



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00417**

(22) Data de depozit: **11/06/2012**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/06/2020** BOPI nr. 6/2020

(41) Data publicării cererii:
29/11/2012 BOPI nr. 11/2012

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

(72) Inventatori:
• ȘERBAN IOAN, SAT CĂRPINIȘ NR. 962A,
COMUNA TĂRLUNGENI, BV, RO;
• MARINESCU CORNELIU,
STR. MIHAI EMINESCU NR.48, AP. 1,
BRAȘOV, BV, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 2006/0028025 A1; M. HAQUE,
"A NOVEL CONTROL STRATEGY FOR
VARIABLE SPEED WIND TURBINE WITH
PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS
GENERATOR", IEEE INDUSTRY
APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL
MEETING, PP.1-8, 2008,
<http://ro.uow.edu.au/engpapers/5407>;
M. J. MERCADO-VARGAS,
"TWO CONTROL STRATEGIES FOR
AGGREGATED WIND TURBINE MODEL
WITH PERMANENT MAGNET
SYNCHRONOUS GENERATOR",
INTERNATIONAL CONFERENCE AN
RENEWABLE ENERGIES AND POWER
QUALITY IEEE, 2012,
doi.org/10.24084/repqj10.698

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



1 Invenția se referă la o metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor
eoliene cu magneți permanenți de mică putere (în domeniul kilowaților) și cu unghi fix al palelor
3 (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.

5 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
7 o rețea monofazată sau trifazată. Majoritatea soluțiilor prezentate în literatura de specialitate
conțin pe partea de putere un generator sincron trifazat cu magneți permanenți, un convertor
9 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
11 în diferite moduri, în funcție de regimul de funcționare impus.

13 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
15 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
17 control features for a wind turbine*”, US 2010/007145A1; Y. Lang, N. R. Zargari, M. Pande,
B. Wu, „*Current source converter-based wind energy system*”, US 2010/0025995A1; D.
19 G. Calley, H. M. Knowler, „*Wind turbine controller*”, US 6703718 B2; C. W. Gabrys, „*Wind
turbine direct current control system and methods*”, US 2010/0060002A1; J. K. Peter,
21 „*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
23 de turație care prezintă ca dezavantaj principal complexitatea mai ridicată a sistemului, ce se
va reflecta și într-un cost mai ridicat.

25 În categoria procedeele de reglare fără senzori, singurele mărimi achiziționate din
sistem sunt cele electrice (tensiuni, curenți), așadar traductoarele de tip mecanic sunt eliminate.
27 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,
29 utilizarea de modele ale generatorului eolian pentru determinarea indirectă a mărimilor
mecanice (turația generatorului în primul rând). În această categorie se menționează lucrările:
31 K. Tan, S. Islam, „*Optimum Control Strategies in Energy Conversion of PMSG Wind
Turbine System Without Mechanical Sensors*”, IEEE Transaction on Energy Conversion,
33 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
35 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,
37 2010, vol. 36, no.1, June 2011, pp. 132-141.

39 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 nomi-
41 nală (în general până în jur de 10 m/s) corespunzătoare puterii nominale. În această zonă, sco-
pul este de a maximiza randamentul de conversie a energiei eoliene, prin modificarea continuă
43 a turației generatorului odată cu variația vitezei vântului. Există diverși algoritmi de urmărire a
punctului de putere maximă pe caracteristica putere-turație-viteză a vântului, unii de tip
45 dinamici-online (de exemplu, hill-climbing, perturb-and-observe), iar alții de tip tabel de căutare
(stative), sau combinații ale celor două tipuri. Se menționează faptul că în prima categorie
47 algoritmi, fiind dinamici, pot să se adapteze la variațiile parametrilor sistemului eolian

(de exemplu, 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 simplu 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 că 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 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-proporționalitate 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 energiei 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 realizându-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 magneți permanenți special, având șase înfășurări, iar în condiții de vânt

RO 127975 B1

1 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
3 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
5 control fără senzori al unui generator eolian de mică putere, ce are dezavantajul că utilizează
o caracteristică statică (tabel de căutare) atât în zona de puteri parțiale, cât și după atingerea
7 puterii nominale, iar acest lucru reduce calitatea reglării în zona de frânare aerodinamică.
Metoda propusă, conform invenției, utilizează frânarea aerodinamică (efectul stall) pentru
9 limitarea puterii generatorului.

Scopul invenției este de a realiza o metodă de reglare integrată și fără senzori pentru
11 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
13 vântului până la valoarea nominală, cât și limitarea puterii de ieșire a generatorului când viteza
vântului depășește valoarea nominală.

15 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în eficientizarea reglării turației și
puterii unui generator eolian cu magneți permanenți de mică putere, al unei turbine eoliene cu
17 unghi fix al palelor, și cuplaj direct cu turbina eoliană.

Soluția la această problemă tehnică va consta într-o metodă de reglare fără senzori a
19 turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, care, pentru a
asigura controlul generatorului pe toată plaja de variație a vitezei vântului, conform invenției, are
21 următoarele etape:

- măsoară două mărimi electrice, tensiunea U_{DC} și curentul I_{DC} de pe linia de curent
23 continuu, tensiunea U_{DC} fiind obținută prin redresarea cu o punte trifazată de diode, și filtrarea
cu un condensator electrolitic a tensiunii trifazate alternative, provenite de la un generator
25 eolian;

- reglează turația prin intermediul unei structuri integrate cu două regulatoare pro-
27 porțional-integrativ conectate în cascadă, primul regulator intrând în componența unui prim bloc,
regulator aferent reglării indirecte a turației care utilizează tensiunea U_{DC} măsurată direct, și al
29 doilea regulator intrând în componența unui al doilea bloc, regulator corespunzător regimului
de limitare a puterii, care utilizează reducerea tensiunii de referință a tensiunii U_{DC} , pentru
31 obținerea efectului de frânare aerodinamică a rotorului eolian fără intervenția unei sarcini de
balast imediat ce s-a atins puterea nominală;

- calculează într-un bloc de calcul valoarea puterii P_{DC} generate pe linia de c.c., ca fiind
33 produsul între tensiunea U_{DC} și curentul I_{DC} , și care este aplicată unui bloc de transfer care
include un tabel de căutare a tensiunii de referință pe linia de c.c. în funcție de o caracteristică
35 optimă tensiune-putere predefinită, tensiunea de ieșire din blocul de transfer fiind limitată la o
valoare maximă prin intermediul unui bloc limitator, valoarea rezultată fiind furnizată polului
37 pozitiv al unui bloc sumator, în timp ce diferența dintre puterea măsurată și cea nominală,
calculată cu un alt bloc de calcul, fiind aplicată celui de-al doilea bloc regulator, cu ieșirea
39 limitată numai la valori pozitive, este transferată polului negativ al blocului sumator;

- scade într-un bloc de scădere, rezultatul blocului sumator, reprezentând tensiunea de
41 referință de pe linia de c.c., cu valoarea măsurată, eroarea obținută aplicându-se primului bloc
regulator, iar valoarea curentului de referință, obținută la ieșirea primului bloc regulator, se
43 scade în alt bloc de scădere, cu valoarea măsurată, obținându-se la ieșirea acestuia curentul
de referință din care se calculează, prin alt bloc de calcul, puterea de referință P^* pe care
45 convertorul electronic trebuie să o extragă de pe linia de c.c.;

- transferă curentul de referință și unui bloc, funcție neliniară, ce furnizează un semnal
47 subunitar proporțional cu diferența dintre curentul de referință și o valoare minimă (presetată),
semnal care este aplicat unui generator PWM, care comandă o sarcină de balast.
49

RO 127975 B1

| | |
|---|----|
| Invenția prezintă următoarele avantaje: | 1 |
| - poate controla un generator 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 actuatori mecanice, ci numai a unui traductor de tensiune și a unui curent, iar trecerea de la un regim la altul se face automat și fără șocuri (soft stall); | 3 |
| - implementarea practică a schemei de control se realizează cu ușurință cu ajutorul unui procesor digital uzual, reducând astfel costul sistemului de reglare. | 5 |
| Metoda nu exclude însă posibilitatea utilizării unui anemometru pentru un eventual sistem de achiziție de date, independent de sistemul de reglare al generatorului eolian. | 7 |
| Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură și cu fig. 1...3, ce reprezintă: | 9 |
| - fig. 1, schema sistemului de conversie a energiei eoliene, evidențiind metoda de reglare fără senzori a generatorului eolian; | 11 |
| - 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) $U_{DC} = f(v_w)$; | 13 |
| - fig. 3, exemplu de implementare a interfeței electronice de putere. | 15 |
| Fig. 1 prezintă schema sistemului de conversie a energiei eoliene, căruia îi este destinată 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 multipli. Tensiunea de c.a. de la ieșirea generatorului 2 este redresată prin intermediul unei punți de 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. monofazată sau trifazată (fig. 1 ilustrând 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 exces ce nu poate fi transferată spre rețea, și de limitare a tensiunii redresate, în condiții de rafale de vânt puternice. | 17 |
| 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^* . | 19 |
| Metoda de reglare constă într-o structură integrată cu două regulatoare de tip proporțional-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 un bloc 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 blocul de calcul 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 blocului de scădere 13 , iar eroarea obținută se aplică regulatorului 14 (PI_1). Blocul de scădere 15 calculează curentul de referință I^* ca | 21 |
| | 23 |
| | 25 |
| | 27 |
| | 29 |
| | 31 |
| | 33 |
| | 35 |
| | 37 |
| | 39 |
| | 41 |
| | 43 |
| | 45 |
| | 47 |
| | 49 |

RO 127975 B1

1 diferență dintre curentul măsurat I_{DC} și valoarea curentului de referință I_c^* obținut la ieșirea lui
 2 PI_1 . În continuare, se poate calcula cu blocul de calcul **16** puterea de referință pe care con-
 3 vertorul electronic trebuie să o extragă de pe linia de c.c.

4 În plus, metoda de reglare mai ține cont și de limitările în putere ale convertorului elec-
 5 tronic în regim tranzitoriu în special, și de alte situații care pot conduce la incapacitatea conver-
 6 torului de a transfera puterea în rețea (de exemplu, goluri de tensiune). În acest sens, s-a pre-
 7 văzut un semnal de ieșire suplimentar T_b , care comandă în regim de modulație în durată (PWM)
 8 un tranzistor din cadrul sarcinii de balast **8**, cu rol de frânare a generatorului în condițiile mențio-
 9 nate anterior. Astfel, referința de curent de la ieșirea blocului de scădere **15** este transferată și
 10 unei funcții neliniare, blocul **19**, care furnizează un semnal subunitar d_b proporțional cu diferența
 11 dintre referința I^* și o valoare minimă a curentului (I_{min}^* care este presetat) de la care blocul **19**,
 12 funcție neliniară, devine activ. Semnalul obținut este aplicat unui generator PWM **20**, care
 13 furnizează comanda digitală driverului tranzistorului de putere din cadrul sarcinii de balast **8**.

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

$$16 \quad I^* = I_{DC} - PI_1\{\max[U_{DC,max}; COTP(U_{DC} \cdot I_{DC})] - PI_2[\max(U_{DC}I_{DC} - P_{DC,n}, 0)] - U_{DC}\} \quad (1)$$

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

$$18 \quad d_b = \max\left[\max\left(\frac{I^* - I_{min}^*}{I_{max}^* - I_{min}^*}; 0\right); 1\right] \quad (2)$$

21 în care:

$$22 \quad PI_{1,2}(\varepsilon) = k_{P1,2} \cdot \varepsilon + k_{I1,2} \cdot \int \varepsilon \cdot dt \quad (3)$$

$$23 \quad \max(x; y) = \begin{cases} x, & x \geq y \\ y, & x < y \end{cases} \quad (4)$$

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

| | | | |
|----|-----------|--|--|
| 31 | Intrare | U_{DC} I_{DC} | Tensiunea redresată, măsurată din sistem; Curentul redresat, măsurat din sistem; |
| 33 | Ieșire | $I^*(P^*)$ d_b | Curentul (puterea) de referință furnizat sistemului de control al interfeței electronice; Factorul de umplere al semnalului PWM pentru comanda tranzistorului T_b ; |
| 35 | Parametri | $U_{DC,max}$ COTP $k_{P1,2}$ $k_{I1,2}$ I_{min}^* I_{max}^* | Tensiunea de referință maximă ce asigură intrarea lină în regim de frânare aerodinamică și limitarea turației generatorului; Caracteristica optimă tensiune-putere prestabilită pentru a extrage puterea maximă din turbină la diferite viteze ale vântului, la puteri parțiale; Constantele proporțională și integrativă corespunzătoare celor două regulate; PI_1 și PI_2 ; Valorile minimă și maximă (presetate) ale curentului de referință I^* între care sarcina de balast acționează. |

RO 127975 B1

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 minimum (exemplu 4 m/s) și nominal (de exemplu, 10 m/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 că puterea la ieșirea generatorului (P_{DC}) este menținută constant prin intermediul regulatorului **18** (PI_2), 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 (de exemplu, $v_w = 25$ m/s), turbina trebuie oprită prin acționarea 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 monofază. 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 monofază **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** atenuează componentele armonice ale curentului, generate de comutația tranzistoarelor.

Indiferent de structura interfeței electronice de putere, referința de putere P^* (rezultatul blocului de calcul **16**) este transferată sistemului de control al 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.

RO 127975 B1

Revendicare

1

3

Metodă de reglare fără senzori a turației și puterii generatoarelor eoliene cu magneți permanenți de mică putere, care, pentru a asigura controlul generatorului pe toată plaja de variație a vitezei vântului, este **caracterizată prin aceea că** va consta în următoarele etape:

5

- măsurarea a două mărimi electrice, tensiunea U_{DC} și curentul I_{DC} , de pe linia de curent continuu, tensiunea U_{DC} fiind obținută prin redresarea cu o punte (3) trifazată de diode, și filtrarea cu un condensator (4) electrolitic a tensiunii trifazate alternative, provenite de la un generator (2) eolian;

7

9

- reglarea turației prin intermediul unei structuri integrate cu două regulatoare proporțional-integrativ (PI_1 și PI_2) conectate în cascadă, primul regulator (PI_1) intrând în componența unui prim bloc (14) regulator, aferent reglării indirecte a turației, care utilizează tensiunea U_{DC} măsurată direct, și al doilea regulator (PI_2) intrând în componența unui al doilea bloc (18) regulator, corespunzător regimului de limitare a puterii, care utilizează reducerea tensiunii de referință a tensiunii U_{DC} , pentru obținerea efectului de frânare aerodinamică a rotorului eolian fără intervenția unei sarcini de balast, imediat ce s-a atins puterea nominală;

11

13

15

17

- calcularea în blocul (9) de calcul a valorii puterii P_{DC} generate pe linia de c.c., ca fiind produsul între tensiunea U_{DC} și curentul I_{DC} , și care este aplicată unui bloc (10) de transfer care include un tabel de căutare a tensiunii de referință pe linia de c.c. în funcție de o caracteristică optimă tensiune-putere (COTP) predefinită, tensiunea de ieșire din blocul (10) de transfer fiind limitată la o valoare maximă prin intermediul unui bloc (11) limitator, valoarea rezultată fiind furnizată polului pozitiv al unui bloc (12) sumator, în timp ce diferența dintre puterea măsurată (P_{DC}) și cea nominală (P_{DCn}), calculată cu un alt bloc (17) de calcul, fiind aplicată celui de-al doilea bloc (18) regulator, cu ieșirea limitată numai la valori pozitive, este transferată polului negativ al blocului (12) sumator;

19

21

23

25

- scăderea într-un bloc (13) de scădere a rezultatului blocului (12) sumator, reprezentând tensiunea de referință de pe linia de c.c. U_{DC}^* , cu valoarea măsurată U_{DC} , eroarea obținută aplicându-se primului bloc (14) regulator, iar valoarea curentului de referință I_C^* , obținută la ieșirea primului bloc (14) regulator, se scade în alt bloc (15) de scădere, cu valoarea măsurată I_{DC} , obținându-se la ieșirea acestuia curentul de referință I^* din care se calculează, prin alt bloc (16) de calcul, puterea de referință P^* pe care convertorul electronic trebuie să o extragă de pe linia de c.c.;

27

29

31

33

- transferarea curentului de referință I^* și unui bloc (19) funcție neliniară, ce furnizează un semnal subunitar d_b proporțional cu diferența dintre curentul de referință I^* și o valoare minimă (presetată), semnal care este aplicat unui generator (20) PWM, care comandă o sarcină (8) de balast.

35

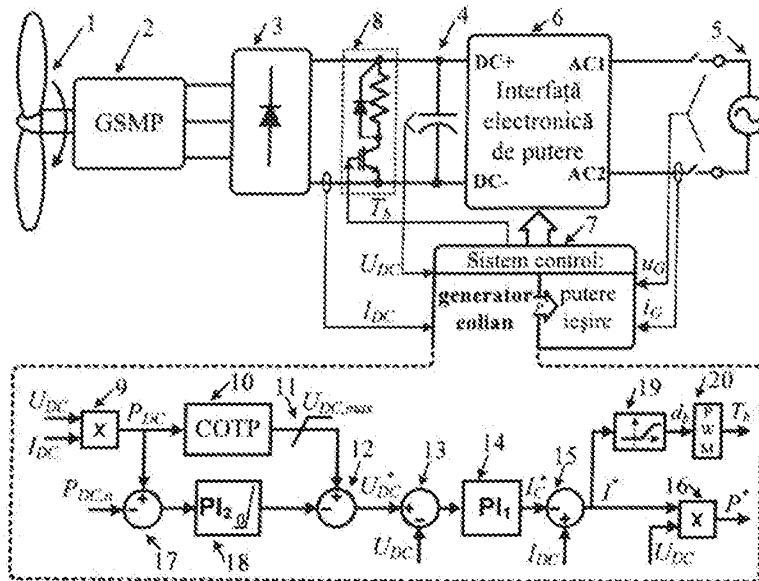


Fig. 1

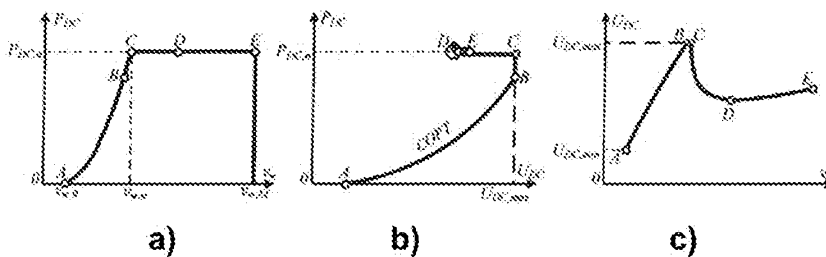


Fig. 2

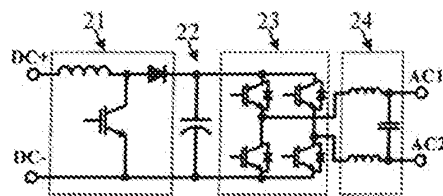


Fig. 3

