



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00882

(22) Data de depozit: 23.09.2010

(41) Data publicării cererii:
30.08.2011 BOPI nr. 8/2011

(71) Solicitant:
• ICPE-SAERP SA, 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, B-DUL TIMIȘOARA
NR. 23, BL.Z2, 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

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

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un echipament de acționare de mare putere, cu invertor trifazat, pentru acționarea motoarelor asincrone trifazate. Metoda de acționare, conform invenției, constă din alimentarea unui motor asincron trifazat, cu o tensiune trifazată multilevel, dată de un invertor trifazat, folosind tehnica PWM (Pulse Width Modulation), astfel încât tensiunile de la ieșirea din invertor au o armonică principală sinusoidală cu o precizie mai bună de 0,2% și două armonice superioare minime. Echipamentul conform invenției conține, la intrare, un întrerupător (1) trifazat cu protecție la scurtcircuit, conectat cu un transformator (2) trifazat cu două secundare în conexiune triunghi și, respectiv, stea, tensiunea de ieșire din transformator fiind aplicată unor redresoare (3 și 4) trifazate înseriate, realizate cu diode semiconductoare, tensiunea continuă obținută fiind aplicată apoi, prin intermediul unor condensatoare (5 și 6), unui invertor (7) trifazat, realizat cu un multiplu de șase tranzistoare IGBT, invertorul (7) trifazat fiind protejat la scurtcircuit prin blocarea funcționării tranzistoarelor din componentă și prin comanda automată a două tiristoare (8 și 10) conectate în serie cu două rezistoare (9 și 11) de limitare de curent, tensiunile trifazate de la ieșirea invertorului (7) fiind filtrate de un filtru (12) trifazat LC, în cazul funcționării anormale invertorul (7) putând fi verificat, punându-l să debiteze, prin intermediul unui contactor (13) trifazat, pe un set de rezistoare (14), iar în funcționarea normală fiind conectat un ale contactor (15) trifazat de ieșire,

tensiunea trifazată de la ieșirea acestuia fiind aplicată unui transformator (16) trifazat, tensiunea de la ieșirea transformatorului (16) aplicându-se unui motor (17) de acționare asincron trifazat, întregul ansamblu astfel format fiind comandat prin intermediul unui echipament de comandă, reglare și diagnoză a acționării.

Revendicări: 3
Figuri: 7

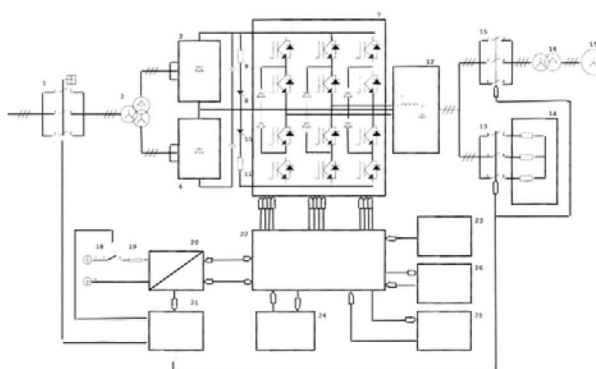


Fig. 1

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





Descriere invenție

Metodă și echipament de acționare de mare putere cu invertor trifazat și cu motor asincron trifazat.

Prezenta invenție, se referă la o metodă și echipament de acționare de mare putere cu invertor trifazat - realizat cu tranzistoare IGBT de tensiune și putere mare - și cu motor asincron trifazat - alimentat cu tensiune și frecvență variabilă, astfel încât raportul tensiune / frecvență să fie constant.

Alimentarea echipamentului poate fi realizată cu tensiune alternativă trifazată de 3 x 400 Vca – 50 Hz sau la tensiuni mai mari funcție de puterea pe care o are motorul asincron trifazat. În fig. 1 este prezentat un exemplu de schemă de principiu de forță pentru motorul asincron alimentat de la tensiunea de 3 x 6 kVca-50 Hz pentru o putere maximă de ieșire de 1.000 kW. Pentru puteri mai mari de 500 kW, de obicei tensiune de alimentare a echipamentului poate fi de 3 x 6 kVca – 50 Hz, 3 x 10 kVca – 50 Hz, sau alte tensiuni trifazate industriale de putere.

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

Problemele tehnice pe care le rezolvă invenția sunt:

- Se asigură alimentarea și verificarea tuturor comenzilor date invertorului trifazat, inclusiv a tractoarelor utilizate de el, fără a se alimenta invertorul cu tensiunea de forță;
- Se asigură alimentarea cu tensiune de comandă și de forță reglabilă în domeniul 0 la valoarea nominală de alimentare U_a a invertorului, invertorul debitând pe o sarcină rezistivă la curenți inițiali mici, pentru verificarea integrității și funcționării corecte a invertorului trifazat;
- Se verifică invertorul trifazat debitând pe un motor asincron funcție de tipul acționării.
- Echipamentul poate ține cont de condițiile tehnologice lente impuse, asigurând totodată condiția $U/f = \text{constant}$, iar pentru anumite condiții tehnologice asigură 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 a pompelor sau utilajelor antrenate de motorul trifazat asincron.
- Toate tranzistoarele din invertor sunt supuse la tensiunea maximă $U_a / 2$, prin utilizarea funcționării cu tensiune multilevel.

Metoda și echipamentul de acționare de mare putere cu invertor trifazat și cu motor asincron trifazat înlătură dezavantajele arătate mai sus prin aceea că : **metoda de realizare a echipamentului** utilizează pentru alimentarea motorului asincron trifazat o tensiune trifazată multilevel dată de invertorul trifazat folosind tehnica PWM, care se descompune în trei armonici de bază sinusoidale cu armonicile superioare de valoarea minimă, utilizând o ecuație de gradul trei ce asigură o precizie mai mare de 0,2 % și optimizare mare, fiecare tranzistor fiind supus la jumătatea tensiunii continue de alimentare a invertorului trifazat, pentru

realizarea regimurilor de probă și funcționare utilizând un motor de căutare, cu opt stări de lucru, ce asigură în final o pornire și funcționare respectând condiția pentru motor $U/f =$ constant și realizând toate condițiile cerute de procesul tehnologic al pompei sau agregatului antrenat de motorul asincron trifazat; **echipamentul** conține la intrare și la ieșire transformatorare de adaptare a tensiunilor de alimentare pentru inverterul trifazat și motorul asincron trifazat, funcțiile care trebuie asigurate de echipament sunt supraveghete de blocurile de comandă, control, diagnoză și tractoarele de tensiune, curent, turație etc. .

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig.1... 7 unde:

Fig.1. Schema electrică de principiu de forță pentru exemplificare a metodei de realizare a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron;

Fig.2 Schema logică a mașinii de stare demonstrative cu trei stări;

Fig.3. Schema logică a mașinii de stare pentru exemplificarea metodei de acționare de putere cu inverter trifazat și motor asincron ;

Fig.4. Schema electrică de principiu de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând transformatoare la intrare și ieșirea inverterului trifazat.

Fig. 5 Schema electrică de principiu de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând numai transformator la ieșirea inverterului trifazat

Fig. 6. Metodă și schema de principiu pentru comanda inverterului trifazat cu tensiune multilevel.

Fig.7. Metodă și schema de principiu pentru comanda inverterului trifazat utilizând metoda PWM.

În fig.1 este prezentată schema de principiu de forță pentru exemplificarea metodei de realizare a acționării de mare putere cu inverter trifazat și motor asincron. Tensiunea trifazată $3 \times 6.000 \text{ Vca} - 50 \text{ Hz}$ - fazele R,S,T) sau cu valoare mai mare sau mai mică (de exemplu $3 \times 10 \text{ kV} - 50 \text{ Hz}$) prin intermediul unui întreprător trifazat cu protecție la scurtcircuit 1 este aplicată unui transformator trifazat 2 (în cazul schemei cu conexiune stea în primar și două secundare trifazate cu conexiunile stea și triunghi), apoi unor redresoare trifazate cu diode înseriate 3 și 4. Tensiunea continuă obținută, care poate avea valorile nominale în gama $550...3000 \text{ V}$, funcție de puterea echipamentului și de tipul transformatorului de intrare 1, este aplicată prin intermediul unor condensatoare 5 și 6 înseriate unui inverter trifazat 7 realizat cu un multiplu de 6 tranzistoare IGBT , pentru a funcționa cu tensiuni multilevel prin comandă PWM; în cazul de față cu trei nivele de tensiune utilizând 12 tranzistoare. Inverterul trifazat – este protejat la scurtcircuite interne sau externe prin blocarea funcționării tranzistoarelor din componență și dacă este cazul prin comanda automată a două tiristoare 8 și 10 conectate în serie cu două rezistoare de limitare curent 9 și 11. Tensiunile trifazate de la ieșirea inverterului sunt filtrate de un filtru trifazat LC 12.

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

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

Echipamentul de comandă, reglare și diagnoză al acționării este alimentat de obicei cu tensiunea monofazată de $230 \text{ Vca} - 50 \text{ Hz}$, prin intermediul unui contactor monofazat 18 și a unui fuzibil termic 20, care alimentează un bloc de alimentare 20 care dă la ieșire tensiunea de 24 Vcc ce alimentează un bloc de comandă 21, având elemente de comandă și microprocesoare

(pentru comanda întregului echipament) și un bloc de reglare și control 22, realizat cu unul sau mai multe microcontrolere și microprocesoare. Blocul de reglare și control 22 primește comenzile de la blocul de comandă 21 și toate informațiile de la un bloc cu traductoare 23 de măsură tensiuni, curenți, turație și aparatele de măsură și control tehnologic a echipamentului tehnologic antrenat de motorul asincron trifazat.

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

În fig. 2 este prezentată schema cu convențiile utilizate în prezentarea algoritmilor mașinilor de stare. Convențiile utilizate sunt următoarele:

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

Stările, sunt descrise sub forma unor elipse care poartă în interior un text care exprimă denumirea și sedcrierea pe scurt a stării. Se indică în fig. 3 un exemplu al unei mașini de stare cu 3 stări;

Tranzuțiile 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 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. 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 starea staționară;

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.

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

În fig.3 este prezentată schema logică a mașinii de stare ce determină metoda de comanda, control, reglare și diagnoză a acționării de forță, ținând cont de schema de forță și comandă principală din fig.1. Toate stările sunt semnalizate la afișaj panou 24.

Prin comanda $A_{0,0}$, tensiunea de 230 Vca-50 Hz este aplicată la bornele de intrare ale contactorului monofazat 18 și tensiunea trifazată de 3 x 6000 V – 50 Hz este aplicată la bornele întrerupătorului principal de intrare 1 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 atâta timp cât tensiunile de intrare în echipament sunt normale.

Prin comanda $A_{0,1}$ dată de la blocul de comandă 21, se conectează contactorul 18 și întrerupătorul principal de forță 1 și se trece în starea FT1 ECHIPAMENT PREGĂTIT. Arcul de elipsă $A_{1,1}$ menține această stare dacă tensiunile de ieșire din întrerupătorul principal de intrare 1 și de la fuzibilul termic 19 sunt corespunzătoare. În cazul în care tensiunile nu sunt corespunzătoare sau se dă comanda din blocul 21, 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, blocul de comandă 21, blocul de reglare și control 22 și blocul de diagnoză 25 și eventual cel de diagnoză complexă sunt alimentate corect și dacă semnalele sosite de la blocurile de mai sus

sunt cele admise iar 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, arcul de elipsă A_{2-1} face trecerea în starea FT1.

Prin comanda A_{2-3} se trece în starea FT3 ALIMENTARE FORTA PROBA. În această stare se comandă contactorul trifazat 13 și se verifică prin creșterea încetă a tensiunii, funcționarea inverterului trifazat ce debitează pe o sarcină redusă rezistivă trifazată 14. 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 trifazat 13, și apoi conectarea contactorului trifazat 15, prin care inverterul trifazat prin intermediul transformatorului de ieșire este cuplat pe motorul asincron de sarcină 17. În cazul în care în starea FT3 inverterul nu lucrează corect prin comanda automată sau blocul de comandă 21 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 de comandă 21. Această stare se menține prin arcul A_{4-4} dacă toate traductoarele transmit semnale corecte și dacă toate 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 FTO în cazul unor defecte importante: de 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 ce se aplică motorului asincron trifazat. Starea FT5 se menține prin arcul logic A_{5-5} dacă raportul este menținut constant și dacă curenții prin inverter și motorul de tracțiune au valorile normale, 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 FTO în cazul unor defecte importante: de exemplu scurt circuit intern etc sau prin comanda A_{5-0} direct în starea FTO în cazul unor defecte importante.

Prin comanda automată după ce s-a atins frecvența de 10 Hz, funcție de program se face comanda A_{5-6} pentru trecerea în starea FT6 RAMPA FINALIZATA LA PRESCRISA f_p de procesul tehnologic, 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 motorul asincron trifazat 17 este alimentat în continuare cu tensiunea de ieșire corespunzătoare frecvenței prescrise f_p conform comenzii A_{6-6} dacă condițiile de funcționare sunt corespunzătoare. În caz contrar prin comanda A_{6-5} se trece în starea FT5 sau prin comanda A_{6-0} direct în starea FTO în cazul unor defecte importante.

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 comanda A_{6-7} se trece în starea FT7 PROCES TEHNOLOGIC care se menține prin condiția A_{7-7} dacă turația motorului asincron trifazat 17 urmărește în timp comanda dată de procesul tehnologic și dacă mărimile primite de la traductoarele de curent și tensiune sunt normale de funcționare.

Procesul tehnologic poate să pretindă și inversarea sensului de lucru al motorului asincron, în care caz prin comanda A_{7-5} se trece prin frânare electrică și /sau mecanică în poziția FT5, se schimbă comanda tranzistoraelor 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 rezolvarea 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 FTO prin comanda A_{8-0} .

În fig. 4 este prezentată un exemplu de schema electrică de principiu de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de mare putere cu inverter trifazat și motor asincron trifazat. Schema electrică de principiu a acționării pentru explicarea metodei este prezentată în fig.1 și stările folosite la explicarea metodei în fig.2. În fig.4 este prezentat echipamentul de acționare.

numerotările componentelor acționării sunt aceleași ca în fig. 1 și 2 până la poziția 26. În continuare sunt prezentate mai detaliat elementele și subansamblele echipamentului de acționare.

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

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

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

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

În fig. 5 este prezentată schema electrică de principiu de forță și comandă, reglare și diagnoză a acționării de putere cu inverter trifazat și motor asincron, utilizând numai transformator la ieșirea inverterului trifazat. Această schemă este utilizată de obicei pentru acționări de puteri mai mici, de exemplu în gama 100...500 kW cu tensiuni de alimentare 3 x 400 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 la intrare și nici unul din redresoarele cu diode de la intrare.

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

În cazul exemplului dat în fig. 6a se dă schema pentru comanda a 8 tranzistoare cu ajutorul cărora se obține o undă de tensiune sinusoidală folosind comanda PWM. Ordinea de comandă a tranzistoarelor este dată în Tabelul 1.

Dacă este descompusă tensiunea formată din segmente dreptunghiulare din fig.6 se obține o armonică principală sinusoidă, prezentată cu linie îngroșată, și o serie de armonici care prin calcul care determină momentele comenzilor tranzistoarelor au valori relativ mici. În plus fiecare tranzistor și fiecare diodă sunt supuse la maxim tensiunea $V_{cc} / 2$, adică la jumătate din tensiunea de alimentare a inverterului. În acest fel, cu tranzistoare IGBT de putere și tensiune mare de lucru (care se fabrică în prezent) pot fi realizate invertoare care să lucreze direct cu tensiuni de intrare de până la 3...4 kVcc.

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

- În perioada $t_1 - t_2$, sunt în conducție tranzistoarele V3, V4 și respectiv V7, V8 și astfel că tensiunea aplicată tranzistoarelor înseriate V1 și V2 și respectiv V5 și V6 este tensiunea de intrare U_a ($V_{cc+} - V_{cc-}$) și respectiv pe diodele D2 și D3 tensiunea aplicată este de $U_a / 2$. Deci pe fiecare semiconductor din cele două grupuri de tranzistoare înseriate și pe diode se aplică tensiunea $U_a / 2$.

- În perioada $t_2 - t_3$, sunt în conducție tranzistoarele V2, V3 și V7, V8 și respectiv diodele D1, D2. Tensiunea U_a se aplică pe tranzistoarele V1 și V4 înseriate, astfel că

tensiunea de la mijoc (punctul A) care are valoarea $U_a/2$ se aplică la ieșirea inverterului. La fel tensiunea U_a se 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 și V8 ca la perioada $t_1 - t_2$.
- În perioada $t_4 - t_5$ sunt în conducție tranzistoarele V2, V3 și V7, V8 și respectiv diodele D1, D2 ca și în perioada $t_2 - t_3$, cu observația că perioadele nu sunt egale ca valoare, aceste perioade se determină rezolvând o ecuație de gradul 3.
- În perioada $t_5 - t_6$ sunt în conducție tranzistoarele V3, V4 și V7, V8 ca la perioada $t_1 - t_2$.
- În perioada $t_6 - t_7$ sunt în conducție tranzistoarele V2, V3 și V7, V8 și respectiv diodele 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 $t_1 - t_2$.
- În perioada $t_8 - t_9$ sunt în conducție tranzistoarele V1, V2 și V6, V7 și respectiv diodele 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.

Dacă se urmăresc datele din Tabelul 1, rezultă că se obține o armonică principală sinusoidală și totdeauna fiecare element semiconductor este supus la tensiunea maximă $U_a/2$.

Tabelul 1

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	-	-

Legenda

on : IGBT în starea deschis (în conducție)

- : IGBT în starea blocat

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

În fig. 7. se prezintă o metodă și schema de principiu pentru comanda inverterului trifazat utilizând metoda PWM, așa cum s-a arătat la explicațiile din fig.6, ordinea de comandă a tranzistoarelor fiind dată în Tabelul 1.

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

Pentru a determina timpii la care se schimbă comenzile din tabelul 1, se utilizează o relație de calcul pentru gama de $0 \dots 60^0$ electrice:

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

$$\text{unde } S_i = 0 \dots 65535 \quad (2)$$

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

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

unde coeficienții C_i sunt dați de relațiile:

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

Valorile X_i , care reprezintă numărul de puncte utilizat pentru fiecare frecvență de lucru a inverterului în gama $0 \dots 60^0$, se determină cu relația de mai jos, ținând cont că se va alege valoarea întregă cea mai apropiată:

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

unde N_{rp} reprezintă numărul de puncte de calcul pentru 60^0 ce se determină cu relația:

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

unde f_{PWM} reprezintă frecvența de chopare PWM, care în prezent pentru tranzistoarele IGBT are valoarea cuprinsă în domeniul $1 \dots 5$ kHz și f reprezintă frecvența de lucru în momentul calculului, care practic poate avea o valoare în gama $2 \dots 120$ 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 sinusoidă la care se comandă tranzistoarele IGBT din inverterul trifazat cu 12 tranzistoare.

Într-un bloc **Regim de funcționare** 37 se determină frecvența f de ieșire din inverter și semnalul de actualizare valori sinus. Această frecvență este aleasă în funcție de condițiile externe, în primul rând de comanda **start** care implică pornirea inverterului cu frecvența lui minimă, care este aleasă în funcție de tipul inverterului și a motorului asincron trifazat. Apci

frecvența crește respectând în primul rând raportul $U_a / f = \text{constant}$ și de procesul tehnologic, respectiv puterea cerută inverterului.

În multe acționări există un **regulator 38** care în funcție de semnalelor de reacție curent sosite de la traductoarele de curent 32 și 32 și de frecvența de ieșire sosită de la blocul 37, asigură o limitare corespunzătoare a curentului prin motorul asincron, prin determinarea 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 la 60 grade cu o precizie de minim 0.2 %, primind informații de la blocul 37 și având în memorie funcție de aplicație și regimul tehnologic, valoarea frecvenței PWM. Valoarea sinusului este transmisă la un **bloc de calcul 3 impulsuri 40**, astfel se poate determina întregul sistem trifazat pentru 360 grade electrice. Relațiile de calcul pentru impulsurile generice sunt:

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

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

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

Unde : **impuls** = [0...1] de la regulatorul 38;
 $Y_i = 60 \text{ grade} - X_i$;
i este poziția pe sinus redusă la 60 grade electrice.

Pentru sistemul multilevel cu 3 nivele prezentat în fig.6, 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 $T_2, T_4 = \text{PWM}$;
 $T_4 = \text{off}$; $T_2 = \text{on}$ și $T_1, T_3 = \text{PWM}$;

În funcție de poziția pe sinus.

$U \geq U_a / 2$ pe faza R rezultă: $T_3 = \text{on}$; $T_4 = \text{off}$; $T_1, T_2 = \text{PWM}$.

Se observă o înjumătățire a numărului de tranzistoare în conducție PWM.

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. Deasemeni se calculează impulsul corespunzător tranzistoarelor complementare iar rotorul de impuls distribuie aceste valori către periferia rapidă cu 12 impulsuri. Rotorul distribuie impulsurile generice RST la periferie astfel:

- Între 0 și 60 grade pe fazele RST;
- Între 60 și 120 grade pe fazele TRS;
- Între 120 și 180 grade pe fazele STR;
- Între 180 și 240 grade pe fazele RST complimentat;
- Între 240 și 300 grade pe fazele TRS complimentat;
- Între 300 și 600 grade pe fazele STR complimentat.

REVENDICĂRI.

1. Metodă de realizare a unui echipament de acționare de mare putere cu inverter trifazat și cu motor asincron trifazat **caracterizată prin aceea că:** echipamentul de acționare conține un inverter trifazat alimentat la o tensiune continuă medie U_a ce poate avea o tensiune nominală în gama de 500 Vcc ... 4.000 Vcc, funcție de puterea nominală a echipamentului și de tranzistoarele utilizate în echiparea inverterului realizat din 16 tranzistoare IGBT și 6 diode semiconductoare, în care fiecare tranzistor și fiecare diodă sunt supuse la o tensiune maximă de $U_a / 2$, inverterul funcționând cu tensiuni multilevel, comanda tranzistoarelor făcându-se după sistemul PWM, unde comanda tranzistoarelor din inverter se face în gama de 0...60 grade electrice rezolvând o ecuație de gradul trei, care determină punctele S_i în care se comandă diferite tranzistoare în conformitate cu Tabelul 1: $S_i = -4 + 155 X_i - 2/256^3 X_i^2 - 25 / 256^5 X_i^3$, unde X_i poate lua valorile în gama 0...65535, unde valorile X_i , care reprezintă numărul de puncte utilizat pentru fiecare frecvență de lucru a inverterului în gama 0...60°, se determină cu relația de mai jos, ținând cont că se va alege valoarea întreagă cea mai apropiată: $X_i = (65535 / N_{rp}) * (i - 1/2)$, iar N_{rp} reprezintă numărul de puncte de calcul pentru 60° ce se determină cu relația: $N_{rp} = f_{PWM} / (6*f)$, unde f_{PWM} reprezintă frecvența de choppare PWM, care în prezent pentru tranzistoarele IGBT are o valoare cuprinsă în domeniul 1...5 kHz și f reprezintă frecvența de lucru în momentul calculului, care practic poate avea o valoare în gama 2...120 Hz, astfel că tensiunile de la ieșirea din inverter au armonica principală sinusoidală cu o precizie mai bună de 0,2 % și armonicile superioare minime; metoda de funcționare a echipamentului se bazează pe schema logică a mașinii de stare, prin comanda A_0 , tensiunea de 230 Vca-50 Hz este aplicată la bornele de intrare a unui contactorului monofazat și tensiunea trifazată de

$3 \times U_{ef} - 50$ Hz este aplicată la bornele unui întrerupător principal de intrare și se trece în starea FT0 LIBER CUPLARE, afișajul de pe panoul dulapului echipamentului arătând existența acestor tensiuni; printr-o comandă A_{0-1} dată de la blocul de comandă, se conectează întrerupătorul principal de forță și se trece în starea FT1 ECHIPAMENT PREGĂTIT, în cazul în care tensiunile nu sunt corespunzătoare sau se dă comanda din blocul 21, arcul de elipsă A_{1-0} face trecerea în starea FT0, altfel prin comanda A_{1-2} se trece în starea FT2 VERIFICARE COMENZI ȘI TRADUCTOARE, în această stare verificându-se dacă toate traductoarele, blocul de comandă, blocul de reglare, control și blocul de diagnoză și eventual cel de diagnoză complexă sunt alimentate corect și dacă semnalele sosite de la blocurile de mai sus sunt cele admise și arcul de elipsă A_{2-2} menține această stare dacă totul este în regulă, prin comanda A_{2-3} de la blocul de comandă, se trece în starea FT3 ALIMENTARE FORTA PROBA, în această stare comandându-se un contactor trifazat și se verifică prin creșterea încetată a tensiunii, funcționarea inverterului trifazat ce debitează pe o sarcină redusă rezistivă trifazată iar dacă în această perioadă de creștere a tensiunii, se ajunge la tensiunea de ieșire nominală, prin comanda A_{3-4} se trece în starea FT4 ECHIPAMENT CUPLAT sau direct din starea FT2, prin coborârea tensiunii de ieșire la valoarea zero și deconectarea contactorului trifazat și apoi conectarea unui contactor trifazat prin care inverterul trifazat prin intermediul unui transformator de ieșire este cuplat pe motorul asincron de sarcină; apoi prin comandă se trece în starea FT5 PORNIRE U/f CONSTANT, verificarea corectitudinii raportului $U/f = \text{constant}$ se determină din informațiile sosite de la traductoarele de tensiune și curent de la intrarea inverterului, iar curenții din inverter și motorul asincron trifazat de traductoarele de curent și respectiv curent prin motorul asincron, iar dacă se dă comandă de lucru- se trece în starea FT7 PROCES TEHNOLOGIC, corectitudinea acționării se verifică de traductoarele de tensiune și curent din motorul asincron și în plus de un traductor de turație montat pe motorul asincron trifazat acționat de echipament, turație ce se alege continuu funcție de procesul tehnologic, +iar la terminarea procesului tehnologic sau când se comandă se poate trece în starea FT8 RAPORTARE ÎNREGISTRARE DATE TEHNOLOGICE ȘI ELECTRICE și apoi în starea FTO

2. Echipament de acționare de mare putere cu inverter trifazat și cu motor asincron trifazat conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** pentru asigurarea unei tensiuni acceptabile la intrarea inverterului trifazat în cazul în care tensiunea de alimentare a echipamentului este mia mare sau egală cu 3×6 kV, echipamentul conține la intrare un transformator trifazat cu două secundare în conexiune triunghi și respectiv stea, tensiunile de ieși din transformator, se aplică la două redresoare înseriate trifazate realizate cu diode semiconductoare, tensiunea continuă fiind mai mică decât 5 kV, funcție de tranzistoarele IGBT și diodele utilizate la realizarea inverterului, inverterul debitând la ieșire o tensiune trifazată multilevel, care se aplică prin intermediul unui filtru trifazat și a unui transformator trifazat ridicător pentru obținerea tensiunii motorului asincron trifazat, tensiunea aplicată motorului fiind practic armonica principală trifazată sinusoidală cu frecvență variabilă respectându-se condiția $U / f = \text{constant}$ și condițiile tehnologice cerute de pompa sau agregatul tehnologic antrenat de motorul asincron, echipamentul având blocuri de comandă, control, reglare și diagnoză și o serie de traductoare de tensiune, curent, turație, traductoare și sesizoare procese tehnologice și un bloc de afișaj digital de prezentarea datelor principale de prezentarea funcționării echipamentului.

3. Echipament de acționare de mare putere cu inverter trifazat și cu motor asincron trifazat conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** în cazul care puterea nominală a echipamentului este sub 500 kW, se poate utiliza alimentarea cu tensiune la intrare de 3×400 Vca-50 Hz, în acest caz nu mai este necesar transformatorul trifazat și redresorul trifazat este unul simplu cu diode.

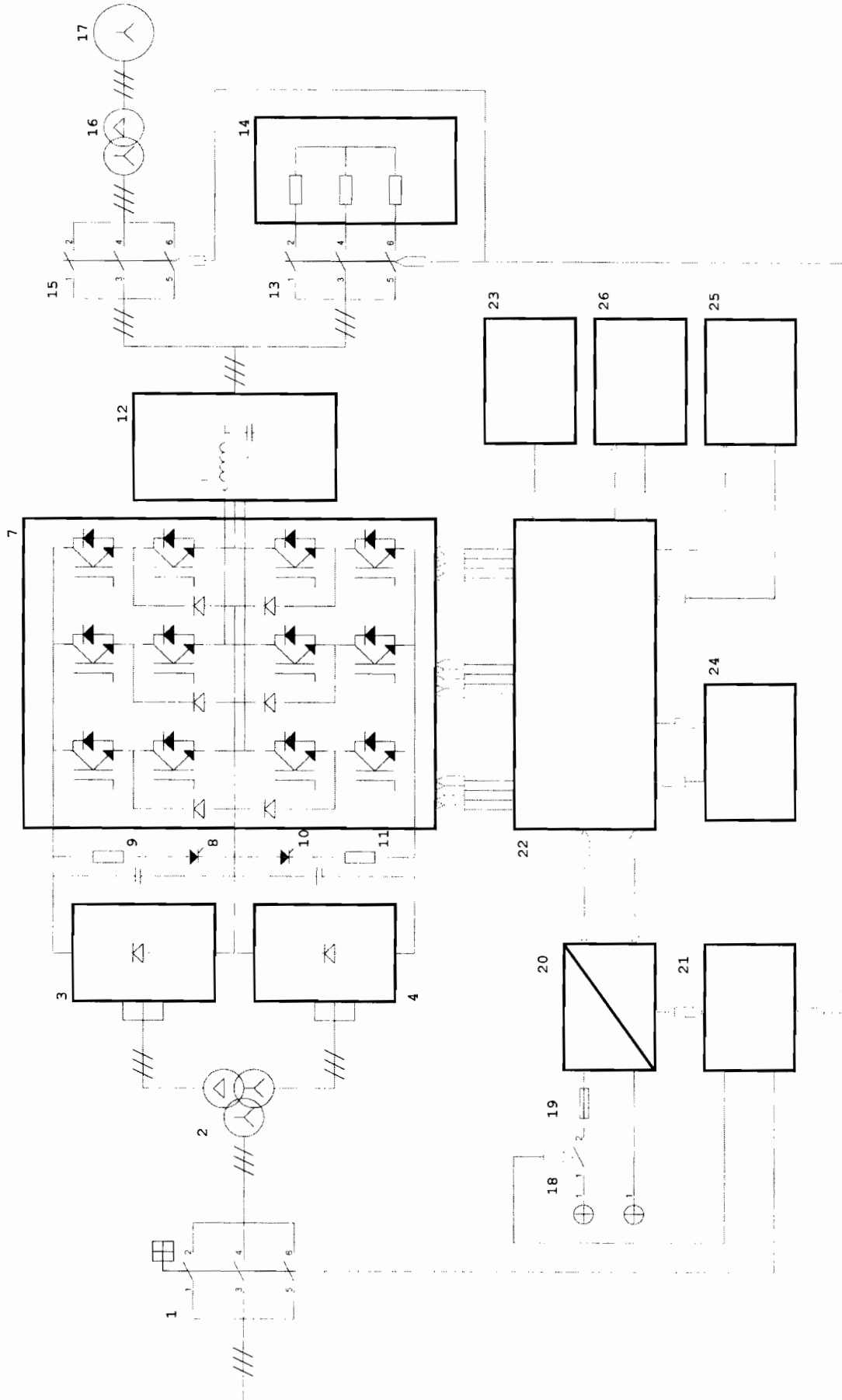


Figura 1. Schema de principiu pentru explicitarea metodei de actionare

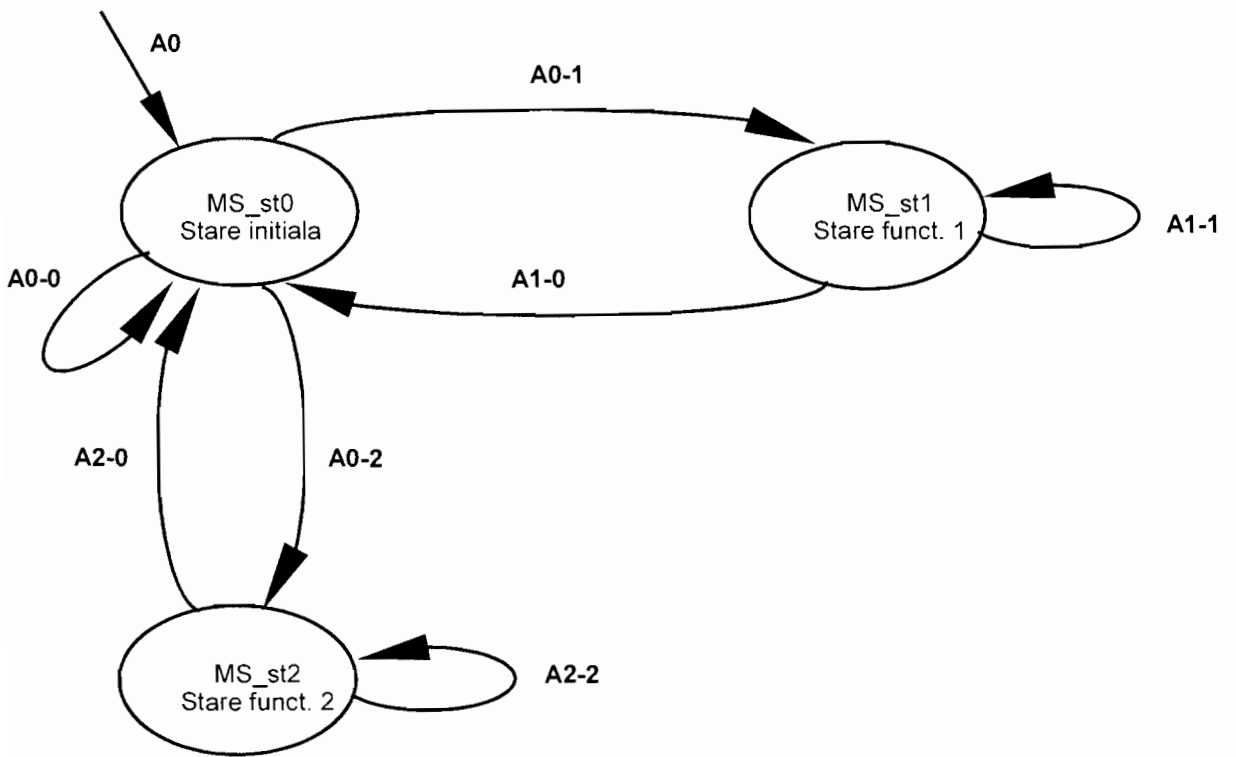


Fig. 2 Masina generala de stare

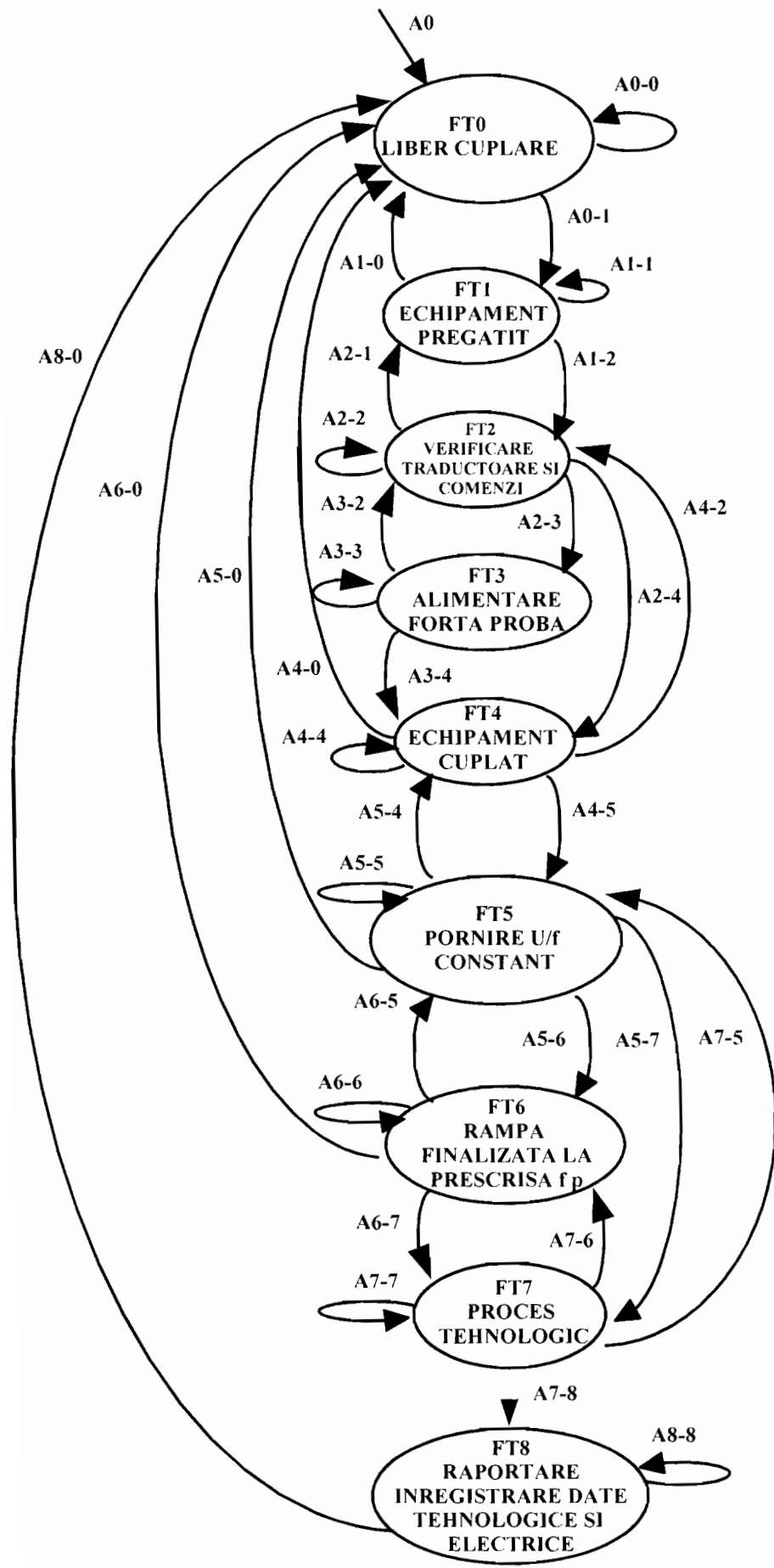


Fig. 3 Schema logica a masinii de stare

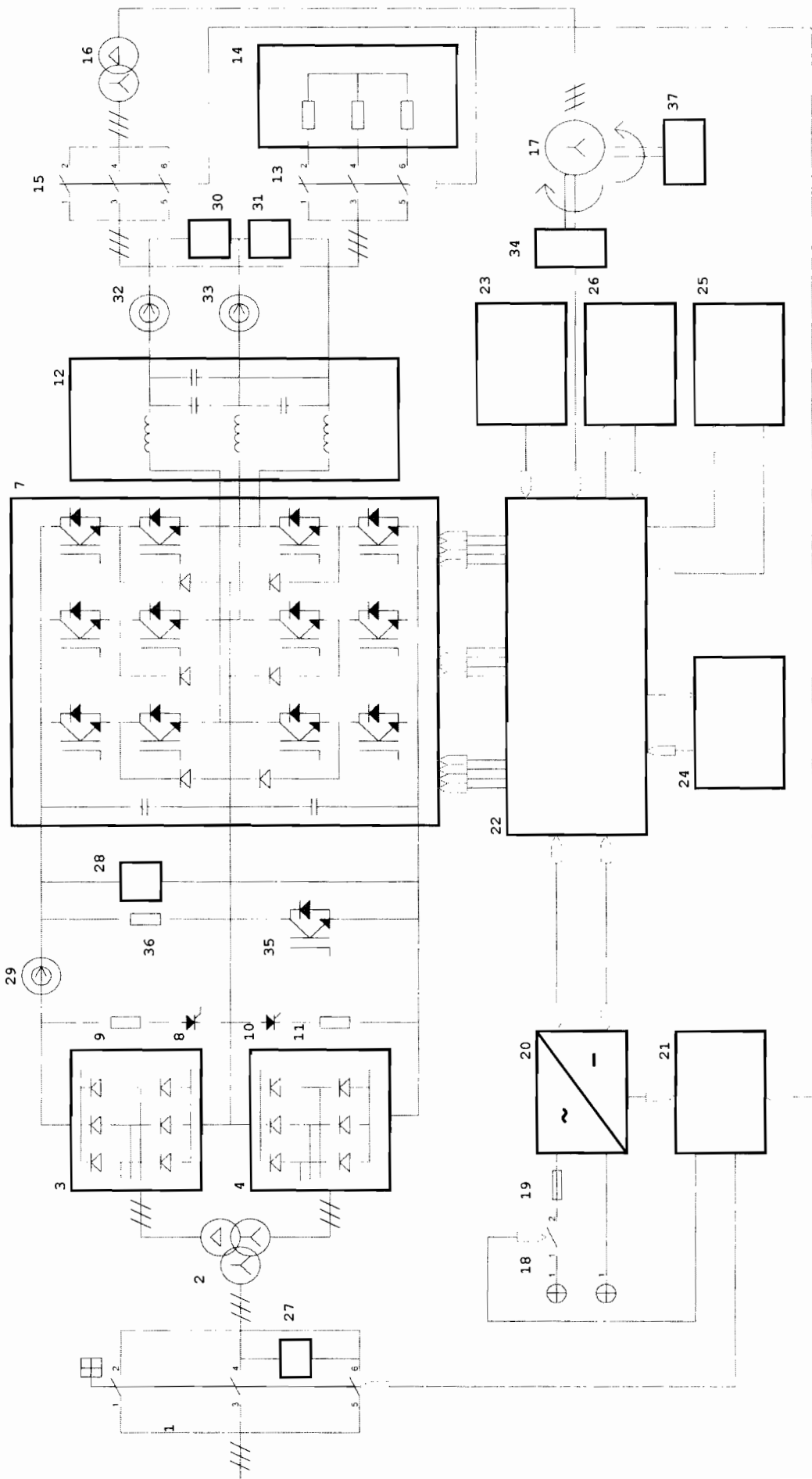


Figura 4. Schema electrica defasurata

23-09-2010

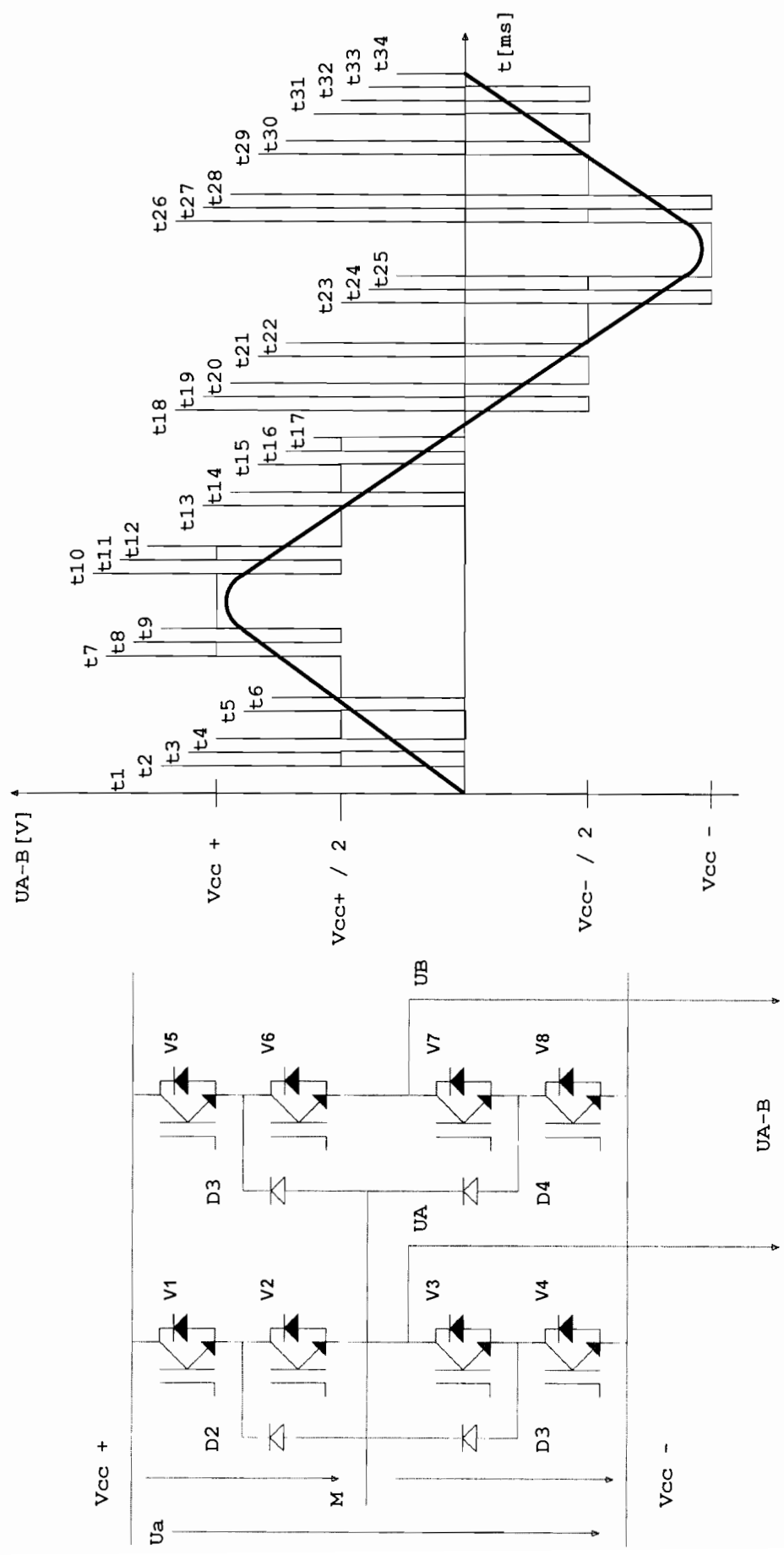


Figura 6. Mod de functionare celula cu 3 nivele

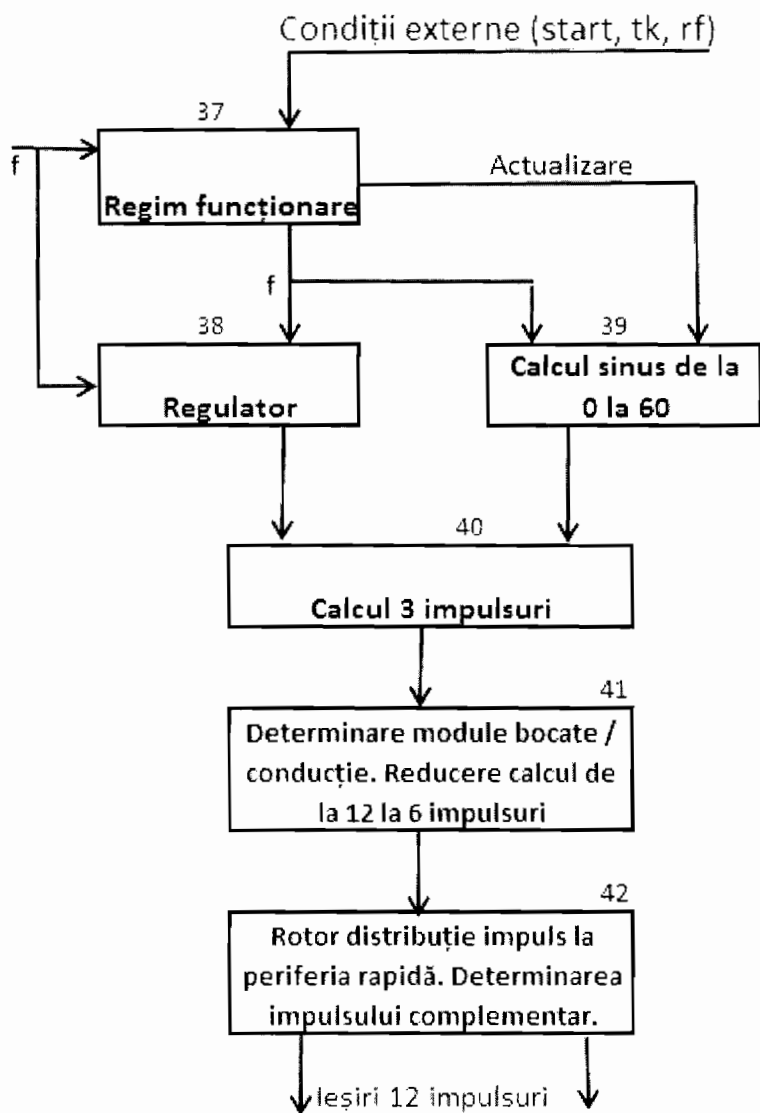


Fig.7