

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00231

(22) Data de depozit: 05/05/2022

(41) Data publicării cererii:  
29/11/2022 BOPI nr. 11/2022

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA,  
STR.ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13,  
CRAIOVA, DJ, RO

(72) Inventatori:  
• NICOLAE ILEANA-DIANA,  
STR.FILIP LAZĂR, NR.4, BL.F5, SC.1, ET.2,  
AP.7, CRAIOVA, DJ, RO;  
• NICOLAE MARIAN- ȘTEFAN,  
STR.FILIP LAZĂR, NR.4, BL.F5, SC.1, ET.2,  
AP.7, CRAIOVA, DJ, RO;  
• NICOLAE PETRE MARIAN,  
STR.FILIP LAZĂR, NR.4, BL.F5, SC.1, ET.2,  
AP.7, CRAIOVA, DJ, RO

(54) METODĂ DE DIAGNOZĂ BAZATĂ PE ANALIZE  
ÎN DOMENIILE TIMP, FRECVENȚĂ ȘI COMBINAT UTILIZATĂ  
LA GRUPURILE ENERGETICE DE PUTERE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de diagnoză bazată pe analize în domeniile timp, frecvență și combinația acestora, utilizată la grupurile energetice de putere. Metoda folosește traductoare de măsură pentru tensiune și curent, incluse într-un bloc (BA) de adaptare a semnalelor electrice, care preiau date de la un punct de măsurare (PM) a parametrilor energetici și transmit date despre semnalele de tensiune și curent preluate la o structură (MAS) folosită pentru achiziția, stocarea și transferul datelor către un echipament (SE) de control și calcul care le memorează. Se rulează un program (PA) pentru controlul procesului de achiziție/stocare și transfer al fișierelor de date precum și un program (PAD) care conține: un modul (DEN) care estimează și elimină zgomotul electromagnetic asociat datelor din fișierele transferate, un modul (TA) pentru stabilirea tipului de analiză recomandat pentru datele din fișierul curent, un modul (MF) de analiză și diagnoză în domeniul frecvențelor, bazat pe transformata Fourier rapidă, care generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în regim monofazat/ trifazat, diagramele spectrale pentru curenți, tensiuni și puteri precum și diagramele fazoriale, un modul (MD) de analiză și diagnoză în domeniile timp-frecvență care, folosind transformata wavelet discretă, generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în regim monofazat/trifazat, curbele de variație în timp ale vectorilor de detalii și diagramele pentru calculul

puterilor reactive în regim trifazat, un modul (MW) de analiză și diagnoză care, folosind transformata de tip WPT (Wavelet Packet Transform), determină valorile numerice aferente momentelor de tip ale apariției unei abateri de la staționaritate și ordinele armonicelor care s-au modificat odată cu apariția ei, generând și reprezentările grafice ale energiilor nodurilor modificate din arborele WPT, un modul (GF) pentru generarea de fișiere cu rezultate și o interfață (IG) grafică.

Revendicări: 5  
Figuri: 29

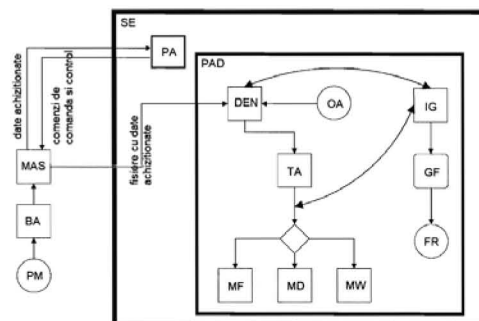


Fig. 2



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. ....	a 2022 ep 231
Data depozit .....	05-05-2022

23

**METODĂ DE DIAGNOZĂ BAZATĂ PE ANALIZE ÎN DOMENIILE TIMP,  
FRECVENȚĂ ȘI COMBINAT UTILIZATĂ LA GRUPURILE ENERGETICE DE  
PUTERE**

Invenția se referă la un sistem și la o metodă de monitorizare și diagnoză pentru grupuri energetice de putere folosind analize în domeniul timp, frecvență și combinat (timp-frecvență) și este destinat grupurilor energetice de putere care produc energie electrică în sistem trifazat.

**Sunt cunoscute și alte sisteme și metode de monitorizare și diagnoză pentru grupuri energetice de putere care prezintă dezavantajul că realizează analiza doar în domeniul frecvență pentru stări stabile ale mărimilor electrice.** Acestea nu oferă detalii legate de erorile de determinare/măsurare primară a diverselor mărimi ce intră în componența indicatorilor de calitate ai energiei electrice decât pentru stări stabile sau cvasistaționare, nu oferă detalii legate de compensarea regimurilor nesinusoidale în afară de încadrarea în anumite standarde pe baza unui criteriu legat de un indicator de calitate care se referă la nedepășirea unei valori impuse pentru distorsiunea armonică totală a curenților și doar la sarcini din sistemele energetice, fără referiri la modalități de îmbunătățire a distorsiunii armonice din lanțul de transformare al energiei electrice de la un grup energetic de putere (de exemplu, Standardul IEEE 519/2014 care se referă la Recomandări practice și cerințe pentru controlul armonicilor din sistemele de putere cu referire la sarcinile conectate la sistem și la liniile electrice de transmitere a puterii „IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems”). În aplicațiile ingineresti actuale analizele armonice ale mărimilor periodice bazate pe descompunerea în serii Fourier, conform standardelor actuale la nivel european și mondial, limitează numărul de armonici reprezentative la 40 (conform standardului european EN 50160) sau 50 (conform standardului IEEE 519/2014), fără a preciza criteriile privind erorile descompunerilor armonice realizate. Dispozitivele electronice dezvoltate în ultimii ani au condus însă la creșterea valorii de prag a armonicii superioare care face parte din spectrul propriu al unui semnal și de aceea nu ar trebui neglijate sau eliminate din calcul decât armonicile peste acest nou prag armonic, superior. În acest context a apărut Standardul IEC 61000-4-30/2015 Ediția a 3-a („Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement”), care prezintă o extensie privind măsurătorile pentru mărimile electrice cu referire la plajele de frecvențe 0...2 kHz (corespunzător problemelor legate de calitatea puterii) și respectiv 2 kHz...150 kHz (corespunzător problemelor legate de emisiile conduse din zona compatibilității electromagnetice). În majoritatea studiilor existente s-a ținut cont doar de eventuala influențare

a zgomotului audibil de către interferențele electromagnetice și respectiv de corelarea cu frecvențele de comutație de la componentele convertoarelor statice de putere . De exemplu PE 143-94 intitulat „Normativ privind limitarea regimului deformant și nesimetric în rețelele electrice de distribuție”, reînnoit în 2008 limitează numărul de armonici până la ordinul 25 - neținând seama de comutația tiristoarelor care se produce în gama armonicilor de ordin 21...23. Trebuie subliniat faptul că descompunerile armonice actuale se bazează pe programe specializate sau pe funcții predefinite, oferite de biblioteci din medii de programare performante (ca de exemplu MATLAB), care nu sugerează valorile corecte ale parametrilor operaționali specifici descompunerilor sau uneori nici măcar nu permit setarea corectă a lor în funcție de numărul de puncte de calcul și respectiv de formele de undă descompuse. Ca exemple de astfel de parametri se pot menționa numărul de puncte de calcul la analize de tip Fourier/wavelet, respectiv topologiile de arbori de descompunere și funcțiile mamă cele mai potrivite la analizele wavelet. Adesea nu există nici studii relative la erorile care sunt în mod inerent generate de orice descompuneri numerice ale unor date de intrare formate din semnale sintetice aferente unor regimuri de lucru particulare, care pot să simuleze datele achiziționate cu sisteme de achiziție dedicate, cu rate de eșantionare proprii lor. Firme de prestigiu (de exemplu DataQ Instruments) produc la ora actuală sisteme de achiziție de date care pot prelua maxim 8 mărimi analogice de intrare și s-ar putea folosi pentru achiziția a 4 curenți și 4 tensiuni. Unul dintre cele mai performante și versatile echipamente actuale de acest tip, comercializate la un preț rezonabil, este sistemul DI-4108, pentru care există și un software elaborat de aceeași firmă (Windaq). Acest echipament oferă rate de eșantionare foarte bune dacă se preiau date de la un singur canal analogic (160 kHz) aceasta însemnând o limită maximă pentru ordinul armonic oferit de descompuneri egală cu 1600), dar cu următoarele limitări: datele provin de la un singur canal și rezoluția oferită este de doar 12 biți. O rezoluție mai bună (16 biți) se obține pentru o rată de eșantionare mai modestă (doar 10 kHz). Preluarea de la 8 canale simultan conduce la diminuarea cu 8 a acestei rate, ajungându-se la doar 1,25 kHz, deci o limită armonică maximă de 10! Echipamentul mai prezintă inconvenientul de a nu fi prevăzut cu opțiune pentru transmiterea datelor la distanță. Această opțiune apare la echipamente ale aceluiași producător, implicând însă dublarea prețului și utilizarea de cabluri conectate la porturi Ethernet sau USB, ceea ce ridică probleme relativ la viteza de transmitere a datelor și respectiv imunitatea transmisiei vis-a-vis de interferențele electromagnetice în medii industriale cu poluare electromagnetică semnificativă. O caracteristică comună echipamentelor industriale este utilizarea lor prin intermediul unor soft-uri dedicate de analiză a semnalului bazate exclusiv pe domeniile timp, respectiv frecvență. Deși metodele de analiză în domenii combinate (timp-

frecvență) sunt intensiv studiate de comunitatea internațională în ultimii ani (cele mai populare fiind descompunerile wavelet), nu există încă softuri licențiate care să implementeze acest tip de analiză pentru sistemele de achiziții de date industriale, deoarece sunt multe aspecte particulare relativ la topologiile arborilor de descompunere și la funcțiile mamă care se pretează doar la anumite clase de aplicații și rate de eșantionare. În plus, un impediment major asociat analizelor de tip wavelet neoptimizat este timpul de execuție mare implicat de algoritmi ce stau la baza acestor analize în forma lor primară. Au fost elaborate chiar și formule de calcul pentru indicii de calitate a puterii așa cum au fost definiți în Standardul IEEE 1459-2010, formule care se bazează pe transformate wavelet. W. G. Morsi și M. E. El-Hawary au publicat în mai multe numere ale revistei de prestigiu IEEE Transaction on Power Delivery precum și la numeroase conferințe studii în acest sens. Dacă se dorește compensarea în timp real a sarcinilor trifazate timpul de calcul prea mare poate fi un impediment în compensarea dinamică a sarcinilor trifazate nesinusoidale și/sau dezechilibrate. Pentru regimurile cu abateri frecvente de la staționaritate, monitorizarea și diagnoza realizate până în prezent nu conțin date referitoare la circulația de puteri active și reactive pentru a ușura interpretarea facilă a datelor monitorizate, neoferind în acest mod soluții de compensare în timp real la sarcini perturbatoare din sistemul energetic. Mai mult, în urma cercetărilor efectuate, s-a observat că utilizarea unui set de indicatori de calitate ai energiei electrice corelați cu o analiză detaliată a circulației de puteri (care nu este prezentă decât cel mult în câteva lucrări științifice, fără aplicații concrete practice), inclusiv pe armonici superioare în rețele monofazate sau trifazate, permite diagnoza în timp real și oferă posibilitatea unei compensări complete de sarcină la consumatori importanți din sistem. Acest lucru se impune cu necesitate, mai ales la sarcinile trifazate nesinusoidale și/sau dezechilibrate de putere mare, deoarece efectele asupra consumurilor energetice devin însemnate și pot influența chiar funcționarea sistemului energetic. Însă aceste concluzii nu se pot aplica și la sursele de putere ale unui sistem energetic.

**Există o serie de invenții brevetate la ora actuală, atât la nivel național, cât și internațional, de exemplu US 2006/0212238 A1, care abordează doar anumite aspecte ale calității puterii, bazate doar pe indicii de calitate ai formelor de undă, definiți în conformitate cu standardele actuale (ex. Standardul IEEE 519 din 2014, IEC 61000-4-30 din 2015). Nu sunt făcute referiri la puteri și circulația de puteri pe armonica fundamentală și pe armonici superioare decât în cazul sarcinilor, legate mai ales de alegerea metodelor optime de compensare a sarcinii. În plus, înregistrarea datelor cu sisteme de achiziții de date face puține referiri la modalitatea de achiziționare și înregistrare a datelor, nefiind folosite sisteme de achiziție de date dedicate aplicațiilor pentru sursele de energie. Nu sunt referiri la situațiile în**

care mărimile electrice sunt lent variabile în timp, nici la posibilități de analiză combinată timp-frecvență și nici la extinderea gamei de ordine armonice analizate față de cele din standarde. În aceste invenții nu sunt făcute precizări privind diagnoza finală pe care o poate decide un operator uman și nici programe avansate de prelucrare a datelor pentru sursele de energie, care să impună criteriile de selecție a armonicilor tensiunii și curentului, indici de calitate care trebuie considerați, și cum trebuie cuantificate mărimile de natură electrică prin programe software dedicate de prelucrare și de stabilire a unei metode de monitorizare și/sau diagnoză, inclusiv pentru analiza combinată timp-frecvență. Doi dintre autorii acestei invenții au elaborat brevetul RO 127599 B1 intitulat „Sistem de monitorizare și diagnoză în energetică”, în care se realizează doar analiza în domeniul frecvență, bazată pe transformata Fourier, rata de eșantionare fiind de 19,2 kHz. Sistemul realizat în invenția actuală oferă o rată de eșantionare aproape dublă, de 35 kHz, simultan pe toate canalele de achiziție, rezoluția oferită fiind foarte bună (16 biți). De aceea se pot realiza analize folosind FFT până la un ordin armonic de 350, net superior celui de maxim 192 realizabil cu sistemul din brevetul menționat mai sus. În plus, cele două tipuri de analize de tip wavelet implementate în programele originale dedicate, realizate pentru acest sistem nou, permit analiza simultană atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență până la ordinul armonic maxim egal cu 256, la rândul său mai mare decât vechea valoare de 192. Un modul software original permite estimarea energiei zgomotului electromagnetic care uzual poluează semnificativ formele de undă achiziționate în medii operaționale ca cel din jurul surselor de energie, urmată de eliminarea acestuia (o listă cu abrevieri se găsește la pag.22).

**Problema tehnică pe care o rezolvă invenția** constă în utilizarea unor metode originale, cu performanțe superioare, prin care se realizează o analiză combinată (în domeniul timp, în domeniul frecvență și, atunci când este necesar, în mod combinat timp-frecvență) a curenților și tensiunilor achiziționate la grupurile energetice de putere. Rezultatele analizei permit apoi realizarea unei diagnoze corecte a regimurilor operaționale analizate. Procesul de achiziție a datelor se realizează cu o rată de eșantionare foarte bună, parametrii achiziției fiind stabiliți de la distanță, de pe un server. Datele achiziționate se transferă apoi prin fibră optică la server, unde sunt prelucrate prin intermediul unui program complex, prevăzut cu interfață grafică prietenoasă. Programul conține un modul de denoizificare, un altul de stabilire automată a tipului de analiză corect în funcție de tipul datelor analizate, module pentru analiza FFT, analiza DWT și analiza compusă din DWT și WPT, care oferă operatorului informații referitoare la parametri de calitate rezultați, la încadrarea sau nu în anumite standarde și la posibilitatea realizării unei compensări complete de sarcină. Rezultatele analizelor și diagnozei se pot vizualiza pe interfața grafică și pot fi de asemenea salvate în fișiere .pdf pentru consultare

ulterioară.

O prezentare schematică a celor de mai sus este reprezentată în figura 1.

Metoda de diagnoză bazată pe analize în domeniile timp, frecvență și combinat utilizată la grupurile energetice de putere poate fi descrisă sintetic prin diagrama din figura 2. Astfel, această metodă folosește traductoare de măsură de tensiune și de curent, incluse într-un bloc de adaptare semnale electrice (BA), care preiau date de la un punct de măsurare a parametrilor energetici (PM) și transmit date despre semnalele de tensiune și curent preluate la o structură HW folosită pentru achiziția, stocarea și transferul datelor (MAS). Structura MAS, folosind firmware-ul încorporat, înregistrează și memorează datele sub forma unor fișiere cu date discrete, acestea putându-se transfera folosind cabluri sau fibră optică (caz în care se folosesc convertoare de tip RS232-fibră optică) către echipamentul de control și calcul (server - SE) care le memorează și totodată realizează, prin intermediul unui program dedicat (PAD) controlul procesului de achiziție/stocare și transfer al fișierelor de date gestionat de MAS, startând de la distanță achiziția datelor, afișând în timp real valorile achiziționate totodată configurând și parametrii care caracterizează achiziția.

Programul conține:

- un modul de denoizificare (DEN), prin care se estimează și elimină zgomotul electromagnetic asociat datelor din fișierele transferate la SER putând realiza acest lucru prin metode diferite, în funcție de opțiunile introduse de operator (OA);

- un modul (TA) pentru stabilirea tipului de analiză care se poate folosi în cazul datelor din fișierul analizat curent; modulul folosește rezultate preliminare generate de transformata discretă wavelet (DWT);

- un modul de analiză și diagnoză în domeniul frecvență (MF) care se bazează pe transformata Fourier rapidă; acest modul generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în monofazat/trifazat, diagramele spectrale pentru curenți, tensiuni și puteri, precum și diagramele fazoriale;

- un modul de analiză și diagnoză în domeniile timp-frecvență (MD) care se bazează pe DWT; modulul generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în monofazat/trifazat, diagramele de variație în timp ale vectorilor de detalii și diagramele folosite la calculul puterilor reactive în trifazat, specifice metodei;

- un modul (MW) de analiză și diagnoză în domeniile timp-frecvență care se bazează pe DWT și respectiv pe transformata de tip Wavelet Packet Transform (WPT) pentru a determina valorile numerice aferente momentelor de timp ale apariției unei abateri de la staționaritate și respectiv ordinelor armonice care s-au modificat odată cu apariția ei, totodată generând și

reprezentările grafice ale energiilor nodurilor WPT modificate;

- un modul (GF) care permite generarea de fișiere cu rezultatele generate de diferitele tipuri de analize, care se salvează pe disc;

- o interfață grafică (IF), care permite selectarea fișierelor care urmează a fi supuse analizei, reprezentarea grafică a datelor din fișiere, startarea unui anumit tip de analiză cu afișarea principalelor rezultate pe interfața grafică și optarea pentru analize care generează fișiere cu rezultate.

**Avantaje invenției sunt următoarele:**

- achiziționarea de date cu o rată de eșantionare foarte bună, cu precizia oferită de rezoluția pe 16 biți, astfel fiind posibile armonice până la armonica 300 prin utilizarea FFT, respectiv până la armonica 256 prin utilizarea wavelet;
- transferul datelor de la punctul de achiziție la serverul de prelucrare prin fibră optică, cu avantajele implicite relativ la imunitate electromagnetică și viteză de transmitere;
- realizarea denoizificării peste armonica prag 40 prin calcul automat al zgomotului, sau doar eliminarea componentelor de frecvență înaltă ce depășesc un anumit prag, putându-se folosi unul impus de utilizator, din setul celor acceptate de topologia particulară a arborilor de descompunere WPT, chiar și pentru semnale cu abateri mari de la periodicitate/staționaritate;
- stabilirea automată a celei mai potrivite metode de analiză (FFT sau wavelet);
- calcul mai precis al indicilor de calitate a puterii dacă există deviații semnificative de la staționaritate ale semnalului descompus (în esență lipsa simetriei dintre semiperioadele ce formează o perioadă) prin utilizarea transformatei DWT;
- posibilitatea de a identifica momentul apariției unei perturbații (analiză în domeniul timp), simultan cu identificarea ordinelor armonice implicate în apariția acesteia (analiză în domeniul frecvență), deci realizarea unei analize combinate;
- reducerea semnificativă (cu un factor egal cu 8) a timpului necesar analizelor wavelet prin utilizarea unor tehnici computaționale inovative printre care se regăsesc: analiză preliminară cu transformata DWT, cu rol de selectare a nodurilor din arborele WPT și/sau etichetarea nodurilor din arborii WPT pentru crearea de subarbori care optimizează descompunerea, utilizarea de descompuneri asimetrice în cazul nodurilor WPT și respectiv trunchierea inteligentă a filtrelor funcțiilor mamă, cu diminuare minimală a preciziei în favoarea timpului de execuție;

Se furnizează în continuare două exemple de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1-29, care reprezintă:

- fig. 1, prezentare de ansamblu a instrumentelor hardware și software realizate;

- fig. 2, reprezentare sintetica pentru metoda de diagnoză bazată pe analize în domeniile timp, frecvență și combinat utilizată la grupurile energetice de putere;
- fig. 3, diagrama conceptuală a unui sistem utilizat pentru achiziția, stocarea temporară și transmiterea la distanță a datelor preluate dintr-un punct de măsură;
- fig. 4, modulul folosit pentru primul exemplu de realizare a invenției (denumit SAD1);
- fig. 5, surse de alimentare pentru diverse părți ale modulelor MAS și a modulelor de condiționare a semnalelor de tip curent (CC-LEM): (a) surse de tipul MDR 20-12; (b) module de conversie de tip RS 232-MM; (c) surse de tip HDR 15-5 pentru adaptoarele de comunicație;
- fig. 6, modul de conectare al modulelor de condiționare a semnalelor electrice CC-LEM din Fig. 3
- fig. 7, conectarea bornelor de ieșire ale modulelor de condiționare CC-C500 corespunzătoare fiecărei faze, împreună cu sursa de alimentare de tip HDR 15-5 pentru adaptoarele de comunicație
- fig. 8, modulele de condiționare CC-C06, CC-A100 și siguranțele automate pentru primul exemplu de realizare al invenției;
- fig. 9, interfață grafică pentru interacțiunea cu operatorul uman;
- fig. 10, diagrama pentru programul de analiză și diagnoză a datelor stocate (PAD);
- fig. 11, diagrama cu pașii parcurși pentru descompunerile armonice cu FFT sau DWT sau WPT;
- fig. 12, diagrama pentru determinarea mapărilor și ponderilor energetice;
- fig. 13, sistemele de curenți și tensiuni pentru primul caz de aplicare al invenției după eliminarea zgomotului;
- fig. 14, o perioadă din sistemele de curenți și tensiuni pentru primul caz de aplicare al invenției înainte de eliminarea zgomotului;
- fig. 15, spectrele armonice ale puterilor active și reactive generate de analiza FFT, pentru primul caz de aplicare al invenției după eliminarea zgomotului;
- fig. 16, diagrama fazorială corespunzătoare armonicii fundamentale, generată de analiza FFT, pentru primul caz de aplicare al invenției după eliminarea zgomotului;
- fig. 17, vectorii de detalii generați pentru curentul  $i_1$  utilizând analiza DWT, înaintea denoizificării, pentru primul caz de aplicare al invenției;
- fig. 18, vectorii de detalii generați pentru nivelurile 1...4 pentru curentul  $i_1$  utilizând analiza DWT, după denoizificare, pentru primul caz de aplicare al invenției;
- fig. 19, diagramele generate de analiza DWT, pentru modul în care formele de undă asociate curenților sunt defazate și suprapuse pentru a calcula puterile active și reactive în sistem trifazat,



pentru primul caz de aplicare al invenției;

- fig. 20, două perioade comparate, suprapuse din care se observă că perioada a 2-a nu mai coincide cu prima începând din momentul de timp asociat eșantionului cu numărul 200, pentru primul caz de aplicare al invenției;

- fig. 21, exemplificare pentru modul în care programul selectează automat nodurile cele mai afectate energetic, pentru primul caz de aplicare al invenției;

- fig. 22, sistemele de curenți și tensiuni după eliminarea zgomotului preluate de la bornele generatorului principal al unui grup energetic de putere, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 23, o perioadă din sistemele de curenți și tensiuni înainte de eliminarea zgomotului preluate de la bornele generatorului principal al unui grup energetic de putere, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 24, spectrele armonice ale tensiunilor și curenților preluate de la bornele generatorului principal al unui grup energetic de putere, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 25, rezultatele numerice generate de analiza FFT, afișate pe interfața grafică, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 26, rezultatele numerice generate de analiza DWT, afișate pe interfața grafică, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 27, evidențierea simetriei sistemelor de curenți cu ajutorul diagramelor DWT, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 28, sus - prima semiperioadă suprapusă peste a 2-a semiperioadă (simetrizată) din curentul și tensiunea primei faze, cazul 1; jos - diferențele dintre acestea, pentru al doilea caz de aplicare al invenției;

- fig. 29, explicativă pentru revendicări.

În fig. 3 este reprezentată diagrama conceptuală a unui sistem utilizat pentru achiziția, stocarea temporară și transmiterea la distanță a datelor preluate dintr-un punct de măsură. În această diagramă, prin  $I_x$  s-au notat curenții de fază achiziționați și prin  $U_x$  s-au notat tensiunile (în care  $x$  specifică faza - R, S, T: IR, IS, IT pentru curenți, respectiv UR, US, UT pentru tensiuni). Notățiile UN și IN se pot folosi pentru o tensiune respectiv un curent care se alege în funcție de mărimile particulare care prezintă interes în contextul operațional în care se află punctul de test.

Un modul de achiziție, stocare și transfer al datelor din fig. 3, MAS, are:

- 8 canale analogice de intrare, configurabile, care permit achiziția datelor cu o rată de eșantionare de 35 kHz;

- firmware pentru: (a) eșantionare sincronă a semnalelor analogice de intrare, cu

parametrii setabili; (b) stocarea temporară a datelor; (c) transferul datelor; (d) setarea parametrilor configurabili;

- o construcție monobloc, cu accesorii necesare instalării mecanice și electrice în panourile electrice aferente instalațiilor electrice monitorizate;

- un port local de comunicație serială RS232 cu separare galvanică, pentru configurare și transfer date și port de comunicație serială, la distanță, prin fibră optică (FO) Multi Mode cu o lungime de maxim 2 km, pentru configurare și transfer date.

În componența unui modul de achiziție, stocare și transfer al datelor, MAS, intră următoarele blocuri electronice:

- unitate centrală de procesare locală și comunicație, de tip VDX 6354RD, care este în esență o soluție de tip single board computer și are rolul de a furniza toate semnalele pentru controlul funcționării modului;

- două blocuri electronice pentru conversia A/D sincronă, fiecare deserving câte 4 dintre canalele analogice de intrare;

- două blocuri electronice pentru condiționarea semnalelor analogice de intrare, fiecare deserving câte 4 canale analogice de intrare;

- bloc electronic pentru conversie din semnale electrice pentru transfer serial RS232 la semnale optice pentru transfer prin fibră optică;

- bloc electronic de conversie DC/DC, cu separare galvanică, care generează tensiunile de alimentare stabilizate pentru întregul MAS (+5V, respectiv +/-12V).

Caracteristicile principale ale unității VDX 6354RD utilizate pentru această configurație sunt: microprocesor Vortex86DX-800MHz, magistrală PC/104, AMI BIOS, memorie pentru uzul sistemului de 512MB de tip DDR2 pe placă, timer Watchdog, 3 porturi RS-232, convertor +5V/740mA, temperatură de operare: -20°C ~ +70°C.

Spre deosebire de sisteme de achiziție de generație mai veche, fiecare canal de achiziție al modului MAS folosește un convertor A/D, astfel că se realizează simultan eșantionarea tuturor intrărilor simultan. Rezoluția conversiei analog-digitale este de 14 biți, iar rezultatele conversiilor se citesc succesiv, cu viteză mare, din regiștrii interni ai convertoarelor.

Funcționarea modului MAS este gestionată de o aplicație SW (firmware), care se lansează în execuție în mod automat la alimentarea modului. Aceasta asigură dialogul cu echipamentul de calcul de la care primește comenzile pe care urmează să le execute (acestea fiind implementate în firmware), precum și transferul datelor achiziționate către acesta.

Fig. 4 prezintă modulul folosit (vedere din față (a), respectiv vedere din spate – (b)) pentru primul exemplu de realizare a invenției (denumit SAD1). Protecția unui modul MAS la

scurtcircuit se realizează prin intermediul siguranțelor automate, acestea fiind notate cu „SIG” – în Fig. 3.

Alimentarea modulelor MAS și a modulelor de condiționare a semnalelor de tip curent (CC-LEM) se face prin surse de tipul MDR 20-12, așa cum apar în Fig. 5 (a) în partea stângă. S-a selectat acest tip de sursă pentru următoarele caracteristici: (a) transformă tensiunea alternativă de 230 Vc.a în tensiune de c.c. de 12 V, sursa fiind proiectată pentru o gamă de curent de ieșire din gama [0-1,67] A; (b) are o putere nominală de 200 W; (c) acceptă valori maxime pentru tensiunea de riplu și zgomot de 120 mV vârf-la-vârf. Alimentarea adaptoarelor de comunicație pentru fibră optică Multi Mode (RS232-MM) se realizează prin intermediul surselor de tipul HDR 15-5 (așa cum apar în Fig. 5 (c) în partea dreaptă), care transformă tensiunea de  $\pm 230$  Vc.a în tensiune de  $\pm 5$  Vc.c, furnizând un curent de ieșire de 2,4 A și fiind caracterizată de o putere de ieșire maximă de 12 W. Modulele de conversie de tip RS 232-MM, (așa cum apar în Fig. 5 (b) în centru) realizează interfața HW de la o linie serială RS 232 la fibra optică Multi Mode. Un astfel de modul asigură conversia de la semnale electrice la semnale optice și invers pentru semnalele de recepție (RxD) și transmisie (TxD) aferente protocolului RS 232. În exemplele de realizare se utilizează conectoare pentru fibră optică de tip ST.

Achiziționarea semnalelor de tip curent aferente fazelor R, S, T se realizează prin intermediul modulelor de condiționare a semnalelor electrice CC-LEM din Fig. 3, cu explicațiile legate de modul de conectare din Fig. 6. Domeniul de intrare pentru un astfel de modul este de 0...50 A c.a., mărimea de ieșire fiind un semnal de tip curent alternativ în gama 0-20 mA. În componența acestor module se regăsesc traductoare de curent de tip LA 55-P a căror sensibilitate poate fi mărită prin utilizarea unor spire suplimentare.

Semnalele transmise de la modulul MAS prin intermediul fibrei optice Multi Mode ajung într-o primă etapă la adaptorul de comunicație pentru fibră optică Multi mode RS232-MM, unde sunt convertite, urmând ca mai apoi acestea să fie transmise către adaptorul de comunicație RS232-USB de unde sunt transmise în forma finală la echipamentul pentru transferul datelor de la modulele de achiziție și de stocare a acestora.

Sunt date în continuare două exemple de utilizare a invenției cu referire la sistemele de achiziții de date pentru achiziția, memorarea, transferarea și prelucrarea semnalelor electrice:

Pentru primul exemplu de realizare a invenției, sistemul este dedicat achiziției, memorării, transferării și prelucrării semnalelor electrice caracteristice asociate secundarului transformatorului pentru alimentarea excitației de la un grup energetic de putere care alimentează redresoarele trifazate cu tiristoare. În acest caz achiziționarea semnalelor de tip tensiune pentru U1, U2, și U3 se realizează prin conectarea bornelor de ieșire ale modulelor de

condiționare CC-C500 corespunzătoare fiecărei faze – așa cum se poate vedea în Fig. 7. Un astfel de modul primește la intrare o tensiune din gama 0...500 V, generând la ieșire un semnal de tensiune compatibil cu intrările de tip U ale MAS-ului (tensiuni continue de maxim 5 V).

Semnalul achiziționat pe canalul U4 reprezintă tensiunea de c.c. de la bornele redresorului de 800 V. Această tensiune este adaptată prin intermediul unei rezistențe, astfel încât semnalul poate fi condiționat prin intermediul unui modul CC-A100, care admite la intrare o tensiune de c.a. de maxim 700 V c.a., furnizând la ieșire o tensiune de c.c. cu modul de maxim 5 V. Semnalul achiziționat pe canalul I4 reprezintă curentul total prin redresoarele din circuitul de excitație, curentul fiind convertit prin intermediul unui șunt până ce ajunge în plaja 0...60 mV c.c. , care reprezintă gama de valori acceptată la intrarea modului de condiționare CC-C06. Acest modul furnizează la ieșire un curent de 0...10 mA c.c.

În fig. 8 se pot observa modulele de condiționare CC-C06, CC-A100 și siguranțele automate menționate mai sus.

Pentru al 2-lea exemplu de realizare a invenției, achiziționarea semnalelor de tip tensiune se realizează conectând în mod direct fazele R, S, T la canalele sistemului de achiziție corespunzătoare. Sistemul este folosit pentru achiziționarea a 3 tensiuni de fază înregistrate la bornele unui generator de 330 MW, fiind necesare lanțuri de transformatoare pentru a se obține valorile de intrare pentru MAS. Semnalele aferente curenților de la bornele generatorului sincron au fost inițial preluate din secundarul transformatoarelor de curent cu raportul de transformare 10.000 A / 5 A – și, folosind CC-LEM-uri, s-a realizat maparea (-20 ... +20) mA.

Canalul I4 s-a utilizat pentru monitorizarea curentului care circulă prin neutrul generatorului principal; înregistrarea s-a realizat de la transformatoarele de curent ale grupului energetic cu raportul de transformare 20 / 5 A.

Achiziția, transferul și stocarea valorilor achiziționate aferente semnalelor electrice se realizează folosind un program dedicat, prevăzut cu interfață grafică pentru interacțiunea cu operatorul uman (fig. 9).

Principalele operațiuni care se pot realiza prin intermediul acestui program sunt: (a) setarea parametrilor pentru realizarea înregistrărilor (datele pot fi preluate la momentul curent sau în mod automat, la momente prestabilite de timp, iar numărul de eşantioane consecutive achiziționate poate fi setat); (b) transferul valorilor curenți ale intrărilor achiziționate de către unitatea de achiziție a datelor PC-09; (c) construirea unui grafic al valorilor curenți pentru intrările analogice, cu evoluția on-line a acestor valori; (d) transferul la cerere al conținutului unei înregistrări realizate de sistemul de achiziție și salvarea acestei înregistrări în vederea vizualizării și analizării ulterioare; (e) exportarea fișierelor care au extensia .REC8CHN, specifică

programului de achiziție, în formatul .DAT.

Formatul fișierelor de date .DAT este compatibil cu orice aplicație de analiză a înregistrărilor deoarece conține caractere ASCII grupate în entități separate prin virgulă. Într-o linie dintr-un astfel de fișier se regăsesc, următoarele informații: numărul curent al setului de eșantioane preluate simultan pe toate canalele, identificatorul sistemului de achiziție, 8 numere care reprezintă valorile achiziționate efectiv de sistemul de achiziție pe fiecare canal.

Programul de analiză și diagnoză a datelor stocate (PAD) este elaborat în Matlab și rulează sub Windows. Acest program utilizează 3 tipuri de date de intrare: (a) parametrii statici, în această categorie intrând factorii de scară și valorile offset-urilor pentru fiecare canal, tipul funcției mamă folosit de filtrarea trece-jos bazată pe WPT, precum și fișierele de date statice, originale, folosite în timpul descompunerilor de tip WPT și DWT; (b) parametrii configurabili, adică valoarea de prag pentru raportul SNR, parametrii utilizați de algoritmul original de separare a frecvențelor de tip „filtru trece-jos” implementat pe baza transformatei WPT, ponderea minimă a armonicilor afișate de analiza FFT, precum și tipul de denoizificare (cu sau fără WPT); (c) fișiere cu date achiziționate, în format .DAT, selectabile din interfața grafică.

Diagrama bloc din figura 10 prezintă principalele acțiuni realizate de PAD pentru a determina componentele utile ale semnalelor achiziționate, folosite pentru analiza de tip FFT, DWT sau WPT. Astfel, se estimează într-un mod original (folosind combinații liniare între energiile primilor 3 vectori de detalii generați de descompunerea DWT) energia zgomotului datorat interferențelor electromagnetice care poluează formele de undă de tip curent, respectiv tensiune. Apoi, folosind aceste estimări ale energiei, se estimează variația în timp a zgomotului care a poluat fiecare dintre semnalele achiziționate. În continuare, doar dacă valoarea calculată pentru SNR este mai mică decât valoarea prag furnizată ca dată de intrare, se înlătură din semnalele achiziționate componentele ale căror frecvențe depășesc frecvența de tăiere (dacă se folosește metoda originală bazată pe WPT), respectiv frecvența aferentă armonicii 41 (dacă se folosesc funcțiile de denoizificare specializate din Matlab).

După parcurgerea acestor pași se obțin semnalele care urmează a fi analizate, prin descompunere cu diferite transformate în funcție de caracteristicile lor.

Diagrama din figura 11 descrie pașii parcurși în continuare. Astfel, dacă vectorul de detalii aferent primului nivel al arborelui de descompunere DWT nu prezintă deviații semnificative (salturi de amplitudine mare), se optează pentru analiza ce folosește descompunerea bazată pe FFT.

Dacă însă sunt detectate astfel de deviații, condițiile de aplicare a transformatei FFT nu sunt îndeplinite. Valorile corecte pentru indicii de calitate a puterii se calculează în acest ultim

caz folosind vectorii de detalii pentru toate nivelurile arborelui de descompunere DWT, precum și vectorul de aproximări aferent celui de-al 7-lea nivel.

Momentul de timp în care a apărut devierea de la staționaritate este acela în care a apărut deviația în VD1. Analizele de tip Wavelet oferă însă informații și în domeniul frecvență, nu doar în domeniul timp.

De aceea, pentru identificarea gamelor de frecvențe cărora li se datorează abaterea de la staționaritate localizată în domeniul timp prin intermediul VD1 este necesară compararea unei perioade de regim staționar cu perioada unde s-a detectat abaterea de la staționaritate. În acest scop, deoarece interesează doar modificările din spectrul armonic aferente frecvențelor scăzute, se compară energiile vectorilor  $VD_x$  (cu  $x=4...7$ ) și, în funcție de numărul de nivele afectate și respectiv de indicele lor, se realizează într-un mod original descompuneri WPT optimizate din punctul de vedere al timpului de execuție și al consumului de memorie. Optimizarea se bazează pe asocierile existente între vectorii  $VD_x$  ale căror energii diferă între cele două perioade și respectiv vectorii găzduiți de nodurile din nivelului 7 al arborilor WPT.

Descompunerea WPT optimizată furnizează vectorii găzduiți de nodurile selectate din nivelul 7 al arborelui WPT. Acum se pot calcula și compara (între cele două perioade) energiile acestor vectori. Pașii parcurși în continuare sunt reprezentați în fig. 12. Astfel, mai întâi se calculează diferențele între energiile nodurilor și se evaluează maximumul dintre valorile absolute ale acestor diferențe ( $\Delta E_{nodmax}$ ).

Se construiește un set (Safectat) ce conține informații despre nodurile a căror energie a fost modificată cu o valoare de minim  $0,3 \times \Delta E_{nodmax}$ . Safectat se sortează apoi descrescător după valorile absolute ale variațiilor de energie și se calculează mapările dintre indicele fiecărui nod selectat și armonicile primară (totdeauna) și secundară (doar când există) care îi afectează energia. Astfel se detectează și afișează armonicile care au o contribuție semnificativă la abaterea de la staționaritate, în ordinea impusă de valoarea absolută a acestei contribuții.

Rezultatele generate de PAD sunt afișate atât sub formă grafică, cât și ca valori numerice. Atât descompunerea bazată pe FFT cât și cea bazată pe DWT calculează indicii de putere pentru curenții și tensiunile de fază și respectiv sistemul trifazat și generează următoarele rezultate numerice:

- (a) Pentru fiecare fază, atât pentru tensiuni cât și pentru curenți:
  - Spectrele pentru armonicile cu pondere peste valoarea prag aleasă de utilizator (linii formate din: ordinul armonic, valoarea efectivă, defazajul față de fundamentală (în grade hexazecimale) și ponderea amplitudinii față de fundamentală (în procente);
  - Valorile efective (totale și respectiv pe fundamentală);
  - Valorile reziduurilor deformante;

- Distorsiunile armonice totale;
- Factorii de putere;
- Valorile maxime și factorii de vârf.

(b) Pentru fiecare fază, valorile puterilor active, reactive și aparente (per total și respectiv pentru fundamentală), precum și puterile deformante totale.

(c) Pentru sistemul trifazat, valorile puterilor active, reactive și aparente (per total și respectiv pentru fundamentală), puterea deformantă totală, factorul de putere total și factorul de putere de deplasare.

În plus, descompunerea bazată pe DWT generează următoarele rezultate numerice specifice acestui tip de transformată:

(a) Pentru fiecare fază:

- puterile aparente fara aproximari și puterile neactive , atât pentru tensiuni cât și pentru curenți;

- puterile deformante ale curentului și respectiv tensiunii;
- factorii de putere de deplasare (dPF) și respectiv oscilanți.

(b) Pentru sistemul trifazat:

- atât pentru curenți cât și pentru tensiuni : valorile eficace totale, de tip „nod zero” ( $I_z$  și  $U_z$ ) și respectiv de „nod non-zero” ( $I_{nz}$  și  $U_{nz}$ ), distorsiunile armonice totale echivalente (THDI și THDU), raporturile de distorsiune echivalente (DI și DU) și puterile de distorsiune (DeI și DeU);;

- puterea activă a aproximărilor ( $P_{app\_plus}$ ) și detaliilor ( $P_{det}$ );

- puterile aparente de mai multe tipuri: cea efectivă calculată cu formulă specifică DWT (SE), cea efectivă asociată aproximărilor ( $Se_{app}$ ), cea efectivă de tip „non-aproximări” ( $Se_N$ ), cea efectivă asociată detaliilor ( $S_{det}$ );

- puterea non-activă (N) ;

- puterea reactivă a aproximărilor ( $Q_{app\_plus}$ ),

- puterile de dezechilibru: cea asociată aproximărilor ( $Su_{app}$ ) și respectiv cea asociată detaliilor ( $Su_{det}$ );

- factorul de putere al aproximărilor pentru secvența directă ( $PF_{app\_plus}$ )

- poluarea datorată detaliilor (DP trifazat) și dezechilibrul de sarcina (LU).

Descompunerea bazată pe transformata WPT generează informații despre armonicile care s-au modificat cel mai mult între cele două perioade comparate. Astfel, pentru fiecare nod care face parte din mulțimea ordonată în sens descrescător al valorilor absolute ale variațiilor energiilor nodurilor între cele două perioade, se precizează: indexul nodului, numărul armonicii

principale (cea care afectează cel mai mult nodul) și respectiv al celei secundare (dacă există), valoarea absolută a diferenței apărute în energia nodului și valoarea procentuală a acestei diferențe, relativ la energia primei perioade.

Reprezentările grafice generate de descompunerea bazată pe FFT sunt următoarele:

- Spectrele pentru armonicile de curent și tensiune, a căror pondere depășește valoarea prag aleasă de utilizator;
- Spectrele armonice asociate atât puterilor de fază, active și reactive, cât și puterilor totale active și reactive;
- Diagramele fazoriale pentru tensiuni și curenți.

Reprezentările grafice generate de descompunerea bazată pe DWT sunt următoarele:

- Curbele de variație în timp a vectorilor de detalii pentru toate nivelele arborilor de descompunere atât pentru curenți cât și pentru tensiuni;
- Diagramele folosite pentru calculul puterilor trifazate.

Descompunerea bazată pe WPT oferă reprezentări grafice sub formă de bare ale perechilor de energii calculate pentru nodurilor selectate (corespunzătoare perioadelor comparate) în funcție de indecșii nodurilor.

Atât rezultatele numerice cât și cele grafice pot fi salvate în fișiere, programul creând nume de directoare sugestive pe baza datei și orei la care s-au achiziționat datele analizate.

Programul PAD este dezvoltat pe baza unor module care pot fi apelate și independent prin intermediul unei interfețe grafice, ca de exemplu cea reprezentată în fig. 13. În cadrul acesteia datele de intrare statice sunt preluate din fișiere iar comunicarea între module se realizează prin intermediul unor fișiere cu date temporare sau variabile globale. Dialogul cu utilizatorul se realizează fie prin controale incorporate în interfață, fie prin casete de dialog (pentru preluarea valorilor parametrilor configurabili).

Această interfață a fost concepută pentru cazul în care există 8 SAD-uri, grupate câte 4. Astfel, grupul de controale „Sistem selectat” permite specificarea SAD-ului care a preluat datele ce urmează a fi analizate, aceste date fiind salvate într-un fișier salvat în directorul asociat SAD-ului respectiv. Fișierul se selectează apoi apăsând butonul identificat prin numele „Selectie date”.

Grupul de controale denumit „Afișaje interfata” permite alegerea tipului de informații care se vor afișa. Selectarea opțiunii „Curbe marimi trifazate” va conduce la o afișare a curbelor sistemului trifazat de tensiuni (stânga - sus) și respectiv de curenți (stânga - jos), așa cum se observă în figura 13. Opțiunea „Curbe u4/i4” se folosește pentru a reprezenta curbele achiziționate pe canalele u4 și respectiv i4, afișarea realizându-se în partea stângă a interfeței. Dacă se selectează una dintre opțiunile „Valori numerice ...”, se vor afișa prin intermediul



interfeței grafice valorile celor mai importanți indici de calitate a puterii pentru cazurile monofazat și respectiv trifazat, așa cum se poate observa în figurile 25, 26. Salvarea rezultatelor bazate pe FFT, respectiv pe analize wavelet se realizează prin intermediul controalelor din grupul „Generare fișiere rezultate”.

Sunt prezentate în continuare două exemple de realizare a invenției pentru partea de prelucrare a datelor, care oferă posibilitatea diagnozei, corespunzătoare cu cazurile prezentate anterior pentru înregistrări.

Un prim exemplu de realizare a invenției se referă la un set de date preluate din secundarul transformatorului pentru alimentarea excitației de la un grup energetic de putere. Sistemele de curenți și tensiuni după eliminarea zgomotului sunt reprezentate în fig. 13. Figura 14 reprezintă o perioadă din aceste semnale înainte de eliminarea zgomotului.

Figura 15 reprezintă spectrele armonice ale puterilor active și reactive generate de analiza FFT, iar figura 16 reprezintă diagrama fazorială corespunzătoare armonicii fundamentale, generată de același tip de analiză, ambele figuri fiind generate pentru semnalele fără zgomot.

Analiza DWT a generat pentru curentul  $i_1$ , înaintea denoizificării, vectorii de detalii reprezentați în fig. 17. După denoizificare, vectorii de detalii DWT pentru nivelurile 1...4 calculați pentru același curent au variația reprezentată de fig. 18. Cei pentru nivelurile 5...7 nu mai sunt reprezentați deoarece sunt identici în ambele cazuri (componentele de frecvențe înalte asociate zgomotului și eliminate în urma denoizificării nu afectează ultimele nivele). Se observă cum prezența zgomotului „maschează” salturile bruște din vectorii de detalii de pe nivelul 1 și astfel se demonstrează că denoizificarea este recomandată pentru regimuri de acest tip.

Diagramele din fig. 19, generate de analiza DWT, reprezintă modul în care formele de undă asociate curenților sunt defazate și suprapuse pentru a calcula puterile active și reactive în sistem trifazat. Sunt evidențiate odată în plus nesimetriile și abaterile de la formele de undă ideale sinusoidale de către curenții din sistemul de trifazat analizat.

Pentru un alt segment dintr-un curent preluat de la acest punct de test în timpul unui regim tranzitoriu se exemplifică modul original de identificare a ordinelor armonice responsabile pentru modificarea spectrului de frecvențe între două perioade, în condițiile în care transformata FFT nu se poate aplica (nu există simetrie între semiperioadele perioadei afectate de schimbare). Fig. 20 prezintă cele două perioade comparate, suprapuse. Se observă că perioada a 2-a nu mai coincide cu prima începând din momentul de timp asociat eșantionului cu numărul 200.

Programul selectează automat nodurile cele mai afectate energetic și le reprezintă așa cum reiese din fig. 21. Rezultatele numerice evidențiază faptul că au fost afectate doar

armonicile 3,5,7 și 9 prin intermediul liniilelor care descriu ordinele armonice dominante și respectiv minore care pot influența nodurile cele mai afectate:

-----  
nodurile cele mai afectate considerand valoarea absoluta

nod nr.4 dif. energ. abs.=-230067692.9144, diferenta [%]=-1231.5899

ord. arm.dominanta=5 / pondere in nod=0.98293

-----  
nod nr.3 dif. energ. abs.=-199563550.0489, diferenta [%]=-1514.6389

ord. arm.dominanta=7 / pondere in nod=0.84869/ ord. arm.minora=9 / pondere in nod=0.15067

-----  
nod nr.7 dif. energ. abs.=-34627567.5574, diferenta [%]=-1485.6669

ord. arm.dominanta=9 / pondere in nod=0.84862 / ord. arm.minora=7 / pondere in nod=0.15068.

-----  
nod nr.2 dif. energ. abs.=-32718476.2424, diferenta [%]=-348.9429

ord. arm.dominanta=3 / pondere in nod=0.98131

Un al 2-lea exemplu de realizare a invenției se referă la un set de date preluate de la bornele generatorului principal al unui grup energetic de putere. Sistemele de curenți și tensiuni după eliminarea zgomotului sunt reprezentate în fig. 22. Figura 23 reprezintă o perioadă din aceste semnale înainte de eliminarea zgomotului.

Curenții și tensiunile în acest al 2-lea caz sunt foarte puțin distorsionate, așa cum reiese și din spectrele armonice din fig. 24 precum și din fig. 25, care prezintă rezultatele numerice generate de analiza FFT și respectiv fig. 26, care prezintă rezultatele numerice generate de analiza DWT, afișate pe interfața grafică.

Simetria sistemelor de curenți și tensiuni este evidențiată și de diagramele DWT, cea pentru curenți fiind prezentată în fig. 27.

Tabelul I prezintă valorile calculate pentru principalii indici de calitate a puterii folosind analiza FFT, respectiv analiza DWT, pentru ambele cazuri de realizare a invenției prezentate mai sus. În acest tabel se prezintă de asemenea 3 tipuri de diferențe relative procentuale. Diferența de tip 1 reprezintă diferența între valoarea efectivă totală calculată cu sume Riemann și cea calculată cu FFT, cea de tip 2 reprezintă diferența de tip „Riemann versus DWT” iar cea de tip 3 reprezintă diferențe de tip „FFT versus DWT”.

Diferențele de tip “metoda 1 versus metoda 2” se calculează cu formula:

Diferența = ((rezultat obținut prin metoda 1) - (rezultat obținut prin metoda 2)) / (rezultat obținut prin metoda 1) \* 100.

Tabelul I

	Indice de calitate	Metoda de calcul	Cazul 1			Cazul 2			
			Nr. Fază			Nr. Fază			
			1	2	3	1	2	3	
Curenți	RMS totală [A]	Riemann	1165,67	697,41	1423,3	6841,37	6995,1	6790,2	
		FFT	1166,15	697,42	1424,8	6849,38	6955,25	6796,28	
		Diferența tip 1 [%]	-0,041	-0,0014	-0,10	-0,0012	-0,0001	-0,0009	
		DWT	1165,7	696,74	1425,4	6853,7	6948,6	6798	
		Diferența tip 2 [%]	-0,0026	0,09	-0,1475	-0,0018	0,0009	-0,0011	
		Diferența tip 3 [%]	0,039	0,097	-0,044	-0,063	0,096	-0,025	
	RMS pe frecv. fundamentală [A]	FFT	1099,7	667,8	1363,6	6848,8	6954,8	6795,9	
		DWT	1099,5	670,4	1364,8	6853,5	6948,6	6798	
		Diferența tip 3 [%]	0,018	-0,389	-0,09	-0,069	0,089	-0,03	
	RMS reziduu deformat [A]	FFT	387,99	199,66	411,64	55,64	53,3	61,6	
		DWT	387,23	189,76	411,27	52,81	60,1	70,47	
		FFT vs DWT [%]	0,196	4,958	0,09	5,086	-12,75	-14,346	
	Factor de distorsiune [%]	FFT	33,27	28,62	28,89	0,81	0,77	0,91	
		DWT	35,21	28,3	30,13	0,77	0,86	1,03	
		Diferența tip 3 [%]	-5,831	1,118	-4,292	4,938	-11,688	-13,187	
	Tensiuni	RMS totală [V]	Riemann	625,62	619,44	608,7	2083311	2092018	2100184
			FFT	625,62	619,09	609,28	2083334	2092020	2100207
			Diferența tip 1 [%]	0,0003	0,0565	-0,0954	-0,0011	-0,0001	-0,0011
			DWT	625,14	617,89	610,49	2083332	2092019	2100205
			Diferența tip 2 [%]	0,0767	0,2502	-0,294	-0,0015	0,001	-0,0016
Diferența tip 3 [%]			0,0764	0,1938	-0,1984	9,6x x10 <sup>-5</sup>	4,78 x10 <sup>-5</sup>	9,52 x10 <sup>-5</sup>	
RMS pe frecv. fundamentală [V]		FFT	609,36	603,23	592,57	2082361,2	2091178,4	2099309,6	
		DWT	609,45	602,83	593,06	2083401,1	2090099	2101300,1	
		Diferența tip 3 [%]	-0,0144	0,0674	-0,0822	-0,0499	0,0516	-0,0948	
RMS reziduu		FFT	141,69	139,17	141,7	63670,8	58720,1	61167,8	
		DWT	139,17	135,39	144,81	61019,9	61699,1	62573,1	

	deformant [V]	Diferența tip 3 [%]	1,776	2,719	-2,196	4,163	-5,073	-2,297
	Factor de distorsiune [%]	FFT	22,64	22,48	23,25	3,056	2,807	2,913
		DWT	22,83	22,49	24,41	2,93	2,95	2,98
		Diferența tip 3 [%]	-0,839	-0,044	-4,989	4,129	-5,098	-2,318
Puteri	Puterea activă totală [W]	FFT	675849	389220	802981	14232410849	14496179844	14212705381
		DWT	672870	388480	810241	14249002901	14469923453	14225028341
		Diferența tip 3 [%]	0,441	0,190	-0,904	-0,117	0,181	-0,087
	Puterea activă pe frecv. fundamentală [W]	FFT	670115	389138	796684	14232016428	14495945300	14212136901
		DWT	670059	388399	797891	14248000321	14467999102	14223000321
		Diferența tip 3 [%]	0,008	0,19	-0,151	-0,112	0,193	-0,076
	Puterea reactivă totală [Var]	FFT	5738,55	93976	119431	918246492	117926306	1246601448
		DWT	54154	114650	147910	930890111	1191108212	1247609921
		Diferența tip 3 [%]	-843,69	-22	-23,85	-1,377	-1,004	-0,081
	Puterea reactivă pe frecv. fundamentală [Var]	FFT	-716,73	104180	134819	919490220	1179007868	1246728581
		DWT	600,72	111730	135951	930890012	1191100020	1247601229
		Diferența tip 3 [%]	183,81	-7,25	-0,84	-1,24	-1,026	-0,07
	Puterea aparentă totală [VA]	FFT	729564	431765	868088	14269564636	14550521223	14273584975
		DWT	728719	430518	870189	14285111929	14523998111	14284001920
		Diferența tip 3 [%]	0,116	0,289	-0,242	-0,109	0,182	-0,073
	Puterea aparentă pe frecv. fundamentală [VA]	FFT	670116	402843	808011	14261688325	14543812764	14266715370
		DWT	670089	404149	809391	14279192324	14516929832	14277019121
		Diferența tip 3 [%]	0,0039	-0,3243	-0,1709	-0,1227	0,1848	-0,072
Factori	Factori de vârf curenți	FFT	1,5486	1,44	1,433	1,44	1,427	1,4244
		DWT	1,5493	1,4404	1,432	1,439	1,428	1,424
		Diferența tip 3 [%]	-0,045	-0,028	0,09	0,069	-0,07	0,028
	Factori de vârf tensiuni	FFT	2,6142	2,5453	2,4352	1,3847	1,387	1,388
		DWT	2,291	2,0336	2,309	1,3841	1,388	1,387
		Diferența tip 3 [%]	12,363	20,1038	5,182	0,0433	-0,0721	0,072
	Valori maxime	FFT	1805,94	1004,27	2041,83	9864,82	9925,85	9680,67
		DWT	1806	1003,6	2040,8	9863,9	9925,79	9680,7

curenți	Diferența tip 3 [%]	-0,0031	0,066	0,05	0,009	0,0006	-0,0003
Valori maxime tensiuni	FFT	1635,49	1575,76	1483,73	2884816,3	2902020,6	2914358,6
	DWT	1432,2	1256,5	1409,6	2884813,1	2901999,9	2914400,1
	Diferența tip 3 [%]	12,43	20,260	4,99	0,0001	0,0007	-0,0014
Factor de putere total	FFT	0,9264	0,9014	0,925	0,9974	0,9962	0,9957
	DWT	0,9233	0,9024	0,9311	0,9974	0,9963	0,9961
	Diferența tip 3 [%]	0,331	-0,099	-0,659	0	-0,01	-0,0402

În urma analizării datelor din acest tabel s-a putut concluziona că valorile eficace totale obținute cu FFT și respectiv cu DWT sunt foarte apropiate de cele calculate folosind sume Riemann, atât în primul caz cât și în al 2-lea, existând diferențe de maxim 0,2%.

De asemenea, se observă o foarte bună convergență a metodelor (FFT versus DWT) în ceea ce privește:

- (a) valorile eficace aferente frecvenței fundamentale (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -0,3891%);
- (b) valorile puterilor active totale (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -0,9 %);
- (c) valorile puterilor active aferente frecvenței fundamentale (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 0,193%);
- (d) valorile puterilor aparente totale (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -0,242%);
- (e) valorile puterilor aparente aferente frecvenței fundamentale (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 0,1848%);
- (f) valorile factorilor de vârf pentru curenți (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 0,09%);
- (g) valorile maxime pentru curenți (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 0,0066%);
- (f) valorile factorilor de putere (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -0,695%).

Pe de altă parte, diferențe semnificative se observă între valorile calculate folosind FFT și respectiv DWT între următoarele mărimi:

- (a) Valorile eficace aferente rezidului deformat (RMSd). Astfel, diferența relativă procentuală cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -14,34% în cazul curenților și respectiv cu -5,07% în cazul tensiunilor, ambele fiind înregistrate în al 2-lea caz. Trebuie însă menționat că diferențele efective (nu relative) nu au valori foarte mari. Diferențele relative procentuale se

încadrează în limitele de precizie determinate în faza de proiectare, prin rulări ale programului pe date sintetice, și uneori au valori mai mari datorită unor cauze ca: structura particulară a spectrului armonic (absența armonicilor de ordin înalt și ponderi mici pentru armonicile joase), număr limitat de puncte de calcul (dar diferit între cele două metode), ponderi diferite ale scurgerilor spectrale în funcție de metoda de calcul folosită.

(b) Valorile factorilor de distorsiune. Astfel, diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -13,187% în cazul curenților și respectiv cu -5,097% în cazul tensiunilor. Acești factori se calculează pe baza RMSd și de aceea explicațiile prezentate mai sus se aplică și pentru aceste diferențe.

(c) Valorile puterilor reactive totale. Pentru al 2-lea caz, unde spectrul armonic este nesemnificativ și există simetrie aproape perfectă între cele două semiperioade ale fiecărei perioade, diferențele sunt foarte mici (variind în plaja -1,37% ... -0,0081%). Pentru primul caz însă, unde spectrul armonic este semnificativ, fiind prezente salturi bruște în curbele analizate datorită comutației tiristoarelor și existând diferențe între semiperioade, condițiile de aplicare ale transformatei Fourier nu mai sunt îndeplinite și apar diferențe care se încadrează în gama -843,69% ... -22%. Diferența cea mai mare corespunde primei faze. Figura 28 reprezintă sus prima semiperioadă suprapusă peste a 2-a semiperioadă (simetrizată) din curentul și tensiunea primei faze, cazul 1 și jos diferențele dintre acestea, demonstrând nesimetria dintre semiperioade explicată mai sus. Spectrul armonic aferent puterilor reactive generat de metoda FFT (fig. 15) aferent cazului 1 relevă o valoare anormal mare (pondere de 300%, imposibilă din punct de vedere tehnic) pentru faza 1, armonica 3.

(d) Valorile puterilor reactive aferente frecvenței fundamentale. Și în acest caz, pentru cazul al 2-lea se obțin valori foarte apropiate (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -1,24%), dar pentru prima fază din primul caz diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 183,81%. Nici acest indice de calitate a puterii nu se poate calcula în mod corect cu FFT.

(e) Valorile maxime pentru tensiuni. Pentru cazul al 2-lea se obțin valori foarte apropiate (diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu -0,0014%), dar diferențele aferente primului caz iau valori în intervalul 4,99%...12,43%. Aceste diferențe se datorează faptului că formele de undă ale tensiunilor în primul caz prezintă salturi bruște și formele de undă obținute prin interpolare diferă la cele două metode folosite, având numere diferite de puncte de calcul.

(f) Valorile factorilor de vârf pentru tensiuni. Dacă pentru al 2-lea caz diferența cu cea mai mare valoare absolută este egală cu 0,072%, diferențele aferente primului caz iau valori în intervalul 5,182%...20,1%. Deoarece factorii de vârf se calculează folosind valorile maxime și cele eficace, explicația diferențelor înregistrate la cazul 1 este cea furnizată pentru existența diferențelor între valorile maxime.

**Abrevieri**

A/D = analog/numeric(ă)

DWT = Discrete Wavelet Transform (transformata wavelet discretă);

FFT = Fast Fourier Transform (transformata Fourier rapidă);

FO = Fibră optică

HW = hardware;

MA S = modul de achiziție, stocare și transfer al datelor

PAD = Programul de analiză și diagnoză;

RMS (abreviere consacrată a termenului Root Mean Square) = valoare efectivă (denumită și eficace);

RMSd = valoare efectivă datorată rezidului deformant.

SAD = Sistem de achiziție de date

SNR = raportul „Signal to Noise Ratio”, calculat ca raportul dintre puterea semnalului util și puterea zgomotului electromagnetic care îl poluează;

SW=software;

VDx = vector de detalii DWT pentru nivelul x.

WPT = Wavelet Packet Transform.

**Bibliografie**

1. **Brevet nr. 127599 B1 / 30.12.2015: SISTEM DE MONITORIZARE ȘI DIAGNOZĂ ÎN ENERGETICĂ**
2. Patent **US 2006/0212238 A1: METHOD OF COMPRESSING VALUES OF A MONITORED ELECTRICAL POWER SIGNAL**



## REVENDICĂRI

**1. Metodă de diagnoză** bazată pe analize în domeniile timp, frecvență și combinat utilizată la grupurile energetice de putere, **caracterizată prin aceea că:**

- folosește traductoare de măsură de tensiune și de curent, incluse într-un bloc (2) de adaptare semnale electrice, care preiau date de la un punct (1) de măsurare parametri energetici și transmit date despre semnalele de tensiune și curent preluate la o structură HW (3) folosită pentru achiziția, stocarea și transferul datelor; aceasta, folosind firmware-ul incorporat, înregistrează și memorează datele sub forma unor fișiere (4) cu date discrete, acestea putându-se transfera folosind cabluri sau fibră optică (caz în care se folosesc convertoare de tip RS232-fibră optică) către echipamentul (5) de control și calcul (server) care le memorează și totodată realizează, prin intermediul unui program dedicat (6) controlul procesului de achiziție/stocare și transfer al fișierelor de date gestionat de (3), startând de la distanță achiziția datelor, afișând în timp real valorile achiziționate (7) totodată configurând și parametrii (8) care caracterizează achiziția – fig. 29.

**2. Metodă de diagnoză**, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că:**

- conține un modul (10) de denoizificare, parte componentă a programului (9), rulat pe (5), prin care se estimează și elimină zgomotul electromagnetic asociat datelor din fișierele transferate la echipamentul (5), putând realiza acest lucru prin metode diferite, în funcție de opțiunile (11) introduse de operator;

- conține un modul (12) , parte componentă a programului (9), folosit pentru stabilirea tipului de analiză care se poate folosi în cazul datelor din fișierul analizat curent; modulul folosește rezultate preliminare generate de transformata discretă wavelet (DWT).

**3. Metodă de diagnoză**, conform revendicării 2, **caracterizată prin aceea că:**

- conține un modul (13) de analiză și diagnoză în domeniul frecvență, parte componentă a programului (9), care se bazează pe transformata Fourier rapidă ; acest modul generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în monofazat/trifazat, diagramele spectrale pentru curenți, tensiuni și puteri , precum și diagramele fazoriale;

- conține un modul (14) de analiză și diagnoză în domeniile timp-frecvență , parte componentă a programului (9), care se bazează pe DWT ; modulul generează valorile numerice pentru indicii de calitate a puterii în monofazat/trifazat, diagramele de variație în timp ale vectorilor de detalii și diagramele folosite la calculul puterilor reactive în trifazat , specifice metodei;

- conține un modul (15) de analiză și diagnoză în domeniile timp-frecvență , parte componentă a programului (9); modulul se bazează pe DWT și respectiv pe transformata de tip Wavelet Packet Transform (WPT) pentru a determina valorile numerice aferente momentelor de timp ale apariției unei abateri de la staționaritate și respectiv ordinilor armonice care s-au modificat odată cu apariția ei, totodată generând și reprezentările grafice ale energiilor nodurilor WPT modificate;

**4. Metodă de diagnoză, conform revendicării 3, caracterizată prin aceea că:**

- conține un modul (17), parte componentă a programului (9), care permite generarea de fișiere cu rezultatele (18) generate de diferitele tipuri de analize, care se salvează pe disc;

- conține o interfață grafică (16) , parte componentă a programului (9); aceasta permite selectarea fișierelor care urmează a fi supuse analizei , reprezentarea grafică a datelor din fișiere, startarea unui anumit tip de analiză cu afișarea principalelor rezultate pe interfața grafică și optarea pentru analize care generează fișiere cu rezultate.

**5. Metodă de diagnoză, conform revendicării 4, caracterizată prin aceea că:**

- oferă varianta optimă de analiză, în funcție de natura semnalului (stabil sau cu abateri de la staționaritate);

- oferă operatorului informații referitoare la parametrii de calitate rezultați, la încadrarea sau nu în anumite standarde de calitate a energiei electrice, la posibilitatea stabilirii unor soluții de compensare statică sau dinamică la sursele de energie de mare putere.

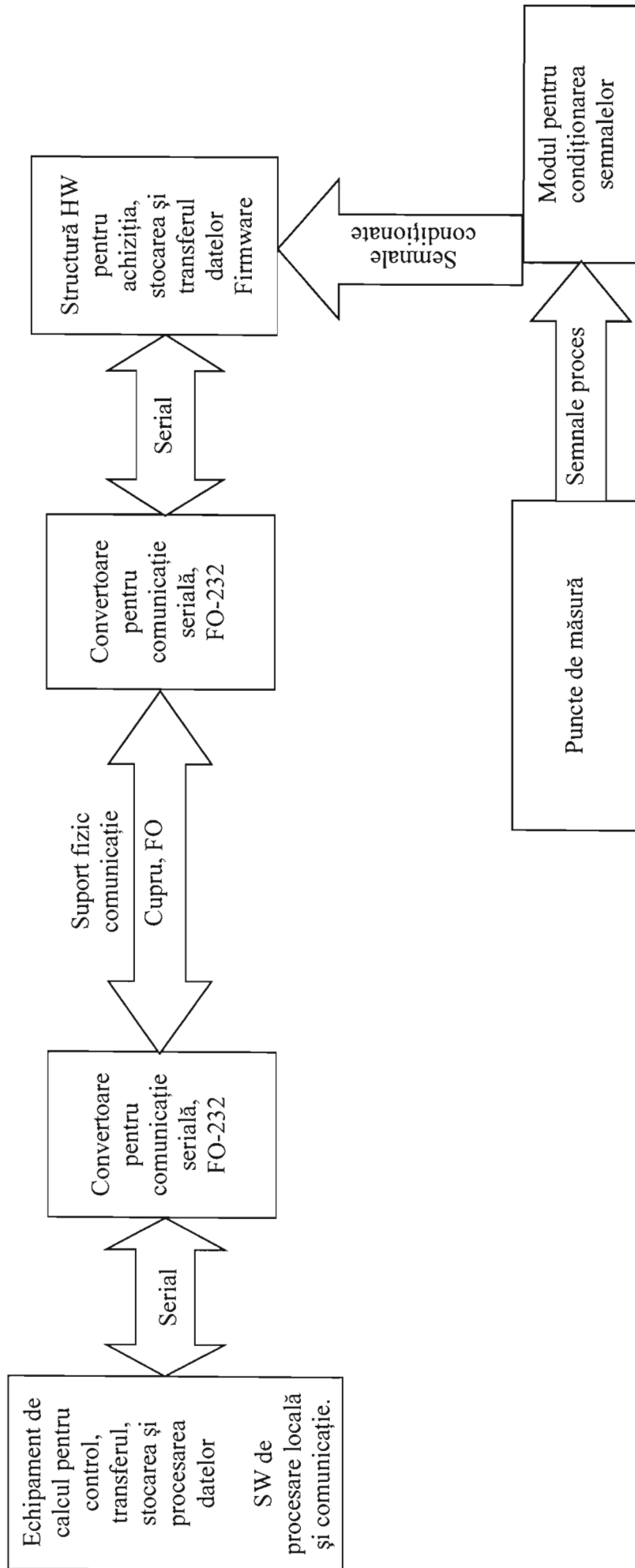


fig.1

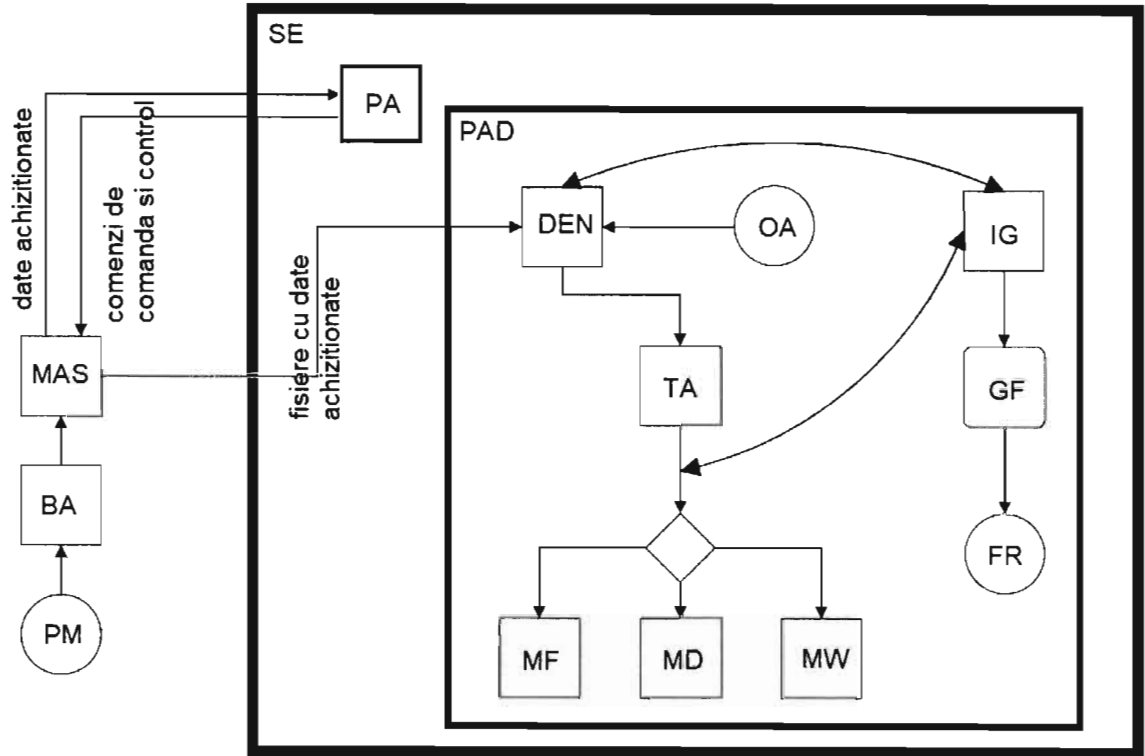


fig. 2

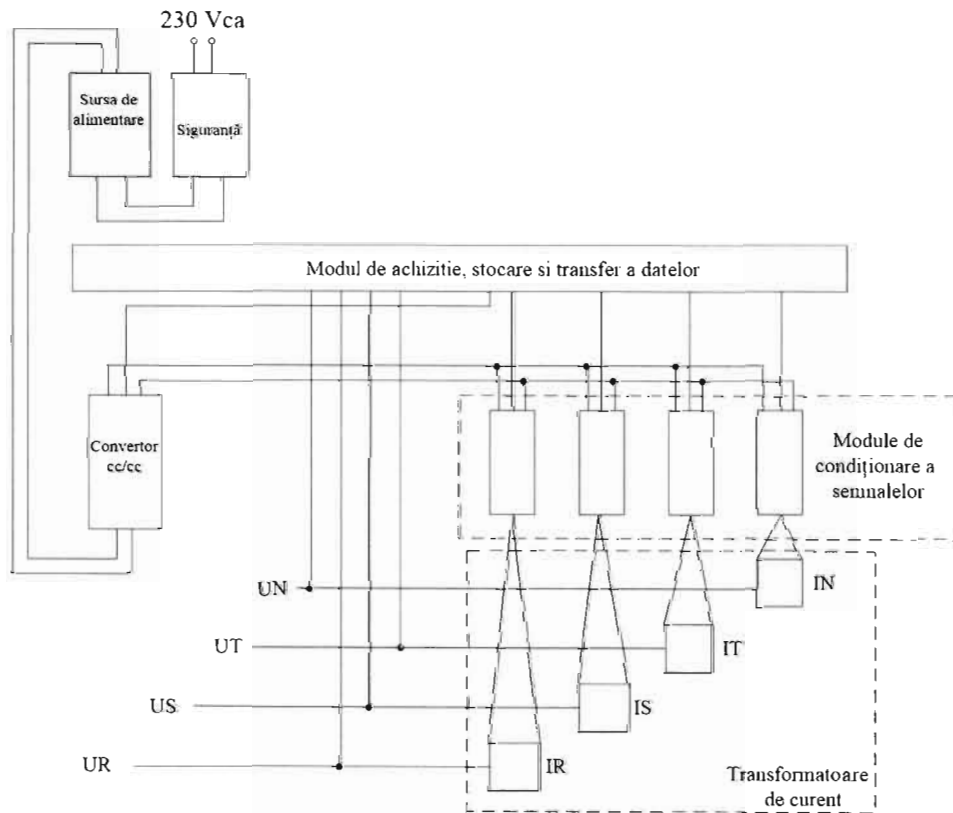


fig. 3

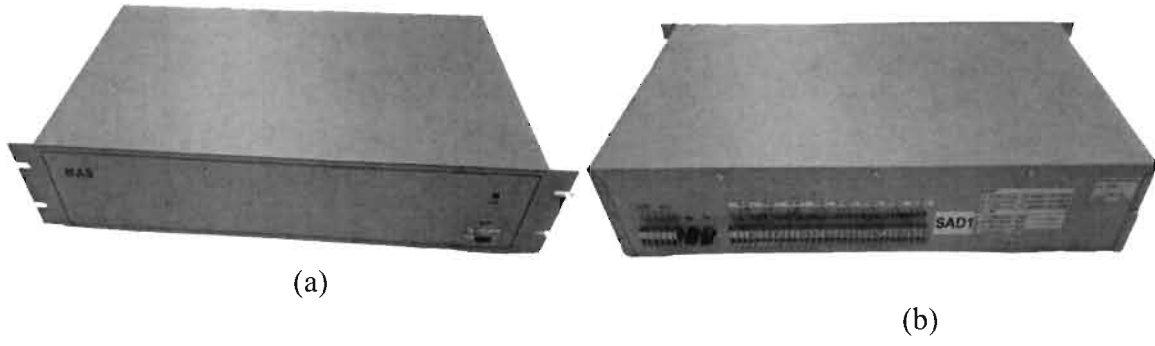


fig. 4

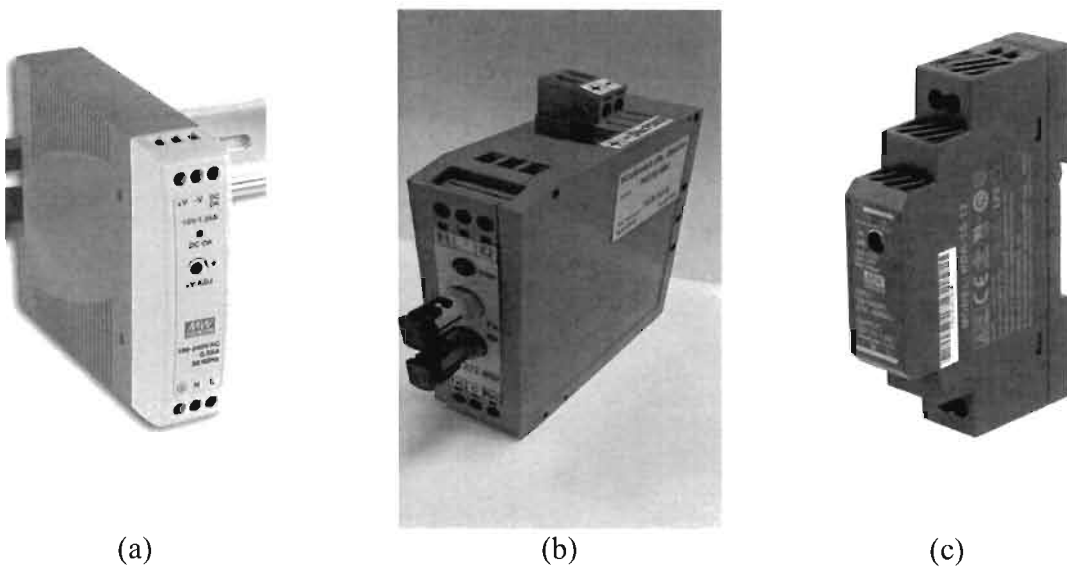


fig. 5

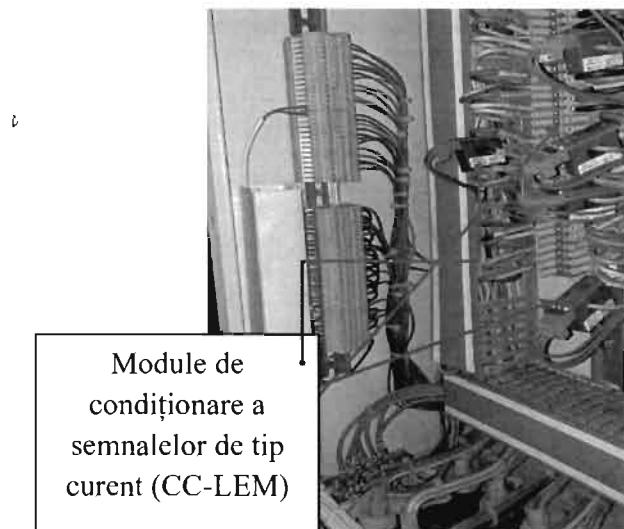


fig. 6

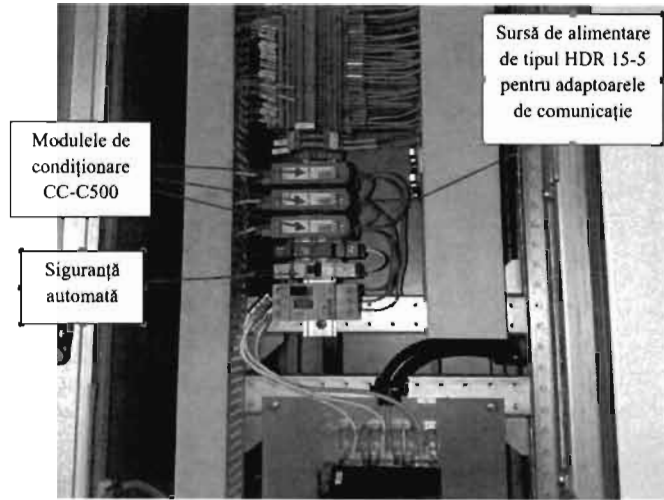


fig. 7

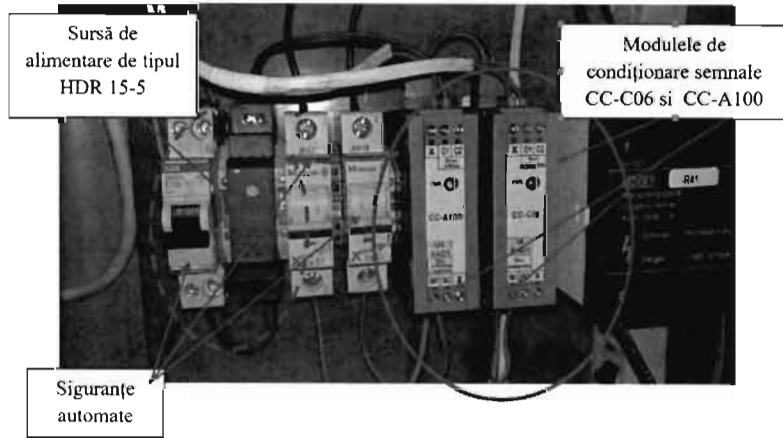


fig. 8



fig. 9

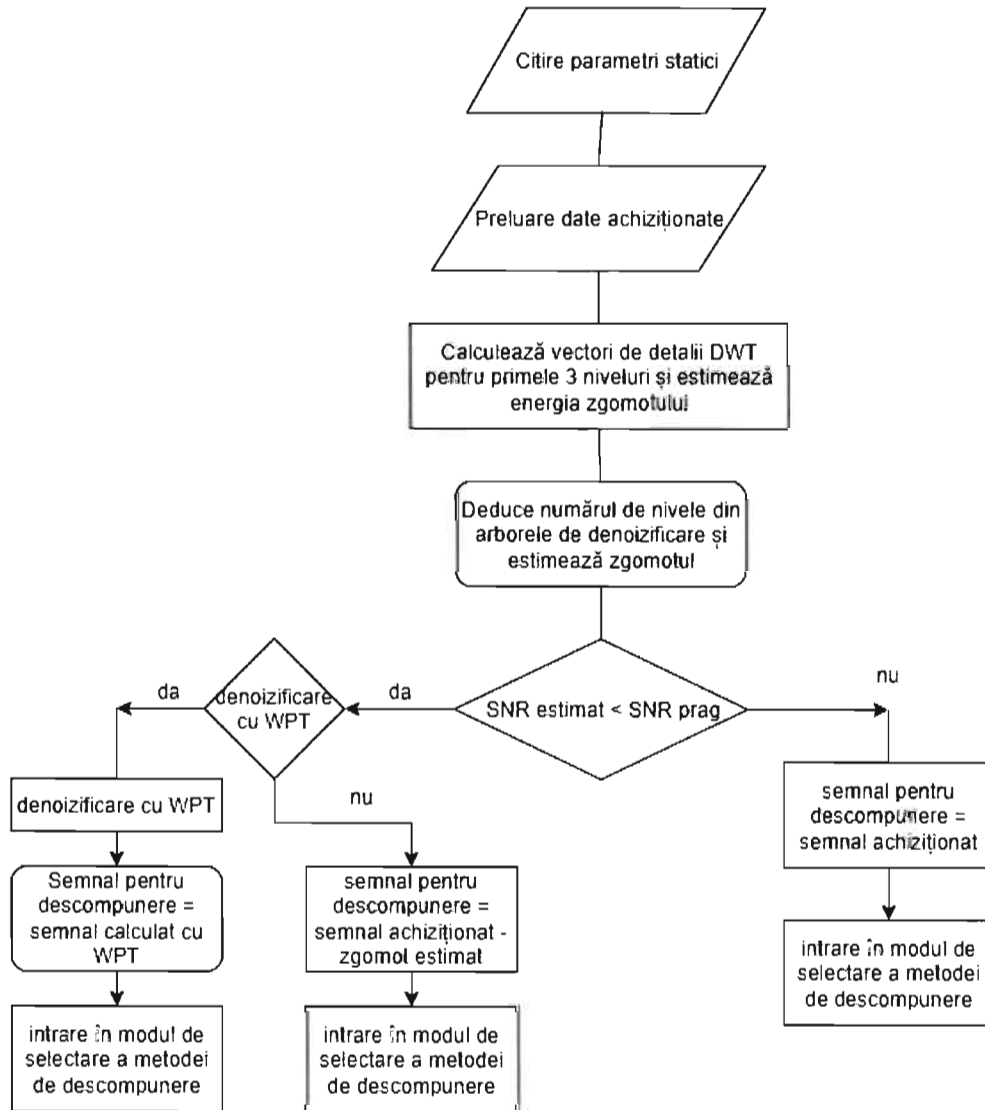


fig. 10

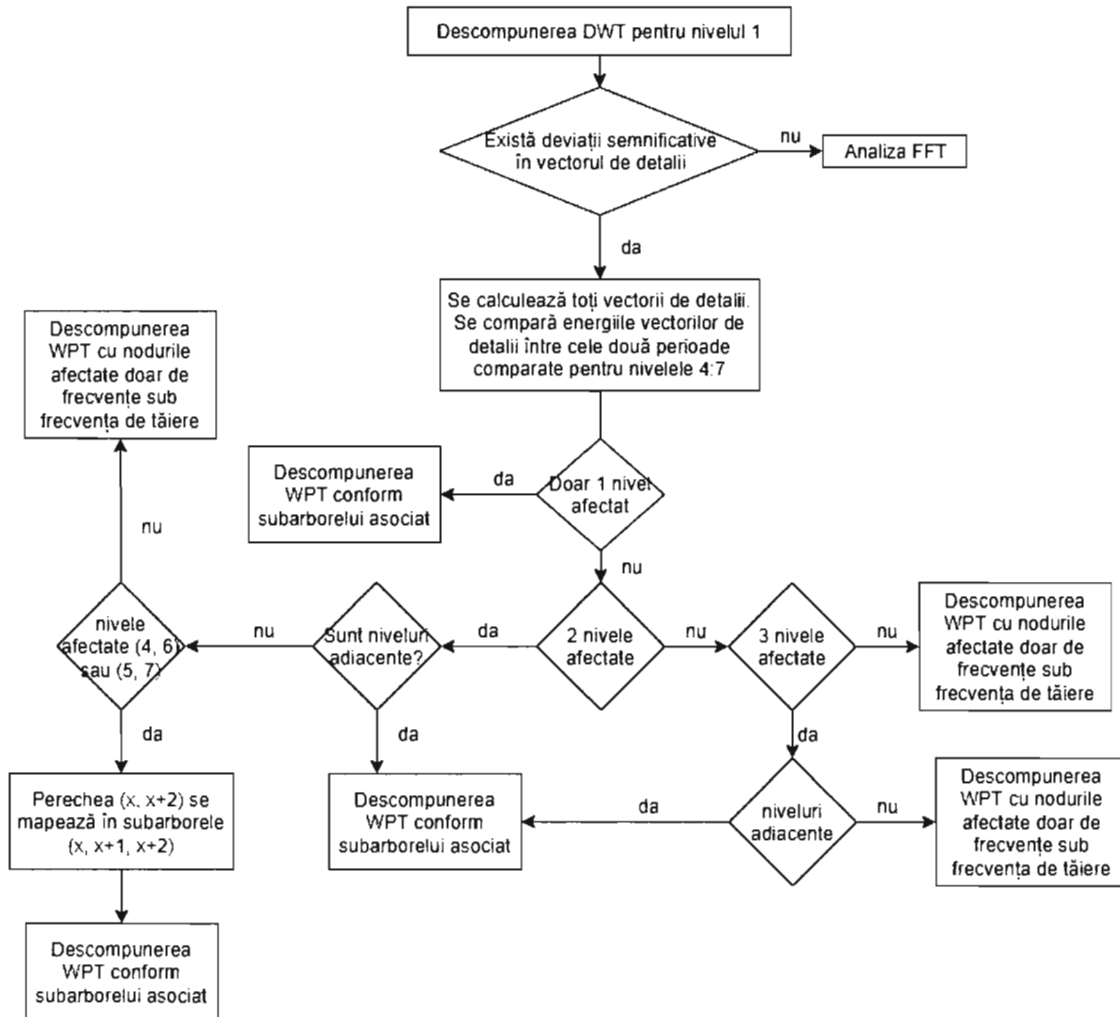


fig. 11



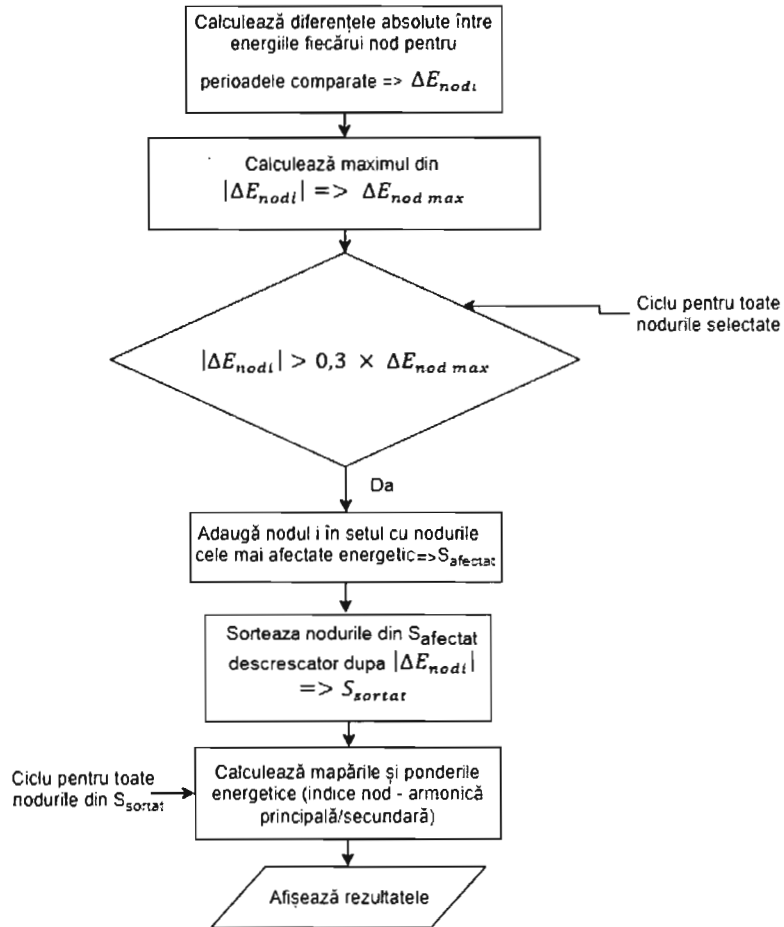


fig. 12

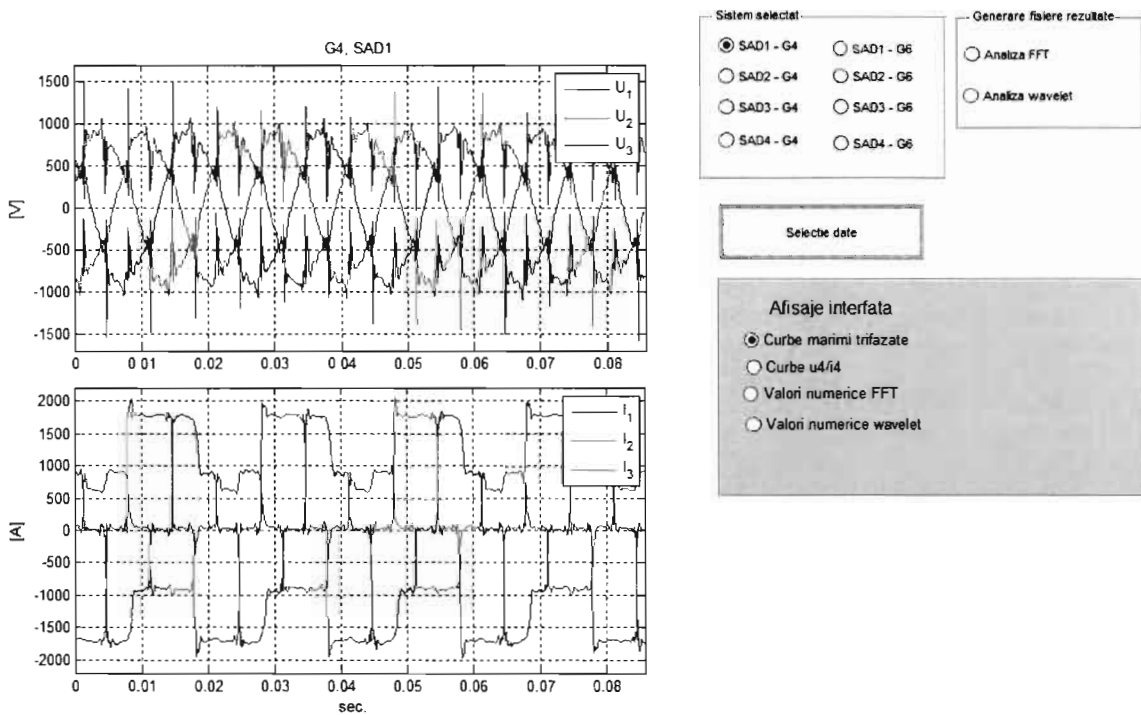


fig. 13

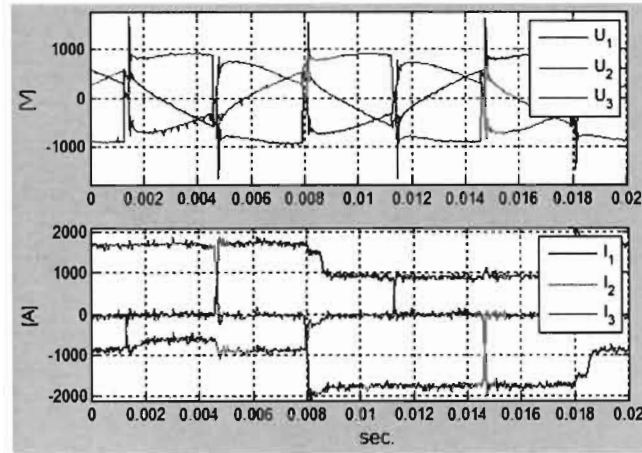


fig. 14

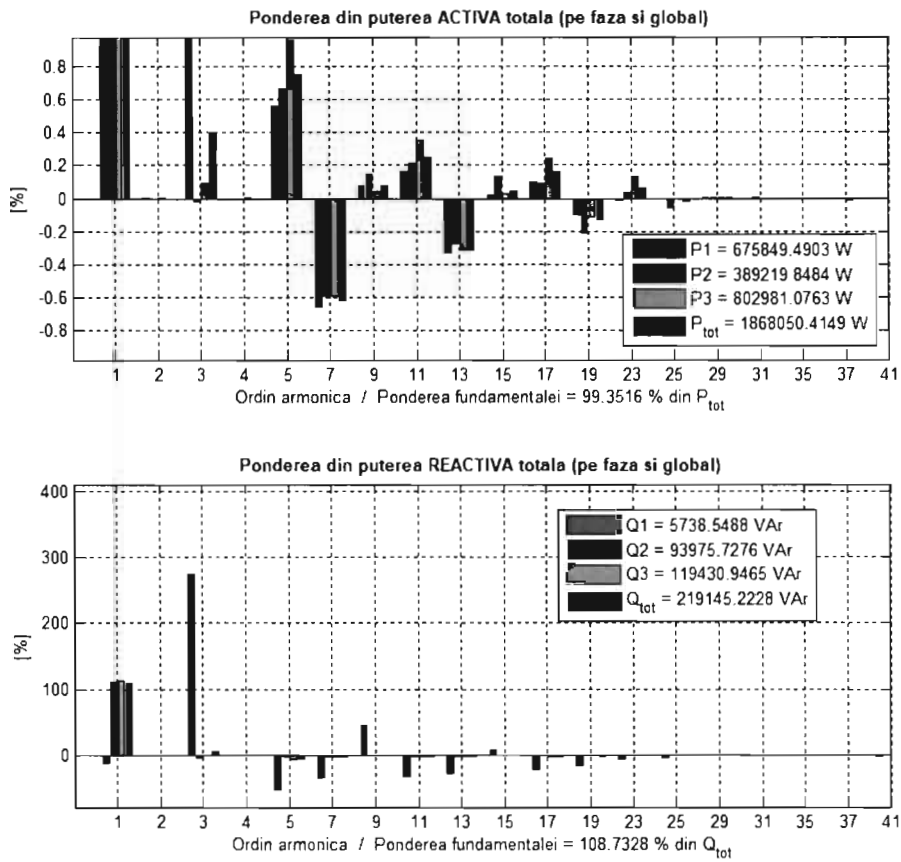


fig. 15

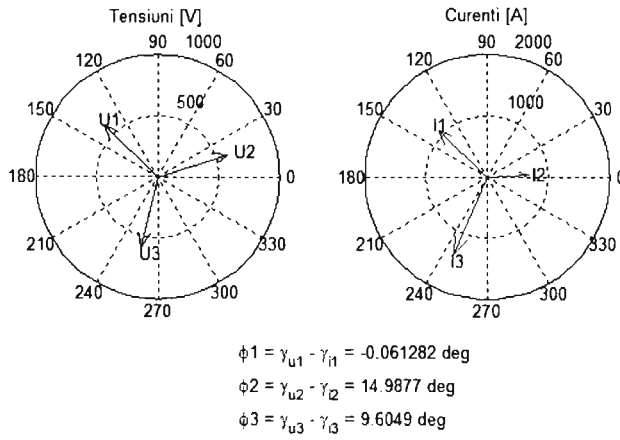


fig. 16

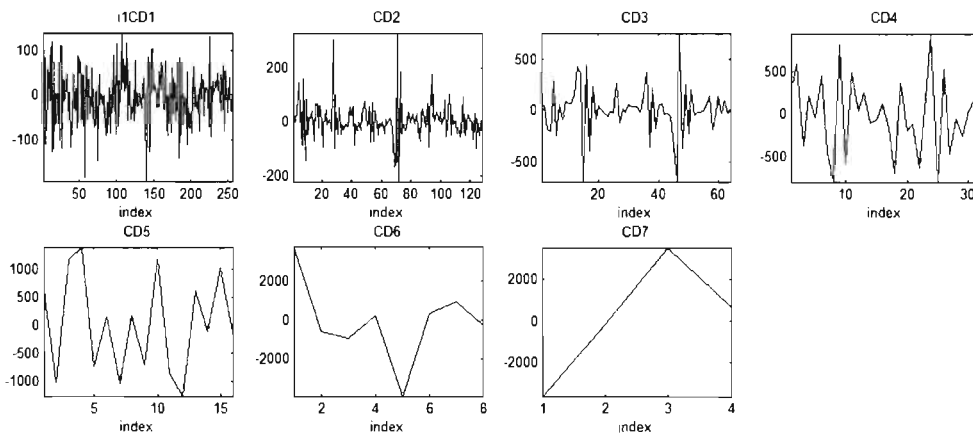


fig. 17

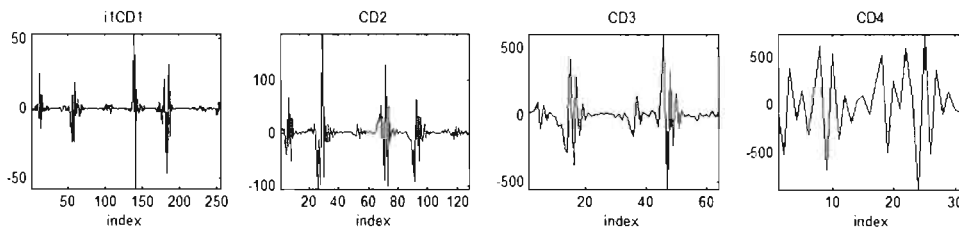


fig. 18

89

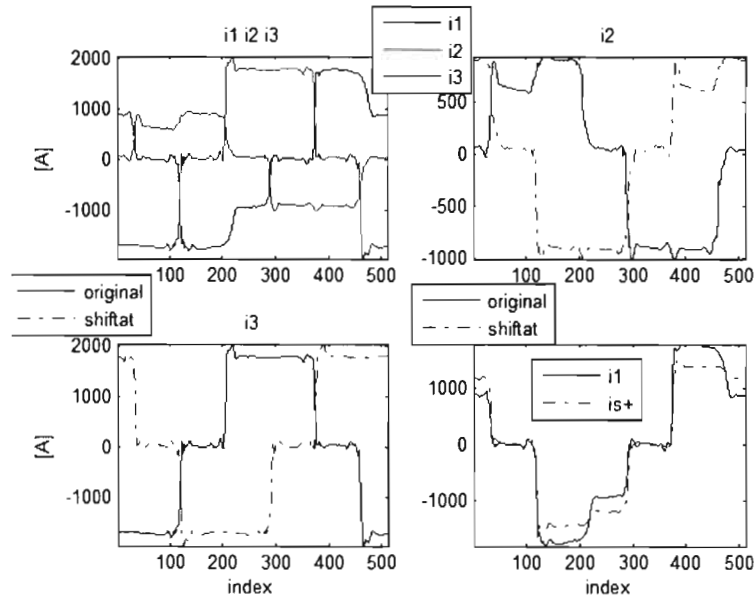


fig. 19

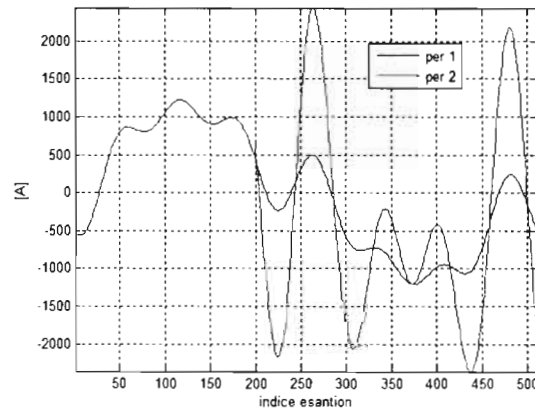


fig. 20

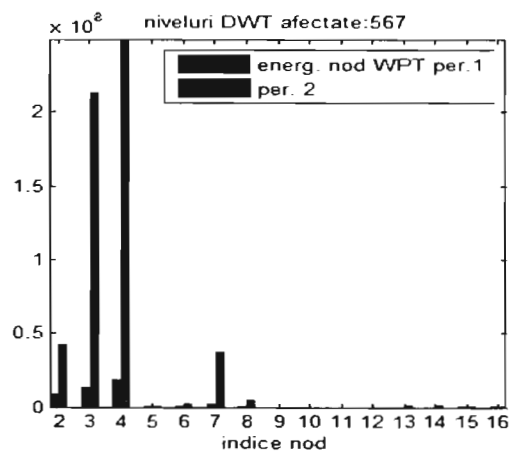


fig. 21

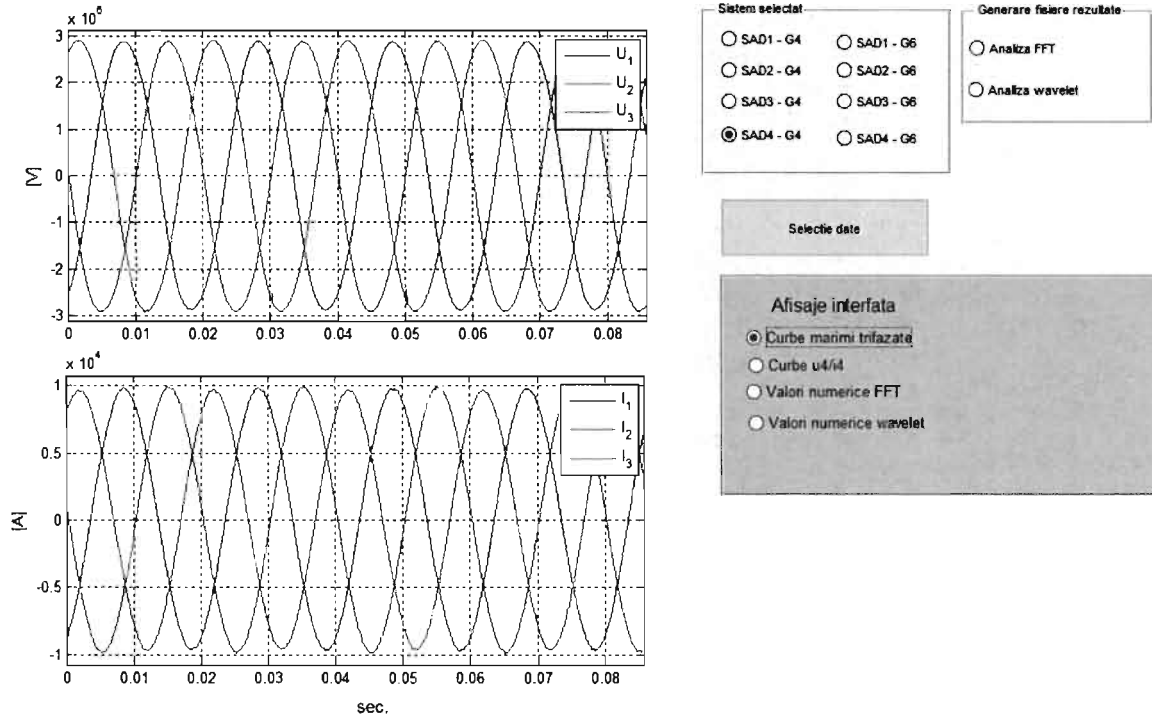


fig. 22

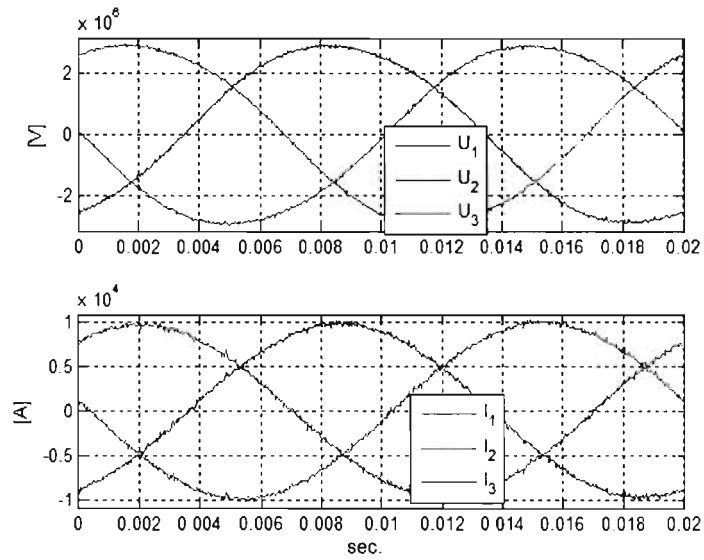


fig. 23

87

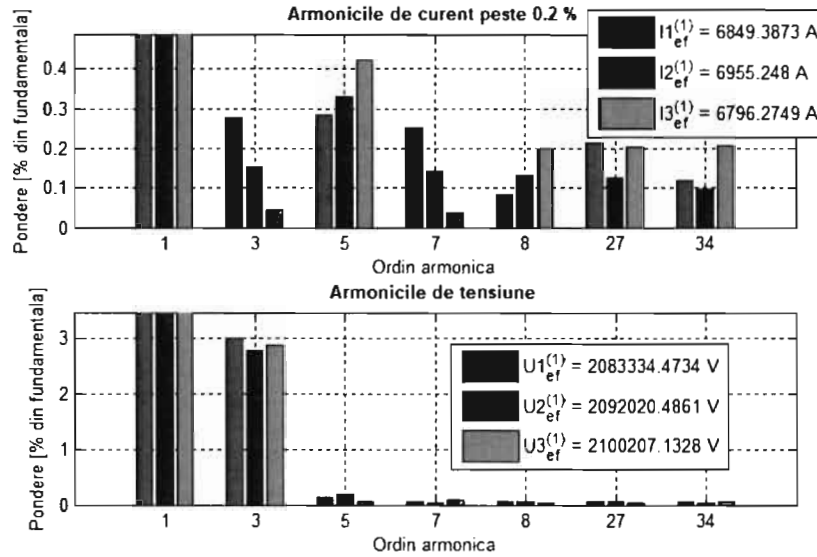


fig. 24

**Valori ale marimilor si indici de calitate**

**Valori efective curenti si tensiuni:**

$I1_{ef} = 6849.3873 \text{ A}$     $U1_{ef} = 2083334.4734 \text{ V}$   
 $I2_{ef} = 6955.248 \text{ A}$     $U2_{ef} = 2092020.4861 \text{ V}$   
 $I3_{ef} = 6796.2749 \text{ A}$     $U3_{ef} = 2100207.1328 \text{ V}$

**Factori de distorsiune - THD curenti si tensiuni:**

THDI1 = 0.81246 %   THDU1 = 3.0562 %  
 THDI2 = 0.76636 %   THDU2 = 2.8069 %  
 THDI3 = 0.9068 %   THDU3 = 2.9125 %

**Puteri si factori de putere:**

$S = 43093670.833 \text{ kVA}$     $S1 = 14269564.6356 \text{ kVA}$     $S2 = 14550521.2225 \text{ kVA}$     $S3 = 14273584.9749 \text{ kVA}$   
 $P = 42941296.0755 \text{ kW}$     $P1 = 14232410.85 \text{ kW}$     $P2 = 14496179.8444 \text{ kW}$     $P3 = 14212705.3811 \text{ kW}$   
 $Q = 3344110.9966 \text{ kVAr}$     $Q1 = 918246.4919 \text{ kVAr}$     $Q2 = 1179263.0558 \text{ kVAr}$     $Q3 = 1246601.4489 \text{ kVAr}$   
 $D = 1322374.2833 \text{ kVAAd}$     $D1 = 464520.9001 \text{ kVAAd}$     $D2 = 433331.7572 \text{ kVAAd}$     $D3 = 424521.626 \text{ kVAAd}$   
 $PF = 0.99646 \text{ inductiv}$     $DPF = 0.99693 \text{ inductiv}$

Sistem selectat:

SAD1 - G4    SAD1 - G6

SAD2 - G4    SAD2 - G6

SAD3 - G4    SAD3 - G6

SAD4 - G4    SAD4 - G6

Generare fisiere rezultate:

Analiza FFT

Analiza wavelet

Selectie date

Afisaje interfata

Curbe manimi trifazate

Curbe u4/i4

Valori numerice FFT

Valori numerice wavelet

fig. 25

**Valori ale marimilor si indici de calitate**

**Valori efective curenti si tensiuni:**

I1ef = 6853.7116 A U1ef = 2084313.4367 V  
 I2ef = 6948.6287 A U2ef = 2089983.845 V  
 I3ef = 6798.0071 A U3ef = 2101277.4747 V

**Factori de distorsiune - THD curenti si tensiuni:**

THDi1 = 0.77055 % THDU1 = 2.9284 %  
 THDi2 = 0.86508 % THDU2 = 2.9534 %  
 THDi3 = 1.0367 % THDU3 = 2.9792 %

**Puteri si factori de putere:**

S = 43092304.0326 kVA S1 = 14285283.1283 kVA S2 = 14522521.7401 kVA S3 = 14284499.1643 kVA  
 P = 42942074.6059 kW P1 = 14248578.031 kW P2 = 14468904.4515 kW P3 = 14224592.1234 kW  
 Q = 3369624.1419 kVAr Q1ap = 930886.3794 kVAr Q2ap = 1191113.5191 kVAr Q3ap = 1247608.4847 kVAr

putere de distors. - trifazat, Del = 668821.9415 kVAd DeV = 2203785.1451 kVAd  
 PF = 0.99651 inductiv poluare datorata detalii. DPF = 0.017822

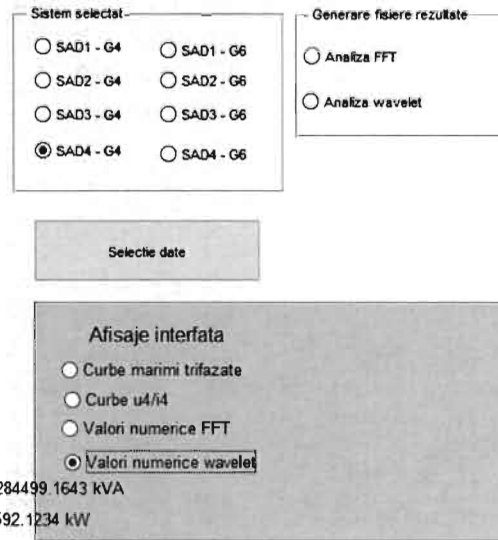


fig. 26

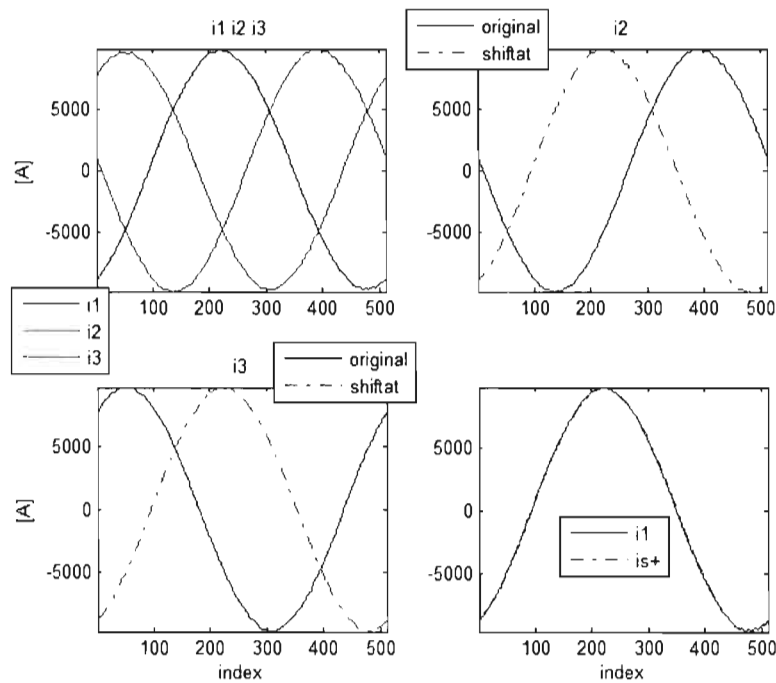


fig. 27

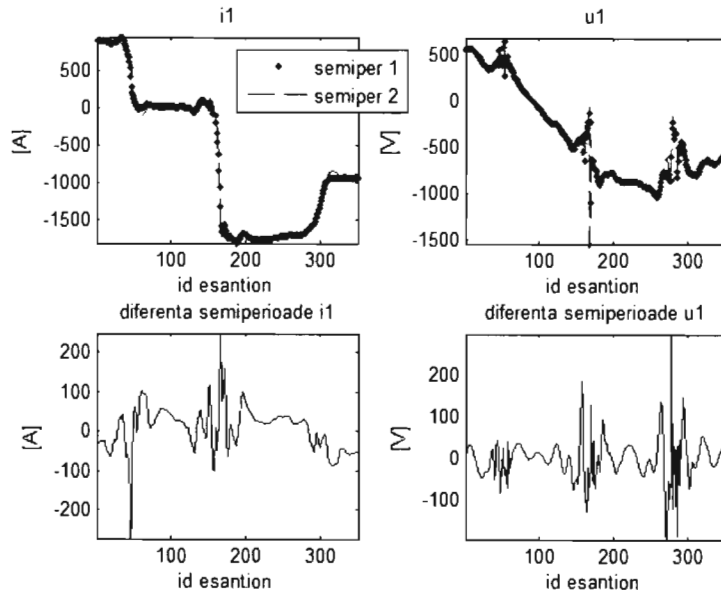


fig. 28

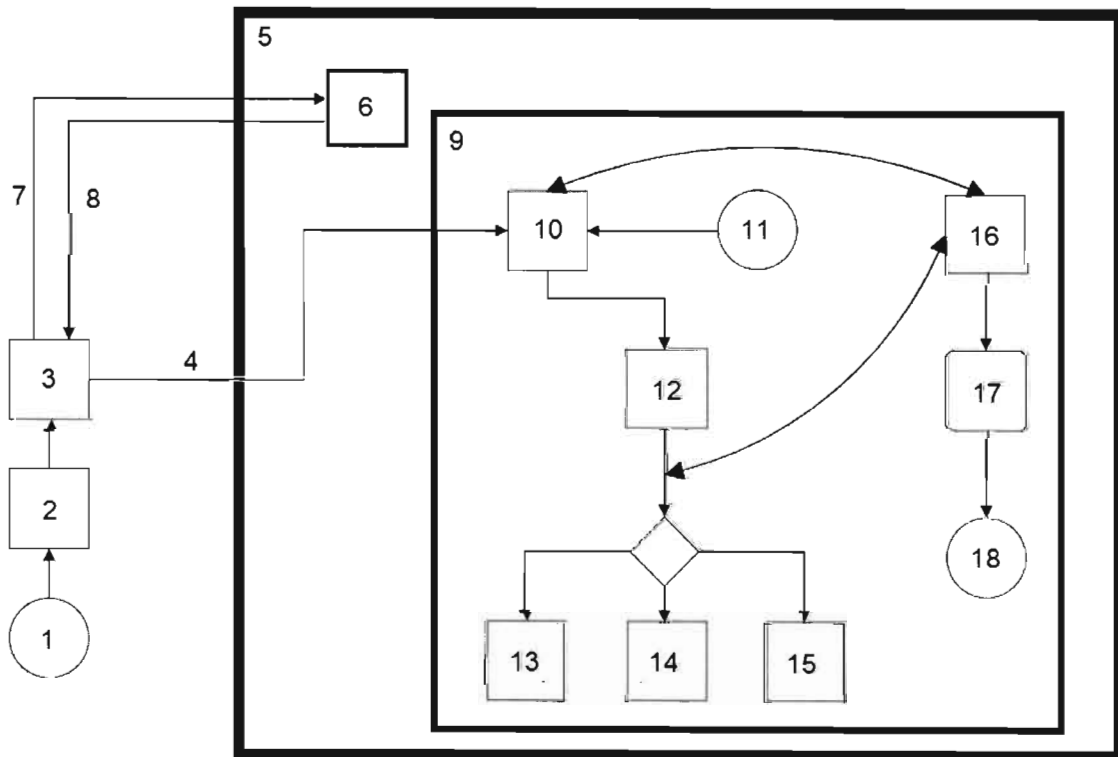


fig. 29