



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 00882**

(22) Data de depozit: **23/09/2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/04/2016** BOPI nr. **4/2016**

(41) Data publicării cererii:
30/08/2011 BOPI nr. **8/2011**

(73) Titular:
• **ICPE SAERP - S.A., SPLAIUL UNIRII
NR.313, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **RĂDULESCU VASILE,
CALEA 13 SEPTEMBRIE NR.113, BL.125,
SC.1, ET.3, AP.7, SECTOR 5, BUCUREȘTI,
B, RO;**
• **STRĂINESCU IOAN, BD.TIMIȘOARA
NR.23, BL.Z 2, AP.5, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **GHEORGHE SERGIU AUGUST,
CALEA VĂCĂREȘTI NR.182, BL.23, SC.A,
AP.19, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **ENACHE BENIAMIN, STR.CIOCHINA
NR.4, BL.10, SC.2, ET.4, AP.35, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MOROIANU LEONARD,
CALEA VĂCĂREȘTI NR.278, BL.68, SC.A,
AP.29, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 6005362; US 5910892; US 6404655 B1

(54) **ECHIPAMENT DE ACȚIONARE DE MARE PUTERE CU
INVERTOR TRIFAZAT ȘI CU MOTOR ASINCRON TRIFAZAT**



RO 126620 B1

1 Invenția se referă la un echipament de acționare de mare putere, cu invertor trifazat și
cu motor asincron trifazat, utilizat pentru acționarea motoarelor asincrone trifazate.

3 Se cunosc mai multe tipuri de echipamente pentru acționarea motoarelor asincrone
trifazate, dar care nu pot asigura performanțele energetice și de mentenanță maxime, necesare
5 acționărilor de putere, pentru antrenarea pompelor de putere pentru irigații, centre de termo-
ficare, centrale termoelectrice, pompe de apă, și care nu asigură verificarea în permanență a
7 funcționării corecte a echipamentului de acționare.

Se cunoaște, din stadiul tehnicii, soluția prezentată de brevetul **US 6005362**, care se
9 referă la o metodă și la un sistem de comandă și control ale unui motor asincron. Sistemul este
constituit dintr-o sursă trifazată, un transformator, un redresor cu diode, un invertor, o unitate
11 de control și comandă, și un motor. Unitatea de control are două intrări: una ce monitorizează
tensiunea pentru fiecare fază a curentului, determinând amplitudinea și faza, iar a doua, pentru
13 monitorizarea tensiunii de intrare în invertor. Invertorul este constituit din tranzistoare IGBT, iar
comutația este realizată de către unitatea de control prin aplicarea comenzii de tip PWM pe
15 porțile tranzistoarelor. Dezavantajele acestei soluții constau în faptul că nu este asigurată
verificarea continuă a funcționării corecte a echipamentului de acționare, și nu este realizată
17 menținerea pe tot timpul funcționării a performanțelor energetice.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în verificarea separată a părții
19 electrice de forță de cea de comandă, simultan cu realizarea acționării multinivel a motorului
asincron de acționare.

21 Echipamentul de acționare de mare putere, cu invertor trifazat și motor asincron trifazat,
pentru o tensiune de alimentare de $3 \times 6 \text{ kVca} - 50 \text{ Hz}$, conform invenției, înlătură dezavantajele
23 prezentate mai sus prin aceea că este constituit:

- dintr-un contactor care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un
25 transformator trifazat, cu conexiune stea în primar, și cu două secundare în conexiune triunghi,
respectiv, stea, tensiunile de ieșire din transformator aplicându-se la intrarea a două redresoare
27 cu diode semiconductoare, ce furnizează o tensiune continuă unui invertor trifazat, realizat cu
douăsprezece tranzistoare tip IGBT și șase diode, în modul de funcționare PWM, tensiune care
29 este filtrată de un filtru trifazat, pentru a obține, la ieșire, o tensiune trifazată sinusoidală, de
frecvență variabilă;

31 - dintr-un contactor care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un
transformator trifazat ridicător de tensiune, facilitând obținerea tensiunii necesare alimentării
33 unui motor asincron trifazat;

- din niște blocuri de comandă, control, reglare și diagnoză, pentru supravegherea
35 funcțiilor care trebuie asigurate de echipament;

- din niște traductoare de tensiune, curent și turație, pentru colectarea parametrilor; și

37 - dintr-un bloc de afișaj digital.

Echipamentul de acționare de mare putere, cu invertor trifazat și motor asincron trifazat,
39 pentru o tensiune de alimentare cuprinsă în intervalul $3 \times 100 \text{ Vca} \div 3 \times 500 \text{ Vca} - 50 \text{ Hz}$, con-
form invenției, înlătură dezavantajele prezentate mai sus prin aceea că este constituit:

41 - dintr-un contactor care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un redresor
cu diode semiconductoare, ce furnizează o tensiune continuă unui invertor trifazat, realizat cu
43 douăsprezece tranzistoare tip IGBT și șase diode, în modul de funcționare PWM, tensiune care
este filtrată de un filtru trifazat, pentru a obține la ieșire o tensiune trifazată sinusoidală, de
45 frecvență variabilă;

- dintr-un contactor care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un trans-
47 formator trifazat ridicător de tensiune, facilitând obținerea tensiunii necesare alimentării unui
motor asincron trifazat;

RO 126620 B1

- din niște blocuri de comandă, control, reglare și diagnoză, pentru supravegherea funcțiilor care trebuie asigurate de echipament;	1
- din niște traductoare de tensiune, curent și turație, pentru colectarea parametrilor; și - dintr-un bloc de afișaj digital.	3
Avantajele invenției sunt următoarele:	5
- se asigură alimentarea și verificarea tuturor comenzilor date inverterului trifazat, inclusiv ale traductoarelor utilizate de el, fără a se alimenta inverterul cu tensiunea de forță;	7
- se asigură alimentarea cu tensiune de comandă și de forță reglabilă în domeniul 0...900 Vcc, la valoarea nominală de alimentare U_a a inverterului, inverterul debitând pe o sarcină rezistivă la curenți inițiali mici, pentru verificarea integrității și funcționării corecte a inverterului trifazat;	9
- se permite verificarea inverterului trifazat debitând pe un motor asincron în funcție de tipul acționării;	11
- pentru anumite condiții tehnologice, se poate asigura și schimbarea sensului de mers, cu asigurarea frânării electrice și/sau mecanice înainte de inversarea sensului motorului antrenat; în acest fel, echipamentul poate fi utilizat pentru multe tipuri de acționări de mare putere, care țin cont de condițiile tehnologice ale pompelor sau utilajelor antrenate de motorul trifazat asincron;	13
- tranzistoarele din inverter sunt supuse la tensiunea maximă $U_a/2$, prin utilizarea funcționării cu tensiune multinivel.	15
- pentru anumite condiții tehnologice, se poate asigura și schimbarea sensului de mers, cu asigurarea frânării electrice și/sau mecanice înainte de inversarea sensului motorului antrenat; în acest fel, echipamentul poate fi utilizat pentru multe tipuri de acționări de mare putere, care țin cont de condițiile tehnologice ale pompelor sau utilajelor antrenate de motorul trifazat asincron;	17
- tranzistoarele din inverter sunt supuse la tensiunea maximă $U_a/2$, prin utilizarea funcționării cu tensiune multinivel.	19
Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...7, ce reprezintă:	21
- fig. 1, schema electrică de forță, pentru exemplificarea principiului de realizare a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron;	23
- fig. 2, schema logică de funcționare a mașinii de stare demonstrative, cu trei stări;	25
- fig. 3, schema logică de funcționare a mașinii de stare pentru comanda echipamentului de acționare de putere, cu inverter trifazat și motor asincron;	27
- fig. 4, schema electrică de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând transformatoare la intrarea și ieșirea inverterului trifazat;	29
- fig. 5, schema electrică de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând numai transformator la ieșirea inverterului trifazat;	31
- fig. 6a, schema de principiu pentru comanda inverterului trifazat cu tensiune multinivel, alcătuit din 8 tranzistoare;	33
- fig. 6b, graficul armonicilor sinusoidale principale și armonicile prin care se determină comenzile tranzistoarelor din cadrul inverterului trifazat cu tensiune multinivel;	35
- fig. 7, organigrama de generare a impulsurilor.	37
În fig. 1 este prezentată schema electrică de forță, pentru exemplificarea principiului de realizare a acționării de mare putere cu inverter trifazat și motor asincron. Tensiunea trifazată 3 x 6 kVca - 50 Hz (fazele R , S , T) sau cu valoare mai mare sau mai mică (de exemplu, de 3 x 10 kVca - 50 Hz), prin intermediul unui contactor 1 trifazat, cu protecție la scurtcircuit, este aplicată unui transformator 2 trifazat (în cazul schemei cu conexiune stea în primar, și două secundare trifazate, cu conexiunile stea și triunghi), apoi unor redresoare 3 și 4 trifazate, cu diode înseriate. Tensiunea continuă obținută, care poate avea valorile nominale în gama 550...3000 V, în funcție de puterea echipamentului și de tipul transformatorului 2 de intrare, este aplicată, prin intermediul unor condensatoare 5 și 6 înseriate, unui inverter 7 trifazat, realizat cu un multiplu de șase tranzistoare IGBT, pentru a funcționa cu tensiuni multinivel, prin comandă PWM (în cazul de față, cu trei niveluri de tensiune, utilizând 12 tranzistoare).	39
	41
	43
	45
	47

RO 126620 B1

1 Invertorul 7 trifazat este protejat la scurtcircuite interne sau externe prin blocarea
funcționării tranzistoarelor din componentă și, dacă este cazul, prin comanda automată a două
3 tiristoare 8 și 10 conectate în serie cu două rezistoare 9 și 11 de limitare curent. Tensiunile
trifazate de la ieșirea invertorului sunt filtrate de un filtru 12 trifazat LC.

5 În cazul punerii în funcțiune sau dacă apare o funcționare anormală a echipamentului,
invertorul poate fi verificat sau depanat, punându-l să debiteze prin intermediul unui contactor
7 13 probă trifazat pe un set 14 de rezistoare, asigurând o putere de ieșire de circa 2...5% din
puterea nominală a echipamentului.

9 În funcționarea normală este conectat un contactor trifazat la ieșire, astfel că tensiunea
trifazată de la ieșirea contactorului este aplicată unui transformator 16 trifazat (de obicei cu
11 conexiune stea/triunghi), tensiunea de ieșire din transformator aplicându-se unui motor 17 de
acționare asincron trifazat.

13 Echipamentul de comandă, reglare și diagnoză al acționării este alimentat de obicei cu
tensiunea monofazată de 230 Vca - 50 Hz, prin intermediul unui contactor 18 monofazat, și al
15 unui fuzibil 20 termic, care alimentează un bloc 20 de alimentare, ce dă la ieșire tensiunea de
24 Vcc, care alimentează un bloc 21 de comandă, având elemente de comandă și micropro-
17 cesoare (pentru comanda întregului echipament), și un bloc 22 de reglare și control, realizat cu
unul sau mai multe microcontrolere și microprocesoare. Blocul 22 de reglare și control primește
19 comenzile de la blocul 21 de comandă, și toate informațiile de la un bloc 23, cu traductoare de
măsurare tensiuni, curenți, turație, și de la aparatele de măsură și control tehnologic al echi-
21 pamentului tehnologic antrenat de motorul asincron trifazat.

Pe baza informațiilor primite, blocul 22 de reglare și control transmite comenzile
23 necesare la toate tranzistoarele din invertorul trifazat, informații la blocul 21 de comandă,
informații expuse pe un panou 24 de afișaj și, respectiv, la un bloc de diagnoză. În caz de infor-
25 mare sau depanare, blocul de reglare și control poate transmite toate informațiile necesare la
un laptop 26 pentru diagnoză complexă.

27 În fig. 2 este prezentată schema logică de funcționare a unei mașini de stare demonstra-
tivă cu trei stări. Convențiile utilizate sunt următoarele:

29 *Generalități:* diagramele mașinilor de stare evidențiază stările evolutive, condițiile pentru
realizarea tranzițiilor între stări, și acțiunile de efectuat cu ocazia tranzițiilor, materializate de
31 regulă prin modificarea variabilelor de ieșire ale mașinii.

Stările sunt descrise sub forma unor elipse care poartă în interior un text ce exprimă
33 denumirea și descrierea pe scurt a stării.

35 *Tranzițiile de stare:* se exprimă prin intermediul unor arce de elipsă având o săgeată
direcționată spre starea următoare, iar originea arcului se află pe conturul stării din care pleacă.
Dacă există situația de a evolua din orice stare într-o singură stare, de exemplu, la recepția unui
37 stimul extern de prioritate mare, atunci tranziția se exprimă doar la starea finală printr-un
segment scurt de dreaptă, cu săgeata pe conturul stării de destinație, și cu originea neprecizată.
39 Dacă evoluția condusă de anume condiții cere păstrarea stării, acest lucru se reprezintă
printr-un arc de elipsă aproape închis, având atât originea, cât și săgeata de destinație pe
41 starea staționară.

43 *Condiții evolutive:* sunt acelea care presupun modificarea stărilor, și se exprimă prin
expresii logice pe diagramă. De cele mai multe ori expresiile sunt de forma expresiilor
combinaționale asupra operațiilor de tipul: ȘI logic: &, SAU logic: +, Negația: / etc.

45 *Acțiunile tranziției:* au ca efect executarea unor acțiuni. Acestea se înscriu prin caractere
îngroșate, cuprinse între paranteze drepte. În cazul în care acțiunea nu presupune nicio
47 modificare a mărimilor de ieșire, aceasta înseamnă că se execută acțiunea nulă, codată [null].

RO 126620 B1

În fig. 3 este prezentată schema logică de funcționare a mașinii de stare, pentru comanda echipamentului de acționare de putere cu invertor trifazat și motor asincron, ținând cont de schema de forță și comandă din fig. 1. Toate stările sunt semnalizate pe panoul **24** de afișaj.

Prin comanda $A_{0,0}$, tensiunea de 230 Vca - 50 Hz este aplicată la bornele de intrare ale contactorului **18** monofazat, și tensiunea trifazată de 3 x 6 kVca - 50 Hz este aplicată la bornele contactorului **1** principal de intrare, și se trece în starea **FT0 LIBER CUPLARE**. Afișajul **24**, de pe panoul dulapului echipamentului, arată existența acestor tensiuni. Arcul de elipsă $A_{0,0}$ menține această stare atât timp cât tensiunile de intrare în echipament sunt normale.

Prin comanda $A_{0,1}$, dată de la blocul **21** de comandă, se conectează contactorul **18** și contactorul **1** principal de forță, și se trece în starea **FT1 ECHIPAMENT PREGĂTIT**. Arcul de elipsă $A_{1,1}$ menține această stare dacă tensiunile de ieșire din contactorul **1** principal de intrare, și de la fuzibilul **20** termic sunt corespunzătoare. În cazul în care tensiunile nu sunt corespunzătoare sau se dă comanda din blocul **21** de comandă, arcul de elipsă $A_{1,0}$ face trecerea în starea **FT0**.

Prin comanda $A_{1,2}$ se trece în starea **FT2 VERIFICARE COMENZI ȘI TRADUCTOARE**. În această stare se verifică dacă toate traductoarele din blocul **23** de măsurare, blocul **21** de comandă, blocul **22** de reglare și control și blocul **25** de diagnoză și, eventual, cel de diagnoză complexă sunt alimentate corect, și dacă semnalele sosite de la blocurile de mai sus sunt cele admise. Arcul de elipsă $A_{2,2}$ menține această stare dacă totul este în regulă. În cazul în care tensiunile și informațiile nu sunt corespunzătoare sau se dă comanda din blocul **21** de comandă, arcul de elipsă $A_{2,1}$ face trecerea în starea **FT1**.

Prin comanda $A_{2,3}$ se trece în starea **FT3 ALIMENTARE FORȚĂ PROBĂ**. În această stare se comandă contactorul **13** trifazat, și se verifică, prin creșterea încetă a tensiunii, funcționarea invertorului trifazat ce debitează pe o sarcină **14** redusă, rezistivă, trifazată. Dacă în această perioadă de creștere a tensiunii, respectându-se raportul $U/f = \text{constant}$, se ajunge la tensiunea de ieșire nominală, prin arcul de elipsă $A_{3,4}$ se poate trece în starea **FT4 ECHIPAMENT CUPLAT**, prin coborârea tensiunii de ieșire la valoarea zero, și deconectarea contactorului **13** trifazat, și apoi conectarea contactorului **15** trifazat, prin care invertorul trifazat, prin intermediul transformatorului de ieșire, este cuplat pe motorul **17** asincron de sarcină. În cazul în care în starea **FT3** invertorul nu lucrează corect, prin comanda automată sau prin blocul **21** de comandă se trece în starea **FT2**.

În mod obișnuit, se poate trece direct din starea **FT2** în starea **FT4 ECHIPAMENT CUPLAT**, prin comanda $A_{2,4}$ sosită de la blocul **21** de comandă. Această stare se menține prin arcul $A_{4,4}$ doar dacă traductoarele și blocurile de comandă, reglare și control transmit semnale corecte. În caz contrar, se trece în starea **FT2** prin comanda $A_{4,2}$ sau, prin comanda $A_{4,0}$, direct în starea **FT0**, în cazul unor defecte importante (spre exemplu: scurt circuit intern etc.).

Prin comanda $A_{4,5}$ se trece în starea **FT5 PORNIRE** $U/f = \text{constant}$, prin creșterea lentă a frecvenței de lucru de la 5 la 10 Hz, cu creșterea corespunzătoare a tensiunii, respectându-se raportul $U_2 / f = \text{constant}$, unde U_2 este tensiunea care se aplică motorului asincron trifazat. Starea **FT5** se menține prin arcul logic $A_{5,5}$ dacă raportul este menținut constant și dacă respectivii curenți prin invertor și motorul de tracțiune au valorile normale, în funcție de cuplul de pornire comandat. În caz contrar, prin comanda $A_{5,4}$ se trece în starea **FT4** sau, prin comanda $A_{4,0}$, direct în starea **FT0**, în cazul unor defecte importante (spre exemplu: scurtcircuit intern etc.), sau, prin comanda $A_{5,0}$, direct în starea **FT0**, în cazul unor defecte importante.

RO 126620 B1

1 Prin comanda automată, după ce s-a atins frecvența de 10 Hz, în funcție de program,
se face comanda **A_{5,6}** pentru trecerea în starea **FT6 RAMPĂ FINALIZATĂ LA PRESCRISA f_p** ,
3 unde frecvența prescrisă f_p este de obicei mai mare decât frecvența maximă de la starea **FT5**.
Trecerea către frecvența f_p se face respectând în continuare relația $U_2/f = \text{constant}$. Apoi
5 motorul **17** asincron trifazat este alimentat în continuare cu tensiunea de ieșire corespunzătoare
frecvenței prescrise f_p , conform comenzii **A_{6,6}**, în cazul în care condițiile de funcționare sunt
7 corespunzătoare. În caz contrar, prin comanda **A_{6,5}** se trece în starea **FT5** sau, prin comanda
A_{6,0}, direct în starea **FT0**, în cazul unor defecte importante.

9 În cazul în care procesul tehnologic pretinde o modificare permanentă în timp a turației
motorului asincron trifazat, adică modificarea continuă și lentă a turației, din starea **FT6**, prin
11 comanda **A_{6,7}**, se trece în starea **FT7 PROCES TEHNOLOGIC**, care se menține prin condiția
A_{7,7}, dacă turația motorului **17** asincron trifazat urmărește în timp comanda dată de procesul
13 tehnologic, și dacă mărimile primite de la traductoarele de curent și tensiune sunt normale în
funcționare.

15 Procesul tehnologic poate să pretindă și inversarea sensului de lucru al motorului
asincron. Prin comanda **A_{7,5}** se trece, prin frânare electrică și/sau mecanică, în poziția **FT5**, se
17 schimbă comanda tranzistoarelor de pe două faze, și se trece, direct sau prin faza **FT6**, la faza
FT7. În cazul în care procesul tehnologic s-a terminat sau a apărut o situație de defect în rezol-
19 varea tehnologică, se dă comanda **A_{7,8}** și se trece în faza **FT8 RAPORTARE, ÎNREGISTRARE**
DATE TEHNOLOGICE ȘI ELECTRICE, după care se trece în faza **FT0**, prin comanda **A_{8,0}**.

21 În fig. 4 este prezentat un exemplu de schemă electrică de forță și comandă, reglare și
diagnoză a acționării de mare putere cu inverter trifazat și motor asincron trifazat. Schema
23 electrică de forță, pentru explicarea principiului de realizare a acționării, este prezentată în fig. 1,
și schema logică de funcționare a unei mașini de stare, în fig. 2. În fig. 4 este prezentat
25 echipamentul de acționare, unde numerotările componentelor acționării sunt aceleași ca în fig. 1
și 3, până la poziția 26. În continuare sunt prezentate mai detaliat elementele și subsamblurile
27 echipamentului de acționare.

În starea **FT1 ECHIPAMENT PREGĂTIT**, corectitudinea tensiunii de intrare este
29 verificată de transformatorul **27** de măsură, informația dată de acesta menține starea **FT1** și,
în același timp, afișează valoarea tensiunilor pe fiecare fază, în panoul **24** de afișare. În starea
31 **FT2 VERIFICARE TRADUCTOARE ȘI COMENZI** sunt alimentate un traductor **28** de tensiune
și un traductor **29** de curent, de la intrarea inverterului, două traductoare **30** și **31** de tensiune
33 și, respectiv, două traductoare **32** și **33** de curent, de la ieșirea inverterului **7** trifazat de forță,
și un traductor **34** de turație, montat pe motorul asincron trifazat.

35 În starea **FT5 PORNIRE $U/f = \text{constant}$** , verificarea corectitudinii raportului $U/f = \text{constant}$
se determină din informațiile sosite de la traductoarele **30** și **31** de tensiune, iar curenții din
37 inverter și motorul asincron trifazat, de traductoarele **29**, **32** și **33** de curent.

În starea **FT7 PROCES TEHNOLOGIC**, corectitudinea acționării se verifică de traduc-
39 toarele de tensiune și curent, și, în plus, de traductorul de turație montat pe motorul asincron
trifazat, acționat de echipament.

41 În cazul în care procesul tehnologic pretinde și inversarea sensului de mers, echipa-
mentul conține un sistem de frânare rapidă electrică - cu un tranzistor **35** IGBT și un rezistor **36**
43 de frânare reostatică, și/sau un sistem **37** de frânare mecanic, și apoi blocul de comandă
inversează impulsurile de comandă la două faze ale inverterului.

RO 126620 B1

În fig. 5 este prezentată schema electrică de principiu de forță și comandă, reglare și 1
diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând numai trans- 3
formator la ieșirea inverterului trifazat. Această schemă este utilizată de obicei pentru acționări 3
de puteri mai mici, de exemplu, în gama 100...500 kW, cu tensiuni de alimentare 3 x 400 5
Vca...3 x 1000 Vca, cu frecvența de 50 Hz sau 60 Hz.

În acest caz, schema din fig. 4 se simplifică, nefiind necesare un transformator coborâtor 7
la intrare, și nici unul dintre redresoarele cu diode de la intrare.

În fig. 6 este prezentată schema de principiu pentru comanda inverterului trifazat cu 9
tensiune multinivel. Schema prezintă obținerea unei tensiuni (pentru o fază de alimentare a 9
motorului asincron) sinusoidale cu tensiune multinivel, și comanda tranzistoarelor în metoda 11
PWM prin tăiere cu frecvență de 1...3 kHz, în funcție de tensiunea și puterea motorului asincron 11
trifazat.

În cazul exemplului din fig. 6a, se dă schema pentru comanda a 8 tranzistoare cu 13
ajutorul cărora se obține o undă de tensiune sinusoidală, folosind comanda PWM. Ordinea de 15
comandă a tranzistoarelor este dată în tabelul de mai jos.

Dacă este descompusă tensiunea formată din segmente dreptunghiulare, din fig. 6b, se 17
obține o armonică principală sinusoidală, prezentată cu linie îngroșată, și o serie de armonici 17
care, prin calcul, determină momentele comenzilor tranzistoarelor cu valori relativ mici. În plus, 19
fiecare tranzistor și fiecare diodă sunt supuse la maxim tensiunea $V_{cc}/2$, adică la jumătate din 19
tensiunea de alimentare a inverterului. În acest fel, cu tranzistoare IGBT de putere și tensiune 21
mare de lucru pot fi realizate invertoare care să lucreze direct cu tensiuni de intrare de până la 21
4 kVcc.

Pentru exemplificare, se va prezenta comanda tranzistoarelor din fig. 6a pentru timpii 23
 $t_1 - t_2$ la $t_9 - t_{10}$:

- în perioada $t_1 - t_2$ sunt în conducție tranzistoarele **V3, V4** și, respectiv, **V7, V8**. Astfel, 25
tensiunea aplicată tranzistoarelor înseriate **V1** și **V2** și, respectiv, **V5** și **V6** este tensiunea de 27
intrare U_a , iar pe diodele **D2** și **D3**, tensiunea aplicată este de $U_a/2$. Deci pe fiecare semi- 27
conductor din cele două grupuri de tranzistoare înseriate și pe diodele se aplică tensiunea $U_a/2$;

- în perioada $t_2 - t_3$ sunt în conducție tranzistoarele **V2, V3** și **V7, V8** și, respectiv, diodele 29
D1, D2. Tensiunea U_a se aplică pe tranzistoarele **V1** și **V4** înseriate, astfel că tensiunea de la 29
mijloc (punctul **A**), ce are valoarea $U_a/2$, se aplică la ieșirea inverterului. La fel tensiunea U_a se 31
aplică la câte două tranzistoare înseriate **V1, V4** și, respectiv, **V5, V6**;

- în perioada $t_3 - t_4$, sunt în conducție tranzistoarele **V3, V4** și **V7, V8**, ca la perioada 33
 $t_1 - t_2$;

- în perioada $t_4 - t_5$ sunt în conducție tranzistoarele **V2, V3** și **V7, V8** și, respectiv, diodele 35
D1, D2, ca și în perioada $t_2 - t_3$, cu observația că perioadele nu sunt egale ca valoare. Aceste 37
perioade se determină rezolvând o ecuație de gradul trei;

- în perioada $t_5 - t_6$ sunt în conducție tranzistoarele **V3, V4** și **V7, V8**, ca la perioada 39
 $t_1 - t_2$;

- în perioada $t_6 - t_7$ sunt în conducție tranzistoarele **V2, V3** și **V7, V8** și, respectiv, diodele 41
D1, D2, ca și în perioada $t_2 - t_3$;

- în perioada $t_7 - t_8$ sunt în conducție tranzistoarele **V1, V2** și **V7, V8**, ca la perioada 43
 $t_1 - t_2$;

- în perioada $t_8 - t_9$ sunt în conducție tranzistoarele **V1, V2** și **V6, V7** și, respectiv, diodele 45
D3, D4;

- în perioada $t_9 - t_{10}$ sunt în conducție tranzistoarele **V1, V2** și **V7, V8**;

- în perioada $t_{10} - t_{11}$ sunt în conducție tranzistoarele **V1, V2** și **V6, V7**, și diodele **D3, D4**. 47

RO 126620 B1

1 Rezultatul este obținerea unei armonici principale sinusoidale, și totdeauna supunerea
fiecărui element semiconductor la tensiunea maximă $U_a/2$.

3 Dacă este descompusă tensiunea formată din segmente dreptunghiulare, din fig. 6b, se
obține o armonică principală sinusoidă, prezentată cu linie îngroșată, și o serie de armonici
5 care, prin calcul, determină momentele comenzilor tranzistoarelor cu valori relativ mici.

7 *Tabel*

Δt	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
t_1-t_2	-	-	on	on	-	-	on	on
t_2-t_3	-	D1V2	D2V3	-	-	-	on	on
t_3-t_4	-	-	on	on	-	-	on	on
t_4-t_5	-	D1V2	D2V3	-	-	-	on	on
t_5-t_6	-	-	on	on	-	-	on	on
t_6-t_7	-	D1V2	D2V3	-	-	-	on	on
t_7-t_8	on	on	-	-	-	-	on	on
t_8-t_9	on	on	-	-	-	D3V6	D4V7	-
t_9-t_{10}	on	on	-	-	-	-	on	on
$t_{10}-t_{11}$	on	on	-	-	-	D3V6	D4V7	-
$t_{11}-t_{12}$	on	on	-	-	-	-	on	on
$t_{12}-t_{13}$	on	on	-	-	-	D3V6	D4V7	-
$t_{13}-t_{14}$	on	on	-	-	on	on	-	-
$t_{14}-t_{15}$	on	on	-	-	-	D3V6	D4V7	-
$t_{15}-t_{16}$	on	on	-	-	on	on	-	-
$t_{16}-t_{17}$	-	D1V2	D2V3	-	-	-	on	on
$t_{17}-t_{18}$	on	on	-	-	on	on	-	-

27 **Legendă:**

on : IGBT în starea deschis (în conducție)

- : IGBT în starea blocat

D*V*: Dioda + IGBT - în stare de conducție

31 Pentru a determina timpii la care se schimbă comenzile din tabel, se utilizează o relație
33 de calcul pentru gama de 0...60 grade electrice:

$$S_i = 32767 * 2 / \sqrt{3} \sin(\pi * X_i / 3 * 65535) \quad (1)$$

35 unde $S_i = 0...65535$ (2)

Relația (1) poate fi înlocuită cu o ecuație de gradul trei:

37 $S_i = C_0 + C_1 X_i + C_2 X_i^2 + C_3 X_i^3$ (3)

unde coeficienții C_i sunt dați de relațiile:

39 $C_0 = -4; C_1 = 155/256; C_2 = -2 / 256^3; C_3 = -25 / 256^5$ (4)

RO 126620 B1

Valorile X_i , ce reprezintă numărul de puncte utilizat pentru fiecare frecvență de lucru a inverterului în gama 0...60 grade electrice, se determină cu relația de mai jos, ținând cont de alegerea valorii întregi cea mai apropiată:

$$X_i = (65535/N_{rp}) * (i - 1/2) \quad (5)$$

unde N_{rp} reprezintă numărul de puncte de calcul pentru unghiul de 60°, care se determină cu relația:

$$N_{rp} = f_{PWM} / (6*f) \quad (6)$$

unde f_{pwm} reprezintă frecvența PWM care, pentru tranzistoarele IGBT, are valoarea cuprinsă în domeniul 1...5 kHz, și f reprezintă frecvența de lucru în momentul calculului, care poate avea o valoare în gama 2...120 Hz.

Pentru exemplul 1 de calcul, pentru $f_{pwm} = 3$ kHz și $f = 50$ Hz se obțin valorile:

$$N_{rp} = 10 \quad (7)$$

$$X_1 = 3277; X_2 = 9830; \dots X_9 = 55705; X_{10} = 62258 \quad (8)$$

Pentru exemplul 2 de calcul, pentru $f_{PWM} = 3$ kHz și $f = 5$ Hz se obțin valorile:

$$N_{rp} = 100 \quad (9)$$

$$X_1 = 327; X_2 = 983; \dots X_{99} = 64552; X_{100} = 65207 \quad (10)$$

În fig. 7 este prezentată organigrama de generare a impulsurilor care utilizează relația (3) pentru determinarea punctelor de pe sinusoidă, puncte la care se comandă tranzistoarele IGBT, din inverterul trifazat cu 12 tranzistoare.

Într-un bloc **37 regim de funcționare** se determină frecvența f de ieșire din inverter, și semnalul de actualizare a valorilor sinusoidale. Această frecvență este aleasă în funcție de condițiile externe, în primul rând de comanda **start**, care implică pornirea inverterului cu frecvența lui minimă. Apoi frecvența crește, respectând în primul rând raportul $U_a/f = \text{constant}$, și procesul tehnologic, respectiv, puterea cerută inverterului.

În multe acționări există un **regulator 38** care, în funcție de semnalele de reacție curent sosite de la tractoarele **32** și **33** de curent, și de frecvența de ieșire sosită de la blocul **37 regim de funcționare**, asigură o limitare corespunzătoare a curentului prin motorul asincron, și o determinare prin calcul matematic a valorii impulsului (durata de conducție). Modelul matematic al regulatorului se alege în funcție de aplicație (reglare după tensiunea de intrare, reglare în buclă închisă - cu reacție de curent, compensare de putere reactivă, regim $U_a/f = \text{constant}$ etc.).

Un **bloc de calcul sinus 39** (de la 0 la 60 grade electrice) calculează cu relația (3) valorile sinusului pentru gama 0...60°, cu o precizie de minimum 0,2%, primind informații de la blocul **37** și având în memorie, în funcție de aplicație, și regimul tehnologic, valoarea frecvenței PWM. Valoarea sinusului este transmisă la un **bloc de calcul trei impulsuri 40**, astfel se poate determina întregul sistem trifazat pentru 360 grade electrice. Relațiile de calcul pentru impulsurile generice sunt:

$$\text{Faza R} : 1/2 + \text{impuls} * \sin(X_i / 2) \quad (11)$$

$$\text{Faza S} : 1/2 + \text{impuls} * \sin(Y_i / 2) \quad (12)$$

$$\text{Faza T} : 1/2 - \text{faza R} - \text{faza S} \quad (13)$$

unde: **impuls** = [0...1] de la regulatorul **38**;

$$Y_i = 60^\circ - X_i;$$

unde i este poziția pe sinus redusă la 60 grade electrice.

Pentru sistemul multinivel cu 3 niveluri, prezentat în fig. 6a, apar două situații, determinate într-un **bloc module blocate / conducție 41**:

$U \leq U_a/2$ pe faza R, rezultă: $T_1 = \text{off}$ (blocat); $T_3 = \text{on}$ (conducție) și $T_2, T_4 = \text{PWM}$:

$$T_4 = \text{off}; T_2 = \text{on} \text{ și } T_1, T_3 = \text{PWM}; \quad (47)$$

RO 126620 B1

- 1 În funcție de poziția pe sinus,
U \geq U_a/2 pe faza R, rezultă: T₃ = on ; T₄ = off; T₁, T₂ = PWM.
- 3 Se observă o înjumătățire a numărului de tranzistoare în conducție PWM.
- 5 Un **bloc distribuție impulsuri la periferia rapidă 42** verifică impulsul minim sau maxim
pe fiecare tranzistor, ceea ce presupune ajustări între faze în funcție de valorile calculate. De
asemenea, se calculează impulsul corespunzător tranzistoarelor complementare, iar rotorul de
7 impuls distribuie aceste valori către periferia rapidă cu 12 impulsuri. Rotorul distribuie pulsurile
generice RST la periferie astfel:
- 9 - între 0 și 60 grade, pe fazele RST;
- între 60 și 120 grade, pe fazele TRS;
- 11 - între 120 și 180 grade, pe fazele STR;
- între 180 și 240 grade, pe fazele RST complementar;
- 13 - între 240 și 300 grade, pe fazele TRS complementar;
- între 300 și 360 grade, pe fazele STR complementar.

RO 126620 B1

Revendicări

1. Echipament de acționare de mare putere, cu invertor trifazat și motor asincron trifazat, **caracterizat prin aceea că**, pentru o tensiune de alimentare de 3 x 6 kVca - 50 Hz, este constituit:
- dintr-un contactor **(1)** care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un transformator **(2)** trifazat cu conexiune stea în primar, și cu două secundare în conexiune triunghi, respectiv, stea, tensiunile de ieșire din transformator aplicându-se la intrarea a două redresoare **(3, 4)** cu diode semiconductoare, ce furnizează o tensiune continuă unui invertor **(7)** trifazat, realizat cu douăsprezece tranzistoare tip IGBT și șase diode, în modul de funcționare PWM, tensiune care este filtrată de un filtru **(12)** trifazat, pentru a obține la ieșire o tensiune trifazată sinusoidală, de frecvență variabilă;
 - dintr-un contactor **(15)** care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un transformator **(16)** trifazat ridicător de tensiune, facilitând obținerea tensiunii necesare alimentării unui motor **(17)** asincron trifazat;
 - din niște blocuri de comandă **(21)**, control și reglare **(22)** și diagnoză **(25)**, pentru supravegherea funcțiilor care trebuie asigurate de echipament;
 - din niște traductoare de tensiune **(28, 30, 31)**, curent **(29, 32, 33)** și turație **(34)**, pentru colectarea parametrilor; și
 - dintr-un bloc **(24)** de afișaj digital.
2. Echipament de acționare de mare putere, cu invertor trifazat și motor asincron trifazat, **caracterizat prin aceea că**, pentru o tensiune de alimentare cuprinsă în intervalul 3 x 100 Vca ÷ 3 x 500 Vca - 50 Hz, este constituit:
- dintr-un contactor **(1)** care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un redresor **(3)** cu diode semiconductoare, ce furnizează o tensiune continuă unui invertor **(7)** trifazat, realizat cu douăsprezece tranzistoare tip IGBT și șase diode, în modul de funcționare PWM, tensiune care este filtrată de un filtru **(12)** trifazat, pentru a obține la ieșire o tensiune trifazată sinusoidală, de frecvență variabilă;
 - dintr-un contactor **(15)** care, în momentul închiderii, alimentează cu tensiune un transformator **(16)** trifazat ridicător de tensiune, facilitând obținerea tensiunii necesare alimentării unui motor **(17)** asincron trifazat;
 - din niște blocuri de comandă **(21)**, control și reglare **(22)** și diagnoză **(25)**, pentru supravegherea funcțiilor care trebuie asigurate de echipament;
 - din niște traductoare de tensiune **(28, 30, 31)**, curent **(29, 32, 33)** și turație **(34)**, pentru colectarea parametrilor; și
 - dintr-un bloc **(24)** de afișaj digital.

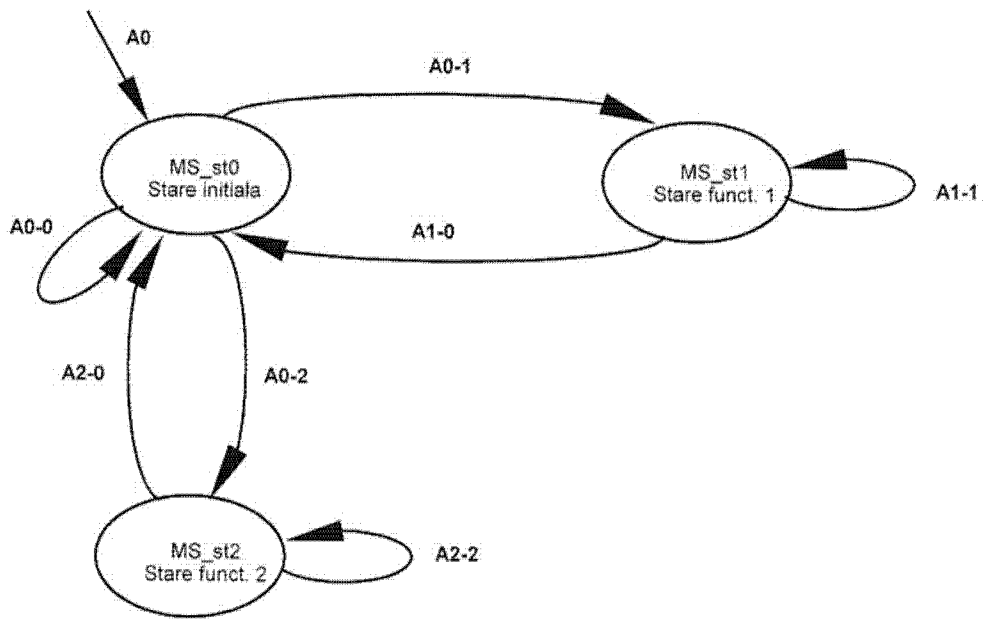


Fig. 2

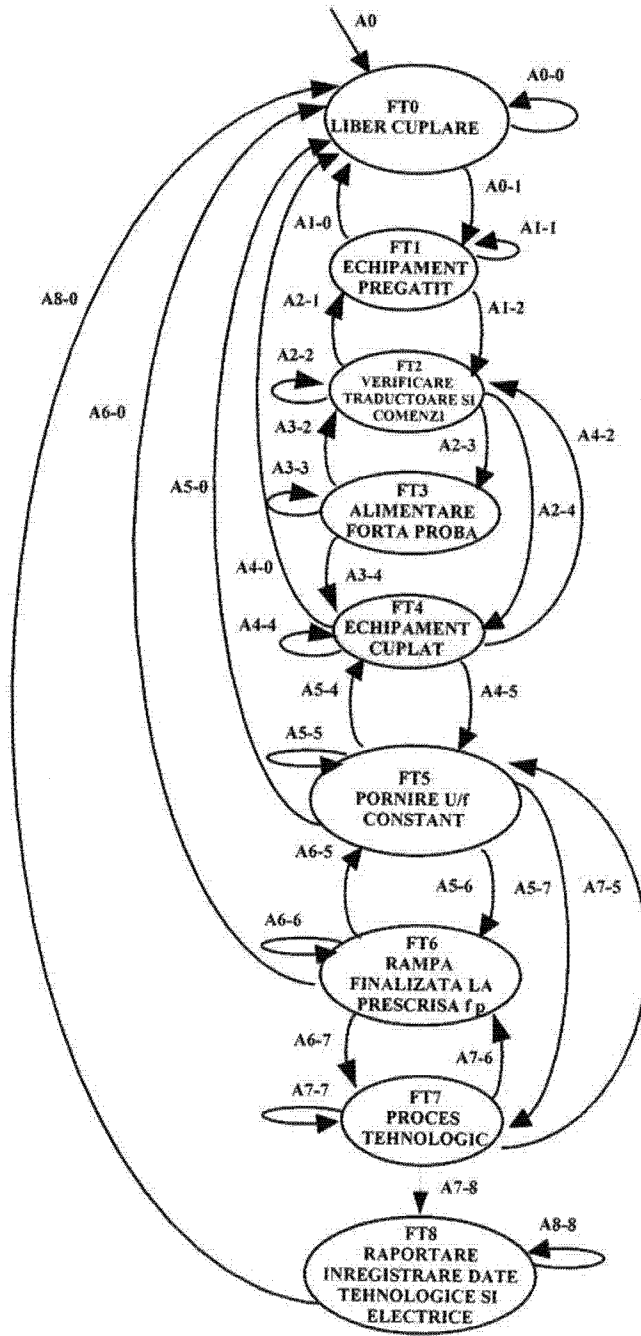


Fig. 3

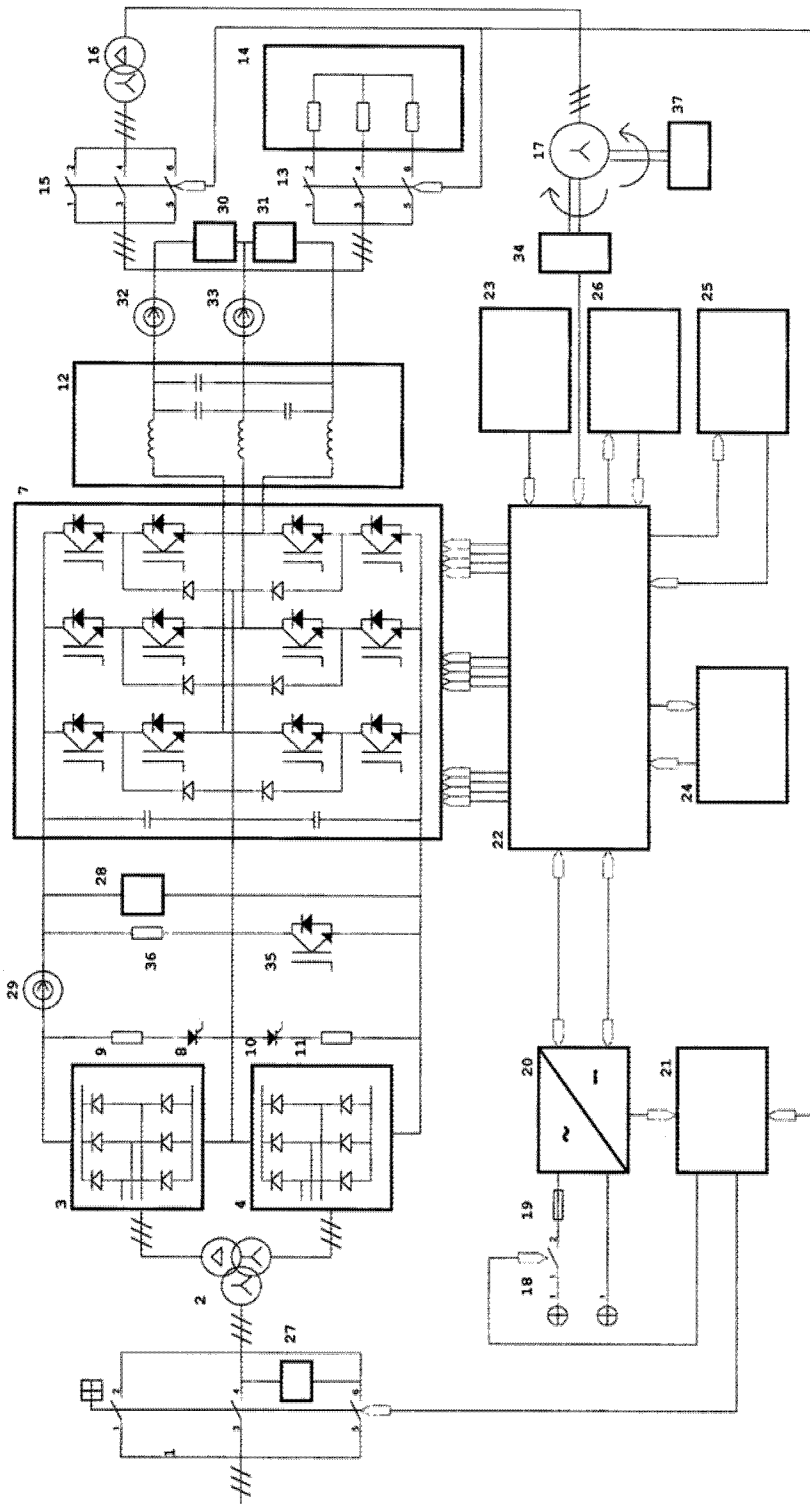


Fig. 4

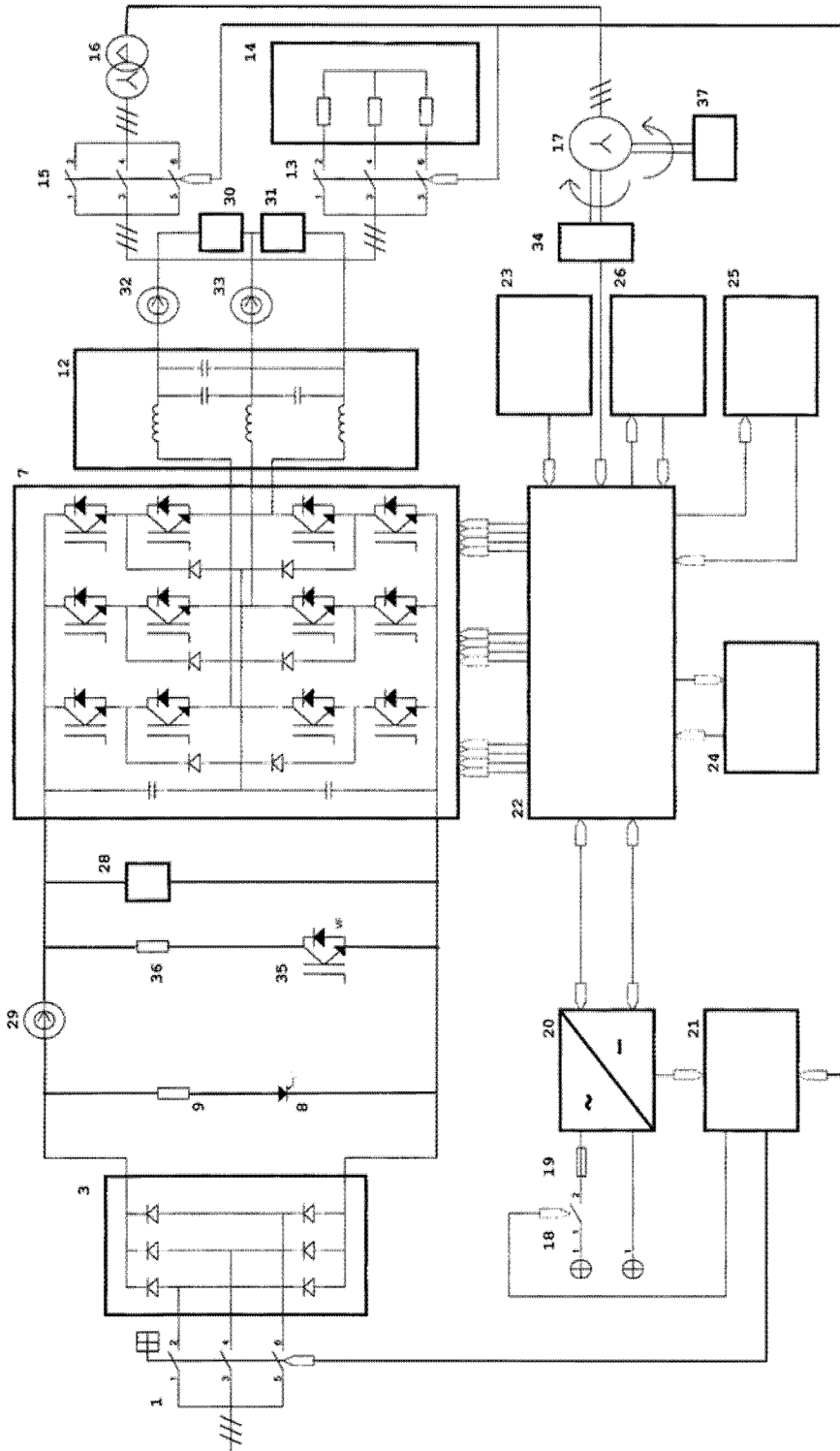


Fig. 5

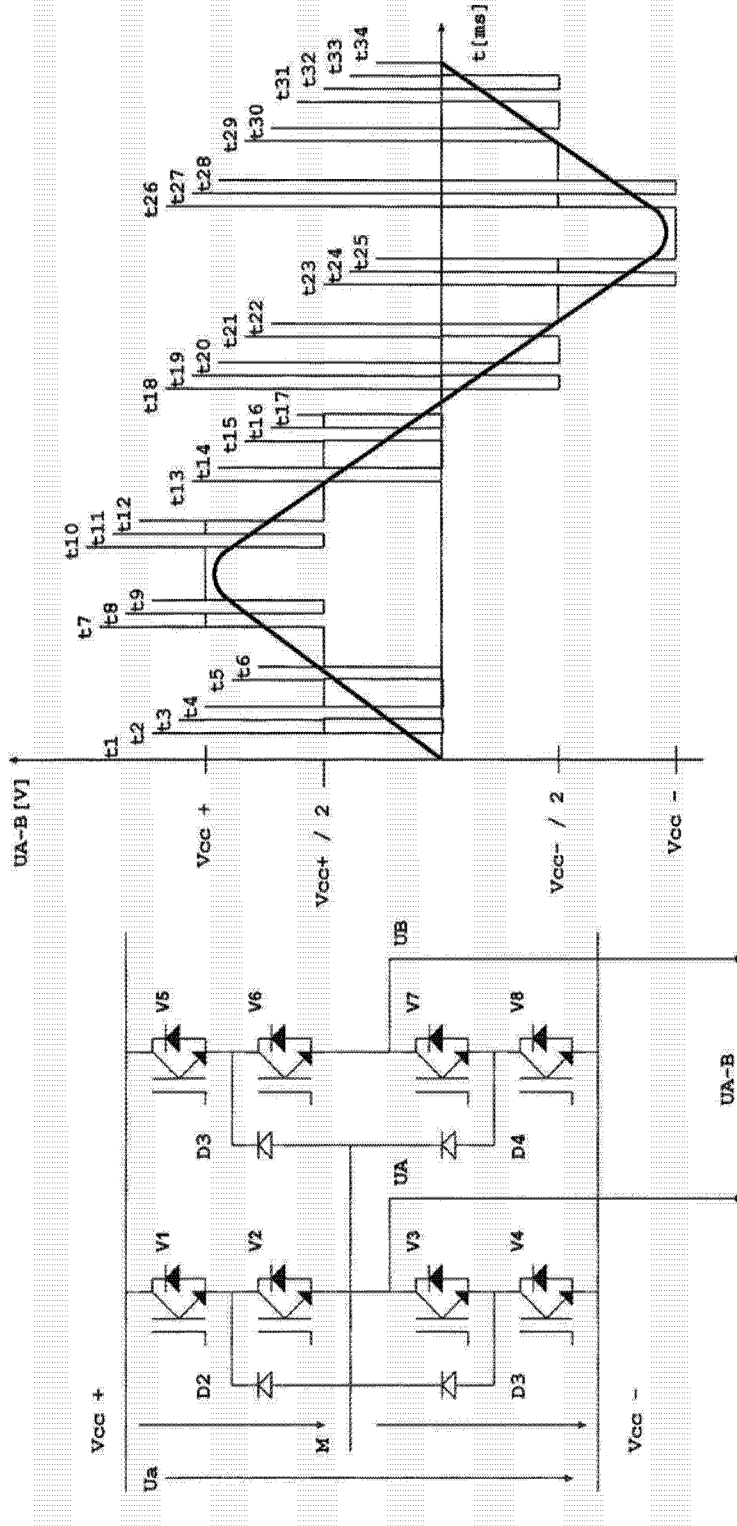


Fig. 6b

Fig. 6a

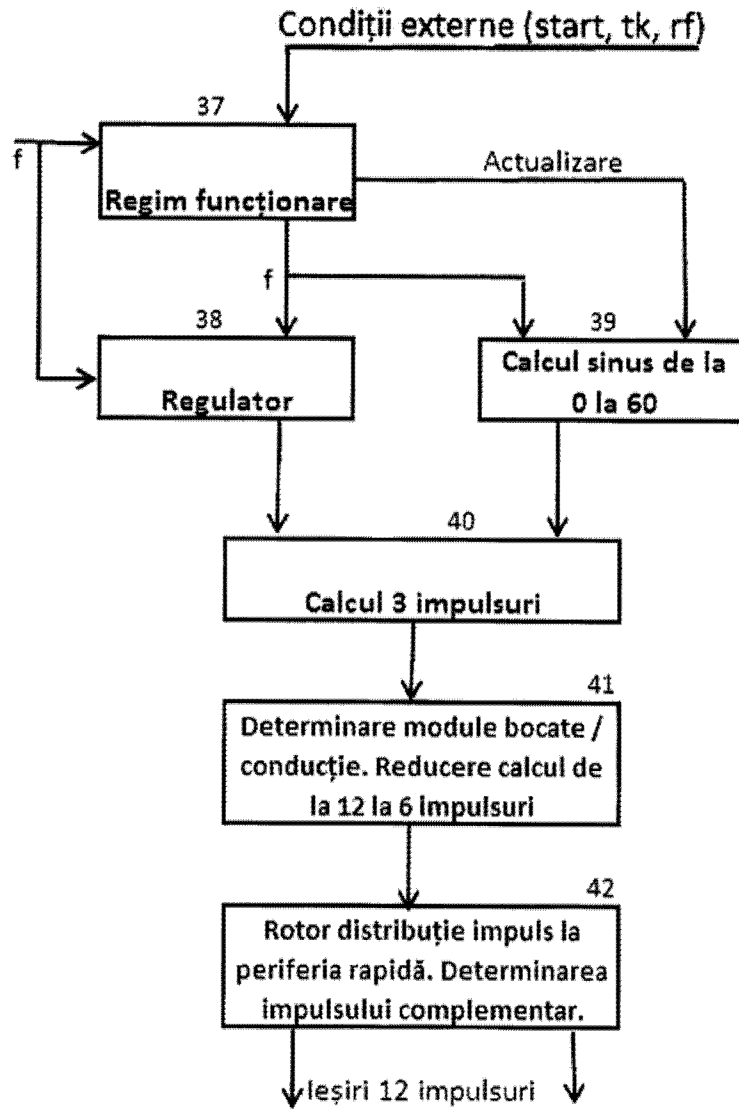


Fig. 7

