

ALGORITMUL POYNTING ȘI SINTEZA OPTIMALĂ A MASINILOR SINCRONE CU SIMETRIE AXIAL-RADIALĂ, MAGNETI PERMANENȚI ȘI INFASURARE TOROIDALĂ ÎN INTREFIER

Marin MHALACHE

Universitatea "Politehnica" din București, Spl. Independenței 313, 060042, București

mamihro@yahoo.com

Rezumat. În lucrare se abordează problema sintezei (dimensionării), pe baza *algoritmului Poynting*, a unor structuri electromagnetice de tip sincron, cu magneti permanenți și conversie axial-radială *simetrică*, cu geometrie *rectangulară* (r), sau *circulară* (c), - o structură geometrică inedită, caracterizată de absența zonei frontale (inactivă), respectiv $k_f = 1$. Ca și pentru variantele constructive precedent analizate, [1], se poate identifica o *soluție optimă* tehnico-economică, pe baza *criteriilor de optimizare* adoptate.

Pentru ilustrarea algoritmului de calcul propus, se realizează aplicații pentru *motorul sincron* ($P_n = 500$ kW, $\cos \varphi_n = 0.96$, reacție pur transversală), analizat în lucrările precedente, iar în final (Tab.1) sunt prezentate rezultate comparative obținute pentru variantele constructive analizate.

1. Introducere

Algoritmul vectorului Poynting, inițiat de autor, mai întâi pentru dimensionarea (sinteza) transformatoarelor [7], și apoi a mașinilor electrice rotative, [6], reprezintă o alternativă viabilă la metodele clasice de proiectare, având în vedere simplitatea și gradul de generalitate, ce permite dimensionarea optimă a convertoarelor electromagnetice cu structuri și configurații dintre cele mai diferite.

Pentru exemplificare, în lucrări precedente au fost abordate structuri electromagnetice inedite, de tip sincron, cu *magnet permanenți* (M.P) și *infășurare toroidală* (I.T) în intrefier (*fără creștături*), în diferite variante constructive respectiv tipuri de conversie, [1]:

- conversie *uniradială*, (cu rotor interior, fig. 1a, exterior, fig. 1b), sau *biradială*, cu două rotoare (fig. 1c),
- conversie *uniaxială* (fig. 2a), respectiv *biaxială* (fig. 2b),
- conversie mixtă, *axial-radială, nesimetrică* (fig. 3a, fig. 3b, fig. 3c),

Spre deosebire de aceste variante, caracterizate de existența unei zone inactive a infășurării - respectiv *factorul zonei frontale* $k_f > 1$, pot fi considerate și variante fără zone frontale, respectiv $k_f = 1$, cu conversie *axial-radială-simetrică*, cu secțiuni *rectangulară* (fig. 4a), respectiv *circulară* (fig. 4b), ce vor fi analizate în continuare.

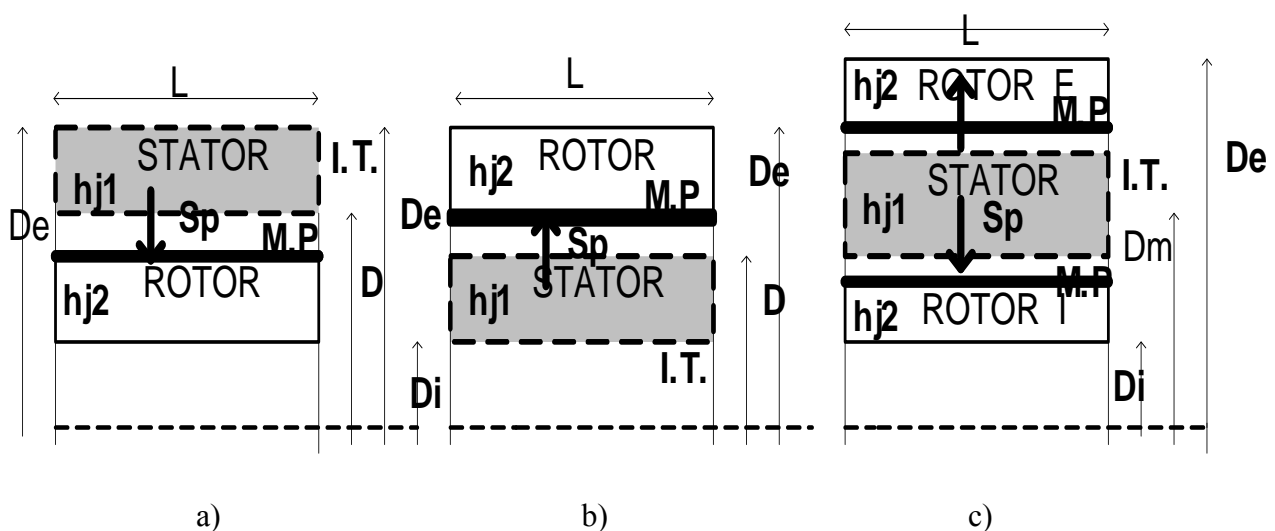
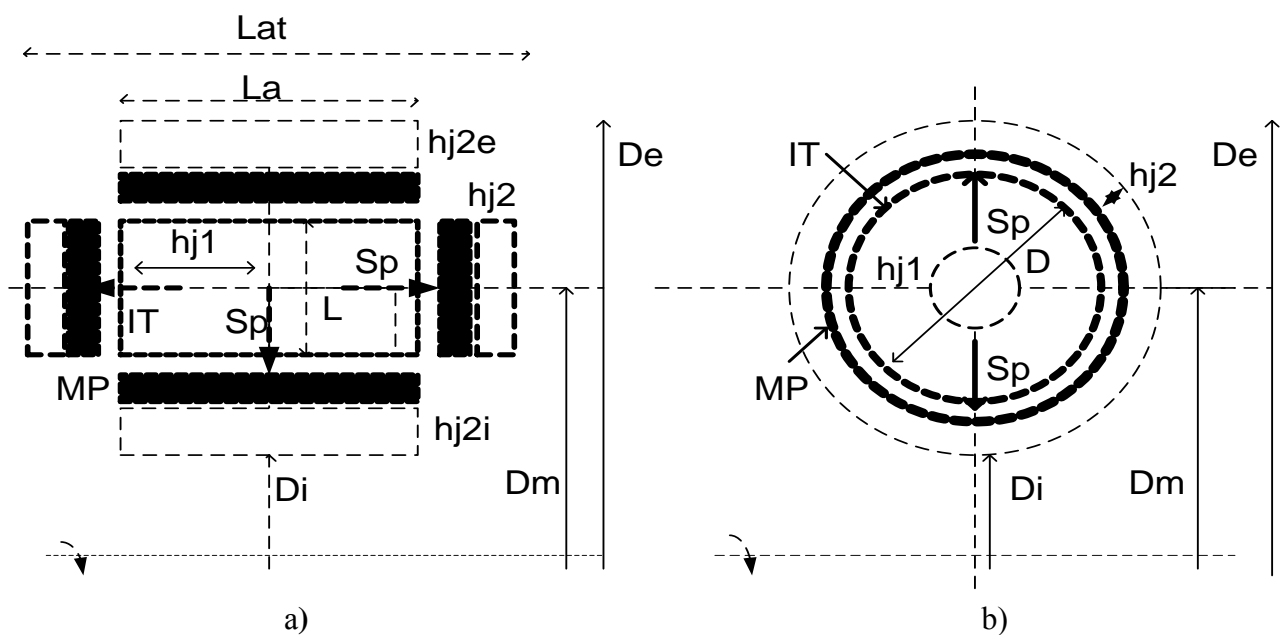
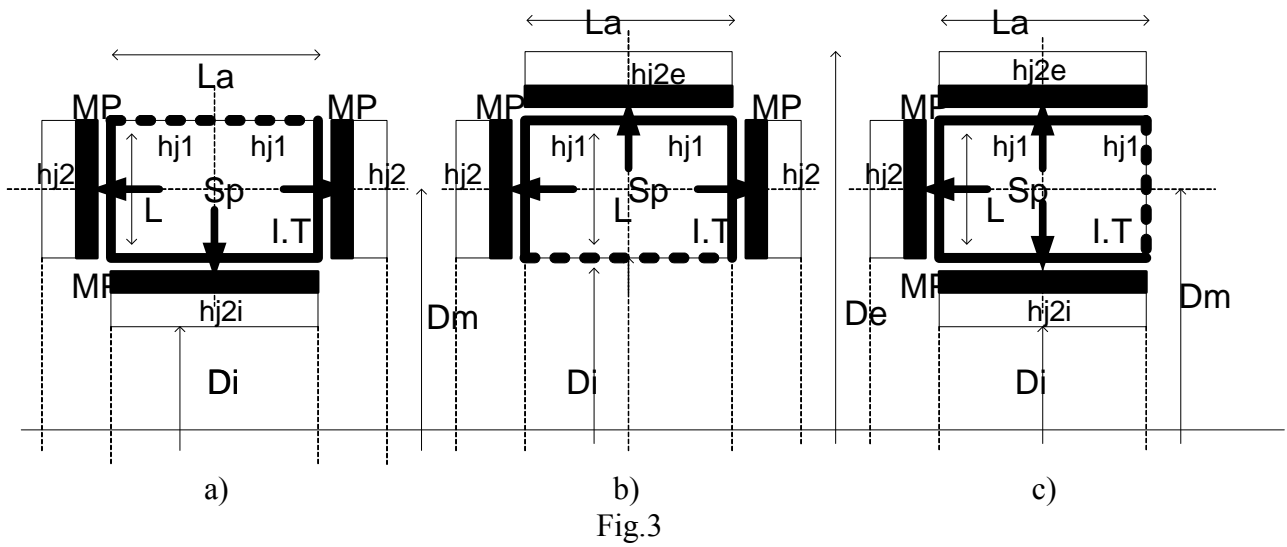
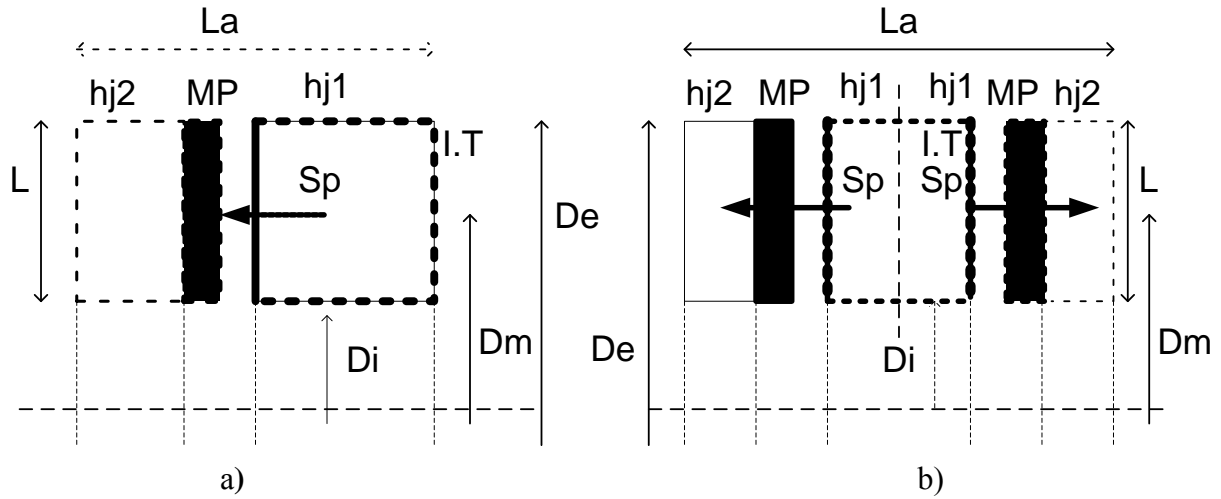


Fig.1



2. Modelul matematic (Schema echivalenta si diagrama de fazori)

In regim stationar simetric, motorul sincron cu poli inecati (izotrop) poate fi reprezentat prin *schema echivalenta paralel* (in T, Fig.5a), unde inductorul este reprezentat prin *sursa de curent* $\underline{i}_{e,M}$, din *diagrama curentilor*, Fig.5b, aici, pentru cazul particular al *reactiei pur transversala* ($i_{1,n} = i_{q,n}, i_{d,n} = 0$);

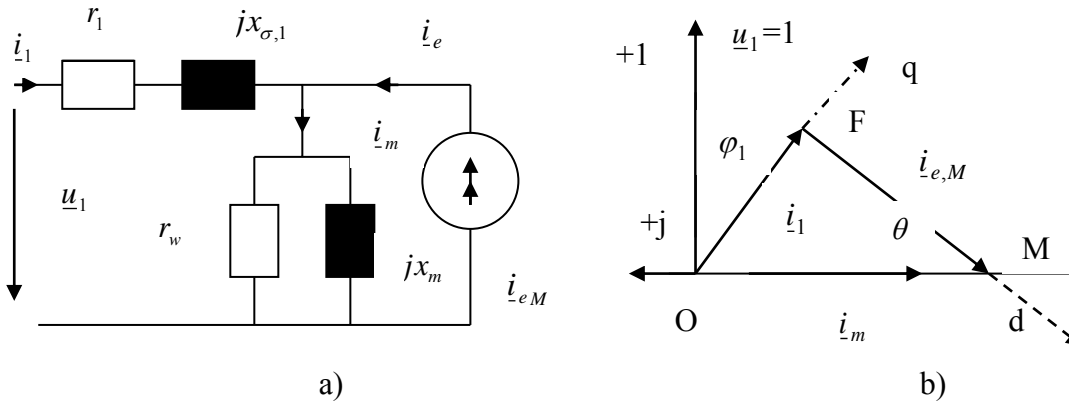


Fig.5

Pentru masina sincrona cu magneti permanenti, au fost obtinute urmatoarele expresii de calcul, [3]:

$$i_{e,M,n} = \omega_{1,n} \cdot \frac{k_{f,m}}{k_{w,1}} \cdot \frac{B_r \cdot B_{\delta,n}}{2\mu_o} \cdot \frac{\delta_m}{S_p} \text{ (u.r)}, \text{ si } i_{m,n} = \frac{q_{m,n}}{u_{m,n}} \cong \frac{1}{u_{m,n}} \cdot \frac{Q_{m,\delta}}{S_n} \cong \frac{1}{k_{w,1}} \cdot \frac{\delta \cdot \omega_{1n} \cdot B_{\delta,n}^2}{2\mu_o \cdot S_p} \text{ (u.r)} \quad (1)$$

-consumul specific de magnet permanent, $c_{m,p} = d_{m,p} \cdot v_{m,p}$ (kg/VA)

$$c_{m,p} = \frac{2\mu_o \cdot d_{m,p} \cdot i_{e,M,n}}{\omega_{1,n} \cdot k_e \cdot k_{m,p} \cdot B_r \cdot B_{\delta,n}}, \text{ unde: } k_{m,p}(\alpha_m) \cong \frac{k_{f,m}(\alpha_m)}{\alpha_m} = \frac{2 \cdot \sin(\alpha_{m,r})}{\alpha_{m,r}}, \alpha_{m,r} = \alpha_m \cdot \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

3. Relatii fundamentale

Din ecuatia intrefierului ($\delta = \delta_m + \delta_{Cu}$), unde $\delta = f(i_{m,n}), \delta_m = f(i_{e,M,n}), \delta_{Cu} = A_1 / (J_1 \cdot k_U)$ se obtine, *ecuatia generala*, a inductiei magnetice, in intrefier ($B_{\delta,n}$), [1]:

$$i_{m,n} - i_{e,M,n} \cdot \frac{B_{\delta,n}}{k_{f,m} \cdot B_r} = M \text{ (u.r)}, \text{ unde } M = \frac{2 \cdot p \cdot \rho_1 \cdot S_p}{\pi \cdot \mu_o \cdot k_{w,1} \cdot k_{U,1} \cdot n_1 \cdot Q_{t,1} \cdot D_m^2} \text{ (u.r)} \quad (3)$$

cu S_p -vectorul Poynting-constant pe suprafata de transfer, iar D_m -diametrul mediu al acesteia,

$$\text{respectiv, } \textit{conditia generala de realizabilitate a masinii: } i_{m,n} > \frac{i_{e,M,n} \cdot B_{\delta,n}}{k_{f,m} \cdot B_r} \text{ (u.r)} \quad (4)$$

3.1. Masina cu conversie mixta, biaxiala- biradiala, simetrica, sectiune rectangulara (Fig.4a)

a) Vectorul Poynting (S_p) si dimensiunile principale ale masinii (D_m, L): (5)

$$S_{e,n} = S_p \cdot (2\pi \cdot D_m \cdot L + 2\pi \cdot D_m \cdot L_a) \cong S_{p,o} \cdot 2\pi \cdot D_m \cdot (L + L_a) \text{ (VA)}, S_p = S_{p,o} = \frac{Q_{t,1}}{k_s \cdot p_{j1,n}} \text{ (} k_f = 1 \text{)}$$

Obs. Din ecuatia fluxului magnetic util: $\varphi_{j,1} = B_{j,1} \cdot h_{j,1} \cdot L = \frac{1}{2} (\varphi_{\delta,a} + \varphi_{\delta,r})$, unde:

$$\varphi_{\delta,a} = \alpha_b \cdot B_{\delta} \cdot L \cdot \pi D_m / 2p, \varphi_{\delta,r} \cong 2 \cdot \alpha_b \cdot B_{\delta} \cdot (L_a / 2) \cdot \pi D_m / 2p, \text{ si } k_{j,1} = \frac{\alpha_b \cdot \pi \cdot B_{\delta}}{2p \cdot B_{j,1}} = k_b \cdot B_{\delta} \quad (6)$$

rezulta: $\frac{L \cdot L_a}{L + L_a} = k_{j,1} \cdot D_m$, și $L_a = k_{j,1} \cdot D_m \cdot (1 + \alpha) / \alpha$, unde $\alpha = L / L_a$ -factorul de geometrie

respectiv, înlocuind în relația puterii electromagnetice: $D_m^2(\alpha) \cong \frac{S_{e,n}}{2\pi \cdot S_{p,o} \cdot k_b \cdot B_\delta} \cdot \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2}$ (m²) (7)

b) *Relația inducției magnetice în întrefier* (B_δ)

Având în vedere ecuația întrefierului, (3): $\delta = \delta_m + \delta_{Cu}$, cu $\delta(i_{m,n})$, $\delta_m(i_{e,M,n})$, și $\delta_{Cu} = A_1 / (J_1 \cdot k_{U,1})$ se obține ecuația generală a inducției magnetice, nominale, în întrefier:

$$b_\delta(\beta) = \frac{B_\delta(\alpha)}{B_r} = \frac{i_{m,n}}{\left(\frac{i_{e,M,n}}{k_{f,m}} + k_{Q,b} \cdot \frac{(1 + \alpha)^2}{\alpha} \right)} \text{ (u.r.)}, \text{ unde } k_{Q,b} = \frac{4p \cdot \rho_1 \cdot Q_{t,1} \cdot k_b \cdot B_r}{\mu_o \cdot k_{w1} \cdot k_{U,1} \cdot n_1 \cdot k_s \cdot S_n \cdot p_{j1,n}^2} \quad (8)$$

c) *Relația înălțimii jugului rotor* ($h_{j,2}$, respectiv $h_{j,2,i}$, $h_{j,2,e}$), cu inducția magnetică impusă $B_{j,2}$:

-relația fluxului magnetic axial: $B_{j,2} \cdot h_{j,2} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot \alpha_b \cdot B_\delta \cdot L \cdot \frac{\pi D_m}{2p}$, sau $h_{j,2} = \frac{\alpha_b \cdot B_\delta \cdot \pi}{4p \cdot B_{j,2}} \cdot D_m$

-relația fluxului magnetic radial (interior): $B_{j,2} \cdot h_{j,2,i} \cdot L_a = \frac{1}{2} \cdot \alpha_b \cdot B_\delta \cdot L_a \cdot \frac{\pi(D_m - L)}{2p}$, de unde:

$$h_{j,2,i} = \frac{\alpha_b \cdot B_\delta \cdot \pi}{4p \cdot B_{j,2}} \cdot (D_m - L) \text{ (m)}, \text{ respectiv } h_{j,2,e} = \frac{\alpha_b \cdot B_\delta \cdot \pi}{4p \cdot B_{j,2}} \cdot (D_m + L) \text{ (m)} \quad (9)$$

d) *Relația consumului specific de magnet permanent*

Din relația generală: $c_{m,p}(i_{e,M,n}) = \frac{2\mu_o \cdot d_{m,p} \cdot i_{e,M,n}}{\omega_{1,n} \cdot k_e \cdot k_{m,p} \cdot B_r \cdot B_\delta}$, unde $k_{m,p} = \frac{k_{f,m}(\alpha_m)}{\alpha_m}$, cu $B_\delta(\alpha)$, se obține:

$$c_{m,p}(\alpha) = \frac{d_{m,p} \cdot i_{e,M,n}}{\omega_{1,n} \cdot w_{M,o} \cdot k_e \cdot k_{m,p}(\alpha_m) \cdot b_\delta(\alpha)} \text{ (kg/VA)}, \text{ cu } w_{M,o} = B_r^2 / 2\mu_o \quad (10)$$

unde $\alpha_m = b_m / \tau \cong 0.7$ ($c_{m,p} \cong \text{min.}$) -reprezintă factorul de acoperire a magnetului;

3.2 Masina cu conversie mixta, axial-radială, simetrică, secțiune circulară (Fig.4b)

a) *Vectorul Poynting* (S_p) și dimensiunile principale ale mașinii (D_m , D): (11)

$$S_{e,n} = S_p \cdot \pi \cdot D_m \cdot \pi \cdot D = S_{p,o} \cdot \pi^2 \cdot D_m \cdot D \text{ (VA)}, \text{ unde } S_p = S_{p,o} = \frac{Q_{t,1}}{k_s \cdot p_{j1,n}} \text{ (VA/m}^2\text{)}, (k_f = 1)$$

b) *Relația fluxului magnetic din întrefier* (Φ_δ), jug stator ($\Phi_{j,1}$), respectiv jug rotor ($\Phi_{j,2}$)

$$\Phi_{j,1} \cong B_{j,1} \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \cong \Phi_\delta / 2 = \frac{1}{2} \cdot \alpha_b \cdot B_\delta \cdot \frac{\pi D_m}{2p} \cdot \pi D \cong \Phi_{j,2} \cong B_{j,2} \cdot \pi \cdot D \cdot h_{j,2}$$

$$\text{și respectiv } \Phi_{j,2} \cong B_{j,2} \cdot h_{j,2} \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot h_{j,2}) \cong \Phi_{j,1} = B_{j,1} \cdot \pi D^2 / 4, (h_{j,1} \cong D / 2) \quad (12)$$

Din relațiile de mai sus rezulta:

$$D = 2 \cdot k_{j,1} \cdot D_m, \quad D_m^2 = \frac{S_{e,n}}{2\pi^2 \cdot k_{j,1} \cdot S_{p,o}}, \quad h_{j,2} \cong \frac{\sqrt{D^2 + 2k_{j,2} \cdot D_m} - D}{4}, \quad k_{j,2} = k_{j,1} \cdot B_{j,1} / B_{j,2} \quad (13)$$

$$\text{unde } k_{j,1} = k_{j,1}(\alpha_m) = \frac{\alpha_b \cdot \pi}{2p \cdot B_{j,1}} \cdot B_\delta(\alpha_m)$$

c) *Relatia inductiei magnetice in intrefier, $B_\delta(\alpha_m)$*

Din ecuatia generala a intrefierului (rel.3),cu expresia de calcul a diametrului mediu(D_m),se obtine:

$$b_\delta(\alpha_m) = \frac{B_\delta(\alpha_m)}{B_r} = \frac{i_{m,n}}{k_{Q,c} + \frac{i_{e,n}}{k_{f,m}(\alpha_m)}}, k_{Q,c} = \frac{4p \cdot \pi \cdot \rho_1 \cdot Q_{t,1} \cdot k_b \cdot B_r}{\mu_o \cdot k_{w1} \cdot k_{U,1} \cdot n_1 \cdot k_S \cdot S_n \cdot p_{j1,n}^2}, k_b = \frac{\pi \cdot \alpha_b}{2p \cdot B_{j,1}} \quad (14)$$

unde: $k_{f,m}(\alpha_m) = \frac{4}{\pi} \cdot \sin(\alpha_m \cdot \frac{\pi}{2})$ -factorul de forma al magnetului permanent,variabil;

d) *Relatia consumului specific de magnet permanent*

La modificarea factorului de acoperire a magnetului(α_m),avand in vedere expresia generala de de

$$\text{calcul, a consumului specific de magnet permanent } c_{m,p}(i_{e,M,n}) = \frac{2\mu_o \cdot d_{m,p} \cdot i_{e,M,n}}{\omega_{1,n} \cdot k_e \cdot k_{m,p}(\alpha_m) \cdot B_r \cdot B_\delta}$$

inductiei magnetice $B_\delta(\alpha_m)$, obtinuta mai sus, se obtine:

$$c_{m,p}(\alpha_m) = \frac{d_{m,p} \cdot \alpha_m \cdot i_{e,M,n}}{\omega_{1,n} \cdot k_e \cdot w_{M,o} \cdot k_{f,m}^2(\alpha_m) \cdot i_{m,n}} \cdot (k_Q \cdot k_{f,m}(\alpha_m) + i_{e,M,n}) \text{ (kg/VA)} \quad (15)$$

4.Aplicatii

Pentru verificarea algoritmului de calcul propus, se va considera acelasi motor sincron,cu excitatie magnetoelectrica(magneti permanenti NdFeB, $B_r=1.1T$),si infasurare toroidala dispusa in intrefier, analizat in lucrari anterioare[1], cu datele nominale cunoscute:

$$P_n=500 \text{ kW}, f_n=50\text{Hz } p=2, \cos \varphi_n=0.96(\text{reactie pur transversala}), \eta_n=0.95; IP 23, Q_{1,t}=7800\text{W/m}^2; \text{ pentru care s-au calculat parametri schemei echivalente din fig.5a: } i_{e,n}=3.43\text{u.r.}(\theta_n = \varphi_n=15.5^\circ), i_{m,n}=3.57\text{u.r.}; r_1 = p_{j,1n} = \sum p_n / 3 = 0.016\text{u.r.}; x_{m,n}=0.28\text{u.r.}, r_w=31.4\text{u.r.} \quad (16)$$

In continuare,se realizeaza secventele *algoritmului Poynting*, pentru masina cu infasurarea trifazata toroidala,dispusa in intrefier($k_{u,1}=0.5$),in cele doua *variante constructive*,(fig.4a,b),cu magneti permanenti, dispusi pe suprafata rotorului exterior.

Drept *criterii de optimizare* pentru adoptarea unei *solutii optime*,se vor avea in vedere criteriul *consumului de materiale active*, $c_{m,1} = \min.$,pentru masina *rectangulara*(r)- $\alpha_{opt}=0.12$,fig.9,respectiv criteriul *diametrului interior* ($\alpha_{m,opt}=0.38, D_i \geq d_0$,fig.6),pentru masina *circulara*(c),-valorile din paranteze;

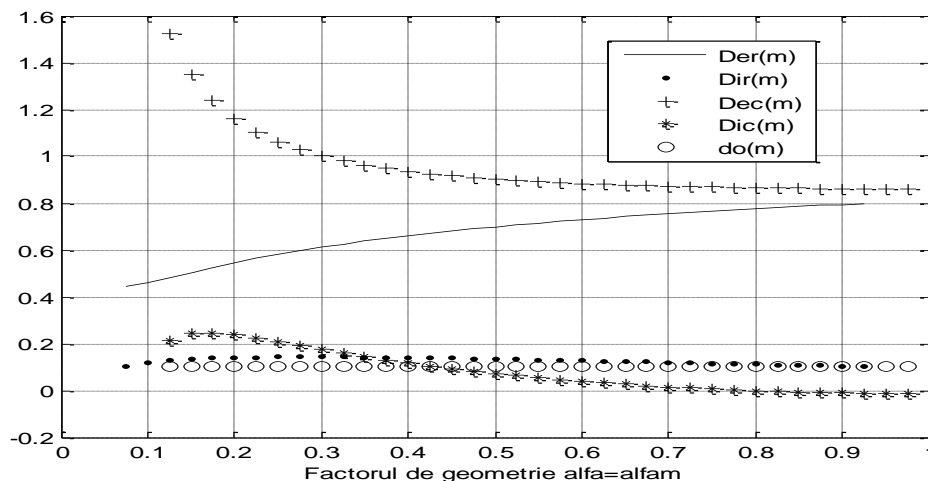


Fig.6

a) *vectorul Poynting si dimensiunile principale(Fig.6):* ; (17)
 $\alpha = 0.12(0.38)$; $S_{p,x} = 525.5(525.5) \text{ kVA/m}^2$; $D_{e,x} = 484(947) \text{ mm}$; $D_{i,x} = 129(131) \text{ mm} > d_0$;
 $L_x = 68 \text{ mm}$; $L_{a,x} = 541 \text{ mm}$, $L_{a,t,x} = 651 \text{ mm}$; $D_{m,x} = 294(539) \text{ mm}$; $D_x = (211) \text{ mm}$.;
 -volumul de gabarit specific: $v_{g,s} = 218(525) \text{ cm}^3/\text{kVA}$

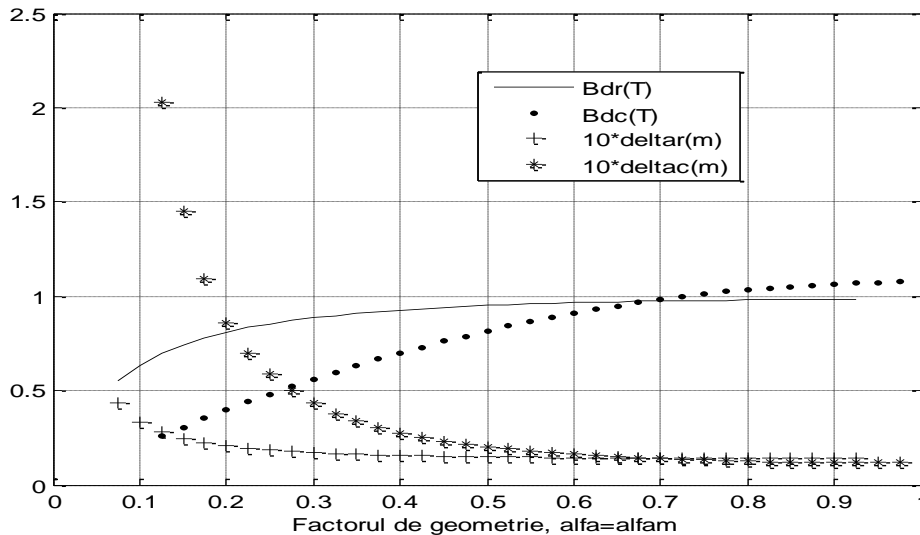


Fig.7

b) *solicitari electromagnetice (Fig.7)* (18)

$B_{\delta,x} = 0.696(0.67) \text{ T}$, $B_{j1,x} = 1.7(1.7) \text{ T}$, $B_{j2,x} = 1.9(1.9) \text{ T}$,
 $E_{S,x} = 11.4(19.9) \text{ V/m}$, $A_{1,x} = 463(263.4) \text{ A/cm}$, $J_{1,x} = 6.85(12.04) \text{ A/mm}^2$
 $\delta_x = 27.9(30.4) \text{ mm}$; $g_{Cu,1,x} = 13.5(5.4) \text{ mm}$. $\delta_{m,p,x} = 14.4(25) \text{ mm}$, $\alpha_{m,x} = \alpha_{m,opt} = 0.75 (0.38)$;
 -constanta Arnold-Esson: $C_A = A_1 \cdot B_\delta \cdot \pi^2 / \sqrt{2} = 224.7(122) \text{ kN/m}^2$; (19)

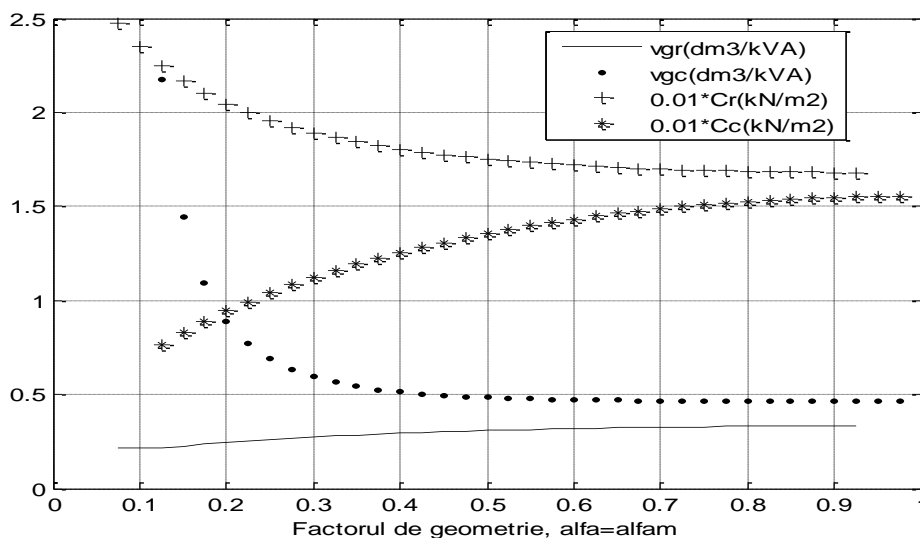


Fig.8

c) *performante economice* (20)

$p_{j1,x} = 0.016(0.016) \text{ u.r.}$; $c_{Cu,1,x} = 0.123(0.04) \text{ kg/kVA}$;
 $c_{Fe,1,x} = 0.469(0.82) \text{ kg/kVA}$.; $c_{m,p,x} = 0.164(0.142) \text{ kg/kVA}$
 $c_{m,1,x} = c_{Cu,1,x} + c_{Fe,1,x} + c_{m,p,x} = 0.756(1.002) \text{ kg/kVA}$;

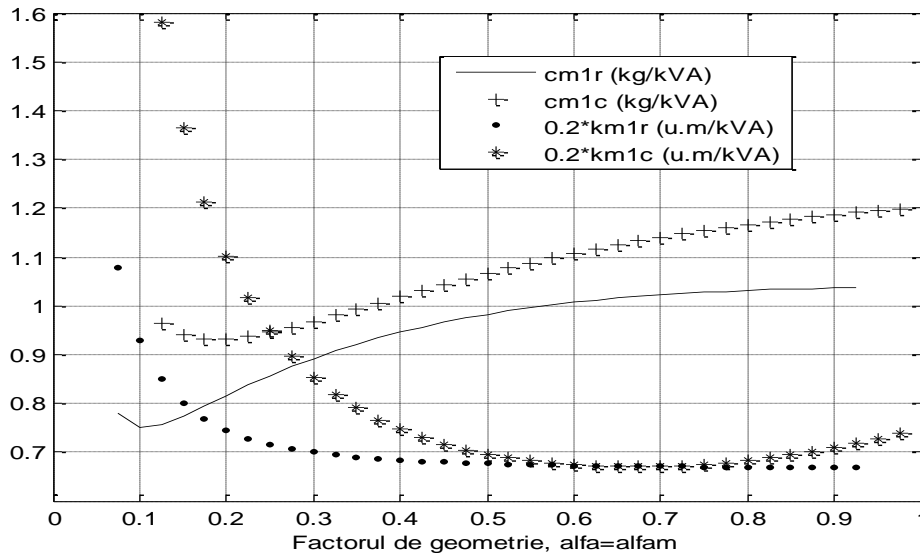


Fig.9

d) dimensionarea infasurarii trifazate, $U_{1,n}=6000V$, conex.stea (21)

- numarul de spire pe faza: $w_1 = U_{f,1} / U_{sp} = 278(291)$ sp., unde:

$U_{sp} = E_s \cdot (2L + 2L_a) \cdot k_{w1} = 12.45V/sp.$, pentru varianta rectangulara (r -rectangulara); respectiv:

$U_{sp} = E_s \cdot \pi \cdot D \cdot k_{w1} = 11.92V/sp.$, pentru varianta (c -circulara)

- sectiunea spirei: $S_w = I_{f,1} / J_1 = 7.7(4.4)mm^2$;

- pierderile Joule in infasurare: $p_{j,1} = 3R_1 \cdot I_{1f,n}^2 / S_n = 0.0165(0.0165)u.r$; $\epsilon_{p,j,1} = 3.0\%$;

unde $R_1 = \rho_1 \cdot w_1 \cdot L_w / S_w = 1.08(1.08)\Omega$, cu $L_w = 2L + 2L_a$, respectiv $L_w = \pi \cdot D$;

6.Concluzii

Utilizarea algoritmului Poynting (S_p , VA/m²) permite abordarea sistematica a problemei sintezei (dimensionarii) unei clase largi de masini electrice, -aici a masinilor sincrone cu magneti permanenti si conversie mixta, axial-radiala, *simetrica*, -in absenta unei zone frontale (inactive), respectiv $k_f = 1$.

Astfel, spre deosebire de celelalte tipuri constructive avute in vedere, [1], pentru care S_p este variabil - $S_p(k_f) = S_{p,o} \cdot k_f$, $k_f > 1$, pentru masina axial-radiala simetrica, $S_p = Q_t / k_s \cdot p_{j1,n} = const.$, se obtin solutii distincte in functie de raportul dimensiunilor principale $\alpha = L / L_a < 1$, masina *rectangulara-r* (fig.4a), respectiv factorul de acoperire al magnetului permanent ($\alpha_m < 1$) - masina *circulara-c*, fig.4b cu performantele (dimensiuni, solicitari electromagnetice, etc) din fig.6...9;

Dintre cele doua variante (r, c), masina *rectangulara* rezulta mai avantajoasa, din punct de vedere al *gabaritului* ($v_{g,r} < v_{g,c}$, fig.8), *diametrului exterior* ($D_{e,r} < D_{e,c}$, fig.6), cat si din punct de vedere *economic* ($c_{m,1,r} < c_{m,1,c}$, si $k_{m,1,r} < k_{m,1,c}$, fig.9) ambele variante fiind deficitare in privinta $D_i \cong d_o$ (fig.6)

In Tab.1 sunt reprezentate comparativ, principalele performante geometrice si economice ale celor patru tipuri fundamentale de conversie avute in vedere (radiala, axiala, axial-radiala nesimetrica, [1], respectiv simetrica), de unde se observa, contrar asteptarilor, performantele tehnico-economice modeste ale ultimelor doua variante (fara a mai vorbi de dificultatile constructive ale acestora), cu o mentiune totusi pentru *varianta circulara*, careia ii corespunde *cel mai mic* consum specific de cupru ($c_{Cu,1} = 0.040kg/kVA$), dintre toate variantele analizate.

Tab. 1

Performante Masina	k_f / S_p (kVA/m ²)	D_e / D_i (mm)	$v_{g,s}$ $\frac{cm^3}{kVA}$	C_A $\frac{kN}{m^2}$	$\frac{(g)_{M,P}}{(g)_{Cu}}$ (mm)	$c_{Cu,1}$ $\frac{kg}{kVA}$	$c_{Fe,1}$ $\frac{kg}{kVA}$	$c_{M,p}$ $\frac{kg}{kVA}$	$c_{m,a}$ $\frac{kg}{kVA}$
1. Radiala (fig.1)									
-rotor int.(i.toroid) (var.,-t)	5.25/2760	1120/520	142	401	55/23	0.21	0.43	0.12	0.76
-rotor ext.(i.toroid) (var.,-u)	4.5/2391	1160/570	188	368	47/19	0.17	0.36	0.12	0.65
-2 rotoare(i.toroid) (var.,-r)	3.75/1970	1439/121	207	362	42/21	0.19	0.40	0.13	0.72
-rotor int.(i.polar)	1.8/946	457/169	246	313	28/30	0.28	0.33	0.18	0.79
2. Axiala (fig.2)									
-uniaxial (i.toroid.)	5/2628	932/763	390	389	52/21	0.20	0.39	0.12	0.71
-biaxial (i.toroid.)	3.75/1945	753/611	394	358	41/21	0.19	0.40	0.13	0.72
-uniaxial (i.polar)	2.8/1471	737/178	363	404	47/60	0.55	0.24	0.19	0.98
3. Axial-Radiala (asimetrica,fig.3)									
-biaxial,radial-inf.	1.75/920	468/186	172	285	23/19	0.17	0.42	0.15	0.74
-biaxial,radial-sup.	1.75/920	650/342	339	285	23/19	0.17	0.42	0.15	0.74
-biradial, uniaxial.	1.1/583	598/146	242	210	13/8	0.08	0.64	0.14	0.86
4, Axial-Radiala (simetrica,fig.4)									
- rectangulara	1./525	484/129	218	224	14./13.	0.123	0.47	0.16	0.76
- circulara	1./525	947/131	525	122	25./ 5.4	0.040	0.82	0.14	1.00

7. Bibliografie

- [1]. M.Mihalache,Algoritmul Poynting si sinteza optimala a masinilor sincrone cu magneti permanenti si infasurare toroidala in intrefier, Partea 1,Masini cu conversie radiala, Partea 2, Masini cu conversie axiala, Partea 3,Masini cu conversie mixta,axial-radiala, SME'2018
- [2]. M.Mihalache, Masini electrice de curent alternativ, Analiza si Sinteza optimala, Ed.MatrixRom,Bucuresti,2014
- [3]. M.Mihalache Analiza si sinteza optimala a masinilor electrice cu magneti permanenti Partea1, Analiza, Partea 2,Sinteza, SME'2013,Bucuresti,2013
- [4]. M.Mihalache, Masina Sincrona, Analiza si Sinteza optimala,Ed.MatrixRom,Bucuresti,2009
- [5]. M.Mihalache,The Poynting Algorithm-a general method in optimal sizing of electrical machines, A.T.E.E.'08, Bucarest, 2008.
- [6]. M.Mihalache,Vectorul Poynting si dimensiunile principale ale masinilor electrice, Simpozionul Electrotehnica'96,Bucuresti,1996
- [7]. M.Mihalache,Vectorul Poynting si dimensiunile principale ale transformatoarelor electrice, E.E.A. Electrotehnica,42,nr.2,1994