



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00769**

(22) Data de depozit: **28/09/2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/01/2017** BOPI nr. 1/2017

(41) Data publicării cererii:
30/05/2011 BOPI nr. 5/2011

(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 7276807 B2; US 6924629 B1;
US 4511807; RO 97929**

(54) **DISPOZITIV DE REGLARE CU SARCINĂ DE BALAST
TRIFAZATĂ, PENTRU GENERATOARE AUTONOME CU
SURSE DE ENERGIE REGENERABILE**



RO 126355 B1

1 Invenția se referă la un dispozitiv cu sarcină de balast, ce se încadrează în domeniul
sistemelor de reglare a generatoarelor electrice autonome, cu surse de energie regenerabile.
3 Un domeniu important de aplicare a invenției este cel al microhidrocentralelor funcționând
în regim autonom. De asemenea, soluția se pretează în cazul sistemelor de generare hibridă
5 a energiei electrice și termice-cogenerare, unde căldura generată pe rezistoarele sarcinii de
balast poate fi recuperată.

7 Se cunosc diverse aplicații cu generatoare autonome, în care sunt utilizate sarcini de
balast pentru reglarea frecvenței. În general, se întâlnesc în cazul sistemelor cu microhidro-
9 centrale autonome și turbine eoliene.

11 Sarcina de balast, cunoscută și sub denumirea de sarcină tampon, se bazează pe
disiparea energiei furnizate în exces de generatoare, formându-se un sistem hibrid de produ-
cere a energiei electrice și termice-cogenerare. Diferența dintre puterea produsă de genera-
13 toarele cu surse regenerabile și cererea consumatorilor se disipă pe niște rezistoare de
putere.

15 Controlul fluxului de putere se realizează printr-un convertor de putere care prezintă
diferite configurații. Convertorul de putere, care face legătura între cele trei faze ale
17 generatorului sau microrețelei, în cazul mai multor generatoare în paralel, și rezistoarele de
putere, diferențiază diferitele tipuri de sarcini de balast. În mod ideal, sarcina de balast
19 trebuie să funcționeze ca o rezistență variabilă, care absoarbe numai putere activă, și nu
induce armonici de curent în microrețea.

21 În ceea ce privește structura sarcinii de balast, se cunosc mai multe soluții tehnice
având aceleași funcții principale de reglare a frecvenței într-un sistem autonom cu surse de
23 energie regenerabile, prezentate succesiv în continuare.

25 Prima dintre acestea constă în utilizarea mai multor rezistoare de putere, conectate
în paralel prin intermediul unor comutatoare statice (tranzistoare, tiristoare), după cum se
prezintă în lucrările științifice: **R. Sebastian, J. Quesada. "Distributed control system for
27 frequency control in a isolated wind system", Science-Direct - Renewable Energy,
vol. 31, issue 3, pp. 285-305 (2006); Hee-Sang Ko, Gi-Gap Yoon, Won-Pyo Hong, Juri
29 Jatskevich, "Control of hybrid wind power generation system with dump load using
advanced fuzzy-robust controller", Proceedings of International Conference on
31 Electrical Machines and Systems, Oct. 2007, pp. 219-226.** În aceeași categorie se
încadrează și brevetele de invenție **US 4563630/1986, J. L. Woodward, J. T. Boys, "Method
33 of governing a generator and/or apparatus for governing a generator"; US 4511807/1985,
W. M. Sommerville, "Electrical Generator control system".** În cazul acestora, numărul
35 rezistoarelor în paralel determină sensibilitatea cu care se poate regla puterea disipată.
Dezavantajul principal al soluției este dat de necesitatea unui număr mare de elemente
37 componente, mai ales pentru schemele trifazate, și capacitatea redusă de reglare rapidă și
precisă a puterii absorbite.

39 A doua structură care înlătură o parte din dezavantajele precedentei constă în
utilizarea variatoarelor de tensiune alternativă cu tiristoare, după cum se prezintă și în
41 lucrările științifice: **W. Jun, Yu Bo, "A novel electronics load controller: theory and
implementation", Proceedings of the 5th International Conference on Electrical
43 Machines and Systems - ICEMS 2001, vol. 2, pp. 1276-1278; J. Chen, K. Natarajan,
"Investigation into the use of electronic load governors for stand alone power system
45 frequency control", Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and
Computer Engineering - CCECE, 2006, pp. 2262-2265.**

RO 126355 B1

O soluție apropiată de invenția revendicată este prezentată în brevetul de invenție **US 7276807 B2/2007, H. Luetze, T. Edenfeld, P. Gauchel, "Wind turbine dump load system and method"**, în care se propune un sistem de control pentru turbine eoliene cu generatoare sincrone cu magneți permanenți, care intervine în cazul în care apar funcționări anormale sau avarii în rețeaua la care este conectat generatorul. Sistemul este compus dintr-o sarcină de balast trifazată, formată din trei rezistoare de putere, conectate la generator printr-un variator trifazat cu tiristoare, puterea disipată de sarcina de balast fiind controlată prin intermediul unghiului de aprindere al tiristoarelor. Principalul dezavantaj al acestei structuri de sarcină de balast îl reprezintă caracterul neliniar, dat de comutația tiristoarelor, fapt ce conduce la producerea armonicilor de curent de ordin inferior, dificil de filtrat, care cauzează pierderi suplimentare și încălzirea generatorului.

O altă configurație cunoscută constă în transformarea energiei de c.a. în energie de c.c., utilizând un redresor trifazat cu diode, iar prin intermediul unui variator PWM (Pulse Width Modulation - modularea impulsurilor în durată) de c.c. (chopper), se controlează puterea disipată pe un rezistor de putere, soluție descrisă și în lucrările științifice: **B. Singh, S. S. Murthy, S. Gupta, "Analysis and design of electronic load controller for self-excited induction generators"**, IEEE Trans. Energy Conversion, vol.21, iss. 1, pp. 285-293, March 2006: A8; **B. Singh, S. S. Murthy, S. Gupta, "Transient analysis of self-excited induction generator with electronic load controller (ELC) supplying static and dynamic loads"**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 41, iss. 5, pp. 1194-1204, Oct. 2005. În cazul acestora, puterea disipată pe rezistor depinde direct proporțional de factorul de umplere al semnalului PWM, care este dictat de un regulator de frecvență. Dezavantajul acestei soluții îl reprezintă conținutul ridicat de armonici superioare de ordin inferior (cinci, șapte, unsprezece), induse de funcționarea redresorului trifazat cu diode, care sunt dificil de filtrat.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în reglarea frecvenței și compensării nesimetriilor într-o microrețea autonomă cu unul sau mai multe generatoare cu surse de energie regenerabile.

Dispozitivul de reglare cu sarcină de balast trifazată, pentru generatoare autonome cu surse de energie regenerabile, înlătură dezavantajele menționate anterior, prin aceea că este alcătuit din trei ramuri separate de circuit electric, fiecare având câte un rezistor de disipare cu rol de sarcină de balast, în care fluxul de putere este controlat prin intermediul câte unui tranzistor de putere pentru fiecare fază, acestea fiind, la rândul lor, comandate separat prin intermediul câte unui circuit de comandă cu semnale PWM, cu factor de umplere variabil, trei punți cu diode prin intermediul cărora se redresează tensiunea de la intrarea fiecărui rezistor de disipare, ce are plasată în paralel câte o diodă de nul, și un filtru inductiv-capacitiv LC, compus din trei bobine și trei condensatoare, utilizat pentru interfațarea cu o microrețea trifazată cu patru conductoare.

Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de comandă cu semnale PWM este constituit dintr-un regulator de frecvență și o structură de compensare a nesimetriilor produse de distribuția neuniformă a consumatorilor monofazați pe cele trei faze ale microrețelei trifazate cu patru conductoare, care conține un bloc de măsurare a puterilor active de pe fiecare fază, puteri ce sunt utilizate în niște blocuri ce realizează operații aritmetice, iar rezultate sunt aplicate la intrarea a două regulatoare de tip proporțional-integral, ieșirile acestora și ieșirea regulatorului de frecvență sunt însumate în trei sumatoare, aplicate la intrarea a trei limitatoare, care vor furniza semnale către trei generatoare PWM, utilizate pentru comanda celor trei tranzistoare cu trei semnale modulate.

RO 126355 B1

1 Dispozitivul de reglare cu sarcină de balast trifazată, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

3 - un conținut redus al armonicilor de curent, și un factor de putere ridicat al circuitului pe tot intervalul de încărcare, comportându-se ca un circuit cvasi-rezistiv;

5 - ordinul ridicat al armonicilor de curent permite utilizarea unui filtru inductiv-capacitiv de dimensiuni reduse și, ca urmare, dimensiunile de gabarit ale sarcinii de balast vor fi reduse;

7 - circuitul de comandă a sarcinii de balast permite, pe lângă funcția de bază de reglare a frecvenței, și menținerea acesteia într-un domeniu îngust de $\pm 1\%$ din frecvența nominală, și compensarea nesimetriilor produse de sarcinile monofazate distribuite neuniform pe cele trei faze ale unui sistem trifazat cu patru conductoare;

9 - schema permite un răspuns rapid la variațiile puterii sarcinilor și la variațiile puterii generatoarelor.

11 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...9, ce reprezintă:

13 - fig. 1, schema microrețelei incluzând sarcina de balast și un generator cu sursă de energie regenerabilă;

15 - fig. 2, structura sarcinii de balast inventată;

17 - fig. 3, circuitul de comandă a sarcinii de balast;

19 - fig. 4, oscilograma tensiunii și curentului de fază la bornele sarcinii de balast pentru o încărcare de 50%;

21 - fig. 5, diagrama puterilor în cazul unor sarcini monofazate, distribuite neuniform pe cele trei faze ale microrețelei, și distribuția puterii active pe cele trei faze ale sarcinii de balast;

23 - fig. 6, frecvența generatorului și răspunsul regulatorului de frecvență;

25 - fig. 7, conectare sarcini monofazate:

27 (a) puterile active pe cele trei faze ale generatorului;

(b) puterile active pe cele trei faze ale sarcinii de balast;

29 - fig. 8, oscilograma curenților prin cele trei faze ale generatorului:

31 (a) fără compensarea nesimetriilor;

(b) cu compensarea nesimetriilor;

33 - fig. 9, oscilograma curentului prin conductorul neutru al generatorului:

(a) fără compensarea nesimetriilor;

(b) cu compensarea nesimetriilor.

35 Fig. 1 prezintă schema bloc a unei microrețele autonome, compusă dintr-un generator electric **1**, care este antrenat prin intermediul unei surse de energie regenerabilă, și care alimentează mai multe sarcini. Se utilizează un sistem de control **2**, care comandă sarcina de balast **3**. Se măsoară tensiunile de fază trifazate u_{RST} și curenții de fază trifazați i_{RST} , pe baza cărora sunt furnizate semnalele de comandă C_{RST} .

37 Dispozitivul de reglare cu sarcină de balast trifazată, pentru generatoare autonome cu surse de energie regenerabile, conform fig. 2, este alcătuit din trei ramuri separate de circuit electric, fiecare având câte un rezistor **4**, **5** și **6** de disipare, cu rol de sarcină de balast, în care fluxul de putere este controlat prin intermediul câte unui tranzistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) **7**, **8** și **9** de putere pentru fiecare fază, acestea fiind, la rândul lor, comandate separat, prin intermediul câte unui circuit de comandă cu semnale PWM C_R , C_S , C_T cu factor de umplere variabil. Tensiunea alternativă de la intrarea fiecărui rezistor **4**, **5** și **6** de disipare este redresată prin intermediul a trei punți **10**, **11** și **12** cu diode, rezistoarele având

RO 126355 B1

plasate în paralel câte o diodă de nul **13**, **14** și **15**, deoarece rezistoarele au și o inductanță 1
serie, rezultată din soluția constructivă (rezistoare bobinate în general). Interfațarea cu 2
microrețeaua trifazată cu 4 conductoare **R**, **S**, **T**, **N** se realizează prin intermediul unui filtru 3
inductiv-capacitiv LC trece-jos, ce are rolul de a atenua armonicile superioare, produse de 4
comutația tranzistoarelor de putere. Filtrul este compus din trei bobine **16** care nu sunt cuplate 5
magnetic, și trei condensatoare **17**, conectate în stea, cu punctul comun legat la neutrul 6
microrețelei. Dimensiunile filtrului sunt reduse pentru că cea mai mică armonică de curent 7
care trebuie filtrată este de ordinul frecvenței de comutație PWM a celor trei tranzistoare. 8

Fig. 4 prezintă tensiunea de fază u_{RN} la bornele sarcinii de balast, și curentul de fază 9
al sarcinii de balast printr-una dintre bobinele **16**, pentru o încărcare de 50% a fazei 10
respective. Factorul de distorsiune al curentului absorbit din microrețea este de sub 5%, în 11
condițiile în care tensiunea la borne prezintă un factor de distorsiune de aproximativ 2%, iar 12
 $\cos \phi = 0,96$. 13

În plus, structura de față conferă posibilitatea utilizării în sistemele trifazate cu patru 14
conductoare, iar puterea disipată pe fiecare fază poate fi controlată separat. Acest avantaj 15
este utilizat pentru compensarea dezechilibrului introdus de consumatorii monofazați, 16
dezvoltându-se în acest sens un circuit de comandă original. 17

Circuitul de comandă al sarcinii de balast cu semnale PWM, conform fig. 3, este con- 18
stituit dintr-un regulator **18** de frecvență al microrețelei autonome, și o structură de compen- 19
sare a nesimetriilor de putere activă, produse de distribuția neuniformă a consumatorilor 20
monofazați pe cele trei faze ale microrețelei trifazate cu patru conductoare. 21

Reglarea frecvenței cu sarcina de balast se realizează prin modificarea puterii 22
disipate pe rezistoarele de putere, prin modificarea factorului de umplere a semnalului PWM 23
care comandă tranzistoarele de putere de pe fiecare fază. 24

Regulatorul **18** de frecvență utilizează o structură de tip proporțional-integral (PI), ce 25
acționează asupra diferenței dintre frecvența de referință (f_{ref}) și frecvența măsurată (f_{max}) în 26
sistem, furnizând la ieșire estimarea dezechilibrului de putere (ΔP) între generare și consum. 27
Ieșirea regulatorului PI reprezintă practic factorul de umplere al semnalului PWM care 28
comandă tranzistoarele de putere din cadrul sarcinii de balast. Dacă frecvența măsurată este 29
mai mare de 50 Hz, regulatorul crește factorul de umplere al semnalului PWM, astfel încât 30
o putere mai mare va fi disipată pe sarcina de balast, iar ca rezultat generatorul/genera- 31
toarele își va/vor încetini turația, și frecvența va descrește. În cazul în care frecvența 32
măsurată este mai mică de 50 Hz, procesul de reglare este invers, atât timp cât puterea 33
disponibilă în generatoare este mai mare decât cerințele sarcinilor. 34

În continuare, se adaugă un modul pentru compensarea nesimetriilor de putere activă 35
dintre fazele microrețelei. În acest sens, se determină puterile active de pe fiecare fază, prin 36
intermediul blocului **19** de măsurare, iar acestea intră în două blocuri **20** și **21**, ce realizează 37
următoarele operații aritmetice: 38

$$P_{20} = -2P_R + P_S + P_T \quad 39$$

$$P_{21} = P_R - 2P_S + P_T$$

În care P_{20} și P_{21} reprezintă rezultatele operațiilor aferente blocurilor **20** și **21**. 41

Rezultatele astfel obținute alimentează două regulatoare **22** și **23** de tip proporțional- 42
integral, care vor estima dezechilibrele dintre faze, și vor furniza la ieșire un semnal 43
proporțional cu dezechilibrul de pe faza respectivă. Pentru exemplificarea funcționării 44
circuitului de compensare a nesimetriilor, fig. 5 prezintă o diagramă a puterilor în microrețea 45
în cazul unor sarcini monofazate, distribuite neuniform pe cele trei faze, și distribuția puterii 46
active pe cele trei faze ale sarcinii de balast în urma acționării compensatorului, astfel încât 47
generatorul/generatoarele va/vor resimți o sarcină echivalentă echilibrată.

RO 126355 B1

1 În continuare, aceste semnale sunt însumate cu ieșirea regulatorului **18** de frecvență
(ΔP), prin intermediul a trei sumatoare **24**, **25** și **26**, iar după o adaptare a semnalelor prin
3 trei limitatoare **27**, **28** și **29**, sunt aplicate generatoarelor de semnal PWM **30**, **31** și **32**. Sem-
nalele obținute C_R , C_S și C_T comandă cele trei tranzistoare **7**, **8** și **9** din structura sarcinii de
5 balast.

Pentru demonstrarea funcționalității circuitului de comandă al sarcinii de balast
7 inventate, în continuare sunt prezentate câteva rezultate obținute experimental în condiții de
laborator, pentru următoarele două cazuri:

9 A. reglarea frecvenței unui generator sincron, având ca sursă primară o microhidro-
centrală (emulată în laborator), și funcționând în regim autonom, cu sarcini variabile;

11 B. compensarea nesimetriilor de putere activă a aceluiași sistem de la punctul
precedent, în cazul alimentării unor sarcini monofazate, distribuite neuniform pe cele trei
13 faze.

A. Fig. 6 prezintă variația frecvenței microrețelei în cazul conectării și deconectării
15 unei sarcini trifazate echilibrate. Frecvența este menținută într-un interval îngust de $\pm 1\%$, iar
răspunsul regulatorului de frecvență (ΔP) este rapid și fără oscilații.

17 B. Fig. 7 prezintă puterile active de pe cele trei faze ale generatorului (a) și de pe
fazele sarcinii de balast (b), utilizând unități raportate, în cazul conectării unor sarcini mono-
19 fazate identice pe diferite faze, în următoarea ordine: **faza R**, **faza S** și **faza T**. Sarcina de
balast preia nesimetriile produse de sarcinile monofazate, iar generatorul va resimți o sarcină
21 echivalentă echilibrată.

Fig. 8 prezintă oscilograma curenților prin cele două generatoare, în două cazuri: cu
23 și fără compensarea nesimetriilor, în ambele cazuri condițiile de sarcină fiind identice. De
asemenea, se poate observa în fig. 9 că valoarea curentului prin conductorul neutru al
25 generatorului este atenuată de aproximativ zece ori, în urma utilizării acestui circuit de
reglare.

RO 126355 B1

Revendicări

1. Dispozitiv de reglare cu sarcină de balast trifazată, pentru generatoare autonome, cu surse de energie regenerabile, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din trei ramuri separate de circuit electric, fiecare având câte un rezistor (**4, 5 și 6**) de disipare, cu rol de sarcină de balast, în care fluxul de putere este controlat prin intermediul câte unui tranzistor (**7, 8 și 9**) de putere, pentru fiecare fază, acestea fiind, la rândul lor, comandate separat, prin intermediul câte unui circuit de comandă cu semnale PWM cu factor de umplere variabil, trei punți (**10, 11 și 12**) cu diode, prin intermediul cărora se redresează tensiunea de la intrarea fiecărui rezistor (**4, 5 și 6**) de disipare, ce are plasată în paralel câte o diodă de nul (**13, 14 și 15**) și un filtru inductiv-capacitiv LC, compus din trei bobine (**16**) și trei condensatoare (**17**), utilizat pentru interfațarea cu o microrețea trifazată, cu patru conductoare. 1
2. Dispozitiv de reglare cu sarcină de balast trifazată, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** circuitul de comandă cu semnale PWM este constituit dintr-un regulator (**18**) de frecvență și o structură de compensare a nesimetriilor produse de distribuția neuniformă a consumatorilor monofazați pe cele trei faze ale microrețelei trifazate cu patru conductoare, care conține un bloc (**19**) de măsurare a puterilor active de pe fiecare fază, puteri ce sunt utilizate în niște blocuri (**20 și 21**) ce realizează operații aritmetice, iar rezultate sunt aplicate la intrarea a două regulatoare (**22 și 23**) de tip proporțional-integral, ieșirile acestora și ieșirea regulatorului (**18**) de frecvență sunt însumate în trei sumatoare (**24, 25 și 26**), aplicate la intrarea a trei limitatoare (**27, 28 și 29**), care vor furniza semnale către trei generatoare PWM (**30, 31 și 32**), utilizate pentru comanda celor trei tranzistoare (**7, 8 și 9**) cu trei semnale (**C_R, C_S și C_T**) modulate. 3
- 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23

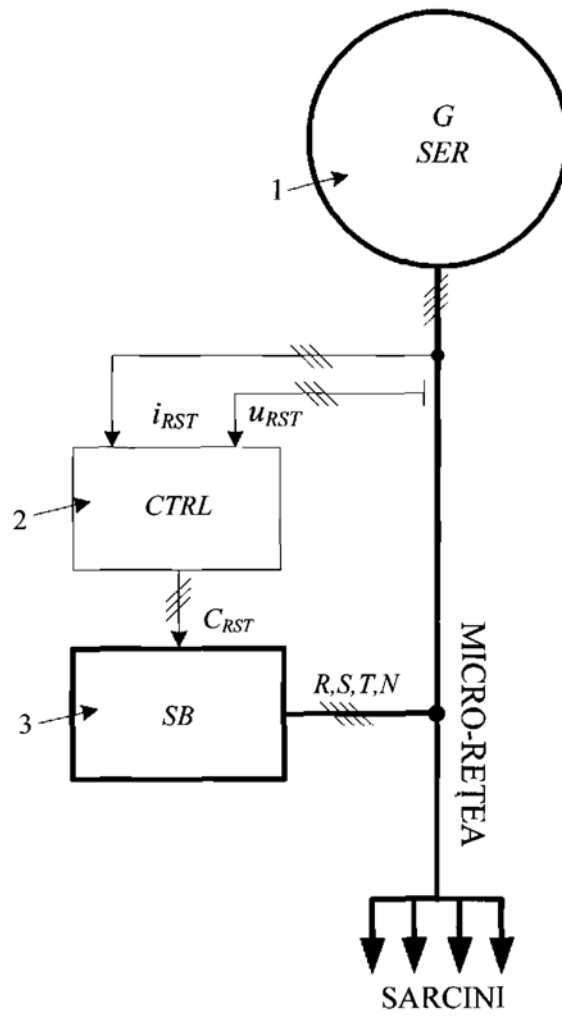


Fig. 1

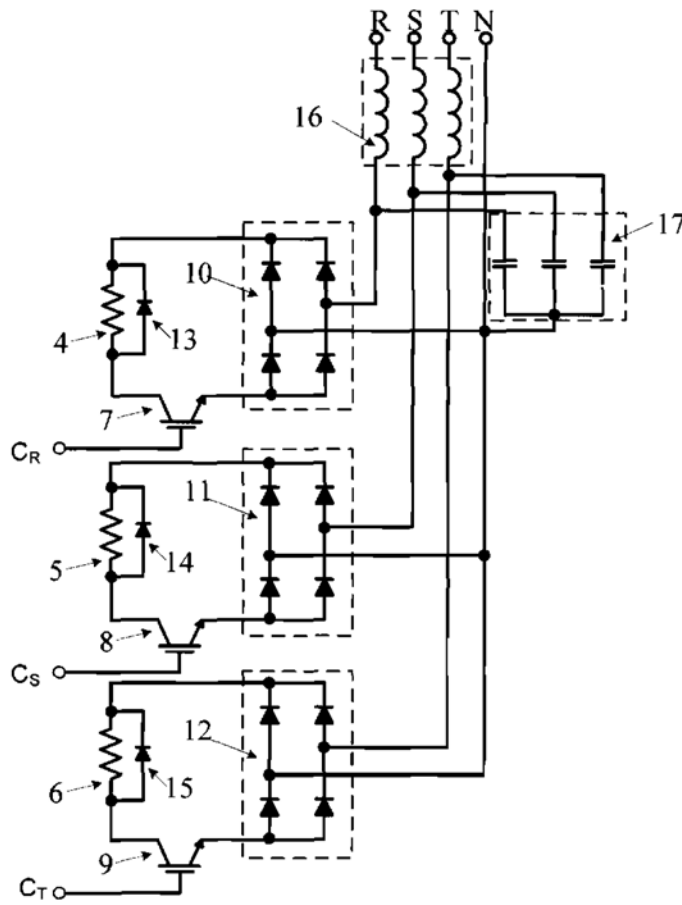


Fig. 2

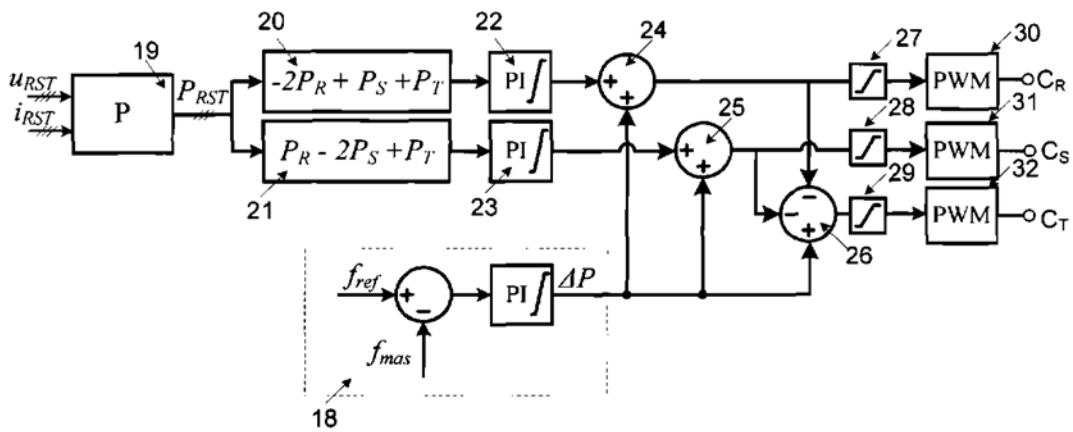


Fig. 3

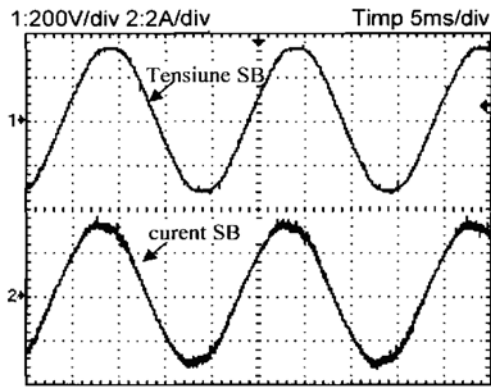


Fig. 4

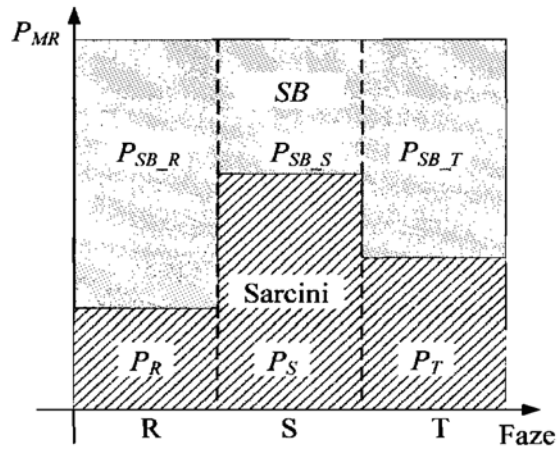


Fig. 5

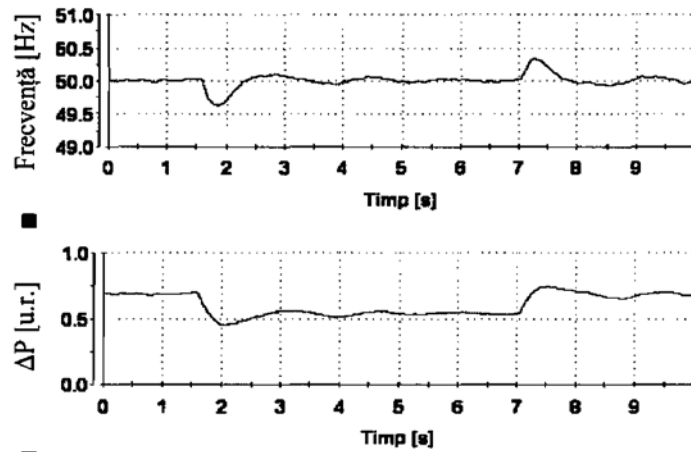
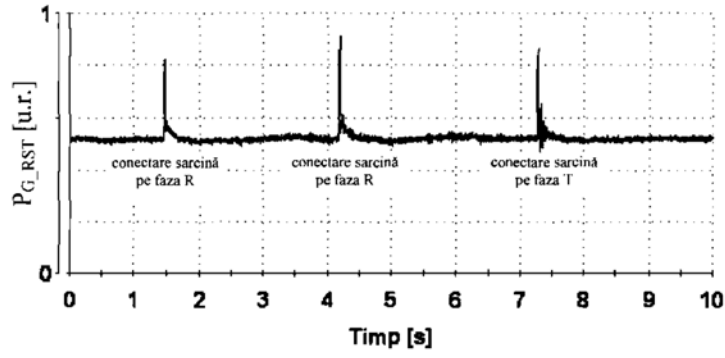
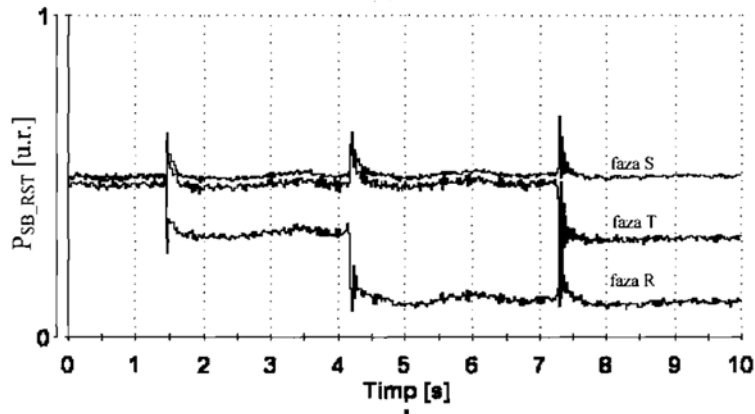


Fig. 6

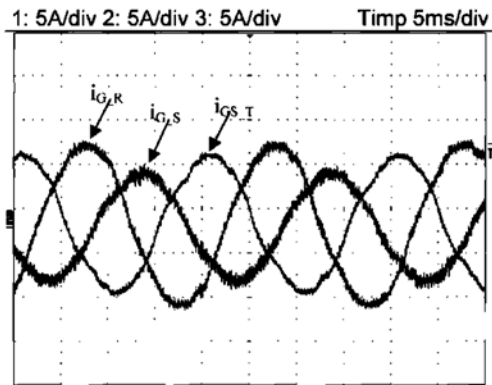


a

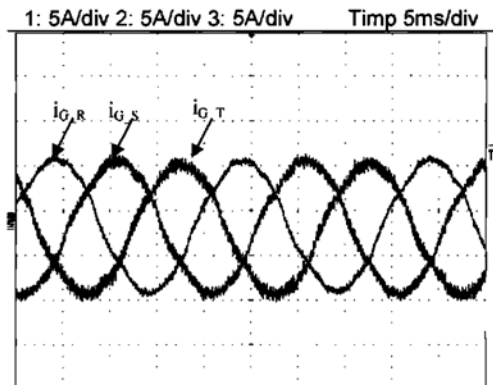


b

Fig. 7



a



b

Fig. 8

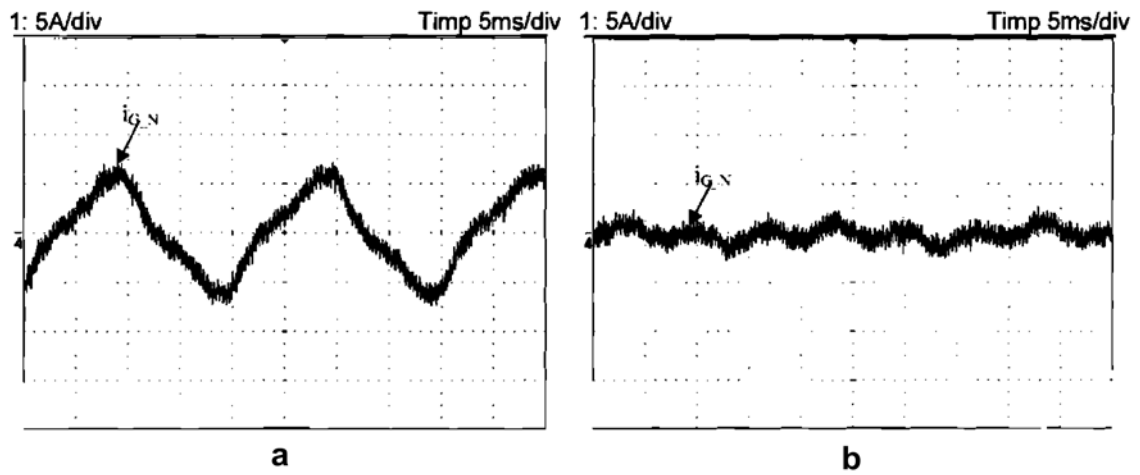


Fig. 9

