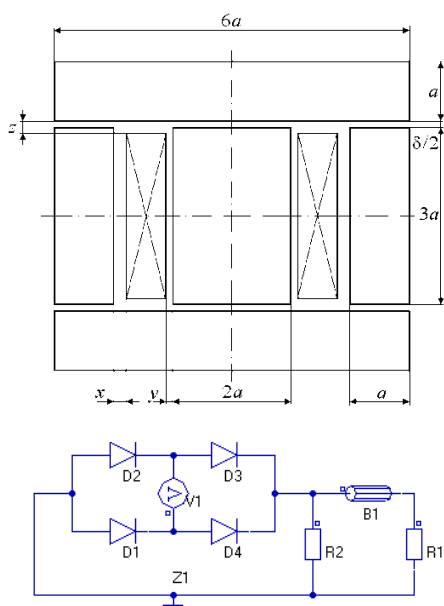


Tema nr. 1

Să se determine întrefierul optim al unei inductanțe de netezire cu sarcină rezistivă (Fig.1). Efectul de netezire optim corespunde pulsației minime a curentului de sarcină. Pulsația curentului de sarcină, ca funcție de întrefierul δ , a fost aleasă ca funcție obiectiv:

$$I_r(\delta) = \frac{I_{R1\max}(\delta) - I_{R1\min}(\delta)}{I_{R1\text{med}}(\delta)} \cdot 100\% \rightarrow \min$$

și a fost determinată pentru câteva valori ale întrefierului δ prin metoda elementelor finite implementată în programul FLUX 2D [1]. Valorile funcției obiectiv în intervalul $\delta = [0.10 \div 1.00]$ mm pot fi regenerate de funcția $F(x)$ accesibilă în MATHCAD (Fig. 2).



δ	I_r	$x := \delta_0, 0.101 \dots \delta_8$	$F(x) := \text{interp}(\text{cspline}(\delta, I_r), \delta, I_r, x)$
0.1	0.908		
0.2	0.771		
0.3	0.701		
0.37	0.693		
0.4	0.698		
0.5	0.734		
0.6	0.737		
0.7	0.844		
1	0.999		

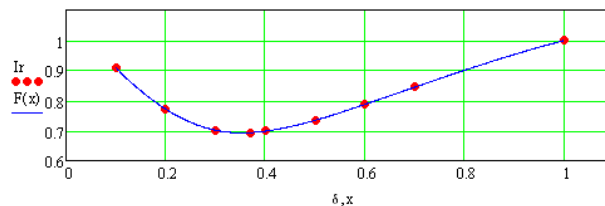


Fig. 1. Geometria inductanței de netezire (B1) și circuitul electric cu sarcină rezistivă R1 [1].

Fig. 2. Valorile funcției obiectiv I_r în intervalul $\delta = [0.10 \div 1.00]$ mm.

Pentru determinarea întrefierului optim (δ^*) se poate opta pentru o *metodă de optimizare prin eliminare* într-una din variantele:

- 1) Metoda perechilor secvențiale $\left(x_1^0 = \frac{x_m + x_M}{2}, x_2^0 = \frac{x_m + x_1^0}{2} \text{ sau } x_2^0 = \frac{x_1^0 + x_M}{2} \right)$;
 - 2) Metoda bazată pe calculul derivatei $\left(x_1^0 = \frac{x_m + x_M}{2} \right)$;
 - 3) Metoda Fibonacci $\left(x_1^0 = x_m + \sqrt{0.2} \cdot (x_M - x_m), x_2^0 = x_m + (1 - \sqrt{0.2}) \cdot (x_M - x_m) \right)$;
 - 4) Metoda secțiunii de aur $\left(x_1^0 = x_m + (1 - 0.618) \cdot (x_M - x_m), x_2^0 = x_m + 0.618 \cdot (x_M - x_m) \right)$;
- sau pentru o *metodă de căutare*:
- 5) Metoda Newton Raphson $\left(x^0 = x_m \text{ sau } x^0 = 0.50 \right)$.

Validarea rezultatului se va face în MATHCAD sau MATLAB.

Tema nr. 2

Să se determine configurația geometrică optimă a unui dispozitiv supraconductor de stocare a energiei magnetice (SMES) (Fig. 3). Capacitatea optimă de stocare corespunde maximului de energie magnetică stocată (W_m) cu un volum minim de material supraconductor (V), astfel încât să nu fie depășit un anumit gabarit, să nu se atingă între ele două module de bobinaj vecine și să nu se piardă starea supraconductoare. Mărimile:

$$F(\alpha, \beta) = c \cdot \frac{W_m(\alpha, \beta)}{V(\alpha, \beta)} \rightarrow \max$$

a fost aleasă ca funcție obiectiv, fiind dependentă de variabilele $\alpha = \frac{d}{D}$ = raportul diametrului

interior al bobinei și $\beta = \frac{g}{D}$ = raportul grosimii bobinei. Funcția obiectivă a fost determinată pentru câteva valori ale rapoartelor α și β prin metoda elementelor finite implementată în programul FEMM [2]. Maximizarea se face în prezența restricțiilor *de poziție*:

$$g_{\text{diam}}(\alpha, \beta) = E(\alpha, \beta) - D_{\text{max}} \leq 0$$

$$g_{\text{dist}}(\alpha, \beta) = e_{\text{min}} - e(\alpha, \beta) \leq 0$$

și a restricției *de valoare atinsă*:

$$g_{B_{\text{max}}}(\alpha, \beta) = B_{\text{max}}(\alpha, \beta) - B_{\text{lim}} \leq 0.$$

Valorile funcției obiectiv și ale restricțiilor în intervalele $\alpha = [0.035 \div 0.400]$ și $\beta = [0.000 \div 0.350]$ pot fi regenerate de funcțiile $F(x, y)$, $g_1(x, y)$, $g_2(x, y)$, respectiv, $g_3(x, y)$ accesibile în MATHCAD (Fig. 4).

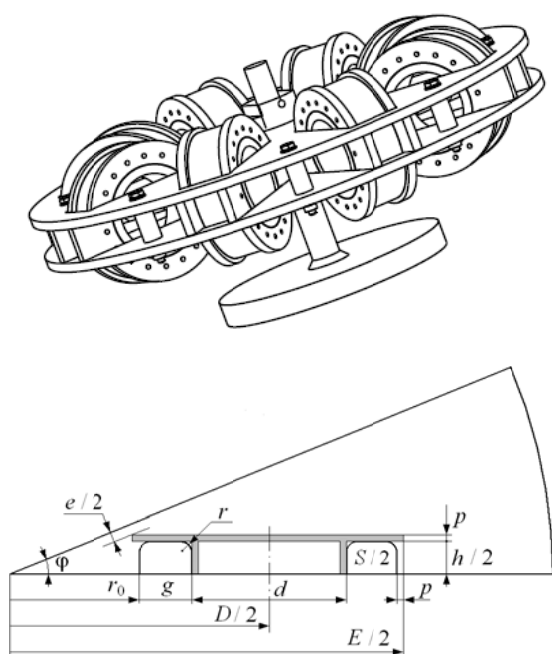


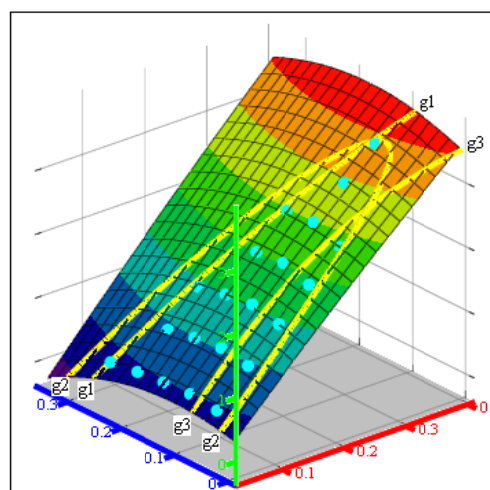
Fig. 3. Geometria bobinei toroidale modulare [2].

$$F(x, y) = 10.072 \cdot x + 2.286 \cdot y + -1.918 \cdot x^2 + -10.706 \cdot y^2 + 3.356 \cdot x \cdot y - 0.137$$

$$g_1(x, y) = 284 \cdot y + 142 \cdot x - 80$$

$$g_2(x, y) = -38.464 + 108.682 \cdot y + 54.341 \cdot x + \frac{0.833}{y}$$

$$g_3(x, y) = 45.032 \cdot y + -0.573 \cdot x + -79.153 \cdot y^2 + 20.459 \cdot x^2 + -48.265 \cdot y \cdot x - 2.906$$



$$\text{CreateMesh}(F, 0.035, 0.4, 0, 0.35, 20, 20), (\text{XP1}, \text{YP1}, \text{ZP1}), (\text{XP2}, \text{YP2}, \text{ZP2}),$$

$$(\text{XP3}, \text{YP3}, \text{ZP3}), (\text{XP3}, \text{YP3}, \text{ZP3}), (\text{XP4}, \text{YP4}, \text{ZP4}), (\alpha, \beta, F_{\text{obj}})$$

Fig. 4. Generatoarele funcției obiectiv și ale restricțiilor în intervalul $\alpha \times \beta = [0.035 \div 0.400] \times [0.000 \div 0.350]$.

Pentru determinarea rapoartelor optime α^* și β^* se poate opta pentru o *metodă directă de optimizare bazată pe proiectarea experimentelor*:

1) Metoda bazată pe glisări de planuri

$$(N_{vx} \times N_{vy} = 31 \times 127, \quad s = 4, \quad x^0 \in \{0.10; 0.15; 0.20\}, \quad y^0 \in \{0.10; 0.15\});$$

2) Metoda bazată pe zoom-uri

$$(dx = dy = 0.10, \quad P_0 \in \{(0.10; 0.10)^T; (0.15; 0.10)^T; (0.20; 0.10)^T; (0.10; 0.15)^T\})$$

Validarea rezultatului se va face în MATHCAD sau MATLAB.

Tema nr. 3

Să se determine configurația geometrică optimă a unui dispozitiv de acționare cu electromagnet de curent continuu (Fig. 5) pentru obținerea unei forțe de acționare maxime în condițiile menținerii dimensiunilor de gabarit (raza exterioară și înălțimea miezului, înălțimea plonjorului, secțiunea bobinei). Forța de acționare corespunzătoare întrefierului maxim este aleasă ca funcție obiectiv dependentă de variabilele $k_b = \frac{h_b}{g_b}$ = raportul dimensiunilor bobinei și

$k_{a1} = \frac{a_1}{a}$ = raportul grosimii suportului, a_0 = grosimea laterală carcasei, a_2 = grosimea jugului carcasei, h_p = înălțimea plonjorului, g_b = grosimea bobinei:

$$F_a(k_b, k_{a1}, a_0, a_2, h_p, g_b) \rightarrow \max$$

Funcția obiectiv fost determinată pentru câteva valori ale rapoartelor k_b și k_{a1} prin metoda elementelor finite implementată în programul FEMM [7]. Maximizarea se face în prezența restricțiilor de tip egalitate:

$$h_r(k_b) = r_1 + \delta_p + \delta_g + 2 \cdot s + g_b(k_b) + a_0(k_b) - r_{\max} = 0$$

$$h_h(k_b, k_{a1}) = k_{a1} \cdot a + a_2(k_b, k_{a1}) + 2 \cdot s + k_b \cdot g_b(k_b) - h_{\max} = 0$$

$$h_H(k_b, k_{a1}) = h_p(k_b, k_{a1}) + v + k_{a1} \cdot a - H_{\max} = 0$$

$$h_{Sb}(k_b) = k_b \cdot [g_b(k_b)]^2 - S_b = 0$$

care permit eliminarea prin substituție a variabilelor a_0, a_2, h_p, g_b , problema reducându-se la:

$$F_a(k_b, k_{a1}) \rightarrow \max$$

Valorile funcției obiectiv în intervalele $k_b = [6 \div 8]$ și $k_{a1} = [0.9 \div 1.1]$ pot fi regenerate de funcția $F(x, y)$ accesibilă în MATHCAD (Fig. 6).

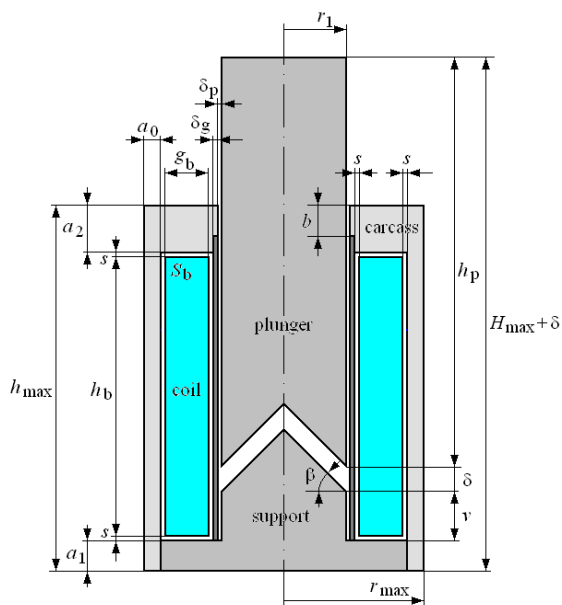
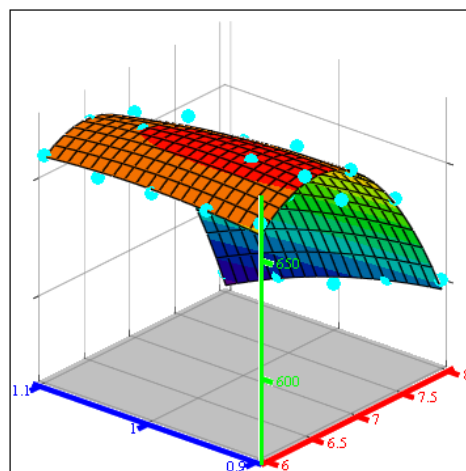


Fig. 5. Geometria electromagnetului de c.c. [7].

$$\begin{aligned} F(x, y) := & 13.928 \cdot x + 11.974 \cdot y + 13.711 \cdot x \cdot y^2 \dots \\ & + 13.912 \cdot x^2 \cdot y - 8.61 \cdot x \cdot y^3 - 0.875 \cdot x^3 \cdot y \dots \\ & + 31.37 \cdot x^2 - 4.162 \cdot x^3 + 0.088 \cdot x^4 + 7.475 \cdot y^2 \dots \\ & + 2.845 \cdot y^3 - 1.954 \cdot y^4 - 5.512 \cdot x^2 \cdot y^2 + 8.857 \cdot x \cdot y + 16.379 \end{aligned}$$



(α, β, F_{obj}), CreateMesh(F, 6, 8, 0.9, 1.1, 20, 20)

Fig. 6. Generatoarea funcției obiectiv în intervalul $k_b \times k_{a1} = [6 \div 8] \times [0.9 \div 1.1]$.

Pentru determinarea rapoartelor optime k_b^* și k_{a1}^* se poate opta pentru una din *metodele directe de optimizare bazate pe proiectarea experimentelor*:

1) Metoda bazată pe glisări de planuri

$$(N_{vx} \times N_{vy} = 41 \times 41, \quad s = 4, \quad x^0 \in \{6.5; 7.0; 7.5\}, \quad y^0 \in \{0.95; 1.00; 1.05\});$$

2) Metoda bazată pe zoom-uri

$$(dx = 1, \quad dy = 0.1, \quad x^0 \in \{6.5; 7.0; 7.5\}, \quad y^0 \in \{0.95; 1.00; 1.05\});$$

Validarea rezultatului se va face în MATHCAD sau MATLAB.

Tema nr. 4

Să se determine configurația geometrică optimă a unui dispozitiv de acționare cu electromagnet de curent alternativ (Fig. 7) pentru obținerea unei forțe de acționare maxime în condițiile menținerii dimensiunilor de gabarit (lățimea și înălțimea miezului, înălțimea plonjorului, secțiunea bobinei). Forța de acționare corespunzătoare întrefierului maxim este aleasă ca funcție obiectiv dependentă de variabilele $k_1 = \frac{b_3}{a_0}$ = raportul grosimii laterale a

miezului și $k_2 = \frac{g_b}{g_{b0}}$ = raportul grosimii bobinei, b_4 = grosimea superioară a miezului, b_5 = distanța bobină-miez lateral, h_p = înălțimea plonjorului, h_b = înălțimea bobinei:

$$F_a(k_1, k_2, b_4, b_5, h_p, h_b) \rightarrow \max$$

Funcția obiectiv fost determinată pentru câteva valori ale rapoartelor k_1 și k_2 prin metoda elementelor finite implementată în programul ANSYS [11]. Maximizarea se face în prezența restricțiilor de tip egalitate:

$$g_L(k_1, k_2, b_5) = a_1 + 2 \cdot (g_c + g_m + g_{b0} \cdot k_2 + b_5 + k_1 \cdot a_0) - L_{\max}$$

$$g_h(k_2, h_b) = b_4 + h_b + a_0 \cdot 1.2 - h_{\max}$$

$$g_H(h_p) = h_p + a_0 \cdot 1.2 - H_{\max}$$

$$g_{Sb}(k_2, h_b) = h_b \cdot g_{b0} \cdot k_2 - S_b$$

care permit eliminarea prin substituție a variabilelor a_0 , a_2 , h_p , g_b , problema reducându-se la:

$$F_a(k_1, k_2) \rightarrow \max$$

Valorile funcției obiectiv în intervalele $k_1 = [0.8 \div 1.2]$ și $k_2 = [1.0 \div 1.2]$ pot fi regenerate de funcția $F(x, y)$ accesibilă în MATHCAD (Fig. 8).

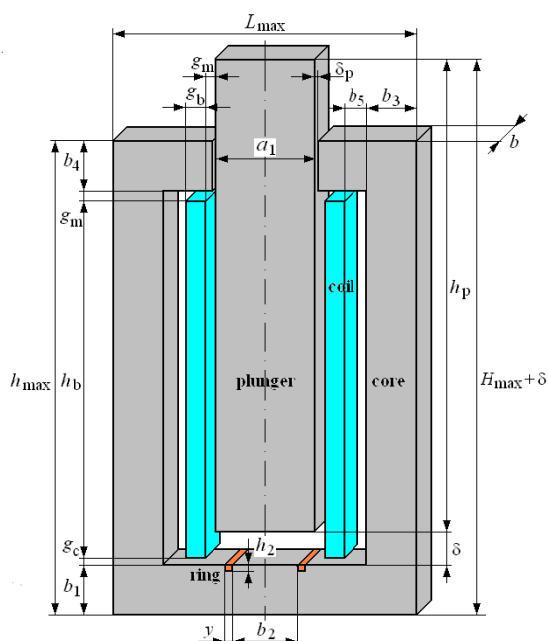
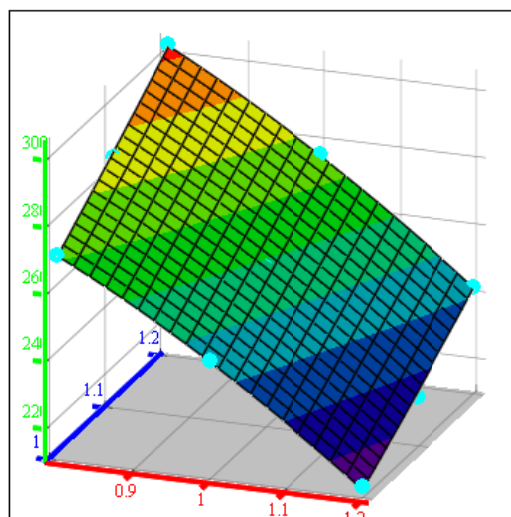


Fig. 7. Geometria electromagnetului de c.a. [11].

$$F(x, y) := 43.448 \cdot x + 108.107 \cdot y - 78.869 \cdot x^2 + 34.031 \cdot y^2 - 31.388 \cdot x \cdot y + 169.617$$



(α, β, F_{obj}), CreateMesh(F, 0.8, 1.2, 1, 1.2, 20, 20)

Fig. 8. Generatoarea funcției obiectiv în intervalul $k_1 \times k_2 = [0.8 \div 1.2] \times [1.0 \div 1.2]$.

Pentru determinarea rapoartelor optime k_1^* și k_2^* se poate opta pentru una din *metodele directe de optimizare bazate pe proiectarea experimentelor*:

1) Metoda bazată pe glisări de planuri

$$(N_{vx} \times N_{vy} = 41 \times 41, \quad s = 4, \quad x^0 \in \{0.9; 1.0; 1.1\}, \quad y^0 \in \{1.05; 1.10; 1.15\});$$

2) Metoda bazată pe zoom-uri

$$(dx = 0.2 \quad dy = 0.1, \quad x^0 \in \{0.9; 1.0; 1.1\}, \quad y^0 \in \{1.05; 1.10; 1.15\});$$

Validarea rezultatului se va face în MATHCAD sau MATLAB.

Bibliografie

[1] A.-I. Dolan, and L. Mandache, *FEM-based optimization of the smoothing inductors*, XVIII-th IEEE International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies - SIELA 2014, Proceedings of digests, pp. 33-34, Bourgas, Bulgaria, May 29-31, 2014, ISBN 978-619-160-320-6, Avangard Prima Publishing House;

<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6871852/>

[2] A.-I. Dolan, and F. Stefanescu, *Optimization of modular toroid coil geometry of a Superconducting Magnetic Energy Storage Device using Design of Experiments and FEM*, XIIth IEEE International Conference on Applied and Theoretical Electricity - ICATE 2014, pp. 1-7, Craiova, Romania, October 23-25, 2014, ISBN 973-8043-169-9;

<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6972599/>

[3] A.-I. Dolan, and F. Stefanescu, *Application of two direct optimization methods on a SMES device by DOE and FEM: method by zooms and method by slidings of plans*, Annals of the University of Craiova, Series: Electrical Engineering, No. 38, pp. 78-85, 2014, Universitaria Publishing House, ISSN 1842-4805;

<http://jml2012.indexcopernicus.com/abstract.php?icid=1137784>

[4] A.-I. Dolan, and F. Stefanescu, *Improving of 2-D FEM Modeling of a SMES Device Using the Response Surface Methodology Applied on 3-D FEM Modeling*, Proceedings of 10-th International Conference on Electromechanical and Power Systems – SIELMEN 2015, October 06-09, Craiova-Chisinau, pp. 108-113, 2015, Alma Publishing House, ISBN 978-606-567-284-0

<http://aparate.elth.ucv.ro/DOLAN/Proiect%20de%20licenta/34%20-%20SIELMEN%202015%2C%20Dolan%20%2B%20INTRO.pdf>

[5] A.-I. Dolan, and F. Stefanescu, *Numerical Determination of Inductance of a SMES Device Using the Response Surface Methodology Applied on FEM Modeling*, Annals of the University of Craiova, Series: Electrical Engineering, No. 39, pp. 86-92, 2015, Universitaria Publishing House, ISSN 1842-4805;

<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=555696>

[6] A.-I. Dolan, and F. Stefanescu, *Exhaustive optimization method based on DOE and FEM applied on a SMES device*, XIXth IEEE International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies - SIELA 2016, Bourgas, Bulgaria, May 29-June 1, pp. 92-95, 2016, ISBN 978-619-160-320-6;

<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7542994/>

[7] A.-I. Dolan, *Optimization of DC electromagnet using design of experiments and FEM*, XIII-th IEEE International Conference on Applied and Theoretical Electricity - ICATE 2016, pp. 1-6, Craiova, Romania, October 06-08, 2016, ISBN 978-1-4799-4162-9;

<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7754609/>

[8] A.-I. Dolan, *Three parameters optimization of acting force of DC electromagnet*, 11-th International Conference on Electromechanical and Power Systems – SIELMEN 2017, October 11-13, pp. 575-578, Iasi-Chisinau, 2017, Electronic ISBN 978-1-5386-1846-2;

<http://ieeexplore.ieee.org/document/8123390/>

[9] A.-I. Dolan, *Optimal Shape of DC Electromagnet*, Annals of the University of Craiova, Series: Electrical Engineering, No. 40, pp. 9-13, 2017, Universitaria Publishing House, ISSN 1842-4805;

<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1583121>

[10] A.-I. Dolan, *Improvement of Static Force Characteristic of AC Electromagnet Using DOE and FEM*, XIV-th IEEE International Conference on Applied and Theoretical Electricity - ICATE 2018, pp. 1-5, Craiova, Romania, October 04-06, 2018, ISBN 978-1-4799-4162-9;

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8551373>

[11] A.-I. Dolan, *Application of Direct Optimization Method by Zooms to Improve the Performances of AC Electromagnet*, Annals of the University of Craiova, Series: Electrical Engineering, No. 41, pp. 9-13, 2018, Universitaria Publishing House, ISSN 1842-4805;

<http://aparate.elth.ucv.ro/POPA/AnaleleUCv%202018/Anale%202018%20final%20%2Bcoperta.pdf>

[12] A.-I. Dolan, *Improvement of Acting Force of DC Plunger-Type Electromagnet by Six Parameters optimization*, Proceedings of the XII-th International Conference on Electromechanical and Power Systems – SIELMEN 2019, October 9-11, pp. 1-5, Iasi-Chisinau, 2019, Electronic ISBN: 978-1-5386-3806-4;

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8905908>

[13] A.-I. Dolan, *Metode de optimizare pentru creșterea calității energiei electrice în sisteme electrice* – suport de curs, An univ. 2019-2020;

[14] A.-I. Dolan, *Metode de optimizare pentru creșterea calității energiei electrice în sisteme electrice* – Seminar + Laborator, An univ. 2019-2020.

<http://aparate.elth.ucv.ro/web/index.php?path=DOLAN+ALIN+IULIAN%2FDiscipline+predate%2FMetode+de+optimizare+pentru+cresterea+calitatii+energiei+electrice+in+sisteme+electrice/>