



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

DETERMINAREA VALORII OPTIME A PĂTURII DE CURENT PENTRU GENERATOARE SINCRONE

Elisabeta SPUNEI, Ion PIROI

DETERMINING THE OPTIMAL LINEAR CURRENT DENSITY VALUE FOR SYNCHRONOUS GENERATORS

This work presents the way linear current density values influences the dimensions, costs, and performances of some synchronous generators. The studied generators, with various rated speed, were designed following classic and optimal methods in order to determine the linear current density optimal value depending on a specific optimization criterion. The optimal design has been realized with the Simplex algorithm where the objective function aims total cost reduction for the synchronous generator. The linear current density value has been determined for both the classical design and for the optimized solution. Comparing the two results we analysed the impact these variable has on the synchronous generator's dimensions, mass, losses, on the generator's efficiency, costs, and flask currents. We draw conclusions referring to the optimal value tendency for the linear current density depending on its variation interval and on the generator's rotation speed.

From the analysis we observe that to achieve a cost-optimal synchronous generator, the linear current density value must be chosen close to the upper limit of the variation interval.

Keywords: the objective function, the optimal design, synchronous generator, current blanket

Cuvinte cheie: funcție obiectiv, proiectare optimală, generator sincron, pătura de curent

1. Introducere

În proiectarea unei instalații trebuie să se pornească de la funcția principală pe care trebuie să o îndeplinească aceasta și trebuie să se țină seama de condițiile în care aceasta funcționează.

De asemenea, o importanță deosebită trebuie acordată funcției obiectiv de care se ține seama în etapa de proiectare.

Pentru mașinile electrice, principalele criterii utilizate în etapa de proiectare sunt:

a. Criteriul dimensional, care are ca funcție obiectiv minimizarea dimensiunilor de gabarit;

b. Criteriul de siguranță, care are ca funcție obiectiv obținerea unor performanțe ridicate în regimuri staționare și tranzitorii (limitarea curenților de scurtcircuit, micșorarea constantelor de timp);

c. Criteriul economic, care poate avea următoarele funcții obiectiv: • Reducerea consumului de materiale active utilizate în construcția mașinilor electrice; • Reducerea consumurilor de energie electrică pe durata de funcționare normată; • Reducerea costului total al produsului.

Îndeplinirea simultană a tuturor funcțiilor obiectiv menționate este imposibilă, deoarece valorile variabilelor principale care conduc la îndeplinirea unei funcții obiectiv, pot conduce la neîndeplinirea unei alte funcții obiectiv.

Pentru îndeplinirea oricărei funcții obiectiv este necesară determinarea valorilor optime ale variabilelor principale. Din acest considerent, încă din etapa de proiectare este obligatoriu să se impună o anumită funcție obiectiv, în concordanță cu cerințele beneficiarului și cu regimul de funcționare. Pentru funcția obiectiv aleasă și valorile optime ale variabilelor principale sunt verificate și celelalte funcții obiectiv de interes.

2. Influența valorii optime a păturii de curent în proiectarea generatoarelor sincrone

Pătura de curent A este una dintre variabilele principale care influențează dimensiunile, costurile și performanțele generatoarelor sincrone. Valoarea acestei variabile este aleasă în etapa de proiectare, în funcție de experiența rezultată din proiectare, iar apoi este verificată condiția încadrării în limitele impuse de literatura de specialitate (200÷500) A/cm [1-3]. Valoarea păturii de curent se alege în funcție de valoarea pasului polar τ și a numărului perechilor de poli.

Valoarea pasului polar τ se determină cu relația [1-3]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} \quad (1)$$

unde p este numărul perechilor de poli, dependenți de turația mașinii, iar D este diametrul interior al statorului, dependent de puterea interioară a generatorului și numărul perechilor de poli.

Valoarea păturii de curent influențează numărul de spire pe fază ale generatorului sincron, lungimea acestuia conform relației:

$$l_i = \frac{6 \cdot 10^{11} \cdot S_{iN}}{k_f \cdot k_B \cdot \alpha_i \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot A \cdot B_\delta} \quad (2)$$

și performanțele de regim staționar și dinamic (randament, valori ale curenților de scurtcircuit, constante de timp de întârziere).

În vederea determinării valorii clasice și optime a păturii de curent la generatoarele sincrone, acestea au fost proiectate utilizând metoda clasică de proiectare, rezultând diferite valori pentru variabilele principale și apoi au fost optimizate.

Pentru optimizarea proiectării a fost aleasă ca funcție obiectiv minimizarea costului total C_t al generatorului, care depinde de costul de fabricație C_f și de costul de exploatare C_e , conform relației [4]:

$$f(\bar{x}) = C_{t\min} = C_f + C_e \quad (3)$$

În calcularea costului de fabricație s-a luat în considerare costul materialelor și media regiei practicate de firmele constructoare de mașini. Pentru determinarea costului de exploatare s-au determinat pierderile și s-a calculat consumul de energie pe o perioadă de 15 ani, la o funcționare de 350 zile/an, 24 ore/zi.

După alegerea funcției obiectiv au fost stabilită variabila principală după care să se facă optimizarea (pătura de curent), intervalul de variație al acesteia și restricțiile impuse:

$$C_{t\min} = f(A) \quad (4)$$

$$200 \leq A \leq 500 \text{ [A/cm]} \quad (5)$$

$$A_{\min} \leq A \leq A_{\max} \quad (6)$$

Pentru determinarea valorii optime a variabilei analizate s-a utilizat calculul iterativ, folosind algoritmul Simplex, cu 10 bucle incluse una în alta. Intervalul de variație al variabilelor principale a fost de +30 ÷ -20 % față de valoarea variabilei rezultată din proiectarea clasică și cu respectarea intervalului de variație impus în literatura de specialitate. Prin calculul efectuat pe timpul rulării programului a fost stabilită

valoarea optimă a păturii de curent care conduce la îndeplinirea funcției obiectiv impusă.

3. Studiu de caz

În această lucrare sunt prezentate rezultatele obținute în urma proiectării clasice și optimale a două generatoare sincrone trifazate, autoexcitate, cu turația de 1000 rpm, respectiv 300 rpm și cu următoarele date nominale: puterea nominală aparentă: 353 kVA, tensiunea nominală 400V, frecvența 50 Hz, factorul de putere 0,85.

Pentru ambele generatoare sincrone, funcția obiectiv aleasă a fost minimizarea costului total.

Pentru generatorul cu turația de 1000 rpm, valoarea păturii de curent obținută din proiectarea clasică a fost de $A_c = 424$ A/cm, iar valoarea rezultată din proiectarea optimă a fost de $A_o = 486,65$ A/cm.

Pentru generatorul cu turația de 300 rpm, valoarea păturii de curent obținută din proiectarea clasică a fost de $A_c = 324$ A/cm, iar valoarea rezultată din proiectarea optimă a fost de $A_o = 388,37$ A/cm.

Graficele de variație ale dimensiunilor exterioare (lungimea exterioară L_e și diametrul exterior al statorului D_e) ale generatorului sincron [4] cu turația de 1000 rpm, respectiv ale generatorului cu turația de 300 rpm sunt prezentate în figurile 1.a și 1.b. Valorile din toate graficele sunt indicate în unități raportate la valorile rezultate din proiectarea clasică.

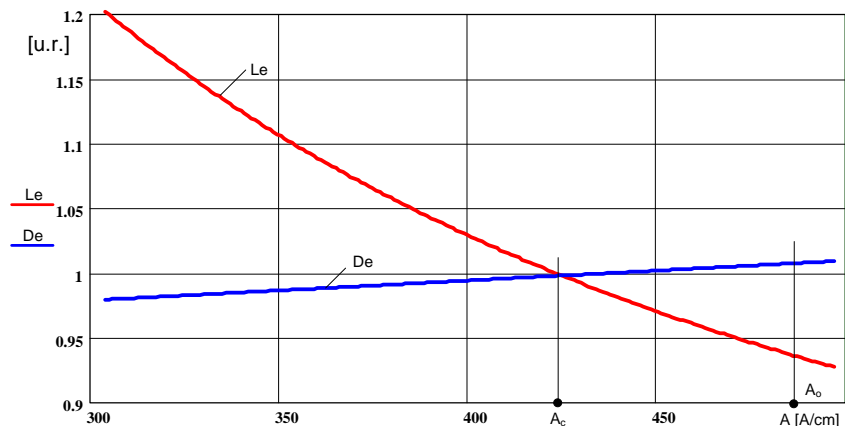


Fig. 1.a Graficele de variație ale dimensiunilor exterioare ale generatorului sincron cu turația de 1000 rpm

În figurile 2.a și 2.b sunt prezentate modurile de variație ale maselor de cupru (m_{Cu}), de fier (m_{Fe}) și al masei totale (m_t), în funcție de valoarea păturii de curent [5], pentru cele două generatoare proiectate.

În masele active ale generatoarelor apar pierderi, care influențează randamentul acestora. În figurile 3.a și 3.b este prezentat modul de variație a randamentului (η), în funcție de valoarea păturii de curent, pentru cele două generatoare proiectate.

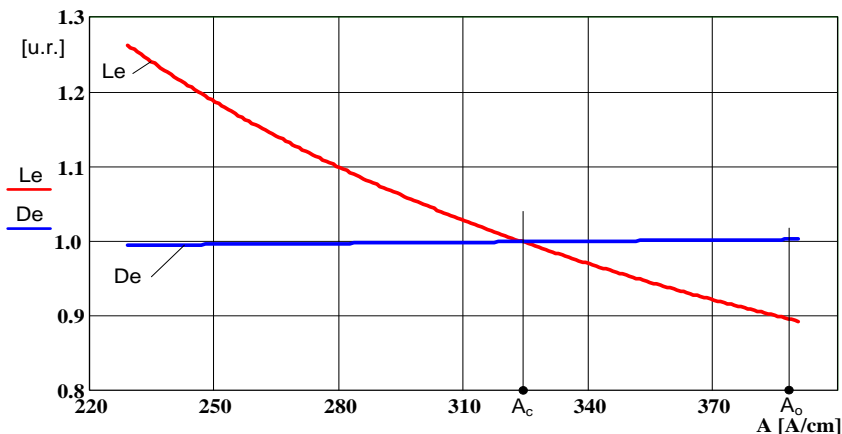


Fig. 1.b Graficele de variație ale dimensiunilor exterioare ale generatorului sincron cu turația de 300 rpm

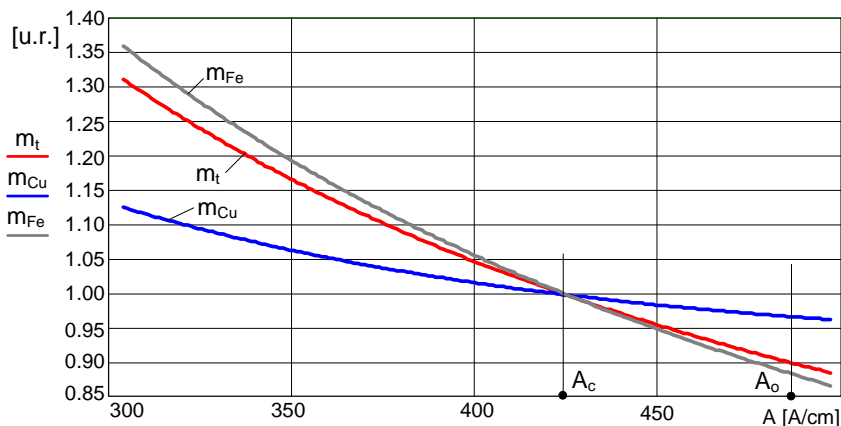


Fig. 2.a Graficele de variație ale maselor generatorului sincron cu turația de 1000 rpm

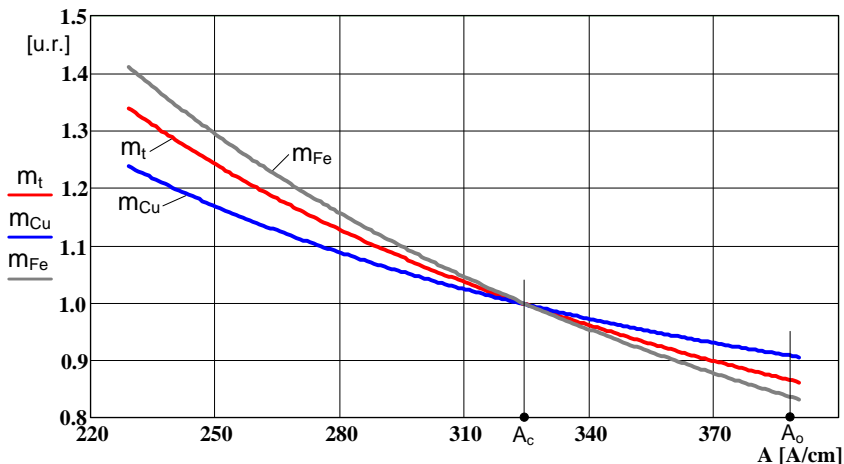


Fig. 2.b Graficele de variație ale maselor generatorului sincron cu turația de 300 rpm

Valorile maselor de material consumate în executarea generatorului sincron determină costul de fabricație C_f . Pe timpul funcționării în aceste mase apar pierderi, care influențează costul de exploatare C_e , pe toată durata normată de viață. Costul total C_t este determinat ca sumă a celor două costuri.

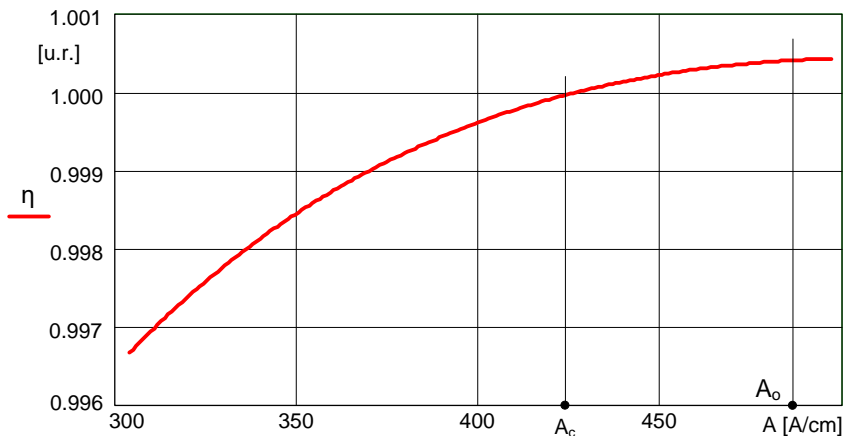
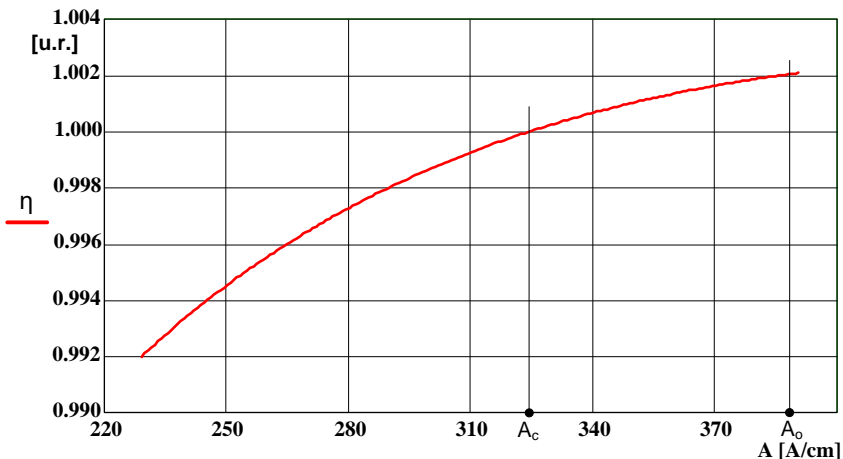


Fig. 3.a Graficul de variație al randamentului generatorului sincron cu turația de 1000 rpm



b)

Fig. 3.b Graficul de variație al randamentului generatorului sincron cu turația de 300 rpm

În figurile 4.a și 4.b este prezentat modul de variație al costului de fabricație (C_f), al costului de exploatare (C_e) și al costului total (C_t) în funcție de valoarea păturii de curent, pentru cele două generatoare proiectate.

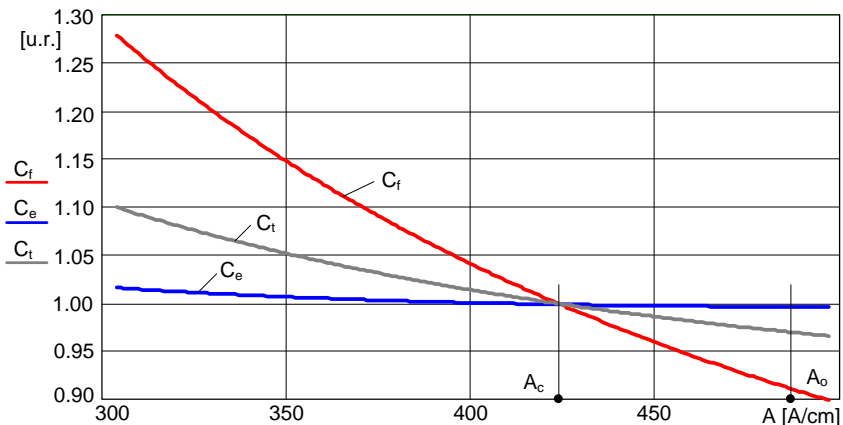


Fig. 4.a Graficele de variație ale costurilor generatorului sincron cu turația de 1000 rpm

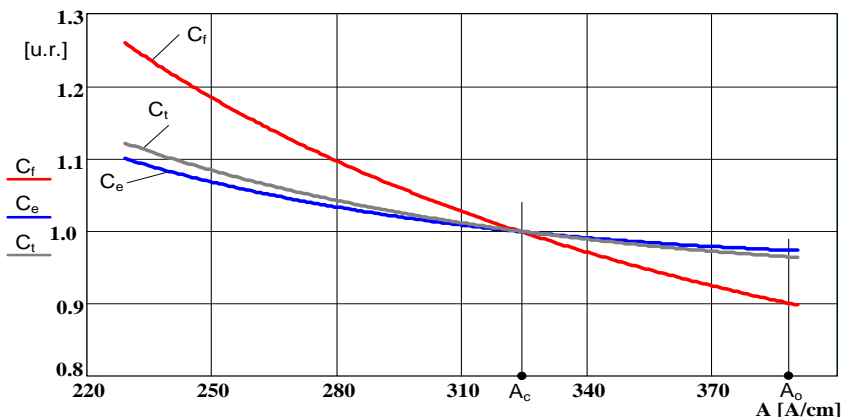


Fig. 4.b Graficele de variație ale costurilor generatorului sincron cu turația de 300 rpm

Valoarea păturii de curent influențează și valoarea fluxului electromagnetic din generator, care determină și valorile reactanțelor. Aceste reactanțe intervin în determinarea valorilor curenților de scurtcircuit. Analiza variației curenților de scurtcircuit, în funcție de valoarea păturii de curent, este esențială pentru cunoașterea comportării în regim staționar și dinamic a generatorului și limitarea efectelor negative determinate de încălzirea conductoarelor.

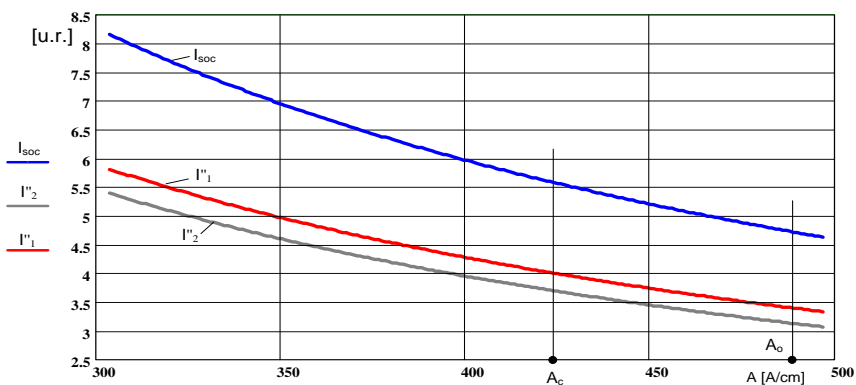


Fig. 5.a Graficele de variație ale curenților de scurtcircuit ai generatorului sincron cu turația de 1000 rpm

În figurile 5.a și 5.b este prezentat modul de variație al curentului de șoc (I_{soc}), al curentului supratranzitoriu la scurtcircuitul

monofazat (I''_1) și al curentului supratranzitoriu la scurtcircuitul bifazat (I''_2) în funcție de valoarea păturii de curent, pentru cele două generatoare sincrone proiectate.

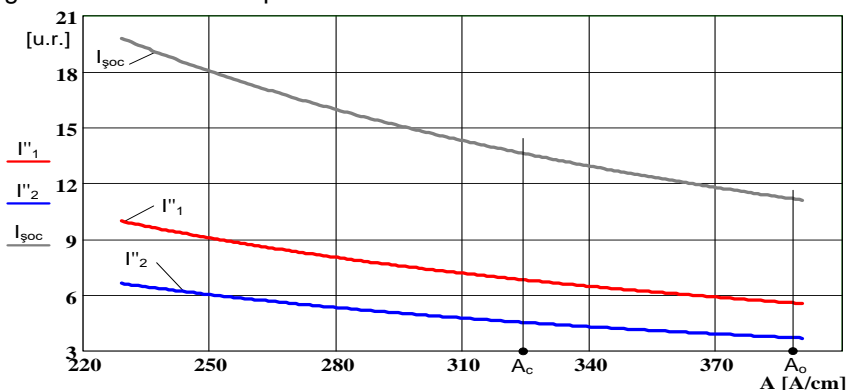


Fig. 5.b Graficele de variație ale curenților de scurtcircuit ai generatorului sincron cu turația de 300 rpm

În tabelul 1 sunt prezentate, în procente, influențele valorii optime ale păturii de curent asupra dimensiunilor, maselor generatorului și randamentului acestuia, față de valoarea rezultată din proiectarea clasică. În tabelul 2 sunt prezentate, în procente, influențele valorii optime ale păturii de curent asupra pierderilor și costurilor, iar în tabelul 3 influențele asupra curenților care apar în regimurile dinamice. În lucrare au fost prezentați doar acești trei curenți, din cauza valorilor mari, care influențează negativ izolațiile generatorului, prin încălzirea suplimentară a conductoarelor.

Tabelul 1

	L_e	D_e	m_{Fe}	m_{Cu}	m_t	η
1000	↓ 9,37%	↑ 0,08%	↓ 11,48%	↓ 3,31%	↓ 10,11%	↑ 0,04%
300	↓ 10,41%	↑ 0,34%	↓ 16,24%	↓ 8,95%	↓ 13,3%	↑ 0,21%

Tabelul 2

	p_{Cu}	p_{Fe}	Σ_p	C_e	C_f	C_t
1000	↓ 1,96%	↓ 13,82%	↓ 3,28%	↓ 0,28%	↓ 8,80%	↓ 2,94%
300	↓ 0,46%	↓ 12,78%	↓ 2,68%	↓ 2,55%	↓ 9,87%	↓ 3,49%

Tabelul 3

	I''_2	I''_1	I_{soc}
1000	↓ 22,16%	↓ 15,18%	↓ 15,59%
300	↓ 20,4%	↓ 20,9%	↓ 20,1%

4. Concluzii

■ Din analiza graficelor prezentate se constată că, pentru ambele tipuri de generatoare sincrone proiectate, valoarea optimă a păturii de curent tinde spre valoarea maximă a intervalului de variație.

■ Din analiza valorii optime a păturii de curent se constată că un generator sincron proiectat pentru o turație mare va avea și o pătură de curent de valoare mare și dimensiuni de gabarit mai mici.

■ Din analiza graficelor și tabelelor se constată că cel mai performant este generatorul cu turația de 300 rpm, deoarece are un cost total mai mic cu 3,49 %, un randament mai mare cu 0,21 % și are o scădere substanțială (peste 20 %) a curenților de scurtcircuit.

BIBLIOGRAFIE

[1] Dordea, T., *Proiectarea și construcția mașinilor electrice*, Partea a II-a, Institutul Politehnic „Traian Vuia”, Facultatea de Electrotehnică, Timișoara, 1979.

[2] Nicolaide, A., *Mașini electrice - Teorie și proiectare*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1975.

[3] Spunei, E., Piroi, I., *Mașini Electrice – Proiectarea generatorului sincron*, Editura Eftimie Murgu, Reșița, 2011.

[4] Spunei, E., Piroi, I., Piroi, F., *Optimizing Structural Dimensions and Costs of a Synchronous Generator Depending on the Current Blanket*, Analele Universității Eftimie Murgu, Fascicula de Inginerie, Anul XIX, nr. 1, pag. 303÷310, ISSN 1453 – 7397, Reșița, 2012.

[5] Spunei, E., Piroi, I., Augustinov, L., *Influența păturii de curent din înfășurarea trifazată a unui generator sincron, asupra costului total al acestuia*, Știință și Inginerie, Editura AGIR, An XII, Vol 21, pag. 283÷288, ISSN 2067-7138, București, 2012.

[6] Spunei, E., Piroi, I., Augustinov, L., *Influența păturii de curent din înfășurarea trifazată a unui generator sincron, asupra reactanțelor acestuia*, Știință și Inginerie, Editura AGIR, An XII, Vol 21, pag. 279÷282, ISSN 2067-7138, București, 2012.

Șef lucr. Dr. Ing. SPUNEI Elisabeta

Facultatea de Inginerie și Management, Universitatea „Eftimie Murgu”
din Reșița, membru AGIR, email: e.spunei@uem.ro

Prof. univ. Dr. Ing. Ec. Ion PIROI

Facultatea de Inginerie și Management, Universitatea „Eftimie Murgu”
din Reșița, membru AGIR, email: i.piroi@uem.ro