

ANALIZA COMPARATIVA A COMPORTARII CUPLAJELOR COAXIALE SI FRONTALE – CU MAGNETI PERMANENTI – IN MEDII CU TEMPERATURA RIDICATA

Ion Voncila, Cristian Munteanu, Razvan Buhosu

Universitatea « Dunarea de Jos » din Galati
Facultatea de Inginerie Electrica, str. Domneasca, nr.47, cod 800008
Tel./Fax.: 0236/460182, E-mail: Ion.Voncila@ugal.ro

Abstract

This paper presents a comparative analysis of the behavior of coaxial and frontal couplings – with permanent magnets – in high temperature environments specific to iron and steel industry. The comparative analysis is made at the level of the specific forces developed in the most difficult environments (environmental temperature $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$, respectively maximum temperatures on the limit of the domain, $T_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$). The maximum temperature was limited for reasons of thermal stability of the Nd-Fe-B permanent magnets.

In this context it was studied, by the help of the PDE-ase soft that uses the finite element method, the way magnetic induction modifies, the specific forces developed and the distribution of temperature within the coaxial and frontal couplers with permanent magnets, for variations of the distance between the magnets (air-gap) within the limits ($2 \div 20$) mm.

As frame of reference it was chosen an environment that maintains constant temperature (the environmental temperature) that does not modify the characteristics of the permanent magnets in time and with the temperature. For the coaxial couplings – that represent the main topic of this paper – (the frontal couplings being studied in other papers, mentioned in the bibliography), it was studied the behavior as compared to the chosen reference:

- The environmental temperature $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$;
- The environmental temperature $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$.

For the ferromagnetic environments used for the building of couplers the saturation phenomenon was also taken into consideration.

Following the analysis, conclusions were drawn regarding the functional stability of coaxial and frontal couplers – with Nd-Fe-B permanent magnets.

Keywords: permanent magnets, permanent magnet couplings.

1. INTRODUCERE

Actionarile electrice moderne reclama o continua modificare a vitezei la arbore. Ca urmare acestea se afla intr-un permanent regim dinamic. Un astfel de regim solicita atat masina electrica – ca inima a lantului de actionare – cat si elentele de transmisie a miscarii dintre arborele masinii electrice si cel al masinii de lucru. Cuplajele mecanice – fiind rigide – fac tot mai greu fata unor astfel de solicitari dinamice, avand o fiabilitate din ce in ce mai scazuta in actionarile electrice moderne. Singura solutie viabila pentru cresterea fiabilitatii elementelor de transmitere a miscarii (cuplajele) este reprezentata de „ruperea” legaturii rigide (cu bolturi etc.) si crearea unei flexibilitati in transmiterea miscarii prin intermediul campului electromagnetic - in general – si a celui magnetic, in particular. Cuplajele electromagnetice (ce implica folosirea de infasurari de excitatie) sunt utilizate de mai multa vreme in domeniul actionarilor de medie si mare putere, unde nu exista, totusi, o reglare continua a vitezei la arbore. Cu totul altfel stau lucrurile in cazul actionarilor moderne de mica putere (necesare sistemelor flexibile de productie), unde procesul dinamic reclama fiabilitate sporita cu cheltuieli mici si, desigur, dimensiuni mici de gabarit. O astfel de problema poate fi rezolvata prin utilizarea cuplajelor cu magneti permanenti performanti (magnetii pe baza de pamanturi – rare, in special magnetii din Nd-Fe-B).

Prin utilizarea unor astfel de cuplaje se obtin urmatoarele avantaje in comparatie cu cele de tip electromagnetic:

- Simplificarea instalatiei de alimentare si comanda a actionarii electrice (prin indepartarea portiunii aferente alimentarii si comenzii cuplajelor electromagnetice);
- Reducerea dimensiunilor de gabarit ale sistemului de transmisie (prin indepartarea infasurarilor);
- Imbunatatirea randamentului transmisiei si a lantului de actionare, in general, prin indepartarea unei surse de pierderi suplimentare (cele din infasurarea de excitatie a cuplajelor electromagnetice);
- Reducerea constatatelor de timp a elementelor de transmisie (ca urmare a eliminarii infasurarii de excitatie si, astfel, a fenomenelor de comutatie din aceasta infasurare).

Marele dezavantaj al noului sistem de transmisie este reprezentat de dificultatea reglarii „tariei” cuplajului (in cazul cuplajelor electromagnetice aceasta se regla usor prin modificarea intensitatii curentului din circuitul de excitatie). Dar, si in acest caz, se poate obtine o modificare a cuplului transmis – de la masina electrica la masina de lucru – prin varierea distantei dintre semicuple (dintre magnetii permanenti).

In practica se utilizeaza trei clase de cuplaje cu magnetii permanenti: frontale, coaxiale (centrale), respectiv, intermediare (o combinatie a celor doua). Obiectul acestei lucrari il constituie realizarea unei analize comparative intre cuplajele coaxiale si cele frontale.

2. DETERMINAREA DISTRIBUTIEI CAMPULUI MAGNETIC IN CUPLAJELE CU MAGNETI PERMANENTI

Realizarea analizei comparative propuse presupune determinarea inductiilor magnetice, a energiilor specifice si a fortelor volumice dezvoltate in cadrul cuplajelor cu magnetii permanenti. Algoritmul utilizat in lucrare si-a propus, intr-o prima etapa, determinarea distributiei campului magnetic in cele doua tipuri de cuplaje supuse analizei, avand drept scop, la finalul acestei etape, determinarea energiilor magnetice (ca energii interne ale celor doua structuri).

Pentru determinarea distributiei de camp magnetic – in cadrul cuplajelor analizate – s-a utilizat softul PDE-ase [1], ce foloseste pentru rezolvarea problemei de camp metoda elementului finit. Deoarece rezolvarea problemei de camp se face in plan (utilizandu-se

elemente finite bidimensionale, respectiv, triunghiuri), este necesara folosirea simetriilor din cadrul structurilor studiate. Astfel, intr-un prim pas, se determina dimensiunile geometrice ale cuplajelor si, totodata, planele de simetrie. Se obtin, astfel, structurile ce vor fi implementate in soft, care devin domeniile de integrare in rezolvarea problemei de camp. Pentru cele doua clase de cuplaje supuse analizei (realizate cu magneti din Nd-Fe-B) domeniile de integrare sunt prezentate in figurile 1 si 2.

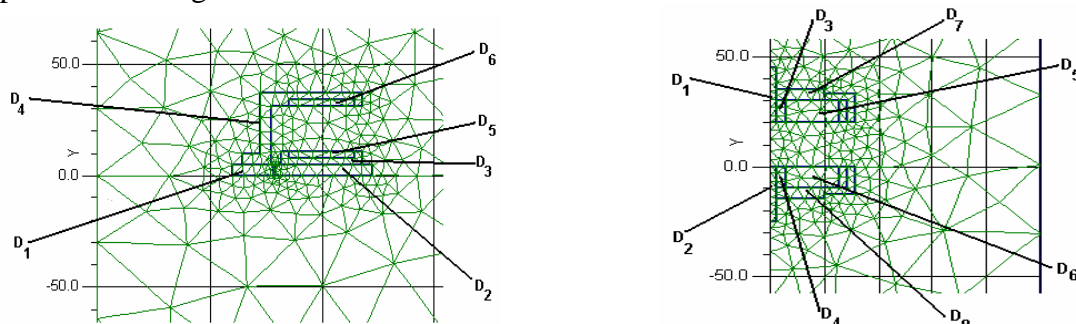


Fig.1 Domeniul de integrare pentru cuplaje coaxiale Fig.2 Domeniul de integrare pentru cuplaje frontale

Semnificatia subdomeniilor este urmatoarea:

D₁ – arborele masinii de lucru;

D₂ – arborele masinii electrice;

D₃, D₄ – anelul de incastare a magnetilor permanenti pe semicupla conductoare (condusa) (din polietilena de mare densitate pentru cuplajele coaxiale, respectiv, din aluminiu pentru cuplajele frontale);

D₅, D₆ – magneti permanenti din Nd-Fe-B pe semicupla conductoare (condusa);

D₇, D₈ – concentratoare de flux (din otel moale) in cazul cuplajelor frontale.

Pentru determinarea distributiei campului magnetic, in aceste cuplaje, s-a utilizat modelul matematic dat de sistemul (1):

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \left[\frac{1}{\mu} \cdot (\operatorname{rot} \bar{A} - \bar{I}) \right] = 0 \\ \bar{A}(P) = 0 & P \in \operatorname{Fr}_1(D) \\ \frac{\partial \bar{A}(P)}{\partial n} = 0 & P \in \operatorname{Fr}_2(D) \end{cases} \quad (1)$$

Distributiile de camp – obtinute pentru cuplajele, in mediile normale alese ca referinta (pentru care nu s-au considerat variatii in timp si cu temperatura ale marimilor fizice), la o valoare a distantei dintre magneti (intrefierului) $\delta = 10 \text{ mm}$ - sunt prezentate in fig.3 (pentru intensitatea campului magnetic \bar{H}), respectiv, fig.4 (pentru inductia magnetica \bar{B}).

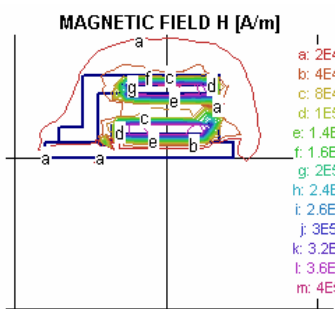


Fig. 3 Distributia intensitatii campului magnetic in cuplajele coaxiale

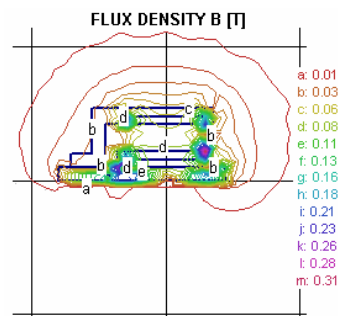


Fig. 4 Distributia inductiei magnetice in cuplajele coaxiale

Pentru a reliefa influenta factorilor de mediu (in special, temperatura) asupra performantelor acestor cuplaje cu magneti permanenti, s-au determinat si distributiile de camp magnetic in cazul in care aceste cuplaje lucreaza in medii deosebit de grele (specifice, de exemplu, industriei siderurgice). S-a considerat, astfel, cazul in care cuplajele sunt implementate intr-un lant de actionare ce lucreaza in apropierea unor cuptoare. Pentru a respecta indicatiile producatorilor de magneti permanenti din Nd-Fe-B, in ceea ce priveste stabilitatea cu temperatura a acestora, s-a ales, in simulare, temperatura maxima, pe frontiera domeniului de integrare: $T_{\max} = 100^{\circ}\text{C}$ (in imediata apropiere a cuptorului). Pentru temperatura mediului ambiant s-au analizat doua situatii: $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$, respectiv, $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$. In acest caz, apare o variatie cu temperatura atat a caracteristicilor magnetilor permanenti, cat si a caracteristicilor celorlalte materiale utilizate in constructia cuplajelor (alumiul anvelopelor, otelul moale utilizat in realizarea concentratorului de flux la cuplajele frontale, otelul de constructii folosit la realizarea arborilor masinilor din lantul de actionare). Pentru polietilena de mare densitate utilizata ca anvelopa in cazul cuplajelor coaxiale s-a considerat ca valoarea aleasa pentru temperatura maxima nu atrage modificari ale caracteristicilor.

Totodata, pentru otelurile existente in constructia cuplajelor magnetice, s-a tinut cont si de fenomenul de variatie a permeabilitatii magnetice relative ca o functie de variatia intensitatii campului magnetic.

Pentru variatia polarizatiei magnetice cu temperatura s-a utilizat relatia [2]:

$$I[T] = I_0 \cdot [1 - \beta \cdot (T - T_0)] \quad (2)$$

unde:

- $I_0 = 0,6[T]$ - este valoarea polarizatiei in mediul de referinta (in general, pentru temperatura mediului ambiant $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$);
- $\beta = 8 \cdot 10^{-4} [1/0^{\circ}\text{C}]$ - este coeficientul de variatie cu temperatura a polarizatiei magnetice pentru magnetii din Nd-Fe-B;
- $T_0 [0^{\circ}\text{C}]$ - este temperatura mediului ambiant.

Pentru variatia permeabilitatii magnetice relative – a celor doua tipuri de oteluri folosite s-au utilizat relatiile:

- pentru otelul din constructia arborilor masinilor electrice, respectiv, de lucru [4], [5]:

$$\mu_r = 100 + \frac{2000}{1 + 0,2 \cdot (\text{gradA})^2}; \quad (3)$$

- pentru otelul utilizat la realizarea concentratorului de flux magnetic, in cazul cuplajelor frontale [4], [5]:

$$\mu_r = 150 + \frac{1500}{1 + 0,25 \cdot (\text{gradA})^2}. \quad (4)$$

Distributiile de camp obtinute – pentru cuplajele coaxiale – la temperatura mediului ambiant cea mai defavorabila, $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$, pentru o valoare a distantei dintre magneti $\delta = 10$ mm, sunt prezentate in fig.5 (pentru intensitatea campului magnetic \overline{H}), respectiv, fig.6 (pentru inductia magnetica \overline{B}). Pentru cuplajele frontale astfel de distributii sunt prezentate in lucrarile [4], [5].

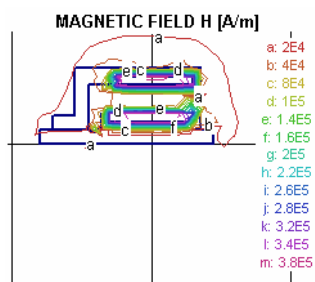


Fig. 5 Distributia intensitatii campului magnetic in cuplajele coaxiale pentru $T_0 = 40^0\text{C}$

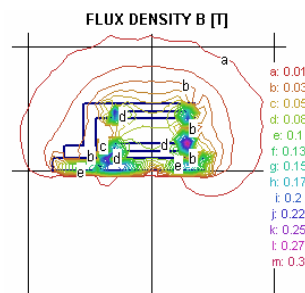


Fig. 6 Distributia inductiei magnetice in cuplajele coaxiale pentru $T_0 = 40^0\text{C}$

Scopul final al acestei etape l-a constituit determinarea energiilor magnetice specifice, $W_m[\frac{\text{J}}{\text{m}^3}]$. Pentru aceasta, s-au determinat, in prealabil, modulul inductiei magnetice, respective, al intensitatii campului magnetic cu relatiile:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} [\text{T}], \quad (5)$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} [\text{A/m}]. \quad (6)$$

In aceste conditii, energia specifica, s-a determinat cu relatia:

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H [\frac{\text{J}}{\text{m}^3}]. \quad (7)$$

3. DETERMINAREA FORTELOR MAGNETICE SPECIFICE

Urmatoarea etapa a algoritmului a avut drept scop determinarea fortelor magnetice specifice (pe unitatea de volum). Pentru determinarea acestora s-a utilizat teorema fortelor generalizate. Conform acesteia, componentele fortelor dupa cele doua axe au expresiile:

$$f_x = -\frac{\partial W_m}{\partial x} [\frac{\text{N}}{\text{m}^3}], f_y = -\frac{\partial W_m}{\partial y} [\frac{\text{N}}{\text{m}^3}]. \quad (8)$$

Fora specifica rezultanta se determina cu expresia:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} [\frac{\text{N}}{\text{m}^3}]. \quad (9)$$

4. REZULTATE OBTINUTE

In urma analizei efectuate s-au obtinut rezultatele evidentiate in figurile 7 – 11. In fig. 7 este prezentata variatia inductiei magnetice din intrefier in cele trei situatii: medii normale (de referinta), medii cu temperatura ridicata, pentru $T_0 = 20^0\text{C}$, respectiv, medii cu temperatura ridicata, pentru $T_0 = 40^0\text{C}$. In fig. 8 si 9 sunt prezentate variatiile fortei specifice rezultante si ale temperaturii in cazul cuplajelor coaxiale, pentru cele trei situatii mentionate mai sus. In fig. 10 este prezentata variatia fortei specifice rezultante (in cazul mediilor cu $T_0 = 40^0\text{C}$), pentru cuplajele frontale, iar in fig. 11 este prezentata variatia temperaturii, in cadrul cuplajului frontal, pentru medii cu $T_0 = 40^0\text{C}$.

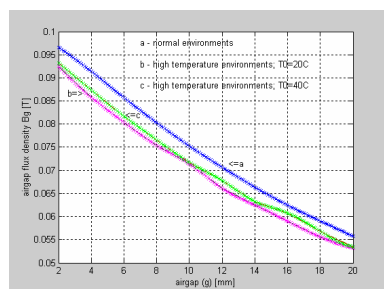


Fig. 7 Variatia inductiei in intrefier la cuplajele coaxiale pentru $\delta \in [2,20]$ mm

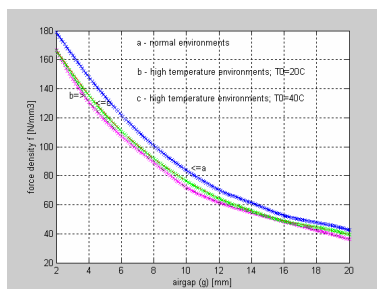


Fig. 8 Variatia fortei specifice rezultante la cuplajele coaxiale pentru $\delta \in [2,20]$ mm

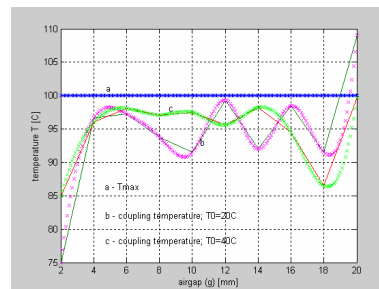


Fig. 9 Variatia temperaturii la cuplajele coaxiale pentru $\delta \in [2,20]$ mm

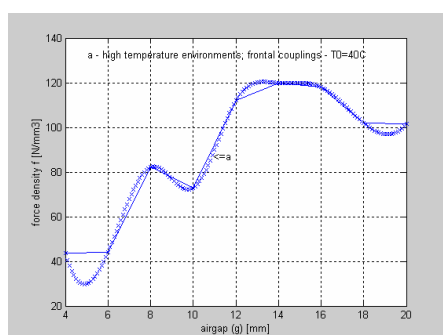


Fig. 10 Variatia fortei specifice rezultante la cuplajele frontale pentru $\delta \in [4,20]$ mm si $T_0 = 40^{\circ}\text{C}$

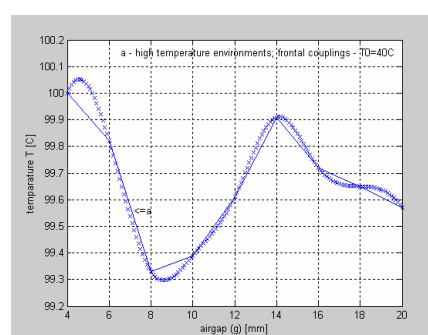


Fig. 11 Variatia temperaturii la cuplajele frontale pentru $\delta \in [4,20]$ mm

5. CONCLUZII

In urma analizei efectuate s-au desprins urmatoarele concluzii:

- in cazul cuplajelor coaxiale (fara concentrator de flux) forta specifica are o variatie parabolica;
- in cazul cuplajelor frontale (exista concentrator) forta specifica are o variatie prin salt in zona intrefierurilor mici;
- existenta concentratorului de flux determina atat oscilatii ale fortei specifice cat si mentinerea unei temperaturi ridicate in cazul cuplajului frontal, creandu-se pericolul aparitiei unei instabilitati functionale in mediile cu temperatura ridicata.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1] ***PDE-ase., Reference manual tutorial handbook of demonstration, SPDE, Inc., 1995.
- [2] **** Catalog magneti permanenti al firmei Tridelta GmbH, 2000.
- [3] Mocanu C.I., Teoria campului electromagnetic, Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1981.
- [4] Voncila I., Badea N., Ivas S., Consideratii privind comportarea cuplajelor frontale cu magneti permanenti in medii cu pulberi si temperatura ridicata, Lucrarile Simpozionului National de Electrotehnica, Craiova, august 1999, pag.347 - 357.
- [5] Voncila I., Badea N., Dobrota I., The behavior of asymmetric frontal couplings with permanent magnets in magnetic powder and high temperature environments, Analele Universitatii „Dunarea de Jos” din Galati, fascicula 3, 2002, pag. 10-14.