



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

ANALIZA CU ELEMENTE FINITE TRIDIMENSIONALE A MAȘINII SINCRONE HOMO-HETEROPOLARE UTILIZATĂ CA GENERATOR ÎN APLICAȚII EOLIENE SAU LA MICROHIDROCENTRALE

Sorin Ioan DEACONU, Marcel TOPOR, Lucian Nicolae TUTELEA,
Gabriel Nicolae POPA, Petre Lucian GHERMAN, Maria NĂSĂUDEAN,
Carmen MOTORGA

3D FEM VALIDATION OF HOMO-HETEROPOLAR SYNCHRONOUS MACHINE FOR WIND OR HYDRO APPLICATIONS

In an effort to introduce a low cost (PM less), low power electric wind or hydro generators, this paper reports on preliminary design aspects, 3D FEM analysis of a 2.5 KVA, 250-1000 rpm, reactive homo-heteropolar brushless synchronous machine (RHHBSM).

Keywords: three-dimensional finite element analysis, homo-heteropolar synchronous machine rotating excitation stator applications reduced wind power, small hydro

Cuvinte cheie: analiza cu element finit tridimensională, mașină sincronă homo-heteropolară rotativă, excitație statorică, aplicații eoliene de putere redusă, microhidrocentrale

1. Introducere

Unul dintre principalele dezavantaje ale mașinilor sincrone clasice este plasarea în rotor a înfășurării de excitație, care determină o greutate și o inerție mare a rotorului și implică existența contactelor

alunecătoare (perii și inele). În referința [1] s-a prezentat o nouă formă de mașină sincronă heteropolară liniară, care este capabilă să asigure atât forța de tracțiune cât și forța de ridicare la randament și factor de putere relativ ridicate. În referința [2] este prezentată o mașină sincronă rotativă reactivă cu excitație homopolară statorică, care elimină dezavantajele mașinilor sincrone clasice. Constrângerile de concepție și proiectare a dispozitivelor electrotehnice necesită efectuarea în prealabil a unor simulări numerice care să fie cât mai apropiate posibil de condițiile reale de funcționare. Pentru aceasta, este necesar să fie cuplate modelele fizice electric, magnetic și mecanic care permit simularea în sarcină a mașinilor rotative [3]. Metoda elementelor finite bidimensională (F.E.M.), permite o astfel de cuplare, pentru analiza în plan a mașinilor electrice analizate. Chiar și în acest caz, este nevoie de un timp de calcul ridicat. Utilizarea acestei metode pentru mașini cu construcție complicată tipic tridimensională, nu a fost aplicată foarte des deoarece timpul de calcul este cu mult mai mare [4].

În scopul de a obține cele mai bune rezultate în proiectarea mașinilor electrice speciale, trebuie să fie utilizate atât metodele clasice cât și metodele de calcul numeric. Calculul trebuie să se bazeze pe un model matematic cât mai exact. Pe baza acestui model sunt determinate prin simulare caracteristicile mașinii în regim nesaturat și saturat [2], [5]. Particularitățile de proiectare ale acestui tip de generator sunt legate de caracterul axial al distribuției câmpului magnetic. Calculul câmpului în mașină poate fi realizată prin metoda elementelor finite [6], sau prin metoda tuburilor de câmp [2], [5], [7-8]. Luând în considerare distribuția axială a câmpului mașinii, este necesară o modelare tridimensională. Pentru acest model tridimensional este necesar un software specializat, care are nevoie de un calculator performant, iar timpul de calcul este ridicat.

2. Elemente constructive

Mașina sincronă reactivă homo-heteropolară fără perii (RHHBSM) analizată în continuare este o mașină rotativă. Pentru a putea înțelege elementele sale constructive, în figura 1 se prezintă o secțiune longitudinală. Bobinele de excitație au o formă de inel și sunt amplasate în ferestrele pachetului de tole în formă E (figura 1), iar la trecerea polilor rotorului, câmpul se închide, având o formă de variație dreptunghiulară. Când polul rotoric nu se află sub pachetul de tole, câmpul magnetic este practic nul.

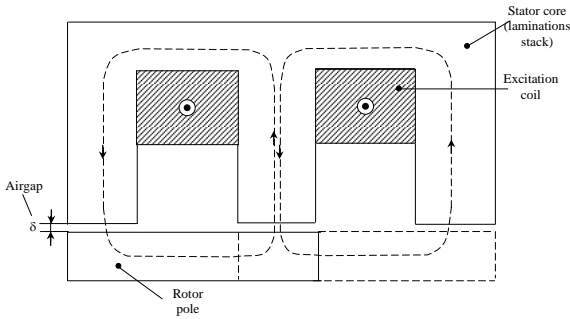


Fig. 1 Secțiune longitudinală în circuitul magnetic al mașinii sincrone homopolare

Elementele constructive ale mașinii RHHBSM, sunt prezentate în figurile 2, 3 și 4 într-o vizualizare 3D și 2D.

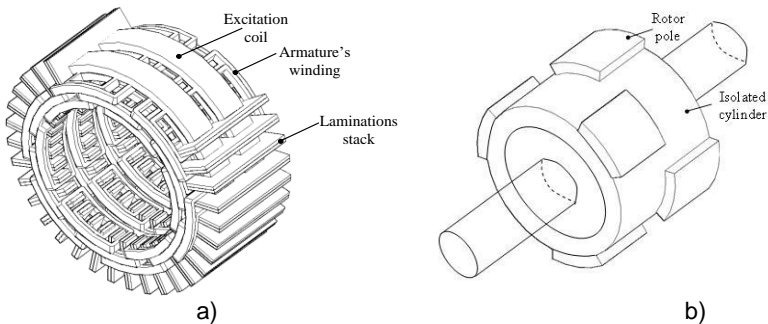


Fig. 2 a) Reprezentarea 3D a circuitului magnetic statoric cu înfășurările de excitație și bobinele înfășurării indusului; b) reprezentarea 3D a rotorului

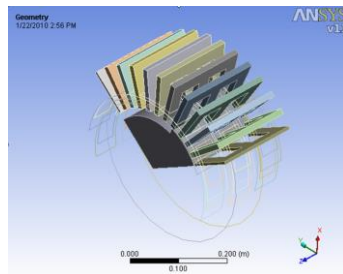
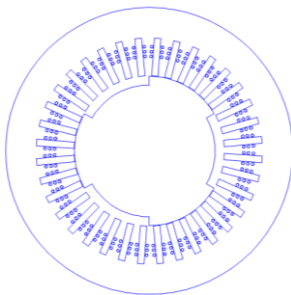


Fig. 3 a) Reprezentarea 2D a circuitului magnetic statoric și rotoric cu bobinele înfășurării indusului; b) reprezentarea geometriei 3D a mașinii

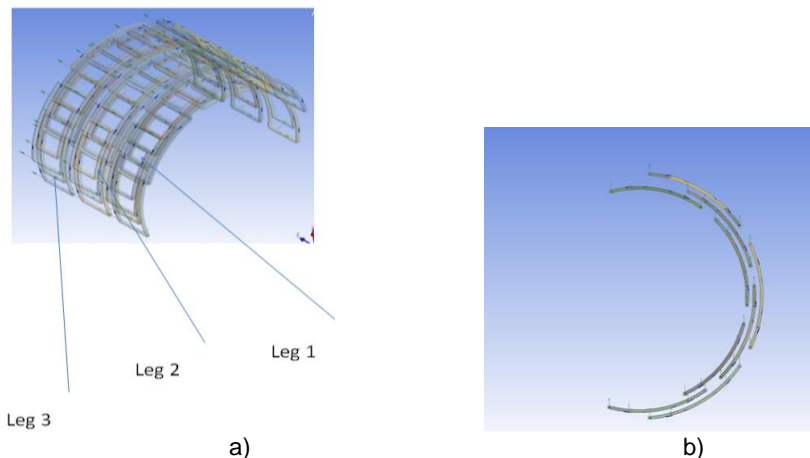


Fig. 4 a) Reprezentarea 3D a bobinelor înfășurării statorice: a) pentru cele trei picioare ale pachetului de tole; b) înfășurările de pe primul picior al pachetului de tole, pentru toate cele trei faze, așezate în trei straturi

Bobinele de excitație au o formă de inel și sunt plasate în ferestrele pachetelor de tole în formă de E. Înfășurarea de curent alternativă a indusului este plasată în creștăturile deschise, formate între pachetele de tole. Pentru a proiecta structura magnetică tridimensională a RHHBSM, este necesar să se identifice distribuția fluxului mașinii. Geometria RHHBSM reprezintă o problemă dificilă din cauza diferitelor cuplaje încrucișate între rotor și stator. Distribuția fluxului datorată înfășurării de curent alternativ respectiv celei de excitație este analizată separat.

3. Analiza cu elemente finite tridimensionale

Metoda elementelor finite este utilizată în scopul obținerii parametrilor cheie ai RHHBSM. Având în vedere că topologia mașinii este pur tridimensională din punct de vedere al căilor de flux, caracteristicile tranzitorii complete și parametrii nu pot fi obținuți fără un efort deosebit de calcul. Analiza cu elemente finite a mașinii a fost realizată pe o platformă comercială de software. Atunci când se aplică la mașinile electrice, problema descrisă este de obicei redusă pentru a acoperi doar un singur pol sau o pereche de poli cu ajutorul condițiilor de frontieră și a condițiilor de simetrie, în scopul reducerii timpului de calcul. Înfășurările sunt în conexiune stea, iar curenții care străbat înfășurările în procesul de calcul sunt $I_A = I$, $I_B = I_C = -I/2$.

Din analiza cu elemente finite 3D, vom lua în considerare doar anumite valori-cheie sau valori de verificare, care nu pot fi obținute prin alte mijloace. Din moment ce această topologie de mașină are un câmp 3D, modelul magnetostatic cerut este la rândul lui de tip 3D Solver. În scopul de a simplifica soluția am folosit doar o treime de model (figurile 5-9), profitând de simetria mașinii. Chiar și cu ajutorul instrumentului de calcul 3D FEM timpul este foarte mare, limitând utilizarea modelului în procesul de investigare a parametrilor.

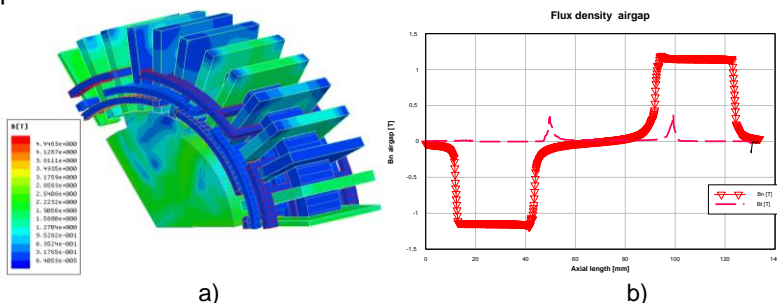


Fig. 5 Rezultate obținute prin metoda elementelor finite pentru cazul homopolar: a) câmpul magnetic 3D; b) inducția magnetică pentru $I_{ex}=6A$ fără sarcină

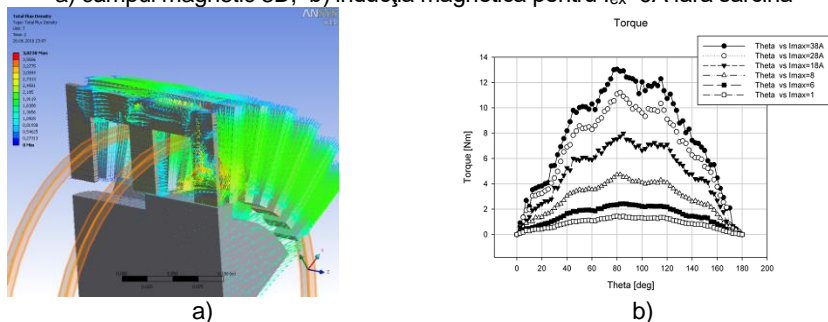


Fig. 6 Rezultate obținute prin metoda elementelor finite pentru cazul heteropolar: a) câmpul magnetic 3D; b) cuplul în funcție de unghi la diferiți curenți

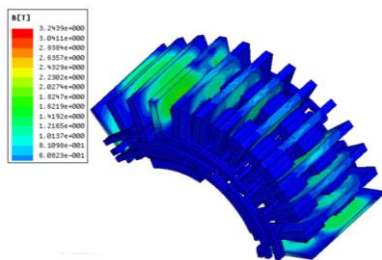


Fig. 7 Rezultate obținute prin metoda elementelor finite pentru cazul heteropolar: câmpul magnetic 3D

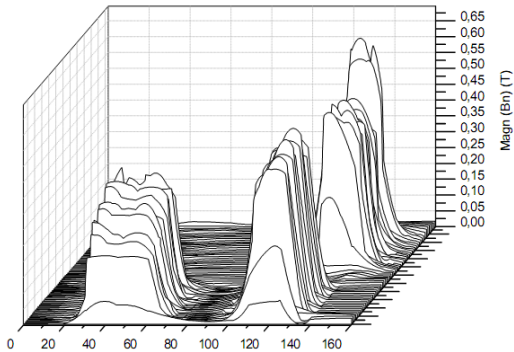


Fig. 8 Rezultatele obținute prin metoda elementelor finite pentru cazul heteropolar: inducția magnetică în întrefier

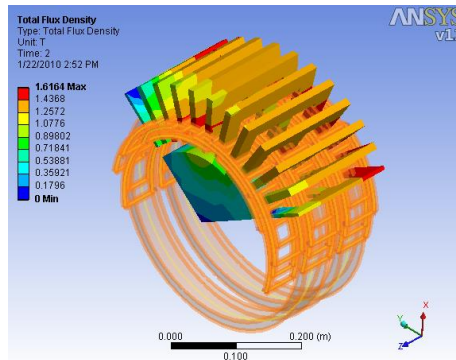


Fig. 9 Rezultatele obținute prin metoda elementelor finite pentru cazul heteropolar: inducția magnetică totală pentru $I_a=I_b=I_c=0$ și $I_{exc}=I_{excN}$

Soluțiile obținute prin metoda elementelor finite, cu modelare 3D a mașinii, au necesitat o durată de aproximativ 6 ore pentru fiecare pas. Amplitudinea inducției magnetice în întrefier (valoarea absolută a lui B) este prezentat în figura 8.

Evaluarea inducției din calculul cu element finit arată că mașina nu este saturată, deoarece valoarea maximă în întrefier este sub 1T. Cuplul în regim staționar produs la curent constant cu modificarea poziției, este prezentată în figura 10, de unde se observă valoarea cuplului maxim obținut, egal cu 11 (Nm).

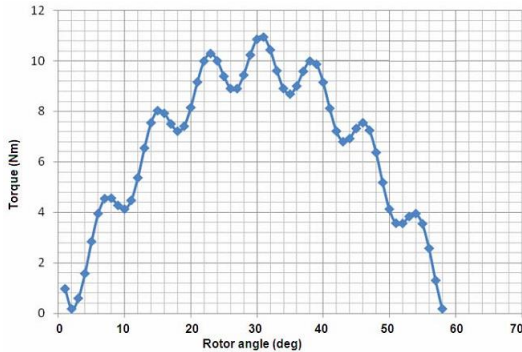


Fig. 10 Variația cuplului static cu poziția, obținută prin menținerea curenților 3D FEM constanți

4. Concluzii

Avantajul principal al mașinii RHHBSM este capacitatea sa îmbunătățită de a funcționa ca generator cu turație variabilă în centrale hidroelectrice sau eoliene. Metoda de proiectare a fost validată, de asemenea, prin intermediul modelului 3D FEM. Se prezintă caracteristicile generale ale mașinii cum sunt: pătura de curent, fluxul inductor, fluxul rezultat și variația cuplului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Balchim, M.J., Eastham, J.F., *Characteristics of heteropolar linear synchronous machine with passive secondary*, Electric Power Application, vol. 2, no. 8, pp. 213-218, December 1979.
- [2] Deaconu, S.I., Tutelea, L., Popa, G.N., Popa, I., Abrudean, C., *Optimizing the Designing of a Reactive Homopolar Synchronous Machine with Stator Excitation*, IECON 2008, 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Orlando, Florida, USA, 10-12 November, 2008, pp. 1311-1318.
- [3] Hecquet, M., Brochet, P., *Modeling of a claw-pole alternator using permeance network coupled with electric circuits*, Transactions on Magnetics, vol. 31, no. 3, May 1995, pp. 2131-2134.
- [4] Piriou, F., Razek, A., *Coupling of saturated electromagnetic systems to non-linear power electronic devices*, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 24, 1988, pp. 274-277.
- [5] Deaconu, S.I., Tutelea, L., Popa, G.N., Popa, I., *The influence of magnetic*

saturation towards the induced voltage for homopolar synchronous generator, 17th International Conference on Electrical Machines, no. 486, Chania, Crete Island, Greece, September 2006.

[6] Vido, L., Gabsi, M., Lecrivain, M., Amara, Y., Chabot, F., *Homopolar and Bipolar Hybrid Excitation Synchronous Machine*, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, no. 3, September, 2006, pp 1212-1218.

[7] Ostovic, V., *Dynamics of saturated electric machines*, Springer Verlag, New-York, 1989.

[8] Deaconu, S., *The study of control brushless electrical generator*, *Doctoral Thesis* (in Romanian), Politehnica University Timisoara, Romania, 1998, unpublished.

Conf.Dr.Ing. Sorin DEACONU, Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
membru IEEE, membru AAIR
e-mail: sorin.deaconu@fih.upt.ro

Ș.I.Dr.Ing. Marcel TOPOR, Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea
„Politehnica” Timișoara, membru IEEE,
e-mail: marcel.topor@fih.upt.ro

Prof.Dr.Ing. Lucian Nicolae TUTELEA, Facultatea de Electrotehnică Timișoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
e-mail: lucian.tutelea@upt.ro

Conf.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA, Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR, membru senior IEEE,
membru AAIR
e-mail: gabriel.popa@fih.upt.ro

Asist.Dr.Ing. Petre Lucian GHERMAN, Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR
e-mail: lucian.gherman@fih.upt.ro

Ing. Maria NĂSĂUDEAN, Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
e-mail: mariana.nasaudean@fih.upt.ro

Ing. Carmen MOTORGA, Universitatea „Politehnica” Timișoara,
Facultatea de Inginerie Hunedoara,
e-mail: carmen.motorga@fih.upt.ro