



RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

PENTRU ETAPA 1 – 2012 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012

‘Innovative wind energy conversion micro-system

with direct-driven electric generator for residential uses’

(‘Microsistem inovativ de conversie a energiei eoliene pentru aplicatii rezidentiale utilizand generator electric cu actionare directa’)

– 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**

Prof.dr.ing. Horia BĂLAN, CO – UTC-N

Prof.dr.ing. Ioan VĂDAN, CO – UTC-N

Prof.dr.ing. Dorin PETREUȘ, CO – UTC-N

Șef lucr.dr.ing. Adriana NEAG, CO – UTC-N

Dr.ing. Toma PĂTĂRĂU, CO – UTC-N

Dr.ing. Radu ETZ, CO – UTC-N

Dr.ing. Marius COJOCARU, CO – UTC-N

Dr.ing. Mihai NICULESCU, CO – UTC-N

Drd.ing. Ștefan DĂRĂBAN, CO – UTC-N

Drd.ing. Mihai CHIRCA, CO – UTC-N

Drd.ing. Andreea LACZKO, CO – UTC-N

Drd.ing. Valentin ZAHARIA, CO – UTC-N

Ec. Rodica BRAD, CO – UTC-N

Dr.ing. Ștefan BREBAN,

Resp. proiect P1 – BMEnergy

Dr.ing. Victor MEȘTER, P1 – BMEnergy

- Decembrie 2012 -

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

PENTRU ETAPA 1 – 2012 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012 :

‘Identificarea soluțiilor tehnice pentru fiecare parte constitutivă a microcentralei eoliene’

În conformitate cu obiectivele și activitățile de cercetare corespunzătoare etapei 1– 2012 a proiectului PCCA ‘INNOWECS’, echipa de cercetare a coordonatorului CO – UTC-N și a partenerului P1 – BMEnergy la proiect a realizat (i) studiul analitic al literaturii tehnice de specialitate, la zi, (ii) definirea caietului de sarcini și (iii) identificarea de soluții tehnice inovative, pentru componentele esențiale ale unei microcentrale eoliene, reprezentate de : microturbina de vânt și structura de pale a acesteia, micro-aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, cuplat direct la turbină și convertoarele electronice de putere, de mașină, respectiv de rețea.

Prin *microcentrala eoliana de uz rezidențial*, se înțelege o centrala eoliana de mica putere, in general sub 10 kW, destinata a alimenta cu energie electrica o locuinta sau un grup de locuinte, racordate sau nu la rețeaua electroenergetică publică. Întregul echipament al microcentralei eoliene poate fi montat pe piloni, in proximitatea locuintei sau chiar pe acoperișul acesteia.

Pentru a realiza o solutie tehnică inovativă de *microturbină de vânt*, de 3kW cu posibilitatea functionarii la putere de 5kW pe durate scurte de timp de ordinul minutelor, pentru o viteza a vantului de 2 - 10 m/s, la un pret de cost rezonabil (< 1000 EUR/ kW) se propun următoarele:

- carcasa din tabla de aluminiu, rigidizata cu o structura de rezistenta din profile extrudate de aluminiu, iar carcasa din tabla de otel, rigidizata cu o structura din profile de tabla indoite; date fiind avantajele oferite de o tehnologie bazata pe materiale compozite-fibra de sticla (greutate specifica redus, rezistenta foarte buna, diversitate mare a formelor), se va analiza o structura bazata pe aceast tip de procesare a partilor componente ale carcasei;
- realizarea rotorului turbinei din aliaj mediu dur de aluminiu cu magneziu (EN AW-5754 ALMg3), rezistent la coroziune, prelucrabil prin aschiere si sudabil; se va analiza si varianta realizarii palelor turbinei de vânt din materiale composite, pe

baza de fibra de sticla, care, pe langa avantajul unei greutate reduse, prezinta rezistenta la coroziune si la oboseala;

- cresterea eficientei turbinei eoliene prin concentratoare de vant;
- scaderea greutatii echipamentului mobil prin proiectarea si realizarea unor pale eficiente pentru a putea scadea viteza vantului la pornirea turbinei la circa 2 m/s, favorabila zonei rezidentiale fără vânt puternic.

Rolul turbinei eoliene este de a prelua o cantitate cat mai mare din puterea disponibila a vantului si de a o transforma in putere mecanica la nivelul arborelui generatorului.

Tip turbina: pentru acoperisuri inclinate, cu 6 sau 8 pale si pentru acoperisuri plane, cu 3 pale. Prin optimizarea dimensionala a celor doua turbine se doreste maximizarea coeficientului Betz in vederea maximizarii energiei extrase.

Turbina trebuie sa aiba inertie mica, sa fie robusta, usoara si rezistenta pentru a fi operationala la viteze mici ale vantului (2m/s) si pt a rezista la viteze punctuale mari ale vantului in cazul furtunilor.

In etapa de identificarea de solutii constructive privind ansamblul mecanic al turbinei de vânt, s-au realizat modelele geometrice ale structurii mecanice primare, simplificate.

Din punct de vedere al formei geometrice, exista doua parti principale ale sistemului: carcasa si turbina propriu-zisa. In ceea ce priveste carcasa, avand in vedere variatia intr-o plaja destul de larga a unghiurilor la varf ale acoperisurilor, s-a urmarit realizarea unei geometrii variabile a acesteia. In baza acestei cerinte, carcasa a fost realizata din doua parti, respectiv o parte superioara fixa si o parte inferioara articulata, mobila, care sa poata asigura un unghi de asezare adecvat unghiului la varf al acoperisului. Ca punct de plecare, s-a considerat ca partea inferoara, mobila a carcasei sa asigure un unghi de deschidere variabil, cu valori cuprinse intre 76-136°. In Fig.1, sunt prezentate vederile in sectiune prin ansamblul turbina eoliana la unghiul inferior de deschidere minim (a) si respectiv maxim (b).

Deoarece s-a optat, in aceasta etapa, pentru o forma plana a palelor turbinei, s-au introdus doua elemente deflectoare (superior si inferior), care sa directioneze curentul de aer inspre zona activa a rotorului turbinei. In acelasi timp, cele doua placi de deflexie vor asigura concentrarea fluxului de aer si deci cresterea vitezei acestuia in zona de atac a palelor. In Fig.2, este prezentat ansamblu in sectiune transversala.

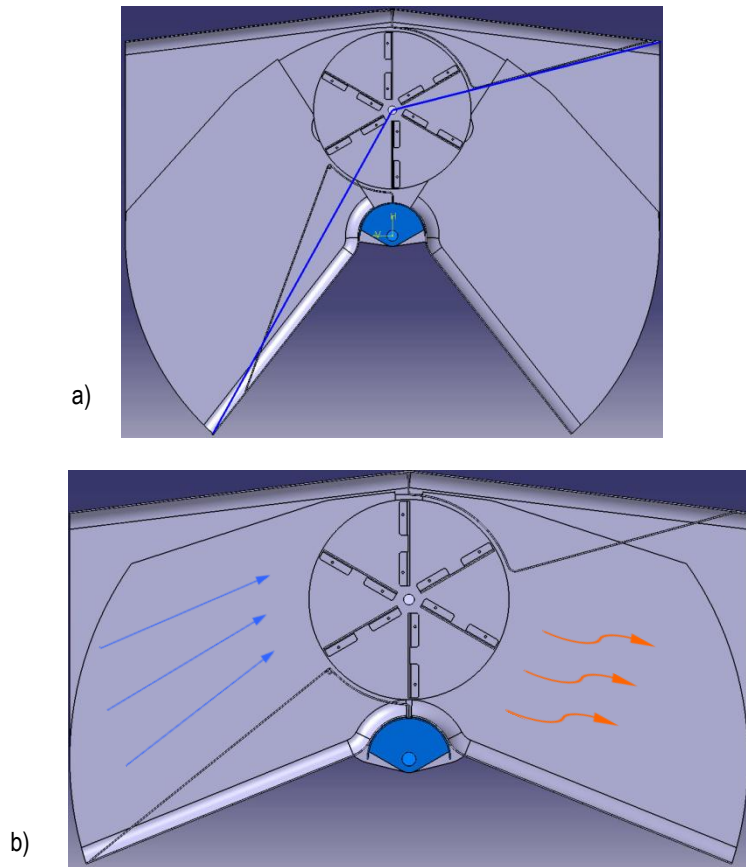


Fig.1. Vedere in sectiune prin ansamblul turbina de vânt /modul eolian:
 a) Unghiul inferior deschidere =76°; b) Unghiul inferior deschidere =136°.

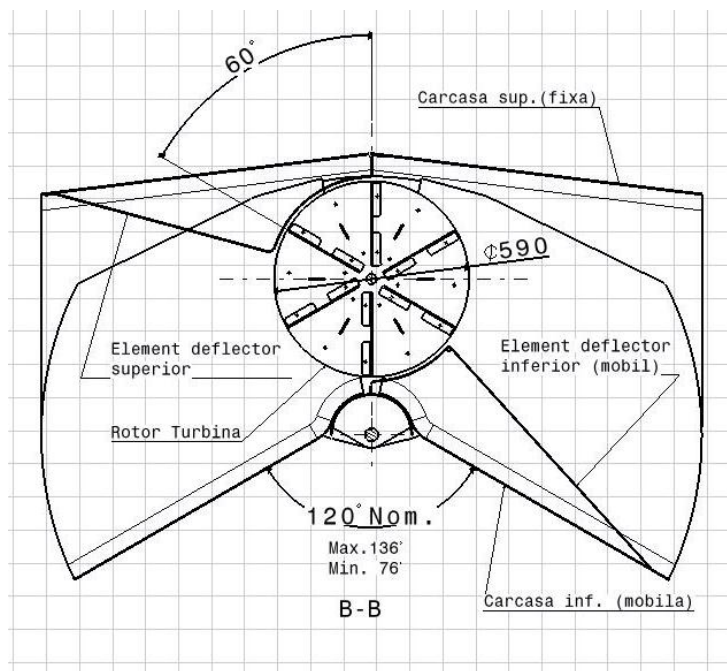


Fig. 2. Sectiune transversala prin ansamblul turbină eoliană-deflectoare.

Alegerea formei și dimensiunilor palelor turbinei de vânt se va realiza în urma unui studiu de optimizare a profilului aerodinamic.

În conformitate cu caietul de sarcini al *microaerogeneratorului*, acesta are rolul de a transforma puterea mecanică furnizată de microturbina de vânt în energie electrică, trebuind să fie conceput pentru randament de 95% pe zonele de funcționare cele mai utilizate. Pentru simplificarea microcentralei în ansamblu, aerogeneratorul se cuplează direct pe arborele turbinei, funcționând astfel la turații mici (200 – 250 rpm).

Se va avea în vedere atât minimizarea costului, cât și greutatea pentru posibilitatea montării sale împreună cu turbina pe acoperișul clădirilor rezidențiale..

Se optează pentru un generator sincron cu magneti permanenți (de tip discoidal), cu flux axial, cu inerție redusă și cu protecție la suprasarcini. Diametrul de dimensiuni mari la acest tip de aerogenerator, comparativ cu lungimea sa, permite acomodarea unui număr mare de poli, necesar funcționării la viteze joase.

Din punct de vedere constructiv, configurația de tip discoidal permite o varietate mare de topologii, existând și posibilitatea de a construi structuri modulare pentru a crește puterea mașinii. Se pot construi, de asemenea, armături fără creștături sau fără fier, ceea ce conduce la reducerea cuplului de detentă (sau parazit de dantură), respectiv a pierderilor în fier.

Se propune ca soluție tehnică microaerogeneratorul în topologie bilaterală, cu două statoare și un rotor-sandviș interior (Fig.3), pentru eliminarea forței axiale de atracție stator-rotor și pentru creșterea densității de putere a mașinii. Conexiunea electrică a înfășurărilor trifazate ale celor două statoare poate fi realizată în derivație sau în serie. Se preferă conexiunea serie, datorită posibilității de decalare relativă a structurii crestate a celor două statoare, ceea ce conduce la reducerea cuplului de detentă și a riplului de cuplu.

Procesul de bobinare a microaerogeneratorului în topologia propusă este mai ușor de executat, deoarece se lucrează pe suprafață plană, nu cilindrică. Prin utilizarea de înfășurări concentrate pe polii statorici, bobinarea poate fi încă simplificată, mai ales dacă se utilizează bobine preformate, iar statorul este realizat cu creștături deschise.

Convertoarele electronice de mașină, respectiv *de rețea*, din structura microcentralei eoliene au rolul de a prelua energia electrică debitată de generator la viteză

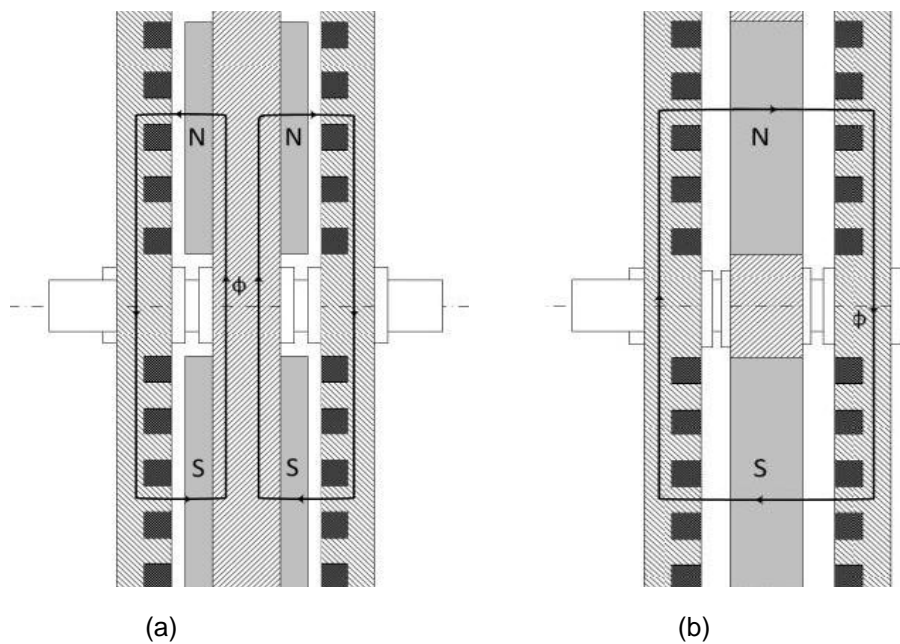


Fig. 3. Microaerogeneratorul sincron cu magneți permanenți și cu flux axial în topologie cu două statoare externe, având înfășurări trifazate distribuite în creștături și un rotor-sandviș interior, având structură-disc feromagnetică (a), respectiv nemagnetică (b).

variabilă, în vederea stocării, utilizării sau debitării energiei în rețea, fiind capabile de conectare automată, la o rețea monofazată sau trifazată.

În vederea maximizării puterii electrice extrase de la microgenerator și turbina eoliană, se prevede integrarea unei *strategii de control MPPT* (în engleză, ‘*maximum power point tracking*’) implementată la nivelul convertorului de mașină, de tip redresor trifazat în punte.

Implementarea strategiei de control MPPT la acest nivel va permite utilizarea microcentralei eoliene pe sarcini izolate, ca sursă unică de energie conectată la un dispozitiv de stocare de genul bateriei sau acumulatorilor electrochimici. Pentru reducerea costului, a complexității sistemului și a potențialului de defect, se va utiliza o strategie MPPT fără anemometru (pentru măsurarea vitezei vântului) și fără traductor de poziție rotorică, la nivelul aerogeneratorului.

Pentru injectarea energiei electrice în rețea este nevoie de un convertor de rețea de tip invertor PWM în punte trifazată, pentru a converti tensiunea continuă la tensiunea alternativă a rețelei. Invertorul trebuie să satisfacă standardul european EN61000-3-2-A, care specifică valorile maxime ale armonicilor admise pentru curentul de ieșire al invertorului.

În cazul aerogeneratoarelor sincrone cu magneți permanenți, se va opta pentru una din următoarele două variante de convertoare electronice de putere, dotate cu

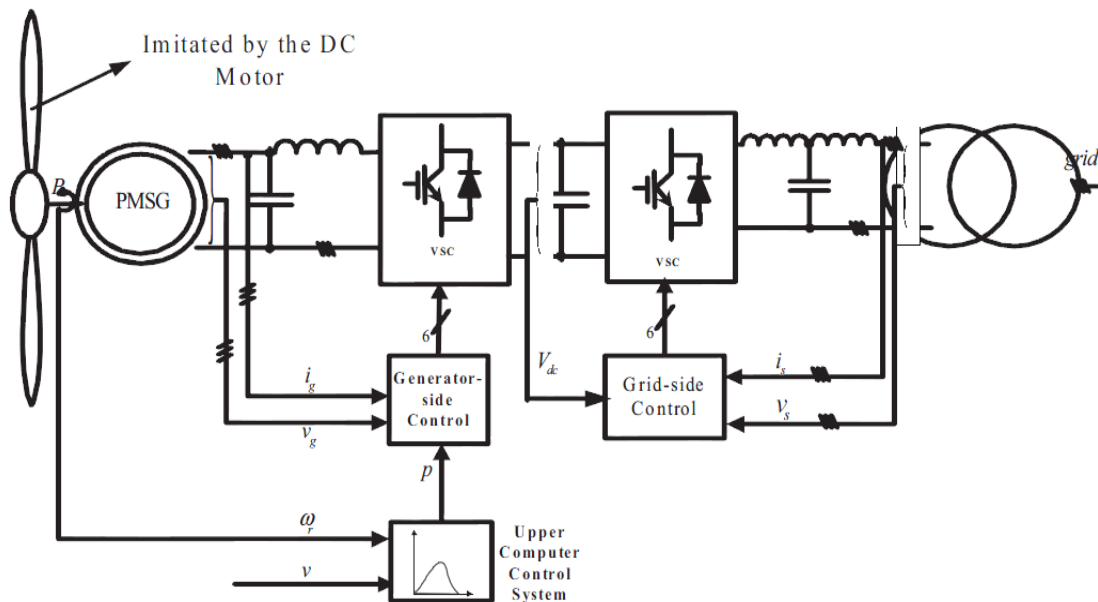


Fig. 4. Conversoare electronice de putere de mașină, respectiv de rețea, în structura 'back-to-back'.

strategii de control MPPT.

- Varianta clasică este reprezentată de structura 'back-to-back', care implica două conversoare trifazate cu circuit comun de tensiune continuă (Fig.4).

La această structură, convertorul de mașină (funcționând ca redresor comandat) este controlat în vederea extragerii puterii maxime din sistemul generator-turbină, iar convertorul de rețea (funcționând ca inverter PWM de tensiune, în punte trifazată) este controlat pentru sincronizare cu rețeaua și distribuția puterii electrice; se păstrează, astfel, tensiunea continuă dintre cele două conversoare constantă. În acest caz, ambelor conversoare li se aplică controlul vectorial.

- A doua variantă de conversoare, utilizează redresorul cu diode, drept convertor de mașină, urmat de un convertor c.c.- c.c. de tip survoltor (Fig.5).

Această structură este una mai ieftină din punct de vedere financiar, nefiind necesară realizarea a două conversoare trifazate. Dezavantajul ei constă în faptul că de această dată, curentul prin generator nu mai este controlat direct pe fiecare fază a statorului, ci indirect, prin intermediul convertorului DC/DC inserat între redresorul pasiv și puntea invertoare (monofazată, ca în Fig.5, sau trifazată).

Pentru convertorul de rețea se propune adoptarea unui inverter în punte monofazată, având topologia 'flyback' prezentată în Fig.6. Acest inverter folosește o singură înfășurătoare. Pe alternanța pozitivă, tensiunea de intrare a invertoare este

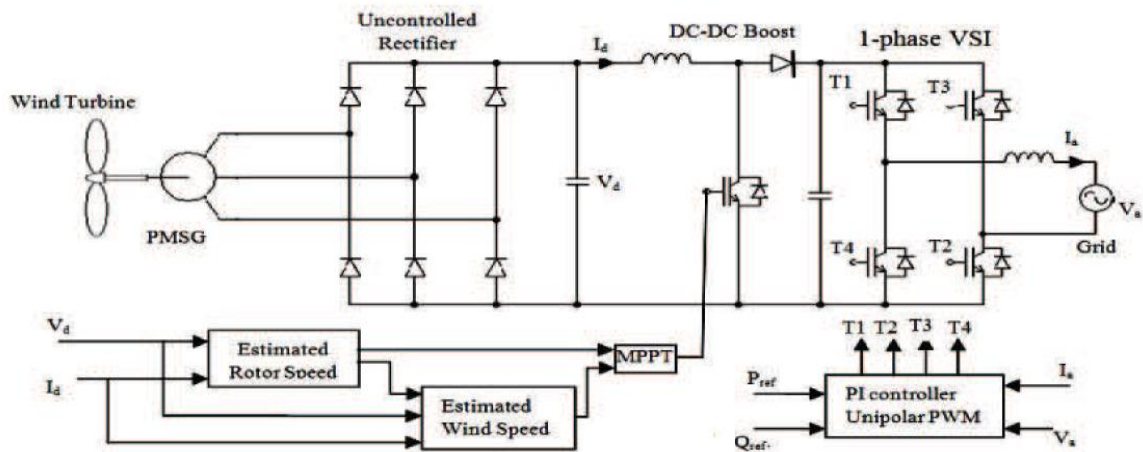


Fig. 5. Convertoare electronice de putere de mașină, respectiv de rețea, în structura redresor necomandat – convertor c.c. – c.c. – inverter în punte (monofazată sau trifazată).

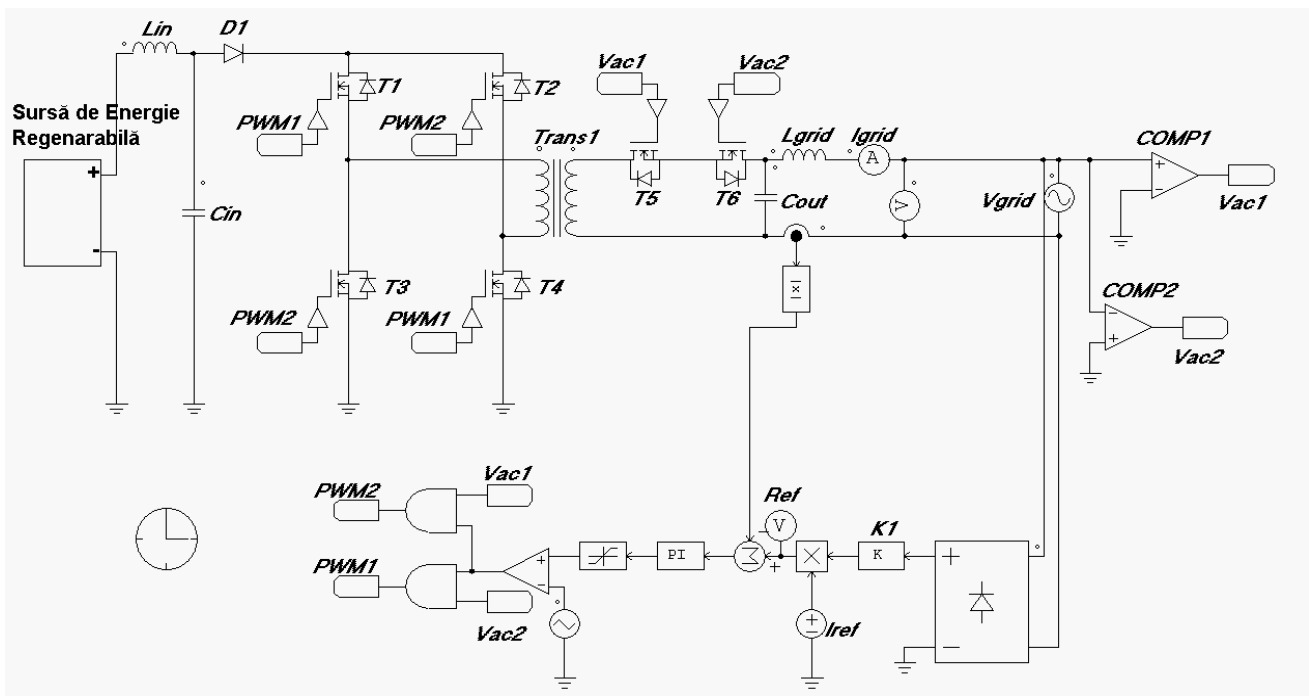


Fig. 6. Convertor de rețea de tip inverter în topologie 'flyback' cu tensiune duală la intrare.

pozitivă și conduce în permanență tranzistorul T_5 . Pe alternanța negativă, tensiunea de intrare a inverterului este negativă și conduce în permanență tranzistorul T_6 . Pentru a se obține un THD satisfăcător, trebuie efectuată o sincronizare bună cu rețeaua, iar tensiunea rețelei nu trebuie să fie foarte distorsionată.

În literatura de specialitate, se propun metode de control MPPT al sistemului turbină de vânt – aerogenerator sincron cu magneți permanenți. Între acestea, s-au identificat acele metode, care, conform caietului de sarcini adoptat, nu necesită utilizarea unui senzor de poziție rotorică a generatorului și nici cunoașterea caracteristicii aerodinamice a turbinei de vânt.

Se propune, astfel, adoptarea în proiect a unei metode avansate, care să permită și reducerea semnificativă a costurilor de implementare în microcentrala eoliană. Metoda se bazează pe tehnica 'perturbă și observă'. Ca principiu, metoda aplică o perturbare la nivelul puterii extrase din aerogenerator, încercând deplasarea la un nivel de putere mai mare. Se compară acest nou nivel de putere cu cel vechi și dacă se constată o creștere a puterii debitate, se procedează la o nouă perturbare a nivelului de putere extrasă; se repetă procedura până când, prin comparații succesive, se ajunge la atingerea nivelului maxim de putere debitată de generator. Strategia 'perturbare-observare' este frecvent utilizată în controlul convertoarelor electronice din sistemele fotovoltaice, dar poate fi ușor de extrapolată la microcentrale eoliene. Metoda de control MPPT propusă a fi adoptată în proiect pretinde ca în timp real să se realizeze o monitorizare a puterii debitate, respectiv să se perturbe la intervale date de timp sistemul pentru a observa dacă s-a modificat punctul de maxim al puterii extrase din microaerogenerator.

Bibliografie selectivă

1. RAVEN Technology LLC, <http://www.raventechpower.com/>.
2. Y. Chen, P. Pillay, A. Khan, PM wind generator topologies, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, Vol. 41 (2005), No. 6, pp.1619-1626.
3. J. Pyrhönen *et al.*, Permanent magnet technology in wind power generators, *Proc. 19th Int. Conf. Electr. Mach. – ICEM 2010*, CD-ROM, 6 pp.
4. A. Parviainen, Design of axial-flux permanent magnet low-speed machines and performance comparison between radial-flux and axial-flux machines, *Ph.D. Thesis*, Laapperanta University of Technology, Finland, 2005.
5. M. Andriollo *et al.*, Permanent magnet axial flux disc generator for small wind turbines, *Proc. 18th Int. Conf. Electr. Mach. – ICEM 2008*, CD-ROM, 6 pp.
6. J.G. Wanjiku *et al.*, A simple core structure for small axial-flux PMSGs, *Proc. Int. Electr. Mach. Drives Conf. – IEMDC 2011*, CD-ROM, 6 pp.

7. M.M. Hussein *et al.*, Simple direct sensorless control of permanent magnet synchronous generator wind turbine, *Proc. 14th Int. Middle East Power Syst. Conf. – MEPCON'10*, Cairo, Egypt, pp. 652-656.
8. T. Shimizu, K. Wada, N. Nakamura, A flyback-type single-phase utility interactive inverter with low-frequency ripple current reduction on the DC input, *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf. – PESC 2002*, Vol. 3, pp. 1483–1488.
9. N. Femia *et al.*, Optimization of perturb and observe maximum-power-point-tracking method, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 20 (2005), No. 4, pp. 963-973.
10. M. Sarvi, S. Azarbara A novel maximum power point tracking method based on extension theory for wind energy conversion system, *Int. J. Comp. Science & Engng. Technol.*, Vol. 3 (2012), No. 8, pp. 294-303.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Sarvi', is located in the lower right quadrant of the page.

Indicatori de proces si de rezultat

Denumirea indicatorilor		UM/an
Indicatori de proces	Numarul de proiecte realizate in parteneriat international	-
	Mobilitati interne	-
	Mobilitati internationale	-
	Valoarea investitiilor in echipamente pentru proiecte	229,53 Mii Lei
	Numarul de intreprinderi participante	1
	Numarul de IMM participante	1
Indicatori de rezultat	Numarul de articole publicate sau acceptate spre publicare in fluxul stiintific principal international	-
	Number of articles published in journals indexed AHCI or ERIH Category A or B (applies to the Humanities only)	-
	Number of chapters published in collective editions, in major foreign languages, at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Number of books authored in major foreign languages at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Number of books edited in major foreign languages at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Factorul de impact relativ cumulat al publicatiilor publicate sau acceptate spre publicare	-
	Numarul de citari normalizat la domeniu al publicatiilor	-
	Numarul de cereri de brevete de inventie inregistrate (registered patent application), în urma proiectelor, din care:	-
	- naționale (în România sau în altă țară);	-
	La nivelul unei organizații internaționale (EPO/ PCT/ EAPO/ ARIPO/ etc.)*	-
	Numarul de brevet de inventie acordate (granted patent), în urma proiectelor, din care:	-
	- naționale (în România sau în altă țară);	-
	La nivelul unei organizații internaționale (EPO/ PCT/ EAPO/ ARIPO/ etc.)*	-
	Veniturile rezultate din exploatarea brevetelor și a altor titluri de proprietate intelectuala	-
	Veniturile rezultate în urma exploatarii produselor, serviciilor și tehnologiilor dezvoltate	-
	Ponderea contributiei financiare private la proiecte	9,21 %
Valoarea contributiei financiare private la proiecte	52,5 Mii Lei	

Nota:

La completarea acestor indicatori se va tine seama de domeniul de cercetare si de obiectivele proiectului. Acesti indicatori se vor completa acolo unde este cazul.