

THIẾT KẾ TỐI ƯU NAM CHÂM ĐIỆN TÁC ĐỘNG ĐẨY, MẠCH TỬ HÌNH TRỤ

Nguyễn Chu Hùng

Khoa Điện – Điện Tử Trường Đại Học Kỹ Thuật
(Nhận được ngày 15/04/1998)

Tóm tắt:

Các loại nam châm điện thường gặp đều có tác động một chiều. Khi đưa dòng điện vào cuộn dây của nó, phần nắp chuyển động bị hút về phía cực từ. Chuyển động ngược lại được thực hiện nhờ hệ thống lò xo phản lực. Nam châm điện đẩy, có thể thực hiện sự chuyển động theo hai chiều của phần ứng khi thay đổi dòng điện qua các cuộn dây. Bài báo giới thiệu phương pháp và trình tự tính toán nam châm điện đẩy có mạch tử hình trụ.

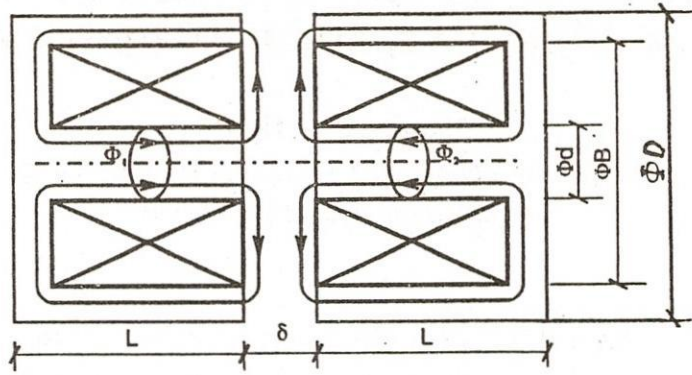
Nam châm điện gặp trong thực tế thường là loại tác động hút. Khi đưa dòng điện (điện áp) vào cuộn dây kích thích, bất kể chiều dòng điện đó là như thế nào, một chiều hay xoay chiều, phần ứng của nam châm điện đều bị hút về phía các cực tương ứng của mạch từ.

Bài báo này sẽ đề cập tới việc thiết kế một loại nam châm điện có nguyên lý hoạt động hơi khác một chút được gọi là nam châm điện tác động đẩy. Nam châm điện tác động đẩy bao gồm hai nửa mạch từ có cùng hình dạng và kích thước. Trên mỗi một nửa mạch từ có đặt cuộn dây kích thích. Các cuộn dây kích thích này hoàn toàn giống nhau về mọi phương diện (hình vẽ 1). Khi hai cuộn dây được đấu với nhau ngược cực tính và được nối vào nguồn điện một chiều, ở mỗi nửa mạch từ đều xuất hiện từ thông khép kín qua khe hở không khí và phần mạch từ của mình. Trong khe hở không khí, các từ thông này tác động tương hỗ với nhau, sinh ra lực đẩy giữa hai phần của nam châm điện.

Các quan hệ cơ bản của nam châm điện loại này như sự phụ thuộc giữa từ dẫn khe hở không khí và sự biến thiên của khe hở không khí $G = f(\delta)$, đặc tính cơ $P = f(\delta)$ khi $lw = \text{const}$ đã được nghiên cứu kỹ lưỡng và được công bố trong các tài liệu tham khảo [1,2].

Nhiệm vụ thiết kế được phát biểu như sau: Hãy xác định các kích thước chính của mạch từ và cuộn dây nam châm điện, thỏa mãn các thông số cho trước và thỏa mãn các điều kiện về phát nóng và mật độ từ thông trong mạch từ.

Các đại lượng cho trước là: lực đẩy của nam châm điện P tại một giá trị xác định của khe hở không khí δ_{dm} , nhiệt độ của môi trường xung quanh và điện áp nguồn U_{dm} .



Hình 1

Kích thước của mạch từ được biểu diễn thông qua các đại lượng không số đo như sau:

$$(1.1) \quad x = \frac{B}{D}, \quad y = \frac{d}{D}, \quad z = \frac{L}{D}, \quad \delta^* = \frac{\delta}{D}$$

Theo [1] đặc tính cơ của nam châm điện tác động đẩy có thể viết dưới dạng:

$$(1.2) \quad P^* = \frac{P}{P_0} = \frac{a}{(a\delta^* + 1)^2}$$

Trong công thức trên, theo [1], $a = a_0 \cdot e^{k(x-0,7)}$.

$$P_0 = F^2 \frac{G_\infty}{D}, \quad G_\infty = \mu_0 X D \ln \left(1 + 2 \frac{1-x}{x-y} \right)$$

Đặc tính (1.2) sẽ đạt giá trị lớn nhất tại khe hở không khí cho trước, khi thỏa mãn điều kiện sau:

$$(1.3) \quad \frac{dp^*}{dX} = 0 \text{ và } \frac{dp^*}{dY} = 0$$

Sau khi đưa điều kiện (1.3) vào trong công thức (1.2) thấy rằng cực trị của đặc tính đạt được ở điều kiện:

$$(1.4) \quad A \cdot \delta_{\text{tử}}^* = 1$$

Khi đó lực từ sẽ là:

$$(1.5) \quad P_{\text{tử}}^* = \frac{1}{4\delta_{\text{tử}}^*}$$

Suy ra nếu lực từ cho trước thỏa mãn điều kiện (1.5) thì nam châm điện được thiết kế theo các số liệu ban đầu như thế sẽ đảm bảo có lực đẩy cực đại. Vậy nếu:

$$(1.6) \quad P_{\text{bd}}^* = P_{\text{tử}}^* \text{ và } \delta_{\text{bd}}^* = \delta_{\text{tử}}^* \text{ thì}$$

$$P_{\text{bd}}^* = P_{\text{tử}}^* = F^2 \frac{G_\infty}{D} \frac{1}{4\delta_{\text{tử}}^*}$$

Mặt khác, sức từ động F của cuộn dây kích thích có thể biểu diễn thông qua kích thước mạch từ:

$$(1.7) \quad F = jK_{\text{ld}} S_{\text{cs}} = jK_{\text{ld}} D^2 \frac{X-Y}{2} Z$$

Ở đây j là mật độ dòng điện cho phép của dây dẫn, K_{ld} - hệ số lấp đầy cuộn dây.

Công suất tổn hao do sự phát nóng của cuộn dây là:

$$(1.8) \quad W = K_{\tau} \tau S_m = K_{\tau} \tau 2\pi D^2 Z (X + K_{\beta} Y)$$

Trong biểu thức (1.8) K_{τ} là hệ số tỏa nhiệt của mạch từ, τ là độ chênh lệch nhiệt độ của cuộn dây, S_m - bề mặt làm mát, K_{β} - hệ số tính đến sự tỏa nhiệt của bề mặt bên trong cuộn dây so với bề mặt bên ngoài của nó.

Công suất tổn hao W cũng có thể xác định thông qua dòng điện và điện trở dây dẫn như sau:

$$(1.9) \quad W = J^2 \rho_{\tau} K_{ld} V_{cd} = J^2 \rho_{\tau} K_{ld} \pi D^3 [(X/2)^2 - (Y/2)^2] Z$$

ρ_{τ} là điện trở suất của dây dẫn ở trạng thái nóng.

Kết hợp các biểu thức (1.7), (1.8), (1.9) nhận được:

$$(1.10) \quad F = Z.D \sqrt{\frac{2K_{\tau} K_{ld} \epsilon (X + K_{\beta} Y)(X - Y)}{\rho_{\tau} (X + Y)}} D$$

$$(1.11) \quad Q = \frac{2P_{bd} \rho_{\tau}}{\mu_0 K_{\tau} K_{ld} \tau \delta_{bd}^2} = \frac{XZ^2 (X + K_{\beta} Y)(X - Y)}{\delta^{*4} (X + Y)} \ln \frac{2 - X - Y}{X - Y}$$

Q được xác định từ các đại lượng cho trước ban đầu.

Từ cảm của lõi thép mạch từ ở vị trí có độ từ thông lớn nhất chạy qua không được vượt quá giá trị cho phép tương ứng với vật liệu sắt từ. Ta có:

$$(1.12) \quad B_{max} = \frac{\Phi_{max}}{S_0} = \frac{\sigma \Phi_{\delta_{max}}}{S_0} \leq B_{cf}$$

Ở đây $\sigma > 1$ là hệ số rò của mạch từ, S_0 là tiết diện lõi thép mạch từ ở chỗ có từ thông lớn nhất chạy qua, $\Phi_{\sigma_{max}}$ là giá trị lớn nhất của từ thông qua khe hở không khí.

Mặt khác:

$$(1.13) \quad \Phi_{\delta_{max}} = F G_{max}$$

còn

$$(1.14) \quad G_{max} = G_{\infty} \left(1 - \frac{1}{a \cdot \delta_{max}^* + 1}\right)$$

Khi khe hở không khí δ_{max} tiến tới ∞ thì G_{max} tiến tới G_{∞}

Hệ số rò σ phụ thuộc vào kích thước và độ lớn của nam châm điện và khe hở không khí. Nó tăng lên khi khe hở không khí giảm.

Thực nghiệm tiến hành trên một số lượng đủ lớn của nam châm điện cùng loại [2] đã đo được các giá trị σ ở khe hở không khí vô cùng lớn như sau (bảng 1.1) :

Bảng 1.1

Mẫu số	1	2	3	4	5	6	7	8
Hệ số rò	3,66	4,9	4,5	5,08	3,87	3,6	4,5	4,08
Mẫu số	10	11	12	13	14	15	16	17
Hệ số rò	3,47	3,59	4,49	3,85	4,07	4,6	3,7	3,28

Kết hợp các biểu thức (1.12), (1.13), (1.14) ta nhận được các biểu thức sau:

$$(1.15) \quad R = \frac{B_{of} \pi}{4\mu_0 \sigma} \frac{1}{1 - \frac{1}{a \cdot \delta_{max}^* + 1}} \sqrt{\frac{\rho \tau}{2K_{ld} K \tau \delta}} = \frac{XZ}{Y^2} \sqrt{\frac{(X + K\beta Y)(X - Y)}{(X + Y) \cdot \delta^*}} \ln \frac{2 - X - Y}{X - Y}$$

Khi $\delta_{max} \rightarrow \infty$

$$(1.16) \quad R = \frac{B_{of} \pi}{4\mu_0 \sigma} \sqrt{\frac{\rho \tau}{2K_{ld} K \tau \delta}} = \frac{XZ}{Y^2} \sqrt{\frac{(X + K\beta Y)(X - Y)}{(X + Y) \cdot \delta^*}} \ln \frac{2 - X - Y}{X - Y}$$

Hàm mục tiêu – chọn hàm mục tiêu là thể tích của nửa mạch từ nam châm điện:

$$(1.17) \quad V = \frac{\pi}{4} D^2 L = \frac{\pi}{4} Z \left(\frac{\delta}{\delta^*} \right)^3$$

Thể tích biểu diễn thông qua các đại lượng số đo có dạng:

$$(1.18) \quad V' = \frac{V}{\left(\frac{\pi}{4} \right) \delta^3} = \frac{Z}{\delta^{*3}}$$

Kết hợp các biểu thức (1.11), (1.16) và (1.18) ta có:

$$(1.19) \quad V' = \frac{V}{\left(\frac{\pi}{4} \right) \delta^3} = \frac{Z}{\delta^{*3}} = \sqrt{\frac{x + y}{x + k_{\beta} y}} \frac{1}{x - y} \sqrt[3]{\frac{1}{R^2 y^4}} \sqrt[6]{\frac{Q^5}{x \ln \frac{2 - x - y}{x - y}}}$$

Khi $\delta \rightarrow \infty, V' \rightarrow V$

Bài toán tối ưu được phát biểu như sau:

Hãy tìm các giá trị X_{tr}, Y_{tr}, Z_{tr} khi hàm mục tiêu (1.19) đạt giá trị nhỏ nhất và thỏa mãn các điều kiện cho trước (1.11), (1.16). Từ biểu thức (1.19) thấy rằng V chỉ phụ thuộc trực tiếp vào X và Y mà chúng về phần mình lại không phụ thuộc vào Q và R. Trong khi đó Q và R có thể tính được thông qua các thông số định mức của nam châm điện. Còn δ_{tr}^* và Z_{tr} sẽ phụ thuộc vào Q và R. Từ các biểu thức (1.11) và (1.16) ta có :

$$(1.20) \quad \delta_{tr}^* \sqrt[3]{\left(1 - \frac{1}{a \cdot \delta_{max}^* + 1} \right)} = \sqrt[3]{\frac{R^2 y_{tr}^4}{Q x_{tr} \ln \frac{2 - x_{tr} - y_{tr}}{x_{tr} - y_{tr}}}}$$

Khi $\delta^* \rightarrow \infty$

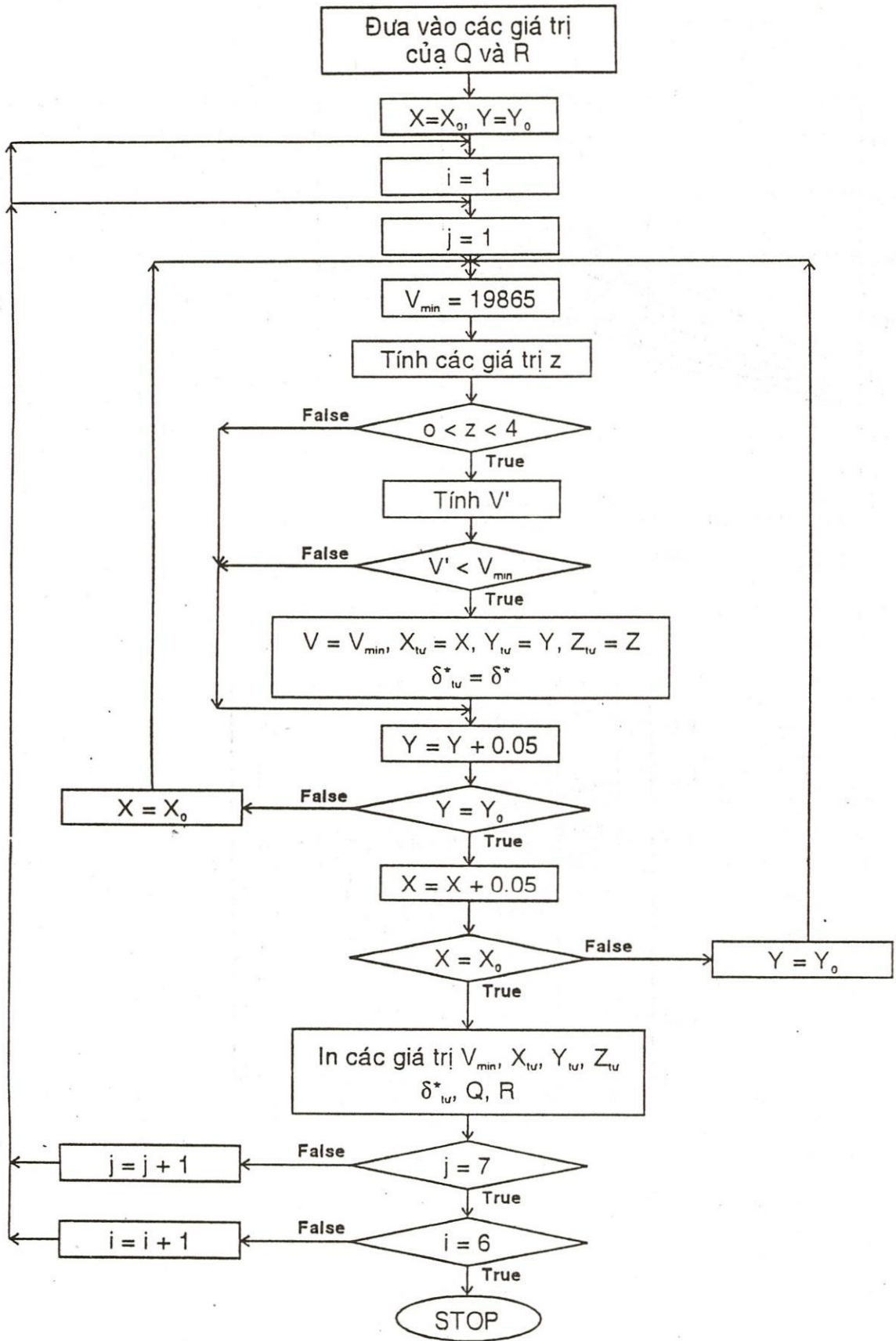
$$(1.20a) \quad \delta_{tr}^* = \sqrt[3]{\frac{R^2 y_{tr}^4}{Q x_{tr} \ln \frac{2 - x_{tr} - y_{tr}}{x_{tr} - y_{tr}}}}$$

$$(1.21) \quad Z_{tr} = \sqrt[3]{\frac{Q(x_{tr} + y_{tr}) \delta_{tr}^{*4}}{x_{tr}(x_{tr} + k_{\beta} y_{tr})(x_{tr} - y_{tr}) \ln \frac{2 - x_{tr} - y_{tr}}{x_{tr} - y_{tr}}}}$$

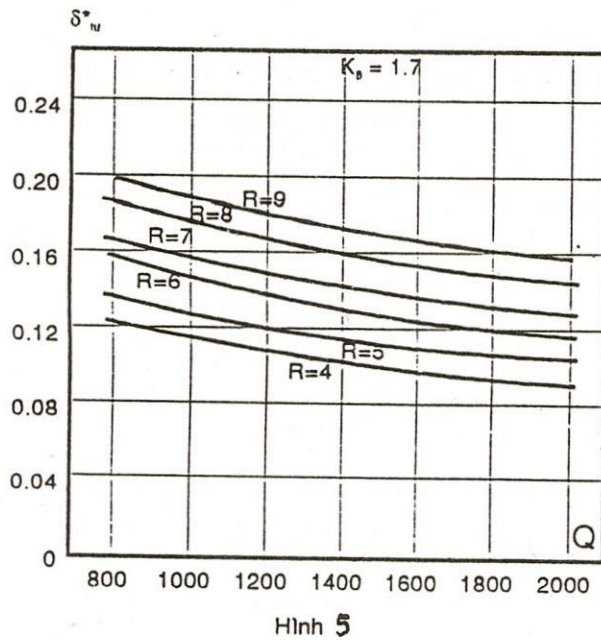
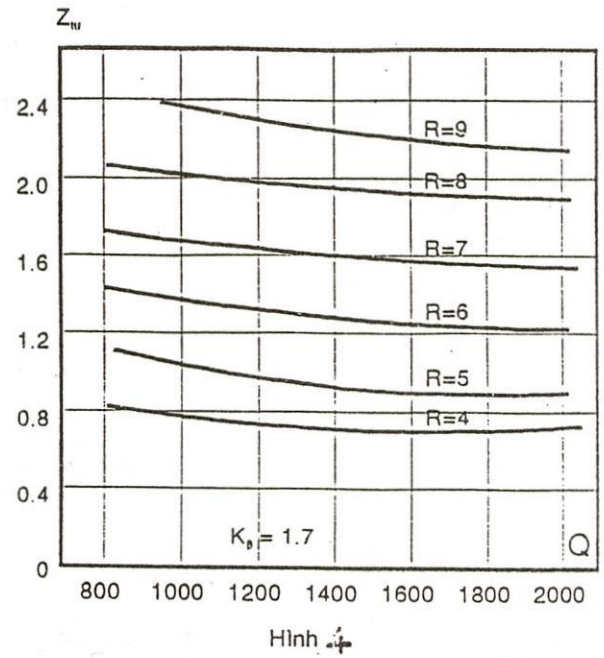
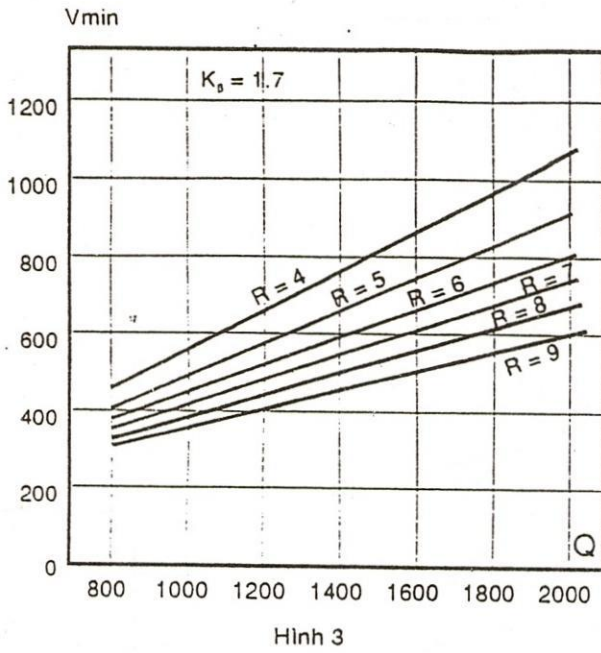
Các giá trị x_{tr} và y_{tr} tìm được trong giới hạn:

$$(1.22) \quad 0,19 \leq x \leq 0,9$$

$$0,2 \leq y \leq 0,45$$



Hình 2



Các giá trị Q và R cho trước theo bảng 1.2

Q	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
R	4	5	6	7	8	9	

Việc tính toán các giá trị X_{tr} , Y_{tr} , Z_{tr} , δ_{tr}^* được thực hiện theo phương pháp quét. Sơ đồ khối của chương trình thành lập cho MTĐT được trình bày ở hình vẽ 2.

Kết quả: $X_{tr} = 0,85$, $Y_{tr} = 0,45$. Các giá trị Z_{tr} , δ_{tr}^* phụ thuộc vào Q và R. Các hình vẽ 3,4,5 biểu diễn các quan hệ V_{min} , Z_{tr} , δ_{tr}^* và Q, R nhận được từ tính toán trên MTĐT.

PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ:

Sử dụng các kết quả ở trên để thiết kế nam châm điện tác động đẩy được tiến hành theo trình tự sau:

1. Xác định các thông số định mức cho trước.
2. Chọn các đại lượng cho phép, xác định các hằng và hệ số trong các công thức (1.2), (1.11), (1.15), (1.16), (1.19)
3. Tính toán giá trị của Q theo (1.11)
4. Tính giá trị sơ bộ của R theo (1.16) với giả thiết rằng $\delta \rightarrow \infty$ và lấy giá trị sơ bộ của σ theo bảng 1.1
5. Xác định các giá trị $X_{tr} = 0,85$; $Y_{tr} = 0,45$, δ_{tr}^* (hình 5), Z_{tr} (hình 4)
6. Xác định các kích thước còn lại của mạch từ (1.1) sau khi tính $D = \delta_{dm} / \delta_{tr}^*$ theo (1.1)

$$B = X_{tr} D, d = Y_{tr} D, L = Z_{tr} D$$

Kết quả tìm được là phương án ban đầu về kích thước nam châm điện, trên cơ sở đó tính được G_{∞} (1.2), $a(1)$, δ và δ_{max} , qua đó chính xác hóa giá trị của R và V' (1.19). Sau đó lặp lại trình tự thiết kế từ bước thứ 4, kết quả chính xác sẽ nhận được khi hệ số rò σ ở các bước tính liên tiếp nhau không sai khác nhau quá 10%.

7. Trên cơ sở các kích thước tính được, có thể tiến hành theo các phương pháp thông thường để xác định các thông số của cuộn dây kích thích.

OPTIMAL DESIGN OF PUSH ELECTROMAGNET WITH CYLINDRIC CORE

Nguyễn Chu Hùng

Abstract:

The article introduces the method of design of push electromagnets that operate quite different from the ordinary ones. It present also the algorithm of calculating of their dimension and characteristic.

Tài liệu tham khảo

1. Penchev P.R, N.Trifonov, Nguyễn Chu Hùng, Đặc tính Điện từ của nam châm điện có hai phần đối xứng đẩy nhau. Tập san KH, MEI – Lenin, quyển 37, sách 5 sofiá 1982.
2. Nguyễn Chu Hùng, N.Trifonov. Tương quan kích thước tối ưu của nam châm điện có hai phần đối xứng đẩy nhau. Tập san KH, MEI – Lenin, quyển 37, sách 5 sofiá 1982.