt được tương đương với các sản phẩm tương tự từ nước ngoài. Các thông số của máy được đo kiểm và chứng

nhận của Viện Đo lường Việt Nam, số V07.CN6.0148.17, ngày 19/10/2017, độ chính xác $\pm 3\%$ đáp ứng nhu cầu sử dụng cho Trường Đại học Điện lực, tăng tính thực tiễn, ứng dụng trong công tác giảng dạy, và hoàn toàn có thể sản xuất thương mại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Đức Sỹ, *Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [2] Phan Tử Thụ. *Thiết kế máy biến áp điện lực*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2002.
- [3] Phạm Văn Bình, Lê Văn Doanh, *Thiết kế máy biến áp*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003.
- [4] *Sổ tay vật liệu kỹ thuật điện*, Bộ điện và than, 1998.
- [5] Võ Viết Đan, *Giáo trình kỹ thuật điện cao áp*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2001.
- [6] Nguyễn Xuân Phú, Hồ Xuân Thanh, *Vật liệu kỹ thuật điện*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Lê Xuân Sanh** tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2003; thạc sĩ năm 2007 chuyên ngành hệ thống điện, tiến sĩ năm 2012 tại Đại học Khoa học và Công nghệ Hoa Ttrung, Trung Quốc, chuyên ngành hệ thống điện và tự động hóa. TS Lê Xuân Sanh hiện đang công tác tại Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: Lưới điện thông minh, lưới điện phân phối, khí cụ điện, thí nghiệm điện.