

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2012 00417

(22) Data de depozit: 11.06.2012

(41) Data publicării cererii:  
29.11.2012 BOPI nr. 11/2012

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" DIN  
BRAȘOV, BD.EROILOR NR.29, BRAȘOV,  
BV, RO

(72) Inventatori:  
• ȘERBAN IOAN, SAT CĂRPINIȘ NR. 962A,  
TĂRLUNGENI, BV, RO;  
• MARINESCU CORNELIU,  
STR. MIHAI EMINESCU NR.48, BRAȘOV,  
BV, RO

(54) METODĂ DE REGLARE FĂRĂ SENZORI A TURĂȚIEI ȘI  
PUTERII GENERATOARELOR EOLIENE CU MAGNEȚI  
PERMANENȚI DE MICĂ PUTERE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de reglare fără senzori a turăȚiei și puterii de ieșire a generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere și cu unghi fix al palelor. Metoda conform invenției este destinată sistemelor de conversie a energiei eoliene, în care un generator (2) sincron, cu magneți permanenți, este antrenat de către un rotor (1) eolian cu unghi fix al palei, la ieșirea generatorului (2) tensiunea este redresată prin intermediul unei punți (3) trifazate de diode, iar tensiunea obținută este filtrată cu un condensator (4); puterea generată este transferată unei rețele (5), prin intermediul unei interfețe (6) electronice de putere, care este comandată, împreună cu o sarcină (8) de balast, de către un sistem (7) de control ce asigură reglarea genera-torului (2) eolian și a puterii injectate în rețea doar pe baza măsurării tensiunilor și curenților ( $U_{DC}$ ,  $I_{DC}$ ,  $u_G$  și  $i_G$ ), iar metoda constă într-o structură de reglare cu două regulatoare cascade, un regulator (14) aferent reglării indirecte a turăȚiei prin intermediul tensiunii redresate ( $U_{DC}$ ) și al unei caracteristici (10) optime de reglare, iar un alt regulator (18) asigurând limitarea puterii generate prin frânarea indirectă a rotorului eolian.

Revendicări: 4  
Figuri: 3

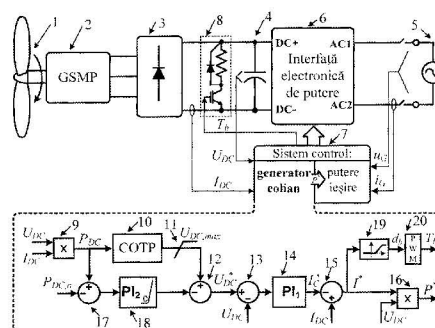


Fig. 1



## METODĂ DE REGLARE FĂRĂ SENZORI A TURAȚIEI ȘI PUTERII GENERATOARELOR EOLIANE CU MAGNEȚI PERMANENȚI DE MICĂ PUTERE

**Invenția se referă la** o metodă de reglare fără senzori a turației și puterii de ieșire a generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere (în domeniul kilowattilor) și cu unghi fix al palelor (fără *pitch*), conectate direct (fără cutie de viteze) la rotorul eolian. Invenția se încadrează în domeniul sistemelor de reglare a generatoarelor electrice cu surse de energie regenerabilă.

**Se cunosc** diverse procedee de reglare a generatoarelor eoliene cu magneți permanenți, pentru aplicații de mică putere, atât pentru funcționarea în regim autonom cât și conectate la o rețea mono- sau trifazată. Majoritatea soluțiilor prezentate în literatura de specialitate conțin pe partea de putere un generator sincron trifazat cu magneți permanenți, un convertor electronic de interfață și un invertor pentru conectarea la o rețea de curent alternativ. Pe partea de control, procedeele au în comun un regulator de turație (direct sau indirect), care acționează în diferite moduri în funcție de regimul de funcționare impus.

Soluțiile de control pe partea generatorului sunt împărțite în două categorii principale: cu și fără senzori. În prima categorie se încadrează metodele de control bazate pe senzori de turație și/sau de viteză a vântului (anemometre), avantajul acestora constând într-o precizie de reglare mai ridicată și un randament mai bun de conversie a energiei eoliene. În această categorie se menționează brevetele: D.G. Calley, „Stall controller and triggering condition control features for a wind turbine” US 2010/007145 A1; Y. Lang, N.R. Zargari, M. Pande, B. Wu, „Current source converter-based wind energy system”, US 2010/0025995 A1; D.G. Calley, H.M. Knowler, „Wind turbine controller”, US 6703718 B2; C.W. Gabrys, „Wind turbine direct current control system and methods”, US 2010/0060002 A1; J.K. Peter, „Speed setting system and method for a stall-controlled wind turbine”, US 201110241343 A1. Soluțiile prezentate în aceste brevete se bazează pe informația provenită de la un traductor de turație care prezintă ca dezavantaj principal complexitatea mai ridicată a sistemului, ce se va reflecta și într-un cost mai ridicat.

În categoria procedeele de reglare fără senzori, singurele mărimi achiziționate din sistem sunt cele electrice (tensiuni, curenți), așadar traductoarele de tip mecanic sunt eliminate. Ca urmare, dezavantajele menționate la paragraful anterior sunt atenuate, însă vor fi înlocuite de altele cum ar fi precizia mai scăzută de reglare, probleme de stabilitate și eventual utilizarea de modele ale generatorului eolian pentru determinarea indirectă a mărimilor mecanice (turația generatorului în primul rând). În această categorie se menționează lucrările: K. Tan, S.

*Josban  
Juculescu*

Islam, „Optimum Control Strategies în Energy Conversion of PMSG Wind Turbine System Without Mechanical Sensors”, IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 19, no. 2, June 2004, pp. 392-399; A. Ahmed, Li Ran, J.R. Bumby, „New Constant Electrical Power Soft-Stalling Control for Small-Scale VAWTs”, IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 25, no. 4, Dec. 2010, pp. 1152-1161; R. Rocha, „A sensorless control for a variable speed wind turbine operating at partial load”, Renewable Energy, 2010, vol. 36, no.1, June 2011, pp. 132-141.

Referindu-ne în continuare la procedeele de reglare fără senzori, acestea au abordări și grade de complexitate diferite. Toate asigură reglarea turației generatorului eolian pentru regimul de funcționare la puteri parțiale, adică pentru viteze ale vântului până la valoarea nominală (în general până în jur de 10m/s) corespunzătoare puterii nominale. În această zonă, scopul este de a maximiza randamentul de conversie a energiei eoliene, prin modificarea continuă a turației generatorului odată cu variația vitezei vântului. Există diverși algoritmi de urmărire a punctului de putere maximă pe caracteristica putere-turație-viteza vântului, unii de tip dinamici-online (ex. *hill-climbing*, *perturb-and-observe*), iar alții de tip tabel de căutare (statice), sau combinații ale celor două tipuri. Se menționează faptul că în prima categorie algoritmi fiind dinamici pot să se adapteze la variațiile parametrilor sistemului eolian (ex. temperatura aerului), dar se pot produce oscilații în jurul punctului staționar de funcționare, ceea ce constituie un dezavantaj al metodelor (J.S. Thongam, M. Ouhrouche, „MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems”, pp. 339-360, 2011). În schimb, tabelele de căutare statice (predefinite) sunt mult mai simple de implementat și elimină dezavantajul menționat anterior, însă au dezavantajul că pot conduce la deviații de la curba optimă de funcționare din cauza insensibilității la modificarea parametrilor din sistem, și ca urmare randamentul de conversie a energiei eoliene poate scădea.

Reglarea turației în regim de putere parțială se realizează, în cazul metodelor de reglare fără senzori, prin determinarea frecvenței de la ieșirea generatorului sau prin intermediul tensiunii redresate. În primul caz, frecvența de ieșire fiind direct proporțională cu turația mecanică în cazul generatorului sincron, s-ar putea spune ca metoda beneficiază de performanțe ridicate. Dat fiind faptul că, tensiunea de ieșire a generatorului poate prezenta distorsiuni armonice ridicate din cauza funcționării redresorului, determinarea frecvenței este mult îngreunată, conducând la deficiențe dinamice ridicate, fapt care constituie un dezavantaj al acestei metode (K. Tan, S. Islam, „Optimum Control Strategies in Energy Conversion of PMSG Wind Turbine System Without Mechanical Sensors”, IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 19, no. 2, June 2004, pp. 392-399.). În schimb, reglarea turației generatorului

*Forkey  
Ivanescu*

prin intermediul tensiunii redresate elimină dezavantajele metodei anterioare, însă are dezavantajul că precizia de reglare a turației este mai scăzută. Metoda menționată se bazează pe o cvasi directă-proportionalitate dintre tensiunea redresată și turația generatorului, dar care poate fi aplicată numai la funcționarea redresorului în regim de curent (de ieșire) neîntrerupt - ce apare în general pentru o încărcare a generatorului mai mare de 10%.

Unele procedee asigură reglarea puterii generatorului și când viteza vântului depășește valoarea nominală, limitând puterea de ieșire la valoarea nominală. Limitarea puterii mecanice la axul turbinei eoliene, se poate realiza prin reducerea randamentului de conversie (coeficientului de performanță) a energie eoliene odată cu creșterea vitezei vântului peste valoarea nominală. În cazul unui rotor eolian cu unghiul palei fix, modificarea turației în afara caracteristicii de putere maximă, reprezintă metoda general acceptată pentru limitarea puterii de ieșire. În acest sens, o metodă constă în accelerarea rotorului odată cu creșterea vitezei vântului peste valoarea nominală (*feathering*), iar o alta constă în frânarea aerodinamică a rotorului în aceleași condiții (*stall*) (I. Munteanu, A.I. Bratcu, N.A. Cutululis, E. Ceanga, Optimal Control of Wind Energy Systems – Towards a Global Approach, Springer-Verlag, USA, 2008, pp. 71-90.). Desigur, cele două metode prezintă abordări diferite din punct de vedere al reglării, prima fiind de preferat datorită simplității, astfel după atingerea puterii nominale rotorul se va accelera de la sine odată cu creșterea vitezei vântului. Ca urmare, turația generatorului nu mai este direct controlată, evitarea supraturării rotorului la valori periculoase realizandu-se de o protecție mecanică. În general, turbinele eoliene avute în vedere prezintă un mecanism de protecție mecanică în situații de vânt puternic (*furling*), prin micșorarea unghiului incident dintre suprafața palelor turbinei și direcția vântului, însă acesta acționează destul de lent și nu elimină necesitatea asigurării unui control electric al turației și puterii de ieșire a generatorului. În cele mai multe situații, inexistența unui astfel de mecanism de control conduce la activarea protecției de suprasarcină a inverterului și deconectarea imediată de la rețea, cu consecințe negative asupra producției de energie.

Cea de a doua metodă, de frânare aerodinamică, elimină dezavantajul supraturării rotorului, însă generatorul este mai dificil de controlat în această zonă, mai ales imediat după atingerea vitezei nominale a vântului. D.G. Calley în brevetul US 2010/007145 A1, utilizează un generator cu magneti permanenți special având șase înfășurări, iar în condiții de vânt puternic un set de înfășurări este scurtcircuitat pentru a frâna rotorul eolian și astfel limitând puterea de ieșire. Ca dezavantaje principale se menționează complexitatea ridicată a generatorului și calitatea redusă a reglării puterii și turației generatorului la viteze ale vântului peste valoarea nominală. A. Ahmed în lucrarea sa menționată anterior prezintă o soluție de

Arshay  
Quarigou

control fără senzori a unui generator eolian de mică putere care are dezavantajul că utilizează o caracteristică statică (tabel de căutare) atât în zona de puteri parțiale cât și după atingerea puterii nominale, iar acest lucru reduce calitatea reglării în zona de frânare aerodinamică. Metoda propusă, conform invenției, utilizează frânarea aerodinamică (efectul *stall*) pentru limitarea puterii generatorului.

**Scopul invenției** este de a realiza o metodă de reglare integrată și fără senzori pentru generatoare eoliene cu magneți permanenți de mică putere și cu unghiul palei fix, care să asigure atât extragerea puterii maxime în condiții optime de stabilitate a rotorului la viteze ale vântului până la valoarea nominală, cât și limitarea puterii de ieșire a generatorului când viteza vântului depășește valoarea nominală.

**Problema tehnică pe care o rezolvă invenția** constă în reglarea turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere cu unghi fix al palelor cu o metodă de reglare integrată care **prezintă avantajul** față de soluțiile existente menționate anterior, că poate controla generatorul eolian atât în regim de încărcare parțială cât și peste viteza nominală a vântului prin crearea indirectă (fără intervenție pe partea mecanică) a efectului de frânare aerodinamică a rotorului eolian, fără utilizarea de traductoare sau actuatoare mecanice ci numai a unui traductor de tensiune și a unui de curent, iar trecerea de la un regim la altul se face automat și fără șocuri (*soft stall*). Metoda nu exclude însă posibilitatea utilizării unui anemometru pentru un eventual sistem de achiziție de date, independent de sistemul de reglare al generatorului eolian. **Un alt avantaj** al invenției îl constituie ușurința implementării practice a schemei de control cu ajutorul unui procesor digital uzual, reducând astfel costul sistemului de reglare.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură și cu figurile 1...3, care reprezintă:

- Fig. 1, schema sistemului de conversie a energiei eoliene, evidențiind metoda de reglare fără senzori a generatorului eolian.
- Fig. 2, principalele caracteristici statice de funcționare ale generatorului eolian controlat prin metoda inventată: a)  $P_{DC} = f(v_w)$ ; b)  $P_{DC} = f(U_{DC})$ ; c)  $U_{DC} = f(v_w)$ .
- Fig. 3, exemplu de implementare a interfeței electronice de putere.

Fig. 1 prezintă schema sistemului de conversie a energiei eoliene, căruia îi este destinat metoda de reglare, în care un rotor eolian **1** cu două sau trei pale și cu unghi fix al palei antrenează direct un generator sincron cu magneți permanenți (GSMP) **2** cu poli multiplii. Tensiunea de c.a. de la ieșirea generatorului **2** este redresată prin intermediul unei punți de

*Gerhard  
Ludwig*

diode trifazată **3**, iar tensiunea de c.c. este filtrată prin intermediul unui condensator electrolitic **4**. Puterea generată în c.c. este transferată rețelei de c.a. mono- sau trifazată (Fig. 1 ilustrează cazul unei rețele monofazate **5**) prin intermediul unei interfețe electronice de putere **6**, care poate avea diferite structuri fizice, una dintre cele mai comune fiind redată în Fig. 3. Interfața de putere este comandată de către un sistem de control **7**, care, pe baza măsurării tensiunii și curentului de pe linia de c.c. ( $U_{DC}$  și  $I_{DC}$ ) și a tensiunii și curentului pe partea de c.a. ( $u_G$ ,  $i_G$ ), asigură atât reglarea generatorului eolian cât și controlul puterii injectate în rețea. La ieșirea punții redresoare **3** s-a prevăzut o sarcină de balast **8** cu rol de frânare a generatorului când se produce energie în excess ce nu poate fi transferată spre rețea și de limitare a tensiunii redresate în condiții de rafale de vânt puternice.

Schema prezentată în Fig. 1 pune în evidență metoda de reglare fără senzori a generatorului eolian, conform invenției, metodă care utilizează ca mărimi provenite din sistem tensiunea  $U_{DC}$  și curentul  $I_{DC}$  și furnizează la ieșire puterea de referință  $P^*$  ce trebuie extrasă de pe linia de c.c.. În funcție de tipul de interfață de putere adoptată, poate fi utilizat și curentul de referință  $I^*$  în locul lui  $P^*$ .

Metoda de reglare constă într-o structură integrată cu două regulatoare de tip proportional-integrativ ( $PI_1$  și  $PI_2$ ) cascade, unul aferent reglării indirecte a turației **14** și al doilea corespunzător regimului de limitare a puterii **18** prin frânare aerodinamică a rotorului eolian. Valoarea puterii generate pe linia de c.c.  $P_{DC}$ , calculată cu **9** ca produs dintre  $U_{DC}$  și  $I_{DC}$ , este transferată blocului **10** care include un tabel de căutare a tensiunii de referință pe linia de c.c. în funcție de o caracteristică optimă putere-tensiune (COTP) predefinită. Tensiunea de ieșire din blocul **10** este limitată la o valoare maximă ( $U_{DC,max}$ ) prin intermediul limitatorului **11**, iar valoarea rezultată este furnizată polului pozitiv al sumatorului **12**. În același timp, diferența dintre valoarea măsurată ( $P_{DC}$ ) și cea nominală ( $P_{DC,n}$ ) a puterii, calculată cu **17**, este aplicată regulatorului **18**, a cărui ieșire, limitată la valori pozitive, este transferată polului negativ al sumatorului **12**. Ieșirea sumatorului **12**, reprezentând tensiunea de referință de pe linia de c.c. ( $U_{DC}^*$ ), se scade din valoarea măsurată cu ajutorul sumatorului **13**, iar eroarea obținută se aplică regulatorului **14** ( $PI_1$ ). Sumatorul **15** calculează curentul de referință  $I^*$  ca diferență dintre curentul măsurat  $I_{DC}$  și valoarea curentului de referință  $I_C^*$  obținut la ieșirea lui  $PI_1$ . În continuare, se poate calcula cu **16** puterea de referință pe care convertorul electronic trebuie să o extragă de pe linia de c.c.

În plus, metoda de reglare mai ține cont și de limitările în putere ale convertorului electronic în regim tranzitoriu în special, și de alte situații care pot conduce la incapacitatea convertorului de a transfera puterea în rețea (ex. goluri de tensiune). În acest sens, s-a

Stobai  
Juciu

prevăzut un semnal de ieșire suplimentar  $T_b$  care comandă în regim de modulație în durată (PWM) un tranzistor din cadrul sarcinii de balast **8**, cu rol de frânare a generatorului în condițiile menționate anterior. Astfel, referința de curent de la ieșirea blocului **15** este transferată și unei funcții neliniare **19** care furnizează un semnal subunitar  $d_b$  proporțional cu diferența dintre referința  $I^*$  și o valoarea minimă a curentului ( $I_{min}^*$  - presetat) de la care blocul **19** devine activ. Semnalul obținut este aplicat unui generator PWM **20**, care furnizează comanda digitală driverului tranzistorului de putere din cadrul sarcinii de balast **8**.

Descrierea matematică a metodei de reglare inventată este realizată prin intermediul expresiilor (1)-(4).

$$I^* = I_{DC} - PI_1 \{ \max[U_{DC, \max}; COTP(U_{DC} \cdot I_{DC})] - PI_2 [ \max(U_{DC} I_{DC} - P_{DC, n}; 0) ] - U_{DC} \} \quad (1)$$

pentru  $U_{DC} > 0$  și  $I_{DC} > 0$ .

$$d_b = \max \left[ \max \left( \frac{I^* - I_{min}^*}{I_{max}^* - I_{min}^*}; 0 \right); 1 \right] \quad (2)$$

în care:

$$PI_{1,2}(\varepsilon) = k_{p1,2} \cdot \varepsilon + k_{i1,2} \cdot \int \varepsilon \cdot dt \quad (3)$$

$$\max(x; y) = \begin{cases} x, & x \geq y \\ y, & x < y \end{cases} \quad (4)$$

Tabelul următor sintetizează mărimile de intrare și ieșire precum și parametrii caracteristici metodei de reglare inventată:

INTR.	$U_{DC}$	Tensiunea redresată, măsurată din sistem;
	$I_{DC}$	Curentul redresat, măsurat din sistem;
IEȘ.	$I^*(P^*)$	Curentul (puterea) de referință furnizată sistemului de control al interfeței electronice;
	$d_b$	Factorul de umplere al semnalului PWM pentru comanda tranzistorului $T_b$ ;
PARAMETRII	$U_{DC, m}$ $ax$	Tensiunea de referință maximă ce asigură intrarea lină în regim de frânare aerodinamică și limitarea turației generatorului;
	$COTP$	Caracteristica optimă tensiune-putere prestabilită pentru a extrage puterea maximă din turbină la diferite viteze ale vântului, la puteri parțiale;
	$k_{p1,2}$	Constantele proporțională și integrativă corespunzătoare celor două regulatoare
	$k_{i1,2}$	PI <sub>1</sub> și PI <sub>2</sub> ;
	$I_{min}^*$	Valorile minimă și maximă (presetate) ale curentului de referință $I^*$ între care sarcina de balast acționează.
	$I_{max}^*$	

*Stelian  
Ivanescu*

Fig. 2 ilustrează sintetic principalele caracteristicile statice de funcționare ale generatorului eolian controlat după metoda de reglare, conform invenției. S-au pus în evidență punctele de tranziție A – E între diferite zone de funcționare ale sistemului. Zona AB caracterizează funcționarea la puteri parțiale ale generatorului corespunzătoare valorilor vitezei vântului între minim (ex. 4m/s) și nominal (ex. 10m/s), în care metoda de reglare asigură extragerea puterii maxime și menținerea stabilității turbinei. Următoarea zonă BC asigură o trecere lină către regimul de frânare aerodinamică (*soft stall*). Acest efect se realizează după atingerea punctului B când tensiunea redresată ajunge la valoarea maximă (predefinită prin  $U_{DC,max}$ ) iar turația rotorului este indirect limitată, asigurând astfel o tranziție fără șocuri spre zona de frânare aerodinamică. Zona CE este caracterizată de faptul ca puterea la ieșirea generatorului ( $P_{DC}$ ) este menținută constant prin intermediul regulatorului **18** (PI<sub>2</sub>), care controlează referința de tensiune  $U_{DC}^*$ . Punctul D nu delimitează un alt regim de funcționare impus de partea de reglare ci doar indică schimbarea gradientului turației rotorului (implicit și a tensiunii redresate) cu viteza vântului. După atingerea punctului E, corespunzător unei viteze a vântului ridicată (ex.  $v_w = 25\text{m/s}$ ), turbina trebuie oprită prin acționarea a altor mecanisme de natură electrică sau mecanică ce sunt prevăzute de producătorul turbinei.

Fig. 3 exemplifică un mod de realizare a interfeței electronice de putere **6** pentru integrarea turbinei eoliene la o rețea monofazată. Interfața, având două trepte de conversie a puterii, este alcătuită dintr-un convertor ridicător de tensiune **21**, o linie de c.c. cu un condensator de filtrare **22**, un invertor de tensiune monofazat **23** și un filtru LC trece-jos **24**. Tensiunea de pe linia de c.c. este menținută constant prin intermediul convertorului ridicător de tensiune care admite la intrare tensiuni de valori diferite, în funcție de turația generatorului. Invertorul de tensiune, funcționând în modulație PWM sinusoidală, efectuează transferul puterii de pe linia de c.c. către rețeaua de c.a., iar filtrul **24** atenuază componentele armonice ale curentului, generate de comutația tranzistorelor.

Indiferent de structura interfeței electronice de putere, referința de putere  $P^*$  (rezultatul multiplicatorului **16**) este transferată sistemului de control a puterii de ieșire, care comandă convertorul din structura interfeței. Soluții de control dedicate se regăsesc în literatura de specialitate, această temă fiind în afara scopului acestei descrieri.

Jubay  
Juciușu



14

## REVENDICĂRI

1. Metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, **caracterizată prin aceea că** este destinată sistemelor de conversie a energiei eoliene formate dintr-un lanț electromecanic în care un rotor eolian (1) cu două sau trei pale și cu unghi fix al palei antrenează direct un generator sincron cu magneți permanenți (2) cu poli multipli, tensiunea de c.a. de la ieșirea generatorului este redresată prin intermediul unei punți de diode trifazată (3), tensiunea de c.c. este filtrată prin intermediul unui condensator electrolitic (4), iar pe linia de c.c. se află o sarcină de balast (8); puterea generată în c.c. este transferată unei rețele de c.a. (5) prin intermediul unei interfețe electronice de putere (6) ce este comandată de către un sistem de control (7), care, pe baza măsurării tensiunii și curentului de pe linia de c.c. ( $U_{DC}$  și  $I_{DC}$ ) și a tensiunii și curentului pe partea de c.a. ( $u_G$ ,  $i_G$ ), asigură reglarea generatorului eolian cât și controlul puterii injectate în rețea.

2. Metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, **conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că** este alcătuită dintr-o structură integrată cu două regulatoare de tip proportional-integrativ ( $PI_1$  și  $PI_2$ ) cascade, primul ( $PI_1$ ) aferent reglării indirecte a turației (14) prin intermediul tensiunii redresate  $U_{DC}$ , iar al doilea ( $PI_2$ ) corespunzător regimului de limitare a puterii (18) prin frânare aerodinamică a rotorului eolian; valoarea puterii generate pe linia de c.c.  $P_{DC}$ , calculată cu (9) ca produs între  $U_{DC}$  și  $I_{DC}$ , este transferată blocului (10) care include un tabel de căutare a tensiunii de referință pe linia de c.c. în funcție de o caracteristică optimă putere-tensiune (COTP) predefinită, tensiunea de ieșire din blocul (10) este limitată la o valoare maximă prin intermediul limitatorului (11), iar valoarea rezultată este furnizată polului pozitiv al sumatorului (12), în timp ce diferența dintre puterea măsurată ( $P_{DC}$ ) și cea nominală ( $P_{DC,n}$ ), calculată cu (17), este aplicată regulatorului (18) a cărei ieșire, limitată numai la valori pozitive, este transferată polului negativ al sumatorului (12); rezultatul, reprezentând tensiunea de referință de pe linia de c.c.  $U_{DC}^*$ , se scade cu (13) din valoarea măsurată  $U_{DC}$ , eroarea obținută se aplica regulatorului (14), iar valoarea curentului de referință  $I_C^*$ , obținut la ieșirea lui  $PI_1$ , se scade cu (15) din curentul măsurat  $I_{DC}$ , obținând curentul de referință  $I^*$  din care se calculează prin (16) puterea de referință pe care convertorul electronic trebuie să o extragă de pe linia de c.c.; curentul de referință  $I^*$  este transferat și unei funcții neliniare (19) ce furnizează un semnal subunitar  $d_b$  proporțional cu diferența dintre referința  $I^*$  și o valoare minimă (presetată), semnal aplicat unui generator PWM (20) care comandă o sarcină de balast (8) pentru disiparea puterii produse în exces de generator.

Fisbay  
Ivanov

3. Metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, **conform revendicării 2, caracterizată prin aceea că**, asigură controlul generatorului pe toată plaja de variație a vitezei vântului (ex.  $v_w=4-25$  m/s), atât la puteri parțiale (ex.  $v_w=4-10$ m/s) cât și la putere nominală (ex.  $v_w=10-25$ m/s) prin crearea efectului de frânare aerodinamică (*stall*), iar transferul dintre cele două regimuri se realizează automat și fără șocuri prin asigurarea unei zone de *soft stall*.

4. Metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, **conform revendicării 2, caracterizată prin aceea că**, limitarea puterii de la ieșirea generatorului prin crearea efectului de frânare aerodinamică asupra rotorului eolian se realizează indirect prin modificarea referinței de tensiune  $U_{DC}^*$  de către un regulator PI (18) care acționează asupra diferenței dintre puterea măsurată la ieșirea generatorului ( $P_{DC}$ ) și valoarea nominală ( $P_{DC,n}$ ).

Herber  
Jucicaru

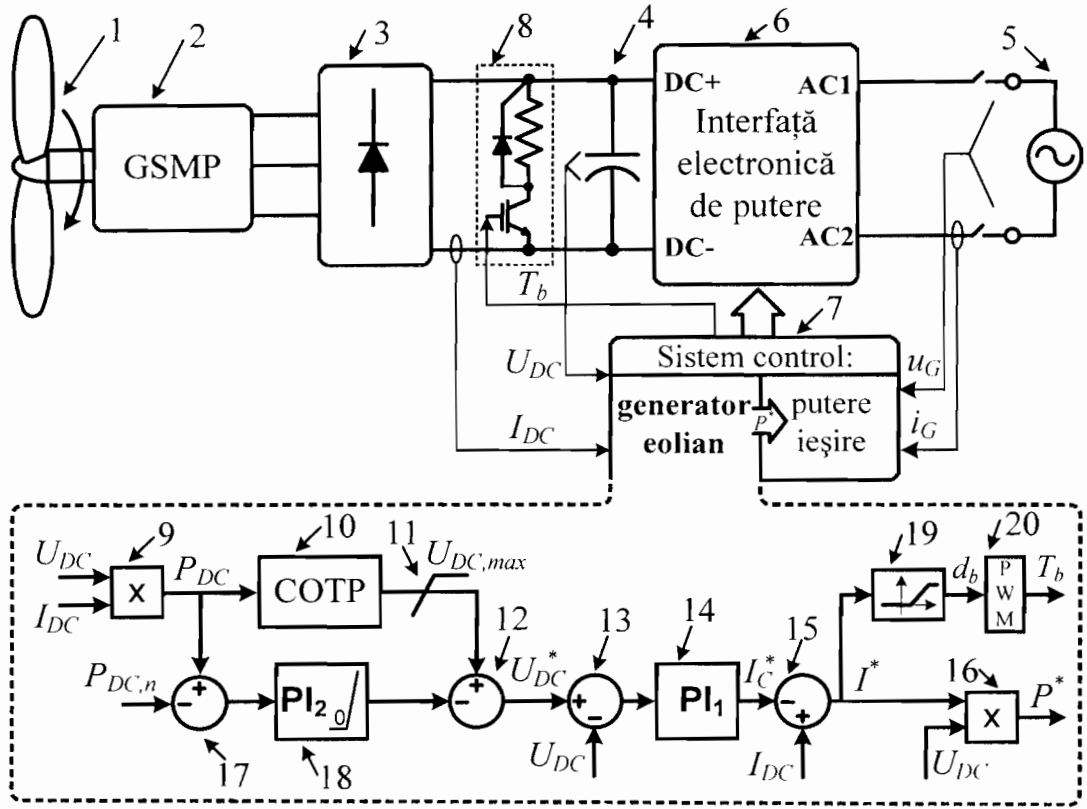


Fig. 1 - Schema sistemului de conversie a energiei eoliene, evidențiind metoda de reglare fără senzori a generatorului eolian

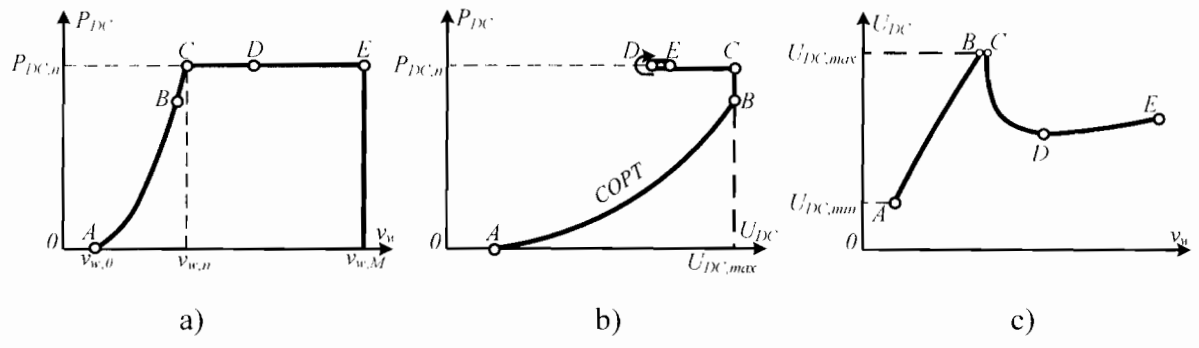


Fig. 2 – Principalele caracteristici statice de funcționare ale generatorului eolian controlat prin metoda inventată:  
a)  $P_{DC} = f(v_w)$ ; b)  $P_{DC} = f(U_{DC})$ ; c)  $U_{DC} = f(v_w)$ .

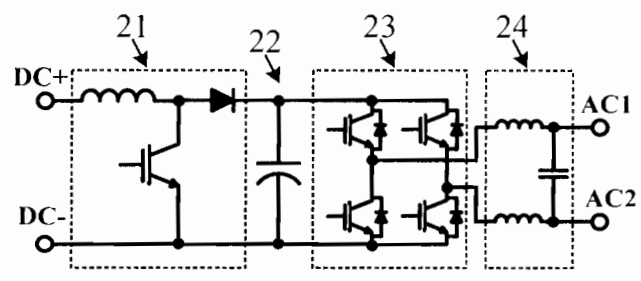


Fig. 3 – Exemplu de implementare a interfeței electronice de putere.

*Handwritten signature:* Ștefan Ivașcu