RAPORT ŞTIINŢIFIC ŞI TEHNIC

PENTRU ETAPA 5 – 2016 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012 'Innovative wind energy conversion micro-system with direct-driven electric microaerogenerator for residential uses'

('Microsistem inovativ de conversie a energiei eoliene pentru aplicații rezidențiale utilizând microaerogenerator electric cu acționare directă – INNOWECS)

Coordonator CO – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (UTC-N) Partener P1 – SC BMEnergy SRL

> Prof.dr.ing. Mircea M. RĂDULESCU Director de proiect, CO – UTC-N

> > Dr.ing. Ştefan BREBAN Resp. proiect P1 – BMEnergy

- Noiembrie 2016 -

RAPORT ŞTIINŢIFIC ŞI TEHNIC PENTRU ETAPA 5 – 2016 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012

În conformitate cu obiectivele și activitățile de cercetare corespunzătoare etapei 5 – 2016 a proiectului PCCA 'INNOWECS', echipa de cercetare a coordonatorului CO – UTC-N și a partenerului P1 – BMEnergy la proiect a realizat (i) dezvoltarea subansamblurilor microcentralei eoliene de concepție modulară și de puteri diferite; (ii) testarea experimentală a microcentralei eoliene de concepție modulară și de puteri diferite.

In cadrul acestei etape a proiectului au fost facute studii specifice de imbunatatire a performantelor microcentralei eoliene, dar si de reproiectare in vederea optimizarii si reducerii costurilor partilor componente ale microcentralei.

O solutie constructiva imbunatatita, a rezultat in urma optimizarii din punct de vedere electric a turbinei, de catre echipa proiectului.

Vederea de ansamblu a noii soluții constructive este prezentata in imaginea din Fig. 1. Datorita modificarii principiului costructiv, au fost necesare ajustari dimensionale si de forma ale conului rotorului si ale carenei posterioare. Pe baza acestor modele CAD modificate s-a procedat la lansarea in executie a matritelor necesare. Matritele au fost realizate din materiale compozite.



Fig. 1. Turbină eoliană cu ax orizontal – vedere izometrică.

De asemenea, a fost modificata configuratia derivei cozii, atat din motive aerodinamice, cat si din motive de incarcare cu sarcini a mecanismului de rotire a derivei.

Data fiind importanta microaerogeneratorul electric in alcatuirea turbinei, in urma studiilor realizate de catre membrii proiectului s-a ajuns la o varianta optimizata a acestuia. In Fig. 2 este prezentata varianta optimizata a microaerogeneratorul electric cu flux radial in vedere explozivă.



Fig. 2. Microaerogenerator electric cu magneți permanenți și flux radial - vedere explozivă.

Din punct de vedere constructiv, partile principale ale microaerogeneratorul electric cu flux radial sunt: semicarcasele (1) si (2), axul microaerogeneratorului (3), statorul (4), rotorul (5), rulmentii (6) si (11), inelelor Seeger (7) si (8), penele paralele (9), inelul distantier (10), șaiba de rulment (12) si piulița de rulment (13), garnitura (14), tirantii (15), capacele (16) si (17), semeringul (18), piulitele (19) si suruburile de fixare (20).

Modificarea de substanta a acestei noi variante, rezida in schimbarea conceptului microaerogeneratorului electric. In urma studiilor experimentale si a analizelor numerice de simulare si optimizare cu elemente finite efectuate de echipa de specialisti din cadrul proiectului, s-a ales un microaerogenerator cu flux radial a carui structura este prezentata in Fig. 3.

Statorul (1) cu o grosime de 20 [mm] este realizat dintr-un pachet de tole, rigidizate cu ajutorul suruburilor si piulitelor (3). Statorul este dimensionat pentru 45 de infasurari statorice (2). In vederea reducerii costurilor de productie, s-a optat pentru o constructie simpla, sudata pentru rotorul (4), realizat din aluminiu, din semifabricate tubulare standardizate. Pe circumferinta acestuia sunt fixati magnetii permanenți (5).



Fig. 3. Structura detaliată a microaerogeneratorului electric cu magneți permanenți și flux radial.



Fig. 4. Optimizarea cuplului de forțe electromagnetice, utilizând algoritmi genetici.



Fig. 5. Momentul cuplului de forțe electromagnetice, la viteza nominală de 500 rpm.

Pentru creșterea eficientei s-a efectuat optimizarea microaerogeneratorului utilizand o functie multi-obiectiv si algoritmi genetici. Pe parcursul procesului de optimizare mai multe constrangeri asupra dimensiunilor geometrice ale componentelor microaerogeneratorului au fost considerate pentru a lua in calcul doar solutiile viabile din punct de vedere geometric. Dupa 170 de evaluari, configuratia finala a microaerogeneratorului este aleasa si prezentata in Fig.3. Rezultatele obtinute in urma analizelor 2D cu elemnt finit sunt validate cu rezultatele obtinute in urma studiilor 3D. In Fig. 5 este prezentata forma de unda a cuplului electromagnetic atat in 2D cat si in 3D, valorile obtinute fiind apropiate(50 Nm pentru studiul 2D si 47 Nm pentru studio 3D).

Un studiu termic este realizat, iar rezultatele luate in considerare pentru evoluția temperaturii medii a fiecărei componente a microaerogeneratorului va ajuta să determinam dacă turbina, prin concepția sa, dimensiunile și materialele utilizate, ar putea funcționa fără efecte negative asupra materialelor active din microaerogenerator in timpul funcționării normale. Trei cazuri sunt luate în considerare în acest studiu: în primul caz viteza rotorului este de 250 rpm cu o puterea mecanică de 260W, al doilea cu o viteza medie de 360 rpm si o puterea mecanică de 940W, iar ultimul, cu o viteză de 500 rpm și care lucrează la o puterea mecanică de aproximativ 2600W.

Principalele pierderi ale microaerogeneratorului sunt pierderile Joule din infasurarea statorica. De asemenea, pierderile in fier ar putea ajunge la valori importante, mai ales atunci când se lucrează la frecvențe mai mari. În cazul generatoarelor sincrone cu magneti permanenti cele mai multe pierderi sunt prezente în stator, de obicei, în rotor sunt mai puțin semnificative

Pierderile prin efect Joule-Lenz sunt distribuite în jugul rotorului (2.8W), în magneții permanenți (4.7 W) și în bobine (140W). În fig. 5 sunt prezentate pierderile in fier inregistrare în stator, aceste pierderi insumand 33W. Astfel, la functionarea turbinei la viteza nominală (500 rpm) cele mai importante pierderi sunt pierderile Joule din stator.



Fig. 6. Pierderile prin efect Joule-Lenz si pierderile in fier, la viteza de 500 rpm.



Fig. 7. Pierderile prin efect Joule-Lenz si pierderile in fier, la viteza de 250 rpm.

Pentru analiza la 250 rpm, pierderile in rotor sunt 4W (jugul rotoric și magneți), pierderile in fier din stator fiind 13W, iar pierderile Joule în bobine sunt 5W. Astfel, la viteză și putere redusa, pierderile in fier sunt cele mai semnificative.

Pentru analiza functionarii la 360 rpm, pierderile în rotor sunt în jur de 6W (jug rotoric și magneți), pierderile in fier ale statorului 21.5W și pierderile Joule de circa 30 W în bobine. La această viteză, pierderile Joule în bobine sunt echilibrate comparativ cu celelalte pierderi.



Fig. 8. Pierderile prin efect Joule-Lenz si pierderile in fier, la viteza de 360 rpm.



Fig. 9. Valorile temperaturilor inregistrate la 250 rpm.

La 250 rpm, turbina eoliană funcționează la viteză mica, temperatura medie inregistrand o stabilizare după 6000 de secunde, iar aceasta nu va depăși 40 ° C. De exemplu, dupa un timp de lucru de 20 de minute, temperaturile calculate în rotor ajung la 29 ° C, în stator 26 ° C și magneții permanenți la 28 ° C. Ca urmare, datorita temperaturilor scăzute, căldura disipată nu va cauza niciodată deteriorarea microaerogeneratorului.

La 360 rpm rezultatele sunt prezentate în Fig. . Temperatura nu va depăși 100 ° C pentru oricare componenta a microaerogeneratorlui. De exemplu, pentru o perioadă de funcționare de o oră temperaturile din magneți și rotor trebuie să fie de aproximativ 63 ° C, în același timp temperaturile în stator sunt aproximativ 59 ° C.

Materialul care a fost ales pentru magneți este NEOREC45F, acest tip de material poate suporta o temperatură maximă de 80 ° C, în cazul în care temperaturile depasesc această valoare, se poate produce o demagnetizare. În consecință, pentru o perioadă lungă de lucru la 360 rpm, căldură disipata nu va avea un impact negative asupra microaerogeneratorlui.



Fig. 10. Valorile temperaturilor inregistrate la 360 rpm.



Fig. 11. Valorile temperaturilor inregistrate la 500 rpm (fara a lua in considerare disipatia caldurii prin aerul din rotor)

Average Temperature



Fig. 12. Valorile temperaturilor inregistrate la 500 rpm (luand in considerare disipatia caldurii prin aerul din rotor).

În opoziție cu celelalte două cazuri, la 500 rpm, turbina va lucra rar. După o perioadă de 25 de minute, temperatura magneților, a rotorlui si a statorului va ajunge la aproximativ 80° C, temperatura care începe să fie periculoasa pentru magneții permanenți și ar putea crea o demagnetizare permanentă. Dar, acest scenariu are foarte puține șanse să se întâmple, de fapt, cu variația vitezei vântului, turbina nu funcționează la această viteză pe o lungă perioadă de timp. Mai mult decât atât, la analiza termica nu este considerata disiparea căldurii prin aer a rotorului. Dacă luăm în considerare acest lucru, după 1 oră de funcționare, pentru analiza la 500 rpm, temperatura rotorului nu va depăși 70 ° C, fiind evident că siguranța turbinei va fi asigurată pentru un timp mai îndelungat. Ca urmare, magneții permanenti din rotor nu vor depășii niciodată o temperatură de 80 ° C, indiferent de viteza turbinei.

Avand in vedere schimbarea principiului de functionare a microaerogeneratorului, a fost necesara si reproiectarea semicarcaselor (anterioara si posterioara).

Pentru realizarea semicarcaselor din aluminiu, s-a ales ca varianta de obtinere turnarea in cochila. Pentru aceasta a fost necesara proiectarea cochilei de turnare. Si in acest caz pentru reducerea costurilor de fabricatie, s-a ales o solutie simpla, astfel



Fig. 13. Cochilă turnare semi-carcasă – vedere explozivă.

incat, semicarcasele pereche sa poata fi turnate intr-o singura cochila, dupa care configuratiile finale vor fi obtinute prin prelucrari mecanice.

In Fig. 13, sunt prezentate in vedere explodata partile componente ale cochilei de turnare a semicarcasei: 1 placa baza, 2 inel exterior, 3 poanson, 4 miez, 5 stift aerisitor, 6 piesa turnata.

In Fig. 14, este prezentata cochila de turnare a semicarcasei in vedere izometrica si in sectiune (cu partile componente).

Atat desenul de piesa turnata respectiv de piesa finita, cat si desenele de executie a cochilelor au fost puse la dispozitia executantului. Pe baza acestora s-au realizat cochilele si respectiv semicarcasele turnate si prelucrate.

Bibliografia lucrărilor științifice publicate în 2016

[1] M.M. Radulescu, S. Breban, M. Chirca, Novel topologies of low-speed axial-flux permanent-magnet micro-wind generators, *Lucrările Conferinței Naționale de Acționări Electrice – CNAE 2016*, Octombrie 2016, Cluj-Napoca, Romania, CD-ROM, 4 pp., 2016.

[2] Andreea Adriana Laczko (Zaharia), S. Brisset, M.M. Radulescu, Modeling approaches to brushless DC permanent-magnet generator for use in micro-wind turbine applications, *Proc. International Conference on Electrical Machines – ICEM 2016*, September 2016, Lausanne, Switzerland, pp. 447-453, 2016 (*included in IEEE Xplore database*).

[3] M. Chirca, C. Oprea, P.-D. Teodosescu, S. Breban, Optimal design of a radial flux spoketype interior rotor permanent magnet generator for micro-wind turbine applications, *Proc. International Conference on Applied and Theoretical Electricity* – *ICATE 2016*, October 2016, Craiova, Romania, 5 pp. (*included in IEEE Xplore database*).

[4] F. Boutoille, F. Maes, M. Chirca, S. Breban, Thermal analysis for a permanent magnet synchronous generator *Lucrările Conferinței Naționale de Acționări Electrice – CNAE 2016*, Octombrie 2016, Cluj-Napoca, Romania, CD-ROM, 5 pp., 2016.