

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00586

(22) Data de depozit: 28/09/2021

(41) Data publicării cererii:
30/03/2023 BOPI nr. 3/2023

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS"
DIN GALAȚI, STR.DOMNEASCĂ NR.47,
GALAȚI, GL, RO

(72) Inventatori:
• GĂICEANU MARIAN,
STR.DR.NICOLAE ALEXANDRESCU, NR.1,
BL.C2, SC.4, AP.68, GALAȚI, GL, RO;

• EPURE SILVIU IONUȚ, STR.ROȘIORI,
NR.39, BL.PIN2, SC.2, AP.32, GALAȚI, GL,
RO;
• ȘOLEA RĂZVAN-CONSTANTIN,
STR.NĂRUJA, NR.3, GALAȚI, GL, RO;
• DUȘA ALEXANDRU, STR.ROȘIORI,
NR.18, BL.PALTIN 2, AP.14, GALAȚI, GL,
RO;
• GHENEA IULIAN, STR.CĂLUGĂRENI,
NR.10 BIS, BL.P7A, SC.1, PARTER, AP.1,
GALAȚI, GL, RO

(54) SISTEM EXPERIMENTAL ȘI ALGORITM DE CONTROL
PENTRU IMPLEMENTAREA ȘI TESTAREA FILTRELOR
ACTIVE ELECTRONICE DE PUTERE TRIFAZATE DE JOASĂ
TENSIUNE, DE TIP PARALEL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active electronice de putere trifazate de joasă tensiune, de tip paralel. Sistemul, conform invenției, cuprinde un inverter trifazat de tensiune, cu comandă în impulsuri PWM, un sistem electronic de calcul, în timp real, în care buclele de reglare se implementează într-un circuit digital programabil de tip FPGA, traductoare de tensiune și de curent cu două domenii desensibilitate, un calculator de uz general pentru configurarea circuitului de tip FPGA, o sursă de tensiune alternativă trifazată, programabilă, niște sarcini electrice trifazate programabile și niște inductanțe de interfață între inverterul de tensiune și punctul comun de conectare sursă-sarcini poluante.

Revendicări: 6

Figuri: 9

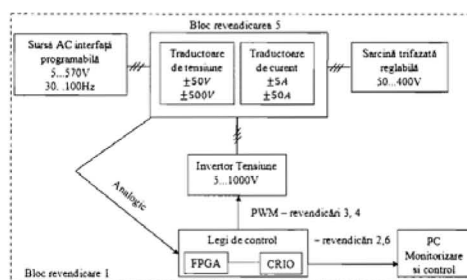


Fig. 8



SISTEM EXPERIMENTAL ȘI ALGORITM DE CONTROL PENTRU IMPLEMENTAREA ȘI TESTAREA FILTRELOR ACTIVE ELECTRONICE DE PUTERE TRIFAZATE DE JOASĂ TENSIUNE, DE TIP PARALEL

Descrierea invenției

Invenția se referă la un sistem experimental realizat prin interconectarea unor componente și echipamente electronice programabile, pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere, trifazate, de tip paralel, având ca scop reducerea armonicilor de curent din rețelele electrice de alimentare. Sistemul permite testarea filtrelor pentru oricare configurație a rețelei electrice: 110 V / 220 V / 230 V tensiune alternativă, atât pentru frecvențe 50 Hz, cât și pentru 60 Hz. Limitele sistemului descris sunt: tensiune alternativă 0~330VL-N / 0~570VL-L, frecvența tensiunii 30~100 Hz, puterea maximă: 30kVA. Strategia de comandă a filtrului activ este implementată într-un circuit digital programabil de tip FPGA, configurabil cu ajutorul unui calculator de tip desktop. Pentru validarea funcționării sistemului s-a utilizat strategia de control indirect, cunoscută în domeniul electronicii de putere drept control pe circuitul intermediar de curent continuu, „DC side control”, aplicată pentru sistemul trifazat, împreună cu modulația în lățime a impulsurilor (PWM) bipolară, aplicată comutatoarelor statice de putere. Filtrul activ de putere nu necesită cunoașterea armonicilor a curenților de sarcină și nici a componentei reactive [ROS, 2006].

Echipamentele electrice actuale generează fie armonici de curent, fie putere reactivă în sistemul de alimentare cu energie electrică, cu efecte cumulative nedorite în rețeaua de generare și distribuție a energiei electrice: randamentul punctelor de transformare scade din cauza armonicilor de curent din rețea, tensiunea livrată consumatorilor finali este distorsionată.

[HAB 00] prezintă în ansamblu majoritatea soluțiilor posibile de compensarea sarcinilor neliniare: filtre pasive, active sau hibride. Sunt clasificate soluțiile hardware atât pentru sistemele monofazate, cât și pentru cele trifazate, de putere mică, medie sau mare, dar și soluțiile posibile de control. Filtrele active utilizează componente electronice semiconductoare pentru a modifica diverși parametri ai energiei transferate între rețea și consumatori. Acestea sunt formate dintr-un „element de execuție” și un circuit de control care implementează o anumită lege de reglare. Avantajul major constă în adaptabilitatea la variația sarcinii atât din punctul de vedere al puterii medii, cât și al distorsiunilor. Limitările sunt date de putere, randament și perturbațiile electromagnetice generate prin comutația dispozitivelor semiconductoare [AKA 96].

În scopul reducerii conținutului de armonici din rețeaua de distribuție a energiei electrice, se conectează în paralel cu sarcinile poluante filtre active de putere care compensează local distorsiunile generate de sarcini. Pentru aceasta este necesară utilizarea unui set de traductoare electronice de tensiune și de curent conectate între rețea, sarcină și filtru, astfel încât strategia de control a filtrului activ să poată fi implementată.

La nivele mici de putere există dispozitive semiconductoare de care pot funcționa la frecvență mare de comutație, ceea ce conduce la obținerea unor performanțe foarte bune de filtrare. Utilizarea unei structuri hibride filtru activ - filtru pasiv permite îmbunătățirea suplimentară a rezultatelor prin atenuarea ripului datorat comutației inverterului.

Componentele utilizate în filtrele active se dimensionează atât în funcție de tensiunea rețelei, puterea și tipul sarcinii neliniare, cât și în funcție de legea de reglare a filtrului activ și de performanțele vizate. În majoritatea lucrărilor de specialitate din domeniu, se regăsesc modele experimentale sau de simulare în care energia este stocată într-un condensator de 400...2500μF la tensiune de 400...800Vcc, iar filtrul activ se conectează la rețea prin intermediul unui inductor cu valoarea cuprinsă între 1...10mH. Frecvența de comutație a inverterului se încadrează în domeniul 1...25kHz și depinde atât de legea de control, cât și de modul de generare a impulsurilor de comandă.

Pentru sistemele trifazate, legile de control clasice preferate sunt:

- metoda puterilor instantanee [AKA 07],
- metoda extragerii componentelor poluante [HYO 02],
- metoda sistemelor de referință sincrone [KAR 03].

În [SIN 99], [HAB 00] și [AHM 11] se face o prezentare generală a soluțiilor actuale de control pentru filtrele active trifazate, din care se poate observa că cele trei metode clasice, amintite mai sus, sunt încă intens utilizate datorită performanțelor foarte bune pe care le oferă.

Alte structuri de control sunt analizate în [ROS 08], [CHE 08], [GRE 05], [KAR 03], [MAR 07], [OUL 05] sau [YON 99]. Fiecare soluție prezintă cel puțin un avantaj față de soluțiile clasice (structură hardware mai simplă, utilizarea unei tensiuni mai mici pe linia de tensiune continuă a filtrului, eliminarea unor traductoare de tensiune sau curent, funcționarea fără circuit PLL, lege de control cu minimum de operații matematice etc.).

La nivel național se cunosc o serie de brevete care fac referire la metode și procedee de calitate a energiei electrice.

Brevetul RO131355 (A2) se referă la o metodă și la un sistem trifazat pentru comandă a filtrelor active de tip paralel, sub tensiune nesinusoidală, cu rol de a compensa armonicile de curent și/sau puterea reactivă. Metoda, conform invenției, se bazează pe teoria puterii aparente complexe instantanee.

În brevetul RO131297 (A0), invenția se referă la o metodă de control pentru un compensator capacitiv automat, destinat îmbunătățirii factorului de putere și echilibrării sarcinii în rețele electrice trifazate cu patru conductoare, implementată prin intermediul unui program de calculator în sistemul de control al compensatorului. Metoda se bazează pe valorile efective ale componentelor reale și imaginare ale curenților de secvență ai sarcinii, definește, ca fiind mărimi de control ale procesului de reglaj, nivelurile de compensare a componentelor de secvență pozitivă, negativă și zero ale curenților de sarcină, fiind o metodă mare consumatoare de timp, necesitând resurse de calcul puternice.

Brevetul RO132402 (A0) se referă la un sistem adaptiv pentru asigurarea calității energiei în rețelele de joasă tensiune, sistem ce utilizează două filtre active de putere conectate în paralel, devenind o metodă costisitoare.

Invenția RO131356 (A2) se referă la un sistem static de filtrare și regenerare, pentru substații de tracțiune de curent continuu, ce realizează, pe de o parte, filtrarea activă a armonicilor de curent și compensarea puterii reactive în rețeaua de alimentare a substației de tracțiune, și, pe de altă parte, recuperarea energiei electrice obținute în timpul frânării vehiculului, de exemplu, tren, metrou sau tramvai, prin transformarea energiei cinetice de către un echipament aflat pe vehicul. Sistemul conform invenției se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu. Structura de implementare conține multe echipamente de interconectare, conducând la o fiabilitate redusă.

La nivel internațional se cunosc o serie de brevete care fac referire la metode și procedee de calitate a energiei electrice.

În brevetul internațional CN201210257565A este propus un sistem de filtrare activă trifazată, tip derivație, cu control indirect, utilizând o metodă de control alunecător cu liniarizare după stare pentru tensiunea de pe condensator. Totuși, această metodă utilizează blocuri de determinare a conținutului armonic (filtru trece jos).

În brevetul CN106877326A [SHEN JIUZHU, 2017] invenția revendică un control indirect al curentului utilizând un compensator armonic bazat pe un controler PI (Proportional Integral) și un controler VPI (Vector PI) în paralel și funcționează pe armonica fundamentală într-un sistem de coordonate de frecvență mobil.

Tehnicile actuale de control a filtrelor active monofazate implică închiderea a două sau mai multe bucle de reglare pentru mărimile de interes din sistem. [HAB 00] prezintă o clasificare a metodelor posibile de control, atât din punct de vedere al principiului reglării, cât și al semnalelor prelucrate de către filtrul activ.

În cazul unui filtru derivație, cea mai importantă problemă o constituie calcularea referinței pentru curentul injectat în rețea, astfel încât neliniaritățile sarcinii să fie compensate. Pentru aceasta, informația utilă poate fi extrasă din analiza curentului de sarcină, cu ajutorul unor filtre pasive trece-sus sau trece-jos, sau prin descompunerea în serie Fourier a

semnalului distorsionat. Deoarece distorsiunile apar sub forma componentelor armonice, se pot proiecta circuite care să extragă exact amplitudinea și faza acestor componente. Rezolvarea problemei în domeniul „timp” implică utilizarea unor metode precum cea a puterilor instantanee, a puterii active constante, a factorului de putere unitar etc.

Metoda controlului indirect utilizează în mod inteligent componentele hardware ale filtrului activ precum și poziționarea traductoarelor astfel încât prelucrările matematice aferente buclelor de reglare să fie minime.

Privit în ansamblu, filtrul activ este utilizat drept convertor bidirecțional curent alternativ-curent continuu (AC/DC) ridicător de tensiune, având două obiective:

- tensiunea de ieșire (la bornele condensatorului din circuitul intermediar C_{DC}) să se mențină constantă,
- curentul preluat din/transferat în rețea să fie sinusoidal și în fază cu tensiunea rețelei.

Pentru aceasta se implementează o structură de control în cascadă cu două bucle de reglare, o buclă externă pentru tensiunea de pe condensator și una internă pentru reglarea curentului din rețea. Bucla de tensiune determină amplitudinea curentului schimbat cu rețeaua de alimentare, iar bucla de curent impune curentul de referință (amplitudine * semnal sinusoidal de referință). În consecință, sunt necesare 4 traductoare de semnal: unul pentru tensiunea de la bornele C_{DC} și trei traductoare pentru curenții de rețea impuși sinusoidal. Sarcina care trebuie compensată de filtrul activ devine teoretic o perturbație care afectează cele două bucle de reglare ale filtrului activ. Principiul reacției negative, după care funcționează ambele bucle de reglare, asigură rejecția perturbației atât timp cât nici una dintre componentele sistemului nu a atins limitele de funcționare. Invertorul de tensiune este folosit atât pentru a compensa armonicile de curent din rețea, cât și drept redresor PWM ridicător de tensiune, pentru a menține valoarea necesară la bornele condensatorului de tensiune continuă. Ambele funcții sunt controlate printr-o comandă unică de tip PWM.

Pentru o singură fază a sistemului, funcționarea poate fi descrisă conform schemei bloc din figura 1 [EPU 2013].

Pentru descrierea matematică a strategiei de control indirect se pleacă de la ecuația curenților pentru punctul comun de conectare (PCC):

$$i_{retea_R,S,T}(t) = i_{sarcina_R,S,T}(t) + i_{filtru_R,S,T}(t),$$

$i_{retea_R,S,T}$ = curentul consumat de la rețea, $i_{s_R,S,T}$ = curentul de sarcină, $i_{f_R,S,T}$ = curentul absorbit de filtru pentru fiecare dintre fazele R,S,T ale sistemului trifazat.

Prin descompunerea și gruparea componentelor fundamentale ale curenților rezultă:

$$i_{r_R,S,T}(t) = i_{f1_R,S,T}(t) + i_{s1_R,S,T}(t) + \tilde{i}_{-R,S,T}(t),$$

unde

$$\tilde{i}_{-R,S,T}(t) = \tilde{i}_{f_R,S,T}(t) + \sum_k i_{s_R,S,T}(t) + i_{sq_R,S,T}(t)$$

$\tilde{i}_{f_R,S,T}(t)$ conține suma armonicilor de curent generate de filtrul activ.

Cum buclele de reglare pentru curenți impun forma sinusoidală și defazaj nul față de tensiune, rezultă faptul că toate componentele diferite de fundamentală sunt anulate.

Determinarea amplitudinii corecte a curentului de rețea (valoare unică pentru toți cei 3 curenți de fază) astfel încât energia stocată în condensatorul filtrului să se mențină constantă de la o perioadă la alta se face pe baza diferenței între tensiunea impusă și tensiunea reală la bornele condensatorului. Rezultă, astfel, semnalul de referință pentru regulatorul de curent:

$$i^*(t) = \varepsilon_{DC} \frac{u_r}{\sqrt{2}U} = \varepsilon_{DC} \cdot \sin \omega t,$$

U = valoarea efectivă a tensiunii de rețea,

ε_{DC} = ieșirea regulatorului de tensiune pentru condensatorul filtrului activ.

Se impune adăugarea unui regulator pentru eroarea de reglare a tensiunii (cu variație

a mărimii de ieșire suficient de lentă încât să nu perturbe curba sinusoidală a curentului, dar suficient de rapidă încât să nu permită descărcarea completă sau supraîncărcarea condensatorului în situații tranzitorii) și a unui regulator pentru bucla de reglare a curentului.

După cum se observă, metoda necesită calcule matematice minime, ușor de implementat atât cu circuite analogice, cât și cu circuite numerice. Performanțele vor fi direct dependente de calitatea semnalului sinusoidal utilizat, deci pentru a obține un factor de distorsiuni armonice cât mai mic pentru curentul reglat, se impune utilizarea unei bucle PLL care să refacă semnalul sinusoidal al tensiunii de rețea.

Între proiectarea teoretică a filtrului activ și utilizarea acestuia în rețeaua electrică reală este necesară o etapă de testare, în care să fie detectate eventualele deficiente, situații de avarie sau regimuri tranzitorii neabordate teoretic. Pentru fiecare astfel de problemă se impune găsirea soluțiilor optime, astfel încât echipamentul final să funcționeze cu fiabilitate maximă.

Prezenta invenție are ca scop realizarea unui sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active electronice de putere, de joasă tensiune, de tip paralel, cu aplicabilitate într-un domeniu larg de parametri electrici.

Sistemul se caracterizează printr-o conectare versatilă, reconfigurabilă, a următoarelor componente:

- inverter trifazat de tensiune, cu comandă în impulsuri PWM,
- sistem electronic de calcul, de timp real, unde buclele de reglare se implementează într-un circuit programabil digital de mare viteză de tip FPGA,
- transductoare de tensiune și de curent cu două domenii de sensibilitate, pentru a acoperi optim domeniul de interes al mărimilor măsurate,
- calculator/PC de uz general pentru configurarea circuitului FPGA;
- sursa de tensiune alternativă trifazată, programabilă,
- sarcini electrice trifazate programabile,
- inductanțe de interfață între inverterul de tensiune și punctul comun de conectare sursă-sarcini poluante.

În figura 2 se prezintă schema bloc simplificată (monofazată) a sistemului experimental propus [EPU 2013].

Strategia controlului indirect, Fig. 2, utilizează în mod inteligent componentele și buclele de reglare ale filtrului activ clasic, astfel:

- buclă de curent forțează curentul absorbit de ansamblul filtru-sarcină poluantă la forma și amplitudinea ideală (curbă sinusoidală și în fază cu tensiunea din punctul comun de conectare, PCC),

- buclă de tensiune menține cvasiconstantă energia stocată în condensatorul filtrului activ, energie astfel calculată încât să asigure realizarea celei mai mari amplitudini necesare a fi impusă pentru curentul absorbit de la rețea,

- inverterul de tensiune este folosit atât pentru a genera curentul solicitat de la filtru în scopul îndeplinirii condiției de mai sus, cât și drept redresor PWM ridicător de tensiune pentru a menține condensatorul încărcat la tensiunea necesară. Ambele funcții sunt controlate printr-o comandă unică de tip PWM.

Strategia controlului indirect, aplicată sistemului trifazat, conține:

- o buclă PLL care generează semnale sinusoidale, de aceeași frecvență și fază cu tensiunile de fază ale rețelei electrice de alimentare;

- o buclă de reglare a tensiunii la bornele condensatorului de tensiune din inverterul de tensiune, cu regulator de tip PI (proporțional-integral), care impune amplitudinea curentului de referință care trebuie extras din rețea;

- trei bucle de reglare a curentului, câte una pentru fiecare fază, cu regulator de tip P (proporțional), urmate de un modulator în impulsuri pentru obținerea impulsurilor de comandă pentru puntea trifazată de comutatoare statice.

Sistemul de putere de filtrare activă implementat este prezentat în figura 3.

Blocurile funcționale ale sistemului experimental din figura 3 sunt formate din:

- I. Sursa de alimentare

- II. Punctul comun de conectare (PCC)
- III. Filtru activ de putere
 - 1. *Invertor trifazat*
 - 2. *Bobine de interfață cu rețeaua electrică*
 - 3. *Modul de bază pentru achiziția semnalelor analogice și comanda invertorului*
 - 4. *Placă de adaptare a nivelelor logice pentru semnalele PWM de comanda pentru invertor*
 - 5. *Conexiuni reconfigurabile pentru traductoarele de tensiune și de curent*
- IV. Sarcină neliniară
 - 1. *Sarcină de tensiune alternativă, trifazată, programabilă*
 - 2. *Redresor necomandat*

În figura 4 se prezintă blocul conexiunilor pentru traductoare.

Deoarece poziția traductoarelor de tensiune și de curent poate varia în funcție de strategia de control a filtrului activ, sistemul propus în invenția de față conține elemente de conectică reconfigurabilă pentru a realoca traductoarele pe poziția necesară.

De asemenea, deoarece pe parcursul testelor poate fi nevoie de sensibilitate mai mare a traductoarelor, s-au realizat circuite electronice de amplificare de 10 ori a semnalului util de la ieșirea fiecărui traductor. Atât semnalele de ieșire neamplificate, cât și cele amplificate de 10 ori sunt disponibile la intrările convertorului analog-numeric din blocul funcțional III.3 (Modul de bază pentru achiziția semnalelor analogice și comanda invertorului). În figurile 5 și 6 se prezintă circuitele electronice ale traductorului de curent, respectiv de tensiune cu ieșire duală.

Dimensionarea inductanțelor serie dintre invertor și rețea, precum și a condensatorului de tensiune continuă din invertorul de tensiune s-au realizat ținând cont de performanțele maxime ale elementelor semiconductoare de putere din invertorul de tensiune, astfel încât să se obțină performanțe maxime pentru filtrul activ.

Bucła PLL are ca scop obținerea unui semnal se formă sinusoidală și amplitudine unitară, în fază cu semnalul de intrare, în acest caz fiind tensiunea de fază a rețelei. Algoritmul prezentat în figura 7 se bazează pe modificarea vitezei de execuție a unei bucle de incrementare a unei variabile locale. S-a ales o bucla de 1000 de pași, unde la fiecare pas de execuție variabila locală se incrementează cu valoarea numerică 0.001. Execuția buclei începe la prima trecere prin zero a semnalului de intrare, $U_{fază}$. La sfârșitul buclei de incrementare, când valoarea variabilei este unitară, se determină decalajul relativ față de semnalul de intrare și se ajustează viteza de execuție astfel încât să se minimizeze eroarea de fază.

Pe structura standului experimental (Figura 8), blocul traductoarelor de tensiune și de curent constă din 3 traductoare de tensiune și 6 traductoare de curent, conectate între rețea, consumatorul poluant și invertorul de tensiune. Poziția acestora și a sensului de măsurare poate fi modificată fără a afecta circuitul de putere al standului experimental.

Semnalele analogice obținute de la traductoarele de tensiune și de curent sunt aplicate la intrările convertoarelor analog-numerice asociate modulului cRIO și apoi sunt transferate procesorului FPGA pentru utilizare în buclele de control.

Semnalul PWM obținut prin strategia de control indirect a filtrului activ, se aplică invertorului de tensiune pentru controlul comutatoarelor statice de putere.

Calculatorul de tip PC este utilizat pentru monitorizarea și controlul funcționării filtrului activ. Informațiile de interes sunt afișate fie numeric, fie ca grafice în funcție de timp.

Algoritmul de control se dezvoltă pe un sistem de calcul uzual, de tip desktop și se transferă modulului cRIO pentru execuție locală. Calculatorul de tip desktop este utilizat apoi pentru controlul filtrului activ (start/stop) și pentru monitorizarea semnalelor de interes, sub forma numerică sau grafică (Figura 9).

Interfața cu operatorul, proprie dezvoltată, de nivel superior (Fig.9) conține principalele moduri de control și domenii virtuale necesare pentru funcționarea filtrului activ de putere (APF).

Această buclă are o prioritate redusă și rulează în procesorul CPU al platformei cRIO. Timpul maxim de eșantionare al acestei bucle este de 100us, nu suficient pentru a implementa buclele de control APF în timp real, dar suficient de rapid pentru a fi folosit ca „interfață cu utilizatorul” cu operatorul uman. Modulul PWM generează semnale ON/OFF complementare pentru cele trei brațe ale inverterului de putere. Nu a fost implementat niciun timp mort, deoarece driverul IGBT include deja această funcție ca protecție standard. Perioada semnalului PWM este calculată în „ticks” FPGA, frecvența de comutație de 15 kHz însemnând 3000 „ticks”. Această opțiune permite o variație / creștere PWM fină de doar 0,03%.

Față de alte sisteme experimentale pentru dezvoltarea filtrelor active, standul prezintă următoarele avantaje:

- poate fi testat la tensiuni de alimentare trifazate foarte joase (zeci de volți);
- poziția traductoarelor este reconfigurabilă;
- traductoarele au două ieșiri, de sensibilități diferite;
- buclele de control se execută în timp real, într-un procesor de tip FPGA, cu execuție paralelă a buclelor pentru cele 3 faze ale rețelei;
- elementele de protecție la supracurent și supratensiune sunt implementate în procesorul FPGA, putând fi ajustate în funcție de algoritmul testat;
- valorile componentelor analogice de putere (bobina de interfață dintre inverterul de tensiune și rețea, precum și condensatorul de tensiune continuă din inverterul de tensiune), dimensionate după metoda controlului indirect, permit obținerea performanțelor maxime de filtrare pentru toate strategiile de control aplicabile;
- buclele PLL de refacere a referințelor sinusoidale de tensiune se execută în procesorul FPGA, cu viteza maximă și execuție paralelă;
- sistemul permite testarea oricărui tip de semnal PWM, cu orice tip de strategie de modulație, precum și controlul cu histerezis pentru inverterul de putere;
- frecvența semnalului PWM de comandă pentru inverter, generat în interiorul procesorului FPGA, poate fi fixată sau variată până la posibilitățile limită ale comutatoarelor electronice de putere din inverterul de tensiune;
- sistemul de calcul de tip PC, pentru programare, monitorizare și control arată în timp real formele de undă ale semnalelor de interes din sistem
- structura de control propusă nu necesită detectarea armonicilor superioare, componentelor reactive de curent sau componentelor de curent de secvență negativă.

Scurtă descriere a desenelor

Semnificația figurilor care însoțesc prezenta propunere de invenție este prezentată în continuare.

Fig. 1. Structura strategiei de control indirect [EPU 2013]

Fig. 2. Schema bloc simplificată a standului experimental cu strategia de control indirect pentru filtrul activ [EPU 2013]

Fig. 3 Standul experimental, vedere de ansamblu

Fig. 4. Conexiunile traductoarelor

Fig. 5. Circuit electronic pentru adaptarea semnalului de ieșire de la traductoarele de curent

Fig. 6. Circuit electronic pentru adaptarea semnalului de ieșire de la traductoarele de tensiune

Fig. 7 Organigrama buclei PLL implementată în procesorul FPGA

Fig. 8 Structura simplificată a standului experimental cu evidențierea revendicărilor

Fig. 9 Interfața cu operatorul, de nivel superior

FIȘA BIBLIOGRAFICĂ

- [AHM 11] *Active Power Filter: Review of Converter Topologies and Control Strategies*, Ahmet TEKE, Lütfü SARIBULUT, M. Emin MERAL, Mehmet TÜMAY, 2011
- [AKA 96] *New Trends in Active Filters for Power Conditioning*, IEEE Transactions, IA-32, Akagi H., 1996
- [AKA 07] *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*, Akagi H., E.H. Watanabe, M. Aredes, WILEY 2007 (2007)
- [CHE 08] *Direct Power Control of Active Filters with Averaged Switching Frequency Regulation* Chen B.S. and G. Joss (nov. 2008), IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, pp.2729-273, 2008
- [EPU 13] *Contribuții privind reducerea regimului deformant generat de sarcini neliniare de mică putere: teză de doctorat* Silviu Ionuț Epure, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, (2013), <https://www.gup.ugal.ro/guppress/index.php/test/catalog/book/350>
- [GRE 05] *Control techniques for active power filters*, Green, T.C.; Marks, J.H.; IEE Proceedings- Electric Power Application, Vol. 152, no. 2, pp. 369-381, 2005.
- [HAB 00] *Active power filters: A review*, El-Habrouk M., M.K.Darwish and P.Mehta,) IEE Proc-Electr. Power Appl, sept 2000
- [HYO 02] *Spectral Analysis of Instantaneous Powers in Single-Phase and Three-Phase Systems With Use of p-q-r Theory*, Hyosung Kim, Frede Blaabjerg, and Birgitte Bak-Jensen, Ieee Transactions On Power Electronics, Vol. 17, No. 5, September 2002
- [KAR 03] *An Adaptive Filter for Synchronous Extraction of Harmonics and Distortions*, Karimi, H., Kharimi – Ghartemani, M., Reza Irvani, M. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, No.4, Oct. 2003
- [MAR 07] *Comparison of Control Strategies for Shunt Active Power Filters in Three-Phase Four-Wire Systems*, María Isabel Milanés Montero, Enrique Romero Cadaval, Fermín Barrero González, IEEE 2007
- [OUL 05] *A Neural Approach for the Control of an Active Power Filter*, D. Ould Abdeslam, P. Wira, J. Mercklé, and Y.-A. Chapuis, 5th International Power Electronics Conference (IPEC'2005), Niigata, Japan, April 4-8, 2005
- [ROS 06] *Indirect control of a single-phase active power filter*, Roșu E, Culea M, Dumitriu T, Munteanu T.. The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle III, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, 2006
- [ROS 08] *Active Power Filter with Indirect Control for Line-Frequency Controlled Rectifiers*, E. Rosu, M. Culea, T. Dumitriu, T. Munteanu, R. Paduraru, ISEEE 2008.
- [YON 99] *New approaches of low cost hybrid active filter*, Yonghai, X., Xiangning, X., Lianguang, L. –Proc. of Electric Power Engineering, 1999. pp. 291.
- RO131355 (A2) *METODĂ ȘI SISTEM PENTRU COMANDA FILTRELOR ACTIVE PARALEL, SUB TENSIUNE NESINUSOIDALĂ*, 2016
- RO131297 (A0) *METODĂ DE CONTROL PENTRU UN COMPENSATOR CAPACITIV AUTOMAT DESTINAT ÎMBUNĂTĂȚIRII FACTORULUI DE PUTERE ȘI ECHILIBRĂRII SARCINII ÎN REȚELE ELECTRICE TRIFAZATE CU PATRU CONDUCTOARE*, 2016
- RO132402 (A0) *SISTEM ADAPTIV PENTRU ASIGURAREA CALITĂȚII ENERGIEI ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE*, 2018
- RO131356 (A2) *SISTEM DE FILTRARE ȘI REGENERARE PENTRU SUBSTAȚII DE TRACȚIUNE ÎN CURENT CONTINUU*, 2016
- CN201210257565A, *Feedback linearization sliding-mode control method of three-phase three-wire system shunt active power filter*, CN102751727A (B) • 2012-10-24 • UNIV HOHAI CHANGZHOU
- CN106877326A, *SHEN JIUZHU, Novel current control method for active power filter*, 2017

REVEDICĂRI*

1. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, **caracterizat prin aceea că** permite implementarea oricărei strategii de control pentru filtrul activ paralel, împreună cu orice tip de modulație PWM a inverterului de tensiune, fără modificarea conexiunilor hardware dintre componentele electrice de putere;
 2. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** are structura flexibilă în ceea ce privește tensiunea de rețea și frecvența acesteia, putând fi folosit pentru proiectarea și testarea filtrelor active pentru orice rețea electrică trifazată de joasă tensiune (Uniunea Europeană, Statele Unite ale Americii, Japonia, Australia etc);
 3. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** implementarea algoritmului de control se face pe un procesor de tip FPGA, cu execuție paralelă a buclilor de reglare;
 4. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, conform revendicărilor 1, 2, 3, **caracterizat prin aceea că** utilizează strategia de control indirect împreună cu semnal PWM de frecvență fixă pentru comanda inverterului de tensiune;
 5. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, conform revendicărilor 1 și 2 **caracterizat prin aceea că** transformatoarele de tensiune și de curent au ieșiri duale, de sensibilități diferite;
 6. Sistem experimental pentru implementarea și testarea filtrelor active de putere trifazate, de tip paralel, conform revendicărilor anterioare **caracterizat prin aceea că** obținerea semnalelor sinusoidale de referință pentru tensiunile de fază se realizează numeric, în procesorul FPGA, după un algoritm PLL propriu (Fig.7).
- * Revendicări evidențiate în figura 8

DESENELE EXPLICATIVE

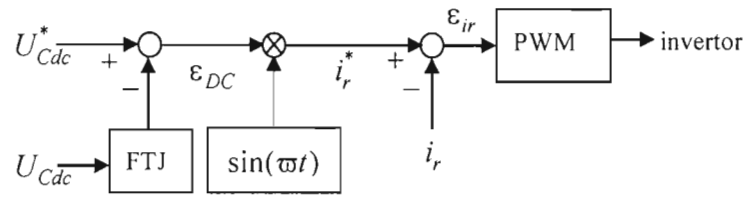


Fig.1

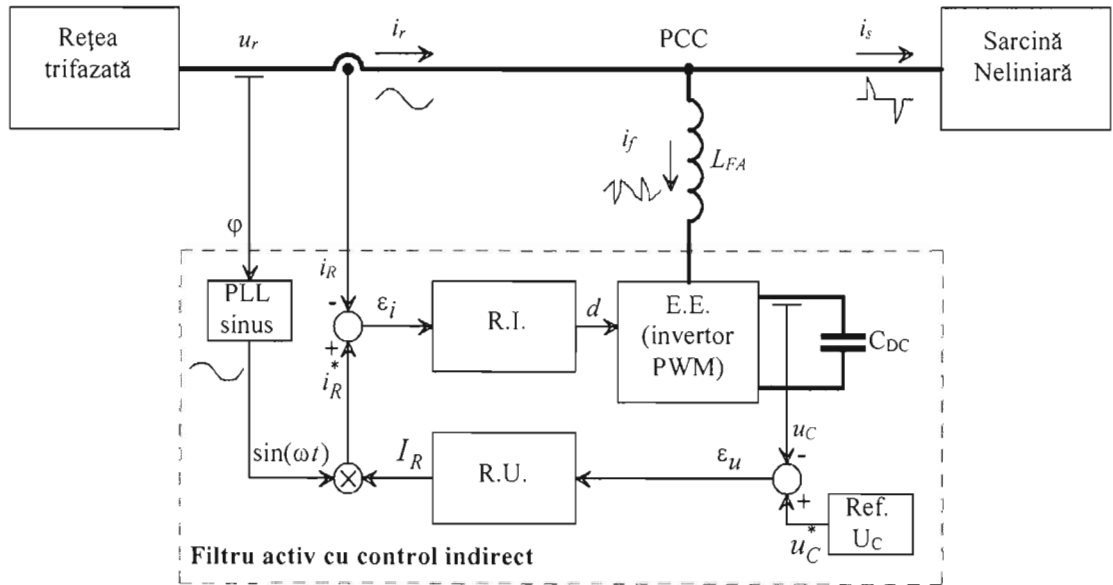


Fig. 2

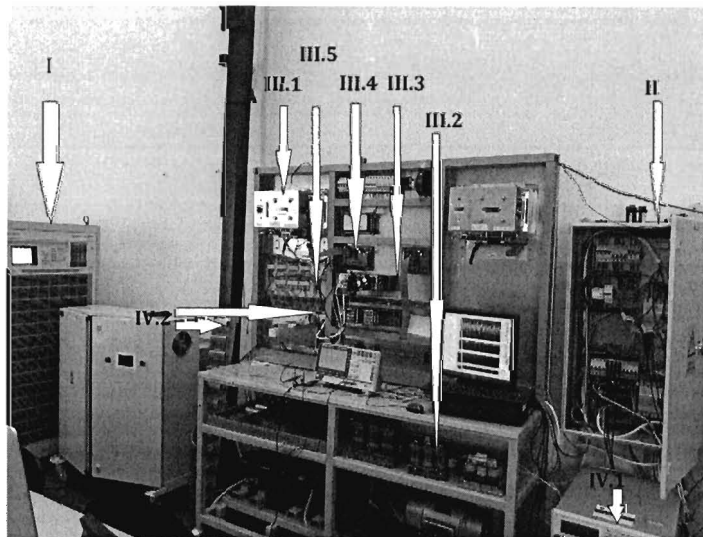


Fig. 3

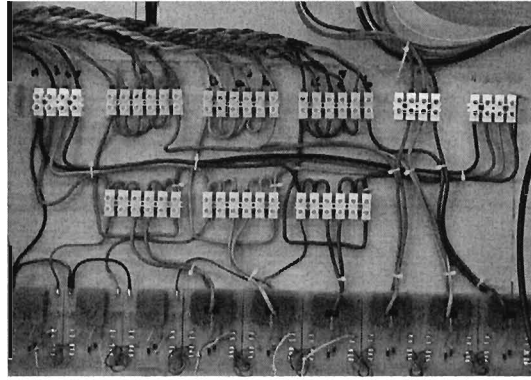


Fig. 4

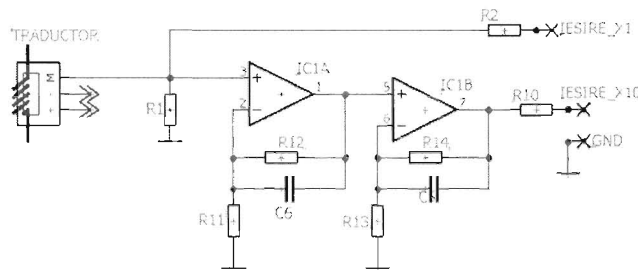


Fig. 5

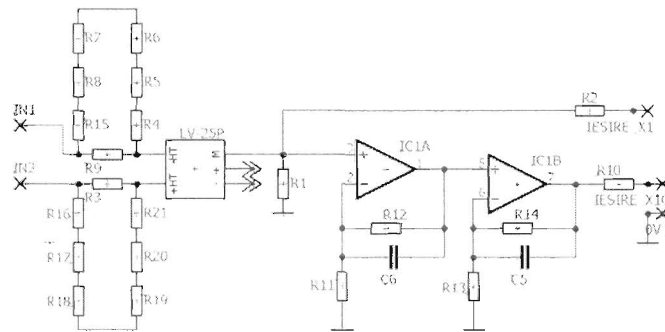


Fig. 6

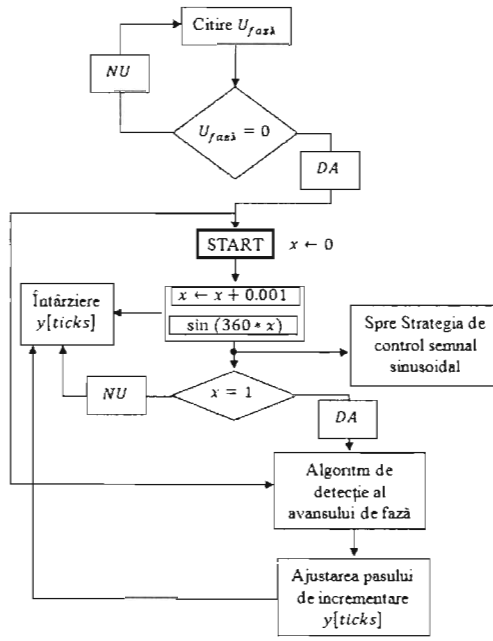


Fig. 7

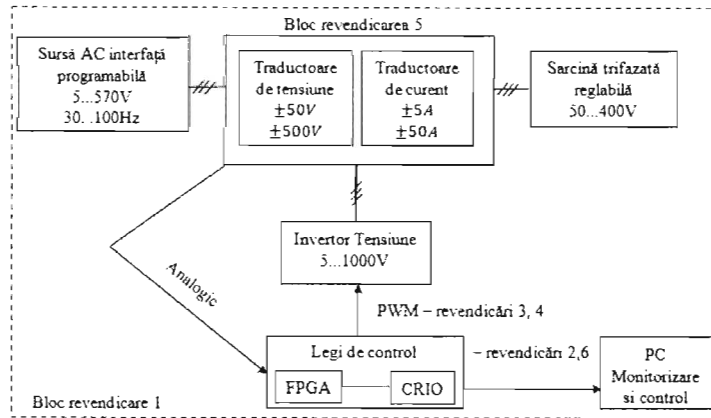


Fig. 8

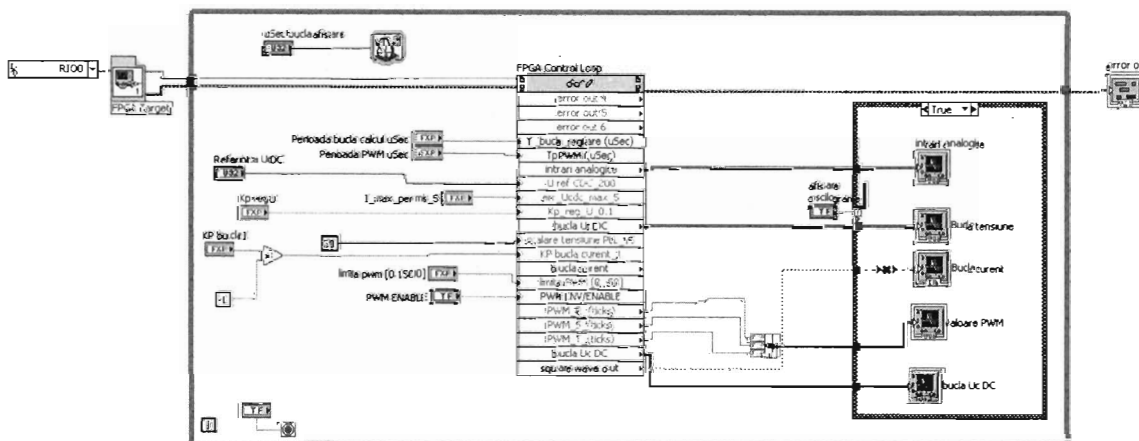


Fig. 9