(19) OFICIUL DE STAT
PENTRU INVENŢII ŞI MĂRCI
Bucureşti

ROMÂNIA

(11) RO 132402 A0
(51) Int.Cl.
H02J 3/01 (2006.01);
H02J 3/18 (2006.01)

(12) # CERERE DE BREVET DE INVENŢIE

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

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

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

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAŢIONAL DE CERCETARE- DEZVOLTARE ŞI 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:
• **SACERDOŢIANU DUMITRU**, *STR.REGELE FERDINAND NR.156, DRĂGĂŞANI, VL, RO;*
• **NICOLA MARCEL**, *CALEA SEVERINULUI NR. 18, BL. 309, SC. 1, ET. 3, AP. 13, CRAIOVA, DJ, RO;*
• **CIONTU MARIAN**, *STR. DESNĂŢUI 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;*
• **CHINDRIŞ 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*

(54) # SISTEM ADAPTIV PENTRU ASIGURAREA CALITĂŢII ENERGIEI ÎN REŢELELE DE JOASĂ TENSIUNE

(57) **Rezumat:**

Invenţia se referă la un sistem adaptiv pentru asigurarea calităţii energiei în reţelele de joasă tensiune. Sistemul conform invenţiei este compus dintr-un prim filtru activ (**A**), conectat în paralel cureţeaua electrică şi cu o sarcină (**B**), cuprinzând un invertor de tensiune (**101**), trei bobine inductoare (**108**, **109**, **110**) şi trei rezistoare (**111**, **112**, **113**) conectate în acelaşi punct cu sarcina (**B**), un bloc (**118**) de măsurare a curenţilor de sarcină, un bloc (**119**) de măsurare a curenţilor la ieşirea invertorului, un contactor trifazat (**122**), pentru conectarea/deconectarea sistemului la/de la reţea, şi un al doilea filtru activ (**C**), cuprinzând un invertor (**102**), un filtru sinusoidal (**104**), trei transformatoare monozate (**105**, **106**, **107**), conectate în serie la reţeaua de distribuţie, şi un bloc (**115**) de măsurare a tensiunilor de ieşire din invertor.

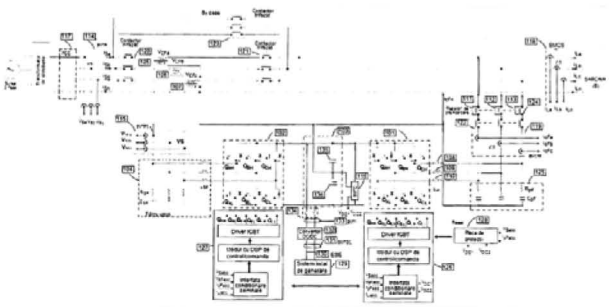

Fig. 1

Revendicări: 3
Figuri: 10

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecţia conferită potrivit dispoziţiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepţia cazurilor în care cererea de brevet de invenţie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecţiei conferite de cererea de brevet de invenţie este determinată de revendicările conţinute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).

RO 132402 A0

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2017 00692
Data depozit 21-09-2017

18.

SISTEM ADAPTIV PENTRU ASIGURAREA CALITĂȚII ENERGIEI ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE.

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

Sunt cunoscute sistemele de producere, transport și utilizare a energiei electrice centralizate în care, pentru reducerea regimului deformant sunt utilizate filtre pasive; acestea 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 ce pot apare concomitent în rețea: perturbații tranzitorii, perturbații de scurtă durată, perturbații de lungă durată, dezechilibre și distorsiuni de formă.

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 perturbațiilor.

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

Documentul de brevet US 5731965 A/1998 descrie un sistem care combină efectele unui filtru activ și ale unui filtru pasiv. Filtrul activ injectează o armonică poluantă a curentului de fază distorsionat, 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 document are dezavantajul de a nu elimina cu adevărat toate armonicele poluante și de a izola perfect componenta de 50 Hz.

Brevetul US 20060212238 A1/2006 abordează doar anumite aspecte ale calității energiei electrice bazate doar pe indicatorii de calitate ai formelor de undă.

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

Problema pe care o rezolvă invenția se referă la compensarea perturbațiilor tranzitorii, a perturbațiilor de scurtă durată, a perturbațiilor de lungă durată, a dezechilibrelor și 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 limitele standardizate.

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, conform propunerii de invenție, asigură compensarea perturbațiilor tranzitorii ale tensiunii și curentului (armonici, nesimetrii, scăderea tensiunii și supratensiuni de scurtă durată și goluri de tensiune) prin adăugarea, în timp real, la tensiunile sistemului de alimentare, a complementului până la obținerea unui sistem ideal de tensiuni cu valoarea nominală și compensarea perturbațiilor de curent de armonici superioare introduse de consumator, cu ajutorul unor filtre active conectate în serie și paralel cu sarcina, interconectate printr-un circuit comun de tensiune continuă.

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune asigură creșterea vitezei de răspuns pentru compensarea perturbațiilor prin monitorizarea permanentă a mărimilor electrice din rețea și adaptarea comenzii în timp real.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI INCERCARI PENTRU ELECTROTEHNICA ICMET CRAIOVA CERCETARE-DEZVOLTARE

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune asigură de asemenea compensarea perturbațiilor de lungă durată a tensiunii prin aceea că include în structura sa și un sistem de generare locală, bazat, spre exemplu, pe resurse regenerabile, a cărui ieșire de tensiune continuă este conectată la circuitul intermediar al sistemului.

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune asigură menținerea tensiunii în limitele de reglaj prin accea că în *regimul de gol/scădere* sau *creștere de tensiune* invertorul aferent filtrului activ conectat în serie cu sarcina injectează/absoarbe în/din rețea o tensiune de compensare cu scopul de a menține constantă tensiunea la bornele sarcinii. În cazul unui gol de tensiune, puterea injectată va fi pozitivă, fapt ce înseamnă că invertorul furnizează o parte din puterea activă a sarcinii. Această putere poate fi absorbită tot din rețea, prin intermediul invertorului aferent filtrului activ conectat în paralel cu sarcina, caz în care curentul de linie depășește valoarea nominală pentru a asigura bilanțul puterilor în rețea și menținerea tensiunii din circuitul intermediar la valoarea dorită, sau poate fi furnizată de sursa locală de energie. În aceste condiții, sarcinii i se furnizează puterea activă necesară chiar și în condițiile golului de tensiune.

La apariția unei creșteri de tensiune, filtrul activ conectat în serie cu sarcina absoarbe o anumită putere activă. Deoarece tensiunea rețelei depășește valoarea normată, este posibil ca tensiunea din circuitul intermediar să devină prea mare. Pentru a o menține la valoarea impusă, sistemul de control al invertorului aferent filtrului conectat în paralel cu sarcina reduce curentul absorbit din rețea, fapt echivalent cu a spune că sistemul injectează în rețeaua electrică de alimentare o anumită putere activă.

În *regimul de întrerupere* sistemul adaptiv pentru asigurarea calității energiei este deconectat de la rețea iar invertorul aferent filtrului activ conectat în paralel cu sarcina funcționează ca o sursă de tensiune alternativă. Pentru aceasta, un convertor DC/DC funcționează în *regim de descărcare*, permițând trecerea spre sarcină a energiei furnizate de un sistem local de generare, respectiv a celei existente într-un echipament de stocare locală.

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 $Un \pm 10\%$, considerând Un = 230Vc.a. între fiecare fază și conductorul neutru;
- 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 factorului de nesimetrie negativă al sistemului tensiunilor de alimentare să fie limitate la 2%;
- 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 armonicele până la rangul 40) la 8%;
- 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;

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI ÎNCERCĂRI PENTRU ELECTROTEHNICĂ ICMET CRAIOVA CERCETĂRII ȘI INOVĂRII

- se asigură compensarea creşterilor de tensiune cu amplitudine de 10% pentru o durată de 230 ms dacă fenomenul se manifestă pe o singură fază, respectiv 100 ms dacă creşterea de tensiune apare pe toate fazele reţelei de alimentare;
- se asigură limitarea valorilor efective ale fiecărei armonice individuale de curent la valorile indicate de normative şi a valorii distorsiunii totale a curentului din reţea la 5%;

Se dă în continuare un exemplu de aplicare a invenţiei în legătură cu fig.1-10, care reprezintă:

Fig. 1 Arhitectura sistemului adaptiv
Fig. 2 Arhitectura filtrului activ (A)
Fig. 3 Arhitectura filtrului activ (C)
Fig. 4 Algoritmul de lucru al filtrului activ (A)
Fig. 5 Tensiunea pe condensatoarele din circuitul intermediar de curent continuu (103), pe durata pornirii
Fig. 6 Algoritmul de lucru al filtrului activ (C)
Fig. 7 Schema bloc generare sistem trifazat de referinţă pentru filtrele active
Fig. 8 Schema bloc bucla PLL utilizată
Fig. 9 Formele de undă ale tensiunilor şi curenţilor la punctul comun de conectare
Fig. 10 Tensiunile sursei şi curenţii absorbiţi de la sursă

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calităţii energiei în reţelele de joasă tensiune, conform invenţiei, se compune dintr-un filtru activ **(A)**, conectat în paralel cu reţeaua electrică şi cu sarcina **(B)** şi un filtru activ **(C)** conectat în serie cu reţeaua electrică. Cele două filtre active **A** şi **C** se compun din două invertoare sursă de tensiune **101** şi **102**, interconectate printr-un circuit comun de tensiune continuă **103**, un filtru sinusoidal **104**, 3 transformatoare monofazate **105, 106, 107** conectate în serie la reţeaua de distribuţie de joasă tensiune, 3 bobine inductoare **108, 109, 110** şi 3 rezistoare de putere **111, 112, 113** conectate în acelaşi punct cu sarcina, un bloc **114** de măsurare a tensiunilor din reţea, un bloc de măsură **115** a tensiunilor de ieşire din invertorul **102**, un bloc **116** de măsurare a tensiunii din circuitul intermediar **103**, punctul comun de cuplare **117**, un bloc **118** de măsură curenţi de sarcină, un bloc **119** de măsură curenţi la iesirea invertorului **101**, trei contactoare trifazate **120, 121, 122** pentru conectrea/deconectarea sistemului adaptiv la reţeaua de distribuţie de joasă tensiune, un contactor **123** care realizează funţia de by pass, un contactor **124** de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul de tensiune continuă **103**, un filtru trece sus **125**, două module **126** şi **127** pentru comanda invertoarelor **101** şi **102**, un modul electronic de protecţie **128**, un sistem local de generare **129**, un echipament de stocare a energiei **130**, un bloc **131** de măsură a tensiunii generatorului local, un convertor DC/DC **132**, un bloc **133** de măsură a tensiunii injectate in circuitul intermediar **103** şi un sistem automatizat **134** de cuplare a convertorului **132** la circuitul intermediar **103**, format din două condensatoare identice **135, 136**.

Componentele **101**, **108**, **109**, **110**, **111**, **112**, **113**, **118**, **119**, **122**, **124**, **125**, **127**, **128** constituie un filtrul activ **A** conectat în paralel cu reţeaua, respectiv cu sarcina **B**.

Componentele **102**, **104**, **105**, **106**, **107**, **114**, **115**, **126** constituie filtrul activ **C** conectat în serie cu reţeaua.

Sistemul adaptiv pentru asigurarea calităţii energiei în reţelele de joasă tensiune, conform invenţiei, este bazat pe o topologie cu două invertoare surse de tensiune **101, 102** şi circuit intermediar de tensiune continuă **103** cu un condensator divizat. Primul invertor **101** reprezintă o sursă variabilă de curent, legată în paralel cu reţeaua de distribuţie, ce

MINISTERUL CERCETĂRII ŞI INOVĂRII INSTITUTUL NAŢIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ŞI ÎNCERCĂRI PENTRU ELECTRONICĂ ICMET CRAIOVA

compensează perturbațiile curentului (în principal armonici și nesimetrie), furnizează puterea reactivă cerută de utilizatori și reglează tensiunea din circuitul intermediar **103**. Al doilea invertor **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);

Racordarea la rețea în punctul comun de cuplare **117** este realizată prin 3 bobine inductoare **108, 109, 110** și 3 rezistoare de putere **111, 112, 113** pentru invertorul **101**, respectiv prin trei transformatoare monofazate **105, 106, 107** și un filtru sinusoidal **104**, în cazul invertorului **102**. Pentru compensarea curentului prin conductorul de nul se folosește soluția cu circuit divizat de tensiune continuă **103** format din două condensatoare identice **135** și **136**, nodul dintre acestea fiind legat la al patrulea conductor al rețelei de distribuție.

Filtrul activ **A** realizează încărcarea condensatoarelor din circuitul intermediar **103** în trei etape, astfel:

- în prima etapă, pentru limitarea curentului de încărcare, contactorul **124** de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul **103**, care asigură scurtcircuitarea rezistențelor **111, 112, 113** este deschis. Când tensiunea pe condensatoarele din circuitul de tensiune continuă **103** atinge o valoare de referință prescrisă U1, începe etapa a doua;
- în etapa a doua, condensatoarele continuă să se încarce direct, fără a fi comandate elementele din invertorul **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.
- în etapa a treia, tranzistoarele invertorului **101** încep să fie comandate.

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 invertorului **101**.

Din acest moment poate fi activată și comanda filtrului activ **C**.

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* invertorul **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.

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

- *regim normal*: este modul uzual de funcționare, caracterizat printr-o valoare a tensiunii rețelei de *Un ± 10%*;
- *regimul de gol/scădere sau creștere de tensiune*: atunci când tensiunea rețelei are valori între 0,3 și 0,9 p.u. sau valori mai mari de 1,1 p.u.;
- *regimul de întrerupere a alimentării (regimul de întrerupere* a furnizării energiei electrice în PCC): dacă tensiunea scade sub 0,3 p.u.

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

MINISTERUL CERCETARII SI INOVARII
INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE SI INCERCARI PENTRU ELECTROTEHNICA
ICMET CRAIOVA

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

În *regimul de gol/scădere* sau *creştere de tensiune* invertorul **102** generează o tensiune de compensare în fază (în cazul scăderii tensiunii din reţea) sau în antifază (în cazul creşterii de tensiune) cu scopul de a menţine constantă tensiunea la bornele sarcinii **B**. *În cazul unui gol/scădere de tensiune*, pentru care tensiunea de defect V_{def} este mai mică decat tensiunea de referinţă V_{ref}, puterea injectată va fi pozitivă, fapt ce înseamnă că invertorul **102** furnizează o parte din puterea activă a sarcinii. Această putere poate fi absorbită tot din reţea, prin intermediul invertorului **101,** astfel încât curentul de linie depăşeşte valoarea nominală pentru a asigura bilanţul puterilor în reţea şi menţinerea tensiunii din circuitul intermediar **103** la valoarea dorită, sau poate fi consumată din sursa locală. În aceste condiţii, sarcinii **B** i se furnizează puterea activă necesară chiar şi în condiţiile golului de tensiune. Invertorul **101** îndeplineşte suplimentar aceleaşi funcţii ca şi în regimul normal.

La apariţia unei *creşteri de tensiune*, pentru care tensiunea de defect V_{def} este mai mare decât tensiunea de referinţă V_{ref}, filtrul activ **C** absoarbe o anumită putere activă. Deoarece tensiunea reţelei depăşeşte valoarea normată, este posibil ca tensiunea din circuitul intermediar **103** să devină prea mare. Pentru a o menţine la valoarea impusă, modulul de comandă **127** al invertorului **101** reduce curentul absorbit din reţea, fapt echivalent cu a spune că sistemul injectează în reţeaua electrică de alimentare o anumită putere activă.

În toate regimurile de funcţionare, invertorul **101** furnizează puterea reactivă necesară sarcinii (pe fundamentală) şi absoarbe armonicile de curent generate de utilizator (asigurând în acest fel şi compensarea armonicilor de tensiune pe barele acestuia).

Metoda de generare a tensiunilor de referinţă pentru comanda filtrului activ C se bazează pe utilizarea unei bucle PLL trifazate de calare pe fază, cu ajutorul căreia se determină originea de fază a primei faze a sistemului trifazat, iar apoi se generează un sistem trifazat simetric şi echilibrat ideal de tensiuni cu amplitudinea egală cu valoarea nominală care reprezintă valorile de referinţă pentru comanda filtrului activ **C.**

Valorile de referinţă sunt comparate cu tensiunile reale, iar diferenţa dintre ele trebuie să fie generată de filtrul activ **C** astfel încât sistemul trifazat de tensiuni rezultat să fie simetric, echilibrat şi cu valoarea nominală. În mod similar se generează curenţii de referinţă pentru comanda filtrului activ **A.**

Pentru obţinerea comenzilor care se aplică tranzistoarelor filtrului activ **C**, tensiunile V_{Sa}, V_{Sb}, V_{Sc} din blocul **114** sunt aplicate unui bloc PLL trifazat **137** , care furnizează poziţia primei faze prin funcţiile sin şi cos. Aceasta este utilizată pentru a genera un sistem trifazat de tensiuni ideal, cu valoarea maximă a tensiunilor de fază V.

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

Bucla PLL **137** utilizată extrage din sistemul trifazat $\mathbf{V_{Sabc}}$ de alimentare unghiul electric θ care caracterizează sistemul fazorial şi apoi, printr-un bloc matematic, furnizează sincron cu reţeaua de alimentare sistemul trifazat unitar de referinţă $V_{Sa'}$, $V_{Sb'}$, $V_{Sc'}$, pentru filtrele active .

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

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

MINISTERUL CERCETARII SI INOVARII
INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE SI INCERCARI PENTRU ELECTROTEHNICA
ICMET CRAIOVA
2

2. Dacă pulsația rețelei este $2\pi f$, atunci la ieșirea controlerului PI din bucla 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:

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

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.

In *regimul de întrerupere* a furnizării energiei electrice în punctul comun de cuplare **117,** filtrul activ **C** este deconectat de la rețea iar invertorul **101** funcționează ca o sursă de tensiune alternativă. Pentru aceasta, convertorul DC/DC **132** funcționează în *regim de descărcare*, permițând trecerea spre circuitul intermediar **103** 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 intermediar **103.** Cât timp tensiunea pe condensatoarele din circuitul intermediar **103** este mai mică decât valoarea necesară de funcționare a invertorului **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 invertorului **101**, modulul **127** de control și comandă al invertorului **102** și controlul convertorului DC/DC **132** care face legătura între sistemul adaptiv și sistemul local de generare **129**. Acestora li se adaugă traductoarele de tensiune **114** pentru măsurarea tensiunilor de fază în rețeaua trifazată de distribuție, traductoarele de tensiune **115,** pentru măsurarea tensiunilor de fază de la ieșirea invertorului **102,** blocul **116** pentru măsurarea tensiunilor pe condensatoarele din circuitul intermediar **103** și a tensiunii la ieșirea convertorului DC/DC **132** prin blocul **133,** respectiv traductoarele de curent **118** pentru măsurarea curenților absorbiți de consumatorii neliniari și a curenților **119** generați de către filtrul activ **101**.

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.

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

MINISTERUL INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ŞI INGINERIE PENTRU ELECTROTEHNICA ICMET CRAIOVA CERCETARII ŞI INGINERII 2

Bibliografie:

- Brevet US 5731965 A /1998 - Power line harmonic reduction by hybrid parallel active/passive filter system with square wave inverter and DC bus control;
- Brevet US 20060212238 A1/2006 - Power quality monitoring
- Brevetul RO127599B1/.2016 - Sistem de monitorizare şi diagnoză în energetică

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ÎN INGINERIA MEDIULUI ELECTROTEHNICĂ ICEMENERG ICMET CRAIOVA CERCETARE

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)** 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 comun de tensiune continuă **103**, 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 de măsură **115** a tensiunilor de ieșire din invertorul **102**, un bloc **116** de măsurare a tensiunii din circuitul intermediar **103**, punctul comun de cuplare **117**, un bloc **118** de măsură curenți de sarcină, un bloc **119** de măsură curenți la iesirea invertorului **101**, trei contactoare trifazate **120, 121, 122** pentru conectrea/deconectarea sistemului adaptiv la rețeaua de distribuție de joasă tensiune, un contactor **123** care realizează funția de by pass, un contactor **124** de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul de tensiune continuă **103**, un filtru trece sus **125**, două module **126** și **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 măsură a tensiunii generatorului local, un convertor DC/DC **132**, un bloc **133** de măsură a tensiunii injectate in circuitul intermediar **103** și un sistem automatizat **134** de cuplare a convertorului **132** la circuitul intermediar **103**, format din două condenastoare 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 (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 compensarea perturbațiilor de curent de armonici superioare introduse de consumator. In acest scop folosește două filtre active A, C conectate în paralel și serie cu sarcina B, interconectate printr-un circuit comun de tensiune continuă 103, și două invertoare **101, 102**. Primul invertor **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 intermediar **103**. Al doilea invertor **102** funcționează ca o sursă de tensiune variabilă conectată în serie cu rețeaua și compensează perturbațiile tensiunii de alimentare (armonici, nesimetrie, fluctuații lente și rapide). Filtrul activ **A** realizează încărcarea condensatoarelor din circuitul intermediar **103** în trei etape, astfel:

- în prima etapă, pentru limitarea curentului de încărcare, contactorul **124** de preîncărcare a condensatoarelor din circuitul **103**, care asigură scurtcircuitarea rezistențelor **111, 112, 113** este deschis. Când tensiunea pe condensatoarele din circuitul de tensiune continuă **103** atinge o valoare de referință prescrisă U1, începe etapa a doua;
- în etapa a doua, condensatoarele continuă să se încarce direct, fără a fi comandate elementele din invertorul **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.
- în etapa a treia, tranzistoarele invertorului **101** încep să fie comandate.

MINISTERUL ... INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE ȘI ÎNCERCĂRI PENTRU ELECTROTEHNICĂ ICMET CRAIOVA CERCETĂRI

Cele trei etape se desfăşoară astfel: în primele aproximativ 10 ms încărcarea se realizează cu rezistenţele **111**, **112**, **113** în circuit, continuarea încărcării libere cu rezistenţa scurtcircuitată până la aproximativ 35 ms, respectiv pornirea filtrului activ **C** şi încărcarea până la valoarea U_{fin}, atinsă la aproximativ 180 ms. Valorile tensiunii, respectiv valoarea prescrisă finală de încărcare U_{fin} şi cea măsurată a tensiunii pe condensatoare, se aplică unui regulator de tip PI. Mărimea de ieşire a regulatorului este utilizată pentru a obţine amplitudinea componentelor în fază ale curenţilor de referinţă I_{ref} ai filtrului activ **A**. Cei trei curenţi reprezintă valorile de referinţă I_{ref}, considerate cu semnul minus. Aceştia se aplică unui modulator cu histerezis. În urma comparării valorilor de referinţă I_{ref} cu cele măsurate rezultă comenzile tranzistoarelor invertorului **101**.

În *regimul de gol/scădere* sau *creştere de tensiune* invertorul **102** injectează/absoarbe în/din reţea, prin intermediul transformatoarelor **105, 106, 107** o tensiune de compensare cu scopul de a menţine constantă tensiunea la bornele sarcinii.

În *regimul de gol/scădere*, când tensiunea reţelei are valori între 0,3 şi 0,9 p.u., sau *creştere de tensiune*, atunci când tensiunea reţelei are valori mai mari de 1,1 p.u. , invertorul **102** generează o tensiune de compensare în fază (în cazul scăderii tensiunii din reţea) sau în antifază (în cazul creşterii de tensiune) cu scopul de a menţine constantă tensiunea la bornele sarcinii **B**. *În cazul unui gol/scădere de tensiune*, puterea injectată va fi pozitivă, fapt ce înseamnă că invertorul **102** furnizează o parte din puterea activă a sarcinii. Această putere poate fi absorbită tot din reţea, prin intermediul invertorului **101,** astfel încât curentul de linie depăşeşte valoarea nominală pentru a asigura bilanţul puterilor în reţea şi menţinerea tensiunii din circuitul intermediar **103** la valoarea dorită, sau poate fi consumată din sursa locală. În aceste condiţii, sarcinii **B** i se furnizează puterea activă necesară chiar şi în condiţiile golului de tensiune. Invertorul **101** îndeplineşte suplimentar aceleaşi funcţii ca şi în regimul normal.

La apariţia unei *creşteri de tensiune*, filtrul activ **C** absoarbe o anumită putere activă. Deoarece tensiunea reţelei depăşeşte valoarea normată, este posibil ca tensiunea din circuitul intermediar **103** să devină prea mare. Pentru a o menţine la valoarea impusă, modulul de comandă **127** al invertorului **101** reduce curentul absorbit din reţea, fapt echivalent cu a spune că sistemul injectează în reţeaua electrică de alimentare o anumită putere activă.

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

3. Sistem adaptiv pentru asigurarea calităţii energiei în reţelele de joasă tensiune, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că pentru compensarea perturbaţiilor de lungă durată, *regim de întrerupere* a furnizării energiei electrice în punctul comun de cuplare **117,** filtrul activ **C** este deconectat de la reţea iar invertorul **101** funcţionează ca o sursă de tensiune alternativă. Pentru aceasta, convertorul DC/DC **132** funcţionează în *regim de descărcare*, permiţând trecerea spre circuitul intermediar **103** 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 funcţie de nivelul tensiunii generate de sistemul local de generare **129** şi de tensiunea din circuitul intermediar **103.** Cât timp tensiunea pe condensatoarele din circuitul intermediar **103** este mai mică decât valoarea necesară de funcţionare a invertorului **101,** se impune modul *încărcare*, respectiv convertorul **132** asigură legătura dintre sistemul adaptiv şi sistemul local de generare. Dacă tensiunea atinge valoarea maxim admisă, convertorul **132** trece în modul *standby*, blocând transferul energetic şi fiind pregătit pentru a trece în primul mod de funcţionare. Dacă tensiunea la bornele generatorului scade sub o valoare minimă fixată, convertorul DC/DC **132** se decuplează pentru a izola sistemul local faţă de reţeaua de distribuţie.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ELECTROTEHNICĂ ICMET CRAIOVA

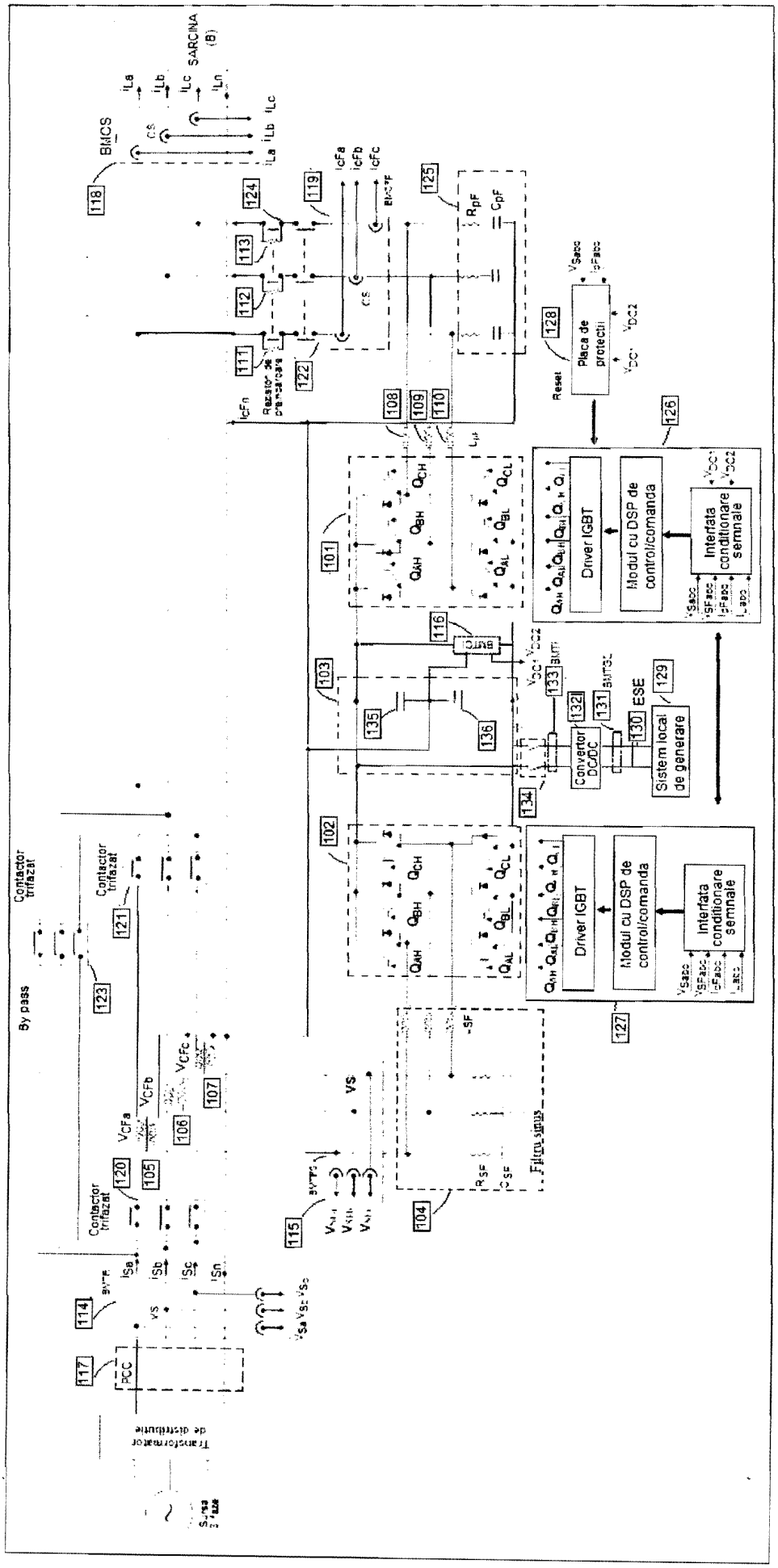

Figura 1.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ÎN INGINERIE ELECTRONICĂ ICMET CRAIOVA CERCETARE ȘI INOVARE

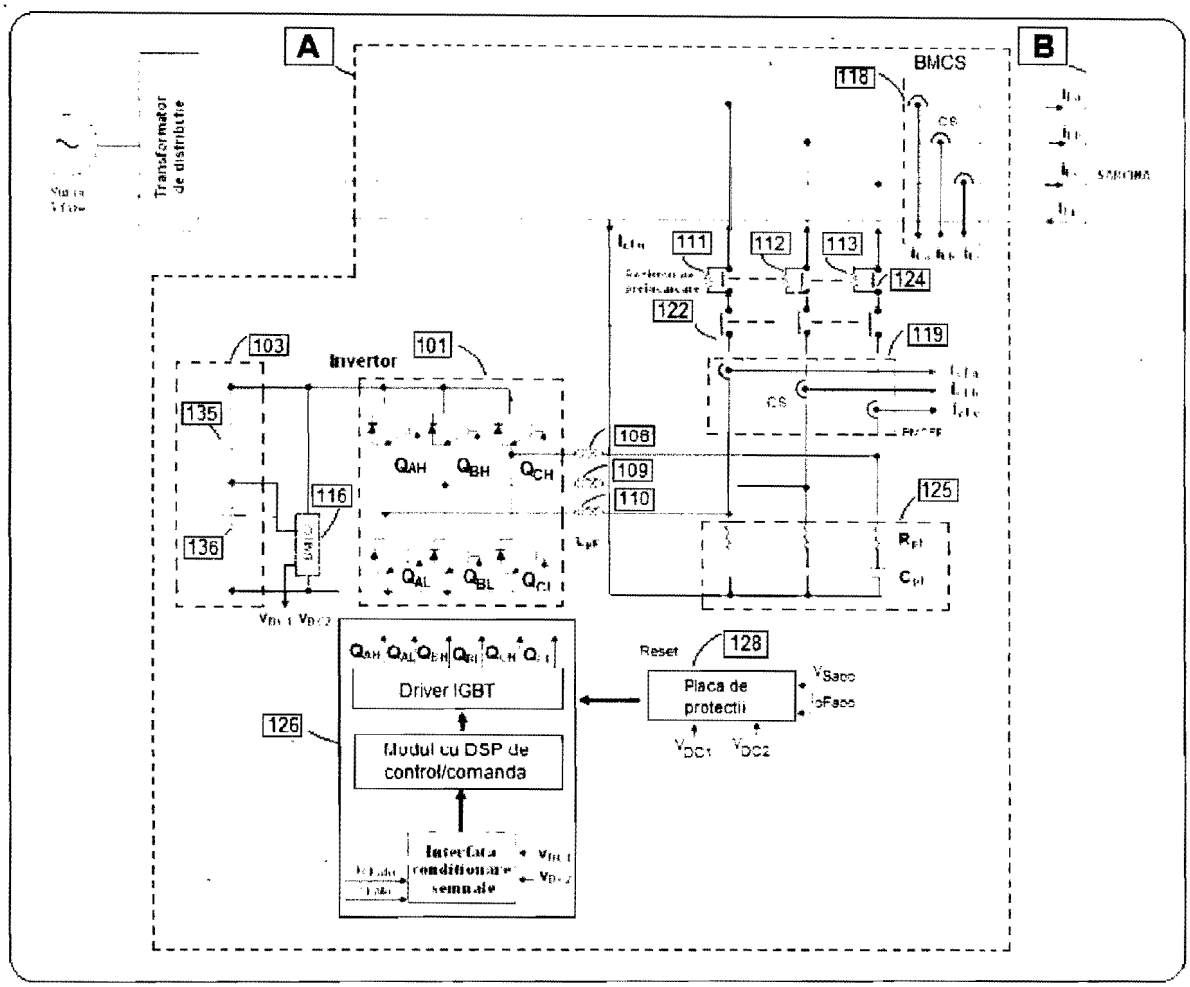

Figura 2.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE ȘI INGINERIE PENTRU ELECTROTEHNICĂ ICMET CRAIOVA 2 CERCETARE

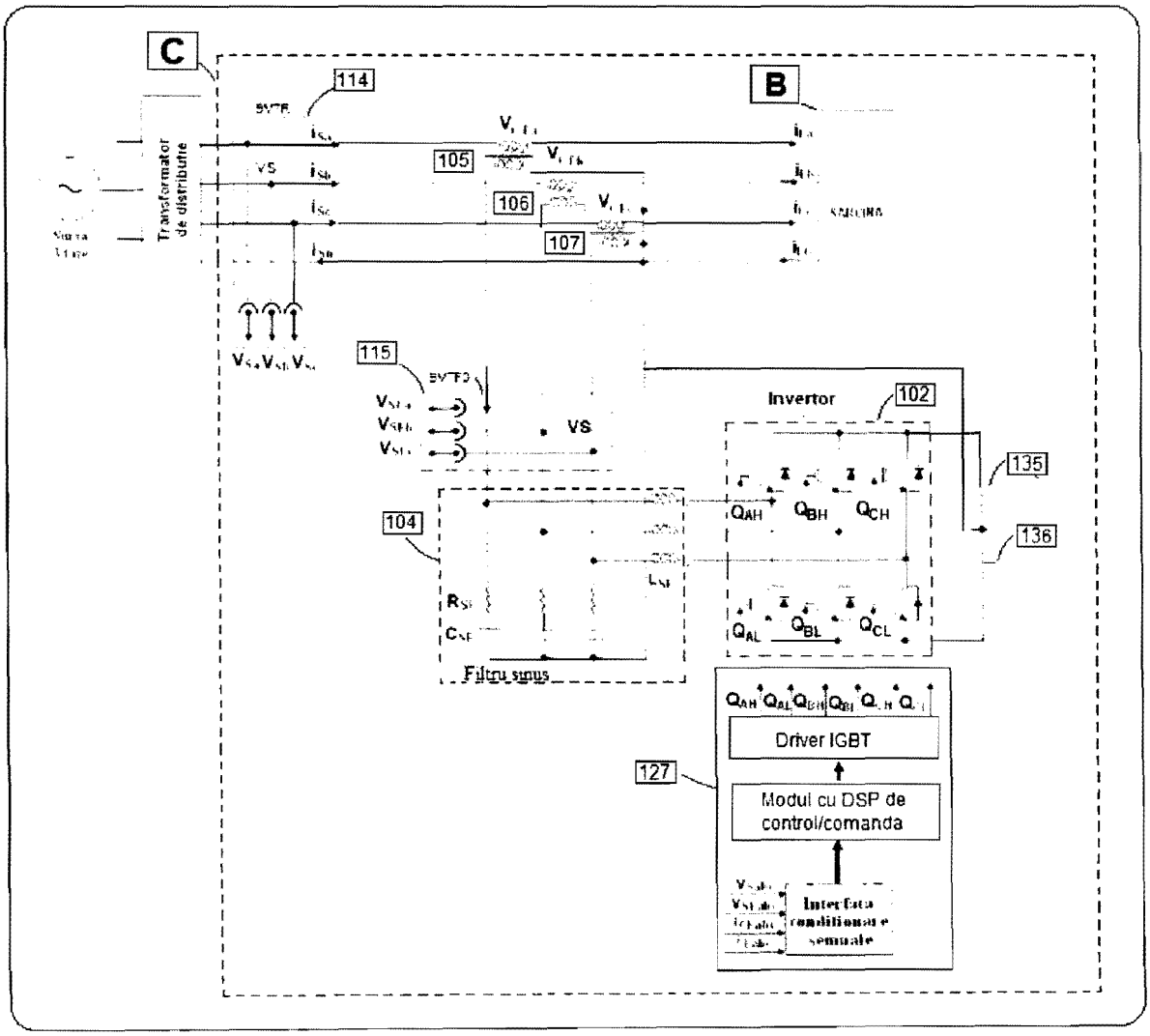

Figura 3.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE ȘI INCERCARI PENTRU ELECTROTEHNICA ICMET CRAIOVA CERCETARI

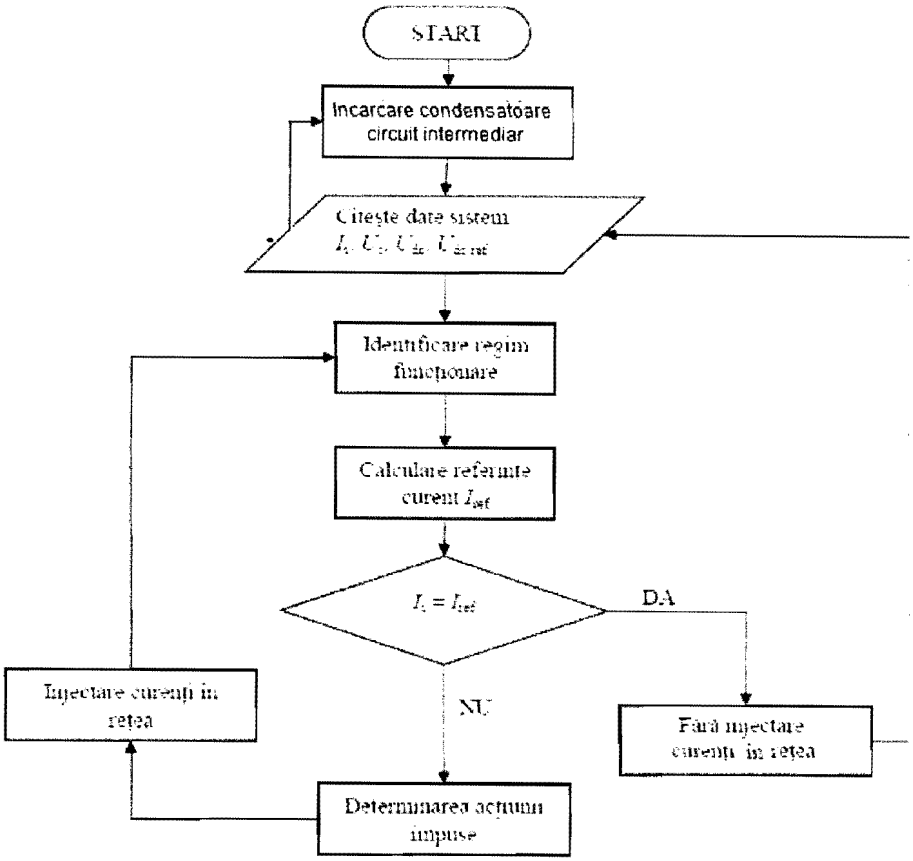

Figura 4.

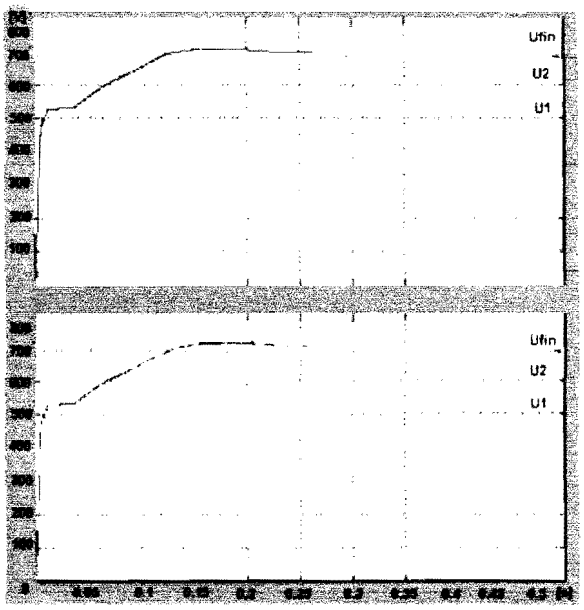

Figura 5.

MINISTERUL INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI INGINERIE ELECTRICĂ ICMET CRAIOVA CERCETĂTOR ȘTIINȚIFIC

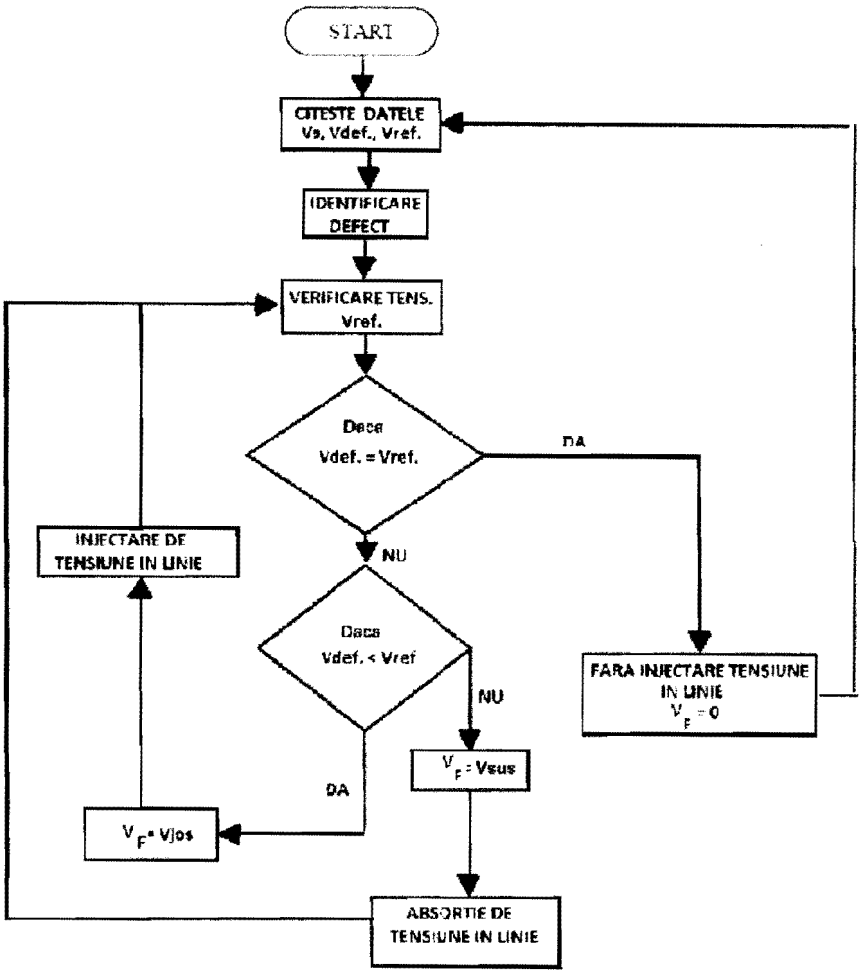

Figura 6.

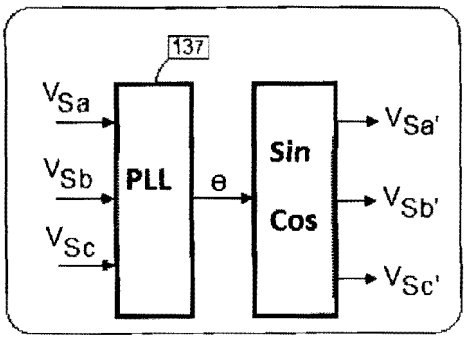

Figura 7.

MINISTERUL CERCETARII ŞTIINŢEI
INSTITUTUL NAŢIONAL DE CERCETARE ŞI DEZVOLTARE ELECTROTEHNICĂ ICMET CRAIOVA
2

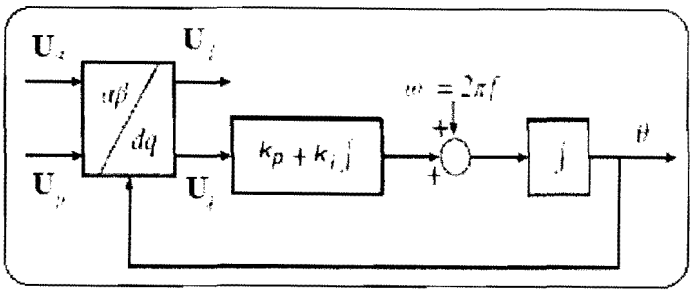

Figura 8

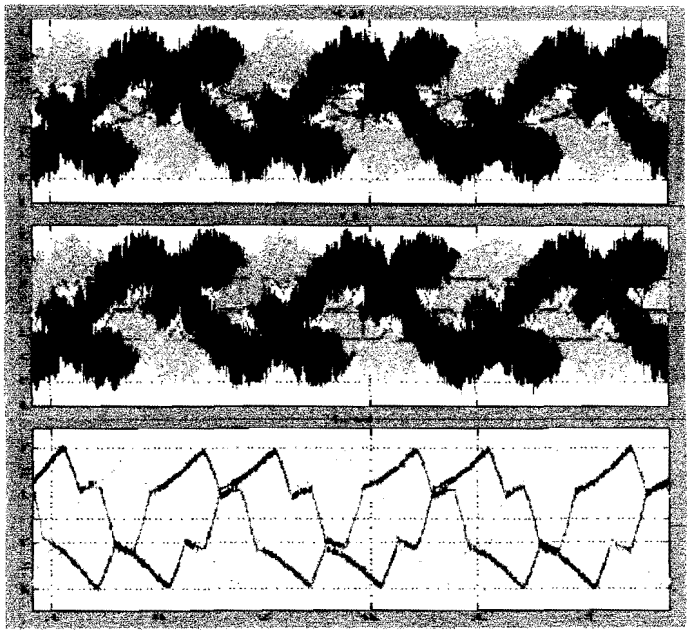

Figura 9.

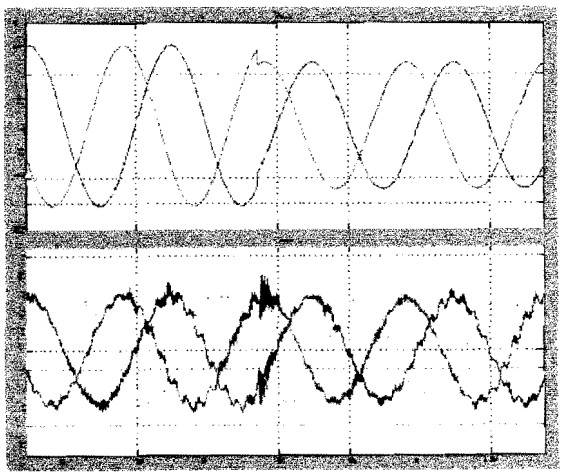

Figura 10.

MINISTERUL
INSTITUTUL NAȚIONAL
DE CERCETARE-DEZVOLTARE
ICMET CRAIOVA
2