

TITLUL LUCRĂRII:

Prezentarea convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu ELVAR 4,0 KW.

SCOPUL LUCRĂRII:

- aprofundarea de către studenți a principiului de funcționare a convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu;
- prezentarea circuitelor electronice componente convertorului ELVAR 4,0 KW.

I.1. Descrierea și principiul de funcționare al convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu

Convertoarele statice de frecvență (CSF) permit transformarea energiei de la rețeaua trifazată de tensiune și frecvență fixă într-o energie de curent alternativ cu tensiune și frecvență variabilă. Aceste circuite electronice constituie astfel, surse optime de alimentare a motoarelor de curent alternativ – rotative sau liniare, asincrone sau sincrone – în sistemele de acționare cu viteză reglabilă.

Acționările utilizând motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, alimentate de la convertoare statice de frecvență, au pătruns în cele mai diferite domenii datorită în special avantajelor acestor motoare (robuste, ușoare, dimensiuni mici, inerție redusă, întreținere ușoară, etc.).

Ansamblul convertor static – motor asincron cu rotor în scurtcircuit facilitează punerea de acord a caracteristicii mecanice a motorului cu condițiile impuse de mașinile de lucru cele mai diferite. În acest mod, se pot asigura practic toate cerințele impuse sistemelor de acționare cum ar fi:

- pornirea automată și accelerarea controlată;
- funcționarea cu turație constantă sau cuplu constant;
- reglarea automată după program a turației;
- schimbarea sensului de rotație;
- frânarea automată;
- gamă largă de reglare a vitezei cu finețe deosebită a reglării;
- sensibilitate redusă la variații în anumite limite a tensiunii și frecvenței de alimentare;
- viteză mare de răspuns.

Conversia energiei de curent alternativ realizată prin intermediul unei forme de energie de curent continuu, are limite de variație mai largi din punct de vedere al frecvenței tensiunii de ieșire. În acest caz, CSF este denumit convertor de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu și este alcătuit din:

- un redresor (comandat sau necomandat);
- un circuit intermediar de curent continuu având caracter de sursă de curent continuu sau de tensiune continuă sau variabilă;
- un invertor care poate fi de tensiune sau de curent (figura I.1).

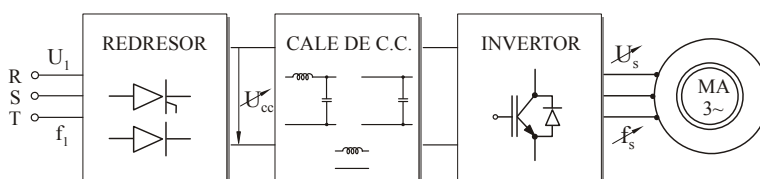


Fig. I.1. Structura unui convertor static de frecvență.

Invertoarele sunt componentele de bază ale convertoarelor statice de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă, echipamente electronice de putere care stau la baza acționărilor electrice cu turație reglabilă cu motoare de curent alternativ. În structura acestor sisteme de acționare, invertorul are un rol decisiv în stabilirea performanțelor energetice și dinamice ale sistemului pentru un motor de acționare dat.

Este bine cunoscut faptul că obținerea unui randament energetic ridicat și a unor performanțe dinamice superioare pentru sistemul de acționare în ansamblu, este condiționată de alimentarea motorului de curent alternativ cu tensiuni și curenți sinusoidali, de frecvențe și amplitudini impuse de sistemul de reglare [A5],[D6].

Spre deosebire de invertoarele de curent, invertoarele de tensiune prezintă o mare flexibilitate în adoptarea unor tehnici de comandă cu modularea impulsurilor de tensiune în durată (PWM) și/sau amplitudine în vederea reducerii conținutului de armonici de frecvență joasă din undele de tensiune și de curent ce alimentează motorul de acționare.

Funcționarea invertoarelor de tensiune fără modulația impulsurilor, prin conducția continuă a dispozitivelor de comutație pe duratele corespunzătoare unor unghiuri de 120° el. sau 180° el, prezintă dezavantajul unui conținut ridicat de armonici de frecvență joasă în unda tensiunii de ieșire, precum și dezavantajul datorat imposibilității reglării tensiunii concomitent cu reglarea frecvenței numai prin intermediul invertorului.

Undele de tensiune obținute la ieșirea invertorului sunt cvasisinusoidale, compuse din impulsuri dreptunghiulare de durate egale cu durata de conducție a semiconductoarelor de putere. Ast-fel de unde au o pondere însemnată a armonicilor impare 5, 7, 11, etc. care determină cupluri oscilante ce înrăutățesc performanțele dinamice ale motorului alimentat. În plus, la reglarea vitezei motorului de acționare (sincron sau asincron) se impune modificarea continuă a tensiunii concomitent cu frecvența. Acest lucru nu se poate obține cu ajutorul invertorului, fiind necesară o sursă de tensiune continuă reglabilă, redresor comandat sau chopper în circuitul de curent continuu.

În figura 1.2. este prezentată configurația unui convertor de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu pentru alimentarea unui motor asincron.

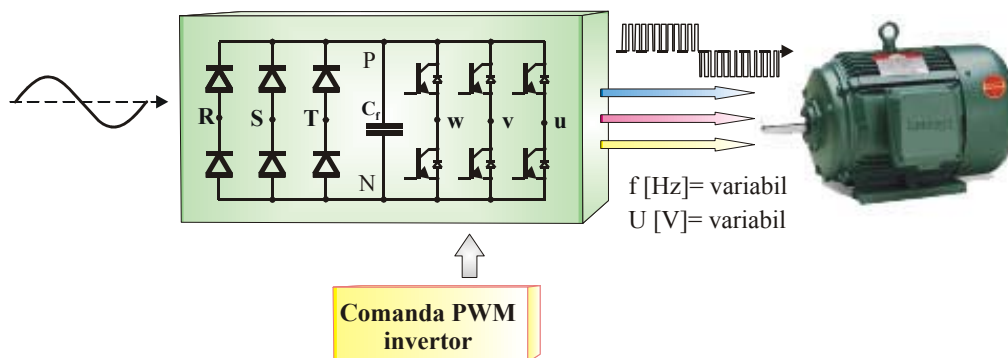


Fig. 1.2. Schema unui convertor cu circuit intermediar de curent continuu.

Reglarea vitezei mașinii asincrone impune pe lângă variația frecvenței f_s care se realizează în CFCI prin metode specifice de comandă pentru contactoarele statice și variația tensiunii U_s , pentru a se evita saturarea ($U_s/f_s = \text{const.}$).

Există pentru îndeplinirea acestui deziderat, în principal trei metode distincte:

- variația tensiunii continue U_{cc} la intrarea inverterului;
- variația tensiunii U_s la ieșirea din inverter;
- variația tensiunii în inverter prin utilizarea tehnicilor PWM.

Prima metodă permite obținerea unei forme constante a tensiunii la ieșirea inverterului, indiferent de amplitudinea ei, dar impune folosirea redresorului comandat, ca sursă de tensiune continuă reglabilă, pe calea de curent continuu.

Se utilizează cu precădere în schemele de reglare care funcționează pe baza controlului orientat după câmp, iar contactoarele statice ale inverterului sunt tranzistoare. Dacă inverterul este realizat cu tiristoare, la variația în limite largi a tensiunii, capacitatea de comutare scade pe măsura scăderii tensiunii de încărcare a condensatoarelor de stingere, din care cauză, în unele aplicații se folosesc surse suplimentare de curent continuu pentru încărcarea condensatoarelor de stingere.

A doua metodă se utilizează relativ rar în acționările electrice reglabile, deoarece la tensiuni reduse, conținutul de armonici al tensiunii la bornele mașinii este nesatisfăcător.

Metoda a treia este cea mai folosită atât în cazul controlului scalar, cât și în cazul controlului orientat după câmp, în acest ultim caz uneori împreună cu prima metodă. Tehnicile de comandă PWM prezintă două avantaje esențiale care le-au impus domeniul metodelor de comandă folosite pentru invertoarele ce fac parte din convertoarele statice cu circuit intermediar de curent continuu:

- nu necesită componente suplimentare în inverter, blocul de comandă devenind însă mai complex;
- permit reducerea semnificativă sau chiar eliminarea armonicilor de frecvență de ordin mic (cele mai apropiate de fundamentală), chiar la evoluții în limite largi ale tensiunii și frecvenței.

Reducerea conținutului de armonici, în special a armonicilor de frecvență joasă și posibilitatea modificării în limite largi a tensiunii cu frecvența se obțin prin modulația în durată a impulsurilor de tensiune, metodă consacrată sub denumirea de **comandă PWM (Puls Width Modulation)**. Metoda constă în fragmentarea duratelor de conducție ale semiconductoarelor de putere în vederea reducerii conținutului de armonici din undele de tensiune și implicit de curent de la ieșirea inverterului ce alimentează motorul unui sistem de acționare electrică.

Metodele de comandă PWM (**Puls Width Modulation**) se aplică în aceeași măsură la mașinile asincrone cât și la cele sincrone. În această lucrare se va studia aplicarea acestor tehnici de comandă mașinilor asincrone.

Configurația inverterului PWM pentru alimentarea unui motor asincron trifazat este prezentată în figura 1.3.

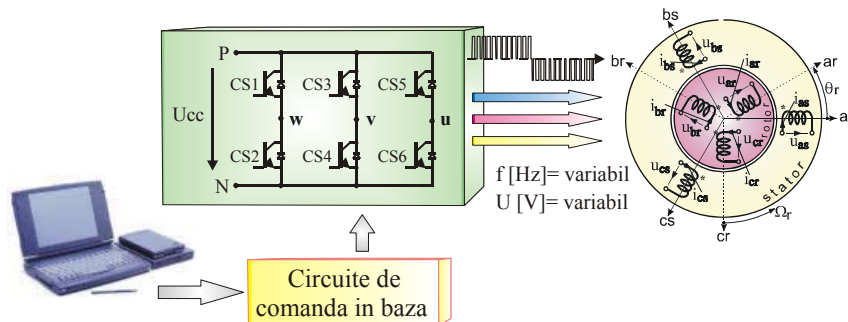


Fig. 1.3. Inverter trifazat cu tranzistoare IGBT.

Modularea impulsurilor în durată (lățime) constă în alimentarea mașinii cu un număr de impulsuri de tensiune (curent) pe fiecare semiperioadă, durata fiecărui impuls fiind o funcție sinusoidală dependentă de poziția unghiulară a impulsului în decursul semiperioadei.

Modularea se realizează prin compararea unui semnal de comandă (modulator), de amplitudine U_m și frecvență f_m variabile, a cărui formă este identică cu forma semnalului ce se dorește a fi obținut la ieșirea inverterului, cu un semnal triunghiular (purător), de amplitudine U_p și frecvență f_p fixe.

Caracterizarea acestui proces de modulație, cunoscut sub denumirea de *modulație PWM sinusoidală* se face cu ajutorul a doi parametri:

- *gradul de modulație în frecvență*, definit prin raportul dintre frecvența semnalului purtător și frecvența semnalului modulator $f_p/f_m=m$ (m determină numărul de pulsuri pe perioadă);
- *gradul de modulație în amplitudine al tensiunii*, definit prin raportul dintre amplitudinea semnalului modulator sinusoidal și amplitudinea semnalului purtător triunghiular $U_m/U_p=k$.

Principiul metodei, este ilustrat în figura 1.4. [A3], [G13], [P7].

Momentele în care unda modulatoră de frecvență f_m și amplitudine U_m intersectează unda purtătoare triunghiulară de frecvență f_p și amplitudine U_p (figura 1.4 a), constituie momente de comutare pentru contactoarele statice din inverter. Prin aceasta se produc impulsurile de tensiune modulate în durată după legea sinusoidală impusă de unda modulatoră.

Cât timp unda modulatoră este mai mare decât unda purtătoare, contactoarele statice corespunzătoare fazei și polarității respective sunt închise, aplicând înfășurării mașinii un impuls de tensiune. Când unda purtătoare devine mai mare decât unda modulatoră, aceste contactoare se vor deschide.

În funcție de contactoarele care se închid, impulsurile de tensiune aplicate înfășurării mașinii vor fi de o polaritate sau alta, conform figurii 1.4 b), c), d).

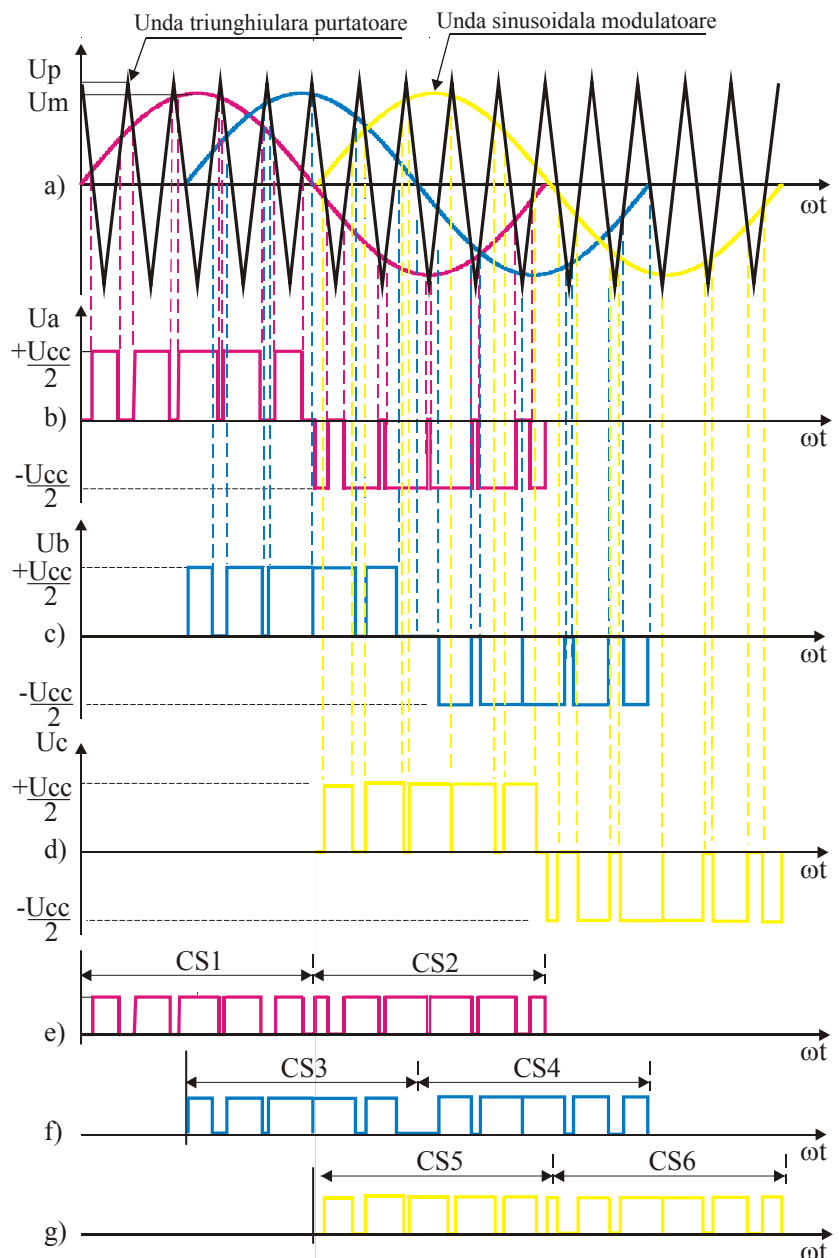


Fig. 1.4. Principiul modulației sinusoidale.

Algoritmul de comutare pentru contactoarele din inverter, se observă în figurile 1.4. e), f) și g).

Pentru o undă triunghiulară de amplitudine și frecvență constante, se poate modifica amplitudinea fundamentalei unde de la ieșirea inverterului, prin modificarea amplitudinii unde modulatorie U_m (a indicelui de modulație k), păstrând frecvența acestuia constantă.

I.2. Prezentarea convertorului static de frecvență ELVAR 4,0 KW

I.2.1. Conectarea în instalații a convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu ELVAR 4,0 KW

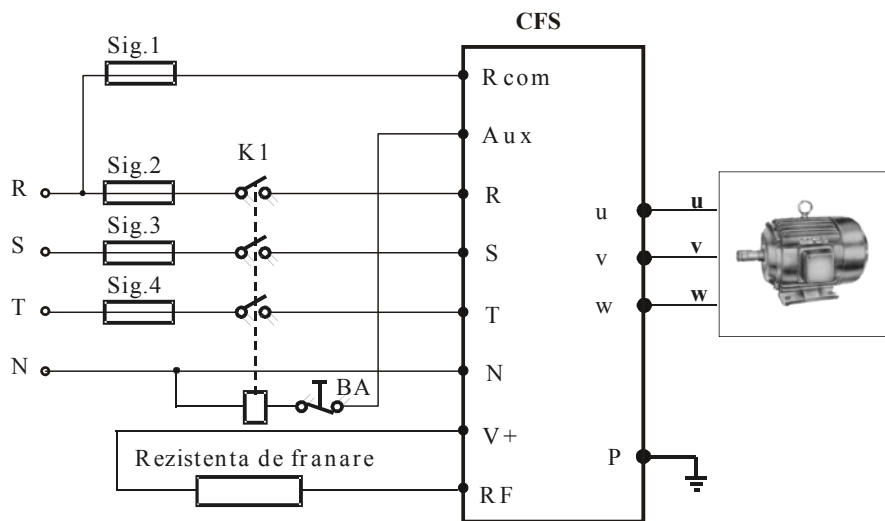


Fig. I.5. Schema electrică de conectare a CSF.

I.2.2. Configurația convertorului static de frecvență realizat

Convertorul static de frecvență ELVAR 4,0 KW, este realizat din 4 (patru) circuite electronice:

- circuitul de alimentare,
- circuitul modul,
- circuitul de bază,
- circuitul de comandă.

Circuitul de alimentare

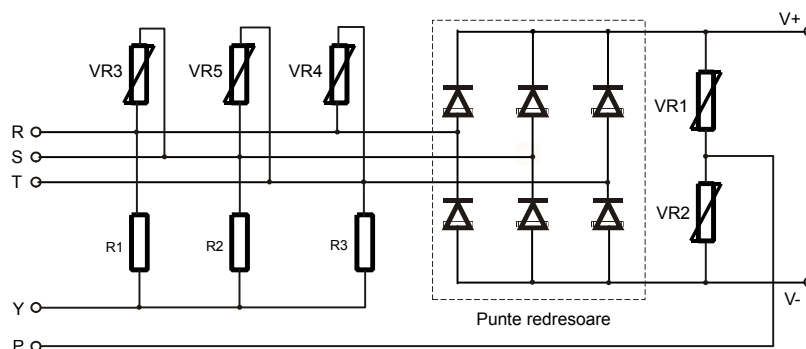


Fig. I.6. Schema electrică a circuitului de alimentare.

Schema electrică a circuitului de alimentare din structura convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu se poate urmări în figura I.6.

Datorită avantajelor, deja cunoscute, folosirii structurilor electronice de putere în construcție modulară, la realizarea plăcii de cleme s-a folosit un redresor trifazat, modular, necomandat produs de firma Mitsubishi.

Varistoarele cu oxizi metalici (cunoscute și sub denumirea de varistoare cu ZnO) sunt utilizate pentru protecția împotriva supratensiunilor. Rolul lor este de a proteja echipamentul electric împotriva oricărui tip de supratensiune care poate apărea în rețeaua de alimentare (datorată comutației, incidentelor tehnice, indusă accidental sau cauzată de către o lovitură de trăsnet). În figura I.7 este prezentat circuitul electronic realizat.

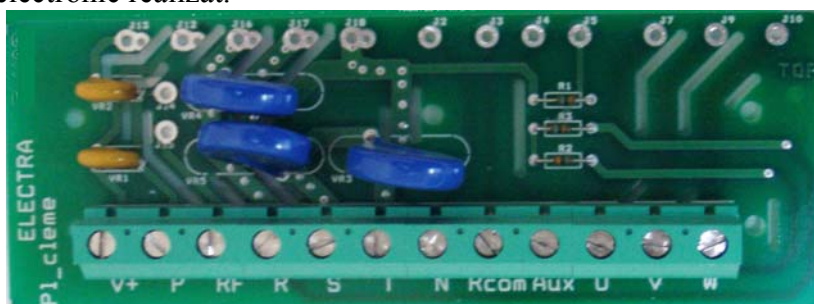


Fig. I.7. Circuitul de alimentare – circuitul electronic realizat.

Semnificația bornelor:

V+ – tensiunea căii de curent continuu;

P – pământ;

RF – rezistență de frânare. CSF conține un circuit destinat disipării energiei de frânare (se conectează conform schemei prezentate în figura I.5);

R, S, T – fazele rețelei de alimentare;

N – nulul rețelei de alimentare;

Rcom – faza de alimentare a circuitului de comandă;

Aux – contact auxiliar (se conectează conform schemei prezentate în figura I.5);

u, v, w – alimentarea motorului;

Câteva caracteristici ale punții redresoare de putere, folosite:

- $V_{RRM} = 1600V$ tensiune repetitivă;
- $V_{RSM} = 1700V$ tensiune nerepetitivă;
- $I_O = 40V$ curent continuu de ieșire;
- $I_{FSM} = 400V$;

Circuitul modul

Folosirea modulelor inteligente de putere (dipozitive de putere hibride avansate care combină viteza mare și pierderile mici de comutare ale IGBT-urilor cu dispozitive de comandă pe poartă optimizate și circuite de protecție), conferă o serie de avantaje cum ar fi: gabarit redus pentru convertorul cu circuit intermediar de curent continuu, timpul de proiectare a convertorului, redus, drivere și circuite de protecție incluse în modul, performanțe îmbunătățite, tehnologie înaltă de fabricare (reduce numărul extern de componente și se assemblează ușor). Chiar și dimensiunile sistemului pot fi reduse prin folosirea unui radiator mai mic, deoarece pierderile în stare de conducție și cele de comutare sunt mai mici.

Abilitatea MIP de a se autoproteja reduce posibilitatea de distrugere a dispozitivului în timpul testelor sau în condiții de suprasarcină.

Schema electrică a circuitului modul din structura convertorului static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu este prezentată în figura I.8, iar în figura I.9 este prezentat circuitul

electronic realizat. Soluția adoptată, datorită considerentelor prezentate mai sus, este folosirea unui modul integrat de putere produs de firma Mitsubishi, cu dispozitive de comandă pe poartă optimizate și circuite de protecție încorporate. Această soluție a permis realizarea plăcii modul cu un minim de componente externe.

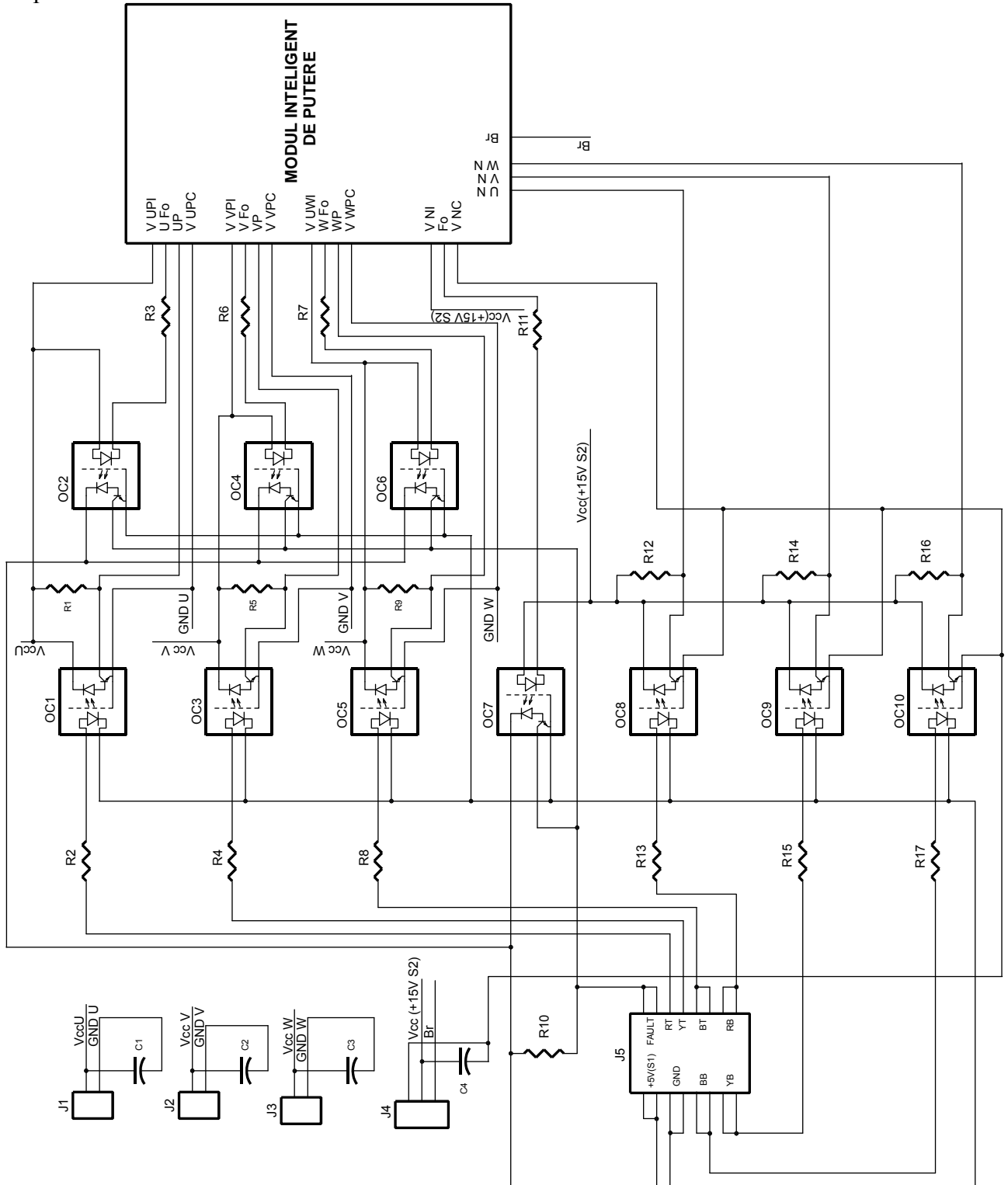


Fig. I.8. Schema electrică a circuitului modul.

Protecțiile interne la supracurent și la scurtcircuit sunt realizate prin utilizarea unor senzori de curent optimizați, care permit monitorizarea continuă a curentului ce străbate dispozitivul. Pe lângă aceste protecții, fiabilitatea sistemului este sporită prin protecția la supratemperatură și prin blocarea la nivel de tensiune prea joasă.

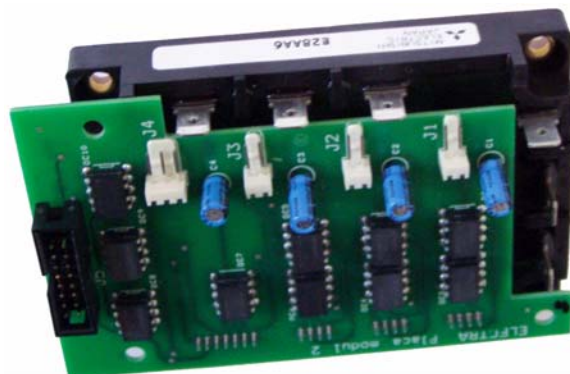


Fig. I.9. Circuitul modul – circuitul electronic realizat.

Câteva caracteristici ale modului inteligent de putere folosit:

Pentru IGBT:

- $V_{CES} = 1200V$ ($V_D = 15V$, $V_{CIN} = 15V$) tensiune colector-emitor
- $I_C = 50A$ ($T_C = 25 C$) curent colector
- $I_{CP} = 100A$ ($T_C = 25 C$) curent colector de vârf
- $V_{CC} = 900V$ (aplicat între P și N) tensiune de alimentare
- $V_{Csurge} = 1000V$ (aplicat între P și N)

Pentru BRAKE:

- $V_{CES} = 1200V$ tensiune colector-emitor
- $I_C = 15A$ ($T_C = 25 C$) curent colector
- $I_{CP} = 30A$ ($T_C = 25 C$) curent colector de vârf
- $V_{CC} = 900V$ (aplicat între P și N) tensiune de alimentare
- $V_{Csurge} = 1000V$ (aplicat între P și N)

Pentru protecții:

- $OC = (59 \div 112)A$ ($-20^\circ C \leq T_C \leq 125$, $V_D = 15V$) supracurent inverter
- $OC = (22 \div 50)A$ ($-20^\circ C \leq T_C \leq 125$, $V_D = 15V$) supracurent frână
- $SC = 183A$ ($-20^\circ C \leq T_C \leq 125$, $V_D = 15V$) scurtcircuit inverter
- $SC = 95A$ ($20^\circ C \leq T_C \leq 125$, $V_D = 15V$) scurtcircuit frână
- $OT = (111 \div 125) C$ supratemperatură
- $UV = (11,5 \div 12,5)V$ subtensiune

Condițiile optime de funcționare recomandate de către producător:

- $V_{CC} = (0 \sim 800)V$
- $V_D = (15 \pm 1.5)V$
- $V_{CIN(on)} = (0 \sim 0.8)V$
- $V_{CIN(off)} = (4.0 \sim V_D)V$
- $f_{PWM} = (5 \sim 20) kHz$, $t_{dead} \geq 3 \mu s$

Circuitul de bază

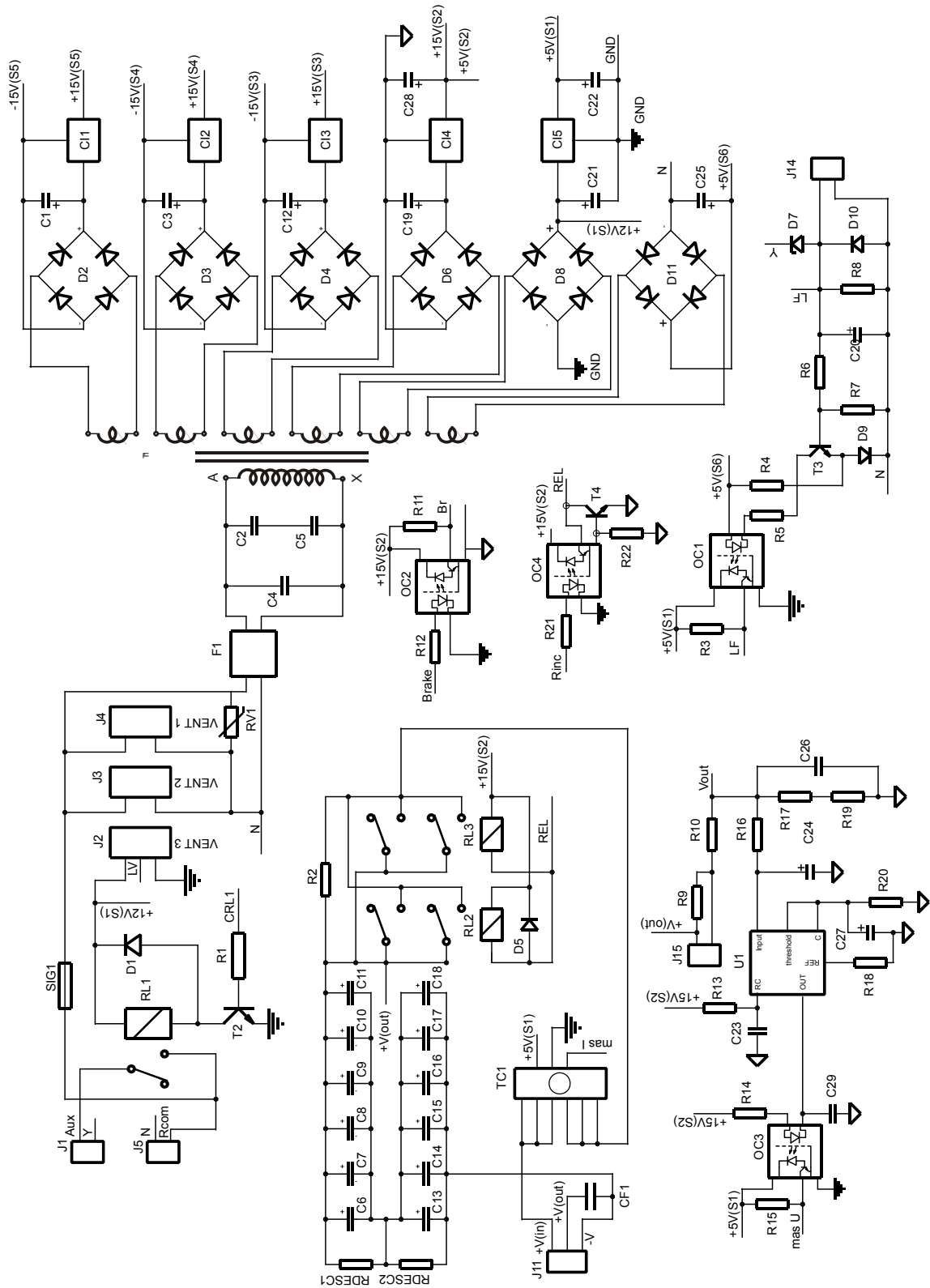


Fig. I.10. Schema electrică a circuitului de bază.

Schema electrică a circuitului de bază este prezentată în figura I.10 și are în componență sursa de alimentare a circuitelor de comandă (drive) și a circuitelor de protecție, filtrul circuitului de curent continuu, traductor de curent și tensiune.



Semnalul necesar reacției de tensiune se obține de obicei după tensiunea căii de curent continuu, iar semnalul necesar reacției de curent se obține după curentul de la intrarea sau de la ieșirea inverterului. În cazul de față, se preferă ca semnalul reacției de curent să se obțină din curentul din circuitul intermediar de curent continuu, deoarece acest curent nu mai trebuie redresat și filtrat și este util pentru diagnosticarea și protecția rapidă a inverterului în cazul unor defecte interne.

În regim de frânare, tensiunea la bornele capacității de pe calea de curent continuu trebuie menținută sub o anumită valoare limită. La decelerări rapide, această tensiune poate crește peste limita admisă.

În figura I.11 este prezentat circuitul de bază realizat.

Fig. I.11. Circuitul de bază – circuitul electronic realizat.

Circuitul de comandă

În acționările electrice cu controlul în frecvență al vitezei motorului asincron sunt utilizate diferite scheme de reglare în funcție de performanțele dinamice impuse sistemului de reglare și de tipul convertorului de frecvență utilizat. La sistemul realizat, s-a adoptat o schemă de reglare cu reacție externă de viteză și reacții interne după mărimile tensiune și curent.

Utilizarea microcontrolerelor, asigură un control complet asupra sistemului de acționare în ansamblu prin realizarea unui număr mare de funcții cum sunt:

- reglare;
- protecție;
- comanda inverterului PWM;
- diagnosticare;
- adaptarea legilor de reglare la tipul sarcinii;
- interfațarea pentru comunicațiile cu operatorul local și cu sistemele de conducere, etc.

În figura I.12 este prezentată schema electrică a circuitului de bază și în figura I.13 circuitul electronic realizat.

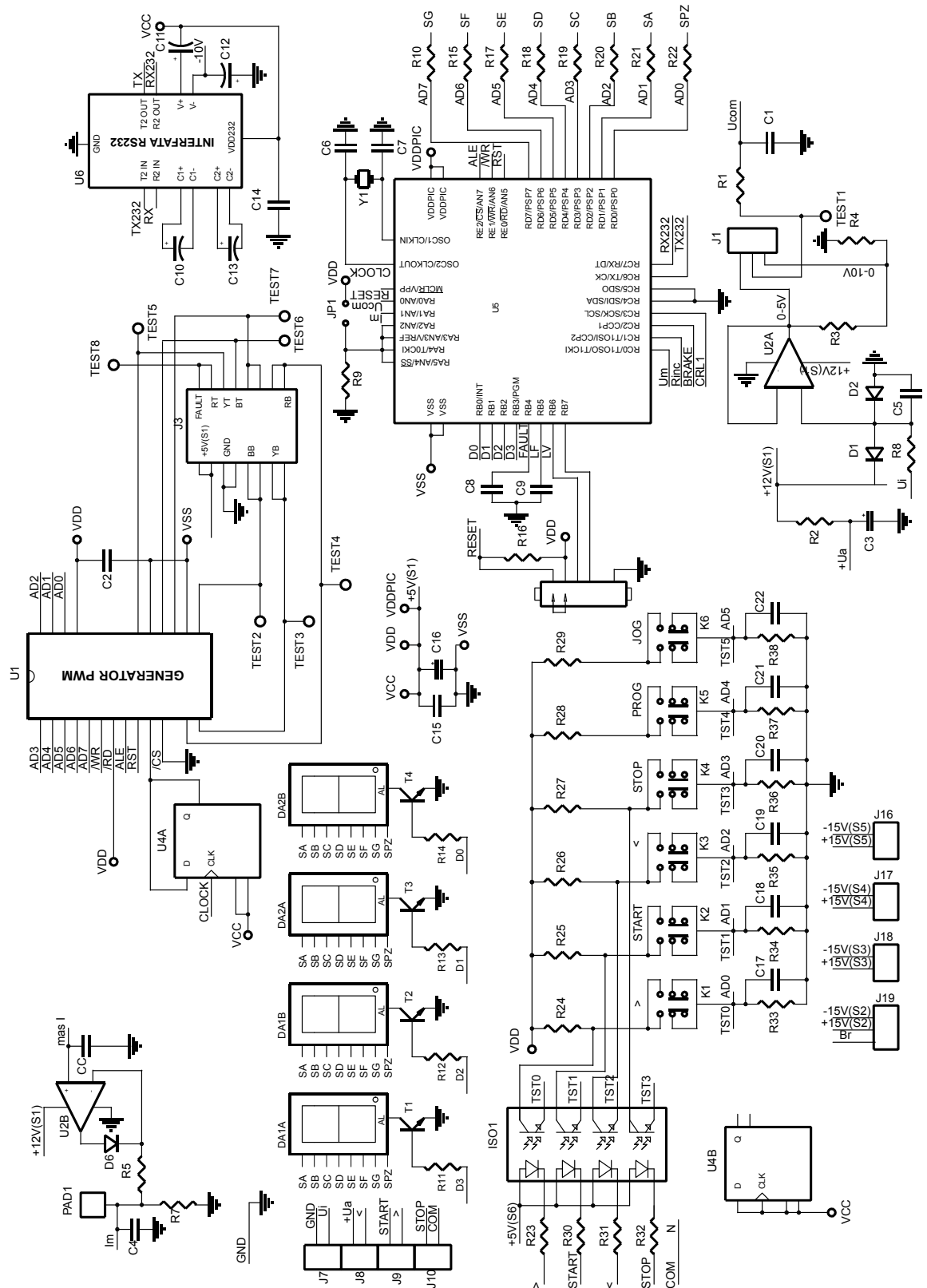


Fig. I.12. Schema electrică a circuitului de comandă.

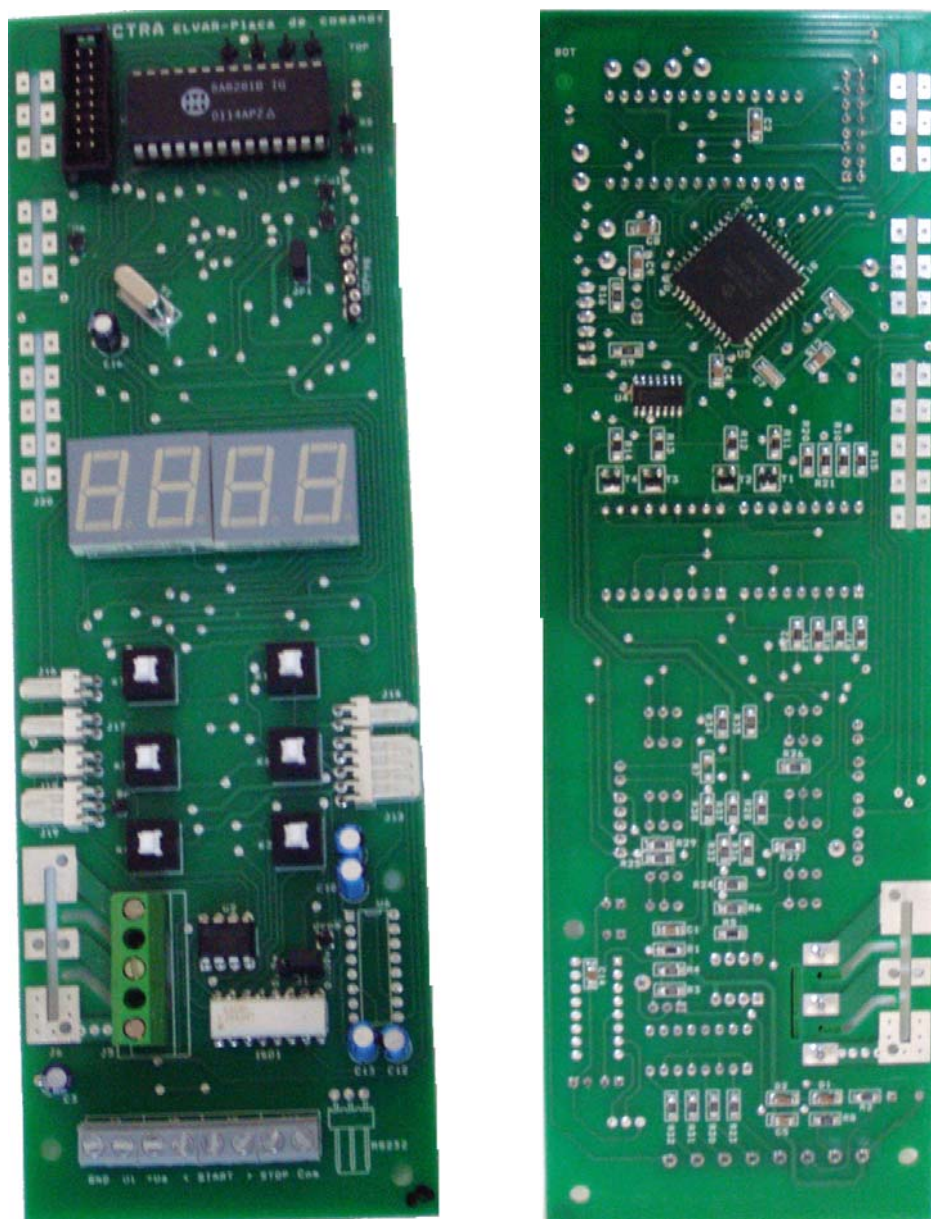


Fig. I.13. Circuitul de comandă – circuitul electronic realizat.

Acest sistem de dezvoltare este realizat pe baza microcontrolerului PIC16F877, dezvoltat în tehnologie CMOS de firma americană Microchip. Este astfel conceput încât permite dezvoltarea rapidă a aplicațiilor în domenii diverse, de la industriile auto și aplicațiile de control casnice la instrumentele industriale, senzori la distanță, mânere electrice de uși și dispozitivele de securitate.

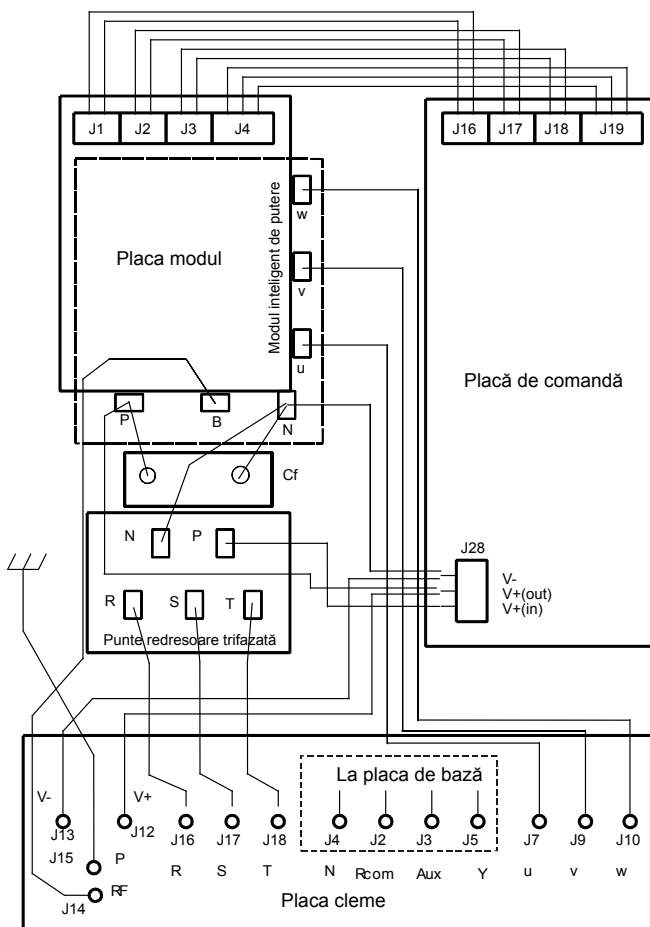
Traductorul LEM, reprezintă o alternativă flexibilă a șuntului de curent sau a transformatorului în scopul măsurării curenților alternativi sau continui. Traductoare de curent seria LTS sunt traductoare unipolare în buclă închisă, ce se bazează pe efectul Hall. Printre avantajele utilizării acestor tipuri de traductoare se pot enumera: ieșirea este o tensiune, se pot efectua 3 măsurări diferite prin utilizarea diferiților pini, formatul este compact, astfel încât se poate monta pe circuit imprimat, oferă o bună precizie și liniaritate, variație foarte mică cu temperatura.

LEM este un traductor de tensiune cu montare pe cablaj imprimat. Dispozitivul, a cărei funcționare se bazează pe efectul Hall, este protejat într-o carcasă de plastic anti-flacără, ce oferă și

izolare galvanică între circuitul primar și cel secundar. Traductorul este ideal pentru măsurarea tensiunilor din circuitele de c.a. și c.c. cu impulsuri.

Comunicația între microcontroler și calculator se realizează prin blocul „Interfață serială” (SCI). Când nu este disponibil, poate fi creat în software.

Controlul mărimilor se realizează prin interfațarea plăcii cu calculatorul, situație care este des întâlnită în aplicațiile de laborator sau în aplicațiile care necesită achiziționarea datelor mărimilor sau prin interfațare cu alte periferice de exemplu tastatură și afișor frecvent întâlnită în aplicațiile industriale.



Printre caracteristicile circuitului de comandă prezentat în figura I.2.8. menționăm:

- conectare directă la placa de forță;
- protecție instantanee la supracurent;
- protecție instantanee la supratemperatură;
- protecție la dispariția a cel puțin unei faze de alimentare a convertorului;
- protecție la apariția semnalului de avarie transmis de către modulul inteligent de putere;
- interfațare cu portul serial al calculatorului.

Asamblare circuite electronice

Circuitele electronice realizate, au fost asamblate în jurul unui radiator profilat rezultând astfel, o structură compactă a convertorului static de putere. În figura I.14 este prezentată schema conexiunilor interne necesară asamblării convertorului iar în figura I.15, se prezintă modelul experimental, a convertorului static de frecvență, fără și cu carcasă.

Fig. I.14. Asamblare circuite electronice CSF.

Pentru a reduce dimensiunile convertorului s-a adoptat soluția micșorării radiatorului. Această soluție a impus ventilarea forțată a circuitelor de forță prin folosirea unui ventilator montat pe carcasă (figura I.15).

După cum se poate observa în figura I.15, la proiectarea carcasei, s-a ținut cont de accesul ușor la șirul de cleme atât pe partea de forță cât și pe partea de comandă.

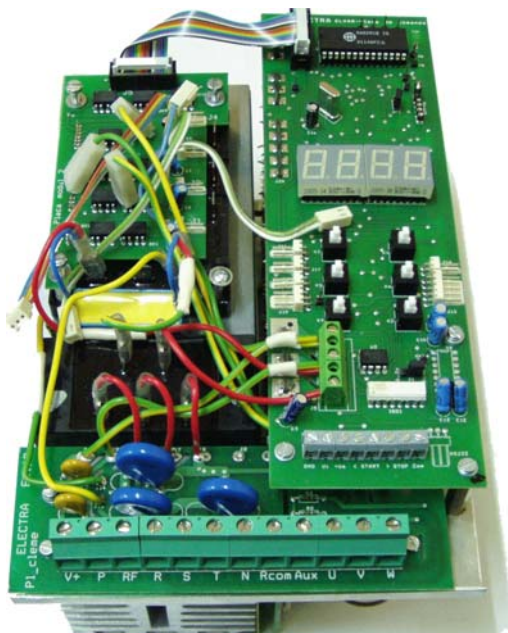


Fig. I.14. Model experimental CSF fără carcasă.



Fig. I.15. Model experimental CSF cu carcasă.

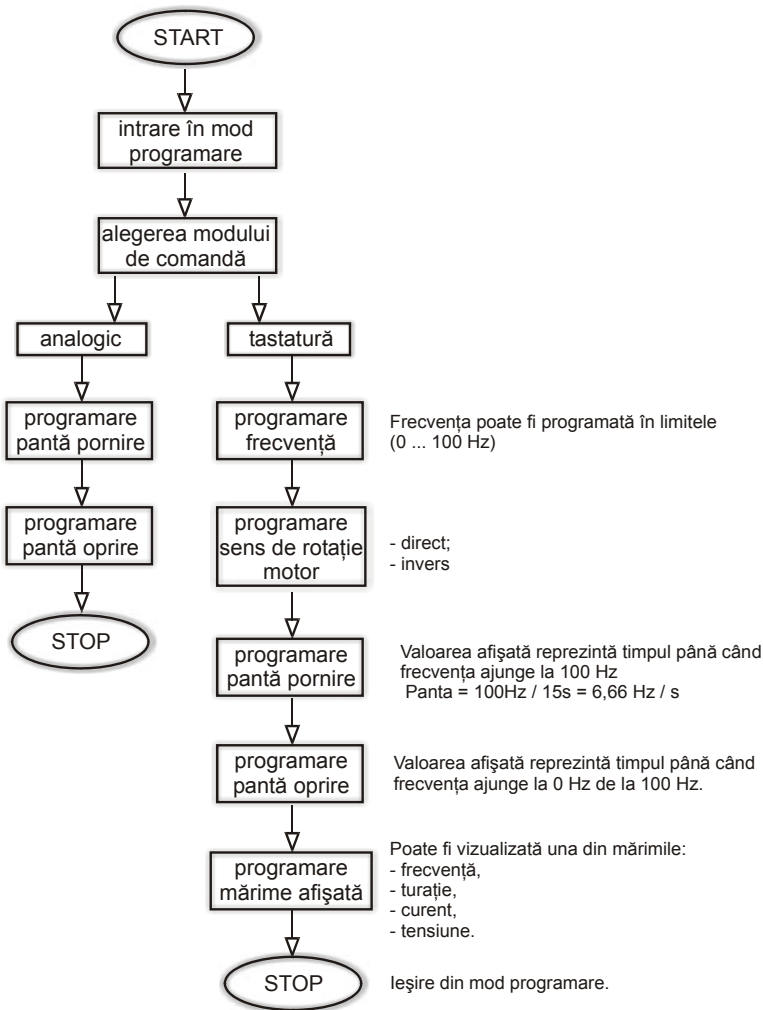
Controlul și programarea CSF

Pentru diagnosticarea defectului apărut în timpul funcționării întregului sistem de acționare, convertorul de frecvență afișează coduri corespunzătoare defectelor.

Semnificația codurilor afișate în cazul funcționării convertorului într-un regim necorespunzător, este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1.

Afișare convertor	Semnificația afișării
	Funcționarea protecțiilor modului inteligent (supracurent, supratemperatură, subtensiune, scurtcircuit).
	Funcționarea protecției supratensiune.
	Funcționarea protecției lipsă fază alimentare convertor.
	Funcționarea protecției supracurent. (protecția este externă și la un prag de acționare mai jos decât protecția internă modului inteligent de putere).
	Funcționarea protecției lipsă ventilator (semnalizarea alternează cu mărimea afișată până la apariția defectului).



Organigrama de programare este prezentată în figura I.16.

Fig. I.16. Organigramă de programare CSF.

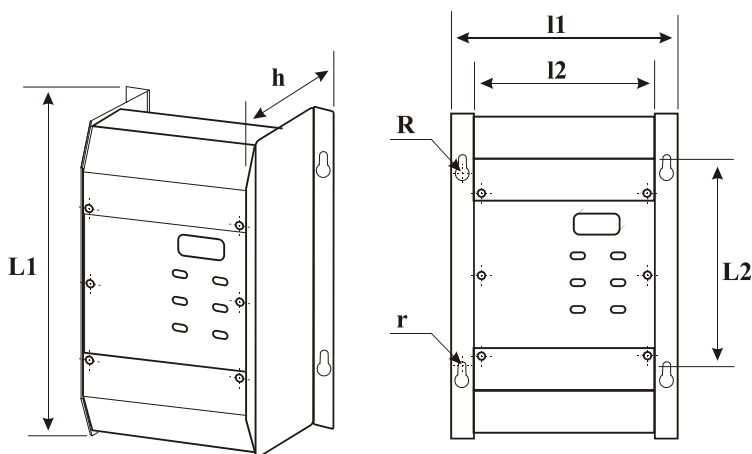


Fig. I.17. Dimensiunile de gabarit.

În figura I.17 și tabelul 2, sunt prezentate dimensiunile de gabarit ale modelului experimental, CSF 4.0 [KW].

Tabelul 2

	ELVAR 7.5
L1	300 mm
L2	190 mm
l1	230 mm
l2	209 mm
h	155 mm
R	6,5 mm
r	3 mm