

# KHẢO SÁT TỪ TRƯỜNG RÒ TRONG CỦA SỐ MẠCH TỪ CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN BẰNG PHẦN MỀM ANSOFT

Nguyễn Chu Hùng

Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại Học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 16 tháng 5 năm 2002, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 05 tháng 8 năm 2002)

**TÓM TẮT:** Việc giải các bài toán trường, nhất là đối với các trường hợp của thực tế sản xuất là rất phức tạp. Thông thường mạch từ của các thiết bị điện như các máy biến áp, contactor, relais,... có dạng của số hình chữ nhật, ở đó từ trường rò ở các chế độ làm việc khác nhau cũng diễn ra rất phức tạp. Bài báo đưa ra hướng giải các bài toán phân bố trường trong khu vực có dạng hình chữ nhật và một số ví dụ sử dụng phần mềm Ansoft để khảo sát từ trường rò trong các dạng mạch từ thông dụng.

## I. CÁC PHƯƠNG TRÌNH VÀ BÀI TOÁN CƠ BẢN:

Nếu trong khu vực khảo sát không có sự hiện diện của các nguồn sinh ra từ trường H, phương trình thế vô hướng U có thể được thành lập dưới dạng:

$$(1) \quad \vec{H} = -\overline{\text{grad}U}$$

và bởi vì:

$$(2) \quad \text{div} \vec{B} = \text{div} \mu_0 \vec{H} = 0$$

nên khi thay (2) vào (1) ta nhận được phương trình Laplace:

$$(3) \quad \nabla^2 U = \Delta U = 0$$

Trong tọa độ x,y,x, có thể viết dưới dạng:

$$(4) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$$

Nếu trường không biến đổi ở 1 trong 3 trục tọa độ, phương trình (4) sẽ dẫn đến:

$$(5) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0$$

Trong hệ tọa độ trụ (r,x,φ), tương ứng với các phương trình (4) và (5) sẽ là:

$$(6) \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{dU}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$$

$$(7) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$$

Nếu trong vùng khảo sát có sự hiện diện của nguồn từ trường (mật dòng  $\vec{\gamma}$ ), thì:

$$(8) \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{\gamma}$$

và khi từ trường được xác định bằng vector thế  $\vec{A}$  theo :

$$(9) \quad \vec{B} = \text{rot} \vec{A} \quad (\text{div} \vec{A} = 0)$$

Thay (9) vào (8) ta nhận được phương trình Poisson :

$$(10) \quad \nabla^2 \vec{A} = \Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{\gamma}$$

Trong hệ tọa độ x, y, z :

$$(11) \quad \nabla^2 A_x = -\mu_0 \gamma_x$$

$$(12) \quad \nabla^2 A_y = -\mu_0 \gamma_y$$

$$(13) \quad \nabla^2 A_z = -\mu_0 \gamma_z$$

Nếu  $\gamma_x = \gamma_y = 0$  và  $\gamma_z \neq 0$ , ta sẽ có trường song phẳng và vector thế chỉ có thành phần ở trục z, trong trường hợp này (13) có dạng :

$$(14) \quad \frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = -\mu_0 \gamma_z$$

Khi lưu ý tới biểu thức (9), đối với trường song phẳng có thể viết :

$$(15) \quad B_x = \frac{\partial A}{\partial y}; \quad B_y = \frac{\partial A}{\partial x}$$

Trong hệ tọa độ (r, z,  $\phi$ ) vì  $\gamma_r = \gamma_z = 0$  ;  $\gamma_\phi \neq 0$  vector thế chỉ có thành phần theo trục  $\phi$ , nên phương trình Poisson có dạng :

$$(16) \quad \frac{\partial^2 A_\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_\phi}{\partial r} - \frac{A_\phi}{r^2} + \frac{\partial^2 A_\phi}{\partial z^2} = -\mu_0 \gamma_\phi$$

Các thành phần của trường là:

$$(17) \quad B_r = -\frac{\partial A_\phi}{\partial z}; \quad B_z = \frac{1}{r} \frac{\partial(rA_\phi)}{\partial r}; \quad B_\phi = 0$$

Nghiệm chung của phương trình (10) đối với môi trường đồng nhất là :

$$(18) \quad \vec{A} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_{(v)} \frac{\vec{\gamma} dv}{z}$$

Ở đây :

v- Thể tích của vùng chiếm bởi các dòng điện có mật độ  $\vec{\gamma}$

r- Khoảng cách từ phần tử dv đến điểm xác định vector thế.

Nghiệm chung của phương trình (14) đối với môi trường đồng nhất là :

$$(19) \quad A = \frac{\mu_0}{2\pi} \int_{(s)} \frac{\gamma}{r} ds$$

với s – Tiết diện dây dẫn có mật dòng  $\gamma$ .

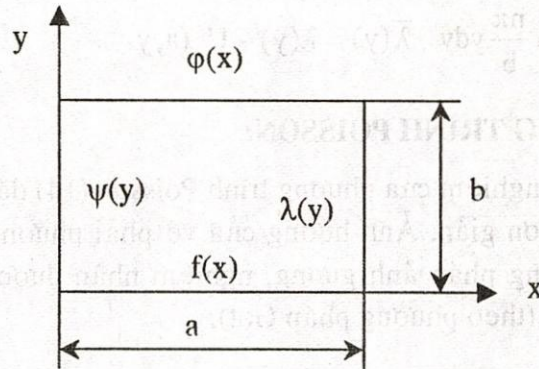
Từ (19) suy ra rằng vector thế của dòng điện tuyến tính sẽ là :

$$(20) \quad A = -\frac{\mu_0}{2\pi} I \ln r$$

Nếu biết vector thế A của trường song phẳng thì từ thông  $\phi$  trên 1 đơn vị dài của trường khép kín qua 2 điểm M và N là :

$$(21) \quad \phi_{MN} = A(M) - A(N)$$

### III. GIẢI BÀI TOÁN DIRICHLET TRONG VÙNG KHẢO SÁT HÌNH CHỮ NHẬT:



Hình 1

Nếu vùng khảo sát là hình chữ nhật (hình 1) dọc theo các cạnh a và b các hàm thế được cho dưới dạng :

$$(22) \quad \begin{aligned} U(y=0) &= f(x); U(x=0) = \psi(y) \\ U(y=b) &= \varphi(x); U(x=a) = \lambda(y) \end{aligned}$$

và nếu chúng thoả mãn điều kiện liên tục:

$$(22') \quad \begin{aligned} f(0) &= \psi(0); f(a) = \lambda(0); \\ \lambda(b) &= \varphi(a); \varphi(0) = \psi(b) \end{aligned}$$

thì nghiệm của bài toán Diricle đối với phương trình (5) được trình bày bằng biểu thức :

$$(23) \quad U(x,y) = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[ \bar{\varphi}_n \frac{\text{sh} \frac{n\pi}{a} y}{\text{sh} \frac{n\pi}{a} b} + \bar{f}_n \frac{\text{sh} \frac{n\pi}{a} (b-y)}{\text{sh} \frac{n\pi}{a} b} \right] \sin \frac{n\pi}{a} x + \left[ \bar{\lambda}_n \frac{\text{sh} \frac{n\pi}{b} x}{\text{sh} \frac{n\pi}{b} a} + \bar{\psi}_n \frac{\text{sh} \frac{n\pi}{b} (a-x)}{\text{sh} \frac{n\pi}{b} a} \right] \sin \frac{n\pi}{b} y \right\} + U_0(x,y)$$

Ở đây :

$$U_0(x,y) = A + Bx + Cy + Dxy$$

$$A = f(0); B = \frac{f(a) - f(0)}{a}; C = \frac{\psi(b) - \psi(0)}{b}$$

$$D = \frac{[\varphi(a) - \varphi(0)] - [f(a) - f(0)]}{a \cdot b}$$

$$\bar{f}_n = \frac{2}{a} \int_0^a f(x) \sin \frac{n\pi}{a} x dx; \quad \bar{f}(x) = f(x) - U_o(x, 0)$$

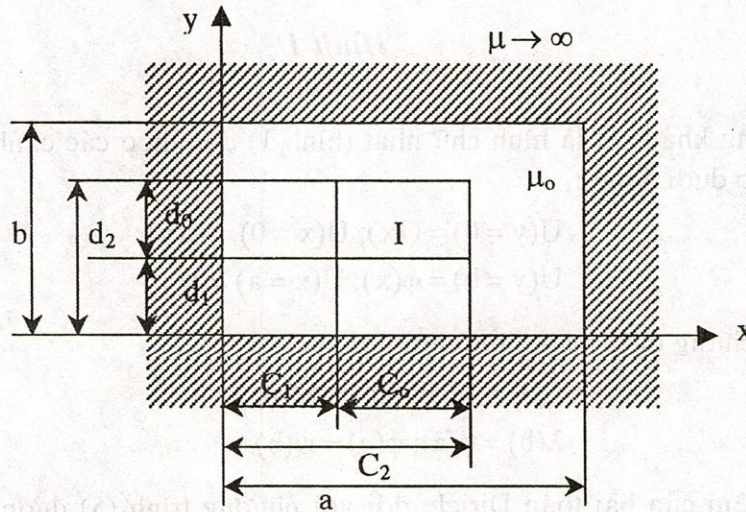
$$\bar{\varphi}_n = \frac{2}{a} \int_0^a \bar{\varphi}(x) \sin \frac{n\pi}{a} x dx; \quad \bar{\varphi}(x) = \varphi(x) - U_o(x, b)$$

$$\bar{\psi}_n = \frac{2}{a} \int_0^b \bar{\psi}(y) \sin \frac{n\pi}{b} y dy; \quad \bar{\psi}(x) = \psi(y) - U_o(0, y)$$

$$\bar{\lambda}_n = \frac{2}{b} \int_0^b \bar{\lambda}(y) \sin \frac{n\pi}{b} y dy; \quad \bar{\lambda}(y) = \lambda(y) - U_o(a, y)$$

**III. NGHIỆM CỦA PHƯƠNG TRÌNH POISSON:**

Phương pháp xác định nghiệm của phương trình Poisson (14) đặc biệt dễ dàng khi các bề mặt sắt từ có hình dạng đơn giản. Ảnh hưởng của vế phải phương trình Poisson có thể nhận được khi áp dụng phương pháp ảnh gương, nghiệm nhận được dưới dạng chuỗi đơn (theo Rogovski) và chuỗi kép (theo phương pháp Got).



Hình 2

Hình 2 biểu diễn một rãnh không khí hình chữ nhật trong môi trường sắt từ có từ thẩm  $\mu \rightarrow \infty$ , trong đó có đặt một thanh dẫn chữ nhật với dòng điện I và mật độ dòng  $\gamma = \frac{I}{C_o d_o}$ . Nghiệm của phương trình (14) trong vùng chữ nhật theo phương pháp Rot ở điều

kiện biên:  $\frac{\partial A}{\partial n} = 0$  với n – pháp tuyến ngoài đối với vùng khảo sát. Có dạng:

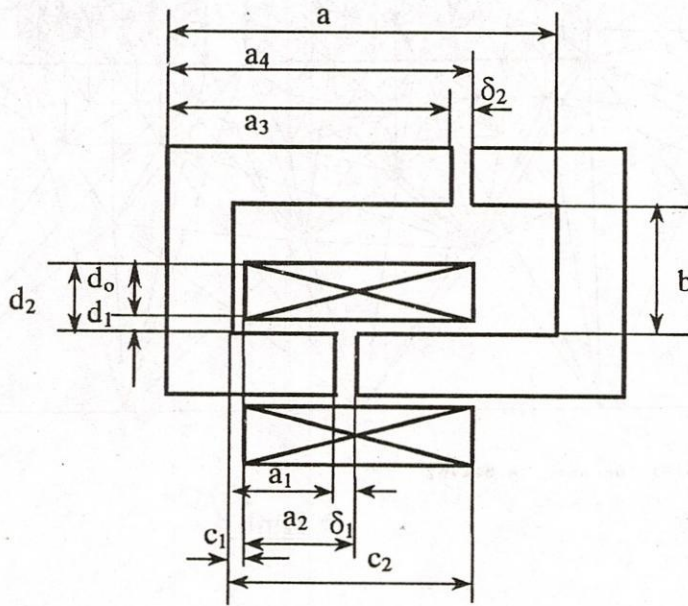
$$\frac{2\mu_o I}{ab} \left\{ 2 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi}{a} C_1}{C_o \frac{m\pi}{a}} \cdot \frac{\sin \frac{n\pi}{b} d_2 - \sin \frac{n\pi}{b} d_1}{d_o \frac{n\pi}{b}} \cdot \frac{\cos \frac{m\pi}{a} x \cdot \cos \frac{n\pi}{b} y}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi}{a} C_2 - \sin \frac{m\pi}{a} C_1}{C_o \frac{m\pi}{b}} \cdot \frac{\cos \frac{m\pi}{a} x}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{b} d_2 - \sin \frac{n\pi}{b} d_1}{d_o \frac{n\pi}{b}} \cdot \frac{\cos \frac{n\pi}{b} y}{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \right\} + C \tag{24}$$

Trong đó C là hằng số tùy ý.

Để giữ cho điều kiện  $B_1 = \frac{\partial A}{\partial n} = 0$  thì tổng toàn phần của các dòng điện trong rãnh phải bằng không có nghĩa là ít nhất phải có hai thanh dẫn với các dòng điện ngược chiều +I và -I đặt trong rãnh, khi đó nghiệm nhận được phải được thực hiện theo phương pháp xếp chồng.

**IV. KHẢO SÁT TỪ TRƯỜNG RÒ TRONG CỦA SỔ MẠCH TỪ.**

a/. Nghiệm chung : Xét mạch từ như được trình bày trong hình 3, trong đó có 2 khe hở  $\delta_1$  và  $\delta_2$  và cuộn dây chung có N số vòng dây, với dòng điện I.



**Hình 3**

Nghiệm của (14) trong hệ trục tọa độ xoy có dạng :

(25)

$$A = \frac{2\mu_0 IN}{ab} \left\{ 2 \sum_{h=2}^{\infty} \sum_{k=2}^{\infty} [PQ - R + S(-1)^k] \cdot \frac{\cos m_h x \cos n_k y}{m_h^2 + n_k^2} + \sum_{h=2}^{\infty} (P - R - S) \frac{\cos m_h x}{m_h^2} + \sum_{k=2}^{\infty} \left[ Q - \frac{\delta_1 (-1)^k \delta_2}{\delta} \right] \frac{\cos n_k y}{n_k^2} \right\} + A_0 \quad \text{v}$$

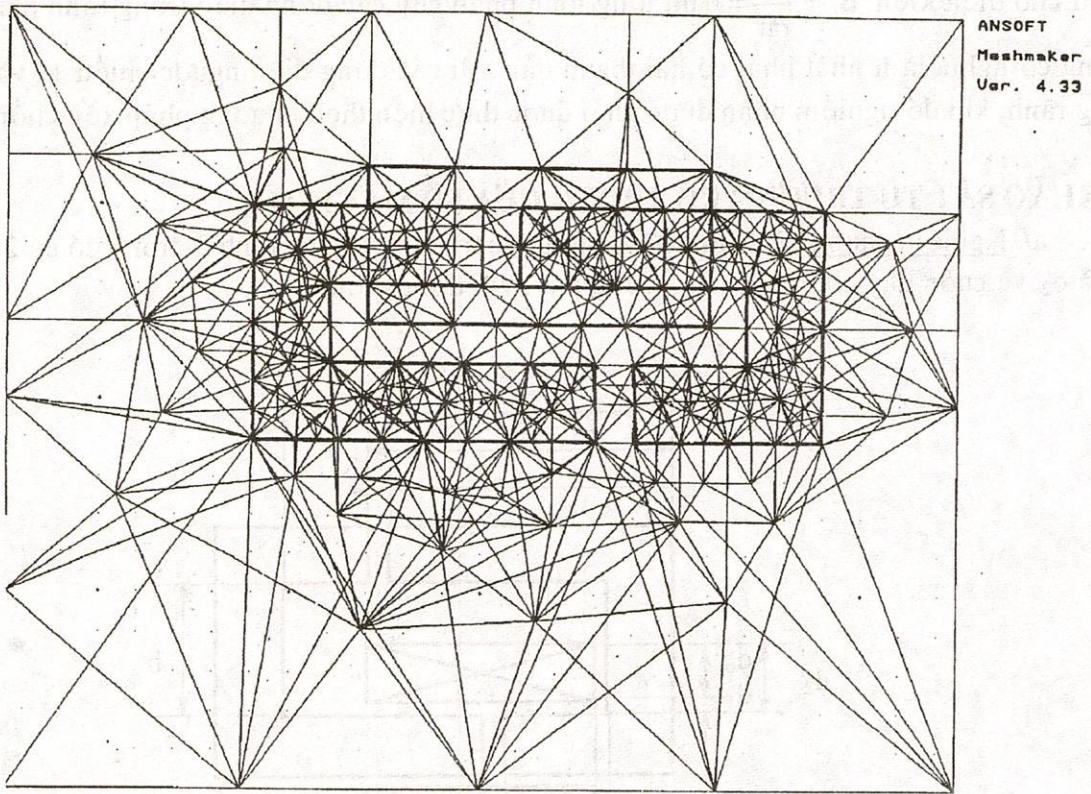
ở đó  $A_0$  là hằng số tùy ý.

$$P = \frac{\sin m_h C_2 - \sin m_h C_1}{C_0 m_h} ; \quad Q = \frac{\sin n_k d_2 - \sin n_k d_1}{d_0 n_k} ;$$

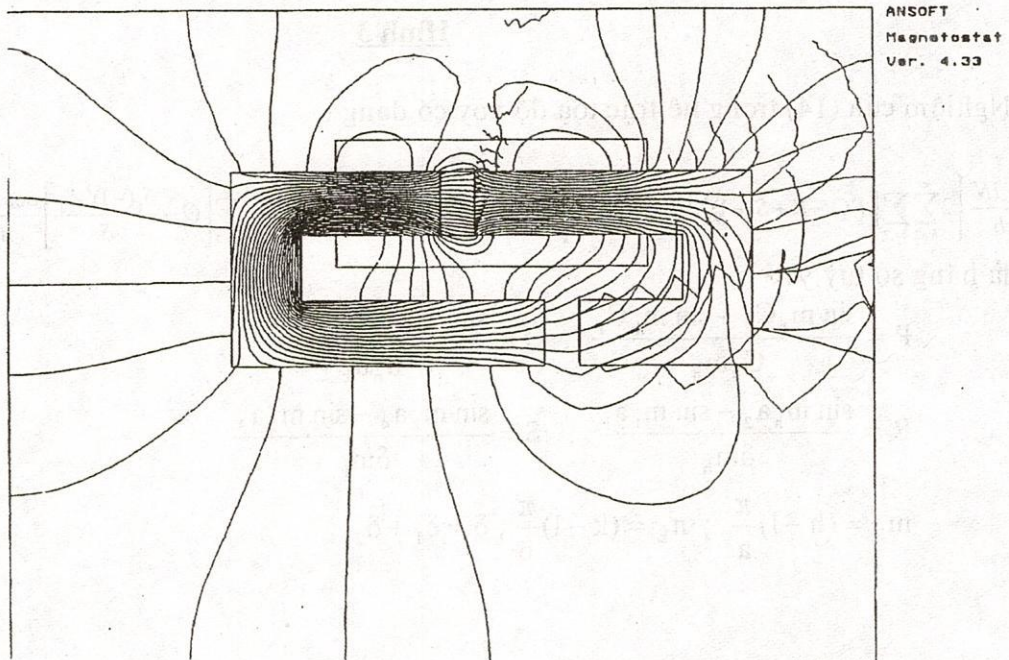
$$R = \frac{\sin m_h a_2 - \sin m_h a_1}{\delta m_h} ; \quad S = \frac{\sin m_h a_4 - \sin m_h a_3}{\delta m_h}$$

$$m_h = (h-1) \frac{\pi}{a} ; \quad n_k = (k-1) \frac{\pi}{b} ; \quad \delta = \delta_1 + \delta_2$$

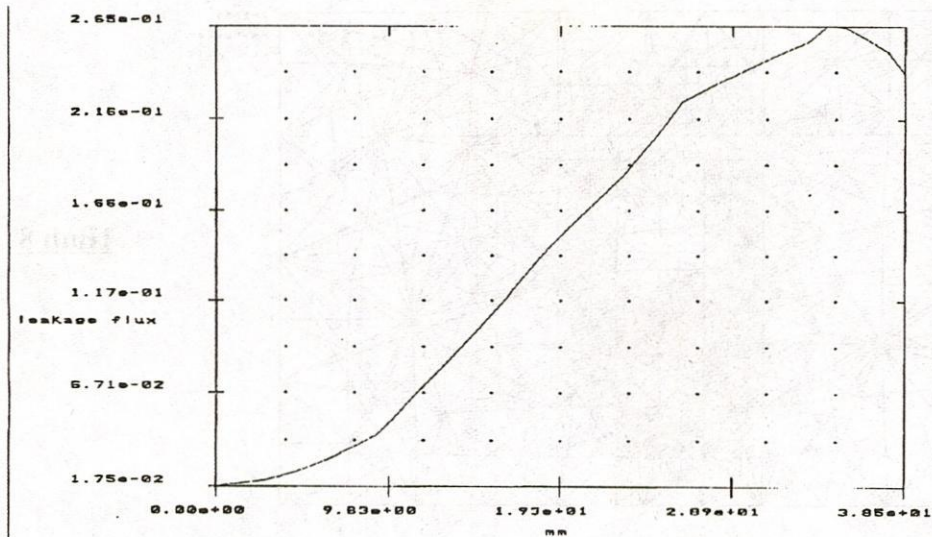
b/. Ứng dụng phần mềm Ansoft để khảo sát mạch từ chung trong hình 3



**Hình 4**



**Hình 5**

**Hình 6**

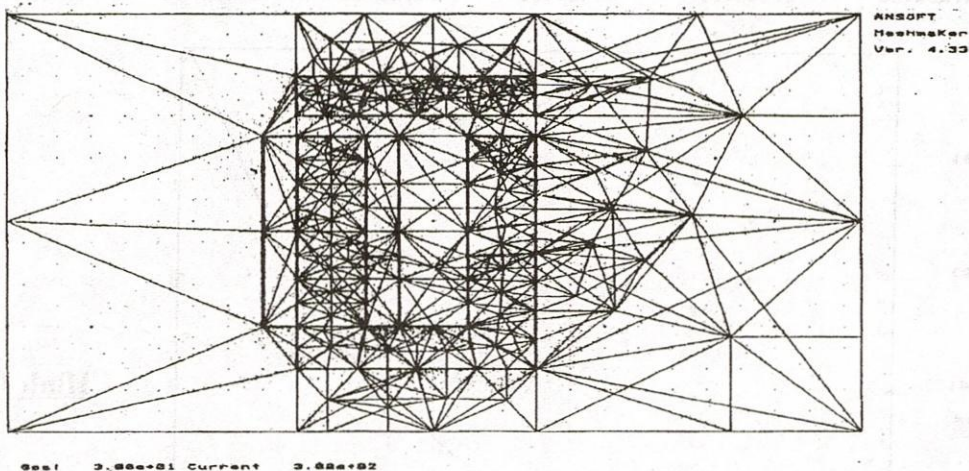
Hình 4 cho thấy vùng khảo sát được chia thành lưới các phần tử hữu hạn tam giác, hình 5, cho lời giải từ trường trong khu vực khảo sát và hình 6 cho thấy phân bố từ thông rò trong cửa sổ chữ nhật của mạch từ.

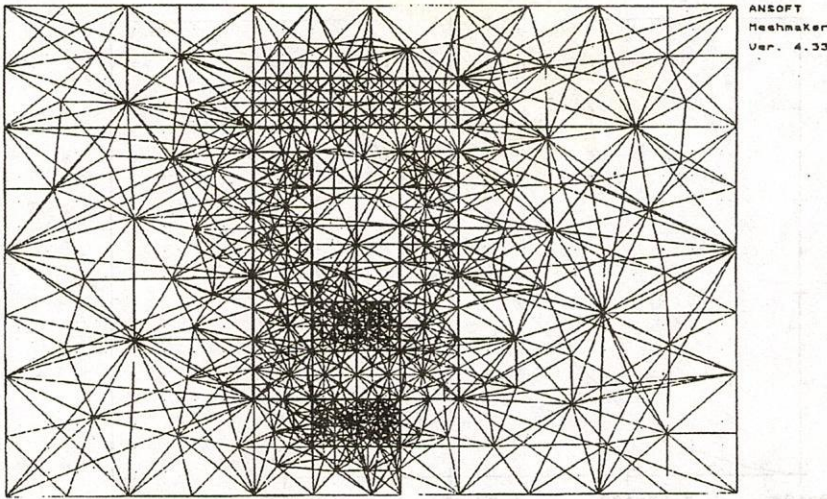
c/. Một số trường hợp riêng đáng chú ý :

Hai trường hợp phổ biến đối với các dạng mạch từ sử dụng trong khí cụ điện được đưa ra trong hình 7 và hình 8.

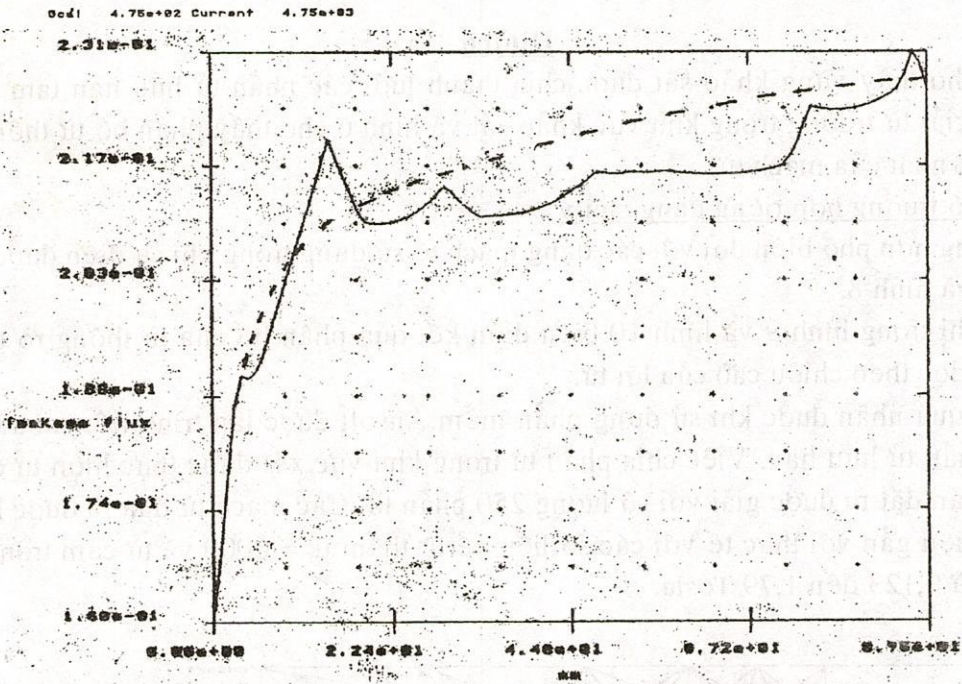
Các đồ thị trong hình 9 và hình 10 biểu diễn kết quả phân bố của từ thông rò trong cửa sổ mạch từ dọc theo chiều cao của lõi từ.

Các kết quả nhận được khi sử dụng phần mềm Ansoft được lập trình trên cơ sở của phương pháp phần tử hữu hạn. Việc chia phần tử trong khu vực xét được thực hiện tự động trên máy. Bài toán đặt ra được giải với số lượng 250 phần tử. Các mạch từ đưa ra được khảo sát trong điều kiện gần với thực tế với các số liệu về từ thẩm  $\mu_r = 6000$  và từ cảm trong lõi thép dao động từ 0,123 đến 1,79 Tesla.

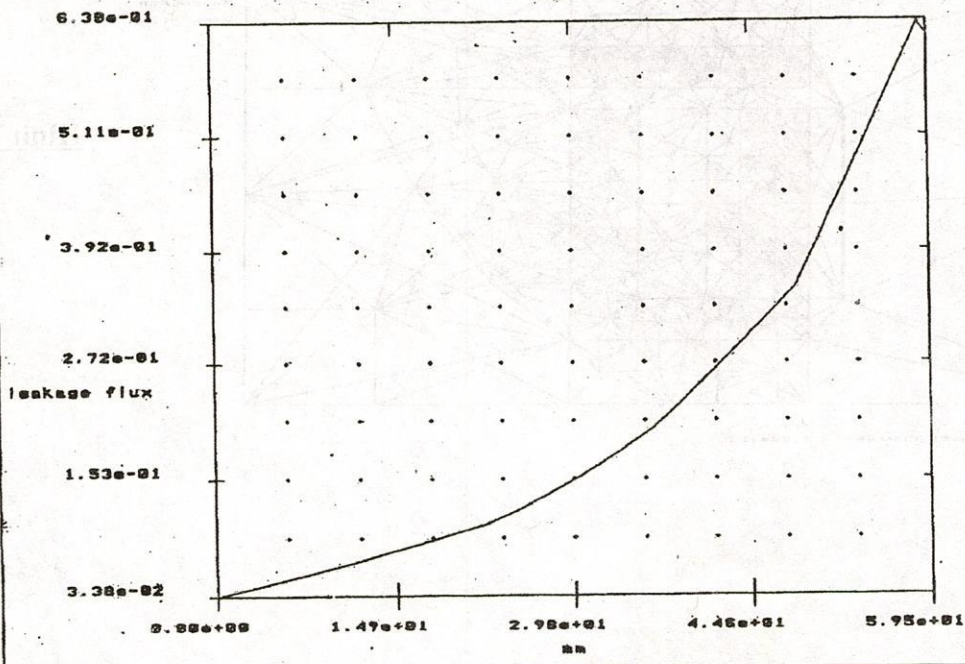
**Hình 7**



Hình 8



Hình 9



Hình 10



## VI. KẾT LUẬN:

Việc khảo sát từ trường rò trong cửa sổ mạch từ về phương diện lý thuyết và thực nghiệm luôn được các nhà chuyên môn quan tâm. Đây không phải là vấn đề mới mẻ. Trên thực tế, việc giải các bài toán tương tự luôn phải đi kèm với những giả thuyết, nhằm giảm bớt mức độ phức tạp của các mô hình khảo sát và làm cho bài toán đặt ra có thể nhận được kết quả. Tuy nhiên, các kết quả như vậy có thể sẽ kém chính xác, nhất là đối với các mô hình khảo sát gần với thực tế ví dụ như từ trường rò trong các máy biến áp hàn, trong các máy biến áp hoạt động ở trạng thái bão hoà...

Áp dụng phần mềm Ansoft dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn đã phần nào khắc phục được những nhược điểm kể trên mà tác giả đã minh hoạ trong các trường hợp tính toán đưa ra.

## RESEARCHING ON LEAKAGE FLUX IN THE ELECTRICAL EQUIPMENTS ADDED BY ANSOFT SOFTWARE

Nguyen Chu Hung

Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Technology – VNU-HCM

**ABSTRACT:** This paper concerns the application of the Ansoft software in studying of the leakage flux in the window within magnetic circuits. The results given by the paper show us the capacity of the software in resolving some classes of models of higher complexity.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A.K Alexandrov, P.R Penchev; *Magnetic permeance*; Vmei Sophia, 1985.
2. A.K. Alexandrov, P.I Florov; *Magnetic field and strey inductance of transformers*, Budapest, 1982.
3. Mc. Eachron, B. Karl; *Magnetic flux Distribution in transformers*, ALEE, S,247-264, 1922.
4. J. Granier; *L'étude des champs phisique*, 1941.
5. N.C.Hùng; T.T.C.Hưng; *Kỹ thuật điện 1*; ĐHQG-HCM, 2001