



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2017 00692**

(22) Data de depozit: **21/09/2017**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/08/2020** BOPI nr. **8/2020**

(41) Data publicării cererii:
28/02/2018 BOPI nr. **2/2018**

(73) Titular:

- **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI ÎNCERCĂRI PENTRU ELECTROTEHNICA -ICMET CRAIOVA, B-DUL DECEBAL NR.118 A, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA, STR.ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA, STR.MEMORANDUMULUI NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
- **INDAELTRAC S.R.L., STR.BUJORULUI NR.24, CRAIOVA, DJ, RO**

(72) Inventatori:

- **SACERDOȚIANU DUMITRU, STR.REGELE FERDINAND NR.156, DRĂGĂȘANI, VL, RO;**

- **NICOLA MARCEL, CALEA SEVERINULUI NR. 18, BL. 309, SC. 1, ET. 3, AP. 13, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **CIONTU MARIAN, STR. DESNĂȚUI NR. 24, BL. A2, AP. 32, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **IVANOV SERGIU, BD.1 MAI NR.67, BL.21, SC.1, AP.7, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **CHINDRIȘ MIRCEA DORIN, STR.DR.L.PASTEURS NR.52, BL.6I, AP.3, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
- **CZIKER ANDREI CRISTINEL, STR.OBSERVATORULUI NR.13, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
- **RADU ALEXANDRU, STR.SPANIA NR.28, BL.09, SC.1, AP.2, CRAIOVA, DJ, RO;**
- **DUMITRESCU CAMIL-SORIN, STR.MESTEACĂNULUI NR.83, CRAIOVA, DJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:

US 5977660 A; US 2005/003815 A1

(54) **SISTEM ADAPTIV PENTRU ASIGURAREA CALITĂȚII ENERGIEI ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE**



RO 132402 B1

1 Invenția se referă la un sistem adaptiv care realizează compensarea perturbațiilor
tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, goluri și creșteri, fluctuații lente și rapide de scurtă
3 durată, perturbații de lungă durată) și ale curentului (armonici și nesimetrie), în rețelele electrice
de joasă tensiune, pentru asigurarea calității energiei electrice la consumator.

5 Sunt cunoscute sistemele de producere, transport și utilizare a energiei electrice
centralizate în care, pentru reducerea regimului deformant, sunt utilizate filtre pasive; acestea
7 împiedică pătrunderea armonicilor de curent produse de consumatori în rețeaua de alimentare,
dar prezintă dezavantajul că nu asigură compensarea cumulată a diferitelor tipuri de perturbații
9 ce pot apărea concomitent în rețea:

- perturbații tranzitorii;
- 11 - perturbații de scurtă durată;
- perturbații de lungă durată;
- 13 - dezechilibre și distorsiuni de formă.

15 Sunt cunoscute și alte soluții care utilizează filtre active sau combinații de filtre active
și pasive (filtre hibride) care prezintă dezavantajul că au viteză de răspuns redusă pentru
compensarea perturbațiilor, nu sunt suficient de flexibile și nu asigură predictibilitatea evoluției
17 perturbațiilor.

Există o serie de invenții brevetate, atât la nivel național, cât și internațional, cum ar fi:

19 - documentul de brevet **US 5731965 A**/1998, care descrie un sistem care combină
efectele unui filtru activ și ale unui filtru pasiv. Filtrul activ injectează o armonică poluantă a
21 curentului de fază distorsionată, în scopul de a diminua poluarea; echipamentul își propune să
izoleze anumite armonici, în special armonicile de rang 5 și 7. Sistemul descris în acest
23 document are dezavantajul de a nu elimina cu adevărat toate armonicile poluante și de a izola
perfect componenta de 50 Hz;

25 - brevetul **US 20060212238 A1**/2006, care abordează doar anumite aspecte ale calității
energiei electrice bazate doar pe indicatorii de calitate ai formelor de undă;

27 - brevetul **RO127599B1**/2016, care realizează numai determinarea indicatorilor de
calitate ai puterii/energiei electrice printr-un modul de calcul pe baza componentelor armonice
29 semnificative ale tensiunilor și curenților, fără a interveni în corectarea acestora, în scopul
menținerii în limitele acceptate;

31 - brevetul **US 2008/0219035 A1**, care se referă la un filtru activ conectat în paralel cu
o sarcină neliniară, abordează doar anumite aspecte ale calității energiei electrice, care constau
33 în compensarea armonicilor de curent și a componentei reactive a puterii. Nu se realizează
compensarea perturbațiilor de tensiune;

35 - brevetul **US 5977660 A** /1999, care prezintă un filtru activ de armonici care abordează
doar anumite aspecte ale calității energiei electrice, respectiv corectarea armonicilor de curent
37 și a factorului de putere. Nu se realizează compensarea perturbațiilor de tensiune;

39 - brevetul **US 6861897 B1**/2005, care conține un filtru activ comandat, care
compensează numai armonicile de curent și factorul de putere. Nu se realizează și
compensarea perturbațiilor de tensiune.

41 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în compensarea perturbațiilor
tranzitorii, a perturbațiilor de scurtă durată, a perturbațiilor de lungă durată, a dezechilibrelor și
43 distorsiunilor de formă, asigurarea funcționării rețelei la factor de putere unitar și creșterea
vitezei de răspuns pentru compensarea perturbațiilor și menținerea automată a tensiunii în
45 limitele standardizate.

47 Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune înlătură
dezavantajele soluțiilor menționate mai sus, fiind alcătuit, conform invenției, dintr-un filtru activ,
conectat în paralel cu rețeaua electrică și cu sarcina, un filtru activ conectat în serie cu rețeaua

RO 132402 B1

electrică, iar cele două filtre active au în alcătuire două invertoare sursă de tensiune, interconectate printr-un circuit comun de tensiune continuă, un filtru sinusoidal, 3 transformatoare monofazate conectate în serie la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, 3 bobine inductoare și 3 rezistoare de putere conectate în același punct cu sarcina, un bloc de măsurare a tensiunilor din rețea, un bloc de măsurare a tensiunilor la ieșirea din inverter, un bloc de măsurare a tensiunii din circuitul comun de tensiune continuă, un bloc de măsură curenți de sarcină, un bloc de măsurare a curenților la ieșirea inverterului, trei contactoare trifazate pentru conectarea/deconectarea sistemului adaptiv la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, un contactor care realizează funcția de bypass, un contactor de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun de tensiune continuă, un filtru trece-sus, două module pentru comanda invertoarelor, un modul electronic de protecție, un sistem local de generare, un echipament de stocare a energiei, un bloc de măsurare a tensiunii generatorului local, un convertor DC/DC, un bloc de măsurare a tensiunii injectate în circuitul comun de tensiune continuă și un sistem automatizat de cuplare a convertorului DC/DC la circuitul comun de tensiune continuă, circuit constituit din două condensatoare identice.

Pentru compensarea simultană a perturbațiilor tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide etc.) și a perturbațiilor curentului (armonici și nesimetrie), respectiv pentru creșterea vitezei de răspuns prin monitorizarea permanentă a mărimilor electrice din rețea și adaptarea comenzii în timp real, adaugă, la tensiunile sistemului de alimentare, complementul până la obținerea unui sistem ideal de tensiuni cu valoarea nominală și până la compensarea perturbațiilor de curent de armonici superioare introduse de consumator, iar sistemul adaptiv are în alcătuire: un filtru activ, conectat în paralel cu sarcina, care realizează încărcarea condensatoarelor din circuitul comun de tensiune continuă în trei etape; un al doilea filtru activ conectat în serie cu sarcina și prin circuitul comun de tensiune continuă cu primul filtrul; un inverter care funcționează ca o sursă variabilă de curent legată în paralel cu rețeaua de distribuție care compensează perturbațiile curentului (în principal armonici și nesimetrie) și furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori și reglează tensiunea din circuitul comun; un al doilea inverter care funcționează ca o sursă de tensiune variabilă conectată în serie cu rețeaua care compensează perturbațiile tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide); un contactor cu rol în asigurarea perioadei de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun de tensiune continuă care asigură scurtcircuitarea rezistențelor de preîncărcare la sfârșitul perioadei de preîncărcare; trei transformatoare monofazate conectate în serie cu rețeaua de distribuție, prin intermediul cărora al doilea inverter injectează/absoarbe în/din rețea, o tensiune de compensare cu scopul de a menține constantă tensiunea la bornele sarcinii.

Totodată, în scopul compensării perturbațiilor de lungă durată, convertorul DC/DC este conectat la circuitul comun de tensiune continuă, pentru injectarea energiei furnizate de sistemul local de generare, respectiv a celei existente în echipamentul de stocare a energiei.

Prin aplicarea invenției se obțin următoarele avantaje:

- se asigură, în același timp, compensarea perturbațiilor tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide etc.) și a perturbațiilor curentului: armonici și nesimetrie;
- se micșorează pierderile la nivelul sistemului adaptiv prin introducerea filtrelor sinusoidale și a inductoarelor de cuplare la rețea realizate cu materiale cu pierderi foarte mici;
- se furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori;
- se asigură viteza de răspuns necesară pentru compensarea perturbațiilor de tensiune și de curent; pe durata întregului interval de funcționare, și în orice punct de amplasare al sistemului adaptiv, valorile tensiunii de alimentare sunt în domeniul $U_n \pm 10\%$, considerând $U_n = 230V_{c.a.}$ între fiecare fază și conductorul neutru;

RO 132402 B1

1 - se asigură compensarea nesimetriei tensiunii de alimentare astfel încât, pe durata
întregului interval de funcționare, și în orice punct de amplasare a sistemului adaptiv, valorile
3 factorului de nesimetrie negativă al sistemului tensiunilor de alimentare să fie limitate la 2%;

5 - se asigură limitarea valorilor efective ale fiecărei armonice individuale de tensiune la
valorile indicate de normative și a valorii distorsiunii totale a tensiunii de alimentare (incluzând
toate armonicile până la rangul 40) la 8%;

7 - se asigură compensarea golurilor monofazate cu amplitudinea de 70% și durata de
180 ms, respectiv a golurilor trifazate cu amplitudinea de 50% și durata de 90 ms;

9 - se asigură compensarea creșterilor de tensiune cu amplitudine de 10% pentru o durată
de 230 ms dacă fenomenul se manifestă pe o singură fază, respectiv 100 ms dacă creșterea
11 de tensiune apare pe toate fazele rețelei de alimentare;

13 - se asigură limitarea valorilor efective ale fiecărei armonice individuale de curent la
valorile indicate de normative și a valorii distorsiunii totale a curentului din rețea la 5%.

15 Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...10, care
reprezintă:

- fig. 1 - Arhitectura sistemului adaptiv;

17 - fig. 2 - Arhitectura filtrului activ (**A**);

- fig. 3 - Arhitectura filtrului activ (**C**);

19 - fig. 4 - Algoritm de lucru al filtrului activ (**A**);

21 - fig. 5 - Tensiunea pe condensatoarele din circuitul intermediar de curent continuu, pe
durata pornirii;

- fig. 6 - Algoritm de lucru al filtrului activ (**C**);

23 - fig. 7 - Schema bloc generare sistem trifazat de referință pentru filtrele active;

- fig. 8 - Schema bloc bucla PLL utilizată;

25 - fig. 9 - Formele de undă ale tensiunilor și curenților la punctul comun de conectare;

- fig. 10 - Tensiunile sursei și curenții absorbiți de la sursă;

27 - fig. 11 - Vederea din față a sistemului adaptiv pentru asigurarea calității energiei în
rețelele de joasă tensiune.

29 Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune,
conform invenției, se compune dintr-un filtru activ **A** conectat în paralel cu rețeaua electrică și
31 cu sarcina **B** și un filtru activ **C** conectat în serie cu rețeaua electrică. Cele două filtre active **A**
și **C** se compun din două invertoare sursă de tensiune **101** și **102**, interconectate printr-un circuit
33 comun **103** de tensiune continuă, un filtru sinusoidal **104**, 3 transformatoare monofazate **105**,
106, **107** conectate în serie la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, 3 bobine inductoare **108**,
35 **109**, **110** și 3 rezistoare de putere **111**, **112**, **113** conectate în același punct cu sarcina, un bloc
114 de măsurare a tensiunilor din rețea, un bloc de măsură **115** a tensiunilor de ieșire din
37 inverterul **102**, un bloc **116** de măsurare a tensiunii din circuitul comun **103**, un punct **117** de
cuplare la rețea, un bloc **118** de măsură curenți de sarcină, un bloc **119** de măsură curenți la
39 ieșirea inverterului **101**, trei contactoare trifazate **120**, **121**, **122** pentru conectarea/deconectarea
sistemului adaptiv la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, un contactor **123** care realizează
41 funcția de bypass, un contactor **124** de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun **103**
de tensiune continuă, un filtru **125** trece-sus, două module **126** și **127** pentru comanda
43 invertoarelor **101** și **102**, un modul electronic **128** de protecție, un sistem local de generare **129**,
un echipament de stocare a energiei **130**, un bloc **131** de măsură a tensiunii generatorului local,
45 un convertor DC/DC **132**, un bloc **133** de măsură a tensiunii injectate în circuitul comun **103** de
tensiune continuă și un sistem automatizat **134** de cuplare a convertorului **132** la circuitul comun
47 **103** de tensiune continuă, format din două condensatoare identice **135**, **136**.

RO 132402 B1

Componentele 101, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 118, 119, 122, 124, 125, 127, 128 constituie un filtrul activ A , conectat în paralel cu rețeaua, respectiv cu sarcina B .	1
Componentele 102, 104, 105, 106, 107, 114, 115, 126 constituie filtrul activ C conectat în serie cu rețeaua.	3
Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, conform invenției, este bazat pe o topologie cu două invertoare surse de tensiune 101, 102 și circuit comun 103 de tensiune continuă cu un condensator divizat. Primul inverter 101 reprezintă o sursă variabilă de curent, legată în paralel cu rețeaua de distribuție, ce compensează perturbațiile curentului (în principal armonici și nesimetrie), furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori și reglează tensiunea din circuitul comun 103 de tensiune continuă. Al doilea inverter 102 funcționează ca o sursă de tensiune variabilă, conectată în serie cu tensiunea rețelei și compensează perturbațiile tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide).	5
Racordarea la rețea în punctul 117 de cuplare la rețea este realizată prin 3 bobine inductoare 108, 109, 110 și 3 rezistoare de putere 111, 112, 113 pentru inverterul 101 , respectiv prin trei transformatoare monofazate 105, 106, 107 și un filtru sinusoidal 104 , în cazul inverterului 102 . Pentru compensarea curentului prin conductorul de nul, se folosește soluția cu circuit comun 103 divizat, de tensiune continuă, format din două condensatoare identice 135 și 136 , nodul dintre acestea fiind legat la al patrulea conductor al rețelei de distribuție.	7
Filtrul activ A realizează încărcarea condensatoarelor din circuitul comun 103 în trei etape, astfel:	9
- în prima etapă, pentru limitarea curentului de încărcare, contactorul 124 de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun 103 de tensiune continuă, care asigură scurtcircuitarea rezistențelor 111, 112, 113 , este deschis. Când tensiunea pe condensatoarele din circuitul comun 103 de tensiune continuă atinge o valoare de referință prescrisă U1 , începe etapa a doua;	11
- în etapa a doua, condensatoarele continuă să se încarce direct, fără a fi comandate elementele din inverterul 101 . Această etapă se desfășoară până când tensiunea pe condensatoare atinge valoarea de referință prescrisă U2 . Cele două valori prescrise sunt programate pentru asigurarea unui regim dinamic de încărcare. Cele două praguri pot fi prescrise urmărindu-se desfășurarea corectă a regimului de încărcare;	13
- în etapa a treia, tranzistoarele inverterului 101 încep să fie comandate.	15
Cele trei etape se desfășoară astfel: în primele aproximativ 10 ms, încărcarea se realizează cu rezistențele 111, 112, 113 în circuit, continuarea încărcării libere cu rezistența scurtcircuitată până la aproximativ 35 ms, respectiv pornirea filtrului activ C și încărcarea până la valoarea U_{fin} , atinsă la aproximativ 180 ms. Valorile tensiunii, respectiv valoarea prescrisă finală de încărcare U_{fin} și cea măsurată a tensiunii pe condensatoare, se aplică unui regulator de tip PI. Mărimea de ieșire a regulatorului este utilizată pentru a obține amplitudinea componentelor în fază ale curenților de referință I_{ref} ai filtrului activ A . Cei trei curenți reprezintă valorile de referință I_{ref} , considerate cu semnul minus. Aceștia se aplică unui modulator cu histerezis. În urma comparării valorilor de referință I_{ref} cu cele măsurate, rezultă comenzile tranzistoarelor inverterului 101 .	17
Din acest moment poate fi activată și comanda filtrului activ C .	19
Sistemul adaptiv asigură, prin intermediul filtrului activ C menținerea tensiunii în limitele de reglaj prin aceea că, în regimul de gol/scădere sau creștere de tensiune, inverterul 102 injectează/absoarbe în/din rețea, prin intermediul transformatoarelor 105, 106, 107 , o tensiune de compensare cu scopul de a menține constantă tensiunea la bornele sarcinii.	21

RO 132402 B1

1 Filtrul activ **C** permite următoarele moduri de funcționare:

2 - regim normal: este modul uzual de funcționare, caracterizat printr-o valoare a tensiunii
3 rețelei de $U_n \pm 10\%$;

4 - regimul de gol/scădere sau creștere de tensiune: atunci când tensiunea rețelei are
5 valori între 0,3 și 0,9 p.u. sau valori mai mari de 1,1 p.u.;

6 - regimul de întrerupere a alimentării (regimul de întrerupere a furnizării energiei electrice
7 în PCC) dacă tensiunea scade sub 0,3 p.u.

8 În regimul normal de funcționare, tensiunea rețelei este practic sinusoidală, cu o valoare
9 efectivă în limite, sistemul tensiunilor de alimentare fiind practic simetric, și, ca urmare,
10 inverterul **102** nu intervine în funcționarea sistemului energetic.

11 Dacă tensiunile din sistem au valori normale, dar includ și armonici superioare, inverterul
12 **102** generează tensiuni în antifază cu aceste armonici, asigurând alimentarea consumatorului
13 cu un sistem sinusoidal simetric și echilibrat.

14 În regimul de gol/scădere sau creștere de tensiune, inverterul **102** generează o tensiune
15 de compensare în fază (în cazul scăderii tensiunii din rețea) sau în antifază (în cazul creșterii
16 de tensiune) cu scopul de a menține constantă tensiunea la bornele sarcinii B. În cazul unui
17 gol/scădere de tensiune, pentru care tensiunea de defect V_{def} este mai mică decât tensiunea
18 de referință V_{ref} , puterea injectată va fi pozitivă, fapt ce înseamnă că inverterul **102** furnizează
19 o parte din puterea activă a sarcinii. Această putere poate fi absorbită tot din rețea, prin
20 intermediul inverterului **101**, astfel încât curentul de linie depășește valoarea nominală pentru
21 a asigura bilanțul puterilor în rețea și menținerea tensiunii din circuitul comun **103** de tensiune
22 continuă la valoarea dorită, sau poate fi consumată din sursa locală. În aceste condiții, sarcina
23 **B** primește puterea activă necesară chiar și în condițiile golului de tensiune. Inverterul **101**
24 îndeplinește suplimentar aceleași funcții ca și în regimul normal.

25 La apariția unei creșteri de tensiune, pentru care tensiunea de defect V_{def} este mai mare
26 decât tensiunea de referință V_{ref} , filtrul activ **C** absoarbe o anumită putere activă. Deoarece
27 tensiunea rețelei depășește valoarea normată, este posibil ca tensiunea din circuitul comun **103**
28 de tensiune continuă să devină prea mare. Pentru a o menține la valoarea impusă, modulul de
29 comandă **127** al inverterului **101** reduce curentul absorbit din rețea, fapt echivalent cu a spune
30 că sistemul injectează în rețeaua electrică de alimentare o anumită putere activă.

31 În toate regimurile de funcționare, inverterul **101** furnizează puterea reactivă necesară
32 sarcinii (pe fundamentală) și absoarbe armonicile de curent generate de utilizator (asigurând,
33 în acest fel, și compensarea armonicilor de tensiune pe barele acestuia).

34 Generarea tensiunilor de referință pentru comanda filtrului activ **C** se bazează pe
35 utilizarea unei bucle PLL trifazate cu calare pe fază, cu ajutorul căreia se determină originea de
36 fază a primei faze a sistemului trifazat, iar apoi se generează un sistem trifazat simetric și
37 echilibrat ideal, de tensiuni cu amplitudinea egală cu valoarea nominală care reprezintă valorile
38 de referință pentru comanda filtrului activ **C**.

39 Valorile de referință sunt comparate cu tensiunile reale, iar diferența dintre ele trebuie
40 să fie generată de filtrul activ **C**, astfel încât sistemul trifazat de tensiuni rezultat să fie simetric,
41 echilibrat și cu valoarea nominală. În mod similar, se generează curenții de referință pentru
42 comanda filtrului activ **A**.

43 Pentru obținerea comenzilor care se aplică tranzistoarelor filtrului activ **C**, tensiunile V_{sa} ,
44 V_{sb} , V_{sc} din blocul **114** sunt aplicate unui bloc PLL trifazat **137**, care furnizează poziția primei
45 faze prin funcțiile sin și cos. Aceasta este utilizată pentru a genera un sistem trifazat de tensiuni
ideal, cu valoarea maximă a tensiunilor de fază **V**.

RO 132402 B1

Rezultatul îl constituie valorile instantanee prescrise ale tensiunilor de fază ce se vor aplica sarcinii. Acestea se compară cu valorile reale ale tensiunii rețelei, iar rezultatul îl constituie comenzile aplicate tranzistoarelor filtrului activ **C**.

Bucła PLL **137** utilizată extrage, din sistemul trifazat V_{Sabc} de alimentare, unghiul electric θ care caracterizează sistemul fazorial și apoi, printr-un bloc matematic, furnizează sincron cu rețeaua de alimentare sistemul trifazat unitar de referință V_{sa}' , V_{sb}' , V_{sc}' , pentru filtrele active.

1. După ce se obține, din sistemul trifazat U_{abc} , sistemul de referință fix în 2 axe $\alpha\beta$ prin transformarea Clark, se trece la sistemul de referință mobil dq prin transformarea Park:

$$\begin{bmatrix} U_d(t) \\ U_q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta(t) & \sin\theta(t) \\ -\sin\theta(t) & \cos\theta(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha(t) \\ U_\beta(t) \end{bmatrix}$$

2. Dacă pulsația rețelei este $2\pi f$, atunci la ieșirea controlerului PI din bucła PLL se obține estimarea pulsației rețelei:

$$\hat{\omega}(t) = K_p U_q(t) + K_i \int_0^t U_q(\tau) d\tau + 2\pi f$$

K_p și K_i sunt parametrii de acordare ai controlerului. Pentru acordare se poate utiliza metoda Ziggler-Nichols.

3. Se estimează unghiul electric θ :

$$\theta = \int_0^t \hat{\omega}(\tau) d\tau$$

Pașii 1...3 sunt repetați în continuu în timp real.

Estimarea pulsației rețelei este exactă adică $\hat{\omega}(t) = \omega(t)$ atunci când $U_q(t) = 0$

Implementarea se face în modulul cu DSP din modulul **126**, respectiv **127**, pentru comanda invertoarelor, prin discretizarea algoritmului prezentat.

În regimul de întrerupere a furnizării energiei electrice în punctul **117** de cuplare la rețea, filtrul activ **C** este deconectat de la rețea, iar inverterul **101** funcționează ca o sursă de tensiune alternativă. Pentru aceasta, convertorul DC/DC **132** funcționează în regim de descărcare, permițând trecerea spre circuitul comun **103** de tensiune continuă a energiei furnizate de sistemul local de generare **129**, respectiv a celei existente în echipamentul de stocare locală a energiei **130**.

Convertorul DC/DC **132** lucrează în modul încărcare, respectiv standby, în funcție de nivelul tensiunii generate de sistemul local de generare **129** și de tensiunea din circuitul comun **103** de tensiune continuă. Cât timp tensiunea pe condensatoarele din circuitul comun **103** de tensiune continuă este mai mică decât valoarea necesară de funcționare a inverterului **101**, se impune modul încărcare, respectiv convertorul **132** asigură legătura dintre sistemul adaptiv și sistemul local de generare. Dacă tensiunea atinge valoarea maxim admisă, convertorul **132** trece în modul standby, blocând transferul energetic și fiind pregătit pentru a trece în primul mod de funcționare atunci când condițiile de funcționare o impun. Dacă tensiunea la bornele generatorului scade sub o valoare minimă fixată, convertorul DC/DC **132** se decuplează pentru a izola sistemul local față de rețeaua de distribuție.

Controlul sistemului adaptiv se realizează prin modulul **126** de control și comandă al inverterului **101**, modulul **127** de control și comandă al inverterului **102** și controlul convertorului DC/DC **132** care face legătura între sistemul adaptiv și sistemul local de generare **129**. Aceștia li se adaugă traductoarele de tensiune **114** pentru măsurarea tensiunilor de fază în rețeaua

RO 132402 B1

1 trifazată de distribuție, traductoarele de tensiune **115**, pentru măsurarea tensiunilor de fază de
la ieșirea inverterului **102**, blocul **116** pentru măsurarea tensiunilor pe condensatoarele din
3 circuitul comun **103** de tensiune continuă și a tensiunii la ieșirea convertorului DC/DC **132** prin
blocul **133**, respectiv traductoarele de curent **118** pentru măsurarea curenților absorbiți de
5 consumatorii neliniari și a curenților **119** generați de către filtrul activ **101**.

7 Fiecare modul de control/comandă cu **126**, **127** are rolul de a determina modul de
funcționare al sistemului adaptiv, în funcție de nivelul perturbațiilor din rețeaua electrică de
distribuție.

9 Din formele de undă ale tensiunilor și curenților la punctul comun de conectare al filtrelor
A, **C** și sarcină se observă că sarcina **B** (oscilograma a doua) absoarbe un curent
11 cvasidreptunghiular, dar funcționarea filtrului activ **A** (curenții în oscilograma a treia), face ca
în punctul **117** de cuplare la rețea curentul absorbit să fie cvasisinusoidal și în fază cu
13 tensiunea.

15 Bibliografie

- 17 1. Brevet **US 5731965 A /1998** - Power line harmonic reduction by hybrid parallel
active/passive filter system with square wave inverter and DC bus control;
- 19 2. Brevet **US 20060212238 A1/2006** - Power quality monitoring
- 21 3. Brevetul **R0127599B1 /2016** - Sistem de monitorizare și diagnoză în energetică
- 23 4. Brevetul **US 2008/0219035 A1** - Activ Power Filter
5. Brevetul **US 5977660 A /1999** - Active Harmonic Filter and Power Factor Corrector
6. Brevetul **US 6861897 B1/2005**- Active Filter for Multi-Phase AC Power System

RO 132402 B1

Revendicări

1. Sistem adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, **caracterizat prin aceea că** se compune dintr-un filtru activ (**A**), conectat în paralel cu rețeaua electrică și cu sarcina (**B**), un filtru activ (**C**) conectat în serie cu rețeaua electrică, iar cele două filtre active (**A** și **C**) se compun din două invertoare sursă de tensiune (**101** și **102**), interconectate printr-un circuit comun (**103**) de tensiune continuă, un filtru sinusoidal (**104**), 3 transformatoare monofazate (**105**, **106**, **107**) conectate în serie la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, 3 bobine inductoare (**108**, **109**, **110**) și 3 rezistoare de putere (**111**, **112**, **113**) conectate în același punct cu sarcina, un bloc (**114**) de măsurare a tensiunilor din rețea, un bloc (**115**) de măsurare a tensiunilor de ieșire din inverterul (**102**), un bloc (**116**) de măsurare a tensiunii din circuitul comun (**103**) de tensiune continuă, un punct (**117**) de cuplare la rețea, un bloc (**118**) de măsură curenți de sarcină, un bloc (**119**) de măsură curenți la ieșirea inverterului (**101**), trei contactoare trifazate (**120**, **121**, **122**) pentru conectarea/deconectarea sistemului adaptiv la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, un contactor (**123**) care realizează funcția de bypass, un contactor (**124**) de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun (**103**) de tensiune continuă, un filtru trece-sus (**125**), două module (**126**, **127**) pentru comanda invertoarelor (**101** și **102**), un modul electronic de protecție (**128**), un sistem local de generare (**129**), un echipament de stocare a energiei (**130**), un bloc (**131**) de măsurare a tensiunii generatorului local, un convertor DC/DC (**132**), un bloc (**133**) de măsurare a tensiunii injectate în circuitul comun (**103**) de tensiune continuă și un sistem automatizat (**134**) de cuplare a convertorului (**132**) la circuitul comun (**103**) de tensiune continuă, circuit constituit din două condensatoare identice (**135**, **136**).
2. Sistem adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pentru compensarea simultană a perturbațiilor tensiunii de alimentare și a perturbațiilor curentului, respectiv pentru creșterea vitezei de răspuns prin monitorizarea permanentă a mărimilor electrice din rețea și a comenzii în timp real, adaugă la tensiunile sistemului de alimentare complementul până la obținerea unui sistem ideal de tensiuni cu valoarea nominală și până la compensarea perturbațiilor de curent de armonici superioare introduse de consumator, și conține:
- un filtru activ (**A**) care realizează încărcarea condensatoarelor din circuitul comun (**103**) în trei etape, conectat în paralel cu sarcina (**B**);
 - un filtru activ (**C**) conectat în serie cu sarcina (**B**) și, prin circuitul comun (**103**) de tensiune continuă cu filtrul (**A**);
 - un inverter (**101**), care funcționează ca o sursă variabilă de curent, legată în paralel cu rețeaua de distribuție și care compensează perturbațiile curentului, furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori și reglează tensiunea din circuitul comun (**103**) de tensiune continuă;
 - un inverter (**102**), care funcționează ca o sursă de tensiune variabilă, conectată în serie cu rețeaua și care compensează perturbațiile tensiunii de alimentare;
 - un contactor (**124**) cu rol în asigurarea perioadei de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul comun (**103**) de tensiune continuă, acesta asigurând scurtcircuitarea rezistențelor (**111**, **112**, **113**) la sfârșitul perioadei de preîncărcare;
 - trei transformatoare monofazate (**105**, **106**, **107**) conectate în serie cu rețeaua de distribuție, prin intermediul cărora inverterul (**102**) injectează/absoarbe în/din rețea o tensiune de compensare cu scopul de a menține constantă tensiunea la bornele sarcinii (**B**).
3. Sistem adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pentru compensarea perturbațiilor de lungă durată, convertorul DC/DC (**132**) este conectat la circuitul comun (**103**) de tensiune continuă, pentru injectarea energiei furnizate de sistemul local de generare (**129**), respectiv a celei existente în echipamentul de stocare a energiei (**130**).

(51) Int.Cl.
 H02J 3/01 (2006.01);
 H02J 3/18 (2006.01);
 H02J 3/26 (2006.01)

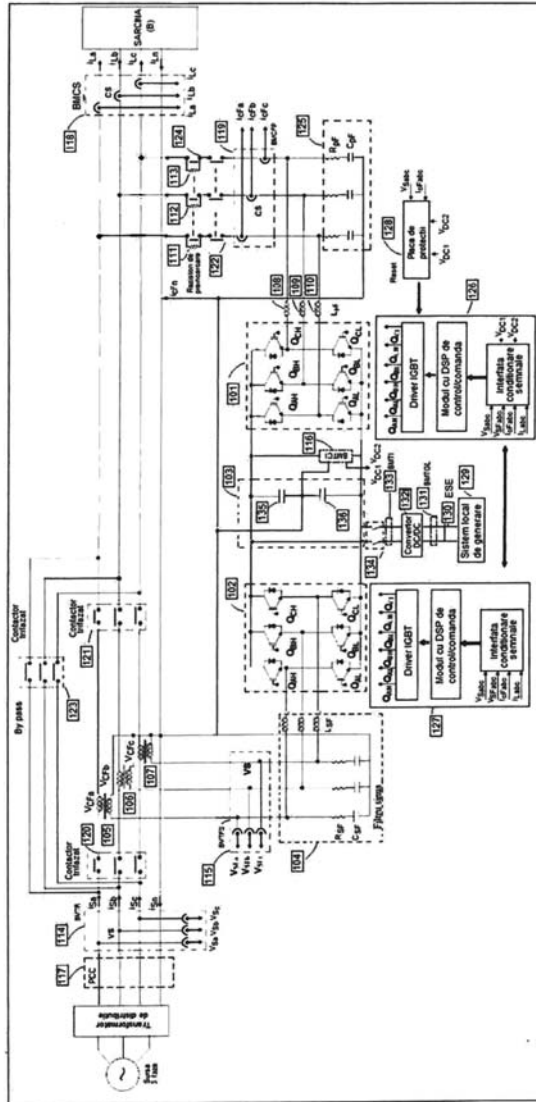


Fig. 1

(51) Int.Cl.

H02J 3/01 (2006.01);

H02J 3/18 (2006.01);

H02J 3/26 (2006.01)

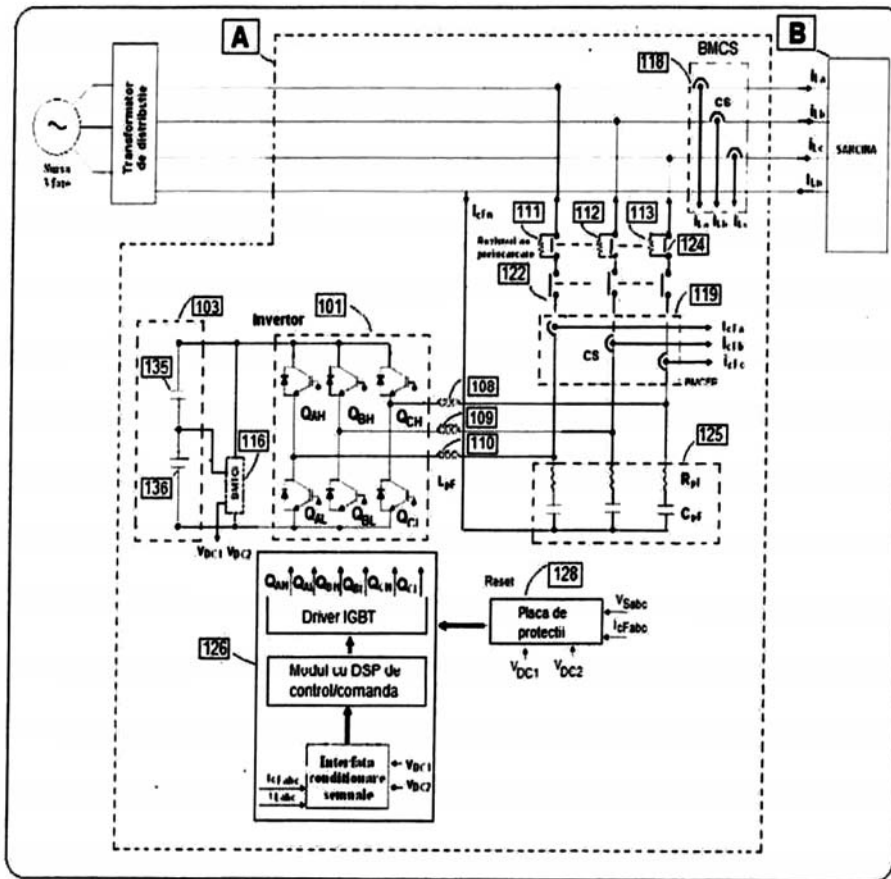


Fig. 2

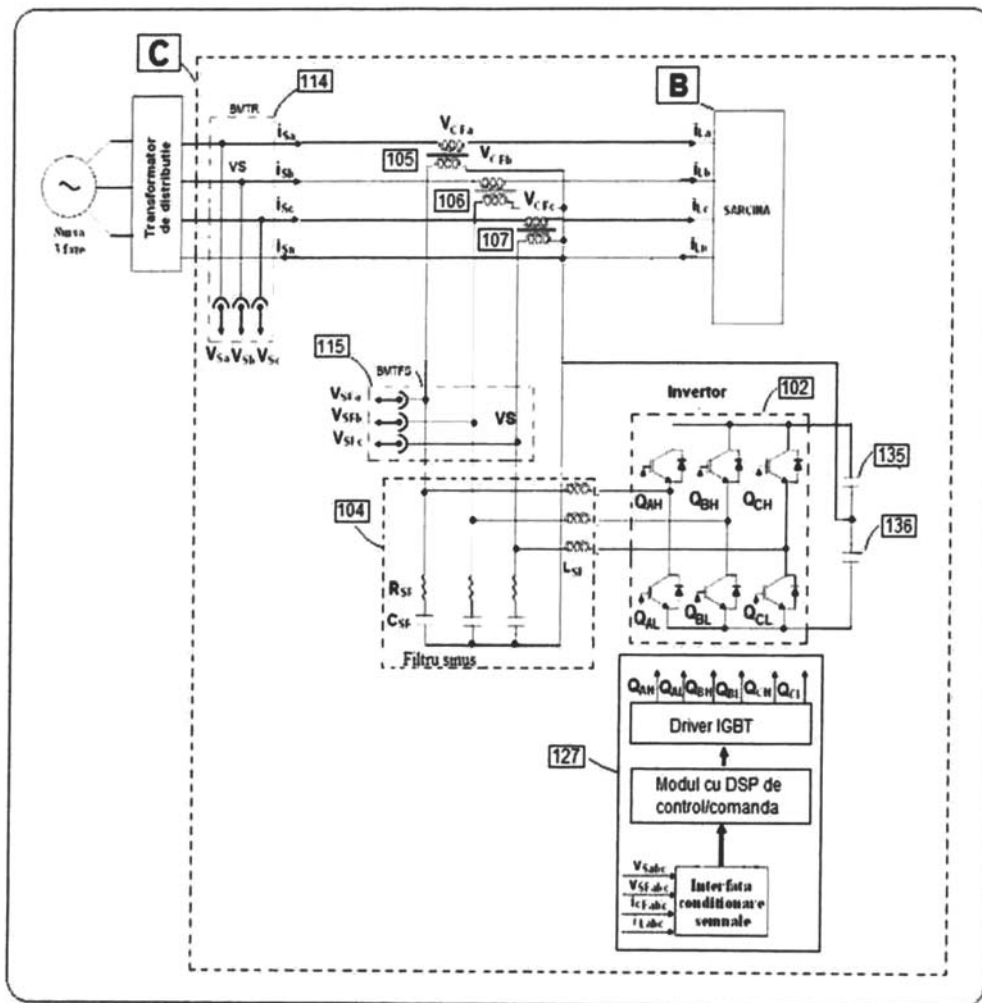


Fig. 3

(51) Int.Cl.

H02J 3/01 (2006.01);

H02J 3/18 (2006.01);

H02J 3/26 (2006.01)

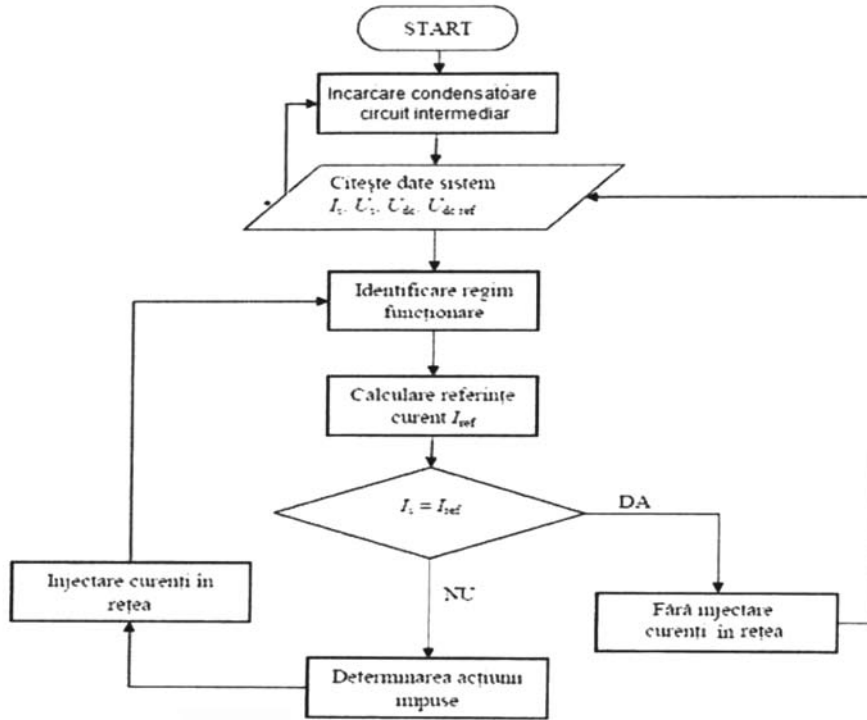


Fig. 4

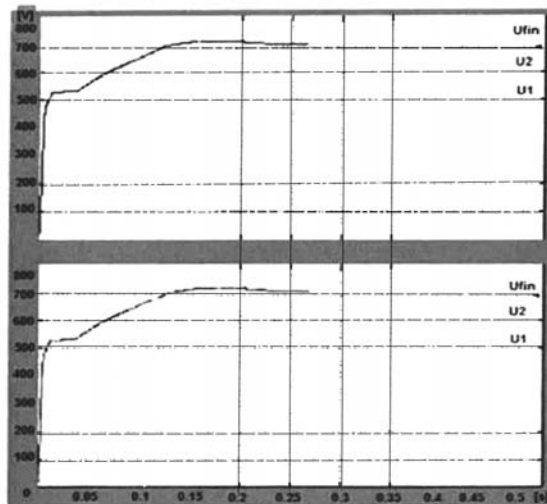


Fig. 5

(51) Int.Cl.

H02J 3/01 (2006.01);

H02J 3/18 (2006.01);

H02J 3/26 (2006.01)

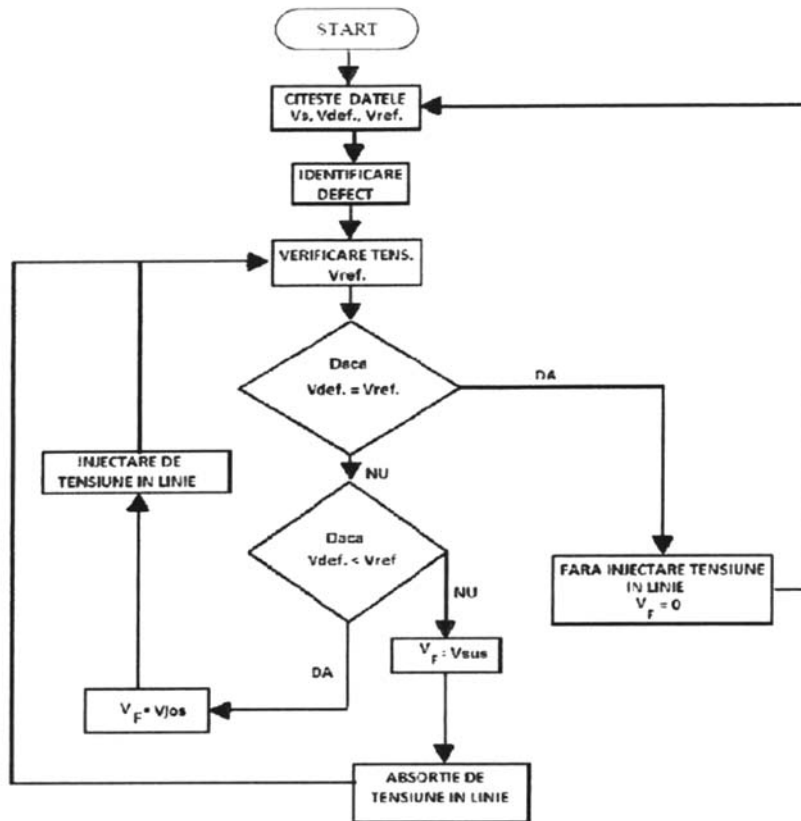


Fig. 6

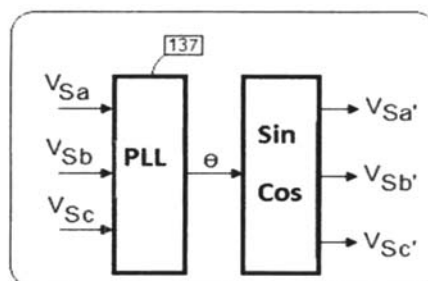


Fig. 7

(51) Int.Cl.

H02J 3/01 (2006.01);

H02J 3/18 (2006.01);

H02J 3/26 (2006.01)

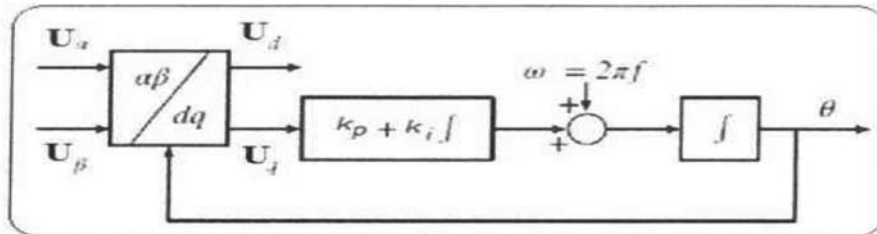


Fig. 8

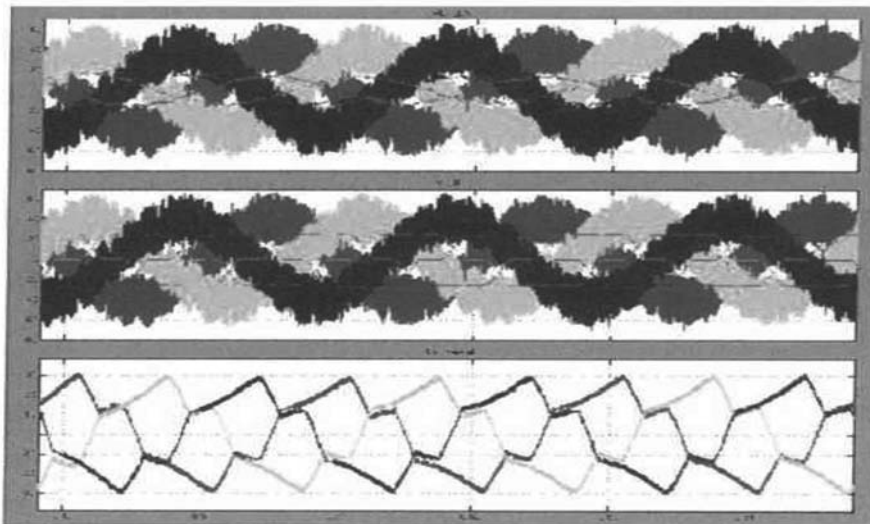


Fig. 9

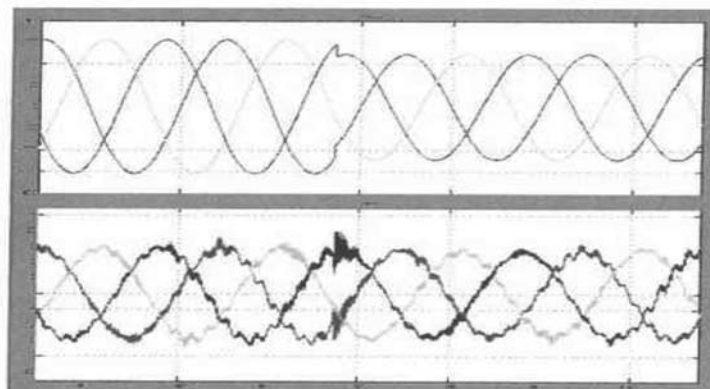


Fig. 10

(51) Int.Cl.

H02J 3/01 (2006.01);

H02J 3/18 (2006.01);

H02J 3/26 (2006.01)

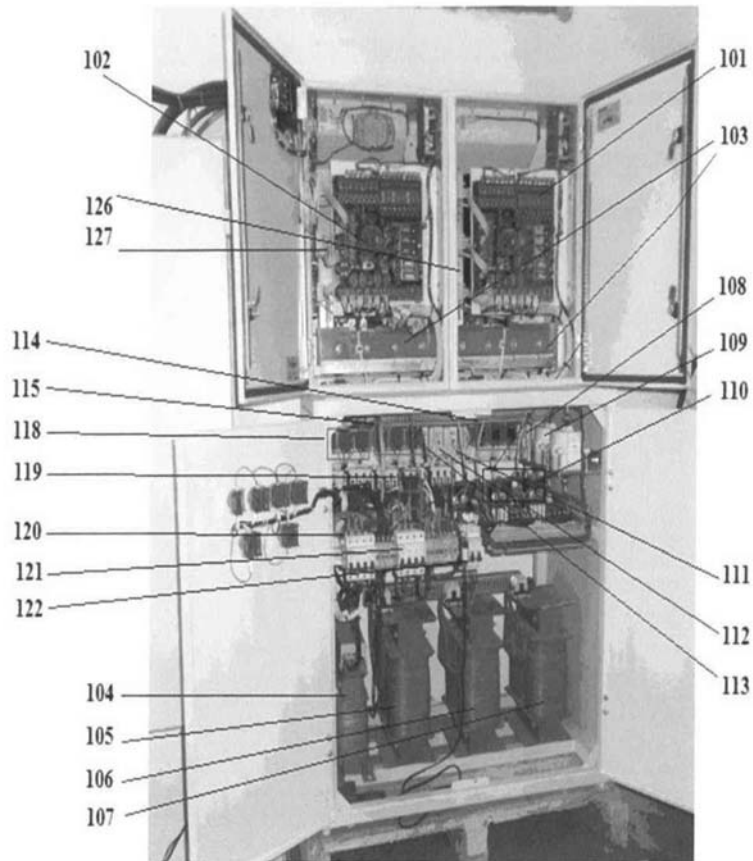


Fig. 11



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 360/2020