

TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuții privind modernizarea echipamentelor
de sudare cu arcul electric**

Conducător științific:
Prof. Univ. Dr. Ing. Ioan Șora

UNIV. "POLITEHNICA"	
TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Nr. volum	648.357
Dulap	369 Lit. E

Autor:
Ing. Victor Verbițchi

CUPRINSUL

Introducere.....	5
1. Principalele caracteristici tehnice ale echipamentelor de sudare actuale și modul de utilizare a acestora.....	10
1.1. Surse pentru sudare MIG / MAG.....	10
1.2. Surse pentru sudare cu EI și WIG.....	15
1.3. Echipamente de sudare specializate.....	21
2. Sisteme automate adaptive pentru echipamente de sudare	27
2.1. Reglarea automată a tensiunii arcului electric, utilizând inferența fuzzy.....	27
2.2. Sistem adaptiv bazat pe analiza spectrului sunetelor.....	29
2.3. Tractor de sudare adaptiv sinergic	32
2.4. Urmărirea traseului de sudare, prin inferența fuzzy multistrat.....	33
2.4.1. Sistemul de sesizare și de urmărire a orbitei	33
2.4.2. Urmărirea orbitei cu regulatorul fuzzy convențional	33
2.4.3. Funcția de performanță.....	36
2.4.4. Inferența fuzzy în două straturi.....	39
2.4.5. Acordarea variabilelor fuzzy.....	39
2.4.6. Inferența fuzzy multistrat pentru urmărirea orbitei	43
2.5. Sistem cu oscilații și senzor neuronal de arc electric, pentru urmărirea rostului.....	46
2.5.1. Ecuațiile fundamentale pentru sudare MAG în regim de scurtcircuite	46
2.5.2. Detectarea poziției, orientării și înălțimii capului de sudare, cu senzorul neuronal de arc electric.....	50
2.5.3. Performanțele rețelei neuronale	50
2.6. Sistem automat inteligent de monitorizare și decizie pentru sudarea WIG	51
2.6.1. Elaborarea unui sistem de sudare WIG cu reglare inteligentă.....	51
2.6.2. Aplicarea industrială a sistemului	54
2.6.3. Rezultatele aplicației și evaluarea lor	55
2.7. Procesarea imaginii și recunoașterea în timp real a imaginii rostului de sudare	56
2.8. Reglarea fuzzy a vitezei sârmei la sudarea WIG automatizată	57
3. Dispozitiv magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă	61
3.1. Soluția constructivă	61
3.2. Dimensionarea circuitului magnetic	65
3.3. Sursa PWM de alimentare	70

4.	Sisteme de acționare pentru echipamente de sudare	78
4.1.	Regulator de turație cu tiristori	78
4.2.	Regulator PWM de turație cu tranzistor, cu reacție de tensiune electromotoare	84
4.3.	Regulatorul PWM de turație, ca regulator fuzzy	90
4.4.	Acționări de curent alternativ cu convertoare de frecvență.....	93
4.5.	Sistem de acționare în coordonate x/y	96
5.	Echipament specializat pentru încărcarea prin sudare MIG/MAG a robinetelor industriale	99
5.1.	Cerințe tehnice	99
5.2.	Variante de echipament	100
5.3.	Soluții constructive	103
5.3.1.	Partea mecanică	103
5.3.2.	Partea electrică	105
5.3.3.	Modul de funcționare	106
5.3.4.	Caracteristicile tehnice principale	106
5.4.	Sisteme de reglare	106
5.4.1	Sisteme de reglare dinamică: analogice, logice, digitale, fuzzy, analogice mecanice.....	106
5.4.2.	Sisteme complexe de reglare și de automatizare	112
5.5.	Acționări electrice cu regulatoare PWM, cu reglare fuzzy	114
5.5.1.	Caracteristici tehnice	114
5.5.2.	Evaluarea soluțiilor tehnice	115
5.6.	Experimentări în condiții de laborator	118
5.6.1.	Executarea probelor de încărcare prin sudare	118
5.6.2.	Verificarea probelor de încărcare prin sudare	119
5.7.	Experimentări în condiții industriale	120
5.7.1.	Echipamentul ESIR – 250 M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor	120
5.7.2.	Efectuarea experimentărilor	120
5.7.3.	Aspecte tehnico – economice	123
6.	Experimentări de sudare MAG robotizată	124
6.1.	Celula experimentală de sudare robotizată	124
6.1.1.	Caracteristicile tehnice principale ale roboților de sudare	124
6.1.2.	Configurația celulei experimentale de sudare robotizată	125
6.1.3.	Interfața de comandă pentru echipamentele anexe, tip ICEA.....	126
6.1.4.	Considerații geometrice pentru elaborarea tehnologiei de sudare robotizată	127
6.1.5.	Analiza modului de utilizare a robotului Romat 56 la sudarea componentelor de lonjeron	128

6.2.	Tehnologie experimentală de încărcare prin sudare robotizată a pieselor cilindrice.....	131
6.2.1.	Elaborarea tehnologiei.....	131
6.2.2.	Verificarea probelor de încărcare prin sudare.....	133
6.2.3.	Programele de sudare robotizată.....	133
6.2.4.	Corectarea traseului de sudare.....	134
6.3.	Elaborarea de programe de sudare MAG robotizată pentru diverse piese	135
6.3.1.	Mașonul tamponului.....	135
6.3.2.	Talerul tamponului.....	138
6.3.3.	Tubulatură aplatizată de aluminiu.....	139
6.3.4.	Jantă de autoturism.....	141
6.3.5.	Recipient de hidrofor.....	141
6.4.	Sistem experimental pentru corectarea traseului.....	142
6.4.1.	Schema de principiu a sistemului de corectare a traseului.....	142
6.4.2.	Verificarea experimentală a sistemului de corectare a traseului	144
6.4.3.	Metode de programare	155
6.5.	Inferența fuzzy pentru corectarea traseului	156
6.5.1.	Criteriile utilizate la realizarea inferenței fuzzy	156
6.5.2.	Aspecte tehnico-economice	158
6.5.3.	Funcțiile de apartenență ale mărimilor fuzzy de intrare și de ieșire	159
6.5.4.	Regulile de inferență	159
6.5.5.	Program cu inferență fuzzy	162
6.6.	Interpretarea analitică a inferenței fuzzy realizate	164
7.	Concluzii la documentare.....	168
8.	Concluzii la lucrările proprii	170
9.	Contribuții personale	173
10.	Bibliografie	175
	Anexa nr. 1. Regulator de turație cu tiristori, tip VV7TIN. Schema electrică	2 p.
	Anexa nr. 2. Regulator PWM de turație cu tranzistor, tip V. Schema electrică	3 p.
	Anexa nr. 3. Programe de sudare robotizată	3 p.

Introducere

În decursul anilor de activitate profesională la ISIM Timișoara, autorul a fost responsabil de temă și colaborator la mai multe contracte de cercetare științifică și inginerie tehnologică, precum și la contracte și comenzi cu beneficiari din industrie. Cele mai semnificative dintre aceste lucrări sunt enumerate în bibliografie. În cadrul acestor lucrări au fost proiectate și executate modele experimentale de echipamente de sudare cu diferite nivele de automatizare, precum și echipamente de sudare specializate unicat, pentru beneficiari.

Tendința de integrare în contextul tehnicii la nivel internațional a devenit tot mai puternică, concretizată și în asimilarea anumitor **componente cu nivel de complexitate tot mai mare** în echipamentele care se realizează aici. Conform acestei abordări, sursele de sudare, convertoarele de frecvență pentru acționări de curent alternativ, programatoarele de proces, sistemele automate computerizate, automatele programabile, sistemele de comandă numerică și chiar roboții constituie componente tipizate, de complexitate mare, care se achiziționează și se integrează în entități și mai complexe, cum sunt echipamentele specializate automatizate, sistemele tehnologice de fabricație sau celulele flexibile robotizate. La toate acestea se adaugă desigur și software-ul, care asigură funcționarea acestor sisteme. Având în vedere această situație, specialiștii care proiectează și realizează echipamentele complexe menționate, dar și specialiștii care urmează să exploateze aceste echipamente complexe trebuie să aibă cunoștințe despre caracteristicile tehnice principale ale componentelor tipizate, cât și despre modul de funcționare și de utilizare al acestora. De aceea, autorul a efectuat o amplă documentare, prin mijloacele actuale, în domeniul echipamentelor de sudare moderne și al cercetărilor pentru perfecționarea lor. S-a constatat că metodele de reglare fuzzy au un loc important în domeniu.

Principiile reglării și ale conducerii fuzzy a proceselor au un înalt grad de generalitate și de aceea ele se întâlnesc în numeroase fenomene din natură și în procesele biologice, inclusiv în gândirea umană, întrucât logica fuzzy este compatibilă cu aceste fenomene și procese, din care ea a și apărut ca știință. În fond, logica fuzzy nu a fost inventată, ci ea a fost doar descoperită, deoarece ea a existat dintotdeauna. Metodele de reglare fuzzy sunt foarte eficiente, datorită acestei compatibilități.

În conformitate cu tema tezei de doctorat, obiectul lucrării de față este modernizarea anumitor echipamente de sudare cu arcul electric, din categoria celor aflate în utilizare. Pentru aceasta, autorul a realizat componente de echipamente și modele funcționale, la care se aplică metode de reglare fuzzy.

Dar utilizarea principiilor și a metodelor de reglare fuzzy nu este un scop în sine. Pe lângă reglarea fuzzy propriu-zisă există multe alte probleme tehnice, specifice aplicației, care pot avea o pondere însemnată. Această lucrare tratează nu doar despre metodele de reglare fuzzy în general, ci ea prezintă în primul rând anumite aplicații tehnice, în care sunt utilizate și metodele de reglare fuzzy: sursă de alimentare pentru dispozitiv magnetic, reglatoare de turație, soluții constructive de acționări și sisteme de reglare pentru echipamente de sudare, sistem de corectare a traseului de sudare. În prezent, procesele și problemele sunt foarte complexe, inclusiv în tehnică. De aceea, rezolvarea problemelor tehnice face apel la numeroase date, din diverse specialități. Iar toate acestea se aplică la sudare, care este scopul final al lucrării.

Capitolul 1 al acestei lucrări prezintă o sinteză asupra surselor de sudare pentru procedeul MIG / MAG, respectiv WIG, în care sunt consemnate date tehnice foarte importante pentru utilizatori: scheme electrice de principiu, soluții constructive, facilități de funcționare, recomandări de exploatare și de întreținere. În continuare, se fac unele considerații asupra echipamentelor specializate de sudare automatizată, cu exemplificări de astfel de echipamente realizate recent, la care a colaborat și autorul, la care sunt aplicate și metode de **reglare fuzzy a turației**, la acționările pentru deplasările de poziționare și tehnologice.

În capitolul 2 se prezintă sinteza documentară referitoare la sisteme automate adaptive pentru echipamente de sudare, care ilustrează cercetările actuale din acest domeniu. Autorul a selecționat soluțiile tehnice semnificative din comunicări științifice de nivel internațional.

Se descrie o metodă de **reglare fuzzy a tensiunii arcului electric** experimentată la sudarea MAG, în care mărimea de intrare a fost constituită de abaterile duratelor scurtcircuitului și arcului electric, iar mărimea de ieșire a fost constituită din corecția pentru realizarea creșterilor și descreșterilor tensiunii arcului.

Se relatează despre realizarea **unei surse de sudare adaptive autointruibile**, bazate pe selectarea automată a parametrilor pentru sudarea MIG/MAG, în funcție de sunetul emis de arcul electric. Se prezintă un **tractor de sudare adaptiv**, care are posibilitatea urmării traseului de sudare, utilizând metode digitale, aplicat la construcția de nave.

Este consemnată o **metodă de urmărire a traseului** de către roboții de sudare, bazată pe **inferența fuzzy multistrat**, la care pentru evaluarea eficienței reglării este introdusă funcția de performanță, definită ca suma pătratului deviației și a pătratului mărimii de acționare. Valorile optime ale variabilelor fuzzy sunt calculate prin metoda pantei celei mai abrupte, pentru minimizarea funcției de performanță.

A fost abordată problema introducerii unui senzor neuronal al arcului electric, din categoria **senzor de topire**, pentru a detecta în mod simultan deviația, orientarea și înălțimea capului de sudare.

A fost conceput un **sistem de reglare inteligentă** pentru sudarea WIG automată, care are funcțiunile: monitorizarea parametrilor de sudare și compararea lor cu valorile prescrise, corectarea parametrilor și luarea deciziei de oprire. Prin intermediul unei camere cu filtre adecvate, se monitorizează parametrii: forma electrodului, direcția arcului electric, forma băii de metal topit, poziția sârmei de metal de adaos și forma rândului de sudură. **Reglarea poziției electrodului se face prin metodă fuzzy.**

Procesarea imaginii în scopul recunoașterii în timp real a imaginii este o metodă modernă de urmărire a rostului de către roboții de sudare și alte sisteme de sudare automată. A fost aleasă o rețea neuronală de bază cu propagare inversă pentru analiză, iar precizia detectării traseului a fost de 0,2 mm.

Este descrisă metoda de **determinare a vitezei de avans a sârmei de metal de adaos** la sudarea WIG automatizată, **prin inferență fuzzy**, în funcție de deschiderea rostului de sudare și de dimensiunile băii de sudare. Metoda de calcul prezentată a fost completată de către autorul lucrării de față, ceea ce constituie o contribuție proprie.

Unele dintre aceste informații au fost utilizate ca date de referință, pentru compararea cu soluțiile tehnice originale de automatizare ale autorului, în mod selectiv, în lucrările proprii ale autorului, descrise în capitolele următoare. Acestea încearcă să se apropie de nivelul tehnic actual prin rezultatele obținute, dar mai ales prin principiul soluțiilor tehnice aplicate. Esența soluțiilor tehnice este aspectul cel mai important, care ar putea să aibă o eventuală durabilitate, în tehnica modernă, în care totul se schimbă foarte rapid. Valorile perene devin tot mai rare, ceea ce prezintă avantaje și dezavantaje, inclusiv în tehnică.

Astfel, lucrările consultate au condus la analiza modului de funcționare al realizărilor proprii (sursă PWM de alimentare în regim de comutație și reglatoare PWM de turație), prin care autorul lucrării de față arată că **sistemele realizate cu reglaje PWM (modularea duratei impulsurilor) prezintă asemănări în funcționare cu reglatoarele fuzzy și că ele aplică metode de reglare fuzzy.** Pe de altă parte, datele principale referitoare la inferența fuzzy pentru urmărirea rostului au fost utilizate la realizarea de către autor a sistemului fuzzy experimental de corectare a traseului unui robot de sudare, care are rezultate corespunzătoare, la o valoare foarte avantajoasă a raportului performanță - cost, ceea ce arată eficiența metodei fuzzy.

Dispozitivul magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă face obiectul capitolului 3. Acest dispozitiv se utilizează în tehnologia de încărcare prin sudare

cu bandă-electrod având lățimea de 60 – 180 mm, la curent de sudare de 1000 – 3000 A. Scopul său este compensarea inducției magnetice produse de către curentul de sudare, care cauzează defecte de sudare la marginile metalului depus.

Autorul a elaborat și a utilizat o metodă originală de dimensionare a circuitului magnetic, adecvată pentru valori mari ale întrefierului. Metoda ia în considerație valoarea mare a fluxului magnetic de dispersie și a condus la obținerea unor soluții tehnice în această privință. Principiul metodei se bazează pe similitudinea cu liniile electrice lungi. Ea este utilă, de asemenea, la dimensionarea și utilizarea senzorilor magnetici.

Autorul a determinat prin calcul valorile parametrilor de funcționare ai sursei de alimentare a dispozitivului, pe baza relației fizice pentru valoarea instantanee a curentului tranzitoriu în circuit R, L, C. Interpretările autorului referitoare la metoda de calcul și la rezultatele obținute sunt utile la dimensionarea surselor în comutație. Sursa de alimentare a dispozitivului magnetic face parte din categoria sistemelor PWM, care sunt interpretate ca sisteme cu reglare fuzzy. În acest capitol se analizează funcționarea circuitului de forță al sursei. Metodele de reglare fuzzy intervin în circuitele de comandă și în funcționarea componentelor electronice de putere, ceea ce se descrie în capitolele următoare.

Realizările autorului în domeniul microacționărilor electrice, aplicate în mai multe lucrări, sunt descrise în capitolul 4.

Autorul a conceput și a realizat un tip de regulator de turație cu tiristori, pentru motoare de curent continuu, având puterea nominală de 0,150 – 2,2 kW, de la diverse echipamente de sudare. Soluția constructivă a plăcii electronice, elaborată prin proiectare asistată de computer, cât și facilitățile de utilizare implementate sunt contribuții proprii.

Autorul a conceput și a realizat un tip de regulator de turație cu tranzistor, cu reacție de tensiune electromotoare. Acesta este un dispozitiv electronic din categoria PWM, care funcționează în impulsuri modulate în durată. El este caracterizat prin faptul că utilizează o reacție de tensiune electromotoare, preluată de la bornele motorului de curent continuu, în intervalele de pauză, ce urmează după impulsurile de alimentare, în scopul menținerii turației la valoarea prescrisă, fără a utiliza un tahogenerator. Regulatorul se aplică la acționări cu motoare de curent continuu, având puterea nominală de 150 – 500 W, de la diverse echipamente de sudare. **Principiul utilizării reacției de tensiune electromotoare proprie a motorului în scopul reglării turației este o contribuție originală. Soluția constructivă a plăcii electronice, elaborată prin proiectare asistată de computer, cât și facilitățile de utilizare implementate sunt contribuții proprii.**

Prin comparație cu sistemele de reglare fuzzy descrise în literatura de specialitate, **autorul a constatat că regulatorul de turație de tip PWM se comportă ca un regulator fuzzy bipozițional cu o intrare și o ieșire, având o funcție de apartenență de tip singleton pentru mărimea de ieșire.** Funcția de fuzzificare a mărimii de intrare, aplicarea regulilor de inferență fuzzy și defuzzificarea mărimii de ieșire sunt realizate în mod implicit, prin modul de funcționare al anumitor componente ale regulatorului, în special componentele de putere, care au și rolul de element de execuție al sistemului de reglare. Dacă se confirmă, constatarea poate avea consecința reconsiderării raportului cost / performanță pentru sistemele de reglare.

Au fost implementate și convertoare de frecvență tipizate pentru acționări de c.a. la proiectarea și execuția anumitor echipamente de sudare, la care autorul a fost colaborator.

Pentru încărcarea prin sudare a suprafețelor de etanșare a robinetelor, vanelor sau armăturilor industriale s-a realizat un echipament specializat de încărcare prin sudare, având denumirea ESIR – 250 M, prezentat în capitolul 5. El este constituit din următoarele componente principale: mecanism de rotire a capului de sudare; grinda suport pentru echipamentul de sudare; mecanisme pentru poziționarea / fixarea capului de sudare (săni, cărucior, dispozitive de rotire); masa de poziționare și rotire; dispozitive de poziționare a pieselor, pe sol; sursa de sudare MIG/MAG de 250 – 400 A; pupitrul de comandă și instalația electrică; platforma.

Pornind de la unele referințe din bibliografia de specialitate, au fost analizate și apoi încercate, pe un model funcțional de echipament experimental, câteva variante de soluții constructive pentru realizarea caracteristicilor tehnice și a unui anumit mod de funcționare.

Au fost studiate și experimentate sisteme de reglare dinamică din categoriile: logice, digitale și fuzzy, care au performanțe superioare. **În cadrul reguletoarelor PWM de turație, autorul a utilizat o metodă logică și o metodă fuzzy pentru reglarea turației motoarelor de curent continuu ale echipamentului ESIR - 250M, iar aceste metode constituie soluții originale.** Ele sunt utile și eficiente, prin funcțiunile de utilizare realizate și prin valoarea raportului cost / performanță.

Probele de încărcare prin sudare, în condiții industriale, au fost efectuate în corpul de robinet RSP Dn100, pe piese circulare amplasate pe suprafața de etanșare, pe echipamentul ESIR – 250M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor. S-a utilizat sârma de sudare tip G3Si1 EN440 de 1,2 mm și amestec de gaz tip M21 EN439. Depunerile au lățimea de 10 – 11 mm, iar supraînălțarea de 4,0 – 4,2 mm. Nu se observă defecte de sudare. Rezultatele sunt corespunzătoare la examinarea vizuală conform EN 970.

Capitolul 6 descrie experimentările de sudare robotizată efectuate de către autor, care au avut scopul de a aplica robotul industrial la lucrări de sudare, conform abordării tehnice actuale, de a utiliza componente tipizate de mare complexitate.

Având în vedere caracteristicile robotului industrial, care este conceput și realizat ca utilaj universal și flexibil, utilizarea robotului constituie forma cea mai generală și polivalentă de automatizare. Echipamentul respectiv există disponibil comercial ca echipament tipizat.

În funcție de cerințele aplicației, modul de funcționare al robotului, ca echipament tipizat, este particularizat prin programare. Deoarece robotul poate fi programat pentru mai multe aplicații, utilizarea robotului este flexibilă. De aceea, un robot este echivalent cu mai multe tipuri de utilaje. El trebuie să fie judicios utilizat.

La ISIM Timișoara a fost implementată o celulă experimentală de sudare MAG robotizată [236, 237]. Acest model funcțional permite sudarea robotizată pe următoarele categorii de piese:

- table plane, având dimensiunile de maximum 1000mm × 500mm × 30mm;
- piese circulare, având diametrul maxim Φ_M 750mm, respectiv masa netă max. 320 kg;
- subansamble, de gabarit 1200 mm x 600 mm x 900, având masa netă de max. 150 kg.

Autorul a conceput și a realizat Interfața pentru comandă echipamente anexe, tip ICEA, care reprezintă o contribuție în domeniul sistemelor anexe pentru utilizarea roboților de sudare. Ea servește la transmiterea semnalelor de comandă de la ieșirile digitale ale unității de comandă MPS 085 către echipamentele periferice: sursa de sudare, masa de poziționare și rotire MPR-320 ș.a. Această interfață este necesară întrucât echipamentele periferice prevăzute în cadrul celulei flexibile de sudare robotizată sunt echipamente electromecanice. Interfața distribuie și adaptează semnalele de comandă pentru periferice, respectiv conectează tensiunea de alimentare la aceste periferice. Interfața conține și sursa de alimentare pentru utilizarea intrărilor digitale de condiții ale unității de comandă.

Autorul a elaborat programe de sudare MAG robotizată pentru mai multe tipuri de piese, iar la câteva dintre acestea a fost efectuată sudarea experimentală cu robot MAG: corpul tamponului de vagon, manșon de tampon, taler de tampon, jantă auto tip Dacia, băncuță școlară metalică, recipient metalic D 450 / L 400, racorduri de robinete industriale Dn 100 - 250, suport arc primar de la lonjeron de vagon, tubulatură plată de aliaj de aluminiu, capac pe tub rezervor auto Dacia. Aceste experimentări au permis acumularea unor date tehnice importante, în scopul aplicării industriale a sudării MAG robotizate. Ele au condus și la **ideea utilizării programării pentru aplicarea unor metode de reglare fuzzy la sudarea robotizată**, în condițiile existente. De asemenea, experimentările arată că robotul este un echipament accesibil și disponibil pentru diverse aplicații. Beneficiari industriali potențiali ai rezultatelor cercetării sunt: S.C. BEGA Reparații Vagoane S.A. Timișoara, S.C. ASTRA Vagoane de Călători S.A. Arad și alte firme.

Autorul a realizat un sistem experimental de corectare prin reglare fuzzy a traseului de sudare și a elaborat programele necesare pentru funcționarea sa. Abaterile de la traseul real sunt introduse la intrările digitale ale unității de comandă a robotului, de la senzori inductivi sau de la microîntrerupătoare, acționate de către un palpator. Sistemul a fost experimentat la sudarea cap la cap, respectiv în colț a tablelor plane, la sudarea cap la cap a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$ și la sudarea în colț a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe table plane. Rezultatele sunt corespunzătoare la examinarea vizuală conform EN 970.

Autorul prezintă interpretarea proprie asupra formei reale a funcțiilor de apartenență ale mărimilor fuzzy, bazată pe distribuția de tip Gauss, care trebuie luată în considerare la sistemele de reglare fuzzy, având diverse nivele de complexitate. În acest fel, reglarea fuzzy și statistica datelor de exploatare se completează reciproc în realizarea modului de funcționare a echipamentelor industriale, în condițiile concrete de utilizare.

Toate programele menționate constituie contribuții ale autorului în elaborarea de software specializat pentru utilizator.

Autorul aduce mulțumiri conducerii Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale ISIM Timișoara, unde a fost efectuată majoritatea lucrărilor de experimentări prezentate în teza de doctorat. Autorul mulțumește colaboratorilor și colegilor.

Autorul este recunoscător Domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Ioan Șora, conducătorul științific al tezei, pentru îndrumările și recomandările de înalt nivel științific și tehnic, făcute pe toată durata activităților pentru examene, referate și elaborarea tezei de doctorat.

1. Principalele caracteristici tehnice ale echipamentelor de sudare actuale și modul de utilizare a acestora

Sudarea este o tehnologie de fabricație și are cea mai mare pondere în tehnologia industrială de execuție a multor produse, întrucât ea reprezintă tehnica de îmbinare cea mai eficientă, utilizată în special în domeniile: construcții metalice, utilaje și mașini industriale de diverse categorii, bunuri de utilitate casnică, etc.

Echipamentele de sudare au un rol esențial în aplicarea tehnologiei de sudare. Cunoașterea caracteristicilor tehnice principale ale surselor de sudare este foarte importantă, în scopul utilizării eficiente a acestora, în combinație cu echipamentele de mecanizare și automatizare, pentru care autorul a elaborat anumite soluții de modernizare, conform obiectivului prezentei lucrări.

1.1. Surse pentru sudare MIG / MAG

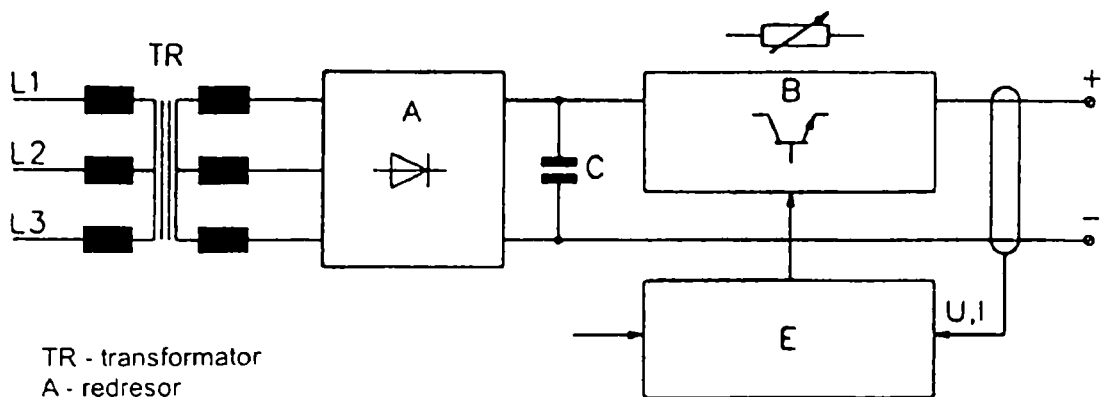
Există în fabricație o gamă largă de surse de sudare MIG / MAG [1-16]. O dată cu implementarea tranzistorilor la sursele de sudare cu arcul electric, în urmă cu 25 de ani, s-a produs un salt important în tehnica surselor. Astfel, după redresor a fost conectat un etaj cu tranzistori, care prin legarea în paralel a mai multor tranzistori asigură curentul de sudare necesar (fig. 1.1.1.a). Cascada de tranzistori este comandată printr-o schemă electronică, care îndeplinește funcțiunile de comandă și reglare. Deoarece partea de putere cu tranzistori are posibilitatea să urmărească aproape fără întârziere mărimile de comandă ale părții electronice, au apărut posibilități tehnice până atunci necunoscute la dispoziția fabricanților de utilaje de sudare. Între altele, astfel a apărut tehnica arcului electric în impulsuri sub forma cunoscută astăzi.

Pierderile mari de energie în partea de tranzistori de putere, datorită modului de funcționare analogic, au valori de peste 5 kW, iar căldura dezvoltată trebuie îndepărtată prin intermediul unui sistem costisitor de răcire cu apă. Astfel, au fost căutate căi de reducere a acestor pierderi. Într-una dintre aceste soluții, principiul de funcționare este următorul: etajul de tranzistori amplasat după transformator și redresor funcționează aici nu analogic, ci ca un comutator rapid pentru curenți mari. Frecvența de comutație, din diferite motive, se situează cel mai adesea peste 20 kHz. Prin conectarea și deconectarea rapidă, curentul de sudare care trece prin acest bloc este comandat spre a realiza o anumită valoare medie. Bobina de filtrare, conectată în continuarea etajului cu tranzistori și dioda inversă de stingere asigură obținerea unui curent fără întreruperi chiar și în intervalele de timp de deconectare (fig. 1.1.1.b).

Pierderea de putere în tranzistorii care lucrează în regim de comutație poate fi menținută foarte redusă, la nivelul de astăzi al tehnicii semiconductorilor, astfel încât randamentul întregii surse de curent atinge 80 - 90 %, dacă se alege în mod rațional toate componentele.

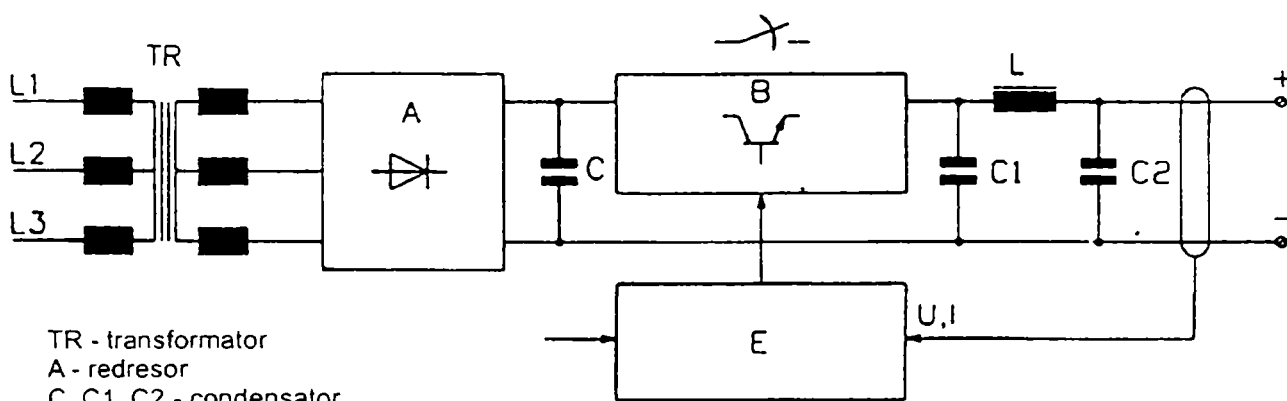
Spre a obține o comandă cu acțiune rapidă a puterii la ieșire (a tensiunii sau curentului), prin **utilizarea modulației lățimii impulsului (PWM)**, în care raportul conectare/deconectare determină valoarea medie a curentului, este necesară o frecvență de comutație cât mai înaltă. Aceasta este însă limitată de tehnologia de fabricație a semiconductoarelor. De aceea, la anumite firme este preferată așa numita reglare a valorii momentane, care permite o reglare extrem de rapidă a curentului la o frecvență de comutare relativ joasă și prin aceasta pierderi reduse.

Altă soluție constă în regulatoarele de comutație în primar, denumite în mod obișnuit și invertoare, care își au originea în domeniul surselor de alimentare pentru diferite utilizări. Ca elemente de comutație au fost utilizați inițial tiristorii (fig. 1.1.1.c). Când industria componentelor electronice a pus la dispoziție tranzistori cu caracteristicile tehnice necesare, au apărut invertoarele cu tranzistori, prezentate în fig. 1.1.2. Și aici tranzistorii utilizați lucrează în regim de comutație, de data aceasta însă în primarul transformatorului. Tensiunea circuitului intermediar, obținută direct de la rețea printr-o punte de redresare, este comutată de către dispozitivele semiconductoare, având tensiuni nominale foarte mari, în așa fel încât pe înfășurarea primară a transformatorului se aplică o tensiune de frecvență înaltă și de formă dreptunghiulară. Tensiunea variabilă redusă prin raportul de transformare, produsă de către secundarul transformatorului, este redresată, iar curentul de sudare este filtrat prin intermediul unei bobine de netezire.



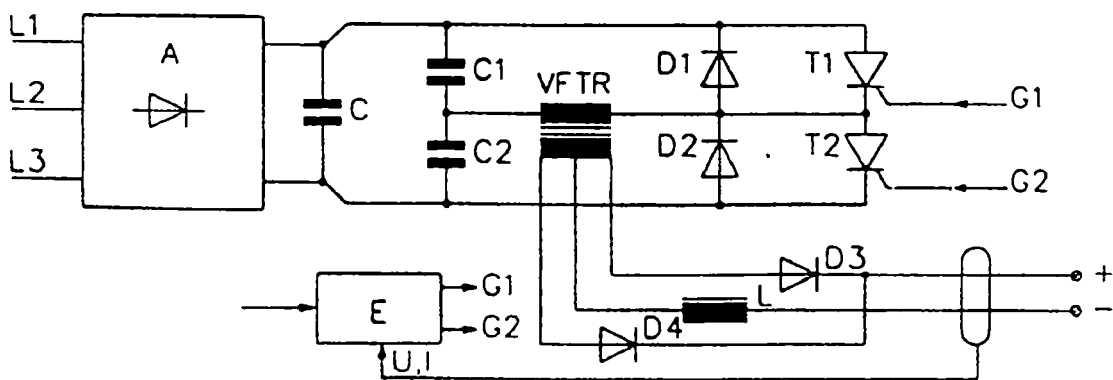
TR - transformator
 A - redresor
 C - condensator
 B - cascadă de tranzistori - tranzistorii funcționează în regim analogic
 E - unitate de comandă

a) Reglarea analogică în secundar



TR - transformator
 A - redresor
 C, C1, C2 - condensator
 B - cascadă de tranzistori
 L - bobină
 E - unitate de comandă

b) Reglarea prin comutație în secundar



A - redresor de intrare
 C, C1, C2 - condensator
 D1, D2, T1, T2 - inverter cu tiristori în semipunte
 VFTR - transformator de înaltă frecvență
 D3, D4, L - redresor de ieșire cu filtru
 E - unitate de comandă

c) Reglarea prin comutație în primar

Fig. 1.1.1.

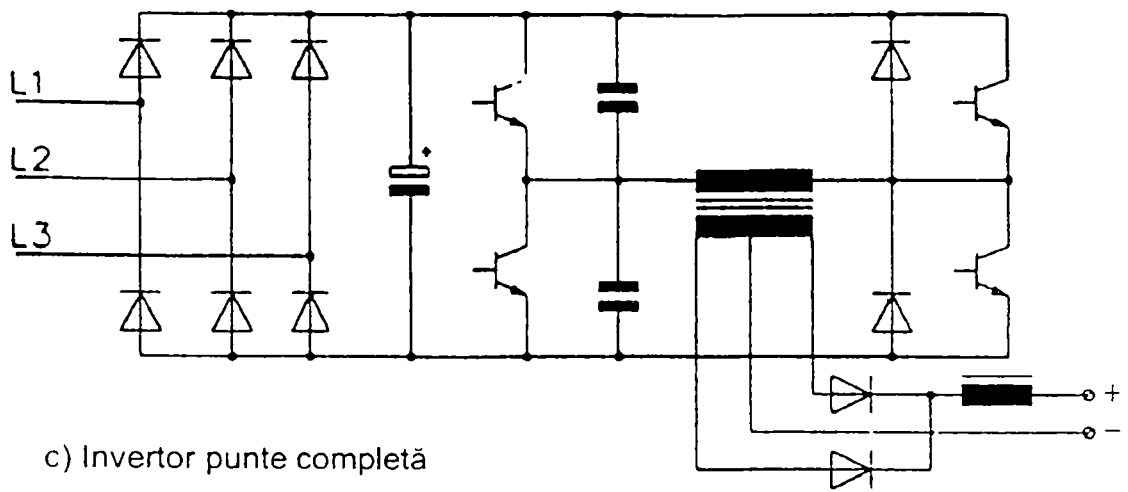
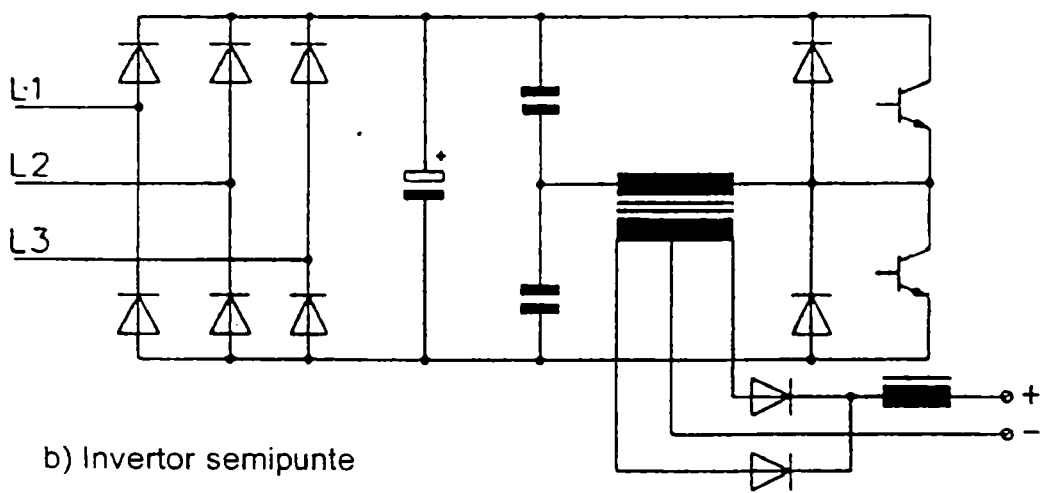
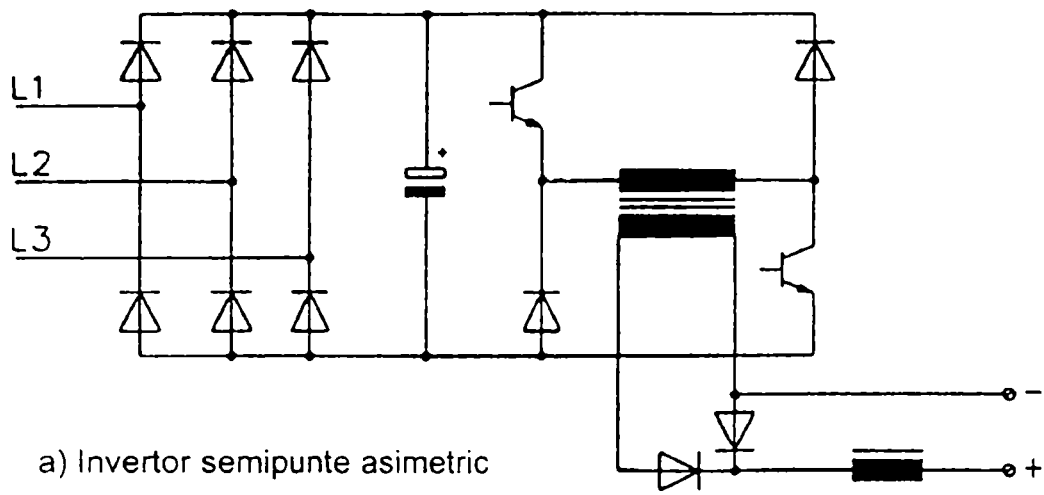


Fig. 1.1.2.

Avantajul acestei tehnici rezidă înainte de toate în dimensiunile reduse și în greutatea mică a transformatorului, care datorită frecvenței ridicate de funcționare de peste 20 kHz reprezintă numai o piesă mică, în comparație cu un transformator care funcționează la rețeaua de 50 Hz. Principiul de funcționare al tranzistorilor ca elemente de comutație garantează și aici pierderi reduse. Randamentul sursei de sudare în ansamblu atinge valori de 80 - 90 %, ca și la soluția expusă mai înainte. Tranzistoarele utilizate ca elemente de comutație sunt de tipul IGBT.

Este de notat prezența unei baterii de condensatoare de filtrare amplasate la ieșirea redresorului trifazat din primarul transformatorului, care poate avea un gabarit destul de mare.

Etajul de comutație al unui invertor funcționează, în comparație cu regulatorul de comutație în secundar, la o tensiune de circa zece ori mai mare. În consecință, tranzistorii și diodele unui astfel de etaj de comutație funcționează la tensiuni mari și la curenți mai reduși. În acest scop, industria semiconductorilor oferă în prezent elemente componente de mare putere.

Tranzistorii regulatorului de comutație în secundar sunt supuși la tensiuni mai reduse și la curenți mai mari. În această privință există deja de ani de zile o varietate mare de elemente componente adecvate și cu un preț corespunzător. Efortul și cheltuielile tehnice pentru comanda etajului de comutație sunt foarte reduse, fiabilitatea în funcționare este foarte mare, la fel și siguranța în exploatare, datorită numărului mic de componente critice. De asemenea, service-ul este fără probleme în comparație cu celălalt caz. Transformatorul de rețea permite adaptarea la orice tensiune a rețelei.

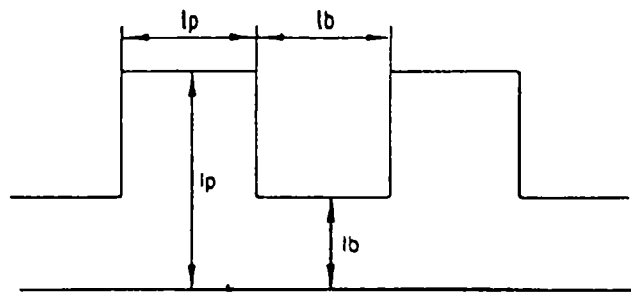
Din cauza masei reduse a pieselor de putere ale invertorului, în principiu aceste invertoare sunt utilizate mai ales în surse de sudare WIG și MIG / MAG de putere mică și medie. Prin aceasta, sursele de sudare pentru curent continuu devin ușor deplasabile. La aparatele MIG/MAG de putere mai mare, cu parte de putere realizată cu tranzistori, principiul invertorului nu oferă nici avantaje de spațiu, nici avantaje economice. De aceea, astfel de aparate de sudură sunt dotate în principiu cu regulatoare de comutație în secundar, la anumite firme.

După cum s-a spus deja, tehnica de sudare MIG/MAG în impulsuri a devenit posibilă în forma sa de astăzi abia prin sursele de curent de sudare cu tranzistori. La trecerea de la faza de impuls de curent la faza de curent de bază, reglarea își schimbă caracteristica, pentru a se adapta comportării arcului electric. În funcție de problema de sudare conducerea prin microprocesor intervine în procesul de sudare în scopul stabilizării. Chiar și forma de undă a impulsului de curent este comandată de către microprocesor (fig. 1.1.3).

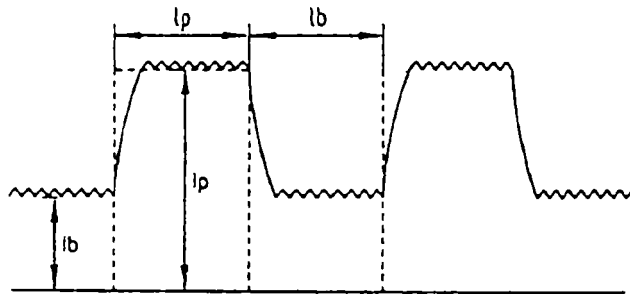
De asemenea, în cazul sudării cu arc electric scurt, cu schimbările sale tipice de la fazele de ardere a arcului electric la fazele de transfer de picătură în scurtcircuit, comanda și reglarea electronică au rezultate foarte pozitive. Prin optimizarea vitezei de creștere și de scădere a curentului prin înclinarea adecvată a caracteristicii statice, ca și prin limitarea puterii electrice la reaprinderea arcului electric sunt obținute rezultatele cele mai bune posibile ale sudării, după cum se prezintă în fig. 1.1.4. Pentru sudarea manuală s-au dovedit corespunzătoare echipamentele de sudare programate. Datorită programării așa-numitelor caracteristici de sarcină, este necesară înainte de sudare numai preselectarea combinației sârmă, gaz, metal de bază. Prin două butoane ale comenzii la distanță sunt determinate productivitatea de depunere prin sudare (curentul de sudare) - din punct de vedere tehnic viteza de avans a sârmei - și reglarea fină, selectarea parametrilor electrici corecți o întreprinde apoi computerul (fig. 1.1.5).

Date experimentale [38]

În ideea de bază a unei combinații între funcționarea cu tact în primar și în secundar, a fost elaborată special o sursă de curent pentru sudarea cu arcul electric în impuls, care se evidențiază prin proprietățile dinamice, ceea ce se obține până în prezent numai la sursele de curent analogice. La viteza de variație a curentului de până la 4 kA/ms pot fi produse impulsuri de curent ideale, dreptunghiulare, care au efect favorabil asupra stabilității procesului de sudare MIG/MAG în impulsuri. A fost efectuată o serie de cercetări sub aspectul electric și al tehnicii sudării. Prin aceasta a putut fi demonstrată eficiența schemei suplimentare din secundar. Valorile pozitive ale derivatei di/dt au fost mărite de la 500 la 4000 A/ms. În această situație, flancul de creștere a impulsului, la un salt al curentului de la 50 la 450 A, durează numai 100 μ s, în loc de 1,2 ms, ca până acum. Un lucru asemănător este valabil pentru flancurile de descreștere ale impulsurilor (500



a) unda de impuls ideală



b) unda de impuls reală

Fig. 1.1.3.

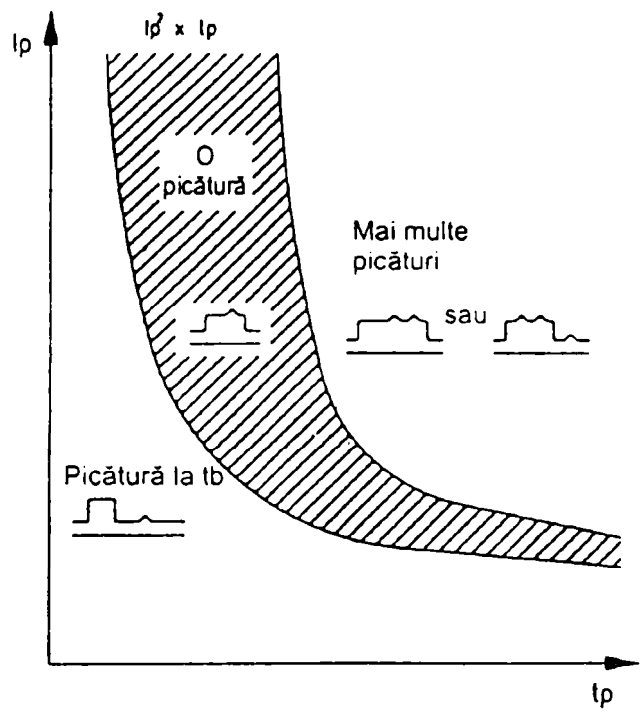


Fig. 1.1.4.

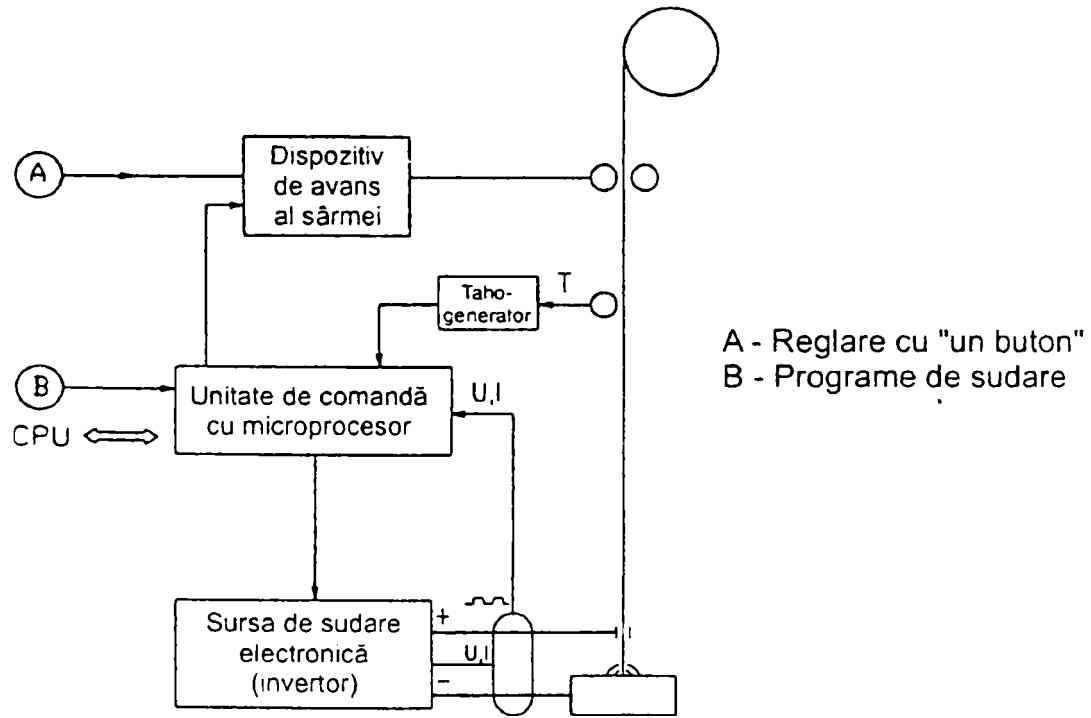


Fig. 1.1.5.

până la 2000 A/ms). Panta flancurilor impulsurilor poate fi variată prin comandă în mod continuu între aceste valori extreme. Principiul reglării este favorabil din punct de vedere energetic, deoarece schema suplimentară acționează numai în fazele de variație rapidă a curentului, care nu este controlabilă numai prin frecvența de tact din primar; de aici mai departe, o parte din energia înmagazinată la flancul descendent al impulsului este aplicată din nou procesului de sudare la flancul ascendent al impulsului. Puterea adusă de către sursa de tensiune suplimentară, în funcție de punctul de funcționare și de panta prescrisă a flancului se situează în domeniul a circa 100 W.

Facilități de programare

Banca de date oferă operatorului valori ale parametrilor arcului electric ideale pentru numeroase combinații de metal de sudat/grosime, diametrul sârmei și gaz de protecție, accesibile cu ușurință pe panoul frontal. Un anumit tip de sursa poate stoca cca. 50 de programe. Toți parametrii sunt accesibili, pornind de la aceeași metodă de operare: operatorul se limitează la a introduce intensitatea curentului de sudare, viteza de avans a sârmei sau grosimea metalului de bază. Microprocesorul calculează și selecționează în mod automat parametrii optimi pentru aplicație. Memoria înregistrează 124 parametri, pentru metale speciale și gaze, fiecare cu 20 de puncte de maximum pe fiecare curbă caracteristică, cuprinzând toate datele procedurii, precum frecvența, curentul de bază, înălțimea impulsului, ș.a., adaptați la viteza sârmei.

Multifuncționalitate

Sursele executate în prezent pot să funcționeze în mai multe procedee. Domeniul de putere se extinde de la 15A/12V pentru sudarea WIG până la 550 A/40 V pentru sudarea MAG cu rată de depunere foarte ridicată. Deși sunt reglate sinergic de către sursa de sudare în condiții normale de utilizare, viteza de avans a sârmei și tensiunea arcului electric pot fi reglate și în mod independent una de alta. Tehnica microprocesoarelor va pătrunde în viitor și mai mult în domeniul surselor pentru sudare [8-38]. Surse de sudare realizate după principiile expuse mai sus se execută și sunt disponibile comercial la numeroase firme producătoare de echipamente pentru sudare [17-34]. Pentru anumite aplicații poate fi analizată și eventuala mecanizare și automatizare a tehnologiei de sudare a anumitor piese și subansamble, în special pentru producția de serie, utilizând echipamente de sudare specializate [39-56; 90-111]. În permanență se implementează noi soluții performante și se elaborează tipuri noi [57-87].

1.2. Surse pentru sudarea cu electrozi înveliți (EI) și WIG

La sursele de sudare prin procedeul WIG în curent continuu, destinate și pentru sudarea manuală cu electrozi înveliți, a existat o evoluție permanentă a performanțelor tehnice, care cuprinde etapele: comutarea treptelor de tensiune; reglarea prin intermediul câmpului magnetic de dispersie; la utilizarea unui transductor, adică o bobină al cărei miez de fier este premagnetizat de către un curent continuu, care trece printr-o înfășurare separată; utilizarea electronicii de putere.

În construcția surselor pentru sudare electronica de putere a utilizat inițial tiristorul, ca element de redresare comandat. Prin utilizarea tiristorilor conectați în punte de redresare este posibilă sudarea WIG în impulsuri, precum și compensarea variațiilor tensiunii rețelei. Sursele au devenit mai mici și cu viteză de reacție mai mare.

În continuare, au fost implementați tranzistorii de putere. Mai întâi, tranzistorii au fost utilizați în montaje analogice, cu un comportament de reglare foarte bun, însă și cu unele dezavantaje. Apoi a fost aplicat modul de funcționare sub formă de tact de tensiune în primarul transformatorului, cunoscut astăzi sub termenul de utilizare generală *invertor* [1-8, 11, 12, 16-38].

a) Surse de sudare cu invertor

Pe utilizator nu îl interesează în mod deosebit în ce fel este produs curentul de sudare. Pentru el este mult mai important ca sursa de sudare aflată la dispoziție să răspundă cerințelor de funcționare, pe toată durata sa de utilizare. De aceea, considerațiile de aici se fac din punctul de vedere al utilizatorului surselor WIG, iar nu al producătorului acestora.

Modul de funcționare al invertorului este prezentat prezentat în capitolul anterior. Pentru sursele de sudare WIG frecvența de comutație de 20 kHz reprezintă limita inferioară realizată practice, la care viteza de reglare este suficientă. Frecvențele de comutație mai înalte sunt utilizate

de către producători ca argument pentru vânzare.

b) Surse deplasabile pentru lucrări de montaj

Pentru o sursă de sudare utilizată la montaj se impune o condiția ca ea să fie cât mai ușoară. Sursele pentru lucrări de montaj trebuie să aibă masa de maximum 50 kg.

O clasă de mărime apreciată o constituie sursele de curent continuu WIG având curentul nominal până la 130 - 150 A, care pot fi alimentate de la rețeaua electrică monofazată. Cel mai ușor aparat din această categorie, conform unor oferte, are sub 10 kg, alte oferte menționează 20 kg, iar maximumul este de circa 25 kg. Există diferite posibilități de comandă. Utilizatorul trebuie să fie foarte atent și informat, spre a alege sursa cea mai adecvată.

c) Facilitatea de sudare manuală cu electrozi înveliți (EI)

Numeroase aparate din categoria superioară posedă reglaje speciale pentru sudarea cu electrozi (EI sau MMA). Câteva exemple:

- Comanda "Hot Start" (Pornire la cald) pentru îmbunătățirea proprietăților de amorsare și la electrozii cu amorsare mai dificilă. Amplitudinea și durata curentului de amorsare pot fi cel mai adesea prescrise de exemplu în procente din curentul de sudare prescris, totuși numai până la valoarea maximă a curentului aparatului (fig. 1.2.1).

- Comanda "Anti-Stick" (Antilipire). La această comandă, la prinderea prin sudare a electrodului de piesă, sursa de sudare comută în mod automat pentru un interval de timp determinat la curentul de sudare minim, astfel încât să nu se topească de tot electrodul.

- Comanda "Dynamic" - introduce un reglaj cu totul nou. Aici este vorba de creșterea curentului de scurtcircuit în momentul transferului picăturii. În timp ce la sudarea WIG și cea cu electrozi înveliți rutilici este preferat arcul electric "moale", la sudarea cu electrozi înveliți bazici, care se topesc cu picături mari (chiar și în domeniul curenților mici), este prescris un arc electric "mai dur", având un curent de scurtcircuit mărit. Deosebit de "dur" se dorește a fi arcul electric la sudarea cu electrozi înveliți celulozici (fig. 1.2.2).

d) Prescrierea și indicarea curentului de sudare

În prezent, toate sursele sunt dotate cu prescrierea continuă a curentului. Pentru verificarea valorilor utilizate ale parametrilor de sudare este prevăzut afișajul digital al curentului de sudare, ocazional și al tensiunii de sudare sau al timpilor de programare, ca aspect important al sistemului de asigurare a calității. Afișajul permite și trecerea în revistă a programelor de sudare, care conțin și valori prescrise ale curentului de sudare.

e) Durata relativă de conectare

Domaniul de reglare nu arată utilizatorului și capacitatea de solicitare în current a sursei. Hotărâtoare pentru aceasta este durata relativă de conectare, la care poate fi obținut curentul de sudare, înainte ca aparatul să deconecteze în mod automat, din cauza supraîncălzirii componentelor sale. Pentru aceasta, specialistul sudor interesat trebuie să știe că durata relativă de conectare (ED; în limba română DA) dată în procente este valabilă pentru un ciclu de funcționare de 10 minute. În trecut ciclul de timp prevăzut era de 5 minute.

Durata relativă de conectare DA 60 % înseamnă deci:

- Se sudează maximum 6 minute la curentul maxim indicat pentru sursa respectivă.
- Se face apoi o pauză de cel puțin 4 minute, pentru ca sursa să se poată răci din nou.

f) Amorsarea

La sursele clasice este posibilă numai amorsarea simplă prin zgâriere. Apoi au fost aplicate aparatele de înaltă frecvență ca auxiliare pentru amorsare. În continuare au apărut generatoarele în impuls, care realizează amorsarea fără atingere. Funcțiunea Liftarc este o nouă metodă, care se bazează pe faptul că la atingerea electrodului de piesă și după startul amorsării, electronica recunoaște scurtcircuitul (tensiunea este zero) și lasă să treacă în locul curentului de sudare numai un curent redus (de 1 - 2 A). La ridicarea electrodului de wolfram tensiunea crește, iar electronica permite curentului de sudare prescris să treacă prin circuit.

g) Sudarea în curent alternativ a aluminiului

Capacitatea surselor mici tranzistorizate de a suda în curent alternativ este o realizare recentă. Aici au fost implementate funcțiuni foarte importante pentru utilizatori.

O funcție importantă în acest sens este "deplasarea semiperioadei (forme de undă)", care

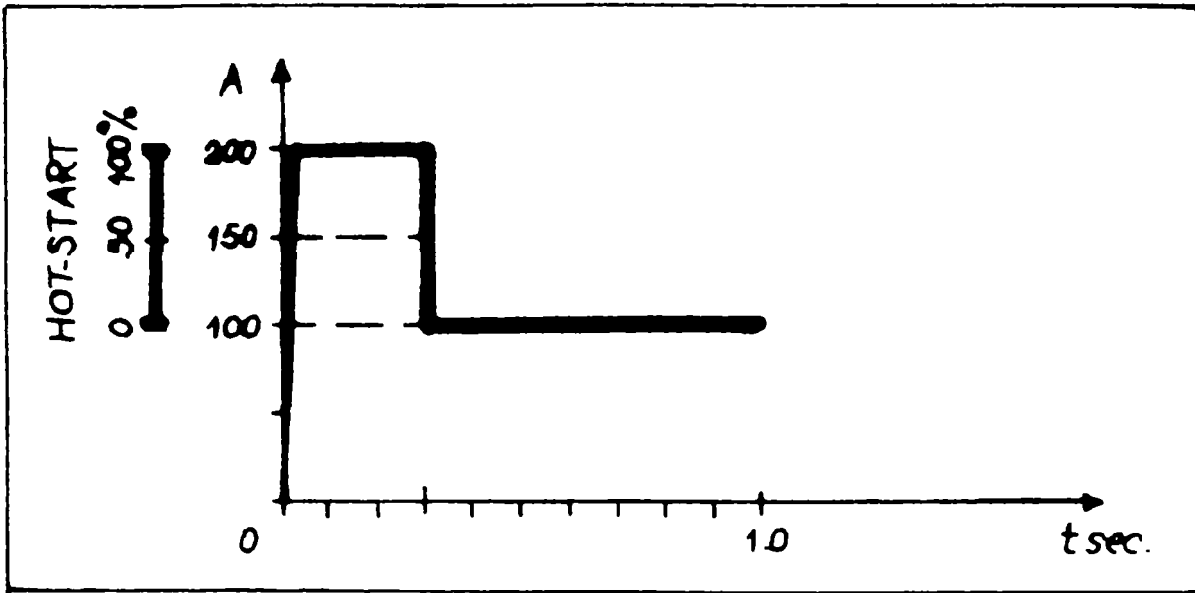


Fig. 1.2.1. Amorsarea HOT-START la sudarea manuală cu electrozi înveliți

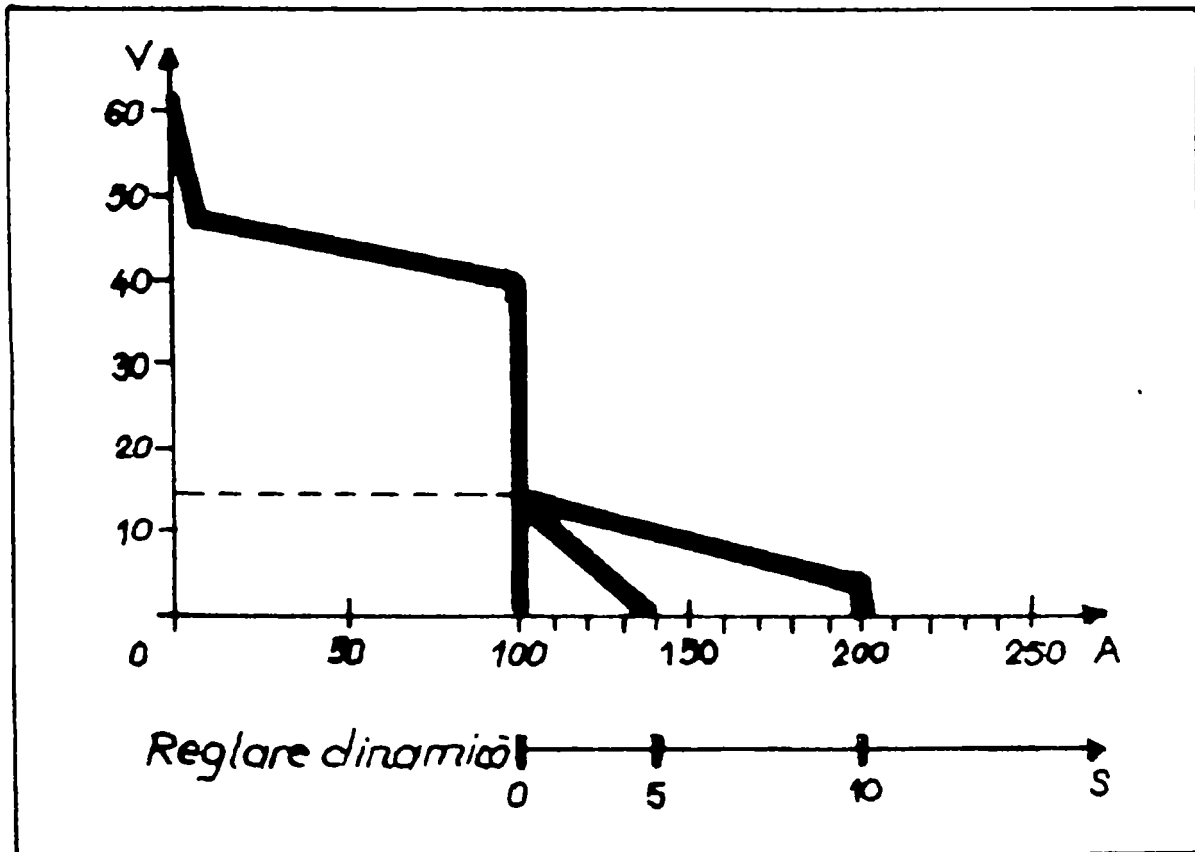


Fig. 1.2.2. Reglarea dinamică la sudarea manuală cu electrozi înveliți

este denumită adesea "reglaj de dezechilibrare". Prin aceasta este posibil să fie deplasate vertical semiperioadele curentului alternativ aplicat electrodului, astfel încât prin alegerea unei semiperioade pozitive mai mari în amplitudine aplicate la electrod pot fi obținute: pătrunderea mai aplatizată, rândul de sudură mai lat, temperatura mai ridicată a electrodului, efectul mai bun de desprindere a stratului de oxid și formarea de picături sferice mai mari la vârful electrodului; respectiv, prin alegerea unei semiperioade pozitive mai mici în amplitudine aplicate la electrod pot fi obținute: pătrunderea mai adâncă și un rând de sudură mai îngust.

Deoarece și frecvența poate fi variată într-un domeniu larg - adesea de la 50 până la 200 Hz, dar și de la 30 până la 300 Hz, și deoarece în plus poate fi influențată și forma semiperioadelor (deci viteza de variație a curentului) la numeroase surse, sudorul are o mulțime de posibilități de a influența procesul de sudare. Forma pur dreptunghiulară dă un arc electric mai "dur", însă necondiționat stabil, în timp ce semiperioadele având formă de undă rotunjită sau care se apropie de forma sinusoidală fac un zgomot mai redus datorită arcului electric "mai moale". Numeroase comenzi adaptează în mod automat frecvența la condițiile de funcționare, spre a nu deruta sudorul cu prea multe butoane.

h) Facilitatea 2 timpi - 4 timpi

La schema în 2 (doi) timpi (fig.1.2.3) curentul circulă atât timp cât sudorul ține apăsat butonul de la pistolul de sudare. Schema poate fi combinată și cu alte funcțiuni de comutație.

La schema în 4 (patru) timpi (fig. 1.2.4) sudorul apasă butonul la amorsare și la întreruperea procesului de sudare, dar nu și în timpul sudării.

i) Pantele de creștere și de scădere a curentului - "Slopes"

Acestei facilități îi aparține și comanda pantei ascendente ("UP-Slope") și a pantei descendente ("DOWN-Slope"). Prin aceasta se urmărește ca schimbarea de la un nivel al curentului la alt nivel să nu fie sub formă de șoc (adică cu o viteză necontrolată, prin raportare la caracteristicile dinamice ale sistemului), ci ea să se deruleze într-un interval de timp determinat. Acest interval de timp (și prin aceasta unghiul de creștere a curentului în reprezentările grafice) se poate preselecția, în cele mai multe dintre cazuri.

j) Sudarea în impulsuri

Există diferite posibilități de programare a impulsurilor. Trebuie definite următoarele mărimi: curentul de bază, curentul de impuls, durata fazei curentului de bază și durata impulsului. Aceasta se poate realiza în mod natural și prin tastarea fiecăreia dintre aceste valori, de exemplu prin prescrierea frecvenței impulsurilor și a raportului dintre durata curentului de bază și durata curentului de impuls ("duty cycle"), conform fig. 1.2.5.

Prin combinarea facilității de impulsuri cu facilitatea de 4 (patru) timpi, forma de undă a curentului de sudare obține un aspect foarte complex, după cum se arată în fig. 1.2.6.

k) Răcirea cu apă

Sursele de sudare portabile sunt de regulă răcite cu aer, mai bine zis ele lucrează cu un pistol de sudare răcit numai de către aerul din mediul ambiant. O clasă de mărime uzuală este un pistol având o masă netă de cca. 160 g (fără pachetul de cabluri și furtune), care poate fi utilizat până la 140 A. Pistoletele răcite cu aer până la 200 A devin deja mai grele (de exemplu 450 g) și mai incomode. În această situație poate fi recomandabil să se utilizeze un pistol ușor, răcit cu apă, care cântărește numai 150 g. Unii producători livrează în aceste cazuri aparate suplimentare pentru alimentarea pistolului cu apă rece (instalație de răcire).

Sursele de sudare sunt prevăzute cu răcire forțată cu ventilatoare și sunt comandate în funcție de sarcină. Sunt prevăzute termostate pentru evitarea unei supraîncălziri a componentelor.

l) Funcționarea în locuri cu pericol mai ridicat de electrocutare

Anumite tipuri de surse de sudare WIG și EI, realizate pentru lucrări de sudare în condiții cu pericol mai ridicat de electrocutare (sudarea cazanelor), sunt marcate prin simbolul

m) Compensarea variațiilor tensiunii rețelei

Această funcțiune era posibilă înainte numai cu cheltuieli ridicate. Ea este acum realizată practic, prin reglaje, la sursele cu invertor.

S

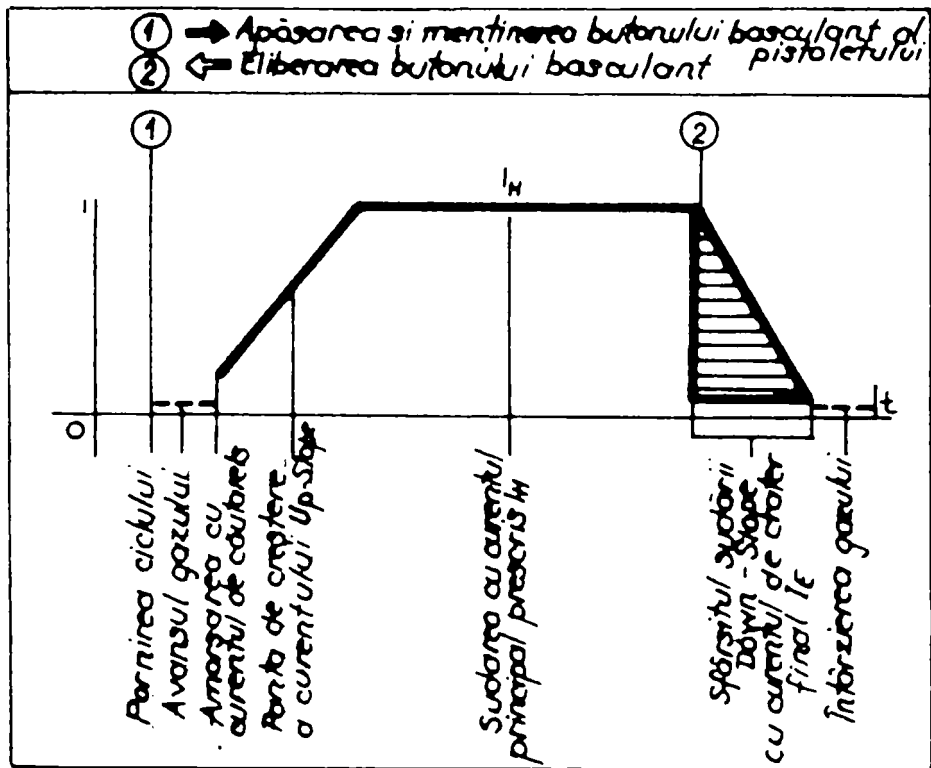


Fig. 1.2.3. Diagrama de funcționare în doi timpi

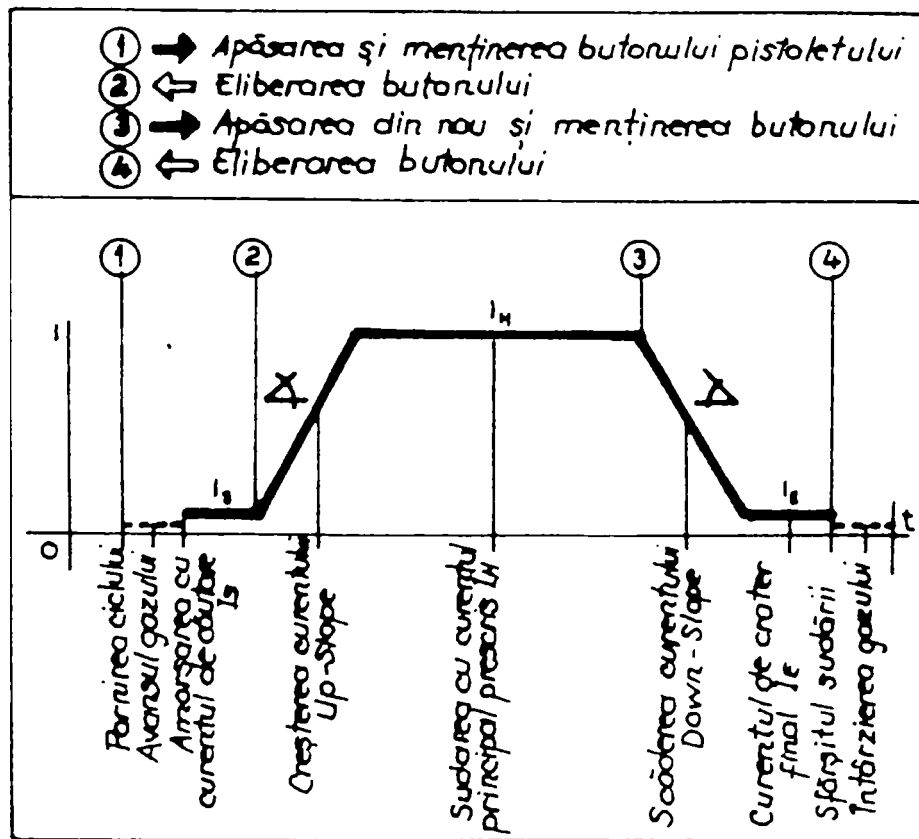


Fig. 1.2.4. Diagrama de funcționare în patru timpi

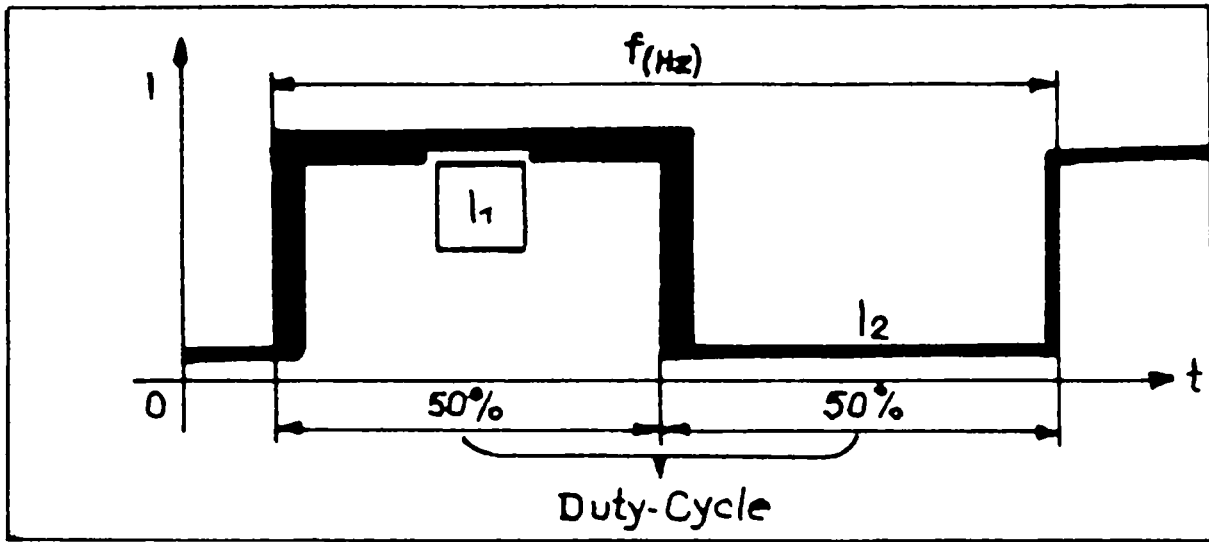


Fig. 1.2.5. Reglarea raportului curenților pentru DA dată la sudarea WIG în impulsuri.

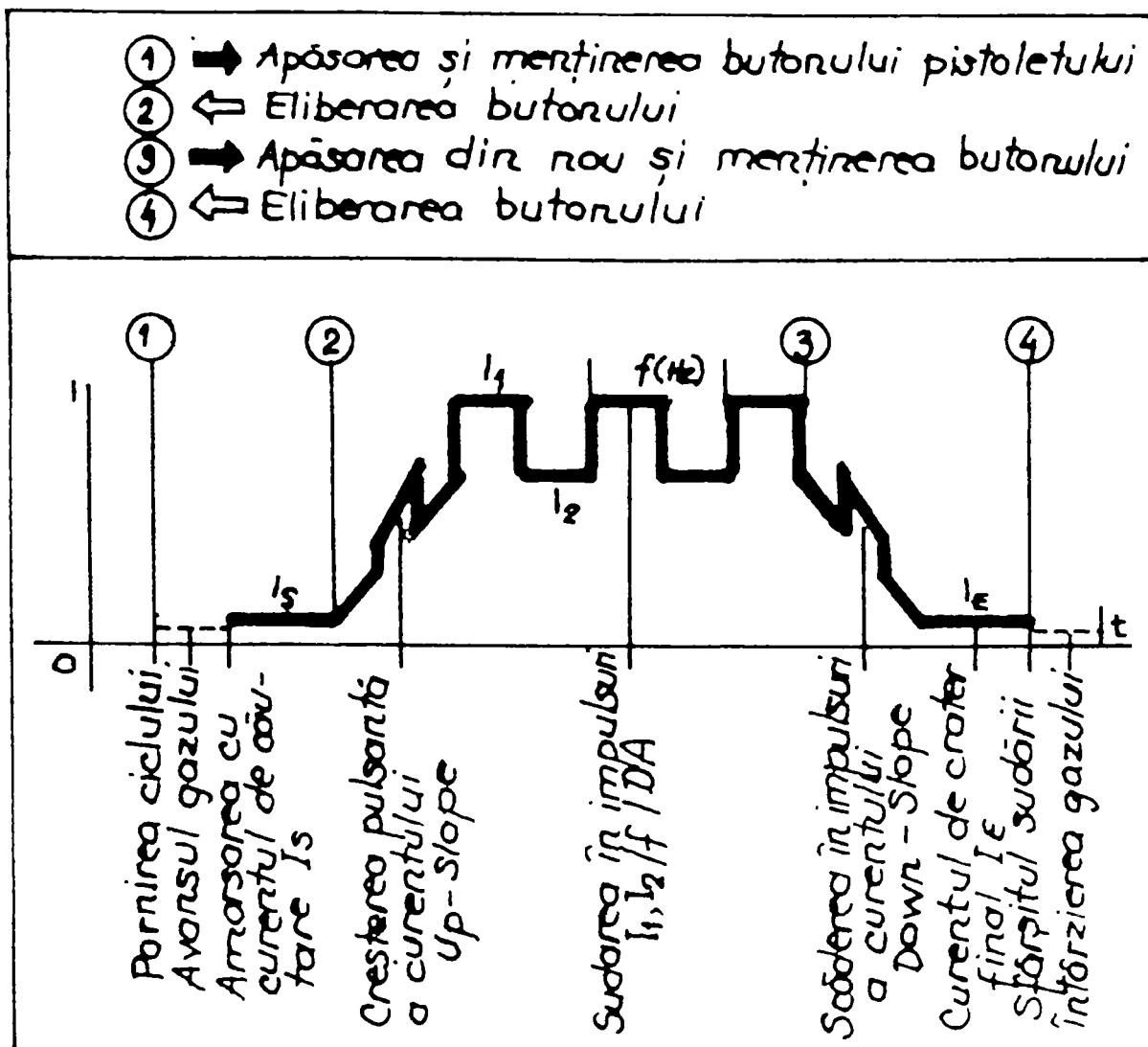


Fig. 1.2.6. Diagrama de funcționare în patru timpi și în regim de impulsuri

1.3. Echipamente de sudare specializate

Scopul acestor echipamente este de a menține sau de a spori nivelul calitativ al sudurilor executate, prin asigurarea reproductibilității îndeplinirii cerințelor tehnice pentru operațiile de sudare, precum și de a crește productivitatea lucrărilor de sudare, mai ales în condițiile producției de serie, precum și de a îmbunătăți condițiile de muncă ale personalului operator. Au fost studiate mai multe cazuri de echipamente specializate, după bibliografia internațională [39-56, 112-116].

Echipamentele de sudare mecanizată și automatizată sunt echipamente specializate pentru anumite categorii de piese. Ele se mențin în actualitate, datorită valorii avantajoase a raportului dintre cost și calitate, având în vedere că aspectele economice nu pot fi neglijate, ci ele impun decizii adecvate în anumite situații. Aceste echipamente constituie o categorie de utilaje care au cunoscut o anumită dezvoltare încă de la începutul aplicării sudurii în industrie.

În anii trecuți, la ISIM Timișoara au fost proiectate și realizate mai multe modele experimentale de echipamente de sudare specializate pentru anumite categorii de piese: țevi; roți de tramvai, de vagonete și de macara; cilindri de laminor și alte componente de utilaje metalurgice; robinete industriale și energetice, bușe pe placă; recipienti din industria celulozei; arbori de la morile de cărbune; piese cilindrice solicitate la uzare la interior sau la exterior; diverse alte piese circulare; cofraje metalice; componente de utilaje chimice, petrochimice, energetice și tehnologice [92 -111].

Dintre acestea, unele sunt echipamente pentru sudarea de îmbinare, și anume, cele pentru: țevi, bușe, piese circulare, cofraje metalice. Celelalte tipuri sunt echipamente pentru încărcare prin sudare. Există deosebiri referitoare la anumite caracteristici tehnice, dintre care: urmărirea rostului de sudare (este foarte importantă la sudarea de îmbinare); gabaritul și răcirea capului de sudare (în funcție de forma piesei de sudat); poziționarea capului de sudare și a piesei de sudat; domeniile de prescriere și de constanță a reglării pentru viteza tehnologică de sudare; domeniile cursei de reglare a anumitor caracteristici tehnice, etc.

Din punctul de vedere al procedeelor utilizate, anumite tipuri sunt echipamente de sudare și de încărcare prin sudare MIG/MAG, având destinația: țevi, roți de tramvai, robinete, bușe, recipienti, arbori, piese cilindrice (interioare și exterioare), alte piese circulare, cofraje.

Pentru piesele care necesită îndeplinirea unor cerințe de calitate ridicate, și utilizarea unor materiale de adaos speciale, a fost implementat procedeul WIG pe echipamentele mecanizate respective: anumite componente de la robinetele energetice, elemente de lovire și de sfărâmare din morile de cărbune ș.a.

În cazul pieselor de dimensiuni mari, unde productivitatea de depunere ridicată este o cerință importantă, s-a aplicat sudarea și încărcarea prin sudare sub flux, pe utilaje specializate în acest scop: roți de tramvai (și alte mijloace de transport), cilindri de laminor și alte piese din industria siderurgică, robinete și armături industriale (anumite tipuri).

Încărcarea prin sudare cu electrod-bandă, prin procedeul sub flux sau prin procedeul în baie de zgură se aplică în general la componente de dimensiuni mari, de utilaje chimice, energetice și tehnologice, unde cerințele privind calitatea și productivitatea sunt ridicate. Aceste procedee sunt implementate pe echipamente specializate, cu dispozitive specifice.

Autorul acestei lucrări a fost responsabil de temă la câteva contracte, în care au fost executate anumite echipamente de sudare și de încărcare prin sudare, enumerate în bibliografie [95, 96, 101, 119 - 120, 226 - 229, 230 - 231, 233 - 238], destinate pentru: cilindri de laminor, robinete energetice și armături industriale, diverse piese din industrie și transporturi ș.a. În această postură, autorul a coordonat problemele de proiectare, execuție, punere în funcțiune, elaborarea și implementarea tehnologiei.

La câteva dintre echipamentele de sudare și încărcare prin sudare prezentate, autorul acestei lucrări a proiectat și a executat module ale instalației electrice și electronice, fiind colaborator și coautor, după cum se menționează în bibliografie [98, 107, 223 - 224, 250 - 251].

Pentru exemplificare, sunt prezentate în continuare câteva dintre echipamentele de sudare automatizată realizate la ISIM Timișoara după anul 2000, la care au fost aplicate și soluții constructive ale autorului.



Fig. 1.3.1. Instalația de recondiționare a cochilelor, tip IRC



Fig. 1.3.2. Încărcarea prin sudare pe diametrul interior, pe IRC

La reglatoarele de turație ale echipamentelor de sudare prezentate aici, realizate de către autorul lucrării de față, se utilizează o **metodă de reglare fuzzy a turației**, bazată pe principiul regulatorului fuzzy bipozițional, având funcția de apartenență de tip liniar cu prag pentru mărimea de intrare (abaterea turației față de turația de referință), respectiv funcția de apartenență de tip singleton a mărimei de ieșire (corecția turației). Funcțional, aceasta înseamnă că mărimea de corecție are o valoare constantă, care se aplică sub formă de impulsuri de durată constantă sau variabilă, la bornele motorului de acționare, până la anularea abaterii. Acest principiu de funcționare este diferit față de principiile reglatoarelor analogice liniare convenționale de tip P, PI sau PID. Metoda aplicată este prezentată și analizată în capitolele 4.3, 5.4 și 5.5.

În fig.1.3.1 și în fig. 1.3.2 este prezentată instalația de recondiționare a cochilelor pentru țevi de fontă [107], realizată pentru beneficiarul S.C. Mecanica S.A. Orăștie. Instalația efectuează încărcarea prin sudare MIG / MAG la interior a cochilelor de formă cilindrică, având diametrul interior de 200 – 400 mm, pe traiectorie elicoidală, formată prin combinarea mișcării de rotație a

unui bloc cu role cu mișcarea de translație a unui cărucior, care antrenează grinda, pe care este montat capul de sudare.

Autorul lucrării de față a conceput și a executat modulul de acționare cu tiristori pentru motorul de 2,2 kW al blocului cu role de la IRC. Modulul de acționare este montat în tabloul electric al instalației (fig.1.3.3).

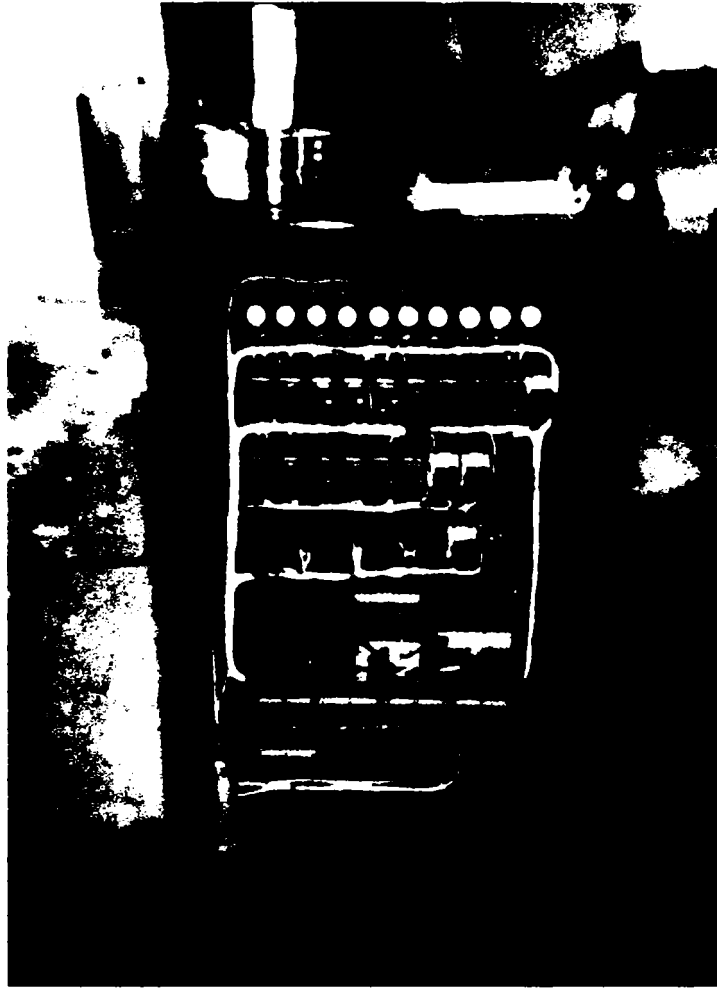


Fig. 1.3.3. Modulul de acționare de 2,2 kW în tabloul electric al IRC



Fig. 1.3.4. Modulul de acționare de 2,2 kW cu tiristori

La instalația de sudare a virolelor, tip ISV, executată pentru S.C. BAT S.A. Arad [224], autorul a conceput și a realizat modulul de acționare cu tiristori pentru motor de c.c. de 2,2 kW, prezentat în fig. 1.3.4. De asemenea, autorul a executat tabloul electric (fig. 1.3.5) și a participat la punerea în funcțiune a echipamentului.

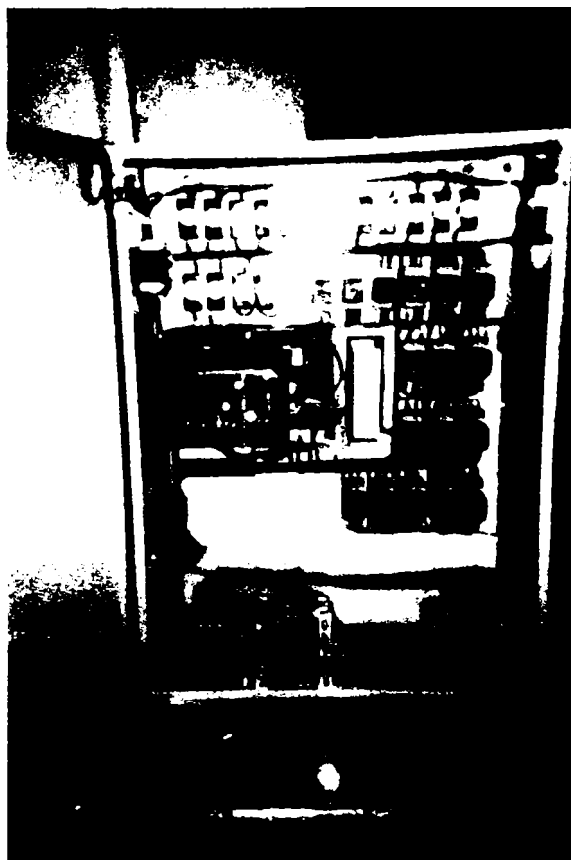


Fig. 1.3.5. Tabloul electric al instalației de sudare a virolelor, tip ISV

În cadrul instalației de sudare a bușelor pe placă, tip ISBP, autorul a conceput și a realizat regulatorul de turație pentru mișcarea tehnologică de rotație [98], respectiv a participat la punerea în funcțiune a utilajului, la beneficiarul S.C. COMELF S.A. Bistrița (fig. 1.3.6 și fig. 1.3.7).

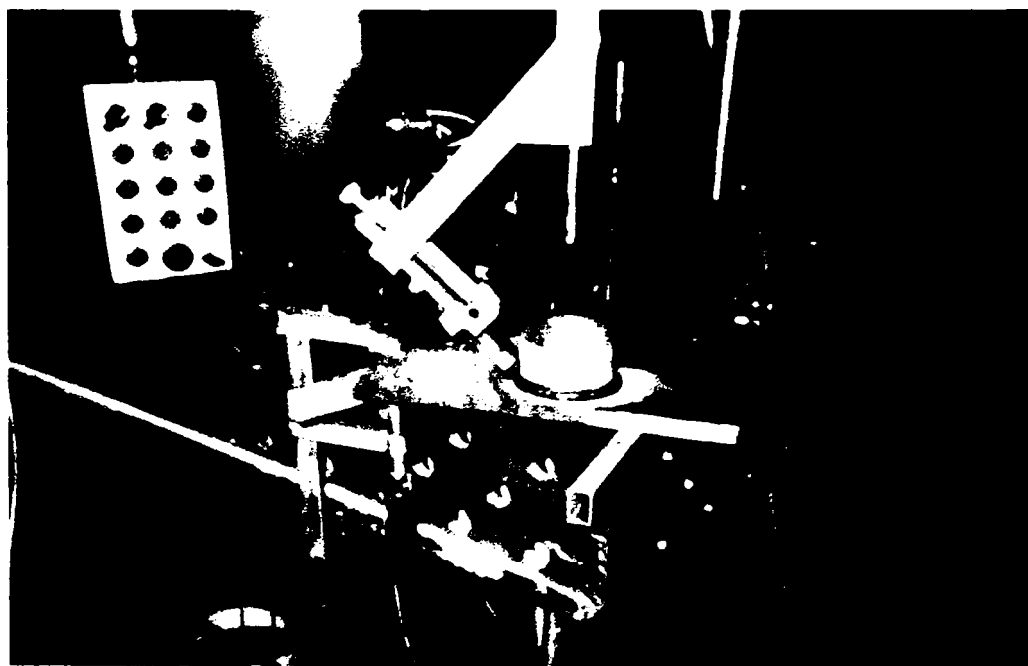


Fig. 1.3.6. Instalația de sudare a bușelor pe placă, tip ISBP



Fig. 1.3.7. Sudarea MIG / MAG a bușei pe placă, pe echipamentul ISBP

Sistemul tehnologic de fabricație prin sudare MIG/MAG a structurilor metalice complexe din componența vagoanelor de marfă, tip SSVM, constituie una dintre aplicațiile recente de echipamente de sudare ale ISIM, al cărui beneficiar este S.C. REVA S.A. Simeria. Acest sistem tehnologic este echipat cu module de acționare electrică cu tiristori, având puterea de 0,5 kW, pentru motoare de c.c. și el efectuează sudarea automatizată pe direcția longitudinală, transversală sau verticală, în raport cu sistemul de coordonate aferent căii de rulare a echipamentului [250-252]. Autorul lucrării de față a întocmit documentația tehnică de execuție și de utilizare pentru partea electrică a echipamentului SSVM. În fig. 1.3.8 este prezentat tabloul electric al SSVM. Fig. 1.3.9 reprezintă pupitrul de comandă al sistemului, iar în fig. 1.3.10 este arătat interiorul pupitrului de comandă.

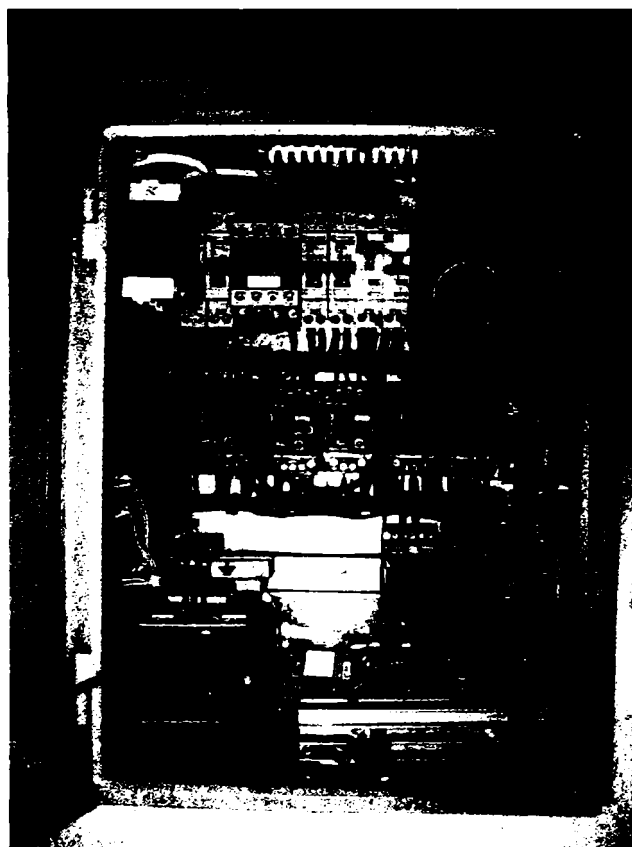


Fig. 1.3.8. Tabloul electric al sistemului de sudare MIG / MAG pentru vagoane de marfă, tip SSVM

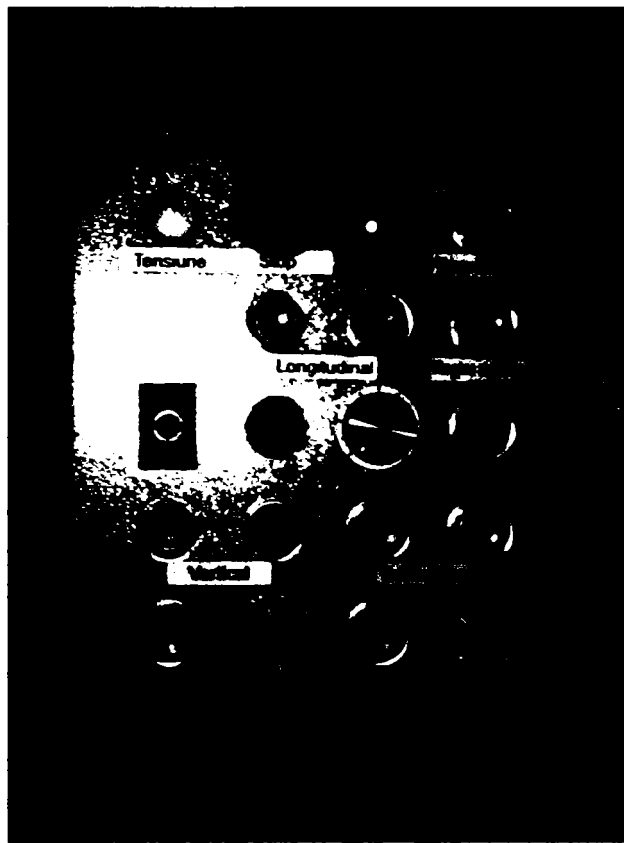


Fig. 1.3.9. Pupitrul de comandă al echipamentului tip SSVM

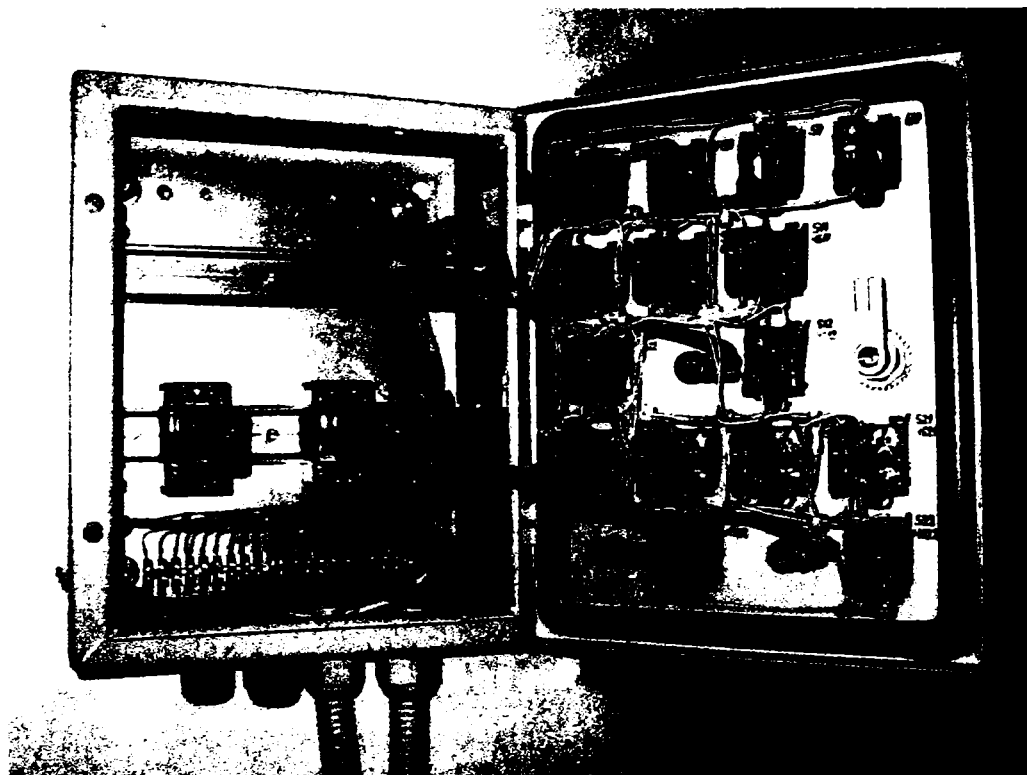


Fig. 1.3.10. Interiorul pupitrului de comandă al echipamentului tip SSVM

Echipamentele specializate au anumite limitări, care pot fi depășite numai prin creșterea nivelului de precizie și de complexitate. Astfel s-a ajuns la conceptul de echipament de sudare universal și flexibil, care este robotul, destinat să funcționeze în numeroase situații diferite, după mai multe criterii: cerințe tehnice, forma pieselor, dimensiuni, parametri tehnologici, etc. Caracterul de echipament universal este realizat constructiv. Prin elaborarea, înregistrarea și utilizarea programelor pentru diferite aplicații se realizează caracterul de flexibilitate al echipamentului [57-65]. Câteva aplicații proprii ale roboților sunt prezentate în capitolul 6.

2. Sisteme automate adaptive pentru echipamente de sudare

2.1. Reglarea automată a tensiunii arcului electric, utilizând inferența fuzzy

2.1.1. Echipament experimental și metodă de reglare [134]

Metoda de reglare automată a tensiunii arcului electric a fost experimentată la sudarea cu arc electric în gaz de protecție CO_2 , în scopul de a utiliza inferența fuzzy, în care mărimea de intrare (elementul de condiție) a fost constituită din abaterile (deviațiile) standard ale duratelor scurtcircuitului și arcului, iar mărimea de ieșire (elementul de operare) a fost constituită din corecția pentru realizarea creșterilor și descreșterilor tensiunii arcului.

Fig. 2.1.1 prezintă schema bloc a echipamentului de sudare cu arc electric în CO_2 / MAG, cu reglare fuzzy, la care a fost implementată metoda de reglare automată a arcului utilizând inferența fuzzy.

Tensiunea de ieșire a bobinei de reactanță din secundarul transformatorului a fost utilizată pentru a lua decizia între scurtcircuit și arc electric. Adică, tensiunea de ieșire $E_2 = -L_2 (di / dt)$ este generată la bornele bobinei secundare a reactanței. Această tensiune este negativă pe durata scurtcircuitului, deoarece curentul de sudare crește în acel moment. Tensiunea este pozitivă pe durata arcului electric.

Au fost detectate T_s și T_a pentru a calcula perioadele continue în care tensiunea de ieșire E_2 a fost respectiv negativă sau pozitivă. Mărimile $s [T_s]$ și $s [T_a]$ au fost calculate utilizând T_s și T_a , iar tensiunea arcului a fost reglată automat la nivelul corespunzător.

Mai întâi, în timpul operației de sudare sunt eșantionate date despre forma de undă utilizată pentru a evalua un scurtcircuit, comparativ cu un arc electric. Sunt detectate o durată a scurtcircuitului T_s și o durată a arcului T_a , în fiecare perioadă de scurtcircuit. În continuare, sunt calculate abaterile standard ale duratei scurtcircuitului și arcului ($s [T_s]$ și $s [T_a]$), pentru a face uz, respectiv de T_s și T_a .

În al doilea rând este aplicată inferența fuzzy pentru a face complianța cu mărimile de intrare ($s [T_s]$ și $s [T_a]$), cu funcțiile lor de apartenență predeterminate și cu regulile de inferență fuzzy. Corecția ΔV de creștere sau descreștere a nivelului tensiunii arcului este determinată ca mărime de ieșire (execuție) a inferenței fuzzy.

Rezultatele reglării automate a tensiunii arcului utilizând inferența fuzzy, unde sârma de sudare a fost a fost sârmă plină D 1,2 mm, gazul de protecție a fost CO_2 , viteza de avans a sârmei a fost 3 m / min (curentul de sudare a fost aproximativ 130 A), iar tensiunea inițială a arcului varia între 13 V și 26,5 V arată că, deși tensiunea inițială a arcului a fost variată pe un domeniu considerabil de larg, toate nivelele finale ale tensiunii arcului au avut convergență în apropierea valorii adecvate a tensiunii arcului (19 – 20 V).

Au fost determinate 25 de noi reguli de inferență fuzzy și funcțiile de apartenență ale $s [T_s]$ și $s [T_a]$, pentru domeniul de curent mediu, de 250A.

Peste 70 % din valorile finale ale tensiunii arcului la fiecare nivel al curentului de sudare au fost reglate automat în interiorul domeniului tensiunii celei mai corespunzătoare a arcului electric $V_\epsilon \pm 0,5$ V, iar peste 85 % au fost reglate în intervalul $V_\epsilon \pm 0,7$ V, respectiv toate au fost reglate în intervalul $V_\epsilon \pm 1,0$ V.

Metoda de reglare automată a tensiunii arcului nu a putut fi aplicată în domeniul de curent de peste 300 A la sudarea MAG, întrucât scurtcircuitul nu s-a produs în domeniul apropiat de tensiunea adecvată a arcului.

Această metodă a fost utilizată la sudarea cu sârmă plină de D 0,9 mm și au fost obținute rezultate satisfăcătoare, atât la sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector CO_2 , cât și la sudarea MAG în mediu de amestec 80 % Ar + 20 % CO_2 .

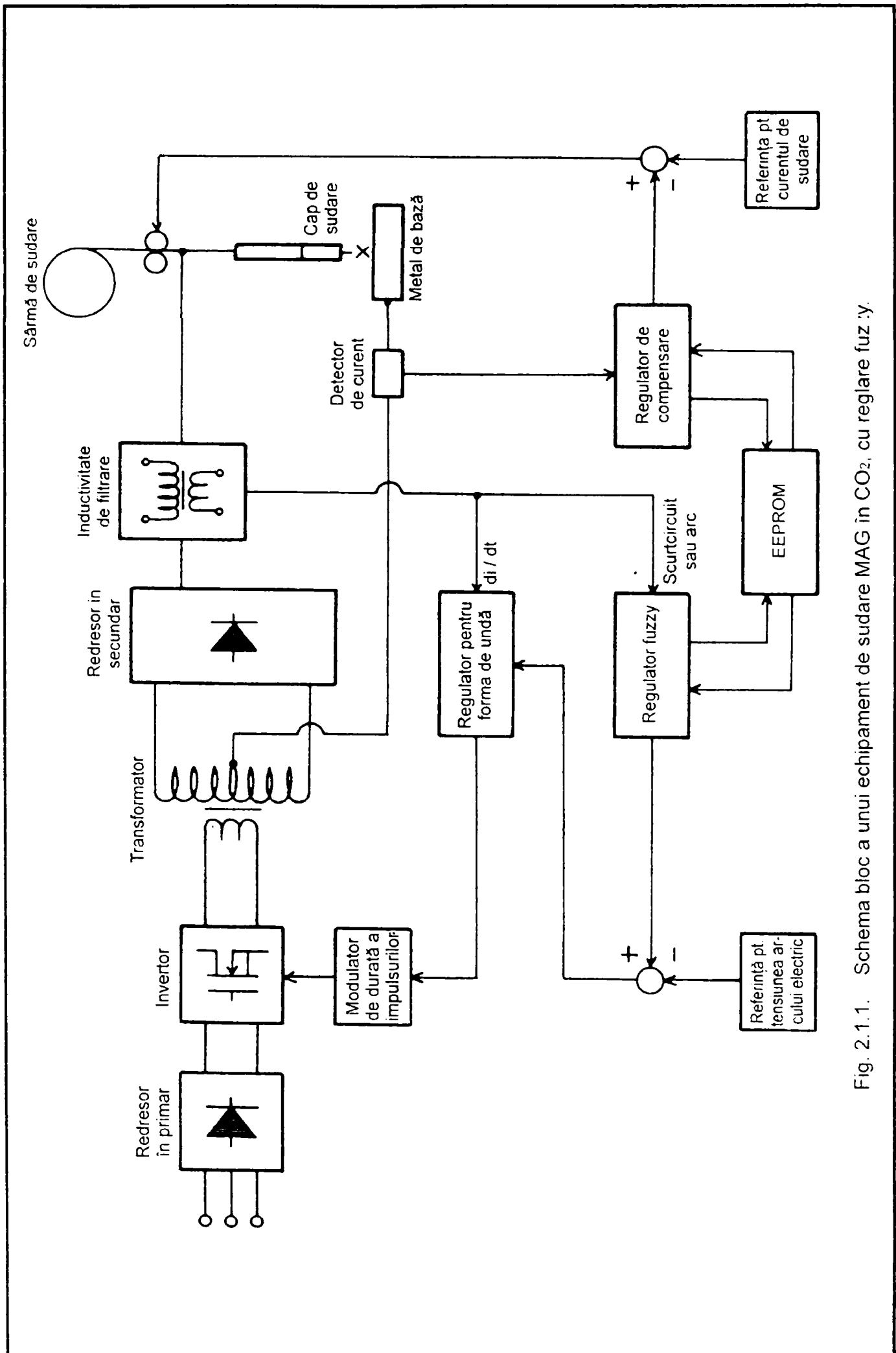


Fig. 2.1.1. Schema bloc a unui echipament de sudare MAG în CO₂, cu reglare fuzzy.

2.1.2. Sisteme de reglare Fuzzy la surse de sudare [179]

Sistemele de reglare digitală au avantajul de a fi mai ieftine la elaborare, mai puțin susceptibile la degradarea componentelor electronice și mai ușor de actualizat și de modificat. Există, de asemenea, la dispoziție surse de sudare care implementează strategia de reglare ce utilizează logica fuzzy. Această abordare facilitează elaborarea strategiilor de reglare avansate și mai intuitive, decât ar fi disponibil utilizând tehnicile de codificare tradiționale.

Sistemele de reglare prin logica fuzzy au fost utilizate la surse MIG / MAG pentru a îmbunătăți stabilitatea arcului electric și pentru reglarea pătrunderii rândului de sudură la sudarea aluminiului [262, 265]. Se afirmă că, prin utilizarea reglării digitale și prin logica fuzzy, sursa de sudare poate ajusta în mod automat tensiunea arcului electric, prin detectarea frecvenței scurtcircuitelor, pentru a face adaptarea la variațiile stării suprafeței, distanței dintre duză și piesă, precum și ale vitezei de sudare. Pot fi puse în evidență efectele benefice asupra profilului rândului de sudură în cazul reglării automate a tensiunii la sudarea MIG în impulsuri, unde numărul de scurtcircuite a fost reglat prin utilizarea logicii fuzzy. Acest tip de sursă de sudare a fost utilizat, de exemplu, la sudarea tablei galvanizate (pentru a reduce străpungerea și stropirea) și la sudarea cadrelor metalice de motocicletă (pentru a rezolva probleme de rosturi de sudare mari și de grosime mică a peretelui). S-a raportat, de asemenea, despre reglarea prin logica fuzzy pentru reducerea nivelului de zgomot al arcului electric la sudarea WIG în curent alternativ a aluminiului. O formă de undă pătrată va permite să se evite necesitatea utilizării înaltei frecvențe (HF) pentru a reamorsa arcul electric la inversarea curentului, dar comparativ cu forma de undă sinusoidală ea suferă de un nivel înalt de emisii acustice. Logica fuzzy face posibil să se varieze forma de undă de ieșire, de la cea pătrată la cea triunghiulară, spre a produce un arc electric mai liniștit, în timp ce se mențin și avantajele unei surse de sudare cu forma de undă pătrată (amorsarea prin atingerea cu electrodul, lipsa înaltei frecvențe, etc.).

Un exemplu este sursa de sudare cu reglare fuzzy de tipul Magic Wave MW 2000 Fuzzy, produsă de firma Fronius din Austria.

La sudarea subansamblelor din table subțiri în industria automobilelor, se utilizează surse perfecționate, de nivel tehnic ridicat, care dispun de numeroase facilități de programare și de reglare a parametrilor de sudare, asigurând astfel obținerea unui nivel de calitate superior al sudurilor, prin tehnologiile de sudare elaborate în mod corespunzător [255-259, 272, 283].

2.2. Echipament adaptiv bazat pe analiza spectrului sunetelor [137]

Scopul lucrării prezentate este de a realiza un echipament de sudare autointruibil capabil de a ajusta el însuși toți parametrii de sudare pentru asigurarea de condiții optime la sudarea MIG/MAG. Echipamentul trebuie să efectueze un test prealabil pentru a identifica parametrii. Acest echipament este o sursă de sudare MIG/MAG sinergică în curent pulsant, care utilizează o relație matematică între mai mulți parametri de sudare pentru a obține prescrierea corectă în mod automat. Acest proces va fi explicat în cele ce urmează. Până în prezent există un prototip funcțional în faza de verificare industrială.

Diametrul sârmei este selectat în mod manual înainte de acest test, însă selecția sa poate fi automatizată cu ușurință cu un senzor de măsurare.

Pentru a obține parametrii optimi, echipamentul trebuie să execute un simplu test de sudare cu aceeași sârmă și cu același material de bază ca în condițiile reale de sudare. În timpul sudării, procesorul achiziționează tensiunea de la un circuit care produce o ieșire invers proporțională cu numărul de scurtcircuite. O limită selectată cu acuratețe permite determinarea curentului de tranziție.

Baza identificării materialului de sudare este curentul de tranziție dintre sudarea în regim de scurtcircuite și sudarea în regim de spray arc.

După aceasta, echipamentul poate utiliza o descriere matematică a procesului de sudare în scopul de a obține parametrii optimi sau de a fi programat prin definirea mai multor puncte pe o

curbă caracteristică a procesului de sudare, precum cele mai multe utilizate până în prezent în industrie. Celelalte puncte, din zonele intermediare, vor fi interpolate.

După determinarea curentului de tranziție, echipamentul poate utiliza unul sau două sisteme pentru a defini impulsurile de curent:

- O lege matematică pentru definirea structurii impulsului (bazată pe curentul de tranziție, viteza sârmei și diametrul sârmei).
- O bază de date convențională (o bază de date a sinergiei).

Acest echipament adoptă o lege pentru viteza de antrenare de tranziție a sârmei sub forma $W_s = W(D)$. Viteza de antrenare de tranziție este numai funcție de diametrul materialului.

Curentul de tranziție (I_s) este definit ca și curentul la care sudarea trece de la regimul de sudare în scurtcircuite la regimul în spray arc, cu o viteză a sârmei (W_s) și tensiunea arcului la valori necesare pentru o sudare stabilă.

Acest curent este utilizat în echipamentul menționat pentru identificarea sârmei, deoarece curentul de tranziție este diferit pentru materiale diferite.

Echipamentul înregistrează timpul de sudare, numărul de scurtcircuite și utilizează un algoritm pentru detectarea curentului de tranziție. Primul algoritm creat de autori [137] se bazează pe contorizarea evenimentelor sub 14 V.

Au fost efectuate mai multe încercări pentru a confirma această teorie, pentru câteva cupluri de materiale de bază și metale de adaos. Confirmarea regimurilor de sudare a fost făcută de către sudori experimentați.

Teoria autoinstruirii [137]

Relațiile de bază ale teoriei autoinstruirii, aplicate aici, sunt următoarele:

$$W_s = \text{Const} \times r \quad (2.2.1)$$

$$W = K \times \bar{I} \quad (2.2.2)$$

în aceste relații și în următoarele se utilizează următoarele notații:

W_s = viteza de avans al sârmei la tranziție

r = raza sârmei

K = constantă (factorul de ardere completă)

W = viteza de avans al sârmei utilizată la sudare

\bar{I} = curentul de sudare mediu

$$I_p^2 T_p = \text{Const} \quad (2.2.3)$$

$$\text{Const} = I_s^2 T_s \quad (2.2.4)$$

$$L = \frac{W}{F} = T W \quad (2.2.5)$$

$$L = \frac{4}{3} r \quad (2.2.6)$$

Se adoptă ultima ecuație.

În aceste relații s-au utilizat următoarele notații:

I_p = curentul de sudare de vârf

I_b = curentul de sudare de bază

I_s = curentul de tranziție

T_p = durata curentului de vârf

T_b = durata curentului de bază

T_s = durata tranziției (perioada de tranziție)

F = frecvența la sudarea în regim de impulsuri

L = dimensiunea picăturii

T = perioada impulsului

Cu aceste relații, adoptând aceeași viteză de avans al sârmei la tranziție pentru toate sârmele cu aceeași rază și cunoscând curentul de tranziție, este posibil să se stabilească forma impulsului echipamentului autoinstruibil.

Din ecuațiile anterioare putem determina parametrii de impuls: I_p , I_b , T_p și T_b , în funcție de raza sârmei și de curentul de tranziție. Curentul mediu va fi controlat, respectiv reglat, de acești parametri. Ecuațiile care definesc forma impulsului sunt prezentate mai jos:

$$T_p = \left[\frac{I_s}{I_p} \right]^2 T_s \quad (2.2.7)$$

$$I_p = \frac{3}{2} I_s \quad (2.2.8)$$

$$T_p = \frac{16}{27} \frac{r}{W_s} \quad (2.2.9)$$

$$W_s = K I_s \quad (2.2.10)$$

$$K = \frac{W_s}{I_s} \quad (2.2.11)$$

$$W = \frac{W_s}{I_s} \bar{I} \quad (2.2.12)$$

$$F = \frac{3 W_s}{4 I_s r} \bar{I} \quad (2.2.13)$$

Rezultă:

$$T = \frac{4 I_s r}{3 W_s \bar{I}} \quad (2.2.14)$$

$$T = T_p + T_b \quad (2.2.15)$$

$$T_b = \frac{4}{27} \frac{9 I_s - 4 \bar{I}}{W_s \bar{I}} \quad (2.2.16)$$

$$\bar{I} = (I_p T_p + I_b T_b) \cdot F \quad (2.2.17)$$

$$I_b = \bar{I} - \frac{2 \bar{I} (2 \bar{I} - 3 I_s) r}{4 \bar{I} - 9 I_s} \quad (2.2.18)$$

Sistemul de reglare

Sistemul de reglare al echipamentului de sudare este bazat pe un microprocesor AMD 386 SX. Funcțiunile esențiale ale sistemului de reglare sunt după cum urmează: procesor de 16 biți; memorie RAM 2 MB; conector (slot) pentru dispozitiv Flash sau pentru carduri de memorie statică; afișaj LCD cu cristale lichide de 192×128 pixeli; sistem de operare DOS; port RS 232; port paralel.

Sistemul de achiziție a datelor al sistemului de reglare are următoarele caracteristici tehnice:

- 8 convertoare analog – digitale ADC de 12 biți și de 25 kS/s
- 8 convertoare digital – analogice DAC de 12 biți și de 25 kS/s
- 3 dispozitive de temporizare de 16 biți, cu clock intern de 2 MHz
- 24 intrări / ieșiri digitale

Sistemul de reglare este capabil de rate de eșantionare de 10 kS/s (kilosamples/second = mii de eșantionări pe secundă), poate salva datele eșantionate într-un fișier de disc și poate să le transfere către un computer personal PC printr-un port RS 232.

Software-ul a fost elaborat aproape tot în limbajul C, iar câteva segmente de program critice au fost codificate în asamblor, precum datele de achiziție și câțiva algoritmi de analizare a datelor în scopul de a funcționa rapid.

Toți parametrii de sudare și configurația impulsului pot fi introduși de la o tastatură cu 6 taste, iar parametrii de sudare sunt afișați pe un panou cu cristale lichide.

Echipamentul de sudare MIG/MAG de tipul Amiga are o sursă de putere internă care utilizează un invertor realizat în tehnologia cu tranzistori IGBT la 25 kHz.

Reglarea echipamentului Amiga poate fi făcută prin curent sau prin tensiune; se poate chiar aplica reglarea de tensiune pe timpul de bază al impulsului și reglarea de curent în vârful impulsului.

2.3. Tractor de sudare adaptiv sinergic [141]

Pentru satisfacerea cerințelor de reducere a costurilor ale șantierelor navale au fost elaborate următoarele sisteme automate:

a. Tractor de sudare (gen robot cu 4 axe), complet adaptiv cu facilitatea de planificare a trecerilor multiple, tip SE-NAVI.

b. Sistem de sudare semiadaptiv sinergic, dotat cu sistem de urmărire a traseului de sudare cu rază laser, reacție semiadaptivă și reglare sinergică pentru sudurile de umplere.

Prima variantă pune la dispoziție planificarea prealabilă a parametrilor specifici, la un preț de cca. 125 mii Euro.

A doua variantă funcționează pe baza planificării făcute de către operator, dar beneficiază de funcționarea sinergică, la un preț de aproximativ 50 mii Euro.

Procesul de sudare se desfășoară pe baza unor cunoștințe tehnologice. Se utilizează relațiile din programul ARCWISE. Se face selecția prealabilă a tensiunii, a vitezei de avans al sârmei și a vitezei tractorului, pentru a asigura valoarea necesară a diluției cu metalul de bază în funcție de dimensiunile sudurii.

Prescrierea și ajustarea parametrilor de sudare de către operator este modul de funcționare principal. Reglarea în funcție de lungimea arcului electric este modul de funcționare secundar.

Funcționarea sinergică se bazează pe evaluarea relației dintre dimensiunile sudurii, productivitate și calitate. Astfel, se selectează parametrii în funcție de dimensiunile sudurii, care să asigure pătrunderea necesară, diluția cerută, aspect corespunzător la testul de sudare în poziția orizontală pe perete vertical cu trei rânduri de sudare. Tipul de reglare implementat este modelul de reglare cu un buton, care este agreat în prezent.

Procedeele la care se aplică aceste echipamente sunt sudarea cu arcul electric cu sârmă tubulară autoprotectoare și sudarea MAG cu sârmă plină E71T-1.

Tractorul de sudare este configurat cu 3 axe + 1 axă (independentă). Trei acționări realizează deplasarea capului de sudare în sistemul de coordonate X, Y, Z. A patra acționare este independentă și ea este destinată funcției de pendulare a capului de sudare. Prin extrapolare, se afirmă că acest tractor de sudare dispune de 4 (patru) axe, conform termenilor utilizați în mecatronică.

Acest tip de tractor de sudare este realizat conform platformei, respectiv standardului MDS Modular Drive System / Sistem de acționare modular al unei firme. Sistemul modular dispune de o interfață cu sursa de sudare (interconectare cu 50 pini). Sistemul existent poate fi actualizat după diverse criterii. Sistemul poate fi interconectat cu un PC, în vederea monitorizării parametrilor de funcționare, dar și pentru conducerea procesului. Există un mecanism cu senzor al capului de sudare, având rolul său în realizarea adaptibilității. Pentru programarea funcționării este implementată o interfață de utilizator emulată prin software.

În componența echipamentului de sudare automată există un senzor cu laser tip Mini-I, având următoarele caracteristici:

- Panou frontal cu comenzi de prescriere a parametrilor de funcționare, specific aplicației.
- Interfață software între senzorul cu laser tip Mini-1 și blocul de reglare tip CAMI (pentru acționările de gen robot ale tractorului).
- Senzorul cu laser de înaltă viteză este proiectat în mod specific pentru sudarea adaptivă.
- Profile ale laserului în funcție de forma rostului pentru determinarea acțiunilor adaptive.
- Prin intermediul interfeței tip template senzorul cu laser efectuează urmărirea traseului de sudare (urmărirea rostului).

Modul adaptiv de funcționare realizează modificarea dimensiunii sudurii, pentru a compensa variațiile de lățime a stratului sudurii, care apar mai ales la execuția straturilor de sudură de umplere, unde abaterile dimensionale sunt mai mari decât la sudarea primului strat.

Nivelul de specializare al echipamentelor de sudare tipizate a ajuns atât de departe, încât există surse de sudare și tractoare de sudare destinate executării sudurii de rădăcină, respectiv destinate executării sudurii de umplere. Tractorul de sudare aflat în discuție are destinația de a realiza straturile de sudură de umplere.

În consecință, tractorul de sudare adaptiv, ca model experimental pentru un nou echipament de sudare, include module și blocuri funcționale tipizate, ca elemente componente. Caracteristicile sale originale și speciale rezultă din software-ul elaborat și implementat pe componentele de hardware menționate. Acesta este nivelul de integrare abordat în prezent pentru realizarea de echipamente foarte complexe.

2.4. Urmărirea traseului de sudare prin utilizarea inferenței fuzzy multistrat [148]

Urmărirea traseului de sudare sau a orbitei prin metoda bazată pe teoria clasică a reglării este dificilă. De aceea, a fost aplicată o metodă de reglare fuzzy pentru a urmări orbita. Dar la colțuri poate surveni o întârziere a urmăririi, deoarece direcția de avans se modifică brusc. Efectuarea urmăririi poate fi îmbunătățită prin modificarea factorului de amplificare (câștig) al reglării, la colț. Autorii propun o metodă de urmărire prin utilizarea reglatoarelor fuzzy în mai multe straturi, care corectează traiectoria prin inferențe fuzzy de mai multe nivele [148, 149, 150].

2.4.1. Sistemul de sesizare și de urmărire a orbitei

Sistemul de sesizare și de urmărire a orbitei al unui robot având mai multe articulații, care are 5 axe, este prezentat în fig. 2.4.1. Camera CCD atașată capului de sudare ia în primire orbita (traseul de sudare). Semnalul ei video este trimis către memoria de imagine. Calculatorul personal procesează imaginea și măsoară distanța, ceea ce înseamnă deviația dintre poziția capului și orbită. Calculatorul personal inferează (deduce) direcția de avans și calculează poziția dorită a capului de sudare, din distanța de mișcare pe perioada de eșantionare. Unghiul fiecărei articulații este determinat pe baza poziției urmărite a capului de sudare, prin rezolvarea problemei cinematicii inverse. Numărul de impulsuri de corectare este calculat în funcție de diferența de unghi. Computerul personal deplasează capul de sudare trimițând impulsul către robot. După deplasarea capului de sudare, calculatorul personal măsoară poziția capului de sudare cu ajutorul circuitului de numărare, care este conectat la codificatorul fiecărei articulații.

2.4.2. Urmărirea orbitei cu regulatorul fuzzy convențional

Relația dintre poziția capului de sudare și variabilele fuzzy este arătată în fig. 2.4.2. Sunt necesare 100 ms pentru a transfera poziția urmărită (țintă) a capului de sudare, în robot. Cu viteza de avans constantă de 30 mm/s și perioada de eșantionare de 33,3 ms în timpul urmăririi orbitei, este detectată și reglată poziția la 3 mm în fața capului de sudare, pentru a evita afectarea poziției de către întârziere. Deviația e , care este distanța dintre orbită și poziție la 3 mm înaintea capului de sudare, precum și variația Δe a deviației sunt adoptate ca variabile de intrare ale regulatorului fuzzy convențional. Variația Δu a direcției de avans urmărite (țintă) a capului de sudare este adoptată ca variabilă de manipulare (acționare) sau mărime de corecție.

În sistemul de reglare fuzzy arătat în fig. 2.4.3, variabila de manipulare Δu este inferată (dedusă) prin utilizarea regulilor de reglare (sau de control) și a variabilelor fuzzy (e și Δe). Regulile de control sunt considerate din relația pozițiilor tipice ale capului de sudare față de direcția de avans tipică, după cum este ilustrat în fig. 2.4.5. De exemplu, în situația 1 din fig. 2.4.4, dacă poziția capului de sudare avasează spre dreapta față de orbită, atunci operatorul ar trebui să deplaseze capul de sudare către stânga, astfel încât să aducă din nou capul de sudare

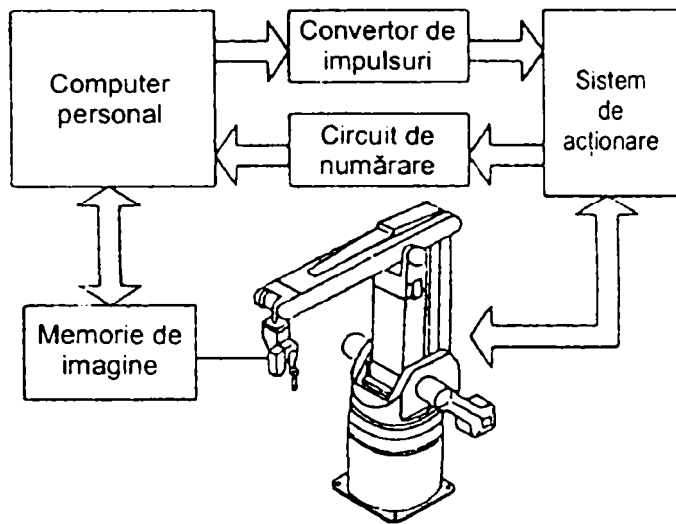


Fig. 2.4.1. Sistem robot cu mai multe axe.

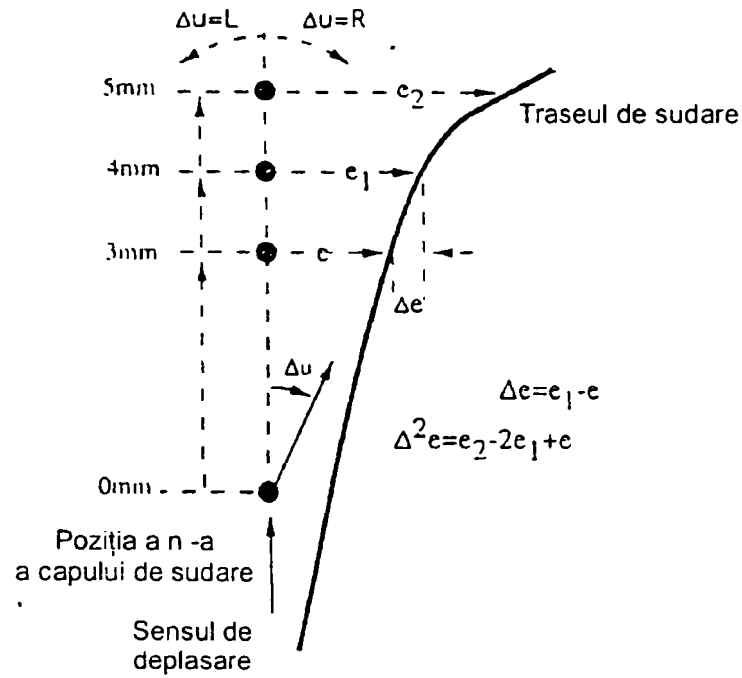


Fig. 2.4.2. Relația dintre poziția capului de sudare și variabilele fuzzy.

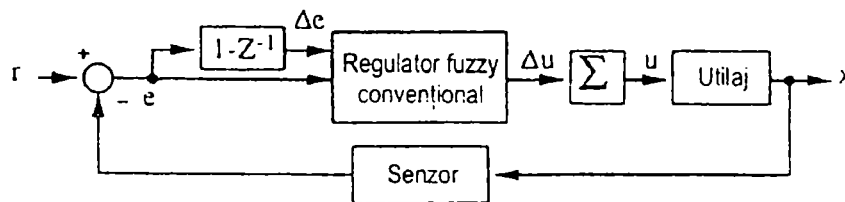


Fig. 2.4.3. Regulator fuzzy convențional.

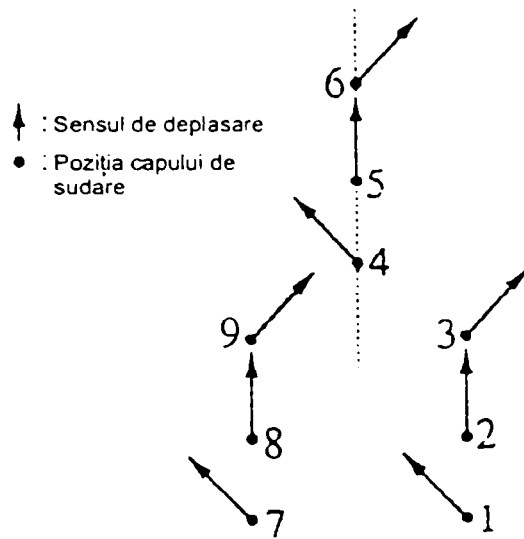


Fig. 2.4.4. Relația dintre poziția tipică a capului de sudare și sensul de deplasare.

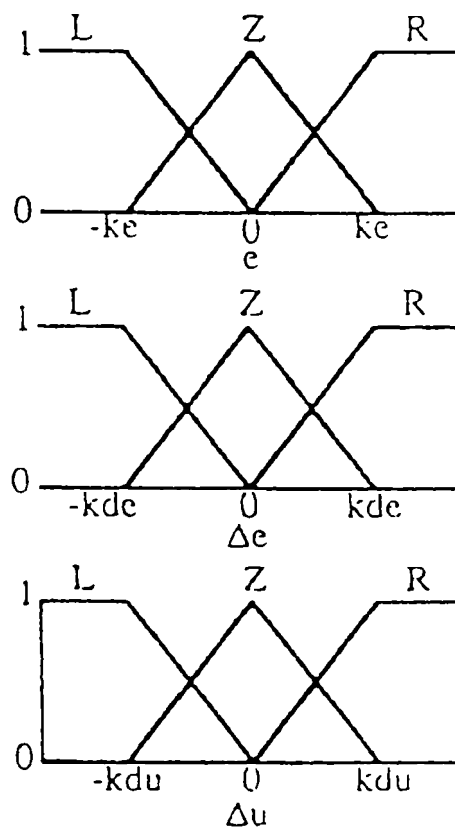


Fig. 2.4.5. Funcțiile de apartenență ale regulatorului fuzzy convențional.

aproape de orbită. Regula de reglare din această situație este descrisă prin următoarea formă de frază cu relația condițională “dacă-atunci”:

Dacă e este R (right=dreapta) și Δe este R, atunci Δu este L (left=stânga), unde L și R sunt variabilele fuzzy.

Condițiile (propozițiile introduse prin “dacă”) sunt în relație cu pozițiile tipice ale capului de sudare și cu direcțiile de avans tipice. Concluziile (propozițiile introduse prin “atunci”) se bazează pe cunoștințele operatorului în situația enunțată în propozițiile condiții. După cum este enumerat în tabelul 2.4.2, regulile de reglare urmează cunoștințele despre reglare ale operatorului. Numărul din tabelul 2.4.1 corespunde cu acela din fig. 2.4.4. Funcțiile de apartenență ale variabilelor fuzzy sunt arătate în fig. 2.4.5.

Reguli de reglare Tabelul 2.4.1.

	Δe	L	Z	R	
e					R: Dreapta
	R	Z^1	L^2	L^3	Z: Zero
	Z	R^4	Z^5	L^6	L: Stânga
	L	R^7	R^8	Z^9	$\leftarrow \Delta u$

Experimentările de urmărire a rostului cu viteză constantă (30 mm/s) au fost executate prin utilizarea regulilor de reglare din tabelul 2.4.1 și variabilelor fuzzy din fig. 2.4.5. Mai întâi, experimentul de urmărire a orbitei marcate cu o linie subțire în fig. 2.4.6 este efectuat numai cu un regulator fuzzy. Orbita (traseul) formează un unghi de 45° . Traectoria capului de sudare este figurată printr-un marcaj cu puncte. Performanțele bune sunt obținute după cum este prezentat în fig. 2.4.6, atunci când k_e , k_{de} și k_{du} au respectiv valorile 1,0; 0,8 și 10. Dar, când este decrisă o orbită având un colț în unghi drept, atunci există o suprareglare, după cum se arată în fig. 2.4.7. În scopul de a perfecționa executarea urmăririi rostului (traseului), câștigul k_{du} este mărit la 45. Deși suprareglarea devine redusă, traiectoria vibrează față de orbită, după trecerea colțului, cum este arătat în fig. 2.4.8.

2.4.3. Funcția de performanță

Efectura inferenței fuzzy depinde de variabilele fuzzy și de regulile de inferență. Atunci când este utilizată inferența fuzzy convențională, sunt necesare multe reguli. Autorii propun inferența fuzzy în mai multe straturi pentru a transpune automat îndemânarea și experiența operatorului robotului. Mai întâi, pentru a introduce inferența fuzzy în mai multe straturi, autorii descriu modelul fuzzy cu inferența fuzzy în două straturi. Acordarea variabilelor fuzzy este efectuată prin utilizarea metodei pantei celei mai abrupte. În continuare, este aplicată inferența fuzzy mutistrat pentru urmărirea orbitei. Determinarea câștigului (amplificării) în așa fel încât el să fie adecvat forme orbitei poate fi dificilă. În scopul de a evalua efectuarea reglării, este introdusă funcția de performanță J, definită ca suma pătratului deviației și a pătratului mărimii de corecție (valorii de manipulare). Variabilele fuzzy optime sunt calculate prin metoda pantei celei mai abrupte, pentru a minimiza funcția de performanță J. Validitatea sistemului propus este verificată prin efectuarea experimentărilor de urmărire a rostului.

În cadrul CIMS (sistemul de fabricație integrat computerizat), datele CAD sunt trimise de la computerul principal la computerul FA pentru conducerea roboților industriali. Roboții industriali care efectuează tăierea cu laser, sudarea și îmbinarea lucrează în funcție de datele CAD. Marcajele sau liniile de pe tablă sunt înregistrate în memoria computerului FA ca date CAD. Metoda propusă este aplicată, de asemenea, pentru urmărirea orbitei la roboții industriali.

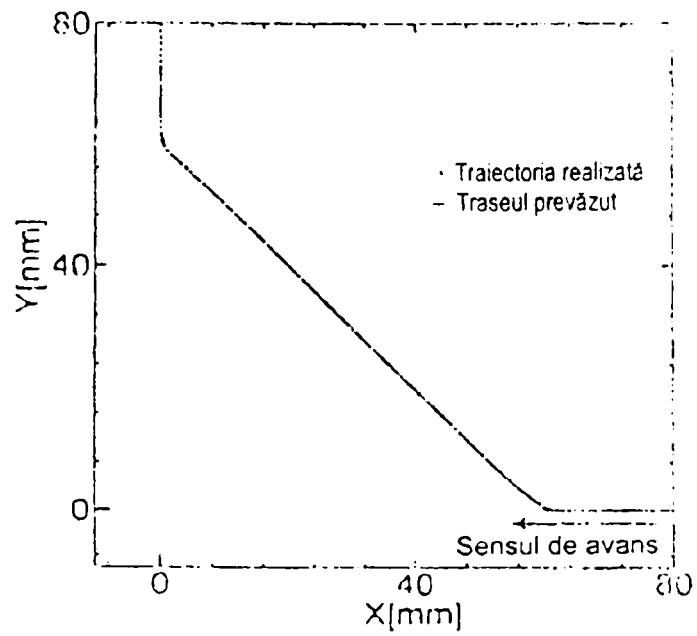


Fig. 2.4.6. Rezultatul urmăririi traseului cu regulatorul fuzzy (unghi 45°; $k_{e1}=0,8$; $k_{de}=1,0$; $k_{du}=10$).

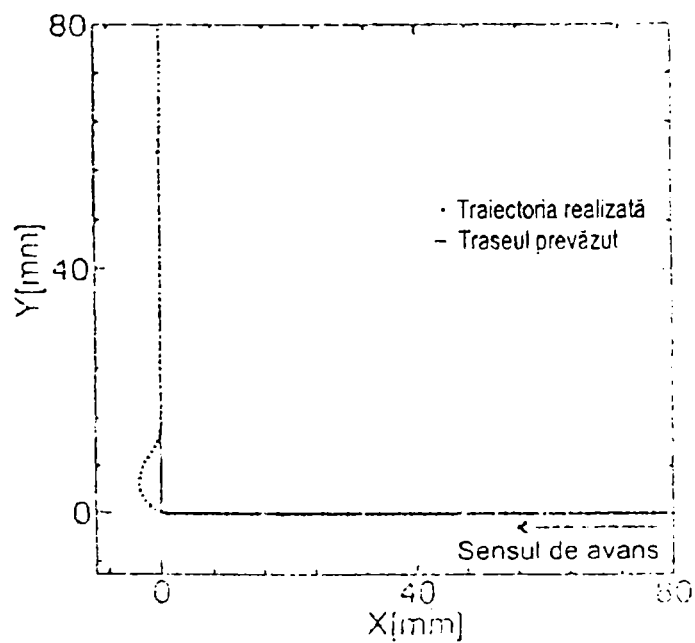


Fig. 2.4.7. Rezultatul urmăririi traseului cu regulatorul fuzzy (unghi 90°; $k_{e1}=0,8$; $k_{de}=1,0$; $k_{du}=10$).

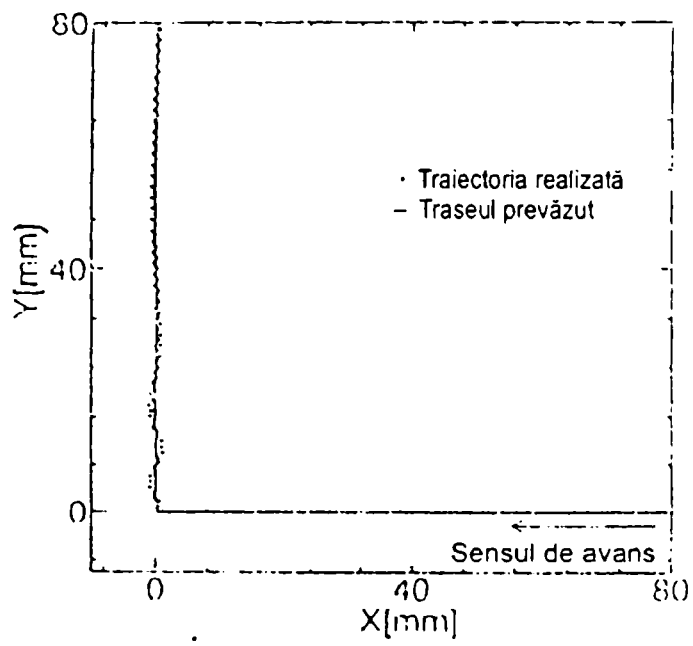


Fig. 2.4.8. Rezultatul urmăririi traseului cu regulatorul fuzzy (unghi 90°; $k_{e1}=0,8$; $k_{de}=1,0$; $k_{du}=45$).

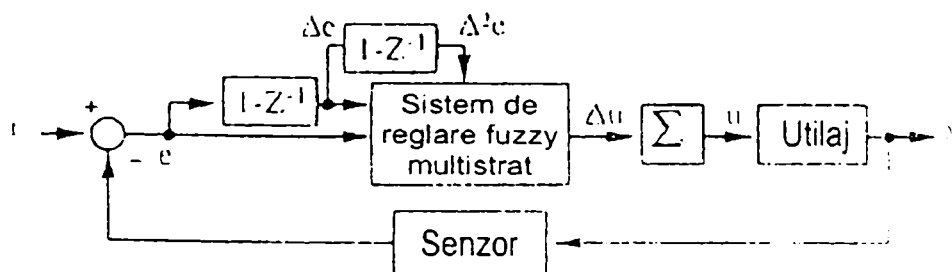


Fig. 2.4.9. Sistem de reglare fuzzy multistrat.

2.4.4. Inferența fuzzy în două straturi [148]

Autorii au încercat să estimeze suprafața în formă de șea descrisă de relația următoare:

$$z = x^2 - y^2 \quad (2.4.1)$$

pentru a introduce inferența fuzzy multistrat, după cum este arătat în fig. 2.4.10. Este realizat modelul fuzzy în domeniul de la 0 la 1 pentru variabilele x și y . Deoarece în altă regiune modelul poate fi făcut utilizând aceeași metodă.

În acest caz, când x crește, z crește. Pe de altă parte, când y crește, z descrește. Relația dintre x , y și z este reprezentată prin utilizarea regulilor lingvistice din fig. 2.4.11. Autorii reprezintă x , y și z utilizând trei moduri de reprezentare lingvistică (funcția de apartenență Mare, Medie, Mic) ilustrată în fig. 2.4.12. În fig. 2.4.11, primul strat și al doilea strat descriu relația dintre z și x și respectiv dintre z și y .

De exemplu, să presupunem că x este Mic. În stratul al doilea, regulile sunt după cum urmează:

Dacă y este Mic, atunci z este Mare
 Dacă y este Mediu, atunci z este Mediu
 Dacă y este Mare, atunci z este Mic.

În primul strat, concluziile (propozițiile introduse prin "atunci") sunt $Z_{2,s}$, $Z_{2,m}$ și $Z_{2,b}$, care sunt inferate în stratul al doilea.

Dacă x este dat, atribuirea la criteriile mic, mediu și mare în funcție de x este calculată prin funcțiile de apartenență prezentate în fig. 2.4.12, reprezentate analitic prin relațiile:

$$w_{1,s} = \begin{cases} 1 & 0 \geq x \\ (x - k_{11}) / (-k_{11}) & k_{11} \geq x > 0 \\ 0 & x > k_{11} \end{cases} \quad (2.4.2)$$

$$w_{1,m} = \begin{cases} 0 & 0 \geq x \\ x / k_{11} & k_{11} \geq x > 0 \\ (1 - x) / (1 - k_{11}) & 1 \geq x > k_{11} \\ 0 & x > 1 \end{cases}$$

$$w_{1,b} = \begin{cases} 0 & k_{11} \geq x \\ (x - k_{11}) / (1 - k_{11}) & 1 \geq x > k_{11} \\ 1 & x > 1 \end{cases}$$

Variabila z din primul strat este inferată utilizând relația:

$$z = w_{1,s} Z_{2,s} + w_{1,m} Z_{2,m} + w_{1,b} Z_{2,b} \quad (2.4.3)$$

$Z_{2,s}$ este rezultatul inferenței de la al doilea strat și el este dat de relația:

$$Z_{2,s} = w_{2,s} B_s + w_{2,m} M_s + w_{2,b} S_s \quad (2.4.4)$$

unde $w_{2,s}$, $w_{2,m}$ și $w_{2,b}$ sunt aptitudinea de mic, mediu și mare în funcție de y , respectiv ele sunt calculate înlocuind k_{11} prin k_{21s} în relația (2.4.2). Mărimile B_s , M_s și S_s corespund concluziilor (introduse prin "atunci"). Celelalte rezultate ale inferențelor $Z_{2,m}$ și $Z_{2,b}$ se obțin prin aceeași metodă ca și (2.4.4). Înainte de orice, rezultatul inferenței stratului al doilea este calculat din (2.4.4). După aceea, ieșirea modelului este obținută prin utilizarea relației (2.4.3).

2.4.5. Acordarea variabilelor fuzzy

Deoarece performanțele estimatorului depind de variabilele fuzzy, parametrul său este ajustat în așa fel încât să se obțină performanțe bune. Parametrii optimi sunt găsiți prin metoda

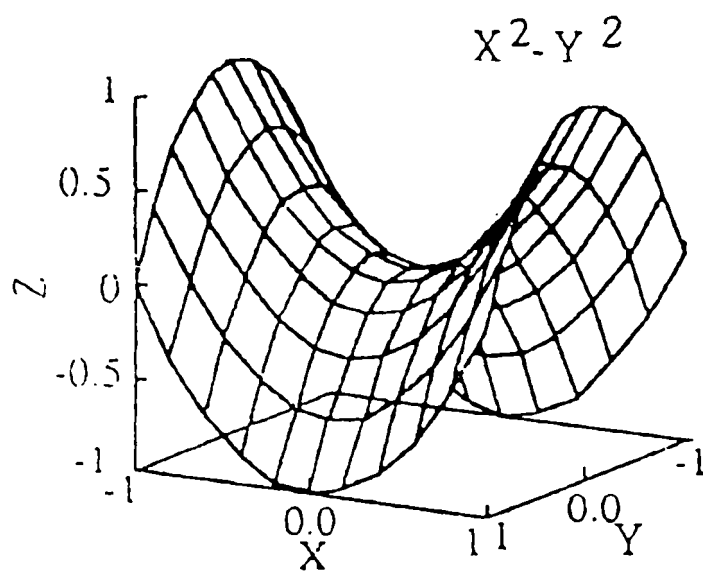


Fig. 2.4.10. Suprafața în formă de șea.

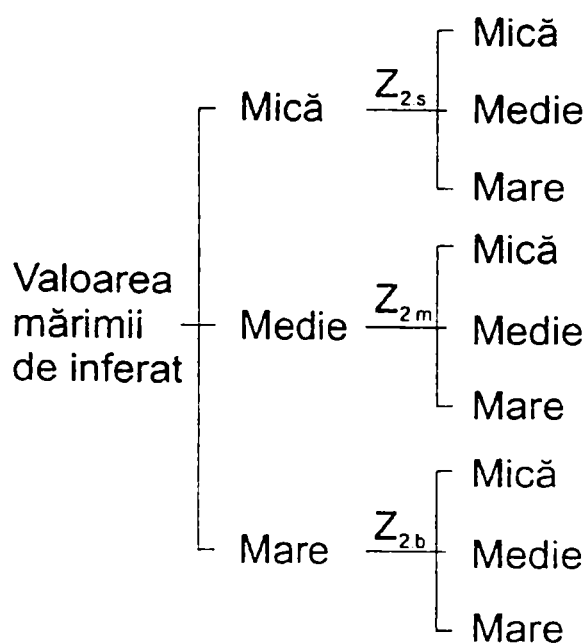


Fig. 2.4.11. Reguli de interferență fuzzy în două straturi

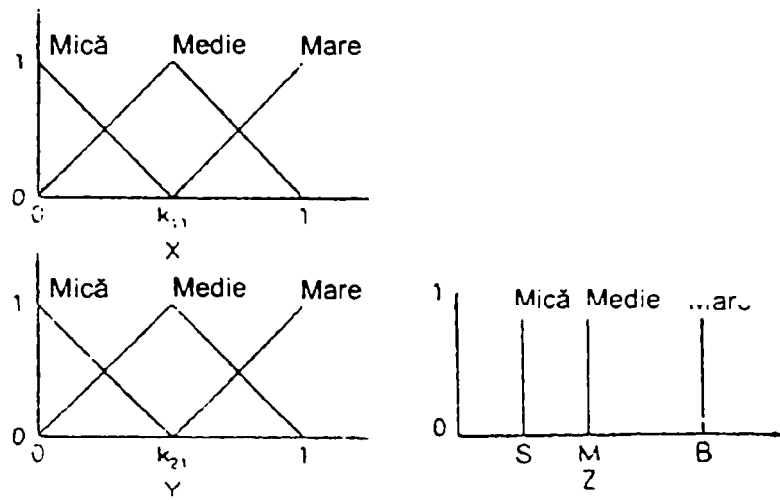


Fig. 2.4.12. Variabilele fuzzy din fig. 2.4.11.

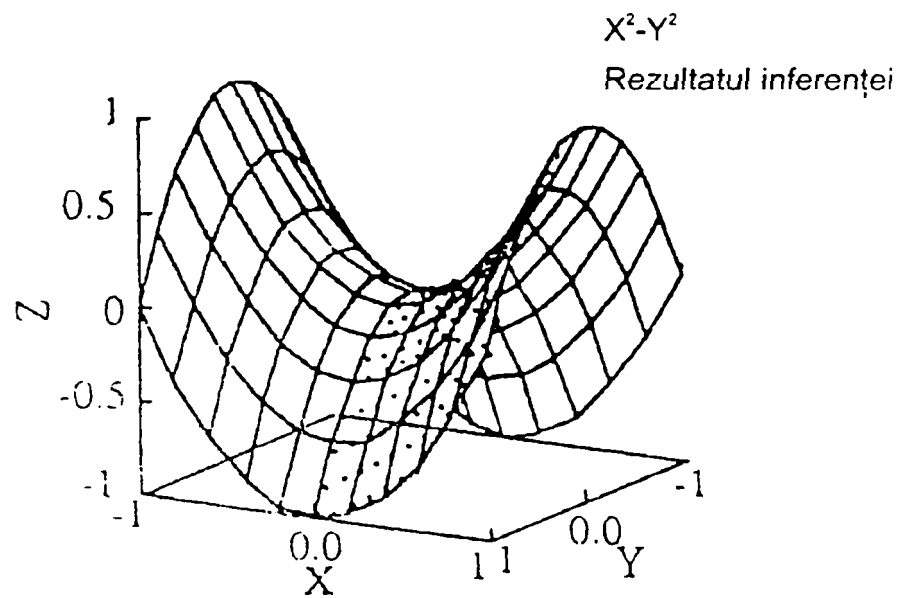


Fig. 2.4.13. Rezultatul inferenței.

pantei celei mai abrupte, astfel încât să se minimizeze funcția de execuție E, care este suma pătratelor diferenței dintre z_p și z_t ,

$$E = \sum_p \frac{E_p^2}{2} = \sum_p \frac{(z_p - z_t)_p^2}{2}, \quad (2.4.5)$$

unde datele de încercare z_p sunt z_t în forma p.

Parametrul k_i^{j+1} la iterația j+1 este

$$k_i^{j+1} = k_i^j - \alpha \frac{\partial E(k_i)}{\partial k_i} \Big|_{k_i=k_i^j} = k_i^j - \alpha \sum_p E_p(k_i^j) \frac{\partial E_p(k_i)}{\partial k_i} \Big|_{k_i=k_i^j} \quad (2.4.6)$$

unde α este un număr mic pozitiv și el corespunde la rata de încercări. Prin utilizarea relației (2.4.5), valoarea derivatei parțiale pentru parametrul k_{11} este dată de:

$$\frac{\partial E_p(k_{11})}{\partial k_{11}} = \frac{\partial E_p(k_{11})}{\partial z_p} \frac{\partial z_p}{\partial k_{11}} = - \left(Z_{2,s} \frac{\partial w_{1,s}}{\partial k_{11}} + Z_{2,m} \frac{\partial w_{1,m}}{\partial k_{11}} + Z_{2,b} \frac{\partial w_{1,b}}{\partial k_{11}} \right) \quad (2.4.7)$$

Prin utilizarea relațiilor (2.4.2) - (2.4.4), valorile derivatei parțiale a aptitudinii sunt date de:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w_{1,s}}{\partial k_{11}} &= \begin{cases} 0 & 0 \geq x \\ x / k_{11}^2 & k_{11} \geq x > 0 \\ 0 & x > k_{11} \end{cases} \quad (2.4.8) \\ \frac{\partial w_{1,m}}{\partial k_{11}} &= \begin{cases} 0 & 0 \geq x \\ -x / k_{11}^2 & k_{11} \geq x > 0 \\ (1-x) / (1-k_{11})^2 & 1 \geq x > k_{11} \\ 0 & x > 1 \end{cases} \\ \frac{\partial w_{1,b}}{\partial k_{11}} &= \begin{cases} 0 & k_{11} \geq x \\ (x-1) / (1-k_{11})^2 & 1 \geq x > k_{11} \\ 0 & x > 1 \end{cases} \end{aligned}$$

Valoarea derivatei parțiale în funcție de parametrul k_{21s} al variabilelor fuzzy în stratul al doilea este:

$$\frac{\partial E_p(k_{21s})}{\partial k_{21s}} = \frac{\partial E_p(k_{21s})}{\partial z_p} \frac{\partial z_p}{\partial Z_{2,s}} \frac{\partial Z_{2,s}}{\partial k_{21s}} = -w_{1,s} \left(B_s \frac{\partial w_{2,s}}{\partial k_{21s}} + M_s \frac{\partial w_{2,m}}{\partial k_{21s}} + S_s \frac{\partial w_{2,b}}{\partial k_{21s}} \right) \quad (2.4.9)$$

Valorile derivatelor parțiale sunt calculate utilizând funcțiile de apartenență ilustrate în fig. 2.4.12. Valoarea derivatei parțiale pentru parametrul S_s al concluziei (partea introdusă prin "atunci") în stratul al doilea este:

$$\frac{\partial E_p(S_s)}{\partial S_s} = \frac{\partial E_p(S_s)}{\partial z_p} \frac{\partial z_p}{\partial Z_{2,s}} \frac{\partial Z_{2,s}}{\partial S_s} = -w_{1,s} w_{2,s} \quad (2.4.10)$$

Alți parametri sunt calculați în același mod ca și ecuațiile de mai sus. După cum s-a menționat, valorile derivatelor parțiale ale parametrilor în funcție de variabilele fuzzy sunt calculate utilizând relațiile (2.4.9) - (2.4.10). Acordarea parametrului este făcută prin substituirea valorilor derivatelor în relația (2.4.8). Mai mult chiar, în acordare parametrul variabilelor fuzzy este ajustat din stratul întâi la stratul al doilea, ca în metoda mersului invers sau a propagării inverse.

Parametrii variabilelor fuzzy sunt prezentați în tabelul 2.4.2.

Parametrii variabilelor fuzzy

Tabelul 2.4.2.

k_{11} :	0,5		
k_{21s} :	0,51	k_{21m} :	0,47
B_s :	0,0	M_s :	- 0,21
B_m :	0,19	M_m :	0,03
B_b :	1,02	M_b :	0,63
		k_{21b} :	0,65
		S_s :	- 1,0
		S_m :	- 0,8
		S_b :	- 0,02

Rezultatul inferenței fuzzy în două straturi este arătat în fig. 2.4.13. Suprafața în formă de șea din fig. 2.4.13 este reprezentată prin linia continuă, iar marcajul cu puncte este rezultatul inferenței. Eroarea maximă dintre rezultatele inferenței și datele încercărilor este de 0,05, când sunt utilizate cele trei tipuri de variabile fuzzy. Performanțele pot fi îmbunătățite prin creșterea numărului de reguli și de variabile fuzzy.

2.4.6. Inferența fuzzy multistrat pentru urmărirea orbitei

Pentru început trebuie avute în vedere rezultatele inferenței în două straturi, conform relațiilor (2.4.11) și (2.4.12).

Variabila z din primul strat este inferată utilizând relația:

$$Z_{\text{multistrat}} = w_{1,s} Z_{2,s} + w_{1,m} Z_{2,m} + w_{1,b} Z_{2,b} \quad (2.4.11)$$

Mărimea $Z_{2,s}$ este rezultatul inferenței din stratul al doilea, care este dat de relația:

$$Z_{2,s \text{ multistrat}} = w_{2,s} B_s + w_{2,m} M_s + w_{2,b} S_s \quad (2.4.12)$$

unde $w_{2,s}$, $w_{2,m}$ și $w_{2,b}$ sunt aptitudinea de mic, mediu și mare în funcție de y , respectiv ele sunt calculate înlocuind k_{11} prin k_{21s} în relația analitică a funcției de apartenență. Mărimile B_s , M_s și S_s corespund concluziilor (introduse prin “atunci”). Celelalte rezultate ale inferențelor $Z_{2,m}$ și $Z_{2,b}$ se obțin prin aceeași metodă ca și (2.4.12). Mai întâi, din (2.4.12) este calculat rezultatul inferenței din stratul al doilea. După aceea, ieșirea modelului este obținută prin utilizarea relației (2.4.11).

În continuare, se aplică inferența fuzzy multistrat. Pentru început, se efectuează inferența în trei straturi. Este de remarcat că numerotarea straturilor merge în profunzime, astfel încât rezultatul final se obține în stratul întâi întotdeauna, indiferent de numărul straturilor. Aceasta este observația autorului lucrării de față.

Autorii lucrării [148] au analizat relația dintre factorul de amplificare al reglării (câștigul) și forma orbitei. Când orbita este aproape dreaptă, câștigul reglării este mic. Dacă câștigul este mare, urmărirea traseului poate deveni instabilă. Când orbita are colțul în formă de unghi drept, câștigul reglării trebuie să fie mărit la colț, spre a evita suprareglarea. De aceea, câștigul reglării trebuie ajustat, în funcție de forma orbitei. Se poate estima din e , e_1 și e_2 care sunt distanțele dintre orbită și linia de referință, la 3 mm, 4 mm și 5 mm în fața capului de sudare, după cum este ilustrat în fig. 2.4.2. Mărimea $\Delta^2 e$ depinde de forma orbitei. Mărimea Δu este inferată din e , Δe și $\Delta^2 e$, după cum este ilustrat în fig. 2.4.9. Deoarece există trei variabile fuzzy, regulile devin complicate. Autorii aplică inferența fuzzy multistrat la urmărirea orbitei (rostului), pentru a reprezenta ușor regulile lingvistice. Inferența fuzzy multistrat este reprezentată prin utilizarea structurii de arbore, după cum este prezentat în fig. 2.4.14. În această figură, relația dintre Δu și e este reprezentată în stratul al treilea. Valoarea inferată în stratul al treilea este dată de relația:

$$\Delta u_2 = w_L du_1 + w_Z du_2 + w_R du_3 \quad (2.4.13)$$

unde w_L , w_Z și w_R sunt aptitudinile funcției de apartenență în stânga, zero și dreapta. Valoarea inferată în stratul întâi este valoarea de manipulare (mărimea de corecție).

Executarea urmăririi rostului depinde de parametrii k_e , k_{de} , k_{de2} , ... și du_3 ai funcției de apartenență a variabilelor fuzzy, arătată în fig. 2.4.15. Parametrii funcției de apartenență sunt

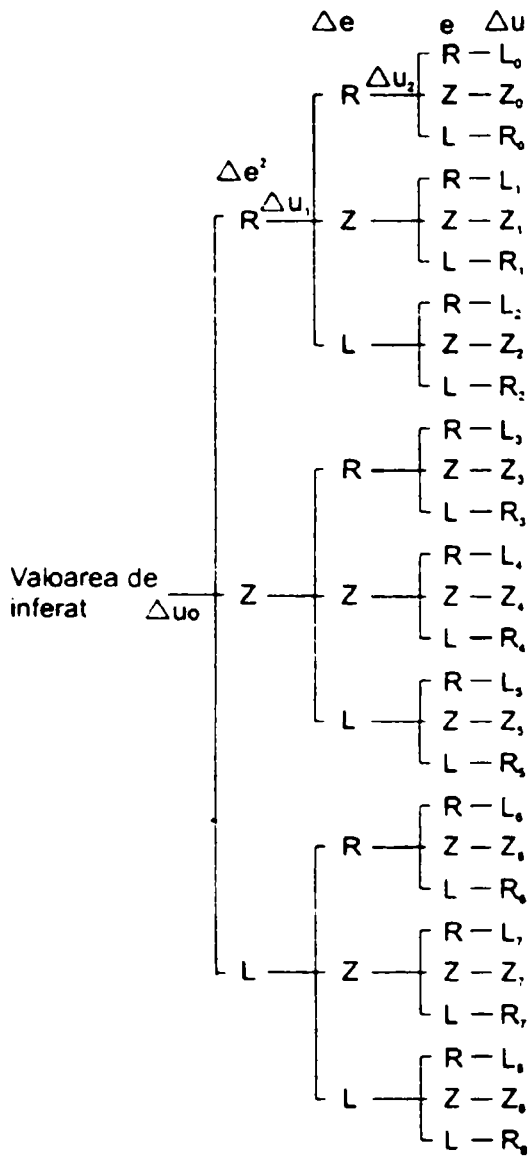
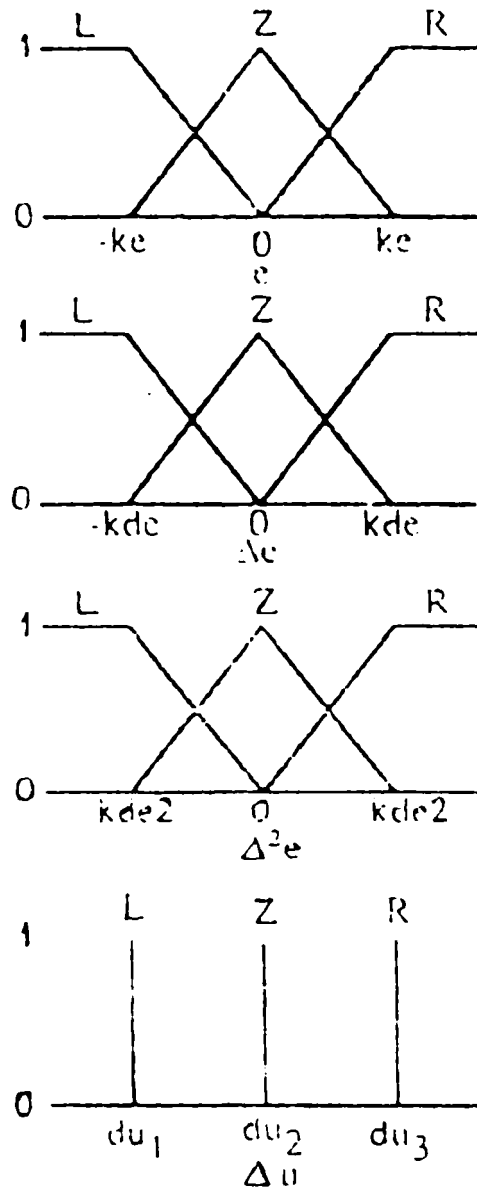


Fig 2.4.15 Funcțiile de apartenență ale interfeței fuzzy multistrat.

Fig. 2.4.14. Reguli de reglare fuzzy în mai multe straturi.



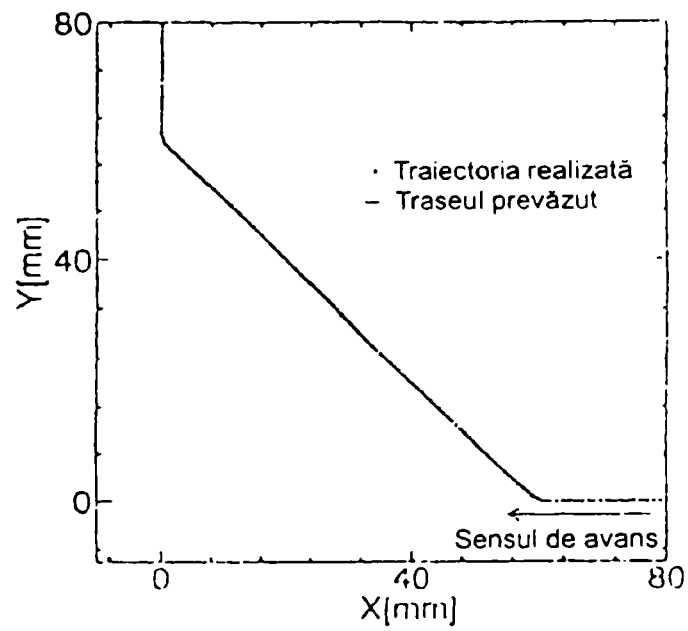


Fig. 2.4.16. Rezultatul urmăririi traseului cu regulatorul fuzzy multistrat (unghi 45°).

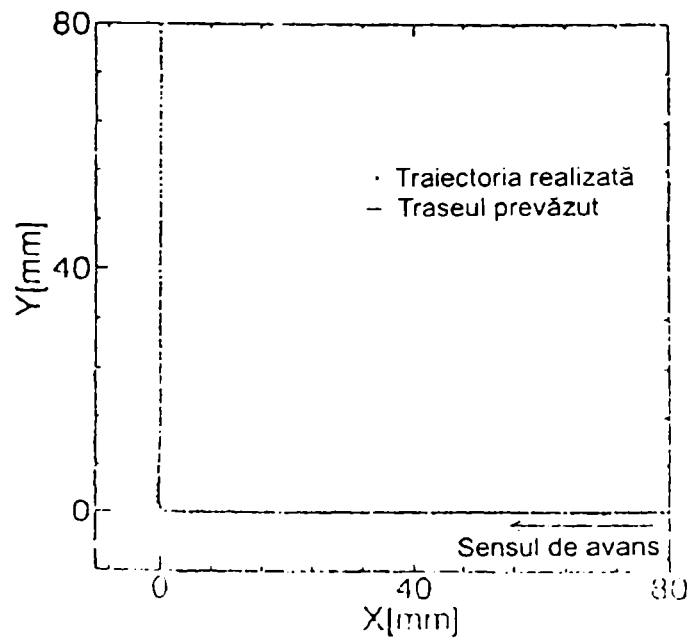


Fig. 2.4.17. Rezultatul urmăririi traseului cu regulatorul fuzzy multistrat (unghi 90°).

acordați prin utilizarea metodei menționate în [148], astfel încât să se minimizeze funcția de performanță J , care este suma totalului pătratelor deviațiilor e și a totalului pătratelor Δe . Au fost executate experimentările fundamentale de urmărire a traseului pentru diferite tipuri de unghiuri pentru a obține datele de încercări.

Este efectuat experimentul de urmărire a traseului cu regulatorul fuzzy multistrat. Rezultatul urmăririi orbitei cu unghi la 45° este arătat în fig. 2.4.16. Suprareglarea și eroarea de stare staționară sunt nule. Rezultatul urmăririi orbitei având la colț un unghi drept este arătat în fig. 2.4.17. Ca rezultat al urmăririi traseului se obține o execuție bună, care nu are suprareglare și nici eroare de stare staționară.

2.5. Sistem cu oscilații și senzor neuronal de arc electric pentru urmărirea rostului [151]

Procedeul de sudare cu arcul electric constituie o tehnologie modernă importantă de îmbinare a tablelor metalice. Este important să se realizeze roboți de sudare inteligenți pentru a obține o bună calitate a sudurii. În acest scop este necesar să se detecteze și să se regleze orientarea (starea) și poziția capului de sudare. Atunci când capul de sudare oscilează în rostul de sudare, înălțimea capului de sudare față de suprafața băii de sudare se schimbă. În funcție de înălțimea capului, se modifică curentul de sudare și tensiunea de sudare. În general, atunci când este utilizat senzorul de arc electric convențional la sudarea MIG/MAG, deviația, care este distanța de la centrul rostului la centrul oscilației, este detectată fie prin utilizarea variațiilor curentului, fie prin utilizarea variațiilor tensiunii. La senzorul de arc convențional este dificil să se detecteze simultan înălțimea și orientarea capului de sudare. În această lucrare, autorii propun un senzor neuronal de arc, de tipul senzor de topire, pentru a detecta în mod simultan deviația, orientarea și înălțimea capului de sudare, la care curentul și tensiunea de sudare sunt măsurate într-o jumătate de perioadă a oscilațiilor, iar apoi sunt aplicate la rețelele neuronale. Întâi, autorii tratează despre fenomenele de sudare ca fenomene de topire în sârma-electrod. La sudarea cu arcul electric în mediu de CO_2 în regim de scurtcircuit, fenomenele de topire de la sârma - electrod sunt descrise prin utilizarea ecuațiilor diferențiale unidimensionale cu derivate parțiale, bazate pe o ecuație a conducției termice. În continuare, datele de încercări ale rețelelor neuronale sunt construite din simulări numerice. Performanțele senzorului neuronal de arc sunt examinate prin utilizarea datelor experimentale, de la încercările și probele efectuate [151, 152, 153, 282].

2.5.1. Ecuațiile fundamentale pentru sudarea MAG în regim de scurtcircuit

S-a efectuat oscilarea capului de sudare cu o frecvență de 10 Hz și o amplitudine de 2 mm, în rostul de sudare, după cum este ilustrat în fig. 2.5.1. În funcție de poziția capului de sudare, se schimbă și înălțimea sa.

În cadrul circuitului de sudare din fig. 2.5.2, L este inductivitatea cablului, iar i este curentul de sudare. Ecuațiile fundamentale de la sudarea cu arcul electric în mediu de CO_2 în regim de scurtcircuit pot fi deduse după cum urmează. Relația dintre caracteristica sursei de sudare și curent este:

$$\frac{di}{dt} = \frac{E(i) - V_t}{L}, \quad (2.5.1)$$

unde $E(i)$ este tensiunea sursei de putere cu caracteristică de tensiune constantă, iar V_t este tensiunea la vârful capului de sudare. Să presupunem că originea sistemului de coordonate este în vârful capului de sudare.

Tensiunea într-un punct x al electrodului-sârmă este:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 i, \quad (2.5.2)$$

unde L_0 este inductivitatea pe unitate de lungime, iar R_0 este rezistența pe unitatea de lungime.

$$V|_{x=0} = V_t \text{ și } V|_{x=y} = V_a$$

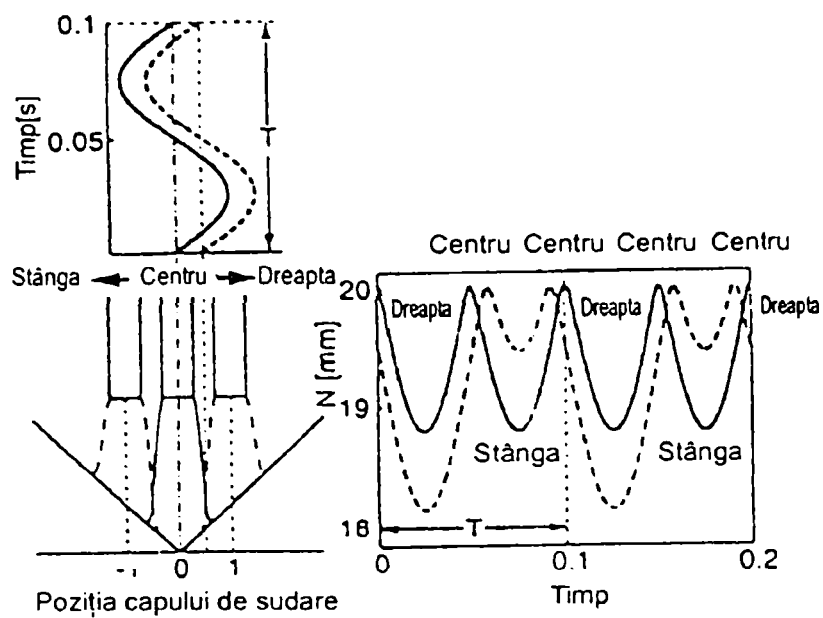


Fig. 2.5.1. Relația dintre capul de sudare și rost.

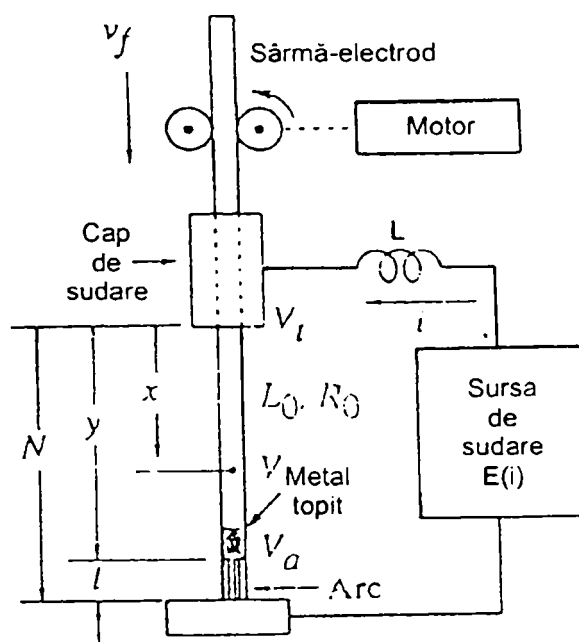


Fig. 2.5.2. Sistemul de sudare.

Caracteristica curentului și a tensiunii arcului V_a este dată de relația:

$$V_a = aI + b + (d + cI) I \quad (2.5.3)$$

unde parametrii a , b , c și d sunt determinați prin utilizarea rezultatelor experimentărilor fundamentale. Autorii au dedus ecuația diferențiată unidimensională cu derivate parțiale pentru a descrie comportamentul temperaturii pe sârma-electrod.

S-a utilizat un sistem de coordonate în deplasare (X, T) cu viteza de avans al sârmei v_f , după cum se arată în fig. 2.5.3. Relația dintre un sistem de coordonate fix (x, t) și un sistem de deplasare (X, T) este:

$$x = v_f t + X \Big|_{t=T} \quad (2.5.4)$$

Temperatura $U(X, T)$ în punctul X este:

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{R_0(1+qU)}{4,2\rho sc} I^2, \quad (2.5.5)$$

unde k este conductivitatea termică, iar ρ este densitatea sârmei-electrod, s este suprafața secțiunii transversale a sârmei, R_0 este rezistența pe unitatea de lungime, q este coeficientul de temperatură al rezistenței, iar c este căldura specifică.

Condițiile de frontieră sunt după cum urmează: Arcul electric are loc la capătul sârmei, după cum este ilustrat în fig. 2.5.3. Energia arcului este egală cu energia transmisă prin conducția termică. În timpul perioadelor arcului condiția de frontieră este dată de:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial X} \right|_{x=y} = \frac{\alpha \cdot I}{4,2s}, \quad (2.5.6)$$

unde α este tensiunea echivalentă a arcului.

Dacă vârful sârmei ajunge în contact cu baia de sudare, metalul topit de pe electrodul-sârmă se transferă către metalul de bază. În timpul scurtcircuitului, să presupunem că temperatura la vârful sârmei este aceeași cu cea din baia de sudare. Există un schimb adiabatic la vârful sârmei. De aceea, condiția de frontieră este dată de:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial X} \right|_{x=y} = 0 \quad (2.5.7)$$

Sunt discutate condițiile în cazul în care arcul electric se produce din scurtcircuit.

Să presupunem că curentul care pornește din contactul dintre capătul sârmei și baia de sudare depinde de lungimea metalului topit (lichidului) de pe sârmă. Pe măsură ce stratul de lichid devine scurt, curentul de prag devine mare. Dacă curentul de sudare depășește pragul de curent în timpul scurtcircuitului, se amorsează arcul electric. Lungimea arcului este egală cu lungimea stratului de lichid de pe sârmă, exact înaintea apariției arcului.

Transformând un sistem de coordonate în deplasare într-un sistem de coordonate fixe, ecuația fundamentală a fenomenelor de topire este:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} v_f + \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{R_0(1+qU)}{4,2\rho sc} I^2 \quad (2.5.8)$$

Atunci când temperatura electrodului-sârmă devine mai mare decât punctul de topire 1535°C , se presupune că sârma se topește și se transformă în lichid, adică există două faze (solidă și lichidă) în sârmă. Autorii au aplicat metoda entalpiei pentru a afla comportamentul temperaturii. Fig. 2.5.4 prezintă relația dintre entalpia $a = \rho c$ și temperatura U . Entalpia crește în apropierea punctului de topire datorită căldurii latente β .

Utilizând entalpia a , ecuația precedentă pentru faza solidă poate fi rescrisă după cum urmează:

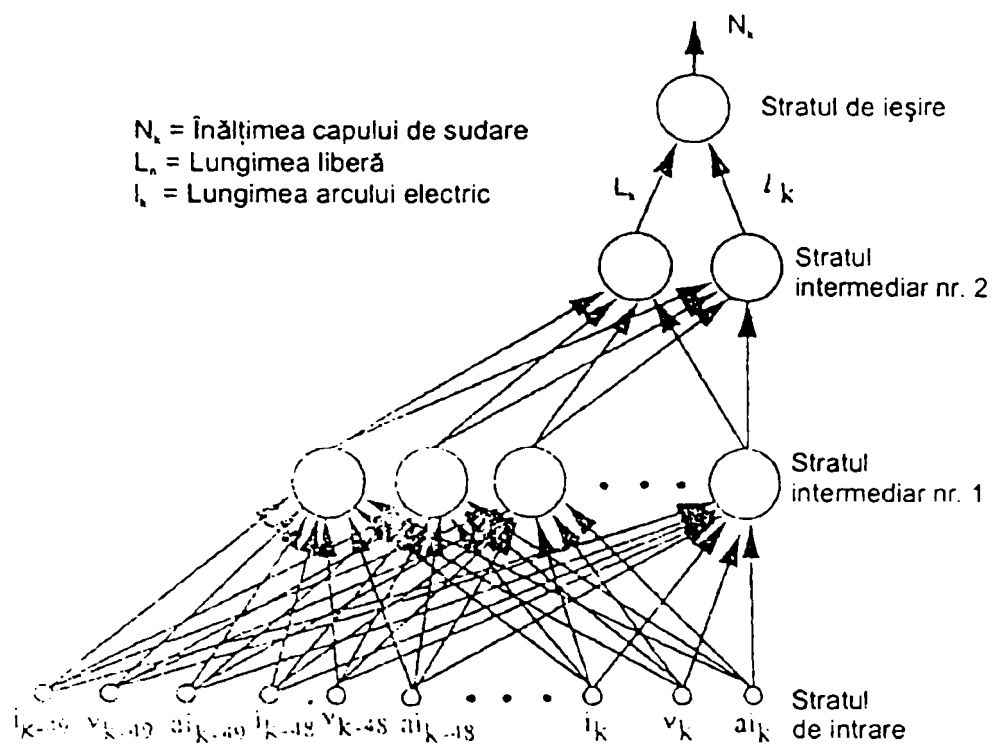


Fig. 2.5.3. Rețea neuronală 1 pentru estimarea înălțimii capului de sudare.

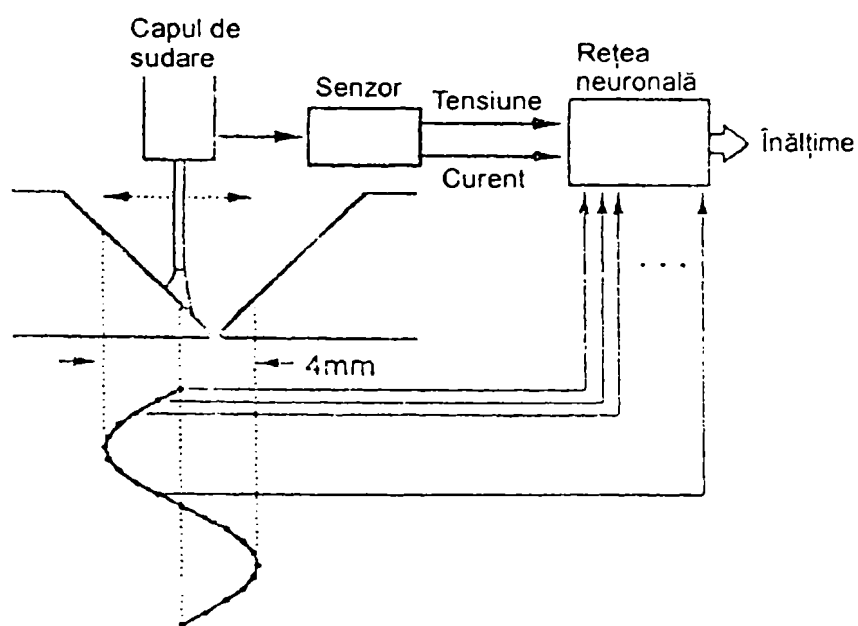


Fig. 2.5.4. Punct de eșantionare a tensiunii și curentului.

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \rho C_s \frac{\partial u}{\partial x} v_f + k_s \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{R_0(1+qU)}{4,2s} i^2, \quad (2.5.9)$$

unde k_s și C_s sunt respectiv conductivitatea termică și căldura specifică în fază solidă.
Ecuția (2.5.8) în fază lichidă poate fi rescrisă după cum urmează:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \rho C_l \frac{\partial u}{\partial x} v_f \mp k_l \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \mp \frac{R_0(1+qU)}{4,2s} i^2, \quad (2.5.10)$$

unde k_l și C_l sunt respectiv conductivitatea termică și căldura specifică în fază lichidă.

Problema referitoare la fenomenele de topire din sârmă este analizată prin utilizarea metodei entalpiei. Simulările numerice ale topirii sârmei sunt efectuate prin transformarea relațiilor (2.5.1), (2.5.2), (2.5.6), (2.5.7), (2.5.9) și (2.5.10) în ecuații diferențiale și prin utilizarea parametrilor din tabelul 2.5.1.

Parametrii utilizați în simulări numerice [151]

Tabelul 2.5.1.

a	6,4 V/cm	k_s	0,082 cal/cm · s · grd	q	0,0106 l/ grd
b	19,85 V	k_l	0,984 cal/cm · s · grd	α	10 V
c	0,12 V/Am	c_s	0,170 cal/g · grd	β	64 cal/g
d	0,0093 V/A	c_l	0,196 cal/g · grd	L	0,3 mH
ρ	7,87 g/cm ³	R_0	0,0015 Ω /cm	v_f	100 mm/s
		s	0,013 cm ²		

2.5.2. Senzorul neuronal de arc electric pentru detectarea poziției, orientării și înălțimii capului de sudare [151]

Senzorul de arc electric tradițional utilizează fie tensiunea de sudare, fie curentul de sudare într-un ciclu de oscilație a capului de sudare, pentru a detecta deviația de la centrul rostului. În această lucrare sunt aplicate două rețele neuronale pentru a detecta simultan deviația, orientarea (starea) și înălțimea capului de sudare. Prima este utilizată pentru a detecta înălțimea N_k în momentul k al eșantionării. Rețeaua are două straturi ascunse (intermediare). Ieșirile sale sunt lungimea liberă L_k a sârmei și lungimea arcului l_k . Ele se estimează prin utilizarea tensiunii de sudare v_k , curentului i_k și curentului arcului a_{i_k} , care este utilizat pentru a reprezenta efectele energiei arcului electric.

Adică:

$$\begin{array}{ll} a_{i_k} = 0 & : \text{ Scurtcircuit} \\ i_k & : \text{ Arc electric} \end{array}$$

Lungimea liberă L_k și lungimea arcului electric l_k sunt estimate prin utilizarea valorilor de eșantionare pe 1 ms într-o jumătate de perioadă a oscilației, după cum se ilustrează în fig. 2.5.6. Numărul de unități în stratul de intrare este 150. Numărul de unități în stratul ascuns 1 este de 15.

Rețeaua neuronală poate estima înălțimea capului de sudare în 100 de puncte pe o perioadă a oscilației. Acestea sunt aplicate la rețeaua neuronală 2 pentru a estima deviația D_k . Rețeaua neuronală nr. 2 este constituită din stratul de intrare cu 100 de intrări ($N_0, N_1, N_2, \dots, N_{99}$), un strat ascuns și stratul de ieșire.

2.5.3. Performanțele rețelei neuronale [151]

Pentru a examina performanțele senzorului neuronal de arc electric, sunt efectuate simulări numerice. Să presupunem că mișcarea de oscilație a capului de sudare este sinusoidală, iar amplitudinea oscilației este de 1 mm pe o parte. Dacă centrul oscilării este în centrul rostului, înălțimea capului de sudare N_k de la suprafața băii de sudare până la capul de sudare este 20 mm în centrul rostului și 19 mm la una dintre extremitățile oscilației.

Mai întâi, centrul oscilării ($D = 0$) este amplasat în centrul rostului. Variația curentului de sudare, a tensiunii și a înălțimii capului de sudare sunt înregistrate ca date experimentale. Datele în intervalul de 0,2 sec. sunt date de verificare. Restul datelor sunt utilizate ca date de încercare pentru a examina performanțele rețelelor neuronale. O bună performanță a estimării lungimii libere L și a lungimii arcului l este obținută cu datele de încercări. Ieșirea rețelei neuronale D este deviația de la centrul rostului. În datele de încercări, D este aproape 0.

În continuare, centrul oscilării este deplasat cu circa 0,5 mm în partea dreaptă a rostului ($D = 0,5$ mm). Rezultatele simulării numerice au fost înregistrate. Ieșirea rețelei D este aproape 0,5 mm. Datele în intervalul de 0,3 sec. sunt datele de pregătire. Restul de date sunt utilizate ca date de încercări pentru a examina performanțele rețelelor neuronale. Cu datele de încercări sunt obținute bune performanțe ale estimării lungimii libere L și a lungimii l a arcului electric. Ieșirea rețelei neuronale D este aproape 0,5 mm. Similar, este examinat și înregistrat cazul pentru deviația de 1 mm. Prin examinarea rezultatelor, este verificat că se obțin performanțe bune ale rețelei neuronale.

2.6. Sistem automat inteligent de monitorizare și de conducere pentru procedeul de sudare WIG [158]

2.6.1. Elaborarea unui sistem de sudare WIG cu reglare inteligentă

În scopul de a adapta sistemul de reglare inteligentă la sudarea automată, sunt necesare următoarele funcțiuni: monitorizarea (supravegherea) automată a parametrilor de sudare, care se modifică în mod continuu datorită perturbațiilor și afectează calitatea sudurii; compararea lor cu parametrii de sudare prescriși în tehnologia de sudare; corectarea parametrilor de sudare sau decizia de oprire a procesului, pentru evitarea rezultatelor necorespunzătoare.

Perturbații majore la sudarea WIG sunt considerate vântul sau curenții de aer, oprirea gazului de protecție, oprirea sârmei de adaos, atingerea capului de sudare de către alte piese, etc.

Dintre factorii controlați de către sudor pentru reducerea efectului perturbațiilor menționate sunt selectați următorii șapte factori, care devin parametri de sudare: condiția gazului de protecție, forma și direcția arcului electric, forma băii topite, poziția de alimentare cu sârmă de metal de adaos, forma electrodului, poziția electrodului față de rost și forma sudurii.

Sesizarea acestor șapte parametri de sudare a fost efectuată prin elaborarea sistemului de sudare WIG cu reglare inteligentă, amplasând senzorii după cum este prezentat în fig. 2.6.1. O cameră CCD dotată cu un filtru de bandă și cu un filtru de rejectare pentru infraroșu, precum și cu un microfon de tipul condensat compact sunt poziționate în fața capului de sudare pentru a detecta forma electrodului și celelalte aspecte, ca și sunetele produse de procesul de sudare, toate fiind parametri de sudare. În spatele capului de sudare este proiectată o rază laser îngustă spre zona sudată, pentru a detecta forma rîndului de sudură și forma rostului de sudare. Analiza factorilor care influențează procesul de sudare (fig. 2.6.2) utilizează criteriile descrise în continuare.

(1). Forma electrodului

a) Vârful electrodului este preluat în imagine când curentul de sudare este întrerupt sau este la nivelul său cel mai mic de la un moment dat. Imaginea este analizată pentru a obține profilul electrodului.

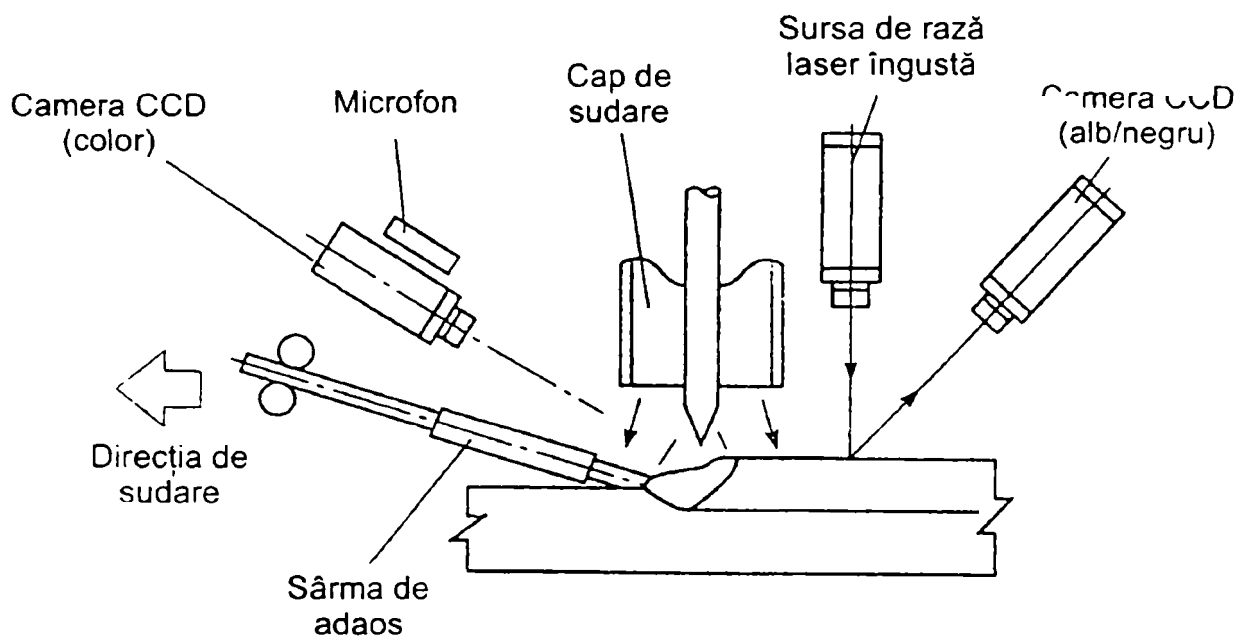
b) Cu ajutorul acestui profil, este estimat profilul original al electrodului.

c) Prin compararea celor două profile, se obțin cantitatea de material lipsă din vârful electrodului și cantitatea de oxid aderent pe electrod.

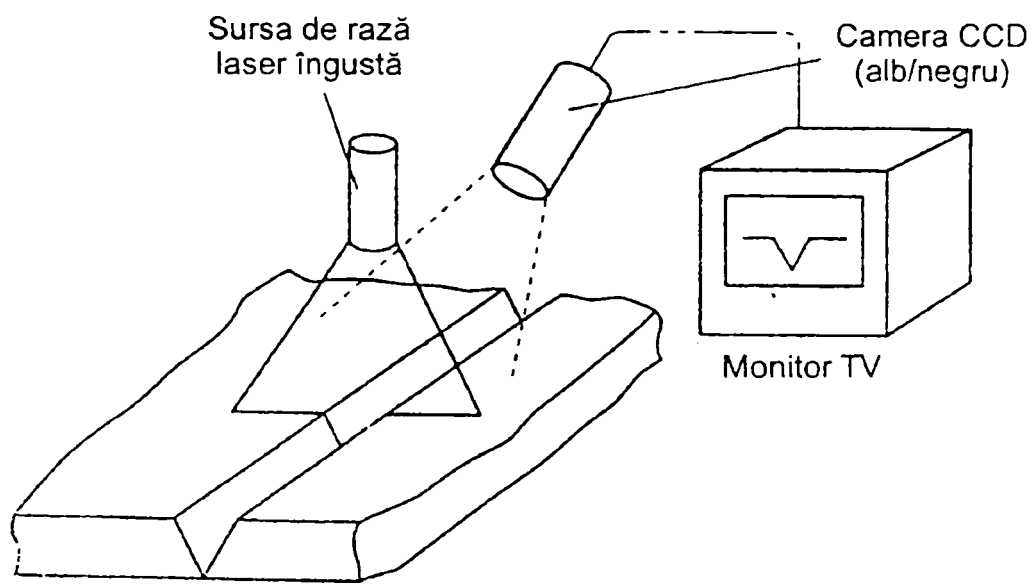
(2). Direcția arcului electric

a) Imaginea este luată la valoarea de vârf a impulsului de curent. Cu această imagine este obținut centrul mișcării de balans a arcului electric.

b) Gradul de înclinație a arcului este calculat din poziția centrului arcului și poziția vârfului electrodului obținută la punctul anterior.



a) Senzorul de configurație.



b) Metoda senzorului razei înguste laser.

Fig. 2.6.1. Senzorii de monitorizare a parametrilor de sudare.



suprafața de aderență
 suprafață de lipsă a vârfului electrod

a) Deteriorarea electrodului

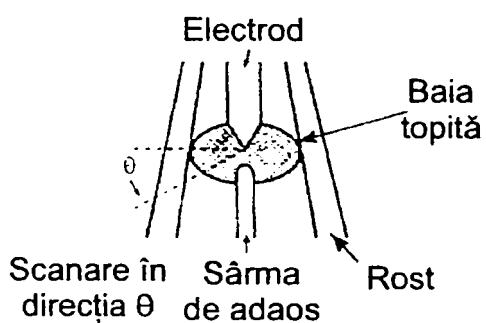


Centrul de greutate al arcului

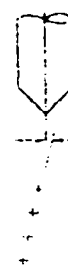
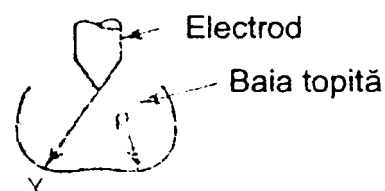
b) Direcția arcului



Imaginea după tratament suprapusă peste cea inițială



După tratament
 c) Forma băii topite



deplasare δ

d) Poziția sârmei de adaos

Fig. 2.6.2. Rezultatul analizei imaginii pentru detectarea parametrilor de sudare.

(3). Forma băii de metal topit

Baia de metal topit, pe care sudorul o supraveghează cu cea mai mare grijă este extrem de greu să fie recunoscută, din cauza efectului coloanei arcului. Totuși, autorii au cercetat recunoașterea băii topite prin intermediul următoarelor proceduri:

S-a acordat atenție faptului că distribuția iluminării băii topite în imaginea originală diferă de cea a zonei solide din jur, iar limita băii s-a obținut prin scanarea începând de la vârful electrodului, în fața băii topite, pe direcție radială, utilizând procesarea diferențială.

(4). Sârma de metal de adaos

a) Imaginea originală, adică imaginea sârmei de adaos din fața duzei de alimentare este divizată în suprafețe elementare și acestea sunt codificate binar.

b) Se calculează centrul de greutate pentru fiecare suprafață. Distribuția pozițiilor acestor centre este extrapolată la o poziție apropiată de vârful electrodului, pentru a detecta deviația față de vârful electrodului (δ).

Reglarea poziției electrodului prin metoda fuzzy

Mărimile de intrare ale metodei fuzzy de reglare sunt panta rândului de sudură și deviația poziției electrodului față de centrul rostului de sudare și, în plus, direcția și viteza de deplasare a electrodului în cazul în care electrodul se mișcă.

Mărimile de ieșire ale reglării fuzzy sunt direcția și viteza de deplasare a electrodului. Panta flacului rândului de sudură este obținută prin informații despre forma rândului de sudură, iar deviația poziției electrodului față de centrul rostului de sudare este obținută cu ajutorul lățimii rostului și al poziției electrodului. Funcțiile de apartenență ale intrărilor urmează să fie de tip triunghiular și ele sunt divizate în șapte nivele: NL, NM, NS, ZO, PS, PM și PL. Algoritmii de reglare este compus din 22 de reguli, iar mărimile de ieșire sunt realizate prin "metoda centrului de greutate cu adunare prin sumă algebrică".

2.6.2. Aplicarea industrială a sistemului [158]

Sistemul de sudare WIG cu reglare inteligentă menționat în capitolul anterior a fost aplicat la sudarea pe circumferință în poziție orizontală a recipientului încărcăturii, care este o componentă a unei centrale nucleare.

Metoda de sudare

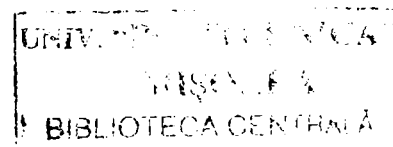
Recipientul încărcăturii este una dintre părțile constructive ale zonei active a recipientului reactorului; el este fabricat din oțel inoxidabil SUS 304 și este un cilindru cu pereți groși având diametrul de cca. 4000 mm, înălțimea de cca. 8000 mm și grosimea peretelui de cca. 50 mm. Acest cilindru este executat prin sudare pe circumferință în două poziții, la secțiunea de sus și la secțiunea de jos. Secțiunea de sudare de jos are grosimea de 38 mm. Sudarea este efectuată în poziție orizontală asupra recipientului încărcăturii, amplasat pe o masă de poziționare și rotire, cu ajutorul unui cap de sudare WIG staționar, în condițiile utilizării ventilației de aer condiționat. Sudarea a fost făcută în rost îngust, cu un rând de sudură (o trecere) / strat, cu excepția ultimului strat, totalul fiind de 27 de rânduri de sudură, în 24 de straturi.

Criterii considerate la aplicarea sistemului inteligent

(1). Criteriul "Normal / Anormal" pentru fiecare mărime monitorizată este stabilit făcând referință la aprecierea din partea unor sudori calificați pentru sudarea în rost îngust în poziție orizontală.

(2). În timpul sudării, sudorul a efectuat operații precum înlocuirea electrodului ș.a. În acest caz s-a urmărit dacă sistemul de sudare WIG cu reglare inteligentă dă la ieșire semnalul de alarmă "Anormal", prin funcția de evaluare a acestui sistem.

(3). Deoarece timpul de sudare a fost lung, camera de sudare a fost răcită forțat cu aer de răcire pentru a îmbunătăți rezistența sa la temperatură.



(4). Forma vârfului electrodului a fost obținută prin analizarea și extrapolarea imaginii secțiunii conice, cu profilul electrodului văzut în imaginea originală și s-a monitorizat aderarea de material suplimentar, pornind de la acest profil de bază.

(5). Din cauza sudării în poziție orizontală, poziția de alimentare cu sârmă de metal de adaos este puțin mai sus decât poziția electrodului. De aceea, poziția sa de alimentare detectată la început a fost stabilită ca valoare inițială și a fost monitorizată deviația de la această poziție.

(6). Criteriul "Normal / Anormal" pentru sunetele de la sudare a fost stabilit după măsurători prelabile ale zgomotului de fond în situația reală de la postul de sudare.

2.6.3. Rezultatele aplicației și evaluarea lor [158]

(1). Pentru cantitatea de aderențe de material suplimentar pe suprafața electrodului, a fost stabilită ca "Anormal" valoarea de cel puțin cca. 20 % a proiecției ariei secțiunii conului electrodului. Nu a existat nici un caz în care valoarea de mai sus să fi fost depășită. Cantitatea de aderențe de material străin chiar înaintea înlocuirii electrodului a fost de cca. 15 %, iar criteriul stabilit a fost rezonabil pentru controlul formei electrodului.

(2). Devierea arcului a fost aproximativ în limitele de ± 5 %. Valoarea de 10 % prescrisă ca limită inferioară de "Anormal" nu a fost depășită. Acest lucru se consideră a fi datorat faptului că nu a existat vreun factor magnetic de deviere a arcului electric, deoarece forma electrodului a fost complet controlată, și, de asemenea, metalul de bază a fost oțel inoxidabil austenitic, iar sudarea s-a făcut pe circumferință.

(3). După cum s-a arătat în imaginile originale, baia de metal topit a fost luată în imagini în mod clar până la marginea peretelui. Acordând atenție faptului că dispersia intensității luminoase a băii topite în această imagine originală diferă de aceea a suprafeței solide, a fost extras profilul secțiunii frontale a băii topite. A survenit un astfel de caz acolo, unde profilul extras menționat mai sus nu a corespuns cu profilul selectat de către un sudor din aceeași imagine originală.

(4). Pentru poziția de alimentare cu sârmă de metal de adaos, deviația de cel puțin 2 mm de la poziția prescrisă inițial a fost stabilită ca "Anormală", dar nu a existat nici un caz de depășire a acestei valori.

(5). Valoarea de cel mult 0,7 mm a fost prescrisă ca "Anormală" pentru raza de curbură a rândului de sudură în locul de legătură cu peretele lateral al rostului de sudare. În centrul rândului de sudură, convexitatea a fost stabilită "Anormală". Oricum, nu a existat nici un caz "Anormal" și astfel nu a fost necesară nici o ajustare cu polizorul. Aceasta înseamnă că au fost stabiliți și menținuți prin reglare parametrii de sudare adecvați.

(6). Devierea poziției electrodului a fost monitorizată pe display-ul CRT. Rezultatele arată că a fost măsurată o valoare maximă de 1 mm, respectiv s-a prescris o valoare de până la 1,5 mm ca "Anormală". În plus, au fost obținute rânduri de sudură având un aspect extrem de uniform, iar variații ale pantei laterale a rândului de sudură au fost detectate în foarte mică măsură.

(7). Sunetele de la sudare obținute prin filtrul trece-bandă pentru domeniul de înaltă frecvență au avut un nivel de aproximativ 50 dB. Sunete de la sudare având un nivel de peste 55 dB nu au fost evidențiate prin măsurare. Acestea ar fi produse atunci când scăpări de apă ar intra în baia topită sau când vântul ar perturba protecția arcului. Aceste condiții nu au survenit în realitate.

(8). După ce sudarea s-a terminat, au fost efectuate verificările radiografice (controlul cu radiații penetrante). Nu a fost decelat nici un defect, precum lipsa de topire, amestec cu wolfram, porozitate, etc., iar secțiunile sudate au fost confirmate ca fiind corespunzătoare.

(9). Cu rezultatele menționate mai sus, evaluarea parametrilor de sudare prin intermediul sistemului de sudare WIG cu reglare inteligentă, cu criteriul de control stabilit pe baza parametrului de sudare interpretat de către sudori calificați, a fost estimat ca funcționând eficient.

Sistemele complexe computerizate de monitorizare și de conducere a procedeelor automatizate și robotizate de sudare au aplicații în construcția de nave [259-261], în industria de

automobile, în construcții, în execuția de instalații energetice și utilitare [264], iar unele sunt destinate anumitor utilizări speciale în diverse domenii de activitate [263, 275-279].

2.7. Procesarea imaginii și recunoașterea în timp real a imaginii rostului de sudare

Procesarea în timp real a imaginii rostului de sudare (traseului de sudare) este o modalitate de a oferi robotului de sudare posibilitatea de a urmări traseul de sudare real, cu abateri minime față de acesta [154-156, 266-269, 278-281].

Algoritmul prezentat în lucrarea [156] descrie două procedee de prelucrare a imaginilor, și anume detectorul de muchie Sobel modificat și funcția de transformare Hough. În esență sunt create în mod adaptat praguri pentru procesarea imaginii, prin intermediul unei rețele neuronale.

Experimentările au arătat că acest algoritm are o siguranță ridicată în utilizare și este foarte rapid în distingerea poziției traseului de sudare, chiar și în prezența unor zgomote. Algoritmul poate fi utilizat ca program de bază pentru urmărirea de către robot a traseului de sudare și, în continuare, spre a calcula informația tridimensională necesară pentru a programa în mod automat mișcarea robotului.

Dintr-o imagine comună de 512 x 512 pixeli este selectată o mică fereastră a traseului de sudare cu dimensiunile de 100 x 100 pixeli sau de 100 x 20 pixeli, care constituie subiectul abordat, spre a reduce astfel timpul necesar pentru analiză. Detectarea traseului de sudare este în general compusă din pașii succesivi următori:

- înregistrarea unui cadru de la cameră;
- netezirea liniară și eliminarea scânteilor;
- convoluția operatorului Sobel;
- limitarea cu rețea neuronală; transformarea Hough;
- găsirea liniei.

A fost selectată o rețea neuronală de bază cu propagare inversă (BP = back propagation) pentru a crea pragurile. Rețeaua neuronală are trei straturi. Ea are 22 de noduri în stratul de intrare, 10 noduri în stratul intermediar și 2 noduri în stratul de ieșire. Fiecare nod este conectat cu fiecare nod din stratul următor, dar nu există nici o conexiune între nodurile din același strat.

Cele 22 de intrări ale rețelei sunt obținute din curba histogramei de gradient, care înmagazinează informația statistică a muchiei și a fondului. Începând de la extremul curbei către punctul său de bază din dreapta, segmentul este divizat pe orizontală în 11 puncte. Fiecare dintre acestea corespunde la o pereche de valori ale unei axe. Cu factorii de conectare realizați, stratul final va da două valori. Curba histogramei are aspectul distribuției statistice Weibull.

Pentru a determina factorii de conectare perfecți ai rețelei neuronale, au fost făcute 100 de probe. Exercițiile au fost efectuate pe un computer PC 386. După circa 45.000 de încercări rețeaua neuronală dă la ieșire pragurile cu o eroare mai mică de 2 %. De aceea, rețeaua stabilită în final poate da la ieșire două praguri adaptive $Th1 < Th2$.

Pragul $Th1$ este aplicat câmpului de gradient pentru a obține direcția aproximativă a traseului de sudare.

Pragul $Th2$ efectuează suprimarea pixelilor care nu au valori suficiente ale gradientului, adică acei pixeli sunt considerați ca zgomot și ei sunt îndepărtați.

Au fost efectuate mai multe experimentări, cu fazele menționate mai sus. S-au înregistrat câteva rezultate tipice ale procedurilor aplicate.

La rost în V și la îmbinări cu suprapunere, rata de precizie a recunoașterii este de peste 97%, iar precizia detectării traseului este până la ± 1 pixel ($\pm 0,2$ mm în experimentări).

Acest algoritm poate constitui bazele calculului tridimensional al sistemului vizual al robotului, dacă în sistem se integrează două camere de CCD (charge-coupled device = aparat cuplat cu sarcina). Sistemul prezentat este o contribuție la automatizarea mișcării robotului de sudare.

2.8. Reglarea Fuzzy a vitezei sârmei la sudarea WIG automatizată

În timp ce sistemele bazate pe reguli funcționează bine atunci când ele tratează informație relevantă, adică acolo unde faptul este sau adevărat sau fals, acest lucru poate cauza probleme într-un sistem automat, atunci când o intrare oscilează în jurul unei valori de prag. Atunci când el se află sub prag, sistemul va produce o ieșire, iar atunci când el este deasupra pragului, sistemul poate produce o ieșire diferită. Astfel de schimbări rapide ale ieșirii pot reduce calitatea procesului. În logica fuzzy, pentru a trece peste aceste probleme, în loc să se utilizeze mărimi de intrare care aparțin la o singură clasă de intrări, adică mai mare decât pragul sau mai mică decât pragul, ele pot fi atribuite la clase multiple, cu o funcție de apartenență diferită. Acest proces se numește fuzzificare. Fig.2.8.1 [179] prezintă un exemplu simplu, pentru sudarea WIG, unde senzorii detectează interstițiul rostului de sudare și dimensiunea băii de sudare. Dacă, de exemplu, senzorul ar detecta un interstițiu al rostului de sudare de 1 mm, acest sistem în logica fuzzy ar aloca apartenența la clasele (termenii lingvistici) denumite interstițiu zero, interstițiu mediu și interstițiu mare, în modul următor:

$$X(\text{interstițiu zero}) = 0,6; \quad X(\text{interstițiu mediu}) = 0,4; \quad X(\text{interstițiu mare}) = 0,0.$$

Aceste valori se obțin citind punctele unde mărimea (reprezentată grafic) intersectează limitele de clasă din fig. 2.8.1.a. În mod similar, pentru dimensiunea băii de sudare în cazul unei băi de 5 mm, funcțiile de apartenență ar fi:

$$X(\text{baie mică}) = 0,0; \quad X(\text{baie medie}) = 0,5; \quad X(\text{baie mare}) = 0,5$$

după cum se arată în fig.2.8.1.b. În acest exemplu, funcțiile de apartenență sunt triunghiulare, dar nu este absolut necesar să fie astfel.

O dată ce apartenența claselor este cunoscută, pot fi aplicate regulile. Întrucât valorile pentru funcțiile de apartenență sunt între 0 (zero) și 1 (unu), este necesar să modificăm regulile pentru funcțiile logice ȘI, SAU și NU. Sunt disponibile diferite strategii pentru aceasta, dar cea mai utilizată în mod curent este cea propusă de către Zadeh. În abordarea sa, funcția ȘI fuzzy este minimul funcțiilor de apartenență, în timp ce funcția SAU fuzzy este maximul funcțiilor de apartenență. Funcția NU fuzzy este funcția de apartenență 1. Regulile fuzzy aplicate în fig.2.8.1 sunt următoarele:

1. Dacă (rostul este zero) și (baia este mică), atunci (viteza sârmei este lentă).
2. Dacă (rostul este zero) și (baia este mijlocie), atunci (viteza sârmei este lentă).
3. Dacă (rostul este zero) și (baia este mare), atunci (viteza sârmei este mijlocie).
4. Dacă (rostul este mijlociu) și (baia este mică), atunci (viteza sârmei este mijlocie).
5. Dacă (rostul este mijlociu) și (baia este mijlocie), atunci (viteza sârmei este mijlocie).
6. Dacă (rostul este mijlociu) și (baia este mare), atunci (viteza sârmei este rapidă).
7. Dacă (rostul este mare) și (baia este mică), atunci (viteza sârmei este mijlocie).
8. Dacă (rostul este mare) și (baia este mijlocie), atunci (viteza sârmei este rapidă).
9. Dacă (rostul este mare) și (baia este mare), atunci (viteza sârmei este rapidă).

Regula 1 are o alocare pentru

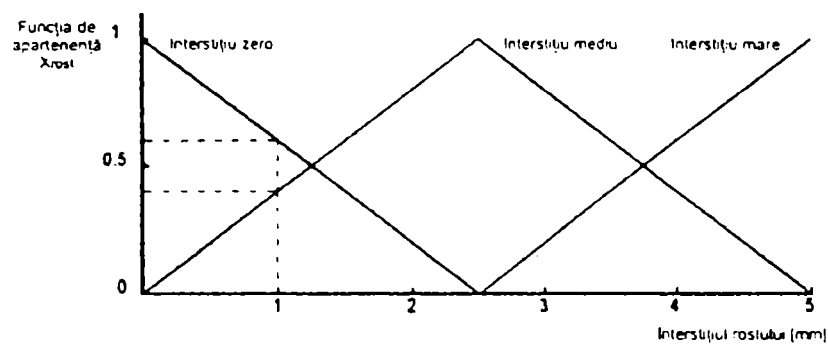
$X(\text{viteza sârmei mică}) = 0,0$, ca minimul dintre [$X(\text{interstițiu zero}) = 0,6$ și $X(\text{baie mică}) = 0,0$], care este zero.

Pe de altă parte, regula 2 contribuie cu valoarea dată de $\text{MIN}[0,6; 0,5] = 0,5$ la funcția $X(\text{viteza sârmei mică})$.

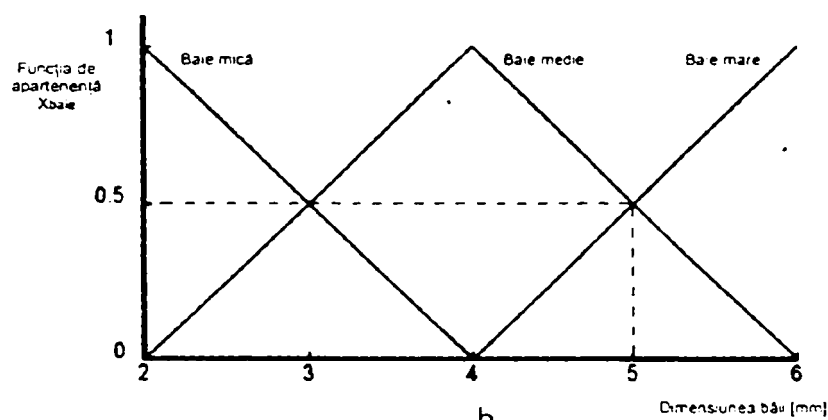
Întrucât ambele reguli, 1 și 2, contribuie la funcția $X(\text{viteza sârmei mică})$, ieșirile tratate prin regula sunt aplicate împreună prin SAU, utilizând valoarea maxima pentru a determina

$$X(\text{viteza sârmei mica}) = \text{MAX}[0,0; 0,5] = 0,5.$$

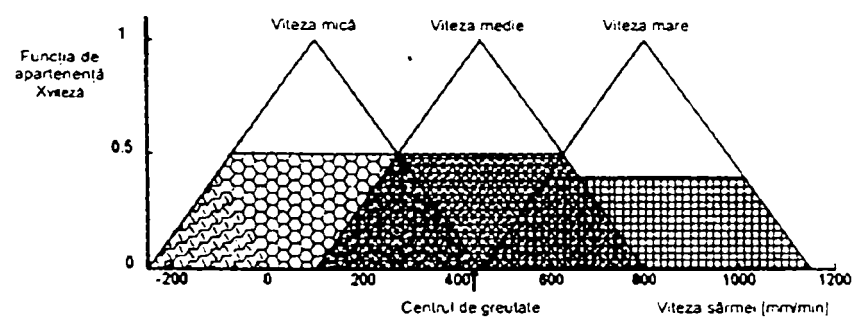
Valorile funcției de apartenență pentru $X(\text{viteza sârmei medie}) = 0,5$ (regulile 3, 4, 5 și 7), respectiv pentru $X(\text{viteza sârmei mare}) = 0,4$ (regulile 6, 8 și 9) pot fi găsite utilizând aceeași metodă.



a



b



c

Fig. 2.8.1. Inferența fuzzy pentru determinarea vitezei sârmei la sudarea WIG.
 a. Funcțiile de apartenență pentru interstițiul rostului de sudare.
 b. Funcțiile de apartenență pentru dimensiunea băii de sudare.
 c. Funcțiile de apartenență de ieșire.

Valorile funcției de apartenență pentru funcția de ieșire fiind determinate, etapa următoare este de a defuzzifica valorile pentru a produce o valoare relevantă pentru funcția de ieșire. Defuzzificarea poate fi considerată ca găsirea unui punct de pivotare sau centru de greutate, în care funcțiile de ieșire (reprezentate grafic) vor fi în echilibru, atunci când fiecare dintre funcțiile sale de apartenență de ieșire (grafice) a fost completată până la valoarea determinată de către reguli. Utilizarea funcțiilor triunghiulare simetrice simplifică acest lucru, întrucât centrul de greutate al fiecărei funcții acționează în același punct, iar calculul ariei se efectuează pentru un trapez simplu, la care bazele și înălțimea sunt cunoscute. Fig. 2.8.1.c reprezintă grafic funcțiile de apartenență de ieșire, iar din aceasta poate fi determinată viteza de avans al sârmei ca mărime de ieșire, care rezultă la valoarea de 432 mm / min.

Determinare prin calcul a vitezei sârmei este prezentată în cele ce urmează. **Această aplicație a metodei de calcul este o contribuție personală a autorului lucrării de față.**

Reguli de inferență

Tabelul 2.8.1.

Viteza sârmei		Baia de sudare		
		mică	medie	mare
Rost de sudare	zero (mic)	lentă	lentă	medie
	mediu	medie	medie	rapidă
	mare	medie	rapidă	rapidă

$$R_{11} : \mu_{\text{rosr zero}} \cap \mu_{\text{baie mica}} = 0,6 \cap 0,0 = \text{MIN}(0,6; 0,0) = 0,0$$

$$R_{12} : \mu_{\text{rosr zero}} \cap \mu_{\text{baie medie}} = 0,6 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,6; 0,5) = 0,5$$

$$\text{Deoarece } R_{11} \cup R_{12}, \text{ rezulta } \mu_{\text{viteza mica}} = \mu_{23} \cup \mu_{11} \cup \mu_{12} = \text{MAX}(0,0; 0,5) = 0,5$$

$$R_{13} : \mu_{\text{rosr zero}} \cap \mu_{\text{baie mare}} = 0,6 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,6; 0,5) = 0,5$$

$$R_{21} : \mu_{\text{rosr mediu}} \cap \mu_{\text{baie mica}} = 0,4 \cap 0,0 = \text{MIN}(0,4; 0,0) = 0,0$$

$$R_{22} : \mu_{\text{rosr mediu}} \cap \mu_{\text{baie medie}} = 0,4 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,4; 0,5) = 0,4$$

$$R_{31} : \mu_{\text{rosr mare}} \cap \mu_{\text{baie mica}} = 0,0 \cap 0,0 = \text{MIN}(0,0; 0,0) = 0,0$$

$$\text{Deoarece } R_{13} \cup R_{21} \cup R_{22} \cup R_{31}, \text{ rezulta } \mu_{\text{viteza medie}} = \mu_{13} \cup \mu_{21} \cup \mu_{22} \cup \mu_{31} = \text{MAX}(0,5; 0,0; 0,4; 0,0) = 0,5$$

$$R_{23} : \mu_{\text{rosr mediu}} \cap \mu_{\text{baie mare}} = 0,4 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,4; 0,5) = 0,4$$

$$R_{32} : \mu_{\text{rosr mare}} \cap \mu_{\text{baie medie}} = 0,0 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,0; 0,5) = 0,0$$

$$R_{33} : \mu_{\text{rosr mare}} \cap \mu_{\text{baie mare}} = 0,0 \cap 0,5 = \text{MIN}(0,0; 0,5) = 0,0$$

$$\text{Deoarece } R_{23} \cup R_{32} \cup R_{33}, \text{ rezulta } \mu_{\text{viteza mare}} = \mu_{23} \cup \mu_{32} \cup \mu_{33} = \text{MAX}(0,4; 0,0; 0,0) = 0,4$$

Defuzzyficare. Metoda echilibrului

În triunghiurile care constituie reprezentările grafice ale funcțiilor de apartenență există relațiile dimensionale următoare:

$$\text{Scara} = 32 \text{ mm} : 1000 \text{ m/min}$$

$$B_{\text{lentă}} = 700 \text{ mm/min}; \quad b_{\text{lentă}} = 350 \text{ mm/min}; \quad h_{\text{lentă}} = 0,5; \quad \text{Obs.s=slow/lentă=viteză mică}$$

$$B_{\text{medie}} = 700 \text{ mm/min}; \quad b_{\text{medie}} = 350 \text{ mm/min}; \quad h_{\text{medie}} = 0,5; \quad \text{Obs.m=medium/medie=viteză medie}$$

$$B_{\text{rapidă}} = 700 \text{ mm/min}; \quad b_{\text{rapidă}} = 420 \text{ mm/min}; \quad h_{\text{rapidă}} = 0,5; \quad \text{Obs.f=fast/rapidă=viteză mare}$$

În $\Delta ABC_{\text{rapidă}}$:

$$\frac{AM}{BM} = \frac{AM'}{NM'} \quad (2.8.1)$$

$$\frac{h_{\text{rapida}}}{B_{\text{rapida}}} = \frac{0,6 \cdot h_{\text{rapida}}}{b_{\text{rapida}}} \quad (2.8.2)$$

$$b_{\text{rapidă}} = 0,6 \cdot B_{\text{rapidă}} \quad (2.8.3)$$

$$b_{\text{rapidă}} = 0,6 \cdot 700 = 420 \text{ mm/min} \quad (2.8.4)$$

$$S_{\text{lentă}} = 0,5 \cdot (B_{\text{lentă}} + b_{\text{lentă}}) \cdot h_{\text{lentă}} = 0,5 \cdot (700 + 350) \cdot 0,5 = 262,5 \text{ mm/min} \quad (2.8.5)$$

$$S_{\text{medie}} = 0,5 \cdot (B_{\text{medie}} + b_{\text{medie}}) \cdot h_{\text{medie}} = 0,5 \cdot (700 + 350) \cdot 0,5 = 262,5 \text{ mm/min} \quad (2.8.6)$$

$$S_{\text{rapidă}} = 0,5 \cdot (B_{\text{rapidă}} + b_{\text{rapidă}}) \cdot h_{\text{rapidă}} = 0,5 \cdot (700 + 420) \cdot 0,4 = 224 \text{ mm/min} \quad (2.8.7)$$

$$S_{\text{lentă}} \cdot (x - 100) = S_{\text{medie}} (450 - x) + S_{\text{rapidă}} (800 - x) \quad (2.8.8)$$

$$262,5 \cdot (x - 100) = 262,5 \cdot (450 - x) + 224 \cdot (800 - x) \quad (2.8.9)$$

$$1,171875 \cdot (x - 100) = 1,171875 \cdot (450 - x) + (800 - x) \quad (2.8.10)$$

$$1,171875 x - 1,171875 \cdot 100 = 1,171875 \cdot 450 - 1,171875 x + 800 - x \quad (2.8.11)$$

$$(1 + 2 \cdot 1,171875) x = 1,171875 \cdot (450 + 100) + 800 \quad (2.8.12)$$

$$x = \frac{1,171875 \cdot 550 + 800}{1 + 2 \cdot 1,171875} = \frac{1444,5312}{3,34375} = 432,00933 \quad (2.8.13)$$

În consecință:

$$S_{\text{viteză mică}} = 0,5 \cdot (B_{\text{lentă}} + b_{\text{lentă}}) \cdot h_{\text{lentă}} = 0,5 \cdot (700 + 350) \cdot 0,5 = 262,5 \text{ mm/min} \quad (2.8.14)$$

$$S_{\text{viteză medie}} = 0,5 \cdot (B_{\text{medie}} + b_{\text{medie}}) \cdot h_{\text{medie}} = 0,5 \cdot (700 + 350) \cdot 0,5 = 262,5 \text{ mm/min} \quad (2.8.15)$$

$$S_{\text{viteză mare}} = 0,5 \cdot (B_{\text{rapidă}} + b_{\text{rapidă}}) \cdot h_{\text{rapidă}} = 0,5 \cdot (700 + 420) \cdot 0,4 = 224 \text{ mm/min} \quad (2.8.16)$$

Ecuția de echilibru:

$$S_{\text{viteză mică}} (x - 100) = S_{\text{viteză medie}} (450 - x) + S_{\text{viteză mare}} (800 - x) \quad (2.8.17)$$

este verificată, conform calculelor de mai sus, pentru valoarea:

$$x = 432,00933 \text{ mm/min} \quad (2.8.18)$$

Rezultatul inferenței vagi:

$$(2.8.19)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{rezultat}}(\text{viteză}) = & \text{MAX}(\mu_{\text{rost zero}} \cap \mu_{\text{baie mică}}; \mu_{\text{rost zero}} \cap \mu_{\text{baie medie}}) \cup \\ & \cup \text{MAX}(\mu_{\text{rost zero}} \cap \mu_{\text{baie mare}}; \mu_{\text{rost mediu}} \cap \mu_{\text{baie mică}}; \mu_{\text{rost mediu}} \cap \mu_{\text{baie medie}}; \mu_{\text{rost mare}} \cap \mu_{\text{baie mică}}) \cup \\ & \cup \text{MAX}(\mu_{\text{rost mediu}} \cap \mu_{\text{baie mare}}; \mu_{\text{rost mare}} \cap \mu_{\text{baie medie}}; \mu_{\text{rost mare}} \cap \mu_{\text{baie mare}}) \end{aligned}$$

În concluzie, procesul de reglare fuzzy constă din următoarele etape:

- Obținerea de date relevante (având contrast mare) de intrare de la senzori
- Fuzzificarea datelor, utilizând funcțiile de apartenență
- Aplicarea regulilor fuzzy pentru a determina apartenența funcțiilor de ieșire
- Defuzzificarea funcțiilor de ieșire pentru a determina ieșirea relevantă
- Furnizarea la ieșire a valorii relevante către sistemul de reglare.

Sarcina proiectanților de logică fuzzy este de a stabili funcțiile de apartenență pentru variabilele de intrare și de ieșire, precum și de a genera regulile fuzzy. Generarea regulilor poate fi făcută în mod intuitiv, deoarece sistemul prelucrează date ale căror valori aparțin la clase care pot fi înțelese ușor, adică prin termeni uzuali: mare - mic, rapid - lent, etc.

3. Dispozitiv magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă

3.1. Soluția constructivă

Domeniul de aplicare industrială a dispozitivului magnetic de compensare este execuția de utilaje chimice, tehnologice și energetice. Dispozitivul se montează și se utilizează pe subsamblul cap de încărcare prin sudare cu electrod-bandă al echipamentelor de încărcare prin sudare.

La încărcarea prin sudare cu valori mari ale curentului, cerute de productivitatea mărită de depunere, apare un efect de constricție a băii metalice de sudare, datorită forțelor electromagnetice de tip Laplace, cauzate de interacțiunea dintre curentul de sudare prin baia metalică ($I_s = 1000 \div 3000 \text{ A}$) și inducția magnetică produsă de către acesta la extremitățile băii metalice ($B_\delta = 50 \div 200 \cdot 10^{-4} \text{ T}$). Urmarea acestui efect este apariția marginilor neregulate, a creșterilor marginale și a altor defecte de sudare.

Dispozitivul magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu bandă-electrod, prezentat în fig. 3.1.1., înlătură dezavantajele de mai sus prin aceea că, la fiecare dintre cele două extremități ale băii metalice de sudare el realizează o inducție magnetică de compensare, egală în valoare absolută și de sens contrar față de inducția magnetică de compensat, cauzată de curentul de sudare la trecerea sa prin baia metalică și prin metalul de bază.

Dispozitivul magnetic de compensare este constituit din două piese polare 1 și 2, care formează două circuite magnetice independente, ce se închid prin aer și prin metalul de bază 3, în așa fel încât o parte din liniile de câmp magnetic trec prin cele două extremități 4 și 5 ale băii metalice, unde are loc compensarea. Pe piesele polare sunt amplasate două bobine 6 și 7, care realizează solenațiile celor două circuite magnetice. Bobinele sunt alcătuite din câteva spire parcurse într-un anumit sens de către curentul de sudare, înainte de a intra în piesele de contact 8, spre a alimenta banda-electrod 9, antrenată spre baia de sudare de către acționarea capului de încărcare prin sudare 10. Pe acesta sunt montate piesele polare. Pentru o anumită formă constructivă a dispozitivului magnetic de compensare, valorile inducției magnetice de compensare produse de către dispozitiv la extremitățile băii metalice sunt dependente de cele două întrefieruri δ_1 și δ_2 , precum și de cele două distanțe laterale a_1 și a_2 , care devin parametri secundari reglabili ai procedurii de încărcare prin sudare, la care se aplică dispozitivul magnetic de compensare. Pe cele două piese polare 1 și 2 pot fi amplasate, în altă variantă, două bobine suplimentare, alimentate de la surse independente reglabile, astfel încât cei doi curenți de magnetizare ai bobinelor suplimentare devin, de asemenea, parametri secundari reglabili ai procedurii de încărcare prin sudare [97, 102, 216, 217, 218].

În fig. 3.1.2. este prezentată distribuția inducției magnetice de compensare în fiecare dintre cele două întrefieruri δ_1 și δ_2 ale dispozitivului, în planul metalului de bază. Curbele de distribuție a inducției magnetice au fost determinate prin măsurători [102, 216, 218].

Fig. 3.1.3.a și fig. 3.1.3.b prezintă aspecte de la efectuarea unor probe de încărcare prin sudare cu electrod-bandă sub flux [217]. Desfășurarea procesului de încărcare prin sudare este corespunzătoare. Nu se constată abateri ale parametrilor de încărcare prin sudare de la valorile prescrise. Rezultatele sunt corespunzătoare.

Dispozitivul magnetic de compensare prezintă următoarele avantaje:

- Asigură obținerea unor rânduri de metal depus având aspect și formă corespunzătoare, fără margini neregulate, creștături marginale sau alte tipuri de defecte de sudare, și face astfel posibilă încărcarea prin sudare sub flux sau în baie de zgură cu bandă-electrod de 60 - 180 mm lățime, la valori de 1000 - 3000 A ale curentului de sudare, cărora le corespunde o productivitate de depunere de 15 - 45 kg/oră.

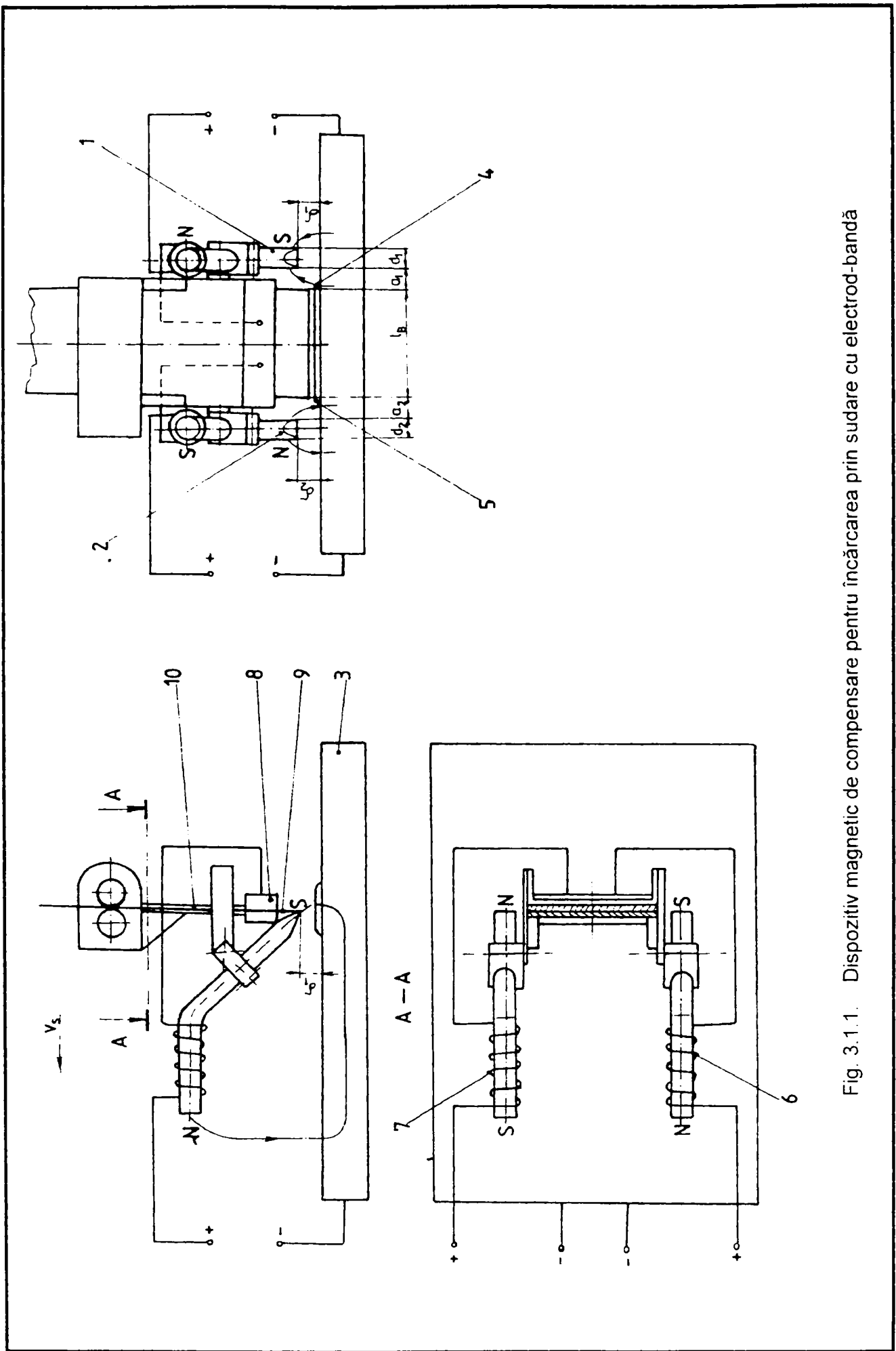


Fig. 3.1.1. Dispozitiv magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă

- 1) $\delta = 10\text{ mm}$
- 2) $\delta = 15\text{ mm}$

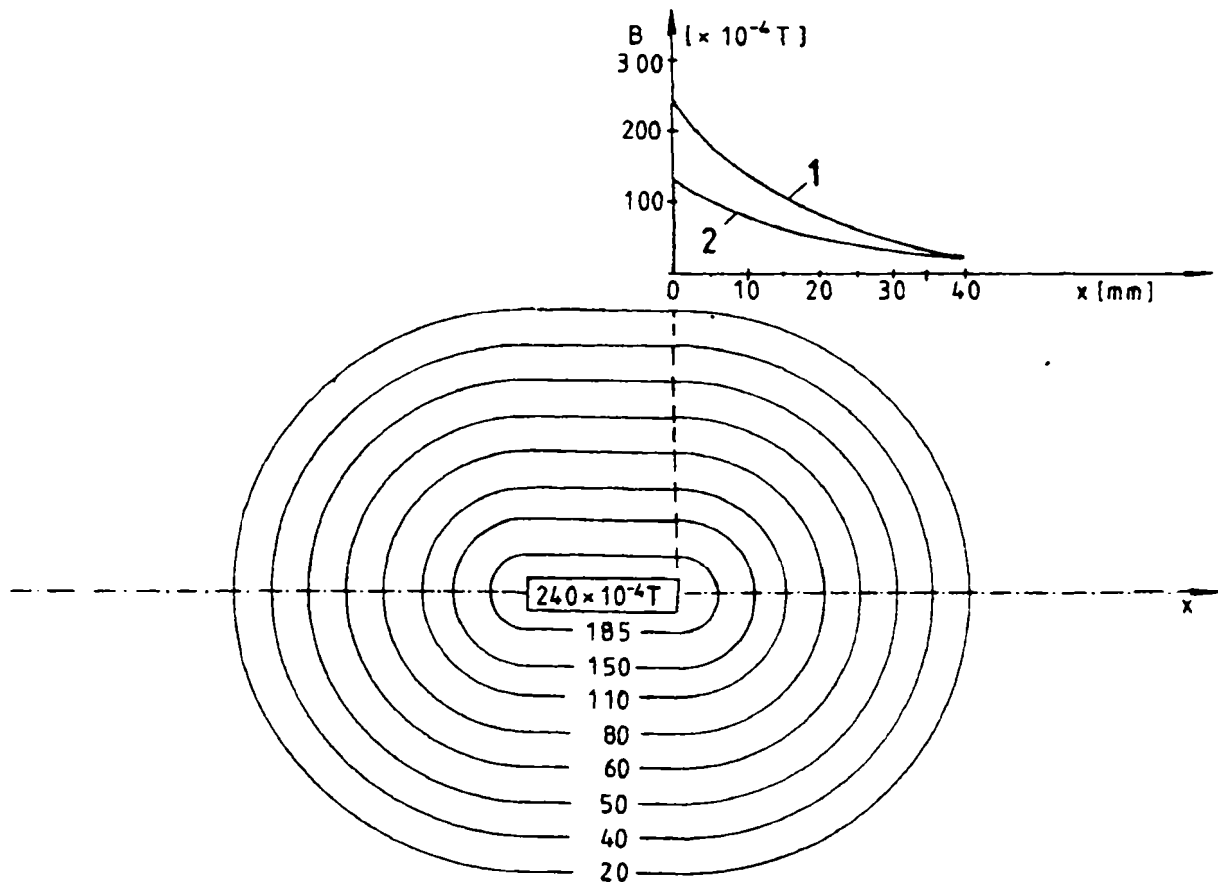


Fig. 3.1.2. Distribuția valorii inducției magnetice în întrefierul dispozitivului, în planul metalului de bază.

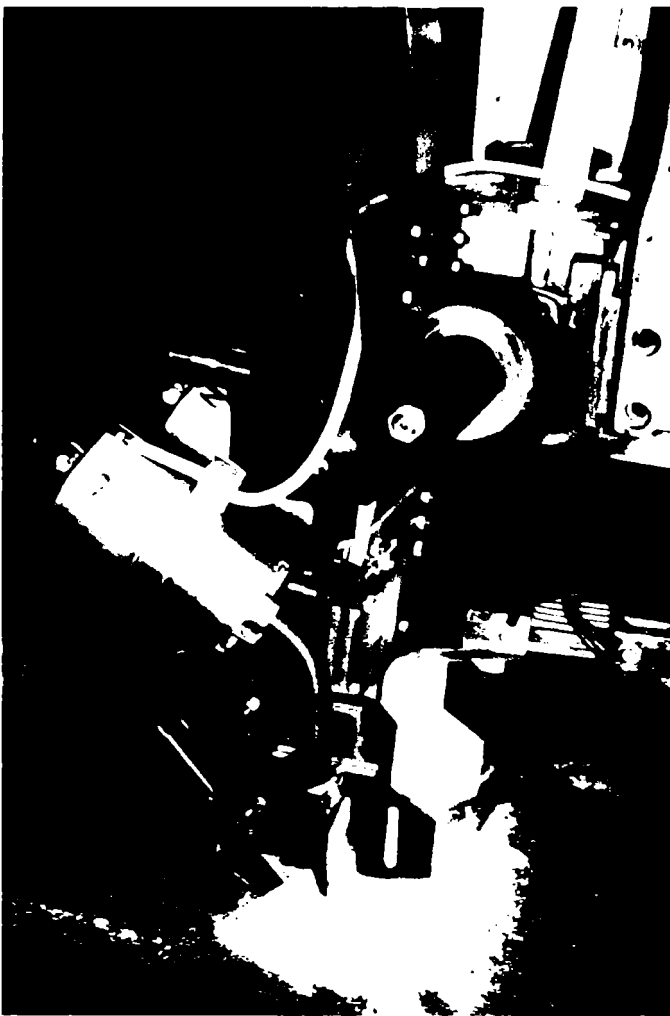


Fig. 3.1.3.a. Amplasarea polilor magnetici ai dispozitivului magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod – bandă

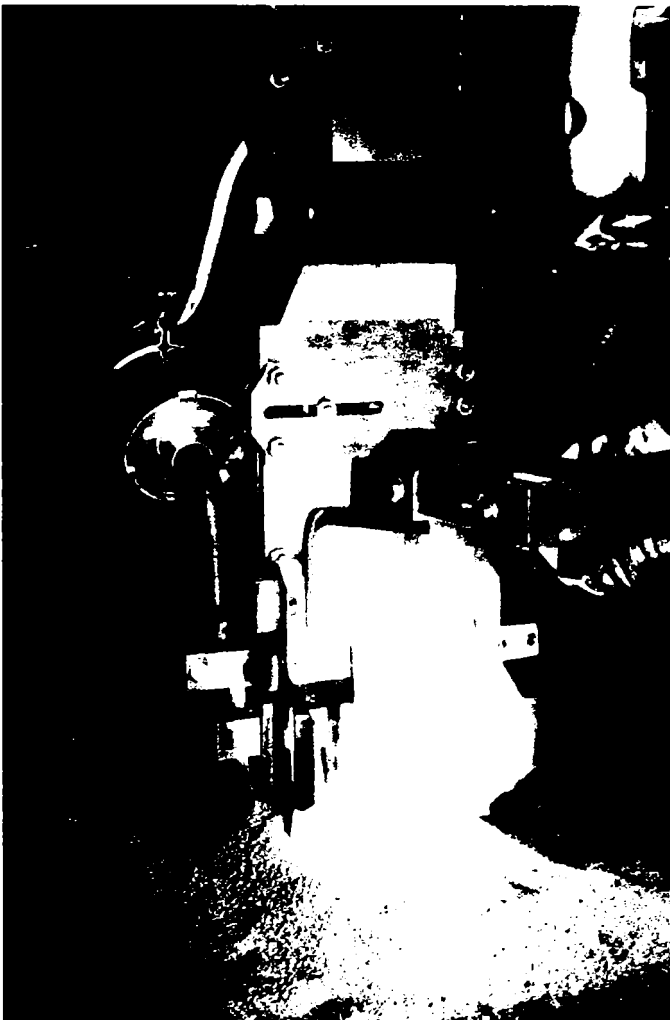


Fig. 3.1.3.b. Efectuarea unor probe de încărcare prin sudare cu electrod - bandă în baie de zgură, utilizând dispozitivul magnetic de compensare

- Se utilizează chiar curentul de sudare pentru realizarea inducției magnetice de compensare, ceea ce conferă dispozitivului eficiență și fiabilitate în exploatare.

- Se obțin valori mari ale inducției magnetice de compensare datorită utilizării solenației mari produse de către curentul de sudare.

- Dispozitivul magnetic de compensare este constituit din două circuite magnetice independente, care nu înlănțuie circuitul curentului de sudare, astfel încât inducția magnetică de compensat are o valoare mai redusă, decât în alte variante constructive.

3.2. Dimensionarea circuitului magnetic

Întrucât circuitul magnetic al dispozitivului magnetic de compensare are două întrefieruri de lungime relativ mare ($\delta_1 = \delta_2 \approx 10 \dots 15 \text{ mm}$), iar lungimea jugului feromagnetic, de asemenea, este mare, dimensionarea sa este dificilă. Fluxul magnetic de dispersie, care se formează între ramurile jugului magnetic sau între jugul magnetic și metalul de bază, are o valoare mai mare decât fluxul magnetic util, prin întrefieruri. De aceea, nu poate fi considerată valoarea reluctanței magnetice concentrate, în care este luată în calcul toată lungimea circuitului.

Prin analogie cu liniile electrice lungi, se consideră un element cvadripol infinitezimal al circuitului, în care se cunosc: inducția magnetică B_1 și tensiunea magnetică U_{H1} la intrare; reluctanța magnetică serie R_{ms} și reluctanța magnetică paralel R_{mp} . Se determină inducția magnetică B_2 și tensiunea magnetică U_{H2} la ieșirea cvadripolului.

Relațiile fizico-matematice referitoare la variația inducției magnetice B și a tensiunii magnetice U_H în funcție de coordonata x a circuitului se obțin din integrarea ecuațiilor determinate pentru cvadripolul elementar infinitezimal. Acesta constituie cazul ideal. În realitate, rezolvarea ecuațiilor cvadripolului magnetic elementar poate fi foarte dificilă sau chiar imposibilă cu metodele matematice exacte. De aceea, se face determinarea prin calcul a valorilor succesive ale inducției magnetice B și ale tensiunii magnetice U_H pe porțiuni de lungime finită ale circuitului, de exemplu 10 mm.

Calculul pornește de la valoarea inducției magnetice prevăzute în întrefieruri și se termină cu valoarea tensiunii magnetice necesare la capătul opus al circuitului (cu două ramuri). Solenația circuitului magnetic trebuie să egaleze tensiunea magnetică de la capătul opus al circuitului magnetic, pentru a se obține valoarea necesară a inducției magnetice în întrefieruri, în prezența fluxului de dispersie.

Pentru început, se aplică legea circuitului magnetic și legea fluxului magnetic în cvadripolul elementar al circuitului magnetic, împreună cu relațiile de calcul al cvadripolului elementar. Astfel se obține următorul sistem de ecuații [218]:

$$d^3 U_H(x) = \left\{ \left[\Phi(x) \frac{1}{4} \left(\frac{2H}{BS_{Fe}} \right)^2 \mu_0 dx + U_H(x) \frac{1}{2} \frac{2H}{BS_{Fe}} \mu_0 \right] dx + \Phi(x) \frac{2H}{BS_{Fe}} \right\} dx \quad (3.2.1)$$

$$d^2 \Phi(x) = \left[\Phi(x) \frac{1}{2} \frac{2H}{BS_{Fe}} \mu_0 dx + U_H(x) \mu_0 dx \right] dx \quad (3.2.2)$$

Relațiile care dau variația inducției magnetice și a tensiunii magnetice de-a lungul circuitului magnetic (în funcție de variabila x) se obțin prin rezolvarea sistemului de ecuații de mai sus.

După aplicarea unor transformări simple, sistemul de ecuații devine:

$$d^3 U_H(x) = \left\{ \left[\Phi(x) \frac{H^2}{B^2 S_{Fe}^2} \mu_0 dx + U_H(x) \frac{H}{BS_{Fe}} \mu_0 \right] dx + \Phi(x) \frac{2H}{BS_{Fe}} \right\} dx \quad (3.2.3)$$

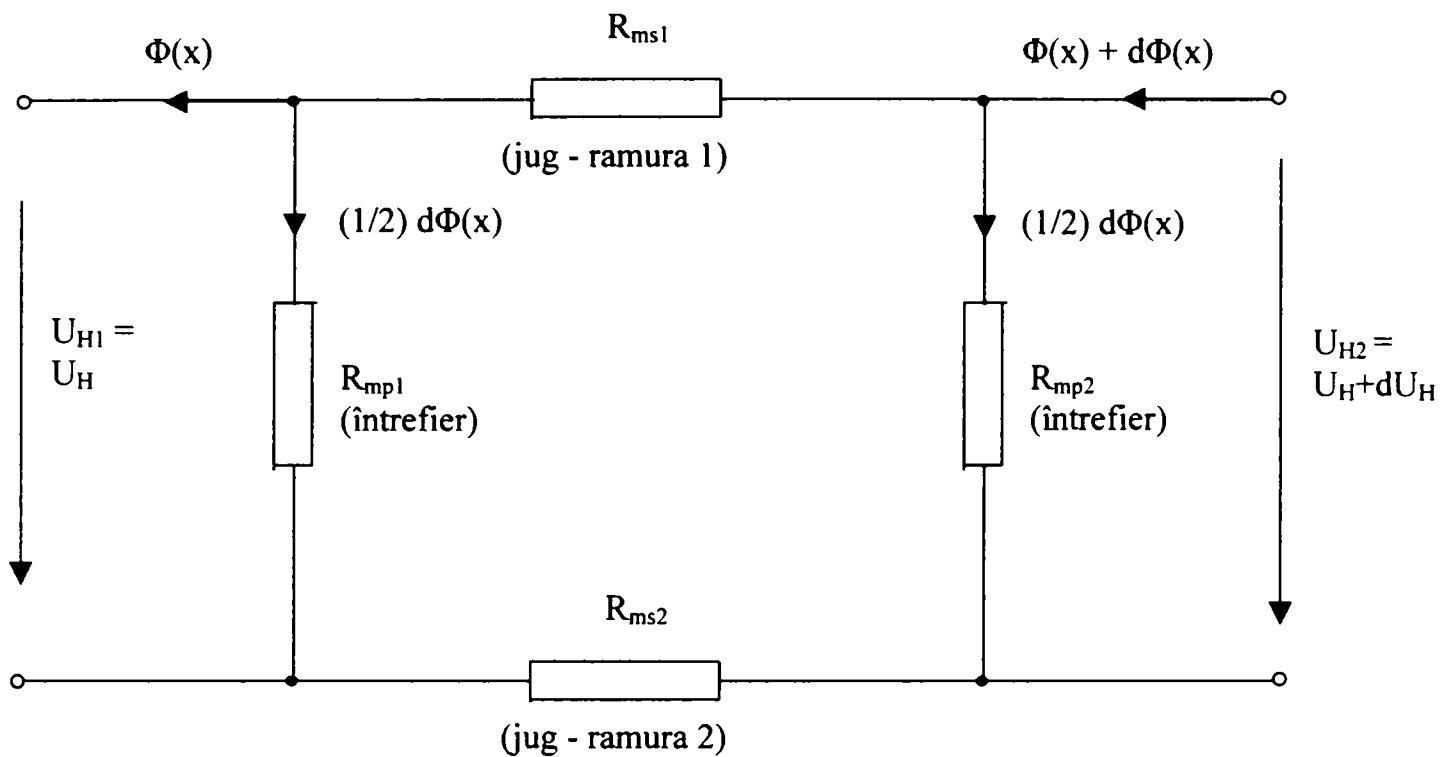


Fig. 3.2.1. Cvadripolul magnetic elementar al circuitului magnetic

Materiale magnetice moi [193]

Tabelul 3.2.01.

Nr. crt.	Denumirea materialului	Compoziția chimică	Permeabilitatea		Câmpul magnetic coercitiv H_c A / m	Intensitatea de magnetizare la saturație $4\pi J_s$ T
			10^{-3} H / m $\mu_{\text{Inițială}}$	$\mu_{\text{Maximă}}$		
1.	Fier sărac în carbon	99,8 % Fe + 0,2 % impurități	0,151	2,51	143,24	2,12
2.	Fier Armco	99,1 % Fe + 0,1 % elemente de aliere	0,314	8,752	63,66	2,2
3.	Fier - Siliciu	96 % Fe + 4 % Si	0,629	8,792	39,79	1,97
4.	Permalloy 50 texturat	50 % Fe + 50 % Ni	6,28	251	3,98	1,56

Observații:

1. Dimensionarea circuitului magnetic considerat s-a făcut pentru oțel cu conținut redus de carbon (poziția 1).
2. Măsurătorile efectuate pentru determinarea inducției magnetice în întrefier, prezentate în fig. 3.1.2, la circuitele magnetice ale dispozitivelor realizate, confirmă rezultatele obținute prin calcule, utilizând metoda de dimensionare descrisă aici. Astfel, această metodă se consideră validată experimental.

$$d^2\Phi(x) = \left[\Phi(x) \frac{H}{BS_{Fe}} \mu_0 dx + U_H(x) \mu_0 \right] dx \quad (3.2.4)$$

Forma finală a ecuațiilor sistemului este:

$$d^3U_H(x) = \Phi(x) \frac{2H}{BS_{Fe}} dx + U_H(x) \frac{H\mu_0}{BS_{Fe}} dx^2 + \Phi(x) \frac{H^2\mu_0}{B^2S_{Fe}^2} dx^3 \quad (3.2.5)$$

$$d^2\Phi(x) = U_H(x) \mu_0 dx + \Phi(x) \frac{H\mu_0}{BS_{Fe}} dx^2 \quad (3.2.6)$$

Neglijând infiniții mici de ordin superior, variația tensiunii magnetice și, respectiv, variația fluxului magnetic de-a lungul unui cvadripol elementar al circuitului magnetic au următoarele expresii:

$$dU_H(x) = \Phi(x) \frac{2H(x)}{B(x)S_{Fe}} dx \quad (3.2.7)$$

$$d\Phi(x) = U_H(x) \mu_0 dx \quad (3.2.8)$$

După transformări simple, ecuațiile devin:

$$dU_H(x) = 2H(x) dx \quad (3.2.9)$$

$$d\Phi(x) = U_H(x) \mu_0 dx \quad (3.2.10)$$

Deoarece nu se cunoaște expresia analitică a funcției $H(x)$ și nici cea a funcției $U(x)$, sistemul de ecuații diferențiale nu poate fi rezolvat prin metode matematice exacte. El se rezolvă prin metode aproximative.

Introducând variațiile finite ale mărimilor fizice care interesează, se obține sistemul de ecuații:

$$\Delta U_{Hi} = 2H_i \Delta x \quad (3.2.11)$$

$$\Delta \Phi_i = U_{Hi} \mu_0 \Delta x \quad (3.2.12)$$

unde:

H_i este intensitatea câmpului magnetic în punctul i al circuitului,

U_{Hi} este tensiunea magnetică în punctul i al circuitului,

ΔU_{Hi} este variația tensiunii magnetice de-a lungul intervalului de lungime Δx dintre punctul i și punctul $i+1$ ale circuitului,

$\Delta \Phi_i$ este variația fluxului magnetic pe intervalul de lungime Δx dintre punctul i și punctul $i+1$ ale circuitului magnetic.

Ținând cont de definiția fluxului magnetic, sistemul de ecuații devine:

$$\Delta U_{Hi} = 2H_i \Delta x \quad (3.2.13)$$

$$\Delta B_i = \frac{\mu_0 U_{Hi}}{S_{Fe}} \Delta x \quad (3.2.14)$$

Cunoscând valorile mărimilor H_i și U_{Hi} , precum și variațiile ΔU_{Hi} și ΔB_i ale mărimilor fizice respective, se calculează valorile tensiunii magnetice și inducției magnetice în punctul următor, utilizând formulele:

$$U_{Hi+1} = U_{Hi} + \Delta U_{Hi} \quad (3.2.15)$$

$$B_{i+1} = B_i + \Delta B_i \quad (3.2.16)$$

Valorile intensității câmpului magnetic H_i se obțin în funcție de valorile inducției magnetice B_i din curba de magnetizare a materialului din care este construit miezul feromagnetic al dispozitivului de compensare magnetică [218].

În eventualitatea că miezul circuitului magnetic este realizat în trepte, relațiile de calcul utilizate vor fi:

$$U_{Hi+1} = U_{Hi} + \Delta U_{Hi} \quad (3.2.17)$$

$$B_{i+1} S_{Fei+1} = (B_i + \Delta B_i) S_{Fei} \quad (3.2.18)$$

Rezultatele calculului sunt înserate în tabelul 3.2.1, conform [218].

Analizând datele din tabelul 3.2.1, se constată că solenația necesară pentru alimentarea circuitului magnetic este:

$$\theta = U_{H49} \quad (3.2.19)$$

$$\theta = 7524,6 \text{ A} \quad (3.2.20)$$

În cazul că lungimea totală (a unei ramuri a circuitului) este $L_1 = 490 \text{ mm}$ (valoare acoperitoare), iar inducția magnetică necesară în întrefier este $B_\delta = 300 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ (valoare acoperitoare).

Această valoare a solenației poate fi obținută în două variante:

a. Dacă se utilizează o bobină având numărul de spire $N_a = 7,5$, parcursă de curentul de sudare $I_s = 1000 \text{ A}$; rezultă $\theta_a = N_a I_s = 7,5 \cdot 1000 \text{ A} = 7500 \text{ A}$.

b. Dacă se utilizează o bobină având numărul de spire $N_b = 1505$, parcursă de curentul de alimentare $I_b = 5 \text{ A}$, de la o sursă separată; rezultă $\theta_b = N_b I_b = 1505 \cdot 5 \text{ A} = 7525 \text{ A}$.

Bobinele trebuie dimensionate în mod corespunzător în ambele cazuri, considerând densitatea de curent $J = \max. 1,5 \text{ A/mm}^2$, întrucât bobinele sunt la distanța de 250-300 mm față de arcul electric de curent mare și ele sunt supuse radiației termice a acestuia.

Reglarea inducției magnetice în întrefier se face în următoarele modalități:

- Prin ajustarea lungimii întrefierului (δ_1 și δ_2)
- Prin ajustarea distanței laterale (a_1 și a_2)
- Prin modificarea tensiunii de alimentare a bobinei, de la sursa separată (în varianta constructivă b.).

Tabelul 3.2.1.

Nr. crt.	L_1 [num]	B_i [T]	H_i [Am ⁻¹] x 10 ²	ΔB_i [T]	ΔU_{Hi} [A]	U_{Hi} [A]	Obs.
0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0,4806	1,80	0,09888	3,60	2472	$B_c = 0,0300$ T $S_{Fe1} = 314$ mm
1	10	0,57948	2,2	0,0990	4,4	2475,6	
2	20	0,67848	2,5	0,0992	5,0	2480,6	
3	30	0,7777	3,0	0,0995	6,0	2486,6	
4	40	0,8772	3,9	0,0998	7,8	2494,4	
5	50	0,9770	5,3	0,1002	10,6	2505,0	
6	60	1,0772	5,6	0,1006	11,2	2516,2	
7	70	1,1778	9,9	0,1014	19,8	2536,0	
8	80	1,2792	13,4	0,1025	26,8	2562,8	
9	90	1,3817	18,8	0,1040	36,6	2599,4	
10	100	1,4857	24	0,1059	48	2647,4	
11	110	1,5916	38	0,1089	76	2723,4	
12	120	1,7005	65	0,1141	130	2853,4	
13	130	1,8146	113	0,1232	226	3079,4	
14	140	1,9378	193	0,1386	386	3465,4	
15	150	2,0764	352	0,1668	704	4169,4	saturație
16	160	0,5608	2,0	0,0417	4,0	4173,4	$S_{Fe2} = 4 S_{Fe1}$
17	170	0,6025	2,2	0,0418	4,4	4177,8	
18	180	0,6443	2,3	0,0418	4,6	4182,4	
19	190	0,6861	2,5	0,0419	5,0	4187,4	
20	200	0,7280	2,7	0,0419	5,4	4192,8	
21	210	0,7699	3,0	0,0420	6,0	4198,8	
22	220	0,8119	3,3	0,0421	6,6	4205,4	
23	230	0,8540	3,7	0,0421	7,4	4212,8	
24	240	0,8961	4,1	0,0422	8,2	4221,0	
25	250	0,9383	4,6	0,0423	9,2	4230,2	
26	260	0,9806	5,3	0,0424	10,6	4240,8	
27	270	1,0230	5,6	0,0425	11,2	4252,0	
28	280	1,0655	6,8	0,0427	13,6	4265,6	
29	290	1,1082	7,6	0,0428	15,2	4280,8	
30	300	1,1510	9,3	0,4030	18,6	4299,4	
31	310	1,1940	10,5	0,0432	21,0	4320,4	
32	320	1,2372	11,8	0,0434	23,6	4344,0	
33	330	1,2806	13,4	0,0437	26,8	4370,8	
34	340	1,3243	15,2	0,0440	30,4	4401,2	
35	350	1,3683	17,6	0,0444	35,2	4436,2	
36	360	1,4127	21,0	0,0448	42,0	4478,2	
37	370	1,4575	23,0	0,0452	46,0	4524,2	
38	380	1,5027	25,0	0,0457	50,0	4574,2	
39	390	1,5484	29,5	0,0463	59,0	4633,2	
40	400	1,5947	38,0	0,0471	76,0	4709,2	
41	410	1,6418	47,5	0,0480	95,0	4804,2	
42	420	1,6898	58,7	0,0492	117,4	4921,6	
43	430	1,7390	78,5	0,0508	157,0	5078,6	
44	440	1,7898	108,0	0,0529	216,0	5294,6	
45	450	1,8427	123,0	0,0554	246,0	5540,6	
46	460	1,8981	162,0	0,0586	324,0	5864,6	
47	470	1,9567	209,0	0,0628	418,0	6282,6	
48	480	2,0195	269,0	0,0682	538,0	6820,6	
49	490	2,0877	352,0	0,0752	704,0	7524,6	saturație

3.3. Sursa PWM de alimentare

În funcție de tehnologia de încărcare prin sudare cu electrod-bandă, sub flux sau în baie de zgură, în mai multe variante, dispozitivul magnetic de compensare se alimentează în curent continuu, respectiv în curent alternativ de joasă frecvență (1,2-2,5 Hz; 1,0-5,0 Hz). În curent continuu se efectuează compensarea propriu-zisă a câmpului magnetic produs de curentul de sudare. În curent alternativ se efectuează baleiajul controlat al arcului electric la capătul electrodului-bandă, care poate favoriza transferul de metal și solidificarea, fără defecte de sudare din categoria creștături marginale, flancuri neregulate, etc.

Au fost utilizate surse tipizate, dar au fost realizate și câteva modele experimentale de surse de alimentare simple sau duble, de c.c. [97, 102, 216, 217].

A fost realizat și un model experimental de inverter cu redresor în primar și redresor în secundar, ca sursă de alimentare, având puterea de 250-300 W, iar frecvența internă ajustabilă în domeniul 0,5-10 kHz, destinat dispozitivului magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă [102, 218].

Determinarea curentului de funcționare a inverterului în semipunte sau în punte, cu condensator serie, este foarte importantă pentru stabilirea parametrilor de comandă ai procesului de comutație, în special în cazul comutației controlate în funcție de valoarea curentului de sarcină, dar și în cazul comutației forțate (cu frecvență fixă), pentru reducerea pierderilor de energie la comutație și pentru protecția componentelor semiconductoare de putere. Având în vedere acest lucru, autorul acestei lucrări a determinat prin calcul valoarea maximă, valoarea medie, precum și câteva valori instantanee ale curbei de variație în timp a curentului de sarcină al inverterului, valoarea tensiunii pe condensatorul serie al inverterului și alte valori ale mărimilor caracteristice ale regimului de funcționare, cu referire specială la regimul aperiodic amortizat critic, care este cel mai adecvat pentru această schemă electrică de inverter.

O parte din calculele menționate sunt prezentate în continuare în acest capitol. Calculele au ca punct de pornire relațiile pentru determinarea curentului electric în circuitul r, L, C în funcție de timp, din bazele fizice ale electrotehnicii. Aceste relații sunt cele mai generale modele matematice pentru determinarea formelor de undă ale curentului tranzitoriu, în cele trei cazuri reprezentative ale componentei circuitului, pe baza criteriului rezistenței caracteristice a circuitului. După acest criteriu, există trei forme de undă ale curentului tranzitoriu la conectarea circuitului, care corespund respectiv regimurilor de funcționare: aperiodic amortizat, aperiodic amortizat critic și periodic (oscilant) amortizat. [191].

Pornind de la relațiile generale, pentru anumite condiții și pentru anumite valori ale parametrilor circuitului r, L, C , ecuațiile circuitului au fost rezolvate în viziunea proprie a autorului lucrării de față. Rezultatele au fost supuse interpretării proprii a autorului, din punct de vedere fenomenologic, pentru sursa cu inverter cu comutație controlată, respectiv forțată.

Relațiile pentru determinarea prin calcule a curentului de sarcină și a altor mărimi fizice, ce intervin în funcționarea inverterului, pot fi aplicate și în alte cazuri în funcție de valorile parametrilor caracteristici ai circuitului r, L, C . Sunt expuse câteva considerații în acest sens.

a. Curentul în circuitul r, L, C în regim aperiodic amortizat.

$$i = \frac{U_b}{2\Delta_2 L} [\exp(p_1 t) - \exp(p_2 t)] \quad (3.3.1)$$

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (3.3.2)$$

$$p_1 = -(\Delta_1 - \Delta_2) \quad (3.3.3)$$

$$p_2 = -(\Delta_1 + \Delta_2) \quad (3.3.4)$$

$$\Delta_1 = \frac{r}{2L} \quad (3.3.5)$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (3.3.6)$$

Durata procesului de încărcare a condensatorului serie este relativ mare. Din această cauză, frecvența de funcționare a inverterului trebuie limitată.

b. Curentul în circuitul r, L, C în regim aperiodic amortizat critic:

$$i = \frac{U_b}{L} t \exp(-\Delta_1 t) \quad (3.3.7)$$

$$U_{bt} = 2 \cdot U_a = 2 \cdot 200 = 400 \text{ V} \quad (3.3.8)$$

$$L_m = 4 \cdot 1,4137 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 5,6548 \cdot 10^{-3} \text{ H} \quad (3.3.9)$$

$$I_{0\text{Max}} = 1,553 \text{ A} \quad (3.3.10)$$

$$L_d = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 1,4137 \cdot 10^{-3} = 169,644 \cdot 10^{-6} \text{ H} \quad (3.3.11)$$

$$\Delta_2 = 0 \quad (3.3.12)$$

$$\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC} = 0 \quad (3.3.13)$$

$$r^2 = \frac{4L^2}{LC} = \frac{4L}{C} \quad (3.3.14)$$

$$r = 2 \left(\frac{L}{C}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3.15)$$

$$C = \frac{4L}{r^2} \quad (3.3.16)$$

$$R_s = \frac{U_{s\text{med}}}{I_{s\text{med}}} = \frac{25 \text{ V}}{23,2 \text{ A}} = 1,08 \Omega \quad (3.3.17)$$

$$R'_s = n^2 R_s = 5^2 \cdot 1,08 = 27 \quad (3.3.18)$$

$$r = R'_s \quad (3.3.19)$$

$$C = \frac{4L_d}{(R_s')^2} = \frac{4 \cdot 16,9644 \cdot 10^{-5}}{27^2} = 0,9308 \cdot 10^{-6} \text{ F} \quad (3.3.20)$$

$$f = \frac{1}{2\pi(L_d C)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2\pi(169,644 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9308 \cdot 10^{-6})^{\frac{1}{2}}} = 0,012665 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad (3.3.21)$$

$$f = 12,665 \text{ kHz} \quad (3.3.22)$$

$$\Delta_1 = \frac{R_s'}{2L_d} = \frac{27}{2 \cdot 0,169644 \cdot 10^{-3}} = 79,578 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1} \quad (3.3.23)$$

Formele de undă ale curentului în funcție de parametrii circuitului rLC sunt prezentate în fig. 3.3.1. Ele caracterizează prima semiperioadă a funcționării inverterului cu condensator serie.

Valorile succesive ale curentului în prima fază a procesului de funcționare (încărcarea condensatorului serie):

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6}) = 7,919 \text{ A} \quad (3.3.24)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}) = 10,639 \text{ A} \quad (3.3.25)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-6}) = 10,720 \text{ A} \quad (3.3.26)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}) = 9,601 \text{ A} \quad (3.3.27)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-6}) = 8,062 \text{ A} \quad (3.3.28)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 30 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-6}) = 6,498 \text{ A} \quad (3.3.29)$$

$$i_{s \text{ comut}} = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-6}) = 3,909 \text{ A} \quad (3.3.30)$$

$$i_s = \frac{400}{0,169644 \cdot 10^{-3}} \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-79,578 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 10^{-6}) = 0,324 \text{ A} \quad (3.3.31)$$

Aceste valori instantanee sunt reprezentate grafic în fig. 3.3.2. Ele sunt calculate pentru cazul în care condensatorul serie al inverterului este inițial descărcat, iar tensiunea de alimentare este $U_b = 400 \text{ V}$.

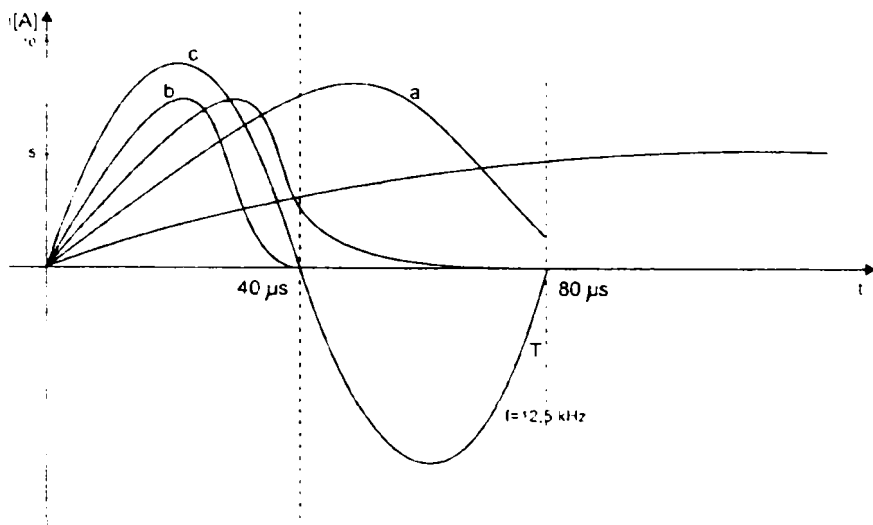


Fig. 3.3.1. Formele de undă ale curentului inverterului cu condensator serie, în funcție de parametrii circuitului RLC.

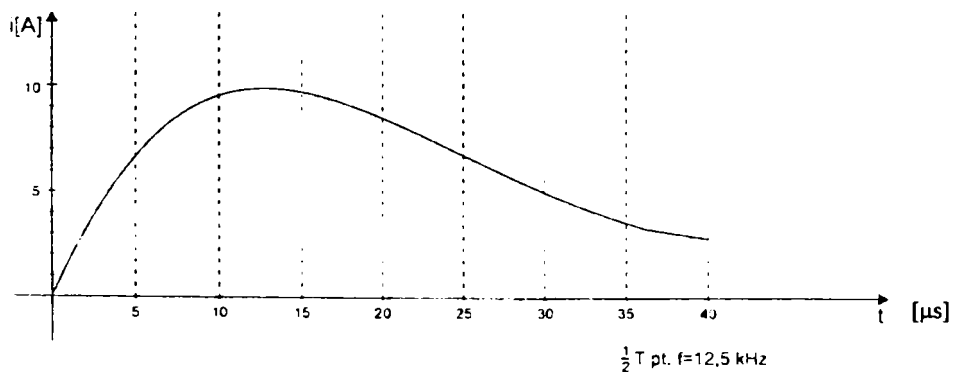


Fig. 3.3.2. Variația curentului inverterului cu condensator serie, în regim aperiodic amortizat critic.

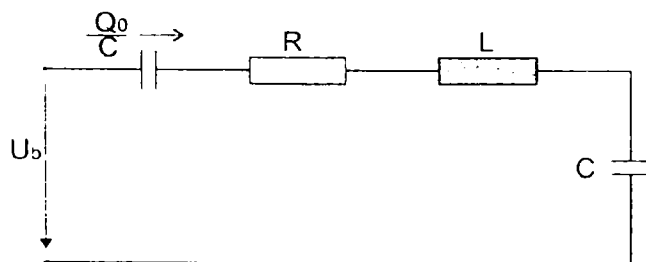


Fig. 3.3.3. Schema echivalentă a inverterului în faza de descărcare-reîncărcare a condensatorului.

Urmează faza a doua, în care condensatorul se descarcă și se încarcă în sens invers. Faza a doua este analizată în cele ce urmează, conform schemei echivalente din fig. 3.3.3.

$$U_{c0} = U_b \quad (3.3.32)$$

$$U_{cf} = -U_b \quad (3.3.33)$$

$$U_b + \frac{Q_0}{C} = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (\text{inițial}) \quad (3.3.34)$$

$$0 = U_b + \frac{Q_f}{C} = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (\text{final}) \quad (3.3.35)$$

Condițiile inițiale:

$$t = 0, \quad U_0 = U_b + U_{c0} = U_b + U_b = 2U_b, \quad i_0 = 0 \quad (3.3.36)$$

$$L \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = 2U_b \text{ deoarece condensatorul este inițial încărcat} \quad (3.3.36')$$

Condițiile finale:

$$t = \infty, \quad U_f = U_b - U_{cf} = 0, \quad i_f = 0 \quad (3.3.37)$$

$$i = I_1 \exp(p_1 t) - I_2 \exp(p_2 t) \quad (3.3.38)$$

$$0 = I_1 \exp(0) - I_2 \exp(0) \quad (3.3.39)$$

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (3.3.40)$$

$$I_1 = -I_2 = I \quad (3.3.40')$$

$$\frac{di}{dt} = I[p_1 \exp(p_1 t) - p_2 \exp(p_2 t)] \quad (3.3.41)$$

$$\begin{aligned} \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} &= I[p_1 \exp(p_1 \cdot 0) - p_2 \exp(p_2 \cdot 0)] = \\ &= I(p_1 - p_2) = I(-\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_1 + \Delta_2) = 2\Delta_2 I \end{aligned} \quad (3.3.42)$$

$$L \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = 2\Delta_2 I \cdot L \quad (3.3.42')$$

Din relațiile (3.3.36') și (3.3.42') rezultă:

$$2\Delta_2 IL = 2U_b \quad (3.3.43)$$

$$I = \frac{U_b}{\Delta_2 L} \quad (3.3.44)$$

Curentul în faza a doua (descărcare - încărcare în sens invers a condensatorului) a procesului de funcționare pentru regimul aperiodic amortizat, în cazul condensatorului inițial încărcat, ținând cont de condițiile inițiale, are expresia:

$$i = \frac{U_b}{\Delta_2 L} [\exp(p_1 t) - \exp(p_2 t)] \quad (3.3.45)$$

Tensiunea pe condensatorul serie este:

$$\begin{aligned} U_c(t) &= \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt = \frac{1}{C} \frac{U_b}{\Delta_2 L} \int_0^t [\exp(p_1 t) - \exp(p_2 t)] \, dt = \\ &= \frac{U_b}{C \Delta_2 L} \left[\frac{1}{p_1} \exp(p_1 t) \Big|_0^t - \frac{1}{p_2} \exp(p_2 t) \Big|_0^t \right] = \\ &= \frac{U_b}{LC \Delta_2} \left[\frac{1}{p_1} \exp(p_1 t) - \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \exp(p_2 t) + \frac{1}{p_2} \right] \end{aligned} \quad (3.3.46)$$

Sarcina condensatorului serie este:

$$\begin{aligned} Q(t) &= \int_0^t i \, dt = \frac{U_b}{L} \int_0^t t \exp(-\Delta_1 t) \, dt = \frac{U_b}{L} \left[t \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} \Big|_0^t - \int_0^t \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} \, dt \right] = \\ &= \frac{U_b}{L} \left[-t \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} + 0 - \left(\frac{1}{-\Delta_1} \right) \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} \Big|_0^t \right] = \\ &= \frac{U_b}{L} \left[-t \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} - \frac{1}{\Delta_1^2} \exp(-\Delta_1 t) \Big|_0^t \right] = \\ &= \frac{U_b}{L} \left[-t \frac{\exp(-\Delta_1 t)}{-\Delta_1} - \frac{1}{\Delta_1^2} \exp(-\Delta_1 t) + \frac{1}{\Delta_1^2} \right] \end{aligned} \quad (3.3.47)$$

$$Q_f = \int_0^\infty i \, dt = \frac{U_b}{L} \left(+ \frac{1}{\Delta_1^2} \right) = + \frac{U_b}{\Delta_1^2 L} = + \frac{U_b}{\left(\frac{r}{2L} \right)^2 L} = + \frac{U_b}{\frac{1}{LC} L} = + U_b C \quad (3.3.48)$$

$$dv = \exp(-\Delta_1 t) \, dt \quad (3.3.49)$$

$$v = \int \exp(-\Delta_1 t) \, dt = \int \frac{\exp(u) \, du}{-\Delta_1} = \frac{\exp(u)}{-\Delta_1} = -\frac{1}{\Delta_1} \exp(-\Delta_1 t) \quad (3.3.50)$$

$$-\Delta_1 t = u \quad (3.3.51)$$

$$-\Delta_1 dt = du \quad (3.3.52)$$

$$dt = \left(-\frac{1}{\Delta_1} \right) du \quad (3.3.53)$$

În regimul aperiodic amortizat critic, pentru condensatorul inițial încărcat, ținând cont de condițiile inițiale ale fazei a doua a ciclului de funcționare (enunțate în relațiile 3.3.36 și 3.3.36'), curentul are expresia:

$$i = \frac{2U_b}{L} t \exp(-\Delta_1 t) \quad (3.3.54)$$

Curentul în faza a doua are valoarea instantanee dublă, față de prima fază.

$$Q_f = 2U_b C \quad (3.3.55)$$

$$U_c = U_b - U_c(t) \quad (3.3.56)$$

$$U_{cf} = U_b - \frac{Q_f}{C} = U_b - \frac{2U_b C}{C} = U_b - 2U_b = -U_b \quad (3.3.57)$$

$$U_{c0} = U_b - U_c(0) = U_b - 0 = U_b \quad (3.3.58)$$

$$\begin{aligned} i_{med} &\cong \frac{1}{\Delta t} \int_0^t i dt \approx \frac{1}{\Delta t} \frac{U_b}{L} \frac{1}{\Delta_1^2} = \frac{1}{\Delta t} \frac{U_b}{L} \left(\frac{2L}{r} \right)^2 = \\ &= \frac{1}{\Delta t} \frac{U_b}{L} LC = \frac{1}{\Delta t} U_b C \end{aligned} \quad (3.3.59)$$

$$i_{med} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-6}} \cdot 200 \cdot 0,9308 \cdot 10^{-6} = 4,64 \text{ A} \quad (\text{pt. } 40 \cdot 10^{-6} \text{ s}) \quad (3.3.60)$$

$$U'_{smed} = i_{med} R'_s = 4,64 \cdot 27 = 125,6 \text{ V} \quad (3.3.61)$$

$$U_{smed2} = \frac{1}{n} U'_{smed} = \frac{1}{5} \cdot 125,6 = 25,12 \text{ V} \quad (12,5 \text{ V pt. } \Delta t = 80 \cdot 10^{-6} \text{ s}) \quad (3.3.62)$$

$$i_{smed2} = 5 \cdot 4,64 = 23,2 \text{ A} \quad (3.3.63)$$

În faza a treia are loc un proces similar cu cel din faza a doua, dar în sens invers. Ciclul de funcționare de durată este constituit din faza a doua și faza a treia, care se repetă alternativ. Faza întâi apare numai la punerea sub tensiune a invertorului. După oprirea funcționării, condensatorul serie se descarcă, în general, prin circuitele auxiliare; de aceea, s-a considerat că el este descărcat în momentul punerii sub tensiune.

Având în vedere precizările de mai sus, variația curentului din fig. 3.3.2. este valabilă pentru faza a doua și, respectiv, pentru faza a treia ale ciclului de funcționare, în ipoteza alimentării la tensiunea $U_a = 200 \text{ V}$.

Principalele relații de dimensionare a circuitului sunt următoarele:

$$R'_s = n^2 \frac{U_{2med}}{I_{2med}} \quad (3.3.64)$$

$$C = \frac{4L_d}{(R'_s)^2} \quad (R'_s)^2 \leq \frac{4L_d}{C} \quad (3.3.65)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d C}} \Rightarrow L_d, C \quad (3.3.66)$$

Tensiunea pe condensatorul serie are expresia:

$$U_c = \frac{U_b}{2\Delta_2 LC} \left[\frac{1}{p_1} \exp(p_1 t) - \frac{1}{p_2} \exp(p_2 t) \right] + U_b \quad (3.3.67)$$

c. Curentul în circuitul r, L, C în regim periodic (oscilant)

$$r < 2 \left(\frac{L}{C} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3.68)$$

$$i = \frac{U_b}{\sigma L} \exp(-\Delta_1 t) \cdot \sin \sigma t \quad (3.3.69)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{LC} - \left(\frac{r}{2L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \sigma = \text{pseudopulsăția} \quad (3.3.70)$$

$$\sigma^2 + \Delta_1^2 = \frac{1}{LC} \quad (3.3.71)$$

$$U_c = -U_b \exp(-\Delta_1 t) \left(\frac{\Delta_1}{\sigma} \sin \sigma t + \cos \sigma t \right) + U_b \quad (3.3.72)$$

Regimul de funcționare periodic (oscilant) al sursei cu inverter cu condensator serie (în semipunte sau în punte completă) trebuie evitat, deoarece durata procesului periodic de încărcare-descărcare a condensatorului este mare, ceea ce creează dificultăți, pentru comanda proceselor de comutație. De asemenea, randamentul sursei este scăzut, întrucât curentul în regim oscilant are un caracter reactiv; el solicită componentele circuitelor, fără a produce consumul de energie activă în rezistența de sarcină.

Sursa cu inverter cu condensator serie trebuie să funcționeze în regimul aperiodic amortizat critic (b), în care durata proceselor de încărcare-descărcare a condensatorului este redusă, iar randamentul este ridicat. Energia acumulată în condensator se descarcă integral ca energie activă pe rezistența de sarcină.

4. Sisteme de acționare pentru echipamente de sudare

4.1. Regulator de turație cu tiristori

Autorul a conceput și a realizat un tip de regulator de turație cu tiristori, pentru motoare electrice de curent continuu, având puterea nominală în domeniul 100 – 2 200 W. Domeniul de putere este în funcție de caracteristicile tehnice ale tiristorilor și diodelor din puntea redresoare semicomandată utilizată ca element de execuție al sistemului de reglare. Regulatorul propus este un dispozitiv electronic ce funcționează în impulsuri modulate în durată, în funcție de unghiul de amorsare a tiristorilor, la frecvența rețelei electrice de alimentare, dar și la alte frecvențe. Acest regulator menține turația prescrisă, prin compensarea căderii de tensiune pe rezistența rotorului, care apare la funcționarea în sarcină, la orice valoare a cuplului motor, respectiv la orice valoare a curentului. El poate utiliza (în anumite condiții) reacția de tensiune electromotoare pentru stabilizarea turației, are circuite de protecție rapidă și temporizată și are posibilitatea de a executa comenzi secvențiale pentru automatizare.

Domeniul de aplicare industrială a regulatorului de turație cu tiristori îl reprezintă acționările electrice cu turație variabilă ale dispozitivelor de avans al sârmei pentru instalații de sudare mecanizată și automatizată sub flux (SAF) sau/și în mediu de gaz protector (MIG/MAG), dar și acționările electrice ale tractoarelor pentru sudare, ale meselor de poziționare și rotire (MPR), ale blocurilor cu role simple (BR) și ale blocurilor cu role duble (BRD), ca și alte acționări ale unor mecanisme de la diverse categorii de utilaje, care solicită menținerea turației cu o stabilitate de $\pm 4\%$ față de valoarea precisă, pentru variații în limite admisibile ale tensiunii de alimentare și ale curentului de sarcină și care au prevăzută o plajă de reglare de cel puțin 20:1, care reprezintă raportul dintre turația maximă și turația minimă ale domeniului de turație prescris.

Schema de principiu a regulatorului de turație cu tiristori, care a fost proiectat, executat și testat în condiții de laborator, iar apoi a fost verificat în exploatare în condiții industriale este prezentată în anexă. În fig. 4.1.1 este prezentată placa electronică a regulatorului de turație cu tiristori. Cablajul imprimat este conceput prin proiectare asistată de calculatorul electronic. El este realizat, de asemenea, în tehnică computerizată.

În situația actuală, la reglatoarele sau regulatoarele de turație pentru motoarele de c.c. este utilizată reacția de turație dată de un tahogenerator, cuplat mecanic cu arborele motorului, sub forma unei tensiuni proporționale cu turația, care este însumată algebric, analogic sau digital, cu o tensiune de referință (de semn opus), proporțională cu turația prescrisă, iar semnalul de eroare rezultat este amplificat și aplicat la intrarea generatorului de impulsuri de amorsare pentru tiristorii din cadrul unei punți de redresare semicomandate, respectiv la intrarea generatorului de impulsuri cu modulație în durată PWM (pulse width modulation) pentru comanda unui tranzistor de putere aflat într-un circuit de tensiune redresată în prealabil [11,15,50,52,184,193]. Puntea de redresare semicomandată cu tiristori, respectiv tranzistorul sunt elementele de execuție prin care este reglată tensiunea medie de alimentare aplicată la bornele motorului de c.c. Aceste scheme electrice de principiu presupun existența unui tahogenerator, ceea ce atrage după sine dezavantajele următoare: gabarit mai mare al mecanismului și dificultăți de amplasare, dificultăți în proiectare și execuție, dar și un cost mai ridicat al acționării electrice.

Regulatorul de turație cu tiristori prezentat aici, realizează reglarea turației unui motor de c.c. pentru orice valoare din domeniul de turație prescris, fără utilizarea unui tahogenerator, înlăturând astfel dezavantajele menționate. Principiul de funcționare al regulatorului de turație cu tiristori este descris în continuare.

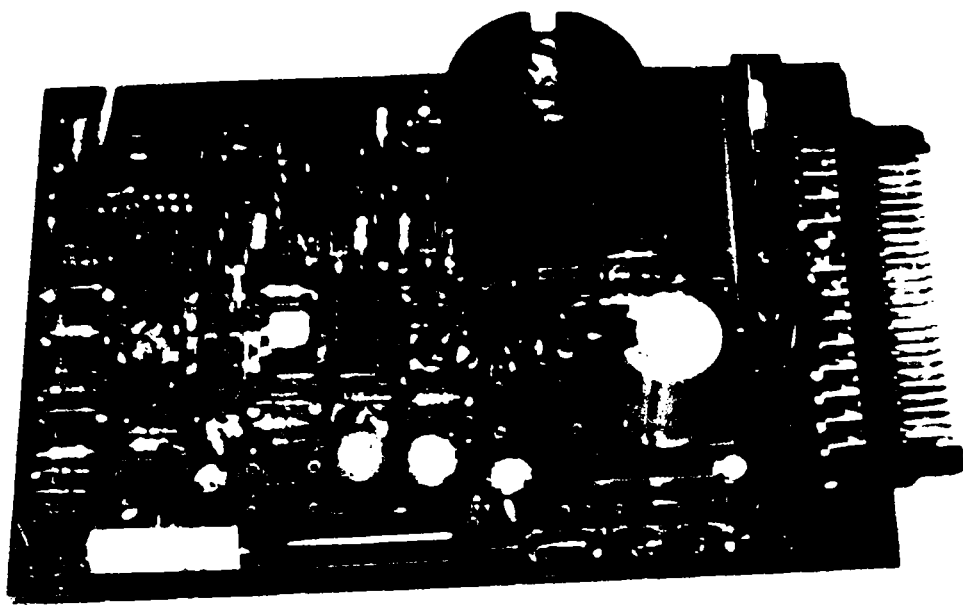


Fig. 4.1.1. Regulator de turație cu tiristori – placa electronică

Modul de reglare a turației

Regulatorul de turație cu tiristori este caracterizat prin aceea că el este conține un regulator de tensiune A1, având funcția de compensare; pe una dintre intrările acestuia se aplică, pe de o parte, o tensiune de referință U_{ref} , proporțională cu turația de referință n_{ref} , preluată de la un potențiomtru R_{ref} și, pe de altă parte, o reacție de tensiune, proporțională cu căderea de tensiune pe rezistența rotorului, respectiv cu curentul de sarcină al motorului, ca element original în principiu. Semnalul de eroare (semnal sumă, în această situație) de la ieșirea regulatorului A1 este aplicat ca tensiune de comandă u_m la intrarea unui generator GI de impulsuri de amorsare pentru tiristorii T1 și T2, din cadrul unei punți redresoare semicomandate. Acesta generează la ieșirea sa impulsuri ce au frecvența constantă $f = 50$ Hz a rețelei de alimentare, respectiv alte frecvențe în cazuri speciale de utilizare. Perioada de repetiție a impulsurilor este $T = f^{-1}$, iar durata impulsurilor este foarte mică, de 20 - 500 μ s. Durata de conducție a tiristorilor $\Delta t_{conducție}$ este proporțională cu valoarea tensiunii de comandă u_m . Conducția este precedată de un interval $\Delta t_{pauză}$, proporțional cu unghiul de amorsare a tiristorilor. În acest sens, se poate afirma că regulatorul de turație cu tiristori funcționează după principiul modulației duratei impulsurilor, adică PWM (pulse width modulation). Impulsurile sunt aplicate unui amplificator AP pentru curentul de poartă realizat cu un tranzistor, în al cărui circuit de colector se află un transformator de impulsuri TI; cele două secundare ale transformatorului dau impulsurile de comandă pe porțile tiristorilor T1 și T2, funcționând în regim de comutație la frecvența menționată. În acest fel la bornele motorului electric M rezultă o tensiune medie de alimentare U_{med} conform relațiilor:

$$U_{med} = U_a \frac{f(\Delta t_{conducție})}{\Delta t_{conducție} + \Delta t_{pauza}} \quad (4.1.1)$$

$$U_{med} = U_a \frac{f(\Delta t_{conducție})}{T} \quad (4.1.2)$$

$$U_{med} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi} \sqrt{2} U_a \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (4.1.3)$$

unde:

U_{med} [V] este tensiunea medie aplicată la bornele motorului de c.c. M în perioada T a tensiunii alternative de alimentare;

U_a [V] este valoarea efectivă a tensiunii alternative de alimentare;

T [s] este perioada tensiunii alternative de alimentare, perioada de comutație sau perioada de repetiție a impulsurilor de amorsare, ce corespunde frecvenței de lucru a generatorului de impulsuri PWM (în cazuri speciale de utilizare), astfel încât $T = f^{-1}$;

$\Delta t_{conducție}$ [s] este intervalul de timp de conducție al tiristorului T1, respectiv T2, în care tensiunea de alimentare U_a este aplicată la bornele motorului M;

$\Delta t_{pauză}$ [s] este intervalul de timp de pauză al tiristorului T1, respectiv T2, în care tensiunea de alimentare U_a nu este aplicată motorului M.

$f(\Delta t_{conducție})$ este o funcție de variabila $\Delta t_{conducție}$.

Tensiunea U_{med} este mărimea de ieșire a sistemului de reglare, care menține turația la valoarea de referință n_{ref} , cu o stabilitate de $\pm 4\%$, pentru orice valoare a turației de referință din domeniul de turație prescris, ale cărui limite se află în raportul $n_{min}/n_{max} = 1/20$.

Generatorul de impulsuri GI, împreună cu amplificatorul pentru curentul de poartă AP, tiristorii T1 și T2, diodele D3 și D4, precum și circuitele de supresare și de protecție la supratensiuni RC ale tiristorilor T1, T2 și diodelor D3, D4 formează un regulator de tensiune, ca parte integrantă a regulatorului de turație. La acestea se adaugă regulatorul de turație (proporțională cu tensiunea), care lucrează în modul descris mai înainte. Rezultă astfel regulatorul de turație cu tiristori, proiectat și realizat în mai multe variante, încercate în condiții de laborator și în condiții industriale.

Reacția de tensiune electromotoare, proporțională cu turația

De la ieșirea generatorului de impulsuri GI se aplică un semnal de comandă la un comutator de reacție tranzistorizat CRT, alcătuit din două etaje cu tranzistori, ce funcționează în regim de comutație, care preia reacția de tensiune electromotoare de la bornele motorului de c.c. M, în așa fel încât acest comutator se află în stare de conducție numai în intervalele de timp de pauză de curent $\Delta t_{pauză}$, atunci când tensiunea la bornele motorului de c.c. M este egală cu tensiunea electromotoare, proporțională cu turația, întrucât motorul electric M se învârtă în virtutea inerției și funcționează momentan ca generator de c.c. în intervalele Δt_{pauza} , conform ecuației tensiunii generatorului de c.c. [184, 193], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{pauză}$:

$$U_e = U(\Delta t_{pauză}) + I R \quad (4.1.4)$$

$$U_e = k n \quad (4.1.5)$$

$$I = 0 \quad (4.1.6)$$

$$U(\Delta t_{pauză}) = k n \quad (4.1.7)$$

unde:

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c. M, care funcționează de fapt ca generator de c.c. în intervalele $\Delta t_{pauză}$;

$U(\Delta t_{pauză})$ [V] este tensiunea la bornele motorului de c.c. M în intervalele $\Delta t_{pauză}$;

I [mA] este curentul debitat de motorul de c.c. M în intervalele $\Delta t_{pauză}$ către comutatorul de reacție tranzistorizat CRT, care este de ordinul miliamperilor și el se poate neglija;

n [rot/min] este turația rotorului motorului de c.c. M, proporțională cu viteza unghiulară ω [rad/sec];

k [Vmin/rot] este constanta motorului electric de c.c. M;

R [Ω] este rezistența electrică a rotorului motorului de c.c. M.

În schimb, în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{conducție}$, tensiunea de reacție nu este preluată, deoarece la bornele motorului de c.c. M este aplicată tensiunea de alimentare U_a , conform

ecuației tensiunii motorului de c.c. [184, 193], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{conducție}}$:

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_e + I R \quad (4.1.8)$$

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_a \quad (4.1.9)$$

unde:

$U(\Delta t_{\text{conducție}})$ [V] este tensiunea la bornele motorului electric de c.c. M în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$;

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c. M;

I [A] este curentul rotoric de sarcină al motorului de c.c. M;

R [Ω] este rezistența electrică a rotorului motorului de c.c. M.

Semnalul de la ieșirea comutatorului de reacție tranzistorizat CRT este integrat analogic sau digital de către un circuit de integrare CI spre a se obține o tensiune continuă, care se aplică la intrarea regulatorului de tensiune A1, ca reacție de tensiune electromotoare U_e , având rolul de menținere a turației la valoarea de referință (reacție negativă).

Trebuie remarcat că $U_{\text{referință}}$ și $U_{\text{reacție}}$ au semne deiferite. Semnalul de eroare este diferența acestor mărimi. Reacția este negativă și ea are efect de stabilizare. Pentru inversarea uneia dintre aceste tensiuni se utilizează un amplificator A2.

Considerațiile de mai sus sunt valabile în ipoteza simplificatoare a neglijării efectului proceselor de comutație datorate energiei electromagnetice înmagazinate în inductivitatea circuitului de sarcină al rotorului motorului electric M. Ipoteza este corectă, deoarece constanta de timp a proceselor de comutație datorate inductivității este de câteva zeci de ori mai mică decât perioada T ce corespunde frecvenței de funcționare a regulatorului de tensiune. În plus, vârfurile de tensiune într-un sens și în sens contrar datorate acestor procese de comutație sunt aplatizate de către circuitele de supresare RC și integrate de către circuitul de integrare CI, care le compensează reciproc.

Compensarea reducerii turației în sarcină

Pe de altă parte, prin intermediul unui comutator de reacție tranzistorizat CRT₂, care funcționează în regim de comutație, în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$, este preluată reacția de curent. Întrucât la bornele motorului de c.c. M este aplicată tensiunea de alimentare U_a , conform ecuației tensiunii motorului de c.c. [184, 193], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{conducție}}$, din relațiile (4.1.8) și (4.1.9) decurg următoarele implicații:

$$I R = U(\Delta t_{\text{conducție}}) - U_e \quad (4.1.10)$$

$$k I R = k(U_a - U_e) \quad (4.1.11)$$

$$k I R = k U_a - k U_e \quad (4.1.12)$$

$$U_{\text{ref}} = k U_e \quad (4.1.13)$$

$$k I R = \Delta U_{\text{ref}} \quad (4.1.14)$$

$$U_{\text{ref corectat}} = U_{\text{ref}} + \Delta U_{\text{ref}} \quad (4.1.15)$$

$$k U_e \text{ corectat} = k U_e + k I R \quad (4.1.16)$$

$$U_e \text{ corectat} = U_e + I R \quad (4.1.17)$$

$$U_e \text{ corectat} - U_e = I R \quad (4.1.18)$$

$$\Delta U_{\text{corecție}} = U_e \text{ corectat} - U_e \quad (4.1.19)$$

$$\Delta U_{\text{corecție}} = I R \quad (4.1.20)$$

unde:

$U(\Delta t_{\text{conducție}})$ [V] este tensiunea la bornele motorului electric de c.c. M în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$;

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c. M;

I [A] este curentul rotoric de sarcină al motorului de c.c. M;

R [Ω] este rezistența electrică a rotorului motorului de c.c. M;

U_{ref} [V] este referința de turație;

$U_{ref\text{ corectat}}$ [V] este referința de turație corectată cu o valoare proporțională cu curentul de sarcină al motorului;

$\Delta U_{corecție}$ [V] este tensiunea de alimentare a motorului corectată cu o valoare proporțională cu curentul de sarcină al motorului, în scopul compensării;

k este o constantă de proporționalitate, în funcție de divizoarele de tensiune din circuitele regulatorului de tensiune, care efectuează compensarea.

Semnalul de la ieșirea comutatorului de reacție tranzistorizat CRT_2 este integrat analogic sau digital de către un circuit de integrare CI_2 spre a se obține o tensiune continuă, care se aplică la intrarea regulatorului de tensiune $A1$, ca o corecție a tensiunii de referință de turație, având rolul de menținere a turației la valoarea de referință, prin mărirea tensiunii aplicate la bornele motorului (reacție pozitivă), în scopul compensării căderii de tensiune pe rezistența rotorului, cauzată de către curentul de sarcină al motorului.

Din analiza relațiilor (4.1.10) – (4.1.20) rezultă că valoarea de corecție a tensiunii de alimentare este egală chiar cu căderea de tensiune rotorică, existentă la funcționarea în sarcină a motorului electric. În acest mod se realizează compensarea reducerii turației motorului în sarcină.

Trebuie remarcat că $U_{referință}$ și $U_{reacție}$ au același semn, în acest caz. Semnalul de eroare este suma acestor mărimi. Reacția este pozitivă și ea are efect de compensare.

Limitarea curentului instantaneu

Regulatorul de turație cu tiristori propus și descris aici realizează, de asemenea, limitarea curentului instantaneu maxim pe caracteristica dinamică de funcționare a motorului electric de c.c. M (i_{Max}), adică pe intervalele de timp de conducție $\Delta t_{conducție}$, limitare ce are rolul de protecție rapidă a tiristorilor $T1, T2$, a diodelor $D3, D4$ și a motorului electric M , la pornire și la variații bruște, dar de durată relativ mică, ale sarcinii motorului electric M , situații în care curentul de sarcină are tendința de a depăși de 5 - 8 ori curentul nominal I_n al motorului M .

În acest scop, regulatorul de turație cu tiristori are în componență, de asemenea, un element comparator $A3$ pentru limita de curent instantaneu; la o intrare a acestuia se aplică o tensiune de referință proporțională cu limita dinamică de curent, care este valoarea curentului instantaneu maxim admis i_{max} , iar la altă intrare a comparatorului se aplică o reacție de curent i_r preluată de pe un șunt R_s înseriat cu motorul electric de c.c. M . Atunci când curentul instantaneu de sarcină i_s prin motorul electric M a atins valoarea curentului instantaneu maxim admis i_{Max} , comparatorul $A3$ dă la ieșire sa un semnal treaptă de tensiune, care comandă generatorul de impulsuri GI ; acesta mărește unghiul de amorsare a tiristorilor, în așa fel încât curentul de anod al tiristorilor $T1$ și $T2$, prin care este alimentat motorul electric M , se reduce rapid până la valoarea prescrisă a limitei de curent maxim de suprasarcină I_{max} . Limitarea se produce după un timp de răspuns mic, introdus numai de caracteristicile dinamice ale componentelor electronice, ca și de inductivitățile parazite și capacitățile parazite ale circuitului reacției de curent i_r . Circuitul descris este destinat protecției rapide la impulsuri de curent a tiristorilor $T1, T2$, a diodelor $D3, D4$ și a motorului electric M , ale căror caracteristici tehnice au impus valoarea prescrisă pentru i_{Max} . Protecția rapidă acționează la pornire și în regimurile tranzitorii provocate de variații bruște dar de scurtă durată ale cuplului rezistent și ale forțelor de inerție la arborele motorului electric M .

Limitarea curentului de suprasarcină

Regulatorul de turație cu tiristori executat și descris aici, efectuează, de asemenea, protecția la curentul de suprasarcină a tiristorilor $T1$ și $T2$, a diodelor $D3$ și $D4$ și a motorului electric M , prin întreruperea funcționării motorului în cazul în care curentul mediu de sarcină I_s al motorului devine egal cu valoarea curentului de suprasarcină admis I_{max} pe un anumit interval de timp de protecție $\Delta t_{protecție}$, prestabilite în funcție de caracteristicile tehnice de comutație ale tiristorilor $T1, T2$ și ale motorului electric M .

Pentru îndeplinirea acestei funcțiuni, regulatorul de turație cu tiristori conține, de asemenea, un comparator A4 pentru limita de curent de suprasarcină; la una dintre intrările acestuia se aplică o tensiune de referință proporțională cu valoarea prescrisă a curentului maxim de suprasarcină I_{\max} , iar la altă intrare a comparatorului A4 se aplică o reacție de curent i_r preluată de pe un șunt R_s , prin intermediul unui circuit de temporizare, având o anumită constantă de timp T_i . Astfel, atunci când curentul de sarcină mediu I_s printr-un motor electric M înseriat cu șuntul R_s a atins valoarea prescrisă a curentului de suprasarcină maxim I_{\max} pe un interval de timp $\Delta t_{\text{protecție}} = 3 T_i$, comparatorul A4 produce la ieșirea sa un semnal treaptă de tensiune maximă, care comandă un circuit de automenținere CA, iar acesta aplică tensiunea sa de alimentare la una dintre intrările regulatorului de tensiune A1, anulând tensiunea de referință proporțională cu referința de turație și întrerupând, în acest mod, funcționarea motorului electric M, în scopul protecției la suprasarcină a tiristorilor T1 și T2, a diodelor D3 și D4, dar și a motorului electric M, alimentat prin intermediul acestora. Caracteristicile tehnice ale tiristorilor, diodelor și motorului se au în vedere când se stabilesc valorile prescrise pentru I_{\max} și $\Delta t_{\text{protecție}}$. Funcționarea motorului electric M poate fi reluată numai după deconectarea alimentării de la întrerupătorul principal K_0 al echipamentului, remedierea defecțiunii ce a provocat suprasarcina și apoi, reconectarea alimentării.

Facilități de automatizare secvențială

Regulatorul de turație cu tiristori proiectat și executat, are posibilitatea de a executa, de asemenea, o secvență programabilă de conectări temporizate pentru comenzi de automatizare la pornire (gaz de protecție, sursă de sudare, motor, manipulator, ș.a.), având anumite constante de timp, precum și o altă secvență programabilă de deconectări temporizate pentru comenzi de automatizare la oprire (oprirea motorului, frânare, decuplarea sursei de sudare, oprirea manipulatorului, întreruperea gazului de protecție, ș.a.), având alte constante de timp, ambele secvențe în conformitate cu diagrama temporală de funcționare a echipamentului de sudare în cadrul căruia este utilizat regulatorul.

Pentru aceasta, regulatorul trebuie completat în exterior cu următoarele componente: patru microrelee $d1$, $d2$, $d3$ și $d4$, comandate prin intermediul unor circuite de temporizare T1, T2, T3, T4, precum și două relee $d23$ și $d24$, un releu de frânare $d5$ și un releu de reversare $d6$. Secvența de conectări de la pornire și secvența de deconectări de la oprire sunt declanșate de la un singur buton K1 de comandă centralizată pentru pornire-oprire.

Aplicații

Regulatorul de turație cu tiristori, realizat de autor, asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin utilizarea compensării căderii de tensiune rotorică sau prin utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului, care este proporțională cu turația. În ambele cazuri nu se utilizează un tahogenerator, ceea ce simplifică proiectarea și execuția ansamblului sistemului de acționare și reduce costul acestuia. Acest lucru este posibil datorită alimentării motorului în regim de impulsuri modulate în durată, prin intermediul tiristorilor.

Au fost realizate succesiv câteva variante ale regulatorului de turație descris mai sus, care au fost utilizate la anumite echipamente de sudare mecanizată.

a) Regulator de turație tip VTX cu tiristori, funcționând după principiul unghiului electric de amorsare variabil, la frecvența de 50 Hz a rețelei de alimentare, prin intermediul unui redresor în punte semicomandată. Regulatele din această categorie (1995) au fost proiectate prin tehnica manuală, pentru amplasarea componentelor și a găurilor și pentru trasarea liniilor de cablaj. Ele au fost executate în tehnologie industrială prin tehnica fotorezistului și a corodării chimice controlate.

Aceste regulate de turație au fost concepute și realizate în cadrul unor lucrări experimentale, în care au fost și încercate, după mai multe criterii, în conformitate cu cerințele tehnice din SR 11 280, referitor la dispozitive de avans al sârmei pentru echipamente de sudare

MIG/MAG. Standardul citat este considerat acoperitor și pentru alte cazuri de aplicare a regulatorului de turație la acționări ale echipamentelor de sudare. În cazul utilizării ca regulator de tensiune, au fost considerate ca referențial cerințele tehnice pentru surse de sudare.

Regulatele de turație din această categorie au fost aplicate în lucrări de modernizare a unor dispozitive de avans al sârmei pentru sudare MIG/MAG [221, 222], la reparația locală a unor surse de sudare MIG/MAG de 350 - 400 A cu transductor, precum și în alte lucrări ocazionale.

b) Regulator de turație tip VV7TIN cu tiristori, funcționând după principiul unghiului electric de amorsare variabil, la frecvența de 50 Hz a rețelei de alimentare, prin intermediul unui redresor în punte semicomandată. Regulatele din această categorie (1998) au fost concepute prin proiectare asistată de calculatorul electronic în programul Orcad 4. Ele sunt executate în tehnologia industrială computerizată, complet automatizată la toate operațiunile: găurire, fotoimpresionare, trasarea liniilor de cablaj pe ambele fețe, marcarea, corodare chimică controlată, etc.

Regulatele de turație din această categorie au fost concepute și realizate în cadrul unor lucrări de cercetare - dezvoltare, în care ele au fost experimentate, perfecționate și verificate, după toate criteriile, în conformitate cu cerințele tehnice din SR 11 280, referitor la dispozitive de avans al sârmei pentru echipamente de sudare MIG/MAG. Standardul citat este considerat acoperitor și pentru alte cazuri de aplicare a regulatorului de turație la acționări ale echipamentelor de sudare: tractoare, blocuri cu role, sisteme și dispozitive de rotire, mecanisme de poziționare etc. În cazul utilizării ca regulator de tensiune, se consideră ca referențial cerințele tehnice pentru surse de sudare.

Regulatele de turație din această categorie au fost aplicate la realizarea unor modele experimentale de echipamente [119, 120], precum și la execuția anumitor echipamente de sudare specializate unicat pentru beneficiari din industrie [98, 107, 223, 224], dar și în alte lucrări ocazionale.

În anumite aplicații, regulatele de turație sunt utilizate la acționarea cu motor de 2,2 kW / 220 V a unor blocuri cu role pentru țevi D_n 300 – 500 mm [107], respectiv pentru virole de diametru D_n 1200 - 2000 mm [224].

4.2. Regulator PWM de turație cu tranzistor, cu reacție de tensiune electromotoare

Autorul a realizat, ca lucrare originală, un tip de regulator de turație cu tranzistor, pentru motoare electrice de curent continuu, având puterea nominală în domeniul 100 - 1000 W. Domeniul de putere este în funcție de caracteristicile tehnice ale tranzistorului de putere utilizat ca element de execuție al sistemului de reglare. Regulatorul propus este un dispozitiv electronic ce funcționează în impulsuri modulate în durată, utilizează reacția de tensiune electromotoare pentru stabilizarea turației, are circuite de protecție rapidă și temporizată și este prevăzut cu comenzi secvențiale pentru automatizare.

Domeniul de aplicare industrială a regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare propus îl reprezintă acționările electrice cu turație variabilă ale dispozitivelor de avans al sârmei pentru instalații de sudare mecanizată și automatizată sub flux (SAF) sau/și în mediu de gaz protector (MIG/MAG), dar și acționările electrice ale tractoarelor pentru sudare, ale meselor de poziționare și rotire (MPR), ale blocurilor cu role simple (BR) și ale blocurilor cu role duble (BRD), ca și alte acționări ale unor mecanisme de la diverse categorii de utilaje, care solicită menținerea turației cu o stabilitate de $\pm 4 \%$ față de valoarea precisă, pentru variații în limite admisibile ale tensiunii de alimentare și ale curentului de sarcină și care au prevăzută o plajă de reglare de cel puțin 20:1, ce reprezintă raportul dintre turația maximă și turația minimă ale domeniului de turație prescris.

Schema bloc a regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare proiectat, executat și testat în condiții de laborator și verificat în exploatare în condiții industriale este prezentată în fig. 4.2.1. Schema electrică de principiu, schemele de cablaj și schema de amplasare a componentelor plăcii electronice a regulatorului de turație cu tranzistor sunt prezentate în anexă.

Schemele sunt proiectate printr-un program specializat, asistat de calculatorul electronic. Placa electronică de cablaj imprimat se execută în tehnologie computerizată.

În situația actuală, la reglatoarele sau regulatoarele de turație pentru motoarele de c.c. este utilizată reacția de turație dată de un tahogenerator, cuplat mecanic cu arborele motorului, sub forma unei tensiuni proporționale cu turația, care este însumată algebric, analogic sau digital, cu o tensiune de referință (de semn opus), proporțională cu turația prescrisă, iar semnalul de eroare rezultat este amplificat și aplicat la intrarea generatorului de impulsuri de amorsare pentru tiristorii din cadrul unei punți semicomandate de redresare, respectiv la intrarea generatorului de impulsuri cu modulație în durată PWM (pulse width modulation) pentru comanda unui tranzistor de putere aflat într-un circuit de tensiune redresată în prealabil [11,15,50,52,184,193]. Puntea de redresare semicomandată, respectiv tranzistorul de putere sunt elementele de execuție prin care este reglată tensiunea medie de alimentare aplicată la bornele motorului de c.c. Aceste scheme electrice de principiu presupun existența unui tahogenerator, ceea ce atrage după sine dezavantajele următoare: gabarit mai mare al mecanismului și dificultăți de amplasare, dificultăți în proiectare și execuție, dar și un cost mai ridicat al acționării electrice.

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare prezentat aici, realizează reglarea turației unui motor de c.c. pentru orice valoare din domeniul de turație prescris, fără utilizarea unui tahogenerator, înlăturând astfel dezavantajele menționate. Principiul de funcționare al regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare este descris în continuare.

Metoda de reglare a turației

O tensiune de referință U_{ref} proporțională cu o turație de referință n_{ref} este aplicată la intrarea inversoare a unui amplificator operațional AO1, având rolul de regulator de tensiune electromotoare, după inversarea prealabilă a acestei tensiuni de referință de către un amplificator operațional AO2, cu rolul de inversor de tensiune. La aceeași intrare inversoare a amplificatorului operațional AO1 este aplicată și o reacție de tensiune electromotoare U_e , proporțională cu turația (asupra căreia se va reveni cu explicații). Semnalul de la ieșirea regulatorului de tensiune electromotoare AO1 este aplicat unui generator de impulsuri modulate în durată PWM (pulse width modulation), iar impulsurile de la ieșirea directă e_+ a generatorului de impulsuri PWM se aplică unui amplificator pentru curentul de bază ACB, care comandă baza unui tranzistor (Darlington) de putere TD, ce funcționează în regim de comutație la o anumită frecvență (500 - 1000 Hz), în impulsuri dreptunghiulare de durată reglabilă. Prin intermediul tranzistorului de putere TD tensiunea de alimentare continuă U_a (redresată în prealabil) este aplicată unui motor de c.c. M, în așa fel încât tensiunea medie de alimentare a motorului M este dată de relația [184, 193]:

$$U_{med} = U_a \frac{\Delta t_{conducție}}{\Delta t_{conducție} + \Delta t_{pauza}} \quad \text{sau} \quad (4.2.1)$$

$$U_{med} = U_a \frac{\Delta t_{conducție}}{T} \quad (4.2.2)$$

unde:

U_{med} [V] este tensiunea medie aplicată la bornele motorului de c.c. M în intervalul de timp T;

U_a [V] este tensiunea continuă de alimentare (redresată în prealabil);

T [s] este perioada de comutație sau perioada de repetiție a impulsurilor ce corespunde frecvenței de lucru a generatorului de impulsuri PWM, astfel încât $T = f^{-1}$;

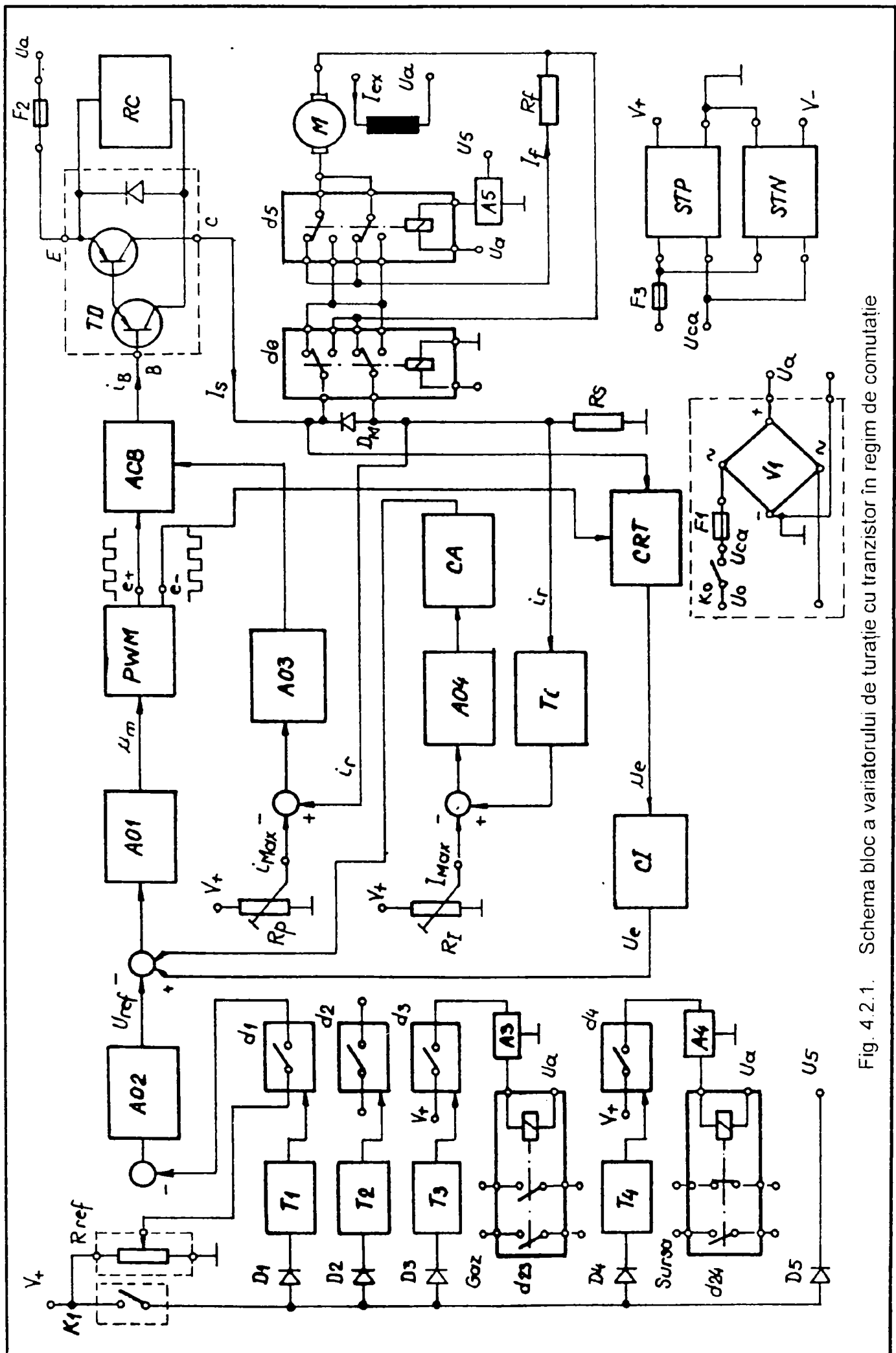


Fig. 4.2.1. Schema bloc a variatorului de turație cu tranzistor în regim de comutație

$\Delta t_{\text{conducție}}$ [s] este intervalul de timp de conducție al tranzistorului TD, în care tensiunea de alimentare U_a este aplicată la bornele motorului M;

$\Delta t_{\text{pauză}}$ [s] este intervalul de timp de pauză al tranzistorului TD, în care tensiunea de alimentare U_a nu este aplicată motorului M.

Generatorul de impulsuri PWM, împreună cu amplificatorul pentru curentul de bază ACB, tranzistorul (Darlington) de putere TD și circuitele de supresare și de protecție la supratensiuni RC ale tranzistorului de putere TD formează un regulator de tensiune PWM sau un chopper, ca parte integrantă a regulatorului de turație cu reacție de tensiune electromotoare, proiectat și realizat în mai multe variante, încercate în condiții de laborator și în condiții industriale.

Utilizarea reacției de tensiune electromotoare, proporțională cu turația

De la ieșirea inversoare e. a generatorului de impulsuri PWM se aplică un semnal de comandă la un comutator de reacție tranzistorizat CRT, alcătuit din două etaje cu tranzistori, ce funcționează în regim de comutație, care preia reacția de tensiune electromotoare de la bornele motorului de c.c. M, în așa fel încât acest comutator se află în stare de conducție numai în intervalele de timp de pauză de curent $\Delta t_{\text{pauză}}$, atunci când tensiunea la bornele motorului de c.c. M este egală cu tensiunea electromotoare, proporțională cu turația, întrucât motorul electric M se învâрте în virtutea inerției și funcționează momentan ca generator de c.c. în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$, conform ecuației tensiunii generatorului de c.c. [184, 193], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{pauză}}$:

$$U_e = U(\Delta t_{\text{pauză}}) + I R \quad (4.2.3)$$

$$U_e = k n \quad (4.2.4)$$

$$I = 0 \quad (4.2.5)$$

$$U(\Delta t_{\text{pauză}}) = k n \quad (4.2.6)$$

unde:

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c. M, care funcționează de fapt ca generator de c.c. în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$;

$U(\Delta t_{\text{pauză}})$ [V] este tensiunea la bornele motorului de c.c. M în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$;

I [mA] este curentul debitat de motorul de c.c. M în intervalele $\Delta t_{\text{pauză}}$ către comutatorul de reacție tranzistorizat CRT, care este de ordinul miliamperilor și el se poate neglija;

n [rot/min] este turația rotorului motorului de c.c. M, proporțională cu viteza unghiulară ω [rad/sec];

k [Vmin/rot] este constanta motorului electric de c.c. M;

R [Ω] este rezistența electrică a rotorului motorului de c.c. M.

În schimb, în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$, tensiunea de reacție nu este preluată, deoarece la bornele motorului de c.c. M este aplicată tensiunea de alimentare U_a , conform ecuației tensiunii motorului de c.c. [184, 193], considerată aici doar pentru intervalul de timp $\Delta t_{\text{conducție}}$:

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_e + I R \quad (4.2.7)$$

$$U(\Delta t_{\text{conducție}}) = U_a \quad (4.2.8)$$

unde:

$U(\Delta t_{\text{conducție}})$ [V] este tensiunea la bornele motorului electric de c.c. M în intervalele de timp de conducție $\Delta t_{\text{conducție}}$;

U_e [V] este tensiunea electromotoare a motorului de c.c. M;

I [A] este curentul rotoric de sarcină al motorului de c.c. M;

R [Ω] este rezistența electrică a rotorului motorului de c.c. M.

Semnalul de la ieșirea comutatorului de reacție tranzistorizat CRT este integrat analogic de către un circuit de integrare CI spre a se obține o tensiune continuă, care se aplică la intrarea

inversoare a amplificatorului operațional AO1, ca reacție de tensiune electromotoare U_e , având rolul de menținere a turației la valoarea de referință.

Considerațiile de mai sus sunt valabile în ipoteza simplificatoare a neglijării efectului proceselor de comutație datorate energiei electromagnetice înmagazinate în inductivitatea circuitului de sarcină al rotorului motorului electric M. Ipoteza este corectă, deoarece constanta de timp a proceselor de comutație datorate inductivității este de câteva zeci de ori mai mică decât perioada T ce corespunde frecvenței de funcționare a regulatorului de tensiune PWM. În plus, vârfurile de tensiune într-un sens și în sens contrar datorate acestor procese de comutație sunt aplatizate de către circuitele de supresare RC și integrate de către circuitul de integrare CI, care le compensează reciproc.

Protecția la vârfurile de curent instantaneu

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare propus și descris aici realizează, de asemenea, limitarea curentului instantaneu maxim pe caracteristica dinamică de funcționare a motorului electric de c.c. M (i_{Max}), adică pe intervalele de timp de conducție $\Delta t_{conducție}$, limitare ce are rolul de protecție rapidă a tranzistorului de putere TD și a motorului electric M, la pornire și la variații bruște, dar de durată relativ mică, ale sarcinii motorului electric M, situații în care curentul de sarcină are tendința de a depăși de 5 - 8 ori curentul nominal I_n al motorului M.

În acest scop, o reacție de curent i_r preluată de pe un șunt R_s , înseriat cu motorul electric M, este aplicată la intrarea neinversoare a unui amplificator operațional AO3, având rol de comparator, iar la intrarea inversoare a comparatorului AO3 se aplică o tensiune de referință proporțională cu valoarea curentului instantaneu maxim admis i_{Max} . Atunci când valoarea i_{Max} este atinsă, comparatorul AO3 dă un semnal treaptă de tensiune maximă, care intervine asupra amplificatorului pentru curentul de bază ACB, comandă trecerea tranzistorului de putere TD în regimul de funcționare liniar și produce astfel reducerea curentului de colector al tranzistorului de putere TD până la valoarea curentului de suprasarcină admis I_{max} .

Protecția la curentul de suprasarcină

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare executat și descris aici, efectuează, de asemenea, protecția la curentul de suprasarcină a tranzistorului de putere TD și a motorului electric M, prin întreruperea funcționării motorului în cazul în care curentul mediu de sarcină I_s al motorului este egal cu valoarea curentului de suprasarcină admis I_{max} pe un anumit interval de timp de protecție $\Delta t_{protecție}$, ambele prestabilite în funcție de caracteristicile tehnice de comutație ale tranzistorului de putere TD și ale motorului electric M.

Pentru îndeplinirea acestei funcțiuni, o reacție de curent i_r preluată din circuitul motorului electric M de pe un șunt R_s , prin intermediul unui circuit de temporizare având o anumită constantă de timp T_i , este aplicată la intrarea neinversoare a unui amplificator operațional AO4 cu rol de comparator, iar la intrarea inversoare a comparatorului AO4 se aplică o tensiune de referință proporțională cu valoarea curentului de suprasarcină maxim admis I_{max} . Atunci când valoarea I_{max} este atinsă, după un interval de timp de protecție $\Delta t_{protecție} = 3 T_i$, comparatorul AO4 produce un semnal treaptă de tensiune maximă, care comandă un circuit de automenținere CA, iar acesta aplică tensiunea sa maximă de alimentare V_+ la intrarea inversoare a regulatorului de tensiune electromotoare AO1, anulând astfel referința de turație și întrerupând funcționarea regulatorului. Pornirea acestuia este posibilă numai după întreruperea alimentării de la întrerupătorul principal K_0 al echipamentului, remedierea defecțiunii ce a cauzat suprasarcina și, apoi, recuplarea alimentării.

Facilități de automatizare

Regulatorul de turație cu reacție de tensiune electromotoare proiectat și executat, realizează, de asemenea, o secvență programabilă de conectări temporizate pentru comenzi de automatizare la

pornire (gaz de protecție, sursă de sudare, motor, manipulator, ș.a.), având anumite constante de timp, precum și o altă secvență programabilă de deconectări temporizate pentru comenzi de automatizare la oprire (oprirea motorului, frânare, decuplarea sursei de sudare, oprirea manipulatorului, întreruperea gazului de protecție, ș.a.), având alte constante de timp, ambele secvențe în conformitate cu diagrama temporală de funcționare a echipamentului de sudare în cadrul căruia este utilizat regulatorul.

Pentru aceasta, regulatorul este prevăzut cu patru microrelee d1, d2, d3 și d4, comandate prin intermediul unor circuite de temporizare T1, T2, T3, T4, precum și cu două rele d23 și d24, cu un releu de frânare d5 și un releu de reversare d6. Secvența de conectări de la pornire și secvența de deconectări de la oprire sunt declanșate de la un singur buton K1 de comandă centralizată pentru pornire-oprire.

Aplicații

Regulatorul de turație realizat cu tranzistor, realizat de autor, asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului, care este proporțională cu turația, fără a se utiliza un tahogenerator, ceea ce simplifică proiectarea și execuția ansamblului sistemului de acționare și reduce costul acestuia. Acest lucru este posibil datorită alimentării motorului în regim de impulsuri modulate în durată, prin intermediul unui tranzistor de putere.

Au fost realizate succesiv câteva variante ale regulatorului de turație descris în cele de mai sus, care au fost utilizate la anumite echipamente de sudare mecanizată.

1) Regulator de turație tip VTT cu tranzistor, funcționând în regim de comutație la frecvența de 1,0 – 1,5 kHz. Regulatele din această categorie (1996) au fost proiectate prin tehnica manuală referitor la amplasarea componentelor și a găurilor și pentru trasarea liniilor de cablaj. Ele au fost executate în tehnologie industrială prin tehnica fotorezistului și a corodării chimice controlate. Regulatele de turație din această categorie au fost aplicate în lucrări de modernizare a unor dispozitive de avans al sârmei pentru sudare MIG/MAG [221, 222], precum și în alte lucrări ocazionale.

2) Regulator de turație tip V cu tranzistor, funcționând în regim de comutație la frecvența de 1,5 – 3,0 kHz. Regulatele din această categorie (1998) au fost concepute prin proiectare asistată de calculatorul electronic în programul Orcad 4. Ele sunt executate în tehnologia industrială, computerizată, complet automatizată la toate operațiunile: găurire, fotoimpresionare, corodare chimică, marcarea, etc. Regulatele din aceste categorii sunt de tipul chopper cu tranzistor și sunt dotate cu următoarele funcțiuni: bucle de reglare analogică, care constituie aplicații ale unor variante de regulator fuzzy; circuite de protecție la supracurent și supratensiune; circuite de automatizare cu microrelee.

Regulatele de turație cu tranzistor au fost concepute și realizate de către autor în cadrul unor lucrări de cercetare – dezvoltare, în care au fost experimentate, perfecționate și verificate, după toate criteriile, în conformitate cu cerințele tehnice din SR 11 280, referitor la dispozitive de avans al sârmei pentru echipamente de sudare MIG/MAG. Standardul citat este considerat acoperitor și pentru alte cazuri de aplicare a regulatorului de turație la acționări ale echipamentelor de sudare: tractoare, blocuri cu role, sisteme și dispozitive de rotire, mecanisme de poziționare etc. În cazul utilizării ca regulator de tensiune, se consideră ca referențial cerințele tehnice pentru surse.

Regulatele de turație din această categorie au fost aplicate la realizarea unor modele experimentale [229], la execuția acționărilor de la echipamentul specializat de încărcare prin sudare a robinetelor energetice [96, 230, 231], cât și în alte lucrări ocazionale.

Aspecte tehnico - economice

Din analiza bibliografiei tehnice de specialitate la nivelul internațional actual, precum și a ofertelor de echipamente de la mai multe firme rezultă că această categorie de regulate de

turație, cu tranzistori în regim de comutație se mențin în actualitate, pentru unele clase de acționări electrice de la echipamente industriale, inclusiv de sudare. Anumite firme producătoare de echipamente de sudare, cum sunt Kemppi OY (Finlanda), Cloos GmbH (Germania), Varstroj doo (Slovenia) ș.a. utilizează motoare de c.c. de circa 100 W, având acționare cu tranzistori, funcționând în regim de comutație, la dispozitivul pentru avansul sârmei-electrod de la sursele de sudare MIG/MAG de 150 – 250 A și de 350 – 400 A, aflate în fabricație curentă [11, 17, 18, 19, 20]. De asemenea, există în fabricație și în exploatare echipamente automatizate de sudare, de tăiere termică și pentru alte procedee conexe care sunt dotate cu acționări de curent continuu în regim de comutație, la frecvența înaltă (1,5 – 20 kHz) sau chiar la frecvență industrială. Aceste acționări sunt denumite *servo drive*, prescurtare de la *servomotor drive*, ceea ce înseamnă acționare cu motor de c.c. Acționările servo sunt competitive din punctul de vedere al prețului de achiziție pentru anumite aplicații [200; 201].

Regulatele de turație cu tiristori, respectiv cu tranzistor, realizate de autor au fost executate în cadrul unor lucrări de cercetare sau pentru echipamente de sudare unicate, pentru beneficiari. Costul execuției unui astfel de regulator este de 150 – 200 Euro, în funcție de putere. Dacă aceste regulate se execută în condiții de serie mică, prețul estimat se poate reduce la 100 – 150 Euro, la nivelul prețului regulatelelor de aceeași categorie produse pe plan internațional. Conform datelor de catalog și de exploatare existente, performanțele sunt comparabile.

4.3. Regulatorul PWM de turație, ca regulator fuzzy

Regulatorul de turație cu tranzistor în regim de comutație (PWM), cu reacție de tensiune electromotoare, are în componența sa un regulator de tipul PID, realizat analogic pe baza unui amplificator operațional (A01) cu circuitele aferente cu elemente pasive. Acest regulator are o caracteristică de transfer liniară cu prag la limita superioară și la limita inferioară ale mărimii de intrare (semnalul de eroare), respectiv ale mărimii de ieșire (semnalul de comandă), dată către elementul de execuție al buclei de reglare, adică blocul de comandă al tranzistorului Darlington de putere (TD). Caracteristica de transfer rezultă din raportul unor perechi de valori stabilizate în timp ale ieșirii și intrării, astfel că ea este o caracteristică de transfer statică, după cum se prezintă în fig. 4.3.1. Fenomenologic, semnalul de eroare constituie un semnal mediat în timp, cu o anumită constantă de timp, realizată prin mijloacele electronice analogice (circuite RC). Conform acestei abordări, regulatorul realizat reprezintă un regulator fuzzy neliniar cu o intrare și o ieșire.

În realitate, regulatorul de turație funcționează în regim de impulsuri chiar în circuitul de putere (etajul TD), iar prin aceasta el poate fi asimilat, în primă aproximație, cu un circuit logic, care funcționează în logică bivalentă, după principiul „totul sau nimic”. Aplicarea tensiunii de alimentare U_a corespunde la nivelul 1 logic, iar blocarea tensiunii de alimentare corespunde la nivelul 0 logic. Modularea duratei impulsurilor realizează prin integrare analogică o variație liniară între aceste două nivele, atât pentru tensiunea de alimentare a motorului ($U_{a\ med} = \hat{u}$), cât și pentru semnalul de eroare ($\Delta U = \hat{e}$). În acest fel pot fi realizate funcțiile de apartenență reprezentate în fig. 4.3.2.a, care definesc un regulator ce funcționează în logica fuzzy. Fenomenologic, funcția acestui regulator fuzzy este îndeplinită în principal de către modulatorul duratei impulsurilor (blocul PWM) și mai puțin de către regulatorul implementat pe amplificatorul operațional A01 din fig. 4.2.1.

Analizând mai detaliat funcționarea circuitului final de putere al regulatorului PWM, se constată că circuitul de putere comută tensiunea de alimentare continuă de o anumită valoare (ca parametru de funcționare), ceea ce se poate reprezenta sub forma funcției $\mu_{\hat{u}} = P$ de tip singleton pentru mărimea de ieșire $\hat{u} = U_a = +1$ a unui regulator fuzzy, conform fig. 4.3.2.b.

Prin similitudine, se constată că blocul CRT pentru comanda reacției de tensiune electromotoare comută la bornele motorului rezistențele divizorului de tensiune (care pot fi rezistențe de putere), iar acestea realizează frânarea dinamică în intervalele de pauză de curent, adică efectul contrar accelerării produse de conectarea tensiunii de alimentare din faza anterioară.

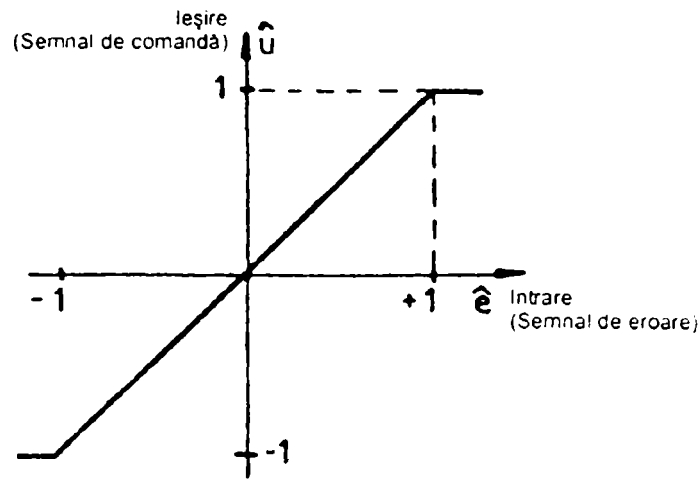
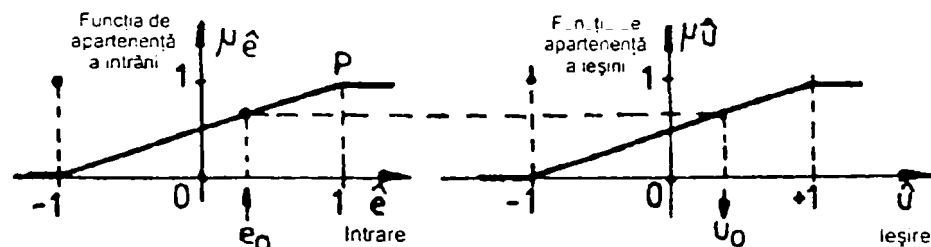
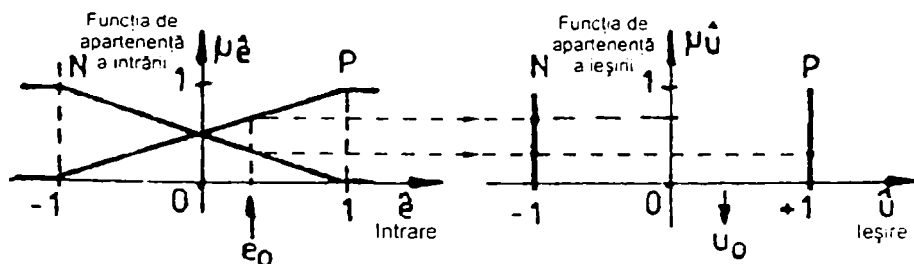


Fig. 4.3.1. Regulatorul fuzzy proporțional neliniar cu o intrare și o ieșire, realizat analogic la variatorul de turație cu tranzistor. Funcția de transfer statică.



R: DACĂ ($e=P$) ATUNCI ($u=P$)

a) Accelerare pentru compensarea reducerii de turație în sarcină.



R1: DACĂ ($e=N$) ATUNCI ($u=P$) SAU

R2: DACĂ ($e=P$) ATUNCI ($u=N$)

b) Accelerare pentru compensarea reducerii de turație în sarcină.
Frânare pentru micșorarea creșterii turației la scăderea sarcinii.

Fig. 4.3.2. Regulatorul fuzzy bidirecțional cu o intrare și o ieșire, realizat în regim de comutație (PWM), la variatorul de turație cu tranzistor, în scopul perfecționării caracteristicilor dinamice.

Aceasta se poate reprezenta sub forma funcției de apartenență $\mu_0 = N$ de tip singleton pentru mărimea de ieșire $\hat{u} = U_c = -U_a = -1$ a unui regulator fuzzy, de asemenea conform fig. 4.3.2.b.

Modulatorul duratei impulsului (blocul PWM) realizează în mod implicit, prin principiul de funcționare, o curbă de dependență liniară cu prag, între semnalul de eroare și durata impulsului tensiunii de alimentare. Această curbă de dependență poate fi interpretată ca funcția de apartenență $\mu_{\hat{e}1}$ a mărimii de intrare $\hat{e} = \Delta U = U_{\text{referință}} - U_{\text{reacție}} = kn_{\text{referință}} - kn_{\text{măsurat}}$ a unui regulator fuzzy, conform fig. 4.3.2.b. Realizarea curbei de dependență menționate poate fi interpretată ca un proces de fuzzificare a mărimii de intrare, care este semnalul de eroare e_0 . Astfel se realizează transformarea $e_0 \rightarrow \hat{e} \rightarrow \mu_{\hat{e}}$.

Modulatorul duratei impulsurilor (blocul PWM) realizează, de asemenea, încă o curbă de dependență liniară cu prag a duratei impulsului tensiunii de alimentare în funcție de semnalul de eroare de turație (proporțional cu tensiunea electromotoare); ea reprezintă opusul curbei menționate anterior, iar ea este dată la ieșirea complementară a blocului PWM. Această curbă de dependență poate fi interpretată ca funcția de apartenență $\mu_{\hat{e}2} = 1 - \mu_{\hat{e}1}$ a mărimii de intrare $\hat{e} = \Delta U = U_{\text{referință}} - U_{\text{reacție}} = kn_{\text{referință}} - kn_{\text{reacție}}$ a aceluiași regulator fuzzy, de asemenea conform cu fig. 4.3.2.b. Procesul descris reprezintă fuzzificarea mărimii de intrare, care este semnalul de eroare e_0 .

Din punct de vedere fenomenologic, regulatorul fuzzy este realizat prin modul de funcționare mai ales de către modulatorul duratei impulsurilor (blocul PWM) și de către elementul de comutație (tranzistorul de putere TD), care aplică regulile de inferență fuzzy, prin principiul lor de funcționare. Regulatorul analogic implementat pe amplificatorul operațional A01 are o contribuție mai redusă în această privință.

Ca urmare a impulsurilor de tensiune de alimentare aplicate succesiv, modulate în durată de către blocul PWM, către sarcina constituită de motorul electric M, la bornele motorului apare tensiunea $U_{a \text{ med}} = u_0$, care este mărimea reglată de către sistemul de reglare considerat. Procesul fizic prin care apare tensiunea $u_0 = U_{a \text{ med}}$ la bornele sarcinii poate fi interpretat ca un proces de defuzzificare a mărimii de ieșire \hat{u} a regulatorului fuzzy, adică transformarea $\hat{u} \rightarrow u_0$. Astfel, defuzzificarea are loc chiar în circuitul de putere al regulatorului PWM de turație, adică ea este realizată în mod implicit de către tranzistorul de putere și motorul electric.

Regulatorul A01 poate fi și digital, însă influența sa asupra funcționării regulatorului de turație în regim de comutație poate fi relativ redusă și lentă. Rolul principal îl au blocul PWM și tranzistorul de putere TD, care produc efecte la nivelul caracteristicilor dinamice ale funcționării regulatorului de turație, ce pot fi analizate avantajos prin prisma logicii fuzzy a proceselor.

Din analiza de mai sus rezultă că regulatorul de turație în comutație, în regimul de modulare a duratei impulsurilor (PWM), funcționează ca un regulator fuzzy bipozițional cu o intrare și o ieșire, tip precizat în [117, 118]. **Asimilarea regulatorului de turație cu tranzistor în regim de comutație PWM, cu regulatorul fuzzy bipozițional cu o intrare și o ieșire și având două reguli de inferență este o interpretare proprie a autorului lucrării de față.**

Interpretarea dată sistemelor de modulare a duratei impulsurilor ca regulatoare fuzzy bipoziționale cu o intrare și o ieșire și având funcția de apartenență de tip singleton a mărimii de ieșire pare să fie valabilă și în cazul reguletoarelor de tensiune, care lucrează la frecvență de comutație și mai ridicată (25 – 100 kHz) și care necesită o viteză de reacție și mai mare.

Interpretarea regulatorului de turație și a regulatorului de tensiune ca regulator fuzzy oferă o reconsiderare a comportării dinamice a reguletoarelor fuzzy, despre care se afirmă că sunt reguletoare fără dinamică [117, 118]. Considerăm că se poate analiza și perfecționa comportarea dinamică a regulatorului fuzzy, chiar în modulatorul duratei impulsurilor (blocul PWM) și în elementul de execuție al sistemului de reglare (tranzistorul de putere), întrucât aceste componente realizează în mod implicit reglarea fuzzy, prin modul de funcționare al lor.

Localizarea fizică a fazelor procesului de reglare fuzzy este foarte importantă, pentru a evita dublarea inoportună a procesului de reglare prin utilizarea unui regulator fuzzy tipizat la intrarea blocului PWM, programat să realizeze fazele procesului de reglare menționat. Regulatorul fuzzy tipizat ar fi redundant în această situație și ar introduce întârzieri ale procesului.

Referitor la regulatorul de turație cu tiristori, se poate afirma că el este tot un regulator cu modularea duratei impulsurilor (PWM) tensiunii de alimentare, aplicate sarcinii, constituită de motorul electric al acționării. Durata impulsurilor este modulată prin unghiul electric de amorsare a tiristorilor. Amorsarea se efectuează prin impulsuri scurte date de două secundare ale unui transformator de impulsuri, comandat în primarul său de către un generator de impulsuri. După amorsare, fiecare tiristor se automenține în starea de conducție până la anularea curentului de sarcină, ca urmare a variației, trecerii prin zero și inversării sensului tensiunii de alimentare alternative sinusoidale. Există și scheme electrice speciale de stingere a tiristorilor, chiar și la alimentarea în curent continuu, pentru realizarea altor frecvențe de funcționare decât frecvența rețelei. În schimb, comanda în baza tranzistorului de putere, pentru intrarea în conducție a acestuia trebuie menținută pe toată durata impulsului curentului de colector, care este curentul de sarcină. Pentru întreruperea curentului de colector, tensiunea de comandă în baza tranzistorului trebuie anulată sau chiar inversată.

Dar din punct de vedere fenomenologic, regulatoarele cu tiristori se comportă similar cu regulatoarele PWM cu tranzistor. Astfel, regulatoarele de turație cu tiristori pot fi interpretate, de asemenea, ca regulatoare fuzzy bipoziționale cu o intrare și o ieșire, având funcția de apartenență de tip singleton a mărimii de ieșire. Funcția de fuzzificare a mărimii de intrare, aplicarea regulilor de inferență fuzzy și defuzzificarea mărimii de ieșire sunt realizate în mod implicit, prin modul de funcționare respectiv al anumitor blocuri funcționale din cadrul regulatorului de turație cu tiristori.

4.4. Acționări de curent alternativ cu convertoare de frecvență

Convertorul de frecvență variabilă este soluția tehnică cea mai modernă și mai performantă pentru acționările de curent alternativ (trifazate, în general). Convertorul de frecvență variabilă este de regulă de tipul sursă de tensiune și funcționează într-un singur cadran al diagramei cuplu-turație. Inversarea sensului de rotație se realizează prin inversarea a două faze în sistemul trifazat al tensiunilor de ieșire ale convertorului sau prin intermediul unei comenzi date sintetizatorului de frecvență, care produce sistemul trifazat de tensiuni pentru alimentarea motorului. Funcționarea convertorului în regim de generator nu este posibilă, în principiu, adică nu se poate face frânarea recuperativă.

Unele tipuri de motoare sunt dotate cu frână mecanică normal aplicată (în lipsa tensiunii de alimentare a motorului), precum și cu ridicător de frână electromagnetic, electromecanic sau hidraulic. Pornirea și oprirea motorului electric trebuie corelate cu comenzile date ridicătorului de frână, în scopul efectuării unor deplasări cât mai exacte ale mecanismului antrenat. Frâna și ridicătorul de frână sunt incorporate motorului electric, în general.

La echipamentele de sudare, frânarea mecanică sau dinamică rezistivă a motorului de antrenare este necesară pentru dispozitivele de avans al sârmei de sudare și pentru unele tipuri de tractoare de sudare, precum și la axele cu articulații de rotație din structura cinematică a roboților de sudare, ca și la acționările manipuloarelor pentru roboți. Toate aceste acționări trebuie să realizeze deplasări foarte exacte, cu oprire la punct fix, cu precizie de poziționare și de repetabilitate a poziției punctului curent al traseului de $\pm 0,1$ mm.

În cazul altor acționări de la echipamente de sudare mecanizată, cum ar fi mesele de poziționare și rotire, mecanismele de translație cu șurub conducător, acționările cu reductor melcat, etc., care au toate un raport de transmisie mare și forțe de frecare internă relativ ridicate, frânarea motorului de antrenare nu este considerată absolut necesară, din punct de vedere funcțional, dar și tehnologic, după cum se poate constata în practica utilizării acestor sisteme electromecanice.

În prezent există disponibile pe piața componentelor de echipamente industriale convertoare de frecvență variabilă pentru acționări cu motoare trifazate de curent alternativ de turație variabilă. Puterea nominală a convertoarelor este în gama 0,18 ... 5,6 kW și ea este corelată cu puterea nominală a motoarelor electrice trifazate aferente, destinate aplicațiilor industriale celor mai frecvente. Până la putere nominală de 2,2 kW convertoarele pot avea alimentarea monofazată,

conform normativelor în vigoare. Pentru putere nominală peste 2,2 kW alimentarea convertoarelor este trifazată. Există și convertoare de frecvență variabilă având puterea nominală mai mare, până la puterea de circa 12 – 16 kW. Prețul convertoarelor este de 100 – 450 Euro, în funcție de putere.

Convertoare de frecvență variabilă pentru acționări cu motoare de c.a. trifazate se află în fabricație la câteva firme de renume în domeniul electrotehnicii industriale: S., B.V., Y. ș.a. Există și în țară unele realizări în această privință, la firma D. E., de exemplu.

Pe lângă partea electronică de putere, convertoarele de frecvență variabilă pentru motoare de c.a. au în componență și un programator local cu afișaj LCD și trei-patru taste, la care se face prescrierea turației și a sensului de rotație, eventual și alți parametri de funcționare. Anumite tipuri de convertoare de frecvență pentru motoare de c.a. sunt prevăzute și cu module electronice de interfață RS-232 sau RS-485 pentru PC, în scopul monitorizării parametrilor de funcționare sau pentru achiziția de date pe PC pentru editarea raportului sau protocolului de funcționare al echipamentului industrial din care face parte acționarea electrică respectivă. Editarea raportului de funcționare este solicitată prin documentația tehnică de fabricație a anumitor produse, la care este utilizat echipamentul aflat în discuție, în conformitate cu criteriile prevăzute în manualul calității al producătorului, întocmit conform cerințelor standardului ISO 9001 referitor la managementul sistemului de asigurare a calității.

În acord cu prevederile din ISO 9001, firmele producătoare din industrie agreează utilizarea de echipamente și utilaje tipizate în procesul tehnologic de fabricație propriu al acestor firme, întrucât echipamentele tipizate și disponibile comercial sunt omologate și certificate, ceea ce înseamnă că ele oferă garanții în privința reproductibilității parametrilor de funcționare și, în cele din urmă, a indicatorilor de calitate ai produselor. .

În funcție de nivelul de complexitate al echipamentelor industriale, fiecare componentă tipizată trebuie să fie omologată, în conformitate cu normele europene sau internaționale în vigoare, conform stipulațiilor din Directiva 98 / 37 / EC referitoare la echipamente industriale (mașini), din Directiva 73 / 23 / EEC pentru echipamente de joasă tensiune și din Directiva 92 / 59 / EC privind securitatea generală a produselor. Omologarea sau certificarea modelelor experimentale proprii de echipamente de sudare sau de componente ale acestora se înscrie în cadrul unei strategii ample, în care sunt implicate organismele de certificare având competențe în profilul de activitate respectiv, precum și beneficiarii industriali.

Convertoare (invertoare) pentru acționări [197]

Tabelul 4.4.1.

Nr. crt.	Invertor de frecvența tip	Puterea kW	Tensiunea de alimentare		Regulator de turație	Rezistența de frânare tip
			Opțiunea monofazată	Opțiune a trifazată		
1.	SYN10 S 220 03 AF	0,4	220V		digital scalar	fără
2.	SYN10 S 220 07 AF SYN10 T 400 07 AF	1,5	220V	3x380V	digital scalar	SR-075-S 100Ω/150W
3.	SYN10 S 220 09 AF SYN10 T 400 09 AF	2,2	220V	3x380V	digital scalar	SR-075-S 100Ω/150W
4.	ACT 200-003F	0,4	220V	3x380V	digital vectorial, fără traductor incremental de rotație	opțională, valoarea min. 230 Ω.
5.	ACT 400-010	4,0	220V	3x380V	digital vectorial, fără traductor incremental de rotație	fără

Având în vedere precizările de mai sus, în scopul modernizării și armonizării cu UE, s-au utilizat convertoare de frecvență tipizate produse de firma B.V. [197] din Italia, la anumite echipamente de sudare realizate de ISIM Timișoara în perioada actuală, ca variantă de soluție constructivă.

Câteva dintre caracteristicile tehnice principale ale convertoarelor de frecvență variabilă B.V. sunt prezentate în tabelul 4.4.1, cele ale motoarelor electrice de c.a. trifazate în tabelul 4.4.2, caracteristicile motoreductoarelor în tabelul 4.4.3, iar cele ale reductoarelor melcate în tabelul 4.4.4. După alegerea tipului, se face și analiza celorlalte caracteristici tehnice, conform catalogului.

În cazul invertoarelor de la pozițiile 4 și 5 nu este necesară rezistența de frânare, dată fiind calitatea reglării scalare / vectoriale a turației motorului. În cazul în care este nevoie, există borne pentru a putea lega această rezistență. Valoarea rezistenței de frânare se alege în funcție de raportul dintre timpul de frânare T_f și timpul total de funcționare pe ciclu T_t (incluzând timpul necesar atingerii turației nominale, precum și pe cel de frânare). Se consideră că 20 % din puterea regenerativă care trebuie disipată pe rezistență se pierde în motor (lagăre, ventilație, etc). Pentru un motor având puterea $P_m = 4$ kW, rezistența de frânare trebuie aleasă astfel, încât ea să disipe puterea:

$$P_r = 0.8 P_m T_f / T_t \quad (4.4.1)$$

$$P_r = 0,8 \cdot 4 \cdot T_f / T_t \quad (4.4.2)$$

Motoare electrice trifazate

Tabelul 4.4.2.

Nr. crt.	Motor trifazic tip	Puterea kW	Turația rot/min	Mărime	Prindere
1.	BN80 C4	1,1	1500	80	a) pe flanșă B5, B14
2.	BN90 S4	1,1	1500	90	
3.	BN100 LA4	2,2	1500		b) pe talpă
4.	BN112 M4	4,0	1500		

În cazul în care acționarea presupune un factor de serviciu $s > 2$ (șocuri, porniri - opriri repetate și la intervale scurte, încărcarea este variabilă), pentru motoarele de 2,2 și 4 kW este posibil să fie necesară o supradimensionare a motorului.

De asemenea, în cazul funcționării la frecvențe joase a motorului $f_m < 20$ Hz (turație scăzută a motorului), pentru a putea păstra cuplul la ieșire fără supraîncălzirea motorului se indică o răcire separată a motorului (servoventilație).

Motoreductoare trifazate

Tabelul 4.4.3.

Nr. crt.	Motoreductor tip	Puterea kW	Raport de transmisie	Factor de sarcină s	Cuplul nominal la ieșirea din reductor Nm	Turația la ieșire rot/min
1.	VF44 P 28 P63 K63 C4	0,25	30	1,1	40	47
2.	W75 UF 30 S2 M2 SB4	1,1	30	1,6	173	47
3.	W86 UF 30 S2 M2 SB4	1,1	30	2,2	171	47
4.	W86 UF 30 S3 M3 LA4	2,2	30	1,1	340	47

Autorul lucrării de față a fost colaborator la lucrarea având ca obiect realizarea unui echipament de sudare MAG automată a capacului pe tub rezervor (de la autoturisme Dacia), executată de către firma TCP Systems Timișoara, în colaborare cu ISIM Timișoara pentru beneficiarul S.C. BILSTEIN-Compa S.A. Sibiu. La echipamentul menționat a fost implementat un convertor de frecvență de 0,38 kW, având tensiunea de alimentare 220 V / 50 Hz la mișcarea tehnologică de rotație pentru sudarea circulară. Ciclul de funcționare și de sudare automată este condus de către un programator de proces. Autorul lucrării de față s-a ocupat de modernizarea unei

surse de sudare MAG de tipul RSC-400, care a intrat în componența echipamentului menționat [198]. Rezultatele au fost corespunzătoare. Sudurile realizate corespund cerințelor tehnice.

Reductoare melcate

Tabelul 4.4.4.

Nr. crt.	Reductor melcat tip	Puterea kW	Raport de transmisi e i	Factor de sarcină s	Cuplul nominal la ieșirea din reductor Nm	Turația la ieșire rot/min
1.	W75 UF 30 P90 B5	1,1	30	1,6	173	47
2.	W86 UF 30 P90 B5	1,1	30	2,2	171	47
3.	W86 UF 30 P100 B5	2,2	30	1,1	340	47

De asemenea, autorul lucrării de față a colaborat la realizarea modelului experimental de echipament de sudare prin frecare liniară cu element activ rotitor, în cadrul unui contract din Programul Nucleu, perfectat de ISIM Timișoara cu MEC [199]. La acest echipament s-au implementat acționări cu convertoare de frecvență variabilă de 2,2 kW produse de firma B.V. Problema prezintă interes pentru lucrarea de față, din punctul de vedere al acționărilor electrice de c.a. cu convertoare de frecvență.

4.5. Sistem de acționare în coordonate x/y

Pentru anumite procedee tehnologice, în special pentru tăierea termică, este necesar un sistem de acționare în coordonate x/y, care să efectueze deplasarea corelată pe axa Ox și pe axa Oy a efectorului sau sculei echipamentului, în vederea realizării de forme plane diverse, având un grad de complexitate mai mare sau mai redus. Formele respective pot fi curbe geometrice consacrate, având anumite valori ale parametrilor din geometria analitică, sau pot fi curbe neregulate, care sunt constituite din segmente de dreaptă și sectoare de cerc, ca elemente de bază. În funcție de valorile parametrilor geometrici ai curbelor și de coordonatele (x_i, y_i) ale punctului curent, sistemul de comandă al deplasării calculează valorile de referință pentru componentele vitezei (v_{xi}, v_{yi}) , în așa fel încât efectorul să se deplaseze cu viteza tehnologică prescrisă (v) pe curba respectivă până în punctul curent următor (x_{i+1}, y_{i+1}) . Sistemul de reglare a vitezei de pe fiecare axă și sistemul de corecție a poziției de pe fiecare axă trebuie să asigure menținerea valorii de referință instantanee a componentei vitezei, respectiv atingerea coordonatelor punctului curent următor.

Ciclul de comandă și reglare descris se repetă, dar cu alte valori de referință instantanee pentru componentele vitezei (v_{xi+1}, v_{yi+1}) , la deplasarea spre alt punct curent următor având coordonatele (x_{i+2}, y_{i+2}) .

În scopul realizării unei precizii ridicate a deplasării, punctele curențe succesive ale deplasării trebuie să fie foarte apropiate, iar calculele menționate trebuie să se efectueze foarte rapid. De asemenea, viteza de reacție a elementelor de execuție electromecanice ale buclelor de reglare trebuie să fie mare, ceea ce necesită utilizarea motoarelor cu inerția redusă și a componentelor mecanice ale lanțului cinematic executate cu precizie ridicată.

Sistemele de comandă și reglare analogice utilizate la acționările în coordonate x/y pentru forme complexe au unele limitări în performanțe, ca urmare a perturbațiilor, a unor fenomene neliniare în prelucrarea semnalelor și a instabilităților ce pot apărea la variația bruscă a anumitor semnale, situație ce apare des în funcționarea acestui gen de acționări. Totuși sistemele de acționare în coordonate x/y cu conducere analogică se află încă în fabricație și în exploatare [200]. Prețurile de achiziție sunt de 1 000 – 3 000 Dolari.

Au fost elaborate, iar pe piața echipamentelor industriale sunt disponibile sisteme de comandă și reglare digitale aplicate pentru conducerea acționărilor în coordonate x/y pe traiectorii de formă complexă. Sistemele digitale au performanțe ridicate, deoarece ele sunt mai puțin sensibile la perturbații (semnalele fiind codificate binar), au viteză de reacție ridicată, nu introduc neliniarități

și instabilități ale mărimilor regulate (în eventualitatea programării corespunzătoare), etc. Sistemele de acționare în coordonate x/y cu conducere digitală (CNC shape motion system) [201-212] sunt preferate tot mai mult de către utilizatorii industriali, deși prețurile de achiziție sunt relativ mari (12 000 – 22 000 Dolari). Valoarea respectivă este explicabilă, întrucât este vorba practic de un robot cu două axe și unitatea de comandă a sa.

Sistemele de acționare în coordonate x/y se utilizează cu predilecție la operațiunile de tăiere cu flacără oxigaz, cu plasmă, cu laser, sau cu jet de apă. Dar ele pot fi implementate și la sudarea cu fascicol de electroni sau chiar și la automatizarea unor lucrări de sudare cu arcul electric. De aceea, este importantă prezentarea unor aspecte referitoare la proiectarea și implementarea unui echipament mecanizat și automatizat destinat unei instalații laser de tăiere și sudare.

Autorul prezentei lucrări este unul dintre colaboratorii la proiectarea și implementarea echipamentelor menționate și anume el s-a ocupat de elaborarea documentației tehnice de execuție, precum și de execuția instalației electrice de alimentare, comandă, acționare, protecție și semnalizare, de la fiecare dintre echipamentele automatizate de tăiere și sudare menționate, pentru diferite procedee, realizate cu module de acționare și de automatizare tipizate [213, 214, 253, 254], respectiv cu module de acționare proprii, executate la ISIM [250-252].

Varianta I

În varianta I au fost prevăzute două acționări cu motoare de c.a., pentru axa x și y.

Se utilizează module de acționare tipizate. Au fost analizate în acest scop trei soluții tehnice, asupra cărora se ia o decizie în privința alegerii variantei optime (împreună cu partenerul cofinanțator). Soluțiile sunt menționate în specificația de echipament electric CFTS [253].

Modulele de acționare de c.a. trebuie să aibă cel puțin următoarele caracteristici tehnice:

- Reglare vectorială a turației în tot domeniul de prescriere.
- Precizia prescrierii turației: $\pm 0,2 \%$
- Stabilitatea turației: $< 1,6 \%$ în tot domeniul, informativ.
- Referința prin semnal analogic de tensiune $U_{ref} = 0 \dots \pm 10 \text{ Vc.c.}$ sau prin semnal digital cu rezoluția de min. 16 biți.
- Ieșiri digitale pentru reacția de turație și de poziție, cu rezoluția de 16 biți (pentru sistemul de conducere automată).
- Tensiunea de alimentare: 220 V; 50 Hz.
- Tensiunea de ieșire pentru acționarea motorului: max. $3 \times 125 \text{ V}$; 50 Hz.
- Frecvența tensiunii de ieșire: 0 --- 60 Hz.
- Semnal logic pentru pornire – oprire.
- Semnal logic pentru sensul de rotație.
- Semnal logic pentru frâna.
- Motor c.a.: 0,200 – 0,500 kW; max. $3 \times 125 \text{ V}$; 50 Hz; 1500 rot/min.

Varianta II

Pentru varianta II au fost prevăzute două acționari cu motoare de c.c., la axa x și y.

Se utilizează module de acționare tipizate, de la diferiți producători. În acest scop s-au analizat patru soluții tehnice, care vor fi supuse selecției, împreună cu soluțiile de la celelalte variante. Soluțiile tehnice pentru acționari de c.c. sunt cuprinse, de asemenea, în specificația de echipament electric CFTS [253].

Caracteristicile tehnice principale minimale ale modulelor de acționare de c.c. sunt:

- Reglare scalară sau vectorială a turației pe întreg domeniul de prescriere.
- Precizia prescrierii turației: $\pm 0,2 \%$
- Informativ, stabilitatea turației: $< \pm 1,0 \%$ în tot domeniul, pentru acționări cu tahogenerator, respectiv $< \pm 4,0 \%$ în tot domeniul, pentru acționari fără tahogenerator.
- Referința prin semnal analogic de tensiune $U_{ref} = 0 \dots \pm 10 \text{ Vc.c.}$, respectiv prin semnal digital cu rezoluția de min. 16 biți.

- Ieșiri digitale cu rezoluția de 16 biți pentru reacția de turație și de poziție (pentru sistemul de conducere automată).
- Tensiunea de alimentare: 220 V; 50 Hz.
- Tensiunea de ieșire pentru acționarea motorului: max. 60 V c.c.
- Frecvența tensiunii de ieșire: 0 --- 60 Hz.
- Semnal logic pentru pornire – oprire.
- Semnal logic pentru sensul de rotire.
- Semnal logic pentru frână.
- Motor c.c.: 0,200 – 0,500 kW; max. 60 V c.c.; 1500 rot/min.

Varianta III

La varianta III a fost prevăzută câte o acționare cu motor pas cu pas, la axele x și y.

Se utilizează module de acționare tipizate. Soluțiile tehnice din aceasta categorie luate în considerație sunt supuse selecției, împreună cu soluțiile de la celelalte variante. În specificația electrică CFTS [253] este menționată și soluția tehnică de acționare cu motor pas cu pas.

Caracteristicile tehnice principale minimale ale modulelor de acționare cu motor pas cu pas:

- Reglare vectorială a turației pe întreg domeniul de prescriere.
- Precizia prescrierii turației: 400; 800; 1600; 3200 pași/rotație.
- Frecvența impulsurilor de comanda: 0 ... 3000 Hz. Tip constructiv: 2 faze.
- Referința prin semnal analogic de tensiune $U_{ref} = 0 \dots \pm 10 \text{ V c.c.}$ (0 ... $\pm 5 \text{ V c.c.}$) sau prin semnal digital cu rezoluția de min. 16 biți.
- Ieșiri digitale cu rezoluția de 16 biți pentru reacția de turație și de poziție (destinate sistemului de conducere automată).
- Tensiunea de alimentare: max. 100 V c.c.
- Curentul de alimentare: max. 1,5 A.
- Semnal logic pentru pornire – oprire.
- Semnal logic pentru sensul de rotire.
- Semnal logic pentru frână.
- Motor pas cu pas: 0,150 – 0,500 kW; 2 faze; 100 V c.c.; 1,5 A; 2 – 10 Nm.

Sistemul de conducere automată a procesului

După alegerea acționării și după realizarea instalației electrice este recomandată utilizarea unui *sistem de comanda centralizată la nivelul ierarhic superior* al centrului tehnologic de fabricație pentru tăiere și sudare.

Acest sistem de comandă este destinat automatizării procesului tehnologic de tăiere sau de sudare, în conformitate cu diagrama de timp de funcționare, respectiv ciclograma, stabilită pe baza cerințelor tehnice și tehnologice ale procesului de fabricație. În acest scop, sistemul de comandă centralizată realizează la ieșirile sale mai multe mărimi de stare sub forma de tensiune continuă (unificată), impulsuri de tensiune și contacte cu releu, care sunt necesare pentru a comanda în mod secvențial următoarele componente ale centrului tehnologic: modulul de acționare pentru axa x; modulul de acționare pentru axa y; sursa de sudare, respectiv sursa de tăiere; echipamente auxiliare

În acest mod, sistemul de comandă centralizată conduce prin programe derularea fazelor procesului tehnologic de tăiere cu plasmă, respectiv de sudare MIGMAG cu sârma-electrod.

Au fost prevăzute următoarele soluții tehnice de sisteme de conducere automată centralizată a procesului tehnologic:

1. Programator de proces cu microcontroller.
2. Sistem computerizat de conducere.

Alegerea unuia dintre aceste sisteme de conducere se face în funcție de nivelul de complexitate al procesului tehnologic, respectiv în funcție de nivelul de detaliere al fazelor elementare ale procesului.

5. Echipament specializat pentru încărcarea prin sudare MIG/MAG a robinetelor industriale

5.1. Cerințe tehnice

În cadrul instalațiilor energetice de la centralele termoelectrice există anumite componente supuse la uzare prin frecare metal pe metal și / sau la coroziune, la diferite nivele de dificultate din punctul de vedere al condițiilor de exploatare, care pot fi clasificate după cum se descrie mai jos.

Din această categorie fac parte robinetele sau vanele instalațiilor energetice, iar piesele cele mai solicitate sunt elementele de etanșare: sertare, racorduri, clape, inele; clapete fluture; ajutaje; ventile, scaune de ventil, etc. Se au în vedere în special robinetele cu sertar până tip RSP, având diametrele nominale în domeniul $D_n = 100 - 250$ mm.

Conform specificațiilor tehnice de fabricație ale pieselor la care se aplică tehnologia de încărcare prin sudare, depunerea destinată pentru rezistența la uzare și / sau coroziune trebuie să aibă anumite dimensiuni: diametrele interioare sunt respectiv D_{int} 80 - 230 mm; diametrele exterioare sunt respectiv D_{ext} 120 - 325 mm; grosimea depunerilor este cuprinsă între 3 mm și 5 mm; înclinația flancului depunerii este în general de 45^0 .

Durabilitatea în exploatare a acoperirilor speciale trebuie să fie ridicată și garantată. De exemplu, robinetele de abur viu trebuie să aibă gradul de fiabilitate I, adică peste 100.000 ore de funcționare până la primul defect.

Există o mare varietate de robinete, vane și armături industriale în fabricație și în exploatare. Vanele pentru instalațiile energetice ale termocentralelor sunt produse în cea mai mare parte la S.C. UPET S.A. Târgoviște.

Suprafețele de etanșare se încarcă prin sudare cu aliaje speciale, de duritate mare, care trebuie să aibă o duritate de cel puțin 25-30 HRC în condițiile de exploatare ale circuitelor energetice. În cazul circuitelor de abur viu (supraîncălzit) ale termocentralelor, temperatura maximă de funcționare este de 550°C , iar presiunea maximă de funcționare este de 200 bar.

Desenul nr. 773.0380.00.00.0 întocmit de CCSITAERS, pentru produsul "Robinet cu sertar până cu plăci, Pn400 / Dn200 (acționat manual)", arată că acest robinet are următoarele caracteristici tehnice principale:

- Diametrul nominal D_n 200 mm;
- Diametrul exterior 185 mm;
- Lungimea 950 mm;
- Înălțime (deschis) 1.670 mm + 224 mm;
- Masa netă (totală) 1.487 kg.

Sertarul până al robinetului tip RSP D_n200 are caracteristicile următoare:

- Diametrul maxim 270 mm;
- Înălțimea maximă 210 mm;
- Unghiul de închidere (pe o față) aprox. $4^{\circ}30'$;
- Masa netă aprox. 12 kg.

Pentru încărcarea prin sudare a suprafețelor de etanșare a robinetelor, vanelor sau armăturilor industriale este necesar un echipament specializat de încărcare prin sudare care să efectueze o mișcare de rotație pe un traseu în formă de elipsă, având forma foarte apropiată de un cerc. În această situație, nu se justifică utilizarea unui sistem de deplasare cu două acționări, una pentru axa x și alta pentru axa y. Soluția cea mai avantajoasă este utilizarea unei singure acționări, pentru realizarea mișcării de rotație, realizată în două variante:

- Rotirea piesei destinate încărcării prin sudare
- Rotirea capului de sudare

5.2. Variante de echipament

Au fost realizate mai multe variante modulare de echipament experimental, tip ESIR – 500M destinat încărcării prin sudare a robinetelor menționate. Varianta E1 este alcătuită din următoarele componente principale:

1. Mecanismul de rotire a capului de sudare, tip MRCS, proiectat și executat ca echipament modular autonom [119, 120, 232]. El este destinat pentru încărcarea prin sudare a suprafețelor interioare ale corpurilor de robinete RSP D_n 100 – 250, însă el poate fi utilizat și pentru sertare și racorduri de robinete, precum și pentru alte piese cu simetrie de rotație (ISIM Timișoara).

2. Pupitrul de comandă și programare, tip PCP (ISIM Timișoara), dotat cu programator de proces (DIGITLINE ELECTRIC Timișoara).

3. Grinda suport.

4. Sursa de sudare tip Kemppi Pro MIG 500, de 500 A, în impulsuri, produsă de firma Kemppi din Finlanda (Varianta E1A).

Sursa de sudare tip MIG 500 High Speed, de 500 A, în impulsuri, produsă de firma Messer-Griesheim / High Tech Precision din Germania (Varianta E1B).

5. Butelie de alimentare cu gaz de protecție (Corgon 18).

6. Suportul piesei de sudat.

În fig. 5.2.1 și în fig. 5.2.2 sunt prezentate variantele E1A și E1B de echipament utilizate în cadrul programului de experimentări.

Varianta E2 a echipamentului de încărcare prin sudare este dotată suplimentar cu dispozitivul de poziționare pe rază și de translație axială verticală, tip DPRTAV (ISIM Timișoara), iar sursa de sudare este de tipul VARMIG 180 SuperMIG, de 180 A, produsă de firma Varstroj Lendava Slovenia (Varianta E2C).

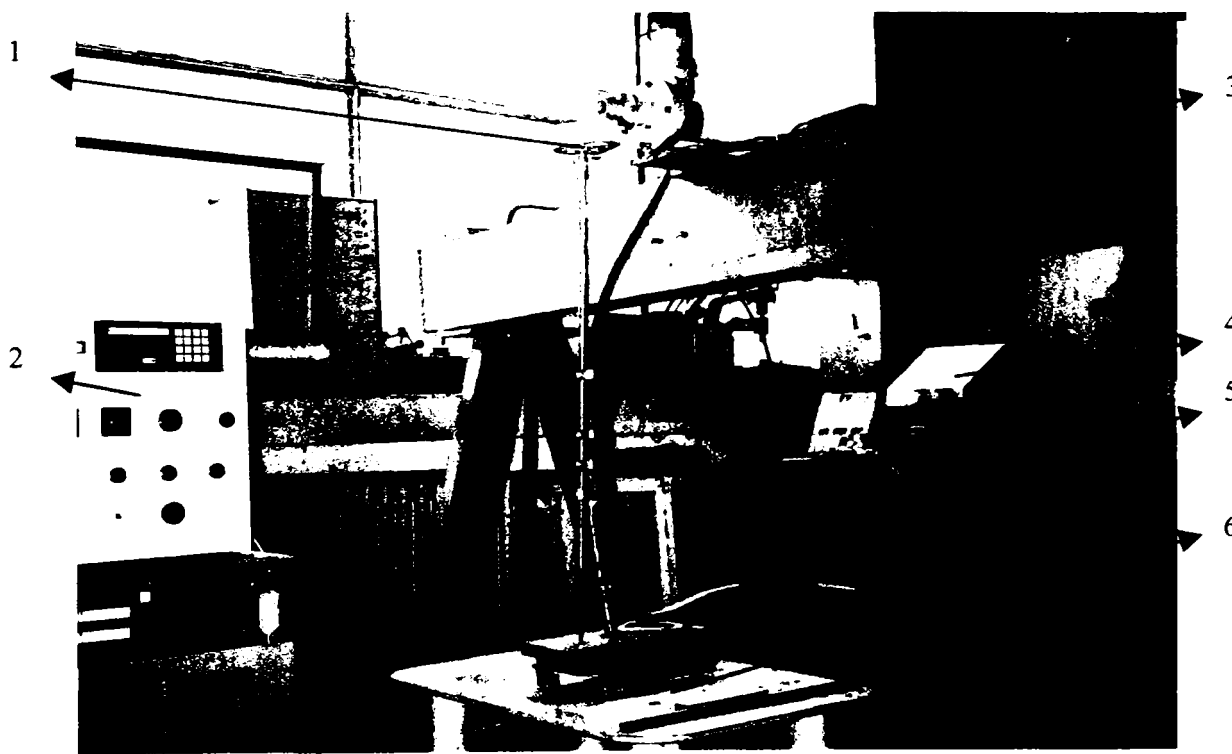


Fig. 5.2.1. Echipament experimental de încărcare prin sudare a robinetelor industriale (E1A)

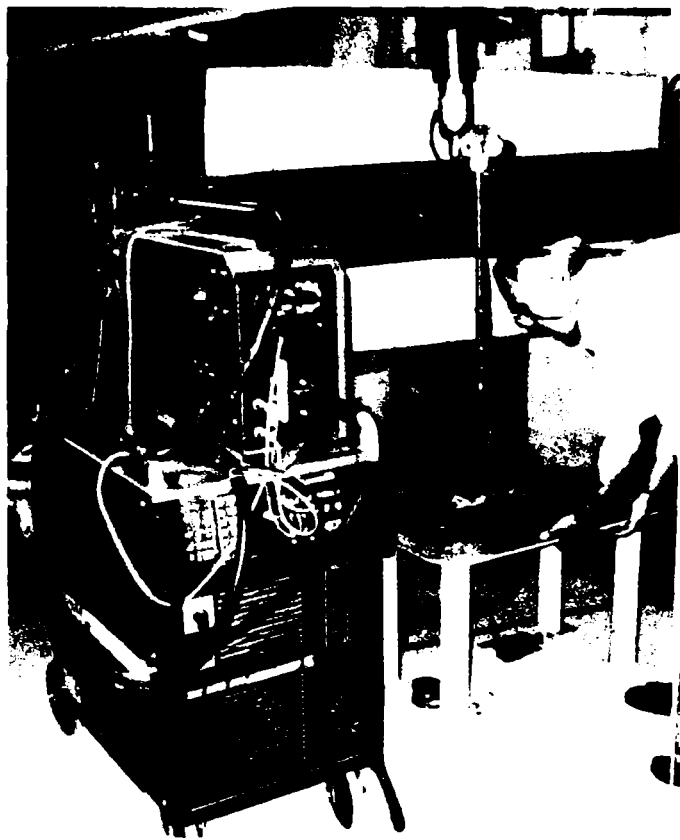


Fig. 5.2.2. Echipament experimental de încărcare prin sudare a robinetelor industriale (E1B)



Fig. 5.2.3. Mecanismul de rotire a capului de sudare, tip MRCS

În fig. 5.2.3. este prezentat mecanismul de rotire a capului de sudare, tip MRCS (1), împreună cu dispozitivul de poziționare, cu sertarul în interiorul său, precum și pupitrul de

comandă (2) al instalației electrice . Se observă piesele de fixare a capului de sudare pe axul de rotire și cele două articulații cu ajutorul cărora se ajustează distanța dintre vârful capului de sudare și axa de rotație, care constituie raza cercului pe care se execută încărcarea prin sudare. Axul de rotație este centrat pe proba de sudare prin intermediul unui dorn de diametrul 6 mm, care pătrunde într-o gaură Φ 6,5. În partea superioară a mecanismului de rotire a capului de sudare apar motorul electric de 150 W, reductorul de turație (două trepte melcate și o treaptă cilindrică) și cuplajul pentru axul de rotire. Pe scutul motorului electric a fost montat și un generator de impulsuri optoelectronic necesar pentru programatorul de proces, la funcționarea automată. Generatorul de impulsuri este sincron cu arborele motorului electric și el furnizează impulsuri necesare pentru executarea diagramei de funcționare.

Pupitrul de comandă și programare, tip PCP este prezentat în fig. 5.2.4 (interiorul). În componența sa se află: siguranțele, transformatoarele de alimentare, variatorul de turație pentru acționarea electrică principală, programatorul de proces, ampermetrul digital pentru curentul de sacină al motorului de antrenare al MRCS, butoane de comandă, comutatoare de selecție și rele.

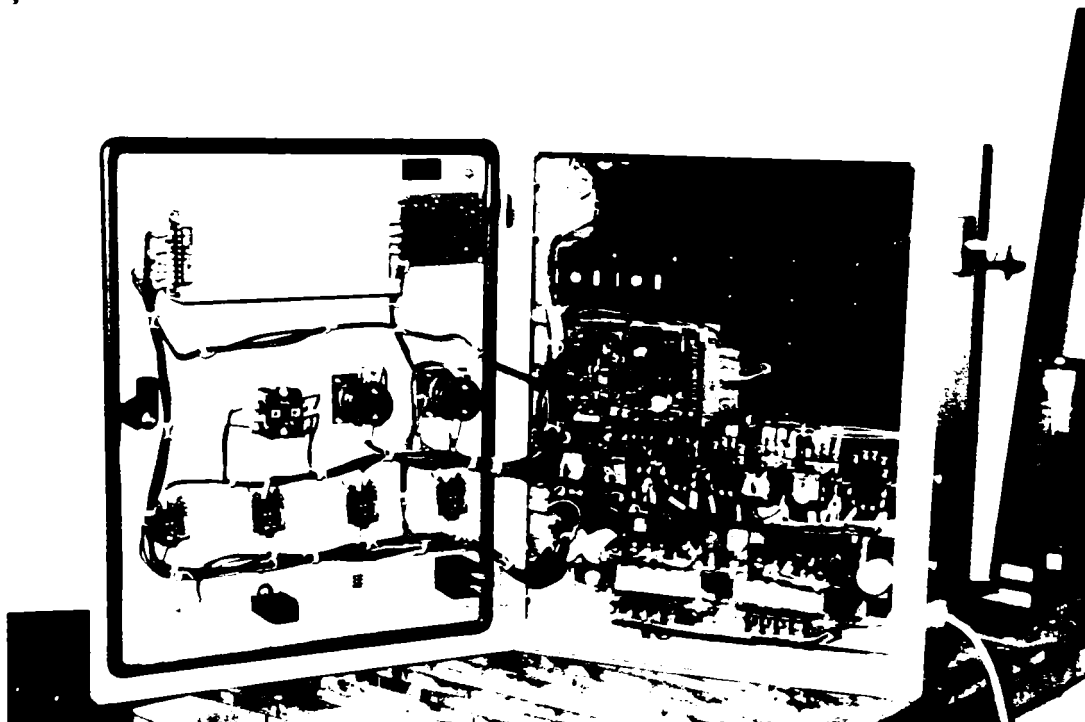


Fig. 5.2.4. Instalația electrică a echipamentului experimental ESIR – 500 M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor industriale

A fost realizat, de asemenea, echipamentul ESIR – 250M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor, destinat utilizării industriale. El este prezentat în fig. 5.2.5, în componența sa completă, la montajul general. Și acest echipament are componența modulară, cu mai multe variante de configurație, în funcție de piesele încărcate prin sudare.

Varianta I1 (MIG/MAG) are componența: cale de rulare (1), cărucior (2), mecanisme de translație (3), MRCS (4), cap de sudare (5), pupitrul de comandă și instalație electrică (6), sursa RSC-400 (7) sau Kemppomag 3800. Varianta I2 este dotată cu mecanism de pendulare, interschimbabil cu MRCS. Varianta I3 este prevăzută cu MPR-320 (8), pentru sertare și corpuri de robinet RSP Dn100 – Dn150. Varianta I4 este dotată cu dispozitiv de poziționare pe sol (9) pentru corpuri de robinet RSP Dn200 – Dn250. Varianta I5 (WIG) are în componență mecanism de avans al sârmei (10) și sursa ESAB Candy 200A.

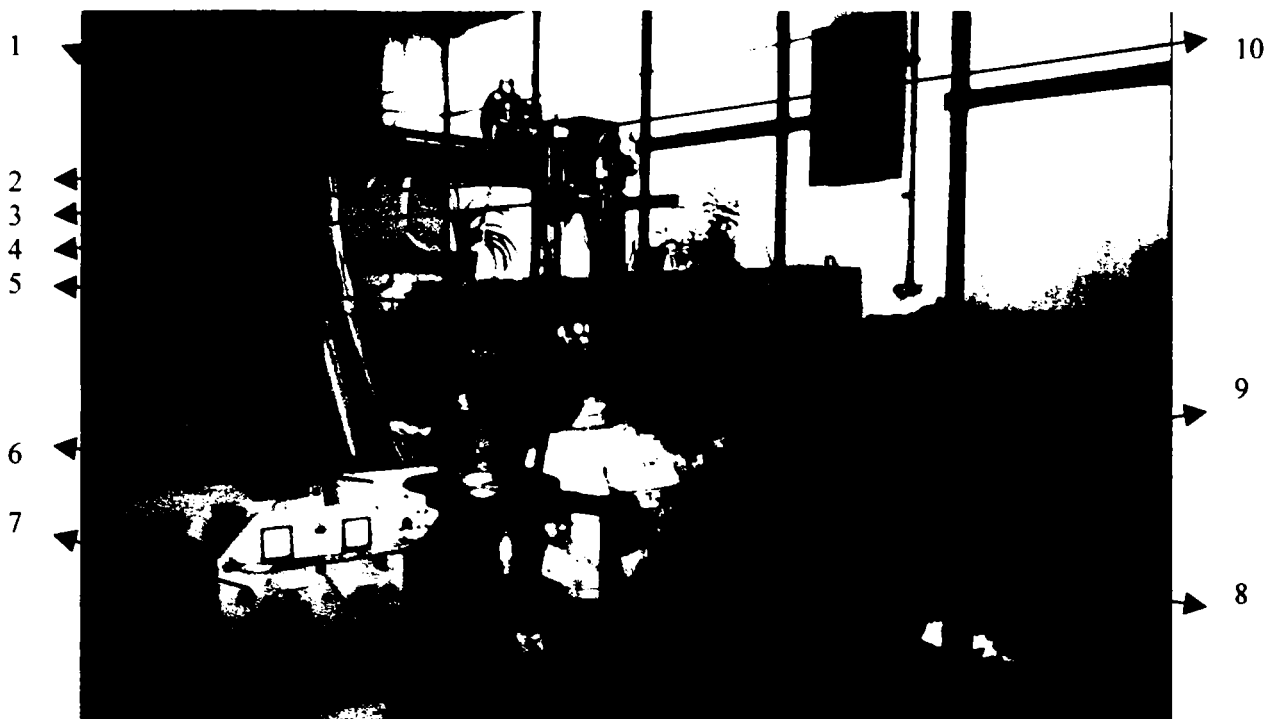


Fig. 5.2.5. Echipamentul industrial ESIR - 250 M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor energetice. Montajul general

5.3. Soluții constructive

Mecanismul de rotire a capului de sudare este componenta principală a unui echipament specializat pentru încărcarea prin sudare la interior a unor piese cilindrice având diametrul de la 100 mm până la 350 mm. Încărcarea prin sudare se efectuează în procesul de fabricație, ca și la recondiționarea suprafețelor interioare ale pieselor menționate, între care corpurile de armături, vane ori robinete industriale sau energetice [225, 232].

Această componentă de echipament de încărcare prin sudare poate fi aplicată în cazurile în care alte utilaje de încărcare prin sudare, nu pot fi utilizate din cauza formei piesei, a masei nete mari a piesei sau a accesului dificil.

5.3.1. Partea mecanică

Mecanismul de rotire al capului de sudare stă pe un suport, care este constituit dintr-o talpă. Talpa se amplasează pe o grindă sau pe gura robinetului. Prin această configurație a suportului său, echipamentul de încărcare prin sudare are posibilitatea de adaptare la condițiile impuse de cele mai diferite geometrii ale pieselor de sudat.

În placa lagărului suportului este prinsă prin șurub o tijă de ghidare. Aceasta este prevăzută cu marcaje la distanțe de 50 mm. Ele servesc la o poziționare grobă pe înălțime, după axa z. Pe această tijă de ghidare este amplasat capul de sudare, care efectuează mișcarea de rotație. Dispozitivul de avans al sârmei de sudare, împreună cu tamburul pentru sârmă, constituie un bloc funcțional separat, amplasat alături; legătura dintre acesta și mecanismul de rotire a capului de sudare este realizată de către pachetul de cabluri și furtune ale capului de sudare.

Mecanismul de rotire a capului de sudare este acționat de către un motor de curent continuu, de mică putere (150W). Sub mecanismul de rotire a capului sunt montate dispozitivul de reglare a diametrului de rotire (pe care se efectuează operațiunea de încărcare prin sudare), precum și capul de sudare propriu-zis.

Cursa de poziționare pe înălțime a capului de sudare între anumite limite, este

realizată pe cale mecanică, printr-un sistem telescopic, având fixare prin șuruburi cu piuliță fluture. La echipamentul industrial este implementat un tip de sanie verticală cu acționare electrică, care poate efectua anumite operațiuni de reglare a poziției, în cadrul unui sistem de reglare.

Pentru poziționarea rapidă a echipamentului de încărcare prin sudare, în centrul orificiului în care se efectuează sudarea, se află o placă de centrare, cu poziția și înclinarea ajustabile. Prin utilizarea vârfului de centrare al axului de rotire și a plăcii de centrare, echipamentul de sudare este adus în mijlocul orificiului piesei de sudat, iar centrarea este realizată în mod sigur. Mecanismul de rotire rămâne fixat în poziția necesară, conform reglajelor menționate.

Corespunzător cu diametrele pieselor de încărcat prin sudare, este montat prin șuruburi capul de sudare, având diferite forme constructive:

- cap de sudare rectiliniu, pentru diametre interioare de la 100 mm până la 150 mm;
- cap de sudare înclinat (cu țevă curbă) pentru diametre interioare de la 150 mm până la 350 mm.

Capul de sudare este montat pe dispozitivul de reglare a diametrului, pe care se face încărcarea prin sudare, după cum se arată în fig. 5.3.1.

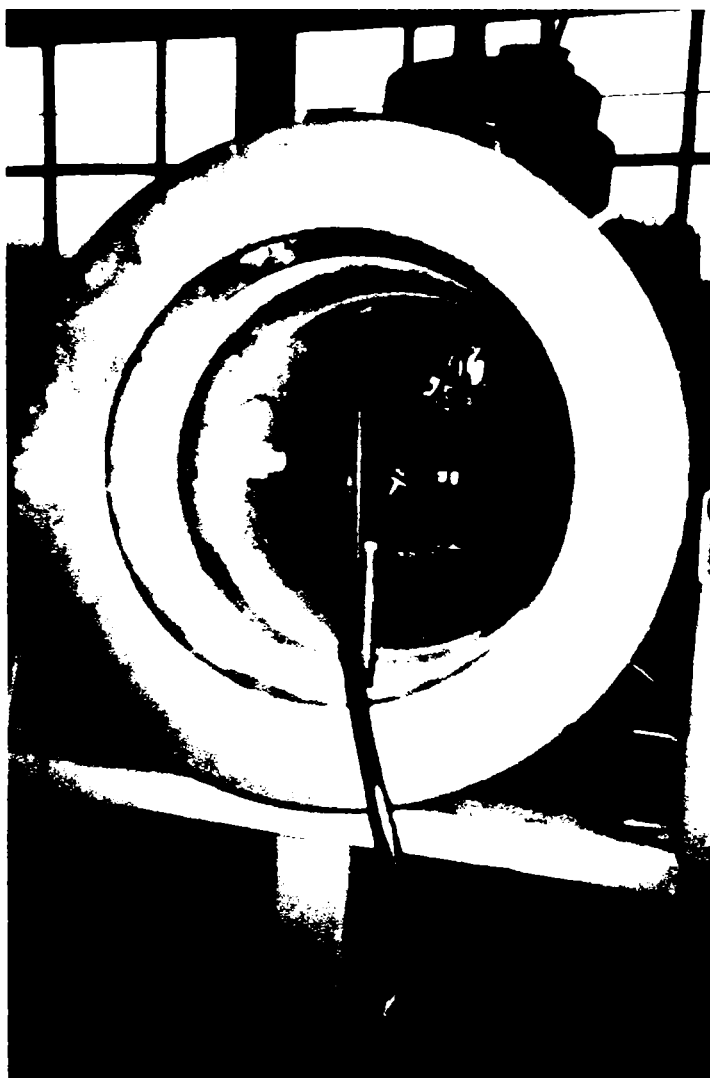


Fig. 5.3.1. Poziționarea și centrarea capului de sudare în interiorul corpului de robinet RSP Dn 250 pe echipamentul industrial ESIR - 250 M de încărcare prin sudare

În limitele domeniilor precizate, se efectuează reglarea continuă (fără trepte) pentru diametrul necesar. Adâncimea la care capul de sudare coboară în interiorul piesei de sudat

poate fi marcată cu semne de poziție, în scopul poziționării rapide și reproductibile, necesară mai ales în producția de serie.

5.3.2. Partea electrică

- Schema electrică pentru comandă și acționări este originală. Sunt prevăzute acționări electrice la următoarele componente:
- Mecanismul de rotire a capului de sudare. Acesta este interschimbabil cu mecanismul de pendulare.
- Căruciorul de sudare.
- Sania verticală (Dispozitivul de translație pentru axa z).
- Dispozitivul de avans al sârmei (pentru configurația destinată sudării WIG). În regimul manual de funcționare există comenzi pentru fiecare dintre aceste acționări, în ambele sensuri și cu prescrierea turației. În regimul automat de funcționare se dă comanda centralizată de pornire la mecanismul de rotire (respectiv pentru masa de poziționare și rotire – în varianta industrială I), la sursa de sudare și, eventual, la dispozitivul de avans al sârmei (în cazul sudării WIG). Oprirea se face, de asemenea, prin comandă manuală centralizată, respectiv în mod automat.

Este prevăzut un limitator de cursă pentru oprirea automată a operațiunii de sudare, după sudarea pe 360° (un rând de sudură circular complet). Funcțiunea limitatorului poate fi anulată în timpul operațiunilor de poziționare și de funcționare cu comandă manuală.

În fig. 5.3.2 sunt prezentate pupitrul de comandă și dulapul de aparataj electric ale echipamentului industrial ESIR - 250 M de încărcare prin sudare a robinetelor energetice.

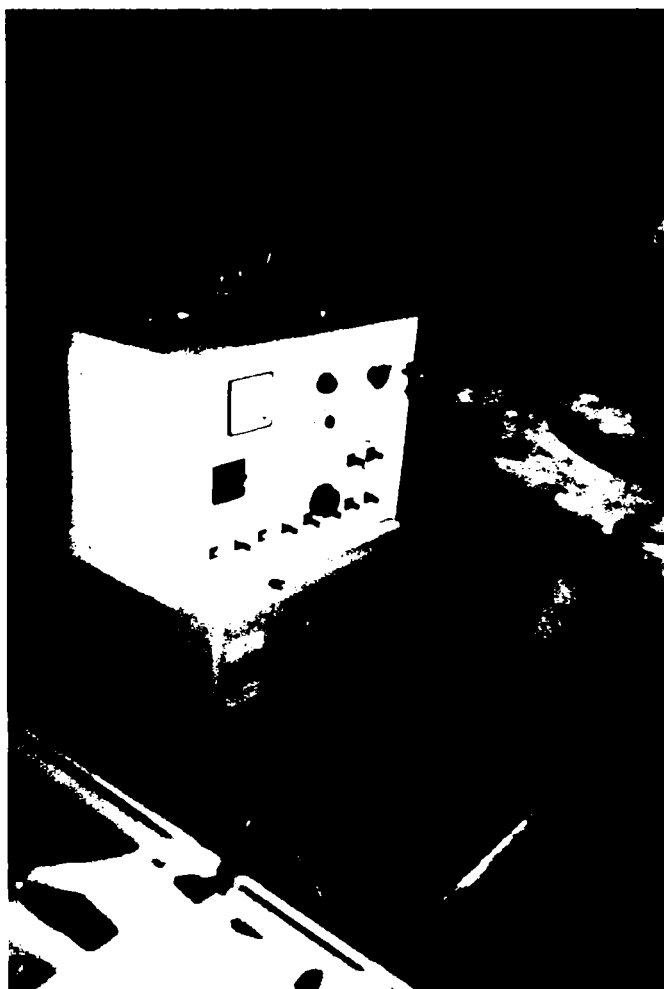


Fig. 5.3.2. Pupitrul de comandă și instalația electrică ale echipamentului industrial ESIR – 250 M

analogice (electrice și mecanice); logice; digitale; fuzzy.

a. Analogice

Sistemele de reglare analogice sunt realizate cu următoarele categorii de elemente funcționale:

- Traductoare de poziție mecanice (palpator) sau electrice (senzor tactil inductiv, senzor fotoelectric, senzor capacitiv, etc.
- Tahogenerator pentru reacția de turație
- Reglatoare cu circuite electronice bazate pe amplificatoare operaționale și pe alte componente electronice, având un anumit domeniu limitat de reglare, respectiv caracteristică liniară sau neliniară
- Element de acționare mecanic (palpator cu mecanism de execuție) sau cu motor electric și mecanism.

Aceste sisteme de reglare presupun o variație continuă a mărimilor fizice în domeniul de valori considerat. Modelul matematic al procesului de reglare este adesea foarte complex. De aceea, analiza stabilității este dificil de efectuat, iar pe cale experimentală nu se găsesc întotdeauna cele mai bune soluții tehnice. Precizia și viteza de reacție nu sunt corespunzătoare în toate situațiile.

Din aceste considerente, pentru conceperea și realizarea echipamentelor prezentate aici au fost experimentate și parțial aplicate sisteme de reglare bazate pe alte principii, în interpretarea proprie a autorului lucrării de față.

b. Logice

Semnalul de comutație constituie un semnal binar, care reprezintă sensul abaterii (semnalul \pm , abaterea într-un sens sau în altul) poziției unui element senzor, față de o poziție de referință dată. În ultimă instanță, acest semnal de sens al abaterii poate fi utilizat pentru aplicarea corecțiilor de poziție, în cadrul unui sistem de reglare a cărui mărime de acționare are doar două valori, de sens contrar, adică un dispozitiv efector din categoria elementelor logice sau de tip releu.

Sistemele de reglare, la care semnalul de eroare sau de abatere are numai două stări ($+/-$, respectiv semnalul logic 1/0), iar mărimea de acționare are două sensuri ($+/-$, în mod corespunzător), necesită stabilirea unei valori absolute constante a mărimii de acționare, pentru definirea unui mod de funcționare în impulsuri, în regim dinamic. Aceste cerințe trebuie îndeplinite la proiectarea și la realizarea sistemului de reglare. În această situație, performanțele depind de viteza de reacție a elementului de acționare din cadrul sistemului de reglare. Dacă elementul de acționare este mecanic, el trebuie să aibă inerție redusă. Însă inerția redusă limitează puterea maximă a elementului de acționare și forța activă, ceea ce duce la creșterea intervalului de timp în care se realizează corecția. Rezultă că există un optim al inerției elementului de acționare, în funcție de viteza de reacție necesară, la care îi corespunde o anumită frecvență a semnalelor de eroare elementare (abateri $+/-$, cu precizia de un bit). Pentru o frecvență a semnalului de eroare mai mare decât această frecvență limită, elementul de acționare mecanic exercită un efect integrator, care conduce la obținerea unei valori medii nule a corecției, în condițiile în care abaterile sunt în ambele sensuri. Această situație reprezintă limita de sensibilitate a elementului (electro)mecanic de acționare. La frecvențe ale semnalului de eroare mai mici decât frecvența limită de sensibilitate, elementul de acționare (electro)mecanic poate efectua corecțiile în mod sincronizat cu comparatorul sistemului, care dă semnalul de eroare [119, 120].

De aici rezultă că nu este necesară detalierea în timp a semnalului de eroare, cu o precizie mai mare decât cea dată de frecvența limită de sensibilitate a elementului de acționare electromecanic din cadrul sistemului de reglare. Frecvența de eșantionare a

semnalului de eroare trebuie să fie mai mică sau egală cu frecvența limită de sensibilitate. Semnalele de eroare de această frecvență reprezintă semnale binare elementare ale unui sistem de reglare digital având viteza de reacție maximă în condițiile date. Sistemul astfel definit și realizat are posibilitatea de a funcționa în regim dinamic. Conform experienței anterioare [219 - 232] această frecvență limită de sensibilitate este în jurul valorii $f_{S1} = 1$ kHz pentru un element de acționare de tipul unui mecanism antrenat de un motor de curent continuu având puterea de 100-150 W, cum este cazul acționărilor electrice de la dispozitivul de avans al sârmei pentru sudarea MAG.

În cazul acționărilor electrice rapide, cum sunt acționările echipamentelor de tăiere termică, dotate cu motoare electrice de inerție redusă, având însă și putere mică, de 13-40 W, având mecanisme simple și ușoare, frecvența limită de sensibilitate a elementului de acționare al sistemului de reglare are valoarea estimativă $f_{S2} = 10$ kHz.

Între cele două valori se situează acționările axelor roboților de sudare, unde axa I are desigur inerția cea mai mare, întrucât ea are ca sarcină mecanică masa totală a tuturor celorlalte axe, iar axa VI are inerția cea mai redusă, deoarece sarcina sa mecanică este numai capul de sudare cu pachetul de cabluri și furtune, respectiv forțele de frecare și forțele inerțiale introduse de aceste componente.

Referitor la ieșirea sistemului de reglare, pe baza experimentărilor proprii [219 - 232] se estimează că frecvența de comutație a mărimii de acționare realizate de către un regulator de poziție digital trebuie să fie aproximativ egală cu frecvența limită de sensibilitate a elementului de acționare. Frecvența de comutație este frecvența impulsurilor prin care mărimea de acționare este aplicată asupra sistemului reglat. Ea este similară cu frecvența de eșantionare a semnalului de eroare.

În cazul unor frecvențe de comutație mai mici, pot să apară fenomene de instabilitate, ca urmare a regimului oscilant în care se desfășoară procesul tranzitoriu de corectare a poziției elementului reglat. Explicația constă în aceea că mărimea de acționare aplicată are o valoare mare, deoarece ea trebuie să compenseze efectul cumulat pe un interval de timp mai lung al mărimilor perturbatoare. Analiza criteriilor de sensibilitate a procesului de reglare are prioritate față de precizia conversiunii analogic/digital și al preciziei prelucrării numerice a semnalelor, în evaluarea și interpretarea performanțelor sistemului.

În cazul unor frecvențe de comutație mai mari, se manifestă insensibilitatea sistemului de reglare la semnalele de eroare date de către comparator, ca urmare a inerției acționării electrice și a mecanismului.

Dacă există posibilitatea autoadaptării sistemului de reglare la frecvența limită de sensibilitate, înseamnă că mărimea de abatere (eroare) poate avea valoarea logică a semnalului binar elementar dat ca semnal de abatere de către regulator. Acest semnal poate fi în ultimă instanță semnalul de comutație asupra stării de funcționare a unui senzor tactil, ca un exemplu de senzor de poziție. Frecvența de comutație pentru aplicarea mărimii de acționare nu este în acest caz impusă, ci ea este naturală, rezultând din simpla constatare a abaterii în plus sau în minus a mărimii de reacție a poziției, față de valoarea prescrisă a poziției.

Semnalul mărimii de acționare este dat ca semnal binar de regulatorul de poziție și el corespunde, din punct de vedere fizic, sensului de rotație al motorului electric de antrenare din cadrul sistemului de reglare.

Valoarea mărimii de acționare reprezintă, din punct de vedere fizic, turația motorului electric de antrenare din cadrul sistemului de reglare. Această valoare se poate stabili pe cale experimentală, pe baza toleranței de poziționare. După stabilirea acestei valori, sistemul de reglare aplică doar corecții (+ sau -) ca sistem cu logica bivalentă.

Corecția poziției reprezintă integrala de timp a turației motorului de acționare. În principiu, se poate obține o anumită corecție în două moduri:

- în timp scurt, cu turație mare;
- în timp mai lung, cu turație mică.

Problema este aceea de a stabili experimental turația maximă cu care poate funcționa motorul de acționare al sistemului de reglare fără să apară instabilități în funcționare. Sistemul de reglare nu va putea funcționa cu o viteză mai mare, indiferent dacă el are regulator analogic sau digital.

Utilizarea motoarelor pas cu pas în sistemele de reglare a poziției este o soluție tehnică în acest scop. Există însă două observații:

- Numărul de pași al motorului trebuie să fie relativ ridicat, pentru a realiza un ecart minim între pozițiile ce corespund la doi pași consecutivi, în așa fel încât precizia de poziționare să fie mare (abatere $\leq \pm 0,5$ mm).
- Caracteristicile dinamice de funcționare ale motorului pas cu pas sunt deficitare, din cauza ponderii mari a regimurilor tranzitorii în totalul timpului de funcționare, ceea ce conduce la instabilități în funcționare.

c. Digitale

La fel ca regulatoarele analogice utilizate anterior, până către sfârșitul anilor '80 și care mai exista încă în unele aplicații, regulatoarele digitale realizează funcții de reglare de tipul proporțional P, proporțional-diferențial PD, respectiv proporțional-integral-diferențial PID. Ceea ce este caracteristic fiecărui tip dintre aceste regulatoare este funcția de transfer a mărimii de intrare către mărimea de ieșire. În teoria reglării automate, funcția de transfer se exprimă ca o mărime complexă, ca transformata Laplace sau în alte mărimi, care utilizează aparatul de calcul matematic evoluat, în scopul analizei funcționării regulatorului pe modelul matematic, ceea ce are ca finalitate stabilirea caracteristicilor tehnice ale regulatorului pentru o anumită aplicație tehnică. La regulatoarele digitale, valoarea funcției de transfer este calculată în faze succesive pe intervale de timp scurte, neglijabile în raport cu constantele de timp ale fenomenului reglat. Se efectuează apoi produsul dintre funcția de transfer și mărimea de intrare, obținută prin eșantionare. Acest produs are o expresie complexă, care relevă mai multe aspecte de importanță tehnică: amplitudine, defazare, timp pasiv inițial, spectrul de frecvențe, etc. aceste proprietăți sunt evidențiate de către caracteristica amplitudine-frecvență, care se determină teoretic prin calcul, dar și experimental pentru fiecare tip de regulator. Produsul dintre funcția de transfer și mărimea de intrare reprezintă mărimea de ieșire a regulatorului, adică mărimea de acționare, care se transmite la elementul de execuție din cadrul sistemului de reglare pentru efectuarea corecțiilor necesare asupra mărimii reglate și măsurate, în scopul compensării efectului perturbațiilor, care anterior au produs abaterea mărimii măsurate față de valoarea prescrisă, abatere sesizată în faza imediat anterioară de către elementul comparator al regulatorului. În acest mod se închide bucla de reglare, din punct de vedere fenomenologic.

Regulatoarele descrise mai sus se aplică pe scară largă în tehnică, inclusiv în tehnica sudării mecanizate și automatizate. Dintre mărimile reglate prin dispozitive electronice sunt: tensiunea arcului electric și/sau curentul de sudare (la sursele de sudare), viteza de avans a sârmei-electrod, viteza de sudare, temperatura de preîncălzire, temperatura de lucru sau temperaturile diagramei de tratament termic. Astfel de regulatoare pot fi studiate și cercetate, iar apoi aplicate în situațiile în care se cunoaște modelul matematic al fenomenului destinat reglării automate, model determinat teoretic și verificat experimental.

Cunoașterea modelului matematic al unui proces abordat în vederea reglării mărimii fizice reprezentative a acestui proces este însă dificilă. Procesele fizice sunt în general foarte complexe și ele depind de foarte mulți factori, care nu pot fi cunoscuți în totalitate, iar cu atât mai puțin pot fi controlați în mod satisfăcător. De aceea, se fac multe ipoteze simplificatoare, iar acestea introduc erori de metodă, care pot fi destul de însemnate.

Din considerentele enunțate mai înainte, roboții de sudare au la toate axele acționări cu motoare de curent continuu sau de curent alternativ cu turație reglabilă continuu. La fiecare axă turația prescrisă, reacția de turație, poziția și ridicarea frânei sunt mărimi digitale prelucrate *on line* de către calculatorul unității de comandă, în scopul de a obține deplasări ale efectorului (capul de sudare) cu viteză tehnologică programată, pe orice traseu în interiorul spațiului de lucru al robotului. Ca o consecință a modului de funcționare a robotului, sistemele de urmărire a rostului implementate la unele tipuri de roboți de sudare sunt cele mai eficiente și ele asigură precizia cea mai ridicată. Abaterile în condiții standard de încercare în funcționare sunt $\leq \pm 0,1$ mm. În practică însă, chiar și roboții de sudare au dificultăți la urmărirea rostului, în special la straturile de umplere, ca urmare a abaterilor dimensionale ale rostului parțial umplut, comparativ cu rostul inițial, pentru care se fac încercările de funcționare în condiții standard.

Pe lângă limitările introduse de elementele sistemului de urmărire a rostului, abordat ca sistem de reglare dinamică a poziției capului de sudare, au influență abaterile inerente ale mărimilor de intrare în sistem, care sunt valorile prescrise ale poziției (ale coordonatelor poziției).

d. Fuzzy

În scopul de a înlătura toate dificultățile și dezavantajele enumerate a fost elaborat un alt concept al reglării unui proces, bazat pe teoria mulțimilor vagi, respectiv fuzzy sets în limba engleza [117, 118]. După ample cercetări teoretice și experimentale acest concept a condus la apariția reglatoarelor fuzzy, care au deja aplicații tehnice, dintre care unele sunt realizate la produse industriale disponibile comercial pe piața echipamentelor și utilajelor pentru sudare [136 - 157].

Mărimile fizice supuse reglării fuzzy sunt anumiți parametri de sudare:

- Tensiunea arcului electric și/sau curentul de sudare, la surse de sudare
- Viteza de sudare

De asemenea, se aplică reglarea fuzzy la poziția capului de sudare în timpul procesului de sudare, în legatura cu urmărirea rostului de sudare, respectiv a traseului de sudare, problemă foarte dificilă, având în vedere numărul mare de factori foarte diverși care intervin în acest proces.

Sistemele de reglare dispun întotdeauna de un element de acționare, conectat la ieșire. Elementul de acționare (de execuție) este cel mai adesea un motor electric, care acționează un mecanism. Motorul electric este alimentat prin regulatorul de turație, care permite prescrierea turației într-un anumit domeniu de valori și care reglează turația, asigurând stabilitatea ei în limitele specificate.

Pentru acționările de curent continuu, soluția cea mai modernă este utilizarea unui variator de turație funcționând după principiul modulării duratei impulsurilor (PWM). Analiza funcționării variatorului PWM de turație arată că el se comportă ca un regulator fuzzy bipozițional cu o intrare și o ieșire, având funcția de apartenență de tip singleton a mărimii de ieșire. Funcția de fuzzificare a mărimii de intrare, funcția de aplicare a regulilor de inferență fuzzy, precum și funcția de defuzzificare a mărimii de ieșire sunt realizate în mod implicit, prin principiul de funcționare al anumitor blocuri funcționale din cadrul variatorului de turație PWM.

Se ajunge la concluzia că însuși elementul de acționare al sistemului de reglare efectuează reglarea fuzzy a mărimii supuse reglării, care este în corelație cu turația, în acest caz. Această concluzie este interesantă pentru precizia, viteza de reacție și eficiența reglării, în diverse aplicații.

În cazul în care se utilizează un regulator tipizat în cadrul sistemului de reglare, trebuie

să se țină cont și de caracteristicile tehnice și de funcțiile de reglare ale elementului de acționare al sistemului de reglare, spre a determina caracteristicile tehnice rezultante ale sistemului și funcțiile de reglare pentru ansamblul sistemului de reglare. Acest aspect este foarte important, deoarece elementul de acționare are o viteză de reacție foarte mare, el este foarte aproape de procesul condus și astfel întârzierea mărimii sale de ieșire este redusă; de aceea ponderea sa în procesul de reglare este ridicată.

Altă aplicație importantă în această privință este utilizarea ieșirii de semnal de comutație (de abateri + și -) a unui senzor (eventual chiar un senzor tactil) în cadrul unui sistem de reglare fuzzy a poziției capului de sudare, pentru urmărirea rostului de sudare. Dacă se respectă condițiile impuse în prealabil, pe baza particularităților principiului de funcționare, sistemul cu senzor cu semnal de comutație permite obținerea unei precizii de urmărire a traseului de $\pm 0,5$ mm.

e. Analogice mecanice

În cazul senzorului tactil, ca și în cazul senzorului de arc electric, erorile cauzate de umplerea parțială a rostului (de către straturile anterioare ale sudurii) sunt transpuse în abateri ale poziției capului de sudare și ele conduc la o formă necorespunzătoare a sudurii.

Se constată că și la sistemele evaluate de urmărire a rostului există anumite limitări și dificultăți. De aceea, nu trebuie neglijată nici soluția clasică, care constă în sudarea cu palpator mecanic după șablon.

Sudarea cu senzor tactil în rost este un caz particular de sudare după șablon. Observația este că șablonul devine inexact sau chiar dispare, la realizarea ultimelor rânduri ale sudurii de umplere. Înlăturarea dificultății se poate face prin aplicarea unor șabloane în exteriorul rostului, paralel cu acesta și cât mai aproape de el.

O soluție simplă și eficientă de sudare după șablon are următoarele cerințe:

- Executarea unui șablon având același traseu cu rostul de sudare, amplasat paralel cu rostul și cât mai aproape de acesta. Ca un caz particular, poate fi executată o canelură pe suprafața piesei de sudat, cu rolul de șablon, în care să se deplaseze palpatorul mecanic în condiții standard, fără abateri peste toleranțele admise.
- Viteza tehnologică de sudare este asigurată de către echipamentul de sudare, prin aceea că în fiecare punct al traseului de sudare există o direcție de avans a capului de sudare în general paralelă la vectorul viteză de sudare (sau care formează un anumit unghi cu aceasta), ținând cont că viteza este tangentă la traseul de sudare în fiecare punct.
- Se asigură un grad de libertate pentru translatarea (pe o lungime de 5-10 mm) capului de sudare pe o direcție perpendiculară la direcția de sudare.
- Palpatorul acționează mecanic capul de sudare pentru a efectua deplasările pe direcția transversală la direcția de sudare, în scopul compensării abaterilor față de traseul de sudare preconizat.
- Dacă șablonul are suprafață de sprijin numai într-o parte (stânga sau dreapta), se va introduce un arc, care realizează forța de apăsare în sens contrar.

Sistemul de urmărire a traseului de sudare bazat pe șablon cu palpator mecanic și necesitând un grad de libertate suplimentar, descris în alt capitol, poate fi transpus și într-un sistem cu acționare electrică, dotat cu senzor tactil sau chiar cu senzor optic.

Soluția constructivă este mult mai complexă, întrucât este necesară o acționare electrică suplimentară pentru gradul de libertate corespunzător deplasării transversale la direcția de sudare, prin care se introduc corecții ale poziției capului de sudare. Această acționare constituie elementul efector al unui sistem de reglare, cu toate elementele și cu cerințele impuse acestuia, după cum s-a analizat mai înainte.

Costul unui astfel de sistem de reglare ar fi destul de ridicat și el contribuie la creșterea prețului total al echipamentului de sudare.

De aceea, estimăm că sistemul de urmărire a traseului de sudare cu șablon și palpator mecanic rămâne în actualitate, având o precizie comparabilă cu a sistemelor mult mai sofisticate, dar un preț de cost mult mai redus ca urmare a simplității sale constructive. El poate avea în special următoarele utilizări:

- Sudarea pe trasee care au mici abateri față de traseul rectiliniu;
- Sudarea pe trasee care au mici abateri față de traseul circular (elipsă, cu diferențe relativ mici între semiaxe.

5.4.2. Sisteme complexe de reglare și de automatizare

A. Urmărirea traseului de sudare

Cu unele dotări suplimentare, echipamentele de încărcare prin sudare a robinetelor pot fi utilizate și la alte lucrări de sudare. Pentru sudarea unor piese foarte mari (de exemplu, în construcția de nave, de rezervoare sau recipiente, etc.), este necesar un echipament având o cale de deplasare și de ghidare flexibilă, spre a asigura adaptarea la curburile existente ale componentelor. În acest scop, operatorul are sarcina de a ajuta manual poziția capului de sudare pentru urmărirea rostului, pe lângă monitorizarea și corectarea parametrilor de proces din fiecare caz.

a. Axele capului de sudare

În varianta constructivă de bază a echipamentului de sudare, corectarea poziției capului de sudare în funcție de rostul de sudare se efectuează manual, prin intermediul a două unități de translație amplasate reciproc perpendicular. Cu această varietate de bază au fost efectuate probe de sudare WIG și MAG, pe echipamentul ESIR – 250M, în condiții de laborator și în condiții industriale.

Pentru a realiza un echipament performant sunt necesare sisteme de translație, respectiv axe acționate cu motor pentru reglarea poziției capului de sudare. În acest scop, unitățile de translație, care până în prezent sunt acționate de către operatorul sudor prin intermediul unui sistem cu șurub de antrenare, trebuie modificate constructiv pentru adaptarea unui motor de ștergător de parbriz dotat cu reductor melcat, pentru funcționare automată. Cu această măsură este creată posibilitatea, prin utilizarea unor senzori adecvați, de a elibera operatorul de la reglarea manuală a poziției capului de sudare. Viteza de poziționare a axelor capului de sudare, care poate fi obținută astfel, este de 250 mm/min.

b. Senzori.

Pentru conducerea capului de sudare în rostul de sudare, la sudarea WIG a stratului de rădăcină se recomandă un senzor tactil, împreună cu schema electrică aferentă. Cu acesta este posibil să se realizeze conducerea capului de sudare, în același timp, pe linia din mijlocul rostului de tip V, precum și la înălțimea prescrisă în prealabil.

Aceeași amplasare a senzorului se utilizează și la sudarea MAG. Aici este totuși necesar, comparativ cu sudarea WIG a rădăcinii, să se înlocuiască elementul de contact al senzorului, întrucât mărimea vârfului de atingere (sferă) depinde în mod decisiv de gradul de umplere deja realizat la rostul de sudare. Astfel, de regulă nu este posibil, la sudarea stratului de acoperire și la un rost de sudare aproape umplut, să se mențină forma sferică a vârfului senzorului. În general, este util pentru utilizator să se completeze senzorul tactil cu un sortiment de vârfuri de atingere cu diferite diametre de sferă. În acest fel este posibil să se acopere diferite grosimi de tablă, deschideri ale rostului și grade de umplere a rostului, în mod optim.

La încărcarea prin sudare a elementelor de etanșare de la robinetele industriale (sertare), urmărirea rostului este utilă pentru a realiza corecțiile de la forma de cerc la forma de elipsă. Problema este de a avea la dispoziție un astfel de rost, care să conducă în mod eficient capul de sudare pe traiectoria necesară, fără a depăși gabaritul și fără complicații

suplimentare, care pot face ca soluția să devină prohibitivă. În locul rostului de sudare se poate utiliza un șablon.

Senzorul tactil de măsurare și de conducere permite conducerea automată a capului de sudare în două direcții, în combinație cu conducerea de poziționare adaptivă adecvată. Prin reglarea mecanică a punctului de nul este asigurată utilizarea fiabilă la suduri cap la cap sau la suduri în colț, precum și la suduri circulare. Mărima de ieșire analogică liniară proporțională cu deplasarea mecanică față de piesă sau față de rostul de sudare creează astfel o premisă pentru conducerea adaptivă a procesului de sudare.

Convertirea deplasărilor elementului tactil în semnale electrice se efectuează prin intermediul schemei electrice aferente

Semnalele de ieșire ale senzorului tactil sunt:

- Un semnal analogic de tensiune continuă, care corespunde la abaterea momentană a știftului elementului tactil într-o direcție;
- Un semnal de comutație (colector deschis) asupra stării de funcționare a senzorului pe fiecare canal (din cele două, corespunzător celor două direcții, după care se măsoară abaterile de deplasare).

Dacă se respectă condițiile impuse prealabil pe baza particularităților principiului de funcționare, sistemul de senzor tactil permite obținerea unei precizii de conducere $\leq 0,5$ mm.

Avantajele acestui tip de senzor tactil sunt:

- Sensibilitatea la contururi mici;
- Furnizarea a două semnale de ieșire analogice, proporționale cu abaterea într-un plan;
- Montajul relativ simplu al senzorului, fără element de comandă suplimentar;
- Construcția robustă, care permite o receptare sigură și fără perturbații a semnalului, în condițiile procesului de sudare.

B. Programatorul de proces

Echipamentul experimental ESIR - 500M de încărcare prin sudare a fost dotat cu un programator de proces destinat pentru automatizare, conform diagramei de funcționare stabilite pe baza cerințelor tehnice și tehnologice, pentru piesele avute în vedere.

Programatorul este opțional, însă el oferă mai multe facilități de automatizare și mărește gradul de precizie al ciclului de funcționare automată.

El este dotat cu microprocesor de 8 biți, memorie EPROM 2 kbiți, memorie EEPROM min. 32 kbytes, afișaj cu cristale lichide de min. 60 caractere alfanumerice, precum și tastatură cu 16 taste.

Numărul de programe care pot fi memorate este 100.

Rezoluția de poziționare realizată este de 1° (un grad).

Sub comanda programatorului, echipamentul execută mișcarea de rotație pe sectoare de cerc ce pot fi prescrise în domeniul: $0^{\circ} \dots 720^{\circ}$.

Există două moduri de lucru: programarea și funcționarea automată, conform programului selectat.

Programatorul se alimentează la tensiunea monofazată 220 V / 50 Hz, iar puterea instalată este max. 230 VA.

În vederea funcționării trebuie îndeplinite mai multe condiții, realizate sub forma unor contacte de microîntrerupător, limitator de cursă sau releu aplicate la intrările programatorului, comandă de pornire (pedală), sesizarea arcului electric, prezența gazului de protecție, poziționarea corectă a piesei de sudat, sesizarea poziției inițiale a piesei de sudat, sesizare pentru ușă închisă.

Pentru realizarea funcționării echipamentului condus, programatorul furnizează comenzi sub forma unor contacte de releu (interne) aplicate la ieșirile sale: pornirea sursei de sudare nr. 1, pornirea sursei de sudare nr. 2 (opțională), acționarea electrovalvei pentru

fixarea piesei de sudat, comanda de pornire a motorului de antrenare pentru ciclul de rotație.

5.5. Acționări electrice cu reglatoare PWM, cu reglare fuzzy

5.5.1. Caracteristici tehnice

Echipamentul specializat de încărcare prin sudare a robinetelor, de tipul ESIR-250M, este prevăzut cu acționări electrice, la următoarele componente:

- Mecanismul de rotire a capului de sudare;
- Căruciorul de sudare;
- Dispozitivul de translație verticală (sanie verticală);
- Dispozitivul de avans al sârmei (pentru sudarea WIG);
- Mecanismul de pendulare.

Acționările electrice menționate sunt concepute și realizate la ISIM Timișoara. Ele au următoarele caracteristici tehnice principale:

- | | |
|-------------------------------|---|
| - Tensiunea de alimentare: | $U_n = 42 \text{ V c.c.};$ |
| - Puterea motorului electric: | $P_n = 150 \text{ W};$ |
| - Curentul nominal: | $I_n = 4,5 \text{ A c.c.};$ |
| - Excitație separată: | $U_{ex} = 42 \text{ V c.c.}; I_{ex} = 0,42 \text{ A c.c.};$ |
| - Turația motorului electric: | $n_1 = 500-5.000 \text{ rpm};$ |
| - Raportul de transmisie: | $i^{-1} = 3.000; 750; 450; 300; 150.$ |

Acționările electrice sunt realizate cu regulator de turație de tipul chopper cu tranzistor, funcționând în regim de modulație a duratei impulsurilor de tensiune (PWM), care asigură un domeniu larg de reglare și o precizie ridicată a prescrierii vitezei de avans, dar și o viteză de răspuns ridicată la variații rapide ale tensiunii de referință sau ale tensiunii de reacție, în sisteme de urmărire. Conform analizei efectuate în capitolul 4.3 de către autorul lucrării de față, **regulatorul PWM poate fi interpretat ca regulator fuzzy. În acest fel, reglatoarele de turație constituie o aplicație a reglării fuzzy la realizarea echipamentului industrial de tipul ESIR – 250M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor.**

Se utilizează reacția de tensiune electromotoare proprie a motorului de acționare, în cadrul variatorului de turație de tipul chopper cu tranzistor în regim PWM, ceea ce înlătură necesitatea prezenței unui tahogenerator și permite reducerea gabaritului sistemului de acționare, ca și scăderea prețului de cost al acționării (soluție originală).

Comenzile de pornire a acționărilor și de realizare a secvențelor de automatizare se fac prin aplicarea unor tensiuni reduse ($+ 2,5 \div + 12 \text{ V}$) pe intrările de comandă ale unor microrelee realizate cu circuite integrate în tehnologia CMOS, al căror consum de curent este foarte redus ($25 \div 100 \mu\text{A}$); în acest fel schema electrică de acționare și automatizare este compatibilă cu utilizarea unui microcontroler, microprocesor, programator sau a unui calculator de proces pentru conducerea secvențelor de automatizare, interfața necesară fiind minimală, adică ea are un număr redus de componente.

Echipamentul specializat de încărcare prin sudare a robinetelor, de tipul ESIR-250M realizează principalele facilități de automatizare necesare din punctul de vedere al tehnologiei de încărcare prin sudare. În scopul extinderii facilităților și secvențelor de automatizare, echipamentul ESIR-250M a fost adaptat pentru utilizarea unui automat programabil, care este însă opțional. Este tehnic posibilă aplicarea, în acest scop, a anumitor tipuri de programatoare (microcontrolere) pentru automatizarea proceselor industriale. Implementarea unui microcontroler pentru automatizarea procesului de încărcare prin sudare prezintă următoarele avantaje: reglarea parametrilor de funcționare, afișarea parametrilor, memorarea mai multor programe de funcționare optimizate în prealabil și selectarea acestora în funcție de

tipodimensiunile pieselor destinate încărcării prin sudare, etc. Utilizarea microcontrolerului de proces este o soluție modernă și eficientă, care justifică investiția și permite amortizarea în timp scurt a acesteia.

Schema electrică de comandă, acționare și automatizare are un gabarit redus, o execuție compactă și un număr optimizat de componente, cu care realizează toate facilitățile de funcționare necesare.

5.5.2. Evaluarea soluțiilor tehnice

Frecvența nominală de funcționare a variatoarelor de turație a fost stabilită la valoarea de 1000-1500 Hz, pe baza unui program de încercări și experimentări [219 - 224], în care s-a constatat că aceasta este o valoare mai mare decât frecvența limită de sensibilitate pentru avansul sârmei de sudare și pentru alte mecanisme și sisteme din componența echipamentelor mecanizate pentru sudare.

Valoarea frecvenței considerate este acoperitoare pentru aplicațiile menționate. Ea a fost adoptată spre a verifica viteza de reacție ridicată a acționărilor realizate cu variator de turație funcționând în regim de modulație a duratei impulsurilor (PWM). Rezultatele sunt corespunzătoare. Nu este necesară o frecvență de funcționare mai mare a variatorului de turație, întrucât nu apare nici un avantaj în funcționare în această eventualitate. Dimpotrivă chiar, există dezavantajul că pierderile de energie produse de procesul de comutație forțată sunt mai mari, proporțional cu frecvența. Energia dezvoltată în procesul de comutație nu poate fi recuperată integral, ci ea trebuie disipată în cea mai mare parte, ceea ce reduce randamentul acționării electrice la frecvențe de comutație mari.

Din punct de vedere pragmatic, este util să se poată lucra cu un variator de turație (tensiune) având frecvența de comutație mai redusă. Frecvența cea mai convenabilă este chiar frecvența de 50 Hz a rețelei de alimentare. La această frecvență nu trebuie aplicată comutația forțată, ci ea se produce în mod natural, ca urmare a trecerii prin zero a tensiunii alternative de alimentare, după care urmează anularea curentului. Dispozitivele semiconductoare utilizate în acest caz sunt tiristorii, care sunt componente electronice robuste și fiabile, având următoarele avantaje:

- Curentul de vârf repetitiv în stare de conducție este de 7,2-8,6 ori mai mare decât curentul nominal (pe durata de 10 ms, adică o pulsație a tensiunii rețelei, la temperatura capsulei de 125°C);
- Integrala de curent are valoare mare, 312 A²s, la temperatura capsulei de 125°C, timp de 10 ms, pentru un tiristor de 22 A. Aceasta este o măsură a capacității de rezistență la scurtcircuit cu protecție prin siguranțe ultrarapide speciale pentru tiristori.

Aceste caracteristici tehnice sunt net superioare celor ale tranzistorilor având același curent nominal.

Alte caracteristici tehnice ale tiristorilor sunt mai dezavantajoase decât cele ale tranzistorilor echivalenți:

- Viteza critică de creștere a curentului în stare de conducție 50 A/μs;
- Viteza critică de creștere a tensiunii de blocare 50 V/μs.

Aceste mărimi evidențiază tendința de autoamorsare accidentală a tiristorilor, care conduce la șocuri în funcționare.

- Curentul de acrosaj 200 mA, la tensiune directă de 6 V, pentru tiristor de 22 A;
- Timpul de dezamorsare prin comutarea circuitului de 200 μs la tiristor T22N (respectiv de 20 μs la tiristorul rapid T22R). Aceste valori ale timpilor de stingere sunt mult mai mari decât timpii de stingere de 0,6-1,2 μs de la tranzistorii MOSFET sau IGBT. De aceea, tiristorii sunt considerați dispozitive semiconductoare lente, destinate frecvenței rețelei;

- Timpul de amorsare este de 5 μ s.

În cazul acționărilor electrice contează însă mai puțin timpii de amorsare și de stingere ai dispozitivului semiconductor, cât inerția, respectiv momentul de inerție al motorului electric și al întregului mecanism, raportat la arborele motorului. Experiența utilizării mecanismelor și sistemelor din cadrul echipamentelor specializate și tipizate destinate mecanizării sudării arată că metoda reglării tensiunii de alimentare, și implicit a reglării turației, prin calare pe fază, adică prin unghiul de amorsare al tiristorilor, la frecvența de 50 Hz a tensiunii de alimentare, dă rezultate corespunzătoare în exploatare, în majoritatea cazurilor.

Uniformitatea turației este în limitele $\pm 4\%$ în regim de funcționare staționar, iar reproductibilitatea prescrierii este în limitele $\pm 4\%$, ceea ce se încadrează în limitele admise de SR 11 280:1993, referitor la dispozitivul de avans al sârmei pentru sudare cu arc electric (condiții tehnice generale de calitate). Solicitățile mecanice de la celelalte mecanisme și dispozitive din componența echipamentelor de sudare mecanizată sunt de același ordin de mărime sau chiar mai mici. Ele depind de gradul de precizie al prelucrării mecanice a pieselor mecanismelor, în primul rând. Numai în cazul mecanismului de translație verticală (sanie verticală), care constituie de fapt o mică macara cu o sarcină de 20 - 25 kgf, se constată experimental un cuplu rezistent mai mare al sarcinii utile. Curentul de sarcină atinge o valoare apropiată de curentul nominal, la mecanismele complexe (3,5-4,5 A). Însă domeniul de reglare nu trebuie să fie foarte amplu, iar stabilitatea turației nu este necesar să fie foarte ridicată, pentru această acționare, întrucât viteza de deplasare realizată de către sania verticală nu este o viteză tehnologică.

Caracteristicile dinamice ale regulatorului de turație realizat cu tiristori, la frecvența de 50 Hz a rețelei de alimentare sunt corespunzătoare. Viteza de reacție la reglaje de turație efectuate în momentele de variație bruscă a sarcinii (a cuplului rezistent) este suficient de ridicată, în cazul în care variatorul de turație este executat la nivelul cerințelor tehnice existente, exceptând cazurile cu deficiențe de execuție și reglaje de ajustare incorecte. Regulatorul de turație cu tiristori a fost utilizat la echipamentul experimental ESIR – 500M, precum și la alte echipamente specializate, menționate în capitolul 1.3.

Anumite șocuri în funcționare, care se constată în unele cazuri, se datoresc în primul rând tendinței de autoamorsare a tiristorilor, ca urmare a depășirii vitezei critice de creștere a tensiunii (dV/dt). Soluția în această situație este utilizarea unor tiristori având clasă de precizie cât mai ridicată (după acest criteriu) sau utilizarea unor tiristori de curent nominal mai mare, întrucât aceștia au o viteză critică de creștere a tensiunii mai mare.

Tiristorii de curent nominal mare au însă un curent de acroșaj mai mare, ceea ce înseamnă că curentul de sarcină nu se automenține după amorsare, dacă sarcina mecanică este mică. Cuplul rezistent mic implică un curent de sarcină mic, care se întrerupe în mod repetat. Abia după mai multe pulsații în care motorul electric nu absoarbe practic curent de la rețea și astfel turația lui se reduce, se produce o nouă serie de impulsuri de curent, care provoacă accelerarea motorului. În aceste condiții se constată funcționarea în șocuri, care trebuie evitată. Această situație apare inclusiv la turație mică, când cuplul rezistent aplicat la arborele motorului este mai redus, de asemenea.

Experimental se confirmă că valoarea curentului la sarcină crește, o dată cu creșterea turației, respectiv curentul scade la scăderea turației, pentru un anumit mecanism.

În concluzie, dacă se alege în mod judicios tiristorii și celelalte componente electronice, variatoarele de turație cu tiristori, în punte semicomandată, la tensiunea rețelei de 50 Hz, funcționează în mod corespunzător, pentru acționările electrice ale dispozitivelor și mecanismelor din cadrul echipamentelor de sudare mecanizată, inclusiv cele din componența echipamentului ESIR-250M, menționate la început.

În cadrul echipamentului ESIR-250M mai există și acționarea mesei de poziționare și rotire tip MPR-320. Ea este realizată cu tiristori în punte semicomandată, la 50 Hz.

Caracteristicile tehnice principale sunt cele menționate anterior, cu următoarele excepții:

- Turația motorului: $n_1 = 500 - 5.000 \text{ rpm}$;
- Turația platoului: $n_2 = 0,12 - 1,2 \text{ rpm}$;
- Raportul de transmisie: $i^{-1} = 4.166$.

Masa de poziționare și rotire tip MPR-320 este un produs tipizat. Funcționarea sa este în general satisfăcătoare. Există observația că la turație redusă apar uneori șocuri în funcționare, care au cauzele explicate mai înainte. În majoritatea cazurilor, aceste șocuri pot fi înlăturate prin reglaje sensibile ale variatorului de turație (turație minimă, turație maximă și factorul de amplificare a reacției de curent).

Sursa de sudare MIG/MAG de 250-400A care se utilizează în cadrul echipamentului ESIR-250M este dotată cu un dispozitiv propriu de avans al sârmei pentru sudare, care este considerat în ansamblul sursei de sudare, fiind interconectat cu aceasta. Variatorul de turație de la dispozitivul de avans al sârmei este realizat cu tiristori la sursele mai vechi (fabricate până în anii 1980 - 1985), respectiv cu tranzistori la sursele mai noi.

Performanțele variatoarelor de turație realizate cu tranzistori sunt superioare, ca urmare a reglajelor mai rapide efectuate, însă tranzistorii sunt totuși mai sensibili și au un preț mai mare pentru un anumit curent nominal și, mai ales, o dată cu creșterea tensiunii maxime emiter-colector. Aceasta trebuie să fie de minim cinci ori mai mare decât tensiunea nominală a circuitului de utilizare, având în vedere supratensiunile datorate fenomenelor de comutație. Are o importanță mai redusă faptul că se utilizează tiristori sau tranzistori. În fond, un variator de tensiune cu calare pe fază, realizat cu tiristori la 50 Hz este echivalent cu un chopper realizat cu tranzistori funcționând la aceeași frecvență. Din punctul de vedere al stabilității turației, contează cel mai mult modul în care este efectuată reglarea turației. Se utilizează trei principii de reglare:

- Compensarea căderii de tensiune rotorice $I_s R_r$ produse de curentul de sarcină, conform ecuației motorului de cc: $U = E - I_s R_r$; unde U este tensiunea de alimentare; E este tensiunea electromotoare; $I_s R_r$ este căderea de tensiune în rotor.
- Reacția de turație (de la un tahogenerator) și corectarea abaterilor acesteia față de valoarea de referință;
- Reacția de tensiune electromotoare proprie a motorului de acționare și corectarea abaterilor acesteia față de valoarea de referință (soluție originală).

Tensiunea electromotoare care apare în spirele rotorului unui motor de curent continuu este direct proporțională cu turația. Curentul de sarcină al motorului produce o cădere de tensiune pe rezistența rotorului, care reduce valoarea tensiunii electromotoare interne și reduce turația în sarcină. Prin intermediul regulatorului de turație se poate aplica o compensare a căderii de tensiune, utilizând reacția de curent, cu un anumit factor de amplificare. Dificultatea constă în aceea că la turații mici intervin anumite efecte perturbatoare asupra curentului, iar acestea se aplică asupra turației. Sistemul se aplică la variatoarele de turație din generația anterioară, dar el este actual și în continuare.

Utilizarea reacției de turație preluate de la un tahogenerator conduce la rezultatele cele mai bune în privința stabilității turației. În acest scop se utilizează regulatoare analogice sau digitale. Eventualul dezavantaj îl constituie prezența tahogeneratorului, care complică uneori construcția mecanismului, mărește gabaritul acestuia și mărește prețul de cost al acționării.

Reacția de turație cu tahogenerator se aplică la acționările cu performanțe ridicate de la echipamentele actuale, inclusiv la roboții industriali.

Pentru a nu fi necesară utilizarea unui tahogenerator, a fost aplicată soluția de a folosi reacția de tensiune electromotoare proprie a motorului electric de acționare [219 - 222], în pauzele de curent, când de la bornele motorului poate fi preluată valoarea instantanee a tensiunii electromotoare, proporțională cu turația. Această reacție se aplică la un regulator, întocmai ca reacția de la un tahogenerator. Rezultatele obținute sunt corespunzătoare.

5.6. Experimentări în condiții de laborator

5.6.1. Executarea probelor de încărcare prin sudare [225, 226, 232]

Fig. 5.6.1 prezintă desfășurarea procesului de sudare la executarea uneia dintre probele de încărcare prin sudare, pe varianta E1 - A de echipament. Procesul se derulează uniform. Parametrii de sudare sunt stabili, menținându-și valorile prescrise.

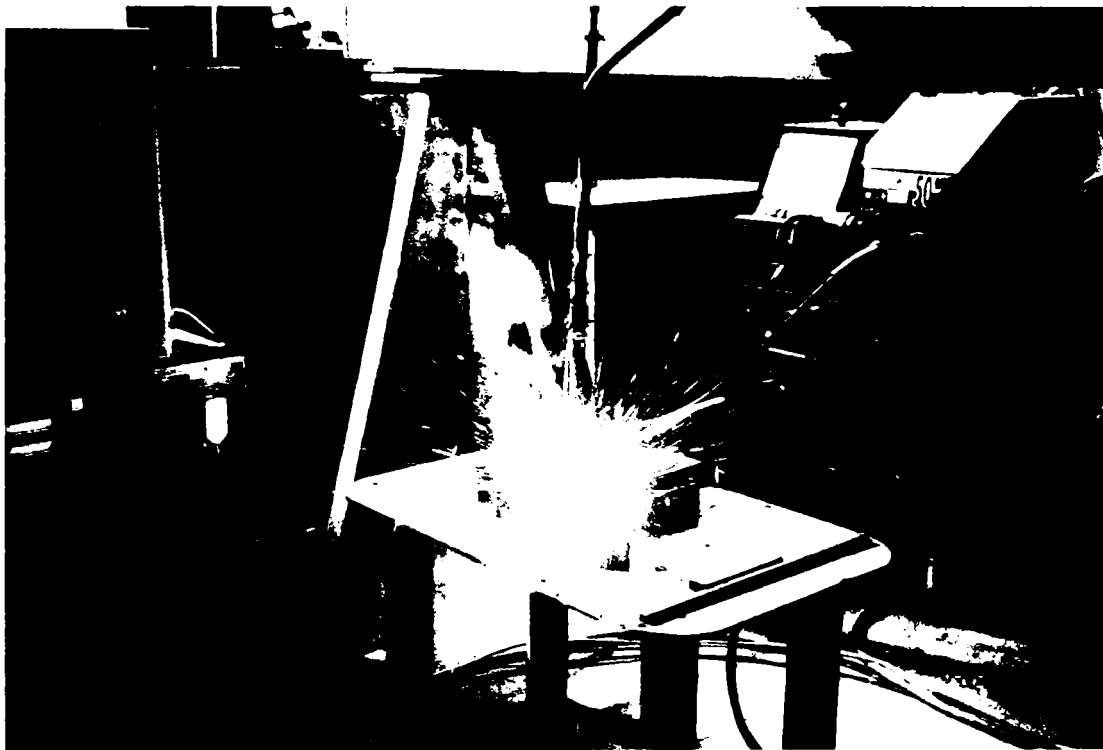


Fig. 5.6.1. Echipamentul experimental ESIR-500 M la efectuarea probelor de încărcare prin sudare



Fig. 5.6.2. Efectuarea unor probe de încărcare prin sudare pe echipamentul experimental

5.6.2. Verificarea probelor de încărcare prin sudare

În fig. 5.6.3 este prezentată o probă de încărcare prin sudare, executată pe sertar RSP Dn 80. Ea este realizată din două rânduri concentrice de metal depus, cu suprapunere laterală. Aspectul este uniform pe cea mai mare parte a traseului de sudare. Pe porțiunea de început se observă două devieri de la traiectoria circulară, cauzate de abateri ale sistemului de poziționare pe orizontală și de unele carențe în privința consolidării dispozitivului de poziționare pe rază. Acestea au fost soluționate în continuare, pe parcursul programului de experimentări. Proba de încărcare prin sudare este executată pe echipamentul experimental, având ajustările și reglajele mecanice de poziționare efectuate în mod corespunzător. A fost prescris un timp de întârziere la oprirea procesului de sudare de 0,8 – 1,4 sec, care a permis evitarea craterului final al sudurii și a altor defecte de sudare. Diametrul mediu al rândului de sudură este de aproximativ 85 mm, lățimea este de 13 – 14 mm, iar supraînălțarea este de 2,5 – 3,0 mm. Flancurile au înclinare de circa 45° . Marginile sunt uniforme. Aspectul este corespunzător. Nu se observă defecte de sudare. Rezultatul este corespunzător la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

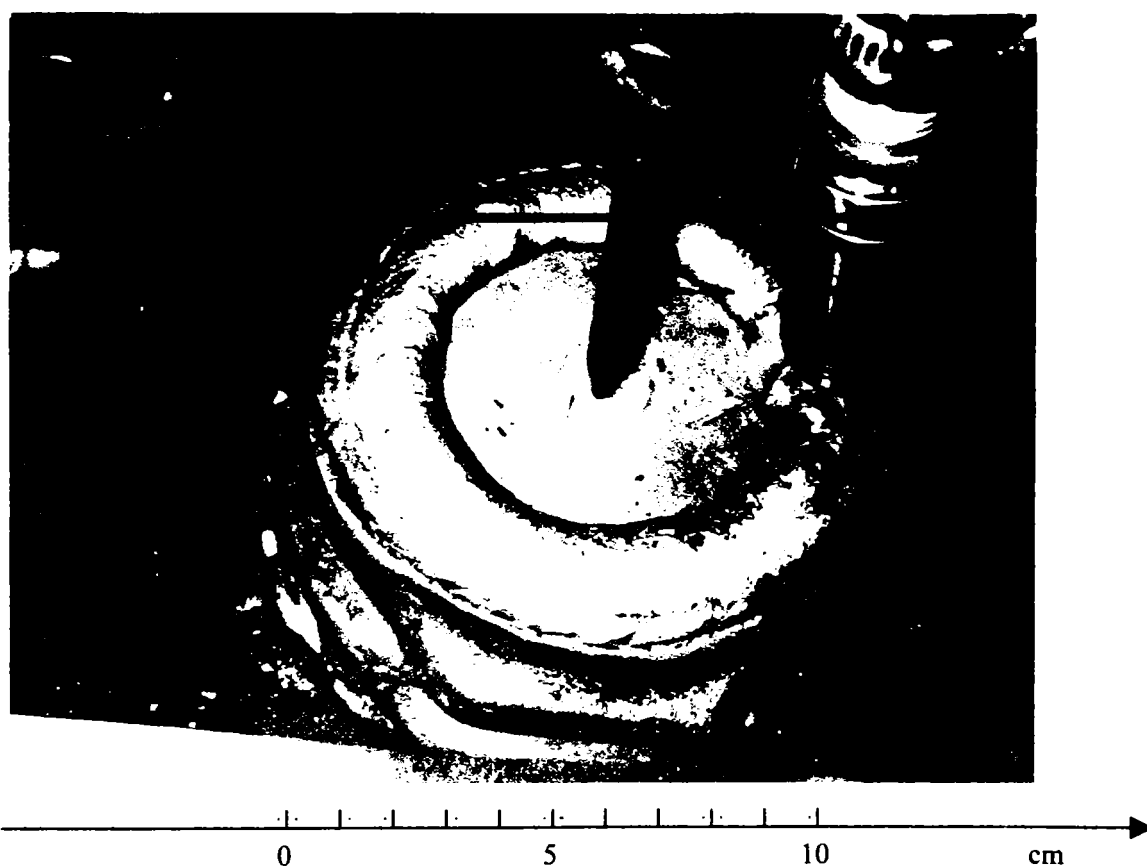


Fig. 5.6.3. Sertar de robinet RSP Dn 80 încărcat prin sudare pe echipamentul experimental ESIR – 500 M

Această probă a fost executată cu următorii parametri de sudare: $U_a = 24,6 - 25,6 \text{ V}$; $I_s = 196 - 205 \text{ A}$; $v_{el} = 6,9 \text{ m / min}$; $v_s = 2 \text{ cm / min}$; $Q = 17 \text{ l / min}$ (Corgon 18).

Dacă este necesar, se poate executa al doilea strat al depunerii, menținând aceeași poziționare pe rază și aplicând doar o corecție a poziției pe verticală, adică ridicarea cu 2,5 – 3,0 mm, ceea ce este chiar supraînălțarea stratului întâi.

Stratul al doilea este necesar în cazul în care diluția obținută în stratul întâi este mai mare de 15 – 20 %, ceea ce nu permite obținerea compoziției chimice și a durității prevăzute, pe suprafața stratului întâi.

De asemenea, dacă supraînălțarea depunerii este prevăzută cu valoarea de peste 3,0 mm, atunci este necesar stratul al doilea.

Metalul de baza este otelul S235 JR G3 EN 10027 (OL 37.3 STAS 500/1-89).

Sârma de sudare este SG-2, de tipul G3Si1, conform EN 4440, de diametrul 1,2 mm.

Gazul de protecție este Corgon 18, de tipul M21, conform EN 439.

5.7. Experimentări în condiții industriale

În scopul verificării funcționării echipamentului industrial ESIR – 250M a fost efectuat un program de experimentări de încărcare prin sudare a elementelor de etanșare ale robinetelor cu sertar până RSP D_n 100 - 250 din instalațiile energetice, la R.A.A.N. – Sucursala ROMAG – TERMO Drobeta Turnu-Severin [225, 226, 232]. Echipamentul este proiectat la ISIM Timișoara și executat în colaborare de către cele două firme, în cadrul lucrărilor [230, 231].

5.7.1. Echipamentul specializat de încărcare prin sudare a robinetelor, tip ESIR-250M

Echipamentul ESIR-250 M în componența completă, destinat utilizării industriale, este prezentat în fig. 5.2.5, pe amplasamentul inițial, unde s-au efectuat montajul general, punerea în funcțiune și probele de funcționare preliminare.

Caracteristicile tehnice ale echipamentului ESIR-250 M sunt prezentate în subcapitolele anterioare. La cererea beneficiarului, varianta constructivă inițială a fost completată cu anumite sisteme și dispozitive suplimentare pentru a extinde domeniul de utilizare, de la sertare și racorduri, la corpuri de robinete RSP D_n 100-250.

Echipamentul ESIR-250M este interconectat cu sursa de sudare MIG/MAG de tipul KEMPPOMAG 3800, de 380 A, produsă de firma KEMPPPI din Finlanda.

S-au utilizat succesiv două variante modificate de cap de sudare tip Tbi 250 Flexible, produs de firma TBI, adaptate acestei aplicații de către participanții la aceste experimentări.

Unul dintre dispozitivele suplimentare executate pentru acest echipament este dispozitivul de poziționare pe rază și de translație axială verticală, tip DPRTAV. Dispozitivul se utilizează în cazul în care suprafața piesei pe care se efectuează încărcarea prin sudare este înclinată față de orizontală, cu un unghi de circa 9⁰. Funcționarea este corespunzătoare. Pe proba de încărcare prin sudare se observă o mică diferență de dimensiuni între porțiunea ascendentă (up hill) și porțiunea descendentă (down hill) ale traseului de sudare. De aceste diferențe trebuie să se țină cont la stabilirea punctului de început al sudării. În zona de început, lățimea rândului de sudură este mai redusă și supraînălțarea mai mare, iar în zona de sfârșit, lățimea rândului de sudură este mai mare și supraînălțarea este mai mică, datorită încălzirii piesei. Efectul produs de înclinarea piesei trebuie compensat cu efectul produs de încălzirea piesei, spre a obține dimensiuni cât mai uniforme.

La această variantă tehnologică, datorită înclinării suprafeței piesei de încărcat prin sudare, respectiv datorită combinării mișcării de rotație cu mișcarea de translație pe verticală ale capului de sudare, traiectoria rândului de sudură este o elipsă. Diferența dintre semiaxa mare și semiaxa mică ale acestei elipse este însă destul de mică, astfel că este dificil să se măsoare aceste diferențe. De asemenea, este dificil să se pună în evidență abaterile dimensiunilor rândului de sudură (lățimea și supraînălțarea), de-a lungul traseului său eliptic.

5.7.2. Efectuarea experimentărilor [225, 226, 232]

După punerea în funcțiune a echipamentului industrial tip ESIR – 250 M de încărcare prin sudare a robinetelor industriale au fost efectuate probe de funcționare, probe de sudare pe table, iar apoi mai multe probe de încărcare prin sudare, în mai multe etape.

În prima etapă s-au executat probe de încărcare prin sudare WIG a unor racorduri de țevă, având diametrul Dn 100 – 150 mm, lungimea de circa 150 mm, iar grosimea peretelui de 9 mm. Încărcarea prin sudare s-a făcut pe capătul de sus al racordului, pe traiectorie circulară, pe MPR - 320. Aspectul a fost adecvat, iar dimensiunile au fost uniforme și nu s-au observat defecte de sudare. Rezultatele au fost corespunzătoare.

În cea de-a doua etapă s-au executat probe de încărcare prin sudare prin procedeul MIG/MAG în interiorul corpului de robinet RSP Dn 250, după cum se prezintă în fig. 5.3.1, pe piese de formă inelară amplasate deasupra suprafeței de etanșare a robinetului.

Acest capitol descrie etapa a treia, în care au fost efectuate probe de încărcare prin sudare în interiorul corpului de robinet RSP Dn 100, pe piese de formă inelară (de încercare) amplasate chiar pe suprafața de etanșare.

Metalul de baza este otelul S235 JR G3 EN 10027 (OL 37.3 STAS 500/1-89). Au fost executate inele de etanșare (de încercare) având diametrul exterior \varnothing_{ext} 120 mm, diametrul interior \varnothing_{int} 80 mm și grosimea de 12 mm (6 buc. + 4 buc. recuperate prin strunjire, pe parcursul experimentărilor).

Metalul de adaos este sârma pentru sudare SG-2, de tipul G3Si1 conform EN 440, de diametrul 1,2 mm.

Gazul de protecție este bioxid de carbon (CO_2), de tipul C1 conform EN 439:1994.

S-a utilizat un încălzitor de gaz (CO_2) montat la ajutorul de ieșire al reductorului de presiune, de la butelie.

S-a poziționat un corp de robinet cu sertar pană tip RSP D_n 100 pe masa de poziționare și rotire MPR-320.

Dispozitivul de poziționare de pe MPR-320 permite amplasarea robinetului cu axa de simetrie pe verticală, astfel încât suprafața de etanșare pe care se face încărcarea prin sudare este înclinată cu 9^0 față de orizontală.

Mișcarea de rotație s-a realizat succesiv prin utilizarea MRCS sau a MPR-320.

În interiorul corpului de robinet RSP D_n 100 au fost poziționate succesiv inelele de etanșare (de încercare) \varnothing_{ext} 120 × \varnothing_{int} 80 × 12, pe care s-au executat cca. 10 probe.

Probele au fost executate cu unul, două, sau trei rânduri de sudură (treceri).



Fig. 5.7.1. Dispozitivul de poziționare pe rază și de translație axială verticală, tip DPRTAV, în interiorul corpului de robinet RSP Dn 100, în timpul probelor de încărcare prin sudare

În fig. 5.7.1 se arată corpul de robinet RSP Dn 100, în timpul probelor de încărcare prin sudare. Dispozitivul de poziționare pe rază și de translație axială verticală, tip DPRTAV se află în interior. El este destinat să efectueze deplasarea pe verticală a capului de sudare, sincronizată cu mișcarea de rotație, astfel încât vârful capului de sudare să se afle în permanență la aceeași distanță față de suprafața pe care se face încărcarea prin sudare, pentru a se menține lungimea arcului electric. Dispozitivul oferă și posibilitatea ajustării razei pe care se execută încărcarea prin sudare.

La efectuarea acestei probe s-a utilizat un anumit mod de poziționare a capului de sudare față de inelul de etanșare (de încercare) din interiorul corpului de robinet. Capul de sudare este montat pe axul de rotire, al cărui dorn de centrare se află introdus într-o gaură situată la circa 30 – 40 mm sub nivelul suprafeței pe care se face încărcarea prin sudare. Din această cauză apar abateri de la centrare în chiar planul în care se execută încărcarea prin sudare, ceea ce poate cauza abateri de formă ale rândului de sudură.

În fig. 5.7.2 este prezentat modul de centrare a axului de rotire chiar în planul suprafeței pe care se efectuează încărcarea prin sudare. Pentru aceasta, suprafața piesei de centrare se amplasează la nivel, în același plan cu suprafața inelului de etanșare, iar elementele laterale de fixare ale piesei de centrare trebuie să realizeze, prin deformare elastică, forțe de apăsare orientate către diametrul interior al inelului de etanșare, pentru a se încastra în el. Piesa de centrare a axului de rotație al mecanismului de rotire a capului de sudare dispune de două elemente laterale ajustabile, cu ajutorul cărora ea se fixează pe piesa de sudat sau în interiorul acesteia (în interiorul corpului de robinet, în planul suprafeței de etanșare), în poziție simetrică, astfel încât gaura din mijlocul piesei să fie amplasată în centrul inelului, respectiv în centrul suprafeței de etanșare a corpului de robinet.



Fig. 5.7.2. Poziționarea capului de sudare în interiorul corpului de robinet RSP Dn 100

În gaura menționată se introduce dornul axului de rotație. Datorită centrării, capul de sudare descrie un cerc fără abateri, în timpul funcționării, iar depunerea are o formă corespunzătoare. Eventual, pot fi aplicate trei - patru suduri de prindere punctuale între piesa de centrare și inelul de etanșare, iar aceste suduri se înlătură ulterior.

Fig. 5.7.3 reprezintă o poziție instantanee a capului de sudare în timpul procesului de încărcare prin sudare, la executarea rândului de sudură nr. 1 (trecerea nr. 1) a unei probe de încărcare prin sudare. Desfășurarea procesului este normală, în condițiile dificile existente în interiorul corpului de robinet. Stropirea se situează și ea în limite normale.

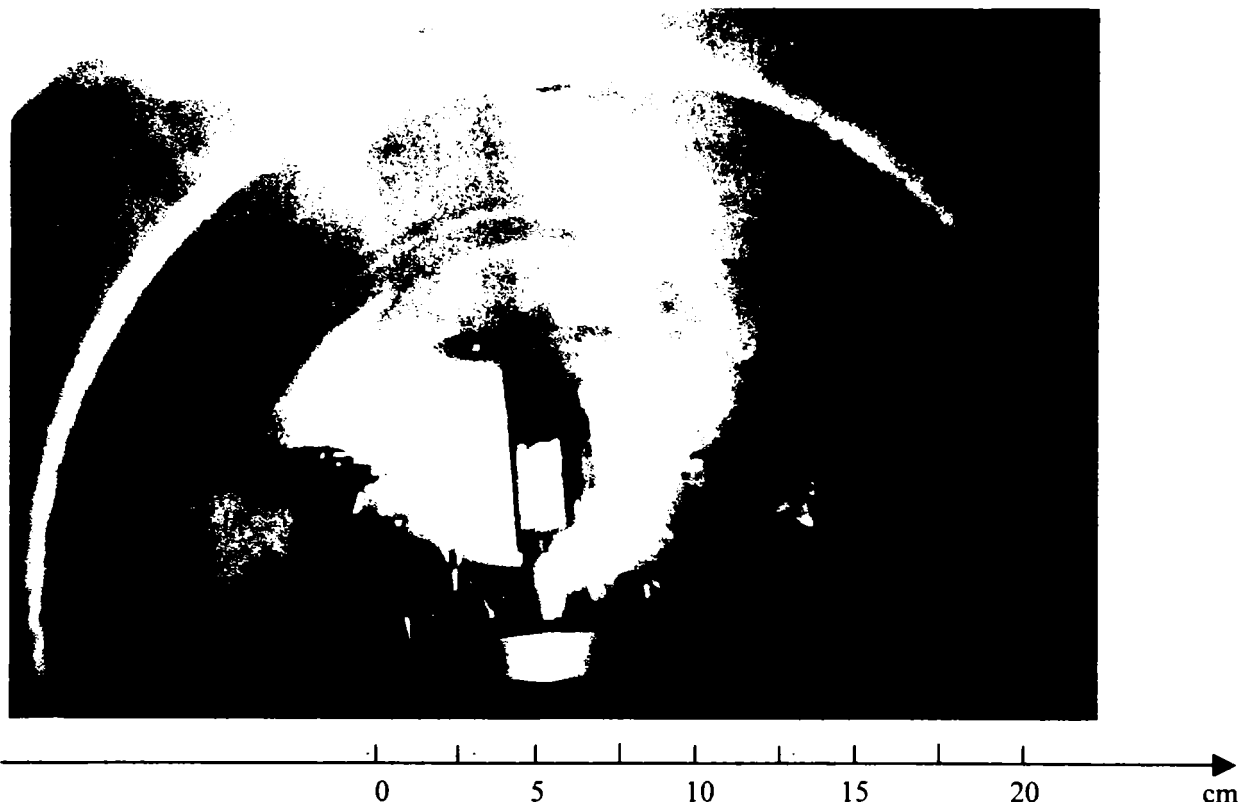


Fig. 5.7.3. Desfășurarea procesului de încărcare prin sudare în interiorul corpului de robinet RSP Dn 100 pe echipamentul industrial ESIR - 250 M

Parametrii de încărcare prin sudare utilizați sunt:

- Tensiunea arcului electric $U_a = 7,5 - 8,0 \text{ div} / 10 \text{ div}$ (estimativ $U_a = 25 - 26 \text{ V}$)
- Viteza sârmei $v_{\text{sârmă}} = 6,7 - 7,0 \text{ div} / 10 \text{ div}$ (estimativ $I_s = 190 - 200 \text{ A}$)
- Perioada de rotație $T = 60 - 65 \text{ sec}$.
- Viteza de sudare: $v_s = 29,0 - 31,5 \text{ cm} / \text{min}$

La probele de încărcare prin sudare din acest program de experimentări, la care s-a aplicat modalitatea de centare explicată, dimensiunile sunt uniforme. Lățimea rândului de sudură este $b = 10 - 11 \text{ mm}$, iar supraînălțarea sa este $h = 4,0 - 4,2 \text{ mm}$. Nu se observă defecte de sudare. Aspectul este adecvat. Rezultatele sunt corespunzătoare la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

Aceste experimentări confirmă funcționarea la parametrii proiectați a echipamentului ESIR - 250M specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor industriale și energetice.

5.7.3. Aspecte tehnico - economice

Echipamentul tip ESIR-250M are un cost estimativ de 5 000 Euro, conform valorii contractului de execuție, convenită între executant și beneficiar. Acest cost este mult mai redus decât prețul de achiziție de pe piața internațională al unui echipament de sudare automatizată, care este de 22 000 - 125 000 Euro. Costul redus se explică prin regulatoarele PWM și alte elemente de reglare fuzzy, eficiente prin raportul performanță / cost, aplicate la echipamentul ESIR-250M, care îndeplinesc cerințele tehnice și corespund scopului propus.

6. Experimentări de sudare MAG robotizată

6.1. Celulă experimentală de sudare robotizată

6.1.1. Caracteristicile tehnice principale ale roboților de sudare

Robotul industrial este conceput și realizat ca utilaj universal caracterizat prin flexibilitatea în utilizare, conferită prin programele elaborate, prin anumite aplicații, între care există diferențe după diferite criterii.

Noțiunea de “robot industrial” se referă, după stadiul de astăzi al tehnicii, la mașini care pot executa procese de deplasare liber programabile, în interiorul domeniului lor de lucru. Ei sunt utilizați pentru a suda piese ori grupe constructive, cât și pentru alte categorii de operații.

Efactorii sunt astfel montați pe robotul industrial, încât posibilitățile sale de mișcare să poată fi complet utilizate.

Un robot industrial oferă numai atunci posibilități de utilizare universale, dacă el este în situația ca în interiorul spațiului său de lucru să realizeze în mod liber poziționarea și orientarea efectorului său. În acest scop el necesită cel puțin șase grade de libertate, care în tehnica roboților se numesc axe de mișcare sau, pe scurt, axe. Trei axe servesc pentru poziționarea grobă a efectorului. Ele sunt numite axe de bază. Alte trei axe sunt utilizate pentru poziționarea fină și pentru realizarea orientării.

Axa 1 este realizată prin rotirea turnului de rotație în jurul unei axe amplasate vertical în cadrul turnului.

Axa 2 stă perpendicular pe axa 1 și ea permite rotirea brațului superior față de turnul de rotație.

Brațul inferior se rotește față de brațul superior, în axa 3, situată paralel cu axa 2. Prin aceasta planul de rotație al mișcării brațului inferior trece prin centrul turnului de rotație. Acest lucru conferă conceptului de axe de bază performanțe cinematice deosebit de bune.

Axa 4 se află în prelungirea brațului inferior. Ea susține și rotește capul dispozitivului de prehensiune (al mâinii mecanice).

Axa 5 din capul dispozitivului de prehensiune servește pentru înclinarea flanșei de montaj pentru efector, față de axa 4.

Axa 6 realizează rotirea flanșei de montaj față de capul dispozitivului de prehensiune, înclinat în mod solidar cu axa 5.

Pentru utilizarea robotului de sudare Romat 56 în cadrul celulei de sudare robotizată realizate, este necesară cunoașterea și aplicarea practică a următoarelor capitole din documentația tehnică a robotului [246, 247]:

- Unitatea de comandă MPS 085;
- Principiul de conducere al poziționării;
- Stările principale ale unității de comandă;
- Sistemul de programare;
- Funcționarea de utilizare;
- Sistemele de coordonate;
- Conducerea mișcărilor;
- Interfețele pentru periferice

Probleme și datele menționate se aplică în etapa de elaborare a programelor de sudare robotizată, în modul de funcționare de instruire, precum și la utilizarea robotului în modul de funcționare automată în aplicațiile abordate.

6.1.2. Configurația celulei experimentale de sudare robotizată

Celula robotizată pentru sudarea MAG realizată la ISIM Timișoara [236, 237], are configurația din fig. 6.1.1, cu următoarea componență:

1. Robotul de sudare ROMAT 56, produs de firma Cloos Schweisstechnik GmbH Haiger, Germania.
2. Unitatea de comandă MPS 085, produsă de firma Cloos Schweisstechnik GmbH Haiger / Jungheinrich Handhabungssysteme Hamburg, Germania.
3. Sursa de sudare VARMIG 160/180A SuperMig, produsă de firma Varstroj Lendava, Slovenia. Se utilizează și alte tipuri de surse, în funcție de cerințele tehnologice ale lucrării de sudare efectuate.
4. Cap de sudare pentru robot ROMAT 56. Se utilizează și capul de sudare al sursei, în funcție de cerințele tehnice și tehnologice ale lucrării de sudare efectuate.
5. Masă de poziționare plană MPP - O, produsă de ISIM Timișoara. Se utilizează și alte tipuri de mese de sudare.
6. Dispozitive de fixare (seria DF), produse de ISIM Timișoara.
7. Masa de poziționare și rotire MPR – 320, produsă de S.C.Vest Metal S.A.Oradea (opțională). Se utilizează, de asemenea, un model experimental de masă de poziționare și rotire realizat la ISIM Timișoara.
8. Interfața pentru comandă echipamente anexe, tip ICEA, produsă de ISIM Timișoara.
9. Butelia de gaz de protecție (corgon), sau rețeaua de alimentare cu gaz de protecție (corgon).
10. Accesorii pentru sudare.

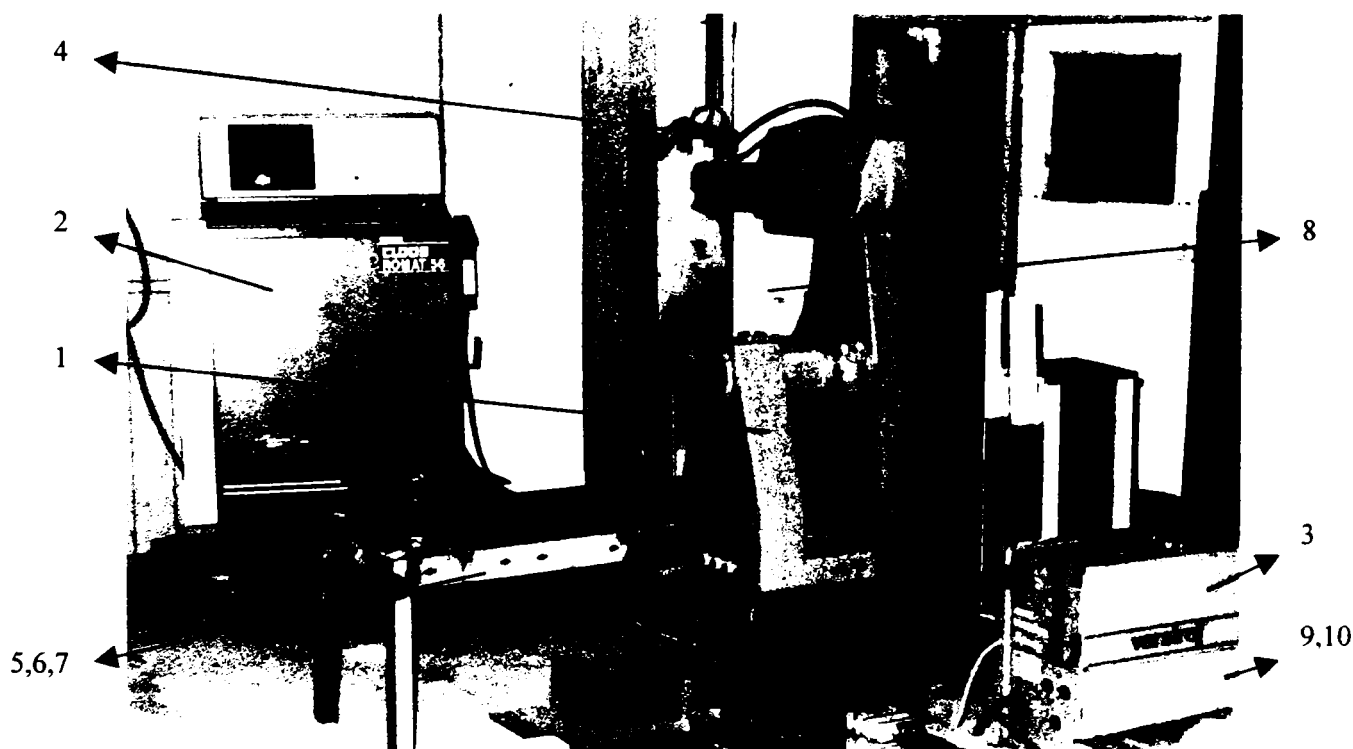


Fig. 6.1.1. Configurația celulei experimentale pentru sudare MAG robotizata

Aceasta este componența strict necesară pentru asigurarea funcționalității robotului Romat 56 în cadrul modelului funcțional al celulei de sudare robotizată. Modelul funcțional are posibilitatea de a executa sudarea robotizată pe următoarele categorii de piese:

- table plane, având dimensiunile de maximum 1000mm × 500mm × 30mm;
- piese circulare, având diametrul maxim Φ_M 750mm, respectiv masa netă maximă 320 kg;
- subansamble, având dimensiunile de gabarit maxime următoare: lungime 1200 mm; lățime

600 mm; înălțime 900 mm; masa netă de maximum 150 kg. Acestea pot fi amplasate pe masa de poziționare plană, fără pericol de răsturnare ori deformare a acesteia.

6.1.3. Interfața de comandă pentru echipamentele anexe, tip ICEA

Interfața pentru comandă echipamente anexe, tip ICEA [236, 237], a fost concepută și realizată la ISIM Timișoara. Ea servește la transmiterea semnalelor de comandă de la unitatea de comandă MPS 085 către echipamentele periferice: sursa de sudare, masa de poziționare și rotire MPR-1000, manipulatorul pentru lonjeron, modulul de translație al robotului. Această interfață este necesară întrucât echipamentele periferice prevăzute în cadrul celulei flexibile de sudare robotizată pentru material rulant CFSRMR-0 [236, 237] nu sunt echipamente tipizate, compatibile cu unitatea de comandă MPS 085. Interfața distribuie și amplifică semnalele de comandă pentru perifericele respective. Ea este prezentată în fig. 6.1.2 și fig. 6.1.3.

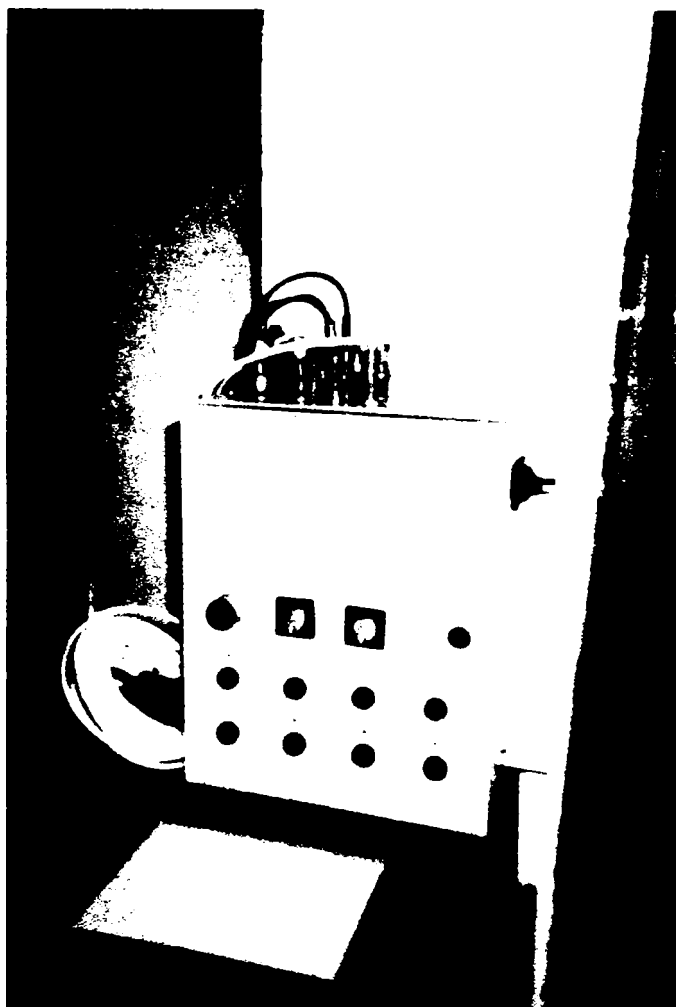


Fig. 6.1.2. Interfața de comandă pentru echipamente anexe, tip ICEA

Interfața de comandă pentru echipamentele anexe, tip ICEA, are rolul de a realiza adaptarea dintre intrările și ieșirile digitale ale unității de comandă a robotului, pe de o parte, și ieșirile și intrările analogice de comandă sau de forță ale echipamentele periferice, pe de altă parte. Aceasta permite utilizarea mai intensivă și extensivă a facilităților oferite de către unitatea de comandă a robotului, respectiv permite realizarea unor dispozitive și sisteme auxiliare în cadrul celulei de sudare robotizată, care asigură funcționarea corespunzătoare a robotului, conform caracteristicilor tehnice ale acestuia, cu respectarea cerințelor tehnice pentru funcționarea sa.

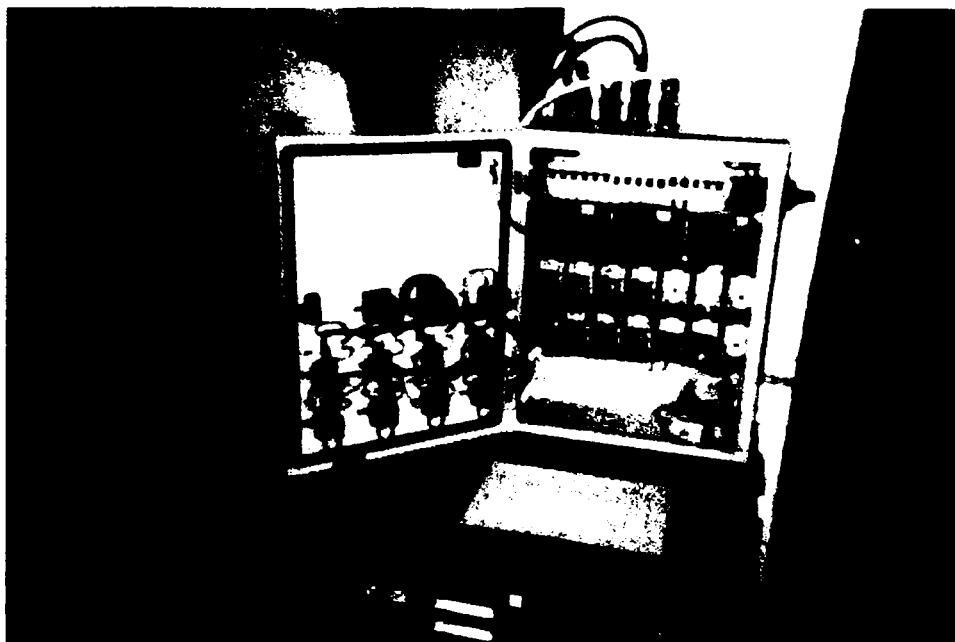


Fig. 6.1.3. Montajul interior al interfeței de comandă pentru echipamente anexe, tip ICEA

Adaptarea este necesară din următoarele motive:

- ieșirile digitale ale unității de comandă sunt contacte de releu care pot fi utilizate numai la tensiune mică de max. 100 V și la curent redus de max. 500 mA; se recomandă ca ele să fie separate galvanic de circuitele de comandă ale echipamentelor anexe, pentru a evita perturbațiile asupra unității de comandă. De aceea, sunt prevăzute relee intermediare și chiar contactoare, în cadrul interfeței. Acestea conectează în continuare comenzile, respectiv alimentările, în mod corespunzător la anumite echipamente periferice: masa de poziționare și rotire MPR – 320, sursa de sudare MIG – 500 High Speed, dispozitiv de rotire (opțional), modul de translație (opțional), masă de indexare (opțională).

- Intrările digitale ale unității de comandă sunt separate galvanic față de circuitele exterioare, prin cuploare optoelectronice. Tensiunea aplicată din exterior în circuitul unei intrări digitale este de max. 24 V c.c., iar curentul în circuitul unei intrări digitale este de max. 10 mA. Pentru aceasta, în cadrul interfeței trebuie să existe o sursă de tensiune de 24 V c.c., rezistențe de limitare a curentului și relee intermediare, comandate de către limitatoare de cursă, microîntrerupătoare sau senzori inductivi, amplasate pe echipamentele anexe sau periferice. Astfel, aceste limitatoare, microîntrerupătoare sau senzori au posibilitatea de a activa sau dezactiva în anumite momente intrările digitale aferente ale unității centrale (de a aduce intrarea respectivă în starea logică 1 sau 0). Starea logică a uneia sau altele dintre intrările digitale poate constitui o condiție pentru executarea unor programe sau secvențe de program. Ele sunt interpretate ca atare de către unitatea centrală a robotului și utilizate în cadrul programului de sudare robotizată.

6.1.4. Considerații geometrice pentru elaborarea tehnologiei de sudare robotizată

Conform documentației tehnice a robotului Romat 56 [247], raza spațiului de lucru este:

$$R \leq A + B \quad (6.1.1)$$

unde A este lungimea brațului superior al robotului (acționat de axa 2), iar B este lungimea brațului inferior al robotului (acționat de axa 3).

$$R \leq 430 + 430 \quad (6.1.2)$$

$$R \leq 860 \text{ mm} \quad (6.1.3)$$

În situațiile reale de poziționare, raza echivalentă a spațiului de lucru devine:

$$R = A \cos \alpha_2 + B \cos \alpha_3 \quad (6.1.4)$$

unde α_2 este unghiul dintre brațul superior al robotului și orizontală, iar α_3 este unghiul dintre brațul inferior al robotului și orizontală, în poziția considerată.

Lungimea sudurilor ce pot fi executate de către robotul Romat 56 este mai mică decât diametrul spațiului de lucru al robotului, și anume ea reprezintă o coardă în sfera de rază R , având în vedere că traseul de sudare trebuie să se afle la o anumită distanță (E) față de axa 1, respectiv față de turnul de rotație al robotului:

$$L_s = 2 \cdot [(A \cos \alpha_2 + B \cos \alpha_3)^2 - E^2]^{1/2} \quad (6.1.5)$$

În cazul în care amplasarea piesei de sudat, respectiv traiectoria de sudare necesită ca valoarea minimă a unghiului dintre axa 2 și orizontală să fie $\alpha_2 = 30^\circ$, iar valoarea minimă a unghiului dintre axa 3 și orizontală să fie $\alpha_3 = 60^\circ$, respectiv distanța dintre traiectoria de sudare și centrul de rotație al axei 2 să fie $E = 500$ mm, atunci lungimea maximă a sudurii rectilinii ce poate fi executată, se reduce la valoarea:

$$L_{s1} = 2 \cdot [(430 \cdot \cos 30^\circ + 430 \cdot \cos 60^\circ)^2 - 500^2]^{1/2} = 614,85 \text{ mm} \quad (6.1.6)$$

Această sudură se execută la înălțimea:

$$H_1 = C + A \sin \alpha_2 - B \sin \alpha_3 = 895 + 215 - 372 = 738 \text{ mm} \quad (6.1.7)$$

Sudura considerată este realizată după axa Oy și ea este amplasată simetric față de originea sistemului de coordonate al robotului.

Rezultatul obținut este valabil în cazul robotului amplasat pe sol. În cazul robotului suspendat, lungimea sudurilor care pot fi executate, are valoarea mai apropiată de diametrul spațiului de lucru, întrucât traseul de sudare poate intersecta direcția axei 1. Este însă necesar ca traseul de sudare să fie situat în planul orizontal definit de poziția axei 2.

Întrucât dimensiunile robotului și domeniile de lucru ale axelor sale constituie caracteristici tehnice proprii ale unui anumit tip de robot, iar ele sunt invariabile, singura modalitate de a efectua anumite suduri constă în amplasarea corespunzătoare a piesei de sudat, conform precizărilor făcute mai sus.

6.1.5. Analiza modului de utilizare a robotului Romat 56 la sudarea componentelor de lonjeron [237]

Tehnologia de execuție prevede efectuarea mai întâi a sudurilor la două subansamble (subansamblul lateral lonjeron și subansamblul central lonjeron), după care se execută sudarea ansamblului lonjeron.

A. Suport resort primar = Suport arc primar = Subansamblu lateral lonjeron

Acest subansamblu reprezintă una dintre componentele lonjeronului. Ea se realizează din

două jumătăți de cilindru eliptic sudate pe generatoare. În acest scop se utilizează un dispozitiv de poziționare pentru piese circulare, amplasat pe o masă de poziționare și rotire. În anumite variante ale tehnologiei de execuție, pe suportul arc primar se sudează și anumite componente anexe, înainte de operațiunile de sudare a ansamblului lonjeron. În alte variante, aceste componente se sudează la executarea ansamblului lonjeron.

Diametrul subansamblului suport arc primar este de 350 mm, iar lungimea de 220 mm.

În scopul sudării robotizate, este recomandabil ca acest subansamblu să fie amplasat în dispozitivul de lucru pentru piese circulare III (CFSRMR-13.3). Acest dispozitiv se amplasează pe platoul mesei de poziționare și rotire MPR-1000.

Având în vedere dimensiunile relativ reduse ale acestui subansamblu, robotul Romat 56 poate fi utilizat la executarea sudurilor de la suportul arc primar.

De asemenea, după realizarea sudurilor de prindere, în dispozitivul de poziționare aferent, subansamblul suport arc primar poate fi amplasat pe masa de poziționare plană, într-un dispozitiv de poziționare adecvat, care să permită sudarea rădăcinii, iar apoi executarea straturilor de sudură de umplere, pe ambele părți ale rostului în poziție orizontală de fiecare dată.

Pentru verificarea posibilităților de efectuare a unor suduri circulare la anumite piese din cadrul ansamblului lonjeron au fost elaborate programe de sudare robotizate a unui racord de țeava $D_{ext}=200$ mm, amplasat pe masa de poziționare plană MPP-O, ceea ce a condus la rezultate corespunzătoare.

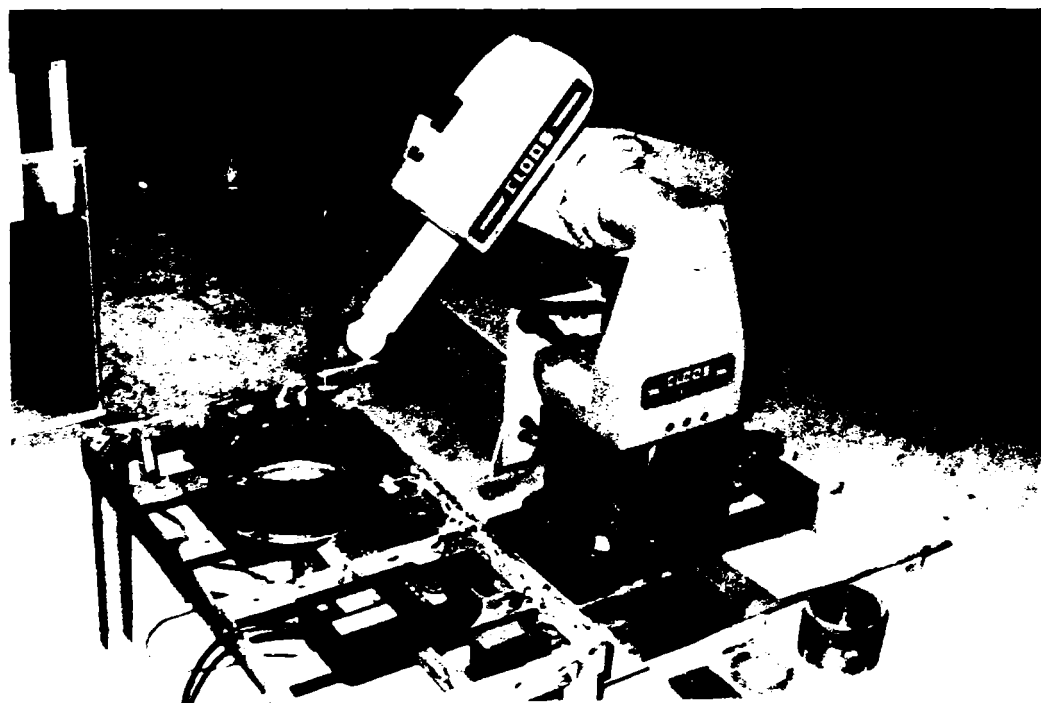


Fig. 6.1.4. Elaborarea programului de sudare robotizată pentru suportul arc primar de lonjeron

A fost elaborat un program experimental de sudare robotizată pentru subansamblul lateral lonjeron, respectiv suportul arc primar din componența lonjeronului de la boghiul Y 32 , după cum se prezintă în fig. 6.1.4.

Programele menționate aici confirmă că există posibilitatea de a executa suduri circulare pe masa de poziționare plană, în poziție de sudare orizontală, dacă nu se dispune de o masă de orientare – poziționare sau de o masă de poziționare și rotire. Problema care se pune este de a avea acces la rostul de sudare, asigurându-se și o orientare corespunzătoare a capului de sudare față de piesă, pe toată lungimea traiectoriei de sudare. Poziția de sudare în jgheab nu poate fi însă realizată, în absența mesei de orientare – poziționare, ceea ce este o dificultate tehnologică.

B. Suport resort secundar = Suport arc secundar = Subansamblu central lonjeron

Acest subansamblu este constituit din mai multe componente și el este amplasat în partea centrală a lonjeronului. Sudurile la acest subansamblu se execută pe dispozitivul pentru piese circulare I (CFSRMR-13.1), pe o masă de poziționare și rotire tip MPR-1000, în cadrul celulei flexibile de sudare robotizată pentru material rulant (CFSRMR-0).

Diametrul exterior al subansamblului suport arc secundar este de 740 mm, iar lungimea sa este de 330 mm.

Având în vedere aceste dimensiuni, robotul Romat 56 poate fi utilizat la executarea sudurilor de la subansamblul suport arc secundar.

C. Sudarea ansamblului lonjeron

Lonjeronul boghiului Y 32 de la vagnul de călători este un ansamblu având o geometrie complexă. Dimensiunile sale de gabarit sunt următoarele: lungimea: cca. 2900 mm; lățimea: 740 mm; înălțimea: 585 mm

Asamblarea lonjeronului se face pe dispozitivul pentru montare și sudare (DMS), care este un dispozitiv specializat în acest scop, constituit în principal dintr-o grindă a cărei formă, în vedere laterală, urmărește forma lonjeronului în partea inferioară a acestuia. Pe această grindă se află câteva sisteme de fixare. Pe grindă se află, de asemenea, ghidajele și opritoarele laterale, pentru poziționarea componentelor.

Pentru sudarea robotizată, este prevăzută acționarea electrică a mișcării de rotație a dispozitivului de montare și sudare. Acționarea electrică primește comenzi de pornire și oprire de la unitatea de comandă a robotului, care realizează poziționarea subansamblului de sudat în anumite poziții indexate, conform programului de sudare robotizată.

Având în vedere analiza prezentată mai sus, în cadrul modelului funcțional al celulei robotizate sunt îndeplinite cerințele tehnice pentru executarea cu robot a următoarelor suduri de la lonjeronul boghiului Y 32:

- Suport resort primar (Subansamblu lateral lonjeron)
- Suport resort secundar (Subansamblu central lonjeron)
- Ansamblu lonjeron – Numai parțial, ca suduri experimentale, datorită dificultăților de manipulare

Este posibilă efectuarea unor probe de sudare MAG a anumitor componente de lonjeron de boghiu, dar condițiile sunt mult mai dificile în absența echipamentelor anexe de poziționare și manipulare. Absența unui sistem de urmărire a traseului de sudare este încă o dificultate.

Aspectul cel mai important este punerea în funcțiune a unui robot de sudare tip ROMAT 56 împreună cu unitatea de comandă MPS 085, în cadrul celulei de sudare robotizată.

Executarea programelor de sudare robotizată în cadrul celulei de sudare robotizată realizate la ISIM Timișoara arată că robotul Romat 56 poate fi utilizat la lucrări de sudare având cerințele de calitate în clasa mijlocie de execuție.

Robotul de sudare Romat 56 în conexiune cu unitatea de comandă MPS 085, în cadrul modelului funcțional al celulei flexibile de sudare robotizată realizat la ISIM Timișoara funcționează corespunzător. El este adecvat pentru activități de formare profesională. Aplicarea sa la sudarea componentelor și a ansamblului lonjeron este dificilă, în condiții industriale, mai ales la producția de serie.

6.2. Tehnologie experimentală de încărcare prin sudare robotizată a pieselor cilindrice

6.2.1. Elaborarea tehnologiei

În scopul realizării recondiționării pieselor cilindrice, de tipul celor din componența aparatelor de ciocnire ale vagoanelor, în condiții de repetabilitate și de productivitate ridicată, a fost elaborată tehnologia de încărcare prin sudare MAG robotizată a corpului tamponului, de tip M – 07.01 – 03 – 01. A fost efectuat un program de experimentări [238] pe parcusul căruia au fost elaborate și încercate câteva programe de sudare robotizată și mai multe valori ale parametrilor de încărcare prin sudare, pentru a obține aspectul, forma și dimensiunile necesare ale metalului depus, spre a îndeplini astfel cerințele tehnice. Utilizarea robotului de sudare în acest caz este foarte operativă și ea este eficientă în accețiunea de echipament flexibil a robotului industrial, conform căreia robotul este aplicat în mai multe lucrări, în mod alternativ, în funcție de cerințele existente la un moment dat, pentru exploatarea sa intensivă, în condiții de producție. Această tehnologie este aplicabilă, cu particularizările necesare și pentru alte categorii de piese supuse la uzare: axe, arbori, osii etc. Astfel de aplicații sunt complementare cu cazurile de utilizare principale ale robotului la sudarea pieselor având geometrie complexă. În situațiile când în programul de fabricație nu există lucrări de sudare, robotul poate fi utilizat pentru încărcarea prin sudare.

Conform specificațiilor procesului de sudare nr. 2 (SPS nr. 2) și nr. 13 (SPS nr. 13) din anexa la “Instrucțiunile AFER”, s-a efectuat încărcarea prin sudare pe suprafața cilindrică exterioară, având diametrul $\Phi 189^{+0,34}_{-0,80}$, a corpului tamponului.

Metalul de bază al corpului tamponului este țevă laminată $\Phi 194 \times 14/8$ STAS 404/1 – 87 (prelucrată conform desenului de execuție), din oțel OLT 45 STAS 8183 – 80.

Metalul de adaos este sârma de sudare MIG / MAG de tipul SG – 3, respectiv G4 Si1 conform DIN și SR EN 440, având diametrul 1,2 mm. S-a utilizat și sârma tubulară de sudare MIG / MAG tip MEGAFIL 710 M, de diametrul 1,2 mm.

Gazul de protecție utilizat este de tipul M21 conform EN 439, adică amestec format din 82 % Ar și 12 % CO₂. Gazul de protecție este preluat de la rețeaua de alimentare a halei industriale. Debitul de gaz are valori între 5 – 16 litri / min.

Programul de experimentări și executarea probelor de încărcare prin sudare s-au efectuat în cadrul celulei experimentale pentru sudare robotizată aflată la ISIM Timișoara, pusă în funcțiune în cadrul lucrărilor [236, 237].

Pentru elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare MAG robotizată a pieselor cilindrice din categoria corpului tamponului tip M – 07.01 – 02 – 01, celula experimentală robotizată are configurația prezentată în fig. 6.2.1, iar componența sa este următoarea:

1. Robotul de sudare MAG, de tipul Romat 56, produs de firma Cloos Schweißtechnik GmbH din Germania.
2. Unitatea de comandă, tip MPS 085, produsă de firma Cloos Schweißtechnik GmbH din Germania.
3. Sursa de sudare, tip Integral Inverter MIG 500 High – Speed, produsă de firma High Tech Precision / Messer – Griesheim din Germania.
4. Cap de sudare, tip SK – 500, produs de firma Binzel din Germania.
5. Interfață pentru echipamente anexe, tip ICEA, realizată de către ISIM Timișoara.
6. Masa de poziționare și rotire, tip MPR – 320, produsă de firma S.C. Vest Metal S.A. Oradea.
7. Dispozitiv Universal de poziționare, produs de S.C. Strungul S.A. Arad.

8. Suport cu role, tip SR – 2, realizat de către ISIM Timișoara.
9. Alimentarea la rețeaua de gaz de protecție (Corgon 18), ISIM Timișoara.
10. Accesorii pentru sudare.

Toate echipamentele sunt interconectate, conform schemei electrice a celulei experimentale de sudare robotizată [236, 237].

Această celulă de sudare robotizată constituie o variantă de configurație a celulei flexibile de sudare robotizată pentru material rulant, tip CSFRMR în componență restrânsă, fără dispozitivele specifice necesare la sudarea lonjeronului de boghiu.

În configurația actuală, este utilizată masa de poziționare și rotire tip MPR – 320. Aceasta este necesară, deoarece se efectuează încărcarea prin sudare a unor piese cilindrice, cu simetrie de rotație. Bibliografia tehnică de specialitate [233 – 237; 241 – 245] recomandă utilizarea mesei de poziționare și rotire în astfel de cazuri. Dacă documentația tehnică de execuție a piesei de sudat prevede poziția de sudare orizontală (sau în jgheab, în anumite cazuri) a unor piese cilindrice, atunci utilizarea mesei de poziționare și rotire este chiar obligatorie.



Fig. 6.2.1. Configurația celulei de încărcare prin sudare robotizată a pieselor cilindrice de la aparatele de ciocnire

Parametrii de sudare corespunzători au valorile consemnate în tabelul 6.2.1.

Tabelul 6.2.1.

Tensiunea arcului electric	$U_a = 22,4 - 23,0 \text{ V}$
Curentul de sudare	$I_s = 172 - 178 \text{ A}$
Viteza sârmei electrod	$v_e = 5,9 \text{ m/min}$
Viteza de sudare	$v_s = 47,6 \text{ cm/min}$
Pasul depunerii	$p = 5 \text{ mm}$
Debitul de gaz de protecție	$Q = 12 - 14 \text{ litri/min}$

Procesul de încărcare prin sudare trebuie întrerupt periodic, din două motive: respectarea temperaturii de lucru (între straturi), prescrisă în SPS nr. 2 cu valoarea de max. 300°C; curățirea duzei de gaz a capului de sudare, pentru îndepărtarea depunerii de stropi de sudare acumulați.

Încălzirea piesei în timpul procesului de sudare este inevitabilă. Valorile energiei liniare sunt relativ ridicate, în domeniul 8300 – 8730 J / cm. De aceea, trebuie evitat riscul apariției deformațiilor (ovalizare, încovoiere). Verificarea temperaturilor s-a efectuat cu pirometrul în infraroșu, cu spot laser, tip Raytek ST 60, având domeniul de măsură – 20°C ... + 600°C, care permite efectuarea de măsurători precise, de la distanță.

6.2.2. Verificarea probelor de încărcare prin sudare

“Instrucțiunile AFER” menționează că după încărcarea prin sudare pentru recondiționare a corpului tamponului și/sau manșonului tamponului din componența aparatelor de ciocnire de la vagoanele de cale ferată, se execută verificările următoare: controlul aspectului suprafețelor recondiționate; verificarea dimensiunilor.

La examinarea vizuală conform SR EN 970 s-au făcut constatările: aspectul este adecvat; suprafața depunerii este uniformă, cu denivelări de maximum 0,5 mm; în zonele reamorsărilor denivelările sunt de 0,7 – 1,5 mm; nu se observă defecte de sudare; grosimea depunerii este de minimum 2,1 – 2,4 mm; adaosul de prelucrare este suficient. Rezultatele sunt corespunzătoare.

Zona încărcată prin sudare a canelurii pentru inelul de siguranță al corpului tamponului are aspect și dimensiuni corespunzătoare, de asemenea.

Beneficiarul industrial potențial al rezultatelor cercetării pentru elaborarea tehnologiei experimentale de încărcare prin sudare a corpului tamponului este: S.C. BEGA Reparații Vagoane S.A. Timișoara.

6.2.3. Programele de sudare robotizată

Cazul A1 (suprafața cilindrică). Corpul tamponului tip M – 07.01. – 02 – 01 este amplasat în poziția de sudare orizontală, având axa de simetrie în poziție orizontală. Se face prinderea pe platoul mesei de poziționare și rotire MPR – 320 și amplasarea pe suportul cu role.

În această poziție, se stabilește traseul mișcării de translație efectuate de către capul de sudare al robotului de-a lungul generatoarei situate la distanța de 20 mm față de planul vertical de simetrie al corpului tamponului, pentru evitarea scurgerii băii de sudare. În modul de funcționare de instruire, prin comenzi manuale se deplasează capul de sudare de-a lungul generatoarei considerate și se memorează mai multe puncte, pentru pozițiile succesive ale capului de sudare în care se execută rândurile de sudură circulare succesive. Sunt necesare și puncte intermediare, ca rezervă și pentru corecții ale poziției capului de sudare. Au fost memorate 98 de puncte. Se apelează editorul și se editează programul de sudare robotizată, utilizând comenzile adecvate din limbajul de programare ROLF, specific unității de comandă MPS 085 a robotului Romat 56, cu respectarea regulilor de sintaxă [237, 246]. Denumirea programului este BEGAT1 [238]. El are o lungime de circa 3500 Bytes (codificat).

Cazul A2 (fundul canalului pentru inelul de siguranță de montaj). Corpul tamponului tip M – 07.01 – 02 – 01 este amplasat în poziție de sudare orizontală, cu axa de simetrie pe direcție orizontală. Se menține aceeași prindere în dispozitivul universal pe MPR.

În această poziție, se menține traseul deplasării de translație menționate, dar se schimbă poziționarea și orientarea capului de sudare. În modul de funcționare de instruire, se comandă manual deplasarea capului de-a lungul generatoarei considerate, se memorează minimum cinci puncte, pentru pozițiile succesive ale capului de sudare în care se execută rândurile de sudură circulare succesive în interiorul canalului, inclusiv la flacurile acestuia. Se apelează editorul și se editează programul de sudare robotizată, utilizând comenzile adecvate din limbajul de

programare ROLF, cu respectarea instrucțiunilor de programare ale robotului Romat 56 [64, 65, 246]. Denumirea programului este BEGAT2 [238].

Alte programe experimentale pentru încărcare prin sudare robotizată se bazează pe generarea de puncte (BEGATG) și pe translatarea paralelă a punctelor (BEGATT).

6.2.4. Corectarea traseului de sudare

La capătul corpului tamponului există o **canelură destinată inelului de siguranță**. Poziția rândurilor de sudură trebuie să fie mai exactă în această zonă, pentru a evita rămânerea unor porțiuni neacoperite, lipsa de topire, lipsa de pătrundere, scurgeri de metal sau alte defecte de sudare. Aici este necesar un **sistem de urmarire a traseului de sudare**, care să aibă ca repere muchiile canelurii. S-au utilizat programe de sudare robotizată elaborate în acest scop.

Pe flancurile și pe fundul canelurii pentru inelul de siguranță, procesul de încărcare prin sudare a decurs în mod corespunzător, de asemenea, ceea ce este arătat în fig. 6.2.2. Amplasarea rândurilor de sudură este corespunzătoare și în această zonă, unde s-a rezolvat problema urmării traiectoriei reale a capului de sudare, care poate avea abateri față de traiectoria programată, ca urmare a toleranțelor de poziționare și a excentricității sistemului de rotire, realizat cu MPR – 320 și suport cu rulmenți. Pentru aceasta s-a aplicat o metodă de corectare a traseului de sudare în timp real, prin comenzi manuale către unitatea de comandă a robotului.

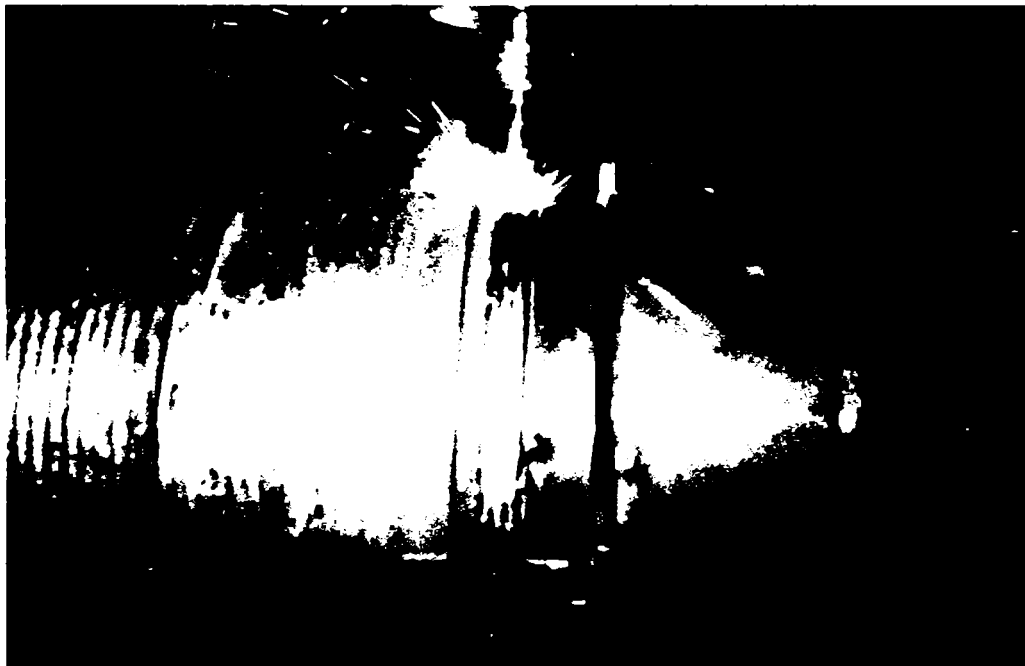


Fig. 6.2.2. Încărcarea prin sudare cu robot MAG a canelurii pentru inelul de siguranță de la corpul tamponului de vagon

Metoda de corectare se bazează pe un **principiu de reglare fuzzy**. Funcțiile de apartenență ale mărimilor de intrare și de ieșire ale inferenței fuzzy aplicate în acest caz au forma reală prezentată în fig. 6.5.1, conform interpretării autorului lucrării de față, expusă în capitolul 6.5. Această formă reală este diferită de formele ideale, prezentate și analizate în literatura de specialitate. Autorul consideră că această formă reală a funcțiilor de apartenență trebuie luată în considerare în toate metodele de reglare fuzzy, inclusiv în metodele care utilizează sisteme video computerizate pentru analiza imaginii, recunoașterea automată a formelor și decizie, după care se realizează inferența fuzzy. Aspectul depunerii executate în canelura pentru inelul de siguranță este adecvat, iar dimensiunile sale îndeplinesc cerințele tehnice. Se estimează că metoda de corectare a traseului a condus la rezultate corespunzătoare.

6.3. Elaborarea de programe de sudare MAG robotizată pentru diverse piese

Au fost elaborate programe de sudare MAG robotizată pentru câteva tipuri de piese, iar la câteva dintre acestea a fost efectuată sudarea experimentală cu robot MAG: corp de tampon de vagon de cale ferată, manșon de tampon, taler de tampon, tubulatură plată de aliaj de aluminiu, jantă auto tip Dacia, recipient metalic D 450 / L 500 pentru hidrofor, bancuță școlară metalică, racorduri de robinete industriale Dn 90 – 250, suport arc primar de la lonjeron de vagon, capac pe tub rezervor auto Dacia, table pentru elemente de construcții metalice, etc. Se prezintă câteva dintre activitățile de programare și de sudare robotizată enumerate [239 – 245, 248, 249, 255].

6.3.1. Manșonul tamponului

În fig. 6.3.1 - fig. 6.3.5 sunt prezentate aspecte de la recondiționarea cu încărcare prin sudare MAG robotizată a suprafeței cilindrice interioare a manșonului tamponului de vagon de cale ferată [238, 248, 249]. Au fost rezolvate numeroase probleme tehnice și tehnologice pentru îndeplinirea cerințelor tehnice din specificații.

Configurația celulei robotizate pentru această aplicație este cea din figura 6.3.1. Componenta este aproximativ aceeași ca în cazul corpului tamponului, dar amplasarea este diferită. Axa platoului MPR este orientată spre robot, astfel încât capul de sudare să pătrundă în interiorul manșonului, pentru a efectua deplasarea longitudinală.



Fig. 6.3.1. Configurația celulei pentru încărcarea prin sudare a manșonului de tampon

Pentru manșonul tamponului au fost elaborate programe necesare, care se bazează pe principiul efectuării încărcării prin sudare după o curbă elicoidală continuă. Un program se utilizează la încărcarea prin sudare a porțiunii de la capăt a alezajului calibrat $\Phi 189,3^{+0,72}$, situat la capătul liber al manșonului, după cum se arată în fig. 6.3.2.



Fig. 6.3.2. Încărcarea prin sudare robotizată a manșonului tamponului, la capătul liber

Alt program se utilizează la încărcarea prin sudare a porțiunii situate către alezajul necalibrat $\Phi 202,3^{+0,72}$, amplasat la capătul opus, după cum se prezintă în fig. 6.3.3. Încărcarea prin sudare se execută în interiorul manșonului. De aceea, la elaborarea acestor programe a trebuit să se rezolve câteva dificultăți tehnice și tehnologice în legătură cu poziționarea, orientarea și deplasarea capului de sudare în interiorul manșonului, prin utilizarea adecvată a comenzilor pentru mișcările robotului de sudare.



Fig. 6.3.3. Încărcarea prin sudare MAG robotizată a manșonului de tampon, la capătul dinspre flanșa de fixare



Fig. 6.3.4. Parametrii de sudare utilizați, afișați de către sursa de sudare

În fig. 6.3.4 se află panoul frontal al sursei de sudare, pe al cărui afișaj cu cristale lichide sunt indicate valorile măsurate ale parametrilor de sudare în timpul procesului.



Fig. 6.3.5. Manșonul de tampon încărcat prin sudare robotizată

Aspectul depunerii este corespunzător, iar suprafața sa este foarte uniformă, după cum se constată din fig. 6.3.5. Grosimea depunerii este de circa 3,2 mm, iar pasul depunerii este

aproximativ 6,5 mm, ceea ce permite suprapunerea laterală a fiecărui rând de sudură pe circa o treime din lățimea rândului de sudură anterior al elicoidei, conform cerințelor din specificații. Rezultatul este corespunzător, la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

6.3.2. Talerul tamponului

Încărcarea prin sudare a talerului tamponului se execută în condiții corespunzătoare, ca urmare a suprafeței mari și uniforme a talerului. Trebuie totuși să se țină cont de raza de curbură a suprafeței. Toate mișcările din timpul procesului de sudare, inclusiv pendularea, sunt efectuate de către robot, conform programului de sudare robotizată elaborat în acest scop [238, 248, 249], după cum se prezintă în fig. 6.3.6.



Fig. 6.3.6. Încărcarea prin sudare a talerului tamponului

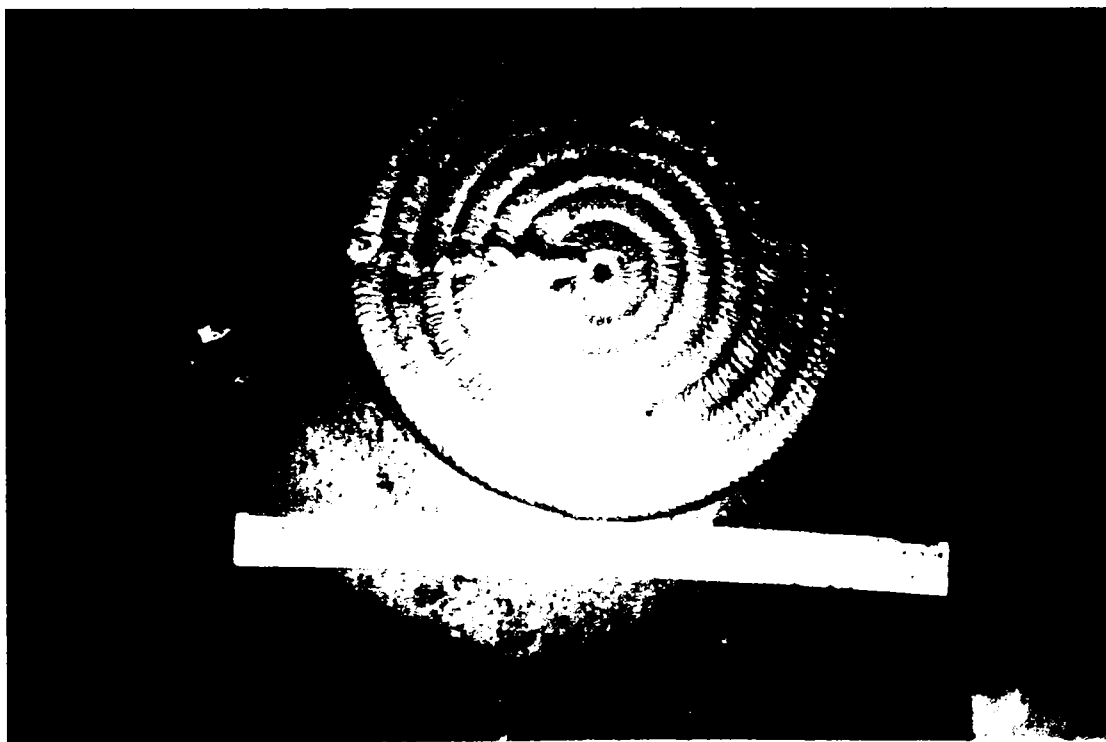


Fig. 6.3.7. Talerul tamponului încărcat prin sudare robotizată

Aspectul talerului încărcat prin sudare este prezentat în fig. 6.3.7. Dimensiunile sunt foarte uniforme. Rezultatul este corespunzător, conform SR EN 970.

La aplicațiile de încărcare prin sudare prezentate până aici nu este necesar un sistem de urmărire a traseului de sudare, deoarece nu există un rost de sudare, ci o suprafață continuă, iar amplasarea rândurilor de sudură pe această suprafață nu este necesar să fie foarte precisă.

6.3.3. Tubulatură aplatizată de aluminiu

A fost elaborat un program de sudare MAG robotizată pentru un element de tubulatură aplatizată din aluminiu [248, 249], având dimensiunile de gabarit de aproximativ 500 mm × 170 mm × 100 mm. Sudarea pe un traseu în formă de semicerc este prezentată în fig. 6.3.8.

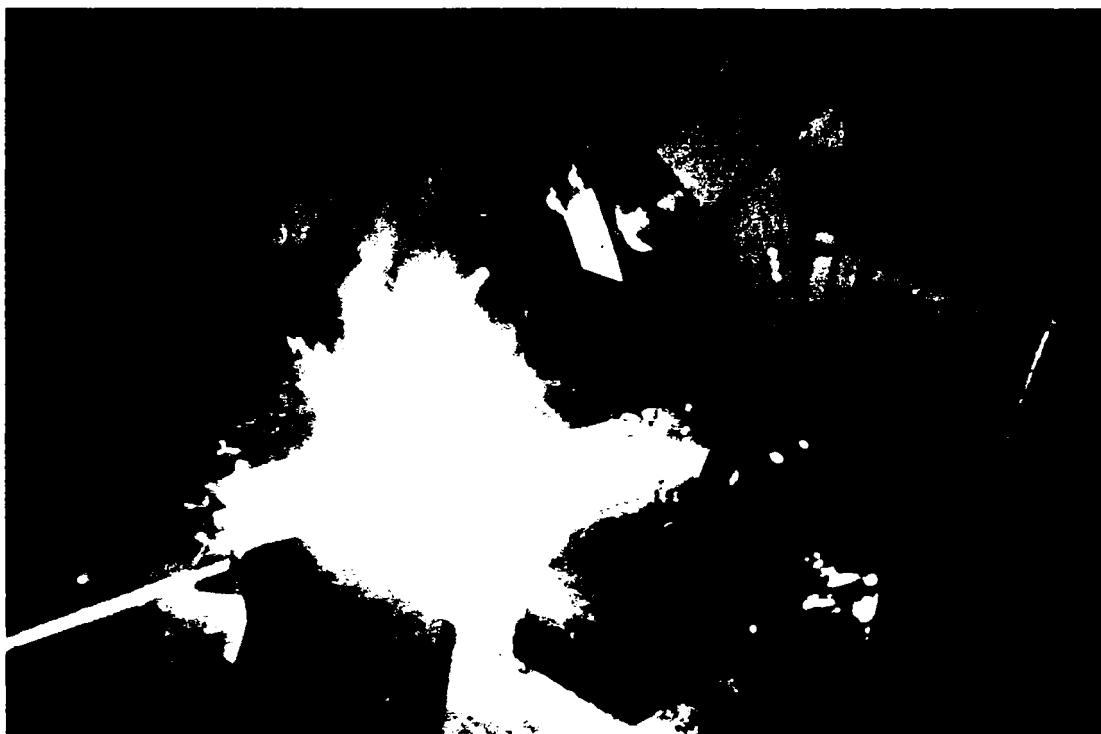


Fig. 6.3.8. Sudarea robotizată a tubulaturii aplatizate de aluminiu, pe o zonă circulară



Fig. 6.3.9. Sudarea robotizată a tubulaturii aplatizate de aluminiu, pe porțiunea în semielipsă

În fig. 6.3.9 se arată desfășurarea procesului de sudare pe traiectoria în formă de jumătate de elipsă a uneia dintre îmbinările piesei. Urmărirea rostului de sudare și evitarea scurgerilor de metal sunt principalele dificultăți, care apar în acest caz.

Sudarea pe porțiunea plană, prezentată în fig. 6.3.10, are un traseu mai lung, ceea ce poate cauza supraîncălzirea tubulaturii și străpungerea peretelui acesteia, a cărui grosime este de numai 1,5 mm .



Fig. 6.3.10. Sudarea robotizată a tubulaturii aplatizate de aluminiu, pe porțiunea plană

Este necesar un sistem de urmărire al rostului de sudare, deoarece abaterile de poziționare sunt inevitabile. Acest sistem trebuie să fie foarte performant, având în vedere grosimea redusă a metalului de bază și rostul în formă de I, fără prelucrare și fără interstițiu sau cu interstițiu foarte mic, datorat numai toleranțelor de prelucrare și de poziționare. Interstițiul poate cauza, de asemenea, scurgeri de metal sau străpungerea metalului de bază, întrucât sudarea se execută într-un singur strat.

Se estimează că sistemul de urmărire a rostului bazat pe abaterile tensiunii arcului electric, măsurate și prelucrate automat în timpul pendulării transversale a capului de sudare nu este suficient de precis în acest caz, întrucât abaterile tensiunii arcului electric sunt sesizabile numai dacă grosimea tablelor este peste 6 – 8 mm, iar rostul este în formă de V simetric sau jumătate V.

Sistemul de căutare a rostului prin contactul duzei de gaz la flancul rostului, înainte de începerea procesului de sudare, nu poate fi aplicat aici, deoarece duza de gaz nu încapă în rostul de sudare, al cărui interstițiu este foarte îngust. Eventual se poate încerca o formă modificată a acestui sistem.

Parametrii de sudare și parametrii de deplasare trebuie selectați foarte riguros, pentru a nu se ajunge la străpungeri sau la scurgeri de metal, dar și pentru a evita apariția porilor, din cauza compoziției chimice a metalelor de bază disimilare, dintre care unul este un aliaj de aluminiu turnat cu conținut de elemente fluidizante, care însă provoacă degajări de gaze, iar celălalt este un aliaj de aluminiu extrudat, având conținut de elemente cu efect de creștere a maleabilității, dar fără efecte favorabile asupra sudurii. Spre a evita supraîncălzirea metalului de bază, programul de sudare robotizată trebuie să realizeze alternarea sudurilor în zone diferite ale piesei, iar astfel el devine foarte laborios.

Pentru sudarea eficientă de serie mare, ar fi necesar și un al doilea robot sau masă de poziționare – orientare și masă de indexare pentru operațiuni de manipulare. Aceste echipamente trebuie să funcționeze sub conducerea robotului de sudare, în cadrul celei robotizate, conform unui **program de sudare robotizată foarte complex**.

6.3.4. Jantă de autoturism

Fig. 6.3.11 arată o secvență din elaborarea programului de sudare robotizată pentru janta roților de autoturism Dacia 1300 [239, 240, 243]. Orientarea capului de sudare pentru toate sudurile este dificil de realizat pentru o singură poziționare a subansamblului, în absența unei mese de poziționare – orientare. Dacă schimbarea poziției subansamblului se face manual, pot apărea abateri de poziționare de 1,0 ...1,5 mm, iar acestea fac ca **programul de sudare robotizată să nu mai corespundă, fără un sistem performant de urmărire a rostului de sudare**.

Piesa cilindrică este profilată prin rulare, din tablă de 1,5 mm grosime, iar apoi ea se sudează pe generatoare. Piesa centrală de prindere este executată prin ambutisare, din tablă de 2,0 mm. Ea este fixată prin intermediul a patru suduri în colț, având lungimea de aproximativ 55 mm, amplasate simetric față de centrul roții, în interiorul piesei cilindrice profilate. Forma și dimensiunile sunt diferite pentru fiecare dintre piesele care se sudează. De aceea, una dintre ele are tendința de a se supraîncălzi și de a atrage spre ea baia de metal topit, ceea ce provoacă deformări ale sudurii, dar chiar și străpungeri ale metalului de bază. Curentul de sudare trebuie să aibă valori reduse, iar în acest domeniu pot apărea unele instabilități în funcționare.



Fig. 6.3.11. Programarea sudării robotizate a jenții de roată de autoturism

6.3.5. Recipient de hidrofor

S-a elaborat un program experimental de sudare robotizată pentru un recipient cilindric cu diametrul $\Phi 450$ și lungimea de 500 mm pentru un hidrofor [244, 248, 249]. Programul are mai multe faze și necesită câteva poziționări succesive, după cum se prezintă în fig. 6.3.12. Este necesar un manipulator, care să funcționeze condus de la două axe externe ale unității de comandă a robotului. De asemenea, se poate utiliza ca variantă un manipulator electromecanic. Acesta este acționat în pauzele programului de sudare robotizată și el oprește într-o anumită poziție, la comanda unui limitator de cursă. Fiecare dintre pozițiile succesive ale piesei

constituie câte o condiție pentru continuarea cu o nouă fază a programului de sudare robotizată. Prin acest principiu se rezolvă două probleme. Pe de o parte, se realizează **precizia de poziționare cerută**. Pe de altă parte, manipulatorul poate fi un echipament de manipulare obișnuit, spre exemplu o masă de poziționare și rotire, tip MPR – 320 sau de alte tipuri, având acționare de curent continuu sau de curent alternativ independentă, care însă funcționează sub conducerea unității de comandă a robotului prin comenzile de pornire și de oprire, inserate în anumite puncte ale programului.

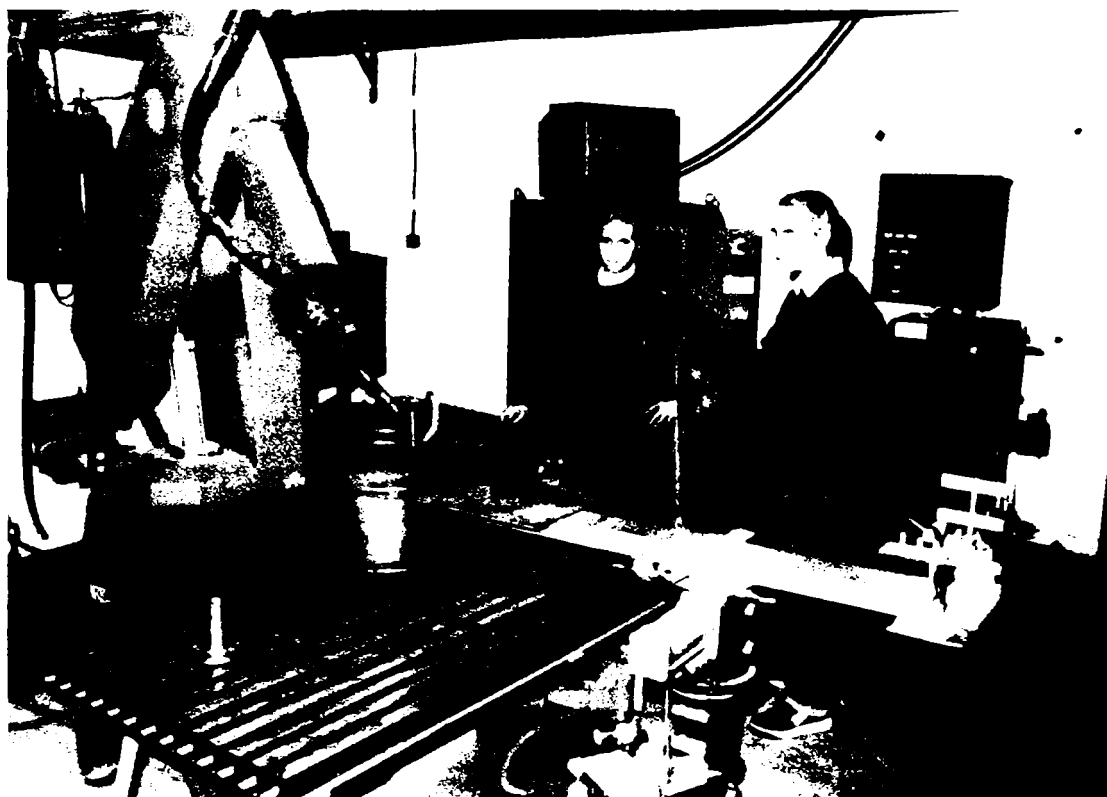


Fig. 6.3.12. Programarea robotului pentru sudarea recipientului de hidrofor

Elaborarea programului de sudare în mai multe secvențe, astfel încât începerea execuției fiecărei secvențe este condiționată de realizarea poziționării capului de sudare de către robot, respectiv a piesei de sudat de către manipulatorul de rotație este metoda de elaborare a programelor de sudare de complexitate ridicată.

6.4. Sistem experimental pentru corectarea traseului

6.4.1. Schema de principiu a sistemului de corectare a traseului

Se prezintă aspecte din programele de experimentări de sudare robotizată efectuate în cadrul unor lucrări [248, 249] de către ISIM Timișoara, în care au fost aplicate următoarele principii, în scopul urmăririi traseului de sudare:

- Exploatarea în mod adecvat a caracteristicilor tehnice ale robotului sau ale echipamentului automatizat;
- Utilizarea obiectivă a software-ului de specialitate al robotului;
- Conceperea și realizarea anumitor dispozitive specifice mecanice, electrice și electronice, analizate prin raportul performanță / cost.

Au fost experimentate câteva metode adaptive realizate prin dispozitive accesibile și prin mijloacele de programare ale unor tipuri de roboți din generația a treia. Metodele de programare și principiile elaborării programelor pot fi transpuse ulterior la alte tipuri de roboți, chiar dacă există anumite diferențe între limbajele de programare.

Semnalele de abatere față de traseul de sudare programat se introduc la intrările digitale ale unității de comandă a robotului în mai multe moduri:

- a) De la senzori de poziție de diverse tipuri, inclusiv microîntrerupătoare cu palpator;
- b) Prin comenzi manuale date de către un tehnolog specialist sudor, care supraveghează procesul de sudare;
- c) De la un sistem computerizat de analiză a imaginii, de recunoaștere a formelor, de interpretare, de decizie și de cuantificare a corecțiilor necesare.

Primele două moduri sunt cele mai accesibile, din punct de vedere tehnic și economic, ca urmare a raportului performanță / cost avantajos. Al treilea mod permite performanțe mai înalte la o evaluare teoretică, însă eficacitatea reală depinde de foarte numeroși factori și de condițiile de utilizare. Prețul sistemului computerizat este foarte ridicat, astfel încât valoarea raportului performanță / cost este mai dezavantajoasă, iar investiția este dificil de realizat.

A fost utilizat un robot de sudare, dotat cu anumite dispozitive experimentale. Au fost elaborate programe de sudare robotizată, care să permită realizarea unor funcții adaptive. În acest scop s-a utilizat robotul de sudare Cloos Romat 56 existent la ISIM, dar și alte tipuri.

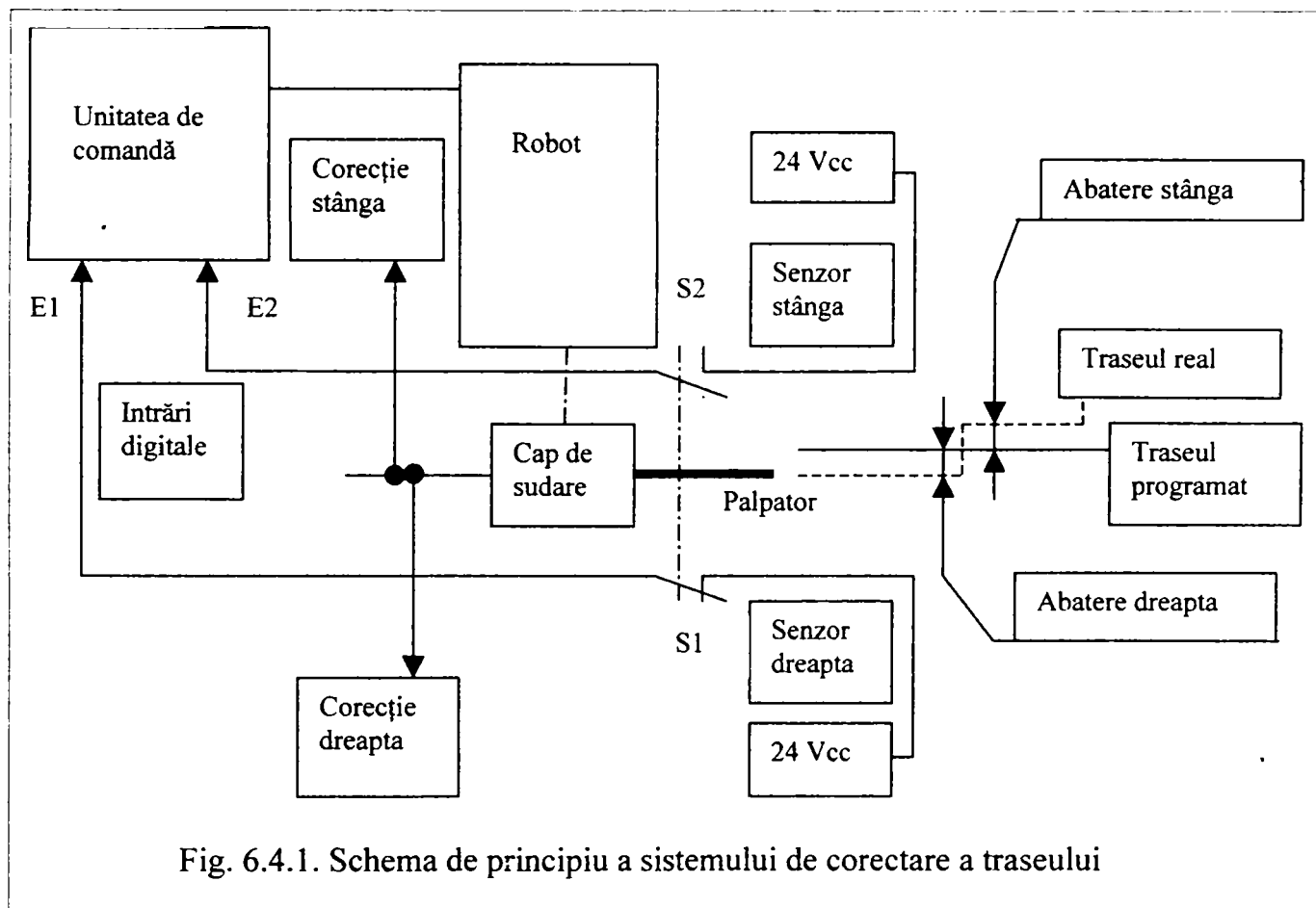


Fig. 6.4.1. Schema de principiu a sistemului de corectare a traseului

În fig. 6.4.1 este prezentată schema de principiu a sistemului experimental pentru corectarea traseului de sudare. Astfel, pe capul de sudare al robotului Romat 56 au fost montați doi senzori cu caracteristica de releu, sub forma a două microîntrerupătoare acționate de către un palpator, realizat ca o pârghie. Capătul de jos al pârghiei este amplasat în interiorul rostului de sudare, în contact cu muchia inferioară sau superioară a rostului. În funcție de abaterile relative de poziție dintre capul de sudare și muchia rostului, palpatorul acționează unul sau altul dintre microîntrerupătoare, care dau semnale de tensiune la anumite intrări ale unității de comandă a robotului. Aceasta comandă efectuarea unor mișcări transversale de corectare a traseului, în conformitate cu programul de sudare robotizată elaborat pentru acest scop.

S-au efectuat anumite completări și adaptări ale interfeței de comandă pentru echipamente anexe, realizată la ISIM, pentru a face posibilă funcționarea sistemului de corectare

a traseului, descris anterior. Au fost încercate mai multe variante constructive, respectiv de programare. Fiecare variantă experimentată are complexitatea, precizia, tehnica de realizare la diferite nivele, pentru ansamblul său, dar și pentru fiecare dintre componente.

Principiul utilizat la sistemul experimental de corectare a traseului de sudare constă în segmentarea programului de sudare robotizată, în așa fel încât începerea executării fiecărui segment este condiționată de îndeplinirea unei anumite condiții de poziționare a capului de sudare față de muchia de jos sau de sus a rostului de sudare.

Robotul îndeplinește și rolul de element de execuție al sistemului de reglare în timp real a poziției capului de sudare, pentru realizarea corecțiilor necesare. În acest mod, caracteristicile tehnice ale robotului sunt utilizate mai intensiv.

6.4.2. Verificarea experimentală a sistemului de corectare a traseului

Pentru verificarea sistemului experimental de corectare a traseului de sudare [248, 249], descris anterior, s-au efectuat experimentări privind sudarea robotizată, prin procedeul MAG, a unor table de oțel și a unor racorduri de țevă. Configurația celulei robotizate este prezentată în fig. 6.4.2.



Fig. 6.4.2. Configurația celulei robotizate cu sistem experimental de corectare a traseului de sudare

În fig. 6.4.3 sunt prezentați senzorii de poziție, acționați de către un palpator mecanic, realizat ca o pârghie de tablă. Vârful de jos al palpatorului urmărește flancul rostului de sudare, în contact direct cu acesta. Capătul de sus al palpatorului acționează senzorii, care transmit semnalele de abatere la intrările digitale ale unității de comandă a robotului. Abaterile sunt interpretate de către programul de sudare robotizată, care comandă efectuarea de către robot a corecției poziției, spre stânga sau spre dreapta, pentru compensarea abaterii, conform fig. 6.4.1.

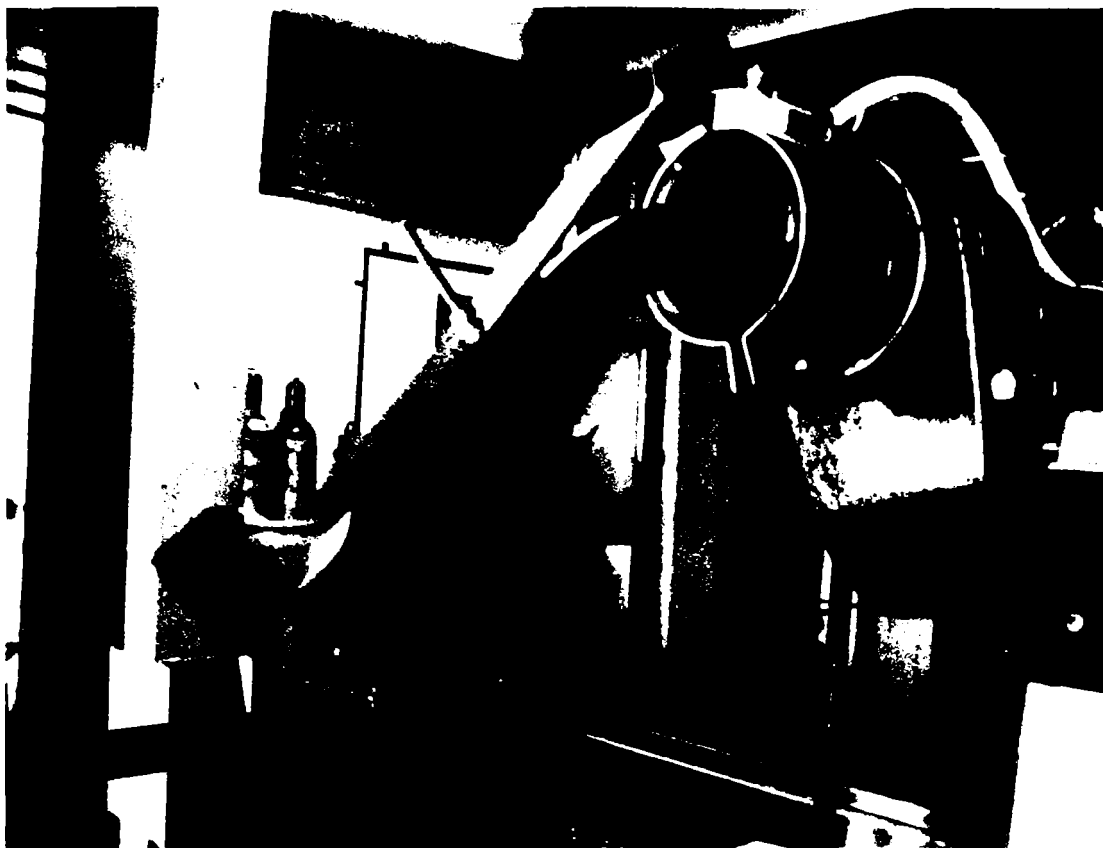


Fig. 6.4.3. Capul de sudare al robotului echipat cu senzori pentru abaterile traseului

6.4.2.1. Sudarea cap la cap a tablelor plane

S-au efectuat experimentări de sudare robotizată, prin procedeul MAG, a unor table de oțel, având lungimea de aproximativ 320 mm, lățimea de aproximativ 140 mm, iar grosimea de 10 mm la una dintre table, respectiv de 15 mm la cealaltă tablă, conform fig. 6.4.4 [249].

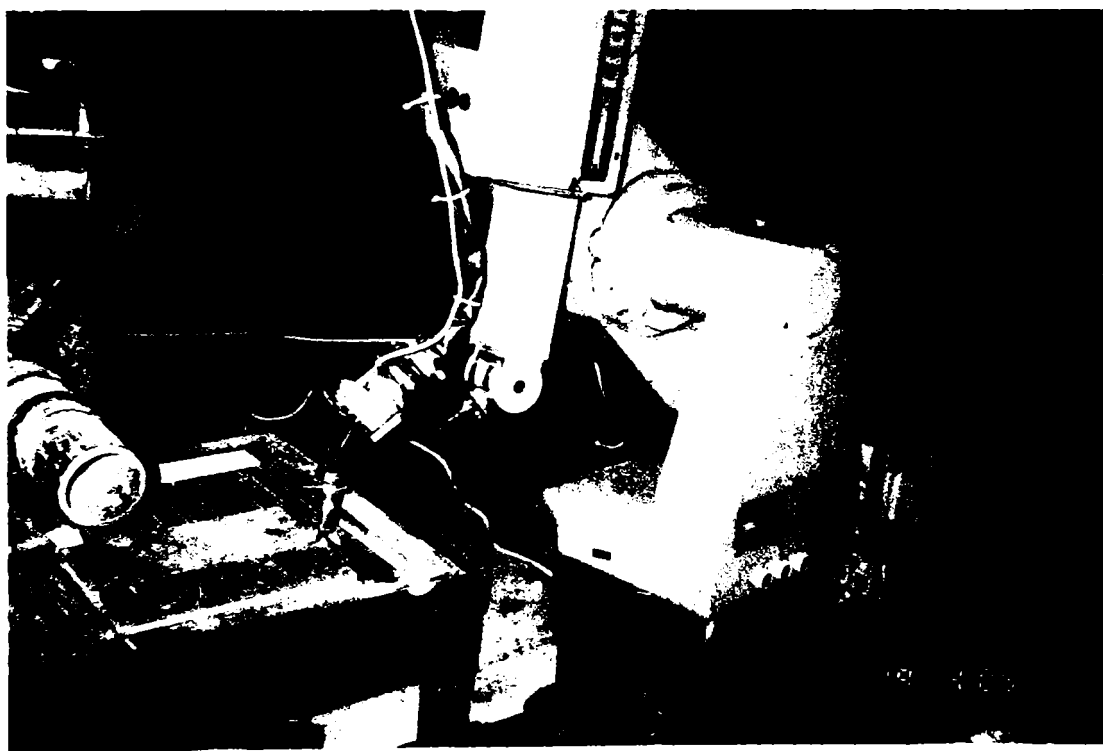


Fig. 6.4.4. Programarea robotului pentru sudarea tablelor de oțel

În prealabil, laturile lungi ale tablelor au fost prelucrate mecanic pentru a forma un rost în V asimetric cu unghi de aproximativ 45° , pentru realizarea îmbinării cap la cap. Tablele au

fost amplasate pe masa de sudare, pe plăcuțe ceramice ca suport la rădăcină, pentru a se evita scurgerile de metal. Nu s-au executat suduri de prindere. Poziționarea capului de sudare pentru începerea sudării, realizată prin program, este prezentată în fig. 6.4.5.



Fig. 6.4.5. Poziționarea capului de sudare pentru sudarea robotizată a tablelor de oțel

Rândul de sudură de rădăcină s-a executat prin sudare robotizată (fig. 6.4.6), utilizând un anumit program de sudare robotizată cu corectarea traseului, în timp real. Sudarea s-a realizat în poziția orizontală, subansamblul celor două table fiind fixat într-un dispozitiv simplu, pe masa de sudare. Robotul realizează poziționarea capului de sudare, astfel încât vârful sârmei – electrod să fie situat în interstițiul rostului de sudare, iar palpatorul senzorilor să fie în atingere cu muchia inferioară din partea dreaptă a rostului. Aceasta este poziția în etapa de elaborare a programului de sudare robotizată și în etapa de verificare a programului. Pe parcurs, această poziție este afectată de abateri, din cauza factorilor perturbatori: deplasarea tablelor, deformațiile, devierea vârfului sârmei – electrod, etc. Rolul sistemului de urmărire a traseului este de a realiza corecții, care să compenseze abaterile sesizate (fig. 6.4.7).

De asemenea, robotul realizează orientarea capului de sudare față de subansamblul sudat, cu unghiul de circa 20° în planul xOz , respectiv de circa 15° în planul yOz , în sistemul de coordonate aferent robotului, conform recomandărilor tehnologice. Avansul capului de sudare se face prin împingere. Deplasările robotului sunt conduse de către unitatea de comandă a robotului. Unitatea de comandă a robotului, de asemenea, dă comenzile necesare către sursa de sudare MIG/MAG. Au fost elaborate programe de sudare robotizată pentru această operație de sudare, având denumirea APRILIE pentru stratul de rădăcină, respectiv APRIL pentru straturile de umplere.



Fig. 6.4.6. Sudarea robotizată a tablelor de oțel. Executarea stratului de rădăcină



Fig. 6.4.7. Sudarea robotizată a tablelor de oțel, cu senzori pentru abateri de la traseu

În continuare, s-a executat rândul de sudură de rădăcină pe partea opusă, utilizând un alt program de sudare robotizată cu corectarea traseului, în timp real. Sudarea s-a realizat în poziția orizontală, subansamblul celor două table fiind fixat în același dispozitiv simplu, pe masa de sudare. Suportul de plăcuțe ceramice a fost îndepărtat, întrucât el nu mai este necesar. Robotul realizează aceeași poziționare a capului de sudare, astfel încât vârful sârmei – electrod să fie situat în interstițiul rostului de sudare, iar palpatorul senzorilor să fie în atingere cu muchia inferioară din partea dreaptă a rostului. A fost păstrată aceeași orientare a capului de sudare față de subansamblul sudat. Avansul capului de sudare se face prin împingere și în acest caz. A fost elaborat un program de sudare robotizată pentru acest rând de sudură, deoarece poziția sa pe verticală este diferită față de cea a rândului anterior.

După o nouă întoarcere a tablei, s-a executat rândul de sudură de umplere, peste primul rând, utilizând al doilea program de sudare robotizată menționat. Sudarea s-a realizat în aceleași condiții ca la rândul al doilea: poziția orizontală, fixare, orientare, avans prin împingere. Robotul realizează poziționarea capului de sudare, astfel încât vârful sârmei – electrod să fie situat pe mijlocul rândului de sudură de rădăcină, iar palpatorul senzorilor să fie în atingere cu muchia superioară din partea stângă a rostului, deoarece numai aceasta este accesibilă. Programul de sudare robotizată este același pentru acest rând de sudură, deoarece poziția sa pe verticală este aproximativ aceeași ca a rândului anterior.

Sudurile au formă corespunzătoare, iar rostul îmbinării a fost umplut complet (fig. 6.4.8). Nu se observă fisuri, lipsă de pătrundere, lipsă de topire, lipsă de metal, creștături marginale sau alte defecte de sudare.



Fig. 6.4.8. Sudură a tablelor de oțel, executată cu robot echipat cu sistem de corectare a traseului

Programele realizează corecții în timp real ale traseului de sudare, în conformitate cu semnalele de abatere transmise de senzorii de poziție montați pe capul de sudare, către unitatea de comandă a robotului, după cum s-a arătat mai înainte.

6.4.2.2. Sudarea cap la cap a racordurilor de țevă. Încărcarea prin sudare

Au fost efectuate experimentări privind sudarea cap la cap și încărcarea prin sudare robotizată, prin procedeul MAG, a unor racorduri sau segmente de țevă de oțel [248, 249], având diametrul de 89 mm, lungimea de aproximativ 190 mm, iar grosimea peretelui de 9 mm.

În prealabil, capetele a câte două segmente de țevă au fost prelucrate mecanic pentru a forma un rost în V cu unghi de aproximativ 90° , pentru realizarea îmbinării cap la cap. Sudurile de prindere și rândul de sudură de rădăcină au fost executate prin sudare manuală cu electrod învelit. S-a îndepărtat zgura, prin lovire cu ciocanul pentru zgură, iar apoi au fost efectuate câteva mici corecturi prin polizare, utilizând polizorul manual cu disc flexibil.

S-au executat prin sudare robotizată stratul al doilea de umplere și stratul al treilea de umplere ale îmbinării sudate cap la cap a două racorduri de țevă, după cum se prezintă în fig. 6.4.9. Sudarea s-a realizat în poziția orizontală, subansamblul celor două racorduri de țevă fiind fixat într-un dispozitiv universal, pe platoul unei mese de poziționare și rotire (MPR) având sarcina nominală de circa 20 kgf, realizat la ISIM.

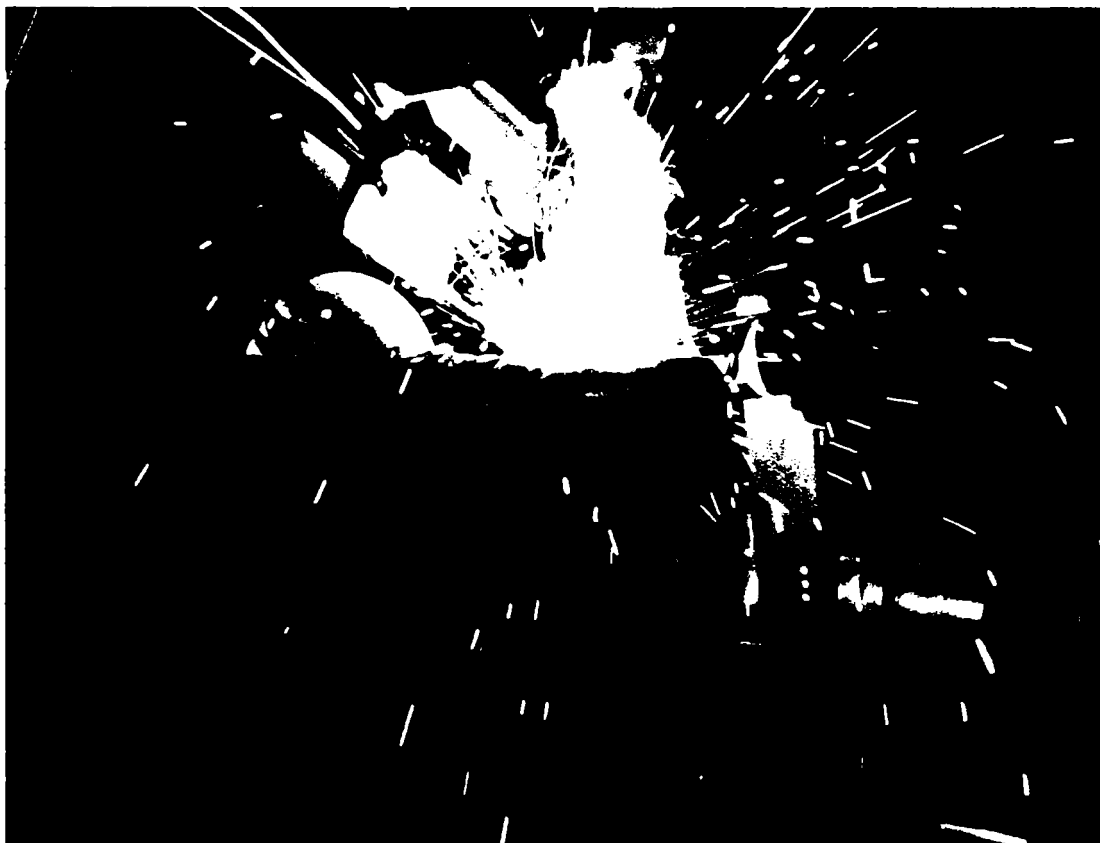


Fig. 6.4.9. Executarea îmbinării a două racorduri $\Phi 89 \times 190 \times 9$

Pornirea și oprirea mișcării de rotație este comandată de către unitatea de comandă a robotului, conform programului de sudare robotizată elaborat. Acționarea MPR este tipizată, cu tiristori și motor de curent continuu. Robotul realizează poziționarea capului de sudare, astfel încât vârful sârmei – electrod să fie situat într-un punct care formează unghiul la centru de circa -20° față de punctul superior al circumferinței racordului de țevă, în sens contrar sensului de rotație, spre a evita scurgerile de metal topit. De asemenea, robotul realizează orientarea capului de sudare față de subansamblul sudat, cu unghiul de circa 25° în planul xOz , respectiv de circa 15° în planul yOz , în sistemul de coordonate aferent robotului, conform recomandărilor tehnologice. Deplasările robotului sunt conduse de către unitatea de comandă a robotului. Ea comandă, de asemenea, sursa de sudare MIG/MAG. Programul de sudare robotizată elaborat pentru această operație de sudare este denumit MART30. Programul realizează corecții în timp real ale traseului de sudare, în conformitate cu semnalele de abatere transmise de senzorii de poziție montați pe capul de sudare, către unitatea de comandă a robotului, după cum s-a descris anterior. Sudurile au formă corespunzătoare, iar rostul îmbinării a fost umplut complet. Nu se observă fisuri, lipsă de pătrundere, lipsă de topire, lipsă de metal, creștături marginale sau alte defecte de sudare.

Pentru pregătirea unor lucrări de recondiționare, s-a efectuat încărcarea prin sudare a subansamblului constituit din două racorduri de țevă $\Phi 89 \times 190 \times 9$, îmbinate prin sudare, după cum s-a descris anterior. Încărcarea prin sudare s-a realizat în poziția orizontală, subansamblul celor două racorduri de țevă fiind fixat în dispozitivul universal, pe platoul unei mese de poziționare și rotire (MPR), ceea ce se prezintă în fig. 6.4.10 și în fig. 6.4.11.



Fig. 6.4.10. Încărcarea prin sudare robotizată a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe MPR

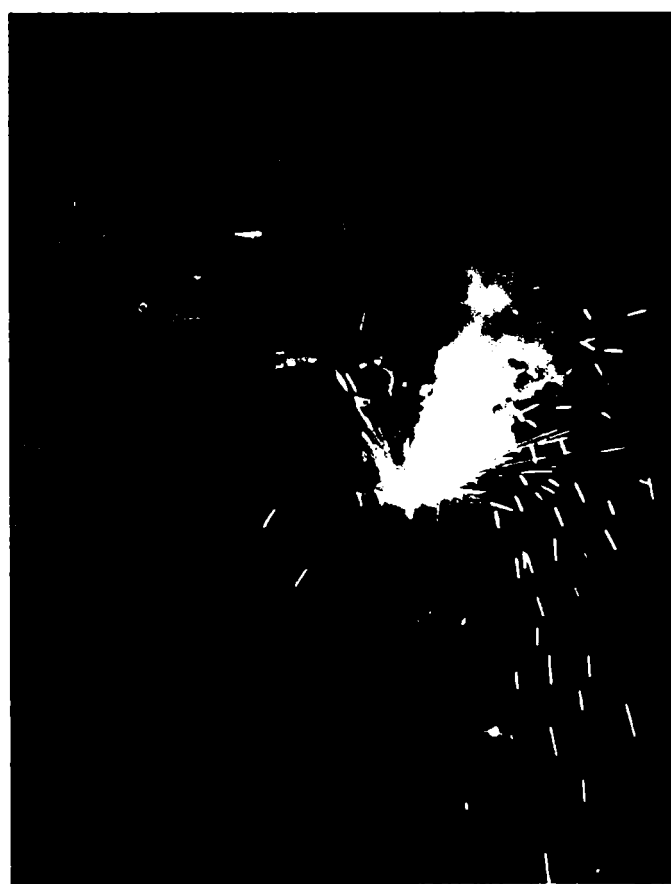


Fig. 6.4.11. Desfășurarea procesului de încărcare prin sudare pe racordurile $\Phi 89 \times 190 \times 9$

Robotul execută poziționarea și orientarea capului de sudare, dar și deplasarea cu viteză foarte redusă în lungul generatoarei cilindrului constituit de cele două segmente de țevă. A fost elaborat un program de încărcare prin sudare robotizată și în acest scop. Unitatea de comandă a robotului conduce deplasările robotului, comandă sursa de sudare și masa de poziționare și rotire, conform programului, având denumirea MART31.

Sudura de îmbinare și sudura de încărcare, prezentate în fig. 6.4.12, au formă și aspect corespunzătoare. Nu se observă fisuri, lipsă de pătrundere, lipsă de topire, lipsă de metal, creștături marginale sau alte defecte de sudare. Rezultatul este corespunzător la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

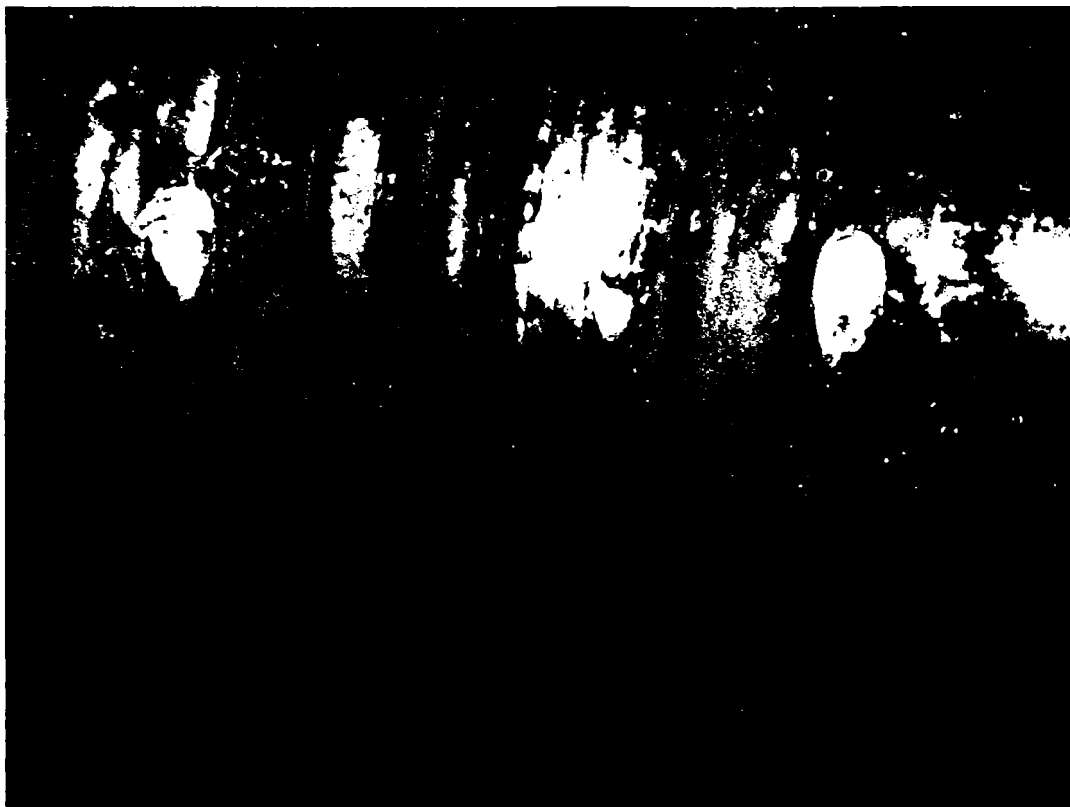


Fig. 6.4.12. Racord de țevă $\Phi 89 \times 190 \times 9$ sudat și încărcat prin sudare

6.4.2.3. Sudarea în colț a tablelor plane

S-au efectuat experimentări de sudare în colț în poziție orizontală, prin procedeul MAG robotizat, a unor table de oțel, având lungimea de aproximativ 280 mm, lățimea de aproximativ 140 mm, iar grosimea de 8 mm.

În prealabil, tablele au fost amplasate în formă de T, cu unghi de 90° între ele, una dintre ele în plan orizontal, iar cealaltă în plan vertical, situată pe linia mediană a primei table, pentru realizarea unei probe de îmbinare în colț, conform cerințelor și recomandărilor din SR EN 1418, referitor la calificarea a unui operator sudor pentru robot de sudare MIG / MAG sau pentru echipament de sudare automatizată. S-au executat suduri de prindere. Proba astfel pregătită a fost așezată pe masa de sudare. Au fost pregătite trei astfel de probe.

Sârma de sudare SG-2 de 1,2 mm diametru, de tip G3Si1 conform EN 440, și gazul de protecție Corgon 18, de tip M21 conform EN 439, au fost utilizate ca materiale de adaos.

S-a executat prin sudare robotizată un rând de sudură în colț, utilizând un anumit program de sudare robotizată cu corectarea traseului, în timp real, după cum se prezintă în fig. 6.4.13. Sudarea s-a realizat în poziția orizontală, subansamblul celor două table fiind fixat într-un dispozitiv simplu, pe masa de sudare. Robotul realizează poziționarea capului de sudare, astfel încât vârful sârmei – electrod să fie situat în vârful unghiului de 90° dintre table, iar palpatorul senzorilor să fie în atingere cu linia de îmbinare dintre table pe toată lungimea traseului. Acest lucru se verifică și se efectuează ajustări prealabile ale poziționării în etapa de

verificare în funcționare a programului pentru robot. Pe parcurs, această poziție este afectată de abateri, din cauza factorilor perturbatori: deplasarea tablelor, deformațiile, devierea vârfului sârmei – electrod, etc. Senzorii de poziție transmit semnalele de abatere, iar sistemul de urmărire a traseului realizează corecții, care să compenseze abaterile sesizate.



Fig. 6.4.13. Sudarea în colț a tablelor de oțel, cu robot dotat cu senzori pentru abateri de la traseu



Fig. 6.4.14. Probă de sudare în colț a tablelor de oțel, cu robot dotat cu senzori pentru abateri de la traseu

De asemenea, robotul realizează orientarea capului de sudare față de subansamblul sudat, cu unghiul de circa 15° în planul xOz , respectiv de circa 45° în planul yOz , în sistemul de coordonate aferent robotului, conform recomandărilor tehnologice. Avansul capului de sudare se face prin împingere. Unitatea de comandă a robotului conduce deplasările robotului și, de asemenea, dă comenzile necesare către sursa de sudare MIG/MAG. A fost elaborat un program de sudare robotizată pentru această operație de sudare, a cărei denumire este COLT1.

Procesul de sudare s-a desfășurat în mod normal. Parametrii de sudare au avut valorile:
 $U_a = 23 - 24 \text{ V}$; $I_s = 120 \text{ A} \pm 10 \text{ A}$; $v_s = 22 \text{ cm / min}$; $Q_{\text{corgon}} = 12 \text{ litri / min}$.

Una dintre probele de sudare executate este prezentată în fig. 6.4.14. Sudura are formă plană, iar suprafața este uniformă. Catetele sudurii sunt egale și au valoarea de circa 4,5 mm. Nu se observă fisuri, lipsă de pătrundere, lipsă de topire, lipsă de metal, creștături marginale sau alte defecte de sudare. Rezultatul este corespunzător la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

6.4.2.4. Sudarea în colț a racordului $\Phi 89 \times 190 \times 10$ pe tablă plană

Au fost efectuate experimentări de sudare în colț, prin procedeul MAG robotizat, a racordului, având diametrul de 89 mm, lungimea de aproximativ 190 mm, iar grosimea peretelui de 10 mm, pe tablă plană cu dimensiunile 280mm x 140mm x 8mm.

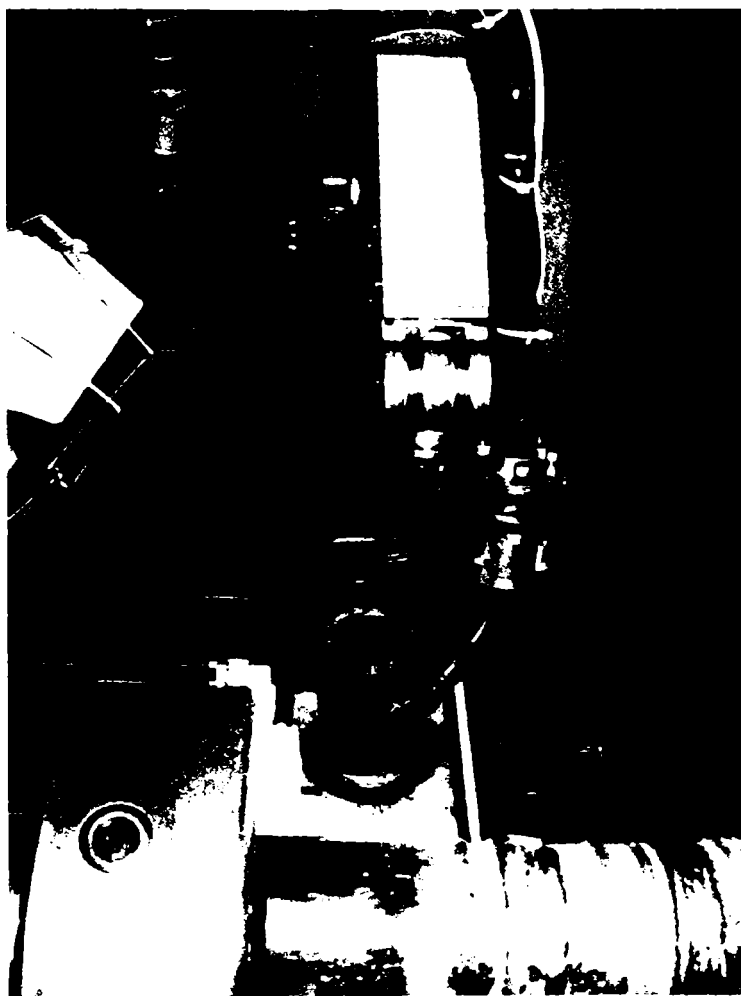


Fig. 6.4.15. Verificarea programului pentru sudarea în colț, prin procedeul MAG robotizat a racordului $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe tablă plană

Racordul $\Phi 89 \times 190 \times 10$, cu axa pe verticală, a fost amplasat pe tabla plană, așezată orizontal, pentru realizarea unei probe de îmbinare în colț, conform cerințelor și recomandărilor din SR EN 1418, referitor la calificarea a unui operator sudor pentru robot de sudare MIG /

MAG sau pentru echipament de sudare automatizată. S-au executat suduri de prindere. Proba pregătită a fost așezată pe masa de sudare. Au fost pregătite trei probe de acest tip.

Sârma de sudare SG-2 de 1,2 mm diametru, de tip G3Si1 conform EN 440, și gazul de protecție Corgon 18, de tip M21 conform EN 439, au fost utilizate ca materiale de adaos.

S-a executat prin sudare robotizată un rând de sudură circulară în colț. Sudarea s-a realizat în poziția orizontală. În poziția de amorsare, robotul realizează orientarea capului de sudare față de subansamblul sudat, cu unghiul de circa 45° în planul xOz, respectiv de 0° în planul yOz, în sistemul de coordonate aferent robotului, conform recomandărilor tehnologice. Mișcarea de rotație, precum și mișcarea de actualizare a poziției și a orientării capului de sudare sunt executate de către robot sub conducerea unității de comandă, astfel încât orientarea relativă a capului de sudare față de piesa de sudat să se mențină. Elaborarea programului de sudare robotizată pentru această aplicație a fost foarte laborioasă, deoarece pozițiile succesive ale capului de sudare și mai ales ale pachetului de cabluri și furtune sunt deosebit de dificile, după cum se observă în fig. 6.4.15. Denumirea programului este STUT1, iar varianta sa inițială este CHECK. Programul realizează mici corecții în timp real ale traseului de sudare, însă numai cu comandă manuală, întrucât senzorii de abatere nu pot fi utilizați, din cauza poziției dificile.

Procesul de sudare s-a desfășurat în mod normal. Parametrii de sudare au avut valorile:
 $U_a = 23 - 24 \text{ V}$; $I_s = 120 \text{ A} \pm 10 \text{ A}$; $v_s = 28 \text{ cm / min}$; $Q_{\text{corgon}} = 12 \text{ litri / min}$.



Fig. 6.4.16. Probă de sudare în colț a racordului $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe tablă plană, executată prin procedeul MAG robotizat

În fig. 6.4.16 este prezentată una dintre probele de sudare. Sudura este plană, iar suprafața este uniformă și înclinată la 45° . Catetele sudurii sunt egale și au valoarea de circa 5,0 mm. Suprapunerea capetelor sudurii are aspect adecvat. Nu se observă fisuri, lipsă de pătrundere, lipsă de topire, lipsă de metal, creștături marginale sau alte defecte de sudare. Rezultatul este corespunzător la examinarea vizuală, conform SR EN 970.

6.4.3. Metode de programare

Principiul utilizat la sistemul experimental de corectare a traseului de sudare constă în segmentarea programului de sudare robotizată, în așa fel încât începerea executării fiecărui segment este condiționată de îndeplinirea unei anumite condiții de poziționare a capului de sudare față de muchia de jos sau de sus a rostului de sudare.

Metoda de programare abordată pentru elaborarea programului de corectare a traseului de sudare este generarea de puncte, care se efectuează în mod automat de către unitatea de comandă a robotului în conformitate cu anumite comenzi din limbajul de programare specific [246, 247], fiind suficient să se memoreze un număr mai redus de puncte în etapa de instruire și memorare a punctelor, la elaborarea programului. Acest program efectuează deplasări laterale pentru corectarea traseului în anumite puncte de control ale traseului, iar apoi el continuă deplasarea spre punctul următor. În altă variantă, programul realizează corecția în fiecare punct de control, până când sunt îndeplinite anumite condiții de poziție, iar apoi el apelează un subprogram pentru mișcarea de rotație, respectiv un subprogram pentru mișcarea de translație.

Altă metodă de programare utilizată în programul de corectare a traseului este translatarea paralelă a punctelor, care se realizează în mod automat de către unitatea de comandă a robotului la utilizarea comenzilor specifice ale limbajului de programare [246, 247]. În etapa de instruire se memorează un anumit număr de puncte, care corespund mișcării de translație de-a lungul generatoarei suprafeței cilindrice a unui tronson al depunerii, ce trebuie realizată. După executarea acestei secvențe de program, punctele memorate sunt translatate după un anumit vector de translație pe un alt tronson. Coordonatele vectorului de translație sunt stabilite în mod automat de către unitatea de comandă, dacă se memorează primul punct al fiecărui tronson, prin diferență față de coordonatele primului punct al tronsonului inițial.

Utilizarea programelor experimentale menționate este dificilă, mai ales din cauza posibilităților mai reduse de verificare a lor în funcționare fără sudare și cu sudare, la viteză redusă. Pericolul de coliziune este mai ridicat. În schimb, programele bazate pe metoda de instruire cu memorarea punctelor oferă unele avantaje în această privință.

La sudarea sau încărcarea prin sudare a pieselor cilindrice se utilizează un program principal de sudare robotizată, care face apel la subprogramul de rotire a mesei de poziționare și rotire, pe care se află piesa de sudat. Subprogramul de rotire este interpretat ca o subrutină a programului principal, apelată de către acesta în anumite puncte ale traseului deplasării axiale.

Au fost elaborate și alte programe de sudare robotizată care pot fi aplicate la lucrări de încărcare prin sudare, care se bazează pe principiul efectuării încărcării prin sudare după o curbă elicoidală continuă realizată prin compunerea a două mișcări:

- Mișcarea de rotație a mesei de poziționare și rotire, sub conducerea unității de comandă a robotului.

- Mișcarea de translație de-a lungul generatoarei superioare a suprafeței cilindrice, realizată cu viteză foarte redusă de către capul de sudare, a cărui deplasare este efectuată de către robot.

Încărcarea prin sudare pe elicoidă a fost experimentată și aplicată la executarea probelor de încărcare prin sudare a racordurilor de țevă $\Phi 89 \times 190 \times 9$, efectuată după îmbinarea prin sudare a două racorduri. La manșoanele de tampon s-a aplicat, de asemenea, un program de încărcare prin sudare cu deplasare pe traiectorie elicoidală.

Între dificultățile apărute se pot menționa: pericolul de coliziune, agățarea capului de sudare pe neuniformitățile din interiorul piesei de sudat, sudarea sârmei-electrod pe piesă la amorsare sau la întreruperea sudării, supraîncălzirea capului de sudare datorită radiației piesei de sudat, pericolul strangulării cablurilor și furtunelor de la capul de sudare ca urmare a pozițiilor constrânse ale acestuia, pentru a se realiza poziționarea și mișcările succesive necesare; diferențe de poziționare ca urmare a abaterilor dimensionale de la o piesă la alta, ceea ce împiedică asupra posibilităților de realizare a repetabilității necesare la aplicarea tehnologiei de sudare robotizată.

6.5. Inferența fuzzy pentru corectarea traseului

6.5.1. Criteriile utilizate la realizarea inferenței fuzzy

Urmărirea traseului de sudare sau a orbitei prin metoda bazată pe principiul reglării automate este dificilă. Este vorba de realizarea unui sistem de urmărire în timp real, care trebuie să producă o mărime de corecție continuu variabilă, care este o funcție de mărimea de eroare. Având în vedere rezultatele unor cercetări consemnate în bibliografie și analizate în capitolul 2, a fost aplicată și în lucrările proprii ale autorului o metodă de reglare fuzzy pentru urmărirea traseului de sudare.

Autorul acestei lucrări a adoptat, în general, terminologia și principiile din lucrarea [117], dar într-o abordare proprie.

În interpretarea autorului lucrării de față, reglarea fuzzy se caracterizează prin următoarele aspecte esențiale, care constituie criterii pentru aplicația descrisă:

1. *Definirea unei funcții de variație a nivelului logic a mărimilor de intrare ale procesului de reglare.*

Aceasta constituie o deosebire față de logica clasică bivalentă, în care mărimile fizice considerate au două nivele logice. În schimb, există o asemănare cu mărimile analogice, care sunt caracterizate de o variație continuă a nivelului logic considerat pe domeniul de reglare, cu o infinitate de valori logice în domeniul lor de variație.

2. *Clasificarea sistemelor de reglare fuzzy, în funcție de numărul de intrări, de reguli de inferență și de ieșiri.*

În general, se utilizează sisteme de reglare cu mai multe intrări, mai multe reguli și o ieșire. Pentru identificarea cât mai sugestivă a intrărilor considerate, ele sunt denumite prin termeni lingvistici, adică prin cuvinte din limbajul curent. Întrucât există mai multe intrări, este posibil un răspuns mai nuanțat al sistemului de reglare la variația mărimilor fizice introduse la intrări, ceea ce este necesar în cele mai multe situații. Aceasta ar putea fi explicația succesului înregistrat de reglarea fuzzy. Prin extrapolare, se poate trage concluzia că un număr foarte mare de nivele logice ar conduce la rezultate și mai bune ale procesului de reglare. Aceasta necesită o echipare foarte dezvoltată a sistemului de reglare, referitor la resursele de hardware și de software, prin urmare un cost ridicat al sistemului. Pe de altă parte, un număr prea mare de intrări pe un anumit domeniu limitat de variație a mărimii fizice abordate pentru reglare ar duce la diferențe mici între valorile logice ale intrărilor, ceea ce reduce tocmai efectul de nuanțare, realizat prin existența mai multor intrări. Această discontinuitate în ierarhizarea performanței reglării arată existența unui optim al numărului de intrări ale sistemului. Tocmai făcând referire la termenii lingvistici, prin care pot fi caracterizate anumite mărimi, constatăm că numărul optim de intrări necesare pentru caracterizarea eficientă a unei anumite mărimi fizice este de ordinul unităților, uzual între trei și șapte. Lucrarea de față nu își propune să stabilească prin calcul această valoare optimă, pe baza unei teorii. Însă valoarea este intuitivă, pe baza limbajului. Dar care este explicația logică sau fenomenologică a existenței acestui număr optim de intrări, definite prin termeni lingvistici? Autorul prezentei lucrări consideră că acest număr optim mic permite utilizarea mai eficientă a resurselor sistemului de reglare, prin realizarea unui compromis între transmiterea fără erori a informației – ca urmare a distanței dintre intrări, ceea ce reduce efectul perturbațiilor – și prelucrarea informației – care este mai expresivă, dacă informația este mai diversificată (eventual având valoare logică cu variație continuă) pe fiecare intrare.

Acesta este chiar modul specific de funcționare al gândirii umane, cu avantajele, dar și dezavantajele sale. Acest mod de funcționare nu face apel în mod direct la modele matematice ale fenomenelor, ci numai la termeni lingvistici, care cuantifică suficient de bine mărimile analizate și conduc la rezultate exacte, prin aplicarea unor principii de reglare fuzzy. Aceasta poate constitui și o modalitate de rezolvare a problemelor, în general. Utilizarea modelelor matematice s-a constituit ulterior ca suprastructură a modului de funcționare de bază al gândirii umane.

3. Forma funcției de apartenență a mărimii fizice abordate în scopul reglării, într-un domeniu de valori logice.

În bibliografia de specialitate se exemplifică mai ales funcții de apartenență de formă triunghiulară pentru mărimile de intrare și mărimile de ieșire, precum și funcții singleton (de valoare singulară) pentru unele mărimi de ieșire. Totuși se afirmă că forma funcției de apartenență nu este esențială și se menționează și alte diverse curbe pentru funcția de apartenență. Este interesant că nu s-au întâlnit referințe la distribuția Gauss, ca funcție de apartenență. Autorul acestei lucrări consideră că distribuția Gauss reprezintă în mod evident o funcție de apartenență a unor valori în jurul valorii celei mai probabile, respectiv în jurul unei valori medii, care poate fi definită în mai multe moduri. De asemenea, nu a fost întâlnită vreo referință la distribuția Weibull, care este utilizată în analiza distribuției statistice a unor date experimentale, ceea ce constituie tot o funcție de apartenență, în accepțiunea autorului lucrării de față. Spre exemplu, având în vedere dispersia valorilor anumitor mărimi de funcționare, funcția semnal treaptă sau caracteristica logică a unui releu sau întrerupător nu au forma ideală, care este analizată în lucrările teoretice de specialitate, ci ele au forma apropiată de distribuția Gauss sau de distribuția Weibull. În acest sens, se poate afirma că un releu poate fi abordat prin logica fuzzy, deși el este considerat un dispozitiv logic sau chiar digital.

Se poate afirma că logica fuzzy include logica bivalentă, ca un caz particular. Astfel, o componentă elementară de sistem de reglare din logica bivalentă reprezintă o componentă fuzzy caracterizată de termenul lingvistic semnal treaptă (0 logic; 1 logic), cu o intrare, o ieșire și o regulă. Prin combinarea acestor componente elementare se realizează sistemele de reglare digitale.

4. Modul de realizare a funcțiilor de apartenență ale anumitor mărimi fizice.

Există mai multe modalități de realizare fizică a acestor funcții. Desigur că metodele numerice sunt cele mai importante și cele mai precise la ora actuală, dar ceea ce contează este precizia întregului sistem de reglare, care depinde de foarte mulți factori, însă și de interdependențele dintre factori. În această situație, rezultatele depind mai mult de modul de interpretare logică a factorilor, prin elementele fizice de intrare și de ieșire ale sistemului de reglare, și mai puțin de metodele de calcul utilizate în interiorul sistemului de reglare. Orice sistem de reglare conține mai multe elemente, care au fost analizate în capitolul 5.4. Comportarea sistemului de reglare în ansamblul său, depinde de modul în care componentele sunt combinate, pentru realizarea unei anumite funcții de transfer a sistemului.

5. Efectuarea inferenței fuzzy

Se aplică regulile de inferență, sub forma unor fraze, formate dintr-o propoziție condițională și o propoziție principală, cu rol de concluzie, având caracter imperativ sau executiv. Este vorba și aici de o structură a limbajului, care este aplicată în tehnică. Transpunerea în tehnică a regulilor de inferență se poate realiza, de asemenea prin

utilizarea elementelor de decizie din cadrul sistemelor de reglare descrise și analizate în capitolul 5.4. Inferența fuzzy poate fi realizată și prin programare, ceea ce se intenționează și în cazul acestei lucrări.

În acest sens, se poate afirma că limbajul are următoarele trei funcțiuni informaționale: comunicarea, prelucrarea informației și stocarea informației prelucrate. Despre funcția de comunicare a limbajului se tratează cel mai adesea. Prelucrarea informației prin limbaj se desfășoară prin metodele logicii fuzzy. Iar informația stocată este deja prelucrată, prin încadrarea ei la anumiți termeni lingvistici.

6. Defuzzificarea

Procesul de defuzzificare se desfășoară în cadrul elementului de execuție al sistemului de reglare, în mod implicit, prin modul de funcționare al elementului de execuție, în așa fel încât la ieșirea sistemului de reglare rezultă o mărime de execuție de forma unei funcții singleton, care se aplică asupra sistemului reglat. Aceasta este mărimea de corecție a sistemului de reglare. În acest fel, elementul de execuție al sistemului de reglare se constituie în element de defuzzificare intrinsec, ca element fizic. În cazul sistemului de corectare a traseului de sudare, realizat aici, elementul de execuție este constituit de către robotul de sudare MIG / MAG.

7. Elemente fizice și elemente de program

Ținând cont de cele de mai sus, sistemul de corectare a traseului de sudare se constituie din mai multe elemente fizice și elemente de program de funcționare, care realizează scopul propus, și anume aplicarea de corecții ale traseului parcurs de către efectorul robotului de sudare.

Funcțiile de apartenență ale sistemului de corectare a traseului de sudare, experimentat în capitolul 6.4, sunt cele din fig. 6.5.1. Pentru mărimile de intrare ale sistemului de reglare, aceste funcții sunt realizate practic prin utilizarea unor senzori inductivi sau potențiometre, precum și cu microîntrerupătoare. Sistemele cele mai evaluate de senzori sunt de tip digital, dotate cu microprocesor. Metoda cea mai avansată este un sistem video de analiză a imaginilor, de recunoaștere a formelor și de decizie, care este în mod necesar computerizat. Cu un astfel de sistem s-au realizat funcțiile de apartenență din fig. 2.4.15 [148]. Până în stadiul actual, autorul a utilizat numai ocazional sisteme video de analiză și de interpretare a imaginii, astfel încât senzorii clasici menționați au fost utilizați în cea mai mare măsură. Ei sunt accesibili și eficienți sub aspectul raportului performanță / cost, care este foarte avantajos pentru senzori.

6.5.2. Aspecte tehnico - economice

Un sistem video computerizat de recunoaștere, analiză și interpretare a imaginii, de decizie și de reglare pentru urmărirea rostului de sudare, sistem tipizat și disponibil comercial, are un preț de aproximativ 10 000 Euro.

Sistemul de corectare a traseului de sudare realizat de către autor are un anumit cost, ca rezultat al lucrărilor de cercetare, în care el a fost elaborat ca model experimental unicat, dar acest cost este mai puțin important. Mai sugestiv este costul de execuție al acestui sistem ca produs tipizat comercial, în eventualitatea abordării sale în această categorie. Costul estimativ al acestui sistem este de cca. 500 Euro. Acest cost este redus, deoarece sistemul conține componente fizice relativ simple, manopera este redusă, iar cheltuielile pentru software nu există, datorită faptului că beneficiarul deține deja licența de utilizare a limbajului de programare a robotului de sudare, pe care îl are în dotare.

Performanțele sistemului de corectare a traseului de sudare, prezentat aici, sunt mai reduse decât cele ale unui sistem video computerizat de urmărire a traseului de sudare, ceea ce se exprimă prin reducerea numărului de cazuri de aplicare a sistemului prezentat, și anume aplicarea sa la sudarea robotizată a unor produse, a căror formă geometrică nu este foarte complexă. În funcție de produsele sudate, aflate în fabricația beneficiarului, performanțele celor două sisteme pot fi comparabile. Costul sistemului de corectare prezentat fiind mai redus, rezultă că raportul performanță / cost are o valoare mai ridicată pentru sistemul prezentat în această lucrare.

6.5.3. Funcțiile de apartenență ale mărimilor fuzzy de intrare și de ieșire

Pentru corectarea traseului de sudare a fost utilizată reglarea fuzzy convențională, în interpretarea originală a autorului. Sistemul de sesizare și de corectare a traseului de sudare al unui robot, realizat ca model experimental, este descris în capitolul 6.4. Pentru sesizarea abaterii dintre poziția capului de sudare și orbită sunt utilizați senzori inductivi sau microîntrerupătoare, amplasați în stânga și în dreapta palpatorului, care urmărește rostul de sudare. Cursa transversală activă a palpatorului este de 1,0...1,5 mm, atât în stânga, cât și în dreapta rostului. Această cursă poate fi prescrisă prin reglajul mecanic al poziției senzorilor. Senzorii inductivi realizează funcții de apartenență pentru abaterea stânga L și pentru abaterea dreapta R, având alura celor din fig. 2.4.15, pentru abaterea e (mărimea de intrare). Microîntrerupătoarele utilizate ca senzori de poziție au o funcție de apartenență de tip releu sau de semnal treaptă, în mod ideal, însă în realitate forma acestei curbe este mai complexă.

Funcția de apartenență pentru intrarea Z (zero = abatere nulă față de traseul de sudare) este dată de caracteristicile de deplasare ale robotului și ea are alura distribuției Gauss, a cărei dispersie este $\sigma = 0,1 \dots 0,5$ mm, ceea ce reprezintă chiar repetabilitatea Δx a poziției transversale a capului de sudare al robotului, la parcurgerea traseului programat. Ca orice mărime tehnică, repetabilitatea poziției nu are o valoare fixă, ci ea este caracterizată de o anumită curbă de distribuție a valorilor măsurate, în jurul valorii medii. Valorile măsurate reprezintă, de fapt, valori constatate în timpul funcționării.

Având în vedere cele de mai sus, sistemul de corectare a traseului, realizat în această lucrare are trei intrări, iar acestora le corespund termenii lingvistici următori: stânga (L = Left), Z (zero), dreapta (R = Right). Variabila lingvistică a mărimilor de intrare este abaterea.

Unitatea de comandă a robotului realizează funcția de apartenență de tip singleton pentru corecția Δu (mărimea de ieșire). Deoarece corecția se realizează prin deplasare, este necesară luarea în considerare a formei reale a funcției de apartenență de tipul distribuției Gauss și pentru corecție, mărimea de ieșire a sistemului de reglare fuzzy.

Funcțiile de apartenență ale mărimilor fuzzy de intrare și de ieșire ale sistemului de reglare realizat sunt prezentate în fig. 6.5.1.

6.5.4. Regulile de inferență

Regulile de inferență se introduc prin programul de sudare robotizată. În cazul în care pot fi introduse în programul pentru robot abaterea e și deviația Δe de ordinul 2, regulile de inferență sunt cele din tabelul 2.4.1. În experimentările efectuate s-a utilizat numai abaterea e, iar regulile de inferență sunt prezentate în tabelul 6.5.1.

În funcție de valoarea logică a abaterii (L, Z sau R), programul de sudare robotizată dă comanda de efectuare a unei mișcări de corecție în sens invers. Această comandă în limbajul evoluat de programare al robotului este recunoscută de către unitatea de comandă a robotului, care o descompune în mai multe comenzi elementare în limbaj mașină către toate cele șase axe ale robotului, iar acestea execută mișcările de corecție până la compensarea abaterii.

Aplicarea inferenței fuzzy prin programe, pe calculatorul electronic, pe baza analizei imaginilor preluate de către o cameră video în anumite condiții speciale, care micșorează efectul perturbator al arcului electric, are posibilitatea de obținere a unei precizii mai ridicate a corecțiilor. Dar și în acest caz există anumite dificultăți, care afectează rezultatul reglării. Astfel, atunci când este parcurs un traseu având schimbări bruște ale direcției, au loc oscilații și există o suprareglare, după cum s-a prezentat în fig. 2.4.7. Factorii de amplificare k_e , k_d și k_{du} ai variabilelor fuzzy au avut valorile inițiale respectiv 1,0; 0,8 și 10. În scopul de a perfecționa urmărirea rostului (traseului), trebuie mărită valoarea factorului de amplificare k_{du} al mărimii de ieșire a regulatorului fuzzy. Deși suprareglarea s-a redus, s-au menținut totuși oscilații ale vârfului capului de sudare față de traiectorie, după cum s-a arătat în fig. 2.4.8 [148]. Utilizarea de valori diferite ale factorului de amplificare pentru mărimile de intrare și de ieșire ale sistemului de reglare este un aspect important al lucrării [148]. Dar acești factori diferiți constituie o abatere de la principiile reglării fuzzy, în opinia autorului lucrării de față, deoarece nu se aplică un criteriu unitar de atribuire a valorii logice pentru toate mărimile. Valoarea ridicată a factorului de amplificare pentru mărimea de ieșire, care a fost mărit până la valoarea $k_{du} = 45$, arată ponderea mare a elementului de execuție în cadrul sistemului de reglare. Aceasta vine în sprijinul afirmațiilor proprii ale autorului prezentei lucrări, referitoare la sistemul de corectare a traseului, realizat în cadrul lucrării de față.

Relația dintre poziția capului de sudare și variabilele fuzzy este arătată în fig. 2.4.2. Poziția curentă a capului de sudare este sesizată și reglată la 10 mm în fața capului de sudare, pentru a evita afectarea poziției de către întârziere, dar mai ales pentru evitarea depunerii de stropi pe palpator și a deformațiilor acestuia, datorate arcului electric. Abaterile e , care este distanța dintre traseul real (pintă) și vârful efectului, la 10 mm înaintea arcului electric, este variabila de intrare a regulatorului fuzzy convențional. Variația Δu a direcției de avans a capului de sudare este mărimea de acționare sau mărimea de corecție a regulatorului fuzzy intrinsec.

În sistemul de reglare fuzzy experimentat, mărimea de corecție Δu este inferată (dedusă) prin aplicarea regulilor de inferență asupra abaterii e , ca variabilă fuzzy. Deviația Δe (variația abaterii) nu a fost utilizată ca variabilă fuzzy în acest stadiu. Regulile de inferență sunt considerate din relația pozițiilor tipice ale capului de sudare față de direcția de avans tipică, după cum este ilustrat în fig. 2.4.4. De exemplu, dacă poziția capului de sudare este în dreapta față de orbită, atunci regulatorul trebuie să deplaseze capul de sudare către stânga, astfel încât să aducă din nou capul de sudare pe orbită ș.a.m.d. Regulile de inferență (pentru reglare) din această situație sunt descrise prin următoarea formă de frază cu relația condiție – concluzie “dacă-atunci”:

Dacă e este R (right=dreapta), atunci Δu este L (left=stânga), unde L și R sunt intrări ale variabilei fuzzy e .

Dacă e este L (left=stânga), atunci Δu este R (right=dreapta), unde L și R sunt intrări ale variabilei fuzzy e .

Senzor stânga (L).
Funcția de apartenență μ_L
pentru abaterea stânga e_L
la intrarea fuzzy L:

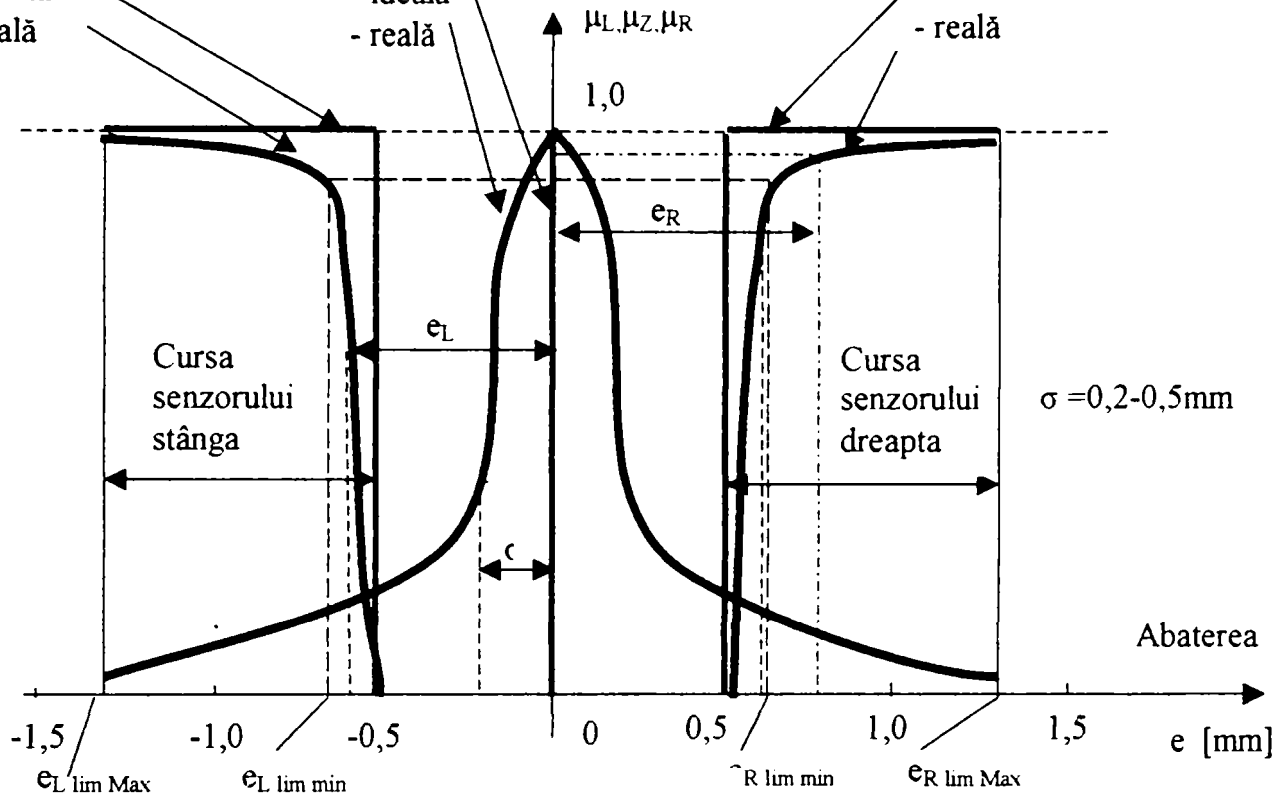
- ideală
- reală

Efectorul robotului.
Funcția de apartenență μ_Z
pentru abaterea zero
la intrarea fuzzy Z:

- ideală
- reală

Senzor dreapta (R).
Funcția de apartenență μ_R
pentru abaterea dreapta e_R la
intrarea fuzzy R:

- ideală
- reală



Unitate de comandă-Robot-Efector.
Funcția de apartenență μ_{uR}
pentru corecția dreapta $\Delta u(R)$
la ieșirea fuzzy u:

- ideală
- reală

Unitate de comandă-Robot-Efector.
Funcția de apartenență μ_{uL}
pentru corecția stânga $\Delta u(L)$
la ieșirea fuzzy u:

- ideală
- reală

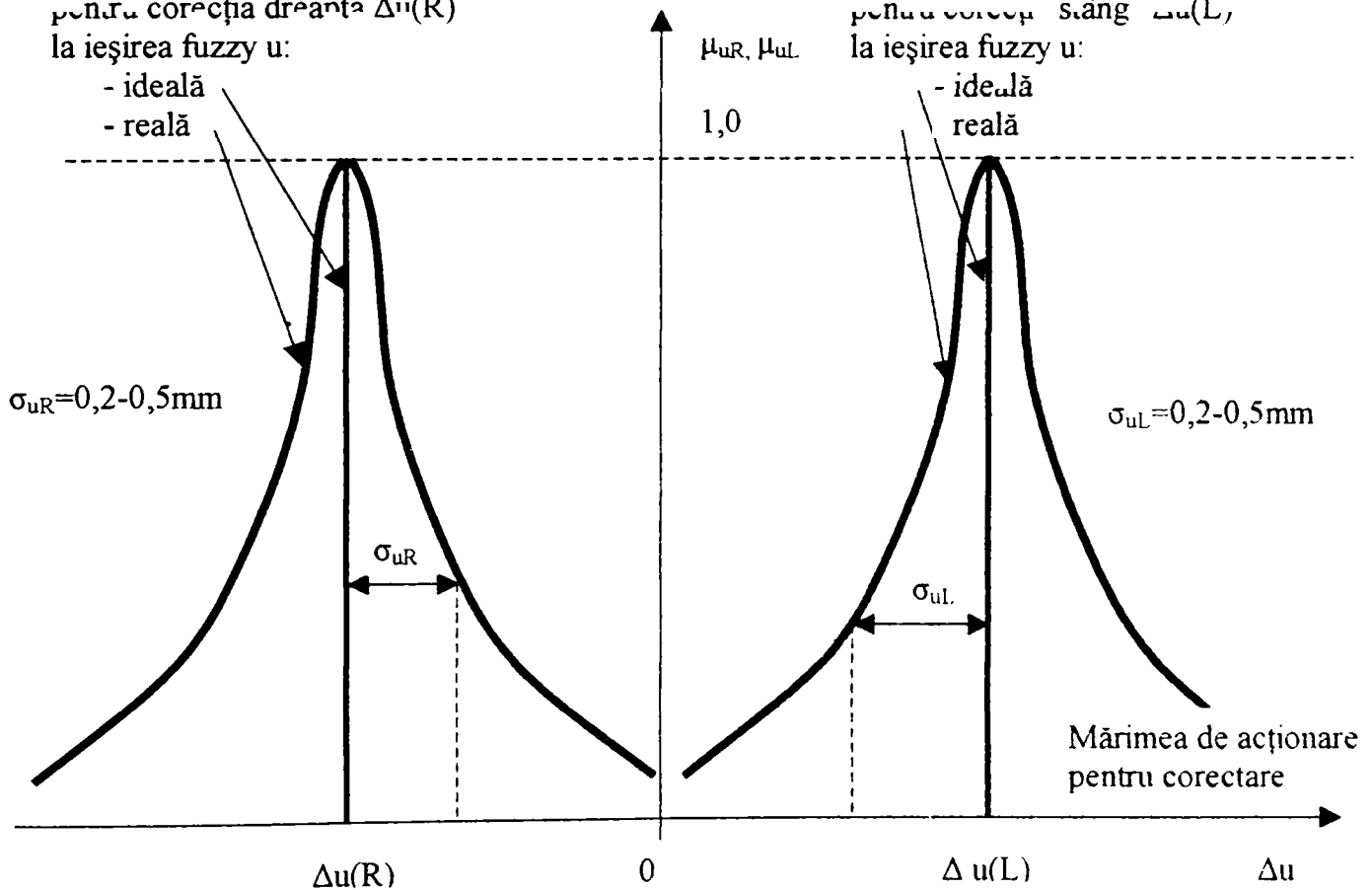


Fig. 6.5.1. Funcțiile de apartenență ale mărimilor de intrare și de ieșire ale sistemului fuzzy experimental de corectare a traseului

Dacă e este Z (zero), atunci Δu este Z(zero), unde Z este, de asemenea, o intrare a variabilei fuzzy e.

Condițiile (propozițiile introduse prin “dacă”) sunt în relație cu pozițiile curente ale capului de sudare și cu pozițiile necesare ale acestuia, a căror comparare dă abaterea.

Concluziile (propozițiile introduse prin “atunci”) constituie răspunsurile regulatorului, bazate pe cunoștințele și experiența operatorului în situația enunțată în propozițiile condiții.

Reguli de inferență Tabelul 6.5.1.

Intrarea =Abaterea e	Ieșirea =Corecția Δu	Observații ←
R	L	R: Dreapta
Z	Z	Z: Zero
L	R	L: Stânga

6.5.5. Program cu inferență fuzzy

Experimentările de corectare a traseului robotului de sudare au fost efectuate prin utilizarea regulilor de inferență din tabelul 6.5.1 și a variabilelor fuzzy având funcțiile de apartenență pentru abaterea e și pentru corecția Δu din fig. 6.5.1.

Secvența din programul robotului de sudare, prin care este realizată inferența fuzzy este prezentată în continuare.

<i>Eti- che- tă</i>	<i>Comandă</i>	<i>Comentariu</i>
...	Partea de început a programului.
14	\$ 2	Apelarea listei de parametri pentru delasarea cu sudare.
15	GF P(17)	Deplasarea spre punctul memorat nr. 17, pentru executarea sudării, conform programării inițiale.
16	STOPOS R(40,21,0,1,0,0,15,0,0,0,0)	Generarea punctului nr. 40, situat la 1,5 mm în stânga punctului nr. 17.
17	STOPOS R(50,21,0,1,0,0,-15,0,0,0,0)	Generarea punctului nr. 50, situat la 1,5 mm în dreapta punctului nr. 17.

18	IF E(3) THEN JU @1	Salt condiționat la rândul cu marcaj @1, dacă la intrarea E(3) a unității de comandă este introdus semnalul 1 logic, adică efectorul are abatere spre dreapta.
19	IF E(4) THEN JU @2	Salt condiționat la rândul cu marcaj @2, dacă la intrarea E(4) a unității de comandă este introdus semnalul 1 logic, adică efectorul are abatere spre stânga.
20	JUMP @3'	Salt necondiționat la rândul cu marcaj @3', dacă nu sunt îndeplinite condițiile menționate anterior.
21	@1 GF P(40)	Deplasare spre punctul nr. 40, pentru executarea corecției spre stânga a traseului.
22	JUMP@3	Salt necondiționat la rândul cu marcaj @3, după executarea corecției.
23	@2 GF P(50)	Deplasare spre punctul nr. 50, pentru executarea corecției spre dreapta a traseului.
24	@3 GF P(18)	Deplasare spre punctul memorat nr. 18, pentru continuarea executării sudării, conform programării inițiale.
25	@3' GF P(18)	Deplasare spre punctul memorat nr. 18. Repetarea comenzii precedente este necesară din considerente de sintaxă, deoarece limbajul acceptă un singur salt spre o anumită comandă.
...	Continuarea programului.

Această secvență de program este executată automat, în timp real, de către robotul de sudare. Secvența trebuie repetată în toate punctele memorate inițial, la elaborarea programului de sudare robotizată, în modul de funcționare de instruire al robotului. Forma în care este editată secvența de program prezentată este specifică limbajului de programare al robotului utilizat la experimentări [246]. Dar principiul acestui program de corectare a traseului poate fi transpus și în alte limbaje de programare, la alte tipuri de roboți. În funcție de facilitățile puse la dispoziția utilizatorului de către limbajul de programare, secvența de program menționată poate fi editată ca o subrutină, care este apelată în toate punctele traseului de sudare, unde este necesară corectarea traseului efectului robotului. Programul complet de sudare robotizată conține definirea listelor de parametri de funcționare ai robotului, după care se află comenzile pentru deplasare fără sudare până la punctul (nr. 17), în care începe procesul de sudare. Urmează secvența de program descrisă, repetată în mai multe puncte ale traseului. Apoi sunt inserate comenzile de deplasare fără sudare către punctul final. Denumirea programului este APRIL.

În accepțiunea autorului lucrării de față, elementul de execuție al sistemului de reglare face parte integrantă din regulatorul fuzzy, deoarece în elementul de execuție se efectuează etapa de aplicare a regulilor de inferență fuzzy, precum și defuzzificarea,

având în vedere formele reale ale funcțiilor de apartenență din fig. 6.5.1, ale mărimilor de intrare și de ieșire ale procesului de reglare. Elementul de execuție este constituit de ansamblul unitate de comandă - robot – efector.

Defuzzificarea se efectuează prin metoda valorii maxime sau a eșantionului maxim, prin selectarea mărimii de ieșire a sistemului de reglare fuzzy, pentru care funcția de apartenență are valoarea maximă:

$$\Delta u(\text{acționare/corecție}) = u(L) \text{ SAU } u(R), \quad (6.5.1)$$

$$\text{cu condiția } \text{MAX} [\mu_{uL}; \mu_{uR}], \quad (6.5.2)$$

conform notațiilor din fig. 6.5.1. Mărimea de ieșire a sistemului de reglare fuzzy are forma singleton, cu valorile singulare $u(L)$ sau $u(R)$, în funcție de sensul în care trebuie efectuată corecția. După defuzzificare, din mărimea de ieșire u a sistemului fuzzy se obține mărimea fizică de acționare / corectare, realizată de către elementul de execuție al sistemului de reglare.

Pentru cazul în care mărimea de intrare a sistemului fuzzy este ZERO, ceea ce înseamnă abatere zero față de traseu urmărit, sistemul de reglare nu efectuează corectarea traseului. Dar traiectoria reală a efectorului poate rămâne cu o abatere mai mică decât abaterea minimă sesizată de către senzori. Această abatere subliminală se explică prin limita de sensibilitate a senzorilor, dar și prin formele reale ale funcțiilor de apartenență ale mărimilor de intrare ale sistemului de reglare.

În mod similar, corecțiile aplicate efectorului robotului compensează doar parțial abaterea e față de traseul real, din cauza formei reale a funcțiilor de apartenență ale mărimilor de ieșire ale sistemului fuzzy de reglare. Soluția este ca abaterea e să fie menținută tot timpul sub limita minimă admisibilă, în condițiile reale ale procesului.

Autorul lucrării de față consideră că forma reală a funcțiilor de apartenență, diferită de formele ideale, prezentate și analizate în literatura de specialitate, trebuie luată în considerare în toate metodele de reglare fuzzy, inclusiv în metodele care utilizează sisteme video computerizate pentru analiza imaginii, recunoașterea automată a formelor și decizie, după care se realizează inferența fuzzy.

Metoda de reglare fuzzy descrisă aici este destinată implementării unui sistem de corectare a traseului de sudare la roboții aflați în exploatare.

6.6. Interpretarea analitică a inferenței fuzzy realizate

Mărimea de ieșire Δu este inferată din abaterea e a traiectoriei efectorului față de traseul țintă real, după cum este ilustrat în fig. 2.4.9. Deviațiile Δe și $\Delta^2 e$ nu au fost luate în considerare în această aplicație, întrucât sistemul de reglare necesar ar avea un nivel de complexitate prea mare. Deoarece ar exista trei variabile fuzzy, regulile devin complicate. Autorul lucrării de față aplică inferența fuzzy convențională la urmărirea traseului real (rostului), prin utilizarea regulilor de inferență sub formă lingvistică.

Pentru comparație se are în vedere inferența fuzzy multistrat [148], reprezentată sub forma structurii de arbore, după cum este prezentat în fig. 2.4.14. În această figură, funcțiile de apartenență ale mărimilor fuzzy de intrare au forma triunghiulară, pentru termenii lingvistici considerați, iar mărimile fuzzy de ieșire au forma singleton, respectiv

pentru corecție la dreapta, corecție zero și corecție la stânga. Se constată că abordarea metodei de reglare este similară și în cazul sistemului fuzzy experimental de corectare a traseului, realizat de către autorul lucrării de față.

Relația de dependență dintre Δu și e este următoarea:

$$\Delta u = w_L u_R + w_Z u_{ZERO} + w_R u_L \quad (6.6.1)$$

unde w_L , w_Z și w_R sunt aptitudinile funcției de apartenență a mărimii de intrare în sistemul de reglare, care este abaterea e , considerată respectiv în stânga, zero și dreapta. Valoarea inferată la ieșirea sistemului de reglare este mărimea de corecție. Valorile aptitudinilor $w_L(e)$, $w_Z(e)$ și $w_R(e)$ se determină din curbele funcțiilor de apartenență reprezentate în fig. 6.5.1. Deoarece exprimarea analitică a acestor funcții este dificilă, ele pot fi approximate prin câte un segment de dreaptă pentru funcția de apartenență a abaterii stânga și dreapta, pe porțiunile care prezintă interes practic, respectiv prin distribuția Gauss pentru abaterea zero.

Pentru o valoare dată a abaterii e , atribuirea la termenii lingvistici stânga, zero și dreapta, în funcție de e , este calculată prin funcțiile de apartenență prezentate în fig. 6.5.1, reprezentate analitic prin relațiile:

$$w_L = \begin{cases} 1 & \text{pentru } e \geq e_{L \text{ lim Max}} \\ [(1-0,9)/(e_{L \text{ lim Max}} - e_{L \text{ lim min}})](e - e_{L \text{ lim min}}) + 0,9 & e_{L \text{ lim Max}} \geq e > e_{L \text{ lim min}} \\ 0 & e_{L \text{ lim min}} > e \end{cases} \quad (6.6.2)$$

$$w_Z = \begin{cases} 0 & \text{pentru } e \geq e_{L \text{ lim Max}} \\ \exp[-(e/\sigma)^2] & e_{L \text{ lim Max}} \geq e > 0 \\ 1 & e = 0 \\ \exp[-(e/\sigma)^2] & e_{R \text{ lim Max}} \geq e > 0 \\ 0 & e \geq e_{R \text{ lim Max}} \end{cases} \quad (6.6.3)$$

$$w_R = \begin{cases} 1 & \text{pentru } e \geq e_{R \text{ lim Max}} \\ [(1-0,9)/(e_{R \text{ lim Max}} - e_{R \text{ lim min}})](e - e_{R \text{ lim min}}) + 0,9 & e_{R \text{ lim Max}} \geq e > e_{R \text{ lim min}} \\ 0 & e_{R \text{ lim min}} > e \end{cases} \quad (6.6.4)$$

Pentru abatere spre stânga, în cazul $e = e_L = 0,57$ considerat în fig. 6.5.1, rezultă următoarele valori ale aptitudinilor:

$$w_L = 0 \quad \text{pentru } e_{L \text{ lim min}} > e; \quad e = 0,57; \quad e_{L \text{ lim min}} = 0,65 \quad (6.6.5)$$

$$w_Z = \exp[-(0,56/0,2)^2] = \exp(-2,8^2) = \exp(-7,84) = 1/(2,5402 \cdot 10^3) = 0,3936 \cdot 10^{-3} = 0,0003936$$

$$\text{pentru } e_{L \text{ lim Max}} \geq e > 0; \quad e = 0,57; \quad e_{L \text{ lim Max}} = 1,3 \quad (6.6.6)$$

$$w_R = 0 \quad \text{pentru } e_{R \text{ lim min}} > e; \quad e_L \text{ are sens invers față de } e_R \quad (6.6.7)$$

Înlocuind valorile obținute în relațiile (6.6.5) - (6.6.7) în relația (6.6.1), mărimea de ieșire a sistemului fuzzy este:

$$\Delta u = 0 \cdot u_R + 0,0003936 \cdot u_{ZERO} + 0 \cdot u_L = 0,0003936 \cdot u_{ZERO} \quad (6.6.8)$$

După defuzzificare prin metoda valorii maxime, prin care se selectează valoarea maximă dintre cele existente, rezultă valoarea mărimii de acționare, care execută corectarea poziției efectorului:

$$\Delta U_Z = k_u u_{ZERO} = k_{uZ} k_{eZ} e_Z, \quad (6.6.9)$$

unde k_u și k_e sunt constanta de proporționalitate a procesului de defuzzificare, respectiv a procesului de deplasare.

Din relația (6.6.9) rezultă că mărimea de acționare este proporțională cu mărimea de intrare pentru abatere zero, ceea ce înseamnă că robotul își continuă deplasarea fără a efectua o corecție reală. Explicația este că abateră a fost sub valoarea $e_{L \text{ lim min}}$, a senzorului din stânga.

Pentru abatere spre dreapta, în cazul $e = e_R = 0,75$ considerat în fig. 6.5.1, rezultă următoarele valori ale aptitudinilor:

$$w_L = 0 \quad \text{pentru } e_{R \text{ lim min}} > e; e_R \text{ are sens invers față de } e_L \quad (6.6.10)$$

$$w_Z = \exp[-(0,75/0,2)^2] = \exp(-3,75^2) = \exp(-14,0625) = 1 / (1,28016 \cdot 10^6) = 0,78115 \cdot 10^{-6} = 0,00000078115$$

$$\text{pentru } e_{L \text{ lim Max}} \geq e > 0; e = 0,75; e_{L \text{ lim Max}} = 1,3 \quad (6.6.11)$$

$$w_R = [(1-0,9)/(1,3 - 0,6)](0,75 - 0,6) + 0,9 = (0,1 / 0,7) \cdot 0,15 + 0,9 = 0,14285 \cdot 0,15 + 0,9 = 0,02142 + 0,9 = 0,92142$$

$$\text{pentru } e_{R \text{ lim Max}} \geq e > e_{R \text{ lim min}}; e_{R \text{ lim min}} = 0,6; e = 0,75; e_{R \text{ lim Max}} = 1,3 \quad (6.6.12)$$

Înlocuind valorile obținute în relațiile (6.6.10) - (6.6.12) în relația (6.6.1), mărimea de ieșire a sistemului fuzzy este:

$$\Delta u = 0 \cdot u_R + 0,00000078115 \cdot u_{ZERO} + 0,92142 \cdot u_L = 0,92142 \cdot u_L \quad (6.6.13)$$

După defuzzificare prin metoda valorii maxime, prin care se selectează valoarea maximă dintre cele existente, rezultă valoarea mărimii de acționare, care execută corectarea poziției efectorului:

$$\Delta U_L = k_{uL} u_L, \quad (6.6.14)$$

unde k_{uL} este o constantă a procesului de defuzzificare.

În cazul considerat, valoarea constantei menționate este:

$$k_{uL} = 1,5 \text{ mm}, \quad (6.6.15)$$

în conformitate cu valoarea parametrului nr. 7 al comenzii STOPOS pentru generare de puncte, prin care se prescrie deplasarea laterală pentru efectuarea corecției, în cadrul secvenței de program de sudare robotizată, prezentată mai sus. La programare, valoarea acestui parametru poate fi prescrisă în funcție de cerințele tehnice.

Conform funcției de apartenență de tip singleton din fig. 6.5.1, mărimea de ieșire a sistemului fuzzy are valoarea logică:

$$u_L = 1 \quad (6.6.16)$$

Înlocuind valorile precizate în relațiile (6.6.15) și (6.6.16) în relația (6.6.14), mărimea de acționare pentru corectarea traseului are valoarea:

$$\Delta U_L = 1,5 \text{ mm} \quad (6.6.17)$$

Din relația (6.6.13) rezultă că mărimea de acționare pentru corectare este în funcție de mărimea de intrare pentru abatere dreapta, care trebuie compensată, ceea ce înseamnă că robotul execută o anumită deplasare spre stânga, pentru a corecta abaterea spre dreapta. Mărimea de corecție este diferită de zero, deoarece abaterea a fost mai mare decât valoarea limită minimă $e_{R \text{ lim min}}$, care corespunde limitei inferioare a cursei senzorului din dreapta traseului țintă.

În cazul în care luăm în considerare și funcția de distribuție de tip Gauss, rezultă următoarea expresie a mărimii de acționare pentru corectarea traseului, pe direcție transversală la direcția de sudare:

$$\Delta U_L = k_{uL} u_L \exp[-(u - u_L)^2 / \sigma_{uL}^2] = 1,5 \exp[-(u - u_L)^2 / \sigma_{uL}^2] \text{ (mm)} \quad (6.6.18)$$

Pentru inferența fuzzy realizată, autorul prezentei lucrări face următoarea interpretare fizică a funcțiilor de apartenență considerate.

Valorile funcțiilor de apartenență ale mărimilor de intrare, respectiv ale aptitudinilor reprezintă valorile probabilității de sesizare a abaterilor față de traseul țintă, de către senzori.

Valorile funcțiilor de apartenență de tip singleton ale mărimilor de ieșire reprezintă probabilitatea realizării corecției, ca eveniment cert, ca urmare a valorii logice $u_L = 1$ și $u_R = 1$ a acestor funcții singleton.

Dacă se consideră funcțiile de apartenență de tip Gauss pentru mărimile de ieșire, atunci valorile acestor funcții reprezintă probabilitatea de realizare a unor corecții diferite de corecția programată, ca urmare a modului real de funcționare a elementului de execuție al sistemului de reglare, în care corecțiile prezintă dispersia σ_{uL} , respectiv σ_{uR} , față de valorile cele mai probabile u_L , respectiv u_R . Din punct de vedere pragmatic, cerința este ca valorile dispersiei să fie menținute sub toleranțele de execuție de 0,5 – 1,0 mm prevăzute de normele de execuție pentru produsele sudate. Această cerință este îndeplinită de către roboții de sudare actuali.

Realizarea inferenței fuzzy prin programe dedicate, pe sistem computerizat permite utilizarea unor forme analitice mai dezvoltate pentru funcțiile de apartenență, pentru regulile de inferență și pentru defuzzificare, care conduc la rezultate mai nuanțate și mai exacte. Un astfel de sistem computerizat este eficient împreună cu sistem video, pentru analiza imaginii, recunoașterea formelor și decizie, după care se efectuează inferența fuzzy. Sistemul cu senzori este avantajos prin raportul performanță / cost.

7. Concluzii la documentare

1. Echipamentele de sudare cu arc electric cunosc o dezvoltare continuă. În primul rând are loc tranziția de la sursele de sudare de concepție clasică, bazate pe transformator având frecvența nominală de 50 Hz și reglare a tensiunii și / sau a curentului în trepte prin prize, respectiv în mod continuu prin tiristori, la sursele bazate pe invertor cu tranzistori, având frecvența internă de funcționare de 25 – 100 kHz. Datorită caracteristicilor tehnice superioare ale tranzistorilor MOSFET și IGBT, utilizați de acestea, facilitățile de funcționare ale surselor de sudare cu invertor sunt superioare: amorsare sigură, funcționare în regim de impulsuri cu diferite forme de undă ale curentului, reglare dinamică a parametrilor, posibilități de utilizare a reglării fuzzy a parametrilor de sudare, pantă reglabilă de creștere și de scădere a curentului, temporizări adecvate la întreruperea procesului de sudare, etc. Toate acestea au efecte favorabile asupra modului de desfășurare a procesului de sudare și asupra nivelului de calitate al sudurilor realizate.

2. Facilitățile de funcționare menționate sunt realizate la surse de sudare prin procedeul MIG / MAG, cât și la sursele de sudare pentru procedeul WIG.

3. Numeroasele funcțiuni ale surselor de sudare moderne se bazează pe circuite electronice analogice și digitale, inclusive cu microprocesor, care efectuează reglaje rapide și precise ale parametrilor de sudare, realizând astfel caracteristica externă statică multiplă și caracteristica dinamică, conform cerințelor tehnologice.

4. Sursele de sudare moderne cu tranzistori, de tipul cu regulator de comutație în secundar și sursele cu regulator de comutație în primar (invertor) nu se deosebesc principial în mod esențial, din punctual de vedere al caracteristicilor tehnice ale lor, interesante pentru utilizator. Invertoarele se pretează, în special pentru realizarea surselor de sudare deplasabile. Proprietățile, care influențează comportamentul arcului electric, ale sursei de sudare sunt determinate prin conducerea și reglarea electronică, în care constă know-how-ul aparatelor moderne [8-38].

5. Pentru automatizarea lucrărilor de sudare se adoptă, pe de o parte, principiul de a concepe, proiecta și executa echipamente de sudare specializate pentru anumite piese și categorii de piese, dar acestea au un domeniu de aplicare mai restrâns, ceea ce vine în contradicție cu necesitățile unui program flexibil de fabricație extins asupra unei game largi de produse, în conformitate cu cerințele pieței.

6. În scopul obținerii flexibilității programului de fabricație este necesar un echipament de sudare cu arc electric având un nivel ridicat de universalitate. Robotul constituie astfel soluția cea mai adecvată în prezent pentru un sistem flexibil de sudare cu arc electric, adaptabil la diversitatea și complexitatea geometrică a anumitor piese și structuri sudate. Robotul are de regulă trei moduri de funcționare: de instruire, de editare și de funcționare automată.

Limbajul de programare este constituit dintr-un set de min.100 de comenzi și din regulile de sintaxă pentru utilizarea comenzilor.

Programarea roboților de sudare cu arcul electric se face în prezent în limbaje avansate (evolute), care se bazează în general pe anumite limbaje sau programe standard: CAD, C++, BASIC, PASCAL. Însă ele au totuși particularități specifice în funcție de firma producătoare, tip, model, anul de fabricație, etc.

7. În bibliografie [134] se arată că a fost elaborată o metodă de reglare automată a tensiunii arcului, care utilizează inferența fuzzy la sudarea cu arcul electric în CO₂. În această metodă abaterile standard ale duratelor scurtcircuitului și arcului electric, precum și durata medie a arcului au constituit mărimile de intrare, în domeniul de curent de sudare mare. Mărimea de ieșire a inferenței fuzzy a fost

corecția tensiunii arcului (ΔV), care a condus la creșterea sau descreșterea nivelului inițial al tensiunii arcului. A fost elaborat un nou echipament pentru sudarea în MAG cu reglare fuzzy, care a utilizat viteza de avans al sârmei, ca mărime de execuție.

8. Lucrarea [137] din bibliografie arată că, în scopul de a obține o calitate mai bună a proceselor de sudare MIG/MAG, a fost realizat modelul experimental al unui echipament adaptiv de sudare (sursă), la care parametrii de sudare sunt selectați în mod automat pentru diferite condiții de sudare, pe baza sunetelor produse de procesul de sudare. Datele de referință sunt obținute de la sudori experimentați.

9. Există și sisteme adaptive aplicate la tractoare de sudare [141]. Adaptivitatea se referă în principal la urmărirea traseului la executarea sudurilor de umplere, care este mai dificilă decât executarea sudurii de rădăcină.

10. Una dintre lucrările din bibliografie analizate [148] tratează despre problema urmării traseului de sudare de către un robot, prin metoda bazată pe inferența fuzzy multistrat. Variabilele fuzzy și regulile de reglare joacă rolul cel mai important în performanțele regulatorului. Funcțiile de apartenență ale variabilelor fuzzy sunt adaptate în funcție de starea traseului.

11. Sistemul de reglare fuzzy multistrat utilizează un aparat matematic destul de sofisticat, ceea ce este în contradicție cu principiul inițial al reglării fuzzy, potrivit căruia reglarea fuzzy se aplică acolo unde nu se cunoaște modelul matematic al procesului. Aparatul matematic al reglării fuzzy suplonește tocmai modelul matematic al procesului, dar pe o altă cale.

12. Altă lucrare din bibliografie [151] tratează despre sesizarea și urmărirea traseului de sudare prin utilizarea unui senzor neuronal de arc electric pentru sudarea cu robot. Senzorul neuronal de arc electric este propus pentru a detecta simultan deviația, orientarea și înălțimea capului de sudare. Senzorul este util pentru a realiza eficient un sistem de sudare fără operator.

13. Lucrarea [158] din bibliografie menționează că la sudarea în rost îngust a unei componente mari cu pereți groși a unei centrale nucleare a fost aplicat un sistem de sudare WIG cu conducere și reglare inteligentă. Criteriile de reglare au fost stabilite pe baza parametrilor de sudare evaluați de către sudori calificați. Îmbinările au fost corespunzătoare. Scopul sistemului este sudarea automată fără operator.

14. Sistemele de urmărire a rostului utilizează și metoda de captare a imaginii rostului prin camera video CCD, procesarea ei de către calculatorul personal PC și de către rețele neuronale artificiale, pentru recunoașterea în timp real a imaginii, detectarea deviației de la orbită și aplicarea unei mărimi de acționare pentru corectarea poziției capului de sudare. Diverse variante ale acestei metode foarte evolute și pretențioase sunt prezentate în bibliografie [154-156, 266-269, 278-281].

15. În bibliografie [179] se menționează aplicarea reglării fuzzy a vitezei, la sudarea WIG automatizată. Mulțimea regulilor fuzzy poate fi interpretată ca un câmp de cunoaștere static, neliniar și multidimensional, având un anumit aranjament, bazat pe experiență. Tehnica neuro-fuzzy a fost aplicată la realizarea unor sisteme cu inteligență artificială pentru previzionarea lățimii rândului de sudură.

8. Concluzii la lucrările proprii

A. Dispozitiv magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod-bandă

1. Dispozitivul magnetic de compensare se utilizează la tehnologia de încărcare prin sudare cu bandă-electrod având lățimea de 60 – 180 mm, la curent de sudare de 1000 – 3000 A. Scopul este compensarea inducției magnetice produse de către curentul de sudare, care cauzează defecte de sudare la marginile metalului depus.

2. Dispozitivul magnetic de compensare este constituit din două piese polare, amplasate la extremitățile băii de sudare, pe care se află două bobine parcurse de către curentul de sudare sau două bobine suplimentare cu **alimentare separată, de la o sursă de tip PWM, cu modularea duratei impulsurilor, prin reglare fuzzy**. Valoarea inducției magnetice de compensare se reglează prin ajustarea intrefierurilor și a distanțelor laterale, respectiv a curenților de magnetizare.

3. Este descrisă o soluție constructivă pentru dispozitivul magnetic de compensare, principiul de funcționare, componența și principalele caracteristici tehnice. Soluția a fost realizată sub forma unor modele funcționale, experimentate în condiții de cercetare. Ea a fost aplicată în condiții industriale. **Dispozitivul magnetic de compensare a fost brevetat.**

B.1. Regulator de turație cu tiristori, de tip fuzzy

1. **Regulatorul de turație cu tiristori** asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin utilizarea compensării căderii de tensiune rotorică sau prin utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului, care este proporțională cu turația. În ambele cazuri nu se utilizează un tahogenerator, ceea ce simplifică proiectarea și execuția ansamblului sistemului de acționare și reduce costul acestuia. Acest lucru este posibil datorită alimentării motorului în regim PWM, de impulsuri modulate în durată, prin intermediul tiristorilor .

2. Regulatorul cu tiristori, tip VV7TIN, a fost conceput prin proiectare asistată de calculatorul electronic în programul Orcad 4. El se execută la comandă prin tehnologia industrială computerizată, complet automatizată la toate operațiunile: găurire, fotoimpresionare, corodare chimică, marcarea, etc. S-au executat circa 15 buc.

3. Regulatorul cu tiristori este prevăzut cu mai multe sisteme pentru protecția rapidă a tiristorilor, a diodelor și a motorului electric.

4. Regulatorul cu tiristori are performanțe comparabile cu cele ale convertoarelor de frecvență scalare tipizate, fără traductor incremental de rotație, pentru acționări de c.a.

5. Regulatorul cu tiristori este aplicat la câteva echipamente realizate la ISIM.

B.2. Regulator PWM de turație cu tranzistor, de tip fuzzy

1. **Regulatorul PWM de turație cu tranzistor în regim de comutație**, care asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin **utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului**, care este proporțională cu turația. Nu se utilizează un tahogenerator, ceea ce simplifică proiectarea și execuția ansamblului sistemului de acționare și reduce costul acestuia. Acest lucru este posibil datorită alimentării motorului în regim PWM, de impulsuri modulate în durată, prin intermediul unui tranzistor de putere.

2. Regulatorul cu tranzistor, tip V, a fost conceput prin proiectare asistată de calculatorul electronic în programul Orcad 4. El se execută la comandă prin tehnologia industrială

computerizată, complet automatizată la toate operațiunile: găurire, fotoimpresionare, corodare chimică, marcarea, etc. S-au executat circa 9 buc.

3. Regulatorul cu tranzistor este prevăzut cu mai multe sisteme pentru protecția rapidă a tranzistorului de putere și a motorului electric.

4. Regulatorul cu tranzistor are posibilitatea de a realiza o secvență de comenzi temporizate la pornire, respectiv o altă secvență de comenzi temporizate la oprire, pentru automatizări.

5. Regulatorul cu tranzistor are performanțe comparabile cu cele ale convertoarelor de frecvență scalare tipizate, fără traductor incremental de rotație, pentru acționări de c.a.

6. Regulatorul cu tranzistor este aplicat la câteva echipamente realizate la ISIM.

7. Regulatele de turație cu tranzistor în regim de comutație constituie o soluție tehnică modernă și actuală, în special pentru motoarele de putere mică (sub 2,2 kW). În această categorie se înscriu și motoarele de la acționările echipamentelor de sudare automatizată. Utilizarea convertoarelor de frecvență tipizate trifazate, dotate și cu programator local poate fi o soluție tehnică de complexitate exagerată, în acest caz.

8. **Regulatorul de turație de tip PWM se comportă ca un regulator fuzzy bipozițional cu o intrare și o ieșire, având o funcție de apartenență de tip singleton pentru mărimea de ieșire.** Funcția de fuzzificare a mărimii de intrare, aplicarea regulilor de inferență fuzzy și defuzzificarea mărimii de ieșire sunt realizate în mod implicit, prin modul de funcționare al anumitor componente ale regulatorului. Mărimea de ieșire este tensiunea de alimentare a motorului, care corespunde la valoarea singleton $\mu_{\dot{u}} = P$ a funcției de apartenență, în cazul corecției pozitive prin accelerare. Respectiv, mărimea de ieșire este tensiunea de frânare, care corespunde la valoarea singleton $\mu_{\dot{u}} = N$ a funcției de apartenență, în cazul corecției negative prin frânare. Dacă nu se utilizează frânarea, mărimea de ieșire constă în neaplicarea tensiunii de alimentare a motorului, ceea ce corespunde la valoarea singleton $\mu_{\dot{u}} = 0$ ($N = 0$) a funcției de apartenență. **Această constatare poate avea aplicații în implementarea și evaluarea anumitor soluții tehnice pentru sisteme de reglare.**

9. Regulatorul PWM de turație cu tranzistor este propus pentru brevetare.

10. **Autorul lucrării de față a completat metoda de calcul pentru reglarea fuzzy a vitezei sârmei la sudarea WIG automatizată, prezentată în capitolul 2.8, pe baza datelor preluate din lucrarea de documentare [179].**

C.1. Echipament specializat de încărcare prin sudare a robinetelor industriale

1. Echipamentul ESIR-250M este destinat pentru încărcarea prin sudare mecanizată a pieselor active ale robinetelor și armăturilor industriale, în vederea realizării suprafețelor de etanșare ale acestora: sertare RSP Dn 50 - 250; racord RSP Dn 50 - 250 (demontabil); corp de robinet RSP Dn 100 - 250.

2. Echipamentul ESIR-250M are o componență modulară, care permite mai multe configurații de utilizare interschimbabile. Principalele configurații sunt:

- Configurația A, în care se aplică procedeul semiautomat de încărcare prin sudare WIG, pentru sertare și racorduri.

- Configurația B, în care se aplică procedeul semiautomat de încărcare prin sudare MIG/MAG, pentru corpuri de robinet, la care condițiile de acces în interior sunt mai dificile.

3. A fost conceput și proiectat un mecanism de rotire a capului de sudare, pentru încărcarea prin sudare în interior a corpurilor de robinet RSP Dn 200 - 250.

4. **Acționările electrice sunt realizate cu regulate de turație cu tranzistor în comutație, funcționând în regim de modulație a duratei impulsurilor de tensiune (PWM), care sunt regulate de tip fuzzy.**

C.2. Experimentări privind încărcarea prin sudare a robinetelor industriale

1. Experimentările în condiții de cercetare tehnologică pentru elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare MIG / MAG s-au efectuat la ISIM, pe echipamentul experimental, având următoarele componente principale:

- Mecanismul de rotire a capului de sudare, tip MRCS;
- Pupitrul de comandă și programare, tip PCP;
- Sursa de sudare, tip VARMIG 180 (Varstroj), respectiv tip MIG 500 High Speed (Messer-Griesheim / High Tech Precision);
- Dispozitiv tip DPRTAV de poziționare pe rază și de translație axială verticală (la o variantă);
- Grinda suport;
- Alimentarea cu gaz de protecție (butelie, respectiv rețea de alimentare);
- Suportul piesei de sudat.

S-a utilizat sârmă de sudare de tip G3Si1 EN 440, de 1,2 mm. Au fost executate probe de încărcare prin sudare circulară pe sertare RSP Dn 80. Probele sunt corespunzătoare.

2. Experimentările în condiții industriale s-au efectuat la ROMAG – TERMO Drobeta Turnu - Severin, pe echipamentul industrial specializat de încărcare prin sudare a robinetelor, tip ESIR-250M, în cuplu cu sursa de sudare KEMPPOMIG 3800 (Kemppi). S-a utilizat sârmă de sudare de tip G3Si1 EN 440, de 1,2 mm. Au fost executate probe de încărcare prin sudare circulară pe racorduri Dn 100 – 150 (etapa I) și pe inele de încercare, amplasate în interiorul corpului de robinet RSP Dn 100 (etapa II). Probele îndeplinesc cerințele de aspect, formă și dimensiuni și nu au defecte de sudare. Rezultatele sunt corespunzătoare la examinarea vizuală, conform SR EN 970. Echipamentul funcționează la parametrii proiectați.

D.1. Celulă experimentală de sudare robotizată

1. Modelul experimental de celulă robotizată pentru sudarea MAG, realizat la ISIM Timișoara, are componența următoare:

1. Robotul de sudare ROMAT 56, produs de firma Cloos Schweisstechnik GmbH Haiger, Germania.
2. Unitatea de comandă MPS 085, produsă de firma Cloos Schweisstechnik GmbH Haiger, Germania.
3. Sursa de sudare VARMIG 160/180A SuperMig, produsă de firma Varstroj Lendava, Slovenia.
Variantă: Sursa de sudare MIG 500 High Speed, produsă de firma Messer-Griesheim / High Tech Precision, Germania.
Variantă: Sursa de sudare Kemppi Pro MIG 500, produsă de firma Kemppi, Finlanda.
4. Cap de sudare de 400A din dotarea robotului. (Se utilizează și capul de sudare al sursei).
5. Masă de poziționare plană MPP- O, realizată de ISIM Timișoara.
6. Dispozitive de fixare (seria DF), realizate de ISIM Timișoara.
7. Masa de poziționare și rotire MPR – 320, produsă de S.C. Vest Metal S.A. Oradea (opțională).
8. Interfața de comandă pentru echipamente anexe, tip ICEA, realizată de ISIM Timișoara.
9. Butelia de gaz de protecție (corgon), sau rețeaua de alimentare cu gaz de protecție (corgon).
10. Accesorii pentru sudare.

2. Având în vedere dimensiunile robotului Romat 56, pentru situații reale de poziționare a subansamblelor de sudat, lungimea sudurilor liniare ce pot fi executate este de aproximativ 620 mm. Pentru a executa suduri de lungime mai mare este necesar un cărucior de translație longitudinală, având cursa de minimum 2000 mm.

3. În scopul realizării poziției de sudare orizontală sau în jgheab, sunt necesare echipamentele anexe: dispozitive de poziționare, manipolatoare tipizate (cu mișcări de rotație și de basculare) sau manipolatoare electromecanice de genul masei de poziționare și rotire.

4. **Interfața de comandă pentru echipamente anexe, tip ICEA** permite utilizarea intrărilor și ieșirilor digitale ale unității de comandă a robotului, conform cerințelor programului de sudare robotizată, inclusiv pentru **aplicarea unor metode de reglare fuzzy**.

D.2. Experimentări de sudare MAG robotizată

1. Au fost elaborate programe experimentale de sudare MAG robotizată pentru următoarele tipuri de piese: corpul tamponului, manșon de tampon, taler de tampon, jantă auto tip Dacia, băncuță metalică școlară, recipient D 450/L 400 de hidrofor, racorduri de robinete industriale Dn 100 – 250, tubulatură plată de aliaj de aluminiu, capac pe tub rezervor auto Dacia, etc. La unele dintre aceste tipuri de piese au fost executate suduri, conform cerințelor tehnice. Aceste experimentări au condus la **ideea aplicării unor metode de reglare fuzzy** pentru corectarea traseului de sudare. De asemenea, experimentările arată că robotul este un echipament accesibil și disponibil pentru diverse aplicații.

2. **Sistemul experimental de urmărire a traseului de sudare** este bazat pe aplicarea unor criterii de **reglare fuzzy, prin programarea adecvată** a robotului de sudare. Semnalele de abatere sunt introduse la unitatea de comandă a robotului de la senzori inductivi sau de la microîntrerupătoare, acționate de către un palpator. Sistemul a fost verificat experimental la sudarea cap la cap, respectiv în colț a tablelor plane și a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$. Rezultatele sunt corespunzătoare.

9. Contribuții personale

Principalele contribuții personale aduse în cadrul tematicii abordate se consideră a fi următoarele:

1. Autorul a elaborat și a aplicat o **metodă originală de calcul al circuitului magnetic** al dispozitivului magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod- bandă. Metoda este bazată pe similitudinea cu liniile electrice lungi. Metoda ia în considerație fluxul magnetic de dispersie mare, comparabil cu fluxul magnetic util prin întrefierurile dispozitivului. Implicațiile tehnice sunt importante, iar metoda este coerentă și constituie o **contribuție originală. Dispozitivul magnetic de compensare a fost brevetat.**

2. Autorul a aplicat o **metodă de calcul a valorilor instantanee ale curentului și tensiunii invertorului** utilizat ca sursă de alimentare a dispozitivului magnetic de compensare pentru încărcarea prin sudare cu electrod- bandă. Metoda se bazează pe relațiile fizice de variație în timp a curentului, respectiv a tensiunii în circuitul R, L, C în regim tranzitoriu. Relațiile fizice de la care se pornește sunt cele mai generale și cele mai exacte. Autorul a făcut unele **interpretări proprii** asupra rezultatelor obținute prin calcule, care constituie o **contribuție proprie**. Sursa de alimentare face parte din categoria sistemelor PWM (pulse width modulation), care funcționează după principiul modulației duratei impulsurilor, prin reglare fuzzy.

3. Autorul a conceput și a realizat un tip de **regulator de turație cu tiristori, care funcționează similar cu un sistem PWM. Soluția constructivă este o contribuție proprie a autorului.**

4. Autorul a conceput și a realizat un tip de **regulator PWM de turație cu tranzistor** în regim de comutație, care asigură menținerea constantă a turației unui motor de c.c. la orice valoare din domeniul de turație prescris, prin **utilizarea reacției de tensiune electromotoare a motorului**, care este proporțională cu turația, fără a se utiliza un tahogenerator. **Soluția constructivă este o contribuție originală a autorului.** Regulatorul PWM de turație cu tranzistor este propus pentru brevetare.

5. La regulatoarele de turație realizate, autorul lucrării de față a utilizat o **metodă de reglare fuzzy a turației**, bazată pe principiul regulatorului fuzzy bipozițional, având funcția de apartenență de tip liniar cu prag pentru mărimea de intrare (abaterea turației față de turația de referință), respectiv funcția de apartenență de tip singleton a mărimii de ieșire (corecția turației). Funcțional, aceasta înseamnă că mărimea de corecție are o valoare constantă, care se aplică sub formă de impulsuri de durată constantă sau variabilă, la bornele motorului de acționare, până la anularea abaterii. Acest principiu de funcționare este diferit față de principiile regulatoarelor analogice liniare convenționale de tip P, PI sau PID. Metoda aplicată este prezentată și analizată în capitolele 4.3, 5.4 și 5.5. Metoda descrisă se bazează pe constatarea teoretică și experimentală a autorului că regulatorul PWM se comportă ca un regulator fuzzy, având funcția de apartenență de valoare singulară (singleton) a mărimii de ieșire. Această constatare poate avea aplicații în **implementarea și evaluarea anumitor soluții tehnice pentru sisteme de reglare.**

6. Autorul lucrării de față a **completat metoda de calcul pentru reglarea fuzzy a vitezei sârmei** la sudarea WIG automatizată, prezentată în capitolul 2.8, pe baza datelor preluate din lucrarea de documentare [179].

7. Autorul a aplicat regulatoare de turație de tip PWM la realizarea unor echipamente de sudare specializate.

8. Autorul a conceput și a realizat **Interfața de comandă pentru echipamente anexe, tip ICEA**, care permite transmiterea comenzilor de funcționare de la ieșirile digitale ale unității de comandă a robotului către echipamentele anexe, precum și introducerea unor semnale logice de condiție la intrările digitale ale unității de comandă, conform programului de sudare robotizată. Interfața ICEA este **utilizată în cadrul sistemului de corectare a traseului de sudare, bazat pe reglarea fuzzy.**

9. Autorul a elaborat **programe de sudare robotizată pentru mai multe tipuri de piese**, menționate în lucrare. Aceste programe constituie **contribuții proprii** ale autorului în **elaborarea de software pentru utilizator. Programele stochează experiența tehnologică acumulată** la efectuarea lucrărilor de sudare menționate, ceea ce este în conformitate cu abordarea actuală în domeniul automatizării și al robotizării. Elaborarea acestor programe a relevat **posibilitatea realizării unui sistem de reglare fuzzy** pentru corectarea traseului de sudare, prin programare.

10. Autorul a realizat **un sistem experimental de corectare, prin reglare fuzzy, a traseului de sudare al unui robot și a elaborat programele necesare pentru funcționarea sa.** Sistemul este prevăzut cu palpator și senzori, conectați la unitatea de comandă a robotului. Acest sistem a fost experimentat la sudarea cap la cap a tablelor plane, la sudarea în colț a tablelor plane, la sudarea cap la cap a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$ și la sudarea în colț a racordurilor $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe table plane. Rezultatele sunt corespunzătoare. **Autorul prezintă interpretarea proprie asupra formei reale a funcțiilor de apartenență ale mărimilor fuzzy, care trebuie luată în considerare la sistemele de reglare fuzzy, având diverse nivele de complexitate. Forma reală menționată se bazează pe distribuția de tip Gauss. În acest fel, reglarea fuzzy și statistica datelor de exploatare se completează reciproc în realizarea modului de funcționare a echipamentelor industriale, în condițiile concrete de utilizare.**

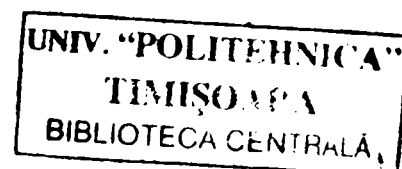
Rezultatele cercetărilor au fost prezentate la diverse conferințe, simpozioane și sesiuni de comunicări științifice, precum și în publicații, conform bibliografiei anexate.

10. Bibliografie

1. Şora, Ioan; ş.a.: "Electrotermie și Electrotehnologii", Vol. I și Vol. II, Editura Tehnică, București, 1997-1999.
2. Dzelnitzki, D.: "Progrese realizate la sudarea WIG și MIG/MAG prin folosirea unor surse de curent cu destinație multiplă (destinate sudării cu mai multe procedee de sudare)". Sudura, Nr. 3, 1997, p. 8-20.
3. Raviraj, V.S.C.; Sen, P.C.: "Comparative Study of Proportional - Integral, Sliding Mode and Fuzzy Logic Controllers for Power Converters". IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, No. 2, March/April, 1997, p. 518-524.
4. Melton, Geoff: "Validation of arc welding equipment - revision of BS 7570", Welding & Metal Fabrication, May, 2001, p. 10-12.
5. Melton, G.B.: "Validation of arc welding equipment". Welding & Metal Fabrication, 1993, Vol. 61, No. 1, p. 42-46.
6. Melton, G.B.: "Updating the current situation on the Electromagnetic Compatibility Directive". Welding & Metal Fabrication, July 1994, p. 289-290.
7. * * * : "Welding power sources - The requirements and the options". Welding & Metal Fabrication, August/September 1995, p. 314-320.
8. Ooi, C.L.; Norrish, J.: "Adaptive asymmetric waveform control in bipolar gas tungsten arc welding of aluminium". Welding & Metal Fabrication, 1993, June, Vol. 61, No. 5, p. 230-332.
9. Needham, I.: "Synergic power supplies - Classification and questionnaire". International Institute of Welding, IIW Doc. XII - 905 - 85, 1985.
10. Norrish, J.: "Developments in intelligent control of arc welding power supplies". Welding & Metal Fabrication, July, 1994, Vol. 62, No. 7, p. 285-288.
11. Köveš, Árpád: "Power sources of the future". Conferința Internațională Sudura - Control, ASR - ISIM Timișoara, Mai 1998, Varstroj Lendava - Slovenia.
12. Kärävä, L.: "Inverter technology in welding power sources". Svetsen, Special Issue, June, 1995, p. 59-63.
13. Church, J.G.; Imaizumi M.: "Welding characteristics of a new welding process, TIME PROCESS". Doc. IIS/IIW XII - 1199 - 90, 74 p.
14. Dehelean, Dorin: "Sudarea prin topire", Editura Sudura, Timișoara, 1997.
15. Platz, J.: "Moderne Schweißgeräte mit Transistor - Leistungsteilen für MIG/MAG - und WIG - Schweißen". Schweißtechnik, 1995, Vol. 49, No. 9, p. 136-140.
16. Aichele, G.: "Eigenschaften moderner WIG - Geräte". Schweißtechnik, 1995, Vol. 49, No. 9, p. 141-146.
17. Cloos Schweißtechnik GmbH, Germania: "Quinto-Profi Schweißstromquelle". Prospect, 1996.
18. Cloos Schweißtechnik GmbH, Germania: "Machines de soudage MIG/MAG à arc pulsé, pilotées par ordinateurs GLC 353 MC3-GLC 553 MC3". Prospect, 2000.
19. Kemppi OY, Finlanda: "Kemppi Pro Welding Sources". Prospect, 1998.
20. Kemppi OY: "Kemppi Multisystem". Prospect.
21. Kemppi OY: "Kempotig AC/DC 250". Prospect.
22. Kemppi OY: "Mastertig 1500-3500 W". Prospect.
23. Kemppi OY: "MINARC 110 and 140 - Extreme Challenges", <http://www.kemppi.com>.
24. Kemppi OY: "Kempomig - Effective equipment for heavy duty production welding". Prospect.

25. Hitachi Via Mechanics, Ltd: "TIG Welder (DC/AC)", <http://www.hitachi.com>.
26. Newman, M.J.; e.a.: "An Integrated Approach for the Protection of Series Injection Inverters", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38, No. 3, May/June, 2002, p. 679 - 687.
27. * * * : "Feasibility trials on heat sink attachment for new electronic ceramic substrates", Industrial Members Report, No. 591, February, 1997, <http://www.twi.co.uk/industries>.
28. Rehfeldt, D.; u.a.: "Untersuchungen zum Einsatz höherer Frequenzen für das Wolfram-Inertgas-Schweißen mit kleinen Wechselströmen", Schweißen und Schneiden, 1996, vol. 48, no. 5, p. 344 - 351.
29. * * * : "TIG welding torch range available", Welding, 1996, vol. 64, no. 3, p. 126.
30. Harris Semiconductor: "Power Solutions". Vol. 3, 1996.
31. Fronius AG, Austria: "Inverter power sources: Transpuls Synergic MIG 500, Transpocket, Transtig 450, e.a." Prospective, 2002.
32. ESAB AB, Suedia: "Aristo 315 - a welding unit built with modern technology". Prospect, 1997.
33. Hobart Co.: "Hobart Cyberwave CW-300-S 3-Phasen - Rechteck Wellenstrom -WIG-Schweißanlage". Prospect.
34. Elma-Technik GmbH Aachen: "Schweißen mit Präzision. MIG / MAG Schweiß-Stromquelle ELMA-ANALOG C400P und C600P". Prospect.
35. Nancey, T.J.: "Fourth generation inverters add artificial intelligence to the control of GMAWelding". Welding Journal, 72(1), Jan. 1993.
36. Stava, Elliott K.: "A new low spatter arc welding machine". Welding Journal, 72(1), Jan., 1993.
37. Irvine, R.: "Inverter Power Sources check fume emissions in GMAW". Welding Journal, Feb., 1992, 71(2), p.53.
38. Mecke, H.; Dilthey, U.: "Computergesteuerte Stromquelle mit verbesserten dynamischen Eigenschaften für das Metall - Schutzgasschweißen mit Impuls - Lichtbogen". Schweißen und Schneiden, 1996, Vol. 48, No. 8, p. 623-624.
39. Matsumoto, O.; e.a.: "Intelligent Control System of GTAW Process." IIW Doc.XII-1471-96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p.II/25-II/30.
40. Kobayashi, M.; e.a.: "Development of Full Automatic Welding System for TIG All Positions". IIW Doc. XII-1460-96. Budapest Conference, p. 429-444.
41. * * * : "10 Steps to improved productivity. Mechanisation & Automation". Welding & Metal Fabrication, August/September, 1995, p. 348-350.
42. * * * : "10 Steps to improved productivity. Monitoring the welding process". Welding & Metal Fabrication, 63(6), 1995, July, p. 242-244.
43. Risch, Andreas: "Orbital Welding". Welding & Metal Fabrication, 1999, November/December, p. 16-18.
44. Power, L.E.; Taylor, R.; Brennan, M.A.: "Welding Machine" (an internal pipe welding machine including a clamp arrangement). World Intellectual Property Organization. International application published under the Patent Cooperation Treaty. Int. Cl. B23K 37/053. WO 00/41845/20.07.2000. Applicant: 94 - Pipe - O - Tronic Welding Services Ltd. Aldridge.
45. Wilkinson, K.: "Clamping unit for welding operations in a trench and having pivotally mounted clamping arms". UK Patent Application GB 2 361 262 A. Int. Cl. B23K 37/053. Date of publication 17.10.2001. Applicant: Glynwed Pipe Systems Ltd, Birmingham.

46. Ball, M.B. Assignee: Micron Technology Inc. Boise, ID, USA. "Lead Penetrating Clamping System". United States Patent. No. US 6, 419, 145 B2 Jul. 16, 2002. Int. Cl. B23K 31/02.
47. Cabot Corporation - Wear Technology Division: "UNIKING. Universal hardfacing system". Prospect.
48. Cabot Corp. - Cabot Stellite Division: "MECHATIG hardfacing system". Prospect.
49. * * * : "Arc welding apparatus. TIG welding torch with wire feed", FMC Corp., Patent U.K. (Marea Britanie), no. 2291827 A/1996.
50. Young, J.: "Selecting the right wirefeeder", Gases and Welding Distributor, vol. 40, no. 2, Mar.-Apr., 1996, p. 83-87.
51. Mitsubishi Materials Corp.: "Apparatus for applying hardfacing to valve", Patent USA no. 5496986, 1996.
52. Rocklin, I.: "Device and method for surfacing a workpiece", Patent USA no. 4551603, 1985.
53. Okano, Masami; e.a.: "Automatic valve seat build-up welding apparatus", Patent USA no. 4531039, 1985.
54. Burcă, Mircea: "Studii analitice și experimentale asupra sistemelor de avans prin impulsuri ale sârmei-electrod la sudarea în mediu de gaze protectoare". Teza de doctorat. Cond. șt.: Prof. dr. ing. Voicu Safta. Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Mecanică. Colectivul Utilajul și Tehnologia Sudării, anul 2001.
55. Micloși, Viorel; ș.a.: "Echipamente pentru sudare". Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
56. Wikström, Niklas; Salmi, Tore (Permanova Lasersystem AB, Sweden): "Permanova's seam tracking laser welding tool". Svetsaren / The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 60, No. 1, 2005, p. 18-20.
57. Iijima, T.; e.a.: "Robotic Welding System for Jet Engine". IIW Doc. XII-1471-96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II / 179 - II / 184.
58. Sugitani, Y.; e.a.: "Development of Portable Rail Welding Robot". IIW Doc. XII 1471 - 96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II / 185 - II / 189.
59. Irie, M.; e.a.: "Development and Application of Arc Welding Robot System 'Tomomatsu' to On - Site Welding of Column - Column Joints of Steel Buildings". IIW Doc. XII - 1471 - 96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II / 195 - II / 200.
60. Udagawa, T.; e.a.: "Application of Robots to Welding of Construction Machine Parts". IIW Doc. XII - 1471 - 96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II / 213 - II / 215.
61. Tsuruga, S.; e.a.: "New Welding Robot System for Steel Column - through Structures". IIW Doc. XII - 1471 - 96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II/221-II/226.
62. Yamamoto, H.: "Welding Power Source". IIW Doc. XII - 1471 - 96. "Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. I / 57 - I / 61.



63. Yamamoto, H.; e.a.: "Automatic Setting of Welding Conditions by Fuzzy Controlled CO₂ / MAG Welding Machine". IIW Doc. XII - 1471 - 96. "Welding Guide Book III Automation Technology of Arc Welding". Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, 1996, p. II / 127 - II / 132.
64. Cloos Schweißtechnik GmbH: "Robotersysteme". Prospect, 2001.
65. Cloos Schweißtechnik GmbH: "Systemtechnik der ROMAT - Industrieroboter". Prospect, 1999.
66. Erickson, Robert W.: "Fundamentals of Power Electronics". Chapman & Hall. International Thomson Publishing. New York; e.a.; 1997.
67. Popescu, Viorel: "Electronică de putere și acționări". Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
68. Popescu, Viorel: "Convertoare de putere în comutație. Aplicații." Editura de Vest, Timișoara, 1999.
69. Popovici, D.: "Bazele convertoarelor statice". Editura Politehnica, Timișoara, 1999.
70. Muntean, Nicolae: "Convertoare statice". Editura Politehnica, Timișoara, 1998.
71. Minguieș, Noël Jean: "Contribuții la studiul, proiectarea și realizarea circuitelor de comandă pentru invertoare cu tranzistoare". Teza de doctorat. Conducător științific: Prof. dr. ing. Tiberiu Mureșan. Universitatea Tehnică Timișoara. Facultatea de Electronică și Telecomunicații. Catedra de Electronică Aplicată. 1992.
72. CT - Concept Technology Ltd. - Driver Overview. htm: Scale "Driver Product Overview". 04.12.2002.
73. www.IGBT-Driver.com: "Intelligent Gate Drivers for IGBTs and Power MOSFETs. Data Sheet & Application Manual. IGD508E/IGD515E". www.CT-CONCEPT.com.1999.
74. www.IGBT-Driver.com: "Intelligent Half-Bridge Drivers for IGBTs and Power MOSFETs. Data Sheet & Application Manual. IHD 580FI/FN. 1999"
75. Rüdi, H.; Köhli, P.; Thalheim, J.: "Highly Approved IGBT Gate Drivers. State-of-the-art designs and applications". PCIM Europe Power Electronics, April 2003, p.18-20.
76. Daucher, Chr.: "Highly Integrated Second Generation Power Modules. MiniSKiiP conversion up to 30 kW". PCIM Europe Power Electronics, October 2003, p. 36-38.
77. Annacher, R.; Grasshoff, Th.: "A New Platform for IGBT Modules. Flexible and expandable SEMIX family". PCIM Europe Power Electronics, July/August 2003, p.46-47.
78. Malesani, Luigi; Mattavelli, Paolo; Rossetto, Leopoldo; Tenti, Paolo; Marin, Walter; Pollmann, Alberto: "Electronic Welder with High - Frequency Resonant Inverter". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 2. March/April 1995, p. 273-279.
79. Pollock, Helen; Flower, John O.: "New Method of Power Control for Series-Parallel Load-Resonant Converters Maintaining Zero-Current Switching and Unity Power Factor Operation". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 12, No. 1, January 1997, p. 103-109.
80. Cho, Jung-Goo; Sabaté, Juan A.; Hua, Guichao; Lee, Fred C.: "Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter for High-Power Applications". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, No. 4, July 1996, p.622-628.
81. Lai, Ray-Shyang; Ngo, Khai D.T.: "A PWM Method for Reduction of Switching Loss in a Full-Bridge Inverter". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, No. 3. May 1995, p. 326-332.
82. Fujita, Hideaki; Akagi, Hirofumi; Shinohara, Shin-ichi: "A 2-MHz 6-kVA Voltage-Source Inverter Using Low-Profile MOSFET Modules for Low-Temperature Plasma

- Generators". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 14, No. 6, November 1999, p. 1014-1020.
83. Chokhawala, Rahul; Catt, Jamie; Király, László: „A Discussion on IGBT Short-Circuit Behavior and Fault Protection Schemes". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 2, March /April 1995, p. 256-263.
 84. Blaabjerg, Frede; Jaeger, Ulrik; Munk-Nielsen, Stig; Pederson, John K.: „Power Losses in PWM-VSI Inverter Using NPT or PT IGBT Devices". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, No. 3, May 1995, p. 358-367.
 85. Tse, C.K.; Wong, S.C.; Chow, M.H.L.: „On Lossless Switched-Capacitor Power Converters". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, No. 3, May 1995, p. 286-292.
 86. Yuan, Xiaoming; Barbi, Ivo: „Zero-Voltage Switching for Three-Level Capacitor Clamping Inverter". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 14, No. 4, July 1999, p. 771-781.
 87. Wong, Siu-Chung; Brown, Andrew D.: „Analysis, Modeling and Simulation of Series-Parallel Resonant Converter Circuits". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, No. 5, September 1995, p. 605-614.
 88. Kovács, Francisc, ș.a.: „Sisteme de fabricație flexibilă robotizate", Partea I și Partea a II-a, Universitatea Politehnică Timișoara, 1994.
 89. Trif, I.N.; Joni, N.: „Robotizarea proceselor de sudare". Editura Lux Libris, Brașov, 1994.
 90. Dahl, B.; Mogard, B.; Gretoft, B.; Ulander, B.: „Repair of rails on-site by welding". Svetsaren, Vol. 50, 1995, No. 2, p. 10-14.
 91. ESAB AB (Suedia): „Equipment for building-up welding of wheels". Göteborg, 1984.
 92. Cojocaru, R.; ș.a.: „Contract nr. 286/1998-1999. „Dispozitiv mecanizat de încărcare prin sudare bandaje roți de tramvai, tip DMIB -0". ISIM Timișoara. Beneficiar: RATT Regia Autonomă de Transport Timișoara (Faza a II-a și Faza a III-a).
 93. Loosen, B.: „Surfacing continuous casting rollers". Svetsaren, Vol. 50, 1995, No. 2, p. 29-31.
 94. Brennan, P. K.: „In Service Weld Repairs of Valve Bodies and Components". Welding Journal, Vol. 74, 1995, No. 8, p. 75-77.
 95. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 750/1980-1982. „Elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare a cilindrilor de laminor de la Combinatul Siderurgic Galați". Fazele I, II și III. ISIM Timișoara.
 96. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 260/1997. „Elaborarea documentației de execuție pentru echipament de încărcare prin sudare a robinetelor". ISIM Timișoara, Beneficiar: RENEL – Filiala Electrocentrale Drobeta Turnu-Severin.
 97. Subu, T.; **Verbițchi, V.**: „Dispozitiv magnetic de compensare pentru încărcare prin sudare cu bandă-electrod". Brevet de invenție Nr. RO 117 161 B1. Int. Cl. B 23 K 9/10. Data publicării: 30.11.2001. Nr. cerere: 95 – 02 303. Data de depozit: 28.12.1995. OSIM București. Titular: ISIM Timișoara.
 98. Rădescu, D.; ș.a.: Contract nr. 762 / 2001-2002. „Mecanizarea sudării orbitale a elementelor cu simetrie circulară de tipul bușelor sau bolțurilor pe placă". Faza a III-a. „Execuția modelului funcțional". Programul RELANSIN. Beneficiar: S.C. COMELF S.A. Bistrița.
 99. Rădescu, D.; ș.a.: Contract nr. 171 / 1994-1995. „Sistem mecanizat pentru recondiționarea prin sudare MAG". Beneficiar: S.C. CELROM S.A. Drobeta Turnu-Severin.

100. Panaitescu, Ș.; Rădescu, D.; ș.a.: Contract nr. 178 / 1994-1995. „Instalație pentru încărcarea prin sudare mecanizată MIG / MAG, tip IISM”. Beneficiar: S.C. Mecanoenergetica S.A. Drobeta Turnu-Severin.
101. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 1497/1987-1988. „Tehnologie și instalație de încărcare prin sudare mecanizată sub flux, cu pătrundere mică, a armăturilor industriale”. Faza I, II, III și IV. ISIM Timișoara, Beneficiar: IUT Bistrița.
102. Subu, T.; **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 6051/19 - 1991/1992. „Cercetări și experimentări privind încărcarea prin sudare (sub flux și în baie de zgură) cu benzi având dimensiuni de 90 mm × 0,5 mm și de 120 – 180 mm × 0,5 mm și cu câmp magnetic suplimentar”. Faza I, II, III și IV. ISIM Timișoara.
103. Olariu, C.; ș.a.: Contract nr. 1439 / 1986-1987. „Încărcarea prin sudare mecanizată sub flux, cu pătrundere mică, a armăturilor industriale”. Faza I, II, III și IV. ISIM Timișoara, Beneficiar: IUP Târgoviște.
104. Rădescu, D.; ș.a.: Contract nr. 7371 / 1993-1994. „Instalație de încărcare prin sudare mecanizată MAG”. Beneficiar: RAT Timișoara.
105. Rădescu, D.; ș.a.: Contract nr. 179 / 1992. „Instalație pentru încărcare prin sudare mecanizată a suprafețelor circulare”. Beneficiar: I. Reparații Târgu-Jiu.
106. Panaitescu, Ș.; ș.a.: Contract nr. 210/C/B1 - 1994. „Cercetări privind recondiționarea suprafețelor cilindrice interioare și exterioare prin procedee de sudare mecanizată în mediu de gaz inert și activ”. ISIM Timișoara.
107. Harjan, I.; ș.a.: Contract nr. 349 / 2001-2002. „Instalație de încărcare prin sudare a cochilelor”. Faza III: „Execuția instalației”. Faza IV: „Punerea în funcțiune a blocului cu role și a ansamblului instalației. ISIM Timișoara. Beneficiar: S.C. Mecanica S.A. Orăștie.
108. Minciuc, V.; ș.a.: Contract 1 B 10 / 2001 – 2003. „Cercetări pentru asimilarea unei familii tipizate de echipamente pentru sudarea conductelor din materiale plastice (gaz, apă, canalizare, irigații)”. Faza I – V. Program AMTRANS. ISIM Timișoara. Partener: S.C. RA-OL s.r.l. Timișoara.
109. Cristescu, G.; ș.a.: Contract nr. 21/2000 – 39/2001. „Construirea și acreditarea unui organism de certificare produse în domeniul echipamentelor de sudare și conexe”. ISIM Timișoara.
110. Oancă, O.; ș.a.: Contract nr. 46 (80) / 2000. „Cercetări privind elaborarea unor tehnologii și a unui echipament de sudare cu ultrasunete a metalelor și a maselor plastice”. Faza I: „Elaborarea documentației de execuție pentru modelul funcțional al echipamentului”. Faza II: „Realizarea modelului funcțional al echipamentului de sudare cu ultrasunete”. Program RELANSIN. ISIM Timișoara. Partener: S.C. ELBA S.A. Timișoara.
111. Schulz, R.; ș.a.: Contract nr. 1434 / 1986-1989. „Sudarea mecanizată a cofrajelor”. ISIM Timișoara. Beneficiar: I.C.M.P. București.
112. Polysoude / Messer – Griesheim: „Schweißanlagen für Rohre”. Prospekte. 2001.
113. Wende, U.: „Anwendungsbereich der Elektroschlacke (RES) – und Unterpulver (UP) – Auftragschweißverfahren mit Bandelektroden”. DVS – Berichte, Bd. 134, S. 30/37, DVS Verlag, Düsseldorf, 1990.
114. ESAB AB: „Schweißausrüstungen”. Göteborg, 1985.
115. Killing, R.; Thier, H.: „Ursachen für unsymmetrische Raupenbildung beim Elektroschlackeauftragschweißen mit Bandelektrode”. Schweißen und Schneiden, 1993, Vol. 45, No. 1, p. 14-19.
116. Killing, R.; Böhme, D.: „Leistungskennwerte des Elektroschlackeplattierens mit Bandelektrode”. Schweißen und Schneiden, 1988, Vol. 40, No. 6, p. 283-288.

117. Preitl, Șt.; Precup, R.E.: „Introducere în conducerea fuzzy a proceselor”. Editura Tehnică, București, 1997.
118. Precup, R.E.; Preitl, Șt.: „Fuzzy Controllers”. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999.
119. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 545/2000. Act adițional nr. 1. Tema cod B35. „Cercetări privind modernizarea și fiabilizarea unor echipamente MIG/MAG și WIG pentru acoperiri speciale”. Faza B35.1. „Elaborarea documentației de execuție în fază unică a unui echipament specializat pentru încărcarea prin sudare MIG/MAG și WIG mecanizată”. Program ORIZONT 2000. ISIM Timișoara.
120. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 545/Act adițional nr. 1/2001. Tema cod A35. „Cercetări privind modernizarea și fiabilizarea unor echipamente MIG/MAG și WIG pentru acoperiri speciale”. Faza A35.1. „Execuția modulelor specializate ale unui echipament de încărcare prin sudare MIG/MAG și WIG mecanizată”. Program ORIZONT 2000. ISIM Timișoara.
121. Norrish, J.: „Microcomputers in welding”. *Welding & Metal Fabrication*, Jan / Feb, p. 47 – 52, 1993.
122. Emmerson, John: „Orbital narrow gap MCW pipe welding”. *Welding & Metal Fabrication*, September, p. 9 – 11, 2000.
123. He, D.; e.a.: „Design and development of automatic systems for assembly welding muffler of Santana automobile”. *China Welding*, Vol. 5, No. 1, p. 49 – 58, 1996.
124. Toma, Liviu: „Microcontrolere”. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
125. Năvrănescu, V.: „Utilizarea microcontrolerelor industriale”. Editura Tehnică, București, 2001.
126. Popa, Mircea: „Porturile paralel și serie ale calculatorului PC”. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
127. National Instruments: „The Measurement and Automation Catalog 2002”.
128. <http://www.microcontroller.national.com> / COP8 Microcontrollers Summaries / Product Folders / Datasheets. National Semiconductors.
129. <http://www.microcontroller.com> / Compact RISC General Overview. Optimized Pipelining, Reduced Concurrency logic and Smaller Bus Interfaces. Reduced Memory Requirements. Enhanced Compact RISC 16-bit Instructions and Features. Registers. Debug Support. Development Tools.
130. <http://www.renesas.com> / microchooser / H8 / 8, 16 and 32-bit CISC microcontroller.
131. <http://www.renesas.com> / microchooser / M16C / 16-bit family MCUs with „C” programming.
132. <http://www.renesas.com> / microchooser / SuperH / SH-2 family high performance, low power, 32-bit RISC microcontrollers.
133. <http://www.atmel.com> / 8-bit AVR Microcontroller Application Note. AVR065: LCD Driver for the STK502. STK500 Atmel’s AVR Flash microcontrollers.
134. Mita, Tsuneo; Tanone, Hiroshi; Kashima, Takayuki; Shinada, Tsunei: „Automatic Setting of Arc Voltage Using Fuzzy Control”. Welding Machinery Department. Hitachi Seiko Ltd, 2100 Kami-imaizumi Ebina-shi, Kanagawa, 243-04, Japan. Automation Technology of Arc Welding. Technical Commission on Welding Processes, IIW Doc. XII-1471-96, Japan Welding Society, 1996.
135. Köveš, A.; Golob, M.: „Fuzzy Logic Based Quality Monitoring in Short-Circuit Gas Metal Arc Welding”, IIW Doc. XII-1712-02, Copenhagen Conference, 2002.
136. Wu, C.S.; Polte, T.; Rehfeldt, D.: „A Fuzzy Logic System for Process Monitoring and Quality Evaluation in GMAW”. *Welding Journal*, February, p. 33s – 38s, 2001.
137. Gouveia, H.; Raposo, S.; Ferreira, V.; Eustáquio, A.: „A new approach to Self teaching welding Equipment”, IIW Doc. XII-1702-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
138. Pan, J.: „Arc Sensing System for Automatic Weld Seam Tracking (I)”, IIW Doc.-XII-1689-01. Copenhagen Conference, 2002.
139. Pan, J.: „Arc Sensing System for Automatic Weld Seam Tracking (II)”, IIW Doc.-XII-1690-01. Copenhagen Conference, 2002.

140. Tani, K.; Nagao, Y.; Kano, Y.: „Development of CAD/CAM System for Welding Robots of Marine Diesel Engine”, IIW Doc.-XII-1721-02, Copenhagen Conference, 2002.
141. Harwig, D.D.: „Advanced in Automated Tractor System for Shipbuilding”, IIW Doc.-XII-1695-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
142. Smith, J.: „Protocols for Interconnecting the Components of a Welding System”, IIW Doc.-XII-1697-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
143. Asai, S.; Sakuma, M.; Kubo, K.; Tsuboi, R.; Ushio, T.: „Measurement and Analysis of Welder's Behavior in GTAW using Vision Sensors”, IIW Doc.-XII-1693-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
144. Harris, I.D.: „New Developments in Arc Welding Aluminium for Automotive Applications”, IIW Doc.-XII-1693-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
145. Gorbach, V.D.; Souzdalev, I.V.; Kisilevsky, F.N.: „Experience in Design and Application of Adaptive Control Systems for the Technological Process of Welding in Shipbuilding”, IIW Doc.-XII-1694-02, Intermediate Meeting, Lisbon, 2002.
146. Van der Meer, V.: „Advanced procedures and equipment for welding of highly corrosion resistant materials in the (petro) chemical industry”, 3rd GTE/MHtE/DVS International Conference on Welding, Budapest, 2000.
147. Farkas, A.: „Capabilities of flexible automation of arc welding processes”, 3rd GTE/MHtE/DVS International Conference on Welding, Budapest, 2000.
148. Ohshima, Kenji; e.a.: „Application of Multilayered Fuzzy Inference to the Tracking of the Orbit on a Two Dimensional Plane Using Welding Robot”, IIW Doc. - XII-1474-1996.
149. Fukuda, T.; e.a.: „Theory and Application of Neuronal Networks for Industrial Control Systems”, IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 39, No. 6, p. 472 – 489, 1992.
150. Ohshima, K.; e.a.: „Application of Genetic Algorithm and Fuzzy Control to Seam Tracking”, IIW Doc. XII-1401-95. Stockholm Conference, p. 175 – 182.
151. Ohshima, Kenji; e.a.: „Controlling of torch attitude and seam tracking by using neuronal network in short-circuiting arc welding”. IIW Doc. –1493-96.
152. Sugano, Y.; e.a.: „A Robust Visual Sensing System Using Light Section Method for detecting Weld Line Position in Robot Welding”. IIW Doc. XII - 1392 – 95. Stockholm Conference, p. 99 – 106.
153. Ohshima, K.; e.a.: „Application of Neuro Arc Sensor to the Robotic Welding”. IIW Doc. XII - 1400 - 95, Stockholm Conference, p. 163 – 174.
154. Ohshima, K.; e.a.: „Digital Control of Torch Position and Weld Pool in MIG Welding using Image Processing device”. Transactions of IEEE IAS, Vol. 28, No. 3, p. 607 – 612, 1992.
155. He, F.; e.a.: „Pattern Recognition of Weld Joint with Intelligent CCD Sensor in Welding Seam Tracking”. IIW Doc. XII - 1355 - 94, Beijing Conference, p. 145 – 150.
156. Chen, Qiang; e.a.: „An adaptive thresholding for weld seam image recognition in real time”. China Welding, Vol. 4, No. 2, p. 107 – 11, 1995.
157. Li, Yan; e.a.: „An approach of artificial neural network to robotic welding process modelling”. China Welding, Vol. 4, No. 1, p. 70 – 80, 1995.
158. Kamo, Kazuhika; e.a.: „Development of Intelligent Control System of GTAW Process”. IIW Doc. XII - 1498 - 96 Budapest Conference, p. 373-391.
159. Linzenkirchner, E.: „Möglichkeiten in der Automatisierungstechnik mit Fuzzy Control”. Schweißen und Schneiden, Vol. 48, No. 7, p. 516 – 517, 1996.
160. Jiang, L.; e.a.: „A Study of Flexible Automatic Control System of Welding Equipment Installation with Central Coordination”. IIW Doc. XII-1356-94, Beijing Conference, p. 151 – 162.
161. Widfeldt, M.; e.a.: „Flexible Robot Cell for Increased Flexibility, Productivity and Better Working Conditions - Demonstration Plant and Case Studies”. IIW Doc. XII - 1415, Stockholm Conference, p. 263 – 272.
162. Kinoshita, T.; e.a.: „Development of Robot Welding System for Aluminium Body Structure of Shinkansen Trains”. IIW Doc. XII - 1444 - 96. Budapest Conference, p. 109 – 125.

163. Senoo, Shinichiro; Mina, Michia; Funabiki, Shigeyuki: „Steering Control of Automated Guided Vehicle for Steering Energy Saving by Fuzzy Reasoning”. IEEE Transactions on IAS, No. 3, p. 1712 – 1716, 1992.
164. Maier, H.; Bessner, T.: „Formalisiertes Ingenieurgefühl. Fuzzy Logik in der Regelungstechnik”. Teil 1. „Grundlagen”. Elektronik Journal, No. 4, p. 14 – 18, 1993.
165. Maier, H.; Bessner, T.: „Formalisiertes Ingenieurgefühl. Fuzzy Logik in der Regelungstechnik”. Teil 2. „Grundlagen”. Elektronik Journal, No. 5, p. 54 – 60, 1993.
166. Maier, H.; Bessner, T.: „Formalisiertes Ingenieurgefühl. Fuzzy Logik in der Regelungstechnik”. Teil 3. „Applikationen”. Elektronik Journal, No. 7, p. 66 – 69, 1993.
167. Maier, H.; Bessner, T.: „Formalisiertes Ingenieurgefühl. Fuzzy Logik in der Regelungstechnik”. Teil 4. „Optimierung”. Elektronik Journal, No. 8, p. 48 – 52, 1993.
168. Albu, Alexandru: „Cercetări privind echipamente electrotermice pentru tăieri de materiale”. Teza de doctorat. Conducător științific: Prof.dr.ing. Ioan Șora. Universitatea Tehnică Timișoara. Facultatea de Electrotehnică. Catedra de Mașini, Acționări și Utilizări Electrice, 1994.
169. Sugitani, Y.; e.a.: „Development of Highly Efficient and Unmanned Welding System for Pipeline Construction”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 157 – II / 161, 1996.
170. Kitazawa, Y.; e.a.: „Automatic Robot Programming System for the Arc Welding of Steel – Tube Transmission Tower”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 172 – II / 178, 1996.
171. Sugitani, Y.; e.a.: „Development of Lattice Welding Robot”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 190 – II / 194, 1996.
172. Taki, K.; Asai, S.; Ushio, M.: „Application of visual sensors for automatic welding in Japan”. IIW Doc. XII-1564-99, Lisbon Conference, 1999.
173. Asai, S.; e.a.: „Development of fully automatic GMAW System with visual sensor”. IIW Doc. 1546-98. Hamburg Conference, 1998.
174. Shibata, N.; e.a.: „Automatic Welding System with Visual Seam Tracking Sensor”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 201 – II / 206, 1996.
175. Butsusaki, Y.; e.a.: „A Robotic Welding System by CAD / CAM Control”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 227 – II / 230, 1996.
176. Sugitani, Y.; e.a.: „CAD / CAM Welding Robot System in Steel Bridge Panel Fabrication”. IIW Doc. XII-1471-96. „Welding Guide Book III. Automation Technology of Arc Welding”. Technical Commission on Welding Processes. Japan Welding Society, p.II / 231 – II / 236, 1996.
177. Millen, B.: „Programming of welding robots”. Welding & Metal Fabrication, May, p. 174 – 178, 1993.
178. x x x : „Welding robots – Do they meet expectations ?” Welding & Metal Fabrication, May, p. 180 – 185, 1993.
179. Smith, Jeremy; Lucas, Bill: „Putting intelligence into welding – Rule based systems, fuzzy logic and neuronal networks”. Welding & Metal Fabrication, November / December, p. 7 – 9, 1999.
180. Pușcașu, Gh.: „Sisteme instruibile bazate pe rețele neuronale cu aplicații în recunoașterea formelor și în conducerea proceselor”. Editura Matrix Rom, 1999.
181. Toma, Liviu: „Sisteme de achiziție și prelucrare numerică a semnalelor”. Editura de Vest, Timișoara, 1996.
182. Mohan, Ned; e.a.: „Power electronics. Converters, applications and design”. Second Edition. John Wiley & Sons, New York, 1995.

183. Florescu, A., Radoi, C.: „Conventional Control and Fuzzy Control of an AC - DC Converter for DC Machine Drive”. Proc. of A&Q International Conference on Automation and Quality Control, 28-29 May 1998, Cluj, Romania, p. A537-A541.
184. Seracin, Eugen: „Tehnica acționărilor electrice”. Editura Tehnică, București, 1985.
185. Lukkari, Juha (ESAB Oy, Finland): „Orbital – TIG – a great way to join pipes”. Svetsaren – The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 60, No. 1, 2005, p. 3 – 6.
186. Woldinga, Frits (NACAP B.V., The Netherlands); Datema, Sjabbe (ESAB Nederland B.V.): „Railtrac flexible tool for Dutch pipeline constructor”. Svetsaren – The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 60, No. 1, 2005, p. 11 – 12.
187. Paschold, Rolf; Dirksen, Dirk (ESAB GmbH, Germany): „Submerged arc welding of steels for offshore wind towers. The German renewable energy goes offshore”. Svetsaren – The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 60, No. 1, 2005, p. 13 – 17.
188. Kjällström, Peter; Ohlson, Björn K. (ESAB Automation, Sweden): „Retrofitting of automatic welding systems. Cost-efficiency with state-of-the-art technology”. Svetsaren – The ESAB Welding and Cutting Journal, Vol. 60, No. 1, 2005, p. 21 – 22.
189. Miloș, Livius: „Tăiera termică”. Editura Sudura, Timișoara, 2003.
190. Burcă, Mircea: „Sudarea MIG / MAG”. Editura Sudura, Timișoara, 2004.
191. Andronescu, Plauțius: „Bazele electrotehnicii”. Editura Didactică și Pedagogică, București.
192. Răduleț, Remus: „Bazele fizice ale electrotehnicii”. Editura Didactică și Pedagogică, București.
193. Dordea, Toma: „Mașini electrice”. Editura Politehnica, Timișoara, 2000.
194. Hedeș, Alexandru; Șora, Ioan: „Echipamente cu înaltă frecvență pentru sudarea cu arc electric”. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
195. [http://www.renesas.com/microchooser/three phase motor drive](http://www.renesas.com/microchooser/three%20phase%20motor%20drive).
196. [http://www.renesas.com/microchooser/dc brushless motor drive](http://www.renesas.com/microchooser/dc%20brushless%20motor%20drive).
197. [http://www.bonfiglioli.com/products/converters; motors; gearmotors; electrical drives / Synthesis \(SYN\) – Active – GVX](http://www.bonfiglioli.com/products/converters;motors;gearmotors;electrical%20drives/Synthesis%20(SYN)–Active–GVX).
198. Dragomir, C.; **Verbițchi, V.**; ș.a.: Comanda nr. 32 / 2003. „Repararea și modernizarea unei surse de sudare tip RSC-400”. ISIM Timișoara. Beneficiar: S.C. TCP System srl Timișoara.
199. Minciu, V; ș.a.: Contract nr. 11N-103.1-2004. „Dezvoltarea procedurii de sudare prin frecare cu element rotitor activ pentru îmbinarea materialelor ușoare de tip Al, Ti, Mg”. Faza IV. „Execuția echipamentului de sudare (model experimental)”. Programul Nucleu. ISIM Timișoara.
200. [http://www.motion control.com/forums/Forum 1 / HTML / 00094 / html](http://www.motioncontrol.com/forums/Forum%201/HTML/00094/html) – Linear 2-axis plasma cutting machine. Emerson, Eb – 202 Servo drive (4 m, interpolation). Axima 2000 2-axis servo controller.
201. <http://www.acpd.co.uk/23.html> – 20 May 2004. Cobra Planar Drive – Stepper motors.
202. [http://www.acs-tech 80.com/products/unilite/100W drive](http://www.acs-tech80.com/products/unilite/100W%20drive). Two Digital Drive with 20 kHz. Two Axis Motion Control Module.
203. [http://www.epilog laser.com/laser cutting system](http://www.epiloglaser.com/laser%20cutting%20system).
204. [http://www.cmcccontrols.com/content/Etek cutting machine](http://www.cmcccontrols.com/content/Etek%20cutting%20machine).
205. [http://www.profilecuttingsystems.com/CNC precision shape cutting machine](http://www.profilecuttingsystems.com/CNC%20precision%20shape%20cutting%20machine).
206. [http://www.torchmate.com/Torchmate CNC plasma cutter](http://www.torchmate.com/Torchmate%20CNC%20plasma%20cutter).
207. [http://www.hypertherm.com/Hypertherm plasma cutters, motion control systems](http://www.hypertherm.com/Hypertherm%20plasma%20cutters,%20motion%20control%20systems).
208. [http://www.burny.com/Burny shape cutting motion control](http://www.burny.com/Burny%20shape%20cutting%20motion%20control).
209. [http://www.burny.com/CNC Shape cutting machine](http://www.burny.com/CNC%20Shape%20cutting%20machine).
210. [http://www.burny.com/Precision shape cutting systems](http://www.burny.com/Precision%20shape%20cutting%20systems).
211. [http://www.thermadyne.com/predspot/Shape cutting systems and motion control](http://www.thermadyne.com/predspot/Shape%20cutting%20systems%20and%20motion%20control).
212. [http://www.esab.com/ESAB Gantry shape cutting machine](http://www.esab.com/ESAB%20Gantry%20shape%20cutting%20machine).
213. Birdeanu, V.; ș.a.: Contract nr. 11N-102/2-2004. „Cercetarea proceselor de sudare cu laser a microîmbinărilor”. Faza IV. „Realizarea celulei flexibile de lucru pentru realizarea microîmbinărilor prin sudare cu fascicul laser”. Programul Nucleu. ISIM Timișoara.

214. Harjan, I.; ș.a.: Contract nr. 1830/2004. „Celulă flexibilă pentru robotizarea operațiilor de sudare la fabricația de utilaje terasiere”. Faza II. „Elaborarea documentației de execuție pentru componentele construcției metalice și de protecție”. ISIM Timișoara. Beneficiar: S.C. Comelf S.A. Bistrița.
215. ISIM Timișoara: „Manualul Calității”. MC-ISIM. Ediția 2 / 2004.
216. Subu, T.; **Verbițchi, V.**: „Încărcarea prin sudare cu bandă lată, cu utilizarea unui câmp magnetic suplimentar”. Prelegere și lucrare publicată. Volumul „Tendințe noi de dezvoltare în sudare”. Conferința comună DVS Deutscher Verband für Schweißtechnik – ASR Asociația de Sudură din România, 24 – 25 martie 1993.
217. Subu, T.; ș.a.: Bestellung KA 7491 / 18.04.1991 / ek-ne. „Breitband-Schweißkopf Typ CPB.90.M eingerichtet mit einem Gerät für die magnetische Steuerung des Schweißverfahrens”. ISIM Timișoara. Beneficiar: UTP Schweißmaterial GmbH & Co.KG, Bad Krozingen, Deutschland.
218. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 636C / B6 / 1993 – nr. 210 / C / 1994 / Tema A14. „Cercetări privind încărcarea prin sudare cu bandă, utilizând câmpul magnetic variabil”. Faza I, II și III. ISIM Timișoara.
219. **Verbițchi, V.**; ș.a.: „Variator PWM de turație pentru echipamente de sudare robotizată”. Poster. Conferința Internațională Sudură-Control. ISIM Timișoara, 6 – 9 mai 1997.
220. **Verbițchi, V.**; Panaitescu, Ș.; Rădescu, D.; Cojocaru, R.: „Recondiționarea prin sudare a pieselor din industrie și transporturi”. Simpozionul: „Reabilitarea prin sudare în transportul public”. ISIM Timișoara și RAT Timișoara, 12 aprilie 2000.
221. **Verbițchi, V.**: Comanda C7708 / 1995. „Reparație semiautomat avans sârmă, tip SACO-3”. ISIM Timișoara. Beneficiar S.C. COMELF S.A. Bistrița.
222. **Verbițchi, V.**: Comanda 7769 / 1996. „Modernizarea dispozitivelor de avans al sârmei pentru sudare MIG/MAG, de tipurile SACO-3, SAM-630, SA-315 și ZP-2”. ISIM Timișoara. Beneficiar: S.C. COMELF S.A. Bistrița.
223. **Verbițchi, V.**: „Bloc de acționare 2,2 kW/220 V și bloc de acționare 60 W/12 V”. Comanda 02.2002. Beneficiar: S.C. Alfasud s.r.l. Timișoara / S.C. BAT S.A. Arad.
224. Rădescu, D.; ș.a.: „Instalație de sudare a virolelor”. Comanda 2002 – 2003. S.C. OMNISUD s.r.l. București. Beneficiar: S.C. BAT S.A. Arad.
225. Cojocaru, R.; Cristescu, G.; **Verbițchi, V.**; Minciu, V.; Demeter, Z. (ISIM Timișoara): „Reabilitarea echipamentelor energetice prin recondiționarea suprafețelor uzate, utilizând procedeul MIG/MAG sau WIG mecanizat”. Prelegere și articol. Conferința Națională a Energiei – CNE 2004. Neptun, 13 – 17 iunie 2004.
226. **Verbițchi, V.**; Cojocaru, R.; Rădescu, D.; Panaitescu Ș.; Traicu, R.; Socolescu, O.: „Încărcarea prin sudare a robinetelor industriale. Echipament și experimentări tehnologice”. Armătura (revista), nr. 1, 2003, p. 15 – 17. CRIA Comitetul Român pentru Industria de Armături. Universitatea Valahia Târgoviște.
227. **Verbițchi, V.**; ș.a.: „Reabilitarea robinetelor de înaltă temperatură și presiune ale termocentralelor. Tehnologie și echipament specializat”. Poster. Conferința pentru Mentenanța și Reabilitarea Termocentralelor. ISIM Timișoara, 23 – 25 iunie 1997.
228. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 17 / B8 / 1996. „Cercetări și experimentări privind elaborarea unei tehnologii și a unui echipament de încărcare prin sudare cu materiale dure de calitate superioară pentru componente de înaltă temperatură și presiune ale termocentralelor”, Faza B8.1. „Studiu documentar și tehnologie cadru de încărcare prin sudare a unor componente de la centralele termoelectrice”, ISIM Timișoara.
229. **Verbițchi, V.** : Contract nr. 17 / Tema A.21 / 1997. „Cercetări și experimentări privind elaborarea unei tehnologii și a unui echipament de încărcare prin sudare cu materiale dure de calitate superioară pentru componente de înaltă temperatură și presiune ale termocentralelor”. Faza A.21.1. „Elaborarea documentației de execuție în fază unică DE(u) a echipamentului pentru încărcarea prin sudare mecanizată a robinetelor, de tipul ESIR – 350”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Cercetării și Tehnologiei.

230. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 342 / 1999. „Execuția de subansamble de la echipamentul specializat de încărcare prin sudare a robinetelor, tip ESIR-250”. Fază unică. ISIM Timișoara. Beneficiar: R.A.A.N. – Sucursala ROMAG-TERMO Drobeta Turnu-Severin.
231. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 374 / 1999 – 2000. „Punerea în funcțiune a echipamentului specializat pentru încărcarea prin sudare a robinetelor, de tipul ESIR-250”. Fazele I, II. ISIM Timișoara. Beneficiar: R.A.A.N. – Sucursala ROMAG-TERMO Drobeta Turnu-Severin.
232. **Verbițchi, V.**; ș.a.: Contract nr. 545 / 2000 – Act adițional nr. 1. Tema A.35 / 2002. „Cercetări privind modernizarea și fiabilizarea unor echipamente MIG / MAG și WIG pentru acoperiri speciale”. Faza A35.1. „Experimentări tehnologice privind încărcarea prin sudare MIG / MAG mecanizată pentru realizarea unor acoperiri speciale subțiri”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
233. **Verbițchi, V.**; Cojocar, R.; Rădescu, D.; Tusz, F.: „Celulă experimentală de sudare robotizată pentru material rulant”. BID – ISIM. Buletinul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale – ISIM Timișoara, nr. 4, 2001, p. 14 – 20.
234. **Verbițchi, V.** ș.a.: Contract nr. 564 / 2000 / Tema B24. „Sudarea robotizată a structurilor de material rulant”. Faza B24.1. „Studiu de soluție privind componența celulei robotizate pentru sudarea MAG a unor structuri de material rulant”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
235. **Verbițchi, V.** ș.a.: Contract nr. 564 / 2000 / Tema B24. „Sudarea robotizată a structurilor de material rulant”. Faza B24.2. „Proiect tehnic preliminar de celulă robotizată pentru sudarea MAG a anumitor structuri ale vagoanelor”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
236. **Verbițchi, V.** ș.a.: Contract nr. 564 / Act adițional nr. 1 / 2001 / Tema A24. „Sudarea robotizată a structurilor de material rulant”. Faza A24.1. „Elaborarea tehnologiei de grup și elaborarea documentației de execuție în fază unică DE(u) a celulei robotizate pentru sudarea MAG a unor structuri de material rulant, la nivel de model funcțional”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
237. **Verbițchi, V.** ș.a.: Contract nr. 564 / Act adițional nr. 1 / 2001 / Tema A24. „Sudarea robotizată a structurilor de material rulant”. Faza A24.2. „Implementarea celulei robotizate pentru sudarea MAG a unor structuri de material rulant”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
238. **Verbițchi, V.** ș.a.: Contract nr. 564 / Act adițional nr. 1 / 2002 / Tema A24. „Sudarea robotizată a structurilor de material rulant”. Faza A24.1. „Elaborarea tehnologiei cadru de sudare MAG robotizată a unei piese sau structuri de material rulant”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Educației și Cercetării - Direcția Generală - Politici, Strategii de Cercetare - Plan Național (MEC - DG-PSC-PN). Programul ORIZONT 2000.
239. **Verbițchi, V.**; Diaconu, A.; Panaitescu, Ș.: „Sudarea robotizată a structurilor cu simetrie de rotație”. ”. BID – ISIM. Buletinul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale – ISIM Timișoara, nr. 2, 1999, p. 11 – 14.
240. **Verbițchi, V.**; Diaconu, A.; Panaitescu, Ș.: „Considerații privind sudarea robotizată a subansamblelor din industria de automobile”. Lucrare prezentată la Simpozionul „Tehnologii Moderne de Sudare și Procedee Conexe”. Zilele Academice Timișene, 27 – 28 mai 1999. Manifestare organizată de Academia Română – Filiala Timișoara și Universitatea Politehnica Timișoara.
241. **Verbițchi V.** : Contract nr. 17 / Act ad. 601 / Tema B.5 / 1997. „Elaborarea unui sistem flexibil de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. Faza B5.1 / 1997. „Studiu documentar referitor la sisteme flexibile de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. ISIM Timișoara. Beneficiar: Ministerul Cercetării și Tehnologiei. Programul ORIZONT 2000.

242. **Verbițchi V.** : Contract nr. 17 / 96 / Act ad. 32 / 05.02.1998 / I. Tema A22 / 1998. „Elaborarea unui sistem flexibil de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. Faza A22.1 / 1998. „Experimentari tehnologice pentru sudarea robotizată cu arc electric a unor elemente de structuri cu geometrie complexă”. ISIM Timișoara. Programul ORIZONT 2000.
243. **Verbițchi V.** : Contract nr. 17 / 96 / Act ad. 32 / 05.02.1998 / I. Tema A22 / 1998. „Elaborarea unui sistem flexibil de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. Faza A22.2 / 1998. „Elaborarea tehnologiei cadru de sudare robotizată a unor structuri cu geometrie complexă”. ISIM Timișoara. Programul ORIZONT 2000.
244. **Verbițchi V.** : Contract nr. 17 / 96 / Act ad. 32 / 05.02.1998 / I. Tema A18 / 1998. „Elaborarea unui sistem flexibil de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. Faza A18.1 / 1999. „Elaborarea de programe pentru sudarea robotizată a structurilor metalice cu simetrie de rotație și a structurilor pentru construcții metalice”. ISIM Timișoara. Programul ORIZONT 2000.
245. **Verbițchi V.** : Contract nr. 17 / 96 / Act ad. 32 / 05.02.1998 / I. Tema A18 / 1998. „Elaborarea unui sistem flexibil de sudare cu arc electric a structurilor cu geometrie complexă”. Faza A18.2 / 1999. „Considerații privind optimizarea tehnologiilor de sudare robotizată a structurilor cu geometrie complexă”. ISIM Timișoara. Programul ORIZONT 2000.
246. Cloos Schweißtechnik GmbH: „Romat – Roboter – Programieranleitung V8”. D 30.5.88. Haiger, Deutschland.
247. Cloos Schweißtechnik GmbH: „Industrie – Robotersysteme der Reihe Romat 55/56 – 75/76 – 105/106 und MPS 085. Technische Beschreibung”. Haiger, Deutschland.
248. **Verbițchi V.**; Minciu V.; Cojocaru R.: “Experimentări de sudare robotizată la piese din industrie și transporturi”. Simpozionul: “Noutăți în domeniul echipamentelor de sudare în mediu de gaz protector”. Camera de Comerț, Industrie și Agricultură a Județului Timiș. ISIM Timișoara. 15 Aprilie 2005.
249. **Verbițchi V.**: “Sistem de corectare a traseului pentru robot de sudare”. Conferința: “Tendințe în activitatea de cercetare – dezvoltare – inovare în domeniul sudării. Tehnologia informatică în producția de structuri sudate”. ISIM Timișoara. 9 – 10 Iunie 2005.
250. Cojocaru R.; **Verbițchi V.**; ș.a.: Contract 5C09/2 + 151/2. "Realizarea unui sistem tehnologic de fabricație prin sudare MIG/MAG mecanizat a structurilor metalice complexe din componența vagoanelor de marfă". Faza II. "Elaborarea temei de proiectare. Proiectare sistem de fabricație - model experimental (elaborare documentație de execuție DE)". 15.05.2004. Program AMTRANS.
251. Cojocaru R.; **Verbițchi V.**; ș.a.: Contract 5C09/4 + 151/4. "Realizarea unui sistem tehnologic de fabricație prin sudare MIG/MAG mecanizat a structurilor metalice complexe din componența vagoanelor de marfă". Faza IV. "Execuție instalație electrică și module electronice". 15.02.2005. Program AMTRANS.
252. Cojocaru R.; **Verbițchi V.**; ș.a.: Contract 5C09/5 + 151/5. "Realizarea unui sistem tehnologic de fabricație prin sudare MIG/MAG mecanizat a structurilor metalice complexe din componența vagoanelor de marfă". Faza V. "Elaborarea manualului de prezentare / utilizare al modelului experimental". 15.05.2005. Program AMTRANS.
253. Cojocaru R.; **Verbițchi V.**; ș.a.: Contract 7B19/1. "Centru tehnologic de fabricație pentru tăiere și sudare". Faza I. "Elaborarea documentației de execuție". 15.03.2005. Program AMTRANS.
254. Dehelean D.; Oancă O.; **Verbițchi V.**; ș.a.: Contract 7C19/1. "Sistem tehnologic de sudare electrică prin presiune pentru pereți laterali de vagoane". Faza I. "Elaborarea documentației de execuție". 15.06.2005. Program AMTRANS.
255. Românu R.; **Verbițchi V.**: Comanda 134/1. "Studiu asupra sudurilor executate cu robot MAG la ansamblul Tub rezervor B4 - RA5 - Z069A00". 07.10.2004. Beneficiar: SC Thyssen - Krupp – Bilstein - Compa SA Sibiu.

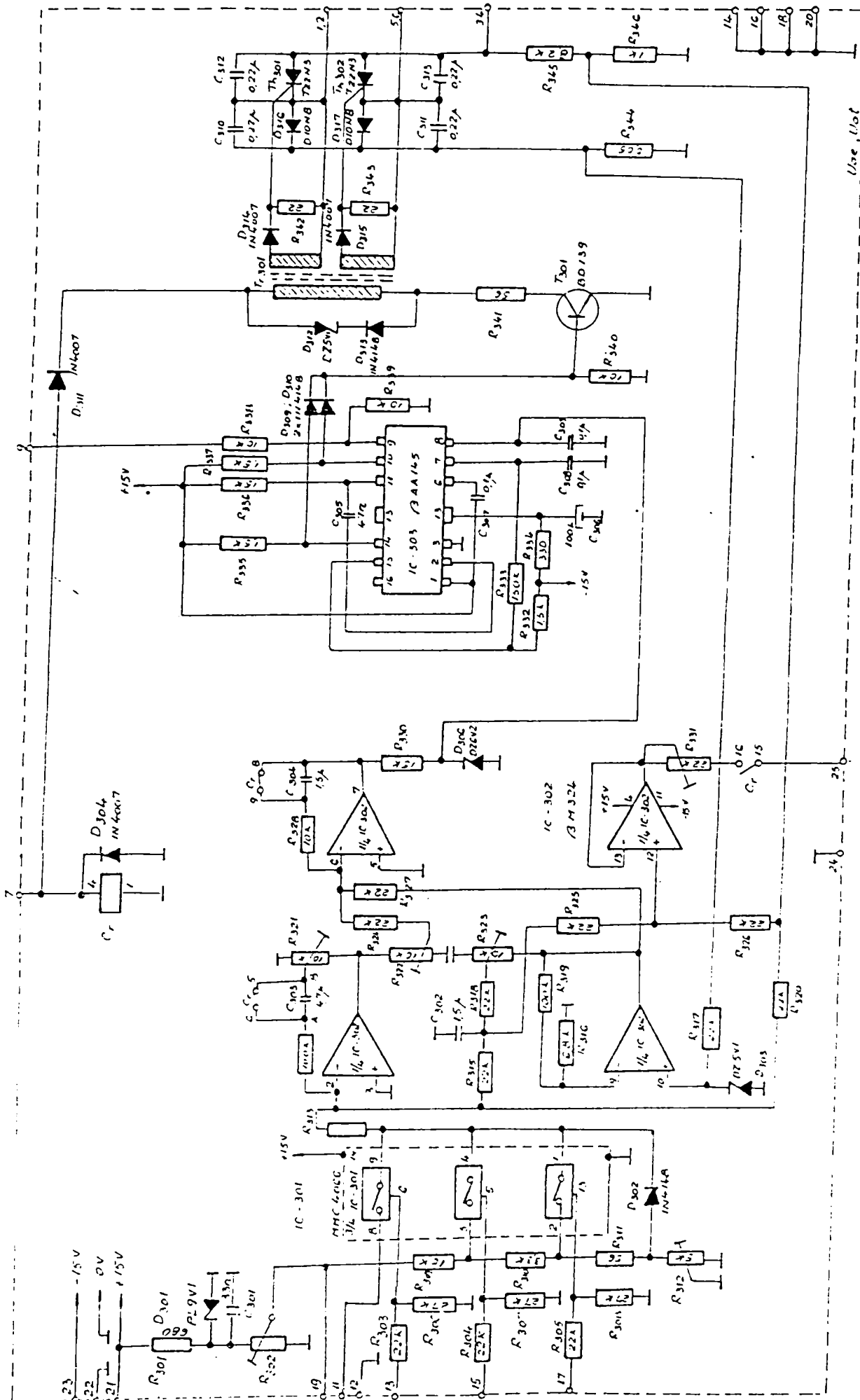
256. Matsui, H.(Toyota Motor Corporation, Japan): „Technical Trends and Future Prospectives of the Arc Welding in Chasis Parts”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, pag. 7 – 18.
257. Dilthey, Ulrich.; Stein, Lars (ISF – welding and Joining Institute, RWTH – Aachen University, Germany): „Technical Trends and Future Prospects of European Automotive Industry”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, pag. 19 – 30.
258. Fujimoto, Hiroki; Fukui, Kiyoyuki; Uchihara, Masato; Yasuyama, Masanori; Watanabe, Hitomi (R&D Laboratories, Sumimoto Metal Industries Ltd, Japan): „Recent Topics & Future Works for Welding Technologies of Steel Sheets in Automotive Industries in Japan”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, 11 pag.
259. Tsuge, Ayao (Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Japan): „Challenges of the Japanese Manufacturing Industry toward the 21st Century”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, 24 pag.
260. Kim, S. H.: „Welding Automation Technologies in Shipbuilding Industry”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, pag. 185 – 190.
261. Kanjo, Y.: „CAD/CAM Based Multi-Robots Welding System and Optimization”. IIW International Conference „Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space”. Osaka, Japan, 15 – 16 July 2004. Edited by Masao Toyoda, Osaka University, pag. 217 – 228.
262. Kimchi, Menachem; Workman, D.; Gould, J.E. (EWI, Ohio, USA): „Advanced Welding Techinques for Aluminium Alloys”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 12 pag.
263. Matsuyama, Kin-ichi (MIT, USA): „New Function of Welding Controllers to Protect the Environments”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 11 pag.; 20 ref.
264. Blackman, St.A.; Yapp, D. (Cranfield University of Technology, UK): „High-Speed Welding of Pipelines”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark.
265. Mukai, Yasushi; Shimogama, Shigeru; Oyama, Hidetoshi; Takahasi, Wataru (Matsushita Welding System Co., Japan): „New Push-Pull Wire Feed System for Al MIG Robotics Welding” Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 13 pag.
266. Smith, Jeremy S.; Lucas, William (University of Liverpool and TWI, UK): „Vision Based Control of Arc Welding Processes”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 12 pag.; 6 ref.
267. Yamane, Satoshi; Yamamoto, Hikaru; Sharif, Leila H.; Ohshima, Kenji (Saitama University and Hitachi Construction Machinery, Japan): „Intelligent Co-operative Control System in Visual Welding Robot”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 9 pag.; 8 ref.

268. Holm, Hans; Kristensen, Jens Klastrup (Aalborg University and Force Technology, Denmark): „Steps Toward Automation of Robotic Welding Programming and Control”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark.
269. Powell, Haydn (Caterpillar Inc., USA): „Quality Tools for High Value Fabrications”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 6 pag.
270. Jensen, Thomas Aaboe; Lundgren, Jan; Krebs, Hiels (Force Technology, Denmark; Volvo Aero Corporation, Sweden): „Laser Welding Next Generation Rocket Nozzles”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 13 pag.; 3 ref.
271. Nefedev, B.B.; Lualyakin, V.P. (Remdetal Scientific Research Institute, Russia): „Computer Control of the Process of Powder Plasma Surfacing of Shafts”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 10 pag.
272. Larsson, Johnny K. (Volvo Car Corporation, Sweden): „Overview of Joining Technologies in the Automotive Industry”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 17 pag.; 14 ref.
273. Koçak, Mustafa; Motarjemi, A.K. (GKSS Research Center Geesthacht, Germany): „Structural Integrity of Advanced Welded Structures”. Advanced Processes and Technologies in Welding and Allied Processes. IIW International Conference, 24 – 25 June 2002, Copenhagen. Edited by Jens Klastrup Kristensen; Force Technology, Denmark; 18 pag.; 6 ref.
274. Haagensen, P.J. (Universitatea Norvegiană de Știință și Tehnologie, Departamentul de Inginerie Structurală, Trondheim, Norvegia): „Tehnici de îmbunătățire a rezistenței la oboseală – avantaje și limite”. Conferința Internațională a IIW. „Construcții sudate pentru infrastructura urbană”. 10 iulie 2003, București, România; pag. 45 – 66.
275. Quintino, Luisa (Institutul Superior Tehnic Lisabona, Portugalia); Iordăchescu, Dănuț (Universitatea Dunărea de Jos din Galați, România): „Monitorizarea și comanda proceselor de sudare cu arc electric – o reevaluare”. Conferința Internațională ASR. „Realizări și perspective în fabricația structurilor sudate pentru medii urbane”. 11 iulie 2003, București. Editura Sudura, Timișoara, 2003. ASR Asociația de Sudură din România; pag. 227 – 238.
276. Oshima, K.; Hirai, A.; Kancko, Y.; Hosoda, T.; Yamane, S. (Saitama University, Japan): „Sensing and In-process Control of Weld Pool by Fuzzy Neural Network in Robotic Welding”. IIW – Doc. XII – 1675 – 01. Proceedings of Commission XII IIW. Ljubljana, 2001; p. 143 – 150.
277. Asai, S.; Tsuboi, R.; Aoyama, K.; Taki, K.; Kubo, K.; Nomura, K. (Toshiba Corporation, Japan): „Development of GTAW Robot System with Visual Sensors for Remote Welding”. IIW – Doc. XII – 1683 – 01. Proceedings of Commission XII IIW. Ljubljana, 2001; p. 239 – 250.
278. Smith, J.S. (University of Liverpool, Great Britain); Lucas, W. (The Welding Institute Cambridge, Great Britain): „Vision Based System for Monitoring and Control of Welding”. IIW – Doc. XII – 1687 – 01. Proceedings of Commission XII IIW. Ljubljana, 2001; p. 251 – 259.
279. Quinto, L.; Vilaça, P.; Magalhães, P. (IST – Technical University of Lisbon, Portugal): „SEEK – Sensor Explorer Expert Key”. IIW – Doc. XII – 1665 – 01. Proceedings of Commission XII IIW. Ljubljana, 2001; p. 267 – 274.

280. Huang, T.C. (EWI Columbus, Ohio, USA); Yapp, D. (Welding Engineering Research Centre Cranfield, Great Britain): „Synchronized Data Acquisition and Video Imaging of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding”. IIW – Doc. XII – 1672 – 01. Proceedings of Commission XII IIW. Ljubljana, 2001; p. 201 – 209.
281. Heidrich, J.; Willms, K. (ISF Institut für Schweißtechnische Fertigungsverfahren Aachen, Germany): „Application of Artificial Neuronal Networks in an Optical Stereo Sensor System for Seam Tracking”. Intermediate Meeting of Commission XII IIW. Aachen, Germany, 2001; p.29–34.
282. Gollnick, J. (ISF Institut für Schweißtechnische Fertigungsverfahren Aachen, Germany): „Integrated Through the – Arc Sensor System with Rotary Movement of the Torch Tip in GMA – Welding”. Intermediate Meeting of Commission XII IIW. Aachen, Germany, 2001.
283. Hackl, I. (Fronius Vertrieb GmbH Wels, Austria): „MIG Brazing of Galvanized Light – Gauge Sheets”. IIW International Conference. „Joining Technologies of Dissimilar Materials and Structural Integrity Problems of so Jointed Structures”. Ljubljana, 2001; p. 61 – 67.
284. * * *: „Normele de protecția muncii pentru industria de utilaj greu, construcții de mașini și electrotehnică, NPM”. Vol. I și Vol. II. Ed. OID-ICM, București, 1994.
285. * * *: „Norme specifice de securitate a muncii pentru sudarea și tăierea metalelor”. Ministerul Muncii și Protecției Sociale, Departamentul Protecției Muncii, București, 1994.
286. * * *: „Normele de prevenire și stingere a incendiilor în ramura construcții de mașini, mașini - unelte și electrotehnică”. Ministerul Industriei și Comerțului, București, 1996.
287. **Verbițchi, Victor**: Referat nr.1. “Stadiul actual al echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Denumirea temei tezei de doctorat: “Contribuții privind modernizarea echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Conducător științific: Prof. Dr. Ing. Ioan Șora. Universitatea Politehnică Timișoara. Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică. Catedra de Mașini, Acționări și Utilizări Electrice, 2004.
288. **Verbițchi, Victor**: Referat nr.2. “Variante cu soluții tehnice privind automatizarea echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Denumirea temei tezei de doctorat: “Contribuții privind modernizarea echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Conducător științific: Prof. Dr. Ing. Ioan Șora. Universitatea Politehnică Timișoara. Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică. Catedra de Mașini, Acționări și Utilizări Electrice, 2004.
289. **Verbițchi, Victor**: Referat nr.3. “Cercetări experimentale proprii privind îmbunătățirea performanțelor echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Denumirea temei tezei de doctorat: “Contribuții privind modernizarea echipamentelor de sudare cu arcul electric”. Conducător științific: Prof. Dr. Ing. Ioan Șora. Universitatea Politehnică Timișoara. Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică. Catedra de Mașini, Acționări și Utilizări Electrice, 2004.

Anexa nr. 1

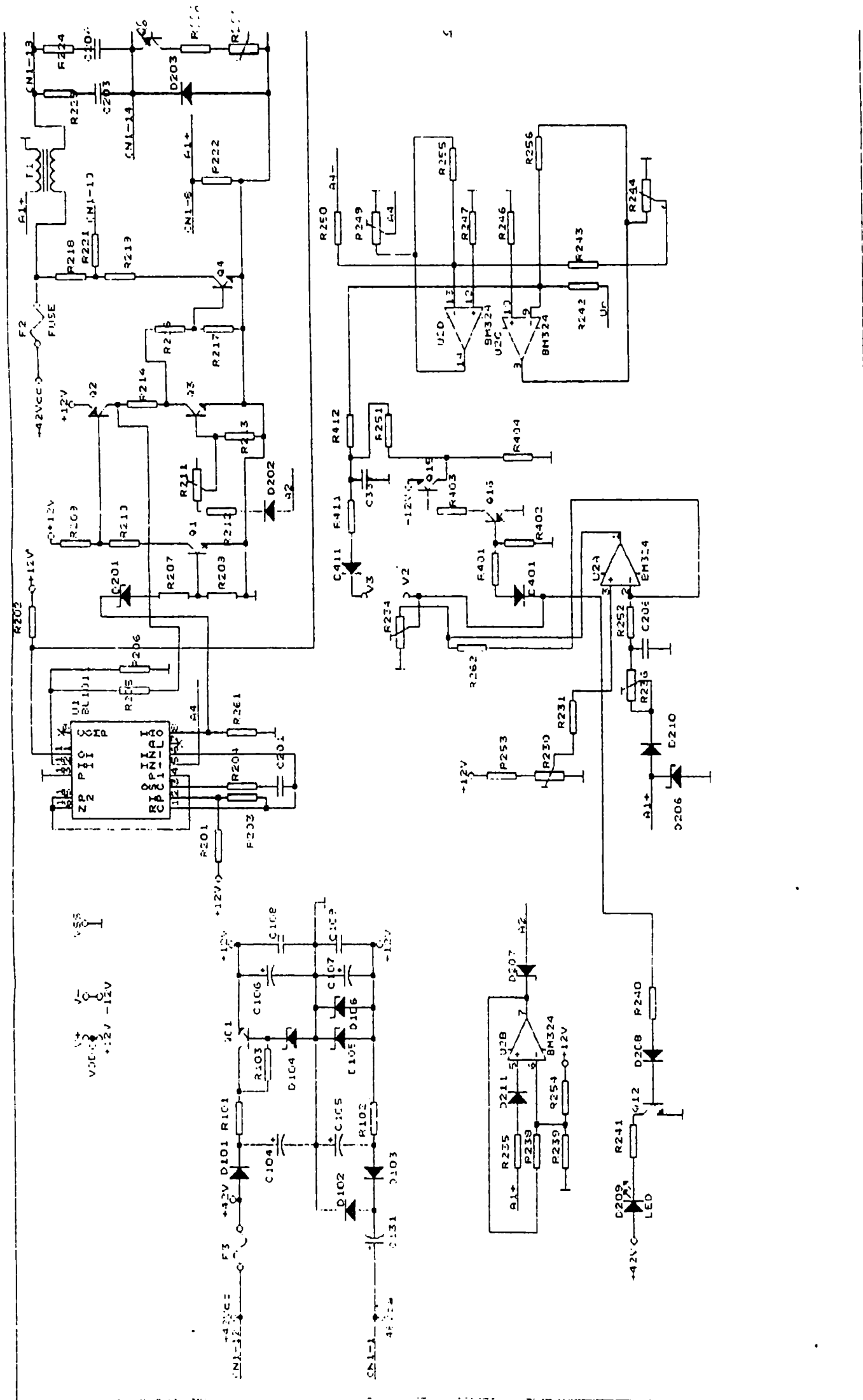
Regulator de turație cu tiristori, tip VV7TIN Schema electrică



Use, Loc

ISIM Timisoara Proiectat: ing. Verbitchi V. V. V. V.
 Sectia S2 Verificat: ing. Colocacu R. R. R. R.
 Size Document Number A TIN-01-SED Actionare de CC
 Date: 8, 2002 Sheet 2 of 3

Regulator PWM de turație cu tranzistor, tip V
Schema electrică



Programe de sudare robotizată

Unitatea de comandă CLOOS MPS 085

EDITOR V5.0

Sistem de operare CLOOS V8.5 25 SEP 96

Robot CLOOS ROMAT 56

1. Denumirea programului: APRILIE

Destinația: Sudarea cap la cap a tablelor plane

Metode de programare: Generarea de puncte. Translatarea paralelă a punctelor

Data: Aprilie 2005

Etichetă	Comandă
0	LIST
1	\$1=(65,10,0,55,75,25,20,30,0,1)
2	\$2=(18,15,1,60,80,25,20,23,0,1)
3	\$3=(2,18,0,50,70,30,20,25,0,1)
4	END
5	\$ 1
6	GF P(1,2,9,11-14)
7	STOPOS R(39,21,0,1,0,0,0,50,0,0,0)
8	GF P(39)
9	CHAN P(16)
10	\$ 2
11	GF P<17-26>
12	DECH
13	\$ 0
14	\$ 1
15	GF P(27-34)
16	END

2. Denumirea programului: COLT1

Destinația: Sudarea în colț a tablelor plane

Metode de programare: Generarea de puncte. Translatarea paralelă a punctelor

Data: Aprilie 2005

Etichetă	Comandă
0	LIST
1	\$1=(65,10,0,55,75,25,20,30,0,1)
2	\$2=(11,15,1,60,80,25,8,23,0,1)
3	\$3=(2,18,0,50,70,30,20,25,0,1)
4	END
5	\$ 1
6	GF P(1,2,9)
7	STOPOS R(39,10,0,0,0,0,0,-15,100,0,0)
8	GF P(39)
9	STOPOS R(40,10,0,0,0,0,0,-15,100,0,0)
10	GF P(40)
11	STOPOS R(41,10,0,0,0,0,0,-25,100,0,0)

12	GF P(41)
13	STOPOS R(42,10,0,0,0,0,-550,0,0,0)
14	GF P(42)
15	STOPOS R(43,10,0,0,0,0,-130,0,0,0)
16	GF P(43)
17	CHAN P(11)
18	GF P(11-16)
19	\$ 2
20	ROF 0
21	GOS P<17-26>
22	DECH
23	\$ 0
24	\$ 1
25	STOPOS R(44,10,0,0,0,0,-550,750,0,0,0)
26	GF P(44)
27	CHAN P(27)
28	GF P(27-34)
29	DECH
30	END

3. Denumirea programului: STUT1

Destinația: Sudarea unui ștuț $\Phi 89 \times 190 \times 9$ pe tablă plană

Metoda de programare: Rotirea axei 6

Data: Aprilie 2005

Etichetă	Comandă
0	LIST
1	\$1=(33,100,0,50,40,0,30,15,0,1)
2	\$2=(18,30,1,55,45,0,6,20,0,1)
3	END
4	\$ 1
5	GF P(1-6)
6	\$ 2
7	CIRO 1
8	CIRF (6,9,12,50)
9	\$ 0
10	\$ 1
11	GF P(15,16-25)
12	END

4. Denumirea programului : BEGAT1

Destinația : Suprafața exterioară $\Phi 189$ ^{-0,34}
de la corpul tamponului – tronsonul 1^{-0,80}

Data : 15.07.2002

Etichetă	Comandă
0	LIST
1	\$1=(60, 100, 0, 60, 80, 0, 10, 15, 0, 1)
2	\$2=(0, 100, 5, 60, 80, 0, 10, 15, 0, 1)
3	\$3=(4, 100, 5, 60, 80, 0, 10, 15, 0, 1)
4	END

5	PROC ROTIRE
6	@1 IF NOT E(1) THEN JU @1
7	WAIT 1 S
8	RETU
9	\$ 1
10	GF P<47>
11	\$ 3
12	GF P<48, 49>
13	CALL ROTIRE
14	GF P<50, 51>
15	CALL ROTIRE
16	GF P<52, 53>
17	CALL ROTIRE
18	GF P<54, 55>
19	CALL ROTIRE
20	GF P<56, 57, 58>
21	CALL ROTIRE
22	GF P<59, 60>
23	CALL ROTIRE
24	GF P<61, 62, 63>
25	CALL ROTIRE
26	GF P<64, 65>
27	CALL ROTIRE
28	GF P<66, 67>
29	CALL ROTIRE
30	GF P<68, 69>
31	CALL ROTIRE
32	GF P<70, 71>
33	CALL ROTIRE
34	GF P<72, 73>
35	CALL ROTIRE
36	GF P<75>
37	CALL ROTIRE
38	GF P<77>
39	CALL ROTIRE
40	GF P<79>
41	CALL ROTIRE
42	\$ 0
43	\$ 1
44	GF P<81, 83, 85, 87, 89, 91, 93, 95, 97, 99>
45	GF P<101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115>
46	GF P<117, 119, 121, 123, 125, 127, 129>
47	GF P<131, 133, 135, 137, 139, 141, 143>
48	GF P<144-175>
49	GF P<176-179>
50	END