

Mașina sincronă cu magneți permanenți în construcție cu rotor interior

Mașina sincronă cu magneți permanenți reprezintă o soluție viabilă pentru generarea energiei electrice în cadrul sistemelor de conversie a energiei eoliene. Datorită soluției vizate în cadrul proiectului INOWECS, cu generatorul electric cuplat direct pe axul turbinei eoliene, și a turației scăzute specifice unei astfel de aplicații, este necesar ca structura să prezinte un număr mare de perechi de poli pentru a asigura un nivel ridicat al tensiunii generate.

Acest deziderat poate fi realizat prin creșterea diametrului (în întrefier) a generatorului în cazul structurilor cu magneți permanenți montați la suprafața rotorului, atât în cazul structurilor clasice, cu stator exterior, cât și în cazul în care rotorul este montat în exterior. O altă variantă constructivă este cea cu magneții permanenți montați în interiorul rotorului, dispuși pe direcție radială între polii realizați din material magnetic ce au rolul de a concentra fluxul magnetic disponibil înspre întrefierul mașinii electrice. O astfel de structură este prezentată în Figura 1, magneții permanenți fiind magnetizați pe direcția grosimii lor (reprezențați cu roșu și albastru, în funcție de direcția de magnetizare).

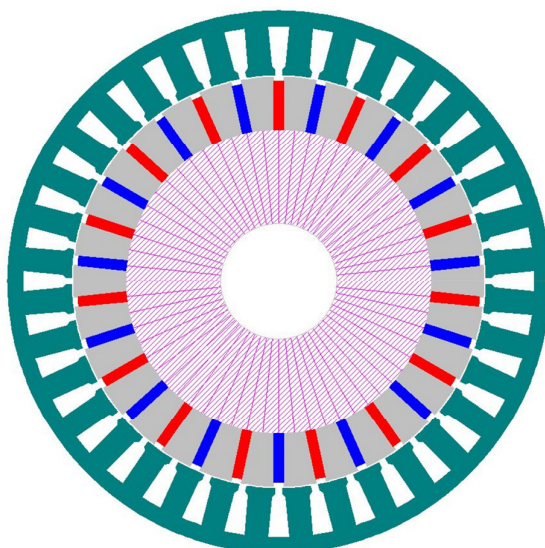


Figura 1 – Structura generatorului sincron cu magneți permanenți interiori

Ca punct de plecare în cadrul dimensionării structurii au fost considerate dimensiunile obținute la proiectarea generatorului sincron cu rotor exterior studiat în cadrul acestui proiect, fiind urmărită realizarea unei structuri având o putere similară (3kW) la o tensiune de linie de 400 V, cu un randament cât mai ridicat. Pentru estimarea performanțelor generatorului a fost utilizat programul SPEED, structura obținută fiind exportată în programul Jmag Designer pentru confirmarea rezultatelor prin FEA. Statorul prezintă 36 de creneluri în care a fost realizată o înfășurare trifazată într-un singur strat, fiecare fază având inițial 300 de spire conectate în serie. Înfășurarea a fost realizată cu ajutorul editorului disponibil în cadrul programului, modul de repartizare a bobinelor în creneluri fiind prezentat în Figura 2. Fiecare dintre cele 18 bobine conține câte 50 de spire.

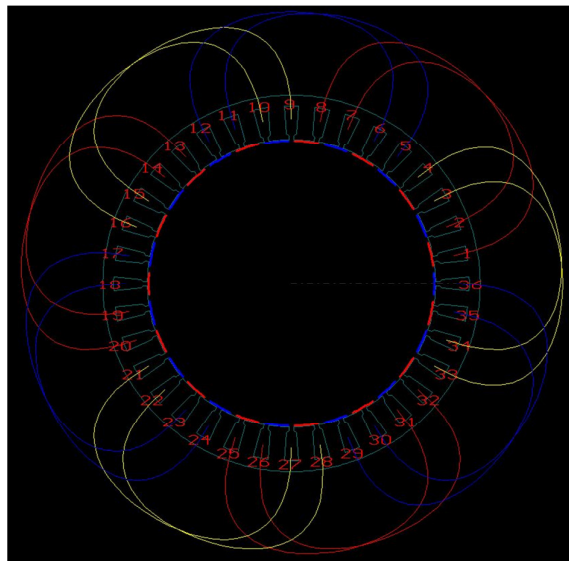


Figura 2 – Bobinajul realizat

Influența numărului de spire considerate asupra randamentului generatorului a fost studiată utilizând modul de simulare "Range analysis" disponibil în cadrul SPEED, fiind selectată analiza dinamică. S-a considerat intervalul 40-60 spire/bobină, cu un număr de 21 de pași se calcul. Variația tensiunii de fază (RMS) și randamentului este prezentată în figura 3; în timp de valoare tensiunii crește direct proporțional cu numărul de spire, se observă că randamentul maxim este atins pentru o valoare de 47 spire/bobină, valoare considerată în continuare.

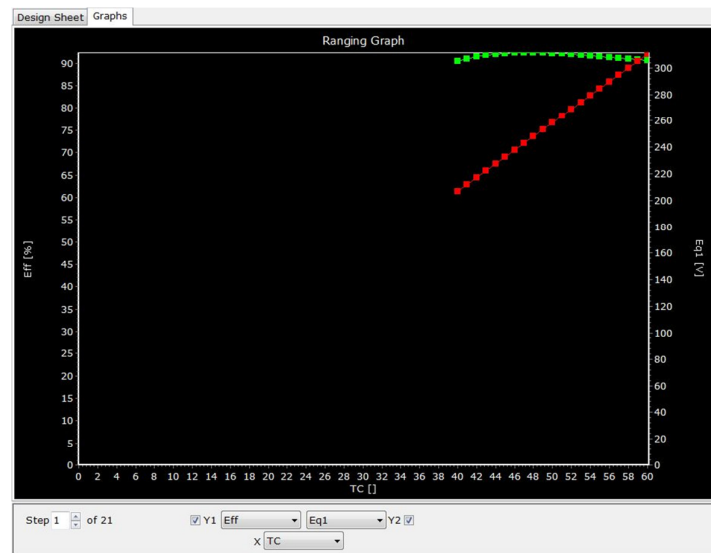


Figura 3 – Variația tensiunii pe fază și a randamentului cu numărul de spire

Un alt element vizat în cadrul alegerii dimensiunilor generatorului a fost determinarea dimensiunii optime a magneților permanenți, fiind urmărită obținerea de performanțe cât mai bune cu un volum redus de magneți permanenți. Din nou se observă că valoare tensiunii generate crește odată cu creșterea dimensiunilor magneților, valoarea maximă a randamentului fiind obținută în jurul valorii de 25 mm, pentru această dimensiune valoare tensiunii de fază (RMS) fiind de 243 V, valoare apropiată de cea considerată inițial. Considerând că la funcționarea în sarcină este inerentă

o scădere a valorii tensiunii de debitare de generator, se vor considera în cele ce urmează magneți permanenți cu o lungime de 25 mm

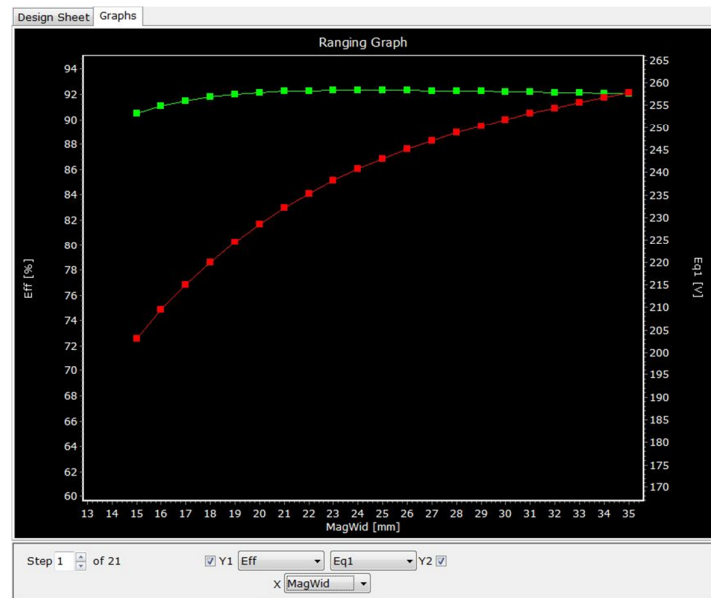


Figura 4 – Variația tensiunii pe fază și a randamentului cu lungimea magneților

A fost studiată și influența grosimii magneților permanenți asupra performanțelor generatorului prin varierea parametrului BetaM din programul SPEED, parametru care definește lățimea polului rotoric (în grade electrice), o valoare de 90° corespunzând unui pol având lățimea egală cu cea a magnetului, scăderea acestuia însemnând un magnet permanent mai gros, iar creșterea valorii spre 180° însemnând subțierea magneților permanenți. Valoarea maximă a randamentului este atinsă pentru un unghi de 140°, corespunzător unei grosimi a magnetului permanent de 5 mm, variația tensiunii de fază și a randamentului fiind prezentate în figura 5.

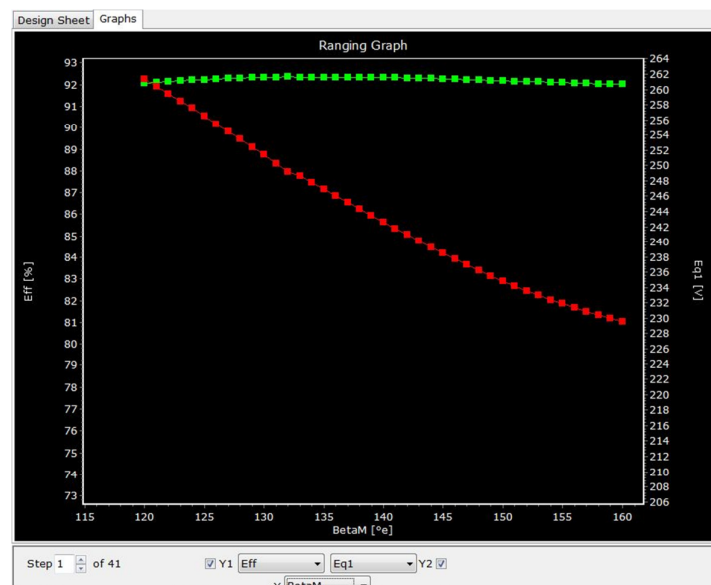


Figura 5 – Variația tensiunii pe fază și a randamentului cu grosimea magneților

În mod similar a fost urmărită influența diferiților parametrii geometrici ai generatorului asupra performanțelor acestuia, fiind păstrate constante turația (200 RPM), puterea generată (3 kW) și tensiunea de linie (400 V). După ce au fost determinate toate dimensiunile geometrice ale structurii modelul a fost exportat în mediul de simulare Jmag Designer. Au fost considerate două cazuri: funcționarea în gol și funcționarea în sarcină rezistivă simetrică. Repartiția inducției în structura generatorului în cele două cazuri este prezentată în Figura 6.

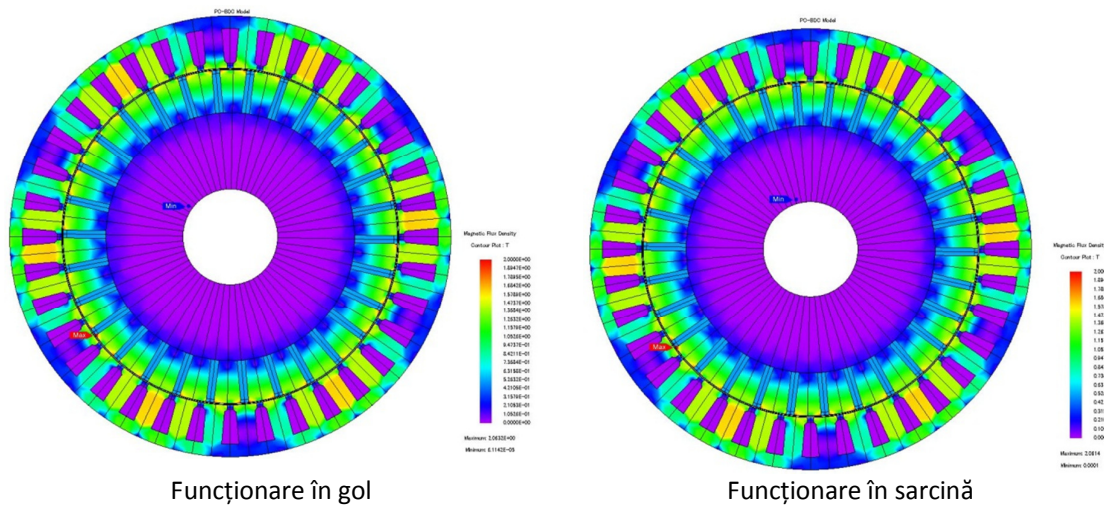


Figura 6 – Repartiția inducției în structura generatorului

Vederi de detaliu ale repartiției inducției, peste care au fost suprapuse liniile de flux, sunt prezentate în Figura 7. Se observă că în cazul funcționării în sarcină efectul curenților statorici se regăsește și în repartiția inducției, în zonele de suprapunere parțială a polilor rotorici și a dinților statorici apărând valori mai mari ale inducției.

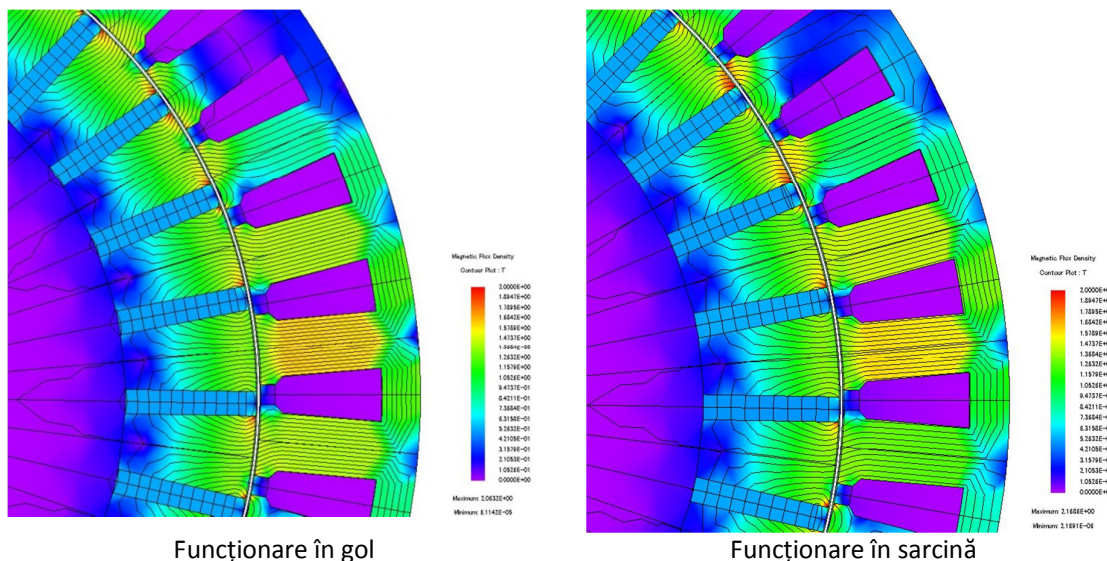
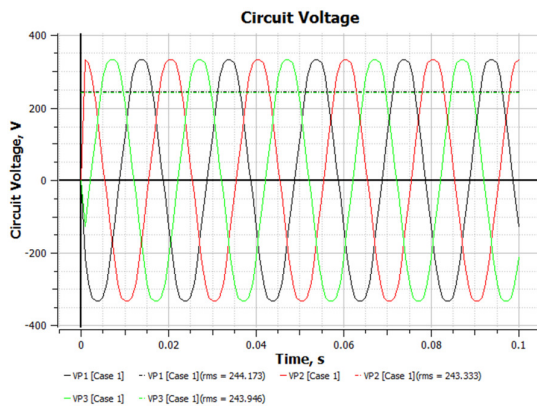
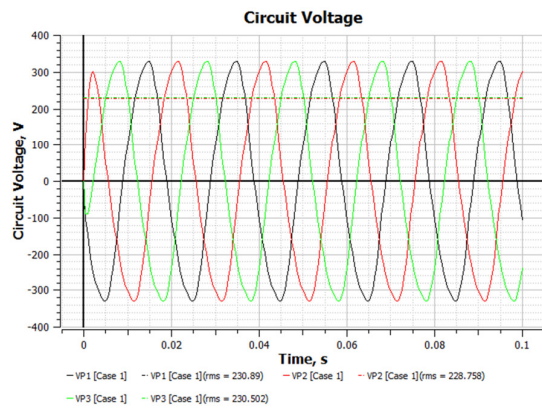


Figura 7 – Repartiția inducției și a liniilor de flux în structura generatorului

În urma simulărilor efectuate au fost obținute formele de undă ale tensiunii la bornele generatorului, atât la funcționarea în gol cât și la funcționarea în sarcină rezistivă simetrică. Figura 8 prezintă aceste forme de undă, putând fi observată o scădere a tensiunii de fază de la 244 V (RMS), în cazul funcționării în gol, la 230 V (RMS) la funcționarea în sarcină, precum și o ușoară deformare a acestor unde.



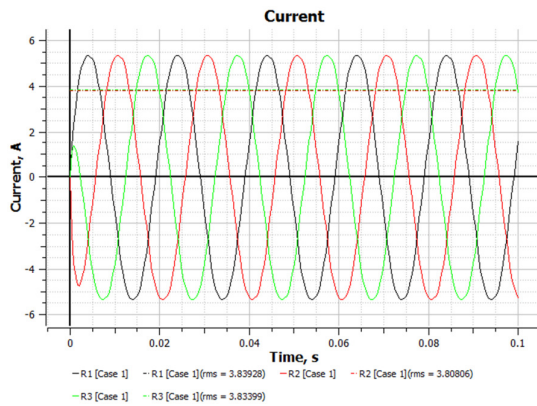
Funcționare în gol



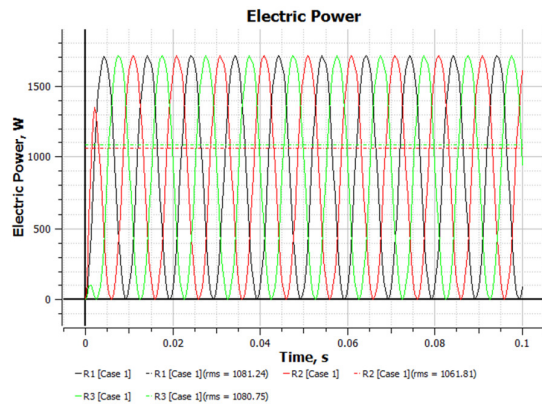
Funcționare în sarcină

Figura 8 – Repartiția inducției și a liniilor de flux în structura generatorului

Forma de undă a curenților prin cele 3 faze ale generatorului și puterea generată sunt prezentate în Figura 9. Puterea totală debitată este de aproximativ 3,2 kW (RMS), similar cu valorile inițiale obținute în SPEED.



Curentul pe sarcină



Puterea debitată

Figura 9 – Curentul și puterea pe sarcina rezistivă

Variația cuplului electromagnetic este prezentată în Figura 10, putând fi observat un riplu de aproximativ 15% și o valoare medie a cuplului de 132 Nm.

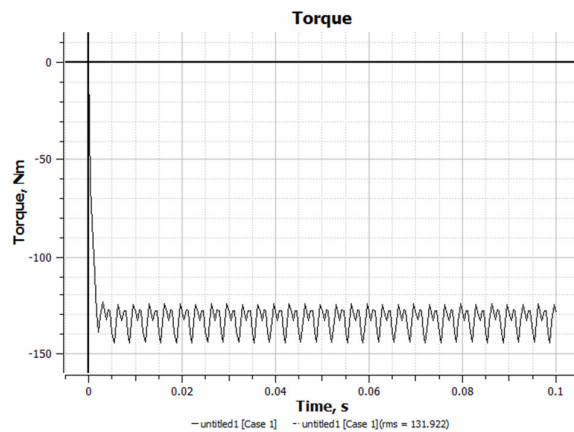


Figura 10 – Forma de variație a cuplului electromagnetic

Principalele dimensiuni ale structurii obținute sunt prezentate în următorul tabel. Se observă ca randamentul obținut este de 92,32%, volumul total de magneți permanenți fiind redus comparativ cu alte structuri similare.

Parametru	Valoare
Greutate Cupru	9.14 kg
Greutate magneți	5.55 kg
Greutate Fier	44.69 kg
Greutate Ax	5.41 kg
Greutate totală	59.39 kg
Randament	92.32 %
Spire pe fază	282
Spire pe bobină	47
Diametru conductor	1.4 mm
Factor de umplere	0.36
Rezistența fazei	2.54 Ohm
Raza în întrefier	106 mm
Lungime magnet	25 mm
Grosime magnet	5 mm
Întrefier	1 mm
Numărul de creștături	36 slots
Numărul de poli	30
Raza exterioară	140 mm
Lungimea statorului	200 mm
Turația	200 rpm
Putere nominală	3000 W
Tensiune de linie nominală	400 V

Pe baza acestor rezultate și a celor obținute pentru alte structuri de generatoare electrice abordate în cadrul proiectului se poate determina varianta constructivă adecvată aplicației vizate.