



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00068

(22) Data de depozit: 02/02/2015

(41) Data publicării cererii:  
30/08/2016 BOPI nr. 8/2016

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

(72) Inventatori:  
• POPESCU MIHAELA, CALEA BUCUREȘTI  
NR. 47, BL. 27D, AP. 8, CRAIOVA, DJ, RO;  
• BITOLEANU ALEXANDRU,  
STR. ÎMPĂRATUL TRAIAN NR.1, BL.G,  
SC.1, AP.10, CRAIOVA, DJ, RO

(54) METODĂ ȘI SISTEM PENTRU COMANDA FILTRELOR  
ACTIVE PARALEL, SUB TENSIUNE NESINUSOIDALĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un sistem pentru comanda filtrelor active paralel, sub tensiune nesinusoidală, cu rol de a compensa armonicile de curent și/sau puterea reactivă. Sistemul conform invenției cuprinde un inverter (2) de tensiune conectat la o rețea (1) de alimentare, în același punct cu o sarcină (3) deformantă, prin intermediul unui filtru (6) pasiv, energia necesară compensării fiind stocată și preluată dintr-un condensator (7) de compensare conectat pe partea de curent continuu a inverterului (2), iar pentru calcularea curentului de compensare a filtrului activ, într-un bloc (10) se culeg tensiuni și curenți ai sarcinii prin niște transductoare (4 și 5), blocul (10) pentru calculul curentului activ de compensare fiind format din mai multe blocuri, astfel: un bloc (18) pentru calculul componentelor fazorului curenților de sarcină, un bloc (19) pentru calculul componentelor fazorului tensiunilor de alimentare, un bloc (20) pentru calculul componente reale a puterii aparente complexe instantanee, două blocuri (21 și 24) pentru calculul fazorilor curenților și tensiunilor, un bloc (22) pentru calculul puterii active instantanee, un bloc (23) pentru calculul valorii efective instantanee a modulului fazorului tensiunilor, un bloc (25) pentru calculul fazorului curenților activi, un bloc (26) pentru calculul componentelor fazorului curenților ce trebuie compensați, și un bloc (27) pentru calculul curenților de referință pentru cele trei faze ale filtrului activ paralel. Metoda conform invenției se bazează pe teoria puterii aparente complexe instantanee.

Revendicări: 2  
Figuri: 5

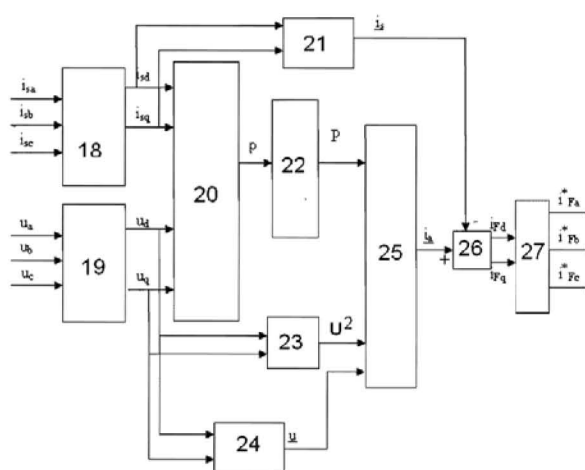


Fig. 3



## METODĂ ȘI SISTEM PENTRU COMANDA FILTRELOR ACTIVE PARALEL, SUB TENSIUNE NESINUSOIDALĂ

### DESCRIEREA INVENȚIEI

#### Titlul invenției

Metodă și sistem pentru comanda filtrelor active paralel, sub tensiune nesinusoidală.

#### Domeniul invenției

Invenția se referă la comanda filtrelor active paralel trifazate care se montează în paralel cu o sarcină deformantă sau în punctul comun de conectare al unei rețele de curent alternativ și au rolul de a compensa armonicile de curent și/sau puterea reactivă. Concret, invenția propune o metodă și un dispozitiv pentru comandă pentru filtrele active paralel, când tensiunea în punctul de conectare a filtrului nu este sinusoidală. Metoda utilizează teoria puterii aparente complexe instantanee și se bazează pe o relație găsită de autori, iar sistemul de comandă definește blocurile necesare și structura acestora. Se exemplifică implementarea pe sistemul dSPACE 1103.

#### Descrierea stadiului actual

Utilizarea teoriei puterii aparente complexe instantanee ( $p$ ,  $q$ ) în comanda filtrelor active paralel a fost introdusă pentru prima dată de H. Akagi, Y. Kanazawa și A. Nabae în 1984 [1]. În prezent, această metodă este utilizată pe scară largă în comanda filtrelor active paralel, datorită a două avantaje importante: reducerea volumului și a timpului de calcul necesare și obținerea unor performanțe de filtrare superioare, inclusiv în regim dinamic.

Cu referire la Fig. 1, invertorul de tensiune (2) este conectat la rețeaua de alimentare (1), în același punct ca și sarcina deformantă (3), prin intermediul filtrului pasiv (6). Energia necesară compensării este stocată și preluată din condensatorul de compensare (7), conectat pe partea de c.c. a invertorului. Curentul pe care trebuie să îl furnizeze filtrul activ are două componente: o componentă necesară compensării (armonicilor și eventual, puterii reactive) și o componentă necesară acoperirii pierderilor în filtrul activ. În vederea calculării, în blocul (10), a curentului de compensare al filtrului activ, se culeg tensiunile și curenții sarcinii prin traductoarele (4) și (5).

Schema de reglare în circuit închis conține două bucle: una principală, pentru reglarea tensiunii pe condensatorul de compensare, care asigură curentul necesar acoperirii pierderilor în filtrul activ și una subordonată, pentru reglarea curentului care să asigure compensarea impusă. Pentru aceasta, se măsoară și curentul debitat de filtrul activ, prin traductoarele (8) și tensiunea pe condensatorul de compensare, prin traductorul (9). În comparatorul (11) se compară tensiunea precisă pe condensatorul de compensare  $U_c^*$  și tensiunea reală obținută de la traductorul (9). Eroarea se aplică regulatorului de tensiune (12), a cărui ieșire, după înmulțirea cu o sinusoidă obținută în blocul (13), de amplitudine unitară și în fază cu tensiunea, semnifică curentul necesar pentru a menține tensiunea pe condensatorul de compensare la valoarea impusă. Acest curent se adună, în blocul (14), cu cel necesar compensării și se compară, în comparatorul (15), cu cel debitat de filtru, obținut de la traductorul (8). Eroarea de curent se aplică regulatorului de curent (16), a cărui ieșire constituie mărimea de comandă pentru blocul PWM (17), care generează șase semnale de comandă pentru cele șase elemente semiconductoare ale invertorului de tensiune (2).

În cazul compensării totale (armonici și putere reactivă), filtrul activ trebuie comandat cu un curent al cărui fazor ( $i_F^*$ ) este dat de relația,

$$\underline{i}_F^* = \underline{i}_a - \underline{i}_s, \quad (1)$$

în care:

- $i_s$  este fazorul spațial al curenților sarcinii;
- $i_a$  este fazorul spațial al curenților activi corespunzători sarcinii.

În acest fel, presupunând că filtrul activ furnizează un curent identic cu cel de comandă, la rețea se va găsi numai curentul activ,

$$\underline{i}_r = \underline{i}_s + \underline{i}_F = \underline{i}_s + \underline{i}_F^* = \underline{i}_a. \quad (2)$$

Pentru componenta activă a curentului, Akagi și colaboratorii săi [1] au propus relația

$$\underline{i}_a = \frac{2P}{3|u|^2} \underline{u}. \quad (3)$$

P este puterea activă calculată ca media într-o perioadă, a părții reale a puterii aparente complexă instantanee,

$$\underline{s} = \frac{3}{2} \underline{u} \underline{i}_s^* = p + jq. \quad (4)$$

S-a demonstrat că extragerea componentei active a curentului pe baza teoriei puterii aparente complexe instantanee, în maniera propusă de Akagi și alți autori, este corectă numai dacă tensiunile sunt sinusoidale [2], [3].

Pentru comanda sub tensiune nesinusoidală s-au propus diverse metode, toate în domeniul timp, ceea ce implică un timp de calcul mare și, implicit, o precizie scăzută. [4], [5], [US Pat. 2005/006882549 B2], [7], [CN Pat. 2013/102916428 A], [8]

Dacă tensiunea nu este sinusoidală, curentul calculat cu relația (3) nu mai este componenta activă, deoarece nu are aceeași formă ca și tensiunea [2]. Acest lucru se întâmplă deoarece modulul fazorului tensiunilor nu mai este constant, așa cum se arată în figura 2 pentru fazorul tensiunii în secundarul transformatorului ce alimentează un redresor trifazat în punte complet comandat a) și la ieșirea unui invertor trifazat de tensiune cu modulație în amplitudine b).

### Prezentarea problemei tehnice

Metoda conform prezentei invenții este o metodă originală de calcul a curenților de referință pentru filtrele active paralel care lucrează în condiții de tensiune nesinusoidală, iar sistemul de comandă definește blocurile necesare și structura acestora.

### Expunerea invenției

Conform invenției, metoda propusă se bazează pe calculul curentului activ în condiții de tensiune nesinusoidală printr-o relație originală găsită de autori, respectiv [6]

$$\underline{i}_a = \frac{2}{3} \cdot \frac{u}{U^2} P. \quad (5)$$

Conform invenției, puterea activă instantanee (P) se calculează, fie prin integrarea numerică pe o perioadă (T) translatabilă până la momentul curent, conform relației

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T} p dt}, \quad (6)$$

fie utilizând un filtru trece jos.

Conform invenției, pătratul valorii efective instantanee a modului fazorului tensiunilor ( $U^2$ ) se calculează prin integrarea numerică pe o perioadă translatabilă până la momentul curent, conform relației,

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_{-T}^T |u|^2 dt = \frac{1}{T} \int_{-T}^T (u_d^2 + u_q^2) dt, (7)$$

sau utilizând un filtru trece jos.

Conform invenției, sistemul de comandă a filtrelor active paralel sub forma schemei de principiu, ilustrat în Fig. 3, cuprinde un bloc (18) pentru calculul componentelor fazorului curenților de sarcină după axele d și q, un bloc (19) pentru calculul componentelor fazorului tensiunilor de alimentare după axele d și q; pe baza acestor componente, în blocul (20) se calculează componenta reală a puterii aparente complexe instantanee, iar blocurile (21 și 24) calculează fazorii curenților și tensiunilor, apoi în blocul (23) se calculează pătratul valorii efective instantanee a modului fazorului tensiunilor, iar în blocul (24) se calculează și fazorul tensiunilor. În continuare, în blocul (25) se calculează fazorul curentului activ, conform relației (5), în blocul (26) se calculează componentele fazorului curentului ce trebuie compensat, conform relației (1), iar în blocul (27) se calculează curenții de referință pentru cele trei faze ale filtrului activ paralel.

Un avantaj al prezentei invenții este acela că permite aplicarea metodei p-q pentru calculul curenților de referință pentru filtrele active paralel în condiții de tensiune nesinusoidală.

De asemenea, un mare avantaj al invenției este acela că permite obținerea unui factor de putere unitar, chiar și în condiții de tensiune nesinusoidală.

Un alt avantaj al invenției este acela că necesită un timp de calcul redus și implicit, o precizie ridicată.

### Scurtă descriere a desenelor

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

Fig. 1 reprezintă structura sistemului de filtrare activă paralel. Blocul de calcul a curentului de referință (10) este blocul la care se referă cererea de invenție.

Fig. 2 arată locul geometric al fazorului spațial al tensiunii nesinusoidale, în secundarul transformatorului de alimentare a unui redresor trifazat complet comandat, în punte și la bornele unui invertor de tensiune cu modulație în amplitudine; evidențiază grafic cauza care determină calculul eronat al curentului activ, în maniera propusă de Akagi.

Fig. 3 reprezintă detalierea blocului 10 din Fig. 1 și constituie obiectul cererii de invenție.

Fig. 4 exemplifică calculul curentului activ după metoda propusă de autori a) și după metoda propusă de Akagi b), pentru un sistem trifazat de tensiuni simetrice nesinusoidale conținând armonicile 1 și 5 ce alimentează o sarcină pur rezistivă simetrică.

Fig. 5 exemplifică realizarea sistemului pentru comanda filtrelor active paralel, sub tensiune nesinusoidală după metoda propusă de autori, pe sistemul DSP dSPACE 1103.

Se dă, în continuare, o modalitate de realizare a invenției, prin implementarea pe sistemul dSPACE 1103, în legătură cu fig. 5.

Conform invenției, două tensiuni de linie în punctul comun de conectare (uab și uac), curenții prin sarcină pe fazele b și c, curenții debitați de filtrul activ pe fazele a și b și tensiunea pe condensatorul de compensare se achiziționează prin convertoarele analog-digitale, pe 12 biți, (28), (29), (30), (31) și (32), iar în blocurile (33), (34) și (35) se obțin mărimile de fază. Conform invenției, sistemul DSP calculează: componentele fazorilor corespunzători tensiunilor în punctul

comun de conectare și curenților de sarcină, în blocurile (36) și (37); fazorul tensiunilor, fazorul complex conjugat al curenților de sarcină și fazorul curenților de sarcină, în blocurile (38), (39) și (49); pătratul modulului fazorului tensiunilor în blocul (41); puterea aparentă complexă instantanee în blocul (42), conform relației (4); partea reală a puterii aparentă complexă instantanee în blocul (43); puterea activă aferentă sarcinii în blocul (44), conform relației (6); pătratul valorii efective a modulului fazorului tensiunilor în blocul (45), conform relației (7); fazorul curentului de sarcină activ în blocurile (46) și (47), conform relației (5); fazorul curentului compensator în blocul (48), conform relației (1); curenții compensatori pe fazele a, b și c în blocurile (49) și (50) și curenții de referință pe fiecare fază, în blocul (52), prin însumarea algebrică a curenților compensatori și a curenților care asigură menținerea constantă a tensiunii pe condensatorul de compensare, obținut în blocul (51). În continuare, legea de reglare de tip histerezis se realizează în blocul (53) care generează semnalele de comandă a tranzistoarelor și care se trimit la șase ieșiri digitale, iar de aici către driverele tranzistoarelor.

**FIȘA BIBLIOGRAFICĂ**

- [1] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-20, pp. 625, 1984.
- [2] L. S. Czarnecki, "Instantaneous reactive power p-q theory and power properties of three-phase systems," IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no.1, pp. 362–367, Jan. 2006.
- [3] K. R. Uyyuru, M. K. Mishra, and A. Ghosh, "An optimization-based algorithm for shunt active filter under distorted supply voltages," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 5, pp. 1223–1232, May 2009.
- [4] R. S. Herrera, P. Salmeron, and H. Kim, "Instantaneous reactive power theory applied to active power filter compensation: Different approaches, assessment, and experimental results," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 1, pp. 184–196, Jan. 2008.
- [5] J. F. Petit, G. Robles, and H. Amaris, "Current reference control for shunt active power filters under nonsinusoidal voltage conditions," IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 4, , pp. 2254–2261, Oct. 2007.
- [6] M. Popescu, A. Bitoleanu A, and V. Suru, "A DSP-based implementation of the p-q theory in active power filtering under nonideal voltage conditions, " IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 9, no. 2, pp. 880–889, May 2013.
- [7] US Pat. 2005/006882549B2.
- [8] CN Pat. 2013/102916428-A.

## REVENDICĂRI

1. Metodă pentru comanda filtrelor active paralel, sub tensiune nesinusoidală, prin extragerea componentei active ( $\underline{i}_a$ ) a curentului unei sarcini neliniare (3) pe baza curenților de fază ( $i_{sa}$ ,  $i_{sb}$ ,  $i_{sc}$ ) și a tensiunilor de fază ( $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$ ) **caracterizată prin aceea că** se calculează puterea activă instantanee ( $P$ ) prin integrarea numerică, pe o perioadă ( $T$ ) translatabilă până la momentul curent, a părții reale ( $p$ ) a puterii aparente complexe instantanee ( $\underline{s}$ ), și pătratul valorii efective ( $U^2$ ) a modulului fazorului spațial al tensiunii ( $\underline{u}$ ), apoi se calculează fazorul curentului activ pe baza relației

$$\underline{i}_a = \frac{2}{3} \cdot \frac{u}{U^2} P,$$

iar în final se obține fazorul curentului de compensat ca diferența dintre fazorul curentului de sarcină ( $\underline{i}_s$ ) și fazorul curentului activ.

2. Sistem pentru comanda filtrelor active paralel, sub tensiune nesinusoidală care implementează metoda de comanda conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este compus dintr-un bloc de calcul a componentelor fazorului spațial al curentului de sarcină (18), dintr-un bloc de calcul a componentelor fazorului spațial al tensiunii de alimentare (19), dintr-un bloc de calcul a părții reale a puterii aparente complexe instantanee (20), dintr-un bloc de calcul a puterii active instantanee (22), dintr-un bloc de calcul a pătratului valorii efective a modulului fazorului spațial al tensiunii (23), dintr-un bloc de calcul a fazorului tensiunii (24), dintr-un bloc de calcul a fazorului curentului activ (25), dintr-un bloc de calcul a fazorului curentului ce trebuie compensat (26) și dintr-un bloc de calcul a curentului ce trebuie compensat pe fiecare fază (27).

DESENELE EXPLICATIVE

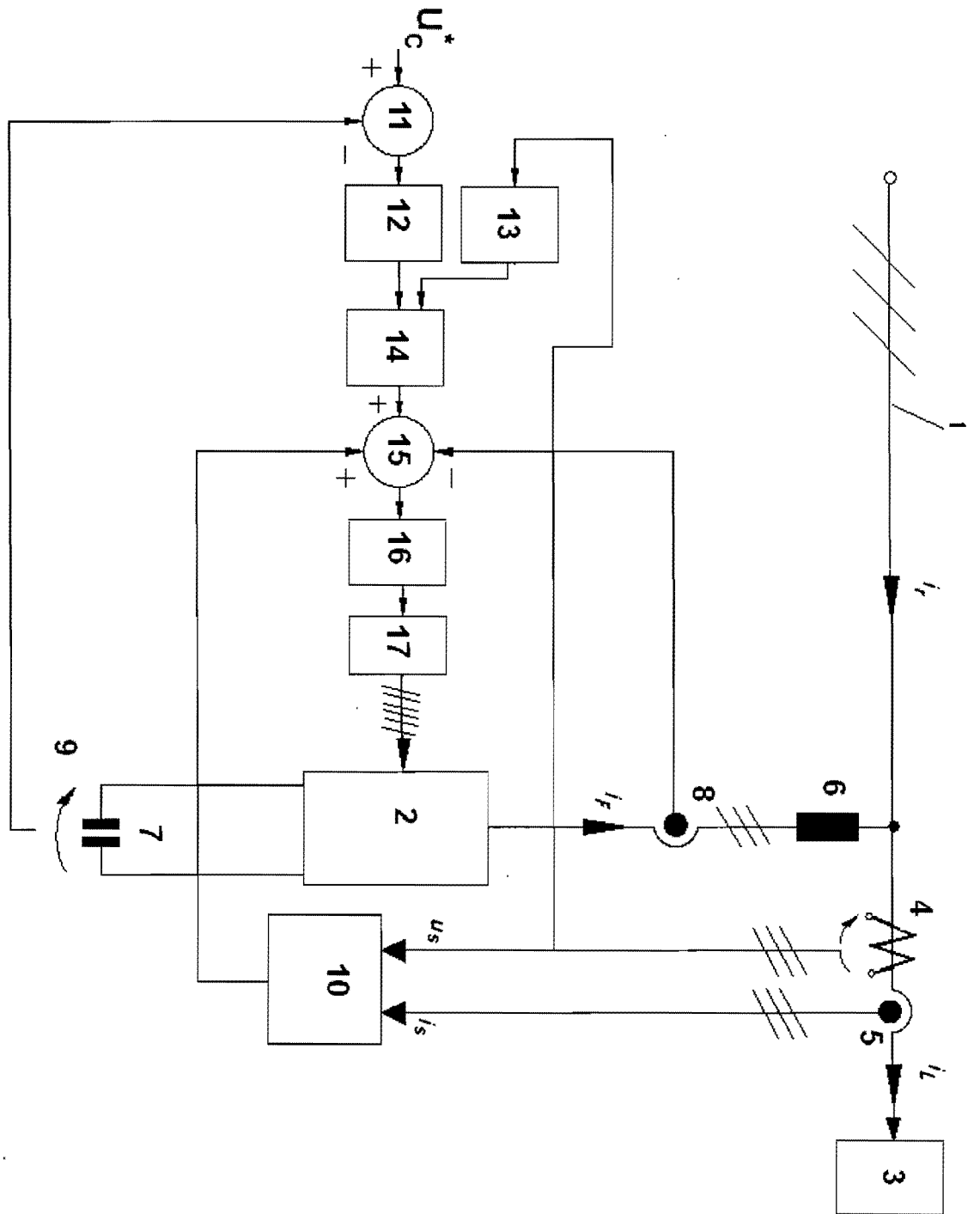


Fig. 1.



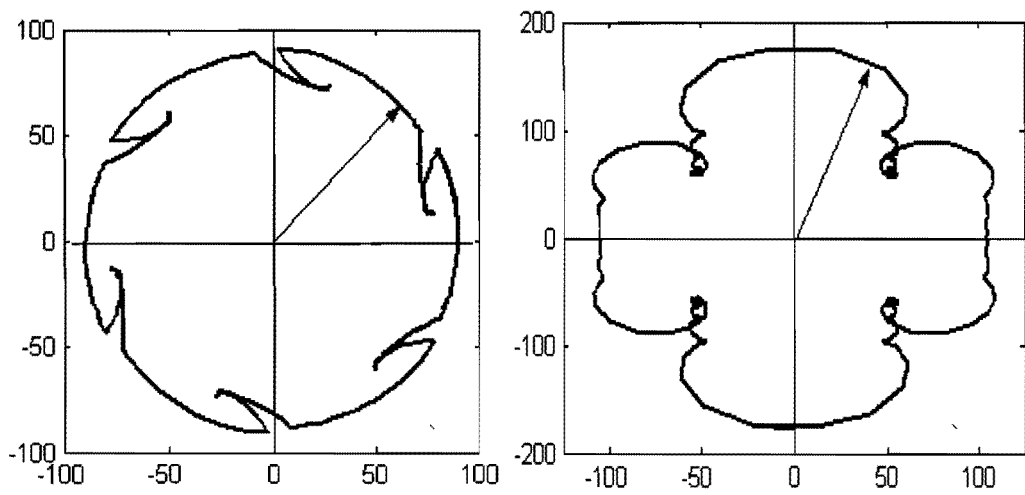


Fig. 2

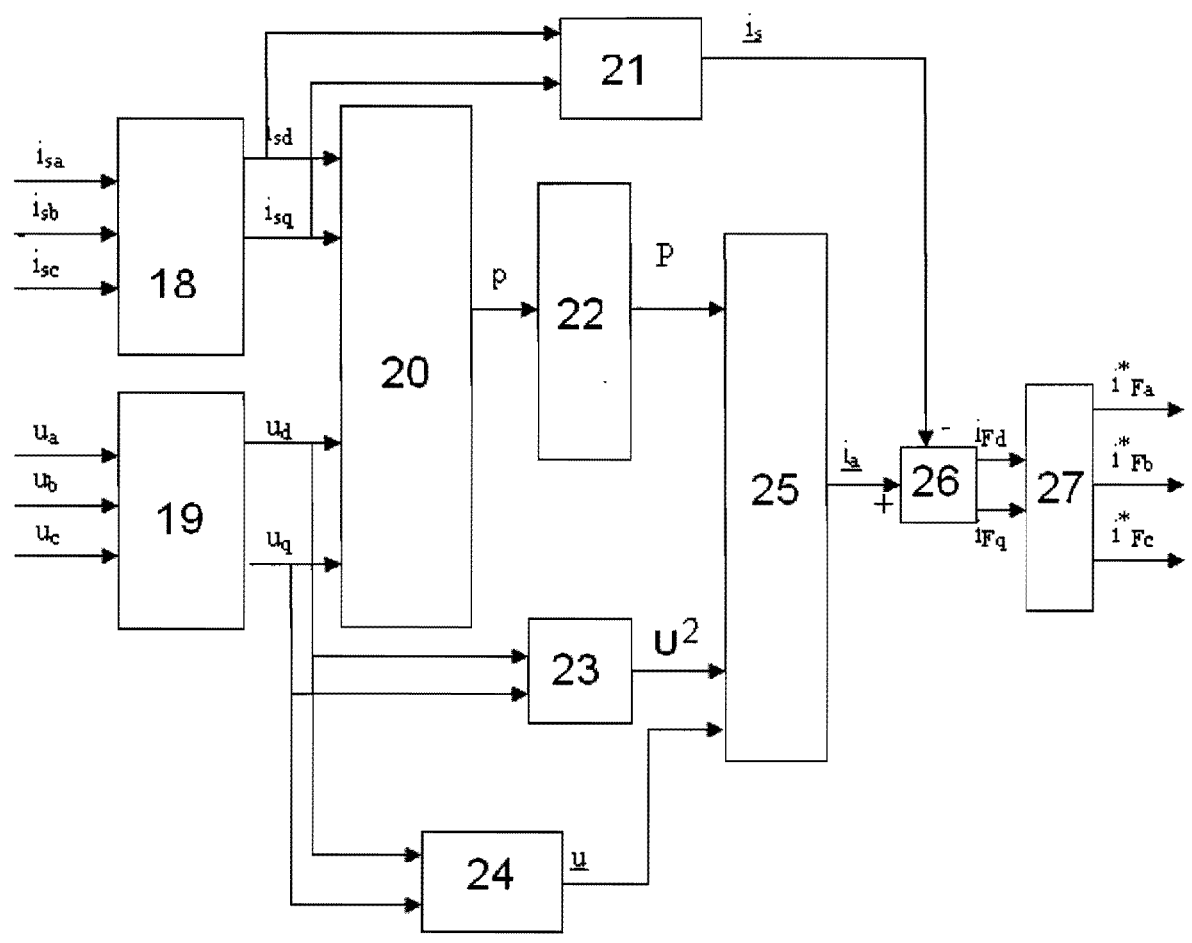
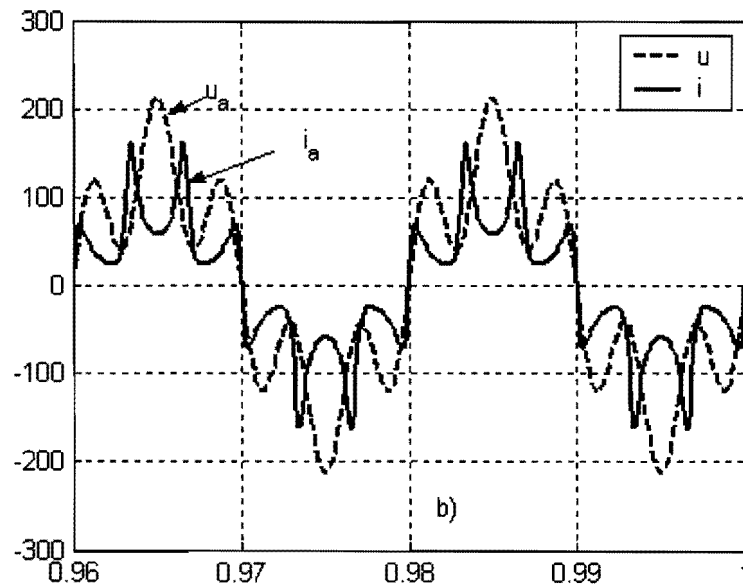
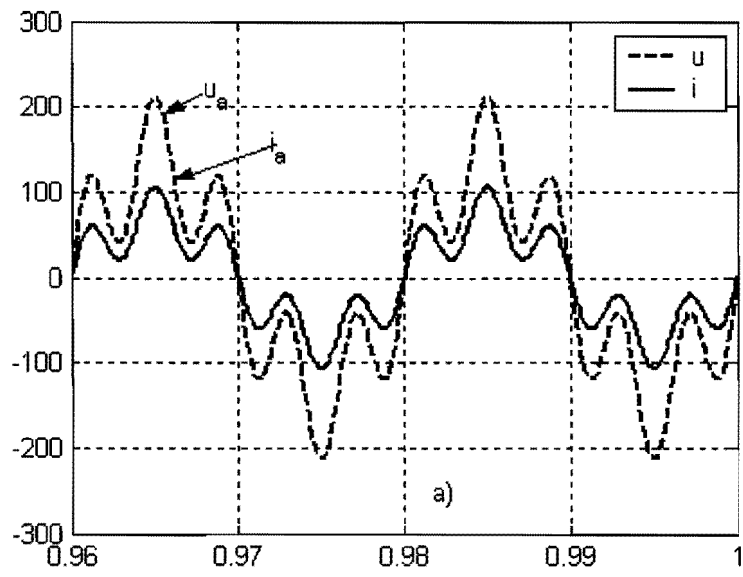


Fig. 3



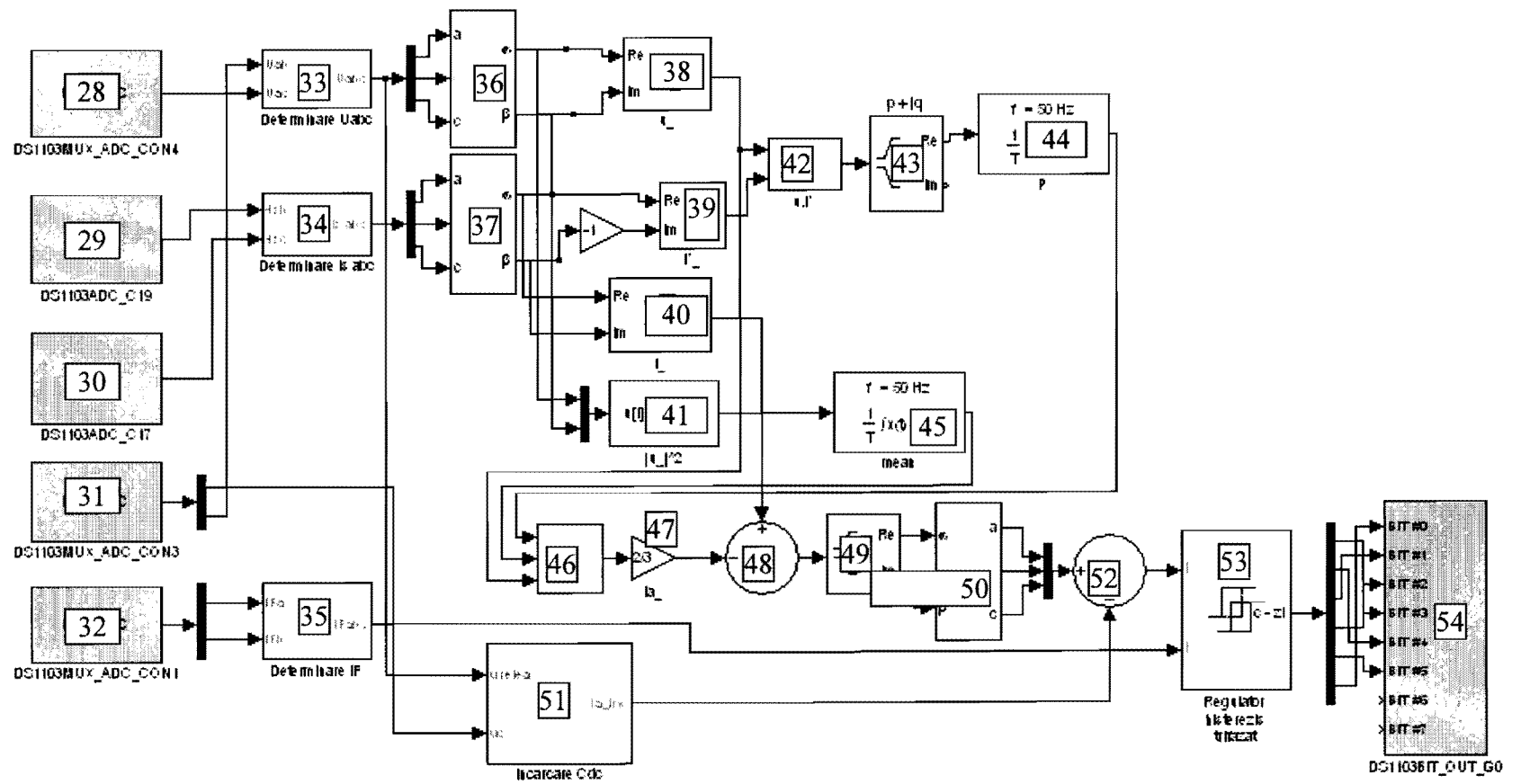


Fig. 5